

Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea Sector de la fabricación cerámica

Documento BREF



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO



COMISIÓN EUROPEA

Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC)

Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea
Sector de la fabricación cerámica

Documento BREF



COMISIÓN EUROPEA

MADRID, 2011

Título original en inglés: *Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry.*

Traducción al español realizada por el
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

Secretaria General Técnica: Alicia Camacho García. **Subdirector General de Información al ciudadano, Documentación y Publicaciones:** José Abellán Gómez. **Directora del Centro de Publicaciones:** M.^a Cristina García Fernández. **Jefa del Servicio de Producción y Edición:** M.^a Dolores López Hernández.

Edita:

© Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Distribución y venta:

Paseo de la Infanta Isabel, I
Teléfono: 91 347 55 41
Fax: 91 347 57 22

Maquetación, impresión y encuadernación:

Sociedad Anónima de Fotocomposición, S.A.
Talisio, 9 - 28027 Madrid

Plaza San Juan de la Cruz, s/n

Teléfono: 91 597 61 87
Fax: 91 597 61 86

NIPO: 770-11-374-0

ISBN: 978-84-491-1148-8

Depósito Legal: M-49.984-2011

Catálogo General de publicaciones oficiales:

<http://www.060.es>

(servicios en línea/oficina virtual/Publicaciones)

Tienda virtual: www.marm.es

e-mail: centropublicaciones@marm.es

Datos técnicos: Formato: 17 × 24 cm. Caja de texto: 13,2 × 19 cm. Composición: una columna. Tipografía: Century Schoolbook a cuerpos 8 al 12. Encuadernación: Rústica, cosido hilo. Papel interior con certificación FSC 100% reciclado de 90 g., tintas 1/1. Cubierta con certificación FSC 100% reciclado de 300 g., tintas 4/0.



NOTA INTRODUCTORIA

El 1 de julio de 2002 se aprobó la Ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, que incorpora a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva 96/61/CE.

La ley exige un enfoque integrado de la industria en su entorno y el conocimiento por parte de todos los implicados —industria, autoridades competentes y público en general— de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), con el fin de reflejar todos estos aspectos en la Autorización Ambiental Integrada que otorgan las CCAA.

Se establece, en el marco de la Unión Europea, un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias para la elección de estas MTDs que deben servir de referencia común para los Estados miembros a la hora de establecer el objetivo tecnológico de aplicación a las diferentes actividades.

A tal efecto, la Comisión Europea a través de la Oficina Europea de IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau), ha organizado una serie de grupos de trabajo técnico que, por epígrafes y actividades, proponen a la Comisión Europea los Documentos de Referencia Europeos de las Mejores Técnicas Disponibles (BREFs).

Los BREF informarán a las autoridades competentes sobre qué es técnica y económicamente viable para cada sector industrial, en orden a mejorar sus actuaciones medioambientales y, consecuentemente, lograr la mejora del medio ambiente en su conjunto.

El Grupo de Trabajo encargado de la valoración de las Mejores Técnicas Disponibles del sector de la fabricación cerámica comenzó sus trabajos en el año 2003 y el documento final fue aprobado por la Comisión en 2007: *“Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry”*. Está disponible en versión española en la página web del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (<http://www.prtr-es.es>) y en versión inglesa, en la web de la Oficina Europea de IPPC: <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/stationary/ippc/index.htm> y en la pagina: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>.

El Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino ha asumido la tarea, de acuerdo con los mandatos de la Directiva IPPC y de la Ley 16/2002, de llevar a cabo un correcto intercambio de información en materia de Mejores Técnicas

Disponibles; este documento, en cumplimiento de las exigencias legales, obedece a una serie de traducciones emprendidas por el Ministerio de Medio Ambiente sobre documentos BREF europeos.

Se pretende dar un paso más en la adecuación progresiva de la industria española a los principios de la Ley 16/2002, cuya aplicación efectiva debe conducir a una mejora del comportamiento ambiental de las instalaciones afectadas, que las haga plenamente respetuosas con el medio ambiente.

ÍNDICE

| | <i>Págs.</i> |
|---|--------------|
| NOTA INTRODUCTORIA | V |
| RESUMEN EJECUTIVO | XXVII |
| PREFACIO | XLIII |
| ÁMBITO DE APLICACIÓN | XLIX |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA FABRICACIÓN CERÁMICA | 1 |
| 1.1. Orígenes históricos | 1 |
| 1.2. Características de la cerámica..... | 1 |
| 1.3 Distribución geográfica y consideraciones económicas generales..... | 3 |
| 1.4. Cuestiones medioambientales clave | 4 |
| 1.5. Sectores cerámicos | 6 |
| 1.5.1. Ladrillos y tejas | 7 |
| 1.5.2. Tuberías de gres vitrificado..... | 9 |
| 1.5.3. Productos refractarios..... | 9 |
| 1.5.4. Agregados de arcilla expandida..... | 11 |
| 1.5.5. Pavimentos y revestimientos..... | 12 |
| 1.5.6. Cerámica de mesa y de decoración (cerámica doméstica)..... | 14 |
| 1.5.7. Cerámica sanitaria | 15 |
| 1.5.8. Cerámica técnica..... | 15 |
| 1.5.9. Abrasivos aglomerados inorgánicos..... | 16 |
| 2. PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADOS EN LA FABRICACIÓN CERÁMICA | 17 |
| 2.1. Materias primas | 17 |
| 2.2. Descripción general de los procesos de producción | 19 |
| 2.2.1. Almacenamiento y transporte de materias primas | 20 |
| 2.2.2. Preparación de materias primas | 20 |
| 2.2.2.1. Pre-secado | 20 |
| 2.2.2.2. Pre-mezcla | 21 |
| 2.2.2.3. Alteración por agentes atmosféricos/envejecimiento | 21 |
| 2.2.2.4. Machacado, trituración y cribado primarios y secundarios | 21 |
| 2.2.2.5. Molturación en seco o en húmedo (trituración) | 22 |
| 2.2.2.6. Tratamiento en criba en seco/clasificación por corriente de aire | 22 |
| 2.2.2.7. Secado por pulverización | 22 |
| 2.2.2.8. Calcinación | 23 |
| 2.2.2.9. Materiales de base sintética | 23 |
| 2.2.2.10. Fritas y esmaltes, preparación de esmalte..... | 23 |

| | <i>Págs.</i> |
|--|--------------|
| 2.2.3. Mezcla de componentes | 24 |
| 2.2.3.1. General | 24 |
| 2.2.3.2. Mezcladoras continuas | 25 |
| 2.2.3.3. Mezcladoras tipo Eirich | 25 |
| 2.2.4. Moldeado/conformado de artículos | 26 |
| 2.2.4.1. General | 26 |
| 2.2.4.2. Prensado | 26 |
| 2.2.4.3. Extrusión | 27 |
| 2.2.4.4. Moldeado | 28 |
| 2.2.4.5. Colada en barbotina | 28 |
| 2.2.4.6. Fundición por fusión..... | 28 |
| 2.2.5. Secado de productos cerámicos | 29 |
| 2.2.5.1. General..... | 29 |
| 2.2.5.2. Secaderos de base caliente..... | 29 |
| 2.2.5.3. Secaderos de cámara (intermitente) | 30 |
| 2.2.5.4. Secaderos de túnel (continuo) | 30 |
| 2.2.5.5. Secaderos verticales “de cesta” | 31 |
| 2.2.5.6. Secaderos horizontales de rodillos con plataforma múltiple .. | 31 |
| 2.2.5.7. Secaderos deshumidificadores | 31 |
| 2.2.5.8. Secaderos de infrarrojos y microondas | 32 |
| 2.2.6. Tratamiento superficial y decoración de productos cerámicos | 32 |
| 2.2.6.1. Texturizado de productos de arcilla | 32 |
| 2.2.6.2. Revestimientos aplicados | 32 |
| 2.2.6.3. Esmaltado, engobe y otras técnicas decorativas | 33 |
| 2.2.7. Cocción | 34 |
| 2.2.7.1. Objetivos de la cocción | 34 |
| 2.2.7.2. Cambios físico-químicos durante la cocción | 34 |
| 2.2.7.3. Hornos intermitentes (periódicos) | 35 |
| 2.2.7.4. Hornos continuos..... | 37 |
| 2.2.7.5. Cocción en horno construido con los propios ladrillos | 40 |
| 2.2.7.6. Hornos rotatorios | 40 |
| 2.2.7.7. Lechos fluidificados..... | 41 |
| 2.2.7.8. Recuperación de calor en la fase de enfriamiento | 41 |
| 2.2.8. Tratamiento posterior (acabado del producto) | 41 |
| 2.2.8.1. Mecanizado (trituración, perforación, aserrado) | 41 |
| 2.2.8.2. Pulido | 42 |
| 2.2.8.3. Enriquecimiento en carbono (productos refractarios) | 42 |
| 2.2.8.4. Pulido de ladrillos cara vista..... | 43 |
| 2.2.9. Adición de materiales auxiliares | 43 |
| 2.2.9.1. Materiales para remates (tuberías) | 43 |
| 2.2.9.2. Silicios/sustancias hidrófugas | 44 |

| | <i>Págs.</i> |
|--|--------------|
| 2.2.9.3. Materiales de aislamiento | 44 |
| 2.2.9.4. Recubrimiento y chapado (ladrillos refractarios)..... | 44 |
| 2.2.9.5. Adhesivos..... | 44 |
| 2.2.9.6. Ensamblaje final..... | 44 |
| 2.2.10. Clasificación, embalaje y almacenamiento..... | 44 |
| 2.2.11. Instalaciones de suministro y eliminación (tratamiento de gases residuales y sistemas de tratamiento de aguas residuales)..... | 45 |
| 2.2.12. Reciclado en la industria cerámica..... | 46 |
| 2.2.13. Diagrama de flujo del proceso general con diferentes fases del tratamiento | 47 |
| 2.3. Descripción de técnicas para la fabricación de productos cerámicos en cada uno de los sectores | 48 |
| 2.3.1. Ladrillos y tejas | 48 |
| 2.3.1.1. Materias primas | 50 |
| 2.3.1.2. Preparación de las materias primas..... | 54 |
| 2.3.1.3. Moldeado | 55 |
| 2.3.1.4. Secado, esmaltado y engobe..... | 56 |
| 2.3.1.5. Cocción..... | 57 |
| 2.3.1.6. Tratamiento posterior..... | 60 |
| 2.3.1.7. Flujos de entrada y salida en la fabricación de ladrillos y tejas | 60 |
| 2.3.2. Tuberías de gres vitrificado | 60 |
| 2.3.2.1. Materias primas | 60 |
| 2.3.2.2. Preparación de materias primas..... | 64 |
| 2.3.2.3. Moldeado | 65 |
| 2.3.2.4. Secado y esmaltado..... | 65 |
| 2.3.2.5. Cocción..... | 66 |
| 2.3.2.6. Tratamiento posterior..... | 66 |
| 2.3.2.7. Flujos de entrada y salida en la fabricación de tuberías de gres vitrificado | 67 |
| 2.3.3. Productos refractarios | 68 |
| 2.3.3.1. Materias primas | 68 |
| 2.3.3.2. Preparación de las materias primas..... | 70 |
| 2.3.3.3. Moldeado | 70 |
| 2.3.3.4. Secado | 71 |
| 2.3.3.5. Cocción..... | 72 |
| 2.3.3.6. Tratamiento posterior..... | 73 |
| 2.3.3.7. Procedimientos especiales | 74 |
| 2.3.3.8. Flujos de entrada y salida en la fabricación de productos refractarios..... | 74 |
| 2.3.4. Agregados de arcilla expandida..... | 74 |
| 2.3.4.1. Materias primas, aditivos y agentes auxiliares..... | 76 |
| 2.3.4.2. Sistema general y tecnología del proceso | 78 |

| | |
|--|-----|
| 2.3.4.3. Flujos de entrada y salida en la fabricación de agregados de arcilla expandida..... | 80 |
| 2.3.5. Pavimentos y revestimientos | 80 |
| 2.3.5.1. Materias primas | 82 |
| 2.3.5.2. Preparación de materias primas | 83 |
| 2.3.5.3. Moldeado | 84 |
| 2.3.5.4. Secado | 84 |
| 2.3.5.5. Cocción y esmaltado | 84 |
| 2.3.5.6. Tratamiento posterior | 86 |
| 2.3.5.7. Flujos de entrada y salida en la fabricación de pavimentos y revestimientos | 86 |
| 2.3.6. Cerámica de mesa y decoración (cerámica doméstica) | 86 |
| 2.3.6.1. Materias primas | 89 |
| 2.3.6.2. Preparación de materias primas | 90 |
| 2.3.6.3. Moldeado | 91 |
| 2.3.6.4. Secado | 92 |
| 2.3.6.5. Cocción, esmaltado y decoración | 92 |
| 2.3.6.6. Tratamiento posterior | 96 |
| 2.3.6.7. Flujos de entrada y salida en la fabricación de cerámica doméstica | 96 |
| 2.3.7. Cerámica sanitaria | 98 |
| 2.3.7.1. Materias primas | 99 |
| 2.3.7.2. Preparación de materias primas | 99 |
| 2.3.7.3. Moldeado | 99 |
| 2.3.7.4. Secado y esmaltado | 100 |
| 2.3.7.5. Cocción | 101 |
| 2.3.7.6. Tratamiento posterior | 102 |
| 2.3.7.7. Flujos de entrada y salida en la fabricación de cerámica sanitaria..... | 102 |
| 2.3.8. Cerámica técnica | 102 |
| 2.3.8.1. Materias primas | 105 |
| 2.3.8.2. Preparación de las materias primas | 106 |
| 2.3.8.3. Moldeado | 107 |
| 2.3.8.4. Mecanizado | 110 |
| 2.3.8.5. Esmaltado, engobe y metalización | 111 |
| 2.3.8.6. Secado, calentamiento para eliminar residuos y pre-cocción | 112 |
| 2.3.8.7. Cocción/sinterización | 113 |
| 2.3.8.8. Tratamiento posterior | 115 |
| 2.3.8.9. Flujos de entrada y salida en la fabricación de cerámica técnica | 115 |
| 2.3.9 Abrasivos aglomerados inorgánicos..... | 116 |
| 2.3.9.1 Materias primas | 116 |

| | <i>Págs.</i> |
|---|--------------|
| 2.3.9.2. Preparación de materias primas | 117 |
| 2.3.9.3. Moldeado | 117 |
| 2.3.9.4. Secado | 117 |
| 2.3.9.5. Cocción..... | 117 |
| 2.3.9.6. Tratamiento posterior..... | 117 |
| 2.3.9.7. Flujos de entrada y salida en la fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos..... | 118 |
| 3. NIVELES ACTUALES DE EMISIONES Y CONSUMO..... | 119 |
| 3.1. Emisiones – consideraciones generales..... | 119 |
| 3.1.1. Emisiones a la atmósfera..... | 119 |
| 3.1.1.1. Polvo (materia en partículas)..... | 119 |
| 3.1.1.2. Emisiones gaseosas..... | 119 |
| 3.1.2. Vertidos al agua | 122 |
| 3.1.3. Pérdidas/residuos del proceso de fabricación | 123 |
| 3.1.4. Emisiones sonoras..... | 124 |
| 3.1.5. Posibles orígenes y vías de emisiones..... | 124 |
| 3.2. Consumo – consideraciones generales..... | 126 |
| 3.2.1. Consumo de energía | 126 |
| 3.2.2. Consumo de agua | 126 |
| 3.2.3. Consumo de materias primas | 126 |
| 3.3. Presentación de datos de emisiones y consumo..... | 127 |
| 3.3.1. Ladrillos y tejas | 128 |
| 3.3.1.1. Datos de emisiones | 128 |
| 3.3.1.2. Datos de consumo | 139 |
| 3.3.2. Tuberías de gres vitrificado | 142 |
| 3.3.2.1. Datos de emisiones | 142 |
| 3.3.2.2. Datos de consumo | 144 |
| 3.3.3. Productos refractarios | 145 |
| 3.3.3.1. Datos de emisiones | 145 |
| 3.3.3.2. Datos de consumo | 148 |
| 3.3.4. Agregados de arcilla expandida..... | 149 |
| 3.3.4.1. Datos de emisiones | 149 |
| 3.3.4.2. Datos de consumo | 154 |
| 3.3.5. Pavimentos y revestimientos..... | 155 |
| 3.3.5.1. Datos de emisiones | 155 |
| 3.3.5.2. Datos de consumo | 161 |

| | <i>Págs.</i> |
|--|--------------|
| 3.3.6. Cerámica de mesa y de decoración (cerámica doméstica) | 163 |
| 3.3.6.1. Datos de emisiones | 163 |
| 3.3.6.2. Datos de consumo | 170 |
| 3.3.7. Cerámica sanitaria | 170 |
| 3.3.7.1. Datos de emisiones | 170 |
| 3.3.7.2. Datos de consumo | 175 |
| 3.3.8. Cerámica técnica | 176 |
| 3.3.8.1. Datos de emisiones | 176 |
| 3.3.8.2. Datos de consumo | 181 |
| 3.3.9. Abrasivos aglomerados inorgánicos | 182 |
| 3.3.9.1. Datos de emisiones | 182 |
| 3.3.9.2. Datos de consumo | 184 |
| 4. TÉCNICAS QUE DEBEN CONSIDERARSE EN LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS CERÁMICOS | 185 |
| 4.1. Reducción del consumo de energía (eficiencia energética) | 187 |
| 4.1.1. Diseño mejorado de hornos y secaderos | 187 |
| 4.1.2. Recuperación del excedente de calor de los hornos | 189 |
| 4.1.3. Cogeneración/plantas combinadas de calor y energía | 191 |
| 4.1.4. Substitución del fueloil pesado y los combustibles sólidos por combustibles de baja emisión | 194 |
| 4.1.5. Modificación de los cuerpos cerámicos | 196 |
| 4.2. Emisiones de polvo (partículas) | 198 |
| 4.2.1. Medidas para operaciones que generen polvo | 198 |
| 4.2.2. Medidas para las zonas de almacenamiento a granel | 199 |
| 4.2.3. Sistemas de separación/filtros | 201 |
| 4.2.3.1. Separadores centrífugos | 201 |
| 4.2.3.2. Filtros de bolsa | 202 |
| 4.2.3.3. Filtros de láminas sinterizadas | 206 |
| 4.2.3.4. Separadores húmedos de polvo | 208 |
| 4.2.3.5. Precipitadores electrostáticos (ESP) | 209 |
| 4.3. Compuestos gaseosos | 211 |
| 4.3.1. Reducción de la entrada de precursores de contaminantes | 211 |
| 4.3.2. Adición de aditivos ricos en calcio | 213 |
| 4.3.3. Optimización de los procesos | 216 |
| 4.3.3.1. Optimización de la curva de calentamiento | 216 |
| 4.3.3.2. Reducción de niveles de vapor de agua en los gases del horno | 218 |
| 4.3.3.3. Combustión interna del gas de carbonización | 219 |
| 4.3.3.4. Quemadores de bajo NO _x | 221 |

| | <i>Págs.</i> |
|---|--------------|
| 5.1.2. Consumo de energía | 278 |
| 5.1.3. Emisiones de polvo | 279 |
| 5.1.3.1. Emisiones difusas de polvo | 279 |
| 5.1.3.2. Emisiones canalizadas de polvo procedentes de las operaciones que lo generan | 279 |
| 5.1.3.3. Emisiones de polvo de los procesos de secado | 280 |
| 5.1.3.4. Emisiones de polvo de los procesos de cocción en horno..... | 280 |
| 5.1.4. Compuestos gaseosos | 280 |
| 5.1.4.1. Medidas/técnicas primarias | 281 |
| 5.1.4.2. Medidas/técnicas secundarias y combinadas con medidas/técnicas primarias..... | 281 |
| 5.1.5. Aguas residuales del proceso de fabricación (emisiones y consumo) . | 282 |
| 5.1.6. Lodos | 283 |
| 5.1.7. Pérdidas/residuos sólidos del proceso de fabricación..... | 283 |
| 5.1.8. Ruido | 284 |
| 5.2 Mejores técnicas disponibles por sectores..... | 284 |
| 5.2.1. Ladrillos y tejas | 285 |
| 5.2.1.1. Compuestos gaseosos/medidas/técnicas primarias: | 285 |
| 5.2.1.2. Compuestos orgánicos volátiles | 285 |
| 5.2.2. Tuberías de gres vitrificado..... | 285 |
| 5.2.2.1. Emisiones canalizadas de polvo..... | 285 |
| 5.2.3. Productos refractarios..... | 286 |
| 5.2.3.1 Compuestos orgánicos volátiles | 286 |
| 5.2.3.2 Pérdidas/residuos sólidos del proceso de fabricación..... | 286 |
| 5.2.4. Agregados de arcilla expandida..... | 286 |
| 5.2.4.1. Emisiones canalizadas de polvo..... | 286 |
| 5.2.4.2. Compuestos gaseosos/medidas/técnicas primarias..... | 287 |
| 5.2.5. Pavimentos y revestimientos..... | 287 |
| 5.2.5.1. Emisiones canalizadas de polvo..... | 287 |
| 5.2.5.2. Emisiones de polvo de los procesos de cocción en horno.... | 287 |
| 5.2.5.3. Compuestos gaseosos/medidas/técnicas secundarias | 287 |
| 5.2.5.4. Reutilización de las aguas residuales del proceso | 288 |
| 5.2.5.5. Reutilización de lodos | 288 |
| 5.2.6. Cerámica de mesa y de decoración (cerámica doméstica)..... | 288 |
| 5.2.6.1. Emisiones canalizadas de polvo..... | 288 |
| 5.2.6.2. Compuestos gaseosos/medidas/técnicas secundarias | 288 |
| 5.2.6.3. Reutilización de las aguas residuales del proceso | 289 |
| 5.2.6.4. Pérdidas/residuos sólidos del proceso | 289 |

| | <i>Págs.</i> |
|---|--------------|
| 5.2.7. Cerámica sanitaria | 289 |
| 5.2.7.1. Emisiones canalizadas de polvo..... | 289 |
| 5.2.7.2. Compuestos gaseosos/medidas/técnicas secundarias | 289 |
| 5.2.7.3. Reutilización de las aguas residuales del proceso | 289 |
| 5.2.7.4. Pérdidas/residuos sólidos del proceso | 290 |
| 5.2.8. Cerámica técnica..... | 290 |
| 5.2.8.1. Emisiones canalizadas de polvo..... | 290 |
| 5.2.8.2. Compuestos gaseosos/medidas/técnicas secundarias | 290 |
| 5.2.8.3. Compuestos orgánicos volátiles | 290 |
| 5.2.8.4. Pérdidas/residuos sólidos del proceso | 291 |
| 5.2.9 Abrasivos aglomerados inorgánicos..... | 291 |
| 5.2.9.1. Compuestos orgánicos volátiles | 291 |
| 6. TÉCNICAS EMERGENTES PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS CERÁMICOS | 293 |
| 6.1. Quemadores de tubo radiante | 293 |
| 6.2. Cocción asistida por microondas y secaderos de microondas | 294 |
| 6.3. Nuevo tipo de sistema de secado para productos refractarios | 295 |
| 6.4. Gestión avanzada de las aguas residuales del proceso con recuperación integrada de los esmaltares..... | 296 |
| 6.5. Esmaltado sin plomo de porcelana de alta calidad para vajilla | 299 |
| 7. OBSERVACIONES FINALES..... | 301 |
| 8. REFERENCIAS | 305 |
| 9. GLOSARIO | 307 |

LISTA DE FIGURAS

Pág.

| | |
|---|----|
| Figura 1.1: Fases de la fabricación de productos cerámicos | 2 |
| Figura 2.1: Rangos de temperaturas de maduración industrial para distintos grupos de productos..... | 35 |
| Figura 2.2: Sección transversal de un horno de vagoneta..... | 36 |
| Figura 2.3: Vista esquemática de un horno de túnel..... | 38 |
| Figura 2.4: Sección transversal de un horno de túnel con carro | 38 |
| Figura 2.5: Sección transversal de un horno de solera con rodillos | 39 |
| Figura 2.6: Diagrama de flujo del proceso general con diferentes fases del tratamiento | 47 |
| Figura 2.7: Vista esquemática de la fabricación de tejas prensadas | 48 |
| Figura 2.8: Vista esquemática de la preparación de ladrillos extrusionados en la fabricación de ladrillos para la construcción..... | 49 |
| Figura 2.9: Distribución de contenido de fluoruro en las arcillas italianas..... | 52 |
| Figura 2.10: Distribución de contenido de cloruro en las arcillas italianas..... | 52 |
| Figura 2.11: Distribución de contenido de azufre en las arcillas italianas | 53 |
| Figura 2.12: Contenido de azufre en las arcillas | 54 |
| Figura 2.13: Flujos de entrada y salida en la fabricación de ladrillos y tejas..... | 61 |
| Figura 2.14: Vista esquemática de la fabricación de tuberías de gres vitrificado.. | 62 |
| Figura 2.15: Flujos de entrada y salida en la fabricación de tuberías de gres vitrificado | 67 |
| Figura 2.16: Vista esquemática de la fabricación de ladrillos básicos con mineral de cromo | 69 |
| Figura 2.17: Flujos de entrada y salida en la fabricación de productos refractarios | 75 |
| Figura 2.18: Vista esquemática de la fabricación de agregados de arcilla expandida | 76 |
| Figura 2.19: Flujos de entrada y salida en la fabricación de agregados de arcilla expandida | 81 |
| Figura 2.20: Vista esquemática de la fabricación de pavimentos y revestimientos .. | 82 |
| Figura 2.21: Flujos de entrada y salida importantes del proceso de pavimentos y revestimientos | 87 |

| | |
|---|-----|
| Figura 2.22: Vista esquemática de la fabricación de porcelana de mesa | 88 |
| Figura 2.23: Flujos de entrada y salida en la fabricación de cerámica doméstica . | 97 |
| Figura 2.24: Vista esquemática de la fabricación de cerámica sanitaria | 98 |
| Figura 2.25: Flujos de entrada y salida en la fabricación de cerámica sanitaria . . | 103 |
| Figura 2.26: Vista esquemática de un proceso de fabricación de aislantes eléctricos | 105 |
| Figura 2.27: Vista esquemática de un proceso de fabricación de catalizadores cerámicos | 105 |
| Figura 2.28: Mecanizado verde, blanco y duro en la fabricación de cerámica técnica . | 110 |
| Figura 2.29: Flujos de entrada y salida en la fabricación de cerámica técnica . . . | 115 |
| Figura 2.30: Flujos de entrada y salida en la fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos | 118 |
| Figura 3.1: Distribución del fluoruro liberado en el sector de ladrillos y tejas de Italia | 130 |
| Figura 3.2: Distribución del cloruro liberado en el sector de ladrillos y tejas de Italia | 130 |
| Figura 3.3: Emisiones de SO _x en Alemania, Reino Unido y Bélgica | 131 |
| Figura 3.4: Ejemplo de flujo másico para la fabricación de ladrillos para la construcción | 141 |
| Figura 3.5: Ejemplo de flujo másico para la fabricación de tuberías de gres vitrificado | 145 |
| Figura 3.6: Ejemplo de flujo másico para la fabricación de ladrillos periclasacromito | 150 |
| Figura 3.7: Ejemplo de flujo másico para la fabricación de cerámica de mesa . . . | 171 |
| Figura 3.8: Ejemplo de flujo másico para la fabricación de cerámica sanitaria . . | 177 |
| Figura 4.1: Vista esquemática de un ejemplo de un sistema de reciclado térmico combinado | 190 |
| Figura 4.2: Vista esquemática de la generación de aire caliente con un motor de gas de cogeneración | 193 |
| Figura 4.3: Vista esquemática de un filtro de bolsa con regeneración por impulsos de presión | 203 |
| Figura 4.4: Ejemplos de costes de inversión como parte de los costes anuales para plantas filtradoras, excluidas las bolsas filtrantes y la instalación . . | 204 |
| Figura 4.5: Vista esquemática de un filtro de láminas sinterizadas rígido | 206 |
| Figura 4.6: Gamas de temperatura de un ejemplo de curva de temperatura para la liberación de contaminantes durante la cocción de ladrillos | 217 |

Págs.

| | |
|--|-----|
| Figura 4.7: Vista esquemática de la combustión interna de los gases de carbonización | 220 |
| Figura 4.8: Ilustración de un adsorbente de flujo cruzado tipo cascada..... | 223 |
| Figura 4.9: Diagrama de proceso de un adsorbente de lecho fijo de tipo cascada con un tambor de exfoliado..... | 224 |
| Figura 4.10: Vista esquemática de un sistema adsorbente modular alveolar | 227 |
| Figura 4.11: Vista esquemática de la limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro de bolsa..... | 229 |
| Figura 4.12: Vista esquemática de la limpieza en seco de los gases de combustión con un precipitador electrostático..... | 230 |
| Figura 4.13: Ilustración de una unidad de limpieza en húmedo de los gases de combustión | 233 |
| Figura 4.14: Vista esquemática del sistema de postcombustión térmica de un termorreactor (sistema de tres cámaras) | 238 |
| Figura 4.15: Conducción de gas en un sistema de postcombustión térmica exterior | 239 |
| Figura 4.16: Diagrama de flujo de una planta de purificación de aguas residuales del proceso de fabricación | 252 |
| Figura 4.17: Vista esquemática de una instalación de reciclado de lodos | 255 |

LISTA DE TABLAS

| | <i>Págs.</i> |
|--|--------------|
| Tabla 1.1: Cifras de producción, ventas y empleo en la fabricación cerámica | 4 |
| Tabla 1.2: Consumo de energía específico en la industria cerámica en Europa | 5 |
| Tabla 1.3: Proporción de combustibles utilizados en Alemania por sector en 1998. | 6 |
| Tabla 1.4: La industria de las tuberías de gres vitrificado en Europa. | 9 |
| Tabla 1.5: Fabricación de productos refractarios en la UE-15 para el año 2001/2002 . . | 11 |
| Tabla 1.6: Clasificación simplificada de las baldosas de cerámica | 13 |
| Tabla 1.7: Consumo de energía por cada Estado miembro (consumo de energía específico en TJ por cada 1.000 toneladas producidas) | 14 |
| Tabla 1.8: Producción de cerámica de mesa y de decoración. | 14 |
| | |
| Tabla 2.1: Rangos de composiciones químicas y mineralógicas de las materias primas arcillosas aplicadas en la industria de ladrillos y tejas en los distintos países europeos. | 51 |
| Tabla 2.2: Datos operativos de los hornos de túnel | 58 |
| Tabla 2.3: Comparativa de hornos de túnel clásicos y métodos de cocción rápida (tejas). | 58 |
| Tabla 2.4: Datos operativos de los hornos de túnel de cocción rápida | 59 |
| Tabla 2.5: Composición mineralógica de la arcilla en la fabricación de tuberías de gres vitrificado | 63 |
| Tabla 2.6: Composición química de la arcilla en la fabricación de tuberías de gres vitrificado | 63 |
| Tabla 2.7: Datos operativos de los hornos de túnel | 66 |
| Tabla 2.8: Los óxidos más utilizados en las operaciones de fusión. | 69 |
| Tabla 2.9: Datos operativos de los secaderos que funcionan de forma discontinua (secaderos de cámara) | 71 |
| Tabla 2.10: Datos operativos de dos secaderos de túnel y un secadero con entorno controlado | 72 |
| Tabla 2.11: Datos operativos de los hornos de túnel utilizados en la industria refractaria | 73 |
| Tabla 2.12: Datos operativos de los hornos de vagoneta | 73 |
| Tabla 2.13: Ejemplos de aditivos y agentes auxiliares que mejoran la expansión . | 77 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabla 2.14: | Datos operativos de hornos de túnel y de hornos de solera con rodillos | 85 |
| Tabla 2.15: | Intervalos típicos de la composición mineralógica de las materias primas para la fabricación de cerámica doméstica | 89 |
| Tabla 2.16: | Intervalos típicos de la composición química de las materias primas para la fabricación de cerámica doméstica | 89 |
| Tabla 2.17: | Datos operativos de un horno de vagoneta | 93 |
| Tabla 2.18: | Datos operativos de los hornos de túnel | 94 |
| Tabla 2.19: | Datos operativos de decoración sobre esmalte | 95 |
| Tabla 2.20: | Datos operativos de cocción en esmalte y bajo esmalte | 96 |
| Tabla 2.21: | Datos operativos de los secaderos que funcionan de forma discontinua (secaderos de cámara) | 100 |
| Tabla 2.22: | Datos operativos de los hornos de túnel | 101 |
| Tabla 2.23: | Datos operativos de los hornos de vagoneta | 101 |
| Tabla 2.24: | Temperaturas de sinterización para materiales cerámicos técnicos .. | 113 |
| | | |
| Tabla 3.1: | Resumen de los posibles orígenes y vías de emisiones en la industria cerámica | 124 |
| Tabla 3.2: | Intervalos de emisiones de gases de combustión crudos del proceso de cocción en la fabricación de ladrillos y tejas | 129 |
| Tabla 3.3: | Datos operativos del gas crudo con distintos combustibles | 131 |
| Tabla 3.4: | Valores de gas crudo con distintos agentes porosos | 132 |
| Tabla 3.5: | Concentraciones medias de gas limpio (bloques de arcilla porosos) y los correspondientes factores de emisiones relacionados con el producto correspondiente | 132 |
| Tabla 3.6: | Concentraciones de gases limpios de las plantas de ladrillos para la construcción | 133 |
| Tabla 3.7: | Concentraciones de gases limpios de las plantas de ladrillos clínker y plantas de tejas | 135 |
| Tabla 3.8: | Valores de emisiones de gases crudos y limpios en la fabricación de bloques de arcilla | 136 |
| Tabla 3.9: | Valores de emisiones de gases crudos y limpios en la fabricación de ladrillos cara vista | 137 |
| Tabla 3.10: | Datos de consumo de energía por tonelada de producto de las instalaciones para la fabricación de ladrillos y tejas | 140 |
| Tabla 3.11: | Consumo de energía específico para el sector de ladrillos y tejas ... | 140 |
| Tabla 3.12: | Concentración máxima de gas limpio en la fabricación de tuberías de gres vitrificado | 142 |

Págs.

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabla 3.13: | Consumo de energía específico en la fabricación de tuberías de gres vitrificado | 144 |
| Tabla 3.14: | Valores de gas crudo de diferentes productos refractarios | 146 |
| Tabla 3.15: | Emisiones de hornos para productos refractarios no básicos | 146 |
| Tabla 3.16: | Valores de gas crudo para procedimientos especiales | 147 |
| Tabla 3.17: | Datos de consumo de energía para la fabricación de ladrillos refractarios de magnesia, por kilo de producto..... | 149 |
| Tabla 3.18: | Intervalos de valores de emisiones de polvo de la parte descendente de primera trituración de un filtro de tejido..... | 151 |
| Tabla 3.19: | Intervalos de valores de emisiones reales de la parte descendente de desbastado por vía seca del sistema de filtro correspondiente | 151 |
| Tabla 3.20: | Intervalos de valores de emisiones de polvo de la parte descendente de granulación de un filtro de tejido | 152 |
| Tabla 3.21: | Intervalos de valores de emisiones de la parte descendente de los procesos de cocción de los sistemas de filtro correspondiente..... | 152 |
| Tabla 3.22: | Valores de emisiones de polvo de las unidades de cribado | 153 |
| Tabla 3.23: | Valores de efluentes de lavadores de gases húmedos | 153 |
| Tabla 3.24: | Mezcla de materias primas en la producción de agregados de arcilla expandida | 155 |
| Tabla 3.25: | Datos operativos y valores de gas crudo de las unidades de secado por pulverización | 156 |
| Tabla 3.26: | Datos operativos y valores de gas crudo de los secaderos..... | 157 |
| Tabla 3.27: | Datos operativos y valores de gas crudo de la cocción..... | 158 |
| Tabla 3.28: | Emisiones gaseosas de las diferentes fases de los procesos de fabricación de pavimentos y revestimientos | 159 |
| Tabla 3.29: | Ánalysis químico de las aguas residuales del proceso de fabricación sin tratar..... | 160 |
| Tabla 3.30: | Intervalos de los principales componentes químicos del lodo (fabricación de pavimentos y revestimientos) | 161 |
| Tabla 3.31: | Ejemplos de requisitos de energía específicos de los diferentes hornos | 162 |
| Tabla 3.32: | Comparativa del consumo específico de la energía térmica y la energía eléctrica para cada etapa del proceso | 162 |
| Tabla 3.33: | Datos operativos y valores de emisiones de polvo de gas limpio de un secadero atomizador | 163 |
| Tabla 3.34: | Valores de gas crudo y datos operativos en la cocción de cerámica doméstica | 164 |
| Tabla 3.35: | Valores de gas crudo y limpio en el proceso de cocción de una sola vez de cerámica doméstica | 165 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabla 3.36: | Sistemas de pigmentos cerámicos empleados para los colores de decoración | 166 |
| Tabla 3.37: | Concentraciones de metales pesados en el gas crudo de la cocción de decoración | 166 |
| Tabla 3.38: | Ánalisis de aguas residuales del proceso de fabricación de un fabricante de cerámica de mesa de porcelana | 168 |
| Tabla 3.39: | Ánalisis de aguas residuales del proceso de fabricación de una planta de cerámica doméstica | 168 |
| Tabla 3.40: | Datos de consumo de energía térmica y eléctrica de un fabricante de cerámica de mesa de porcelana | 170 |
| Tabla 3.41: | Ejemplo de composiciones de gas crudo y limpio de un horno de túnel | 172 |
| Tabla 3.42: | Concentraciones de gas crudo de hornos de túnel y vagoneta | 172 |
| Tabla 3.43: | Ejemplos de concentraciones de gas limpio de dos plantas de cerámica sanitaria | 173 |
| Tabla 3.44: | Concentraciones de contaminantes en aguas residuales del proceso de limpiado | 174 |
| Tabla 3.45: | Datos operativos y rendimiento de los diferentes hornos | 175 |
| Tabla 3.46: | Datos de consumo de energía | 176 |
| Tabla 3.47: | Concentraciones de gas crudo en la cocción de aislantes térmicos... | 177 |
| Tabla 3.48: | Concentraciones de gases de combustión de un horno de vagoneta durante la cocción de aislantes eléctricos | 178 |
| Tabla 3.49: | Concentraciones en el agua residual del proceso de limpiado de aislantes eléctricos | 179 |
| Tabla 3.50: | Concentraciones en el agua residual de un fabricante de aislantes eléctricos tras la floculación | 180 |
| Tabla 3.51: | Concentraciones en el agua residual limpia de un fabricante de productos piezoeléctricos | 180 |
| Tabla 3.52: | Datos de consumo de energía de dos plantas de electroporcelana ... | 181 |
| Tabla 3.53: | Composiciones de la materia prima para la fabricación de electroporcelana | 182 |
| Tabla 3.54: | Ejemplos de valores de gas de combustión de tres plantas en las que se fabrican abrasivos aglomerados inorgánicos..... | 183 |
| Tabla 3.55: | Consumo de energía global de tres fabricantes de abrasivos aglomerados inorgánicos | 184 |
| Tabla 3.56: | Datos de consumo de materias primas de tres fabricantes de abrasivos aglomerados inorgánicos..... | 184 |

| | <i>Págs.</i> |
|---|--------------|
| Tabla 4.1: Información desglosada para las técnicas descritas en este capítulo . | 186 |
| Tabla 4.2: Ejemplos de resistencia térmica y precios de las bolsas filtrantes | 204 |
| Tabla 4.3: Ejemplos de datos operativos de la eliminación de polvo con filtros de tejido | 204 |
| Tabla 4.4: Datos operativos y de costes típicos de los precipitadores electrostáticos | 210 |
| Tabla 4.5: Parámetros técnicos, de eficiencia, consumo y costes para técnicas de limpieza de gases de combustión | 242 |
| Tabla 4.6: Eficiencias de reducción relativas a la dependencia del contenido de azufre en la materia prima | 243 |
| Tabla 4.7: Costes relativos a la reducción de polvo, compuestos gaseosos inorgánicos y orgánicos mediante el uso de distintas técnicas de reducción | 245 |
| Tabla 4.8: Índices de reciclado de aguas residuales del proceso de fabricación que se alcanzan en diferentes sectores de la industria cerámica | 249 |
| | |
| Tabla 5.1: Niveles de emisión con relación a las MTD para compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos | 282 |
| Tabla 5.2: Niveles de emisión de contaminantes en los vertidos de aguas residuales con relación a las MTD | 283 |
| | |
| Tabla 7.1: Calendario del proceso de trabajo para la redacción del documento BREF sobre fabricación de productos cerámicos | 301 |

Resumen Ejecutivo

El BREF (documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD)), titulado «Fabricación cerámica (CER)», recoge el intercambio de información efectuado con arreglo a lo dispuesto en el artículo 16 apartado 2 de la Directiva del Consejo 96/61/CE (Directiva IPPC). El presente resumen ejecutivo describe los principales resultados, así como un resumen de las conclusiones más relevantes sobre las MTD y los niveles de consumo y emisiones asociados. Conviene leerlo junto con el prefacio, donde se presentan los objetivos de este documento, cómo debe consultarse y la terminología legal. Se puede leer y comprender de forma independiente pero, dado que se trata de un resumen, no es tan completo como el documento íntegro; por este motivo, no pretende sustituir al documento en la toma de decisiones referentes a las MTD. Cabe señalar que este resumen no puede interpretarse correctamente a menos que se lea junto con los capítulos 4 y 5.

Ámbito de aplicación de este documento

Este documento hace referencia a las actividades industriales especificadas en la sección 3.5 del anexo I de la Directiva 96/61/CE, a saber:

«3.5. Instalaciones para la fabricación de productos cerámicos mediante la cocción, en concreto, de tejas, ladrillos, ladrillos refractarios, azulejos, gres cerámico o porcelanas, con una capacidad de producción superior a 75 toneladas por día y/o una capacidad de horno de más de 4 m³ y de más de 300 kg/m³ de densidad de carga por horno».

A efectos del presente documento, las actividades industriales contempladas en esta descripción se denominan «industria cerámica». Los principales sectores que se basan en los productos cerámicos manufacturados (cerámica) son los siguientes:

- pavimentos y revestimientos;
- ladrillos y tejas;
- cerámica de mesa y de decoración (cerámica doméstica);
- productos refractarios;
- cerámica sanitaria;
- cerámica técnica;
- tuberías de gres vitrificado;
- agregados de arcilla expandida;
- abrasivos aglomerados inorgánicos.

Además de las actividades básicas de fabricación, este documento abarca todas las actividades directamente relacionadas que podrían tener un impacto en las emisiones o en la contaminación. Por lo tanto, incluye procesos desde la preparación de materias primas hasta la expedición de productos acabados. Quedan excluidas determinadas actividades como la extracción de materias primas ya que no se consideran directamente relacionadas con la actividad primaria.

La industria cerámica

En general, el término «cerámica» (productos cerámicos) se utiliza para materiales inorgánicos (que pueden tener parte de contenido orgánico), formados por compuestos no metálicos y estabilizados mediante un proceso de cocción. Además de los materiales a base de arcilla, hoy en día existen en cerámica multitud de productos con una pequeña porción de arcilla o sin ningún contenido de la misma. La cerámica puede ser esmaltada o no esmaltada, porosa o vitrificada.

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

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

Cuestiones medioambientales clave

En función de los procesos específicos de producción, las instalaciones de fabricación de productos cerámicos generan determinadas emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo (residuos). Asimismo, el medio ambiente puede verse afectado por el ruido y por olores desagradables. El tipo y el nivel de contaminación atmosférica, residuos y aguas residuales dependen de diferentes parámetros. Esos

parámetros son, por ejemplo, las materias primas, los agentes auxiliares, los combustibles y los métodos de producción utilizados:

- emisiones a la atmósfera: la fabricación de productos cerámicos puede dar lugar a emisiones de partículas/polvo, hollín, gases (óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, compuestos fluorados y clorados inorgánicos y metales pesados);
- vertidos al agua: las aguas residuales del proceso de fabricación contienen principalmente elementos minerales (partículas insolubles) y también otros materiales inorgánicos, pequeñas cantidades de materiales orgánicos y algunos metales pesados;
- pérdidas/residuos del proceso de fabricación: las pérdidas del proceso derivadas de la fabricación de productos cerámicos consisten, sobre todo, en diferentes tipos de lodo, piezas rotas, moldes de yeso usados, agentes de absorción y adsorción usados, residuos sólidos (polvo, cenizas) y residuos de envases;
- consumo de energía/emisiones de CO₂: todos los sectores de la industria cerámica muestran un consumo intensivo de energía ya que una parte fundamental del proceso es el secado seguido de la cocción a temperaturas comprendidas entre 800 y 2.000 °C. En la actualidad, para la cocción se utilizan principalmente el gas natural, el gas licuado de petróleo (propano y butano) y el fueloil EL mientras que el fueloil pesado, el gas natural licuado (GNL), el biogás/la biomasa, la electricidad y los combustibles sólidos (p. ej. el carbón y el coque de petróleo) pueden utilizarse también como fuentes de energía para los quemadores.

Procesos y técnicas aplicados

La fabricación de productos cerámicos puede llevarse a cabo utilizando diferentes tipos de hornos, con una amplia gama de materias primas y con diversas formas, tamaños y colores. No obstante, el proceso general de fabricación de productos cerámicos es bastante uniforme, aunque en el caso de pavimentos y revestimientos, cerámica doméstica, sanitaria y técnica, es necesario llevar a cabo con frecuencia un proceso de cocción en varias etapas.

Por lo general, las materias primas se mezclan, moldean, prensan o extrudan hasta darles forma. El agua se utiliza normalmente para conseguir una mezcla y un moldeado minucioso. Esa agua se evapora en secaderos y los productos se colocan manualmente en el horno –especialmente en el caso de los hornos de vagoneta que funcionan de forma discontinua o en vagones que pasan a través de los hornos de rodillos o de túnel–, que funcionan de forma continua. Para la fabricación de agregados de arcilla expandida se utilizan hornos rotatorios.

Durante la cocción se requiere un gradiente de temperatura muy preciso para conseguir el tratamiento adecuado de los productos. Después, es necesario un enfriamiento controlado de manera que los productos liberen gradualmente el calor y conserven su estructura cerámica. Por último, se procede al embalaje y al almacenamiento de los productos para su entrega.

Emisiones y consumo

Emisiones

El tratamiento de las arcillas y de otras materias primas cerámicas provoca inevitablemente la formación de polvo, especialmente, en el caso de materiales secos. El secado (incluyendo la atomización), la fragmentación o molienda (trituración y molturación), el cribado, la mezcla y el transporte pueden causar la liberación de polvo fino. También se forma cierto polvo durante la decoración y la cocción, así como durante el mecanizado o el acabado de los artículos cocidos. Las emisiones de polvo a la atmósfera no sólo se derivan del uso de materias primas, tal y como se indica más arriba, sino también de los combustibles empleados.

Los compuestos gaseosos liberados durante el secado y la cocción proceden principalmente de materias primas, pero los combustibles también contribuyen a la emisión de contaminantes gaseosos, en concreto, SO_x , NO_x , HF, HCl, COV y metales pesados.

Las aguas residuales del proceso de fabricación se generan, sobre todo, por el lavado y la suspensión de los materiales arcillosos en agua corriente durante el proceso de fabricación y la limpieza de los equipos, pero también se producen vertidos al agua durante el funcionamiento de los lavadores de gases residuales por vía húmeda. El agua añadida directamente a la mezcla de cuerpos cerámicos se evapora posteriormente al aire durante las fases de secado y de cocción.

Los materiales perdidos durante el proceso de fabricación pueden reciclarse y reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables in situ pueden utilizarse en otras industrias o entregarse a instalaciones externas para su reciclado o eliminación.

Consumo

En la industria cerámica la energía se utiliza principalmente para la cocción en el horno. En numerosos procesos también se consume mucha energía con el secado de productos semielaborados o artículos moldeados.

El agua se utiliza en casi todos los procesos cerámicos y su buena calidad es esencial para la preparación de arcillas y barbotinas de esmaltado, masas de arcilla para extrusión, «barros» para moldear, polvos atomizados, trituración/molturación por vía húmeda y operaciones de lavado o limpieza.

La industria cerámica utiliza una amplia gama de materias primas. Estas incluyen los principales materiales de formación de los cuerpos cerámicos, que requieren grandes cantidades, y diversos aditivos, aglutinantes y materiales de decoración aplicados sobre la superficie, que se utilizan en menor medida.

Técnicas que deben considerarse a la hora de determinar las MTD

Entre las cuestiones importantes para la aplicación de la Directiva IPPC en la industria cerámica figuran las emisiones a la atmósfera y al agua, la eficiencia energética, la utilización de materias primas y agua, la minimización, la recuperación y reciclado de las pérdidas/residuos y aguas residuales de los procesos y los sistemas de gestión eficaces.

Estas cuestiones se abordan a través de una serie de técnicas integradas en los procesos o al final de proceso, teniendo en cuenta su aplicabilidad en cada uno de los nueve sectores cerámicos. El documento presenta, a este respecto, unas 50 técnicas para la prevención y el control de la contaminación dentro de los siguientes siete apartados temáticos:

Reducción del consumo de energía (eficiencia energética)

La elección de la fuente de energía, la técnica de cocción y el método de recuperación del calor es fundamental para el diseño del horno. De la misma manera, estos son algunos de los factores más importantes que determinan la actuación medioambiental y la eficiencia energética de los procesos de fabricación.

A continuación se enumeran las principales técnicas para reducir el consumo de energía, que pueden aplicarse juntas o por separado, y que se analizan de manera detallada en este documento:

- mejora del diseño de hornos y secaderos;
- recuperación del excedente de calor de los hornos;
- cogeneración/plantas combinadas de calor y energía;
- sustitución del fueloil pesado y de los combustibles sólidos por combustibles de baja emisión;
- modificación de los cuerpos cerámicos.

Emisiones de polvo (partículas)

Para evitar las emisiones difusas y canalizadas de polvo, se describen las siguientes medidas y técnicas, que pueden aplicarse juntas o por separado. Son las siguientes:

- medidas para operaciones que generen polvo;
- medidas para zonas de almacenamiento a granel;
- sistemas de separación/filtros.

Compuestos gaseosos

Para evitar las emisiones de contaminantes gaseosos (en particular SO_{x} , NO_{x} , HF, HCl, COV), se describen las siguientes medidas y técnicas primarias y secundarias, que pueden aplicarse juntas o por separado. Son las siguientes:

- reducción de la entrada de precursores de contaminantes;
- adición de aditivos ricos en calcio;
- optimización de los procesos;
- plantas de adsorción y absorción;
- postcombustión.

Aguas residuales del proceso de fabricación

Los objetivos y las soluciones para reducir las aguas residuales del proceso (vertidos y consumo) se presentan en forma de medidas de optimización del proceso y sistemas de tratamiento de aguas residuales. La reducción de los vertidos y la disminución del consumo pueden lograrse, en general, combinando estas medidas.

Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

Los objetivos para reducir las pérdidas/residuos del proceso de fabricación y las soluciones correspondientes se presentan, en lo que se refiere a los lodos generados por la fabricación de productos cerámicos y a las pérdidas/residuos sólidos, en forma de medidas y técnicas de optimización del proceso, reciclado y reutilización. Para reducir las pérdidas/residuos del proceso de fabricación se suelen combinar, por lo general, esas medidas o técnicas.

Consideraciones generales sobre el ruido

Existe la posibilidad de reducir el ruido producido durante las diferentes etapas del proceso de fabricación de los productos cerámicos. Se presenta un resumen y una visión general sobre cómo reducir el ruido.

Herramientas/sistemas de gestión medioambiental

Los sistemas de gestión medioambiental son esenciales para minimizar el impacto medioambiental de las actividades industriales. Estos sistemas incluyen algunas medidas especialmente importantes para la industria cerámica. Por consiguiente, en este documento se presentan esos sistemas de gestión medioambiental en forma de herramientas que las empresas pueden utilizar para abordar, de una manera sistemática y objetiva, las cuestiones referentes al diseño, construcción, mantenimiento, funcionamiento y desmantelamiento.

MTD para la fabricación de productos cerámicos

El capítulo sobre las MTD (capítulo 5) identifica estas técnicas consideradas MTD de manera general. Se basa principalmente en la información del capítulo 4 y tiene en cuenta la definición de mejores técnicas disponibles establecida en el artículo 2(11) y las consideraciones enumeradas en el anexo IV de la Directiva. Tal y como se describe de una manera más completa en el prefacio, el capítulo sobre las MTD no establece ni propone valores límite de emisión, sino que sugiere valores de consumo y de emisión asociados a la utilización de las MTD, así como una selección de las MTD. La determinación de las condiciones de autorización adecuadas implicará tener en consideración los factores locales y específicos del emplazamiento, las características técnicas de la instalación en cuestión, su ubicación geográfica y las condiciones medioambientales locales. En el caso de instalaciones ya existentes también debe tenerse en cuenta la viabilidad económica y técnica de su modernización.

Los siguientes párrafos resumen las principales conclusiones sobre las MTD para la industria cerámica en relación con las cuestiones medioambientales más pertinentes. Las conclusiones sobre las MTD se establecen a dos niveles: la sección 5.1 presenta las conclusiones sobre las MTD genéricas, es decir, las que se aplican, por norma general, a toda la industria cerámica, y la sección 5.2 incluye conclusiones sobre las MTD más específicas, en definitiva, aquellas que corresponden a cada uno de los nueve sectores cerámicos analizados más importantes. Las «mejores técnicas disponibles» para una instalación determinada consisten normalmente en la aplicación de una o varias de las técnicas y medidas enumeradas en el capítulo correspondiente, dentro de la sección genérica o de la sección específica de cada sector.

Es necesario señalar que en este resumen ejecutivo las conclusiones sobre las MTD del documento se presentan de forma sucinta. Las conclusiones completas sobre las MTD figuran en las secciones correspondientes del capítulo 5 de este documento.

MTD genéricas

La sección de las MTD genéricas incluye las conclusiones generales sobre las MTD aplicables a los nueve sectores presentados y descritos en detalle en este documento.

Es necesario mencionar que en este resumen ejecutivo las conclusiones sobre las MTD del documento se presentan de forma sucinta. Debe subrayarse, una vez más, que este resumen sobre las MTD y los niveles de emisión asociados sólo pueden interpretarse correctamente si se lee junto con el capítulo 4 y con las conclusiones completas sobre las MTD que figuran en el capítulo 5 de este documento.

Gestión medioambiental

Aplicar y respetar un sistema de gestión medioambiental que incorpore, en función de las circunstancias concretas, las características enumeradas en la sección 5.1.1 de este documento.

Consumo de energía

Reducir el consumo de energía combinando las técnicas que se enumeran en la sección 5.1.2.a de este documento y que pueden resumirse como sigue:

- mejora del diseño de hornos y secaderos;
- recuperación del excedente de calor de los hornos, especialmente en la zona de refrigeración;
- sustitución del combustible utilizado en el proceso de cocción (sustitución del fueloil pesado y los combustibles sólidos por combustibles de baja emisión);
- modificación de los cuerpos cerámicos.

Reducir el consumo de energía primaria mediante instalaciones de cogeneración de calor y energía en función de la demanda de calor útil, con arreglo a sistemas de regulación energética económicamente viables.

Emisiones difusas de polvo

Reducir las emisiones difusas de polvo mediante la aplicación de varias de las técnicas que se enumeran en la sección 5.1.3.1 de este documento y que pueden resumirse como medidas para las operaciones que generan polvo y medidas para las zonas de almacenamiento a granel.

Emisiones canalizadas de polvo procedentes de las operaciones que lo generan aparte del secado, la atomización o la cocción

Reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de las operaciones que lo generan a 1 –10 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros

de bolsa. El intervalo puede ser más amplio en función de las condiciones específicas de funcionamiento.

Emisiones de polvo de los procesos de secado

Mantener las emisiones de polvo en los procesos de secado en el intervalo de 1 –20 mg/m³, como valor medio diario, mediante la limpieza del secadero, evitando la acumulación de residuos de polvo en su interior y adoptando protocolos de mantenimiento adecuados.

Emisiones de polvo procedentes de los procesos de cocción

Reducir las emisiones de polvo procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en el horno a 1-20 mg/m³, como valor medio diario, mediante una combinación de varias de las técnicas que se enumeran en la sección 5.1.3.4 de este documento. Estas técnicas pueden resumirse como la utilización de combustibles con bajo contenido en ceniza y la minimización de la formación de polvo en el momento en el que se cargan aquellos productos que deben cocerse en el horno.

La limpieza en seco de los gases de combustión por medio de filtros, con un nivel de emisión de polvo inferior a 20 mg/m³ de los gases de combustión depurados, constituye una MTD, y el uso de adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada, con un nivel de emisión de polvo inferior a 50 mg/m³ de los gases de combustión depurados, se considera otra MTD (para los agregados de arcilla expandida, véanse las MTD específicas del sector).

Compuestos gaseosos, medidas/técnicas primarias

Reducir las emisiones de compuestos gaseosos (HF, HCl, SO_x, COV y metales pesados) procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos mediante la aplicación de una o varias de las técnicas que se enumeran en la sección 5.1.4.1 de este documento. En resumen, estas técnicas consisten en reducir la entrada de precursores de contaminantes y optimizar la curva de calentamiento.

Mantener las emisiones de NO_x procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción de los hornos por debajo de los 250 mg/m³, como valor medio diario expresado como NO₂, para temperaturas de los gases de los hornos inferiores a 1300 °C, o por debajo de 500 mg/m³, como valor medio diario expresado como NO₂, para temperaturas de los gases de los hornos iguales o superiores a 1300 °C, combinando las medidas/técnicas primarias enumeradas en las secciones 4.3.1 y 4.3.3 del documento (para los agregados de arcilla expandida, véanse las MTD específicas del sector).

Mantener las emisiones de NO_x procedentes de los gases residuales de los motores de cogeneración por debajo de los 500 mg/m³, como valor medio diario expresado como NO₂, mediante la aplicación de medidas de optimización de los procesos.

Compuestos gaseosos, medidas/técnicas secundarias en combinación con medidas/técnicas primarias

Reducir las emisiones de compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción de los hornos mediante la aplicación de una o varias de las técnicas enumeradas en la sección 5.1.4.2 de este documento, que pueden resumirse como adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada y limpieza de gases con filtros secos.

El siguiente cuadro, correspondiente a la sección 5.1.4.2, muestra los niveles de emisión de las MTD (NE-MTD) para los compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción de los hornos mediante una combinación de las medidas/técnicas primarias establecidas en la sección 5.1.4.1.a y/o de las medidas/técnicas secundarias establecidas en la sección 5.1.4.2 de este documento.

| Parámetro | Unidad, expresada como valor medio diario | NEA MTD ¹⁾ |
|---|---|---------------------------|
| Fluoruro, expresado como HF | mg/m ³ | 1 – 10 ²⁾ |
| Cloruro, expresado como HCl | mg/m ³ | 1 – 30 ³⁾ |
| SO _x expresado como SO ₂ Contenido de azufre en la materia prima ≤0,25 % | mg/m ³ | <500 |
| SO _x expresado como SO ₂ Contenido de azufre en la materia prima >0,25 % | mg/m ³ | 500 – 2.000 ⁴⁾ |

¹⁾ Los intervalos dependen del contenido de contaminante (precursor) en las materias primas: en los procesos de cocción de productos cerámicos con bajo contenido de contaminante (precursor) en las materias primas, los niveles inferiores dentro del intervalo constituyen las MTD; en los procesos de cocción de productos cerámicos con alto contenido de contaminante (precursor) en las materias primas, los niveles más elevados dentro del intervalo se consideran NEA para las MTD.

²⁾ El nivel MTD superior puede ser inferior en función de las características de la materia prima.

³⁾ El nivel MTD superior puede ser inferior en función de las características de la materia prima. Asimismo, el NEA para las MTD superior no debe impedir la reutilización de las aguas residuales.

⁴⁾ El nivel MTD superior se aplica únicamente a las materias primas con un contenido de azufre extremadamente elevado.

Aguas residuales del proceso (emisiones y consumo)

Reducir el consumo de agua mediante la aplicación de las distintas medidas de optimización del proceso enumeradas en la sección 4.4.5.1 de este documento, que pueden aplicarse juntas o por separado.

Limpiar las aguas residuales del proceso mediante la aplicación de diferentes sistemas de depuración de aguas residuales del proceso, enumerados en la sección 4.4.5.2 de este documento, que pueden aplicarse juntos o por separado, para garantizar la limpieza adecuada del agua que va a reutilizarse en el proceso de fabricación o que va a verterse directamente a los cursos de agua o de forma indirecta a la red municipal de alcantarillado de aguas residuales.

El siguiente cuadro, correspondiente a la sección 5.1.5, muestra los niveles de emisión de contaminantes en los vertidos de aguas residuales, asociados a las MTD:

| Parámetro | Unidad | NEA MTD (muestra mixta de 2 horas) |
|----------------------------------|--------|---------------------------------------|
| Sólidos en suspensión | mg/l | 50,0 |
| Compuestos orgánicos halogenados | mg/l | 0,1 |
| Plomo (Pb) | mg/l | 0,3 |
| Cinc (Zn) | mg/l | 2,0 |
| Cadmio (Cd) | mg/l | 0,07 |

Si en el proceso de fabricación se reutiliza más del 50 % del agua del proceso, también se pueden considerar concentraciones más elevadas de esos contaminantes como NEA de las MTD, siempre que la carga del contaminante específico por cantidad de producción (kg de materia prima transformada) no sea superior a la carga de contaminante resultante de un porcentaje de reciclado de agua inferior al 50 %.

Lodos

Reciclar/reutilizar los lodos mediante sistemas de reciclado y/o de reutilización de los lodos en otros productos.

Pérdidas/residuos sólidos del proceso

Reducir las pérdidas/residuos sólidos del proceso combinando las diferentes técnicas enumeradas en la sección 5.1.7 de este documento y resumidas como sigue:

- regeneración de materias primas no mezcladas;
- regeneración de artículos rotos en el proceso de fabricación;
- utilización de las pérdidas sólidas del proceso en otras industrias;
- control electrónico de la cocción;
- aplicación de parámetros optimizados.

Ruido

Reducir el ruido combinando las diferentes técnicas enumeradas en la sección 5.1.8 de este documento y resumidas como sigue:

- revestimiento de las unidades;
- aislamiento de las unidades contra las vibraciones;
- utilización de silenciadores y ventiladores de baja rotación;
- colocación de ventanas, accesos y unidades ruidosas lejos del entorno;
- aislamiento acústico de ventanas y muros;
- cierre de ventanas y accesos;
- realización de actividades (exteriores) ruidosas sólo durante el día;
- mantenimiento adecuado de la instalación.

MTD específicas del sector

Esta sección incluye las conclusiones sobre las MTD específicas para cada uno de los nueve sectores descritos en detalle en este documento. Debe subrayarse, una vez más, que este resumen sobre las MTD y los niveles de emisión asociados sólo pueden interpretarse correctamente si se lee junto con el capítulo 4 y con las conclusiones completas sobre las MTD que figuran en el capítulo 5 de este documento.

Emisiones canalizadas de polvo

Pavimentos y revestimientos, cerámica doméstica, cerámica sanitaria, cerámica técnica y tuberías de gres vitrificado:

Reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los procesos de esmaltado por pulverización a 1-10 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa o filtros de láminas sinterizadas.

Pavimentos y revestimientos, cerámica doméstica y cerámica técnica:

Reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los procesos de secado por pulverización a 1-30 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa, o a 1-50 mg/m³, mediante la aplicación de ciclones combinados con separadores húmedos de polvo en las instalaciones existentes, si el agua de lavado puede reutilizarse.

Agregados de arcilla expandida:

Reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los gases residuales calientes a 5-50 mg/m³, como valor medio diario, mediante precipitadores electrostáticos o separadores húmedos de polvo.

Emisiones de polvo procedentes de los procesos de cocción en los hornos

Pavimentos y revestimientos:

Reducir las emisiones de polvo procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos a 1-5 mg/m³, como valor medio diario, mediante la limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro de bolsa.

Compuestos gaseosos/medidas/técnicas primarias

Ladrillos y tejas:

Reducir las emisiones de compuestos gaseosos (HF, HCl y SO_x) procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos, mediante la utilización de aditivos ricos en calcio.

Agregados de arcilla expandida:

Mantener las emisiones de NO_x procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en hornos rotatorios por debajo de 500 mg/m³, como valor medio diario expresado como NO₂, mediante una combinación de medidas/técnicas primarias.

Compuestos gaseosos/medidas/técnicas secundarias

Pavimentos y revestimientos, cerámica doméstica, cerámica sanitaria y cerámica técnica:

Reducir las emisiones de compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos mediante adsorbentes modulares, especialmente en los casos en los que el caudal de gases de combustión no es muy elevado (por debajo de 18.000 m³/h) y las concentraciones de polvo y de compuestos inorgánicos distintos de HF (SO₂, SO₃ y HCl) son bajas.

Pavimentos y revestimientos:

Reducir las emisiones de HF procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos a 1-5 mg/m³, como valor medio diario, mediante, por ejemplo, la limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro de bolsa.

Compuestos orgánicos volátiles

Ladrillos y tejas, productos refractarios, cerámicas técnicas y abrasivos aglomerados inorgánicos:

Reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción (con concentraciones en el gas crudo superiores a 100-150 mg/m³, en función de las características del gas crudo, como su composición o temperatura) a 5-20 mg/m³, como valor medio diario expresado como C total, aplicando la postcombustión térmica en termorreactores de cámara única o triple.

Productos refractarios tratados con compuestos orgánicos:

Reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en pequeños volúmenes de gases residuales procedentes del tratamiento con compuestos orgánicos mediante filtros de carbón activo. Para volúmenes de gases residuales más elevados, la MTD consiste en reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles procedentes del tratamiento con compuestos orgánicos a 5-20 mg/m³, mediante la aplicación de un sistema de postcombustión térmica.

Reutilización de las aguas residuales del proceso

Pavimentos y revestimientos, cerámica doméstica y cerámica sanitaria:

Reutilizar en el proceso de fabricación las aguas residuales del proceso con un porcentaje de reciclado de estas aguas comprendido entre un 50 % y un 100 % (en el caso de pavimentos y revestimientos depende del tipo de baldosa o azulejo que deba fabricarse) o entre un 30 % y un 50 % (en caso de cerámica doméstica y sanitaria) combinando las medidas de optimización del proceso y los sistemas de depuración de las aguas residuales del proceso.

Reutilización de lodos

Pavimentos y revestimientos:

Reutilizar los lodos procedentes de la depuración de las aguas residuales del proceso en la preparación del cuerpo cerámico, en una proporción comprendida entre un 0,4 % y un 1,5 % en peso de lodo seco añadido al cuerpo cerámico, mediante un sistema de reciclado de lodos, si procede.

Pérdidas/residuos sólidos del proceso

Cerámicas domésticas, sanitarias y técnicas y productos refractarios:

Reducir la cantidad de pérdidas/residuos sólidos del proceso en forma de moldes de yeso utilizados para el moldeado, mediante la aplicación de una o varias de las medidas siguientes:

- sustitución de los moldes de yeso por moldes de polímeros;
- sustitución de los moldes de yeso por moldes metálicos;
- utilización de mezcladoras de yeso al vacío;
- reutilización de los moldes de yeso usados en otras industrias.

Técnicas emergentes

Se están desarrollando, o se utilizan de forma limitada, una serie de técnicas nuevas para minimizar el impacto medioambiental, las cuales se denominan técnicas emergentes. Cinco de esas técnicas se analizan en el capítulo 6:

- quemadores de tubo radiante;
- cocción asistida por microondas y secaderos de microondas;
- nuevo tipo de sistema de secado para productos refractarios;
- gestión avanzada de las aguas residuales del proceso con recuperación integrada de los esmaltados;
- esmaltado sin plomo de porcelana de mesa de alta calidad.

Observaciones finales

En el capítulo sobre «Observaciones finales» se incluye información sobre las principales etapas de la elaboración de este documento, el nivel de consenso alcanzado sobre las propuestas de MTD para la industria cerámica y las lagunas de información que subsisten, en concreto, en lo que se refiere a los datos que no se comunicaron durante el período de intercambio de información y que, por tanto, no pudieron tenerse en consideración. Asimismo, se formulan recomendaciones para investigaciones posteriores y la recogida de información y, finalmente, recomendaciones para la actualización del BREF relativo a la fabricación de productos cerámicos.

Mediante sus programas de IDT, la Comunidad Europea lanza y apoya una serie de proyectos sobre tecnologías limpias, tecnologías emergentes de tratamiento y reciclado de gases de combustión y estrategias de gestión. Estos proyectos podrían contribuir de forma útil a las posteriores revisiones del BREF. Por tanto, se

ruega a los lectores que informen a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB) sobre cualquier resultado en las investigaciones que se considere relevante en el ámbito de aplicación del presente documento (véase también el prefacio de este documento).

Prefacio

1. Estatus de este documento

A menos que se indique lo contrario, todas las referencias en este documento a la «Directiva» se refieren a la Directiva 96/61/CE del Consejo para la prevención y control integrados de la contaminación. La Directiva se refiere a las provisiones comunitarias sobre salud y seguridad en el lugar de trabajo, al igual que este documento.

Este documento forma parte de una serie de documentos que presentan los resultados de un intercambio de información entre los Estados miembros de la UE y las industrias relacionadas sobre las mejores técnicas disponibles (MTD), la monitorización y las nuevas técnicas asociadas. Ha sido publicado por la Comisión Europea según el Artículo 16(2) de la Directiva y, por lo tanto, debe considerarse según el Anexo IV de la Directiva para determinar las «mejores técnicas disponibles».

2. Obligaciones legales relevantes de la Directiva IPPC y definición de MTD

Para ayudar al lector a entender el contexto legal en el que se ha redactado este documento, en este prefacio se describen algunas de las principales estipulaciones de la Directiva IPPC, incluyendo la definición del término «mejores técnicas disponibles». Esta descripción es inevitablemente incompleta y sólo se incluye a título informativo. No tiene ningún valor legal y no altera de ningún modo lo estipulado en la Directiva.

El objetivo de la Directiva es la prevención y el control integrados de la contaminación derivada de las actividades que se enumeran en este Anexo I y un mayor nivel de protección del medio ambiente en general. Las bases legales de la Directiva se refieren a la protección medioambiental. Su implementación también debería tener en cuenta otros objetivos comunitarios como la competitividad de la industria de la Comunidad en cuanto a su contribución a un desarrollo sostenible.

En concreto, proporciona un sistema de permisos para determinadas categorías de instalaciones industriales que requieren que tanto los titulares como los re-

guladores tengan una visión global e integrada del potencial de consumo y de contaminación de la instalación. El objetivo general de este enfoque integrado debe ser mejorar la gestión y el control de los procesos industriales para garantizar un nivel elevado de protección medioambiental. En el artículo 3 se incluye un principio general central según el cual los titulares deben tomar todas las medidas preventivas apropiadas contra la contaminación, en concreto mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles que les permitan mejorar su comportamiento ambiental.

El término «mejores técnicas disponibles» se define en el artículo 2(11) de la Directiva como «: la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente». El artículo 2(11) aclara esta definición de este modo:

- «técnicas»: la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada y paralizada;
- «disponibles»: las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en el Estado miembro correspondiente como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables;
- «mejores»: las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.

Además, el Anexo IV de la Directiva contiene una lista de «aspectos que deben tenerse en cuenta con carácter general o en un supuesto particular cuando se determinen las mejores técnicas disponibles... teniendo en cuenta los costes y ventajas que pueden derivarse de una acción y los principios de precaución y prevención». Estas consideraciones incluyen la información publicada por la Comisión según el artículo 16(2).

Las autoridades competentes responsables de la emisión de autorizaciones deberán tener en cuenta los principios generales que se especifican en el artículo 3 para establecer las condiciones de la autorización. Estas condiciones deben incluir valores límite de emisión, apoyados o reemplazados cuando corresponda por los parámetros y las medidas técnicas equivalentes. Según el artículo 9(4) de la Directiva, estos valores límite de emisión, parámetros y medidas técnicas equivalentes se basarán en las mejores técnicas disponibles, sin prescribir la utilización de una técnica o tecnología específica, y tomando en consideración

las características técnicas de la instalación de que se trate, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente. En todos los casos, las condiciones de permiso establecerán disposiciones relativas a la minimización de la contaminación a larga distancia o transfronteriza y garantizarán un nivel elevado de protección del medio ambiente en su conjunto.

Según el artículo 11 de la Directiva, los Estados miembro velarán por que las autoridades competentes estén al corriente o sean informadas acerca de la evolución de las mejores técnicas disponibles.

3. Objetivo de este documento

El artículo 16(2) de la Directiva requiere que la Comisión organice «un intercambio de información entre los Estados miembro y las industrias correspondientes acerca de las mejores técnicas disponibles, las prescripciones de control relacionadas, y su evolución», y que publique los resultados del intercambio.

El objetivo del intercambio de información aparece en el punto 25 de la Directiva, que indica que «los avances y el intercambio de información en la Comunidad sobre las mejores técnicas disponibles contribuirán a reducir los desequilibrios tecnológicos en el nivel de la Comunidad, ayudarán a la divulgación mundial de los valores límite establecidos y de las técnicas empleadas en la Comunidad y, asimismo, ayudarán a los Estados miembros para la aplicación eficaz de la presente Directiva».

La Comisión (Dirección General de Medio Ambiente) estableció un foro de intercambio de información (IEF) como apoyo en el desarrollo de la tarea referida en el artículo 16(2), así como varios grupos técnicos de trabajo establecidos al amparo de este foro. Tanto el IEF como los grupos técnicos de trabajo incluyen representantes de los Estados miembros y de la industria, tal como requiere el artículo 16(2).

El objetivo de esta serie de documentos es reflejar, de forma precisa, el intercambio de información que ha tenido lugar de acuerdo con el artículo 16(2), y proporcionar una información de referencia a las autoridades encargadas de otorgar las autorizaciones para tener en cuenta al determinar las condiciones de la autorización. Dado que proporcionan una información relevante sobre las mejores técnicas disponibles y la monitorización asociada a las mismas, estos documentos deben servir como una valiosa herramienta para la mejora de la eficacia medioambiental

4. Fuentes de información

Este documento es un resumen de la información recogida de diversas fuentes, incluyendo, de forma particular, los conocimientos técnicos de los grupos establecidos para ayudar a la Comisión en su trabajo, y verificado por los servicios de la Comisión. Todas las contribuciones son reconocidas con agradecimiento.

5. Cómo entender y utilizar este documento

La información de este documento está prevista para su uso como información para la determinación de las MTD en casos específicos. Cuando se determinen las MTD y se establezcan condiciones de autorización, debe prestarse atención al objetivo general de conseguir una mayor protección del medio ambiente en general.

El resto de esta sección describe el tipo de información que se proporciona en cada sección de este documento.

Los capítulos 1 y 2 proporcionan información general sobre la industria de fabricación cerámica y sobre los procesos industriales utilizados en esta industria. El capítulo 3 proporciona información referente a los niveles actuales de emisión y consumo que reflejan la situación en instalaciones existentes en el momento de redacción de este documento.

El capítulo 4 describe en más detalle la reducción de emisiones y otras técnicas que se consideran las más relevantes para la determinación de condiciones de autorización basadas en las MTD. Esta información incluye los niveles de consumo y emisión posibles para cada técnica, una aproximación de costes y los efectos cruzados asociados con la técnica, así como hasta qué punto puede aplicarse la técnica al rango de instalaciones que requieren autorizaciones de IPPC, por ejemplo las instalaciones nuevas, las existentes, las grandes o las pequeñas. También se considera la capacidad de aplicar una técnica determinada en sectores diferentes de la industria cerámica. No se incluyen aquellas técnicas consideradas en general como obsoletas.

El capítulo 5 presenta las técnicas y niveles de emisión y consumo que se consideran compatibles con las MTD en un sentido general. El objetivo es ofrecer indicaciones generales en relación con los niveles de emisión y consumo que pueden considerarse como un punto de referencia apropiado para la determinación de las condiciones de autorización basadas en las MTD o para el establecimiento de reglas generales según el artículo 9(8). Sin embargo, debemos destacar que este documento no propone valores límite de emisión. La determinación de las condiciones de autorización adecuadas implicará la consideración de factores locales específicos de emplazamiento, las características técnicas de la instalación de que

se trate, su ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales. En el caso de instalaciones ya existentes debe tenerse en cuenta asimismo la viabilidad económica y técnica de su modernización. Incluso el propio objetivo de garantizar un nivel alto de protección para el medio ambiente en general normalmente implicará juicios de compromiso entre diferentes tipos de impactos medioambientales que con frecuencia estarán influidos por consideraciones locales.

Aunque se intenta resolver alguna de estas cuestiones, no es posible ocuparse de ellas detalladamente en este documento. Las técnicas y niveles presentados en el capítulo 5 no serán por lo tanto necesariamente apropiados para todas las instalaciones. Por otra parte, la obligación de garantizar un nivel elevado de protección medioambiental incluyendo la minimización de la contaminación a larga distancia o transfronteriza implica que las condiciones de autorización no pueden establecerse sobre la base de consideraciones puramente locales. Por ello es tan importante que las autoridades de autorización tengan en cuenta la información que contiene este documento.

Debido a los continuos cambios a los que se ven sometidas las MTD, este documento será revisado y puesto al día cuando sea apropiado. Todos los comentarios y sugerencias deben hacerse la Oficina Europea para la Prevención y el Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB) en el Instituto de Prospectiva Tecnológica (IPTS) a la siguiente dirección:

Edificio Expo, c/Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Sevilla, España

Teléfono: +34 95 4488 284

Fax: +34 95 4488 426

e-mail: *JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu*

Internet: *http://eippcb.jrc.es*

Ámbito de aplicación

Este documento hace referencia a las actividades industriales especificadas en la sección 3.5 del anexo I de la Directiva 96/61/CE, a saber:

«3.5. Instalaciones para la fabricación de productos cerámicos mediante la cocción, en concreto, de tejas, ladrillos, ladrillos refractarios, azulejos, gres cerámico o porcelanas, con una capacidad de producción superior a 75 toneladas por día, y/o una capacidad de horno de más de 4 m³ y de más de 300 kg/m³ de densidad de carga por horno».

A efectos del presente documento, las actividades industriales contempladas en esta descripción se denominan «industria cerámica».

Los diferentes sectores de la industria cerámica abarcan una gran variedad de materias primas y técnicas de fabricación, pero todos incluyen la selección de arcillas u otros materiales principalmente inorgánicos que se procesan, se secan y se cuecen. Los principales sectores que se basan en los productos cerámicos manufacturados (cerámica) son los siguientes:

- pavimentos y revestimientos;
- ladrillos y tejas;
- cerámica de mesa y de decoración (cerámica doméstica);
- productos refractarios;
- cerámica sanitaria;
- cerámica técnica;
- tuberías de gres vitrificado;
- agregados de arcilla expandida;
- abrasivos aglomerados inorgánicos.

Además de a las actividades básicas de fabricación, este documento abarca todas las actividades directamente relacionadas que podrían tener un impacto en las emisiones o la contaminación. Por lo tanto, incluye procesos desde la preparación de materias primas hasta la expedición de productos acabados. Quedan excluidas determinadas actividades como por ejemplo la extracción de materias primas ya que no se consideran directamente relacionadas con la actividad primaria. Se incluyen las actividades siguientes:

- selección y preparación de materias primas - basada principalmente en arcillas y/o minerales inorgánicos;

- moldeado de productos-normalmente a partir de materias primas en estado plástico;
- secado de los productos y posible revestimiento;
- vitrificación mediante cocción en horno;
- posterior tratamiento y embalaje.

1. Información general sobre la fabricación cerámica

1.1. Orígenes históricos

El término «cerámica» (derivada del griego «queramos», sustancia quemada) se utiliza para describir los materiales de la alfarería. Estudios recientes muestran que el tratamiento de las arcillas se inició aproximadamente en el año 19000 a.C. La cerámica más antigua encontrada procede del sur de Japón y data de 8000 a.C.-9000 a.C. 4000 años a.C. ya se utilizaban ladrillos cocidos para la construcción de las torres de los templos, palacios y fortificaciones. Hace más de 2000 años los antiguos romanos extendieron la técnica de construcción de ladrillos por gran parte de Europa. En el año 2600 a.C., en las paredes de las pirámides del antiguo Egipto se colgaban platos de cerámica y la reputación de la porcelana china tiene más de 3000 años de historia.

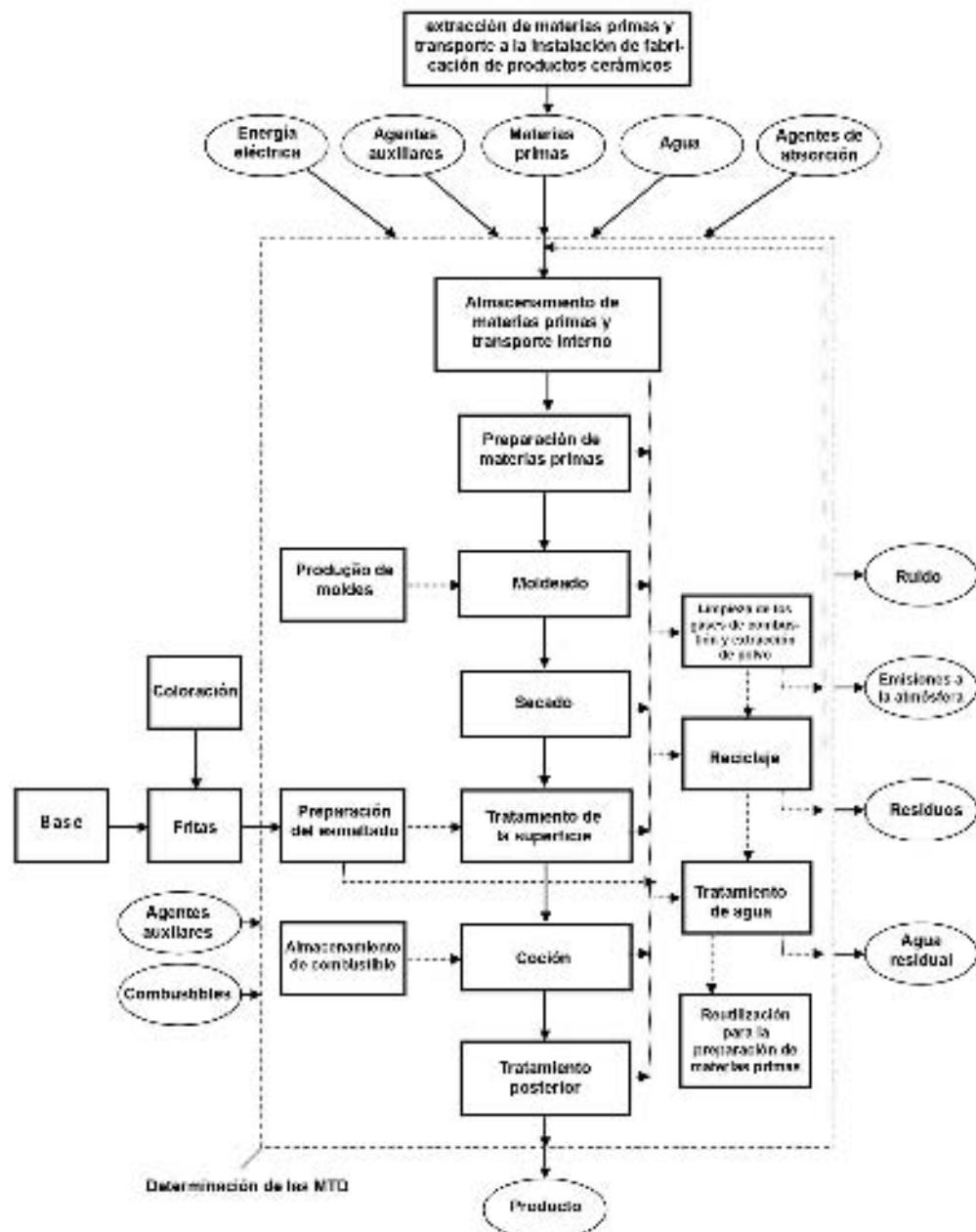
1.2. Características de la cerámica

En general, el término «cerámica» (productos cerámicos) se utiliza para materiales inorgánicos (que pueden tener parte de contenido orgánico) formados por compuestos no metálicos y estabilizados mediante un proceso de cocción. Además de los materiales a base de arcilla, en cerámica existen hoy en día multitud de productos con una pequeña porción de arcilla o sin ningún contenido de la misma. La cerámica puede ser esmaltada o no esmaltada, porosa o vitrificada.

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

Los principales pasos en la fabricación de productos de cerámica suelen ser bastante independientes de los materiales utilizados y del producto final. La siguiente figura muestra de forma esquemática el proceso típico y los medios

Figura 1.1. Fases de la fabricación de productos cerámicos



de suministro y de eliminación posibles o necesarios. El proceso consta de los siguientes pasos: extracción de materias primas y su transporte a la instalación de fabricación de productos cerámicos (este documento no trata ninguno de estos dos pasos), almacenamiento de materias primas, preparación de materias primas, moldeado, secado, tratamiento de la superficie, cocción y tratamiento posterior [23, TWG Ceramics, 2005].

Las mejores técnicas disponibles para la protección medioambiental integrada en la industria cerámica señaladas en este documento están relacionadas con los procesos empleados dentro del recuadro.

1.3. Distribución geográfica y consideraciones económicas generales

Las materias primas cerámicas se encuentran distribuidas por toda Europa, de manera que ciertos productos cerámicos como los ladrillos, que son relativamente baratos (pero que suponen un coste de transporte elevado debido a su peso) se fabrican en casi todos los Estados miembros. Debido a las tradiciones de construcción y a las consideraciones patrimoniales, la dimensión de las unidades difiere de un país a otro. Los productos más especializados, que imponen precios más elevados, suelen fabricarse principalmente en unos pocos países que disponen de las materias primas especiales necesarias y, lo que es igualmente importante, de la competencia y de los conocimientos técnicos. Por ejemplo, gran parte de las baldosas de cerámica se fabrican en Italia y en España, la cerámica de mesa en Reino Unido, Alemania y Francia, las tuberías de gres vitrificado en Alemania, Reino Unido, Bélgica y Holanda.

Existe un comercio internacional importante de pavimentos y revestimientos, productos refractarios, cerámica de mesa y de decoración, cerámica técnica, tuberías de gres vitrificado y cerámica sanitaria.

La importancia de la industria cerámica en cuanto al empleo y a la economía se muestra en la siguiente tabla [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 1.1. Cifras de producción, ventas y empleo en la fabricación cerámica

| Sector de la industria cerámica | Producción 2000 en UE-15 (x millones de toneladas) | Ventas 2003 en UE-15 (x millones de euros) | Mano de obra 2003 (x 1000) |
|--|---|---|----------------------------------|
| Pavimentos y revestimientos | 25,0 | 10.100 | 69 |
| Ladrillos y tejas | 55,0 | 6.800 | 50 |
| Cerámica de mesa y de decoración | 0,5 | 2.000 | 48 |
| Productos refractarios | 4,5 | 3.100 | 18 |
| Cerámica sanitaria | 0,5 | 1.900 | 25 |
| Cerámica técnica | 0,15 | 2.000 | 9 |
| Tuberías de gres vitrificado | 0,7 | 300 | 2 |
| Agregados de arcilla expandida (2002) | 3,0 | 300 | 2,5 |
| Abrasivos aglomerados inorgánicos (2003) | 0,04 | 260 | 3,1 |

1.4. Cuestiones medioambientales clave

En función de los procesos específicos de producción, las instalaciones de fabricación de productos cerámicos generan determinadas emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo (residuos). Asimismo, el medio ambiente puede verse afectado por el ruido y por olores desagradables. El tipo y el nivel de contaminación atmosférica, residuos y aguas residuales dependen de diferentes parámetros. Esos parámetros son, por ejemplo, las materias primas, los agentes auxiliares, los combustibles y los métodos de producción utilizados:

- Emisiones a la atmósfera: el tratamiento o procesamiento de materias primas o de productos acabados puede dar lugar a emisiones de partículas/polvo y la combustión de fueloil o diferentes combustibles sólidos puede generar hollín. Las emisiones gaseosas son el resultado de la cocción o del secado por pulverización de los productos cerámicos y puede proceder de las materias primas y/o de los combustibles utilizados. Los óxidos de carbono, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre, los compuestos fluorados y clorados inorgánicos, así como los compuestos orgánicos tienen una importancia especial entre las emisiones gaseosas. También pueden emitirse metales pesados debido al uso de sustancias con fines decorativos que contienen metales pesados o debido al uso de fueloil pesado como combustible.
- Vertidos al agua: estos vertidos se producen principalmente durante los procesos de fabricación de los productos cerámicos, especialmente durante la fabricación de productos cerámicos tradicionales y el agua residual resultante del proceso contiene principalmente elementos minerales (partículas insolubles). Según el método de producción, el agua residual del proceso también puede contener otros materiales inorgánicos, pequeñas cantidades de numerosas especies orgánicas y algunos metales pesados. Aparte del agua del proceso,

que suele sanearse y reutilizarse en circuitos cerrados, el agua utilizada para refrigeración, el agua sanitaria residual y el agua de lluvia también pueden contribuir a los vertidos al agua desde la instalación.

- Pérdidas/residuos del proceso de fabricación: las pérdidas del proceso de fabricación de productos cerámicos consisten principalmente en los materiales siguientes:

- diferentes tipos de lodos (lodos del tratamiento del agua residual del proceso, lodo de esmalte, lodo de yeso, lodo de trituración);
- piezas rotas como consecuencia del moldeado, secado, cocción y material refractario;
- polvo de unidades de limpieza de los gases de combustión y extracción de polvo;
- moldes de yeso usados;
- agentes de adsorción (caliza granular, polvo de piedra caliza);
- residuos de envases (plástico, madera, metal, papel, etc.);
- residuos sólidos, p. ej. cenizas procedentes de la cocción con combustibles sólidos.

Parte de los materiales perdidos durante todo el proceso de fabricación pueden reciclarse y reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables internamente se desechan y se entregan a empresas externas para su reciclado o su eliminación.

- Consumo de energía/emisiones de CO₂: todos los sectores de la industria cerámica muestran un consumo intensivo de energía ya que una parte fundamental del proceso es el secado seguido de la cocción a temperaturas comprendidas entre 800 y 2.000 °C. Para la fabricación de porcelanas, la energía da cuenta de un 10-18% de los costes totales. Para la fabricación de ladrillos, la proporción varía entre el 17 y el 25% y puede incluso llegar al 30%.

La siguiente tabla muestra el consumo de energía de la industria cerámica en Europa [30, TWG Ceramics, 2005]:

Tabla 1.2. Consumo de energía específico en la industria cerámica en Europa

| Sector | Unidad | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2003 |
|----------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Ladrillos y tejas | GJ/t | 2,65 | 2,45 | 2,19 | 2,06 | 2,38 | 2,31 |
| Pavimentos y revestimientos | GJ/t | 11,78 | 9,16 | 6,76 | 5,45 | 5,74 | 5,60 |
| Productos refractarios | GJ/t | 4,88 | 4,96 | 6,51 | 4,91 | 5,41 | 5,57 |
| Cerámica sanitaria | GJ/t | 26,56 | 24,214 | 22,27 | 22,76 | 20,88 | 21,87 |
| Tuberías de gres vitrificado | GJ/t | | | 5,75 | 5,77 | 6,1 | 5,23 |
| Cerámica de mesa y de decoración | GJ/t | | | 47,56 | 38,91 | 43,46 | 45,18 |
| Cerámica técnica | GJ/t | | | | | 34,72 | 50,39 |

En la actualidad, se utilizan principalmente para la cocción el gas natural, el gas licuado de petróleo (propano y butano) y el fueloil EL, mientras que el fueloil pesado, el gas natural licuado (GNL), el biogás/la biomasa, la electricidad y los combustibles sólidos (p. ej. carbón y el coque de petróleo) pueden utilizarse asimismo como fuentes de energía para los quemadores. El uso de fueloil pesado, carbón y coque de petróleo se limita principalmente a la fabricación de ladrillos.

En la siguiente tabla se muestra la proporción en Alemania de los distintos combustibles dentro del consumo total de combustibles (sin electricidad) por sectores [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 1.3. Proporción de combustibles utilizados en Alemania por sector en 1998

| Sector | Gas natural (%) | Fueloil EL (%) | Fueloil pesado (%) | Otros (%) |
|---|-----------------|----------------|--------------------|-----------|
| Cerámica doméstica | 98,0 | 1,6 | – | 0,4 |
| Cerámica sanitaria | 97,7 | 2,3 | – | – |
| Cerámica técnica | 96,2 | 3,6 | – | 0,2 |
| Productos refractarios | 90,2 | 7,3 | 0,1 | 2,4 |
| Pavimentos y revestimientos | 98,1 | 1,1 | 0,8 | – |
| Ladrillos y tejas | 88,6 | 5,3 | 5,3 | 0,8 |
| Tuberías de gres vitrificado | 100 | – | – | – |
| Agregados de arcilla expandida ¹⁾ | – | – | – | – |
| Abrasivos aglomerados inorgánicos ²⁾ | 90,6 | 9,4 | – | – |

¹⁾ no se dispone de datos

²⁾ Valores estimados del VDI para Alemania

1.5. Sectores cerámicos

Los métodos y pasos fundamentales de los procesos de producción para la fabricación de diversos productos cerámicos son bastante uniformes, aunque en el caso de pavimentos y revestimientos, cerámica doméstica, sanitaria y técnica, a menudo se emplea un proceso de cocción en varias etapas. Éste es un motivo histórico por el que podemos englobar los sectores cerámicos en dos grandes grupos: el grupo de «cerámica tosca o de construcción» que incluye ladrillos y tejas, tuberías de gres vitrificado, productos refractarios y agregados de arcilla expandida; y el grupo de «cerámica fina o cerámica tradicional e industrial», que incluye pavimentos y revestimientos, cerámica de mesa y decoración, cerámica sanitaria, cerámica técnica y abrasivos aglomerados inorgánicos.

La realización técnica puede ser muy diferente según los requisitos específicos de los productos y las características de la materia prima utilizada. Por ejemplo, pueden utilizarse diversos hornos de funcionamiento continuo (hornos de túnel) y de funcionamiento discontinuo (hornos de vagóneta) para la cocción de los mismos o diferentes productos cerámicos.

En principio, los productos de la industria cerámica «fina o tradicional e industrial» difieren de los productos de la industria cerámica «tosca o de construcción» en cuanto a la textura. La frontera entre «fina, tradicional e industrial» y «tosca o de construcción» varía entre diámetros de partículas equivalentes de 0,1 y 0,2 mm. Los productos cerámicos toscos o de construcción muestran una falta de homogeneidad de más de 0,2 mm, pero actualmente la frontera entre cerámica «fina, tradicional e industrial» y «tosca o de construcción» no está claramente definida. Por ejemplo, la tecnología de procesamiento de la cerámica fina, tradicional e industrial se utiliza para la producción de productos súper refractarios. Por lo tanto, este documento no sigue la diferenciación mencionada anteriormente entre los dos grupos, sino que distingue exclusivamente entre los siguientes nueve sectores de productos cerámicos [32, TWG Ceramics, 2006]:

- ladrillos y tejas;
- tuberías de gres vitrificado;
- productos refractarios;
- agregados de arcilla expandida;
- pavimentos y revestimientos;
- cerámica de mesa y de decoración (cerámica doméstica);
- cerámica sanitaria;
- cerámica técnica;
- abrasivos aglomerados inorgánicos.

1.5.1. Ladrillos y tejas

Los ladrillos se producen en grandes cantidades y se usan como materiales en numerosos sectores de la construcción y la contratación. Normalmente, los ladrillos y tejas no se seleccionan según la técnica de moldeado utilizada, sino según el uso previsto:

- ladrillos para la construcción (p. ej. bloques de arcilla, ladrillos cara vista, ladrillos prensados «adoquines cerámicos» y ladrillos ligeros);
- tejas (p. ej. tejas extrusionadas, cubrevigas);
- ladrillos para pavimentación;
- ladrillos para chimenea (p. ej. tubos de chimenea).

Debido a la variedad de técnicas de fabricación, los diferentes tipos de fábricas de ladrillos se han especializado en varios grupos de productos, por ejemplo fábricas de tejas de arcilla y fábricas de ladrillos de construcción.

En 2003 la industria europea de tejas y ladrillos de arcilla registró un volumen de ventas total de unos 6.800 millones de euros. La mano de obra ascendió a unas 50.000 personas [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

Existen variaciones en las cifras de fábricas de ladrillos de arcilla, de pavimentación y de tejas:

Italia tiene la mayor cantidad de fábricas: 238, seguida de Alemania (183), Portugal (150), Francia (136) y Reino Unido (134). Sin embargo, hay otros países con menos de 70 fábricas operativas como son Holanda (58), Bélgica (40), Austria (30), Suiza (27) y Dinamarca (26).

La media de fábricas de ladrillos por millón de habitantes es la siguiente:

Portugal (1,5), Dinamarca (5,1), Italia (4,1), Bélgica (4,0), Austria (3,8), Suiza (3,7), Holanda (3,7), Reino Unido (2,3), Francia (2,3) y Alemania (2,2).

La comparativa de los datos [3, CERAME-UNIE, 2003] existentes relacionados con la población en los siguientes países (situación en 2001) indica que:

- la producción de tejas es alta en Francia ($0,89 \text{ m}^2$ por habitante), seguida de Italia (0,61), Alemania (0,54), España (0,5), Suiza (0,48), Dinamarca (0,4) y Austria (0,28). En otros países, como Reino Unido y Bélgica, la producción de tejas es mucho más baja. Finlandia y Noruega no fabrican tejas;
- todos los países de la UE-15 fabrican ladrillos y bloques. Bélgica registra la mayor producción ($0,29 \text{ m}^3$ por habitante), seguida de España (0,28), Italia (0,26), Austria (0,24), Alemania (0,17), Suiza (0,08) y otros países con valores más bajos;
- las unidades perforadas son importantes, por ejemplo, en Austria (97%) y Alemania (87%); los ladrillos cara vista en Holanda (94%), Reino Unido (82%) y Dinamarca (85%). Las unidades huecas prevalecen en Francia (63%) e Italia (62%).

La media de empleados por fábrica varía entre los distintos estados europeos:

- Reino Unido (66).
- Bélgica (44).
- Francia (39) y Holanda (38).
- Austria (35), Alemania (34) e Italia (34).
- Suiza (24) y Dinamarca (21).

1.5.2. Tuberías de gres vitrificado

Las tuberías y conexiones de gres vitrificado se utilizan para drenajes y colectores, pero también para depósitos de ácidos y productos para establos. La producción anual en el año 2000 en la UE-15 alcanzó las 708.000 toneladas [3, CERAME-UNIE, 2003] [4, UBA, 2001].

Las plantas de producción están situadas en Bélgica, Alemania, Italia, Holanda y Reino Unido. Sus productos se entregan a todos los Estados miembros de la UE-15 según las especificaciones del estándar europeo EN 295, ratificado en 1991 e implantado en todos los países de la UE-15 y los Estados miembros de la Asociación Europea de Libre Comercio (AELC) y en otros Estados miembros asociados al Comité Europeo de Normalización (CEN).

En este documento, el término «tuberías» incluye las conexiones necesarias para formar una tubería subterránea para la canalización de las aguas residuales.

La siguiente tabla incluye información general acerca de la industria de tuberías de gres vitrificado en Europa en el año 2000 [3, CERAME-UNIE, 2003], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 1.4. La industria de las tuberías de gres vitrificado en Europa

| País | BE | DE | IT | NL | UK | UE-15 |
|---|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| Número de habitantes (106) | 10 | 82 | 57,5 | 15,7 | 58,5 | |
| Número de plantas (*) | 1 | 8 | 1 | 2 | 5 | 17 |
| Ventas anuales de tuberías y conexiones (toneladas) | 115.000 | 208.000 | 74.000 | 102.000 | 209.000 | 708.000 |
| Número total de empleados | 250 | 500 | 150 | 213 | 800 | 1.913 |
| Plantilla media por planta | 377 | 115 | 207 | 107 | 220 | 166 |

(*) Puede haber más de un horno por planta

1.5.3. Productos refractarios

Los productos refractarios son materiales cerámicos capaces de resistir temperaturas por encima de los 1.500 °C. Muchas aplicaciones industriales de la industria del acero, el hierro, el cemento, la cal, el vidrio, la cerámica, el aluminio, el cobre y los petroquímicos utilizan productos refractarios en una amplia variedad de formas en incineradoras, centrales eléctricas y sistemas de calefacción doméstica, incluyendo bloques calefactores de almacenamiento nocturno. Son esenciales para los procesos de altas temperaturas y resisten todo tipo de

esfuerzos (mecánicos, térmicos, químicos) como la erosión, deformaciones por fluencia o arrastre, corrosión y choques térmicos.

La resistencia de los materiales refractarios a temperaturas elevadas se define de forma que su punto de reblandecimiento no sea inferior a 1.500°C. Normalmente se utiliza una clasificación de «materiales refractarios» con un punto de reblandecimiento de entre 1.500 y 1.800°C, y de «materiales altamente refractarios» con un punto de reblandecimiento superior a los 1.800 °C [23, TWG Ceramics, 2005].

Aunque inicialmente se empleaban arcillas muy puras como materias primas, la fabricación refractaria se basa actualmente en el uso de una gran diversidad de materias primas que pueden ser naturales o sintéticas. Muchas se importan de países fuera de Europa.

La demanda de productos refractarios está estrechamente ligada a los niveles de producción e inversión de las industrias consumidoras. Por ejemplo, la cantidad de materiales refractarios consumidos por tonelada de productos fabricados, como el acero o el cemento, ha disminuido considerablemente a lo largo de la última década debido a los procesos y a la innovación técnica. Una mayor vida útil de los revestimientos de los hornos para la fabricación del acero o de las cucharas de colada, además de la reducción de los tiempos de reparación y mantenimiento, han mejorado enormemente la productividad de las industrias que los utilizan.

Los productos refractarios suelen utilizarse en las industrias que más energía consumen, como las industrias del metal, el cemento, el vidrio y la petroquímica. Dado que la calidad de los revestimientos de los hornos es muy importante para la eficiencia energética de sus procesos, la industria de los productos refractarios tiene un impacto considerable sobre la eficiencia energética de estas industrias. Gracias a un mejor aislamiento y a una mayor vida útil del revestimiento, la mejora continua de los productos refractarios conlleva un menor consumo de energía específico en las operaciones de las industrias consumidoras.

La fabricación de productos refractarios en la UE-15 es la más importante del mundo con una producción total en 2001 de 4,6 millones de toneladas (la industria alemana encabeza la lista con una producción total estimada de 1,5 millones de toneladas), equivalentes a aprox. 3.300 millones de euros en 2002. Alrededor del 65% de esta cantidad está relacionada con la producción de hierro y acero; entre el 5 y el 8% con la producción del cemento, el vidrio y la cerámica, y el resto con la metalurgia no ferrea, la industria química y petroquímica, la producción de energía y la incineración. En 2002, la industria de la UE-15 daba trabajo a 18.505 personas [20, CERAME-UNIE, 2004], [12, CTCV, 2004].

La tabla siguiente incluye información acerca de la fabricación de productos refractarios en la UE-15 para el año 2001/2002 [20, CERAME-UNIE, 2004], [21, Almeida, 2004].

Tabla 1.5. Fabricación de productos refractarios en la UE-15 para el año 2001/2002

| Países | Producción total en 2002 (10 ³ toneladas) |
|------------------------|---|
| Austria (2001) | 710 |
| Benelux | n/d |
| Francia | 524 |
| Alemania | 931 |
| Grecia (2001) | 33 |
| Italia | 556 |
| Países nórdicos (2001) | 147 |
| Portugal | 23 |
| España | 417 |
| Reino Unido | 204 |

1.5.4. Agregados de arcilla expandida

Los agregados de arcilla expandida son productos cerámicos porosos con una estructura de poro uniforme de células finas y cerradas y una superficie externa firme y densamente sinterizada. Se fabrican a partir de materias primas que contienen minerales arcillosos. La materia prima se prepara y moldea y seguidamente se somete a un proceso de cocción a temperaturas de entre 1.100 y 1.300°C, resultando en un incremento significativo del volumen debido a la expansión.

Es posible fabricar la cantidad deseada de productos y ajustar con precisión el tamaño del grano y las características para satisfacer los numerosos requisitos técnicos en los distintos ámbitos de aplicación.

Se utilizan como material suelto o adherido con cemento para la industria de la construcción (por ejemplo rellenos, hormigón ligero, bloques y otros componentes de hormigón ligero prefabricados, hormigón ligero estructural para tratamiento in situ) y como material suelto en diseños de jardines y paisajes (rellenos de terraplén en la construcción de carreteras, substratos para cubiertas ajardinadas, llenado de tuberías de drenaje y filtros).

La amplia gama de agregados ligeros (LWA) de producción industrial cubre un amplio espectro de características técnicas. Durante los procesos de fabricación es posible controlar propiedades tales como el tamaño del grano, la porosidad, el peso y la resistencia del grano. Existen agregados con densidades de grano de entre 0,15 y 1,7 kg/dm³ apropiados para satisfacer distintos requisitos y aplicaciones. Estos agregados ligeros presentan excelentes características de aislamiento. Esto es debido al gran número de poros finamente distribuidos dentro

del material. Los valores de conductividad térmica para rellenos de agregados ligeros de producción industrial van de 0,07 a 0,18 W/(mK), según el tamaño de grano y la densidad del material correspondiente. En EN 13055-1 y EN 13055-2 se describe la granulometría estandarizada.

Además de los agregados de arcilla expandida, los agregados ligeros de producción industrial también incluyen pizarra y esquisto expandidos, escoria de los altos hornos, cenizas volantes de carbón de hulla y vidrio expandido, aunque este documento no cubre estos grupos de productos.

Los agregados de arcilla expandida se fabrican en Dinamarca, Alemania, Suecia, Noruega, Finlandia, Estonia, Bélgica, Austria, Polonia, España, Italia, Portugal y República Checa. En Europa Central y Europa del Este, la arcilla expandida se conoce habitualmente como «keramzit». La capacidad total de las plantas en Europa se estima en unos 10 millones de metros cúbicos.

1.5.5. Pavimentos y revestimientos

Las baldosas de cerámica (véase EN 14411) son losas finas fabricadas a partir de arcillas y/u otros materiales inorgánicos que suelen utilizarse para cubrir suelos y paredes. Las baldosas de cerámica suelen moldearse por extrusión o prensado en seco a temperatura ambiente, seguidamente se secan y posteriormente se someten a un proceso de cocción a temperaturas suficientes para obtener las propiedades deseadas.

Las baldosas suelen ser cuadradas y rectangulares pero también hay baldosas con formas poligonales (hexágonos, octágonos, etc.). En cuanto al tamaño, los lados de las baldosas van de unos pocos centímetros (mosaicos) a losas de hasta 60-100 cm. El grosor de una baldosa puede ser de sólo 5 mm (azulejos) a más de 25 mm (algunas baldosas extrusionadas).

Hay muchos tipos de baldosas de cerámica disponibles en el mercado: formadas por prensado en seco o extrusión; con cuerpos porosos, compactos o vitrificados; con cuerpos blancos o de color (rojizos); esmaltadas o sin esmaltar.

Los tipos de baldosas de cerámica fabricadas en los Estados miembros son similares; sin embargo, difieren en algunas características debidos a motivos culturales, formales, funcionales, comerciales o técnicos. Por lo tanto, resulta difícil establecer la equivalencia entre los diferentes tipos de productos y sus designaciones en los distintos Estados miembros. Para superar esta dificultad, se ha adoptado una clasificación general de baldosas de cerámica en la normalización europea e internacional. De conformidad con EN 14411, las baldosas de cerámica se dividen en nueve grupos según su método de fabricación (moldeo) y su capacidad de absorción de agua. La absorción de agua se asocia con la porosidad del material:

una absorción de agua elevada equivale a una alta porosidad, mientras que una baja absorción de agua se asocia con una estructura compacta y vitrificada.

Esta clasificación se adopta como referencia general en este documento. Sin embargo, los nueve grupos especificados no muestran grandes diferencias en lo referente a los aspectos medioambientales que se abordan en este documento. Por lo tanto, para la finalidad específica de este documento, se utilizarán las siguientes clasificaciones simplificadas que se muestran en la tabla a continuación [3, CERAME-UNIE, 2003]. En esta clasificación no se tienen en cuenta algunas baldosas de cerámica porque representan una parte muy pequeña del total, dado que su proceso de producción y características son muy diferentes y no se dispone de información significativa o útil.

Tabla 1.6. Clasificación simplificada de las baldosas de cerámica

| Clase | Descripción/Especificación |
|---------|---|
| A | Baldosas extruidas |
| BIa | Baldosas prensadas en seco con cuerpo impermeable |
| BIb-BII | Baldosas prensadas en seco con cuerpo compacto |
| BIII | Baldosas prensadas en seco con cuerpo poroso |

Los pavimentos y revestimientos cerámicos son productos de revestimiento de suelos y paredes importantes en la industria de la construcción y del hogar y, por lo tanto, el mercado relacionado con el mantenimiento y la renovación es especialmente relevante para estos productos. Otras aplicaciones pueden ser, por ejemplo, su uso en fachadas externas, piscinas o espacios públicos.

La industria europea vende baldosas por todo el mundo y es, con diferencia, el mayor exportador. Una cuarta parte de la producción europea se exporta a países de fuera de la UE-15: la industria europea cuenta con 3/4 partes del comercio internacional de baldosas. En 2001 la industria europea vendió cerca de 1.400 millones de m² de baldosas por un valor total de 10.000 millones de euros. Esta industria dio trabajo a unas 71.000 personas durante ese mismo año [3, CERAME-UNIE, 2003]. Una parte importante de la industria se concentra en dos regiones: la región del Sassuolo (Emilia-Romaña) en Italia y Castellón (Comunidad de Valencia) en España.

Para la fabricación de baldosas se utilizan arcillas muy refinadas, que en muchos casos proceden de la propia Europa. Además, para el esmalte se emplean diversas sustancias. La energía también puede considerarse una materia prima, pues transforma las arcillas en cerámica mediante la cocción. Las fuentes de energía que se utilizan son principalmente el gas natural y la electricidad.

La siguiente tabla muestra el consumo de energía por cada Estado miembro [20, CERAME-UNIE, 2004], [21, Almeida, 2004].

Tabla 1.7. Consumo de energía por cada Estado miembro (consumo de energía específico en TJ por cada 1.000 toneladas producidas)

| Países | 1980 | 1990 | 1997 | 2001 |
|--------|-------|-------|-------|------|
| DE | | | | 7,58 |
| EL | 11,61 | 8,68 | 8,1 | |
| ES | 15,78 | 7,00 | 5,49 | 5,78 |
| FR | 6,97 | 5,84 | 5,71 | 6,42 |
| IT | 11,22 | 6,19 | 5,12 | 5,48 |
| NL | 10,94 | 8,46 | 8,76 | |
| PT | | | 6,20 | 6,00 |
| UK | 18,05 | 13,15 | 11,33 | |

1.5.6. Cerámica de mesa y de decoración (cerámica doméstica)

La fabricación de cerámica doméstica engloba la cerámica de mesa, las figuras de decoración de porcelana, la loza de barro y el gres fino de porcelana. Los productos típicos son platos, copas, cuencos, tazas y jarrones.

La producción total es pequeña en comparación con otros productos cerámicos, véase la Tabla 1.1. Las cifras de la cerámica de mesa y la cerámica de decoración son completamente diferentes.

La cerámica de mesa y la cerámica de decoración se ajustan a la descripción general de procesos válidos para todo tipo de cerámica. La siguiente tabla resume la producción de los distintos productos [20, CERAME-UNIE, 2004], [21, Almeida, 2004].

Tabla 1.8. Producción de cerámica de mesa y de decoración

| Países | Tipo de producto | Toneladas anuales |
|--------------------|--|-------------------|
| Alemania | Cerámica de mesa de porcelana | 69.000 |
| | Otra cerámica de mesa | 4.000 |
| | Cerámica de decoración | aprox. 500 |
| Luxemburgo | Total cerámica de mesa | 5.370 |
| Holanda | Cerámica de mesa (loza de barro, porcelana, productos para hoteles vitrificados) | 5.500 |
| | Cerámica de decoración | 250 |
| Portugal | Total cerámica de mesa y de decoración | 90.000 |
| Reino Unido (2001) | Total cerámica de mesa y de decoración | 86.000 |

1.5.7. Cerámica sanitaria

Los productos cerámicos utilizados con fines sanitarios se incluyen bajo el término colectivo de «cerámica sanitaria». Ejemplos habituales de productos cerámicos sanitarios son lavabos, pilas, bidés, bañeras, cisternas y fuentes. Estos productos se suelen fabricar con loza (semiporcelana) o gres.

La producción total es pequeña en comparación con otros productos cerámicos más importantes, como son los ladrillos o los productos refractarios, véase la Tabla 1.1. Las cifras de los productos sanitarios son completamente distintas a las de los productos refractarios o los ladrillos.

La fabricación de cerámica sanitaria sigue procesos similares a los de otros productos cerámicos. Las materias primas se mezclan con agua para producir una barbotina de arcilla con las características deseadas. La barbotina de arcilla se almacena en tanques y se utiliza para el colaje con barbotina en moldes separados o en máquinas de moldeado por presión. El producto sale directamente de las máquinas de moldeado por presión o de los moldes utilizados en el proceso de colaje con barbotina. Antes de poder seguir trabajando con las piezas o antes de transportarlas, es preciso que las piezas se sequen.

El esmalte se aplica directamente sobre la superficie de arcilla y se cuece a la temperatura apropiada para el producto en cuestión, normalmente entre 1.200-1.210°C para la loza y unos 1.220°C para la arcilla refractaria.

La pulverización del esmalte proporciona color y vivacidad a la forma subyacente. El color o combinaciones de color requeridas se consiguen utilizando pigmentos junto con el esmalte. La mayoría de pigmentos son óxidos de metal. Las cantidades de pigmentos utilizadas son mínimas en comparación con el peso de las materias primas (arcillas) y otros componentes.

El producto acabado pasa al almacén para su selección, expedición y distribución.

1.5.8. Cerámica técnica

Los fabricantes europeos de cerámica técnica producen una gran variedad de productos, en parte basados en arcillas, pero también en materias primas sintéticas. Al igual que en otros sectores cerámicos, la materia prima se cuece en hornos utilizando principalmente gas natural pero también electricidad (2003: aprox. 2/3 gas y 1/3 electricidad) en el proceso.

La cerámica técnica se utiliza en muchos sectores y engloba tanto productos establecidos como aislantes y nuevas aplicaciones. Suministra elementos a las industrias aeroespacial y de la automoción (piezas de motor, portadores de cata-

lizadores), al sector de la electrónica (condensadores, cerámica piezoelectrónica), se utiliza para la fabricación de productos biomédicos (prótesis) y en la protección medioambiental (filtros), entre muchos otros.

Los principales fabricantes de cerámica técnica se encuentran en Alemania, Reino Unido, Francia y Holanda.

Debido al elevado valor añadido de algunos productos de cerámica técnica, podemos decir que esta industria no consume tanta energía como otros sectores teniendo en cuenta su volumen de negocios. Con respecto a la masa, el consumo energético es comparable. La cifra de ventas estimada de la industria europea en el año 2001 fue de 2.500 millones de euros. Aunque no hay datos concretos sobre el volumen de producción total, se estima que se situó en unos 0,15 millones de toneladas en 2003 para toda la industria europea [3, CERAME-UNIE, 2003] [23, TWG Ceramics, 2005].

1.5.9. Abrasivos aglomerados inorgánicos

Una característica principal del proceso de molienda, uno de los procesos de producción más antiguos que se conoce, es el efecto de múltiples materiales de corte no orientados sobre la pieza. Los productos abrasivos, a los que se aplica esta característica, son herramientas muy utilizadas para trabajar con todo tipo de materiales, no sólo molturación, sino también tronzado, pulido, embellecimiento, afilado, etc. para metales, plásticos, madera, cristal, piedra, etc.

Básicamente, puede hacerse una distinción entre abrasivos aglomerados («muelas») y abrasivos revestidos («papeles de lija»). Además, existen abrasivos sueltos que no tienen ningún enlace sólido a un soporte (p. ej. pasta de abrasión). Este documento sólo se ocupa de los «abrasivos aglomerados inorgánicos», un subgrupo de los abrasivos aglomerados.

Un abrasivo aglomerado inorgánico (o «muela aglomerada vitrificada», tal y como lo definen los fabricantes) es una herramienta que permite combinar un abrasivo sintético (los materiales abrasivos actuales son la alúmina fundida, el corindón sintético, el carburo de silicio, el nitruro de boro cúbico (CBN) o el diamante, pre-cribado en un tamaño de arenilla uniforme) con un adhesivo vitrificado (la proporción normal por peso es nueve partes de abrasivo por una parte de base).

A continuación se cuece el producto a la temperatura de vitrificación de la base (p. ej. cristal, arcilla), que constituye el elemento aglutinante, y tras su enfriamiento, se ligan los granos abrasivos [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

2. Procesos y técnicas aplicados en la fabricación cerámica

2.1. Materias primas

La industria cerámica utiliza una amplia gama de materiales para readaptarse a la variedad de productos. Se utilizan tanto materiales naturales como sintéticos, principalmente producidos en Europa aunque algunos son también importados. Las necesidades sectoriales son diversas y en los capítulos dedicados a cada sector se enumeran las características de las materias primas utilizadas.

Las fórmulas de las cerámicas basadas en arcilla pueden consistir en una sola arcilla o en varias arcillas mezcladas con modificadores minerales también conocidos como «no plásticos», como el cuarzo en polvo y el feldespato.

Los minerales arcillosos más comunes («arcillas plásticas») suelen ser silicatos de aluminio hidratados que provienen de la alteración de las rocas por agentes atmosféricos y normalmente presentan dos unidades estructurales. Una unidad estructural es la «capa de sílice» formada por tetraedros, que consiste en un Si^{4+} rodeado por cuatro iones de oxígeno. La otra es el «hidróxido de aluminio o capa de gibbsita», que consta de octaedros con un ión Al^{3+} rodeado por seis grupos hidróxilos. Estas capas octaédricas se condensan con las capas de sílice para formar los minerales arcillosos.

Los minerales arcillosos engloban diversas especies minerales, pero las más conocidas son la caolinita, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, la montmorillonita, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y la halloysita, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ [8, Ullmann's, 2001], [11, Shreve, 1945].

Los productos cerámicos avanzados que contienen sólo una pequeña porción de arcilla o que no contienen arcilla están basados en los materiales siguientes: óxidos, carburos, nitruros y boruros de Al, Mg, Mn, Ni, Si, Ti, W, Zr y otros iones metálicos. Como ejemplos típicos podemos mencionar los siguientes: Al_2O_3 (alúmina), MgO (periclasa o magnesia calcinada a muerte), SiC (carburo de silicio), TiN (nitruro de titanio) y WB_2 (boruro de tungsteno) [8, Ullmann's, 2001].

Las arcillas o materiales arcillosos (arcilla sedimentaria, arcilla esquistosa, limos, marga) suelen utilizarse principalmente para la fabricación de ladrillos, tejas y tuberías. Pueden agregarse aditivos orgánicos (serrín, sustancias fijadoras del papel, poliestireno formado) o agentes auxiliares inorgánicos, como la

diatomita o la perlita, para obtener un mayor volumen de poro. En la industria de los ladrillos y las tejas, pueden agregarse óxidos metálicos como MnO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , cromitas y minerales como $CaCO_3$, $CaMgCO_3$ para obtener el color deseado o mejorar la porosidad del producto acabado. También puede añadirse $BaCO_3$ para reducir la eflorescencia. Dichos aditivos se añaden justo antes del proceso de moldeado o durante la preparación de la materia prima, en forma sólida o líquida.

Los productos refractarios consisten en arcilla, chamota (arcilla plástica en bruto calcinada y triturada) y algunas rocas naturales como cuarcita, dolomita, bauxita y magnesita, pero también en los materiales sintéticos mencionados anteriormente, como corindón sinterizado, carburo de silicio o espinelas. Para producir masas comprensibles es preciso añadir agregados y aglutinantes a las materias primas molidas.

La industria de la arcilla expandida utiliza arcillas con una capacidad de expansión específica. Para mejorar la expansión se emplean aditivos (p. ej. fundentes, medios auxiliares y agentes de desmoldeo) [26, UBA, 2005].

Los productos fabricados por la industria de la cerámica sanitaria y doméstica y los pavimentos y revestimientos consisten principalmente en silicatos de aluminio y los minerales arcillosos sirven como materia prima plástica. Sin embargo, la cerámica técnica y los abrasivos aglomerados inorgánicos suelen contener sólo una pequeña cantidad de arcilla o, en el caso de la cerámica técnica, ninguna en absoluto, y por lo tanto se basan en boruros metálicos, carburos, óxidos y nitruros, tal como se ha indicado anteriormente.

El cuarzo, el feldespato y, en ocasiones, la greda, la dolomita, la wollastonita y la esteatita se utilizan como materiales de relleno y fundentes. Diversos productos cerámicos se esmaltan o engoban por la superficie visible o en toda la superficie con fritas de esmalte o barbotinas de engobe.

Además de las materias primas y agentes auxiliares mencionados anteriormente, para la fabricación de productos cerámicos también se necesitan agentes auxiliares adicionales, accesorios para cocción, combustibles y agentes de sorción. Los aditivos orgánicos añadidos a la barbotina y los agentes aglutinantes se utilizan como agentes auxiliares en el proceso de moldeado. Los accesorios para cocción consisten en placas, montantes y cápsulas ignífugas reutilizables. Los agentes de sorción como el carbonato cálcico, el hidróxido cálcico y la greda se utilizan en el tratamiento de los gases de combustión.

2.2. Descripción general de los procesos de producción

La fabricación de productos cerámicos puede llevarse a cabo utilizando diferentes tipos de hornos, con una amplia gama de materias primas y con diversas formas, tamaños y colores. No obstante, el proceso general de fabricación de productos cerámicos es bastante uniforme, aunque en el caso de pavimentos y revestimientos, cerámica doméstica, sanitaria y técnica, es necesario llevar a cabo con frecuencia un proceso de cocción en varias etapas.

Por lo general, las materias primas se mezclan, moldean, prensan o extrudan hasta darles forma. El agua se utiliza normalmente para conseguir una mezcla y un moldeado minuciosos. Esa agua se evapora en secaderos y los productos se colocan manualmente en el horno –especialmente en el caso de los hornos de vagoneta que funcionan de forma discontinua o en vagones que pasan a través de los hornos de rodillos o túnel, que funcionan de forma continua. En la mayoría de los casos, los hornos se calientan con gas natural, pero también se utiliza el gas licuado de petróleo, el fueloil, el carbón, el coque de petróleo, el biogás/biomasa o la electricidad.

Durante el proceso de cocción en el horno se obtiene la estructura cerámica irreversible del producto. Esto requiere un gradiente de temperatura muy preciso para conseguir el tratamiento adecuado de los productos. Después es necesario un enfriamiento controlado, de manera que los productos liberen el calor gradualmente y conserven su estructura cerámica. Por último se procede al embalaje y almacenamiento de los productos para su expedición.

En las secciones siguientes 2.2.1-2.2.13, se analizan las unidades más importantes de una planta de fabricación cerámica y los diversos pasos y variaciones de los procesos de producción [1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [5, InfoMil, 2003], [6, Timellini, 2004], [7, Dodd, 1994], [8, Ullmann's, 2001], [10, Navarro, 1998], [13, SYKE, 2004], [14, UBA, 2004], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [28, Schorcht, 2005], [29, IMA-Europe, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006].

Véanse las definiciones siguientes en relación con las condiciones estándar para las mediciones de las concentraciones y caudales volumétricos, que también aparecen en el glosario:

| | |
|------------------------|---|
| m^3/h | caudal volumétrico: si no se indica lo contrario, el caudal volumétrico en este documento se refiere a un 18% vol. de oxígeno y estado estándar. |
| mg/m^3 | concentración: si no se indica lo contrario, en este documento las concentraciones de sustancias gaseosas o mezclas de sustancias se refieren a gases de combustión secos con un 18% vol. de oxígeno y estado estándar y las concentraciones de benceno se refieren a un 15% vol. de oxígeno y estado estándar. |
| estado estándar | se refiere a una temperatura de 273 K y a una presión de 1013 hPa. |

2.2.1. Almacenamiento y transporte de materias primas

La extracción de arcilla, caolín, materiales arcillosos, feldespato, cuarzo y la mayoría de materias primas utilizadas normalmente tiene lugar en minas o canteras y, en algunos casos, la arcilla también se obtiene de riberas cercanas a la planta de producción (por ejemplo, en Holanda). El transporte a la planta de producción suele hacerse por carretera, pero también se utiliza el tren y, a veces, cuando la mina o la cantera están muy cerca de la planta de producción, se emplean incluso cintas transportadoras.

Según las características y la fase de procesamiento, las materias primas se acopian en espacios abiertos o en almacenes subdivididos en capas, alimentadores de gran volumen, almacenes de templado, almacenes de envejecimiento o almacenes de secado. Los almacenes están equipados con indicadores de nivel, válvulas de sobrecarga y filtros o unidades de desplazamiento de gases, que expulsan el aire con polvo desplazado. Algunos materiales también se entregan en forma líquida o como lechada y, por lo tanto, se almacenan en tanques u otros contenedores.

El equipo para el transporte dentro de la planta se escoge dependiendo de las características del material transportado, como la granularidad, la resistencia al desgaste por rozamiento y la plasticidad, la temperatura, el caudal y el espacio disponible. Los materiales se mueven con montacargas propios de la minería, como elevadores de cangilones, cadenas transportadoras, transportadores helicoidales, transportadores neumáticos y portadores. La barbotina de colar se bombea parcialmente a través de tuberías.

2.2.2. Preparación de materias primas

La primera reducción del tamaño y la homogenización preliminar de las materias primas suele efectuarse durante la extracción, pero para satisfacer los exigentes requisitos técnicos de los productos cerámicos modernos se requiere una preparación posterior. Pueden emplearse uno o varios de los siguientes procesos que se describen en las secciones 2.2.2.1-2.2.2.10, aunque no necesariamente en el mismo orden.

2.2.2.1. PRE-SECADO

En ocasiones, algunas materias primas deben someterse a un proceso de secado previo; por ejemplo, la arena puede secarse empleando la tecnología de lechos fluidificados y también pueden utilizarse secaderos rotatorios. Muchas materias primas cerámicas refinadas se compran a proveedores especializados, normalmente en estado seco.

2.2.2.2. PRE-MEZCLA

La mezcla de arcillas puede empezar en la cantera, por ejemplo mediante la extracción selectiva o apilando el material en capas horizontales superpuestas y posteriormente arañando la pila de material verticalmente para enviarla a la fábrica.

2.2.2.3. ALTERACIÓN POR AGENTES ATMOSFÉRICOS/ENVEJECIMIENTO

Las fábricas de ladrillos y tejas de arcilla deben almacenar grandes cantidades de arcilla y materias primas minerales y el almacenamiento inicial suele ser al aire libre. En algunos casos, especialmente en el caso del lodo blando, el almacenamiento durante varios meses mejora la aptitud para el moldeo de la arcilla. El proceso se conoce como «envejecimiento» y la acción de los agentes atmosféricos es más eficaz durante el invierno.

2.2.2.4. MACHACADO, TRITURACIÓN Y CRIBADO PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

Para la primera trituración de arcillas relativamente secas o quebradizas pueden utilizarse grandes rodillos desmenuzadores dentados, normalmente situados en la propia cantera, o bien grandes quebrantadores de mandíbulas. También se reduce el tamaño de las materias primas muy duras (que suelen utilizarse para fabricar productos refractarios) con ayuda de quebrantadores de mandíbulas o de cono, que comprimen los terrones de mineral entre una superficie dura fija y una superficie móvil.

Los molinos de martillo permiten reducir el tamaño mediante la fuerza de impacto: los martillos rotatorios se encargan de hacer pedazos los trozos de materia prima que se introducen en el molino.

Los molinos de muelas (p. ej. molinos de muelas en seco o en húmedo) son ideales para reducir el tamaño de partícula de materias primas más plásticas. Las muelas con una base perforada garantizan un tamaño de partícula máximo definido y los molinos de muelas en húmedo permiten templar las arcillas agregando agua.

Los rodillos batidores se utilizan ampliamente en la industria pesada de la arcilla para desintegrar, prensar y homogeneizar las partículas de arcilla. Una pareja de rodillos paralelos de acero duro trabajan en direcciones opuestas de forma que percutean, cortan y prensan. Para controlar el tamaño puede ajustarse el espacio entre los rodillos.

Las cortadoras de arcilla (y también los molinos de rodillos) son útiles en el caso de materias primas plásticas y consisten en un tambor rotatorio perforado

equipado con cuchillas comunes. Los terrones de arcilla se introducen por las ranuras en forma de raspaduras.

Los quebrantadores rotatorios de impacto tienen dos rotores equipados con impactadores empernados o zapatas. Giran constantemente y de esta forma se consigue que el material alimentado gire continuamente, se mezcle y acabe desintegrándose.

2.2.2.5. MOLTURACIÓN EN SECO O EN HÚMEDO (TRITURACIÓN)

Con el proceso de trituración descrito anteriormente se obtienen normalmente partículas de 2 mm o más. Para muchas aplicaciones cerámicas se requiere un tamaño menor como es el caso de los pavimentos y revestimientos, los productos refractarios y la cerámica de mesa. Los molinos de rodillos de molturación en seco o en húmedo se utilizan para obtener partículas de aprox. 1 mm de diámetro. Consisten en rodillos rotatorios orientados en vertical dentro de un anillo externo de forma que la fuerza centrífuga desarrolla presión entre el rodillo y el anillo. La materia prima que se obtiene tras la primera fase de trituración se introduce en el molino con o sin agua y se molitura hasta conseguir el tamaño requerido. Los molinos de bolas continuos o de carga permiten una pulverización más fina abatiendo esferas cerámicas duras entre tambores montados en horizontal.

Los molinos de bolas son comunes en la industria de pavimentos y revestimientos cerámicos y, cuando se emplean en húmedo, pueden alcanzar partículas con un tamaño inferior a 200 micras.

2.2.2.6. TRATAMIENTO EN CRIBA EN SECO/CLASIFICACIÓN POR CORRIENTE DE AIRE

Para optimizar ciertas propiedades de la cerámica como la densidad, a veces es necesario mezclar material de calibres concretos. El tratamiento en criba en seco normalmente emplea cribas vibratorias que se calientan eléctricamente para evitar la acumulación de material y las obstrucciones.

También es posible utilizar clasificadores neumáticos basados en ciclones de separación para conseguir el tamaño deseado para el polvo seco. En cualquier caso, es habitual volver a introducir en el molino el material sobredimensionado.

2.2.2.7. SECADO POR PULVERIZACIÓN

Este proceso es muy común en la industria de la cerámica sanitaria y doméstica, y también se utiliza para la fabricación de cerámica de mesa, cerámica técnica y productos refractarios. La suspensión acuosa de materias primas resultante de la molienda de bolas en húmedo (contenido de sólidos ~ 60 a 70%) se pulveriza bajo

presión para producir finas gotas que entran en contacto con una corriente de aire caliente. Cuando las gotitas se secan, se obtienen gránulos huecos uniformes y más o menos esféricos (con un contenido de humedad típico entre 5,5 y 7%). Este tipo de polvo tiene una elevada plasticidad, facilita un llenado preciso de las matrices de prensa y el posterior prensado en baldosas individuales de gran tamaño. Hoy en día, algunas empresas están especializadas en la preparación de polvo secado por pulverización. Entregan el material prefabricado directamente a las plantas cerámicas donde tiene lugar el resto del proceso.

2.2.2.8. CALCINACIÓN

Algunas materias primas cerámicas se pre-cuecen, normalmente en hornos rotatorios, hornos de túnel u hornos de calcinación para mejorar sus propiedades. Por ejemplo, algunos óxidos como la dolomita o la magnesita deben «calcinarse a muerte» a altas temperaturas, en ocasiones superiores a 1.800 °C, para que puedan utilizarse en productos refractarios. La calcinación de arcillas como el caolín reduce la contracción plástica de los cuerpos a los que se añaden, facilitando de este modo el control del tamaño de los productos y acelerando los ciclos de cocción. Hoy en día, algunas empresas están especializadas en la preparación de materias primas calcinadas. Entregan el material prefabricado directamente a las plantas cerámicas donde tiene lugar el resto del proceso.

Este documento no aborda estos procesos de calcinación de materias primas, pero es posible encontrar información útil relacionada con los óxidos calcinados a muerte y la chamota, los pigmentos y los materiales de relleno calcinados en el BREF «Fabricación de cemento y cal», en el que se describe la calcinación de la dolomita; en el BREF «Gestión de residuos mineros en actividades mineras», que describe el procesamiento del caolín; el borrador del BREF «Química inorgánica de gran volumen de producción (Sólidos y otros productos)», que describe la producción de óxido de magnesio; y en el borrador del BREF «Especialidades químicas inorgánicas», donde se describe la producción de especialidades de pigmentos inorgánicos.

2.2.2.9. MATERIALES DE BASE SINTÉTICA

Debe tenerse en cuenta que algunos proveedores especializados pueden fabricar materiales sintéticos como el carburo de silicio, pero que aún así, es necesario pasar por el proceso de trituración.

2.2.2.10. FRITAS Y ESMALTES, PREPARACIÓN DE ESMALTE

En el esmaltado de los pavimentos y revestimientos cerámicos se utilizan materias primas de naturaleza vítreo (fritas). Las fritas son compuestos vítreos

insolubles en agua que se preparan a partir de materiales cristalinos obtenidos como resultado de la fusión a altas temperaturas (1.500 °C) seguida de un rápido enfriamiento. Los fabricantes de fritas suministran las fritas a la industria de baldosas de cerámica (para más información, véase también el documento BREF Fabricación de vidrio).

Además de las fritas, los principales componentes de esmalte son el sílice (formador de vidrio) así como aditivos que actúan como fundentes (álcalis, metales alcalino-terrosos, boro, plomo, etc.), opacificantes (circonio, titanio, etc.) y agentes colorantes (hierro, cromo, cobalto, manganeso, etc.).

En el proceso de preparación del esmalte, la frita y los aditivos suelen pulverizarse en molinos de bolas de tambor hasta obtener un desecho predeterminado. El esmalte pasa por tamices vibratorios. A continuación se ajustan las condiciones de la suspensión acuosa. Las características de la suspensión dependerán del método utilizado.

Se formulan una amplia gama de esmaltes según el tipo de producto, la temperatura de cocción y los efectos y propiedades deseados del producto acabado.

2.2.3. Mezcla de componentes

2.2.3.1. GENERAL

El tiempo de mezcla, la intensidad y el orden tienen un impacto considerable sobre las propiedades de la mezcla y, por lo tanto, sobre el producto final. Las materias primas preparadas deben mezclarse y homogeneizarse, en proporciones controladas, para conseguir la uniformidad físico-química requerida. Según el sector cerámico, la mezcla puede tratarse de operaciones continuas a gran escala o de pequeñas mezclas de carga muy controladas. Las proporciones pueden ser por volumen (p. ej. vía dosificadores lineales sobre cintas transportadoras) o por masa (p. ej. vía dosificadores de hélice vinculados a cintas alimentadoras por peso).

La mayoría de las operaciones de conformado cerámico requieren materias primas con un contenido de agua o fijador definido y pequeñas cantidades de aditivos como pigmentos, agentes para evitar la formación de espuma y aglutinantes que deben dosificarse con precisión y distribuirse de forma uniforme en la mezcla. En la fabricación de productos refractarios, es posible optimizar las propiedades de algunos productos mezclando cuidadosamente las distintas fracciones de materia prima del tamaño del grano. Actualmente las proporciones de cada componente se calculan automáticamente y el control informatizado de los mecanismos del alimentador permite una rápida alteración de la «composición» de la mezcla. En algunos casos, principalmente en la fabricación de ladrillos, la

arcilla también se mezcla con aditivos de combustible sólido (como coque fino) para reducir los tiempos de cocción.

2.2.3.2. MEZCLADORAS CONTINUAS

Las mezcladoras de dos hélices se utilizan bastante en la industria pesada de la arcilla y consisten en una cuba provista de dos ejes giratorios. Los ejes están equipados con paletas y cuchillas que permiten un movimiento considerable de la mezcla. La separación de las paletas mueve la masa hacia delante hasta la zona de descarga.

Las mezcladoras de una hélice son más suaves que las de doble hélice y resultan útiles para templar las mezclas de arcilla con agua antes de la extrusión. La mezcladora suele terminar en una barrena helicoidal (amasadora) que comprime la mezcla de arcilla preparada.

El funcionamiento de los molinos de muelas (mezcladoras de platos en contracorriente) se describe en la sección 2.2.2.4. En la versión en seco, la solera gira y los platos (ruedas locas de acero pesado) tienen un eje fijo; mientras que en la versión en húmedo, la solera es fija y los platos giran alrededor del eje vertical. Es posible una mezcla considerable de arcilla, agua y ciertos aditivos.

Las cortadoras de arcilla y los quebrantadores rotatorios de impacto también se mencionaron en la sección 2.2.2.4 y sirven tanto para mezclar como para triturar.

2.2.3.3. MEZCLADORAS TIPO EIRICH

Existen diversos tipos de mezcladoras con palas en forma de Z (artesa mecánica) pero todas trabajan sobre el mismo principio de corte y amasado. Normalmente trabajan con materias primas plásticas, pero también pueden tratar con polvos más secos.

Los tambores mezcladores son apropiados para mezclar materiales relativamente secos de tamaño uniforme. El tambor cargado gira durante un tiempo predefinido.

Las mezcladoras de cuba giratoria siguen el mismo principio que las hormigoneras y se cargan con cantidades determinadas de cada componente mientras la cuba gira. Utilizan álabes, cepillos y deflectores para conseguir una mezcla uniforme. Estas mezcladoras pueden mezclar arcilla granular con polvos finos.

Las mezcladoras de hélice rotatoria (agitadores diluidores) tienen una solera fija y una hélice central giratoria; normalmente incorporan brazos con palas o cuchillas rotatorias. Estos brazos barren la base de la solera con un movimiento

planetario y consiguen una eficacia en la mezcla similar a la de una máquina de solera giratoria.

Los tanques agitados se emplean para la mezcla de lechadas acuosas, barbotinas y suspensiones utilizadas en la industria cerámica. Aunque suelen incluirse agentes antisedimentación, normalmente es necesario seguir agitando la mezcla hasta que ésta se utiliza. Se puede realizar esta operación en el mismo tanque de la mezcla o en un tanque de almacenamiento distinto.

2.2.4. Moldeado/conformado de artículos

2.2.4.1. GENERAL

Los productos cerámicos tradicionalmente se moldeaban a partir de materias primas en estado plástico y durante milenios se realizó manualmente. Actualmente existen especificaciones técnicas cada vez más exigentes en cuanto a propiedades como la tolerancia dimensional, la densidad, la resistencia, la durabilidad y la refractariedad. En muchos casos, la estética es también muy importante. El método para conformar los materiales puede influir de forma considerable en las propiedades finales y por ello han surgido numerosas técnicas de moldeado en los diversos sectores de la industria cerámica.

2.2.4.2. PRENSADO

2.2.4.2.1. *Prensado mecánico*

Este método sigue utilizándose para la fabricación de ladrillos (p. ej. prensado semihúmedo) y productos refractarios. Los portamatrizes se cargan con un volumen determinado de gránulos de arcilla, y se aplica presión normalmente desde arriba y desde abajo con pistones impulsados por la acción de una leva y asistidos por pesos volantes.

2.2.4.2.2. *Prensado hidráulico*

Las prensas hidráulicas modernas pueden proporcionar una elevada fuerza de compactación, alta productividad, consistencia y sencillo ajuste. Muchas prensas incorporan unidades de control electrónico que pueden comprobar la altura de las unidades y ajustar automáticamente el ciclo para garantizar una uniformidad de tamaño. Estas prensas pueden ajustarse rápidamente para satisfacer los distintos requisitos, incluyendo complicados programas de prensa como los utilizados en el conformado de complejas formas refractarias. Las prensas hidráulicas son comunes en el moldeado de baldosas. En este caso, el polvo húmedo (con un contenido de humedad del 5-7%) se prensa en matrices poco profundas, mientras

que las tejas de arcilla suelen conformarse prensando bastones de arcilla plástica cortados de una columna extruida.

2.2.4.2.3. *Prensado de impacto*

Este procedimiento implica un conformado con un índice energético elevado que se basa en el impacto neumático-mecánico de un empujador a alta velocidad que golpea el polvo introduciéndolo en una matriz. Esta técnica se utiliza para la fabricación de productos refractarios especiales.

2.2.4.2.4. *Prensado de fricción*

Las prensas de fricción mecánica (prensas de husillo) se utilizan, por lo general, para fabricar formas refractarias aunque están siendo sustituidas progresivamente por prensas hidráulicas.

2.2.4.2.5. *Prensado isostático*

Algunos productos de alta calidad requieren una densificación uniforme que puede conseguirse aplicando presión de forma uniforme sobre todas las superficies. En la prensa isostática se llenan moldes de goma o poliuretano con polvo cerámico y se colocan en un recipiente lleno de líquido. A continuación se aplica una elevada presión hidrostática y se desmoldan los objetos. Esta técnica se utiliza en los sectores de la cerámica técnica y refractaria así como en la fabricación de baldosas y cerámica de mesa.

2.2.4.3. EXTRUSIÓN

La extrusión se emplea bastante en la fabricación de bloques y ladrillos de arcilla, tuberías de gres vitrificado y pavimentos y revestimientos cerámicos. El proceso también se utiliza para conseguir bastones semi-acabados que se prensarán para convertirlos en tejas, formas refractarias, etc. El proceso de extrusión exige una materia prima plástica que normalmente implica un contenido considerable de arcilla. El cuerpo plástico se templa con agua para conseguir la consistencia necesaria y seguidamente se hace salir por la matriz del extrusor, normalmente con ayuda de una barrena potente. Antes de la barrena suele pasar por una fase de vacío que proporciona una mejor consolidación de la columna de arcilla. Finalmente se corta en trozos de la longitud deseada empujando partes de la columna a través de un número de alambres verticales muy tensados.

La extrusión es apropiada para la producción continua y a gran escala de ladrillos, tuberías, etc. y es ideal para fabricar productos perforados (incl. bloques voluminosos ligeros para la construcción).

2.2.4.4. MOLDEADO

Se trata de un método muy antiguo de dar forma a los objetos de arcilla. El primer ladrillo (sin cocer) conocido data de hace más de 10.000 años. En muchas zonas del mundo se sigue utilizando el adobe. Tradicionalmente se moldeaba la pieza manualmente utilizando moldes muy sencillos de madera para garantizar una forma y un tamaño más uniformes. El moldeado de la arcilla requiere mucha menos energía que el prensado o la extrusión, pero requiere una mezcla mucho más suave (más húmeda) y, por lo tanto, tarda más en secarse y requiere mayor energía calorífica.

Los ladrillos moldeados fabricados con lodo blando tienen características estéticas y texturas especiales muy solicitadas, por ejemplo, para restaurar el rico patrimonio arquitectónico de muchas ciudades y regiones europeas. Todavía se hacen ladrillos a mano a precios elevados, pero la mayoría de ladrillos moldeados se fabrican mecánicamente con máquinas sofisticadas en Europa Occidental. Las máquinas imitan el procedimiento de «tirar» trozos de arcilla en moldes previamente enarenados. El moldeado de productos también es habitual en el sector de la cerámica refractaria para formar productos grandes que pueden llegar a pesar más de una tonelada. La mezcla, que debe tener una viscosidad precisa, se moldea en el molde. En este caso, se aplica una vibración controlada (aplicada al molde o directamente a la mezcla) para consolidar la mezcla y garantizar que se llena bien el molde. El proceso se conoce como conformado con molde vibratorio.

2.2.4.5. COLADA EN BARBOTINA

Este proceso es muy habitual en la fabricación de cerámica sanitaria, de mesa y ornamental y para la fabricación de productos refractarios especiales y complicados y cerámica técnica. El material mineral molido se mezcla con agua para producir una barbotina de arcilla (una lechada acuosa estable) que se vierte en un molde poroso, tradicionalmente hecho de yeso. La succión capilar del molde extrae el líquido de la lechada quedando la forma sólida en el interior del molde. El grosor de la pared se incrementa progresivamente y con tiempo puede conseguirse, si es necesario, un cuerpo completamente sólido antes de desmoldar.

Los productos de la cerámica sanitaria son relativamente voluminosos y suelen fabricarse mediante el convencional colaje con barbotina o (más directamente) en máquinas de moldeado por presión.

2.2.4.6. FUNDICIÓN POR FUSIÓN

Es una técnica cara en cuanto a costes y al consumo energético y por ello su uso se reduce a aplicaciones cerámicas especializadas. Los ladrillos refractarios están sujetos a múltiples ataques químicos y físicos de escoria líquida, clínker,

etc. La fundición por fusión implica una fusión previa de las materias primas seleccionadas, que deben verterse en moldes. Las unidades resultantes tienen una densidad elevada, una porosidad baja y una coherencia intergranular muy elevada, con una microestructura regular. Estas propiedades mejoran la resistencia ante la corrosión y la erosión y ofrecen una elevada resistencia mecánica a altas temperaturas. Una característica de este proceso es la elevada contracción de los óxidos fundidos en el momento de la solidificación (aprox. un 15% del volumen). Es necesario un enfriamiento lento y controlado para evitar que se rompan las piezas y para controlar el proceso de cristalización.

2.2.5. Secado de productos cerámicos

2.2.5.1. GENERAL

Tradicionalmente la mayoría de artículos de arcilla se secaban de forma natural, dejándolos al aire a temperatura ambiente. En muchas zonas de Europa este procedimiento sólo era eficaz durante el verano. En la industria tradicional de los ladrillos y las tejas se empleaban baldas de secado simples que permitían colocar filas de ladrillos uno encima de otro bajo una sencilla cubierta ligera de madera que los protegía de la lluvia.

En la industria cerámica moderna es preciso optimizar el proceso de secado en cuanto a la velocidad, eficiencia térmica y desgaste mínimo. Excepto en los procesos de secado lentos y suaves, es necesario mantener un control exhaustivo de las velocidades de calentamiento, la circulación de aire, la temperatura y la humedad. El calor para el aire de secado suele proceder de quemadores de gas y del aire caliente recuperado de la zona de refrigeración de los hornos. El calor del aire de secado también puede suministrarse mediante cogeneración u otro combustible, como el carbón, biomasa, biogás o coque de petróleo.

Las materias primas cerámicas varían en cuanto a su sensibilidad al secado, pero la mayoría se benefician de un período inicial de calentamiento en condiciones de humedad elevada (y con poca o ninguna eliminación de la humedad) seguido de la fase principal de secado donde las unidades reciben aire más caliente y más seco. El último porcentaje de agua es más difícil de eliminar y requiere aire más seco y más caliente. Han aparecido diversos tipos de secaderos para satisfacer las necesidades de los distintos sectores de la industria, en los que la naturaleza y el tamaño de los componentes cerámicos varían enormemente.

2.2.5.2. SECADEROS DE BASE CALIENTE

Este sencillo método de secado ya no se utiliza tanto y no se presta a la mecanización o a la automatización. Sin embargo, sigue siendo apropiado para el secado

lento y suave de piezas cerámicas voluminosas y complejas, como la cerámica sanitaria o algunos productos refractarios. Algunos ladrillos con formas especiales también se secan de esta forma. Tal y como indica su nombre, los productos se secan aplicando calor directamente a la parte inferior de las unidades en contacto con una base caliente y mediante corrientes de convección en el aire sobre esa base. El flujo de aire lateral es mínimo y todas las superficies de las piezas se secan poco a poco, evitando esfuerzos inapropiados durante el secado.

2.2.5.3. SECADEROS DE CÁMARA (INTERMITENTE)

Consisten en una batería de cámaras con puertas de entrada bien ajustadas, normalmente alimentadas mediante vías con vagonetas de secado. Estas vagonetas se cargan con palets o racks de secado, apilados verticalmente con una distancia uniforme. Recientemente se han desarrollado sistemas de transporte totalmente automáticos con racks en el interior del secadero alimentados mediante vagonetas de transferencia.

Las unidades cerámicas (ladrillos, bloques, tuberías y formas refractarias) se colocan en los racks y las vagonetas de secado cargadas se transportan en a las cámaras que se sellan cuando una vez que están llenas. Actualmente se trata de una operación muy automatizada. La temperatura de la cámara se eleva de forma controlada bien directamente (mediante la inyección de aire caliente) o indirectamente (mediante superficies de transferencia térmica). Para mejorar la eficacia del secado se emplean técnicas de recirculación de aire. La transferencia térmica se produce principalmente mediante convección, más una pequeña radiación procedente del aire caliente y de las bases calientes. Se siguen perfiles específicos de temperatura-humedad adaptados a cada producto cerámico.

Los secaderos de cámara resultan especialmente útiles cuando se fabrican varios cuerpos cerámicos, cuando los cuerpos tienen un contenido elevado de agua o cuando la producción es intermitente. También es relativamente fácil construir cámaras adicionales si es necesario.

2.2.5.4. SECADEROS DE TÚNEL (CONTINUO)

Se trata esencialmente de una estructura de túnel larga a través de la cual se empuja una fila de vagonetas cargadas con las piezas de cerámica verde. En el extremo de descarga del túnel se alimenta aire a temperaturas elevadas y se induce para que fluya hacia el extremo de entrada con ayuda de uno o varios ventiladores. A medida que el aire fluye por el secadero, transfiere calor al producto y aumenta su contenido de humedad. Normalmente se instalan ventiladores de recirculación que aumentan la turbulencia y la eficacia del secado. La longitud del secadero de túnel depende de la velocidad de flujo de productos y del contenido de agua del material cerámico.

2.2.5.5. SECADEROS VERTICALES «DE CESTA»

El secadero vertical se utiliza principalmente en la fabricación de baldosas de cerámica. Las baldosas se introducen en cestas compuestas de varias plataformas de rodillos. Los grupos de cestas se mueven hacia arriba a través de los secaderos donde encuentran los gases cálidos de secado. La temperatura en este tipo de secadero normalmente es inferior a 200°C y los ciclos de secado varían entre 35 y 50 minutos.

2.2.5.6. SECADEROS HORIZONTALES DE RODILLOS CON PLATAFORMA MÚLTIPLE

Estos secaderos se utilizan considerablemente para la fabricación de baldosas de cerámica. Los secaderos horizontales están diseñados según el mismo principio que el horno de rodillos. Las baldosas individuales se introducen en diferentes plataformas y unos rodillos se encargan de transportarlas en posición horizontal. Los quemadores situados en los laterales del secadero producen aire cálido de secado que fluye en sentido opuesto a las piezas.

La temperatura máxima en estos secaderos suele ser superior a la de la versión en vertical (alrededor de 350°C) y los ciclos de secado son más cortos, entre 15 y 25 minutos.

2.2.5.7. SECADEROS DESHUMIDIFICADORES

Estos secaderos suelen ser unidades (cámaras) intermitentes. Esta técnica se basa en mantener el nivel de humedad del aire dentro de la cámara de secado por debajo del nivel de saturación de forma que el agua que contiene la pieza siga evaporándose sin tener que incrementar la temperatura. Para mantener este efecto, es preciso eliminar constantemente el vapor de agua de la cámara y esto normalmente se consigue haciendo circular el aire a través de un condensador refrigerado.

Estos secaderos deben estar muy bien sellados para evitar que entre el aire ambiental, potencialmente húmedo, y suelen estar equipados con controles programables de la humedad para optimizar el secado. Su ámbito de aplicación es limitado pero son apropiados para secar productos cerámicos sensibles, formas especiales, etc. Esta técnica de secado sólo produce agua líquida como corriente de agua residual.

Otra posibilidad es introducir vapor saturado en un secadero de túnel. En este secadero de vapor de túnel, la humedad del aire de secado se reduce en los distintos sectores del secadero para garantizar un secado controlado.

2.2.5.8. SECADEROS DE INFRARROJOS Y MICROONDAS

En principio, los secaderos de infrarrojos y microondas también pueden servir como alternativa a los secaderos convencionales. Para más información en relación con los microondas, véase el capítulo 6 «Técnicas emergentes para la fabricación de productos cerámicos».

2.2.6. Tratamiento superficial y decoración de productos cerámicos

2.2.6.1. TEXTURIZADO DE PRODUCTOS DE ARCILLA

La superficie de los productos de arcilla puede texturizarse por motivos funcionales, por ejemplo para proporcionar un acabado antideslizante a las baldosas de revestimiento.

También se aplica una serie de texturas a los productos de arcilla por motivos estéticos. Los ladrillos de lodo blando adquieren un bonito diseño de «pliegues» aleatorios cuando el trozo de arcilla se «tira» en el molde y si esta operación se hace a mano se consiguen acabados especialmente atractivos. Los productos extrusionados pueden texturizarse por arrastre arañando la superficie de la columna de arcilla. Una técnica alternativa es extrusionar un tamaño un poco mayor y después recortar a la altura y anchura correctas con alambres bien tensados.

En ocasiones es posible obtener una mejor textura por arrastre omitiendo la fase de vacío de la columna de arcilla. Los rodillos texturizados pueden aplicar diversas texturas a los productos extrusionados.

Los ladrillos prensados suelen ser muy duros en estado verde y tras el ensamblaje en forma de columna continua sobre una cinta transportadora, se utilizan cuchillas rotatorias para «envejecer» o texturizar estos ladrillos de algún otro modo. También pueden texturizarse con ayuda de rodillos, normalmente tras una pulverización preliminar tipo neblina de agua para suavizar las superficies.

2.2.6.2. REVESTIMIENTOS APLICADOS

Los ladrillos de barro blando reciben un revestimiento superficial de arena desde el interior de los moldes, que previamente se han revestido de arena para que facilite el desmoldeado. Seleccionando la arena apropiada pueden conseguirse múltiples texturas y colores en cocido.

En el caso de las tejas, los bloques o los ladrillos extrusionados o prensados, puede aplicarse arena u otros minerales granulares a las superficies horizonta-

les y verticales con pistolas de chorreo de aire comprimido. En muchos casos, se añaden pigmentos a la arena para modificar el resultado estético.

2.2.6.3. ESMALTADO, ENGOBE Y OTRAS TÉCNICAS DECORATIVAS

Existe un pequeño mercado especializado para ladrillos esmaltados. El esmalte es más común en la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos, en la cerámica sanitaria y de mesa y actualmente también está de moda en las tejas. El engobe se emplea principalmente en la fabricación de tejas de arcilla y pavimentos y revestimientos cerámicos.

Se preparan componentes de esmaltado bien molidos (principalmente fritas en el caso de las baldosas) como suspensiones acuosas. Las características de suspensión y viscosidad se ajustan para adaptarlas al método de aplicación (pulverización, esmaltado a cortina, esmaltado seco o decorativo). Excepto en la cerámica sanitaria, las piezas de cerámica verde suelen endurecerse durante el proceso de esmaltado mediante cocción de bizcocho y, seguidamente, según los componentes del esmalte aplicados, se cubren con una capa vítrea e uniforme que puede ser transparente u oscura.

Tras el proceso de secado suele aplicarse un engobe. En algunos casos, el engobe se aplica incluso a las piezas verdes o cocidas. Durante el proceso de engobe se reparte una capa de gránulos finos, translúcida o de color, de una masa cerámica por la superficie visible o por toda la superficie de la pieza mediante inmersión o derrame.

El estampado mediante pantalla de estampación es una de las técnicas decorativas utilizadas para las baldosas debido a la facilidad de aplicación en las líneas de esmaltado. Esta técnica consiste en imprimir un diseño determinado mediante una o varias pantallas de estampación (telas en tensión con una apertura de malla determinada). La superficie de la pantalla se cubre y la tinta de impresión sólo penetra por los orificios de los diseños que desean reproducirse. La tinta se fuerza a pasar a través de estas aperturas para imprimir el diseño deseado sobre la baldosa.

Otras técnicas decorativas son el huecograbado y la flexografía. En estas técnicas, el diseño se transfiere directamente sobre uno o varios rodillos. La tinta se aplica a la baldosa desde estos rodillos permitiendo también la impresión en los bordes de las baldosas o en baldosas con relieve. La técnica de impresión por inyección de tinta es también cada vez más popular. En el caso de la cerámica de mesa también se utilizan técnicas de pintura a mano u ornamentos deslizantes.

2.2.7. Cocción

2.2.7.1. OBJETIVOS DE LA COCCIÓN

La cocción es un proceso clave en la fabricación de productos cerámicos ya que controla muchas propiedades importantes de las piezas acabadas. Estas propiedades incluyen la resistencia mecánica, la resistencia a la abrasión, la estabilidad dimensional, la resistencia al agua y a los productos químicos y la resistencia al fuego.

2.2.7.2. CAMBIOS FÍSICO-QUÍMICOS DURANTE LA COCCIÓN

Las materias primas utilizadas en cuerpos cerámicos suelen ser mezclas complejas de minerales arcillosos con otras sustancias minerales tales como el cuarzo, feldespato, carbonatos, yeso, óxidos de hierro y, en ocasiones, materia orgánica. Los productos refractarios también están hechos de una amplia variedad de minerales no arcillosos, junto con aditivos y aglutinantes especializados (que pueden incluir algunas arcillas). Cuando los productos cerámicos a base de arcilla se cuecen en un horno, la humedad residual se extrae a temperaturas entre 100 y 200°C. Si tienen sustancias orgánicas y piritas de hierro, la oxidación tiene lugar a temperaturas entre 300 y 500°C. El agua combinada con la estructura de los minerales arcillosos (agua de cristalización) suele eliminarse a temperaturas entre 500 y 650°C, mientras que los carbonatos como la calcita y la dolomita se disocian con la liberación de dióxido de carbono a temperaturas entre 750 y 950°C.

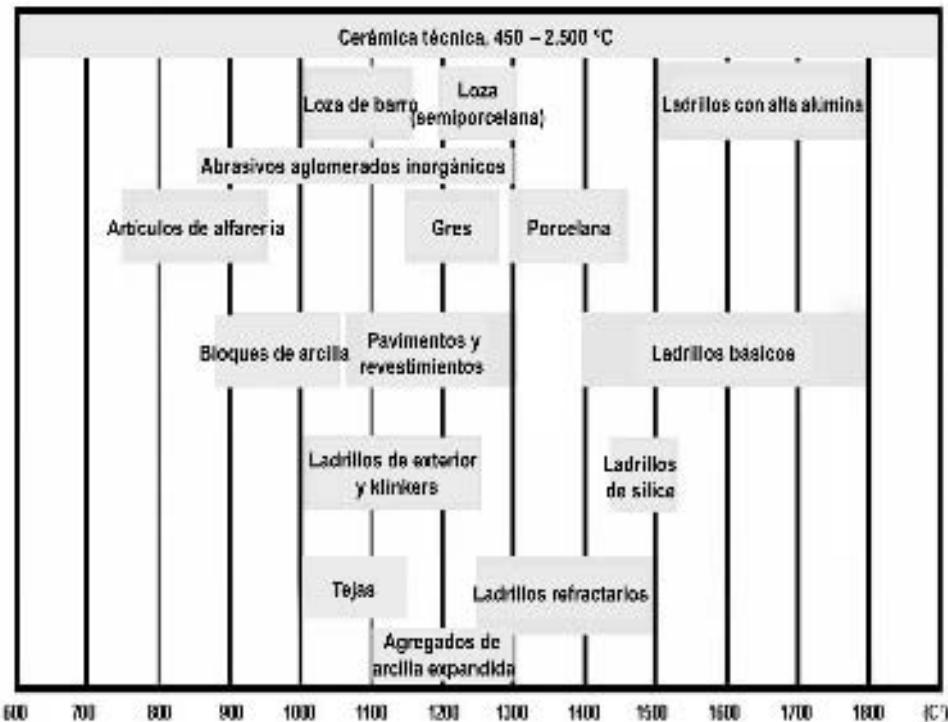
Los cambios más importantes relacionados con el desarrollo de las propiedades cerámicas implican la ruptura de la estructura reticular de los minerales arcillosos originales, seguidos por la formación de nuevos compuestos cristalinos y fases vítreas. La temperatura a la cual tiene lugar la vitrificación (formación de cristales) varía según la mineralogía de la arcilla. La vitrificación normalmente se inicia cuando se alcanzan los 900°C y se completa hacia los 1.050°C (para la mayoría de arcillas de ladrillo) o a los 1.100°C en el caso de las arcillas más refractarias.

Durante la fase de vitrificación de la cocción cerámica, se incorporan muchos minerales no arcillosos como el cuarzo, los óxidos o el hierro, compuestos de cal y álcalis (óxidos de sodio y potasio). Se da alguna solución sólida y de sinterizado y tienen lugar reacciones eutécticas en la interfaz de los granos minerales y las fases de fusión.

Los productos no arcillosos, como algunos productos refractarios, también dependen de las fases de sinterizado, vitrificación o recristalización, pero en la mayoría de casos se necesitan temperaturas mucho más elevadas para obtener las propie-

dades deseadas. En la siguiente figura se presentan los rangos de temperaturas de maduración industrial para diversos grupos de productos [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Figura 2.1. Rangos de temperaturas de maduración industrial para distintos grupos de productos



Las temperaturas necesarias para el proceso de cocción suelen lograrse quemando gas natural y fueloil. En algunos casos también se utilizan combustibles sólidos, biogás/biomasa y energía eléctrica para la generación de calor.

2.2.7.3. HORNOS INTERMITENTES (PERIÓDICOS)

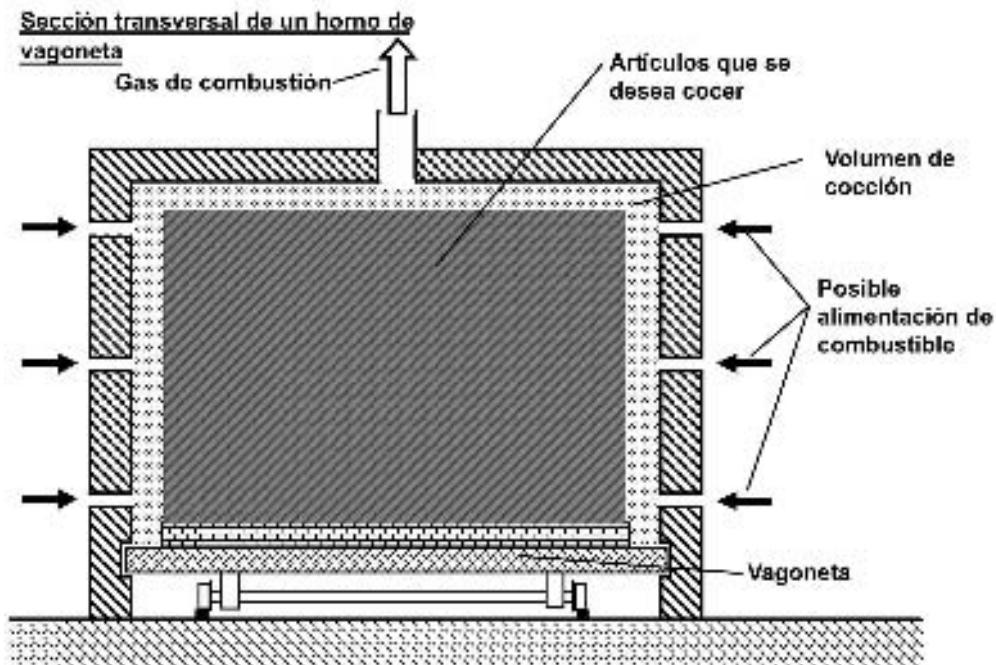
Incluyen hornos de vagoneta y de chimenea, basados en cámaras únicas, que se cargan con productos cerámicos previamente secados (en un horno de chimenea, la campana equipada con la unidad de calentamiento se coloca en la parte inferior con ayuda de una estructura de elevación; en los hornos de vagoneta, las piezas que deben cocerse se colocan en la solera con ayuda de una vagoneta), se sellan y se someten al ciclo de cocción definido. Suelen utilizarse quemadores de

gas y es posible conseguir un buen control de la temperatura y la atmósfera del horno (oxidación o reducción).

También es posible utilizar electricidad para calentar hornos intermitentes, por ejemplo en la fabricación de cerámica técnica. Existen tipos de hornos especiales para cerámica técnica, como compactación isostática en caliente (HIP), hornos de altas temperaturas y hornos con una atmósfera protectora.

Los hornos intermitentes se utilizan principalmente en la fabricación a menor escala de productos especializados (ladrillos con formas especiales, accesorios para tuberías, accesorios para tejas, productos refractarios, etc.). Ofrecen flexibilidad cuando la composición del cuerpo cerámico se altera con frecuencia y estas ventajas compensan su menor eficiencia energética. Las siguientes figuras muestran la sección transversal de un horno de vagoneta [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

Figura 2.2. Sección transversal de un horno de vagoneta



2.2.7.4. HORNOS CONTINUOS

2.2.7.4.1. Hornos de cámara (*Hoffmann*)

Consisten en una serie de cámaras conectadas que se llenan secuencialmente con piezas secas (p. ej. ladrillos), selladas, con cocción casi continua, en los que los gases calientes pasan de una cámara a la siguiente. Este sistema de conexión con chimeneas y orificios entre las cámaras permite el precalentamiento de las piezas, la refrigeración de los gases de combustión y ofrece una mejor eficiencia térmica y menores costes en comparación con los hornos intermitentes. Actualmente, los hornos se calientan principalmente con gas pero en ocasiones también se emplea petróleo o carbón. Se utilizan principalmente en la fabricación de productos especializados, por ejemplo ladrillos de colores especiales.

2.2.7.4.2. Hornos de túnel

Los hornos de túnel son túneles refractarios a los que llegan carros que se desplazan sobre rieles. Estos carros tienen cubiertas refractarias sobre las que se colocan las piezas secadas en patrones estables y definidos. Los carros se desplazan a través de los hornos a intervalos determinados, en dirección opuesta al flujo de aire que procede de los ventiladores y se dirige a un conducto de salida próximo a la zona de entrada del carro. La mayoría de hornos de túnel utilizan el gas como combustible, con una temperatura máxima en la zona de cocción próxima al centro del horno. Las piezas entrantes se precalientan con gases calientes procedentes de la zona de cocción, mientras que el aire entrante refrigerará las piezas cocidas y se precalienta para su función de combustión. Una parte del aire procedente de la zona de enfriamiento se extrae habitualmente para los secaderos adyacentes, proporcionando un ahorro importante de combustible.

La cámara de cocción y los carros suelen sellarse para protegerse ante corrientes de aire secundarias mediante un sello de arena. Los hornos más modernos se sellan con agua u otras soluciones mecánicas mejoradas. El objetivo de estos procedimientos es reducir los tiempos de cocción y el consumo de energía mediante una cámara de cocción estanca al gas.

La Figura 2.3 y la Figura 2.4 muestran una vista esquemática de la disposición y la sección transversal de un horno de túnel [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

Figura 2.3. Vista esquemática de un horno de túnel

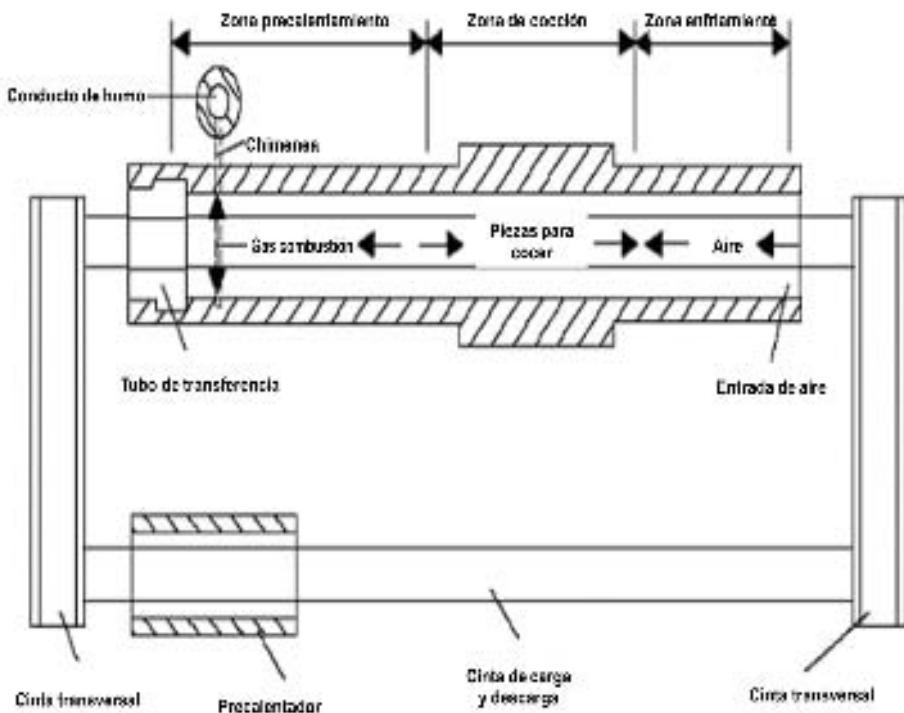
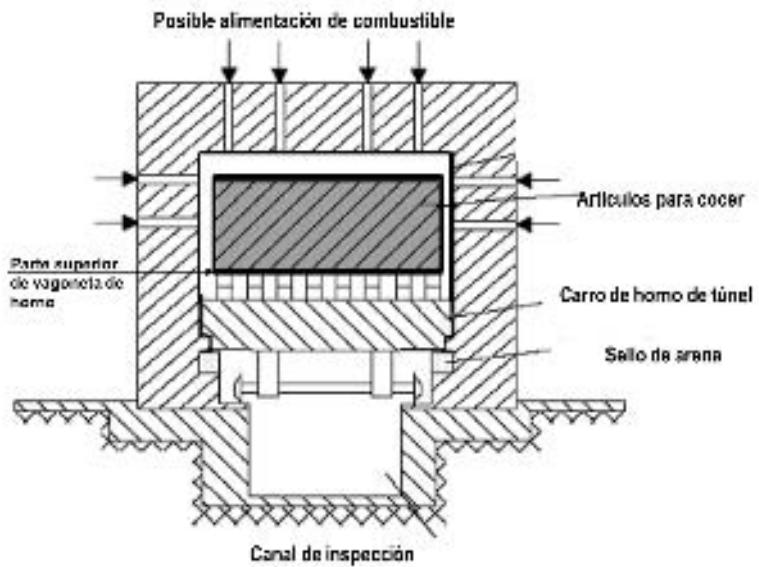


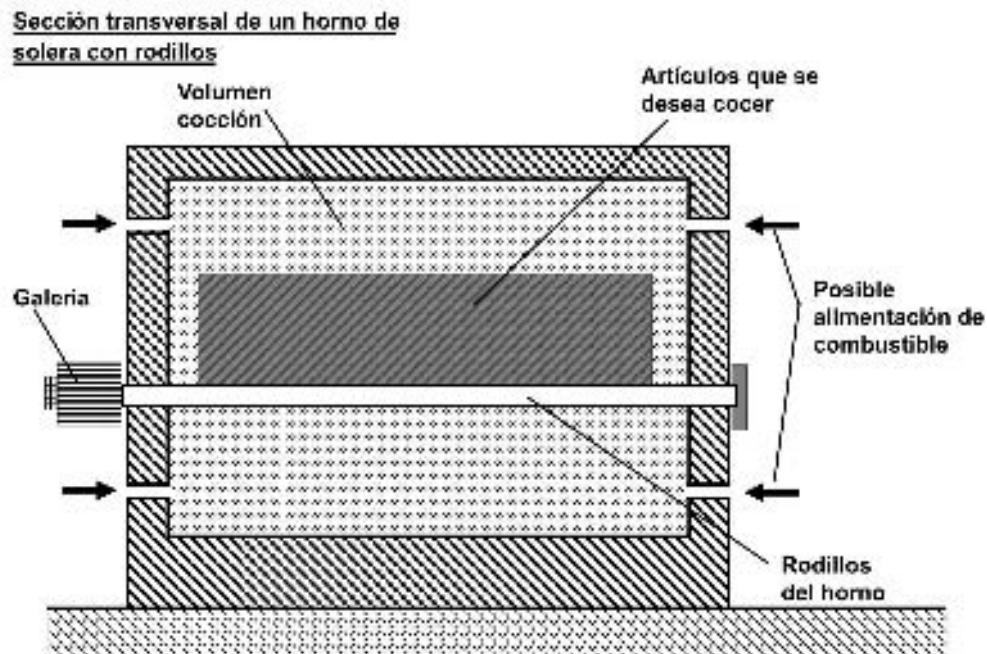
Figura 2.4. Sección transversal de un horno de túnel con carro



2.2.7.4.3. Hornos de solera con rodillos

Los hornos de rodillos de plataforma única se utilizan habitualmente en la producción de pavimentos y revestimientos, y los tiempos de cocción se han reducido a menos de 40 minutos. Las baldosas se transportan sobre rodillos y la cocción se lleva a cabo con quemadores de aire-gas natural ubicados a los costados del horno. Los principales mecanismos de transmisión térmica son la convección y la radiación. Dado que no son hornos de mufla, los coeficientes de transmisión térmica se elevan, reduciendo el ciclo de cocción y el consumo de energía. Los hornos de solera con rodillos se utilizan en ocasiones para la producción de tejas de arcilla, tuberías de gres vitrificado, cerámica sanitaria y de mesa. La siguiente figura muestra la sección transversal de un horno de solera con rodillos [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

Figura 2.5. Sección transversal de un horno de solera con rodillos



2.2.7.4.4. Hornos de túnel con carros deslizantes

Son también hornos de cocción rápida y funcionan según el mismo principio que un horno de solera con rodillos. Sin embargo, en este caso las piezas se colocan sobre carros refractarios con ruedas que se desplazan sobre carriles. El horno de túnel con carro deslizante admite piezas con formas y tamaños más irregulares, mientras que un horno de solera con rodillos sólo puede aceptar piezas de tamaños regulares.

2.2.7.5. COCCIÓN EN HORNO CONSTRUIDO CON LOS PROPIOS LADRILLOS

Una pequeña parte de los ladrillos tradicionales sigue cociéndose en hornos construidos con los propios ladrillos. Los ladrillos secos que contienen un aditivo de combustible sólido (como coque fino) se disponen en una gran estructura rectangular densa sobre una base de ladrillos cocidos. Se dejan chimeneas en las capas de base, con capas de coque para iniciar la cocción. El horno finalmente se recubre con ladrillos cocidos inclinando las paredes externas hacia el interior para mayor estabilidad.

Tras encenderlo, el fuego progresó lentamente gracias a la combustión del combustible en el interior de los ladrillos. La cocción en este tipo de horno tarda varias semanas, incluyendo un tiempo de refrigeración tras el cual se desmonta el horno manualmente y se clasifican los ladrillos según las distintas calidades.

2.2.7.6. HORNOS ROTATORIOS

Un horno rotatorio tiene la forma de un cilindro largo, normalmente inclinado que gira poco a poco alrededor de un eje. El horno se enciende mediante un quemador dispuesto axialmente en el extremo inferior. Los hornos rotatorios se utilizan en la fabricación de agregados de arcilla expandida.

Los hornos rotatorios también pueden utilizarse para calcinar arcilla refractaria y para calcinar a muerte dolomita o magnesita. Este documento no aborda estos procesos de calcinación de materias primas, pero es posible encontrar información útil relacionada con los óxidos calcinados a muerte y la chamota, los pigmentos y los materiales de relleno calcinados en el BREF «Fabricación de cemento y cal», en el que se describe la calcinación de la dolomita; en el BREF «Gestión de residuos mineros en actividades mineras», que describe el procesamiento del caolín; el borrador del BREF «Química inorgánica de gran volumen de producción (Sólidos y otros productos)», que describe la producción de óxido de magnesio; y en el borrador del BREF «Especialidades químicas inorgánicas», donde se describe la producción de especialidades de pigmentos inorgánicos.

2.2.7.7. LECHOS FLUIDIFICADOS

Un lecho fluidificado es un lecho de partículas sólidas que se mantienen en suspensión en un gas y se comportan como un fluido. El polvo que se desea fluidificar se sostiene sobre una base porosa, p. ej. una cuba de material cerámico especial a través de la cual se introduce el gas (normalmente aire) desde abajo y bajo presión. El principio se utiliza como un método de transportar polvo a lo largo de una cuba cerámica porosa ligeramente inclinada. El polvo puede secarse y/o calcinarse simultáneamente.

2.2.7.8. RECUPERACIÓN DE CALOR EN LA FASE DE ENFRIAMIENTO

Siempre que sea posible, la refrigeración de las piezas cerámicas cocidas se acelera mediante una circulación de aire a presión a través de los productos poco después de la zona de cocción. De este modo, durante la operación de secado se logran volúmenes considerables de aire caliente limpio, que se transporta, en gran parte, desde el interior del propio horno con ayuda de ventiladores. Este método de recuperación del calor es especialmente eficaz en los hornos de túnel.

2.2.8. Tratamiento posterior (acabado del producto)

2.2.8.1. MECANIZADO (TRITURACIÓN, PERFORACIÓN, ASERRADO)

Pueden ser necesarias operaciones de mecanizado para producir piezas cerámicas cuya tolerancia dimensional o forma final no pueda obtenerse técnicamente o con la suficiente precisión durante el proceso primario (especialmente para formas o bloques voluminosos).

2.2.8.1.1. *Desbastado por vía húmeda*

El desbastado por vía húmeda se utiliza para el acabado de productos con estrictas tolerancias dimensionales. El desbastado es un proceso por lotes, en el que un número de piezas se fijan a una tabla que se desplaza bajo un cabezal de mecanizado de diamante. Los lechos de los ladrillos o bloques se suavizan en ocasiones mediante el desbastado por vía húmeda para facilitar la adhesión con capas finas de «adhesivos».

2.2.8.1.2. *Desbastado por vía seca*

El desbastado por vía seca de los lechos de los bloques de arcilla con sistemas de desbastado por rueda de diamante se lleva a cabo como tratamiento posterior

para facilitar la adhesión con una capa fina de mortero. En el caso del desbastado por vía seca, todo el dispositivo de desbastado está encapsulado.

2.2.8.1.3. *Perforación*

En ocasiones, los productos cerámicos, especialmente los productos refractarios, deben taladrarse cuando el «orificio» que se necesita no puede conseguirse con la precisión necesaria durante las operaciones de prensado y cocción.

2.2.8.1.4. *Aserrado*

Se trata de una operación de acabado empleada cuando la forma final de un ladrillo cerámico, especialmente un ladrillo refractario, no puede conseguirse en la fase de prensado. En este caso, se prensan y cuecen ladrillos sobredimensionados que posteriormente se aserran a las dimensiones deseadas.

Los ladrillos cara vista pueden aserrarse en la fabricación de formas especiales hechas a medida. Prácticamente en todas las operaciones de mecanizado existe un sistema de agua de bucle cerrado que se encarga de la lubricación y que barre las partículas lubricadas alejándolas de las superficies de trabajo, al mismo tiempo que minimiza la liberación de polvo.

2.2.8.2. *PULIDO*

En algunos casos, especialmente en las baldosas de porcelana, la superficie cocida se pule para obtener una baldosa reluciente y homogénea sin esmaltar.

2.2.8.3. *ENRIQUECIMIENTO EN CARBONO (PRODUCTOS REFRACTARIOS)*

Los productos refractarios deben trabajar en entornos de trabajo extremadamente hostiles y, para algunas aplicaciones, es necesario impregnar las piezas cocidas con brea de petróleo. La presencia de carbón en el producto final ofrece múltiples ventajas:

- Actúa como lubricante, beneficioso para las superficies de trabajo con plataformas de puerta corredera.
- La conductividad térmica relativamente alta del carbón mejora la resistencia del producto al choque térmico.
- El carbón actúa como filtro poroso reduciendo la permeabilidad del producto que, además, ofrece una mayor resistencia ante la penetración de escoria y metal.

La impregnación con brea es un proceso por lotes que normalmente se lleva a cabo en tres recipientes cilíndricos verticales equipados con tapas articuladas.

Los productos para el tratamiento se cargan en cestas metálicas ajustadas al interior de los recipientes. Las piezas se calientan en el primer recipiente a $\sim 200^{\circ}\text{C}$ mediante una corriente de aire caliente en circulación, seguidamente la cesta y el contenido se transfieren al segundo recipiente (conocido como autoclave), que tiene una envoltura de calentamiento para mantener la temperatura. A continuación el autoclave se sella, se evacua y se llena con brea líquida (procedente de enormes tanques de almacenamiento que se mantienen a temperaturas de entre 180 y 200°C). La impregnación se consigue liberando el vacío y aplicando nitrógeno a una presión elevada. Tras el drenaje, la cesta y su contenido se transfieren a un tercer recipiente para su enfriamiento a una temperatura por debajo de la que puedan surgir componentes volátiles de la brea.

Finalmente, es necesario eliminar una proporción elevada de volátiles de la brea que, de lo contrario, tendrían un efecto negativo sobre el entorno de trabajo cuando los productos refractarios entraran en servicio. Normalmente esto se consigue transfiriendo las piezas impregnadas a un horno para someterlas a un ciclo de calentamiento definido. El extractor del horno descarga en un oxidante térmico (incinerador) que se mantiene por encima de 800°C , con un tiempo de retención de al menos $0,5$ segundos. Estas condiciones garantizan que todos los volátiles de la brea (hidrocarburos completos) se oxiden por completo.

Los productos que se someten al anterior tratamiento salen recubiertos de depósitos carbonáceos quebradizos que deben retirarse antes de embalarse o pasar por algún otro tratamiento. Para ello suelen someterse a chorreos breves sobre una mesa apropiada.

2.2.8.4. PULIDO DE LADRILLOS CARA VISTA

A algunos ladrillos cara vista se les da un acabado de patina pasándolos por un tambor inclinado rotatorio forrado de caucho. Las esquinas pronunciadas se eliminan por fricción, obteniendo un perfil más suave. En algunos casos, se agregan salpicaduras de carbonato cálcico (piedra caliza molida), hollín o pigmento, reproduciendo el aspecto de los ladrillos recuperados, con una función arquitectónica reconocida.

2.2.9. Adición de materiales auxiliares

2.2.9.1. MATERIALES PARA REMATES (TUBERÍAS)

Dado que la mayoría de tuberías se soterrán como drenajes o colectores, es necesario que los remates sean fiables. Por este motivo, la industria ha desarrollado manguitos y juntas de plástico estables.

2.2.9.2. SILICIOS/SUSTANCIAS HIDRÓFUGAS

Las unidades de arcilla cocida muestran una amplia gama de valores de porosidad y en ocasiones se emplea la pulverización o inmersión de las piezas en soluciones de silicio para mejorar la impermeabilidad y evitar el crecimiento orgánico y la eflorescencia. Esta técnica se utiliza especialmente para las tejas.

2.2.9.3. MATERIALES DE AISLAMIENTO

En algunos bloques de arcilla huecos y bloques de agregados ligeros (LWA) se insertan materiales de aislamiento (p. ej. poliestireno o lana mineral) para mejorar sus propiedades de aislamiento térmico.

2.2.9.4. RECUBRIMIENTO Y CHAPADO (LADRILLOS REFRACTARIOS)

Para ayudar a la instalación de productos refractarios y mejorar la combustión en el horno o revestimiento del horno, pueden adherirse placas metálicas o tarjetones gruesos a una o varias superficies de ladrillos cocidos. Un tarjetón actúa como junta de expansión que se quema a medida que el horno llega a la temperatura de funcionamiento. Las placas metálicas se funden en las mismas circunstancias, creando una unión entre ladrillos adyacentes.

2.2.9.5. ADHESIVOS

Los adhesivos estables (normalmente basados en resinas epoxi) se utilizan para ensamblar formas especiales hechas a medida de accesorios para tejas, ladrillos o bloques de arcilla.

2.2.9.6. ENSAMBLAJE FINAL

Algunos productos se completan en un paso final de montaje, por ejemplo el montaje de bridas metálicas en los aisladores de alto voltaje para fijarlos a manguitos, transformadores u otras aplicaciones.

2.2.10. Clasificación, embalaje y almacenamiento

En algunos casos, la clasificación y el embalaje sigue siendo una operación manual (en algunos tipos de ladrillos de arcilla, tejas, productos refractarios con formas especiales, cerámica de mesa y ornamental). Sin embargo, un control más exigente de la cocción ha reducido considerablemente la rotura de piezas en los últimos años y los sistemas están cada vez más automatizados. Actualmente es posible medir instrumentalmente incluso el color, lo que resulta importante

en las baldosas de cerámica. Los ladrillos y los bloques de arcilla se consolidan mecánicamente en paquetes listos para la envoltura retráctil. El cliente acepta la posibilidad de un 1 o 2% de unidades imperfectas.

Las unidades cerámicas con formas regulares (ladrillos, tuberías y unidades refractarias) se sujetan normalmente con correas en paquetes de tamaños estándar que frecuentemente se embalan con polietileno y se paletizan.

Los productos cerámicos más delicados, como la cerámica de mesa y ornamental, exigen una inspección y clasificación rigurosas seguidas de un sofisticado embalaje protector. Por el contrario, los productos refractarios no conformados siempre se pesan en bolsas y se paletizan. También se utilizan tambores metálicos para el almacenamiento.

Las baldosas de cerámica son frágiles individualmente pero cuando se embalan en cajas de cartón resultan ser muy resistentes durante la manipulación y el transporte.

Los artículos de arcilla pesados fabricados a gran escala suelen almacenarse en el exterior, pero los productos embolsados o empaquetados en cajas deben almacenarse a cubierto en almacenes, al igual que algunos productos refractarios sensibles a la humedad.

2.2.11. Instalaciones de suministro y eliminación (tratamiento de gases residuales y sistemas de tratamiento de aguas residuales)

Las unidades de extracción de polvo y de tratamiento de los gases de combustión de los hornos, las plantas de tratamiento de las aguas residuales de los procesos y el almacenamiento de combustible son instalaciones importantes de suministro y eliminación de las plantas de fabricación de productos cerámicos. Según las emisiones de polvo, es posible construir unidades de eliminación del polvo como preseparadores centrales o locales de fuerza centrífuga, filtros de tejidos fibrosos, separadores húmedos y precipitadores electrostáticos. Dependiendo del tipo de emisión, en la industria cerámica se utilizan unidades de tratamiento de los gases de combustión, por ejemplo lavadores de gases y plantas de sorción seca así como cámaras de postcombustión térmicas y catalíticas. Estas unidades normalmente están situadas cerca del foco principal de emisiones, o sea el horno.

El agua residual del proceso de fabricación de productos cerámicos contiene principalmente componentes minerales. Las unidades de depuración del agua residual suelen tener la forma de cuencas de sedimentación. La sedimentación de los componentes minerales inorgánicos puede acelerarse utilizando agentes de floculación y coagulación.

El almacenamiento de combustible depende de las características del combustible utilizado. Los trozos de carbón se almacenan en sistemas de almacenamiento al aire libre y cobertizos, mientras que el carbón pulverizado se almacena en silos. El gas licuado de petróleo se almacena en depósitos especiales a presión. El fueloil se almacena en tanques mientras que el fueloil pesado debe calentarse para poder bombearlo. El gas natural se suministra a través de la red de suministro de la empresa proveedora de gas. Encontrará información adicional útil relacionada con el almacenamiento de combustibles en el BREF de Almacenamiento (ESB).

Según el procesamiento pueden ser necesarias otras instalaciones de suministro tales como instalaciones encargadas de la producción de moldes. Estas instalaciones fabrican moldes de yeso que se utilizan en grandes cantidades, por ejemplo, para la fabricación de tejas.

2.2.12. Reciclado en la industria cerámica

La mayoría de sectores de la industria cerámica reciclan materiales como re cortes, despojos y artículos que no superan los estándares y los recuperan en la fase de preparación de la materia prima. Los artículos cocidos de calidad inferior también pueden reciclarse en la propias fábricas, normalmente después de triturarlos y cribarlos para formar una chamota granular. Ésta es una sustancia no plástica y puede proporcionar ventajas importantes como un secado más sencillo y una menor contracción cuando se añade como una proporción controlada a los cuerpos cerámicos gracias a una mayor permeabilidad. Incluso cuando el reciclado de los desechos de la cocción no es apropiado para el proceso, estos restos pueden encontrar alguna otra salida en un proceso cerámico distinto.

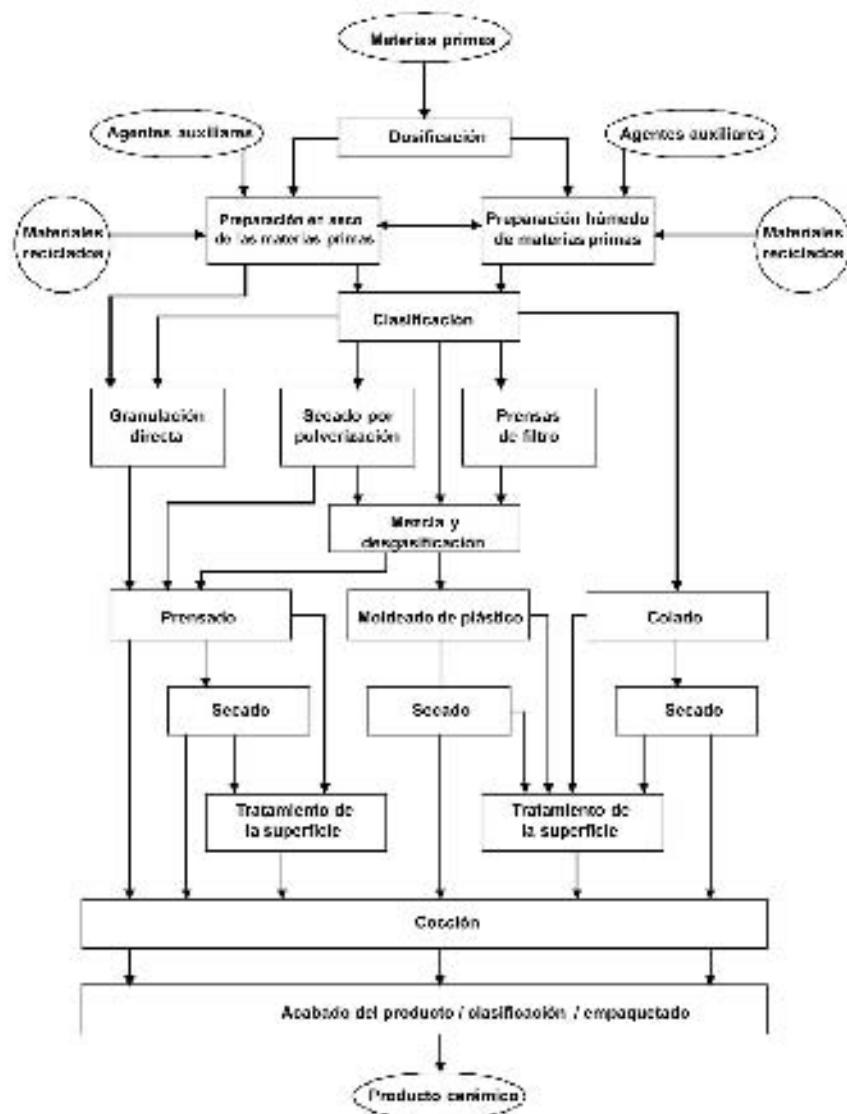
Los productos refractarios retirados durante el revestimiento de un horno pueden estar contaminados por escoria, sales, cristal o metal que podrían influir negativamente sobre las propiedades refractarias del cuerpo al que se agreguen. Del mismo modo, otros materiales contaminados (p. ej. materiales contaminados con metales pesados, derivados de esmaltes) pueden ser inapropiados para el reciclado. Los moldes de yeso que alcanzan el final de su vida funcional representan otra pérdida del proceso que no puede reutilizarse, pero en algunos casos pueden aprovecharse como materia prima en la industria del cemento.

Sin embargo, en otros casos (especialmente en el ámbito de los ladrillos cara vista y las tejas cerámicas) la recuperación y reutilización es común y los ladrillos recuperados gozan de una buena demanda. En los monumentos europeos todavía se encuentra un gran número de ladrillos romanos. Es preciso indicar que algunos de los usos de los ladrillos o tejas granulares o bien molidos serían aplicables a calibres similares de artículos cocidos de otros sectores. Las pérdidas de materiales triturados y calibrados también se utilizan como componente del hormigón para la construcción o como relleno en el asfalto para la construcción de carreteras.

2.2.13. Diagrama de flujo del proceso general con diferentes fases del tratamiento

La siguiente figura resume la descripción de los diferentes procesos e ilustra diferentes fases posibles en la fabricación de productos cerámicos [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

Figura 2.6. Diagrama de flujo del proceso general con diferentes fases del tratamiento

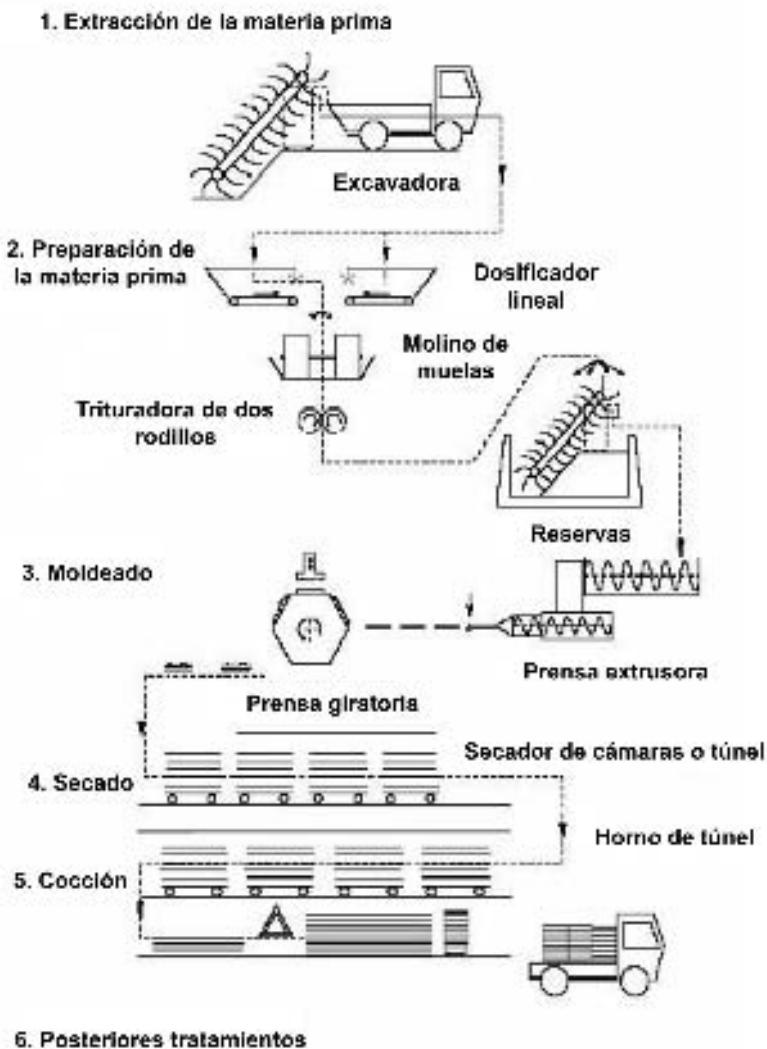


2.3. Descripción de técnicas para la fabricación de productos cerámicos en cada uno de los sectores

2.3.1. Ladrillos y tejas

La fabricación de ladrillos y tejas pasa por las fases de extracción de materias primas (actividad que no se cubre en este documento), almacenamiento de materias primas, preparación de materias primas, moldeado, secado, tratamiento

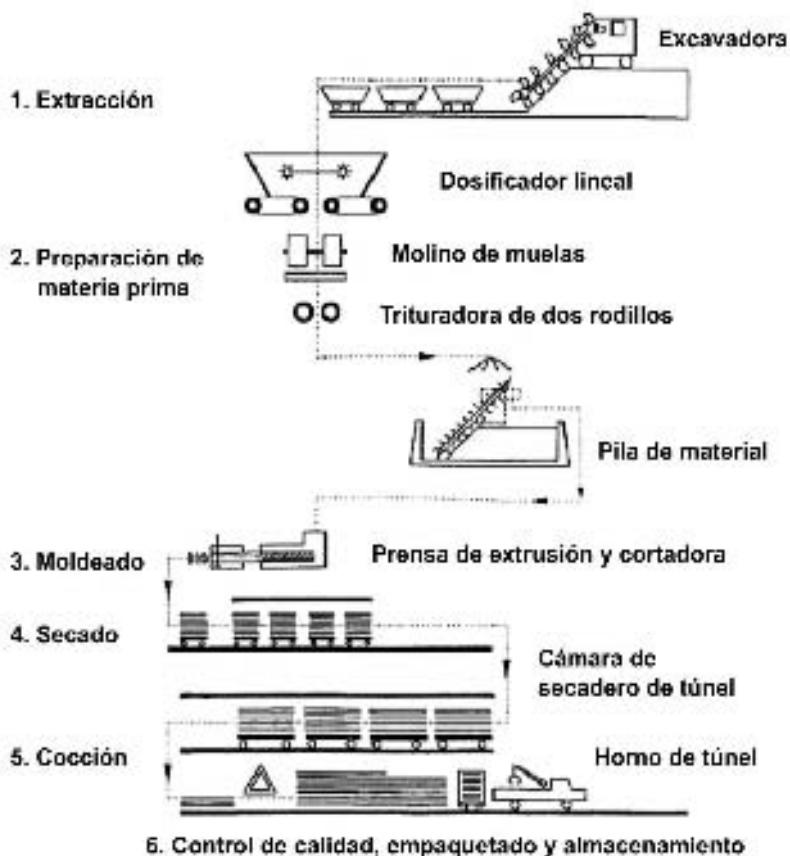
Figura 2.7. Vista esquemática de la fabricación de tejas prensadas



de la superficie, cocción y tratamiento posterior. La existencia de requisitos especiales referentes a la superficie y al color de los productos implica un tratamiento de la superficie (esmaltado, engobe o perfilado). La figura 2.7 muestra, a modo de ejemplo, una vista esquemática de la fabricación de tejas prensadas [4, UBA, 2001].

La siguiente figura muestra, a modo de ejemplo, una vista esquemática de la fabricación de ladrillos para la construcción [20, CERAME-UNIE, 2004].

Figura 2.8. Vista esquemática de la preparación de ladrillos extrusionados en la fabricación de ladrillos para la construcción



2.3.1.1. MATERIAS PRIMAS

La geología de las arcillas para ladrillos y tejas utilizadas en la industria cerámica europea es extremadamente variada y cubre un amplio intervalo estratigráfico desde el período cambriano hasta la actualidad. La mayoría de las arcillas utilizadas para la fabricación de ladrillos y tejas son de origen sedimentario y fueron depositadas en numerosos entornos sedimentarios: sedimentos marinos, aluviales, fluviales y glaciares. El rango de entornos de sedimentación afecta a la mineralogía de la arcilla y a la composición química. La composición mineralógica y química de las arcillas utilizadas en la industria cerámica es muy distinta según el país europeo. En un mismo país es posible emplear distintas composiciones. La tabla de la página siguiente muestra los rangos de composiciones químicas y mineralógicas de las materias primas arcillosas aplicadas en la industria de ladrillos y las tejas en los distintos países europeos [20, CERAME-UNIE, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

La distribución de tamaño de las partículas, la presencia de otros minerales, el rango y la relación de tamaños determinan las propiedades de la arcilla.

La amplia diversidad en la composición de las materias primas da como resultado grandes diferencias en las propiedades de los productos cerámicos y en las emisiones gaseosas durante la cocción. Cada una de estas arcillas o mezclas de arcilla se utiliza para fabricar tejas, ladrillos cara vista y bloques extrusionados. La mayoría de plantas tienen su propia cantera de arcilla, lo que contribuye al carácter local de las técnicas de producción utilizadas para los distintos tipos de productos.

En la sección 3.3.1.1 se examinan los datos obtenidos del análisis de las emisiones de fluoruro y azufre. El fluoruro, presente en la estructura de los minerales arcillosos, llega hasta 1.600 ppm en Europa y varía mucho dependiendo del país. A modo de ejemplo, la Figura 2.9 muestra una distribución de frecuencia normal del contenido de fluoruro en 312 muestras de arcilla de todas las áreas geográficas de Italia [3, CERAME-UNIE, 2003].

La mayoría de las arcillas contienen rastros de cloruro. La Figura 2.10 muestra, a modo de ejemplo, la distribución del contenido de cloruro en las arcillas italianas [30, TWG Ceramics, 2005].

La considerable variación del contenido de azufre en las materias primas utilizadas, no sólo entre los distintos países europeos sino también en un mismo país, causa enormes diferencias en las emisiones del proceso. El azufre suele aparecer como pirita en las materias primas. Si nos centramos en los estudios italianos, el azufre muestra una distribución logarítmica normal, tal y como muestra la Figura 2.11 [3, CERAME-UNIE, 2003].

Tabla 2.1. Rangos de composiciones químicas y mineralógicas de las materias primas arcillosas aplicadas en la industria de ladrillos y tejas en los distintos países europeos

| País | Austria | Francia | Holanda | Hungría | Italia | Grecia | Dinamarca | Bélgica | UK | Suiza | Alemania | Ámbito europeo en 11 países |
|--|---------|---------|--------------------|---------|--------|--------|-----------|---------|------|-------|----------|-----------------------------|
| Química (pes-%) | Mín | Máx | Mín | Máx | Mín | Máx | Mín | Máx | Mín | Máx | Mín | Máx |
| S | 0,00 | 1,30 | 0,00 | 0,50 | <0,01 | 1,50 | 0,01 | 0,75 | 0,01 | 0,62 | 0,03 | 0,70 |
| F | 0,05 | 0,10 | 0,00 | 0,15 | 0,02 | 0,10 | 0,02 | 0,10 | 0,04 | 0,13 | 0,03 | 0,08 |
| CO ₂ | | | | | | | | | | | 0,0 | 0,01 |
| SiO ₂ | 50,3 | 70,8 | 35,0 | 80,0 | 53,2 | 80,6 | 42,2 | 63,0 | 33,1 | 74,4 | 6,85 | 75,42 |
| Al ₂ O ₃ -TiO ₂ | 9,6 | 18,8 | | | 8,6 | 17,6 | | | | | 66,3 | 62,6 |
| Al ₂ O ₃ | | | 8,0 | 30,0 | 7,3 | 18,1 | | | 8,1 | 21,0 | 5,85 | 20,22 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,2 | 8,2 | 2,0 | 10,0 | 2,0 | 8,4 | 2,9 | 7,6 | 2,7 | 7,6 | 2,19 | 39,03 |
| MgO | 0,2 | 3,6 | 0,0 | 5,0 | 0,5 | 2,7 | 1,4 | 4,5 | 0,7 | 7,2 | 2,8 | 3,9 |
| CaO | 0,6 | 15,0 | 0,0 | 18,0 | 0,0 | 8,7 | 2,1 | 15,2 | 0,2 | 26,0 | 0,3 | 12,9 |
| Na ₂ O | 0,4 | 1,7 | 0,1 | 1,5 | 0,2 | 1,0 | 0,2 | 1,2 | 0,2 | 14,1 | 0,37 | 3,06 |
| K ₂ O | 1,7 | 3,0 | 0,1 | 4,5 | 1,3 | 2,3 | 0,6 | 1,3 | 1,4 | 4,3 | 0,11 | 3,19 |
| TiO ₂ | | | 0,3 | 2,0 | 0,5 | 1,3 | | | 0,5 | 1,1 | 0,20 | 1,22 |
| CaCO ₃ | | | | | | | | | | | 1,63 | 45,00 |
| MgCO ₃ | | | | | | | | | | | 0,50 | 31,00 |
| MnO | | | | | | | | | | | 0,01 | 0,15 |
| Mineralogía (%) | Mín | Máx | Mín | Máx | Mín | Máx | Mín | Máx | Mín | Máx | Mín | Máx |
| Cuarzo | 21 | 49 | 0 | 70 | 39,5 | 71 | 16 | 32 | 16 | 54 | 35 | 50 |
| Feldespato | 5 | 15 | infrecuente | | 1 | 12 | 3 | 14 | 1 | 24 | 10 | 20 |
| Calcita | <2 | 26 | 0 | 30 | | 0 | 14 | 1 | 41 | | <1 | 25 |
| Calcarita + Dolomita | | | | | | | | | | | 0 | 8 |
| Pirita | <2 | | <0,01 | 2,8 | 0 | 2 | | | | | 0 | 2 |
| Caolinita | <3 | 10 | cantidad pequeña | 5 | 21,5 | 2 | 13 | 1 | 26 | | 5 | 15 |
| Iilita | 25 | 60 | cantidad dominante | 7 | 20 | 4 | 21 | 5 | 42 | | 10 | 20 |
| Montmorillonita | 2 | 25 | cantidad pequeña | 3 | 29,5 | 3 | 18 | 2 | 34 | | 5 | 20 |
| Vermiculita | | | ninguna | 7 | 20 | 2 | 4 | | | | 0 | 15 |

Figura 2.9. Distribución de contenido de fluoruro en las arcillas italianas

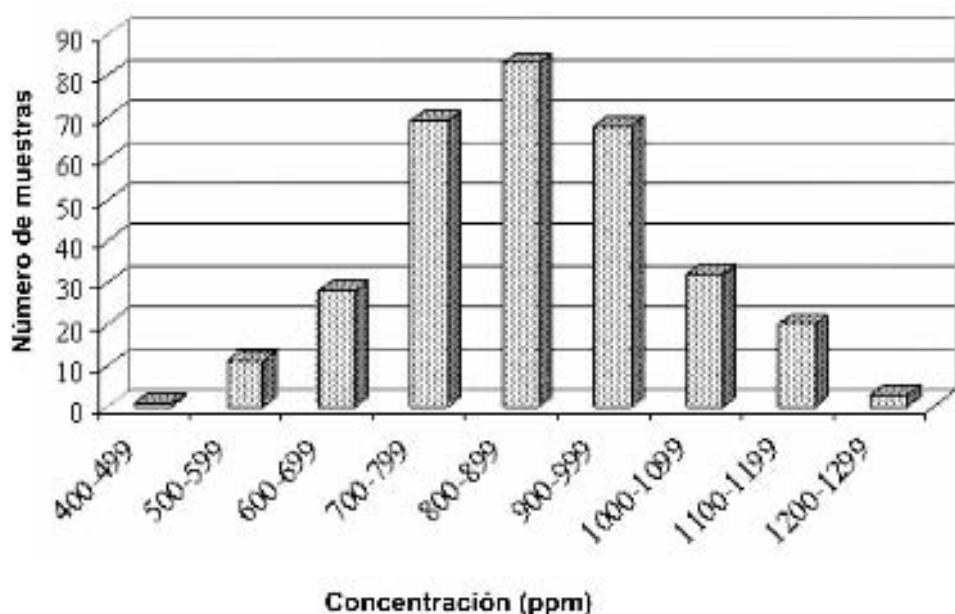


Figura 2.10. Distribución de contenido de cloruro en las arcillas italianas

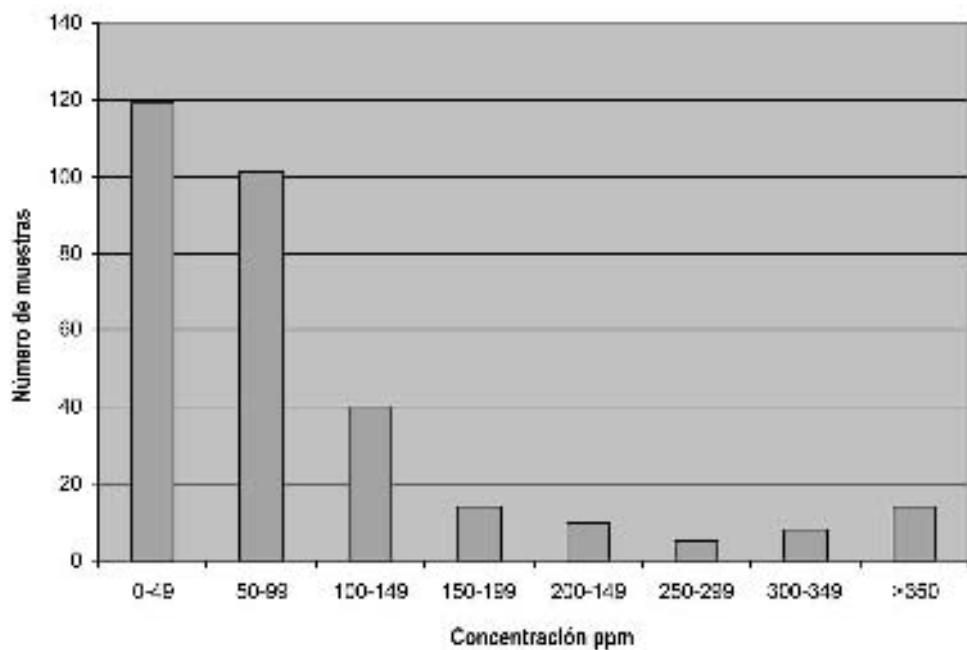
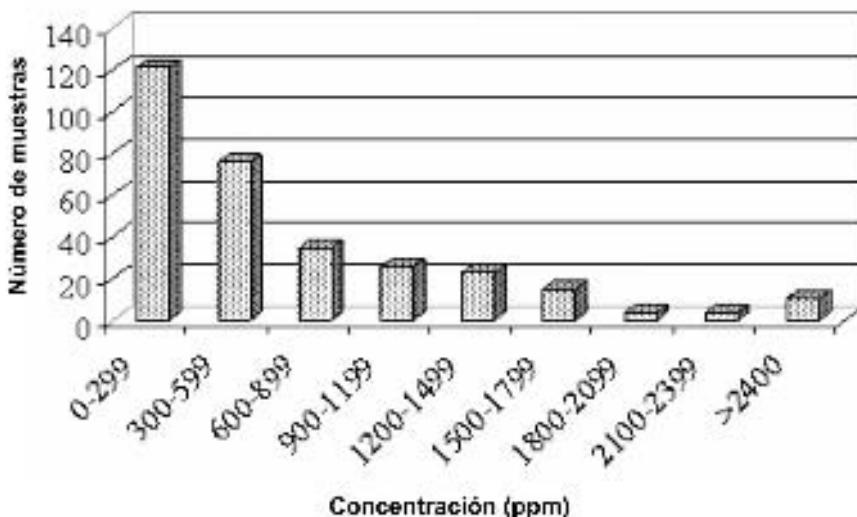
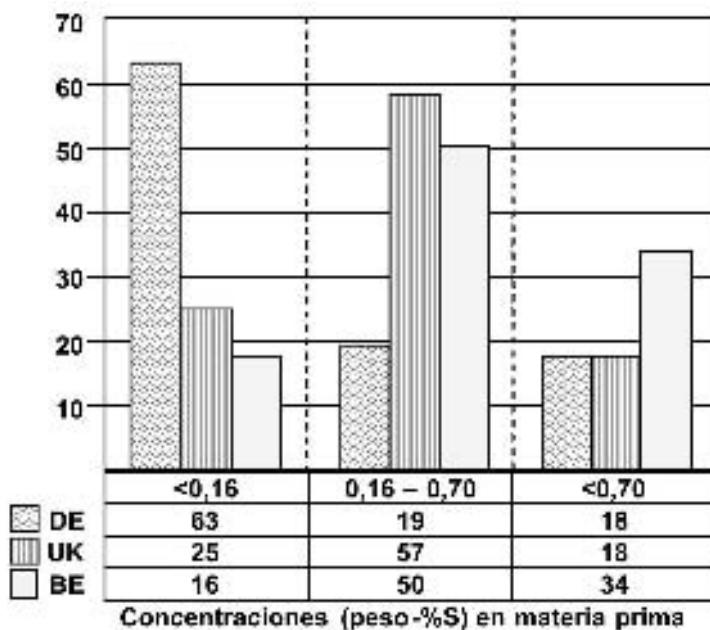


Figura 2.11. Distribución de contenido de azufre en las arcillas italianas

Existen importantes variaciones no sólo en la magnitud del contenido de azufre, sino también en su distribución. Esto se ve claramente en el ejemplo de las arcillas utilizadas en Alemania, Reino Unido y Bélgica, tal y como muestra la Figura 2.12. Más del 80% de las arcillas alemanas tienen cantidades bajas o medianas de azufre, mientras que en Bélgica y Reino Unido, más del 75% son arcillas con un contenido medio/alto de azufre [3, CERAME-UNIE, 2003].

Otro material importante en el que también hay grandes variaciones es el óxido de calcio (CaO), presente principalmente en forma de calcita y/o en la estructura mineral de la arcilla. La presencia del CaCO_3 actúa como «agente de apertura» debido a la descarbonatación durante la cocción. La liberación de HCl, SO_x y fluoruro podría estar influenciada por la presencia de CaO debido a la formación de CaSO_4 y CaF_2 . Sin embargo, la concentración de fluoruro, SO_x y HCl en los gases de combustión no está necesariamente relacionada con el nivel de CaO en las materias primas y también depende de la temperatura de cocción y de la presencia de vapor de agua durante el proceso de cocción [23, TWG Ceramics, 2005].

Para las materias primas arcillosas se utilizan compuestos orgánicos, fosfatos y carbonato sódico como plastificantes. Como agentes para facilitar la formación de poros se utiliza la espuma de poliestireno, agentes fijadores del papel, serrín y materiales inorgánicos como la diatomita y la perlina. El engobe, utilizado para el tratamiento de la superficie, suele estar hecho de arcilla para loza, agentes fundentes u óxidos colorantes. El esmalte consiste en mezclas de materiales ya pesados (p. ej. Al_2O_3 , polvo de cuarzo, greda, MgCO_3), agentes fundentes, arcilla, óxidos colorantes o fritas.

Figura 2.12. Contenido de azufre en las arcillas

Las materias primas se almacenan al aire libre o en cobertizos, alimentadores de gran volumen, silos de templado, instalaciones de envejecimiento o almacenes de materiales secos. En muchos casos, las fábricas de ladrillos están situadas cerca de las canteras de las materias primas.

2.3.1.2. PREPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

En la fabricación de baldosas y ladrillos se emplea la preparación en seco y la preparación semihúmeda. El método de preparación se selecciona según los materiales disponibles, las especificaciones de calidad del producto final, el método de moldeado y los aspectos económicos.

La preparación en seco es más habitual cuando se usan materias primas relativamente secas de menor plasticidad o cuando se especifican productos de alta calidad. El objetivo de la preparación en seco es reducir el tamaño de partícula en molinos de martillo o molinos de rodillos en suspensión y, al mismo tiempo, secar las partículas al 3-6% de contenido de agua. Los aditivos necesarios se agregan en esta fase del proceso, por ejemplo podría agregarse cal hidratada a la arcilla (3,3 a 0,6%) para regular y fijar el contenido de agua y para mantener una buena plasticidad y facilitar el corte de la columna de arcilla en el proceso de extrusión. Sin embargo, en la fabricación de ladrillos cara vista y ladrillos prensados se da

preferencia a la preparación en seco, pues las materias primas utilizadas para este tipo de ladrillos, como la arcilla esquistosa, son especialmente apropiadas para este método de preparación debido a que tienen un nivel de humedad bajo.

Un segundo método de preparación en la fabricación de ladrillos y tejas es el proceso de preparación semihúmeda. La dosificación se lleva a cabo en alimentadores de gran volumen. Estos alimentadores permiten una carga a granel y una dosificación de múltiples materias primas. En muchos casos, se añade a la carga agua de mezcla al final del alimentador hasta que el contenido de agua se sitúa alrededor del 20%. Con el machacado paso por paso de los materiales más duros se logra un tamaño de partícula máximo inferior a 1,8 mm. Los productos finos como las tejas tienen un tamaño de partícula de entre 0,5 y 0,8 mm. Según las características de las materias primas, se utilizan trituradoras de arcilla, trituradoras de cuchillas, trituradoras de dos rodillos o molinos de muelas en húmedo. En ocasiones puede prepararse y añadirse arena por separado; para ello se utilizan quebrantadores de mandíbulas, trituradoras por percusión, trituradoras por percusión vertical y cribas. En algunos casos, la arena y la arcilla se almacenan por separado y se mezclan justo antes del moldeado.

Los procesos combinados de mezcla y amasado logran una homogenización de la masa y ofrecen una buena plasticidad. Para ello se utilizan cortadoras de arcilla, mezcladoras de dos hélices, amasadoras de criba y mezcladoras de filtro. En la fabricación de ladrillos con baja conductividad térmica se agregan agentes porosos orgánicos e inorgánicos para conseguir un volumen de poro elevado. En esta fase, la masa recibe el contenido de agua para el moldeado final (20-22%). El agua o el vapor caliente ayuda a disolver y a abrir los poros de las partículas pequeñas durante el proceso de mezcla.

Las masas preparadas se almacenan en alimentadores de gran volumen, silos de arcilla, silos de templado e instalaciones de envejecimiento para mayor homogenización.

2.3.1.3. MOLDEADO

Se emplean diversos métodos de moldeado, como el prensado, la extrusión y el moldeado con lodo blando (véanse las secciones 2.2.4.2, 2.2.4.3 y 2.2.4.4) según el tipo de masa, el contenido de agua y el producto deseado.

En la práctica, la materia prima preparada en procesos semihúmedos suele moldearse fundamentalmente en prensas. La masa se prensa a una presión de entre 0,6 y 1,5 MPa en prensas de extrusión con o sin cámara de vacío. La matriz forma una columna con la masa. La columna se corta en piezas individuales con un cortador de alambre. Éste es el método de procesamiento típico en la producción de ladrillos para la construcción y de tejas extrusionadas.

Las tejas prensadas se fabrican formando antes las denominadas tortas (cakes) o terrones. Tras este paso, las tortas se moldean en otra prensa para corregir la geometría. Para esta finalidad se emplean las prensas revólver mecánicas e hidráulicas, las prensas de yunque, las prensas oscilantes y las prensas giratorias. Las más habituales son las prensas revólver individuales o múltiples. En las prensas revólver, un tambor que rota intermitentemente en forma de un prisma con cinco, seis u ocho caras lleva un molde de prensa inferior en cada una de sus caras. Cada vez que el tambor se detiene, el émbolo vertical con el molde superior baja hacia el molde inferior situado justo debajo y presiona el trozo de arcilla para darle forma. A continuación, la pieza se coloca en un portador especial. Se utilizan distintos tipos de moldes (moldes de yeso, moldes de hierro fundido lubricados, moldes forrados de caucho o moldes metálicos con forro de caucho vulcanizado).

La superficie visible de las tejas se engoba o esmalta parcialmente. Los ladrillos y ladrillos cara vista se someten a procesos de perfilado, exfoliado, cepillado o enarenado para crear distintas texturas superficiales.

2.3.1.4. SECADO, ESMALTADO Y ENGOBE

En el proceso de secado participan diversos tipos de secaderos (véase la sección 2.2.5), según la cantidad de trabajo, el grado de mecanización y la sensibilidad de la masa. En la fabricación de ladrillos, suelen emplearse secaderos de cámara y de túnel. En la fabricación de tejas, también suelen emplearse secaderos de cámara y de túnel. En los secaderos de túnel y los secaderos rápidos, las condiciones para secar ladrillos se sitúan entre 8 y 72 horas a temperaturas entre 75-90 °C. Los secaderos rápidos requieren menos de 8 horas para los bloques, aunque algunos ladrillos cara vista necesitan hasta 72 horas. En los secaderos de cámara, el período de secado para ladrillos puede llegar a las 40 horas a una temperatura de 90 °C [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]. Las tejas se secan en secaderos de túnel o de cámara a temperaturas entre 60-90 °C en un período de entre 12 y 48 horas. El contenido de agua de la pieza antes de la cocción en un horno de túnel es inferior al tres por ciento. Los secaderos se calientan principalmente con el excedente de calor del horno y, en ocasiones, con ayuda de quemadores de gas natural o fueloil, o mediante cogeneración.

Las tejas y los ladrillos cara vista pueden someterse a procesos de esmalte y engobe en la cara visible o en toda la superficie para conseguir colores especiales o aumentar la densidad del producto. El esmalte y el engobe se aplican al cuerpo tras el proceso de secado. En algunos casos, el esmalte y el engobe se llevan a cabo después del proceso de moldeado. El engobe es una composición hecha de arcilla, agentes fundentes, material de relleno y pigmentos. La pulverización es el mejor proceso para aplicar grandes cantidades a las piezas.

Para conseguir una mejor adhesión entre el engobe fluido y la superficie tratada se añaden agentes aglutinantes orgánicos al engobe. El esmalte es una mezcla de material, agentes fundentes, arcilla y óxidos colorantes que se sinterizan en una masa vítrea. El esmalte suele aplicarse mediante pulverización en una cámara de pulverización.

2.3.1.5. COCCIÓN

Hoy en día, los ladrillos y las tejas se cuecen en hornos de túnel principalmente bajo atmósferas oxidantes. Un período de reducción en el sector principal de cocción permite conseguir, en caso necesario, efectos de color especiales. En el período de reducción, el combustible se suministra a una atmósfera pobre en oxígeno. De esta forma, las materias primas utilizadas generan los efectos de color deseados en los ladrillos.

Las piezas que se deben cocer pasan a través del horno sobre una serie de carros especiales. Los ladrillos sin cocer se colocan directamente sobre el carro del horno de túnel, mientras que las tejas sin cocer se apilan para el proceso de cocción en el horno de túnel clásico en estuches con forma de H o de U. La disposición de los estuches depende del producto en cuestión para garantizar un flujo óptimo de los gases calientes de cocción alrededor del producto y obtener así buenos resultados. Las piezas que se desean cocer se calientan a una temperatura de maduración de entre 800 y 1.300 °C.

Tras el período necesario de formación del cuerpo (entre dos y cinco horas a temperatura de maduración), la pieza se enfriá, según previsiones, a unos 50 °C.

El tiempo de cocción de las tejas en los hornos de túnel está entre 10 y 40 horas, los ladrillos para pavimentación se cuecen entre 45 y 60 horas y los bloques de arcilla entre 17 y 25 horas. La temperatura de los gases de combustión depende del punto de condensación (y, por lo tanto, de la composición) del gas de combustión; es decir, en las arcillas con un contenido elevado de azufre, el punto de rocío será más alto y la temperatura del gas de combustión también. La Tabla 2.2 muestra los datos operativos de los hornos de túnel clásicos [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [27, VDI, 2004], [21, Almeida, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

El método de cocción rápida en hornos de rodillos es una alternativa a la tecnología de cocción en hornos de túnel clásicos. Con la introducción de la cocción plana en rack individual para la fabricación de tejas, se ha reducido el tiempo de cocción y la relación de masa de accesorios para cocción/piezas. Este método permite, en algunos casos, una reducción del consumo de energía en el proceso de cocción.

Tabla 2.2. Datos operativos de los hornos de túnel

| Hornos de túnel | Unidad | Ladrillos cara vista y ladrillos de arcilla de pavimentación | Bloques de arcilla | Bloques de arcilla con perforación horizontal | Tejas |
|---|-------------------|--|--------------------|---|-------------|
| Rendimiento | t/h | 1-15 | 3-15 | 3-15 | 3-6 |
| Longitud del horno | m | 35-160 | 60-120 | 60-120 | 80-140 |
| Sección transversal | m ² | 1,3-6,0 | 4-12 | 4-12 | 4-10 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 650-1500 | 350-500 | 250-750 | 200-400 |
| Temperatura de cocción | °C | 1000-1300 | 900-1050 | 950-1050 | 1000-1150 |
| Requisitos energéticos específicos (secado + cocción) | kJ/kg | 1600-3000 | 1000-2500* | 1000-2500 | 1600-3500 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | 5000-20000 | 10000-50000 | 10000-50000 | 10000-40000 |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 100-230 | 100-300 | 100-150 | 170-200 |

* Incluyendo contenido térmico del agente poroso.

A diferencia de los grandes hornos de túnel clásicos, el método de cocción rápida se lleva a cabo en unidades de horno menores. El menor tamaño de las unidades permite una mayor flexibilidad para adaptarse a los parámetros de cocción del producto real. La densidad de carga de los hornos de cocción rápida puede estar por debajo de los 100 kg/m³. La siguiente tabla muestra algunos datos relacionados con la cocción de tejas en los hornos de túnel clásicos y los métodos de cocción rápida [4, UBA, 2001].

Tabla 2.3. Comparativa de hornos de túnel clásicos y métodos de cocción rápida (tejas)

| Tipo de horno | Relación de masa accesorios para cocción/piezas cocidas | Tiempo de cocción (h) |
|--------------------------------------|---|-----------------------|
| Horno clásico de túnel | 6:1 | ~50 |
| Horno de precisión de cocción rápida | 3:1 | ~10 |
| Horno de rack individual | 1:1 | ~2 |
| Horno de solera con rodillos | 0:1 a 2:1 | 3 a 8 |

La posibilidad de aplicar el método de cocción rápida en la fabricación de ladrillos y tejas depende, en gran parte, de la superficie específica del producto y de la posibilidad de perfusión mediante gases de cocción calientes. Con el método de cocción rápida no sólo pueden fabricarse tejas, sino también bloques de arcilla como los ladrillos alveolares. La siguiente tabla muestra los datos operativos de los hornos de túnel de cocción rápida [4, UBA, 2001] [23, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 2.4. Datos operativos de los hornos de túnel de cocción rápida

| Hornos de túnel de cocción rápida | Unidad | Bloques de arcilla | Ladrillos cara vista | Tejas prensadas |
|---|-------------------|--------------------|----------------------|-----------------|
| Rendimiento | t/h | 16.60-18.75 | 2,1-5.4 | 1.9-5.4 |
| Longitud del horno | m | 130 | 90-120 | 80-125 |
| Sección transversal | m ² | a 17,6 | a 3,5 | a 3,3 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | n/d | n/d | n/d |
| Temperatura de cocción | °C | 1000 | 1000-1080 | 1020-1150 |
| Tiempo de cocción | h | 2,5-3,5 | 4-5 | 3-4 |
| Requisitos energéticos específicos (secado + cocción) | kJ/kg | 1250-3500 | 1590-4500 | 2930-4605 |

Para la fabricación de productos especializados, por ejemplo, ladrillos cara vista de colores especiales hechos a mano, se utilizan principalmente hornos Hoffmann. Consisten en una serie de cámaras interconectadas que se llenan secuencialmente con ladrillos secos, se sellan y se someten a una cocción casi continua, en la que los gases calientes pasan de una cámara a la siguiente. Este sistema de conexión con chimeneas y orificios entre las cámaras permite el precalentamiento de las piezas y la refrigeración de los gases de combustión. Un ciclo de cocción tarda normalmente entre 3 días y 2 semanas y las densidades de carga en las cámaras interconectadas superan los 300 kg/m³. Actualmente, los hornos se calientan principalmente con gas pero en ocasiones también se practica la alimentación superior con petróleo o carbón para producir ladrillos envejecidos [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

Pueden utilizarse hornos intermitentes para producir ladrillos, accesorios o tejas especializadas, normalmente para cargas menores. Estos hornos funcionan de forma discontinua y tienen tiempos de cocción de entre 20 y 45 horas, con temperaturas de entre 1.000 y 1.100 °C, y requisitos energéticos especiales de unos 500 a 900 kJ/kg [23, TWG Ceramics, 2005].

Los hornos de túnel clásicos se calientan normalmente con gas natural o fueloil y los hornos de cocción rápida se calientan con gas natural. En algunos casos también se utiliza coque de petróleo y turba.

2.3.1.6. TRATAMIENTO POSTERIOR

Según el resultado del proceso de cocción, los productos se clasifican, de forma automática o manual, durante la descarga del horno o del carro del horno de túnel. Los productos como los ladrillos calibrados se tratan en máquinas de rectificado.

En ocasiones se aplican tratamientos para los ladrillos cara vista de arcilla, las tejas o accesorios de arcilla con agentes hidrófilos o hidrófobos (p. ej. aplicación de silicio o lanolina), que cambian el comportamiento de su superficie cuando se humedece con agua.

Las tejas se empaquetan y paletizan para su transporte a una unidad de expedición. Entre cada capa de baldosas se introduce una capa de papel, cartón o chapa de madera, y los palets completos suelen recubrirse con una fina película envolvente. Los productos se manipulan con grúas de horquilla, grúas móviles o grúas de pórtico.

2.3.1.7. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS Y TEJAS

Los flujos de entrada y salida importantes en el proceso de fabricación de ladrillos y tejas se presentan en la Figura 2.13, [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

2.3.2. Tuberías de gres vitrificado

La fabricación de las tuberías de gres vitrificado pasa por los siguientes pasos: almacenamiento de materias primas, preparación de materias primas, moldeado, secado, esmaltado, cocción y tratamiento posterior. La Figura 2.14 muestra esquemáticamente la fabricación de tuberías de gres vitrificado [4, UBA, 2001].

2.3.2.1. MATERIAS PRIMAS

La arcilla, la chamota y el esmalte se utilizan como materias primas en la fabricación de tuberías de gres vitrificado. El esmalte consiste en una mezcla de limo, arcilla, greda, dolomita, cuarzo y óxidos de metal. Las materias primas de la chamota, que consisten principalmente en material reutilizado del proceso de producción cerámica, y el limo del esmalte se guardan a cubierto. Según el proceso de preparación, los componentes de la arcilla se almacenan al aire libre o en cajas.

Figura 2.13. Flujos de entrada y salida en la fabricación de ladrillos y tejas

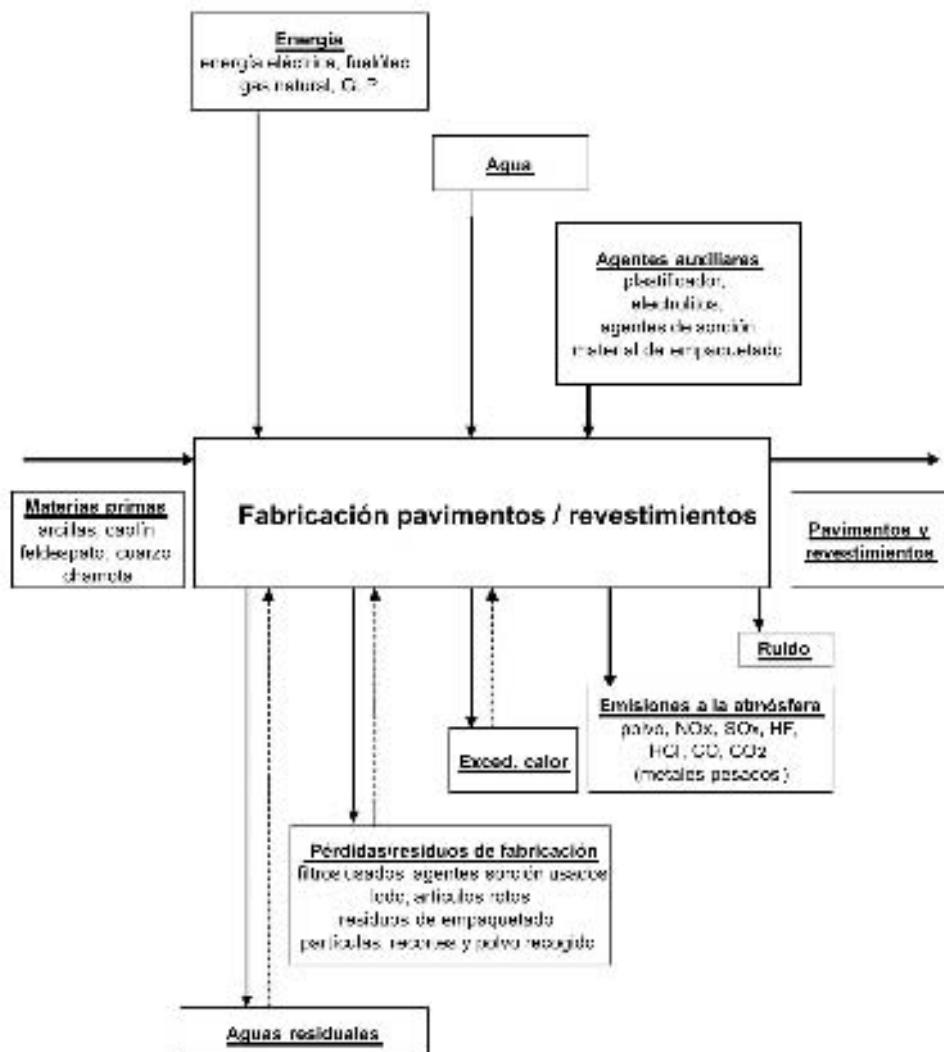
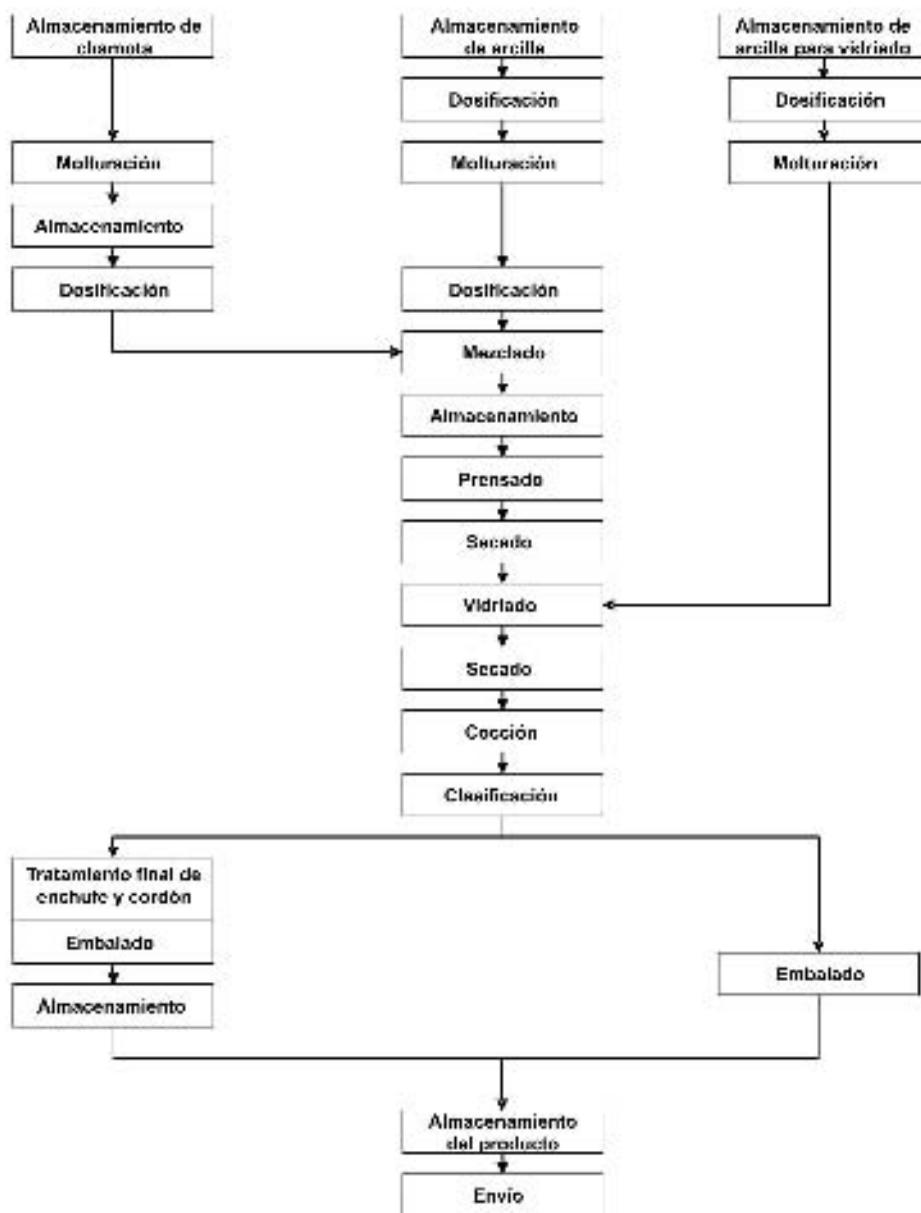


Figura 2.14. Vista esquemática de la fabricación de tuberías de gres vitrificado



La Tabla 2.5 y la Tabla 2.6 muestran las composiciones mineralógicas y químicas de las arcillas utilizadas para la fabricación de tuberías de gres vitrificado [3, CERAME-UNIE, 2003].

Tabla 2.5. Composición mineralógica de la arcilla en la fabricación de tuberías de gres vitrificado

| Parámetro (% peso) | BE | DE | IT | NL | UK |
|-----------------------|----|----|-----|----|----|
| Cuarzo | | | | | |
| mín | 24 | 8 | 35 | 40 | 21 |
| máx | 45 | 25 | 50 | 50 | 33 |
| Feldespato | | | | | |
| mín | 11 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| máx | 18 | 4 | 24 | 0 | 0 |
| Caolinita | | | | | |
| mín | 24 | 30 | 5 | 20 | 8 |
| máx | 32 | 60 | 20 | 25 | 20 |
| Ilita | | | | | |
| mín | 16 | 10 | 12 | 20 | 40 |
| máx | 37 | 40 | 30 | 25 | 56 |
| Montmorillonita | | | | | |
| mín | 0 | 2 | 0,5 | 0 | 0 |
| máx | 8 | 10 | 1 | 0 | 0 |

Tabla 2.6. Composición química de la arcilla en la fabricación de tuberías de gres vitrificado

| Parámetro (% peso) | BE | DE | IT | NL | UK |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| S | | | | | |
| mín | 0,02 | 0,0 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| máx | 0,05 | 0,2 | 0,62 | 0,05 | 0,10 |
| F | | | | | |
| mín | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,02 |
| máx | 0,05 | 0,06 | 0,13 | 0,04 | 0,05 |
| CO ₂ | | | | | |
| mín | 0,1 | | | 0,05 | 0,50 |
| máx | 0,3 | | | 0,25 | 1,50 |

Tabla 2.6. Composición química de la arcilla en la fabricación de tuberías de gres vitrificado (*continuación*)

| Parámetro (% peso) | BE | DE | IT | NL | UK |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| SiO_2 | | | | | |
| mín | 60 | 55 | 60 | 65 | 55 |
| máx | 81 | 70 | 75 | 72 | 63 |
| Al_2O_3 | | | | | |
| mín | 15 | 20 | 15 | 18 | 17 |
| máx | 27 | 35 | 23 | 23 | 22 |
| Fe_2O_3 | | | | | |
| mín | 1,0 | 1,0 | 5,0 | 1,5 | 6,0 |
| máx | 7,4 | 10 | 7,0 | 4,5 | 8,0 |
| MgO | | | | | |
| mín | 0,2 | 0,0 | 0,7 | 0,5 | 1,7 |
| máx | 1,0 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 2,2 |
| CaO | | | | | |
| mín | | 0,0 | | 0,2 | 0,3 |
| máx | | 0,8 | | 0,5 | 0,6 |
| Na_2O | | | | | |
| mín | 0,1 | 0,0 | 3,0 | 0,1 | 0,3 |
| máx | 0,3 | 0,4 | 7,0 | 0,6 | 1,1 |
| K_2O | | | | | |
| mín | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,8 | 2,8 |
| máx | 2,6 | 4,0 | 3,0 | 2,6 | 3,9 |
| TiO_2 | | | | | |
| mín | 1,3 | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 0,9 |
| máx | 1,8 | 2,5 | 1,0 | 1,3 | 1,0 |

2.3.2.2. PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Para la preparación de la arcilla se emplean procesos diferentes como p. ej. el proceso deslizante. La arcilla pasa al proceso de preparación en las cantidades requeridas con ayuda de dosificadores lineales. Diversos tipos de molino se encargan de moler el producto (ej. molinos de tambor en húmedo y molinos de rodillos). Los molinos de tambor en húmedo también se emplean en el proceso de molienda fina de los componentes del esmalte de arcilla. Los componentes pasan por el molino hasta que tienen un grosor de 0,06 mm. A continuación se criban las partículas más gruesas. Los componentes finos se suspenden en agua y se almacenan en tanques agitados.

La chamota cruda se Tritura y muele en quebrantadores de mandíbulas o de cono, molinos batidores o molinos de bolas. Las partículas se criban (según un tamaño de partícula máximo de 2,5 mm) y se almacenan. La chamota se utiliza como «abridor de la pasta» y proporciona a la masa la resistencia y la estabilidad necesarias durante la cocción. Los trocitos de arcilla y chamota se introducen gravimétricamente en la unidad de mezcla mediante una cinta transportadora y una balanza, o volumétricamente con ayuda de dosificadores lineales, alimentadores de cinta o alimentadores rotatorios.

En la mezcladora se mezclan los componentes y se añade agua para alcanzar una humedad de presión aproximada con un contenido de agua de entre el 15 y el 20%. Si es necesario, se añaden a la masa de la prensa plastificantes y agentes de prensado orgánicos e inorgánicos. Las masas húmedas preparadas se almacenan y homogenizan en alimentadores de gran volumen, silos de arcilla, silos de templado e instalaciones de envejecimiento con la mecanización apropiada.

2.3.2.3. MOLDEADO

Las tuberías de gres verdes se moldean en máquinas de extrusión en vacío horizontales y verticales. La masa de la prensa se comprime y desgasifica en la cámara de vacío de la extrusora. A continuación se moldea la tubería y el extremo de unión. Seguidamente se limpian el casquillo y el extremo de unión.

Los cuerpos de las tuberías verdes se manejan con aparatos especiales, como robots de adhesión en vacío. Los robots colocan las piezas verdes sobre las vagones del secadero. Una especialidad del proceso de moldeado de tuberías de gres es la dureza de la masa de la prensa, los distintos diámetros de tubería y la extrusora de funcionamiento periódico.

2.3.2.4. SECADO Y ESMALTADO

El secado sin roturas de las piezas verdes tiene lugar en secaderos de cámara o de túnel a temperaturas de hasta 100°C con aprox. un 2% de humedad remanente. El tiempo de secado de los accesorios es de entre 70 y 100 horas, mientras que el tiempo de secado de las tuberías está entre 30 horas (tuberías pequeñas) y nueve días (tuberías grandes). Es necesario un control climático (temperatura, humedad) para evitar la distorsión de las tuberías por causa de contracciones irregulares.

Robots adecuados cogen las piezas verdes secas y las sumergen en el depósito de esmalte para cubrir los cuerpos con esmalte gredoso. El esmalte también puede aplicarse mediante pulverización. En el proceso de cocción, el esmalte se funde con la superficie del cuerpo, la encierra y la cubre con una superficie suave. Si no desea esmaltarse alguna parte de la superficie, debe cubrirse con parafina antes del proceso de esmaltado.

Las piezas verdes esmaltadas se colocan sobre los carros de los hornos de túnel. Finalmente se secan (con una humedad remanente inferior al 1%) en secaderos de túnel situados frente a los hornos de túnel.

2.3.2.5. COCCIÓN

La cocción tiene lugar en hornos de túnel calentados con gas, predominantemente en una atmósfera oxidante. Las piezas verdes se fijan en posición vertical en accesorios para cocción y se cuecen. Las temperaturas de cocción habituales se sitúan entre 1.150 y 1.250°C, el tiempo de cocción es de entre 30 y 80 horas. La siguiente tabla muestra los datos operativos de los hornos de túnel utilizados para la fabricación de tuberías de gres vitrificado [4, UBA, 2001].

Tabla 2.7. Datos operativos de los hornos de túnel

| Hornos de túnel | Unidad | Tuberías de gres vitrificado |
|---|-------------------|------------------------------|
| Rendimiento | t/h | 1-6 |
| Longitud del horno | m | 80-180 |
| Sección transversal | m ² | 6-10 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 150-300 |
| Temperatura de cocción | °C | 1.100-1.200 |
| Requisitos energéticos específicos (secado + cocción) | kJ/kg | 3000-4000 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | 4000-18.000 |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 160-200 |

Una alternativa al proceso de cocción convencional es el método de cocción rápida de tuberías de gres vitrificado. Las tuberías de gres vitrificado se secan en 10 horas y se esmaltan mediante pulverización. Seguidamente pasan por el horno durante un período de ocho horas. Las tuberías se cuecen mientras se transportan con ayuda de rodillos horizontales. Los accesorios (p. ej. derivaciones, racores y codos) también se fabrican en el proceso de cocción rápida. Al igual que las tuberías, también pasan por el horno de solera con rodillos durante un período de entre ocho y once horas. Para transportarlos se utilizan accesorios especiales para cocción que completan todo el ciclo bajo el horno.

2.3.2.6. TRATAMIENTO POSTERIOR

Después del proceso de cocción, se inspeccionan todos los productos y, si es necesario, se añaden elementos impermeabilizantes poliméricos o juntas prefabricadas en el casquillo y en el extremo de unión. A continuación, se embalan las tuberías y los accesorios.

Tras añadir las juntas necesarias, las tuberías de determinadas dimensiones (DN 250 a DN 600) se someten a un proceso de rectificado para garantizar la alta precisión de los casquillos y los extremos de unión.

2.3.2.7. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA FABRICACIÓN DE TUBERÍAS DE GRES VITRIFICADO

Los flujos de entrada y salida importantes en la fabricación de tuberías de gres vitrificado se presentan en la siguiente figura [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

Figura 2.15. Flujos de entrada y salida en la fabricación de tuberías de gres vitrificado



2.3.3. Productos refractarios

Los productos refractarios se clasifican según su principal constituyente. Los principales grupos son:

- productos con alta alúmina, grupo 1 ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 56\%$);
- productos con alta alúmina, grupo 2 ($45\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 56\%$);
- productos de arcilla refractaria ($30\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 45\%$);
- productos de arcilla refractaria con baja alúmina ($10\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 30\%$, $\text{SiO}_2 < 85\%$);
- productos silíceos o productos semi-silíceos ($85\% < \text{SiO}_2 < 93\%$);
- productos silíceos ($\text{SiO}_2 > 93\%$);
- productos básicos con base de magnesia, magnesia-cromo, cromo-magnesia, cromita, forsterita, dolomita;
- productos especiales con base de carbón, grafito, circón, circona, carburo de silicio, carburos (además del carburo de silicio), nitruros, boruros, espinelas (además de la cromita), cal fundida.

La industria refractaria utiliza diversos métodos para la fabricación de ladrillos. El procedimiento más sencillo es cerrar formas de materias primas producidas de forma natural o artificial. Los productos fundidos por fusión se introducen en moldes para que el material fundido se solidifique en bloques o ladrillos. Los materiales altamente refractarios suelen fabricarse en varias fases: trituración fina, mezclado en húmedo, conformado por extrusión, colaje con barbotina o prensado isostático. Sin embargo, para la fabricación de ladrillos refractarios se utiliza el método cerámico para arcilla pesada. El proceso de producción pasa por diversas fases: almacenamiento de materias primas, preparación de materias primas, moldeado, secado, cocción y tratamiento posterior. La Figura 2.16 muestra esquemáticamente la fabricación de ladrillos básicos que contienen mineral de cromo [4, UBA, 2001].

2.3.3.1. MATERIAS PRIMAS

La arcilla, la chamota y las rocas naturales como la cuarcita, la dolomita, la magnesita y la bauxita, que pueden ser calcinadas (véase la sección 2.2.2.8), y también materiales con base sintética como, por ejemplo, corindón sinterizado, carburo de silicio, mullita fundida o espinelas sirven como materias primas para los productos refractarios. Para producir masas compresibles es preciso añadir agregados y aglutinantes a las materias primas molidas. Se utilizan diversos tipos de agregados y aglutinantes, como barbotina de arcilla, lignosulfito, brea, naftaleno, resina sintética, lechada de cal, cera, ácido fosfórico, hollín, grafito y azufre. Las materias primas se almacenan en cajas con techo. Las materias primas pre-trituradas se almacenan en silos para evitar cualquier reacción entre el agua y las materias primas.

La Tabla 2.8 muestra los óxidos más utilizados en las operaciones de fusión para productos refractarios con sus correspondientes temperaturas de fusión [3, CERAME-UNIE, 2003].

Figura 2.16. Vista esquemática de la fabricación de ladrillos básicos con mineral de cromo

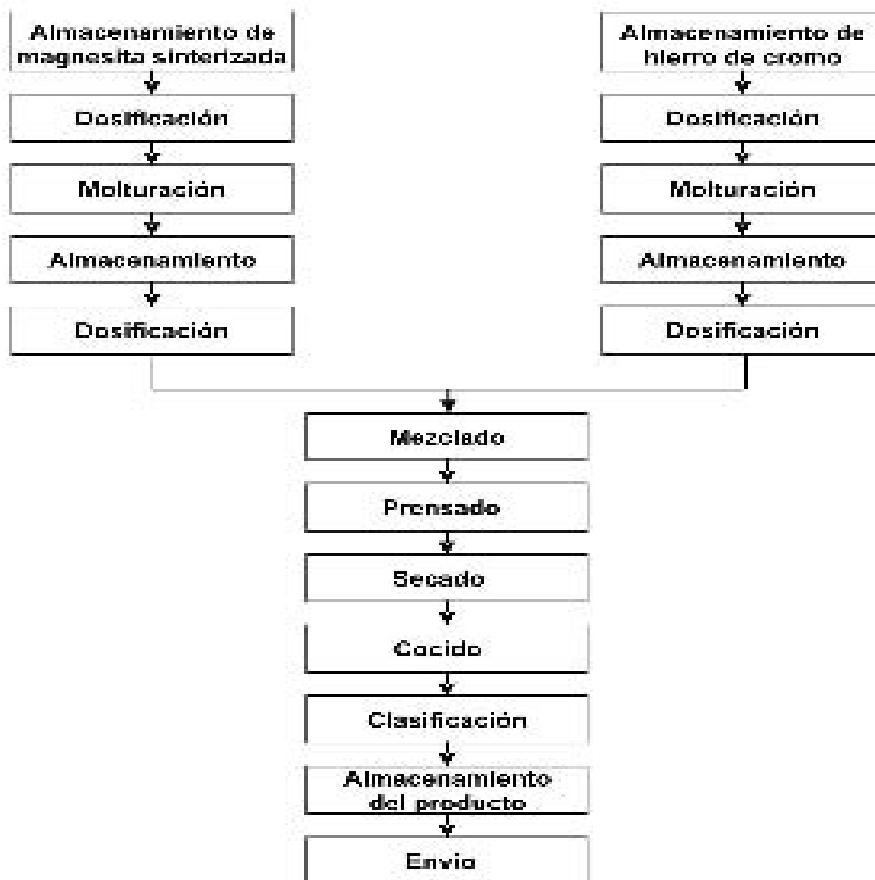


Tabla 2.8. Los óxidos más utilizados en las operaciones de fusión

| Nombre | Fórmula | Temperatura de fusión (°C) |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------|
| Alúmina | Al_2O_3 | 2050 |
| Cromo III | Cr_2O_3 | 2275 |
| Magnesia | MgO | 2830 |
| Dolomita | $\text{CaO} + \text{MgO}$ | 2700 |
| Sílice | SiO_2 | 1725 |
| Circonia | ZrO_2 | 2700 |
| Circón | ZrSiO_4 | 1770 |

2.3.3.2. PREPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

Las materias primas normalmente se trituran en un grano grueso y después en un polvo fino. La trituración en un grano grueso se realiza con quebrantadores de mandíbulas, trituradoras por percusión, trituradoras de rodillos y mandíbulas de cono. La trituración en un polvo fino se efectúa en molinos de cilindros anulares, molinos de bolas y molinos vibratorios. Las materias primas trituradas y molidas se clasifican en fracciones diferentes con ayuda de cribas vibratorias. Es habitual volver a introducir el material sobredimensionado al molino. Las fracciones se almacenan de forma temporal en silos, que constituyen el punto intermedio entre la fase de preparación y la fabricación del ladrillo. La dosificación se lleva a cabo con ayuda de básculas. Si es necesario se añaden aglutinantes, agentes porosos, agentes antimaculantes y lubricantes para el molde. Los componentes se introducen en mezcladoras (normalmente en mezcladoras con funcionamiento periódico), se homogeneizan y se pre-densifican. Los mezcladores de platos, los mezcladores en contracorrientes y los molinos de cerámica de doble hélice ofrecen buenos resultados.

La barbotina de colar se produce mezclando las materias primas con un agente de dispersión como el agua. El «polvo prensado en seco» se fabrica mediante un procesamiento en seco, húmedo o semihúmedo, seguido de un secado por pulverización.

2.3.3.3. MOLDEADO

En el proceso de colada se utiliza barbotina de colar y «polvo prensado en seco». La barbotina de colar se introduce en los moldes en el proceso de colada. Tras un periodo de formación adecuada del cuerpo, las piezas verdes se desmoldan.

Antiguamente, el «polvo prensado en seco» se moldeaba con ayuda de prensas de husillo. Actualmente, las prensas de husillo han sido sustituidas por prensas hidráulicas equipadas con modernas unidades de control electrónico. Las prensas comprueban continuamente los ladrillos y realizan los ajustes necesarios. Actualmente se aplica de forma estándar una fuerza de prensado de entre 80 y 200 MPa. Los distintos programas de prensado permiten que los ladrillos refractarios satisfagan los distintos requisitos de los clientes.

El método de prensado isostático se utiliza en la fabricación de productos refractarios especiales de alta calidad. En este método se llenan moldes plásticos flexibles con una mezcla de polvo cerámico fino. Tras cerrar el molde, la mezcla se somete a presión, normalmente en un autoclave hidráulico. La presión se aplica de forma uniforme en todas direcciones sobre la forma prensada mediante un líquido compresor para conseguir una densificación uniforme. En este proceso

se aplican presiones de hasta 300 MPa para fabricar bloques de gran tamaño y con formas especiales.

Es posible compactar varios grados de mezclas cerámicas para darles forma con una presión relativamente baja y oscilaciones mecánicas creadas con la ayuda de vibradores. Recientemente se ha agregado un nuevo procedimiento al proceso de moldeado tradicional. Las mezclas a las que se desea dar forma se mezclan con un aglutinante sensible al frío. A continuación, las mezclas se vierten en moldes y se endurecen a temperaturas por debajo de -30°C .

2.3.3.4. SECADO

El proceso de secado tiene lugar en secaderos de cámara o de túnel y, dependiendo del tamaño de los ladrillos, tarda entre un día y varias semanas. Las formas voluminosas se secan con aire de secado a una humedad controlada. El contenido de humedad residual necesario debería ser inferior al 1% antes de iniciar el proceso de cocción. La siguiente tabla muestra ejemplos de datos operativos de secaderos en funcionamiento periódico, cuya importancia se ha visto reducida en la industria refractaria [4, UBA, 2001].

Tabla 2.9. Datos operativos de los secaderos que funcionan de forma discontinua (secaderos de cámara)

| Secaderos de cámara | Unidad | Productos refractarios | Productos silíceos |
|---|-----------------------|------------------------|--------------------|
| Rendimiento | t/ciclo | 18 | 10 |
| Volumen de cámara de secado | m^3 | 171 | 56 |
| Densidad de carga | kg/m^3 | 105 | 180 |
| Temperatura de secado | $^{\circ}\text{C}$ | 80 | 100 |
| Tiempo de secado | h | 44 | 24 |
| Requisitos energéticos específicos | kJ/kg | 350 | 300 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m^3/h | 1.600 | 15.000 |
| Temperatura de gases de combustión | $^{\circ}\text{C}$ | 60 | 60 |

La Tabla 2.10 muestra los datos operativos de dos secaderos de túnel y de un secadero con un entorno controlado [4, UBA, 2001].

Tabla 2.10. Datos operativos de dos secaderos de túnel y un secadero con entorno controlado

| Producto | Unidad | Secadero de túnel | Secadero de túnel | Secadero con entorno controlado |
|---|------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------------|
| | | Arcilla refractaria | Magnesita | Alta alúmina |
| Rendimiento | t/h | 2,1 | 4 | 3,5 |
| Longitud del secadero | m | 80 | 51 | 36 |
| Sección transversal | m^2 | 1,65 | 2,5 | 2,7 |
| Densidad de carga | kg/m^3 | 1.000 | 1.800 | 1.000 |
| Temperatura de secado | $^\circ\text{C}$ | 100 | 150-180 | 30-200 |
| Tiempo de secado | h | 48 | 17 | 32-48 |
| Requisito energético específico | kJ/kg | 500 | 1.500 | n/d |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m^3/h | 800 | 11.000 | 5.410 |
| Temperatura de gases de combustión | $^\circ\text{C}$ | 40 | 120 | 105 |

2.3.3.5. COCCIÓN

Los productos refractarios se cuecen a temperaturas de entre 1250 y 1850 °C. Las temperaturas de maduración dependen de qué están compuestas las materias primas y de cuándo empiezan a deformarse. Las temperaturas de cocción para los grupos de materiales más importantes se sitúan en los intervalos siguientes:

- ladrillos refractarios 1250-1500 °C
- ladrillos de sílice 1450-1500 °C
- ladrillos con alta alúmina 1500-1800 °C
- ladrillos de magnesia 1400-1800 °C

Los productos se cuecen en hornos de túnel, hornos de vagoneta y hornos de chimenea. La Tabla 2.11 muestra ejemplos de los datos operativos de los hornos de túnel utilizados en la industria refractaria [4, UBA, 2001].

La Tabla 2.12 muestra los datos operativos de los hornos de vagoneta utilizados para la cocción de productos refractarios, productos con sílice y productos con alta alúmina [4, UBA, 2001].

Cada vez es más frecuente automatizar la colocación de los ladrillos, especialmente en los hornos de túnel. Los ladrillos procedentes de las prensas se manipulan automáticamente y se colocan sobre los carros de los hornos según los patrones de colocación programados. El patrón de colocación permite la propagación de la llama y los gases calientes por todos los lados, junto con requisitos

Tabla 2.11. Datos operativos de los hornos de túnel utilizados en la industria refractaria

| Hornos de túnel | Unidad | Ladrillos de magnesia | Ladrillos de arcilla refractaria | Ladrillos de bauxita | Ladrillos de sílice |
|--|-------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Rendimiento | t/h | 2-8 | 4 | 4 | 2,1 |
| Longitud del horno | m | 150 | 113 | 116 | 180 |
| Sección transversal | m ² | 1,3-3 | 2,4 | 2,2 | 2,8 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 1.000-2.500 | 600-1.500 | 600-1.300 | 700-1.000 |
| Temperatura de cocción | °C | 1.760-1.850 | 1.260 | 1.400 | 1.450 |
| Requisito energético específico (secado + cocción) | kJ/kg | 6.000-9.700 | 3.200 | 4.500 | 9.050 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | 15.000-25.000 | 10.000-15.000 | 10.000-15.000 | 1.200 |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 250-400 | 150-200 | 150-220 | 120 |

Tabla 2.12. Datos operativos de los hornos de vagoneta

| Hornos de vagoneta | Unidad | Ladrillos de sílice | Ladrillos con alta alúmina | Ladrillos refractarios |
|---|-------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|
| Rendimiento | t/ciclo | 153 | 40-50 | 18 |
| Volumen de cámara de cocción | m ³ | 180 | 20 | 25 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 850-1.100 | 2.000-2.500 | 650-1.000 |
| Temperatura de cocción | °C | 1.540 | 1.340-1.650 | 1.430 |
| Requisitos energéticos específicos | kJ/kg | 4.500-7.000 | 4.500-8.000 | 7.600 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | a 50.000 | a 20.000 | 3.600-7.000 |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 180-300 | 180-290 | 160-250 |

energéticos bajos. Los hornos modernos funcionan con fueloil y gas natural. En algunos casos se emplea el calentamiento eléctrico para remesas pequeñas de productos especiales.

2.3.3.6. TRATAMIENTO POSTERIOR

En algunos casos especiales es necesario el tratamiento posterior de los productos refractarios cocidos (rectificación, pulido y procesos en húmedo o seco). Tras este tratamiento, los productos se paletizan, empaquetan y se cubren con láminas de plástico para evitar la humectación y protegerlos durante el transporte.

2.3.3.7. PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

En ocasiones se emplean procedimientos especiales para fabricar productos refractarios con características especiales. La formación de enlaces de carbono y la impregnación con brea son procedimientos en los que se utilizan agentes auxiliares especiales. Los ladrillos con enlaces de carbono se utilizan principalmente en la producción de acero. Las materias primas suelen procesarse en caliente y prensarse con brea o resinas como aglutinantes. El enlace de las piezas prensadas se refuerza mediante el templado y el endurecimiento. El agente aglutinante se convierte en coque durante el templado en ausencia de aire a temperaturas de entre 320 y 550°C. Durante el proceso de endurecimiento, los productos se calientan a aprox. 150-220°C en hornos eléctricos. Los ladrillos refractarios se impregnan en ocasiones con alquitrán de hulla o betún para evitar los «poros abiertos».

2.3.3.8. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS REFRACTARIOS

Los flujos de entrada y salida importantes en la fabricación de productos refractarios se presentan en la Figura 2.17 [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

2.3.4. Agregados de arcilla expandida

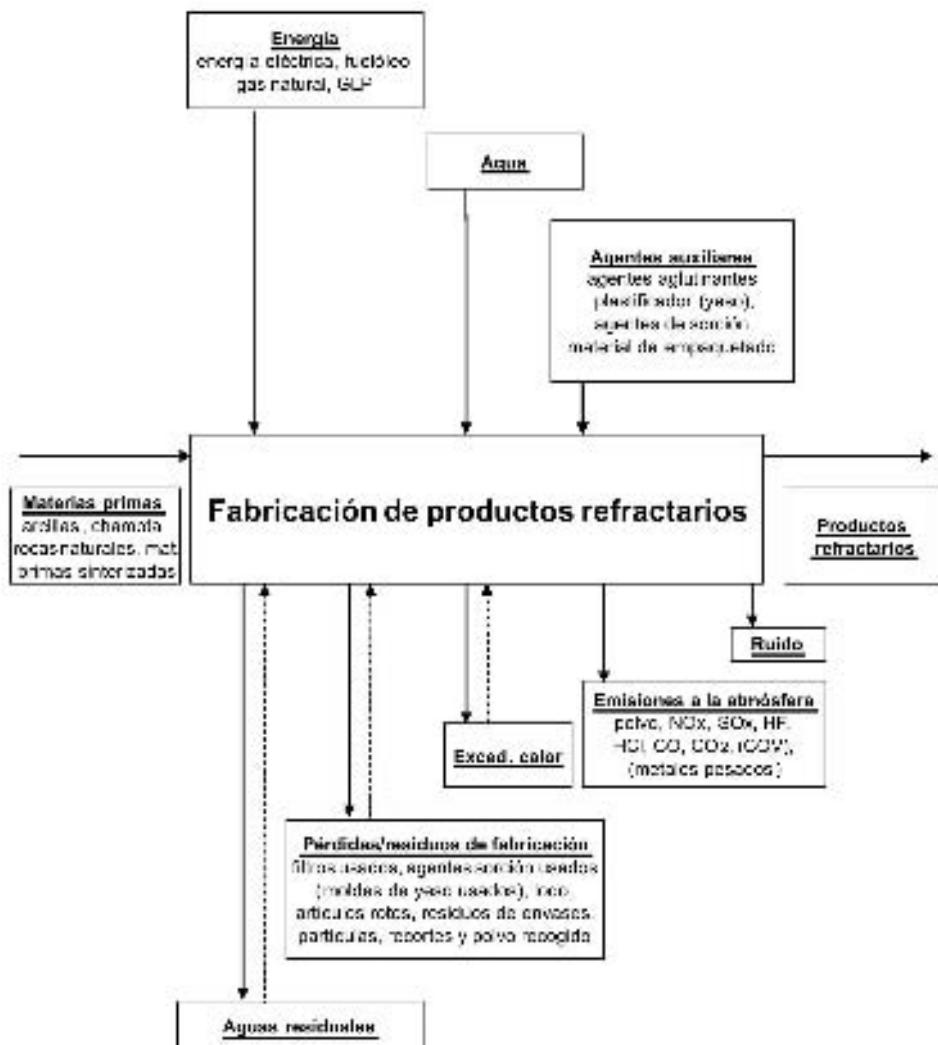
La arcilla es un producto cerámico poroso con una estructura de poro uniforme de células finas y cerradas, que tiene una superficie externa firme y densamente sinterizada. Se fabrica a partir de materias primas que contienen aditivos y minerales arcillosos. La materia prima se prepara y moldea, y seguidamente se somete a un proceso de cocción a temperaturas de entre 1.100 y 1.300°C, resultando en un incremento significativo del volumen debido a la expansión.

Para la fabricación industrial de arcilla expandida deben satisfacerse ciertos requisitos de material. Otro factor importante es el diseño del horno, que debería ajustarse a las características de la materia prima y a las cantidades procesadas. Los parámetros siguientes pueden influir en el proceso de expansión:

- composición de las materias primas,
- aditivos,
- curva de temperatura,
- atmósfera del horno,
- viscosidad en función de los factores de influencia mencionados anteriormente.

La experiencia práctica durante la fabricación de arcilla expandida demuestra que la capacidad de expansión de la arcilla viene determinada por las materias primas y los aditivos y por la tecnología del proceso térmico. Los principales factores tecnológicos que afectan a la capacidad de expansión de las materias primas son el índice de calentamiento y la atmósfera del horno.

Figura 2.17. Flujos de entrada y salida en la fabricación de productos refractarios



La fabricación de arcilla expandida incluye los pasos siguientes: extracción (esta actividad no se incluye en este documento), preparación de la materia prima, moldeado, tratamiento térmico (secado, cocción), tratamiento posterior del producto, recuperación del producto y preparación para el transporte (embolsado, carga). La Figura 2.18 muestra esquemáticamente la fabricación de agregados de arcilla expandida [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]. El paso del moldeado no siempre es relevante para todas las plantas.

Figura 2.18. Vista esquemática de la fabricación de agregados de arcilla expandida



2.3.4.1. MATERIAS PRIMAS, ADITIVOS Y AGENTES AUXILIARES

Las materias primas para la fabricación de arcillas expandidas son arcillas de sinterización temprana. Con un índice de calentamiento controlado y dentro de un intervalo de temperaturas de entre 1.100 y 1.300 °C, experimentan un incremento de volumen significativo. Sólo son apropiadas aquellas materias primas que inicialmente forman una capa piroplástica por fusión, densamente sinterizada, cuando se calientan a estas temperaturas y al mismo tiempo forman gases dentro del cuerpo (fragmento granular) capaces de expandir los cuerpos viscosos. Un requisito imprescindible para que esto suceda es la presencia de medios de fundente asociados, como óxidos de hierro, álcalis, metales alcalinos-terrosos así como sustancias que forman gases y que pueden estar presentes en las materias primas o pueden agregarse durante el proceso.

Los estudios anteriores han demostrado que las características de expansión de una arcilla como materia prima no se pueden, por lo general, derivar del análisis.

Determinadas afirmaciones en relación con la composición química/mineral y otras características de los materiales con capacidad de expansión demostrada son:

- plasticidad relativamente elevada, con un gran contenido de orgánicos finos;
- contenido relativamente alto de silicatos en capas, en concreto del grupo de ilita o mica, más del 40% es ventajoso; el contenido de caolinita normalmente es bajo;
- el contenido de calcita o dolomita reduce el tiempo de expansión; la cal germenosa es perjudicial porque puede producir descascarillado;
- composición química:
 - Al_2O_3 : 12-25%
 - SiO_2 : 47-78%
 - fundente (Na_2O , K_2O , CaO , MgO , Fe_2O_3 , FeO): 8-29%
 - $\text{C}_{\text{orgánico}}$: 0-2,5%
 - FeS_2 : debe ser de grano fino (residuo en el producto acabado $\leq 1,0$ o 1,5% SO_3)
- composición mineralógica:
 - cuarzo: 7-45%
 - carbonatos: 0,1-17%
 - minerales arcillosos: 40-80%
 - feldespato: 5-25%
 - otros: 3-17%
- el ablandamiento piroplástico de la masa o de los gránulos se debe producir durante la fase más favorable del proceso de formación de gases; esto ofrece el intervalo de expansión más ventajoso de, al menos, 50 a 100 K.

Las arcillas que por su naturaleza no son adecuadas para la expansión se pueden expandir añadiendo aditivos y agentes auxiliares adecuados, que facilitan la fabricación de productos expandidos con características especiales (por ejemplo, si la intención es maximizar las características de aislamiento térmico, se suelen añadir medios de expansión a la arcilla expandida) y normalmente también son más seguras. Los ejemplos de aditivos (fundentes y agentes de desmoldeo) y los agentes auxiliares (medios de expansión) mostrados en la Tabla 2.13 han demostrado ser especialmente fiables.

Tabla 2.13. Ejemplos de aditivos y agentes auxiliares que mejoran la expansión

| Fundente | Medios de expansión | Agentes de desmoldeo |
|----------------------|------------------------|----------------------|
| Óxidos de hierro | Óleos pesados | Compuestos de cal |
| Hidróxidos de hierro | Ligno sulfonatos | Dolomita |
| Arcillas ilíticas | Coque/carbón ultrafino | |
| | Arcillas bituminosas | |

Los tipos de aditivos y agentes auxiliares dependen de la composición de la materia prima, la tecnología en el proceso de fabricación (procesamiento de arcillas húmedas o secas, véase la sección 2.3.4.2), la disponibilidad económica y las características de las emisiones. La dosificación normalmente oscila entre 0 a 10% según el peso.

2.3.4.2. SISTEMA GENERAL Y TECNOLOGÍA DEL PROCESO

2.3.4.2.1. *Moldeado*

Para la preparación de la materia prima se utilizan dos técnicas básicas y el moldeado depende del contenido de humedad en la arcilla.

Para las arcillas con un contenido de humedad relativamente alto, el uso del proceso húmedo es la técnica más habitual: las arcillas dúctiles (con aditivos) se introducen en un secadero rotatorio en el procesamiento mecánico y en la homogeneización en almacén de arcilla, molinos de muelas, desintegradores, mezcladoras de eje dual y amasadoras. A través de una secuencia adecuada de elementos de horno de endurecimiento, como cadenas, barras cruzadas y platos, los fragmentos de arcilla se descomponen aún más.

Para arcillas bastante secas, el uso del proceso semiseco es la técnica más habitual; se emplea una trituradora primaria para triturar grandes piezas de materia prima a un tamaño de grano inferior a 100 mm. La materia se puede homogeneizar durante el almacenamiento automático y se puede recuperar con una excavadora transportadora con pala. En la unidad de trituración por vía seca, la arcilla en bruto se tritura entre la cinta de trituración rotativa y los rodillos de trituración. La arcilla en polvo se envía a la granuladora de disco inclinado y se le añade agua. El movimiento rotatorio del disco produce que se formen gránulos esféricos, que se descargan por el borde inferior del disco y el movimiento de rodillo tiene un cierto efecto de granulación. Se añaden reactivos adecuados para reducir la tensión superficial del agua añadida. Se influye en el tamaño de los gránulos y sus características se adaptan a la correspondiente materia prima al cambiar la velocidad y la inclinación del disco así como la altura del borde del disco. Los gránulos pasan por un «tambor de pulverización», en el que aplica polvo de piedra calida a la superficie del gránulo. De este modo se evita el aglutinamiento de los gránulos sin cocer y, posteriormente, los protege en el horno de expansión.

2.3.4.2.2. *Tecnología del proceso térmico*

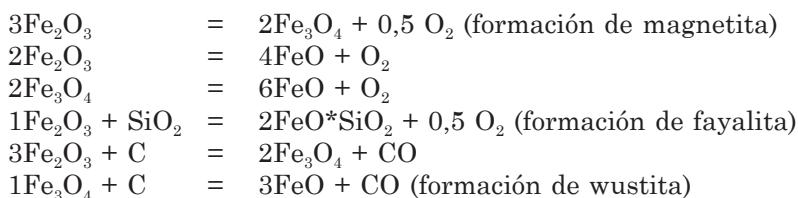
Las tendencias en el diseño de hornos se caracterizan por los esfuerzos en desarrollar sistemas con capacidad de adaptación simple y flexible tanto en lo que se refiere a la materia prima como a las características de producto requeridas. Una

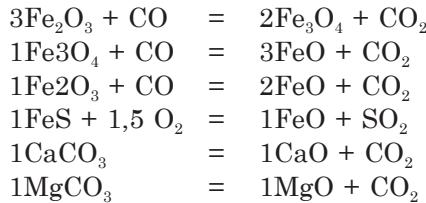
vía para conseguirlo es la cocción variable y el control del aire, en combinación con distintos tiempos de transferencia para cada una de las fases térmicas. La curva de temperatura óptima para alcanzar la densidad deseada depende de la mezcla de materias primas y los aditivos. Para optimizar el procedimiento, los precalentadores se sitúan en la parte ascendente del horno de expansión real. El tipo de precalentador más habitual es el de tambor (horno de endurecimiento). Para el enfriamiento normalmente se emplean dispositivos tales como refrigeradores de ejes, rotativos, satélite, rejilla o tolva.

Los hornos rotativos empleados en la fabricación de arcilla expandida se utilizan normalmente en modo de contracorriente, es decir, la materia y el medio de calentamiento se mueven en direcciones opuestas. La materia prima se añade por el lado frío del horno. Debido a la inclinación del tambor y la rotación del horno, la materia llega al extremo caliente del horno, es decir, la zona de alta temperatura. El tiempo de transferencia depende de la inclinación del horno, su velocidad y los componentes del horno. El tiempo tiene una gran repercusión en las características del producto. Para evitar que los gránulos se peguen entre sí, los hornos se equipan en ocasiones con componentes adecuados como, por ejemplo, cadenas suspendidas. Las dimensiones del horno dependen de la técnica empleada. La longitud de tubo varía entre 4 y 80 m y el diámetro entre 1,0 y 4,5 m. Los combustibles habituales utilizados son el petróleo, el carbón y el gas. Los combustibles alternativos o secundarios son de origen orgánico (por ejemplo, biocombustibles, biomasa, etc.) y de origen no orgánico (por ejemplo, residuos de petróleo, disolventes, etc.). El objetivo del diseño del sistema es optimizar el equilibrio térmico utilizando un intervalo amplio de temperaturas y diversas opciones en el tiempo de calentamiento.

2.3.4.2.3. Reacción química durante la expansión

Durante el calentamiento de los gránulos, se forma vapor de agua del agua residual así como oxígeno, vapor de agua de los procesos de constitución, gases de descomposición de las sustancias orgánicas, dióxido de azufre y ácido carbónico del carbonato. Al mismo tiempo, los poros de la superficie comienzan a cerrarse. Se forma el producto expandido (con una estructura interna celular más o menos fina) debido al hecho de que los gases se expanden con una temperatura cada vez mayor. Las principales reacciones que se producen durante la expansión son las siguientes:





En consecuencia, los principales elementos y componentes gaseosos que se liberan son el oxígeno, el monóxido de carbono, el dióxido de carbono y/o el dióxido de azufre, de los cuales uno o más tienen que estar disponibles para el proceso de expansión. Esto sucede principalmente en el intervalo de temperatura ampliado de aproximadamente 750 a 1300 °C.

2.3.4.2.4. *Tamizado y machacado posterior*

En la fabricación de los agregados de arcilla expandida, después del tratamiento térmico, los agregados pasan por un proceso de tamizado y machacado con el fin de obtener la granulometría y calidad deseadas. Normalmente se utilizan tamizado por vía seca y trituradoras de arena.

2.3.4.3. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA FABRICACIÓN DE AGREGADOS DE ARCILLA EXPANDIDA

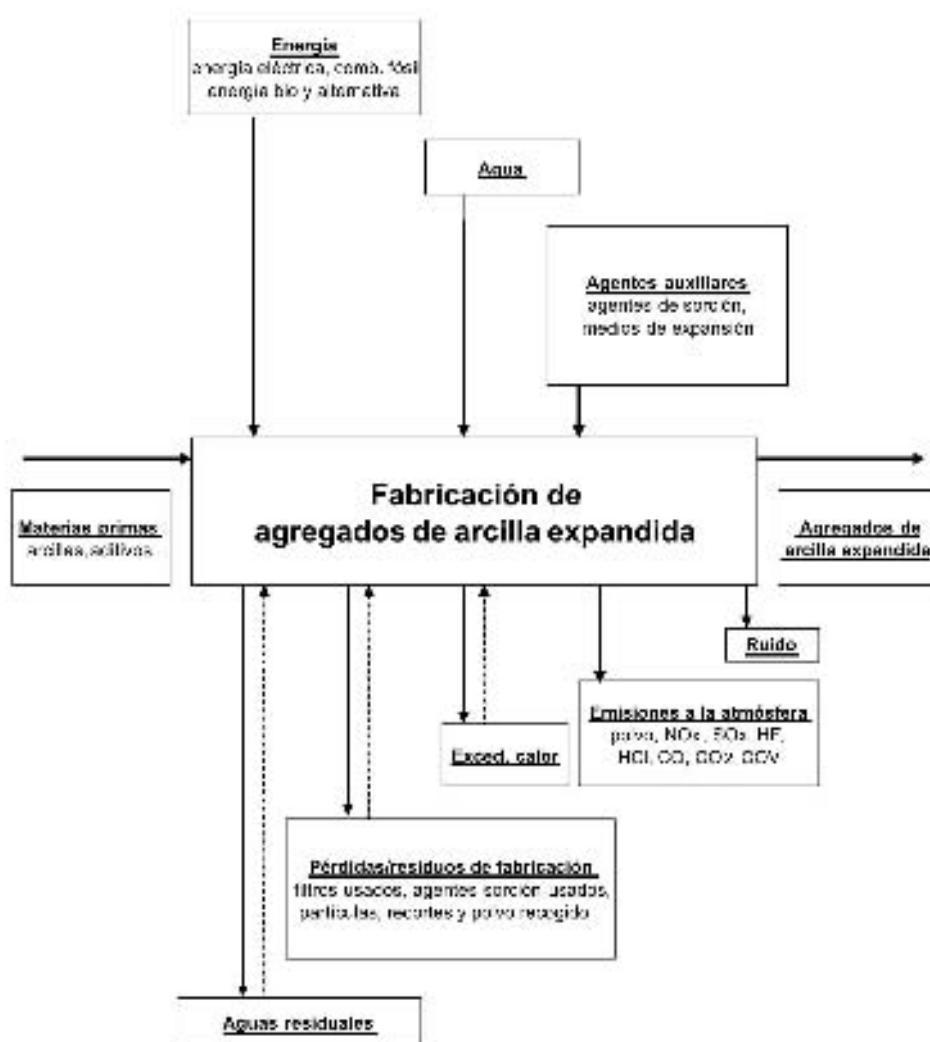
Los flujos de entrada y salida importantes en la fabricación de los agregados de arcilla expandida se presentan en la Figura 2.19 [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [28, Schorcht, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

2.3.5. Pavimentos y revestimientos

El proceso de fabricación de pavimentos y revestimientos consta de una serie de fases sucesivas que se pueden resumir del siguiente modo:

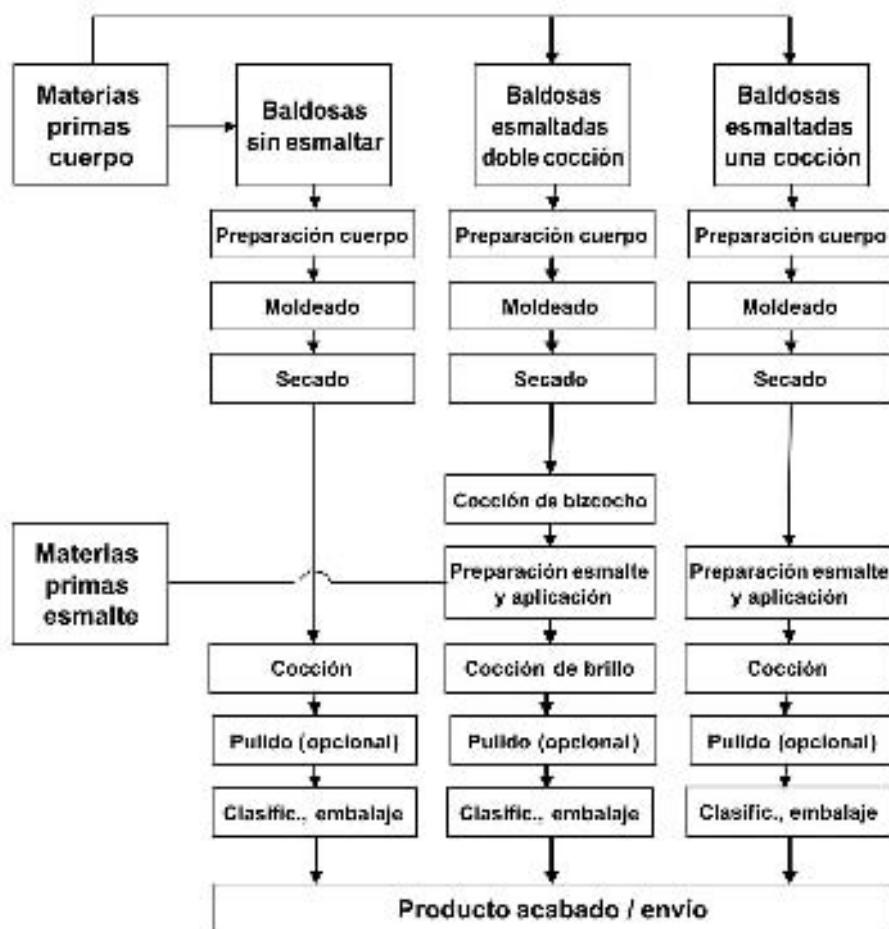
- almacenamiento de las materias primas,
- preparación del cuerpo (polvo de prensado en seco [proceso por vía seca o vía húmeda] o pasta de extrusión),
- moldeado,
- secado del cuerpo crudo,
- preparación del esmalte y esmaltado,
- cocción (con o sin esmaltado),
- pulido,
- clasificación y embalaje.

Figura 2.19. Flujos de entrada y salida en la fabricación de agregados de arcilla expandida



Dependiendo de si el producto que se va a fabricar está esmaltado o no, y de si interviene cocción única, doble o triple, el azulejo se esmalta o no en un determinado proceso o el orden de las etapas de esmaltado y cocción se reorganizarán en consecuencia. En la siguiente Figura 2.20 se muestra una vista esquemática de las diferentes posibilidades para los procesos de fabricación de pavimentos y revestimientos [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

Figura 2.20. Vista esquemática de la fabricación de pavimentos y revestimientos



2.3.5.1. MATERIAS PRIMAS

Las arcillas y los caolines son las típicas materias primas plásticas que se emplean en la fabricación de pavimentos y revestimientos. La chamota, cuarzo, feldespatos, carbonato de calcio (calcita), dolomita y talco son materias primas no plásticas con diferentes funciones en la composición del cuerpo (por ejemplo, los feldespatos actúan como agentes fundentes, mientras que la calcita permite la formación de las fases cristalinas). Las mismas materias primas combinadas con fritas de esmalte, óxidos de metal y colorantes también se emplean para esmaltes. Los electrolitos, tales como el silicato sódico o el difosfato, se añaden para reducir el consumo de energía en el proceso de secado mediante la reducción de agua.

Los componentes de cuerpo se depositan en la zona de almacenamiento de materias primas, principalmente como materias a granel. Las materias se almacenan al aire libre, en recintos de almacenamiento, en cajas o silos. Las masas de menor tamaño se entregan y almacenan en bolsas y contenedores y las materias líquidas en depósitos cerrados.

2.3.5.2. PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

La preparación de las materias primas incluye varias operaciones y técnicas, según el tipo o la forma que se vaya a producir.

Las proporciones de la materia prima se determinan gravimétricamente, teniendo en cuenta la humedad de las materias primas. Se añaden pequeñas masas de pigmentos, óxidos de metal o colorantes para teñir los componentes del cuerpo. Las piezas de mayor tamaño se trituran previamente en molinos de rodillos o máquinas barrenadoras. Despues de pesarlas, las materias trituradas previamente se muelen (incluyendo agua y electrolitos) en molinos de tambor en húmedo, que pueden ser molinos por cargas o continuos. Una variación adicional es el proceso de levigación y homogeneización de las materias primas por cargas en depósitos grandes. La suspensión se bombea desde los depósitos a los molinos de tambor en húmedo. El contenido de agua de la suspensión es aproximadamente del 35%.

Después de la pulverización fina (hasta un tamaño de partícula de < 0,1 mm), la suspensión se criba paso a paso y se guarda en tanques de almacenamiento agitados. La suspensión se procesa en un cuerpo plástico («pasta de extrusión») o en «polvo de prensado en seco». La producción y procesamiento de la barbotina de colar no es habitual en la fabricación de pavimentos y revestimientos.

Las «pastas de extrusión» se preparan normalmente en molinos de muelas o unidades de laminado. Para producir la «pasta de extrusión», la suspensión se deseca en prensas de filtro o filtros de rotación hasta un contenido en agua de entre el 20 y el 25%. Las sustancias orgánicas o inorgánicas se añaden al componente plástico para maximizar la plasticidad. Estas sustancias son, por ejemplo, alginato, dextrina, lignina, celulosa metílica, celulosa etílica y parafina.

Un proceso especial para preparar las materias primas para el moldeado plástico es la pulverización fina en molinos en seco, la mezcla y, a continuación, la adición de un 20% de agua (proceso Buchtal) [23, TWG Ceramics, 2005].

Los azulejos se fabrican principalmente utilizando «polvo de prensado en seco». El polvo de prensado en seco se puede producir mediante un proceso por vía húmeda o seca.

En el proceso por vía húmeda, la suspensión se bombea desde los depósitos de almacenamiento agitados mediante bombas a secaderos por pulverización o se-

caderos flash. El secado se realiza a temperaturas de entre 350 y 450 °C para un contenido de agua del 5 al 95%. El calor necesario en el secadero por pulverización se produce por la combustión de gas natural o fueloil. Se añaden aditivos orgánicos para maximizar la característica deslizante del polvo. Los aditivos pueden ser orgánicos o inorgánicos; los aditivos más usados en la preparación de compuestos del cuerpo son el silicato sódico, el tripolifosfato sódico y los acrilatos. El uso de agentes aglutinantes, como la celulosa carboximetílica, la celulosa metílica, alcohol polivinílico, etc., en la preparación de compuestos del cuerpo es, por lo general, innecesario debido a su contenido significativo de arcillas, excepto en casos especiales (por ejemplo, en tamaños grandes) [23, TWG Ceramics, 2005].

El proceso seco incluye la trituración por vía seca en molinos de cono, martillo y anillo, seguida de una humectación adecuada del polvo para lograr un contenido medio de humedad del 5-7%.

2.3.5.3. MOLDEADO

La «pasta de extrusión» se moldea en un extrusor con la geometría correcta y se corta en piezas. Los productos típicos que se fabrican a partir de estos componentes son las baldosas por clivaje. Las baldosas de loza de barro y de gres se fabrican principalmente de «polvo de prensado en seco». El polvo se moldea para prensar cuerpos en prensas manuales de impacto, prensas de husillo o prensas hidráulicas con una presión aproximada de 35 MPa. Normalmente se emplean prensas multiherramienta, que pueden producir cuatro baldosas por ciclo. El barro crudo prensado se pule y se pone, tanto de forma manual como automática, en la vagóneta de horno de túnel o en el secadero de rodillos.

2.3.5.4. SECADO

Los cuerpos prensados se secan principalmente en secaderos de túnel, secaderos de rodillos o secaderos verticales. El calor residual del horno o de los quemadores de cocción de gas natural y fueloil se utiliza para calentar el secadero. El secado se lleva a cabo a temperaturas que varían según el tipo de tecnología. En los secaderos verticales está entre 200-220 °C y en los secaderos de túnel va de 300 a 350 °C. El tiempo de secado se sitúa entre una y cuatro horas, según el contenido de la pieza sin cocer. El contenido de humedad residual necesario es inferior al 1% para evitar fisuras y errores de esmaltado durante el proceso de cocción.

2.3.5.5. COCCIÓN Y ESMALTADO

Las baldosas se fabrican como productos de monococción esmaltados o no esmaltados o bien como productos de doble cocción o, incluso, de triple cocción. En el

proceso de doble cocción, las baldosas pasan primero por la cocción de bizcocho. La cocción de bizcocho se lleva a cabo a temperaturas de entre 1050 y 1150 °C en hornos de túnel clásicos (de 20 a 50 horas) o en modernos hornos de solera con rodillos en una o dos horas. Los hornos de vagoneta que funcionan de forma discontinua se utilizan en contadas ocasiones en el proceso de bizcocho. Tras este paso, las baldosas se clasifican automáticamente y se transportan al proceso de esmaltado. Se aplica el esmalte a las baldosas mediante pulverización o irrigación. Las máquinas de esmaltado están equipadas con unidades de inmersión para jaspear las baldosas. Además, las prensas de serigrafía se pueden utilizar para la decoración, que también se puede realizar con técnicas de huecograbado o flexografía. Las materias primas de esmaltado se obtienen como fritas. Todos los componentes de una frita ya están mezclados, cocidos y molidos. Las sustancias como el plomo están adheridas a las fritas en forma molecular, por lo que el agua no puede lavarlas en este paso del proceso.

La cocción final se lleva a cabo en hornos de solera con rodillos, hornos de túnel u hornos de vagoneta que funcionan de forma discontinua. Las baldosas esmaltadas se colocan en accesorios para cocción y se cuecen a temperaturas de entre 1050 y 1300 °C en hornos de túnel o en hornos de solera con rodillos sin accesorios para cocción. Las baldosas de forma especial se cuecen en hornos de vagoneta o de túnel a temperaturas de hasta 1100 °C. En la siguiente tabla se muestran ejemplos de datos operativos de hornos de túnel y de hornos de solera con rodillos.

Tabla 2.14. Datos operativos de hornos de túnel y de hornos de solera con rodillos

| | Unidad | Cocción de bizcocho en horno de túnel | Horno de solera con rodillos | |
|---|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| | | | cocción final | monococción |
| Producto | | | Baldosas con mayor absorción de agua | |
| Rendimiento | t/h | 2,8 | 1,2 | 1,6 |
| Longitud del horno | m | 120 | 60 | 80 |
| Sección transversal | m ² | 1,5-2,0 | 0,8-1,2 | 0,5-1,0 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 500-700 | 10-30 | 10-30 |
| Temperatura de cocción | °C | 1100 | 1250 | 1300 |
| Requisitos energéticos específicos | kJ/kg | 3500 | 2900 | 2200 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | 15000 | 10000 | 13000 |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 180 | 160 | 200 |

Tabla 2.14. Datos operativos de hornos de túnel y de hornos de solera con rodillos (*continuación*)

| | Unidad | Horno de túnel | Horno de solera con rodillos | |
|---|-------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------|
| Producto | | Baldosas con menor absorción de agua | | |
| | | sin esmaltar | sin esmaltar | esmaltadas |
| Rendimiento | t/h | 1,2 | 2,1 | 2,1 |
| Longitud del horno | m | 130 | 80 | 60 |
| Sección transversal | m ² | 1,5-2,0 | 1,2 | 0,8-1,0 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 700-1000 | 20-30 | 20-30 |
| Temperatura de cocción | °C | 1200 | 1220 | 1230 |
| Requisitos energéticos específicos | kJ/kg | 3900 | 2900 | 2500 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | 15000 | 10000 | 13000 |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 220 | 160 | 160 |

2.3.5.6. TRATAMIENTO POSTERIOR

Después de la cocción final, algunos tipos de baldosas (principalmente las baldosas de gres cerámicas sin esmaltar) pueden ser molidas o pulidas. Finalmente las baldosas se clasifican, embalan y paletizan manual o automáticamente. Los palets se recubren con una lámina en una máquina embaladora.

2.3.5.7. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS Y REVESTIMIENTOS

Los flujos de entrada y salida importantes del proceso de pavimentos y revestimientos se presentan en la Figura 2.21 [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

2.3.6. Cerámica de mesa y decoración (cerámica doméstica)

El proceso de fabricación de cerámica doméstica se compone de los siguientes pasos principales: almacenamiento de materias primas, preparación de materias primas, moldeado, secado, cocción, esmaltado, decoración y tratamiento posterior. En la Figura 2.22 se presentan, como ejemplo típico de fabricación de la cerámica doméstica, las etapas de la fabricación de la porcelana de mesa [4, UBA, 2001].

Figura 2.21. Flujos de entrada y salida importantes del proceso de pavimentos y revestimientos

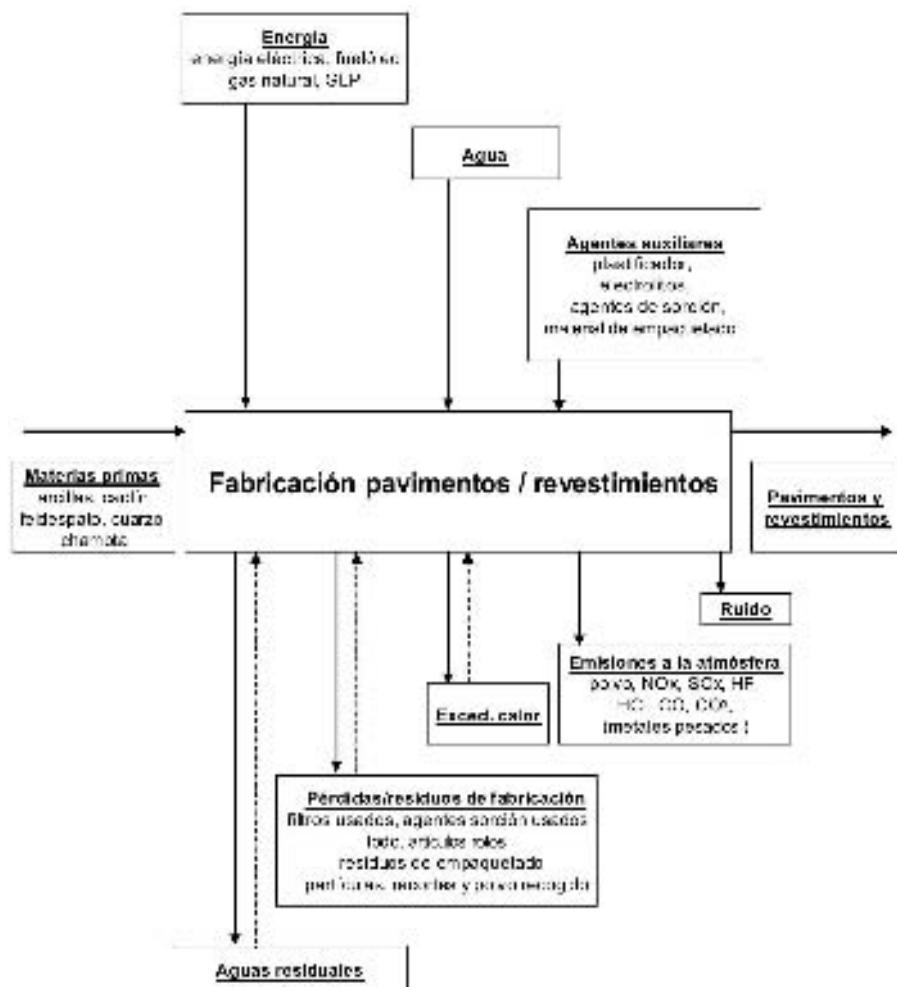
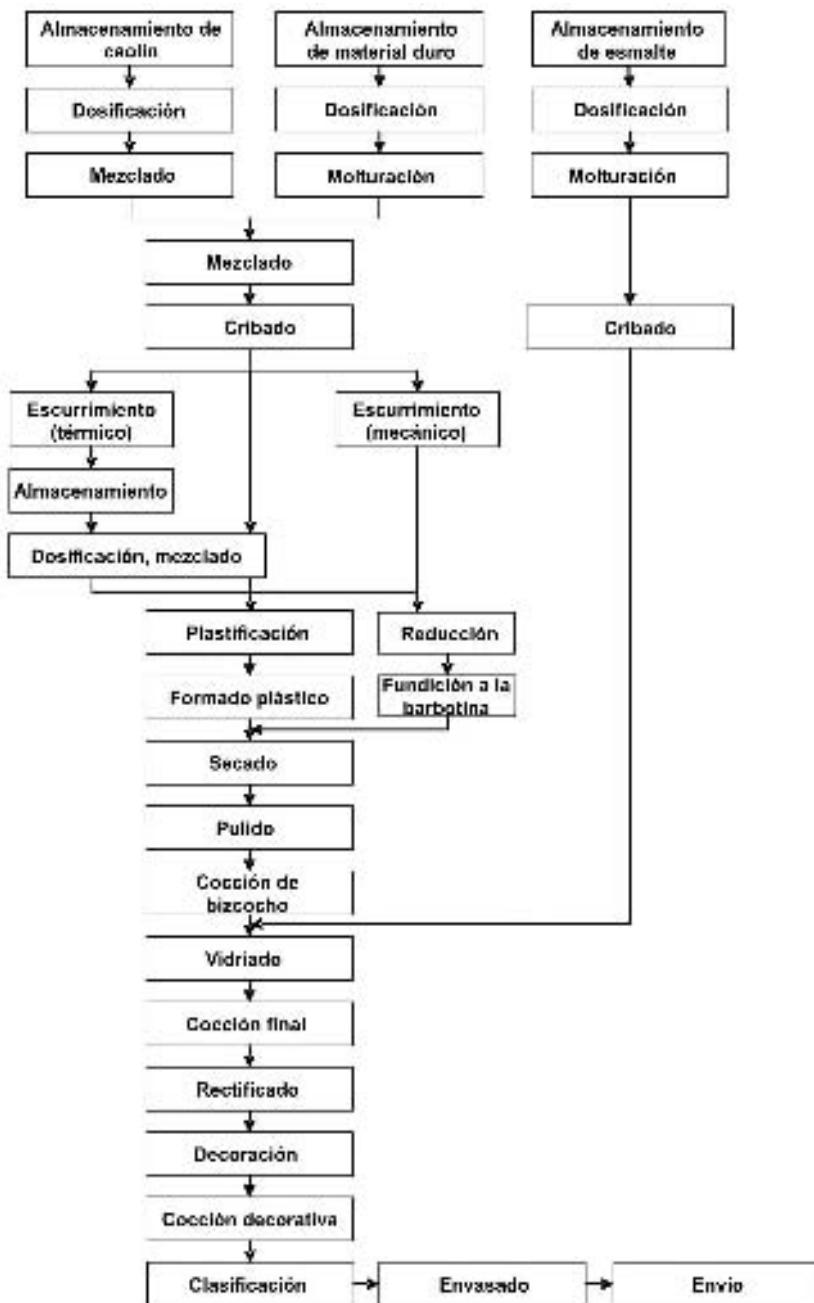


Figura 2.22. Vista esquemática de la fabricación de porcelana de mesa



2.3.6.1. MATERIAS PRIMAS

Las arcillas plásticas, el feldespato y el cuarzo se utilizan como las principales materias primas en la fabricación de cerámica doméstica. Los diferentes componentes de carga de cuerpo y de carga de esmaltado se envían a la fábrica y se almacenan en silos, bolsas y contenedores, según el contenido de humedad de la materia prima, el método de almacenamiento y el tamaño de las partículas. Para alcanzar una buena característica de cuerpo, se emplean varias materias primas con diferentes parámetros.

La Tabla 2.15 y la Tabla 2.16 muestra los intervalos típicos de las composiciones mineralógicas y químicas de las materias primas empleadas para la fabricación de la cerámica doméstica [3, CERAME-UNIE, 2003].

Tabla 2.15. Intervalos típicos de la composición mineralógica de las materias primas para la fabricación de cerámica doméstica

| Mineral (%) | Loza de barro | Vitrificado | Porcelana | Porcelana china | Gres |
|------------------|---------------|-------------|-----------|-----------------|------|
| Caolín | 25 | 25 | 55 | 25 | 0 |
| Arcilla de bola | 15-25 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| Feldespato* | 0-15 | 20 | 15 | 25 | 30 |
| Talco | 0-35 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sílice | 20-35 | 0 | 30 | 0 | 70 |
| Sílex | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| Ceniza de hueso* | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 |

* Nefelina sienita: normalmente constituye una alternativa al feldespato y a la ceniza de hueso

Tabla 2.16. Intervalos típicos de la composición química de las materias primas para la fabricación de cerámica doméstica

| Mineral (%) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Otros |
|------------------|------------------|--------------------------------|--|
| Caolín | 55 | 35 | 10 |
| Arcilla de bola | 75 | 20 | 5 |
| Feldespato | 70 | 20 | 10 |
| Nefelina sienita | 60 | 25 | 15 |
| Talco | 60 | 0 | 40 (MgO) |
| Sílice | 95 | 0 | 5 |
| Sílex | 90 | 0 | 10 |
| Ceniza de hueso | 0 | 0 | 100 (Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH) |

2.3.6.2. PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

La preparación de las materias primas para la fabricación de cerámica doméstica se lleva a cabo en un proceso por vía húmeda o seca. Se producen predominantemente «pasta de extrusión» y «polvo de prensado en seco». Los componentes de cuerpo se miden principalmente de forma gravimétrica. Si en el agua se hallan compuestos de caolín disueltos, se lleva a cabo la distribución volumétrica. En general, las materias primas de esmaltado se dosifican gravimétricamente. Los compuestos de cuerpo plásticos están suspendidos en agua en tanques agitados con el fin de prepararlos para el proceso de mezcla. La siguiente molturación en húmedo se lleva a cabo en molinos de tambor o en molinos agitados. Los compuestos de cuerpo duros normalmente se entregan con los parámetros de partículas correctos, por lo que es preciso una molturación adicional. Los compuestos de cuerpo plásticos y los compuestos de cuerpo duros se mezclan en agitadoras o mezcladoras. Los compuestos se criban para quitar las impurezas, tras lo cual se desferrizan con lo que se eliminan los compuestos de hierro extraños. La desferrización se lleva a cabo en campos magnéticos. La barbotina del cuerpo se deseja mecánicamente en prensas de filtro o térmicamente en secaderos por pulverización. Para la producción de la «pasta de extrusión», el contenido de agua de la barbotina se reduce del 65% al 20 o 25% en prensas de filtro o en filtros de rotación. La torta de filtración se homogeneiza y se le da forma de trozos en las prensas de extrusión. Para la producción del «polvo de prensado en seco», el moldeado de barbotina se deseja al 5 u 8% de agua en secaderos de pulverización. El moldeado de barbotina se bombea en el secadero de pulverización mediante una bomba de moldeado de barbotina especial. El contenido de agua se reduce con un flujo de gas caliente. El gas de combustión del secadero calentado por gas y el agua vaporizado dejan el secadero en la parte superior.

Se añaden agentes aditivos y aglutinantes orgánicos al «polvo de prensado en seco» para obtener las características suaves y deslizantes del polvo. Para esta finalidad se emplean celulosa carboximetílica, celulosa metílica, éter de celulosa, alcohol polivinílico, acetato polivinílico y polisacárido. Se añaden oleína, aceite mineral, ácido esteárico y cera. La proporción de agentes aditivos y aglutinantes en el «polvo de prensado en seco» está entre 0,2 y 0,4% peso. El «polvo de prensado en seco» producido en el proceso de lecho fluidificado se puede emplear con una proporción reducida de agentes aditivos y aglutinantes, lo que proporciona mejores características para la deformación.

El proceso de granulación del lecho fluidificado, por un lado, y el proceso de granulación no térmico, por otro, son alternativas futuras en la producción del «polvo de prensado en seco». El consumo de energía específico de la granulación del lecho fluidificado es mayor que en el proceso de secado por pulverización normal pero el consumo de energía térmica es menor.

Si se produce «pasta de extrusión» para el moldeado plástico suave mediante el uso de «polvo de prensado en seco», el polvo y el moldeado de barbotina de retorno se mezcla hasta que el contenido en agua es del 20 al 25%. Las secciones cilíndricas extruidas se almacena durante un tiempo para garantizar una humidificación y tensión uniformes. Los agentes aditivos y aglutinantes orgánicos, como el cloruro de magnesio, el sulfato de magnesio, el fosfato o el bórax se utilizan para aumentar la resistencia de los compuestos plásticos para el moldeado de plástico suave.

La torta de filtración, los residuos de los componentes plásticos del moldeado de plástico duro o el «polvo de prensado en seco» se disuelven en agua para producir compuestos de moldeado (barbotina de colar). El contenido de agua de la barbotina de colar está aproximadamente entre el 25 y el 35%. Para garantizar una barbotina de calidad, incluso con un contenido en agua más bajo, se utilizan aditivos como sosa, silicato sódico o potásico, ácido cáustico o húmico.

2.3.6.3. MOLDEADO

Existen tres tipos distintos de procesos de moldeado en la fabricación de cerámica doméstica. La vajilla plana como platos y platillos se fabrica principalmente en el proceso de prensado en seco. Los recipientes cóncavos, como, por ejemplo, los jarrones, se fabrican en el proceso de colada, mientras que las copas y tazas se fabrican en el proceso de moldeado plástico.

En el proceso de prensado en seco, el «polvo de prensado en seco» (contenido en agua aproximadamente del 5%) se presiona isostáticamente con agentes auxiliares. El «polvo de prensado en seco» se vierte en una prensa. La prensa consta de una parte superior y otra inferior. En la parte inferior, la membrana isostática funciona como la parte principal de compresión. En función del producto, la parte superior de la prensa está diseñada con distintas formas. Las prensas horizontales que utilizan cabezales de múltiples formas pueden producir varios productos con un elevado rendimiento. Las prensas de doble cabezal producen hasta 1.200 piezas por hora. La ventaja de este proceso es el bajo contenido en agua de la pieza sin cocer.

En el proceso de moldeado plástico, la «pasta de extrusión» (contenido en agua de entre el 20 y el 25%) se forma en máquinas de torno con ayuda de herramientas de perfilado. Los artículos equilibrados dinámicamente se producen en moldes de yeso, que se fabrican en instalaciones especiales. El cuerpo de plástico cilíndrico se corta en secciones similares. En el paso siguiente, las secciones se distribuyen mecánicamente en los moldes de yeso de las máquinas de torno. La vida útil de los moldes de yeso es muy breve. Los moldes de plástico se suelen utilizar sólo para 100 a 150 piezas. Recientemente, se han empleado moldes porosos fabricados en materiales de polímero para alcanzar una mayor duración.

Los artículos no equilibrados dinámicamente se producen en el proceso de colada en barbotina. La formación del cuerpo tiene lugar mediante la desecación del moldeado de barbotina en moldes de yeso. El proceso de moldeado sólido se utiliza principalmente para la producción de vajilla plana. Los jarrones y las jarras se fabrican en el proceso de moldeo de drenaje. Las máquinas de moldeado se utilizan para la fabricación a escala industrial. La producción a pequeña escala se lleva a cabo por moldeo manual. El tiempo de formación del cuerpo se puede reducir a presión. El moldeado por presión se realiza en moldes de polímero poroso a una presión máxima de 4 MPa. El moldeado por presión es mucho más rápido que el proceso de moldeado convencional, por lo que los ciclos de moldeado sólo duran dos o tres minutos.

El prensado de plástico es un proceso adicional que se emplea para la fabricación de cerámica doméstica. Los artículos se fabrican en moldes de yeso de dos partes o en moldes de polímero. En comparación con el proceso de colada en barbotina mediante un cuerpo plástico, este proceso reduce considerablemente el tiempo de formación del cuerpo.

2.3.6.4. SECADO

Los artículos producidos en el proceso de colada en barbotina o en el proceso de moldeado de plástico se tienen que secar en secaderos especiales hasta alcanzar un contenido en agua inferior al 2%. Para esta desecación se utilizan secaderos de cámara y de túnel calentados con calor residual del horno, gas natural o fueloil EL. Los secaderos de infrarrojos y de microondas constituyen una alternativa al proceso de secado convencional. Estos secaderos se emplean para el secado previo de los componentes de moldeo y también para el secado de los moldes de yeso usados y nuevos. Los secaderos de microondas se construyen como secaderos de cámara, túnel y pasaje de cámara.

La aspereza de la superficie y las marcas de los moldes derivadas del proceso de moldeado se eliminan en el proceso de embellecimiento. El embellecimiento se realiza con cuchillas y mediante un tratamiento posterior con gomaespuma húmeda. Los artículos prensados y torneados se limpian principalmente con máquinas y otros artículos se tratan manualmente. Para la fabricación a escala industrial, los procesos de moldeado, secado y embellecimiento se unifican en una fase de fabricación.

2.3.6.5. COCCIÓN, ESMALTADO Y DECORACIÓN

La cerámica doméstica se cuece de una a cuatro veces, según el material y la técnica de producción. En el primer paso, la cocción de bizcocho confiere al semiproducto la resistencia y la absorbencia necesarias para el esmalte. Las temperaturas de cocción de bizcocho varían entre 900 y 1050°C y el tiempo de

cocción en los hornos de túnel clásicos está entre 18 y 30 horas. Los hornos de cocción rápida alcanzan tiempos de cocción de tres a siete horas.

El esmaltado viene después de la cocción de bizcocho. El esmaltado consta de compuestos vítreos con una mayor proporción de agentes fundentes dispersos en el agua. El esmaltado de los artículos cóncavos (excepto las tazas) se realiza por inmersión manual. El esmaltado de la vajilla plana y las tazas se efectúa mecánicamente en un proceso de esmaltado por vertido, mientras que en la producción a pequeña escala el esmaltado se realiza manualmente por inmersión. La vajilla plana también se esmalta por pulverización. Se utilizan agentes adhesivos (por ejemplo, poliamina o dextrina) como agentes aglutinantes orgánicos y adhesivos. Los electrolitos se mezclan con el esmalte para obtener un secado más rápido.

La cocción de barnizado que viene después se realiza en una atmósfera de oxidación o de reducción a temperaturas entre 1320 y 1430 °C. Los hornos de cocción de barnizados son hornos de túnel con vagonetas de horno de túnel, hornos de solera con rodillos (rack múltiple), hornos de túnel de cocción rápida con mesas de cocción rápida, hornos de placas u hornos de cinta transportadora. Los hornos periódicos, como los hornos de cámara, los hornos de vagoneta y los hornos de chimenea se utilizan con tasas de carga inferiores. Lo que se va a cocer se coloca en accesorios para cocción a prueba de fuego (se denominan «componentes para horno»). El tiempo de cocción de barnizado dura entre 25 y 36 horas en el horno de túnel y entre tres y cinco horas y media en los hornos de cocción rápida sin accesorios para cocción.

La Tabla 2.17 y la Tabla 2.18 muestran ejemplos de los datos operativos de los hornos que funcionan de forma discontinua o continua [4, UBA, 2001].

Tabla 2.17. Datos operativos de un horno de vagoneta

| Horno de vagoneta | Unidad | Porcelana |
|---|-------------------|-----------|
| Rendimiento | t/ciclo | 0,91 |
| Volumen de cámara de cocción | m ³ | 7,0 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 12,8 |
| Temperatura de cocción | °C | 1400 |
| Requisitos energéticos específicos | kJ/kg | 20000 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | 12500 |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 800 |

Tabla 2.18. Datos operativos de los hornos de túnel

| Hornos de túnel | Unidad | Porcelana | | Porcelana | |
|---|-------------------|-----------|-----------|------------------|------------------|
| Cocción | | Bizcocho | Barnizado | Barnizado rápido | Barnizado rápido |
| Rendimiento | t/h | 0,3-0,7 | 0,2-0,4 | 0,58 | 0,47 |
| Longitud del horno | m | 60-100 | 80 | 70 | 56 |
| Sección transversal | m ² | 0,5-1,0 | 0,5-1,0 | 0,7 | 0,94 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 60-70 | 60-70 | <100 | <100 |
| Temperatura de cocción | °C | 850-1260 | 1200-1400 | 1420 | 1420 |
| Requisitos energéticos específicos (secado + cocción) | kJ/kg | 25000 | 20000 | 12500 sin secado | 19700 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | 3500-5000 | 3500-5000 | n/d | n/d |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 120-170 | 120-170 | n/d | n/d |

El esmalte se funde durante el proceso de cocción y sella el cuerpo poroso de la cerámica. La superficie es impermeable y suave. Después de la cocción de barnizado, los artículos se dividen en las calidades correspondientes. Las áreas sin esmalte se muelen y pulen para maximizar el valor de los productos.

La porcelana china es una especialidad para los servicios de mesa y de té tradicionales. Las principales materias primas en la cerámica china son la arcilla de Cornish, piedra de Cornish y hasta un máximo del 50% de huesos bovinos calcinados. Las temperaturas de cocción de barnizado están entre 1250 y 1350 °C y las temperaturas de cocción de bizcocho se sitúan entre 1100 y 1150 °C. Una atmósfera de horno con vapor de esmalte garantiza una superficie muy suave.

El proceso de decoración posterior maximiza el valor del producto y permite la personalización. Para la decoración se utilizan colores sobre el esmalte, colores en el esmalte, colores bajo el esmalte y compuestos metálicos. En el proceso de decoración sobre el esmalte, se decoran los artículos esmaltados y ya cocidos. La decoración sobre el esmalte se funde en el esmalte mediante un proceso de cocción adicional. En el proceso de decoración en el esmalte, los pigmentos de color entran en el esmalte. En el proceso de decoración bajo el esmalte, los artículos se decoran antes de que comience el proceso de esmaltado. Los procesos de decoración típicos son la transferencia de adhesivos, reimpresión, impresión de serigrafía directa, impresión de offset, forrado, bandas, estampado, pulverizado, pintado, vaporización, dibujo y grabado. Además de la decoración manual, se emplean máquinas para la impresión de serigrafía y en color. Se emplean numerosos óxidos como agentes fundentes, opacificantes y para la coloración directa

en los procesos de esmaltado y decoración. Los colores de esmaltado y decoración constan de sistemas complejos de numerosos pigmentos. En la siguiente lista se indican los elementos y su valencia química (entre paréntesis), en los que aparecen como compuestos de óxido en los pigmentos: Cu (1, 2), Ca (2), Zn (2), Al (3), In (3), Si (4), Sn (4), Pb (2), Ti (3, 4), Zr (4), Ce (4), Pr (4), V (4, 5), Sb (3, 4, 5), Cr (3, 6), Mo (4, 6), Mn (2, 4), Fe (2, 3), Co (2), Ni (2) y Cd (2).

Además del proceso de decoración, en las Tabla 2.19 y la Tabla 2.20 [4, UBA, 2001], [21, Almeida, 2004] se presentan ejemplos de datos operativos de diferentes hornos.

Otro proceso de fabricación de cerámica doméstica, que se aplica en contadas ocasiones, consta de un solo proceso de cocción sin precocción. Este proceso de cocción de una sola vez es suficiente para productos sin decorar y para productos con decoración aplicada antes del esmaltado. La cocción tarda 20 horas en hornos de vagóneta a una temperatura de 1260°C. Los colores de oro, platino y otros metales se tienen que cocer a una temperatura inferior de 890°C [17, Burkart, 2004] [22, SYKE, 2004].

En el proceso de fabricación de cerámica doméstica, el gas natural y el gas licuado de petróleo se utilizan principalmente como combustibles en los distintos tipos de hornos. Los combustibles de tipo fueloil EL se utilizan muy poco en este sector.

Tabla 2.19. Datos operativos de decoración sobre esmalte

| Tipo de horno | Proceso | Temperatura de cocción (°C) | Tiempo de cocción |
|---|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Horno de fusión eléctrico con transporte en cesta | Decoración por fusión | 760-840 | 2-4 h |
| Horno de túnel de cocción rápida (martillo o mesa de cocción) | Decoración sobre esmalte | 850-950 | 40-70 min |
| Horno de solera con rodillos con accesorios para cocción | Decoración sobre esmalte | 850-950 | 40-70 min |
| Horno de solera con rodillos con artículos de cuarzo | Decoración sobre esmalte | 1080 | 40-70 min |
| Horno de doble cinta transportadora | Decoración sobre esmalte | 850-950 | 40-70 min |
| Horno de doble cinta transportadora (cinta especial) | Decoración sobre esmalte | 1050 | 40-70 min |
| Horno de túnel con transporte en plato | Decoración por cocción intensa | 1300-1400 | 7-16 h |
| Horno intermitente | Decoración sobre esmalte | 850-950 | 8-10 h |

Tabla 2.20. Datos operativos de cocción en esmalte y bajo esmalte

| Tipo de horno | Proceso | Temperatura de cocción (°C) | Tiempo de cocción |
|---|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Horno intermitente | Decoración por cocción intensa | 1300-1400 | 14-24 h |
| Horno de túnel de cocción rápida (trineo o mesa de cocción) | Decoración por cocción intensa | 1350-1420 | 2-4 h |
| Horno de túnel de cocción rápida (martillo o mesa de cocción) | Decoración en esmalte | 1200-1280 | 60-90 min |
| Horno de solera con rodillos especiales | Decoración en esmalte | 1200 | 60-90 min |
| Horno intermitente | Decoración bajo esmalte | 1370-1420 | 18-30 h |
| Horno de túnel con carro | Decoración bajo esmalte | 1370-1420 | 18-30 h |
| Horno de túnel con mesa de cocción | Decoración bajo esmalte | 1370-1420 | 12-16 h |
| Horno de túnel de cocción rápida (trineo o mesa de cocción) | Decoración bajo esmalte | 1370-1420 | 3-4 h |
| Horno de solera con rodillos especiales | Decoración bajo esmalte | 1350 | 2-4 h |

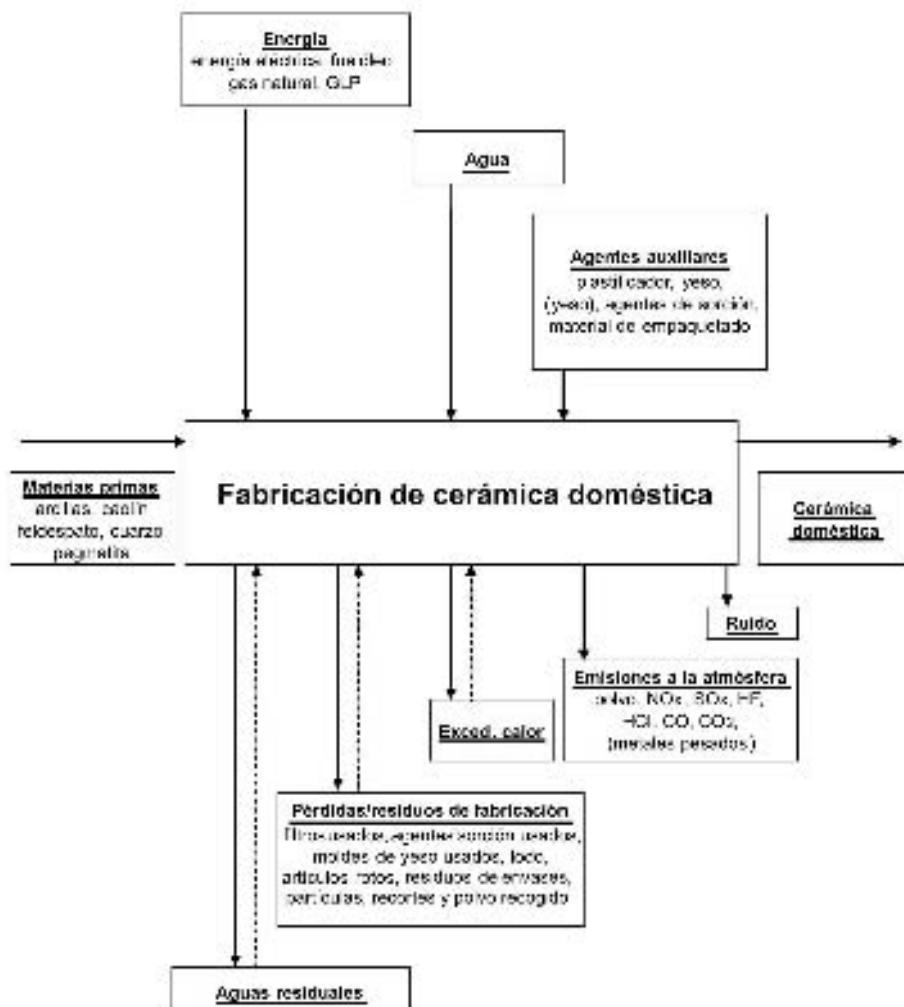
2.3.6.6. TRATAMIENTO POSTERIOR

Los productos se clasifican después de la decoración y el control de calidad. El tratamiento posterior en húmedo se lleva a cabo mediante máquinas de rectificado y pulido para suavizar la superficie de los productos. Algunos productos se preembalan mecánicamente. Después, los juegos destinados a la venta y expedición se agrupan y se embalan manualmente. Para la fabricación de cerámica de mesa moderna, se manipulan automáticamente los semiproductos mediante robots entre las etapas de modelado, secado, cocción y tratamiento posterior.

2.3.6.7. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA FABRICACIÓN DE CERÁMICA DOMÉSTICA

Los flujos de entrada y salida importantes del proceso de fabricación de cerámica doméstica se presentan en la siguiente figura [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

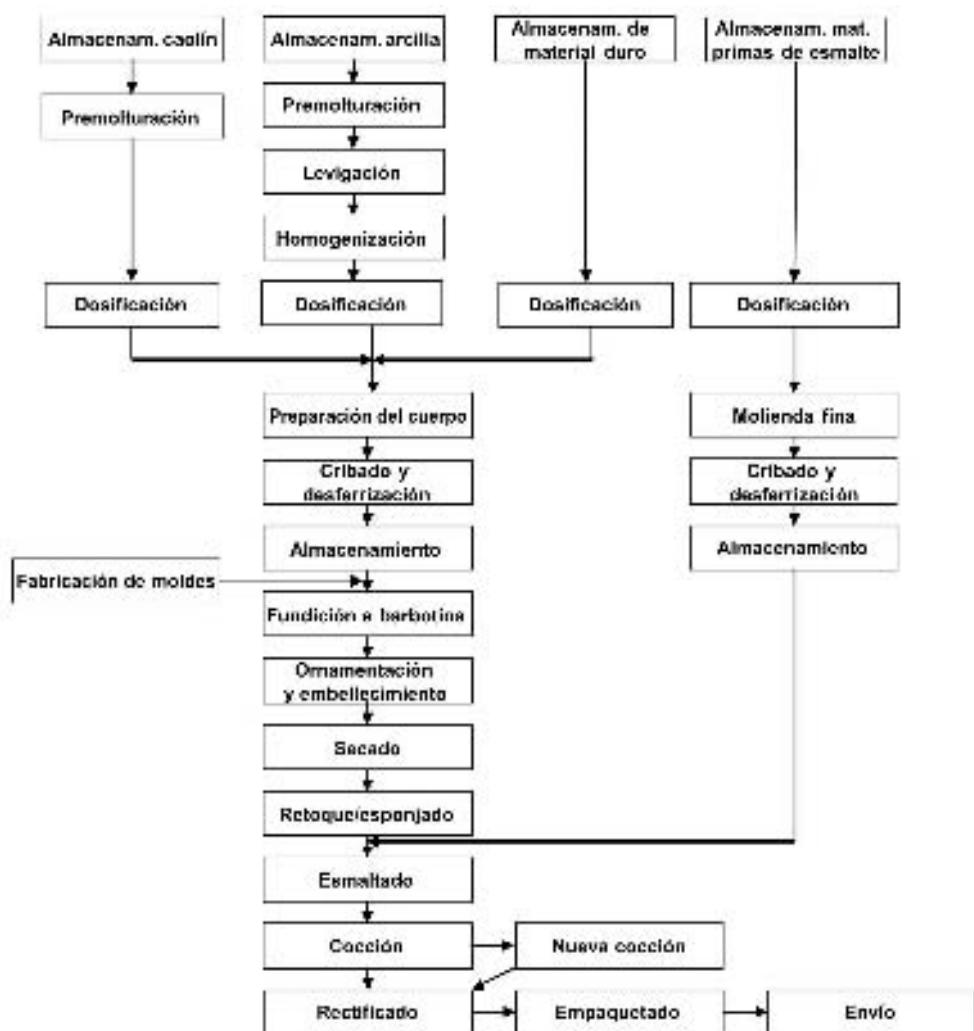
Figura 2.23. Flujos de entrada y salida en la fabricación de cerámica doméstica



2.3.7. Cerámica sanitaria

Los principales pasos en la fabricación de cerámica sanitaria son el almacenamiento de materias primas, preparación de materias primas, moldeado, secado, esmaltado, cocción y tratamiento posterior. En la siguiente figura se muestra una vista esquemática del proceso de fabricación de cerámica sanitaria [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

Figura 2.24. Vista esquemática de la fabricación de cerámica sanitaria



2.3.7.1. MATERIAS PRIMAS

Las materias primas correspondientes son caolín, arcilla, cuarzo, feldespato y carbonato cálcico. Una carga típica consta de 40-50% de caolín y arcilla, 20-30% de cuarzo, 20-30% de feldespato y entre 0-3% de carbonato cálcico. El caolín se almacena preferiblemente en terrones con un contenido de agua máximo del 15%. Las materias duras como el cuarzo y el feldespato se muelen en pequeñas partículas y se aplican con un contenido de agua de menos del 1%. Las materias primas se almacenan en silos o cajas para evitar la influencia atmosférica.

2.3.7.2. PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

La preparación de materias primas para cerámica sanitaria se lleva a cabo predominantemente en un proceso de preparación en húmedo. El caolín y la arcilla se rasparán en quebrantadores de rodillos dentados o unidades similares. Tras este paso, las materias se reducen a un diámetro de partícula inferior a cinco milímetros en el proceso de molienda fina. La materia pasa por un proceso de levigación en agua y se eliminan las impurezas de la lechada mediante criba. Una vez realizado este paso, la suspensión de arcilla cribada se homogeneiza en tanques mediante mezcladoras lentas. La dosificación de materias duras se lleva a cabo gravimétricamente y se añaden electrolitos.

El fabricante cerámico no realiza con frecuencia esta preparación de materias primas. La dosificación de las materias primas entregadas la suele efectuar únicamente el fabricante, tras la producción real de barbotina en agitadores diluidores [23, TWG Ceramics, 2005].

El almacenamiento posterior en tanques mezcladores durante un par de días aumenta las características de moldeado de la barbotina de collar. Los agentes de licuefacción y estabilidad, como sosa, cristal de agua, compuestos cáusticos, potásicos y de ácido húmico se emplean para lograr la capacidad de fundido con un bajo contenido de agua. Se determinan las proporciones de los materiales de esmalte y después, se mezclan y muelen en molinos de bolas (carga) o en molinos horizontales o de abertura anual (continuo). Los agentes aglutinantes como la celulosa carboximetílica o la poliamina se añaden al esmalte para maximizar la adhesión y la resistencia de agarre después de la molienda. La desferrización del cuerpo y del esmalte se lleva a cabo mediante imanes permanentes para evitar la coloración de los productos por impurezas magnéticas.

2.3.7.3. MOLDEADO

En la actualidad, la mayoría de los artículos cerámicos se moldean en moldes de yeso. De este modo se tiende a emplear un proceso de moldeado sin yeso realizado en moldes de polímeros porosos. El proceso de moldeado se efectúa normalmente

en moldes de yeso. El agua sale de la barbotina de colar por las áreas porosas de los moldes de yeso para formar el cuerpo. El tiempo de formación del cuerpo se reduce mediante presión. Los artículos sanitarios complejos se producen en el proceso de moldeo de drenaje. Las partes de moldeado sólido adicionales se fabrican en un proceso paralelo y se añaden y conectan al cuerpo principal. En este proceso de decoración, se crea la forma final del producto. Después de separar el cuerpo y el molde, se desbastan y se tratan las marcas de molde. La manipulación y el embellecimiento del cuerpo se realizan normalmente de forma automática.

Los cuerpos de cerámica sanitaria se forman cada vez más con máquinas de moldes de polímeros multipiezas en combinación con el moldeado por presión. Dependiendo del artículo, se utilizan moldes de polímeros de cuatro o cinco piezas. La presión hasta un máximo de 3 MPa reduce el tiempo de formación del cuerpo. El ciclo de moldeado de los lavabos se reduce entre cinco y ocho minutos. El desbastado y la decoración normalmente se realizan mientras el cuerpo está fijo en el molde. En comparación con los moldes de yeso, los moldes de polímeros tienen la ventaja de que son más fáciles de limpiar y tienen una mayor duración.

2.3.7.4. SECADO Y ESMALTADO

El barro crudo se seca en dos etapas. Después del secado de consistencia de cuero, el barro crudo se trata perfectamente. El siguiente secado en blanco reduce el contenido de agua a menos del 1%. El proceso de secado se realiza en secaderos de túnel o de cámara. Los secaderos de microondas se construyen como secaderos de túnel y también se utilizan para un secado con la consistencia del cuero y en blanco. En la siguiente tabla se muestran ejemplos de datos operativos los secaderos que funcionan de forma discontinua [4, UBA, 2001], [21, Almeida, 2004].

Tabla 2.21. Datos operativos de los secaderos que funcionan de forma discontinua (secaderos de cámara)

| Secaderos de cámara | Unidad | Lavabos y lavamanos |
|---|-------------------|---------------------|
| Rendimiento | t/ciclo | 4-45 |
| Volumen de cámara de secado | m ³ | 30-375 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 30-200 |
| Temperatura de secado | °C | 60-90 |
| Tiempo de secado | h | 8-20 |
| Requisitos energéticos específicos | kJ/kg | 300-1400 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | 2000-20000 |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 60-150 |

Después del secado en blanco, se inspecciona el barro en crudo y se limpia la superficie de polvo y partículas extrañas. El esmalte se aplica a la superficie del barro mediante pulverización, efectuada por robots y manualmente. El espesor del esmalte se sitúa entre 0,3 y 0,5 mm, según el color del cuerpo y la proporción de opacificantes en el esmalte. La pulverización en un campo eléctrico maximiza la calidad del esmalte.

2.3.7.5. COCCIÓN

La cerámica sanitaria se cuece en hornos de túnel y hornos de solera con rodillos a temperaturas entre 1250 y 1290 °C en una atmósfera oxidante. La producción a pequeña escala se lleva a cabo en hornos flexibles que funcionan de forma discontinua como los hornos de vagoneta. Los hornos de vagoneta se utilizan para cambiar la curva de cocción específica del producto en ciclos muy cortos. Los intervalos de los datos operativos de los hornos para la fabricación de cerámica sanitaria se presentan en las Tabla 2.22 y la Tabla 2.23 [23, TWG Ceramics, 2005], [21, Almeida, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 2.22. Datos operativos de los hornos de túnel

| Horno de túnel | Unidad | Cerámica sanitaria |
|---|-------------------|--------------------|
| Rendimiento | t/h | 1,5-2,0 |
| Longitud del horno | m | 70-110 |
| Sección transversal | m ² | 1,5-2,5 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 100-150 |
| Temperatura de cocción | °C | 1250-1290 |
| Requisitos energéticos específicos | kJ/kg | 8300 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | 12000 |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 150-550 |

Tabla 2.23. Datos operativos de los hornos de vagoneta

| Horno de vagoneta | Unidad | Cerámica sanitaria |
|---|-------------------|--------------------|
| Rendimiento | t/ciclo | 5-15 |
| Volumen de cámara de cocción | m ³ | 50-150 |
| Densidad de carga | kg/m ³ | 100 |
| Temperatura de cocción | °C | 1210-1250 |
| Requisitos energéticos específicos | kJ/kg | 8300-11300 |
| Flujo de volumen de gases de combustión | m ³ /h | hasta 50000 |
| Temperatura de gases de combustión | °C | 150-550 |

El gas natural y el gas licuado de petróleo se utilizan como combustibles en los distintos tipos de hornos en el proceso de fabricación de cerámica sanitaria. Los combustibles de tipo fueloil EL y el fueloil pesado se utilizan muy poco en este sector. En el proceso de cocción se producen piezas cocidas rotas y residuos refractarios. Las piezas cocidas rotas son los artículos defectuosos después del proceso de cocción. Los residuos refractarios se producen por piezas rotas del horno o por accesorios de cocción rotos o partes del carro del túnel.

2.3.7.6. TRATAMIENTO POSTERIOR

Después de la clasificación final, se desbastan las superficies de montaje con molienda y pulido en húmedo. En casos especiales, se añaden conexiones a los lavabos y las cisternas seguido del embalaje final.

2.3.7.7. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA FABRICACIÓN DE CERÁMICA SANITARIA

Los flujos de entrada y salida importantes del proceso de fabricación de cerámica sanitaria se presentan en la Figura 2.25 [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

2.3.8. Cerámica técnica

La cerámica técnica no sólo tiene su base en las arcillas, sino también en materias primas sintéticas. Al igual que en otros sectores de la cerámica, las materias primas se cuecen en hornos, principalmente con gas natural, pero también se emplea la energía eléctrica para el proceso de cocción.

Debido a la amplia variedad dentro de la cerámica técnica y a las variantes en el proceso de fabricación, no se puede establecer fácilmente una vista esquemática general, pero sí se pueden mostrar ejemplos de vistas esquemáticas de los distintos procesos de fabricación.

En la Figura 2.26 se muestra la vista esquemática de un proceso de fabricación de aislantes eléctricos [1, BMLFUW, 2003].

En la Figura 2.27 se muestra la vista esquemática de un proceso de fabricación de catalizadores cerámicos [1, BMLFUW, 2003].

Figura 2.25. Flujos de entrada y salida en la fabricación de cerámica sanitaria

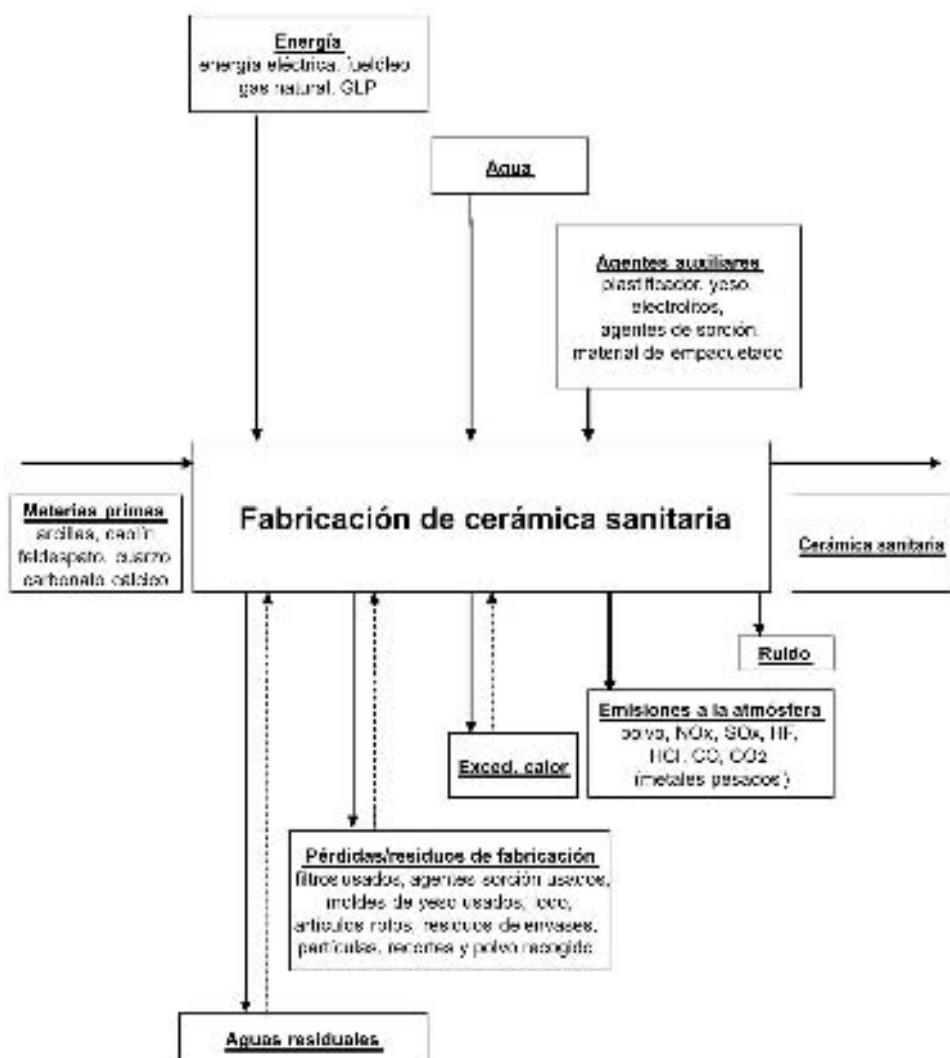


Figura 2.26. Vista esquemática de un proceso de fabricación de aislantes eléctricos

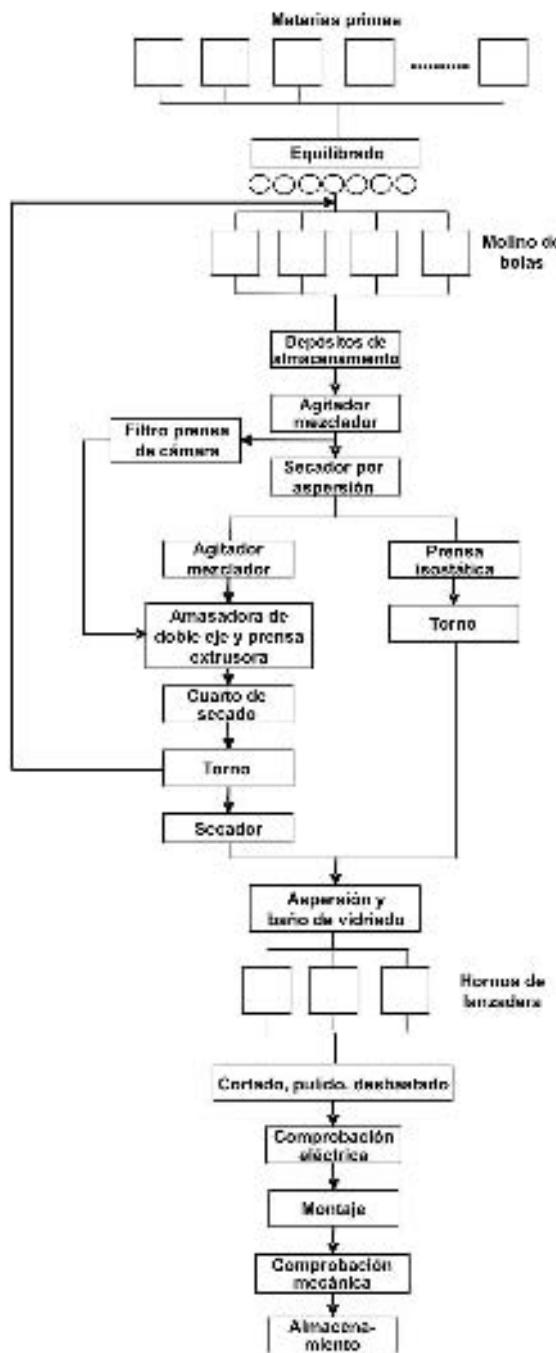
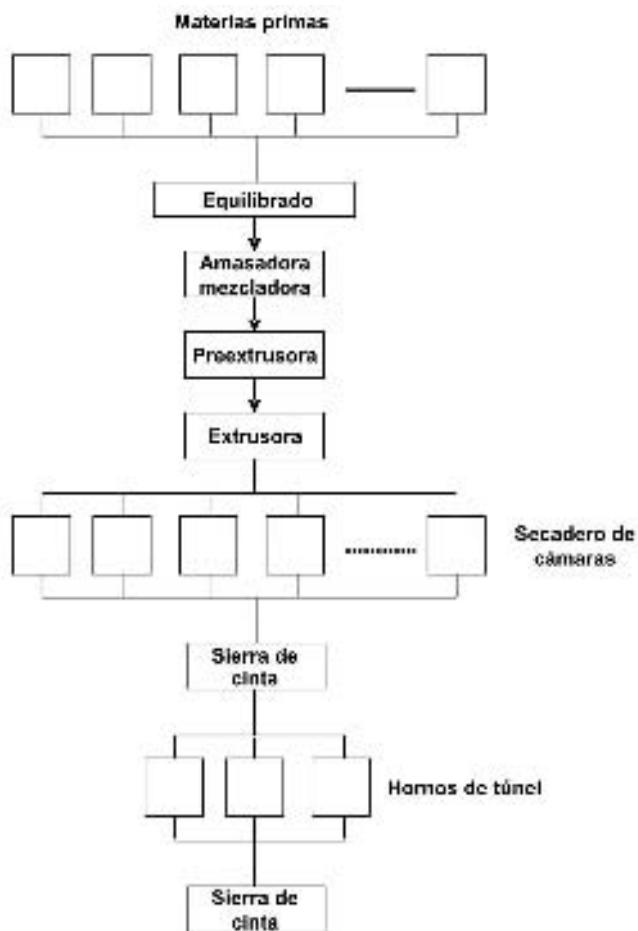


Figura 2.27. Vista esquemática de un proceso de fabricación de catalizadores cerámicos



2.3.8.1. MATERIAS PRIMAS

La cerámica técnica, que contiene sólo una pequeña parte de arcilla o que no contiene arcilla, está basada en los siguientes materiales: óxidos, carburos, nitruros y boruros de Al, Mg, Mn, Ni, Si, Ti, W, Zr y otros iones metálicos. Como ejemplos típicos podemos mencionar los siguientes: Al_2O_3 (alúmina), MgO (periclásica o magnesia calcinada a muerte), SiC (carburo de silicio), TiN (nitruro de titanio) y WB_2 (boruro de tungsteno) [8, Ullmann's, 2001].

No obstante, las arcillas plásticas (por ejemplo, caolín), el feldespato y el cuarzo también pueden servir como materias primas para la cerámica técnica, por ejemplo, en la fabricación de aislantes eléctricos [1, BMLFUW, 2003].

Además, se aplican aditivos (agentes auxiliares) como medios de sinterizado (inorgánicos) y medios de conformado (normalmente orgánicos), como agentes de licuefacción, plastificantes o aglutinantes, que son tan importantes como las materias primas [24, VKI-Germany, 2004].

2.3.8.2. PREPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

Existen dos posibilidades para la preparación de las materias primas:

- a) El fabricante de cerámica técnica adquiere las materias primas necesarias y efectúa todas las tareas de procesamiento posteriores. Para los distintos procesos de moldeado se requieren preparativos específicos de la materia sin cocer:
 - granulados-para prensado;
 - materia plástica-para extrusión;
 - barbotinas-para moldeo;
- b) El fabricante de cerámica técnica adquiere la materia sin cocer ya preparada y comienza en la fase de proporciones o moldeado del proceso cerámico [24, VKI-Germany, 2004].

La cerámica técnica suele requerir la conversión química de las materias primas en compuestos intermedios. Estos compuestos intermedios se prestan a la purificación y a una posible conversión química a una forma final. En el caso de algunas cerámicas técnicas, se tienen que sintetizar polvos especializados y se puede usar una serie de procesos químicos para sintetizar estos polvos. Los procesos químicos, como el procesamiento sol-gel, pueden evitar la fase de polvo.

Para un acabado de alta resistencia y suave, en concreto en piezas pequeñas, se requieren polvos de gránulos finos. De este modo, una línea de la investigación de cerámica técnica tiene como objetivo la producción de polvos de partículas esenciales, esféricas, muy finas y de un solo tamaño. Normalmente se crean mediante reacción química coloide para óxidos. Los nitruros y los carburos mencionados anteriormente intervienen en la formación de núcleo y el crecimiento controlados en las reacciones de la fase de gas. No obstante, aún se sigue produciendo la cerámica con la máxima tecnología a partir de polvos con una amplia distribución de tamaños en el intervalo de submicrómetro [8, Ullmann's, 2001].

Algunas materias primas se calcinan («calcinado a muerte» a altas temperaturas) a fin de que resulten adecuadas para la fabricación de cerámica técnica. Para más información al respecto, véase la sección 2.2.2.8.

También se emplea el proceso de secado por pulverización en la fabricación de cerámica técnica. La suspensión acuosa de materias primas resultante de la molienda de bolas en húmedo (contenido de sólidos ~ 60 a 70%) se pulveriza bajo presión para producir finas gotas que entran en contacto con una corriente de aire caliente. Cuando las gotas se secan, se obtienen gránulos huecos uniformes y más o menos esféricos (contenido de humedad típico entre 5,5 y 7%). Este tipo de «polvo por prensado en seco» tiene una elevada plasticidad, lo que facilita un llenado preciso de las matrices de prensa y el posterior prensado de los productos de cerámica técnica [3, CERAME-UNIE, 2003].

Debe tenerse en cuenta que los materiales sintéticos especiales, como el carburo de silicio, las materias primas calcinadas y también el «polvo de prensado en seco» secado por pulverización los suelen fabricar proveedores especializados, pero deben pasar por un proceso de pulverización.

No obstante, no sólo se produce «polvo de prensado en seco» sino también «pasta de extrusión», en concreto, si las arcillas plásticas sirven como materias primas para la cerámica técnica (por ejemplo, para la fabricación de porcelana eléctrica o catalizadores cerámicos) [1, BMLFUW, 2003]. Para producir la «pasta de extrusión», la suspensión molida se deseca en prensas de filtro o filtros de rotación hasta un contenido de agua entre el 20 y el 25% aproximadamente.

Otra posibilidad para la preparación de materias primas es la producción de barbotina de colar en un proceso de preparación en húmedo. El fabricante suele realizar las proporciones de las materias primas suministradas y posteriormente el paso de producción de barbotina en agitadores diluidores [23, TWG Ceramics, 2005].

2.3.8.3. MOLDEADO

Los métodos de moldeado de las piezas de cerámica técnica se pueden dividir en los siguientes tipos básicos [24, VKI-Germany, 2004]:

- prensado (0-15% de humedad; prensado en seco, isostático y en húmedo);
- moldeado plástico (15-25% de humedad; extrusión);
- moldeo (>25% de humedad; moldeado de inserción, colada en barbotina, colado en cinta).

Prensado en seco

El prensado en seco se utiliza para fabricar productos de precisión en serie. Los granulados no aglomerados se comprimen en moldes de acero diseñados de forma adecuada a la pieza que se va a fabricar. El alto coste de los moldes (en ocasiones fabricados en carburo) sólo se puede justificar para grandes tiradas.

El prensado en seco es el proceso más económico para las tiradas de gran producción y resulta adecuado tanto para geometrías simples como complejas. Los rebajes y los orificios se suelen diseñar normalmente en la dirección de prensado. En función del diseño de la máquina de prensado en seco, se pueden fabricar componentes con diferentes tamaños, desde baldosas hasta cabezas de cerillas. Se pueden prensar discos o platos pequeños con un espesor de aproximadamente 0,8 o 1,0 mm. Es posible fabricar estrías finas o estructuras similares en el componente si el granulado que se está prensando puede llenar huecos de forma efectiva en la herramienta de prensado y siempre que sea posible para crear la herramienta necesaria.

Prensado isostático

El prensado isostático resulta adecuado para la fabricación de piezas grandes y sin decorar comprimidas uniformemente, que son apropiadas para el mecanizado en estado en verde. Los productos de alta calidad de los sectores de cerámica técnica requieren una densificación uniforme del «polvo de prensado en seco», que se puede obtener mediante la aplicación uniforme de presión sobre todas las superficies. En la prensa isostática se llenan moldes de goma o poliuretano con polvo cerámico y se colocan en un recipiente lleno de líquido. A continuación se aplica una elevada presión hidrostática y se desmoldan los objetos.

Este tipo de conformación resulta adecuado para la fabricación de prototipos ambiciosos y pequeñas series, pero el prensado isostático también se puede automatizar por completo para algunos productos (bujías, bolas de moler, pequeños pistones, toberas de soldadura).

Prensado en húmedo

El prensado en húmedo permite la fabricación de piezas con geometrías complejas, como roscas de tornillo, orificios laterales, rebajes y muescas. El material sin cocer empleado para este fin tiene normalmente niveles de humedad que van del 10 al 15%. La compresión con un solo eje permite que estos materiales puedan fluir libremente, por lo que se puede obtener una compresión relativamente uniforme. No obstante, la desventaja de este método es que los materiales prensados en húmedo sólo pueden aceptar deformaciones compresivas bajas. Esto también significa que el grado de compresión es limitado. Depende en gran medida del

contenido en humedad del material sin cocer y es más bajo en el caso de las piezas prensadas en seco.

Además, en algunas circunstancias es necesario secar las piezas prensadas antes de cocerlas. Las tolerancias medias, según la norma DIN 40680-1, se basan en este hecho.

Extrusión

La extrusión se lleva a cabo con máquinas de extrusión de pistones o prensas de husillo de vacío. En el proceso de moldeado plástico, por ejemplo, para la fabricación de aislantes eléctricos, la «pasta de extrusión» (contenido en agua entre el 20 y 25% o entre el 19 y el 23% en la extrusión de aislantes de alto voltaje) se modela en una máquina de extrusión con la geometría correcta, se corta en piezas y se lleva a cabo un proceso de moldeado adicional con tornos [1, BMLFUW, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

La extrusión también resulta adecuada para la fabricación de otras piezas simétricas de rotación, como ejes o tuberías. También se pueden crear perfiles complejos con ayuda de los diseños de tobera adecuados. Las longitudes de los tochos que se fabricarán dependen, en gran medida, de la tendencia del material procesado a curvarse.

Moldeado de inyección

El moldeado de inyección es adecuado principalmente para la producción en serie de productos complejos. Está limitado por los costes relativamente altos y el calentamiento complejo para eliminar los residuos de los aditivos orgánicos. La capacidad de transporte («peso disparado») de las máquinas grandes de moldeado de inyección normalmente es de 70 g. Por lo general, la pieza se debe diseñar de modo que los espesores sean lo más coherentes posible, con un límite superior de aproximadamente 12 mm.

Colada en barbotina

La colada en barbotina es un método simple para la fabricación de prototipos, piezas con geometrías complejas y elementos relativamente grandes. Se puede utilizar para fabricar objetos tanto de pared delgada como sólidos. La colada en barbotina implica que una suspensión estable, denominada barbotina, se vierta en un molde de yeso poroso y absorbente. La extracción del líquido en suspensión provoca que se forme una capa de partículas en la pared del molde. Esta capa se forma, en el moldeado sólido, para crear el cuerpo moldeado completo. En el caso de moldeado hueco, la barbotina superficial se retira una vez que se ha alcanzado el espesor de pared deseado.

Colado en cinta

El colado en cinta significa que una barbotina cerámica que contiene varios aditivos orgánicos se vierte en una cinta de acero sin fin accionada por rodillos. La barbotina fluye continuamente desde un depósito a través de una ranura ajustable en la cinta. Se insufla aire caliente sobre la cinta en la dirección opuesta para secarla, por lo que al final de la cinta, debido a los aditivos orgánicos, se obtiene una cinta flexible de cerámica cruda. Se puede terminar y almacenar para su procesamiento posterior más adelante o puede procesarse inmediatamente mediante corte, troquelado, estampado u otro método similar. El colado en cinta normalmente se emplea para fabricar piezas de cerámica con espesores que van de 0,25 a 1,0 mm. Los productos conformados son adecuados para la fabricación sustratos, carcásas, condensadores y transductores multicapa.

2.3.8.4. MECANIZADO

Tal y como se muestra en la siguiente figura, se pueden distinguir el mecanizado verde (después del secado), el mecanizado blanco (después del calentamiento para eliminar residuos y la pre-cocción) y el mecanizado duro (después de la cocción/sinterización) [24, VKI-Germany, 2004].

Figura 2.28. Mecanizado verde, blanco y duro en la fabricación de cerámica técnica



El mecanizado en verde se lleva a cabo en las piezas secas mientras todavía contienen aditivos orgánicos. Resulta adecuado para la fabricación de piezas individuales y pequeñas series. También se utiliza con grandes series para fabricar formas que no se pueden obtener directamente mediante los procedimientos de moldeado inicial, como orificios transversales en la dirección del prensado en seco.

El mecanizado en blanco se lleva a cabo en las piezas precocidas, que ya no tienen aditivos orgánicos. La resistencia depende de la precocción. De esta forma, se pueden obtener tasas de eliminación extremadamente elevadas con un desgaste de herramienta relativamente bajo utilizando herramientas convencionales con revestimiento cerámico o de diamante. Los fabricantes emplean este proceso para la creación de prototipos y para la producción en serie.

El mecanizado duro se lleva a cabo en los elementos completamente cocidos/sinterizados que están lo más cerca posible de las dimensiones finales mediante conformación o mediante mecanizado verde o blanco. Se pueden alcanzar las tolerancias más próximas a través de un proceso de mecanizado final que implica la eliminación de material. Los requisitos estrictos en cuanto a la precisión de las dimensiones y la amplia variedad de geometrías y calidades de superficie requieren el uso de máquina-herramientas modernas para el procesamiento de los componentes cerámicos. Debido a la elevada dureza de los materiales cerámicos, se utilizan herramientas de diamante (aglomerados o pastas) de forma casi exclusiva.

2.3.8.5. ESMALTADO, ENGOBE Y METALIZACIÓN

Esmaltado y engobe

Al aplicar un esmalte, las superficies se suavizan y resultan visualmente más atractivas, pero, sobre todo, el esmalte puede mejorar considerablemente muchas de las propiedades técnicamente importantes del producto de cerámica (por ejemplo, el comportamiento eléctrico, la resistencia mecánica, la resistencia a agentes químicos, etc.). Se puede crear una amplia variedad de colores de esmalte mezclando colorantes (óxidos de metal). Para obtener la máxima resistencia, el coeficiente de expansión térmica del esmalte se debe corresponder de forma muy precisa con el del cuerpo. Un ligero esfuerzo de comprensión en el esmalte aumenta la resistencia del producto acabado, pero el esfuerzo de tracción reduce este efecto y, por lo tanto, no es deseable.

A diferencia del esmalte, el engobe es poroso y sin material de fase vítreo. Normalmente consta de óxidos resistentes al fuego (Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , ZrO_2), mezclas de éstos o minerales resistentes al fuego, como mullita, espinela, silicato de circonio o, incluso, caolín o arcilla. Los engobes se utilizan en ingeniería de horno

para proteger las superficies cerámicas de ataques mecánicos o corrosivos. Si se aplican a componentes para horno resistentes al fuego, como placas, vigas o cubiertas, los engobes impiden reacciones de contacto con los materiales de cocción admitidos y la adhesión del esmalte que se desprenda de los artículos cocidos que se encuentran en el componente para horno revestido. [24, VKI-Germany, 2004].

Se aplica un esmalte mineral delgado o una capa de engobe a las superficies cerámicas mediante inmersión, rodillos, pulverización o cepillado.

Metalización

Algunos fabricantes de cerámica técnica ofrecen cerámica metalizada. El óxido de aluminio y el nitruro de aluminio están disponibles como materiales de sustento. La metalización ofrecida resulta adecuada para la soldadura de bronce y también para el estañado, y consta de una metalización base de tungsteno con un espesor de capa de al menos 6 µm, aplicado mediante un proceso de serigrafía. Una capa de níquel, aplicada de forma no electrolítica, con un espesor mínimo de 2 µm, se aplica en la parte superior para facilitar el flujo de la soldadura. Se puede depositar una capa de oro con un espesor aproximado de 1 µm como protección contra la corrosión. Asimismo, la capa de níquel aplicada de forma no electrolítica se puede reforzar con una capa de oro aglutinante. También se puede aplicar una capa adicional de estado si se lleva a cabo el estañado [24, VKI-Germany, 2004].

2.3.8.6. SECADO, CALENTAMIENTO PARA ELIMINAR RESIDUOS Y PRE-COCCIÓN

Secado

En función de la amplia variedad de materias primas y variantes de procesos, que están adaptados para lograr las propiedades de producto específicas, se emplean distintos tipos de secaderos, pero normalmente se aplican los secaderos de cámara, en concreto si se realiza una producción a pequeña escala.

Calentamiento para eliminar residuos

Los cuerpos crudos moldeados a partir de material plástico son normalmente resistentes a las roturas en este estado, pero esta resistencia se puede mejorar con ayuda de aditivos orgánicos. No obstante, dichos aditivos son indispensables cuando el material sin cocer no es plástico. El calentamiento para eliminar residuos de los plastificantes y aglutinantes junto con otros aditivos orgánicos requiere un perfil de temperatura-presión-atmósfera-tiempo cuidadosamente adaptado para lograr una eliminación no destructiva y reproducible de estos aditivos a partir del cuerpo crudo de porosidad fina. Una variante del calentamiento para

eliminar residuos se denomina «carbonización» o «coquización», por ejemplo, con SiC. Aquí, los componentes orgánicos se convierten en carbono, que permanece en esta estructura y se convierte, con ayuda de los reactivos añadidos, en una matriz cerámica durante el proceso de sinterización. Después del secado y del calentamiento para eliminar residuos (o carbonización/coquización), la estructura del cuerpo crudo (polvo prensado con la forma del componente) se mantiene unido únicamente por fuerzas de cohesión débiles y requiere una manipulación muy cuidadosa durante las etapas del proceso posteriores. Por este motivo, el secado y el calentamiento para eliminar residuos están integrados con la cocción/sinterización siempre que es posible [24, VKI-Germany, 2004].

Pre-cocción

Para reducir el nivel de riesgo durante la manipulación y para permitir el mecanizado blanco alternativo, el cuerpo crudo moldeado se puede reforzar mediante cocción con una contracción relativa baja en una cocción preliminar. Esto requiere que la resistencia y la contracción se puedan reproducir mediante el control de los parámetros de proceso [24, VKI-Germany, 2004].

2.3.8.7. COCCIÓN/SINTERIZACIÓN

Para la cocción se emplean distintos tipos de hornos dependiendo de la variedad de materias primas y de las variantes en el proceso. La producción a pequeña escala se lleva a cabo en hornos flexibles que funcionan de forma discontinua como los hornos de vagoneta, que se utilizan para cambiar la curva de cocción específica del producto en ciclos muy breves.

En la siguiente tabla se muestran las temperaturas de sinterización típicas para los materiales cerámicos técnicos [24, VKI-Germany, 2004].

Tabla 2.24. Temperaturas de sinterización para materiales cerámicos técnicos

| Material cerámico técnico | Temperatura de sinterización (°C) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Porcelana alúmina | Aprox. 1250 |
| Porcelana de cuarzo | Aprox. 1300 |
| Esteatita | Aprox. 1300 |
| Cordierita | 1250-1350 |
| Óxido de aluminio | 1600-1800 |
| Carburo de silicio recristalizado | 2300-2500 |
| Carburo de silicio sinterizado | Aprox. 1900 |
| Nitruro de silicio | Aprox. 1700 |

La energía necesaria para el proceso de cocción se incrementa desproporcionadamente a medida que aumenta la temperatura de cocción. Además de la entrada de energía, los accesorios para cocción («componentes para horno») utilizados para apilar los cuerpos crudos en el horno se componen de material refractario que pueda soportar temperaturas muy altas. Se pueden crear variedades especiales de material a partir de algunos materiales cerámicos con ayuda de determinados tipos de procesos de cocción [24, VKI-Germany, 2004]:

Prensado en caliente (HP)

El prensado en caliente se utiliza para fabricar componentes con una densidad próxima al máximo teórico. Se trata de un proceso de sinterizado respaldado por prensado uniaxial.

Compactación isostática en caliente (HIP)

La compactación isostática en caliente permite precisamente que las piezas pequeñas alcancen la máxima densidad mediante la aplicación de presión de gas isostático de hasta 3000 bares a temperaturas de aproximadamente 2000°C (normalmente dentro de una envoltura de cristal de silicato plegable).

Un ejemplo para la cocción de cerámica técnica en hornos de vagoneta grandes es la fabricación de aislantes eléctricos empleando un programa de temperatura modulada (capacidad del horno de 100 m³ con una densidad de carga de 260 kg/m³, temperatura de cocción de hasta 1300°C, tiempo de cocción incluida una fase de refrigeración de 80 a 105 horas) y utilizando gas natural como combustible [1, BMLFUW, 2003].

Otro ejemplo del uso de hornos de vagoneta es la fabricación de accesorios para cocción («componentes para horno») [17, Burkart, 2004]:

- Los estuches H, que se moldean a partir de arcillas refractarias especiales, se cuecen en hornos de vagoneta (densidad de carga por debajo de 300 kg/m³, volumen de horno de 12 m³) a una temperatura de 1360-1390°C con gas natural como fuente de energía. Se utilizan como accesorios para cocción en los procesos de fabricación de tejas.
- Los accesorios para cocción SiC, que se moldean a partir de polvo de SiC y aglutinantes orgánicos, se cuecen en hornos de vagoneta de inducción eléctrica (densidad de carga por debajo de 300 kg/m³) a una temperatura de 2000-2500°C bajo una atmósfera de hidrógeno/nitrógeno. Se utilizan en otros procesos de fabricación, en concreto en la cocción rápida de barnizado de porcelana.

No obstante, los hornos de túnel también se emplean para la fabricación de cerámica técnica. Un ejemplo es la cocción de catalizadores cerámicos en un horno de túnel de 63 m de longitud con una temperatura máxima de 650°C y un rendimiento de 0,76 m³/h [1, BMLFUW, 2003].

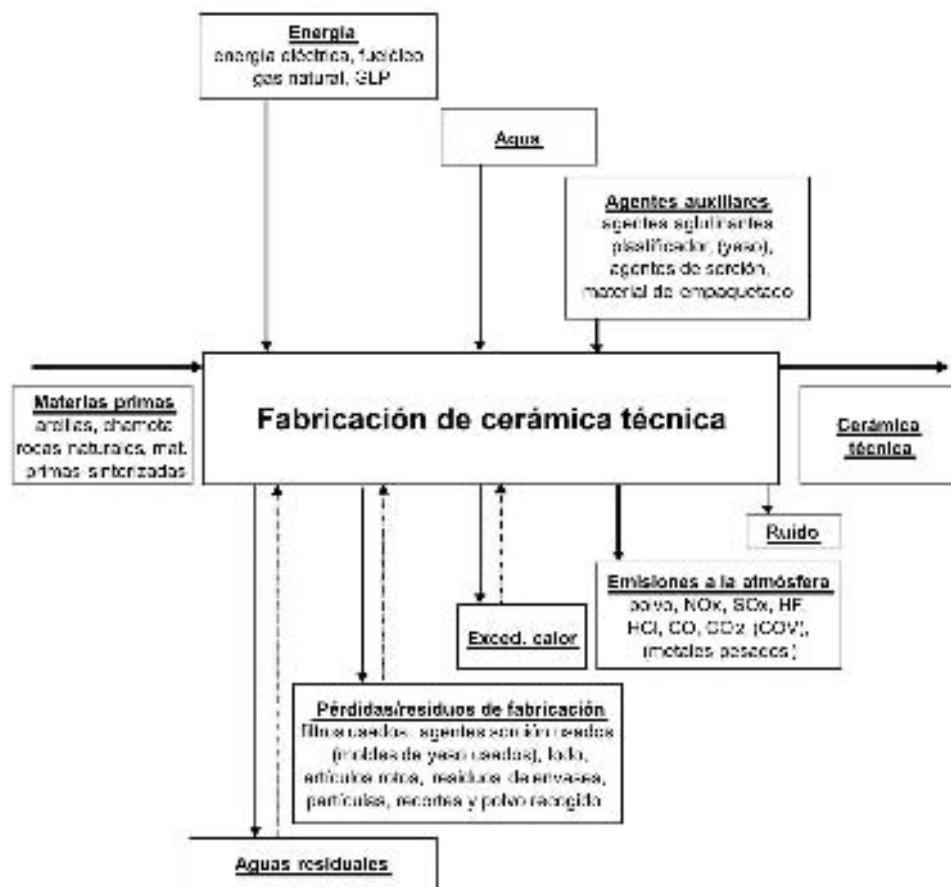
2.3.8.8. TRATAMIENTO POSTERIOR

En función de la variedad de cerámica técnica, puede ser necesarios tratamientos posteriores como corte, aserrado, desbastado, pulido y ensamblaje con otras piezas. En este contexto, véase la sección 2.3.8.4, especialmente en relación con el mecanizado duro. Después del control de calidad final, los productos se clasifican y se embalan.

2.3.8.9. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA FABRICACIÓN DE CERÁMICA TÉCNICA

Los flujos de entrada y salida importantes de los procesos de fabricación de cerámica técnica se presentan en la Figura 2.29 [23, TWG Ceramics, 2005], [24, VKI-Germany, 2004].

Figura 2.29. Flujos de entrada y salida en la fabricación de cerámica técnica



2.3.9. Abrasivos aglomerados inorgánicos

2.3.9.1. MATERIAS PRIMAS

Los abrasivos cerámicos aglomerados inorgánicos constan de granos abrasivos, agentes aglutinantes y varios aditivos, que se mezclan, moldean, secan y cuecen [14, UBA, 2004].

Los granos abrasivos más utilizados para la fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos son la alúmina fundida especial, el corindón y el carburo de silicio negro y verde. También se emplean el nitruro de boro cúbico (CBN) y el diamante.

El agente aglutinante normalmente consta de los siguientes elementos:

- feldespato,
- silicatos,
- cuarzo,
- fritas (vidrio con una composición definida),
- caolín,
- arcilla,
- nefelina,
- pigmentos.

La composición varía según el perfil de aplicación de los abrasivos. Por lo tanto, también se pueden aplicar aglutinantes de frita pura o aglutinantes especiales con un coeficiente térmico definido de expansión y/o punto de fusión. En algunos casos, las fritas pueden contener grandes cantidades de alcalinos y boro. Se pueden añadir óxidos de metal de coloración, vidrio de coloración o pigmentos de coloración para obtener un color específico.

Se emplean sustancias auxiliares durante el proceso de fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos para obtener las características y formas necesarias. No obstante, estas sustancias auxiliares no son ingredientes del producto final.

Los agentes aglutinantes temporales son necesarios para la fabricación de abrasivos inorgánicos para mantener la mezcla de grano y aglutinante en la forma correcta antes del proceso de cocción. Para los aglutinantes temporales, también se utilizan adhesivos solubles en agua, emulsiones de cera, almidón convertido como dextrina, preparados de polioxietileno, ligno sulfonatos, productos convertidos de condensación de urea-formaldehído, resinas sintéticas, etc.

Los agentes porosos tienen la función de generar un perfil de porosidad definido en los abrasivos. Los agentes porosos se añaden a la materia prima y se evaporan, subliman, despolimerizan o incineran, según la sustancia utilizada, durante el

proceso de secado o cocción. Dependiendo del producto final, se utilizan distintos agentes porosos. Se aplican naftalina u otras sustancias de calcinación térmica.

2.3.9.2. PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

El primer paso en el proceso de fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos es el pesaje y la mezcla (por ejemplo, en una mezcladora de lecho horizontal) de los componentes según la formulación abrasiva.

2.3.9.3. MOLDEADO

Para la fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos, las piezas de trabajo crudas se comprimen mecánicamente a una densidad específica según la forma predeterminada y los requisitos de peso. Para este fin se emplean prensas hidráulicas o excéntricas con intervalos de presión hasta un máximo de 2500 MPa [14, UBA, 2004].

2.3.9.4. SECADO

Dado que el material comprimido se humedece con agua que contiene adhesivo, la pieza de trabajo cruda se tiene que secar. Se aplican los secaderos de cámara y los secaderos de vacío, en los que los productos se secan a temperaturas entre 50 y 150°C. Se necesitan tiempos de secado largos de hasta 45 horas para obtener un secado sin fisuras y también se pueden utilizar sistemas de aire acondicionado en los secaderos (en concreto, los secaderos de vacío están equipados con un control de humedad) para realizar un secado sin fisuras [14, UBA, 2004] [28, Schorcht, 2005].

2.3.9.5. COCCIÓN

La cocción de abrasivos aglomerados inorgánicos se realiza en hornos de vagoneeta que funcionan de forma discontinua o continua calentados por gas natural o eléctricamente. Por ejemplo, algunas plantas emplean hornos con capacidades de más de 4 m³ (hasta 11 m³), temperaturas de cocción entre 850 y 1300 °C, y densidades de carga entre 360 y 1400 kg/m³ [14, UBA, 2004]. La proporción del aglutinante vitrificado en las piezas que se cuecen es aproximadamente del 10% de la masa total de abrasivos aglomerados inorgánicos en el horno. Dependiendo del tamaño de los productos de muela abrasiva, los ciclos de cocción oscilan entre 40 y 120 horas [28, Schorcht, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

2.3.9.6. TRATAMIENTO POSTERIOR

Después de determinar la calidad (calibre, densidad) del abrasivo, el acabado de los abrasivos se lleva a cabo según los requisitos específicos del cliente, por ejemplo,

con tornos asistidos por ordenador o máquinas de desbastado. Tras ello, se realiza la inspección final, que normalmente consiste en una comprobación de desequilibrios, verificación de dimensiones, prueba de anillo e inspección visual, prueba de seguridad y prueba de velocidad de combustión según los estándares. Despues de la inspección final, los abrasivos aglomerados inorgánicos se etiquetan según los estándares y se embalan para su envío [14, UBA, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

2.3.9.7. FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA FABRICACIÓN DE ABRASIVOS AGLOMERADOS INORGÁNICOS

Los flujos de entrada y salida importantes de los procesos de fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos se presentan en la Figura 2.30 [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

Figura 2.30. Flujos de entrada y salida en la fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos



3. Niveles actuales de emisiones y consumo

3.1 Emisiones-consideraciones generales

3.1.1. Emisiones a la atmósfera

3.1.1.1. POLVO (MATERIA EN PARTÍCULAS)

El tratamiento de las arcillas y otras materias primas cerámicas causa inevitablemente la formación de polvo, especialmente en el caso de materiales secos. El secado (incluido el secado por pulverización), la pulverización (molienda, molituración), el cribado, la mezcla y el transporte pueden provocar la liberación de polvo fino, por lo que se necesita un equipo de extracción de polvo. También se forma polvo durante la decoración y la cocción, así como durante el mecanizado y el acabado de los artículos cocidos. El polvo es, en términos cuantitativos, uno de los principales contaminantes derivado de los procesos cerámicos.

3.1.1.2. EMISIONES GASEOSAS

Los compuestos gaseosos liberados durante el secado, el calcinado y la cocción proceden principalmente de las materias primas aunque los combustibles también contribuyen a la emisión de contaminantes gaseosos. Los compuestos fluorados representan uno de los principales contaminantes típicos de los procesos cerámicos. Las emisiones gaseosas importantes en el sector cerámico son las descritas de la sección 3.1.1.2.1 a 3.1.1.2.7.

3.1.1.2.1. Dióxido de azufre y otros compuestos sulfatados

La concentración de SO_x (principalmente SO₂) en los gases de combustión está estrechamente relacionada con el contenido de azufre de la materia prima y del combustible. Los materiales cerámicos pueden contener azufre en forma de pirita (FeS₂), yeso y otros sulfatos y compuestos de azufre orgánicos. Los combustibles gaseosos prácticamente no contienen azufre, pero los combustibles sólidos y los fueloils aportan óxidos de azufre en la combustión.

Se debe tener en cuenta que los compuestos básicos derivados de las materias primas (por ejemplo, CaO formado por la disociación de CaCO₃ durante la

cocción) pueden reducir las emisiones de azufre mediante la reacción con óxidos de azufre. Los productos de reacción se retienen en el cuerpo del artículo.

3.1.1.2.2. Óxidos de nitrógeno y otros compuestos nitrogenados

NO_x se produce principalmente por la «fijación» térmica del nitrógeno y del oxígeno del aire de combustión. Esta reacción se ve favorecida por las altas temperaturas (especialmente $>1200^\circ\text{C}$) y por el exceso de oxígeno. La fijación se puede producir en las llamas, incluso si la temperatura de horno real es inferior a 1200°C .

Los compuestos nitrogenados, presentes en combustibles (principalmente tipos sólidos o líquidos) o en aditivos orgánicos, forman NO_x durante la combustión a temperaturas mucho más bajas.

3.1.1.2.3. Monóxido de carbono (y dióxido de carbono)

El monóxido de carbono, CO, procede de la combustión de materia orgánica en el cuerpo cerámico, especialmente en situaciones con poco oxígeno. También se puede formar por la reacción de «carbono fijado» en el cuerpo con dióxido de carbono (CO_2) liberado por la disociación térmica de carbonatos alcalinos y alcalinos terrosos, por ejemplo, el carbonato de calcio o de magnesio durante la cocción:



(El dióxido de carbono se forma del modo indicado anteriormente y es el principal óxido de carbono formado durante la combustión de combustibles fósiles).

3.1.1.2.4. Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Las propias materias primas pueden contener materia orgánica. Además, una gran variedad de materiales orgánicos se añaden en forma de agentes aglutinantes, agentes porosos, medios de secado, adhesivos, combustibles de cuerpo, aditivos de calentamiento para eliminación de residuos, etc.

Durante el proceso de calentamiento temprano, se puede producir la carbonización de compuestos orgánicos con la liberación de una gama compleja de COV.

3.1.1.2.5. *Los metales y sus compuestos*

El contenido de metal pesado en la mayoría de las materias primas cerámicas es muy bajo y no provoca problemas de emisiones. Existen excepciones en el caso de pigmentos cerámicos y materiales de esmaltado, pero la práctica actual es utilizar compuestos de color («colorante» que contiene pigmentos) que son estables a altas temperaturas e inertes en los sistemas de silicatos, donde los óxidos metálicos tienen una estructura de cristal estable, como la espinela o el circonio [23, TWG Ceramics, 2005]. Estos tipos de esmalte también están sujetos a ciclos de cocción extremadamente cortos, con lo que se reduce el riesgo de volatilidad.

Los fueloils pesados y los combustibles sólidos pueden contener niveles bajos de níquel y vanadio, pero las pruebas han demostrado que estos elementos se absorben significativamente mediante una reacción con el producto durante la cocción.

3.1.1.2.6. *El cloro y sus compuestos*

La mayoría de las arcillas contienen trazas de cloro, normalmente derivadas de una formación marina original, pero también los aditivos o el agua que contiene cloro son otras posibles fuentes de emisiones de ácido clorhídrico (HCl) (por ejemplo, el contenido de cloro del agua añadida durante la preparación de las materias primas puede situarse en el intervalo de 50-100 mg/l o incluso mayor) [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]. Debido a la descomposición de las sales minerales que contienen cloro a temperaturas superiores 850°C y de los compuestos orgánicos que contienen cloro a temperaturas entre 450 y 550°C, se produce el HCl durante el proceso de cocción de los gases de combustión de un horno [25, Voland, 2004].

3.1.1.2.7. *El flúor y sus compuestos*

Prácticamente todas las materias primas naturales contienen pequeñas cantidades de fluoruro (que se sustituye fácilmente por grupos de OH en arcillas y minerales acuosos). El ácido fluorhídrico (HF) procede principalmente de la descomposición de estos fluosilicatos presentes en la arcilla. La emisión de HF se produce según dos mecanismos distintos:

- Mediante la descomposición directa de los minerales fluorados, que depende, en gran medida, del tipo de arcilla (por ejemplo, esmectita a temperaturas a partir de 550°C, ilita a temperaturas desde 750°C, apatita a temperaturas desde 600 a 700°C)
- Mediante la descomposición de CaF_2 a temperaturas superiores a 900°C, la reacción se ve favorecida por la presencia de vapor de agua [23, TWG Ceramics, 2005], [25, Voland, 2004].

En este contexto, el agua, presente en la atmósfera del horno (por ejemplo, formada por la combustión de combustibles) desempeña una función importante en el mecanismo de formación de HF. Intervienen las siguientes reacciones:

- I. Mineral-F + H₂O ⇌ mineral-OH + HF (1) (liberación de HF por la hidrólisis de mineral-F).
- II. 2HF + CaO ⇌ CaF₂ + H₂O (2) (reabsorción de HF).
- III. CaF₂ + H₂O ⇌ 2HF + CaO (3).

La reacción (2) se produce a temperaturas relativamente bajas, en la sección de precalentamiento del horno. Esto explica la presencia de CaCO₃/CaO (piedra caliza/cal) que puede derivar en una reducción importante de las emisiones de HF. El precalentamiento lento aumenta el tiempo de reacción para la reabsorción y puede producir menos emisiones de HF. La reacción (3) se produce a temperaturas más altas (>900°C) si la concentración de agua en el horno es muy alta [2, VITO, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

La concentración de fluoruro en los gases de combustión no sólo está relacionada con el nivel de materias primas, la presencia de vapor de agua, la composición del cuerpo y la curva de temperatura, sino también la preparación y la superficie específica del artículo que se cocerá afectan a la difusión de H₂O y HF dentro y fuera del artículo (véanse las secciones 4.3.3.1 y 4.3.3.2) [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

3.1.2. Vertidos al agua

El agua es una materia prima muy importante en las industrias de fabricación cerámica, pero las cantidades utilizadas varían mucho en cada uno de los sectores y procesos. El agua añadida directamente a las mezclas de cuerpos cerámicos no conlleva un problema de aguas residuales, ya que posteriormente se evapora al aire durante las etapas de secado y cocción. Las aguas residuales del proceso de fabricación se generan sobre todo por el lavado y suspensión de los materiales arcillosos en agua corriente durante el proceso de fabricación y la limpieza de los equipos, pero también se producen vertidos al agua durante el funcionamiento de los lavadores de gases residuales por vía húmeda.

Las aguas residuales del proceso de fabricación se producen en pequeñas cantidades en la fabricación de ladrillos y tejas, tuberías de gres vitrificado y productos refractarios, si se lleva a cabo el tratamiento de la superficie, como el esmaltado y el engobe, o el desbastado por vía húmeda. Pueden aparecer cantidades adicionales de agua en el proceso de limpieza de las unidades de mezcla, engobe y esmaltado y de los moldes. En la producción de agregados de arcilla expandida normalmente no se generan aguas residuales del proceso de fabricación, sólo el agua de refrigeración para el sistema de horno pasa por un separador de aceite y se devuelve al circuito de refrigeración.

En los sectores de pavimentos y revestimientos, cerámica de mesa y de decoración, cerámica sanitaria, cerámica técnica y abrasivos aglomerados inorgánicos, se producen aguas residuales del proceso de fabricación principalmente como agua de limpieza en las unidades de preparación, unidades de moldeo, en el proceso de esmaltado y decoración o como agua de molienda en el tratamiento posterior.

Los gases de combustión que se producen como resultado del procesamiento de compuestos y la limpieza de equipos normalmente contienen las mismas materias primas y materiales auxiliares que los empleados en el proceso en cuestión. Por lo general, estos compuestos no son solubles al agua.

Las aguas residuales del proceso de fabricación se muestran normalmente turbias y con coloración debido a las partículas muy finas en suspensión de los minerales del esmalte y de la arcilla. Desde un punto de vista químico, se caracterizan por la presencia de:

- sólidos en suspensión: arcillas, fritas y silicatos insolubles en general,
- aniones disueltos: sulfatos,
- metales pesados en suspensión y disueltos: por ejemplo, plomo y cinc,
- boro en pequeñas cantidades,
- trazas de materia orgánica (vehículos de impresión de serigrafía y adhesivos empleados en operaciones de esmaltado).

3.1.3. Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

Las pérdidas/residuos del proceso de fabricación de productos cerámicos consisten principalmente en los siguientes materiales:

- diferentes tipos de lodos originados en las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales del proceso de fabricación del agua de los procesos relacionados con la preparación del cuerpo, la preparación del esmaltado y el equipo de aplicación, así como del desbastado por vía húmeda. La cantidad y la composición del lodo varía considerablemente ya que, además de generarse en los distintos procesos de producción, se tiende a utilizar una gran variedad de materias primas (distintos esmaltes, fritas, arcillas, etc.), incluso en las mismas instalaciones, lo que produce fluctuaciones considerables en la composición del lodo;
- material/piezas rotas como consecuencia del moldeado, secado, cocción, tratamiento posterior y material refractario roto;
- polvo de las unidades de limpieza de gases residuales;
- moldes de yeso usados de los procesos de moldeado;
- agentes de adsorción (caliza granular, polvo de piedra caliza) de los sistemas de limpieza de gases de combustión;
- residuos de envases (plástico, madera, metal, papel, etc.) en la fase de embalaje;

- residuos sólidos, por ejemplo, cenizas procedentes de la cocción con combustibles sólidos.

Parte de los materiales perdidos durante el proceso arriba indicado pueden reciclarse y reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables internamente pueden utilizarse en otras industrias o entregarse a empresas externas para su reciclado o eliminación.

3.1.4. Emisiones sonoras

El ruido se produce en distintas fases durante los procesos de fabricación de productos cerámicos, principalmente al utilizar maquinaria que genera ruido y al realizar procedimientos de trabajo ruidosos.

3.1.5. Posibles orígenes y vías de emisiones

En la siguiente tabla se proporciona un resumen de los posibles orígenes de emisiones en las distintas etapas de fabricación de cerámica y las vías de emisión correspondientes [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [27, VDI, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.1. Resumen de los posibles orígenes y vías de emisiones en la industria cerámica

| Etapa del proceso | Origen de emisiones | | | | Destino de emisiones | | | Emisión de ruido |
|--|---------------------|-------------------|------------|----------------|----------------------|------|---|------------------|
| | Materia prima | Cuerpos cerámicos | Decoración | Combustible | Aire | Aqua | Tierra (pérdidas/residuos del proceso de fabricación) | |
| Preparación de materias primas | | | | | | | | |
| Machacado y molienda primarios/secundarios | x | | | | x | | x | x |
| Molturación en seco y mezcla en seco | x | | | x ¹ | x | | x | x |
| Molturación en húmedo y mezcla en húmedo | x | | | | | x | x | x |
| Criba/clasificación | x | | | | x | | x | x |
| Transporte | x | | | | x | | x | |
| Almacenamiento en silos | x | | | | x | | | x |

Tabla 3.1. Resumen de los posibles orígenes y vías de emisiones en la industria cerámica (*continuación*)

| Etapa del proceso | Origen de emisiones | | | | Destino de emisiones | | | Emisión de ruido |
|--|---------------------|-------------------|------------|-------------|----------------------|-----------------|---|------------------|
| | Materia prima | Cuerpos cerámicos | Decoración | Combustible | Aire | Aqua | Tierra (pérdidas/residuos del proceso de fabricación) | |
| Preparación del cuerpo | | | | | | | | |
| Barbotina de colar | | x | | | | x | | |
| Pasta de extrusión para moldeado de plástico suave | | x | | | x | x | x | |
| Cuerpos para moldeado de plástico duro mediante procesos de eliminación de virutas | | x | | | | x | x | |
| Polvo de prensado en seco, proceso en seco | | x | | | x | x | x | x |
| Polvo de prensado en seco, proceso de secado por pulverización | | x | | x | x | x | x | x |
| Granulación | | x | | | x | | | x |
| Moldeado | | | | | | | | |
| Colada en barbotina | | x | | | | x | | |
| Moldeado de plástico suave («extrusión») | | x | | | | x | x | |
| Moldeado por corte | | x | | | | | x | |
| Prensado | | x | | | x | x ²⁾ | x | x |
| Tratamiento de cuerpos crudos | | x | | | x | x | x | |
| Secado | | | | | | | | |
| Secaderos intermitentes y continuos | | x | | x | x | | | x |
| Decoración | | | | | | | | |
| Esmaltado | | | x | | x | x | x | |
| Engobe | | | x | | x ³⁾ | x | x | |
| Impresión | | | x | | x | x | x | |
| Cocción | | | | | | | | |
| Hornos intermitentes y continuos | x | x | x | x | x | | | x |
| Tratamiento posterior | | | | | | | | |
| Almacenamiento de material | x | x | | x | x ⁴⁾ | | | x |

¹⁾ Posible para aplicaciones especiales, por ejemplo, desbastado en caliente por vía seca de los agregados de arcilla expandida.²⁾ Sólo agua de refrigeración.³⁾ Para algunos sectores, por ejemplo, baldosas de cerámica.⁴⁾ El almacenamiento de materiales también abarca el almacenamiento de combustibles.

3.2 Consumo-consideraciones generales

3.2.1. Consumo de energía

En la industria cerámica la energía se utiliza principalmente para la cocción en el horno pero también se consume mucha energía en numerosos procesos como el secado de productos semielaborados o artículos moldeados. El gas natural, el gas licuado de petróleo y el fueloil se emplean en la mayoría de las operaciones de secado y cocción, pero también se utilizan combustibles sólidos, electricidad, gas natural licuado (GNL) y biogás/biomasa.

La planta y la maquinaria empleadas para la trituración y mezcla de materias primas y la formación de artículos requieren energía eléctrica. El combustible diésel es necesario para el transporte in situ, en el que se incluyen el transporte por carretera de materias primas desde una cantera y el transporte interno con camiones. También se utilizan electricidad (por baterías) y bombonas de gas licuado de petróleo (butano, propano) para el transporte in situ, por ejemplo, con carretillas elevadoras.

Los sectores de tejas y ladrillos y de pavimentos y revestimientos son los mayores consumidores de energía, pero esto se debe a su mayor producción. En términos de consumo de energía específico, el sector de tejas y ladrillos muestra el máximo rendimiento [3, CERAME-UNIE, 2003].

Se debe tener en cuenta que el calentamiento eléctrico de los hornos se emplea para determinados tipos de cerámica de mesa y técnica [14, UBA, 2004], [17, Burkart, 2004]. Esto es necesario para obtener la calidad necesaria.

3.2.2. Consumo de agua

El agua se utiliza en casi todos los procesos cerámicos y la buena calidad de ésta es esencial para la preparación de arcillas y barbotinas de esmaltado, masas de arcilla para extrusión, «barros» para moldear, polvos atomizados, trituración/molturación por vía húmeda y operaciones de lavado.

El agua se utiliza para distintos fines; básicamente como materia prima para el cuerpo y su preparación, como materia prima para esmaltes, como fluido de lavado y como medio de refrigeración. Para el esmaltado, el lavado y la refrigeración se requiere agua de buena calidad. El agua de baja calidad, como las aguas residuales del proceso de fabricación sin tratar que proceden de las operaciones de lavado en la sección de esmaltado, puede resultar adecuada para el cuerpo. Las técnicas de reutilización de las aguas residuales del proceso de fabricación tienen en cuenta estas distintas calidades.

3.2.3. Consumo de materias primas

Tal y como se indica en el capítulo 2 la industria cerámica utiliza una gran variedad de materias primas, entre ellas, los principales materiales de formación de los cuerpos cerámicos, en grandes cantidades, y diversos aditivos, aglutinantes y materiales de decoración aplicados sobre la superficie, que se utilizan en menor medida.

3.3. Presentación de datos de emisiones y consumo

Esta sección informa de los intervalos de emisiones y consumos observados actualmente para los procesos de fabricación. La información incluye el uso observado de energía, agua y materias primas. En la medida en que están disponibles, estos datos incluyen las emisiones a la atmósfera y al agua como resultado de las actividades, así como las entradas y salidas de los subprocesos, incluidas las composiciones de lodo y pérdidas sólidas del proceso. No se incluyen los datos sobre emisiones de ruidos, porque muchos aspectos relacionados con el ruido no son realmente específicos del sector y no hay disponibles datos de emisiones de ruidos adecuados para los procesos de fabricación de cerámica.

Los datos de rendimiento se precisarán, en la medida de lo posible, con datos sobre las condiciones de funcionamiento, métodos de muestreo y analíticos, así como presentaciones estadísticas (por ejemplo, medias, máximos, mínimos e intervalos).

Véanse las siguientes definiciones en relación con las condiciones estándar para las mediciones de las concentraciones y caudales volumétricos, que también aparecen en el glosario:

| | |
|------------------------|--|
| m^3/h | caudal volumétrico: si no se indica lo contrario, el caudal volumétrico en este documento se refiere a un 18% vol. de oxígeno y estado estándar. |
| mg/m^3 | concentración: si no se indica lo contrario, en este documento las concentraciones de sustancias gaseosas o mezclas de sustancias se refieren a gases de combustión secos con un 18% vol. de oxígeno y estado estándar, y las concentraciones de benceno se refieren a un 15% vol. de oxígeno y estado estándar. |
| estado estándar | se refiere a una temperatura de 273 K y a una presión de 1013 hPa. |

En el documento de referencia sobre los principios generales de monitorización (MON) se puede encontrar información útil adicional. Teniendo en cuenta la complejidad de la industria cerámica, los datos en forma de ejemplos e intervalos de los niveles de emisiones y consumo observados actualmente se resumen por sector en las tablas y figuras de esta sección.

3.3.1. Ladrillos y tejas

3.3.1.1. DATOS DE EMISIONES

En el proceso de fabricación de ladrillos y tejas se producen emisiones a la atmósfera y al agua, pérdidas/residuos del proceso de fabricación y también emisiones de ruidos. En esta sección se presentan los intervalos de emisiones de contaminantes gaseosos para la cocción de ladrillos y tejas. También se describen las emisiones a la atmósfera de otras fases del proceso, los vertidos al agua y las pérdidas del proceso de fabricación.

Emisiones a la atmósfera

En el proceso de cocción se producen emisiones importantes a la atmósfera en la fabricación de ladrillos y tejas. En este contexto se tiene que mencionar que las emisiones varían, en gran medida, de un país a otro y, dentro de cada país, de un emplazamiento a otro, según las distintas materias primas de arcilla que se empleen (debido a las variaciones geológicas y geográficas), tal y como se describe en la sección 2.3.1.1 (véase en concreto la Tabla 2.1) y también por las diferencias en las técnicas de fabricación aplicadas según la diversidad de los productos.

Los datos a este respecto enumerados en la Tabla 3.2 demuestran los intervalos de emisiones que se producen en algunos países europeos para fluoruros, cloruros, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, polvo y monóxido de carbono. Todos los datos ofrecidos en esta tabla son emisiones en los gases de combustión sin limpiar de los hornos, es decir, sin tener en cuenta los equipos de reducción [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [21, Almeida, 2004].

Tal y como se muestra en la Tabla 3.2 las emisiones de fluoruros varían considerablemente, no sólo debido a la variación en el contenido de fluoruro en las materias primas sino también debido a las diferencias en las técnicas de fabricación empleadas. Como ejemplo, la Figura 3.1 muestra la distribución del fluoruro liberado con respecto al producto final, según los estudios italianos y con referencia a la Figura 2.9 [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

En las emisiones de cloruro (véase Tabla 3.2) se producen variaciones similares. En la Figura 3.2 también se muestra la distribución del cloruro liberado con respecto al producto final para el sector de ladrillos y tejas de Italia [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.2. Intervalos de emisiones de gases de combustión crudos del proceso de cocción en la fabricación de ladrillos y tejas

| Componente de emisión (mg/m ³) | Austria | Francia | Holanda | Italia | Dinamarca* |
|--|---------|---------|---------|--------|------------|
| Fluoruro como HF | | | | | |
| Mínimo | 0 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| Máximo | 60 | 130 | 150 | 350 | 150 |
| Cloruro como HCl | | | | | |
| Mínimo | | 0 | 1 | 0 | 5 |
| Máximo | | 30 | 32 | 200 | 50 |
| Azufre como SO_x | | | | | |
| Mínimo | 5 | 0 | 2 | 0 | 20 |
| Máximo | 100 | 1.090 | 630 | 3.200 | 700 |
| Nitrógeno como NO_x | | | | | |
| Mínimo | 9 | 5 | 27 | 5 | 50 |
| Máximo | 80 | 200 | 464 | 100 | 200 |
| Polvo | | | | | |
| Mínimo | 0 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| Máximo | 13 | 180 | 64 | 40 | 40 |
| Monóxido de carbono | | | | | |
| Mínimo | | 0 | 7 | 100 | |
| Máximo | | 1.200 | 701 | 500 | |

* Referencia de concentración de oxígeno del 15-19% de volumen correspondiente al contenido en oxígeno del gas de combustión.

| Componente de emisión (mg/m ³) | Bélgica | Reino Unido | Alemania | Hungría | Suiza | Portugal |
|--|---------|-------------|----------|---------|-------|--------------|
| Fluoruro como HF | | | | | | |
| Mínimo | 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Máximo | 117 | 200 | 250 | 20 | 22 | 80 |
| Cloruro como HCl | | | | | | |
| Mínimo | 0 | 1 | 0 | | | No detectado |
| Máximo | 270 | 125 | 95 | 50 | | 160 |
| Azufre como SO_x | | | | | | |
| Mínimo | 3 | 8 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| Máximo | 3.485 | 2.450 | 3.000 | 350 | 281 | 443 |
| Nitrógeno como NO_x | | | | | | |
| Mínimo | 0 | 0 | 10 | 0 | 36 | 14 |
| Máximo | 174 | 160 | 450 | 780 | 147 | 132 |
| Polvo | | | | | | |
| Mínimo | 2 | 0 | 5 | 1 | 1 | 8 |
| Máximo | 449 | 100 | 150 | 100 | 29 | 125 |
| Monóxido de carbono | | | | | | |
| Mínimo | 23 | | 0 | 1 | 7 | 2 |
| Máximo | 1.950 | | 1.500 | 1.500 | 483 | 500 |

Figura 3.1. Distribución del fluoruro liberado en el sector de ladrillos y tejas de Italia

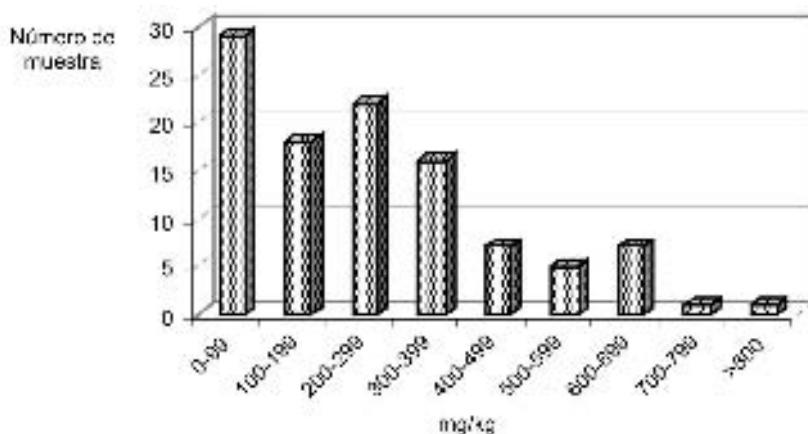
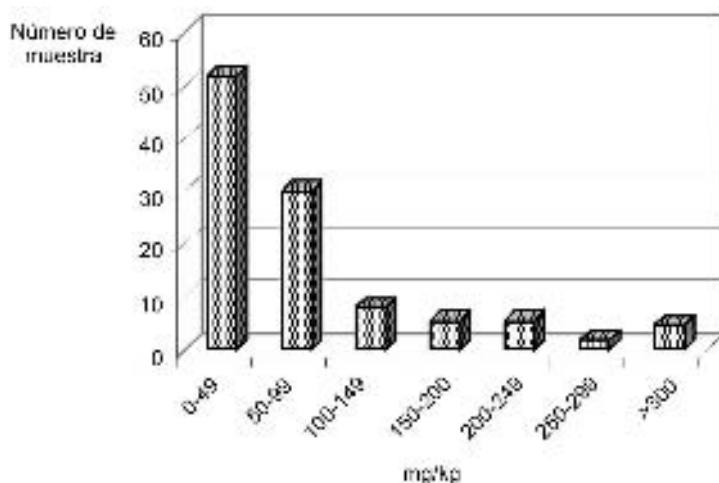
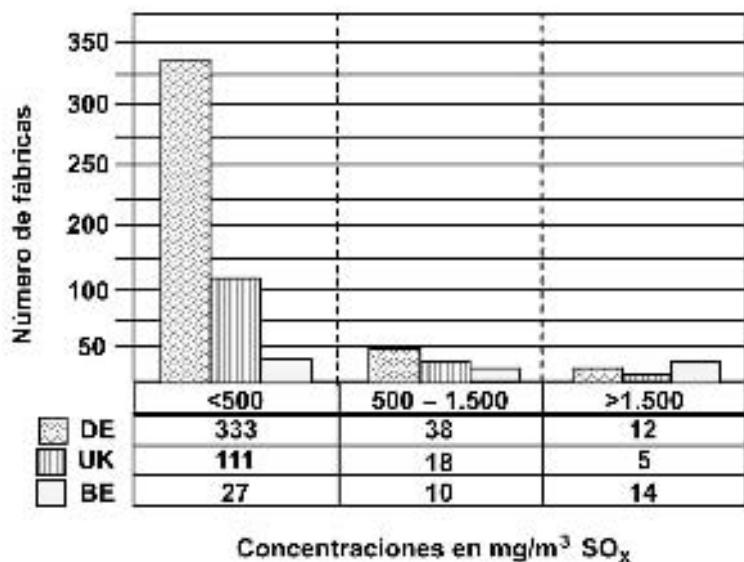


Figura 3.2. Distribución del cloruro liberado en el sector de ladrillos y tejas de Italia



En la siguiente figura se muestran las distintas emisiones de azufre en Alemania, Reino Unido y Bélgica, presentadas como una relación entre el número de fábricas de ladrillos y tejas y los intervalos de emisiones correspondientes. En este caso la variación del contenido en azufre en las arcillas (véase la Figura 2.12) también desempeña una función importante, por ejemplo, al emplear arcillas con un bajo contenido en azufre, los intervalos de las emisiones de

Figura 3.3. Emisiones de SO_x en Alemania, Reino Unido y Bélgica

azufre son menores que con el uso de arcillas con elevado contenido en azufre. [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Los intervalos de los datos operativos de los gases crudos se presentan en la siguiente tabla correlacionados con los combustibles aplicados [4, UBA, 2001],[27, VDI, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.3. Datos operativos del gas crudo con distintos combustibles

| Componente de emisión | Unidad | Combustible gaseoso | Fueloil EL | Fueloil pesado | Carbón |
|--|-------------------|---------------------|------------|----------------|-----------|
| Polvo | mg/m ³ | 1-20 | 1-30 | 5-50 | 30-150*** |
| NO _x expresado como NO ₂ | mg/m ³ | 20-200 | 20-200 | 20-200 | 20-200 |
| SO _x expresado como SO ₂ (contenido de S de la materia prima < 0,12%*) | mg/m ³ | 10-300** | 10-300** | 30-500** | 30-500** |
| Compuestos fluorados gaseosos inorgánicos, expresados como HF | mg/m ³ | 1-20** | 1-20** | 1-20** | 1-20** |
| Compuestos clorados gaseosos inorgánicos, expresados como HCl | mg/m ³ | 1-120 | 1-120 | 1-120 | 1-120 |

* Posibles valores por encima de 1500 mg SO₂/m³ con un contenido en S de materia prima > 0,12%.

** Son posibles valores inferiores de HF y SO₂, si se emplean materias primas con un elevado contenido en cal.

*** Cuando se utiliza lignito, se puede presentar un contenido en polvo de hasta 700 mg/m³.

Para los demás combustibles mencionados en la sección 2.3.1.5, por ejemplo, coque de petróleo, no se dispone de datos de emisiones.

Los COV no se encuentran presentes necesariamente en todos los gases de combustión crudos de los procesos de cocción de ladrillos. Se producen principalmente si se utilizan aditivos orgánicos para desarrollar la porosidad. Estos componentes orgánicos en el gas de combustión crudo dependen del grado de porosidad y de las condiciones operativas de la zona de precalentamiento del horno. Se suele emplear una mezcla de distintos agentes porosos. En la siguiente tabla se muestran los intervalos de los valores de gas crudo obtenidos mediante los distintos agentes porosos [4, UBA, 2001].

Tabla 3.4. Valores de gas crudo con distintos agentes porosos

| Componente de emisión | Unidad | Poliestireno | Serrín y agentes fijadores del papel |
|--|-------------------|--------------|--------------------------------------|
| Sustancias orgánicas expresadas como C total | mg/m ³ | 50-250 | 50-250 |
| Benceno | mg/m ³ | 1-65 | 1-5 |
| Fenol | mg/m ³ | 1-5 | 1-20 |
| Formaldehído | mg/m ³ | 1-20 | 5-100 |
| Aldehído (C1-C4) | mg/m ³ | 1-20 | 25-180 |
| Monóxido de carbono* | mg/m ³ | <300 | <1.500 |

* Un valor de CO elevado indica que se trata de una combustión incompleta.

Los ejemplos de los valores de gases limpios mostrados en la siguiente tabla son los valores medios en la fabricación de bloques de arcilla porosos y no se dispone de información sobre las unidades de limpieza de los gases de combustión que se emplean. Los intervalos de datos operativos correspondientes se pueden encontrar en la sección superior de la tabla. En la tabla también se muestra el vínculo principal entre los datos operativos, las concentraciones de emisiones y los factores de emisiones correspondientes (las emisiones hacen referencia a la producción de un ladrillo de un kilo (kg_B) [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.5. Concentraciones medias de gas limpio (bloques de arcilla porosos) y los correspondientes factores de emisiones relacionados con el producto correspondiente

| Foco de emisión | Horno de túnel |
|---|----------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 5.000-50.000 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 100-200 |

Tabla 3.5. Concentraciones medias de gas limpio (bloques de arcilla porosos) y los correspondientes factores de emisiones relacionados con el producto correspondiente (*continuación*)

| Componente de emisión | Concentración media de gas limpio (mg/m ³) | Factor de emisión, valor medio (mg/kg _B) |
|---|--|--|
| Polvo | 11,6 | 17,6 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 121,0 | 184,0 |
| SO _x expresado como SO ₂ | 26,1 | 39,6 |
| CO ₂ | 98.200 | 149.000 |
| CO | 124,6 | 189,0 |
| Compuestos fluorados gaseosos inorgánicos, expresados como HF | 2,7 | 4,1 |
| Compuestos clorados gaseosos inorgánicos, expresados como HCl | 8,4 | 12,7 |
| Sustancias orgánicas expresadas como C total | 22,7 | 34,5 |

La Tabla 3.6 y la Tabla 3.7 muestran ejemplos de concentraciones de gases de combustión de las plantas de ladrillos para la construcción de fabricación de bloques de arcilla, medidas por expertos técnicos externos (mediciones individuales y no continuas) y los correspondientes datos operativos en las secciones superiores de las tablas. La mayoría de las plantas emplean sistemas de limpieza de gases de combustión, tal y como se indica en las tablas; por lo tanto, los valores representan las concentraciones de gas limpio [1, BMLFUW, 2003], [17, Burkart, 2004], [2, VITO, 2003].

Tabla 3.6. Concentraciones de gases limpios de las plantas de ladrillos para la construcción

| Parámetro | MB 1 | MB 2 | MB 3 | MB 4 | MB 5 |
|---|-----------------------------|-------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 22.000 | 12.400 | 25.300 | 12.440 | 32.930 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 153 | 107 | 224 | 171 | 197 |
| Combustible | Gas natural | Gas natural | Gas natural | Gas natural | Gas natural |
| Agente poroso | Serrín, poliestireno, papel | Serrín | Serrín, papel | Serrín, cáscara de girasol, lignito | Serrín, poliestireno, papel, lignito |
| Limpieza de gases de combustión | Postcombustión térmica | – | Postcombustión térmica | Postcombustión térmica | Postcombustión térmica |

Tabla 3.6. Concentraciones de gases limpios de las plantas de ladrillos para la construcción (continuación)

| Componente de emisión | MB 1 | MB 2 | MB 3 | MB 4 | MB 5 |
|--|-------|-------|-------|------|------|
| Polvo | 18,0 | 27,0 | 4,0 | 8,4 | 2,8 |
| SO _x expresado como SO ₂ | 26,0 | <4,0 | 178,0 | 72,2 | 2,8 |
| Flúor, expresado como HF | 3,0 | <0,1 | 1,5 | 2,3 | 1,1 |
| TOC sin CH ₄ | <5,0 | 19,0 | 11,5 | 11,9 | 4,0 |
| Acetaldehido | – | <1 | – | – | – |
| Benceno | 0,18 | <0,10 | 0,18 | 0,11 | 0,30 |
| Estireno | 0,20 | <0,10 | 0,14 | 0,03 | 0,90 |
| Formaldehido | 0,005 | <1,0 | 2,1 | 2,5 | 5,0 |
| Fenol | 0,12 | <0,10 | 0,45 | 0,05 | 1,60 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 98 | 18 | 113 | 162 | 187 |
| Cloro, expresado como HCl | 13,5 | <1,0 | 10,5 | 7,0 | 9,9 |
| CO | 14 | 300 | – | – | 25 |

MB: planta de ladrillos para la construcción en mg/Nm³ ref. a 18 % O₂, Nm³/h_{seco} 0 °C.

| Parámetro | MB 6 | MB 7 | MB 8 | MB 9 | MB 10 |
|---|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|------------------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 15.100 | 20.740 | 15.420 | 27.344 | 18.300 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 131 | 155 | 153 | 102 | 186 |
| Combustible | Gas natural | Gas natural | Gas natural | Gas natural | Gas natural |
| Agente poroso | Serrín, papel, lignito | Papel | Serrín | Papel, poliestireno | Papel, poliestireno |
| Limpieza de gases de combustión | – | Postcombustión térmica | – | Filtro de lecho de cal | Postcombustión térmica |

| Componente de emisión | MB 6 | MB 7 | MB 8 | MB 9 | MB 10 |
|--|------|------|------|------|-------|
| Polvo | 1,2 | 1,9 | <1,0 | 10,7 | 0,9 |
| SOX expresado como SO ₂ | 17,7 | 1,2 | 5,6 | 1,7 | 5,0 |
| Flúor, expresado como HF | 0,9 | 0,1 | 1,8 | <0,1 | 1,1 |
| TOC sin CH ₄ | 16,5 | 5,6 | 97,1 | 19,0 | 3,0 |
| Acetaldehido | – | – | – | <0,1 | – |
| Benceno | 4,7 | 1,5 | 3,0 | 0,4 | 0,1 |
| Estireno | 7,5 | 1,7 | 3,0 | <0,1 | 2,0 |
| Formaldehido | 11,7 | 4,5 | 10,6 | <0,1 | 1,3 |
| Fenol | 5,6 | 2,3 | 6,1 | <0,1 | 0,1 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 24,2 | 64,8 | 43,0 | 33,6 | 73,0 |
| Cloro, expresado como HCl | 2,4 | 1,2 | 5,0 | <0,5 | 0,5 |
| CO | – | 39,2 | – | – | 44,0 |

MB: planta de ladrillos para la construcción en mg/Nm³ ref. a 18 % O₂, Nm³/h_{seco} 0 °C.

Tabla 3.7. Concentraciones de gases limpios de las plantas de ladrillos clínker y plantas de tejas

| Parámetro | KB 1 | RT1 | RT 2 | RT 3/4 | RT 5 |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 19.500 | 13.745 | 17.214 | 31.182 | 10.500 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 165 | 84 | 159 | 154 | 202 |
| Combustible | Gas natural |
| Limpieza de gases de combustión | Filtro de lecho de cal |

| Componente de emisión | KB 1 | RT 1 | RT 2 | RT 3/4 | RT 5 |
|--|------|------|------|--------|------|
| Polvo | 2,2 | 1,9 | 1,2 | 12,5 | 18,0 |
| SO _x expresado como SO ₂ | 6,8 | 17,1 | 9,6 | <1,6 | 20,0 |
| Flúor, expresado como HF | 1,4 | 4,5 | <0,5 | 3,1 | 4,2 |
| TOC sin CH ₄ | 15,5 | 1,2 | 1,2 | 19,4 | 8,0 |
| Formaldehído | 0,2 | — | — | — | — |
| Benceno | 2,5 | — | — | — | — |
| Estireno | 2,5 | — | — | — | — |
| Fenol | 5,0 | — | — | — | — |
| NO _x expresado como NO ₂ | 70,0 | 26,8 | 38,3 | 107,3 | 88,0 |
| Cloro, expresado como HCl | 6,8 | 1,1 | 3,3 | 1,6 | 14,0 |

KB: planta de ladrillos cara vista, RT: planta de tejas; unidades en mg/Nm³ ref. a 18 % O₂, Nm³/h_{seco} o °C.

La Tabla 3.8 y la Tabla 3.9 muestran ejemplos recientes de hornos de fabricación de bloques de arcilla y ladrillos cara vista en Bélgica y los datos operativos correspondientes [30, TWG Ceramics, 2005]. Las plantas aplican distintas medidas, como las medidas integradas en los procesos y las técnicas de limpieza de los gases de combustión de final del proceso. Las medidas integradas en los procesos incluyen la adición de materias primas bajas en azufre, la adición de CaCO₃ y la adición de aditivos ricos en calcio. Por lo tanto, los valores mostrados en las tablas son los valores de gas crudo y los valores de gas limpio (después de las medidas integradas en los procesos y la limpieza de los gases de combustión).

Las emisiones a la atmósfera no sólo se producen durante el proceso de cocción, sino también durante estas otras etapas del proceso de fabricación [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]:

- durante el almacenamiento de las materias primas y el transporte interno se producen emisiones de polvo en las unidades de almacenamiento, pesaje, transporte y manipulación;

Tabla 3.8. Valores de emisiones de gases crudos y limpios en la fabricación de bloques de arcilla

| Parámetro | Bloques de arcilla 1 | Bloques de arcilla 2 | Bloques de arcilla 3 | Bloques de arcilla 4 |
|---|---|---|---|---|
| Flujo de volumen de gases de combustión | 58.682 m ³ /h | 61.027 m ³ /h | 51.838 m ³ /h | 61.156 m ³ /h |
| Temperatura de gases de combustión | 180-220 °C | 180-220 °C | 180-220 °C | 180-220 °C |
| Combustible | Gas natural | Gas natural | Gas natural | Gas natural |
| Contenido de azufre en arcilla de materia prima | 0,5-0,75 % | >0,75 % | >0,75 % | >0,75 % |
| Agentes porosos | Serrín | Serrín | Serrín | Serrín |
| Medidas integradas en los procesos | Materias primas con bajo contenido de azufre y calcio | Materias primas con bajo contenido de azufre y calcio | Materias primas con bajo contenido de azufre y calcio | Materias primas con bajo contenido de azufre y calcio, aditivos ricos en calcio |
| Limpieza de gases de combustión | Limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro | Adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada | Adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada | Adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada |
| Adsorbente | Ca(OH) ₂ | CaCO ₃ | CaCO ₃ | CaCO ₃ |

| Componentes de emisión | Bloques de arcilla 1 | | | Bloques de arcilla 2 | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|
| | Valor de gas crudo mg/Nm ³ | Valores de gas limpio mg/Nm ³ | Eficacia de reducción % | Valor de gas crudo mg/Nm ³ | Valores de gas limpio mg/Nm ³ | Eficacia de reducción % |
| Polvo | 36 | 3 | 92 | 117 | 71 | 39 |
| SO _x como SO ₂ | 1.436 | 1.336 | 7 | 2.051 | 1.884 | 8 |
| Flúor, expresado como HF | 25 | 1 | 96 | 56 | 2 | 96 |
| Cloro, expresado como HCl | 5 | 11 | 0 | 11 | 9 | 18 |
| NO _x | 22 | 21 | 5 | 36 | 31 | 14 |
| TOC | 105 | 77 | 27 | 108 | 71 | 34 |
| CO | 1.021 | 1.235 | 0 | 988 | 1.038 | 0 |

| Componentes de emisión | Bloques de arcilla 3 | | | Bloques de arcilla 4 | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|
| | Valor de gas crudo mg/Nm ³ | Valores de gas limpio mg/Nm ³ | Eficacia de reducción % | Valor de gas crudo mg/Nm ³ | Valores de gas limpio mg/Nm ³ | Eficacia de reducción % |
| Polvo | 127 | 26 | 80 | 165 | 69 | 58 |
| SO _x como SO ₂ | 2.883 | 2.295 | 20 | 2.893 | 2.210 | 24 |
| Flúor, expresado como HF | 36 | 3 | 92 | 35 | 6 | 83 |
| Cloro, expresado como HCl | 7 | 3 | 57 | 9 | 7 | 22 |
| NO _x | 52 | 21 | 60 | 16 | 36 | 0 |
| TOC | 219 | 106 | 52 | 51 | 86 | 0 |
| CO | 936 | 905 | 3 | 1.137 | 1.165 | 0 |

Tabla 3.9. Valores de emisiones de gases crudos y limpios en la fabricación de ladrillos cara vista

| Parámetro | Ladrillo cara vista 1 | Ladrillo cara vista 2 | Ladrillo cara vista 3 | Ladrillo cara vista 4 |
|---|---|---|---|---|
| Flujo de volumen de gases de combustión | 56.830 m ³ /h | 16.319 m ³ /h | 35.000 m ³ /h | 22.915 m ³ /h |
| Temperatura de gases de combustión | 230 °C | 150 °C | 110 °C | 124 °C |
| Fueloil | Gas natural | Gas natural | Gas natural | Gas natural |
| Contenido de azufre en arcilla de materia prima | 0,5-0,75 % | <0,25 % | <0,25 % | <0,25 % |
| Limpieza de gases de combustión | Limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro | Adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada | Adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada | Adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada |
| Adsorbente | Ca(OH) ₂ | CaCO ₃ | CaCO ₃ | CaCO ₃ |

| Componentes de emisión | Ladrillo cara vista 1 | | | Ladrillo cara vista 2 | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|
| | Valor de gas crudo mg/Nm ³ | Valores de gas limpio mg/Nm ³ | Eficacia de reducción % | Valor de gas crudo mg/Nm ³ | Valores de gas limpio mg/Nm ³ | Eficacia de reducción % |
| Polvo | 9 | 14 | 0 | 19 | 12 | 37 |
| SO _x como SO ₂ | 967 | 635 | 34 | 141 | 163 | 0 |
| Flúor, expresado como HF | 21 | 1 | 95 | 23 | 6 | 74 |
| Cloro, expresado como HCl | 6 | 1 | 83 | 3 | 3 | 0 |
| NO _x | 18 | 19 | 0 | 49 | 67 | 0 |
| TOC | 6 | 4 | 33 | 6 | 15 | 0 |
| CO | 110 | 129 | 0 | 177 | 135 | 24 |

| Componentes de emisión | Ladrillo cara vista 3 | | | Ladrillo cara vista 4 | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|
| | Valor de gas crudo mg/Nm ³ | Valores de gas limpio mg/Nm ³ | Eficacia de reducción % | Valor de gas crudo mg/Nm ³ | Valores de gas limpio mg/Nm ³ | Eficacia de reducción % |
| Polvo | 30 | 5 | 83 | 8 | 4 | 44 |
| SO _x como SO ₂ | 150 | 36 | 76 | 27 | 10 | 63 |
| Flúor, expresado como HF | 60 | 0,5 | 99 | 12 | 0,1 | 99 |
| Cloro, expresado como HCl | 10 | 0,6 | 94 | 5 | 0,4 | 92,5 |
| NO _x | 100 | 64 | | 110 | 98 | 11 |
| TOC | | | | 4,1 | 4 | 2,4 |
| CO | 150 | 97 | | 90,5 | 54 | 40,3 |

- las emisiones de polvo se producen en el proceso de preparación en seco de las masas de clínker;
- las emisiones de polvo tienen lugar durante el proceso de moldeado de las masas secas (prensado);

- las emisiones de polvo se pueden producir en los procesos de esmaltado y engobe, según la técnica de esmaltado o de engobe aplicada;
- algunos productos, como los ladrillos calibrados, se desbastan después del proceso de cocción. Por lo tanto, el polvo también se puede originar durante los procesos de desbastado.

Vertidos al agua

Las aguas residuales del proceso de fabricación se producen en pequeñas cantidades en la fabricación de ladrillos y tejas como agua de limpieza, si se lleva a cabo el tratamiento de la superficie, como el esmaltado o el engobe. Se recoge el exceso de esmalte y de engobe, y se devuelve al ciclo de producción. Pueden aparecer cantidades de aguas residuales de la limpieza de las unidades de preparación de materias primas y de los moldes. Además, esta agua se suele reutilizar en circuitos cerrados [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]. No se dispone de datos relativos a los vertidos al agua.

Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

- se pueden romper artículos durante las distintas etapas del proceso de fabricación (en concreto moldeado, secado, cocción y tratamiento posterior);
- puede aparecer lodo de la preparación de las materias primas (limpieza de las unidades) sólo en pequeñas cantidades y también de la limpieza de los moldes y las unidades de esmaltado o engobe;
- pueden aparecer moldes de yeso usados y rotos en el proceso de fabricación de tejas;
- en el proceso de embalaje aparecen residuos, como plásticos, restos de papel y chatarra;
- en las unidades de limpieza de los gases residuales se genera polvo, lodo y agentes de adsorción usados;
- residuos sólidos, por ejemplo, cenizas procedentes de la cocción con combustibles sólidos.

Parte de los materiales perdidos durante todo el proceso de fabricación pueden reciclarse y reutilizarse, a menudo dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o según los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables in situ pueden utilizarse en otras industrias o entregarse a empresas externas para su reciclado o su eliminación [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

3.3.1.2. DATOS DE CONSUMO

Consumo de energía

La fabricación de ladrillos y tejas de arcilla consume mucha energía ya que se fabrican mediante un proceso de alta temperatura que permite convertir la materia prima en un material con propiedades totalmente distintas: la arcilla cocida. Según el tipo de producto, la distribución de costes de energía en los costes de producción totales por lo general varía entre el 17 y el 30% con valores máximos de hasta un 40%. Actualmente, se utiliza mucho el gas natural como fuente de energía para la cocción en horno y supone prácticamente el 90% del consumo de energía total, pero también el gas de petróleo licuado, el fueloil, el carbón, el coque de petróleo, la turba y la electricidad sirven como fuentes de energía en algunos casos [13, SYKE, 2004], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

La necesidad principal de energía en la industria es para el proceso de transformación de la arcilla en una forma duradera que sea adecuada para todos los tipos de construcción. El consumo de energía depende de la materia prima, del proceso de fabricación y del tipo de producto y, además, del tipo de técnicas de cocción empleadas. Aunque un determinado proceso de cocción puede consumir menos energía, puede no ser el adecuado para el producto específico.

En Europa, en lo que respecta al consumo de energía específico, existen grandes diferencias según los distintos tipos de construcción y productos. Cada tipo de producto tiene un patrón de consumo de energía específico debido al proceso de cocción (por ejemplo, temperatura de cocción, tiempo de cocción lenta y densidad de carga).

En Austria, Alemania e Italia, donde la mayoría de las casas se construyen con bloques ligeros, el uso de energía es bajo, entre 1,1 y 1,9 GJ/tonelada. La densidad menor de los bloques se obtiene por la presencia o adición de materiales porosos a la arcilla. Estos materiales son, en su inmensa mayoría, sustancias orgánicas. Contribuyen al equilibrio de energía de la producción de ladrillos de arcilla por lo que el consumo de energía primaria específica (gas natural, combustible líquido, etc.) es bajo.

En concreto, en el Norte de Europa, se utiliza un elevado número de ladrillos cara vista como capa externa. Por lo general, estos ladrillos tienen una mayor densidad y se suelen cocer a una temperatura más alta que los bloques ligeros. Como resultado, el consumo de energía específico para la producción de ladrillos cara vista es más alto, es decir, de 2,5 a 2,7 GJ/tonelada.

La gran diferencia que existe en Reino Unido (1,4-2,4 GJ/t) se debe a la cantidad de material orgánico que contiene la arcilla que se utiliza para fabricar ladrillos

(gran cantidad en arcilla de Oxford inferior para ladrillos Fletton y pequeña cantidad para ladrillos que no son Fletton) [3, CERAME-UNIE, 2003].

La Tabla 3.10 y la Tabla 3.11 muestran ejemplos de datos de consumo de gas natural y de energía eléctrica en las instalaciones para la fabricación de ladrillos y tejas en Austria y los datos de consumo de energía en España, así como el consumo general de energía específico para el sector de ladrillos y tejas [1, BMLFUW, 2003], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.10. Datos de consumo de energía por tonelada de producto de las instalaciones para la fabricación de ladrillos y tejas

| Fuente/consumo de energía | Unidad | Ladrillos para la construcción | Ladrillos cara vista | Tejas |
|---------------------------|--------|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Gas natural (AT) | GJ/t | 1,02–1,87 | 2,87 | 1,97–2,93 |
| Energía eléctrica (AT) | GJ/t | 0,08–0,22 | 0,27 | 0,23–0,41 |
| Consumo de energía (ES) | GJ/t | 1,50–2,50 | 2,50–3,00 | 1,90–2,95 |

Tabla 3.11. Consumo de energía específico para el sector de ladrillos y tejas

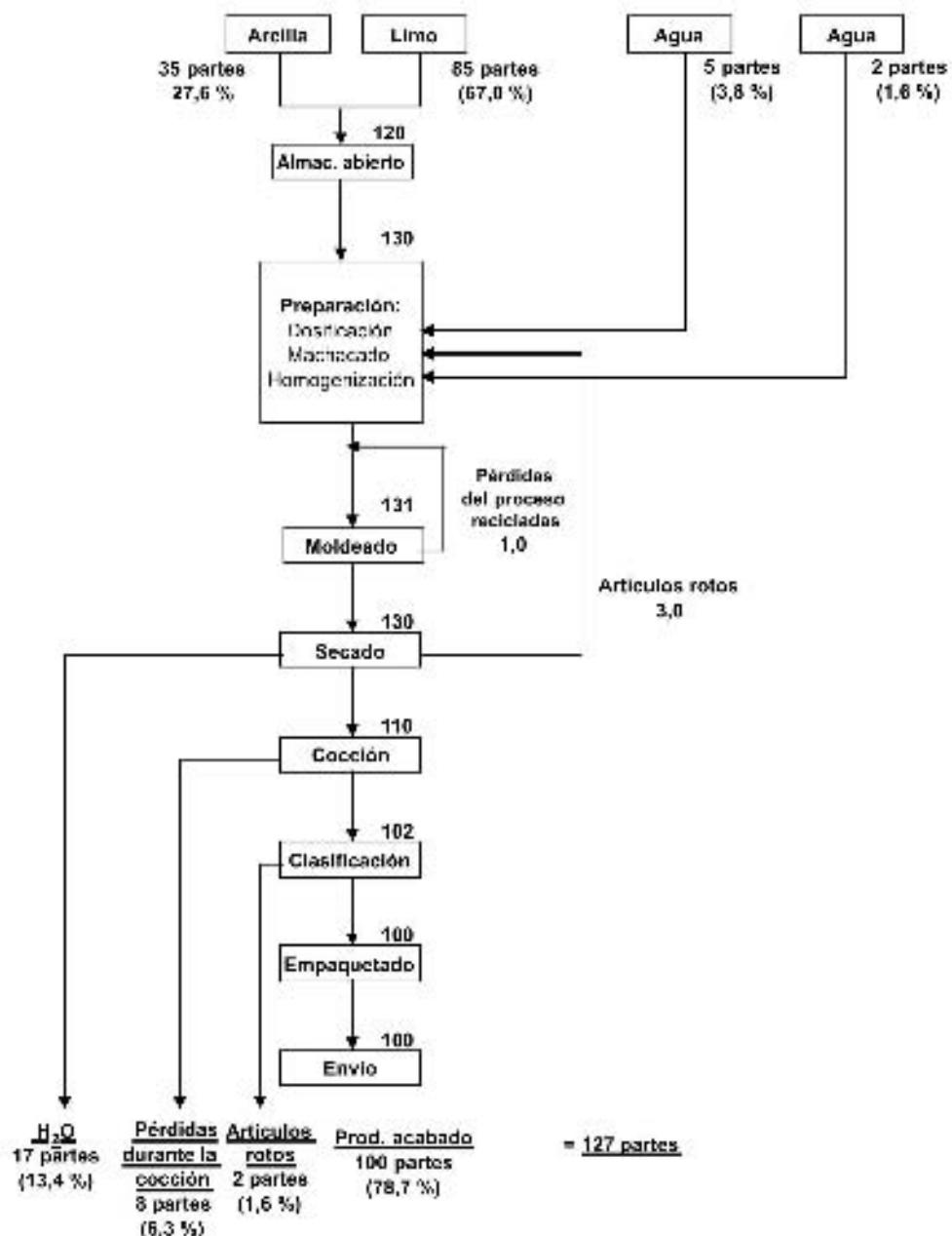
| País | Unidad | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2003 |
|-------------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Austria | GJ/t | 2,38 | 2,09 | 1,17 | 1,72 | 1,63 | 1,69 |
| Bélgica | GJ/t | 3,3 | 3,19 | 2,16 | 2,45 | 2,59 | 2,21 |
| Alemania | GJ/t | 2,43 | 2,31 | 1,93 | 1,63 | 2,57 | 2,31 |
| Dinamarca | GJ/t | 2,73 | – | 2,41 | 2,67 | 2,61 | 2,65 |
| España | GJ/t | 2,38 | 2,30 | 2,24 | 2,18 | 2,28 | 2,26 |
| Francia | GJ/t | 2,87 | 2,62 | 2,77 | 2,62 | 2,80 | 2,61 |
| Italia | GJ/t | 2,80 | 2,60 | 2,09 | 1,90 | 1,94 | 2,00 |
| Holanda | GJ/t | 3,63 | 2,93 | 2,19 | 2,70 | 3,05 | 3,35 |
| Reino Unido | GJ/t | 2,29 | 2,16 | 2,48 | 2,63 | 3,25 | 2,85 |
| Suiza | GJ/t | – | 2,56 | 2,62 | 2,53 | 2,44 | – |

En este contexto, véase también la Tabla 2.2 y la Tabla 2.4.

Consumo de agua y materias primas

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de datos de consumo de agua y materias primas de una planta para la fabricación de ladrillos para la construcción como un diagrama de flujo másico [1, BMLFUW, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

Figura 3.4. Ejemplo de flujo masico para la fabricación de ladrillos para la construcción



3.3.2. Tuberías de gres vitrificado

3.3.2.1. DATOS DE EMISIONES

En la fabricación de tuberías de gres vitrificado se producen emisiones a la atmósfera y al agua, pérdidas/residuos del proceso de fabricación y también emisiones de ruidos. En esta sección, se presentan los intervalos de emisiones de contaminantes gaseosos para la cocción de tuberías de gres vitrificado. También se describen las emisiones a la atmósfera de otras fases del proceso, los vertidos al agua y las pérdidas del proceso de fabricación.

Emisiones a la atmósfera

En el proceso de cocción se producen emisiones importantes a la atmósfera en la fabricación de tuberías de gres vitrificado.

En la siguiente tabla se presentan los valores máximos de gases limpios emitidos por las plantas de fabricación de tuberías de gres vitrificado de Europa (excepto Reino Unido) y los datos operativos de horno de túnel correspondientes (en la sección superior de la tabla) [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001].

Tabla 3.12. Concentración máxima de gas limpio en la fabricación de tuberías de gres vitrificado

| Foco de emisión | Horno de túnel |
|---|----------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 4000-18.000 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 160-200 |

| Componente de emisión | Concentración máxima de gas limpio (mg/m ³) |
|---|---|
| Polvo | 30 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 200 |
| SO _x expresado como SO ₂ | 200 |
| CO | 200 |
| Compuestos fluorados gaseosos inorgánicos, expresados como HF | 5 |
| Compuestos clorados gaseosos inorgánicos, expresados como HCl | 30 |

En Reino Unido, se han observado concentraciones de flúor máximas de hasta 10 mg/m³ debido a que el valor límite de emisión más alto es de 10.

Las emisiones a la atmósfera no sólo se producen durante el proceso de cocción, sino también durante estas otras etapas del proceso de fabricación [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]:

- durante el almacenamiento de las materias primas y el transporte interno se producen emisiones de polvo en las unidades de almacenamiento, pesaje, transporte y manipulación;
- en determinadas circunstancias se pueden producir emisiones gaseosas en el proceso de secado. Si en el proceso de secado del barro crudo se emplea el excedente de calor del horno, lo que incluye gases de combustión de la zona de cocción, y si no se aplican sistemas de calefacción cerrados, se pueden producir emisiones de flúor;
- si el esmaltado se lleva a cabo mediante pulverización, es posible que aparezcan emisiones de polvo en este paso del proceso;
- algunos productos de tuberías de gres vitrificado se desbastan después del proceso de cocción. Por lo tanto, el polvo también se puede originar en los procesos de desbastado.

Vertidos al agua

En la fabricación de tuberías de gres vitrificado aparecen las aguas residuales del proceso de fabricación durante la limpieza de las unidades de preparación de materias primas y de las unidades de esmaltado, así como del desbastado por vía húmeda. El agua se suele reutilizar en circuitos cerrados. Se recoge el exceso de esmalte y se devuelve al ciclo de producción. [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005]. No se dispone de datos relativos a los vertidos al agua.

Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

- se pueden romper artículos durante las distintas etapas del proceso de fabricación (en concreto moldeado, secado, cocción y tratamiento posterior);
- se puede producir lodo de la preparación de las materias primas (limpieza de las unidades), de la limpieza de las unidades de esmaltado y también del desbastado por vía húmeda;
- en el proceso de embalaje aparecen residuos, como plásticos, restos de papel y chatarra;
- en las unidades de limpieza de los gases residuales se genera polvo, lodo y agentes de adsorción usados.

Parte de los materiales perdidos durante todo el proceso de fabricación pueden reciclarse y reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables internamente se desechan y se entregan a empresas externas para su reciclado o su eliminación [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

3.3.2.2. DATOS DE CONSUMO

Consumo de energía

El consumo de energía específico en la fabricación de tuberías de gres vitrificado se describe en la siguiente tabla. Se establece una distinción entre el consumo de energía específico para el aprovisionamiento de la materia prima mineral y la energía, y para la fabricación de las tuberías. Los materiales minerales son arcilla, agentes de apertura y esmalte, y el medio de energía es el gas natural. El consumo de electricidad, en relación con la energía primaria, abarca todo el proceso de fabricación, incluidas las unidades de planta secundarias, la iluminación, etc. Los datos empleados son válidos para el 90% de la producción de Alemania. Los niveles de consumo para tuberías de gres vitrificado pequeñas (DN 100/DN 150), medianas (DN 200/DN 300) y grandes (DN 500) se presentan por separado [4, UBA, 2001].

Tabla 3.13. Consumo de energía específico en la fabricación de tuberías de gres vitrificado

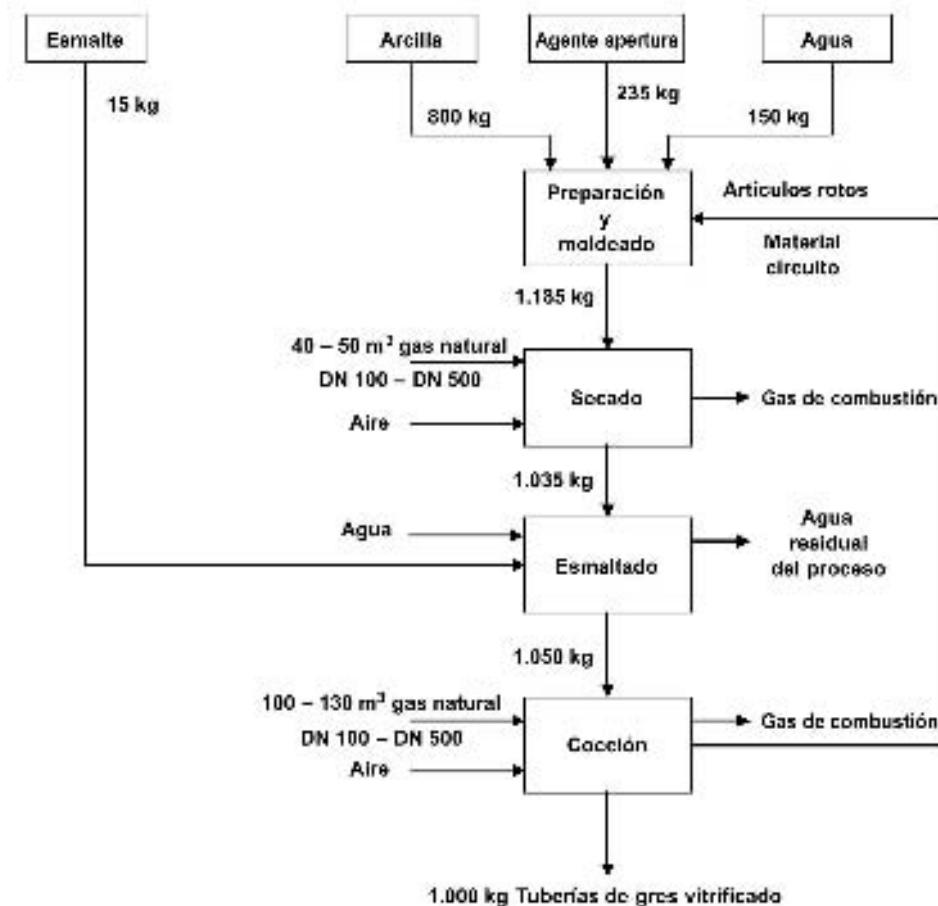
| | DN 100, DN 150 (MJ/kg) | DN 200, DN 300 (MJ/kg) | DN 500, accesorios (MJ/kg) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Aprovisionamiento | | | |
| Materias primas minerales | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| Gas natural | 0,41 | 0,49 | 0,56 |
| Producción | | | |
| Preparación | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| Secado | 1,22 | 1,44 | 1,66 |
| Cocción | 3,06 | 3,60 | 4,14 |
| Electricidad | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| Total | 6,19 | 7,03 | 7,86 |

En este contexto, véase también la Tabla 2.7.

Consumo de agua y materias primas

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de datos de consumo de agua y materias primas para la fabricación de tuberías de gres vitrificado como un diagrama de flujo másico [4, UBA, 2001].

Figura 3.5. Ejemplo de flujo másico para la fabricación de tuberías de gres vitrificado



3.3.3. Productos refractarios

3.3.3.1. DATOS DE EMISIONES

En la fabricación de productos refractarios se producen emisiones a la atmósfera y al agua, pérdidas/residuos del proceso de fabricación y también emisiones de ruidos. En esta sección se presentan los intervalos de emisiones de contaminantes gaseosos para la cocción de productos refractarios. También se describen las emisiones a la atmósfera de otras fases del proceso, los vertidos al agua y las pérdidas del proceso de fabricación.

Emisiones a la atmósfera

En el proceso de cocción se producen emisiones importantes a la atmósfera en la fabricación de materiales refractarios.

En la siguiente tabla se muestran los intervalos de los datos operativos (en la sección superior de la tabla) y los valores de gas crudo correspondientes para los procesos de cocción de horno de túnel de los diferentes productos refractarios [4, UBA, 2001].

Tabla 3.14. Valores de gas crudo de diferentes productos refractarios

| Foco de emisión | Horno de túnel | | |
|---|------------------------------------|--------------|--------------|
| Producto | Magnesita | Alta alúmina | Silice |
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 15.000–25.000 | 9.000–17.000 | 8.000–12.000 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 250–400 | 120–250 | 150–250 |
| Componente de emisión | Concentración (mg/m ³) | | |
| Producto | Magnesita | Alta alúmina | Silice |
| Polvo | 8-35 | 5-80 | 10-25 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 110-470 | 30-250 | 5-100 |
| SO _x expresado como SO ₂ | 90-580 | 10-430 | 20-150 |
| CO | 12-180 | 30-150 | 10-50 |
| Compuestos fluorados gaseosos inorgánicos, expresados como HF | 0,5-1,5 | 5-50 | 1-3 |

La tabla siguiente muestra los intervalos de emisiones de hornos para productos refractarios no básicos [3, CERAME-UNIE, 2003].

Tabla 3.15. Emisiones de hornos para productos refractarios no básicos

| Componente de emisión | mg/m ³ |
|-----------------------|-------------------|
| Polvo | 44-113 |
| SO ₂ | 260-490 |
| NO _x | 25-200 |
| Fluoruro, HF | 0,4-2,5 |
| CO ₂ | 1-3 % de vol. |

En procesos especiales (formación de enlaces de carbono o impregnación con brea) se forman productos de descomposición específicos (amoníaco, formaldehído, fenol, etc.) según los agentes aglutinantes especiales (brea, resina, etc.). En la siguiente tabla se presentan ejemplos de valores de gas crudo para los procedimientos especiales [4, UBA, 2001].

Tabla 3.16. Valores de gas crudo para procedimientos especiales

| Componente de emisión (mg/m ³) | Cámara de endurecimiento | Horno de templado | | Revestimiento de brea |
|--|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| | Enlace de resina* | Enlace de resina* | Enlace de brea** | Enlace de brea** |
| Amoníaco | 2.500 | 20 | — | — |
| Formaldehído | 25 | 10 | — | — |
| Fenol | 350 | 80 | — | — |
| Sustancias orgánicas expresadas como C total | >3.000 | 1.000 | 2.500 | 1.500 |

* Resina de fenol-resol.

** Los valores de C total incluyen hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH).

Las emisiones a la atmósfera no sólo se producen durante el proceso de cocción, sino también durante las siguientes etapas del proceso de fabricación [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]:

- durante el almacenamiento de las materias primas y el transporte interno, se producen emisiones de polvo en las unidades de almacenamiento, pesaje, transporte y manipulación;
- las emisiones de polvo aparecen en los procesos de preparación de las materias primas
- durante el moldeado en las prensas aparecen las emisiones de polvo, así como los vapores, de los agentes aglutinantes y aditivos;
- en determinadas circunstancias se pueden producir emisiones gaseosas en el proceso de secado. Si en el proceso de secado del barro crudo se emplea el excedente de calor del horno, lo que incluye gases de combustión de la zona de cocción, y si no se aplican sistemas de calefacción cerrados, se pueden producir emisiones de contaminantes gaseosos orgánicos e inorgánicos;
- algunos productos refractarios se desbastan después del proceso de cocción. Por lo tanto, el polvo también se puede originar en los procesos de desbastado.

Vertidos al agua

En la fabricación de productos refractarios pueden aparecer aguas residuales del proceso de fabricación durante la limpieza de las unidades de preparación de materias primas y de las unidades de moldeo, así como del desbastado por vía húmeda. El agua se suele reutilizar en circuitos cerrados [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]. No se dispone de datos relativos a los vertidos al agua.

Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

- se pueden romper artículos durante las distintas etapas del proceso de fabricación (en concreto moldeado, secado, cocción y tratamiento posterior);
- puede aparecer lodo de la preparación de las materias primas (limpieza de las unidades), de la limpieza de las unidades de moldeo y también del desbastado por vía húmeda;
- pueden aparecer moldes de yeso usados y rotos por la aplicación de un proceso de colada en barbotina;
- en el proceso de embalaje aparecen residuos, como plásticos, restos de papel y chatarra;
- en las unidades de limpieza de los gases residuales se genera polvo, lodo y agentes de adsorción usados.

Parte de los materiales perdidos durante todo el proceso de fabricación pueden reciclarse y reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables internamente se desechan y se entregan a empresas externas para su reciclado o su eliminación [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

3.3.3.2. DATOS DE CONSUMO

Consumo de energía

La Tabla 3.17 muestra los intervalos de datos de consumo específico de energía para las distintas etapas en la fabricación de ladrillos refractarios de magnesia [1, BMLFUW, 2003], [17, Burkart, 2004].

En este contexto, véanse también la Tabla 2.9, la Tabla 2.10, la Tabla 2.11 y la Tabla 2.12.

Tabla 3.17. Datos de consumo de energía para la fabricación de ladrillos refractarios de magnesia, por kilo de producto

| Proceso | MJ/kg |
|---------------------------------|-------------|
| Preparación, cribado | 0,35-0,50 |
| Pesaje, dosificación, mezcla | 0,045-0,070 |
| Moldeado | 0,13-0,20 |
| Secado, cocción | 3,0-6,3 |
| Tratamiento posterior, embalaje | 0,08 |

Consumo de agua y materias primas

En la Figura 3.6 de la página siguiente se muestra un ejemplo de datos de consumo de agua y materias primas de productos refractarios como un diagrama de flujo másico para la fabricación de ladrillos periclasa-cromito [4, UBA, 2001].

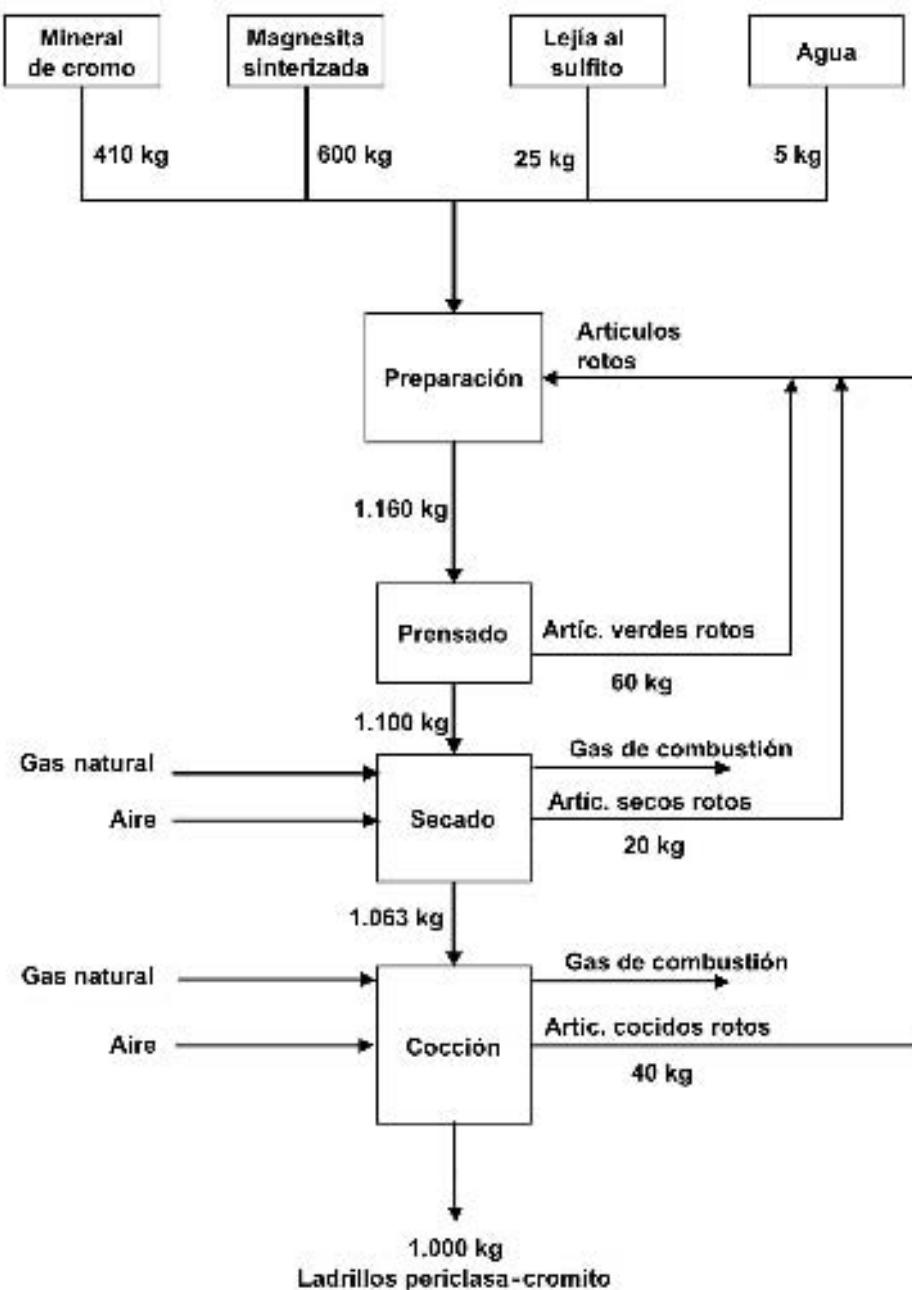
3.3.4. Agregados de arcilla expandida**3.3.4.1. DATOS DE EMISIONES**

En la fabricación de agregados de arcilla expandida se producen emisiones a la atmósfera y al agua, pérdidas/residuos del proceso de fabricación y también emisiones de ruidos. En esta sección se presentan los intervalos de emisiones de contaminantes gaseosos para las etapas del proceso de primera trituración, desbastado por vía seca, granulación, proceso de cocción, cribado y procesamiento de arena. También se describen las emisiones a la atmósfera de otras etapas del proceso, los vertidos al agua y las pérdidas del proceso de fabricación.

Emisiones a la atmósfera

En la fabricación de agregados de arcilla expandida se originan emisiones a la atmósfera durante el almacenamiento, el transporte de materias primas, la primera trituración y el desbastado en seco de la arcilla cruda, la granulación, durante el proceso de cocción (expansión real) y también del cribado y procesamiento de arena. En el almacenamiento y la manipulación de materias primas y agregados ligeros (LWA) y en el tráfico de vehículos in situ las emisiones son, principalmente, de naturaleza difusa.

Figura 3.6. Ejemplo de flujo masico para la fabricación de ladrillos periclasa-cromito



Almacenamiento y transporte de materias primas:

Durante el almacenamiento y el transporte de materias primas se producen emisiones de polvo en los puntos de transferencia de la cinta y en los sistemas de almacenamiento dependiendo de las características de la materia prima.

Primera trituración:

La operación de primera trituración, que se aplica en la técnica para tipos de arcilla bastante secas (proceso de semisecado), genera emisiones de polvo. La tabla siguiente muestra los intervalos de valores de emisiones de polvo que se originan en la parte descendente de primera trituración de un filtro de tejido [26, UBA, 2005].

Tabla 3.18. Intervalos de valores de emisiones de polvo de la parte descendente de primera trituración de un filtro de tejido

| Primera trituración | Valores |
|---------------------|---|
| Polvo | 0,7-3,4 mg/m ³ ¹⁾ |

¹⁾ Basado en gas residual seco (273 K, 1.013 hPa).

Desbastado por vía seca:

Durante el proceso de desbastado por vía seca que se aplica en la técnica para tipos de arcilla bastante seca, se generan dióxidos de azufre y óxidos de nitrógeno por la combustión de fueloil pesado, además de polvo. La tabla siguiente muestra los intervalos de valores de emisiones reales que se originan en la parte descendente del desbastado por vía seca del sistema de filtro correspondiente [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.19. Intervalos de valores de emisiones reales de la parte descendente de desbastado por vía seca del sistema de filtro correspondiente

| | |
|---|--|
| Parte descendente de polvo del precipitador electrostático o filtro de tejido | 6-50 mg/m ³ ^{1) 2)} |
| Dióxido de azufre | 0,02-0,20 g/m ³ ¹⁾ |
| Óxidos de nitrógeno, expresados como NO ₂ | 0,11-0,14 g/m ³ ¹⁾ |

¹⁾ Basado en el gas de combustión con humedad y el 17% por volumen de O₂ (273 K, 1.013 hPa).

²⁾ Valores medios anuales.

Granulación:

La granulación que se aplica en la técnica para tipos de arcilla bastante seca, produce emisiones de polvo. La tabla siguiente presenta los intervalos de valores de emisiones de polvo que se originan en la parte descendente de granulación de un filtro de tejido [26, UBA, 2005].

Tabla 3.20. Intervalos de valores de emisiones de polvo de la parte descendente de granulación de un filtro de tejido

| Granulación | Valores |
|-------------|--------------------------------------|
| Polvo | 5-15 mg/m ³ ¹⁾ |

1) Basado en gas de combustión seco (273 K, 1.013 hPa).

Proceso de cocción:

La tecnología del proceso y los combustibles empleados en la fabricación de agregados de arcilla expandida sólo tienen una influencia limitada en las emisiones en una planta. El parámetro principal es la calidad de las materias primas. Las emisiones orgánicas y de dióxido de azufre relacionadas con las materias primas (normalmente pírita y marcasita) en el gas crudo forman parte del proceso de expansión real.

La tabla siguiente muestra los intervalos de valores de emisiones, que se originan en los procesos de cocción y secado, en la parte descendente de los sistemas de filtro correspondientes (precipitador electrostático y limpieza de gases de combustión en húmedo) [26, UBA, 2005] [28, Schorcht, 2005] [30, TWG Ceramics, 2005]:

Tabla 3.21. Intervalos de valores de emisiones de la parte descendente de los procesos de cocción de los sistemas de filtro correspondiente

| Parámetro | Unidad | Valor de emisión |
|-----------------|-------------------|------------------|
| Polvo | mg/m ³ | 9-200 |
| SO ₂ | mg/m ³ | 200-2000 |
| NO _x | mg/m ³ | 120-930 |
| HCl | mg/m ³ | 2,7-250 |
| HF | mg/m ³ | 0,4-20 |
| CO | mg/m ³ | 50-2600 |
| TOC | mg/m ³ | 10-800 |
| Dioxinas | ng/m ³ | <0,1 |

Datos con un nivel de O₂ normal 13-16 % de vol. Sólo mediciones limitadas para componentes distintos del polvo y SO₂.

Otro ejemplo de conjunto de datos de los valores de gases residuales de un proceso de cocción de agregados de arcilla expandida en un horno rotativo (técnica Leca), que está equipado con un precipitador electrostático para extraer el polvo, muestra lo siguiente [17, Burkart, 2004]:

- polvo: menos de 50 mg/m³
- SO_X: 1.700-1.800 mg/m³ (contenido en azufre en la materia prima de más del 0,75%)
- flúor expresado como HF: menos de 5 mg/m³.

Cribado y procesamiento de arena:

Las emisiones de polvo se producen durante el cribado de los distintos grupos de tamaño de partícula y durante el procesamiento de arena. La tabla siguiente muestra un intervalo de valores de emisiones de polvo de unidades de cribado [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.22. Valores de emisiones de polvo de las unidades de cribado

| Parámetro | Unidad de cribado I (con trituradora de arena) |
|-----------|---|
| Polvo | 4,3-50,0 mg/m ³ |

Vertidos al agua

Actualmente, en algunas plantas se utilizan lavadores de gases húmedos. La tabla siguiente muestra valores en efluente como medias semanales [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.23. Valores de efluentes de lavadores de gases húmedos

| Parámetro | Valores |
|-----------------------|----------|
| pH | 6-9 |
| Sólidos en suspensión | ≤50 mg/l |

El agua se utiliza principalmente en la preparación (y moldeado) de las materias primas.

Los vertidos al agua no son relevantes porque no se generan aguas residuales en la fabricación de arcilla expandida. El agua de refrigeración de los sistemas de

horno pasa por un separador de aceite y se devuelve al circuito de refrigeración. Toda el agua del proceso de fabricación se evapora en el proceso de secado.

Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

En la fabricación de arcilla expandida no se generan pérdidas del proceso de fabricación en forma de residuos. Las partículas cribadas, tanto de gran tamaño como muy pequeñas, retornan a las trituradoras de arena. Todo el polvo recogido se devuelve al proceso de fabricación. El yeso generado durante la limpieza de los gases de combustión se utiliza en la industria del cemento como regulador del endurecimiento.

3.3.4.2. DATOS DE CONSUMO

Consumo de energía

El consumo de energía para el desbastado por vía seca, que se aplica al procesamiento de tipos de arcilla bastante seca (proceso de semisecado) es aproximadamente de 217 MJ/m³. Corresponde aproximadamente al 20% del consumo total de energía térmica del proceso de fabricación global de tipos de arcilla bastante seca (en el proceso de fabricación de arcilla con un elevado contenido en humedad, no se realiza el desbastado por vía seca). El consumo de energía eléctrica para el desbastado por vía seca es aproximadamente de 26,3 MJ/m³.

El consumo de energía para el proceso de cocción es aproximadamente de 900 a 1.300 MJ/m³, según la materia prima (contenido en humedad de la arcilla), la tecnología de producción y la capacidad de producción [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

El consumo de energía específico general va de 43 a 83 MJ/m³, según el peso a granel, las propiedades de las materias primas y la tecnología de producción (preparación de la arcilla, tecnología de proceso térmico) [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Consumo de agua y materias primas

En la siguiente tabla se ofrece un ejemplo de la mezcla de material empleada en la producción de agregados de arcilla expandida [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.24. Mezcla de materias primas en la producción de agregados de arcilla expandida

| Material | Cantidad % por peso | Finalidad |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| Arcilla (seca) | >90 | Materia prima |
| Óxido de hierro | 0-8 | Fundente |
| Piedra caliza/polvo de dolomita | 0,5-3 | Agente de desmoldeo |
| Transportador de carbono | 0-1 | Agente de expansión |

3.3.5. Pavimentos y revestimientos

3.3.5.1. DATOS DE EMISIONES

En el proceso de fabricación de pavimentos y revestimientos esmaltados y sin esmaltar se producen emisiones a la atmósfera y al agua, pérdidas/residuos del proceso de fabricación y también emisiones de ruidos. En esta sección se presentan los intervalos de emisiones de contaminantes gaseosos para los principales pasos de proceso. También se describen las emisiones a la atmósfera de otras fases del proceso, los vertidos al agua y las pérdidas del proceso de fabricación.

Emisiones a la atmósfera

Las emisiones de la molturación de las materias primas constan principalmente de partículas de las materias primas, como arcilla, cuarzo y feldespato. En la molturación en seco, el caudal de emisiones es aproximadamente de 6 Nm³ de aire por kilogramo de materia prima (MP) procesada y el factor de emisiones de partículas (polvo) es de 50 g/kg MP. En la molturación en húmedo, el caudal de emisiones también es aproximadamente de 6 Nm³ de aire/kg MP con un factor de emisiones aproximadamente de 15 g de polvo/kg MP. Estos factores de emisiones hacen referencia a los flujos de gases residuales sin limpiar.

En el proceso de producción de granulado prensado se genera polvo, óxido de nitrógeno, óxidos de azufre, monóxido de carbono y dióxido de carbono como emisiones contaminantes al aire. Las operaciones de limpieza en la sección de esmaltado crean suspensiones acuosas que contienen materiales cerámicos. Estas suspensiones se añaden a las barbotinas de secado. En las emisiones que proceden de las barbotinas de secado, se tienen que tener en cuenta los elementos como boro, cloro y plomo. La capacidad de evaporación de los secaderos atomizadores llega hasta 20.000 l/h. En la siguiente tabla se muestran los intervalos típicos de los datos operativos (en la sección superior de la tabla) y los valores de gas crudo de las emisiones importantes que se originan en el secado por pulverización de la barbotina del cuerpo [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.25. Datos operativos y valores de gas crudo de las unidades de secado por pulverización

| Foco de emisión | Secadero atomizador |
|--|------------------------------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 30.000-200.000 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 60-130 |
| Humedad (m ³ _{agua} /m ³ _{total}) | 0,13-0,20 |
| Oxígeno (%) | 16-20 |
| Componente de emisión | Concentración (mg/m ³) |
| Polvo | 150-1500 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 5-300 |
| CO | 2-50 |
| Compuestos clorados, expresados como HCl | 1-5 |
| Boro | <0,3 |
| Plomo | <0,15 |
| CO ₂ | 1,5-4,0 % de vol. |

Desde el punto de vista del consumo de energía el uso de instalaciones de secado por pulverización con unidades de cogeneración es posible y adecuado, pero los gases de combustión crudos procedentes de estas unidades normalmente contienen más NO_x (entre 50 y 800 mg/m³, expresado como NO₂) [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

En el moldeado de piezas por prensado, el caudal de emisiones es aproximadamente de 5 Nm³ aire/kg MP y el factor de emisiones es aproximadamente de 7 g polvo/kg MP, en relación con el gas residual sin limpiar. Según el tamaño de la prensa, los flujos de gases residuales se sitúan entre 2.000 y 4.000 m³/h a temperaturas que oscilan entre 20 y 30 °C. Despues del prensado aparecen emisiones de polvo adicionales en las unidades de pulido. En los procesos de extrusión, sólo se procesan las masas húmedas, por lo que no aparecen emisiones de polvo.

En la siguiente tabla se muestran los intervalos de los datos operativos (en la sección superior de la tabla) y los intervalos de emisiones correspondientes en gases residuales sin limpiar de los secaderos (los datos corresponden a secaderos verticales y horizontales) [3, CERAME-UNIE, 2003], [10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005], [21, Almeida, 2004].

Tabla 3.26. Datos operativos y valores de gas crudo de los secaderos

| Foco de emisión | Secadero |
|--|-------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 2.000-7.000 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 50-190 |
| Humedad (m ³ _{agua} /m ³ _{total}) | 0,04-0,11 |
| Oxígeno (%) | 16-20 |

| Componente de emisión | Concentración |
|-----------------------|------------------------|
| Polvo | 5-25 mg/m ³ |
| CO ₂ | 1-3 % de vol. |

Las partículas que se encuentran en las emisiones del secadero son el resultado de las partículas de polvo adheridas al cuerpo y del polvo procedente de baldosas rotas en secaderos que llegan con los gases de combustión. Las temperaturas relativamente bajas de estas instalaciones, normalmente inferiores a 300 °C, impiden la formación de óxido de nitrógeno en este proceso.

Las emisiones gaseosas y de partículas que se originan en el esmalte dependen de la técnica de aplicación y de la composición del esmalte. En general, las emisiones gaseosas pueden aparecer en el proceso de pulverización y en el proceso de preparación del esmalte. Las características físico-químicas de estas emisiones son muy variables como resultado de la gran diversidad de esmaltes empleados. El polvo que aparece en el esmalteado y en la preparación del esmalte se caracteriza por la presencia de silicio, boro, circonio, sodio, plomo, litio, potasio, bario, calcio, magnesio, cinc y aluminio. El caudal de emisiones es aproximadamente de 5 Nm³ aire/kg de esmalte procesado y el factor de emisiones es aproximadamente de 0,5 g polvo/kg de esmalte procesado, en relación con el gas residual sin limpiar. El flujo de los gases residuales es, como máximo, de 7.000 m³/h a una temperatura aproximada de 30 °C.

En la Tabla 3.27 se presentan los intervalos de datos operativos (en la sección superior de la tabla) y los intervalos correspondientes de los valores de gas crudo de los hornos de solera con rodillos [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005], [21, Almeida, 2004].

Una concentración de flúor en la arcilla de entre 500 y 800 mg/kg genera las emisiones de flúor mencionadas anteriormente. En el proceso de cocción, el boro de las emisiones procede del uso de esmalte que contiene compuestos de boro. El

Tabla 3.27. Datos operativos y valores de gas crudo de la cocción

| Foco de emisión | Horno de solera con rodillos |
|---|------------------------------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 5.000-15.000 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 130-300 |
| Humedad (m ³ agua/m ³ total) | 0,05-0,1 |
| Componente de emisión | Concentración (mg/m ³) |
| Polvo | 5-30 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 5-150 |
| SO _x expresado como SO ₂ | 1-300 |
| CO | 1-15 |
| Compuestos fluorados, expresados como HF | 5-60 |
| Compuestos clorados, expresados como HCl | 20-150 |
| Boro | <0,5 |
| Plomo | <0,15 |
| CO ₂ | 1,5-4,0 % de vol. |

boro y el cloro de las emisiones puede proceder del agua de las baldosas (el boro sólo procede del agua reciclada y el cloro también puede proceder del agua dulce de la red pública) que, posteriormente, se evapora en las primeras etapas de cocción. La concentración de plomo es bastante pequeña y procede básicamente de la vaporización de un grupo menor de esmaltes que contienen este elemento [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

En la siguiente tabla, que representa la situación en Italia, se muestra una comparativa entre los factores de emisiones contaminantes para las emisiones controladas (valores de gas limpio) y los correspondientes factores de emisiones contaminantes para las emisiones no controladas (parte ascendente de las plantas de control de contaminación) de las distintas etapas (fases) de los procesos de fabricación de pavimentos y revestimientos. Los factores de emisiones hacen referencia a la unidad de salida de la fase correspondiente [6, Timellini, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.28. Emisiones gaseosas de las diferentes fases de los procesos de fabricación de pavimentos y revestimientos. Factores de emisiones contaminantes para las emisiones no controladas (NC) y controladas (C)

| Emisiones gaseosas procedentes de | | Caudal específico (Nm³/kg) | Factores de emisiones contaminantes FEC (g/kg) | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--|-----------|--------------------------|------------|---------------------------|-----------|--|
| Fase | Operación | | Polvo (partículas) | | Compuestos de plomo (Pb) | | Compuestos fluorados (HF) | | |
| | | | NC | C | NC | C | NC | C | |
| Preparación del cuerpo | Desbastado por vía seca | 6 | 40-60 | 0,05-0,1 | | | | | |
| | Desbastado por vía húmeda | 6 | 10-20 | 0,02-0,1 | | | | | |
| | Secado por pulverización | 5 | 5-10 | 0,1-0,2 | | | | | |
| Moldeado | Prensado | 5 | 5-10 | 0,01-0,05 | | | | | |
| Preparación y aplicación del esmalte | | 5 | 0,5-1,0 | 0,02-0,03 | | | | | |
| Cocción | | 3-6 | 0,1-0,5 | 0,01-0,02 | 0-0,1 | 0,001-0,01 | 0,1-0,5 | 0,01-0,05 | |

NC = emisiones no controladas; C = emisiones controladas.

Las emisiones a la atmósfera en forma de polvo también pueden aparecer durante el almacenamiento de las materias primas y el transporte interno, donde las emisiones de polvo aparecen en las unidades de almacenamiento, pesaje, transporte y manipulación. Normalmente, los pavimentos y revestimientos se desbastan después del proceso de cocción. Por lo tanto, el polvo también se puede originar en los procesos de desbastado [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

Vertidos al agua

En la fabricación de pavimentos y revestimientos aparecen las aguas residuales del proceso de fabricación durante la limpieza de las unidades de preparación de materias primas y de las unidades de esmalte, así como del proceso de desecación con prensas de filtro y filtros de rotación, y del desbastado por vía húmeda. El agua se suele reutilizar en circuitos cerrados. Se recoge el exceso de esmalte y se devuelve al ciclo de producción [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

En la Tabla 3.29 se muestran detalles de la composición estándar de las aguas residuales del proceso de fabricación sin tratar que aparecen en las instalaciones de fabricación de pavimentos y revestimientos. El agua suele ser agua de limpieza de las unidades de esmalte por lo que la concentración de sustancias depende, en gran medida, de la composición del esmalte [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998].

Tabla 3.29. Análisis químico de las aguas residuales del proceso de fabricación sin tratar

| Parámetro | Intervalo (mg/l) | Parámetro | Intervalo (mg/l) |
|-----------------------|------------------|-----------|------------------|
| pH | 7-9 | Calcio | 5-500 |
| Materia en suspensión | 1.000-20.000 | Boro | 1-60 |
| Materia sedimentable | 5-30 | Plomo | <5 |
| COD | 100-400 | Sodio | 50-500 |
| BOD ₅ | 40-60 | Potasio | 1-50 |
| Fluoruros | <2 | Silicio | 5-30 |
| Cloruros | 300-700 | Aluminio | <2 |
| Sulfatos | 100-1.000 | Hierro | <0,5 |
| Magnesio | 10-100 | Cinc | <2 |

Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

- se pueden romper artículos durante las distintas etapas del proceso de fabricación (en concreto moldeado, secado, cocción y tratamiento posterior)
- se puede producir lodo de la preparación de las materias primas (en concreto, limpieza de las unidades), de la limpieza de las unidades de esmaltado y también del desbastado por vía húmeda
- en el proceso de embalaje aparecen residuos, como plásticos, restos de papel y chatarra
- en las unidades de limpieza de los gases residuales se genera polvo, lodo y agentes de adsorción usados

Parte de los materiales perdidos durante todo el proceso de fabricación pueden reciclarse y reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables internamente se desechan y se entregan a empresas externas para su reciclado o su eliminación [4, UBA, 2001],[17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

La cantidad y la composición del lodo procedente de las unidades de tratamiento de las aguas residuales del proceso de fabricación varían considerablemente debido a los distintos tipos de procesos de fabricación. En la Tabla 3.30 se muestran los intervalos de los principales componentes químicos del lodo [3, CERAME-UNIE, 2003],[4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998].

La cantidad de lodo producido en una instalación de pavimentos y revestimientos oscila entre 0,09-0,15 kg/m² de producto acabado en seco. Para un producto con una masa corporal de 15-20 kg/m², esto equivale a 0,4-1,0% (kg lodo seco/kg cuerpo cerámico).

Tabla 3.30. Intervalos de los principales componentes químicos del lodo (fabricación de pavimentos y revestimientos)

| Sustancia | Intervalo (% peso) | Sustancia | Intervalo (% peso) |
|--------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| SiO ₂ | 40-60 | K ₂ O | 0,5-3,0 |
| Al ₂ O ₃ | 5-15 | TiO ₂ | 0-7 |
| B ₂ O ₃ | 0-10 | ZnO | 1-8 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,1-5,0 | BaO | 0,1-3,0 |
| CaO | 5-15 | PbO | 0,1-15 |
| MgO | 0,5-3,0 | ZrO ₂ | 1-15 |
| Na ₂ O | 0,5-3,0 | | |

3.3.5.2. DATOS DE CONSUMO

Consumo de energía para secado por pulverización

Los valores típicos de consumo de energía térmica para el proceso de secado por pulverización de pavimentos y revestimientos oscilan entre 980 y 2200 KJ/kg [23, TWG Ceramics, 2005].

Consumo de energía para secado

Por lo general, la potencia de calentamiento del secadero es baja porque el calor residual del horno se utiliza para el calentamiento. Los secaderos calentados eléctricamente se utilizan en cierta medida. El flujo de gases de combustión de un secadero calentado eléctricamente oscila únicamente entre 100 y 300 m³/h [4, UBA, 2001].

Los valores de consumo de energía térmica típicos en el proceso de secado de pavimentos y revestimientos oscilan entre 250 y 750 kJ/kg (basados en el bajo valor calorífico del gas natural y del volumen de gas a 15°C y 1.013 mbares). En lo que se refiere a las baldosas de clase BIB-II, también son posibles los valores de consumo de más de 1.400 kJ/kg [3, CERAME-UNIE, 2003].

Consumo de energía para cocción

En la siguiente tabla se comparan los requisitos de energía específicos de los distintos tipos de hornos (hornos de túnel y hornos de solera con rodillos). Los valores hacen referencia a una temperatura de 1.150°C. Los intervalos de la energía necesaria se indican para las baldosas cocidas una vez (1x) y las cocidas dos veces (2x) [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.31. Ejemplos de requisitos de energía específicos de los diferentes hornos

| Tipo de horno | Intervalo (kJ/kg) |
|-----------------------------------|-------------------|
| Horno de túnel (2x) | 5.920-7.300 |
| Horno de túnel (1x) | 5.420-6.300 |
| Horno de solera con rodillos (2x) | 3.400-4.620 |
| Horno de solera con rodillos (1x) | 1.900-4.800 |

En este contexto, véase también la Tabla 2.14.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa del consumo específico de energía eléctrica y energía eléctrica por cada etapa del proceso (fase). Los datos hacen referencia a las plantas de Italia más importantes en lo que se refiere a los requisitos de energía [6, Timellini, 2004].

Tabla 3.32. Comparativa del consumo específico de la energía térmica y la energía eléctrica para cada etapa del proceso

| Fase | Operación | Consumo de gas natural específico (GJ/t) | Consumo de energía eléctrica específico (GJ/t) |
|------------------------|---------------------------|--|--|
| Preparación del cuerpo | Desbastado por vía seca | | 0,04-0,07 |
| | Desbastado por vía húmeda | | 0,05-0,35 |
| | Secado por pulverización | 1,1-2,2 | 0,01-0,07 |
| Moldeado | Prensado | | 0,05-0,15 |
| Secado | | 0,3-0,8 | 0,01-0,04 |
| Cocción | | 1,9-4,8 | 0,02-0,15 |

Consumo de agua y de materias primas

Según las materias primas empleadas, el tipo de proceso de fabricación y las propiedades de producto deseadas, se emplean distintas cantidades de agua y de materias primas.

Por ejemplo, en la preparación de cuerpos secos, la materia prima del cuerpo se molitura en seco en un molino de martillo o en un molino de tipo pendular. A continuación, la mezcla se humedece en un 7-12% por peso en seco. En este caso, el material granulado se seca hasta alcanzar un contenido de humedad del 6-7%.

En la preparación de cuerpos húmedos, la materia prima del cuerpo se molitura en húmedo en un molino de bolas mediante la mezcla de agua hasta alcanzar un contenido de humedad de entre el 42 y el 50% en seco. Posteriormente, se lleva a cabo la granulación con un proceso de secado por pulverización y el material granulado se seca hasta alcanzar un contenido de humedad del 5-6%.

Se puede observar que, al utilizar un proceso por vía húmeda, el consumo de agua es aproximadamente cuatro veces más alto que en el proceso por vía seca. Esto significa que la cantidad de agua empleada, que se puede reutilizar en el mismo proceso de preparación del cuerpo, es mayor en el método por vía húmeda que en el método por vía seca [10, Navarro, 1998] [23, TWG Ceramics, 2005].

3.3.6. Cerámica de mesa y de decoración (cerámica doméstica)

3.3.6.1. DATOS DE EMISIONES

En la fabricación de cerámica doméstica se producen emisiones a la atmósfera y al agua, pérdidas/residuos del proceso de fabricación y también emisiones de ruidos. En esta sección se presentan los intervalos de emisiones de contaminantes gaseosos para las etapas del proceso de secado y de cocción. También se describen las emisiones a la atmósfera de otras etapas del proceso, los vertidos al agua y las pérdidas del proceso de fabricación.

Emisiones a la atmósfera

En la siguiente tabla se muestran los datos operativos típicos y los intervalos de emisiones de polvo de un secadero atomizador aplicado a la producción de granulado prensado para el sector de la cerámica doméstica.

Tabla 3.33. Datos operativos y valores de emisiones de polvo de gas limpio de un secadero atomizador

| Foco de emisión | Secadero atomizador |
|---|---------------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | hasta 10.000 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 60 |

| Componente de emisión | Concentración |
|-----------------------|-------------------------|
| Polvo | 20-30 mg/m ³ |

El polvo del secadero atomizador se separa en un filtro o en una combinación de un sistema ciclónico y un separador húmedo. En este contexto, también se debe mencionar que en numerosas plantas de cerámica doméstica modernas ya no se utilizan los secaderos atomizadores debido a que los proveedores ya entregan el granulado prensado con los parámetros necesarios [4, UBA, 2001].

En el proceso de cocción de bizcocho, aparecen sustancias orgánicas por la descomposición o evaporación de los agentes auxiliares. Se emiten a una temperatura aproximada de 400 °C en la zona de precalentamiento del horno. En este proceso puede aparecer benceno en una proporción de 1 mg/m³ [3, CERAME-UNIE, 2003]. En la siguiente tabla se presentan los intervalos de datos operativos (en la parte superior de la tabla) y las composiciones de gas crudo correspondientes que se producen en la cocción de la cerámica doméstica en hornos de túnel [4, UBA, 2001], [1, BMLFUW, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005], [27, VDI, 2004], [21, Almeida, 2004].

Tabla 3.34. Valores de gas crudo y datos operativos en la cocción de cerámica doméstica

| Foco de emisión | Horno de túnel |
|---|----------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 3.500-8.000 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 130-200 |

| Componente de emisión | Concentración (mg/m ³) | Concentración (mg/m ³) |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| Cocción | Cocción de bizcocho | Cocción de barnizado |
| Polvo | 0,3-6,0 | 0,3-6,0 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 13-110 | 20-150 |
| Compuestos fluorados gaseosos expresados como HF | 1-35 | 0,3-23 |
| Sustancias orgánicas expresadas como C total | hasta 40* | 3-18 |

* En el caso de prensado isostático, hasta 100 mg/m³.

Los compuestos fluorados inorgánicos gaseosos, que se enumeran en la Tabla 3.34, se desarrollan a temperaturas de 700 y 800 °C, debido a la descomposición de determinadas sustancias en las materias primas. La progresión de las emisiones de flúor desde un horno de túnel es constante, debido a la cocción de funcionamiento continuo.

En la siguiente tabla, se presentan los datos operativos (en la sección superior de la tabla) y los valores de gas crudo y limpio correspondientes (polvo y concentraciones de HF) derivados de la cocción de cerámica doméstica con un horno de túnel en un proceso de una sola vez. En este proceso de fabricación especial, los productos normalmente se cuecen sólo una vez y no es necesaria la precocción. La cocción tarda 20 horas a una temperatura de 1.260 °C y los gases de combustión del horno se limpian con un sistema de filtro de lecho de cal [13, SYKE, 2004], [17, Burkart, 2004], [22, SYKE, 2004].

Tabla 3.35. Valores de gas crudo y limpio en el proceso de cocción de una sola vez de cerámica doméstica

| Foco de emisión | Horno de túnel | |
|---|---|--|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 20.000 | |
| Temperatura de gases de combustión (°C)* | 137-156 | |
| O ₂ (%)* | 17,1-18,1 | |
| Componente de emisión | Concentración de gas crudo (mg/m ³)** | Concentración de gas limpio (mg/m ³) |
| Polvo | 0,9 | 0,9 |
| Compuestos fluorados gaseosos, expresados como HF | 7,0 | 0,224-0,293* |

* Tres mediciones.

** Temperatura de gases de combustión y contenido de O₂ no especificados.

En hornos que funcionan de forma discontinua, como los hornos de vagoneta, se emiten cantidades más elevadas de compuestos fluorados inorgánicos gaseosos a temperaturas de 800 a 1.150 °C y su volumen de gases de combustión oscila entre 5.000 y 20.000 m³/h.

Los gases de combustión de los procesos de cocción de cerámica doméstica también contienen otras sustancias contaminantes, como CO, CO₂ y SO_X y, si el artículo se cuece en un proceso de decoración adicional, también se deben tener en cuenta las emisiones derivadas de la cocción de decoración. El adhesivo y los aglutinantes de las imágenes de transferencia o la brea de los colores de pintura se queman en la cocción de decoración. En este proceso se generan sustancias orgánicas de olor intenso. Se pueden producir emisiones de metales pesados procedentes de los pigmentos de color inorgánicos (que constan de óxidos de metales pesados). En la siguiente tabla se muestran los sistemas de pigmentos típicos que se emplean como colores de decoración [4, UBA, 2001].

Tabla 3.36. Sistemas de pigmentos cerámicos empleados para los colores de decoración

| Color | Resistencia a 800 °C de temperatura | Resistencia a 1.200 °C de temperatura |
|----------|--|---|
| Verde | Óxido de cromo, espinela de cromo-cobalto | |
| Azul | Espinela de aluminio-cinc-cromo-cobalto, cobalto fundido | Circonio-vanadio azul |
| Amarillo | Plomo-antimonio amarillo | Estaño-vanadio amarillo |
| Negro | Espinela con hierro, cobalto, níquel, manganeso, cromo, cobre, vanadio, etc. | |
| Gris | Estaño-antimonio gris, circonio-(cobalto, níquel) gris | |
| Marrón | Espinela de hierro-cromo-cinc-manganeso, óxido de hierro | Circonio-hierro rosa |
| Rojo | Púrpura de Cassius, cadmio-(azufre, selenio) rojo | Estaño-cromo-(calcio, silicio) rosa, pigmento rojo cadmio |
| Blanco | Óxido de cerio, óxido de titanio | Óxido de estaño, silicato de circonio |

En la tabla siguiente se muestran los intervalos de datos operativos y las concentraciones de masa de componentes de metales pesados que aparecen en el proceso de cocción de decoración de la cerámica doméstica [4, UBA, 2001].

Tabla 3.37. Concentraciones de metales pesados en el gas crudo de la cocción de decoración

| Foco de emisión | Horno de cocción de decoración |
|---|--------------------------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 1.000-3.000 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | ~100 |

| Componente de metal pesado | Concentración (mg/m ³) |
|----------------------------|------------------------------------|
| Plomo | 0,002-2,750 |
| Cadmio | 0,003-0,070 |
| Cobalto | 0,054-0,260 |
| Níquel | 0,060-0,400 |

Las emisiones a la atmósfera no sólo se producen durante los procesos de secado por pulverización y cocción, sino también durante estas otras etapas del proceso de fabricación [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]:

- durante el almacenamiento de las materias primas y el transporte interno se producen emisiones de polvo en las unidades de almacenamiento, pesaje, transporte y manipulación;
- las emisiones de polvo aparecen en los procesos de preparación de las materias primas;
- las emisiones de polvo se producen en el proceso de moldeado de las masas secas (prensado);
- en determinadas circunstancias se pueden producir emisiones gaseosas en el proceso de secado. Si en el proceso de secado del barro crudo se emplea el excedente de calor, lo que incluye gases de combustión de la zona de cocción, y si no se aplican sistemas de calefacción cerrados, se pueden producir especialmente emisiones de flúor;
- las emisiones de polvo se pueden producir en los procesos de esmaltado y engobe, según la técnica de esmaltado o engobe aplicada;
- los productos de cerámica doméstica se desbastan después del proceso de cocción. Por lo tanto, el polvo también se puede originar en los procesos de desbastado.

Vertidos al agua

En la fabricación de cerámica doméstica aparecen las aguas residuales del proceso de fabricación durante la limpieza de las unidades de preparación de materias primas y de las unidades de moldeo, de los procesos de esmaltado y decoración, así como del proceso de desecación con prensas de filtro y filtros de rotación o del desbastado por vía húmeda. Esta agua residual del proceso de fabricación contiene los mismos componentes que las materias primas [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

En la Tabla 3.38 se muestra el análisis de aguas residuales del proceso de fabricación de un fabricante de cerámica de mesa de porcelana [4, UBA, 2001], [1, BMLFUW, 2003]. La limpieza de aguas residuales del proceso de fabricación se lleva a cabo por homogenización, flocculación, sedimentación, filtrado en un lecho de arena y ósmosis inversa para reducir la cantidad de aguas residuales del proceso de fabricación.

Otro ejemplo de un análisis de aguas residuales del proceso de fabricación de una planta de cerámica doméstica, que funciona principalmente con un proceso de cocción de una sola vez y donde las aguas residuales del proceso de fabricación proceden, en su mayoría, del proceso de esmaltado y de la preparación del cuerpo, se muestra en la Tabla 3.39 [13, SYKE, 2004], [17, Burkart, 2004], [22, SYKE, 2004].

Tabla 3.38. Análisis de aguas residuales del proceso de fabricación de un fabricante de cerámica de mesa de porcelana

| Parámetro | Unidad | De planta | Después de espesador | Después de filtro de arena | Concentración después de ósmosis inversa | Permeación después de ósmosis inversa |
|---|--------|-----------|----------------------|----------------------------|--|---------------------------------------|
| pH | | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 8,0 | 6,5 |
| Conductividad | µS/cm | 750 | 700 | 680 | 950 | 8 |
| Dureza total | dH | 12,0 | 11,5 | 12,0 | 15,0 | <0,5 |
| Residuo sólido de la evaporación a 135 °C | mg/l | 1.500 | 550 | 500 | 820 | 60 |
| Cloro | mg/l | 150 | 150 | 130 | 245 | <5 |
| Sulfato | mg/l | 100 | 100 | 110 | 280 | <10 |
| Fosfato | mg/l | 80,0 | 2,0 | 1,0 | 1,5 | 0,4 |
| Ácido silícico | mg/l | 200 | 15 | 10 | 25 | <0,1 |
| Calcio | mg/l | 70 | 70 | 65 | 245 | 0,3 |
| Magnesio | mg/l | 9 | 7 | 7 | 23 | <0,1 |
| Boro | mg/l | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 3,1 | <0,1 |
| Cinc | µg/l | 4.500 | <100 | <100 | <100 | <100 |
| Plomo | µg/l | 250.000 | 200 | 60 | 110 | <10 |
| Cadmio | µg/l | 60 | 2 | 2 | 3 | <1 |
| Cr, Cu, Ni, Co | µg/l | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| AOX | mg/l | 0,001 | — | — | 0,007 | <0,001 |
| COD | mg/l | 30 | — | — | 45 | <15 |

Tabla 3.39. Análisis de aguas residuales del proceso de fabricación de una planta de cerámica doméstica

| Parámetro | Unidad | Concentración antes del tratamiento | Concentración después del tratamiento | Reducción |
|------------------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------|
| pH | | 8,9 | 7,9 | |
| BOD ₇ | mg/l | 7,4 | 5,4 | 27,0 % |
| COD _{Cr} , O ₂ | mg/l | 142 | 25 | 82,4 % |
| Sólidos en suspensión | mg/l | 8.100 | 4,4 | 99,95 % |
| Cd | mg/l | 0,0015 | <0,0005 | >66,7 % |
| Co | mg/l | 12,0 | 0,020 | 99,83 % |
| Cr | mg/l | 0,130 | 0,004 | 96,9 % |
| Cu | mg/l | 0,110 | 0,029 | 73,6 % |
| Pb | mg/l | 0,190 | <0,010 | >94,7 % |
| Zn | mg/l | 4,0 | 0,220 | 94,5 % |
| Mn | mg/l | 0,200 | 0,035 | 82,5 % |

La limpieza de las aguas residuales del proceso de fabricación se lleva a cabo mediante un proceso de precipitación físico-química que consta de los siguientes pasos:

- balsa de compensación;
- adición de la mezcla química y rápida de precipitación;
- floculación;
- adición de polímero catiónico y floculación;
- sedimentación;
- espesamiento del lodo;
- secado del lodo con un filtro de presión.

El agua tratada es el sobrante de la balsa de sedimentación y el correspondiente volumen de aguas residuales es de 145 m³/día.

Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

- se pueden romper artículos durante las distintas etapas del proceso de fabricación (en concreto moldeado, secado, cocción y tratamiento posterior);
- se puede producir lodo de la preparación de las materias primas (en concreto, limpieza de las unidades), de la limpieza de las unidades de moldeo y esmalte y también del desbastado por vía húmeda;
- pueden aparecer moldes de yeso usados y rotos por la aplicación de un proceso de colada en barbotina;
- en el proceso de embalaje aparecen residuos, como plásticos, restos de papel y chatarra;
- en las unidades de limpieza de los gases residuales se genera polvo, lodo y los agentes de adsorción usados.

Parte de los materiales perdidos durante todo el proceso de fabricación pueden reciclarse y reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables internamente se desechan y se entregan a empresas externas para su reciclado o su eliminación [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

El lodo blanco del tratamiento de aguas residuales del proceso de fabricación consta de una mezcla de caolín, otras materias primas cerámicas tradicionales y una pequeña cantidad de yeso. Un análisis del lodo blanco muestra los siguientes componentes: SiO₂ (66-70%), Al₂O₃ (18-20%), Na₂O (0,1-2%), K₂O (3-3,5%), CaO (1-3%) [4, UBA, 2001].

3.3.6.2. DATOS DE CONSUMO

Consumo de energía

En la siguiente tabla se muestran los datos de consumo de energía térmica y eléctrica de un fabricante de cerámica de mesa de porcelana [1, BMLFUW, 2003].

Tabla 3.40. Datos de consumo de energía térmica y eléctrica de un fabricante de cerámica de mesa de porcelana

| Parámetro | Unidad | Valores |
|------------------------------|-------------------|---------|
| Consumo de energía eléctrica | MJ/kg de producto | 4,5 |
| Consumo de energía térmica | MJ/kg de producto | 70 |

En este contexto, véase también la Tabla 2.17 y la Tabla 2.18

Consumo de agua y materias primas

En la siguiente Figura 3.7 se muestra un ejemplo de datos de consumo de agua y materias primas para cerámica de mesa como un diagrama de flujo másico [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]. Se puede ver el flujo másico de los productos no decorados, secados previamente mediante prensas de filtro y fabricados en máquinas de torno.

3.3.7. Cerámica sanitaria

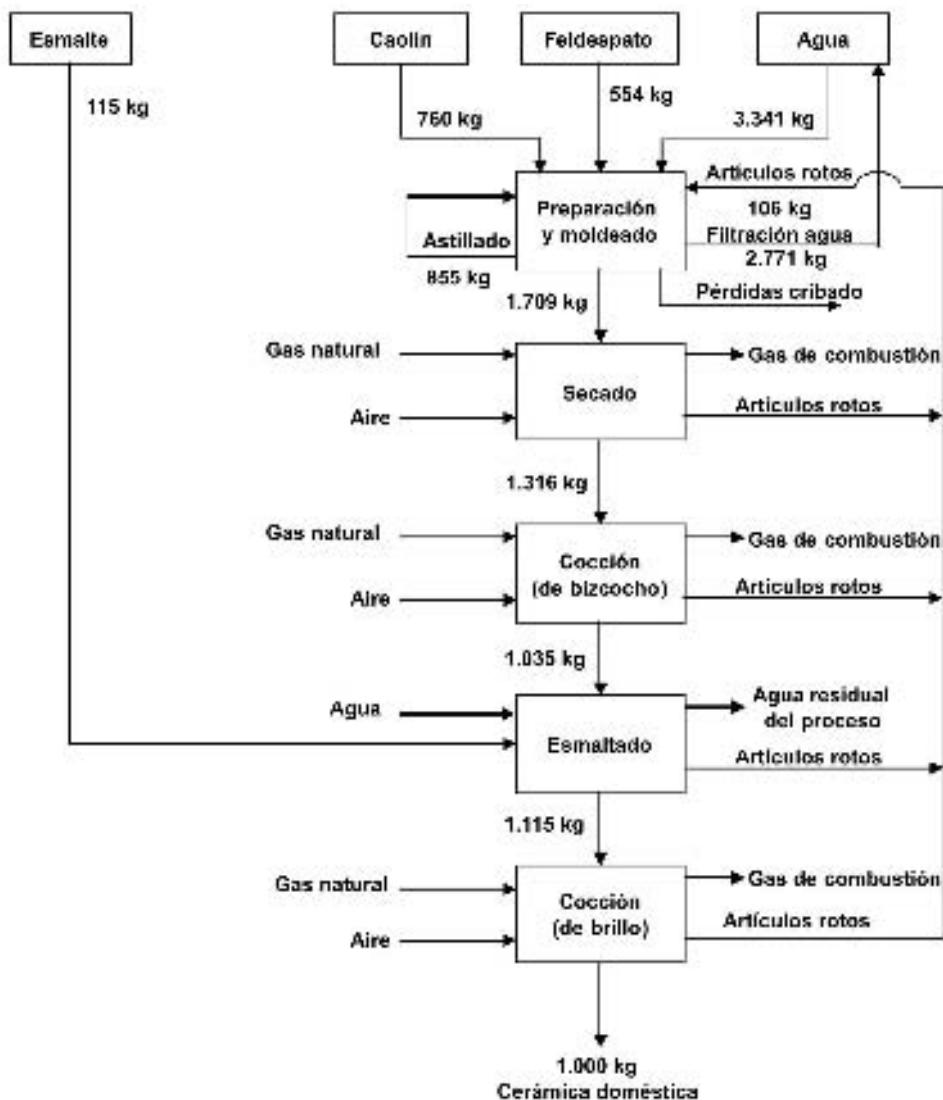
3.3.7.1. DATOS DE EMISIONES

En la fabricación de cerámica sanitaria se producen emisiones a la atmósfera y al agua, pérdidas/residuos del proceso de fabricación y también emisiones de ruidos. En esta sección se presentan los intervalos de emisiones de contaminantes gaseosos para la cocción de cerámica sanitaria. También se describen las emisiones a la atmósfera de otras fases del proceso, los vertidos al agua y las pérdidas del proceso de fabricación.

Emisiones a la atmósfera

La cerámica sanitaria se cuece en hornos de túnel o en hornos de solera con rodillos. La producción a pequeña escala se cuece en hornos de vagoneta que

Figura 3.7. Ejemplo de flujo másico para la fabricación de cerámica de mesa



funcionan de forma discontinua (intermitente). En la tabla siguiente se muestran las composiciones de gas crudo y gas limpio pertinentes, así como los datos operativos (en la sección superior de la tabla) de un horno de túnel utilizado en una planta de cerámica sanitaria típica. En este ejemplo, los gases de combustión se limpian en un proceso de sorción seca utilizando módulos de absorbentes con forma alveolar plana, en un contenedor de acero [4, UBA, 2001].

Tabla 3.41. Ejemplo de composiciones de gas crudo y limpio de un horno de túnel

| Foco de emisión | Horno de túnel |
|---|----------------|
| Flujo de volumen de gases de combustión (m ³ /h) | 9.100 |
| Temperatura de gases de combustión (°C) | 140-180 |

| Componente de emisión | Concentración de gas crudo (mg/m ³) | Concentración de gas limpio (mg/m ³) |
|---|---|--|
| Polvo | 10 | 3 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 30 | 20 |
| CO | 200 | 200 |
| Compuestos fluorados gaseosos inorgánicos, expresados como HF | 1,3-3,6 | 0,4-1,5 |

En la siguiente tabla se muestran los intervalos de concentraciones de gas crudo en hornos de túnel y de vagoneta (ref. a 18% O₂, combustible: gas natural) [1, BMLFUW, 2003], [22, SYKE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.42. Concentraciones de gas crudo de hornos de túnel y vagoneta

| Componente de emisión | Concentración (mg/m ³) | Concentración (mg/m ³) |
|---|------------------------------------|------------------------------------|
| Foco de emisión | Horno de túnel | Horno de vagoneta |
| Polvo | 1-20 | ≤ 40 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 10-50* | 10-50 |
| Compuestos clorados gaseosos inorgánicos, expresados como HCl | 1-25 | ≤ 80 |
| Compuestos fluorados gaseosos inorgánicos, expresados como HF | 1-30 | ≤ 90 |
| SO ₂ ** | 1-100 | n/d |

* Con mezcla de combustible GLP/fueloil pesado hasta 90 mg/m³ NO₂.

** Con mezcla de combustible GLP/fueloil pesado.

En la siguiente tabla se muestran ejemplos de concentraciones de gas limpio de dos plantas de cerámica sanitaria. Los valores de gas limpio se han obtenido después de la primera cocción en hornos de túnel y el tratamiento de los gases de combustión con sistemas de adsorbente de lecho fijo (ref. a 18% O₂, combustible: gas natural) [1, BMLFUW, 2003].

Tabla 3.43. Ejemplos de concentraciones de gas limpio de dos plantas de cerámica sanitaria

| Componente de emisión | Planta 1 Concentración (mg/m ³) | Planta 2 Concentración (mg/m ³) |
|---|---|---|
| Polvo | 3,2 | 5,0 |
| Cobalto | <0,1 | – |
| Níquel | <0,1 | – |
| Cromo | <0,1 | – |
| Manganoso | <0,1 | – |
| Vanadio | <0,1 | – |
| Estaño | <0,1 | – |
| Antimonio | <0,1 | – |
| Compuestos fluorados gaseosos inorgánicos, expresados como HF | 0,8 | – |
| Compuestos clorados gaseosos inorgánicos, expresados como HCl | 0,8 | – |
| SO _X expresado como SO ₂ | 6,0 | 20 |

Las emisiones a la atmósfera no sólo se producen durante el proceso de cocción, sino también durante estas otras etapas del proceso de fabricación [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]:

- durante el almacenamiento de las materias primas y el transporte interno se producen emisiones de polvo en las unidades de almacenamiento, pesaje, transporte y manipulación;
- las emisiones de polvo pueden aparecer en los procesos de preparación en seco de las materias primas duras;
- en determinadas circunstancias, se pueden producir emisiones gaseosas en el proceso de secado. Si en el proceso de secado del barro crudo se emplea el excedente de calor del horno, lo que incluye gases de combustión de la zona de cocción, y si no se aplican sistemas de calefacción cerrados, se pueden producir emisiones de flúor;
- las emisiones de polvo pueden aparecer durante el proceso de pulverización de esmalte;
- las emisiones de polvo pueden aparecer en los procesos de pulido y desbastado en seco.

Vertidos al agua

En la fabricación de cerámica sanitaria aparecen las aguas residuales del proceso de fabricación durante la limpieza de las unidades de preparación de materias primas y de las unidades de moldeo, del proceso de esmaltado y del desbastado por vía húmeda. Esta agua residual del proceso de fabricación contiene los mismos componentes que las materias primas y se puede reutilizar (principalmente como agua de limpieza) [23, TWG Ceramics, 2005].

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de concentraciones de contaminantes de aguas residuales del proceso de limpiado y las cargas diarias correspondientes de una planta de cerámica sanitaria (muestra compuesta después de la sedimentación) [1, BMLFUW, 2003].

Tabla 3.44. Concentraciones de contaminantes en aguas residuales del proceso de limpiado

| Parámetro | Concentración (mg/l) | Carga (g/día) |
|------------|----------------------|---------------|
| Cinc | 0,05 | 1,0 |
| Níquel | <0,01 | <0,2 |
| Plomo | <0,01 | <0,2 |
| Cobre | <0,01 | <0,2 |
| Cromo | <0,01 | <0,2 |
| Cromo (VI) | <0,05 | <0,01 |
| Cobalto | <0,01 | <0,2 |
| Estaño | <0,01 | <0,2 |
| Cadmio | <0,005 | <0,1 |
| Antimonio | <0,01 | <0,2 |
| Bario | 0,32 | 6,4 |
| Sulfato | 53 | 1.060 |
| pH | 7,7 | — |

Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

- se pueden romper artículos durante las distintas etapas del proceso de fabricación (en concreto moldeado, secado, cocción y tratamiento posterior);
- se puede producir lodo de la preparación de las materias primas (en concreto, limpieza de las unidades), de la limpieza de las unidades de moldeo y esmaltado y también del desbastado por vía húmeda;

- aparecen moldes de yeso usados y rotos del proceso de colada en barbotina;
- en el proceso de embalaje aparecen residuos, como plásticos, restos de papel y chatarra;
- en las unidades de limpieza de los gases de combustión aparece polvo, lodo y agentes de adsorción usados.

Parte de los materiales perdidos durante todo el proceso de fabricación pueden reciclarse y reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables internamente se desechan y se entregan a empresas externas para su reciclado o su eliminación [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

El lodo blanco del tratamiento de aguas residuales del proceso de fabricación consta de una mezcla de caolín, otras materias primas cerámicas tradicionales y una cantidad pequeña de yeso. Un análisis del lodo blanco muestra los siguientes componentes: SiO_2 (66-70%), Al_2O_3 (18-20%), Na_2O (0,1-2%), K_2O (3-3,5%), CaO (1-3%) [4, UBA, 2001].

3.3.7.2. DATOS DE CONSUMO

Consumo de energía

En la siguiente tabla se presentan los intervalos de requisitos de energía específicos y los datos operativos adicionales de diferentes hornos [4, UBA, 2001] [23, TWG Ceramics, 2005] [27, VDI, 2004].

Tabla 3.45. Datos operativos y rendimiento de los diferentes hornos

| Tipo de horno | Temperatura (°C) | Tiempo de cocción (h) | Requisito energético específico (kJ/kg) | Rendimiento (t/h) |
|--|------------------|-----------------------|---|-------------------|
| Horno convencional de túnel | 1.230-1.270 | 16-24 | 9.100-12.000 | 0,8-1,0 |
| Horno de túnel moderno con aislamiento de fibra ligera | 1.230-1.260 | 10-18 | 4.200 –6.700 | 1,0-2,0 |
| Horno de solera con rodillos | 1.230-1.260 | 8-12 | 3.500-5.000 | 0,8-1,0 |
| Horno moderno de vagoneta, cocción de reparación | 1.180-1.220 | 12-23 | 8.300-10.400 | 5-15* |
| Horno moderno de vagoneta, primera cocción | 1.240-1.260 | 12-23 | 9.200-11.300 | 5-15* |

* Resp. (t/ciclo).

En este contexto, véase también la Tabla 2.21, la Tabla 2.22 y la Tabla 2.23.

En la siguiente tabla se muestran ejemplos de los datos de consumo de energía térmica y eléctrica de tres plantas de cerámica sanitaria [1, BMLFUW, 2003].

Tabla 3.46. Datos de consumo de energía

| Parámetro | Unidad | Planta 1 | Planta 2 | Planta 3 |
|------------------------------|----------------|----------|----------|----------|
| Capacidad de producción | t/año | 10.000 | 5.120 | 2.900 |
| Uso de materias primas | t/año | 17.000 | 7.801 | 3.500 |
| Consumo de energía eléctrica | MJ/kg producto | 0,36 | 3,32 | 3,16 |
| Consumo de energía térmica | MJ/kg producto | 30 | 22 | 28 |

Consumo de agua y materias primas

En la Figura 3.8 se muestra un ejemplo de datos de consumo de agua y materias primas para la fabricación de cerámica sanitaria como un diagrama de flujo mísico [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]. Los productos son de loza y el moldeado se lleva cabo en el proceso de colada en barbotina mediante el uso de moldes de yeso.

3.3.8. Cerámica técnica

3.3.8.1. DATOS DE EMISIONES

En la fabricación de cerámica técnica se producen emisiones a la atmósfera y al agua, pérdidas/residuos del proceso de fabricación y también emisiones de ruidos. En esta sección se presentan los intervalos de emisiones de contaminantes gaseosos para la cocción de cerámica técnica. También se describen las emisiones a la atmósfera de otras fases del proceso, los vertidos al agua y las pérdidas del proceso de fabricación.

Emisiones a la atmósfera

En la Tabla 3.47 se muestran los intervalos de concentraciones de gas crudo y flujos mísicos de los hornos de vagoneta durante la cocción de aislantes eléctricos [1, BMLFUW, 2003].

Figura 3.8. Ejemplo de flujo másico para la fabricación de cerámica sanitaria

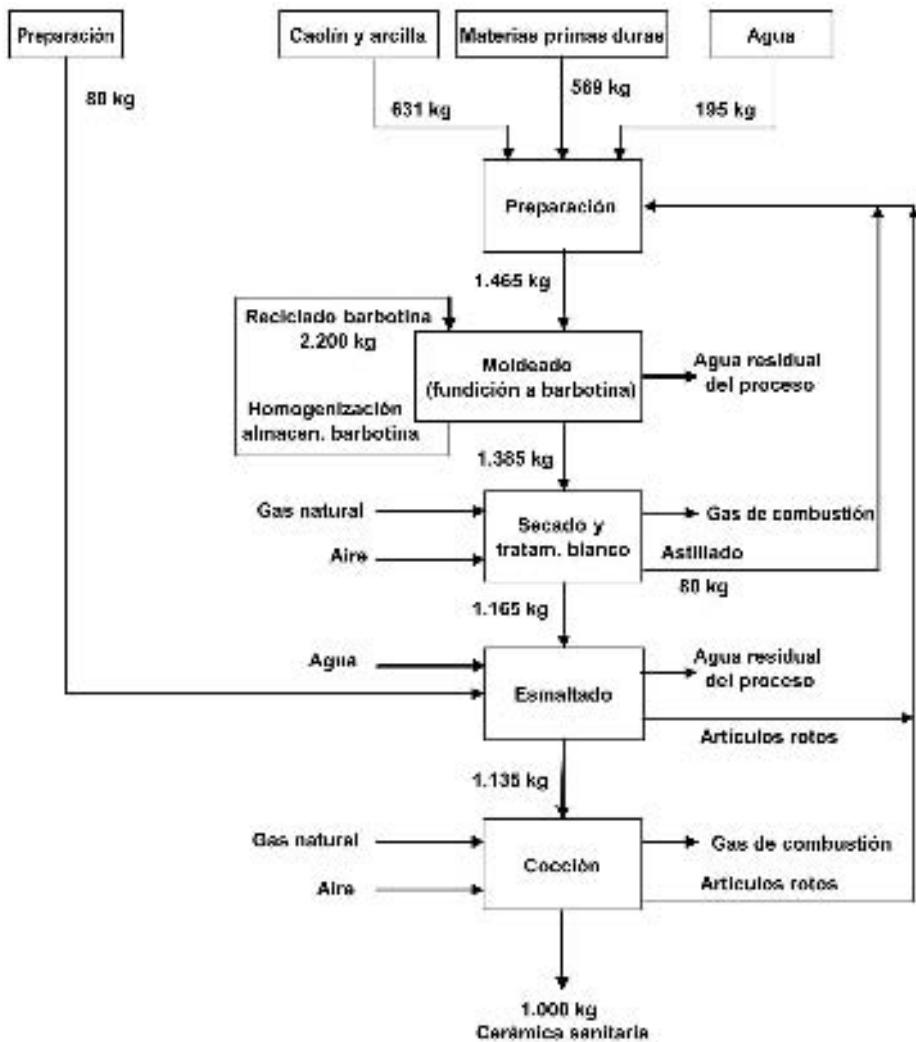


Tabla 3.47. Concentraciones de gas crudo en la cocción de aislantes térmicos

| Componente de emisión ¹ | Concentración (mg/m ³) | Flujo másico (g/h) |
|---|------------------------------------|--------------------|
| Polvo | 20-30 | hasta 600 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 20-120 | hasta 2.400 |
| Compuestos fluorados gaseosos inorgánicos, expresados como HF | hasta 120 | hasta 2.400 |

¹ Ref. a 18 % vol. O₂.

En la Tabla 3.48 se muestra un ejemplo de las concentraciones de gas de combustión de un horno de vagoneta durante la cocción de aislantes térmicos. El horno (véase también la sección 2.3.8) no está equipado con un sistema de limpieza de gases de combustión [1, BMLFUW, 2003].

Tabla 3.48. Concentraciones de gases de combustión de un horno de vagoneta durante la cocción de aislantes eléctricos

| Componente de emisión ¹ | Concentración (mg/m ³) | Flujo másico (g/h) |
|---|------------------------------------|--------------------|
| CO | 91 | 658 |
| NO _x expresado como NO ₂ | 39 | 282 |
| Compuestos fluorados gaseosos inorgánicos, expresados como HF | 11,3 | 82 |
| Compuestos clorados gaseosos inorgánicos, expresados como HCl | 2,5 | 18 |
| SO _x expresado como SO ₂ | 2,8 | 20 |
| Materia orgánica | 6,3 | 45 |

¹ Ref. a 18 % vol. O₂, sin medición de partículas/polvo.

Los datos relativos a las emisiones a la atmósfera de los procesos de cocción de otras cerámicas técnicas no están disponibles pero, si los cuerpos cerámicos contienen aditivos orgánicos, los COV también pueden aparecer durante el proceso de cocción [17, Burkart, 2004].

Las emisiones a la atmósfera no sólo se producen durante el proceso de cocción, sino también durante estas otras etapas del proceso de fabricación [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [24, VKI-Germany, 2004]:

- durante el almacenamiento de las materias primas y el transporte interno se producen emisiones de polvo en las unidades de almacenamiento, pesaje, transporte y manipulación;
- las emisiones de polvo aparecen en los procesos de preparación de las materias primas;
- las emisiones de polvo aparecen en los procesos de moldeado de las masas secas (prensado);
- las emisiones de polvo aparecen en los procesos de mecanizado en seco (mecanizado verde/blanco/duro);
- las emisiones de polvo se pueden producir en los procesos de esmaltado y engobe, según la técnica de esmaltado o engobe aplicada;
- en determinadas circunstancias, se pueden producir emisiones gaseosas en el proceso de secado. Si en el proceso de secado del barro crudo se emplea el

- excedente de calor del horno, lo que incluye gases de combustión de la zona de cocción, y si no se aplican sistemas de calefacción cerrados, se pueden producir emisiones gaseosas;
- se pueden producir emisiones gaseosas, especialmente COV, de los procesos de calentamiento para eliminar residuos y de precocción.

Vertidos al agua

En la fabricación de cerámica técnica aparecen las aguas residuales del proceso de fabricación durante la limpieza de las unidades de preparación de materias primas y de las unidades de moldeo, de los procesos de esmaltado y de engobe, y del desbastado por vía húmeda. Esta agua residual del proceso de fabricación contiene los mismos componentes que las materias primas [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [24, VKI-Germany, 2004].

La tabla siguiente muestra las concentraciones de contaminantes en el agua residual del proceso de limpiado de aislantes eléctricos (véase también la sección 2.3.8) después de la floculación, la separación con un espesador de placas deflectoras y la filtración con una prensa de filtro de compartimento (cinco muestras compuestas diarias) [1, BMLFUW, 2003].

Tabla 3.49. Concentraciones en el agua residual del proceso de limpiado de aislantes eléctricos

| Parámetro | Concentración (mg/l) | | | | |
|-----------------------|----------------------|------|------|-------|--------|
| Sustancias filtrables | – | 22 | 36 | 53 | 15 |
| Aluminio | – | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,90 |
| Hierro II | <0,01 | – | – | – | – |
| Hierro III | <0,01 | – | – | – | – |
| Hierro total | <0,01 | 2,64 | 1,15 | 0,056 | 0,1481 |
| Fluorita | – | 0,33 | – | – | – |
| COD | – | 19 | – | – | – |
| TOC | <0,05 | 1,60 | – | – | – |
| pH | 8,12 | 6,24 | 5,87 | 6,65 | 7,37 |

La Tabla 3.50 muestra las concentraciones de contaminantes en el agua residual del proceso de un fabricante de aislantes eléctricos después de la floculación sin filtración (muestra cualificada) [23, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.50. Concentraciones en el agua residual de un fabricante de aislantes eléctricos tras la floculación

| Parámetro | Unidad | Valor |
|-----------------------|--------|--------|
| pH | – | 7,2 |
| Materia en suspensión | mg/l | <3 |
| COD | mg/l | 53 |
| TOC | mg/l | 15 |
| AOX | mg/l | 0,02 |
| Cromo (total) | mg/l | <0,01 |
| Plomo | mg/l | <0,05 |
| Cadmio | mg/l | <0,005 |
| Cobre | mg/l | <0,01 |
| Níquel | mg/l | <0,1 |
| Cinc | mg/l | 0,3 |
| Aluminio | mg/l | 0,23 |
| Cobalto | mg/l | 0,016 |

La tabla siguiente muestra las concentraciones de contaminantes en el agua residual del proceso de limpiado de un fabricante de productos piezoelectrónicos después de la filtración final y el tratamiento de la receta (muestra cualificada) [23, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.51. Concentraciones en el agua residual limpia de un fabricante de productos piezoelectrónicos

| Parámetro | Unidad | Valor |
|-----------------------|--------|-------|
| pH | – | 8,0 |
| Materia en suspensión | mg/l | <3 |
| COD | mg/l | 597 |
| TOC | mg/l | 200 |
| AOX | mg/l | <0,1 |
| Plomo | mg/l | <0,1 |
| Cadmio | mg/l | <0,01 |
| Cobre | mg/l | <0,01 |
| Níquel | mg/l | <0,1 |
| Cinc | mg/l | 0,04 |
| Antimonio | mg/l | <0,02 |

No se dispone de datos de emisiones en relación con los vertidos al agua de los procesos de fabricación de otras cerámicas técnicas.

Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

- se pueden romper artículos durante las distintas etapas del proceso de fabricación (en concreto moldeado, secado, cocción y mecanizado);
- se puede producir lodo de la preparación de las materias primas (limpieza de las unidades), de la limpieza de las unidades de moldeado, esmaltado y engobe, y también del desbastado por vía húmeda;
- pueden aparecer moldes de yeso usados y rotos por la aplicación de un proceso de colada en barbotina;
- pueden surgir emulsiones de mecanizado del tratamiento mecánico de la superficie;
- en el proceso de embalaje aparecen residuos, como plásticos, restos de papel y chatarra;
- en las unidades de limpieza de los gases residuales se genera polvo, lodo y los agentes de adsorción usados.

Parte de los materiales perdidos durante todo el proceso de fabricación pueden reciclarse y reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables internamente se desechan y se entregan a empresas externas para su reciclado o su eliminación [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [24, VKI-Germany, 2004].

3.3.8.2. DATOS DE CONSUMO

Consumo de energía

En la siguiente tabla se muestran ejemplos de los datos de consumo de energía térmica y eléctrica de dos plantas que fabrican electroporcelana [1, BMLFUW, 2003].

Tabla 3.52. Datos de consumo de energía de dos plantas de electroporcelana

| Parámetro | Unidad | Planta 1 | Planta 2 |
|------------------------------|----------------|----------|----------|
| Consumo de energía eléctrica | MJ/kg producto | – | 0,94 |
| Consumo de energía térmica | MJ/kg producto | 25 | 15,30 |

El consumo específico de energía térmica de un horno de vagoneta con una capacidad de horno de 70 m³ y una capacidad de producción de 10-25 toneladas de aislantes eléctricos por ciclo de cocción está entre 12.000 y 20.000 kJ/kg [1, BMLFUW, 2003].

No se dispone de datos de consumo de los procesos de fabricación de otras cerámicas técnicas.

Consumo de agua y materias primas

La tabla siguiente muestra las composiciones de la materia prima para la fabricación de electroporcelana (porcelana alúmina). El contenido de agua de la masa está entre el 30 y el 50% [23, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.53. Composiciones de la materia prima para la fabricación de electroporcelana

| Cantidad de | materia prima (%) |
|-------------|-------------------|
| Caolín | 30-40 |
| Arcilla | 6-15 |
| Feldespato | 10-20 |
| Cuarzo | 0-30 |
| Alúmina | 0-40 |

No se dispone de datos de consumo de materia prima y agua para los procesos de fabricación de otras cerámicas técnicas.

3.3.9. Abrasivos aglomerados inorgánicos

3.3.9.1. DATOS DE EMISIONES

En la fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos se producen emisiones a la atmósfera y al agua, pérdidas/residuos del proceso de fabricación y también emisiones de ruidos. En esta sección se presentan los intervalos de emisiones a la atmósfera para el proceso de cocción, junto con emisiones a la atmósfera para otros pasos del proceso. También se describen los vertidos al agua y las pérdidas del proceso.

Emisiones a la atmósfera

La tabla siguiente muestra ejemplos de valores de gas de combustión de tres plantas en las que se fabrican abrasivos aglomerados inorgánicos (véase también la sección 2.3.9) [14, UBA, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Las emisiones a la atmósfera no sólo se producen durante el proceso de cocción, sino también durante estas otras etapas del proceso de fabricación [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]:

- las emisiones de polvo se producen en el proceso de preparación, mezcla y prensado de la materia prima seca;
- el polvo también se puede originar en los procesos de desbastado por vía seca.

Tabla 3.54. Ejemplos de valores de gas de combustión de tres plantas en las que se fabrican abrasivos aglomerados inorgánicos

| Componente de emisión | Unidad | Planta 1 ¹ | Planta 2 ² | Planta 3 ³ |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| CO ₂ | t/año | 372 | 143 | 216 |
| Polvo | mg/m ³ | 12 | <15 | <15 |
| TOC | mg/m ³ | <43 | 39 | <40 |

¹ Esta planta es un ejemplo típico utilizado para la fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos (de la preparación de materias primas al empaquetado de los abrasivos). Los abrasivos se cuecen en un horno calentado con gas con una capacidad de 10,4 m³ y una densidad media de carga de 360 kg/m³. Se emplean los siguientes componentes de la instalación: filtros de bolsa para la separación del polvo (para unidades de mezcla y molturación y para los procesos de acabado), cámaras de postcombustión térmica para el gas de combustión del horno y las unidades de acabado habituales.

² En esta planta se lleva a cabo la fabricación de pequeñas herramientas de amolar. La planta trabaja en un turno y los abrasivos se cuecen en hornos de vagoneta calentados eléctricamente. La planta contiene tres hornos de vagoneta idénticos con un volumen de hasta 5,28 m³ cada uno (volumen útil 4,4 m³). La densidad de carga varía entre 700 y 1.400 kg/m³ (proporción de accesorios de cocción de entre el 33 y el 50 %). Se emplean los siguientes componentes de la instalación: filtros de bolsa para la separación del polvo (para unidades de mezcla y molturación y para los procesos de acabado), cámaras de postcombustión térmica para el gas de combustión del horno, tanques de sedimentación para el agua residual procedente de la limpieza de los agregados, y las unidades de acabado habituales.

³ Esta planta es un ejemplo de una pequeña unidad de fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos (muelas con un diámetro de 100 a 1.000 mm). Los abrasivos se cuecen en un horno de vagoneta periódico calentado con gas con una capacidad de 5 m³ y una densidad media del aglutinante vitrificado de entre 70 y 140 kg/m³ (véase la sección 2.3.9.5). También se emplean los siguientes componentes de la instalación: filtros de bolsa para la separación del polvo (para unidades de mezcla y molturación y para los procesos de acabado).

Vertidos al agua

En la fabricación de abrasivos aglomerados inorgánicos, la cantidad de agua residual es mínima. En algunos casos incluso es posible una fabricación sin agua residual (limpieza de las unidades de instalación mediante calentamiento y desbastado de los contaminantes). En aquellos casos en los que se genera agua residual, normalmente se trata del agua de limpiar procedente de las unidades de la instalación [14, UBA, 2004].

Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

- se pueden romper artículos durante las distintas etapas del proceso de fabricación (en concreto moldeado, secado, cocción y tratamiento posterior);
- puede surgir lodo de la limpieza de las unidades;
- pueden surgir emulsiones de mecanizado del moldeado y tratamiento mecánico de la superficie;
- en el proceso de embalaje aparecen residuos, como plásticos, restos de papel y chatarra;
- en las unidades de limpieza de los gases residuales se genera polvo, lodo y agentes de adsorción usados.

Parte de los materiales perdidos durante todo el proceso de fabricación pueden reciclarse y reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especifica-

ciones de los productos o los requisitos del proceso. Los materiales no reciclables internamente se desechan y se entregan a empresas externas para su reciclado o su eliminación [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005].

3.3.9.2. DATOS DE CONSUMO

Consumo de energía

En la tabla siguiente se muestran los datos de consumo de energía generales para los tres fabricantes de abrasivos aglomerados inorgánicos mencionados en la Tabla 3.54 [14, UBA, 2004] [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.55. Consumo de energía global de tres fabricantes de abrasivos aglomerados inorgánicos

| Parámetro | Unidad | Planta 1 | Planta 2 | Planta 3 |
|------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Consumo de energía eléctrica | kWh/año | 150.000 | 1.540.000 | 175.000 |
| Consumo de gas natural | kWh/año | 1.850.000 | 946.000 | 1.000.000 |

Consumo de agua y materias primas

En la tabla siguiente se muestran los datos de consumo de agua y materias primas para los tres fabricantes de abrasivos aglomerados inorgánicos mencionados en la Tabla 3.54 [14, UBA, 2004], [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 3.56. Datos de consumo de materias primas de tres fabricantes de abrasivos aglomerados inorgánicos

| Entrada | Salida | Planta 1 (t/año) | Planta 2 (t/año) | Planta 3 (t/año) |
|---------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Granos abrasivos | | 216 | 440 | 153 |
| Agentes aglutinantes | | 35,2 | 110 | 17 |
| Aditivos ¹⁾ | | 15,2 | 41,8 | 7 |
| Ejes y manguitos de acero | | – | 17,6 | – |
| | Producto | 253,6 | 550 | 170 |
| | Polvo abrasivo | 32 | 55 | 26 |
| | Artículos rotos ² | 7 | 7 | 4 |

¹ Descomposición parcial durante el proceso de cocción.

² Incluye accesorios para cocción rotos.

4. Técnicas que deben considerarse en la determinación de las MTD para la fabricación de productos cerámicos

Este capítulo describe aquellas técnicas que tienen el potencial de proporcionar un nivel elevado de protección medioambiental en las industrias pertinentes dentro del alcance del presente documento. Se incluyen sistemas de gestión, técnicas integradas en los procesos y medidas de final de línea, pero existe un cierto solapamiento entre estos tres factores cuando se trata de hallar los resultados óptimos.

También se analizan los procedimientos de prevención, de control, de minimización y de reciclado, así como la reutilización de materiales y energía.

Las técnicas pueden presentarse individualmente o combinadas para cumplir los objetivos de la Directiva IPPC. En el Anexo IV de la Directiva aparece un número de consideraciones generales que deben considerarse en la determinación de las MTD y las técnicas de este capítulo se referirán a una o varias de estas consideraciones. En la medida en que sea posible, se utiliza una estructura estándar para resumir cada técnica y permitir la comparativa de técnicas y una evaluación objetiva según la definición de MTD que aparece en la Directiva.

El contenido de este capítulo no es una lista exhaustiva de técnicas y pueden existir otras técnicas que sean igualmente válidas en el marco de las MTD.

Normalmente se utiliza una estructura estándar para resumir cada técnica, tal como se muestra en la Tabla 4.1 de la página siguiente.

Puesto que los límites entre los elementos mencionados más arriba pueden solaparse en cierto grado, se mantiene la flexibilidad de la estructura reflejando cada caso particular.

Es preciso evaluar los costes de las técnicas de reducción en relación con el tamaño de las instalaciones, la eficacia de las técnicas y las circunstancias de la aplicación individual. En este sentido, la Tabla 4.7 ofrece ejemplos de costes de inversión, costes de mantenimiento, costes de sorbentes y costes operativos para la reducción de polvo, compuestos gaseosos inorgánicos y compuestos gaseosos orgánicos utilizando diversas técnicas de reducción [32, TWG Ceramics, 2006].

Tabla 4.1. Información desglosada para las técnicas descritas en este capítulo

| Tipo de información considerada | Tipo de información incluida |
|--|---|
| Descripción | Descripción técnica de la técnica |
| Ventajas medioambientales logradas | Principales impactos medioambientales que afronta la técnica (proceso o reducción), incluyendo valores de emisiones alcanzados y eficacia. Ventajas medioambientales de la técnica en comparación con otras |
| Efectos cruzados | Efectos colaterales e inconvenientes causados por la implementación de la técnica. Detalles sobre los problemas medioambientales de la técnica en comparación con otras |
| Datos operativos | Datos de rendimiento sobre emisiones/desechos y consumo (materias primas, agua y energía). Cualquier otra información útil sobre cómo utilizar, mantener y controlar la técnica, incluyendo aspectos de seguridad, restricciones de operatividad de la técnica, calidad de los resultados, etc. |
| Aplicabilidad | Consideración de los factores relacionados con la aplicación y retroadaptación de la técnica (p. ej. disponibilidad de espacio, datos específicos según el proceso) |
| Economía | Información sobre costes (inversión y operación) y posibles ahorros (como consumo reducido de materia prima, desechos) en relación con la capacidad de la técnica |
| Impulsores de la implementación | Motivos para la implementación de la técnica (p. ej. legislación, mejora de la calidad de la producción) |
| Ejemplos de plantas | Referencias a plantas en las que se utiliza la técnica en cuestión |
| Documentación de referencia | Literatura para obtener más información sobre la técnica |

Véanse las definiciones siguientes en relación con las condiciones estándar para las mediciones de las concentraciones y caudales volumétricos, que también aparecen en el glosario:

| | |
|-------------------|--|
| m ³ /h | caudal volumétrico: si no se indica lo contrario, el caudal volumétrico en este documento se refiere a un 18 % vol. de oxígeno y estado estándar. |
| mg/m ³ | concentración: si no se indica lo contrario, en este documento las concentraciones de sustancias gaseosas o mezclas de sustancias se refieren a gases de combustión secos con un 18 % vol. de oxígeno y estado estándar, y las concentraciones de benceno se refieren a un 15 % vol. de oxígeno y estado estándar. |
| estado estándar | se refiere a una temperatura de 273 K y a una presión de 1013 hPa. |

4.1. Reducción del consumo de energía (eficiencia energética)

También puede encontrar información útil en el documento de referencia ENE de Técnicas de eficiencia energética que actualmente se está redactando.

4.1.1. Diseño mejorado de hornos y secaderos

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Aquí se presentan distintas medidas que pueden aplicarse a los sistemas de horno/secadero por separado o combinadas:

- el control automático de los circuitos del secadero;
- el control automático de la humedad y la temperatura del secadero;
- en los secaderos, instalación de ventiladores de impulsión distribuidos en zonas con una contribución térmica independiente (ajustable por zonas) para conseguir la temperatura necesaria;
- un mejor sellado de los hornos, p. ej. cubiertas metálicas y sellos de arena o agua para los hornos de túnel y los hornos intermitentes, ayuda a reducir las pérdidas de calor;
- un mayor aislamiento térmico de los hornos, p. ej. mediante el uso de revestimientos refractarios de aislamiento o fibras cerámicas (lana mineral), ayuda a reducir las pérdidas de calor;
- la mejora de los revestimientos de los hornos refractarios y en las cubiertas de las vagonetas reduce el tiempo de parada por enfriamiento y las pérdidas de calor asociadas («pérdidas de salida»);
- el uso de quemadores de alta velocidad mejora la eficacia de la combustión y la transferencia térmica;
- la sustitución de los hornos antiguos por hornos nuevos, de mayor tamaño y anchura o con la misma capacidad o, cuando sea posible en el proceso de fabricación, por hornos de cocción rápida (como los hornos de solera con rodillos) puede ayudar a reducir el consumo de energía específico;
- el control informático interactivo de los regímenes de cocción en horno reduce el consumo de energía y las emisiones de contaminantes en la atmósfera;
- el menor uso de accesorios para cocción y/o el uso de accesorios para cocción hechos de SiC/superaleación reduce el consumo energético para el calentamiento del sistema de horno; los accesorios para cocción SiC también pueden aplicarse a los hornos de tecnología de cocción rápida;

- la optimización, es decir la minimización, de la etapa entre el secadero y el horno, y el uso de la zona de calentamiento previo del horno para completar el proceso de secado, siempre que sea posible en el proceso de fabricación, evita un enfriamiento innecesario del artefacto secado antes de iniciar el proceso de cocción;
- la reducción del flujo de aire en el horno rotatorio para la fabricación de agregados de arcilla expandida puede reducir el consumo de energía.

La mayoría de las medidas mencionadas anteriormente también pueden aplicarse a los secaderos, por ejemplo, las relacionadas con el diseño del secadero (mejor aislamiento térmico, puertas o cierres aislados, etc.), los accesorios para cocción y el control del proceso, pues tanto secaderos como hornos suelen estar conectados con un sistema de recuperación de calor (véase la sección 4.1.2).

Efectos cruzados

Sin cuestiones.

Datos operativos

Depende de cada medida/tarea relacionada con el caso en particular; por ejemplo, los requisitos energéticos específicos para productos diferentes, cocidos en tipos de horno diferentes (convencional, cocción rápida, con/sin aislamiento mejorado) se comparan en la Tabla 2.14 (fabricación de pavimentos y revestimientos), la Tabla 3.31 (fabricación de pavimentos y revestimientos) y en la Tabla 3.45 (fabricación de cerámica sanitaria).

Aplicabilidad

En principio, la mayoría de las medidas mencionadas anteriormente pueden aplicarse a todos los sectores cerámicos, pero la tecnología de los hornos con rodillos, por ejemplo, se aplica principalmente para la fabricación de pavimentos y revestimientos. Sin embargo, las tejas, las tuberías de ges vitrificado y la cerámica sanitaria también pueden cocerse en hornos de solera con rodillos (véase la sección 2.2.7.4.3).

No es posible aplicar las medidas de los hornos de solera con rodillos, hornos de túnel y hornos de vagoneta (p. ej. en relación con los carros y los accesorios de cocción) a los hornos rotatorios, en los que se fabrican los agregados de arcilla expandida (véase la sección 2.3.4). La capacidad de aplicación de las distintas tecnologías de hornos depende de los productos que fabrica cada sector; por ejemplo, algunos tipos de pavimentos y revestimientos deben cocerse en hornos de túnel para conseguir las propiedades deseadas para el producto.

Economía

La modernización de los hornos o secaderos que se utilizan o la adopción de nuevas alternativas con un consumo energético más bajo (p. ej. hornos de solera con rodillos) puede comportar un ahorro energético importante para las empresas. Si se sustituyen antes de que finalice su vida útil, la inversión de capital será importante.

Impulsores de la implementación

- Ahorro económico derivado del ahorro energético.
- Reducción de las emisiones de CO₂.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[1, BMLFUW, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

4.1.2. Recuperación del excedente de calor de los hornos

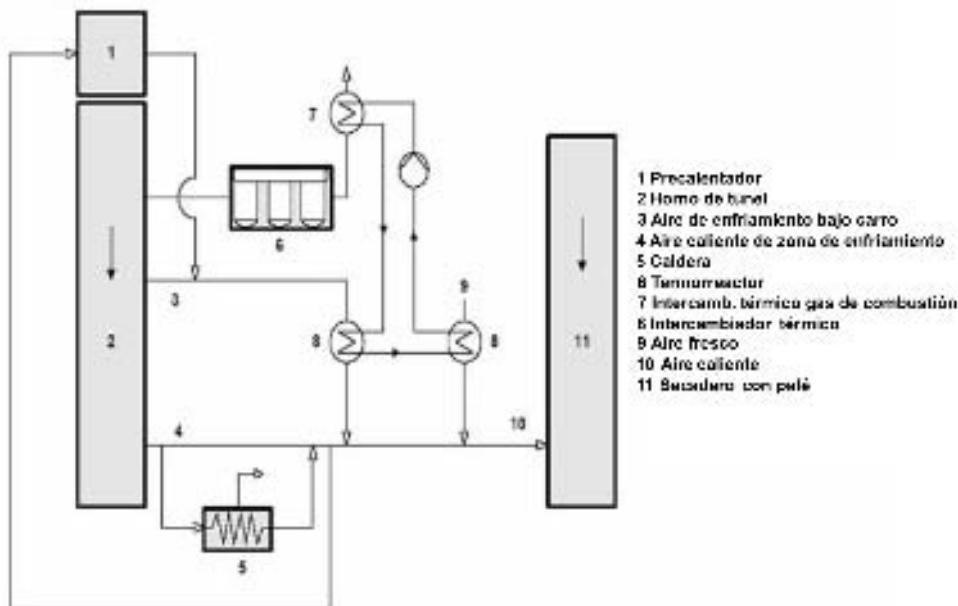
Descripción y ventajas medioambientales logradas

Muchos secaderos cerámicos actualmente utilizan aire caliente recuperado de las zonas de refrigeración de los hornos de túnel, normalmente complementado con aire caliente procedente de quemadores de gas, de forma que la disposición de la planta es muy importante. En concreto, los excedentes de calor de temperaturas bajas sólo pueden aprovecharse adecuadamente si la longitud de las tuberías, es decir la distancia entre la generación del excedente de calor y el lugar de uso, es limitada. En cualquier caso, es imprescindible el aislamiento térmico adecuado de las tuberías. De este modo se han conseguido ahorros energéticos muy importantes.

Algunos procesos también emplean intercambiadores térmicos para recuperar el calor de los gases de combustión del horno y precalentar de este modo el aire de combustión, pero esta aplicación es limitada porque, por un lado, los gases de combustión ácidos pueden provocar posibles problemas de combustión y, por otro, las temperaturas de los gases de combustión suelen ser demasiado bajas.

También es posible utilizar el excedente de calor de las cámaras de postcombustión, ya sea en el horno o en el secadero. Una fábrica alemana utiliza aceite térmico para transferir el excedente de calor de la cámara de postcombustión al secadero, en combinación con el aire caliente de la zona de refrigeración del horno. El principio de funcionamiento de este sistema de reciclado térmico combinado se presenta en la figura siguiente [4, UBA, 2001].

Figura 4.1. Vista esquemática de un ejemplo de un sistema de reciclado térmico combinado



Además del uso de excedentes de calor (4) en la caldera de recuperación térmica (5) y para el calentamiento del precalentador (1), el calor resultante de la refrigeración de los gases de combustión limpios se recupera en un intercambiador térmico de gas de combustión (7) y se alimenta a otros intercambiadores térmicos (8) mediante aceite térmico para calentar el aire fresco (9) para el proceso de secado. El aire fresco caliente se mezcla con el aire caliente de la zona de refrigeración (4) del horno (2) y se alimenta a un secadero con palé de funcionamiento continuo (11).

Efectos cruzados

Es posible un consumo de energía eléctrica algo superior, especialmente si se utilizan circuitos de intercambio de calor.

Datos operativos

En el caso del sistema de reciclado térmico combinado anterior, el requisito energético de gas natural específico para las operaciones de secado y cocción está sólo entre 840 y 1.050 kJ/kg artículo cocido (ladrillos) [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

Aplicabilidad

La recuperación del excedente de calor de los hornos, especialmente de las zonas de refrigeración, en forma de aire caliente, en principio, puede aplicarse a los secaderos de todos los sectores cerámicos. Debe tenerse en cuenta que la recuperación del excedente de calor de los hornos sólo es posible si el calor excedente se necesita simultáneamente en otro proceso.

El ejemplo específico mencionado más arriba no puede generalizarse (en Alemania muy pocas fábricas utilizan esta técnica), especialmente en relación con el uso del excedente de calor de la cámara de postcombustión, porque con frecuencia el gas de combustión de una cámara de postcombustión es demasiado frío para conseguir una recuperación energética eficaz.

Economía

- Consumo de energía reducido.
- Deben tenerse en cuenta los costes adicionales derivados del aislamiento de las tuberías.

Impulsores de la implementación

- Ahorro económico derivado del ahorro energético.
- Reducción de las emisiones de CO₂.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

JUWOE POROTON-Werke Ernst Jungk & Sohn GmbH, Alemania, fabricación de ladrillos [4, UBA, 2001], [1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

4.1.3. Cogeneración/plantas combinadas de calor y energía

Descripción, beneficios medioambientales logrados y datos operativos

En principio, el uso de plantas de cogeneración de vapor y electricidad o de plantas combinadas de calor y energía es útil en la industria cerámica debido a la demanda simultánea de calor y energía eléctrica. El componente esencial de la planta de cogeneración es el motor de impulsión. Pueden utilizarse motores Otto de gas, motores diesel y turbinas de gas con reutilización del excedente de calor.

La Figura 4.2 muestra un ejemplo de uso del excedente de calor de una planta combinada de calor y energía para la producción de aire caliente [4, UBA, 2001].

El aire caliente se utiliza para el secadero de la fábrica de ladrillos. Para el secadero, se necesita una proporción de aire fresco además del excedente de calor del horno. Este aire normalmente se toma del edificio del secadero para aprovechar los componentes térmicos de alta radiación del horno y el secadero. Este aire fresco se mezcla con el excedente de calor del horno frente al ventilador de alimentación del secadero. En la tubería de succión de aire fresco se instala un calentador de aire para mantener el precalentamiento del aire fresco. Este intercambiador térmico se calienta con el agua de refrigeración de los motores de impulsión. Los gases de combustión tienen una temperatura de 450 a 550 °C, según el tipo de motor. Se alimentan en la cámara de mezcla y se utilizan directamente en el secadero. Cualquier deficiencia térmica se cubre con ayuda de un quemador de gas suplementario. Si no se requiere calor en el secadero, los gases de combustión sin refrigerar de los motores se extraen directamente mediante un conducto de humo.

En algunos casos, los gases de combustión también pueden pasar por una caldera antes de introducirse en la cámara de mezcla y de este modo producir vapor que se emplea en la fase de extrusión.

Efectos cruzados

Los motores de impulsión pueden provocar emisiones adicionales en la atmósfera y el ruido también aumenta.

Aplicabilidad

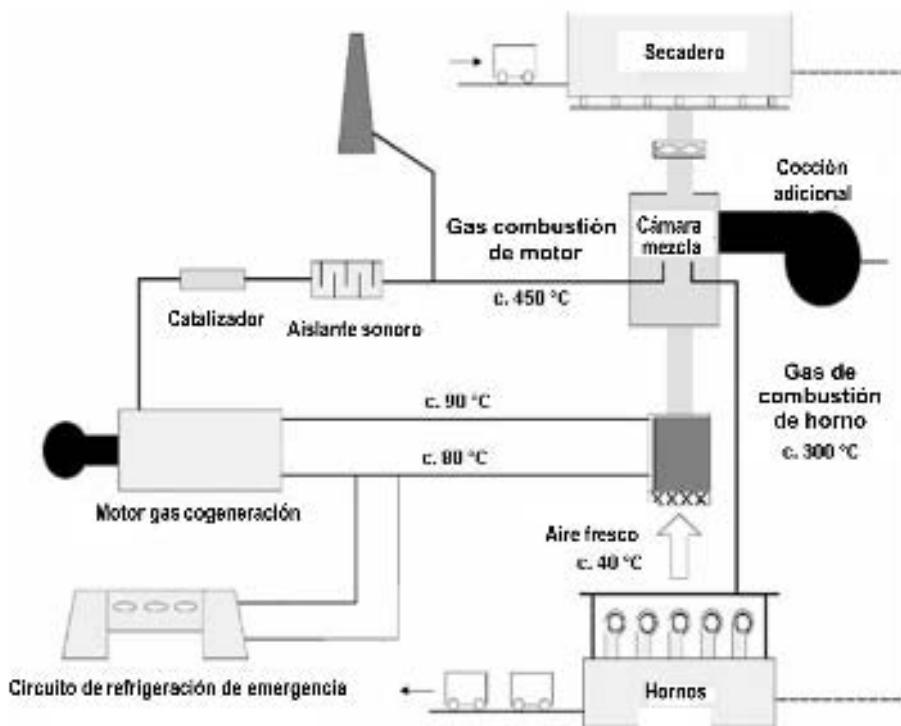
El calor producido por las plantas combinadas de calor y energía puede utilizarse en el proceso de secado por pulverización para la fabricación de pavimentos y revestimientos y cerámica doméstica. Este calor también puede utilizarse para los secaderos si se necesita calor adicional, por ejemplo en las fábricas de ladrillos, tal como muestra la Figura 4.2.

Economía

La aplicación económica depende en gran medida de las condiciones existentes y del sector cerámico. Por motivos económicos, la cogeneración tiene un uso limitado en Europa, por ejemplo, para la fabricación de ladrillos y tejas. Sin embargo, es imprescindible tener en cuenta la técnica utilizada cuando se diseña una planta nueva.

Una alternativa más económica al uso del excedente de calor descrito anteriormente es la introducción directa de calor en el secadero (véase la sección 4.1.2).

Figura 4.2. Vista esquemática de la generación de aire caliente con un motor de gas de cogeneración



Impulsores de la implementación

Implementación de tecnología de producción eficiente desde el punto de vista energético.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

4.1.4. Substitución del fueloil pesado y los combustibles sólidos por combustibles de baja emisión

Descripción y ventajas medioambientales logradas

El cambio del proceso de cocción de fueloil pesado (HFO) o combustibles sólidos a combustibles gaseosos (gas natural, gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural licuado (GNL)) mejora la eficacia del proceso de cocción y permite una eliminación casi total de las emisiones de hollín en muchos procesos. Los combustibles sólidos suelen producir cenizas finas de forma que, en ocasiones, la reducción de las emisiones de partículas cuando se quema gas puede evitar la necesidad de procesos caros de eliminación del polvo y con alto consumo energético. Los quemadores de gas se prestan a sistemas sofisticados de control automático que permiten ahorrar combustible y reducir los residuos de artículos cocidos, lo que se traduce en un menor consumo de energía específico. El uso de fueloil EL, en lugar de HFO o combustibles sólidos, también puede reducir las emisiones de hollín de los procesos de cocción.

El uso de gas natural, GLP, GNL o fueloil EL, en lugar de HFO o combustibles sólidos, permite una reducción de la energía enlazada con las emisiones de SO₂ gracias al menor contenido de azufre (véase la Tabla 3.3). Además, el gas natural, el GLP y el GNL tienen índices más altos de hidrógeno/carbono que los fueloils o los combustibles sólidos y, por lo tanto, producen menos dióxido de carbono (aprox. 25 % menos de CO₂ en el caso del gas natural) para un rendimiento térmico equivalente.

En la fabricación de agregados de arcilla expandida (véase la sección 2.3.4.2.2) y otras industrias, se utilizan combustibles alternativos/secundarios de origen orgánico (p. ej. harina cárnica y huesos o biocombustibles) y de origen inorgánico (como aceites residuales o disolventes) que logran reducir el consumo de combustibles fósiles primarios y las emisiones de CO₂ relacionadas.

Además, el uso de combustibles de baja emisión puede agregar al proceso de fabricación otras tecnologías eficaces desde el punto de vista energético, como la cogeneración con turbinas de gas. Otros ahorros de energía (eléctrica) también son posibles gracias al hecho de que algunos combustibles líquidos, especialmente el HFO, deben calentarse para poder bombarse.

Efectos cruzados

Se han considerado otros aspectos adicionales relacionados con la seguridad, en concreto riesgos de explosión, sobre todo en lo que respecta al GLP y al GNL.

Datos operativos

Depende de cada medida/tarea relacionada con el caso en particular.

Aplicabilidad

En principio, puede aplicarse una sustitución del combustible en todos los sectores cerámicos, pero debe tenerse en cuenta que la naturaleza del combustible también puede afectar a las características estéticas del producto final. Por eso, algunos tintes muy solicitados sólo pueden conseguirse mediante la (co)incineración de carbón o polvo de carbón en hornos. Por ejemplo, algunos tipos de ladrillos cara vista con colores especiales no pueden fabricarse quemando sólo gas natural, sino que es preciso inyectar adicionalmente polvo de carbón para el proceso de cocción en el horno (para ello se utilizan hornos Hoffmann). Por lo tanto, según el tipo de producto fabricado, no siempre es posible una sustitución del combustible.

En el proceso de fabricación de agregados de arcilla expandida, la mayoría del polvo canalizado se recicla y, de este modo, se reduce el impacto de una sustitución de combustible en la producción de cenizas.

Economía

El cambio de HFO o combustibles sólidos a combustibles de baja emisión podría comportar costes de inversión elevados, especialmente si no se dispone de un suministro de gas natural en la fábrica. En este contexto es preciso considerar no sólo los costes del combustible, sino también los costes adicionales del transporte del GLP, el GNL y el fueloil EL.

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- Menor fluctuación en la calidad del producto.
- Reducción de las emisiones de CO₂.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

4.1.5. Modificación de los cuerpos cerámicos

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Un diseño sofisticado de la composición de la masa puede reducir los tiempos necesarios para el secado y la cocción y, de este modo, estimular el uso de hornos de cocción rápidos de bajo volumen, como el horno de solera con rodillos y el horno de túnel móvil. Por lo tanto, las modificaciones en la composición de la masa pueden ayudar al secado y a la cocción, por ejemplo, en los sectores de pavimentación y revestimiento y tuberías de gres vitrificado. El resultado puede ser una reducción del consumo de energía en estas áreas. Se está estudiando un enfoque similar para los productos cerámicos de paredes gruesas.

Es posible utilizar aditivos porosos para reducir la conductividad térmica de los bloques de arcilla mediante la creación de microporos. De este modo, se reduce la masa térmica de los bloques de arcilla y se necesita menos energía para la cocción.

El rediseño de los productos cerámicos también puede ayudar a reducir la masa (p. ej. baldosas más finas, ladrillos multi-perforados, bloques o tuberías con paredes más finas). Cuando son factibles técnicamente, estos cambios pueden reducir los consumos de energía y las emisiones.

Una reducción en el contenido requerido del agua de mezcla ayuda a ahorrar energía en el secado. La cantidad de agua de mezcla necesaria depende principalmente de la composición del material arcilloso y de la granulometría. Los aditivos para el ahorro de agua consisten en productos húmedos con formación de complejos inorgánicos secuestrantes o complejantes. Estos permiten una reducción de la tensión superficial interfacial del agua de mezcla y una inmovilización de cationes libres problemáticos. El requisito de agua de mezcla en el proceso de preparación de la materia prima se reduce y se consigue una plasticidad igual o incluso mejor. Además, también se minimiza el requisito energético del proceso de secado.

El ajuste automático de la mezcla de agua según la plasticidad del material requerida y el uso en parte de vapor de agua en lugar de agua para la mezcla permite una reducción de agua (aprox. 3 %), energía térmica (aprox. 90 kWh/t producto) y electricidad (aprox. 1,5 kWh/t producto).

En cualquier caso, la adición de vapor en la fase de extrusión facilita la salida de la arcilla extrusionada y permite alcanzar el contenido de humedad exacto para la arcilla.

Es posible conseguir una reducción importante de la temperatura de cocción y una reducción del tiempo de residencia mezclando medios de sinterizado extre-

madamente eficaces, como alcalinos terrosos y aditivos con elevada alcalinidad, y agentes formadores de vidrio. Sin embargo, el uso de dichos aditivos sólo es posible en algunos casos especiales, no para todos los productos cerámicos. Pueden alcanzarse reducciones en la temperatura de cocción final de hasta 50 K. Para evitar interrupciones en la producción y mermas de calidad, normalmente es preciso llevar a cabo pruebas preliminares antes de su uso a gran escala.

Efectos cruzados

El uso de agentes porosos orgánicos puede provocar un aumento de las emisiones de sustancias orgánicas y CO en la atmósfera. El uso de medios de sinterizado aumenta las emisiones de CO₂ debido al elevado contenido de carbonatos alcalinos.

Datos operativos

Depende de cada medida/tarea relacionada con el caso en particular.

Aplicabilidad y economía

La utilización de medios de sinterizado y aditivos porosos que contienen energía permite ahorrar energía en la fabricación de ladrillos. Tal y como ya hemos descrito, para la fabricación de bloques de arcilla pueden utilizarse materias primas secundarias que contienen energía, como serrín, poliestireno (styropor) o agentes fijadores del papel. Estos agentes porosos pueden proporcionar hasta un 25 % de la energía total en forma de energía secundaria en la producción de ladrillos. El uso de agentes porosos en la producción de ladrillos cara vista es excepcional debido a su efecto sobre las propiedades técnicas de los ladrillos (color, densidad, etc.).

Sin embargo, por norma general, la forma y la composición de los productos depende en gran medida de los requisitos del mercado y, por lo tanto, la modificación de los cuerpos cerámicos sólo es posible en cierto grado y definitivamente no es posible para todos los productos cerámicos.

Impulsores de la implementación

- Mayor producción.
- Mejor calidad del producto.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

JUWOE POROTON-Werke Ernst Jungk & Sohn GmbH, Alemania, fábrica de ladrillos [4, UBA, 2001] [1, BMLFUW, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

4.2. Emisiones de polvo (partículas)

En esta sección se describen las técnicas y medidas para evitar emisiones difusas (principalmente las secciones 4.2.1 y 4.2.2) y canalizadas (principalmente la sección 4.2.3). En este contexto, también puede encontrarse información de utilidad en el BREF sobre emisiones procedentes del almacenamiento y en el BREF de tratamiento y gestión de aguas y gases residuales en el sector químico.

4.2.1. Medidas para operaciones que generen polvo

Descripción

Se presentan distintas medidas que pueden aplicarse por separado o combinadas:

- Revestimiento de las operaciones que generan polvo (molienda, cribado y mezcla).
- Uso de cubas o mezcladoras de cuba cubiertas y ventiladas.
- Filtrado del aire desplazado cuando se cargan las mezcladoras o durante la dosificación.
- Silos de almacenamiento con capacidad adecuada, indicadores de nivel con disyuntores y con filtros para tratar el aire polvoriento desplazado durante las operaciones de llenado.
- Cintas transportadoras cubiertas para materias primas que pueden generar polvo.
- Proceso de circulación para sistemas de transporte neumáticos.
- Tratamiento del material en sistemas cerrados que se mantienen bajo presión negativa y extracción del polvo del aire de succión.
- Reducción del número de pérdidas de aire y puntos de escape mediante actividades de mantenimiento.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las principales emisiones difusas de polvo.
- El cubrimiento de la maquinaria también permite una reducción del ruido.

Efectos cruzados

- Los sistemas de transporte neumáticos con circulación de aire pueden aumentar las emisiones sonoras y el consumo de energía eléctrica.
- Cuando se lleva a cabo el mantenimiento, pueden generarse residuos adicionales.

Datos operativos

Depende de cada medida/tarea relacionada con el caso en particular. De todos modos, el mantenimiento y las reparaciones regulares garantizan que las tuberías de gases residuales, los silos de almacenamiento y las unidades de preparación con fugas o las revestimientos dañados se reparen rápidamente.

Aplicabilidad

Las medidas pueden aplicarse en todos los sectores de la industria cerámica, en instalaciones antiguas y nuevas, pero al tratar arcillas húmedas no necesariamente deben llevarse a cabo todas las medidas mencionadas más arriba.

Economía

Depende de cada medida/tarea relacionada con el caso en particular. Para las instalaciones antiguas, el revestimiento de instalaciones puede requerir un plan de implementación a medio o largo plazo.

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- Requisitos de salud y seguridad en el lugar de trabajo.
- Ahorro de materias primas.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

4.2.2. Medidas para las zonas de almacenamiento a granel

Descripción

Con el fin de reducir principalmente las emisiones difusas hacia el aire libre de polvo generado por materias primas minerales en ubicaciones de almacenamiento a granel, esas ubicaciones de almacenamiento pueden cubrirse mediante aplanamiento, amurallamiento o con una revestimiento consistente de vegetación vertical (barreras de viento artificiales o naturales para la protección contra el viento de las pilas abiertas al aire libre).

Aunque las emisiones de polvo no puedan evitarse en los puntos de descarga de los emplazamientos de almacenamiento, sí pueden reducirse adaptando la altura

de descarga a la altura variable de la pila, a ser posible de forma automática, o reduciendo la velocidad de descarga. Adicionalmente, las ubicaciones pueden mantenerse húmedas –especialmente en zonas secas– mediante dispositivos de pulverización (si el punto donde se origina el polvo está localmente limitado, se puede instalar un sistema de agua atomizada o pulverizada) y limpiarse con camiones de limpieza urbana.

Para impedir la formación de polvo difuso durante operaciones de eliminación y limpieza pueden usarse sistemas de aspiración. Los edificios nuevos pueden equiparse fácilmente con sistemas de aspiración fijos, mientras que para los edificios existentes suelen ser mejor los sistemas móviles y las conexiones flexibles.

Ventajas medioambientales logradas

Reducción de las principales emisiones difusas de polvo.

Efectos cruzados

- Aumenta el consumo de agua al mantener húmedas las ubicaciones.
- Aumenta el consumo de energía por el uso de sistemas de aspiración.
- Cuando se lleva a cabo el mantenimiento, pueden generarse residuos adicionales.

Datos operativos

Depende de cada medida/tarea relacionada con el caso en particular.

Aplicabilidad

Las medidas pueden aplicarse en su mayor parte en todos los sectores de la industria cerámica, en instalaciones antiguas y nuevas pero, al tratar arcillas húmedas, no necesariamente deben llevarse a cabo todas las medidas mencionadas más arriba. Por otro lado, a veces se necesitan materias primas secas para que la mezcla consiga las propiedades deseadas, por lo que la humectación sólo puede aplicarse hasta cierto punto.

Economía

Depende de cada medida/tarea relacionada con el caso en particular. En este contexto, véase también la Tabla 4.7.

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- Requisitos de salud y seguridad en el lugar de trabajo.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[2, VITO, 2003], [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005],[30, TWG Ceramics, 2005]

4.2.3. Sistemas de separación/filtros

Esta sección describe algunas técnicas dirigidas exclusivamente a la eliminación de polvo. Además, cabe destacar que la mayoría de las técnicas de limpieza de los gases de combustión descritos en la sección 4.3.4, no son adecuadas para la eliminación de SO_X, HF y HCl, ni tampoco para la eliminación de polvo.

4.2.3.1. SEPARADORES CENTRÍFUGOS

Descripción y ventajas medioambientales logradas

En los separadores centrífugos, las partículas de polvo que deben eliminarse del flujo de gases residuales se empujan hacia la pared externa de la unidad por medio de la acción centrífuga y posteriormente se eliminan a través de una abertura situada en el fondo de la unidad. Las fuerzas centrífugas se pueden desarrollar dirigiendo el flujo de gas en un movimiento en espiral descendente a través de un recipiente cilíndrico (separadores ciclónicos) o mediante un impulsor rotativo instalado en la unidad (separadores centrífugos mecánicos).

Efectos cruzados

- El funcionamiento de los separadores centrífugos es una fuente de ruido significativa.
- El consumo eléctrico puede aumentar si se aplica un impulsor.
- Cuando se lleva a cabo el mantenimiento, pueden generarse residuos adicionales.

Datos operativos

Los separadores centrífugos actúan con mayor eficacia con cargas mayores de contaminantes, siempre que el dispositivo no se bloquee.

Aplicabilidad

La eficacia purificadora de los separadores centrífugos es, por regla general, demasiado baja para reducir las emisiones de polvo y cumplir las normas sobre contaminación atmosférica en la industria cerámica. Por lo tanto, sólo son adecuados como preseparadores y, a menudo, se usan después de operaciones de secado, machacado y molienda.

Economía

La recogida y recuperación del polvo separado conlleva la reducción del consumo de materia prima.

Impulsores de la implementación

Ahorro de materias primas.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.2.3.2. FILTROS DE BOLSA

Descripción y ventajas medioambientales logradas

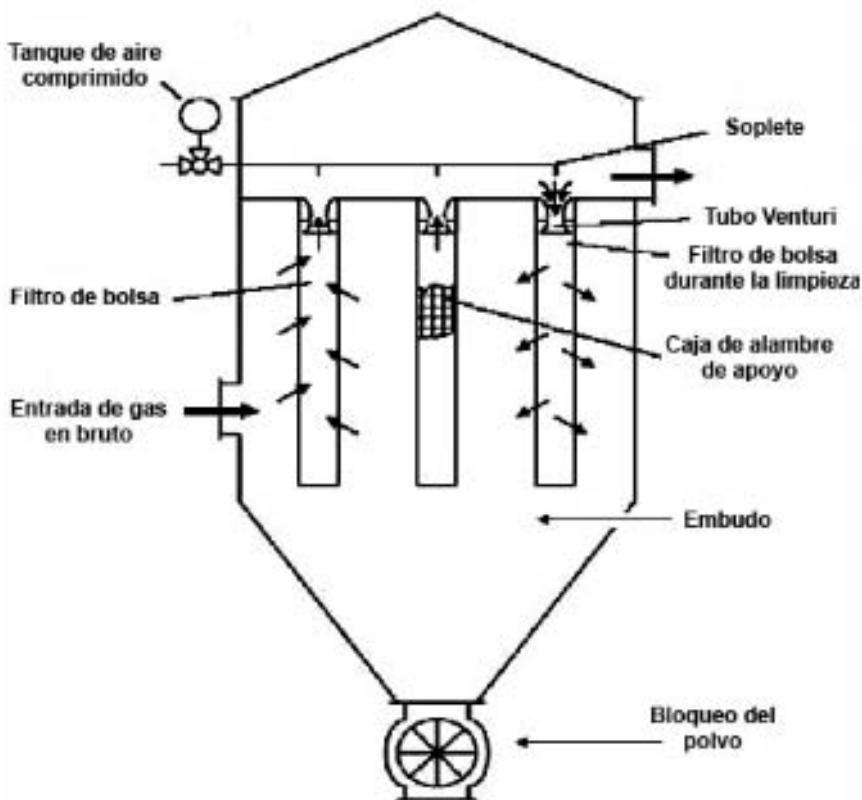
En los filtros de bolsa el gas residual se pasa a través de una manga filtrante, de manera que las partículas de polvo se depositan en la superficie del filtro como torta de filtración. Las plantas filtradoras con filtros de bolsa consiguen una retención de partículas alta, entre el 98 y el 99 %, según el tamaño de las partículas.

La figura 4.3 presenta una vista esquemática de un filtro de bolsa con regeneración por impulsos de presión [4, UBA, 2001]. La regeneración se lleva a cabo mediante un impulso de presión en la parte del gas limpio del filtro de bolsa.

Efectos cruzados

- El funcionamiento de los filtros de bolsa, especialmente con regeneración por impulsos de presión, puede causar emisiones de ruido y también puede verse aumentado el consumo eléctrico debido a la gran caída de presión.
- Cuando se lleva a cabo el mantenimiento, pueden generarse residuos adicionales.

Figura 4.3. Vista esquemática de un filtro de bolsa con regeneración por impulsos de presión



Datos operativos y económicos

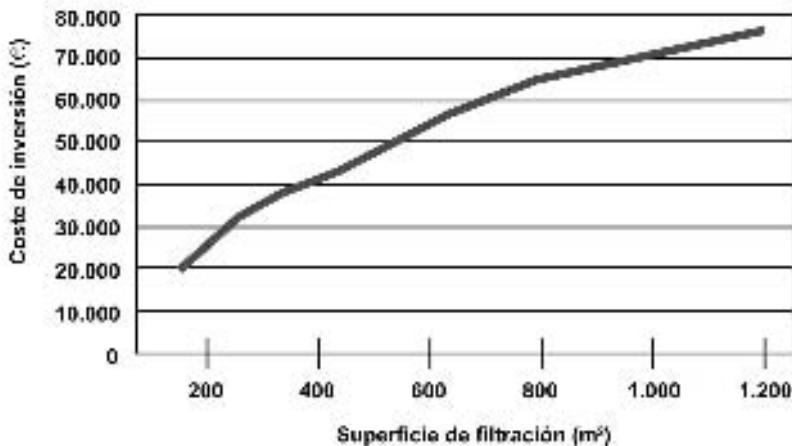
Existen bolsas filtrantes de tejidos de calada de distinta índole, algunos de los cuales presentan buena resistencia a los ácidos y a los álcalis. Los tejidos sintéticos modernos incluyen materiales que toleran temperaturas bastante altas, pero los filtros de bolsa no pueden funcionar a temperaturas demasiado elevadas. En la Tabla 4.2 siguiente se muestran ejemplos de tejidos de filtro de uso generalizado y se indican sus propiedades y precios relativos [3, CERAME-UNIE, 2003]. En concreto, si un filtro de bolsa se aplica formando parte de un dispositivo de limpieza en seco de los gases de combustión para limpiar gases de combustión de un horno (véase la sección 4.3.4.3), el filtro y los soporte de la manga deben ser resistentes a la corrosión por si hay condensación. Algunos ejemplos típicos de datos relativos al funcionamiento de los filtros de tejido se enumeran en la Tabla 4.3, y la Figura 4.4 muestra ejemplos del coste de inversión para plantas

Tabla 4.2. Ejemplos de resistencia térmica y precios de las bolsas filtrantes

| Material de bolsas filtrantes | Resistencia térmica (°C) | Precio (euros/m ²) |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Algodón | 80 | <5 |
| Polipropileno | 100 | 5 |
| Poliéster | 150 | 10-12 |
| Nomex (meta-arámida) | 220 | 25 |
| PTFE (teflón) | 280 | 100-120 |

Tabla 4.3. Ejemplos de datos operativos de la eliminación de polvo con filtros de tejido

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Carga de polvo de gas crudo | Hasta 200 g/m ³ |
| Carga de polvo de gas limpio | 1 – 20 mg/m ³ |
| Temperatura de funcionamiento | Hasta 250 °C |
| Coste de explotación | 0,03 – 0,1 euros/t |

Figura 4.4. Ejemplos de costes de inversión como parte de los costes anuales para plantas filtradoras, excluidas las bolsas filtrantes y la instalación

filtradoras, excluidas las bolsas filtrantes y la instalación [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

Los filtros de bolsa autolimpiables deben ser lo suficientemente grandes para funcionar con una carga de la superficie filtrante de menos de $2 \text{ Nm}^3/(\text{m}^2 \times \text{minuto})$, de modo que puedan registrarse concentraciones de gas limpio en la gama de $1\text{-}20 \text{ mg/m}^3$ [1, BMLFUW, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005]. La recogida, recuperación y reutilización del polvo separado conlleva la reducción del consumo de materia prima.

Los filtros de bolsa no pueden funcionar a temperaturas demasiado altas ni, especialmente en el caso de gases residuales húmedos, a temperaturas cercanas al punto de rocío. Ello se debe a que el filtro puede taponarse y resultará difícil volver a secarlo y limpiarlo debido a las reacciones entre el agua y el CaO, que forman una costra dura. Ello aumentará drásticamente los costes de mantenimiento y electricidad, así como el tiempo de producción.

En principio, los costes de funcionamiento de los filtros de bolsa están muy relacionados con la cantidad de electricidad necesaria para superar la caída de presión, como se mencionaba anteriormente.

En este contexto, véase también la Tabla 4.7.

Aplicabilidad

Los filtros de bolsa para la eliminación de polvo de los gases residuales pueden aplicarse, en principio, en todos los sectores de la industria cerámica, sobre todo en operaciones que generan polvo (en la extracción de polvo de silos de almacenamiento de materias primas secas, en la preparación de materias primas secas, incluido el secado por pulverización, en procesos de moldeado en seco, así como en procesos de mecanizado o molienda en seco). A veces resulta útil la combinación con prefiltros ciclónicos (véase la sección 4.2.3.1).

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- Posible ahorro de materias primas en comparación con otros tipos de filtro (p. ej. separadores húmedos de polvo).

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

Tondach Gleinstetten AG, planta de ladrillos y tejas, Austria [1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

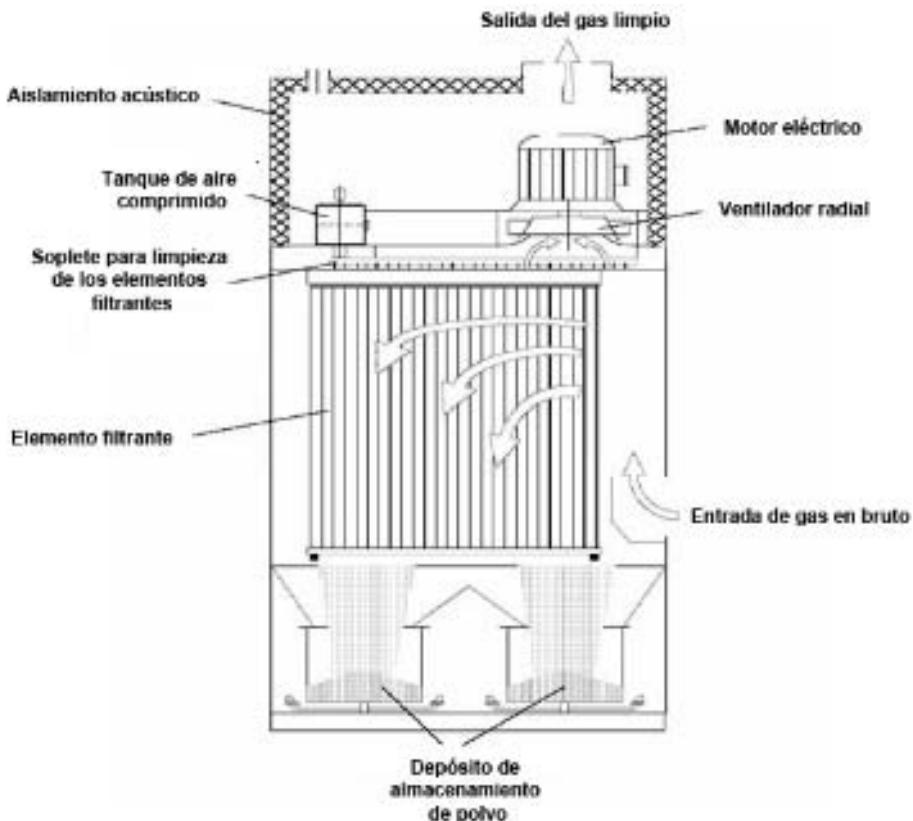
4.2.3.3. FILTROS DE LÁMINAS SINTERIZADAS

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Los elementos principales de este filtro son los medios filtrantes rígidos, montados como elementos compactos en el sistema de filtros. Los elementos filtrantes están compuestos por polietileno sinterizado cubierto por PTFE, lo cual confiere al elemento filtrante su estructura dura y sus características impermeables al agua. Las principales ventajas de estos medios filtrantes modernos son su gran eficacia en la limpieza de polvo de los gases residuales en combinación con una caída de presión reducida, así como una gran resistencia contra el desgaste por abrasión provocado, sobre todo, por las partículas de cerámica en bruto.

La figura siguiente presenta la vista esquemática de un filtro rígido de láminas sinterizadas de estas características, que se limpia con un sistema autolimpiable de chorro por impulsos [4, UBA, 2001].

Figura 4.5. Vista esquemática de un filtro de láminas sinterizadas rígido



Efectos cruzados

- El funcionamiento de los filtros de láminas sinterizadas con sistemas autolimpiables de chorro por impulsos pueden causar emisiones de ruido y un consumo adicional de energía.
- Cuando se lleva a cabo el mantenimiento, pueden generarse residuos adicionales.

Datos operativos

Con estos elementos filtrantes se pueden conseguir eficacias de limpieza de hasta un 99,99 por ciento con concentraciones de gas limpio de <1 mg/m³, por lo que es posible realimentar el gas limpio al lugar de trabajo [4, UBA, 2001].

Aplicabilidad

El uso de filtros de láminas sinterizadas permite la separación de polvo húmedo que se genera, por ejemplo, en el esmalteado por pulverización. Este sistema de filtros hace posible la realimentación directa de partículas de esmalteado, separadas del gas residual de la cabina de pulverización. Una zona quiescente en la parte ascendente garantiza que el polvo en el sistema sea relativamente seco. En una situación ideal, las partículas de esmalte separadas se generan como polvo que gotea en el sistema de filtros.

Economía

En general, los costes de inversión y operativos de los filtros de láminas sinterizadas son considerablemente más altos que los costes de los filtros de bolsa; sin embargo, la posibilidad de realimentar el gas residual limpio al lugar de trabajo permite ahorrar los costes de energía que serían necesarios si se tuvieran que calentar grandes volúmenes de aire fresco para proporcionar las temperaturas adecuadas en el lugar de trabajo.

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- Requisitos de salud y seguridad en el lugar de trabajo.
- Ahorro de materias primas.
- Ahorro de energía.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

Oesterreichische Sanitaer-, Keramik- und Porzellan-Industrie AG, planta de cerámica sanitaria, Austria [1, BMLFUW, 2003], [4, UBA, 2001],[32, TWG Ceramics, 2006]

4.2.3.4. SEPARADORES HÚMEDOS DE POLVO

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Los separadores húmedos de polvo eliminan el polvo de los flujos de gases residuales poniendo el flujo de gas en contacto directo con un líquido depurador (normalmente agua), de manera que las partículas de polvo se retienen en el líquido y pueden enjuagarse. Los separadores húmedos de polvo pueden dividirse en varios tipos según su diseño y sus principios de funcionamiento (por ejemplo, los de tipo venturi).

Efectos cruzados

Con la técnica de eliminación en húmedo, los contaminantes se transfieren del aire al agua por lo que es esencial disponer de una segunda instalación para limpiar el producto residual húmedo (suspensión) lo que puede provocar que el consumo de energía crezca.

Datos operativos

Se registran concentraciones de gas limpio en la gama de 20-50 mg/m³ [1, BMLFUW, 2003], [4, UBA, 2001]. En este contexto, véase también la Tabla 3.33.

Aplicabilidad

Los separadores húmedos de polvo son especialmente adecuados para reducir las emisiones de polvo húmedo, en concreto, las procedentes de procesos de secado por pulverización si se utilizan en combinación con ciclones. Son particularmente ventajosos si el agua de lavado puede reutilizarse.

Economía

En relación con los costes operativos, hay que tener en cuenta la limpieza del líquido depurador y del agua residual del proceso. Por regla general, las unidades menores que controlan flujos de gas residual de baja concentración serán mucho más caras (por caudal de unidad) que las unidades grandes que limpian flujos con elevadas cargas de contaminantes.

Impulsores de la implementación

Obligaciones legales.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

Oesterreichische Sanitaer-, Keramik- und Porzellan-Industrie AG, planta de cerámica sanitaria, Austria [1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998], [17, Burkart, 2004], [20, CERAME-UNIE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

4.2.3.5. PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS (ESP)

Descripción y ventajas medioambientales logradas

En los precipitadores electrostáticos, los gases de combustión se conducen a través de una cámara con dos electrodos. Se aplica un alto voltaje (hasta 100 kV) al primer electrodo, lo cual ioniza los gases de combustión. Los iones generados se adhieren a las partículas de polvo de los gases de combustión y, por consiguiente, las partículas reciben una carga eléctrica. Las fuerzas electrostáticas repelen las partículas de polvo cargadas del primer electrodo y las atraen hacia el segundo, sobre el que se depositan. De esta manera, las partículas se eliminan del flujo de gas de combustión.

Efectos cruzados

- Surgen riesgos de explosión, especialmente si se aplican sistemas de precipitadores electrostáticos (ESP) secos.
- Aumenta el consumo de energía debido al funcionamiento de los ESP (pero la caída de presión menor en comparación con otros sistemas de filtros puede conllevar un consumo de energía eléctrica menor de los ventiladores de gas de combustión).
- Cuando se lleva a cabo el mantenimiento, pueden generarse residuos adicionales.

Datos operativos y económicos

La tabla 4.4 siguiente enumera datos operativos y de costes típicos de los precipitadores electrostáticos [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [28, Schorcht, 2005].

En este contexto, véase también la Tabla 4.7.

Al operar con precipitadores electrostáticos hay que tener en cuenta unos costes de mantenimiento relativamente altos.

Tabla 4.4. Datos operativos y de costes típicos de los precipitadores electrostáticos

| | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Volumen del gas | Hasta 100.000 m ³ /h |
| Velocidad del gas | 0,5 – 3 m/s |
| Carga de polvo de gas crudo | Hasta 100 g/m ³ |
| Carga de polvo de gas limpio | 5 – 50 mg/m ³ |
| Temperatura de funcionamiento | Hasta 450 °C |
| Voltaje | 10 – 100 kV |
| Consumo de energía | 0,05 – 2 kWh/1000 m ³ |
| Coste de inversión | 1 – 3 millones euros |
| Coste de explotación | 0,1 – 0,2 euros/t |

Se registra que es posible conseguir concentraciones de gas libre de polvo de menos de 50 mg/m³ a partir de un proceso de fabricación de agregados de arcilla expandida en un horno rotatorio equipado con un precipitador electrostático (véase la sección 3.3.4.1) [17, Burkart, 2004].

Aplicabilidad

Los precipitadores electrostáticos se utilizan en la industria cerámica, principalmente en la fabricación de agregados de arcilla expandida detrás de hornos rotatorios y de unidades de molienda en seco, donde deben tratarse flujos de gran volumen a elevadas temperaturas con una fiabilidad operativa relativamente alta.

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- Ahorro de materias primas.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

Planta de Hallerndorf-Pautzfeld, Alemania (fabricación de agregados de arcilla expandida), Planta de Lamstedt, Alemania (fabricación de agregados de arcilla expandida) [26, UBA, 2005], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [28, Schorcht, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

4.3. Compuestos gaseosos

4.3.1. Reducción de la entrada de precursores de contaminantes

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Óxidos de azufre

- El uso de materias primas y aditivos bajos en azufre puede reducir significativamente las emisiones de SO_x .
- En el caso de materias primas ricas en azufre, la adición de aditivos bajos en azufre (p. ej. arena) o de arcilla baja en azufre reduce las emisiones de SO_x por un efecto de dilución.
- El uso de combustibles bajos en azufre, como gas natural o gas licuado de petróleo, deriva en unas emisiones de SO_x considerablemente más bajas.

Óxidos de nitrógeno

- La minimización de compuestos nitrogenados en las materias primas y los aditivos puede reducir las emisiones de NO_x .

Compuestos clorados inorgánicos

- El uso de materias primas y aditivos bajos en cloro puede reducir significativamente las emisiones de cloro.

Compuestos fluorados inorgánicos

- El uso de materias primas y aditivos bajos en flúor puede reducir significativamente las emisiones de flúor.
- En el caso de materias primas ricas en flúor, la adición de aditivos bajos en flúor (p. ej. arena) o de arcilla baja en flúor reduce las emisiones de flúor por un efecto de dilución.

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

La minimización de compuestos orgánicos en las materias primas, aditivos, aglutinantes, etc. puede reducir las emisiones de COV. Se añaden, por ejemplo, aditivos orgánicos, como serrín y poliestireno, a la mezcla de materias primas, principalmente en la fabricación de productos porosos. Sin embargo, estos aditivos orgánicos dan lugar a emisiones de COV (en este contexto, véase la Tabla 3.4 con relación a valores de gas crudo procedentes de procesos de fabricación de ladrillo que usan varios agentes facilitadores de la formación de poros). En principio, la generación de emisiones de COV puede evitarse cambiando a aditivos

inorgánicos que faciliten la formación de poros, p. ej. la perlita (un material volcánico vítreo que contienen entre un 3 y un 4 % de agua. Al calentarse (entre 800 y 1100 °C) el material se expande, debido a las burbujas de vapor que se forman en el interior, y alcanza hasta entre 15 y 20 veces su volumen original).

Efectos cruzados

La minimización de compuestos orgánicos en las materias primas puede aumentar el consumo de energía en el proceso de cocción.

Datos operativos y aplicabilidad

Es preferible reducir la entrada de precursores de contaminantes antes que reducir los gases de combustión de un horno, ya que el problema se resuelve en origen. Sin embargo, debido a unas limitaciones específicas, en la realidad la aplicabilidad resulta, en ocasiones, complicada. Por lo tanto, el empleo de materias primas y aditivos con bajo contenido en precursores de contaminantes puede, en principio, aplicarse a todos los sectores de la industria cerámica. Independientemente del caso específico, siempre hay que tener en cuenta la disponibilidad en particular y los posibles problemas de calidad del producto (p. ej. los relativos a la resistencia a la compresión del color y a las heladas) y llevar a cabo un ensayo a fondo de las mezclas de materias primas.

Por ejemplo, los aditivos inorgánicos con tendencia a la porosidad conllevan dificultades técnicas, ya que estas sustancias tienden a expandirse repentinamente y con excesiva brusquedad, de tal modo que resulta difícil controlar la formación de poros y se reduce la calidad del producto. Como consecuencia, probablemente sea inviable la sustitución de los aditivos orgánicos con tendencia a la porosidad por otros inorgánicos. Una conocida fábrica de ladrillos de Flandes utiliza perlita como aditivo. No obstante, se trata de una especie de perlita previamente expandida y molida que se utiliza para conseguir arcilla de Boom más fina y no como agente poroso.

Para la fabricación de arcilla expandida la reducción de los COV (compuestos orgánicos volátiles) no es viable, puesto que los COV se utilizan para la formación de poros.

Además, el contenido de contaminantes en las materias primas es un parámetro significativo, aunque no siempre determinante, en las emisiones de contaminantes durante la cocción, ya que dichas emisiones dependen de diversos criterios, como por ejemplo, los parámetros operativos del proceso de cocción. Por lo tanto, una reducción del 50 % del contenido de contaminantes en las materias primas no siempre implica la misma reducción en la emisión de contaminantes, ya que la

experiencia también ha demostrado la correlación entre el contenido de fluoruro de la arcilla y la concentración en la emisión de HF.

En cuanto a los problemas con el azufre, cabe destacar que como la cantera suele encontrarse cerca de la planta, se limita la elección de materias primas bajas en azufre (véase también »Economía»).

Economía

Para una empresa que disponga de una cantera con alto contenido de azufre, el uso o la mezcla de materiales arcillosos bajos en azufre obliga a recurrir a materiales arcillosos extraídos por terceros en otro lugar. Esto conlleva un coste adicional considerable, debido por una parte al precio del transporte extraordinario (estimado en 1998 en 0,05 euros/toneladas/km) y, por otra, al coste de la extracción (estimado en 1998 en 2,5 euros/tonelada) que deberá pagarse a una tercera empresa, superior en todo caso a lo que cuesta la extracción en la cantera propia [2, VITO, 2003]. La minimización de los compuestos orgánicos en las materias primas también puede elevar los costes, debido a la posible lejanía de la planta respecto de los proveedores externos.

Las medidas que conllevan la adición de aditivos de arcilla bajos en azufre y/o cuerpo cerámico que contengan calcio (véase también la sección 4.3.2) pueden implicar costes de inversión sustanciales (hasta 850.000 euros), p. ej. para ampliar la capacidad de almacenaje o modificar la maquinaria utilizada en la preparación de las materias primas, el moldeado y el secado. También pueden conllevar costes adicionales tanto operativos como de materiales.

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- No utilización de técnicas de reducción de final de línea caras.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

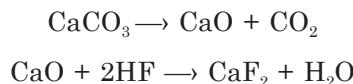
4.3.2. Adición de aditivos ricos en calcio

Descripción y ventajas medioambientales logradas

La adición de caliza fina o tiza en los cuerpos cerámicos tiene un efecto de dilución, pero los aditivos ricos en calcio también reaccionan a temperaturas

relativamente bajas, de entre 700 y 850 °C, con materias primas que contengan fluoruro y cloruro, y con óxidos de azufre formados durante la cocción de materias primas que contienen azufre, para conservar el flúor, el cloro y el azufre en el cuerpo cocido.

Esta reacción química sirve para «fijar» el fluor mediante la formación de fluoruro de calcio estable, y puede reducir de forma significativa las emisiones de HF.



Una reacción similar sirve también para «fijar» el cloruro y el SO_x en el cuerpo cerámico, como se indica arriba, y también puede reducir de forma significativa las emisiones de HCl y SO_x.

Sin embargo, la concentración de HF, HCl y SO_x en los gases de combustión no siempre guarda relación con el nivel de CaO de la materia prima, porque la experiencia demuestra que incluso los carbonatos finos o el CaO presentes en los productos de arcilla durante el proceso de cocción tienen un efecto mínimo o nulo en los niveles de emisión de HF, HCl y SO₂/SO₃. Esto se debe principalmente a las altas temperaturas de cocción en el interior del horno, que descomponen el CaSO₄, el CaCl₂ y el CaF₂. A una temperatura de unos 850 °C el CaF₂ empieza a descomponerse. A una temperatura alta (superior a 900 °C) el CaO reaccionará también con los silicatos y formará silicatos de calcio, reduciendo la cantidad de CaO disponible.

Efectos cruzados

La adición de aditivos ricos en calcio puede aumentar el consumo de energía en la cocción, debido por una parte a las reacciones endotérmicas producidas en el horno, y por otra a los tiempos de cocción más prolongados que se requieren. Además, la adición de aditivos ricos en carbonato de calcio aumenta las emisiones de CO₂.

Datos operativos y aplicabilidad

Los aditivos ricos en calcio pueden producir un descenso de entre el 10 y el 75 % en las emisiones de fluoruros (dependiendo de la materia prima y la temperatura de cocción máxima), pero su adición puede afectar a la calidad del producto final; por lo tanto, esta medida, en la práctica, no puede aplicarse de forma ilimitada [4, UBA, 2001].

El principal sector de aplicación es la industria del ladrillo, siempre y cuando se alcancen las propiedades técnicas del producto final; en la industria refractaria

esta medida no es habitual. Los aspectos de calidad afectados por la adición de cal son los siguientes:

- Color: al aumentar la adición de cal se produce un cambio en el color, que tiende a sombras más claras (más amarillas). En la fabricación de ladrillos para paredes interiores se permite una leve decoloración, pero en la fabricación de ladrillos cara vista puede afectar negativamente a las ventas y, por lo tanto, no se puede emplear estos aditivos en todas las masas para ladrillos. La adición de Fe_2O_3 puede compensar en parte la decoloración amarilla
- La concentración de sulfatos solubles en agua: aumenta al aumentar las cantidades de CaCO_3 añadido. Los sulfatos solubles en agua son la causa, en parte, de los problemas de eflorescencia en la fabricación de ladrillos
- Resistencia a la compresión: la adición de carbonato de calcio puede tener un efecto levemente positivo, pero también levemente negativo, en la resistencia a la compresión
- Comportamiento frente a la contracción: la adición de tiza tiene un efecto relativamente impredecible en el comportamiento frente a la contracción del producto durante el secado y la cocción.
- Absorción de agua: la absorción de agua espontánea aumenta al aumentar las cantidades de CaCO_3 añadido, y por este motivo se eleva el coeficiente de saturación. Esto redunda en una reducción de la resistencia a las heladas del ladrillo y en un aumento de las probabilidades de eflorescencia. Estos efectos son más tolerables en ladrillos para paredes interiores que en ladrillos para paredes exteriores.
- Los agregados de arcilla expandida deben tener un máximo de CaO del 3 %; en caso contrario, la resistencia del gránulo se reduce de forma significativa y, además, por encima del 5 %, la expansión se empobrece por culpa de un fundente excesivo [2, VITO, 2003].

Economía

Las emisiones de CO_2 provocadas por el uso de aditivos ricos en carbonato de calcio pueden aumentar los costes debido a las obligaciones legales (p. ej. comercio de emisiones). Además, los cambios en el comportamiento frente a la contracción de los productos cerámicos pueden afectar al proceso mecánico durante la fabricación.

Las medidas que conllevan la adición de aditivos de arcilla bajos en azufre y/o cuerpo cerámico que contengan calcio (véase también la sección 4.3.1) pueden im-

plicar costes de inversión sustanciales (hasta 850.000 euros), p. ej. para ampliar la capacidad de almacenaje o modificar la maquinaria utilizada en la preparación de las materias primas, el moldeado y el secado. También pueden conllevar costes operativos adicionales (costes por materiales adicionales).

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- No utilización de técnicas de reducción de final de línea caras.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005]

4.3.3. Optimización de los procesos

4.3.3.1. OPTIMIZACIÓN DE LA CURVA DE CALENTAMIENTO

Descripción, beneficios medioambientales logrados y datos operativos.

El índice de calentamiento así como el nivel de la temperatura de cocción pueden afectar a las emisiones de SO_x y HF:

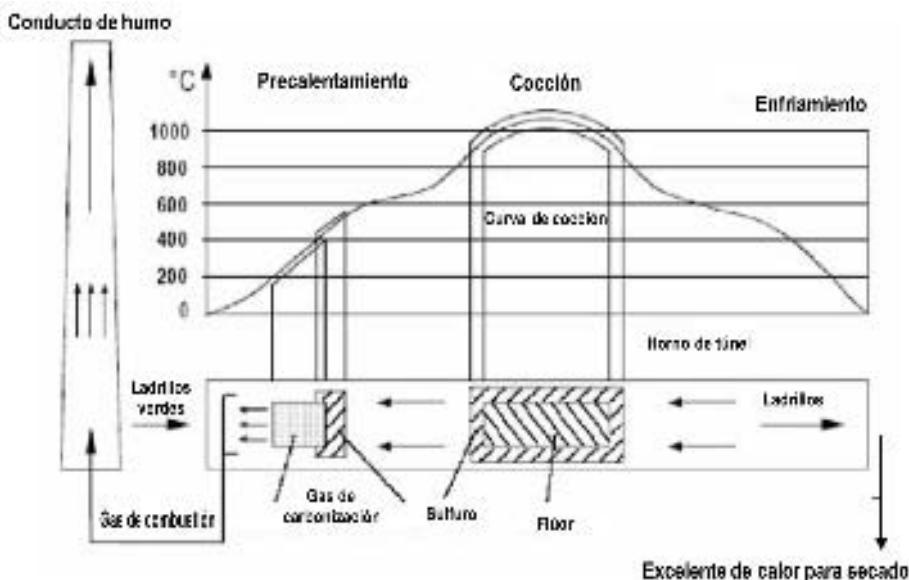
- La reducción del índice de calentamiento en la escala más baja de temperatura (hasta 400 °C) ayuda a la reabsorción de HF en la formación de CaF_2 , lo cual redunda en un descenso de las emisiones de HF. Un efecto similar puede aplicarse a las emisiones de SO_x . Suelen formarse a partir de la oxidación de la piritita y/o la disociación del sulfato de calcio presente en el cuerpo cerámico.
- Al aumentar el índice de calentamiento en la escala de temperatura que va de los 400 °C a la temperatura de cocción, la temperatura de sinterizado se alcanza con mayor rapidez y, por lo tanto, la difusión limita la liberación de emisiones, con lo que se reducen las emisiones.
- La altura de la temperatura de cocción afecta a la descomposición de los sulfatos. Cuanto menor es la temperatura de cocción, menor descomposición se produce y, por lo tanto, más se reducen las emisiones de SO_x . La reducción de la temperatura de cocción se puede conseguir añadiendo fundentes a la mezcla de la materia prima.
- Por regla general, cuanto más rápido es el ciclo de cocción, menor es la emisión de fluoruros. Las características de la materia prima afectan a la liberación de

fluoruros pero, para cualquier producto cerámico, resulta decisivo un tiempo de cocción con una temperatura superior a los 800 °C.

- El control de los niveles de oxígeno en los procesos de cocción maximiza la eficacia de la combustión.

La figura siguiente muestra las gamas de temperatura de un ejemplo de curva de temperatura para la liberación de contaminantes durante la cocción de ladrillos [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

Figura 4.6. Gamas de temperatura de un ejemplo de curva de temperatura para la liberación de contaminantes durante la cocción de ladrillos



Efectos cruzados

Sin cuestiones.

Aplicabilidad y economía

La optimización del control del proceso/curva de calentamiento puede aplicarse en todos los sectores de la industria cerámica, pero conviene destacar que, en la práctica, las curvas de calentamiento en la industria del tratamiento de la arcilla se optimizan teniendo en cuenta la calidad del producto y el consumo de energía. Por lo tanto, las curvas de calentamiento sólo pueden cambiarse si las propieda-

des técnicas del producto final lo permiten, y hay que tener en cuenta los costes adicionales al alterar las curvas de calentamiento por motivos de emisiones.

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- No utilización de técnicas de reducción de final de línea caras.
- Eficiencia energética en el uso de hornos.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.3.3.2. REDUCCIÓN DE NIVELES DE VAPOR DE AGUA EN LOS GASES DEL HORNO

Descripción, beneficios medioambientales logrados y datos operativos.

La reducción de niveles de vapor de agua en los gases del horno suele conllevar menores índices de emisión de fluoruro, ya que el mecanismo básico de liberación de fluoruro de los minerales arcillosos es la pirohidrólisis. Esta reacción se produce a temperaturas de 800 °C y superiores.

Efectos cruzados, aplicabilidad y economía

En ensayos de laboratorio se descubrió que al reducir el contenido de agua de la atmósfera del horno se reducían las emisiones tanto de HF como de SO_x. En la práctica, la reducción del contenido de agua en la atmósfera del horno sería difícil de conseguir desde el punto de vista técnico, dado que el agua se produce durante la combustión de los combustibles fósiles empleados para calentar el horno. Esta producción de agua únicamente puede evitarse calentando el horno bien indirectamente, por ejemplo con quemadores de tubo radiante alimentados por gas [5, InfoMil, 2003], bien con electricidad, aunque esta última opción obligaría a introducir cambios importantes en el diseño del horno y supondría un consumo de energía más alto.

En principio, en toda Europa sólo resulta económicamente viable la cocción en hornos que funcionen con combustibles fósiles para la fabricación de ladrillos y tejas, tuberías de gres vitrificado, productos refractarios y agregados de arcilla expandida. Por lo tanto, el calentamiento del horno con electricidad o con métodos indirectos no es viable en estos sectores (el calentamiento eléctrico sólo se usa para remesas pequeñas de productos especiales en el caso de productos refractarios). Sin embargo, en los sectores de revestimientos, cerámica de mesa y

decoración, cerámica sanitaria, cerámica técnica y abrasivos aglomerados inorgánicos, la reducción de niveles de vapor de agua en los gases del horno al calentar los hornos con electricidad (en la fabricación de algunas cerámicas técnicas, los hornos de calentamiento por electricidad se usan en cierta medida), o de forma indirecta con quemadores de tubo radiante [5, InfoMil, 2003] (en principio, los hornos intermitentes o los pequeños hornos de rodillos pueden equiparse con estos quemadores con vistas a una producción a pequeña escala), tiene un potencial de aplicación más realista.

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- No utilización de técnicas de reducción de final de línea.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

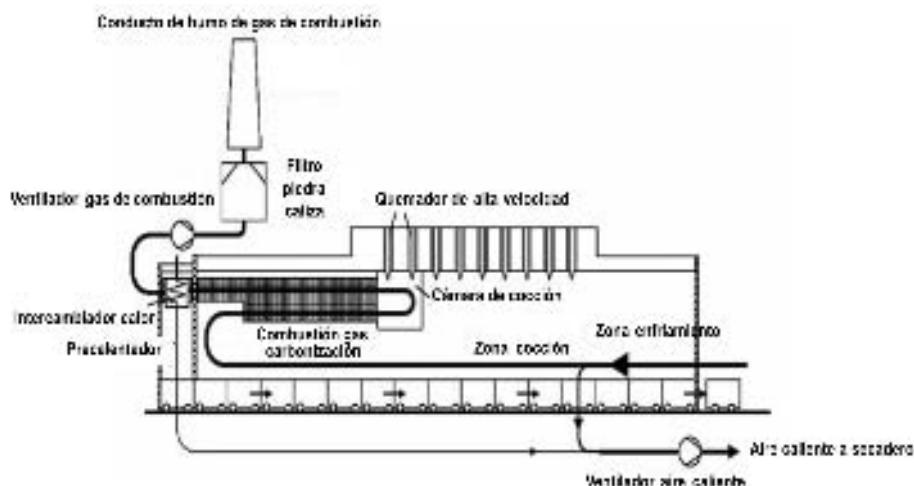
[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [5, InfoMil, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.3.3.3. COMBUSTIÓN INTERNA DEL GAS DE CARBONIZACIÓN

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Las emisiones de COV que se producen en el área de calentamiento del horno como resultado de la descomposición y la combustión incompleta de los componentes orgánicos de las mezclas de materias primas (conocidas como gases de carbonización), pueden quemarse a posteriori en el horno, siempre y cuando éste haya sido especialmente modificado. La combustión interna puede lograrse dirigiendo los gases de carbonización desde la zona de calentamiento del horno de vuelta a la zona de cocción, en la que se quemarán a continuación gracias a las altas temperaturas que allí se mantienen. Para lograrlo, la zona de cocción en la que se producen las emisiones de COV (conocida como zona de carbonización) debe estar separada del resto del horno. Esto se consigue instalando una o más puertas correderas en el horno, o con un sistema de extracción especial para los gases de carbonización. Con esta técnica se reducen de forma significativa no sólo las emisiones de COV, sino también las de CO. La figura siguiente muestra esquemáticamente la combustión interna de los gases de carbonización [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

Figura 4.7. Vista esquemática de la combustión interna de los gases de carbonización



Efectos cruzados

La combustión de los gases de carbonización en el interior del horno puede aumentar el consumo de energía total, sobre todo si se precisa una cocción adicional con quemadores (alta velocidad) para quemar los gases de carbonización de la zona de calentamiento.

Datos operativos y aplicabilidad

En Alemania hace tiempo que se utilizan los sistemas de combustión interna de los gases de carbonización, sobre todo algunas empresas dedicadas a la fabricación de ladrillos. Estos sistemas reducen de forma significativa las emisiones de COV pero con una desventaja práctica, ya que en ocasiones interfieren en el funcionamiento del horno y, por lo tanto, resultan difíciles de controlar. El asidero de las puertas, por ejemplo, es un problema habitual en los sistemas que funcionan con hornos de puertas correderas. La interferencia de la postcombustión térmica en el interior del horno, cuando se utiliza un horno de túnel como simple intercambiador térmico a contracorriente, en ocasiones provoca problemas en el modo de funcionamiento del horno, o simplemente aumenta los gastos. Posiblemente por estos motivos, los sistemas de postcombustión alimentados por gas de carbonización externa se han impuesto en los últimos años, sobre todo en las instalaciones más recientes.

Esta técnica no es aplicable en la fabricación de agregados de arcilla expandida, puesto que el secado y la cocción se producen a la vez, un proceso que redundaría en la emisión de gases que contienen altas concentraciones de agua.

Al emplear esta técnica se pueden obtener valores de gas limpio de C total de, aproximadamente, 15 mg de C total/m³, si los valores de gas crudo son de 250 mg de C total/m³ [4, UBA, 2001].

Economía

La combustión interna de los gases de carbonización es, debido a las complicadas técnicas de cocción y control, un sistema bastante caro en lo que respecta a los costes de mantenimiento.

En este contexto, véase la Tabla 4.7.

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- No utilización de técnicas de reducción de final de línea.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.3.3.4. QUEMADORES DE BAJO NO_X

Descripción, beneficios medioambientales logrados y datos operativos.

La cocción de productos cerámicos provoca emisiones de óxidos de nitrógeno, p. ej. productos refractarios a temperaturas superiores a 1300 °C. Estas emisiones de NO_X se pueden minimizar mediante el uso de quemadores especiales de bajo NO_X. Estos quemadores sirven para reducir la temperatura de la llama, con lo que se reduce la emisión de NO_X térmico y (hasta cierto punto) derivado del combustible. La reducción de NO_X se consigue suministrando aire para reducir la temperatura de la llama o de la operación de impulsos de los quemadores.

Efectos cruzados

Sin cuestiones.

Aplicabilidad

La aplicabilidad y la eficiencia de los quemadores de bajo NO_X dependen de varios factores, por ejemplo, la temperatura extrema de cocción. En algunos

casos se registra falta de eficiencia a temperaturas inferiores a 1400 °C. En este contexto, puede encontrar información complementaria en el documento BREF sobre fabricación de vidrio, en el cual también se mencionan los quemadores de bajo NO_x. Por otro lado y debido a los requisitos de calidad de producto de los productos finales, el uso de quemadores de bajo NO_x puede verse restringido [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Impulsores de la implementación

Obligaciones legales.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[1, BMLFUW, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.3.4. Plantas de adsorción y absorción

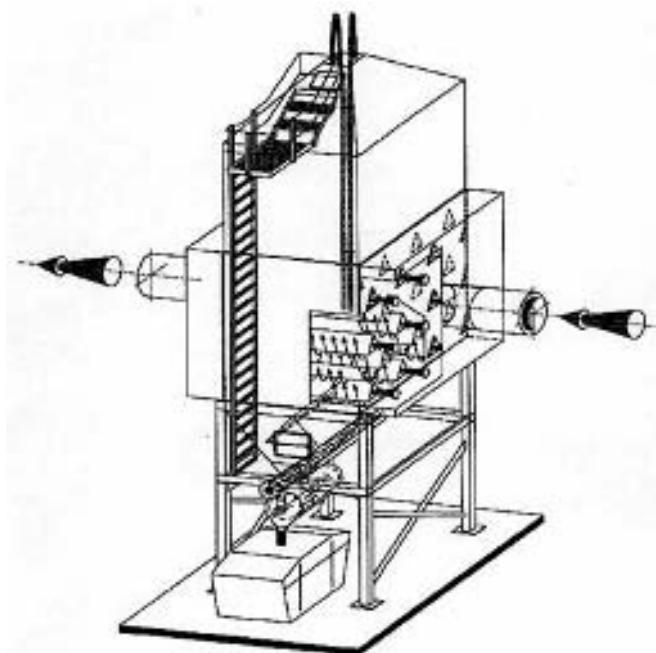
En este contexto, también puede encontrarse información de utilidad en el BREF sobre tratamiento y gestión de aguas y gases residuales en el sector químico.

4.3.4.1. ADSORBENTES DE LECHO FIJO DE TIPO CASCADA

Descripción y ventajas medioambientales logradas

En los adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada, la reacción entre el adsorbente, normalmente carbonato cálcico (CaCO₃, caliza), y los contaminantes (principalmente HF, SO_x y HCl) en el gas de combustión tiene lugar en una cámara en la que el adsorbente se hunde debido a la gravedad y a través de la cual se conducen los gases de combustión en modo de contracorriente o de flujo cruzado. Para lograr un tiempo de reacción y una zona de contacto suficientes, se utilizan deflectores en esta cámara. Estos deflectores retardan la velocidad de descenso del adsorbente y garantizan la circulación y distribución eficaces de los gases de combustión en la unidad. El carbonato cálcico consumido se recoge en el fondo de la instalación. Estos adsorbentes pueden trabajar con gases a temperaturas de hasta 500 °C sin enfriamiento previo y son, por lo tanto, muy eficaces a la hora de reducir las emisiones de HF, SO_x y HCl de los gases de combustión de hornos. La figura 4.8 [4, UBA, 2001] muestra una ilustración de un adsorbente de flujo cruzado.

Se utiliza carbonato cálcico en forma de gránulos con un tamaño de grano que suele ser de 4-6 mm y debe cumplir ciertas especificaciones con relación al ta-

Figura 4.8. Ilustración de un adsorbente de flujo cruzado tipo cascada

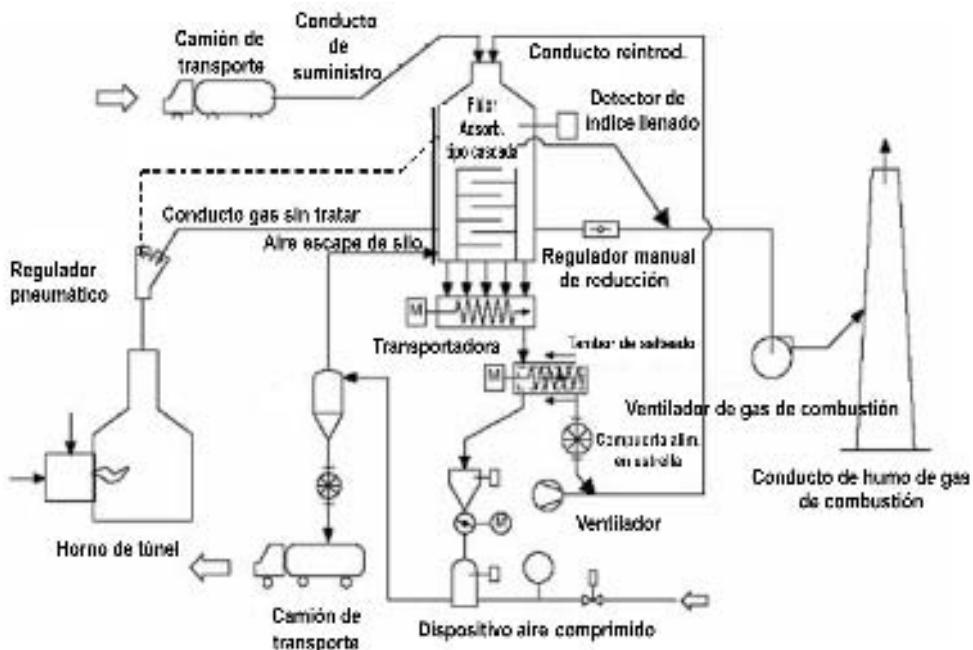
maño, la composición y la porosidad con el fin de conseguir la máxima eficacia purificadora. Además del carbonato cálcico corriente, pueden utilizarse como adsorbentes tipos modificados de carbonato cálcico compuesto por mezclas de carbonato cálcico/hidróxido cálcico ($\text{CaCO}_3/\text{Ca(OH)}_2$). Éstos tienen mayor afinidad con los gases ácidos debido a la porosidad aumentada y al mayor contenido de hidróxido cálcico.

Puesto que la adsorción de HF, SO_x y HCl se produce principalmente en el exterior de los gránulos de carbonato cálcico, la eficiencia de adsorción de los gránulos es bastante baja. Se puede utilizar una técnica de exfoliado para aumentar la eficiencia de adsorción si se utiliza carbonato cálcico no modificado. Esta técnica elimina mecánicamente el revestimiento exterior más blando de los gránulos consumidos, compuesto por fluoruro de calcio, sulfito de calcio, sulfato de calcio o cloruro de calcio. Los gránulos restantes se pueden utilizar como adsorbente, siempre que su tamaño sea suficientemente grande, de modo que se generen menos residuos (como caliza saturada exfoliada).

En el caso de los gránulos modificados, la mayor afinidad con los gases ácidos se consigue mediante calidades de superficie mejoradas; por ello, no se pueden exfoliar para reutilizarlos como sucede con el carbonato cálcico no modificado.

La figura siguiente presenta un diagrama de proceso de un adsorbente de lecho fijo de tipo cascada con un tambor de exfoliado. El agente de sorción exfoliado se reintroduce automáticamente en el silo de almacenamiento. Esta medida reduce la cantidad de residuos hasta en un 50 % [4, UBA, 2001].

Figura 4.9. Diagrama de proceso de un adsorbente de lecho fijo de tipo cascada con un tambor de exfoliado



El granulado de caliza, saturado de contaminantes, se conduce al tambor de exfoliado mediante un transportador helicoidal. La capa exterior, saturada de contaminantes, se elimina por frotamiento y se extrae junto con el granulado pequeño con un diámetro de partículas <2,5 mm. Las vagonetas del silo descargan este material contaminado. La superficie del granulado restante con un tamaño de partículas >2,5 mm pasa a ser reactiva de nuevo. El granulado reciclado se reintroduce en el silo de almacenamiento del adsorbente mediante una compuerta de alimentación en estrella y un tubo de reintroducción. El adsorbente, el tambor de exfoliado y el tubo de reintroducción forman un sistema cerrado. El exfoliado y la reintroducción tienen lugar de forma automática y continua.

Efectos cruzados

- Elevado consumo de adsorbentes.
- Gran cantidad de residuos (debido al exceso de dosificación relativamente alto del adsorbente).
- Los gránulos de carbonato cálcico reaccionan con los componentes ácidos del gas de combustión y desarrollan CO₂.
- Mayor consumo de energía debido al funcionamiento del adsorbente (especialmente para superar la caída de presión).
- Posible aumento de las emisiones de polvo como consecuencia del aumento de la carga de polvo generado a partir de los gránulos de carbonato cálcico, sobre todo si se utilizan tambores de exfoliado.
- Posibles emisiones de ruido.

Datos operativos

Los gránulos de carbonato cálcico, preferentemente los tipos de carbonato cálcico más blandos, son especialmente adecuados para eliminar HF y SO₃. En estos compuestos los gránulos consiguen eficacias purificadoras que superan el 90 % (hasta un 99 %) y el 80 % respectivamente. Sin embargo, el carbonato cálcico corriente no es muy adecuado para la eliminación de SO₂, ya que el SO₂ es menos reactivo si se compara con el HF y el SO₃; la eficacia purificadora alcanza la magnitud de un 20 %. En cuanto al HCl, la eficacia purificadora del carbonato cálcico no modificado es aproximadamente un 50 % [2, VITO, 2003], [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

El carbonato cálcico modificado es más adecuado para la eliminación de SO₂ y también da unas eficacias ligeramente mejores para la eliminación de HF y SO₃. Con el carbonato cálcico modificado pueden conseguirse eficacias purificadoras de hasta un 99 % para HF, hasta un 85 % para SO₃, entre un 30 y un 85 % para SO₂, para una concentración de gas crudo de hasta 1500 mg SO₂/m³ y una eficiencia de más del 50 % para HCl. La eficiencia limpiadora de estos sistemas alcanza el 100 % en el caso de la retención de partículas en suspensión (véase también la sección 4.3.6) [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005].

El gas de combustión con un contenido de unos 2.500 mg SO₂/m³ puede filtrarse suficientemente, en determinadas circunstancias –por ejemplo, con cuatro adsorbentes (de lecho fijo y tipo de contracorriente con carbonato cálcico modificado) dispuestos aguas abajo uno del otro– y lograr valores de gas limpio inferiores a 500 mg SO₂/m³. También puede conseguirse una eficacia purificadora del gas crudo muy cargado del 85 % para SO₂ [4, UBA, 2001], si bien con un solo adsorbente esa eficacia para SO₂ cae aproximadamente un 30 %. [2, VITO, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005].

En este contexto, véase también la Tabla 3.2 en relación con el cloruro liberado, la Tabla 3.6, la Tabla 3.7, la Tabla 3.8 y la Tabla 3.9 en relación con las emisiones procedentes de los procesos de fabricación de ladrillos y tejas, y la Tabla 3.43 en relación con las emisiones procedentes de un proceso de fabricación de cerámica sanitaria, en los que se han aplicado sistemas adsorbentes de lecho fijo [2, VITO, 2003].

Aplicabilidad

Esta técnica se puede aplicar a varios sectores de la industria cerámica, pero hay que tener en cuenta la cantidad de espacio que ocupa el sistema y la falta de flexibilidad en lo que se refiere a los controles y al uso de otros adsorbentes. También es necesario tener en cuenta otras condiciones, como las siguientes: concentraciones de HF y SO_x en el gas crudo, gama de productos de arcilla, funcionamiento del horno, tamaño del horno, índice de producción del horno, temperatura máxima de cocción requerida, cantidad y temperatura de gas de combustión, carga total de polvo del adsorbente, necesidad de un filtro de polvo, posibilidad de reutilización, reciclaje o depósito de grandes cantidades de residuos de los adsorbentes, disponibilidad de gránulos de caliza adecuados, aumento de la demanda de electricidad e impacto medioambiental total.

Economía

En este contexto, véase la Tabla 4.7.

Es posible añadir pequeñas cantidades de caliza saturada exfoliada a la fabricación de bloques de arcilla y ladrillos cara vista, aunque debe tenerse en cuenta que el contenido de sulfato de calcio de la caliza saturada puede generar efluvios en los ladrillos. El uso de caliza saturada en la industria del cemento, hormigón y asfalto también es factible. Si no hubiera reutilización posible, habrá que contar con los costes adicionales de su eliminación.

Impulsores de la implementación

Obligaciones legales.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

Wienerberger Ziegelindustrie AG, planta de ladrillos cara vista, Rotenturm, Austria [1, BMLFUW, 2003], Erlus Baustoffwerke AG, planta de tejas, Neufahrn, Alemania [4, UBA, 2001], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [23, TWG Ceramics, 2005]

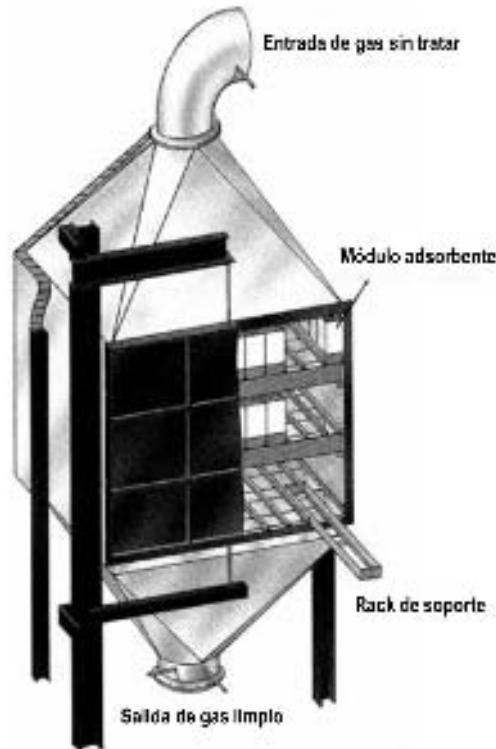
4.3.4.2. SISTEMAS ADSORBENTES MODULARES

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Un proceso empleado fundamentalmente en la separación de compuestos fluorados inorgánicos gaseosos es la sorción seca mediante módulos alveolares hechos de hidróxido cálcico, en lo que se denomina sistemas adsorbentes modulares. En este proceso, el gas de combustión pasa a través de un reactor de acero sencillo sin partes móviles. El reactor aloja varias capas de adsorbentes alveolares llenos de cal apagada (hidróxido cálcico) que convierten químicamente el contenido de HF de los gases de combustión en fluoruro de calcio (CaF_2) a medida que pasan por los módulos. La duración de los módulos depende del tiempo de funcionamiento de la planta, del caudal volumétrico del gas de combustión y de la concentración de flúor en el gas crudo. Los módulos se colocan en bastidores de soporte para reducir el tiempo de cambio de módulo y facilitar la manipulación. Los módulos saturados se sustituyen por otros nuevos.

La figura siguiente muestra una vista esquemática de la unidad de sorción seca mediante módulos alveolares hechos de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [4, UBA, 2001].

Figura 4.10. Vista esquemática de un sistema adsorbente modular alveolar



Efectos cruzados

- Consumo relativamente alto de adsorbentes.
- Gran cantidad de residuos (los módulos saturados se tienen que eliminar).
- Posible aumento del consumo de energía debido al funcionamiento del adsorbente (en particular, para superar la caída de presión en gases de combustión con cargas de polvo elevadas).

Datos operativos y aplicabilidad

Este sistema es sencillo desde el punto de vista técnico y robusto porque su construcción no tiene piezas móviles y presenta caídas de presión bajas. Es especialmente eficiente para la limpieza de gases de combustión de velocidad de flujo baja (<18.000 m³/h) y cuando las concentraciones de compuestos inorgánicos distintos al HF (SO₂, SO₃, HCl) son bajas. Por ello, este tipo de sistema se aplica principalmente en las industrias de fabricación de pavimentos y revestimientos, cerámica de mesa y de decoración, cerámica sanitaria y cerámica técnica. Por otro lado, las capilares tienden a taponarse si existen concentraciones altas de polvo y, por lo tanto, el sistema no es verdaderamente apto para fines de extracción de polvo.

En este contexto, véase la Tabla 3.41, en la que constan concentraciones en gas crudo y gas limpio procedente de un proceso de fabricación de cerámica sanitaria en el que se aplica un sistema adsorbente modular alveolar para la limpieza de gas de combustión.

Economía

En este contexto, véase la Tabla 4.7. Además del precio de los módulos adsorbentes nuevos, debe tenerse en cuenta el precio de la eliminación de los módulos saturados porque no es posible reutilizarlos.

Impulsores de la implementación

Obligaciones legales.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

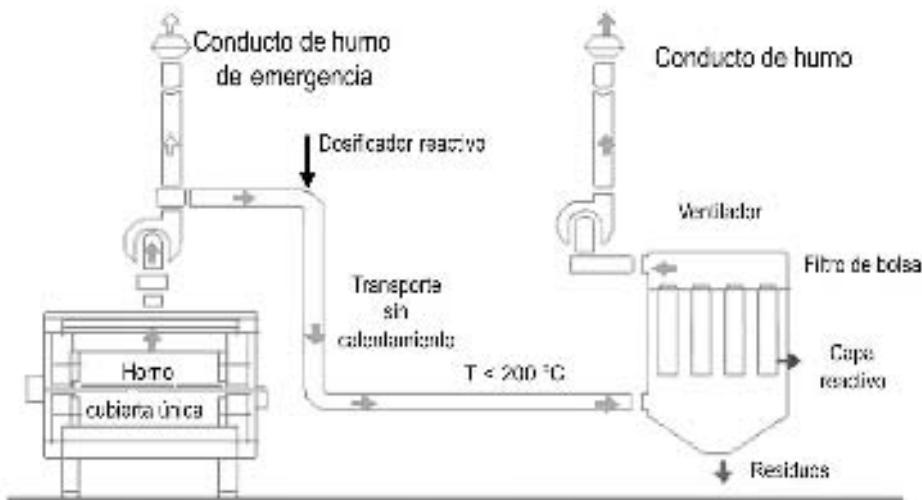
[1, BMLFUW, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.3.4.3. LIMPIEZA EN SECO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN CON UN FILTRO (FILTRO DE BOLSA O PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO)

Descripción y ventajas medioambientales logradas

En este tipo de limpieza de gases de combustión, el adsorbente se inyecta en el flujo de gas en forma seca. Los componentes ácidos (óxidos de azufre y compuestos clorados y fluorados inorgánicos) se adsorben en un reactor o en una zona del reactor, que puede ser el conducto de gas de combustión entre el horno y el filtro con una determinada longitud mínima, para garantizar el tiempo de contacto necesario. El filtro que hay detrás del reactor (zona) retira las sales de neutralización producidas y el exceso de adsorbente del flujo de gas de combustión. Para este propósito suele utilizarse un filtro de bolsa, ya que genera un buen contacto entre el adsorbente y los contaminantes gaseosos. El tejido de las bolsas filtrantes debe ser resistente a condiciones ácidas y alcalinas, y también viene determinado por la temperatura de los gases que se van a tratar (véase la Tabla 4.2). La figura siguiente muestra una vista esquemática de la limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro de bolsa [10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005].

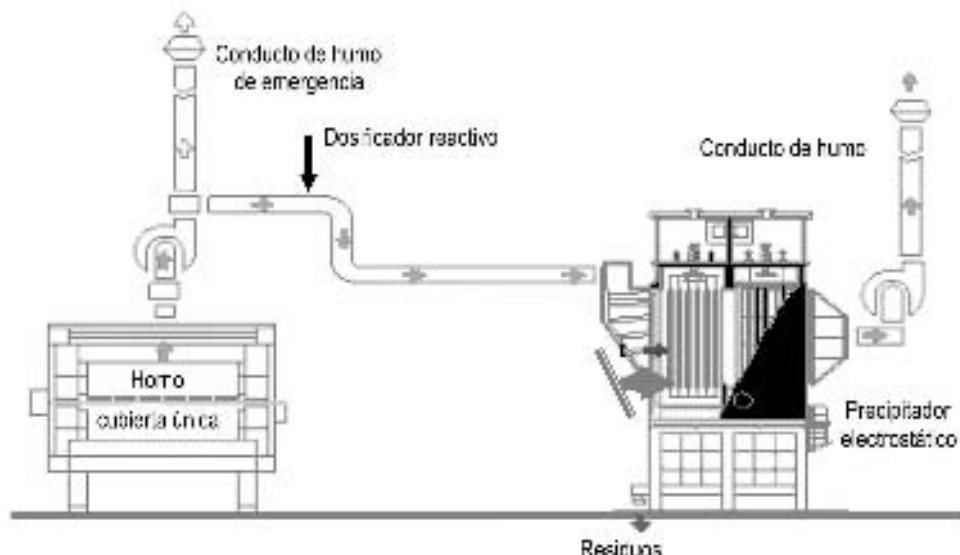
Figura 4.11. Vista esquemática de la limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro de bolsa



En lugar de los filtros de bolsa, se pueden usar precipitadores electrostáticos que utilicen el mismo sistema de inyección de reactivos en polvo. Ofrecen la ventaja de que funcionan a temperaturas de gas más altas (bastante más de 400°C) por

lo que no es necesario enfriar los gases de combustión, al tiempo que se facilita la recuperación de energía de los gases limpios. Por otro lado, el contacto entre el adsorbente y el contaminante no es tan bueno como cuando se usa un filtro de bolsa. La figura siguiente muestra una vista esquemática de la limpieza en seco de los gases de combustión con un precipitador electrostático [10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005].

Figura 4.12. Vista esquemática de la limpieza en seco de los gases de combustión con un precipitador electrostático



Una variante especial de la limpieza en seco de los gases de combustión es la limpieza semiseca con un filtro, conocida también como limpieza en seco acondicionada de gases de combustión. Se diferencia del método en seco por el uso de una pequeña cantidad de agua. El adsorbente se «acondiciona» humedeciéndolo ligeramente con agua, lo cual aumenta la reactividad y ésta, a su vez, la eficiencia limpiadora. El consumo de adsorbentes es menor, como lo es también la cantidad de residuos. Los inconvenientes de esta técnica son la probabilidad de problemas de corrosión debido a la mayor humedad de los gases de combustión y unos controles operativos más complejos [2, VITO, 2003].

Efectos cruzados

- El consumo de adsorbentes origina grandes cantidades de residuos.
- El reciclado de los residuos puede resultar problemático debido a los efectos negativos del calcio en la reología de las barbotinas.

- Consumo de energía eléctrica relativamente alto debido a la caída de presión en los filtros de bolsa, o bien aumento del consumo de energía eléctrica a causa del funcionamiento de un precipitador electrostático (ESP).
- El ruido puede aumentar si se utilizan sistemas neumáticos para la limpieza de filtros.
- Los adsorbentes que contienen carbonato reaccionan con los componentes ácidos del gas de combustión y desarrollan CO₂.

Datos operativos y aplicabilidad

El sistema de limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro es flexible en relación con los controles y el uso de adsorbentes. Entre los adsorbentes que pueden utilizarse, están el hidróxido de calcio (Ca(OH)₂), el óxido de calcio (CaO) o, más recientemente, el bicarbonato de sodio (NaHCO₃) que es el más adecuado para la eliminación de SO₂. Además, cabe mencionar que los productos de reacción del bicarbonato de sodio se componen de sales solubles en agua (sulfato sódico y fluoruro sódico) y, por consiguiente, no resulta fácil eliminarlos en vertederos.

En el caso de los sistemas de limpieza con filtro de bolsa, pueden producirse problemas a temperaturas muy altas a las que el filtro podría quemarse, así como a temperaturas muy bajas cercanas al punto de condensación a las que el filtro se obstruye fácilmente. El sistema de limpieza con un precipitador electrostático tiene la ventaja de poder funcionar a altas temperaturas, superando fácilmente los 400 °C, por lo que no es necesario enfriar los gases de combustión antes de la limpieza, al tiempo que se facilita la recuperación de energía de los gases limpios.

El sistema de limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro de bolsa permite conseguir concentraciones de fluoruro en el gas de combustión tratado inferiores a 5 mg/m³ y concentraciones de polvo en suspensión en la gama entre 2 y 20 mg/m³. La eficiencia limpiadora de estos sistemas varía del 90 al 99 % para la retención de partículas en suspensión, del 92 al 95 % para la retención de fluoruro, del 10 al 80 % para SO₂, hasta el 90 % para SO₃ y hasta el 85 % para HCl si se utiliza hidróxido cálcico como adsorbente [2, VITO, 2003, 10, Navarro, 1998], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005].

Además de la eficiencia limpiadora aproximada del 99 % para partículas en suspensión, se puede lograr más del 95 % para la retención de fluoruro, del 98 al 99 % para SO₂ y SO₃ y un 89 % para HCl si se utiliza bicarbonato de sodio como adsorbente en un sistema de limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro de bolsa (véase la sección 4.3.6) [4, UBA, 2001].

El sistema de limpieza con un precipitador electrostático tiene la ventaja de poder funcionar a temperaturas de hasta aproximadamente 450 °C, por lo que

no es necesario enfriar los gases de combustión antes de la limpieza, al tiempo que se facilita la recuperación de energía de los gases limpios. Se registra que es posible conseguir concentraciones de gas libre de polvo en la gama de 5-50 mg/m³ con la limpieza de gases de combustión con precipitadores electrostáticos (véase la sección 4.2.3.5).

En principio, los sistemas de limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro pueden utilizarse en todos los sectores cerámicos, pero hay que tener en cuenta los inconvenientes –en comparación con los sistemas adsorbentes de lecho fijo– con relación a la mayor necesidad de mantenimiento y a los problemas de duración de las bolsas filtrantes (si se trata de un sistema con un filtro de bolsa).

Economía

En este contexto –para sorción seca con filtro de bolsa– véase la Tabla 4.7.

- En el caso de sistemas semisecos, los costes de inversión suelen ser algo más altos que para una unidad totalmente en seco.
- El bicarbonato de sodio es más caro que los adsorbentes con base de calcio.
- Hay que tener en cuenta los costes adicionales de eliminación de los adsorbentes saturados que no pueden reutilizarse.

Impulsores de la implementación

Obligaciones legales.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [10, Navarro, 1998], [4, UBA, 2001], [17, Burkart, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

4.3.4.4. LIMPIEZA EN HÚMEDO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

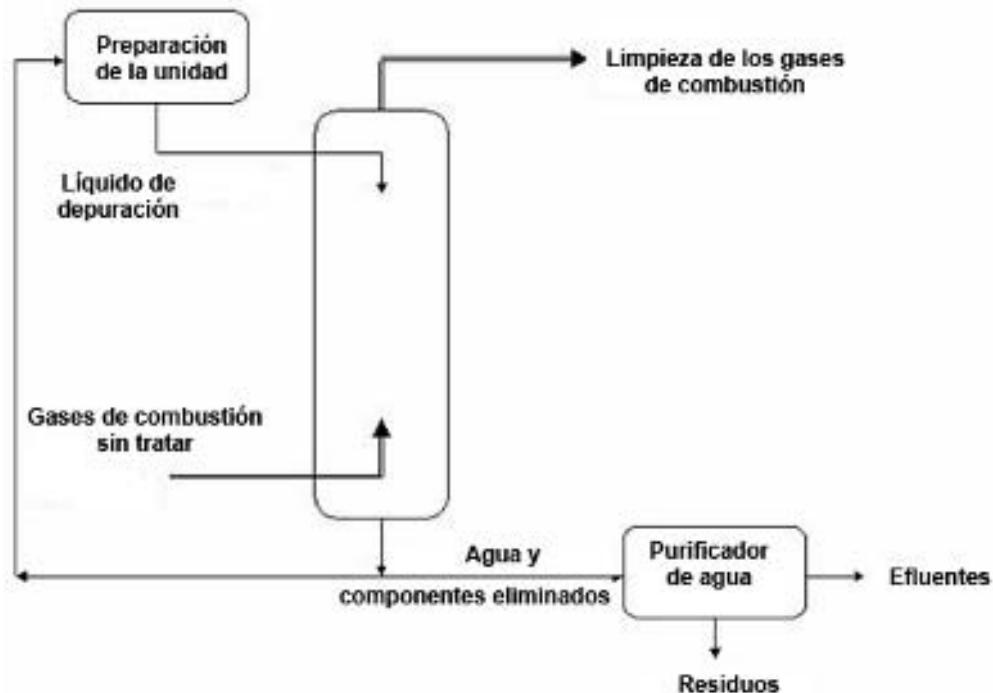
Descripción y ventajas medioambientales logradas

Para la limpieza en húmedo de los gases, los componentes ácidos (óxidos de azufre, compuestos clorados y fluorados inorgánicos) se separan de los gases de combustión poniéndolos en contacto intenso con agua. De este modo, los componentes pasan de estado gaseoso a estado líquido. El alcance de este fenómeno dependerá de la solubilidad de los componentes en cuestión. Para aumentar la solubilidad, se puede añadir al agua una base con carbonato de calcio (CaCO₃),

hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), carbonato de sodio (Na_2CO_3), hidróxido sódico (NaOH) o amoníaco (NH_3).

La figura siguiente muestra una ilustración de una unidad de limpieza en húmedo de los gases de combustión [2, VITO, 2003]. Una unidad así se compone de una unidad de preparación para el líquido de depuración, una sección de depuración, un separador de sólido-líquido y, tal vez, una unidad de tratamiento del agua y un colector de gotas. Pueden utilizarse platos o materiales inertes de relleno (columnas de relleno) para ampliar la zona de contacto. Además de los lavadores de columna, hay lavadores a chorro, lavadores venturi y lavadores rotatorios.

Figura 4.13. Ilustración de una unidad de limpieza en húmedo de los gases de combustión



En los sistemas depuradores húmedos, primero se enfriá el gas de combustión y luego se limpia. En el proceso por vía húmeda se precisa también de una unidad de neutralización y una unidad de separación de sólidos.

Hay una variante especial de la limpieza en húmedo de los gases de combustión, la limpieza en semihúmedo de los gases, en la que, debido a la menor cantidad

de agua, se produce la evaporación. Por lo tanto, se crea un residuo seco que ha reaccionado con mucha eficacia y que se puede separar mediante un filtro. Este método requiere gases de combustión a temperaturas más altas para mantener temperaturas suficientemente altas en el filtro después de las pérdidas energéticas producidas por la evaporación. Los sistemas semihúmedos consumen menos adsorbentes, dejan menos residuos y son más eficientes en la limpieza, pero precisan controles operativos más complejos [2, VITO, 2003].

Efectos cruzados

- Gran consumo de agua.
- La generación de aguas residuales en el proceso de fabricación (en menor medida en los sistemas semihúmedos) obliga al tratamiento de las aguas residuales.
- Consumo eléctrico relativamente alto, debido a la pérdida de presión en las unidades.
- Los absorbentes que contienen carbonato reaccionan con los componentes ácidos del gas de combustión y desarrollan CO₂.

Datos operativos

Para eliminar HF, HCl y SO_X mediante la limpieza en húmedo de los gases de combustión, el absorbente que suele utilizarse es la cal. Aquí se atomiza una solución de hidróxido cálcico (lechada de cal) o una suspensión de carbonato cálcico en agua mediante una columna de pulverización. Por regla general, suele formarse un yeso levemente impuro como producto residual. Es posible conseguir una eficacia purificadora del 99 % para HF, de hasta el 98 % para SO₂, del 95 % para SO₃ y de hasta el 95 % para HCl [2, VITO, 2003], [4, UBA, 2001].

Si se aplica lejía de sosa (cáustica) como agente de adsorción mediante una columna de lecho fijo, se forma fluoruro sódico (NaF), sulfito sódico (Na₂SO₃) y cloruro sódico (NaCl). Los residuos producidos por el agente limpiador deben eliminarse tras la evaporación. La eficacia purificadora que se consigue utilizando lejía de sosa como agente limpiador es del 98 % para HF, hasta el 98 % para SO₂, del 96 % para SO₃ y hasta el 98 % para HCl [4, UBA, 2001].

Un problema que puede surgir con la limpieza en húmedo de los gases de combustión es el de la corrosión. Los gases que salen de las torres depuradoras están saturados de agua, y pueden provocar corrosión al enfriarse por debajo del punto de condensación. Es más, la difusión en la atmósfera de estos gases fríos es más complicada; provocan un penacho de humedad, de modo que en ocasiones conviene recalentar los gases de combustión.

Aplicabilidad

Los sistemas de limpieza en húmedo de los gases de combustión pueden, en principio, aplicarse a todos los sectores cerámicos. El empleo de los procesos húmedos ofrece una alternativa a los sistemas de adsorción en seco, especialmente cuando se dan casos con altas concentraciones de SO₂ en el gas de combustión y las plantas de adsorción en seco no logran bajas concentraciones de gas limpio. Sin embargo, en la práctica la aplicación de los procesos húmedos se encuentra muy limitada debido a los altos costes de inversión y mantenimiento.

Los procesos húmedos ofrecen una alternativa a los procesos de purificación en seco, sobre todo cuando se emiten altas concentraciones de contaminantes inorgánicos simultáneamente, p. ej. un alto contenido de SO₂ por encima de 2.500 mg/m³.

Economía

En este contexto, véase la Tabla 4.7. También hay que tener en cuenta la reducción de los ciclos de vida útil de los sistemas a causa de la corrosión.

Impulsores de la implementación

Obligaciones legales.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

Planta de Hallerndorf-Pautzfeld, Alemania (fabricación de agregados de arcilla expandida) [26, UBA, 2005], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.3.4.5. FILTROS DE CARBÓN ACTIVO

Descripción, beneficios medioambientales logrados, datos operativos y aplicabilidad

Los filtros de carbón activo sirven únicamente para la limpieza de pequeños volúmenes de gases residuales procedentes de compuestos orgánicos volátiles (COV), por ejemplo, liberados como productos de reacción volátil mediante el tratamiento por calor de resinas, que se utilizan a modo de aglutinantes.

Las partículas y las gotas deben eliminarse del flujo de gas antes de llegar al filtro de carbón. Si bien el carbón activo retiene algunos compuestos orgánicos (p. ej. el fenol y la naftalina), hay otros que no se absorben con la misma eficacia.

Los filtros de carbón activo se aplican sobre todo en el proceso de fabricación de productos refractarios.

Efectos cruzados

- Mayor cantidad de residuos si hay que eliminar el carbón activo y no puede regenerarse.
- Mayor consumo de energía debido al funcionamiento del filtro de carbón activo.

Economía

Costes elevados, sobre todo si hay que eliminar los filtros de carbón activo y no pueden regenerarse.

Impulsores de la implementación

Obligaciones legales.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.3.4.6. LAVADORES BIOLÓGICOS

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Los productos de reacción volátil, que son liberados por acción del tratamiento por calor de las resinas empleadas como aglutinantes en la industria refractaria, en la fabricación de algunas cerámicas técnicas y algunos abrasivos aglomerados inorgánicos, incluyen amoníaco, formaldehído y fenol. Estos elementos pueden extraerse de los gases de combustión con los líquidos depuradores adecuados. La aplicación de un lavador biológico es una variante en la que el medio absorbente se regenera. Son condiciones indispensables la solubilidad de los contaminantes en el agua y una alimentación continua y constante dentro del lavador biológico.

Efectos cruzados

- Pueden aumentar el consumo de agua y las aguas residuales del proceso de fabricación.
- Mayor consumo de energía debido al funcionamiento del lavador biológico.

Aplicabilidad

Los lavadores biológicos pueden aplicarse en los procesos de fabricación de productos refractarios y también en la fabricación de algunas cerámicas técnicas, junto a algunos abrasivos aglomerados inorgánicos.

Impulsores de la implementación

Obligaciones legales.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[3, CERAME-UNIE, 2003], [14, UBA, 2004],[23, TWG Ceramics, 2005]

4.3.5. Postcombustión

En este contexto también puede encontrarse información de utilidad en el BREF sobre tratamiento y gestión de aguas y gases residuales en el sector químico.

4.3.5.1. POSTCOMBUSTIÓN TÉRMICA

Descripción y ventajas medioambientales logradas

La incineración de los gases de carbonización de los COV fuera del horno se puede conseguir mediante termorreactores. Contienen dos o tres cámaras llenas de cerámica o elementos de SiO_2 con gran capacidad de almacenaje de calor. Se lleva a cabo preferiblemente en el caso de valores de gas crudo superiores a 100-150 mg COV/m³, dependiendo de las características del gas crudo (p. ej. temperatura, composición).

Los gases de combustión que contienen COV pasan por la primera cámara y absorben el calor almacenado en su interior. Al salir de la primera cámara y entrar en el compartimento de incineración ya están a punto de alcanzar la temperatura de incineración. En el compartimento de incineración se aumenta su temperatura hasta 750-800 °C mediante quemadores, de modo que las sustancias orgánicas se queman en su práctica totalidad. El CO presente en los gases de combustión se oxida más adelante y se transforma en CO_2 . Es más, si la temperatura alcanza como mínimo los 800 °C y el período de residencia es de al menos 1,5 segundos, se consigue destruir el 90 % de las dioxinas presentes/formadas.

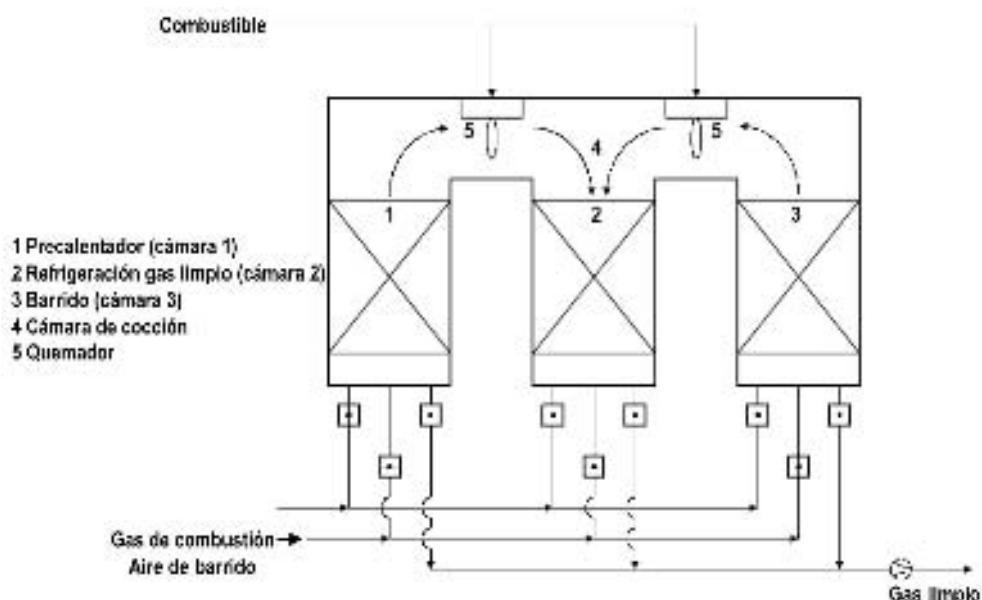
Los gases calientes purificados que salen del compartimento de incineración pasan a continuación por la segunda cámara, en la que de nuevo pierden la ma-

yor parte de su calor. El gas enfriado sale de la segunda cámara y se descarga por la chimenea. Al cabo de un rato, cuando la primera cámara se ha enfriado lo suficiente y la segunda está lo bastante caliente, se cambia el sentido de la dirección del flujo del gas. A continuación, la segunda cámara calienta el gas no tratado y la primera cámara enfriá los gases purificados.

Si el termorreactor cuenta con una tercera cámara, ésta se utiliza para evitar picos de emisión cuando se cambia el sentido de la dirección del flujo del gas. Tras cambiar el sentido del flujo del gas, pequeños volúmenes de aire expelido se hacen pasar por esta cámara para que ningún gas sin tratar llegue al conducto de humo.

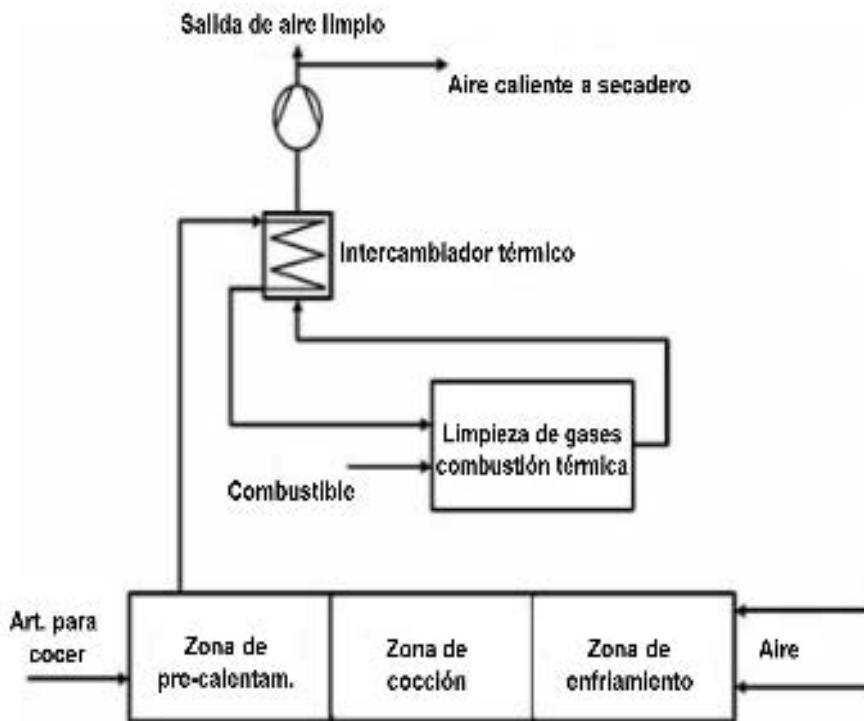
La siguiente figura muestra esquemáticamente el sistema de postcombustión térmica de un termorreactor (sistema de tres cámaras) [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

Figura 4. 14. Vista esquemática del sistema de postcombustión térmica de un termorreactor (sistema de tres cámaras)



La siguiente figura muestra la conducción del gas en un sistema de postcombustión térmica externo. [4, UBA, 2001].

Figura 4.15. Conducción de gas en un sistema de postcombustión térmica externo



Efectos cruzados

- Se necesita más combustible, al menos para el arranque de la operación y para la concentración de COV por debajo del punto de autoignición.
- Posibles emisiones adicionales de NO_x.

Datos operativos y aplicabilidad

Si las concentraciones de COV y CO son lo bastante altas, la incineración es virtualmente autotérmica. En estos casos, no hay que añadir energía adicional para mantener el proceso de incineración. Esto sucede principalmente en la fabricación de ladrillos muy porosos, en la que se combinan enormes cantidades de sustancias orgánicas formadoras de poros con la mezcla de materias primas.

Durante los últimos años se ha extendido el uso de los termorreactores en la industria del tratamiento de la arcilla, sobre todo en la fabricación de bloques de

arcilla, en la que se añaden sustancias orgánicas formadoras de poros a la mezcla de materias primas. Pero también se utilizan para reducir las emisiones de COV en los procesos de fabricación de otros productos cerámicos, como los productos refractarios, la cerámica técnica y algunos abrasivos aglomerados inorgánicos. Si se compara con los sistemas de incineración interna, éstos presentan dos ventajas principales: no interfieren en el funcionamiento del horno y purifican el flujo de gas de combustión en su totalidad. Plantean el problema del alto contenido de agua de los gases en la fabricación de agregados de arcilla expandida.

Dependiendo de la eficiencia en la limpieza que se requiera, los termorreactores se instalan con plantas de dos o tres cámaras. Con plantas de dos cámaras se consigue una purificación de entre el 94 y el 97 %; las plantas de tres cámaras superan el 99 % de purificación sin problema [4, UBA, 2001].

En este contexto, véase también la Tabla 3.6 sobre las emisiones de los procesos de fabricación de ladrillos y la Tabla 3.54 sobre las emisiones de los procesos de fabricación de cerámicas técnicas (abrasivos aglomerados). En estos procesos de fabricación se aplica la postcombustión técnica para la limpieza de los gases.

Economía

En este contexto, véase la Tabla 4.7.

- Para ahorrar combustible, la postcombustión térmica de COV y CO se lleva a cabo, preferiblemente, mediante un intercambio térmico regenerativo.
- Cuanto menores sean las concentraciones de COV y CO en el gas crudo, más energía habrá que añadir para mantener el termorreactor operativo y, por ende, mayor será el coste.

Impulsores de la implementación

Requisitos legales combinados con técnicas de eficiencia energética.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

Wienerberger Ziegelindustrie AG/Werk Hennersdorf, planta de ladrillos, Austria [1, BMLFUW, 2003], [2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [14, UBA, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

4.3.5.2. POSTCOMBUSTIÓN CATALÍTICA

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Con esta técnica de reducción de los COV, los contaminantes orgánicos volátiles se oxidan pasando los gases de combustión por una superficie catalítica que acelera la reacción de oxidación. El catalizador reduce la temperatura de oxidación de los contaminantes orgánicos hasta entre 200 y 300 °C. Se utilizan principalmente catalizadores con compuestos de óxidos metálicos o metales nobles (p. ej. Pd, Pt y Rh).

Efectos cruzados

Los catalizadores en cuestión oxidarán fácilmente SO₂ a SO₃, que es un compuesto más tóxico y corrosivo.

Aplicabilidad

La oxidación catalítica es de difícil aplicación en la industria del tratamiento de la arcilla, ya que las impurezas presentes en los gases de combustión (p. ej. compuestos de azufre) contaminan rápidamente los catalizadores utilizados. Por lo tanto, la postcombustión catalítica se emplea, sobre todo, para la limpieza de pequeños flujos de gas con un alto contenido de C total que surge, por ejemplo, durante la cocción de productos refractarios o cerámicos técnicos especiales en hornos pequeños o durante el proceso de secado.

Impulsores de la implementación

Obligaciones legales.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.3.6. Ejemplos de datos operativos, de eficiencia, consumo y costes para diversas técnicas de limpieza de gases de combustión

La siguiente tabla muestra algunos ejemplos de datos operativos, de eficiencia, consumo y costes para diversas técnicas de limpieza de gases de combustión [2, VITO, 2003] [30, TWG Ceramics, 2005]:

Tabla 4.5. Parámetros técnicos, de eficiencia, consumo y costos para técnicas de limpieza de gases de combustión

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Técnica | Adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada | Adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada | Adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada | Limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro | Limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro | Limpieza en humedo de los gases de combustión |
| Valor de emisión | $\text{SO}_2 < 1500 \text{ mg/Nm}^3$ | $\text{SO}_2 \geq 2500 \text{ mg/Nm}^3$ | | | | |
| Adsorbente | CaCO_3 | CaCO_3 modificado | CaCO_3 modificado | Ca(OH)_2 | NaHCO_3 | Aqua/Ca(OH)_2 o CaCO_3 |
| | HF | 90% (hasta un 99%) | hasta un 99 % | hasta un 99 % | del 80 hasta el 96% | > 95% |
| Eficiencia limpiaadora | SO_2 | 8-20 % | del 43 al 85 %) | 30-43% | del 7 al 80% | 98-99% |
| | SO_3 | 80 % | 80-85 % | 80-85% | hasta un 90% | 98-99% |
| | HCl | 50 % | > 50 % | 50% | del 10 al 85%) | 89% |
| | Polvó | 100 % | 100 % | 99% | 90-99% | 99% |
| Dosis excesiva de adsorbente ^A | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 1,35-2,00 | 1,01-2,00 |
| Consumo de agua ($\text{m}^3/\text{día}$) ^B | 0 | 0 | 0 | 0 | | 86-240 |
| Consumo eléctrico (kWh/día) ^B | 641-864 | 864 | 864 | 1200-2880 | | 2352-4824 |
| Costes de adsorbente (euros/tonelada) | 59 | 99 | 99 | 104 | | 30-100 |
| Costes de inversión (EUR 10^3) ^{B, C} | 228-278 | 692 | 692 | 766 - 1081 | | 511-659 |

^A Significa lo siguiente: el coeficiente entre la cantidad de adsorbente que se requiere en la práctica para conseguir la eficiencia limpiaadora indicada y la cantidad de adsorbente que se necesitaría en teoría (basándose en la estequimetría de la reacción de adsorción).

^B Indicadores referidos a los valores presentados por cuatro empresas típicas.

^C Costes de instalación y adicionales.

Las eficiencias de reducción como resultado de las medidas integradas en los procesos y las técnicas de final de línea aparecen en la Tabla 4.6. Las técnicas de final de línea afectan sobre todo a la reducción de HF. Las medidas integradas en los procesos afectan únicamente a la reducción de SO_x. Los ejemplos muestran también las eficiencias de reducción relativas a la dependencia del contenido de azufre en la arcilla [2, VITO, 2003] [30, TWG Ceramics, 2005].

Tabla 4.6. Eficiencias de reducción relativas a la dependencia del contenido de azufre en la materia prima

| Ejemplo | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------------------|--|--|--|--|
| Técnica | Limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro | Adsorbente de lecho fijo tipo cascada | Adsorbente de lecho fijo tipo cascada | Adsorbente de lecho fijo tipo cascada |
| Materia prima | Arcilla de alto contenido de azufre |
| Valor de emisión | SO _x >1500 mg/m ³ | SO _x >1500 mg/m ³ | SO _x ≥ 2500 mg/m ³ | SO _x ≥ 2500 mg/m ³ |
| Medidas integradas en los procesos | Adición de materias primas con bajo contenido de azufre y calcio | Adición de materias primas con bajo contenido de azufre y calcio | Adición de materias primas con bajo contenido de azufre y calcio | Adición de materias primas con bajo contenido de azufre y calcio; aditivos ricos en calcio |
| Adsorbente | Ca(OH) ₂ | CaCO ₃ | CaCO ₃ | CaCO ₃ |
| Eficacia de reducción | HF | hasta un 96 % | hasta un 96 % | hasta un 92 % |
| | SO _x | hasta un 7 % | hasta un 8 % | hasta un 20 % |
| | HCl | 0 % | hasta un 18 % | hasta un 57 % |
| | Polvo | hasta un 92 % | hasta un 39 % | hasta un 80 % |
| | | | | hasta un 58 % |

| Ejemplo | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------------------------------|---|--|--|--|
| Técnica | Limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro | Adsorbente de lecho fijo tipo cascada | Adsorbente de lecho fijo tipo cascada | Adsorbente de lecho fijo tipo cascada |
| Materia prima | Arcilla de alto contenido de azufre | Arcilla de bajo contenido de azufre | Arcilla de bajo contenido de azufre | Arcilla de bajo contenido de azufre |
| Valor de emisión | SO _x >1500 mg/m ³ | SO _x <500 mg/m ³ | SO _x <500 mg/m ³ | SO _x <500 mg/m ³ |
| Medidas integradas en los procesos | — | — | — | — |
| Adsorbente | Ca(OH) ₂ | CaCO ₃ | CaCO ₃ | CaCO ₃ |
| Eficacia de reducción | HF | hasta un 95 % | hasta un 74 % | hasta un 99 % |
| | SO _x | hasta un 34 % | 0 % | hasta un 76 % |
| | HCl | hasta un 83 % | 0 % | hasta un 94 % |
| | Polvo | 0 % | hasta un 37 % | hasta un 83 % |
| | | | | hasta un 44 % |

En este contexto, véase la Tabla 3.8 y la Tabla 3.9 con relación a los correspondientes datos operativos, las concentraciones de gas crudo y de gas limpio de los hornos de fabricación de bloques de arcilla y ladrillos cara vista [32, TWG Ceramics, 2006].

En la Tabla 4.7 se muestran algunos ejemplos de los datos de coste en lo que se refiere a la reducción de emisiones, como polvo, compuestos gaseosos inorgánicos y orgánicos mediante el uso de distintas técnicas de reducción para inversiones, mantenimiento y sorbentes, así como costes operativos. Sin embargo, esta información no puede utilizarse directamente para comparar determinadas técnicas, ya que el coste real dependerá de factores como el caudal, el nivel de control, los valores de gas crudo, la energía, etc. El objetivo es ofrecer una visión general del nivel de inversión que supone cada una de las distintas técnicas [3, CERAME-UNIE, 2003], [2, VITO, 2003], [4, UBA, 2001], [30, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006].

Tabla 4.7. Costes relativos a la reducción de polvo, compuestos gaseosos inorgánicos y orgánicos mediante el uso de distintas técnicas de reducción

| Sistema/ tipo de limpieza | Ámbito de aplicación | Absorbente /adsorbente | Tamaños/cau- dales comunes en la industria cerámica (Am ³ /h) ¹⁾ | Gua de inversión aproximada (euros) | Manten- imiento (euros/año) | Coste del sorbente (euros/tonelada) | Coste de funciona- miento euros/año) |
|--|---|--|--|--|-----------------------------------|---|---|
| Reducción de polvo | | | | | | | |
| Filtro de bolsa/cámara de filtros de bolsa | Totalidad de las zonas de la plan- ta, preparación, transporte, almac- enamiento, zona de conformado, ubicaciones de entrega, etc. | | 900 a 70.000 | 6.000-150.000 (según el tamaño y la cantidad de canalizaciones) | | | 0,03-0,1 |
| Aspiradora central | Totalidad de las zonas de la planta, preparación, transporte, almac- enamiento, zona de conformado, ubicaciones de entrega, vagone- tas de horno de túnel, etc. | | 900 a 1.000 | 25.000-65.000 (según la cantidad de canalizaciones /tuberías) | | | |
| Sistema de limpieza de vagone- tas de horno de túnel (con dife- rentes ejecuciones: tubería fija, tubera móvil, levantamiento y ajuste de la plataforma) | Vagonetas de horno de túnel | | 8.000 a 30.000 | 40.000-200.000 (según el tamaño y la ejecución) | | | |
| Precipitador electrostático | Reducción de polvo para flujos de gas residual calientes y de gran volumen | | Hasta 100.000 | 100.000-3.000.000 | | | 0,1-0,2 |
| Reducción de compuestos gaseosos inorgánicos | | | | | | | |
| Sistema modular | Reducción de HF principalmente | Ca(OH) ₂ Alveolar | Caudales muy bajos | 45.000-100.000 | ~500 | ~46.000 euros/año | |
| Absorbente de lecho fijo de tipo cascada | Reducción de HF principalmente | CaCO ₃ | 2.500 a 14.000 (no hay límite in- ferior o superior) | 40.000-500.000 | ~2.000 | 30-55 euros/tonelada (entregado) | 23.400- 4.800 |
| Absorbente de lecho fijo de tipo cascada | Reducción de HF, HCl y SO _x principalmente | Absorbente modificado/ fabricado | 2.500 a 140.000 (no hay límite in- ferior o superior) | 40.000-500.000 | ~2.000 | 95-110 euros/tonelada (entregado) hasta 60000 euros/año | |

Tabla 4.7. Costes relativos a la reducción de polvo, compuestos gaseosos inorgánicos y orgánicos mediante el uso de distintas técnicas de reducción (continuación)

| Sistema/ tipo de limpieza | Ámbito de aplicación | Absorbente /adsorbente | Tamaños/cau- dales comunes en la industria cerámica (Am ³ /h) ¹⁾ | Guía de inversión aproximada (euros) | Manten- imiento (euros/año) | Coste del sorbente (euros/tonelada) (euros/año) | Coste de funciona- miento euros/t |
|---|--|---|--|---|-----------------------------------|---|--|
| Absorbente de lecho fijo de tipo contracorriente/módulos en serie | Reducción de HF, HCl y SO _x , principalmente | CaCO ₃ y absorbente modificado/ fabricado | 2.500 a 140.000 (no hay límite in- ferior o superior) | 80.000-800.000 | ~2.500 | 30-55 euros/tonelada (entregado) 95-110 euros/tonelada (entregado) | |
| Sorción seca con filtro de bol- sa (sistema de flujo de extrac- ción) | Reducción de partículas de HF, HCl, SO _x , principalmente | Ca(OH) ₂ de diferentes calidades | 2.500 a 140.000 (no hay límite in- ferior o superior) | 80.000-1.000.000 | ~4.000 | 95-110 euros/tonelada (entregado) 8.000-45.000 euros/año | 107.500- 130.700 |
| Sorción seca con filtro de bol- sa (sistema de flujo de arras- tre) con acondicionamiento del producto de reacción | Reducción de HF, HCl y SO _x , principalmente | Ca(OH) ₂ de diferentes calidades (con poca agua añadida) | 2.500 a 140.000 (no hay límite in- ferior o superior) | 200.000-1.600.000 | ~6.500 | 95-110 euros/tonelada (entregado) 8.000-45.000 euros/año | 107.500- 130.700 |
| Lavador de gases húmedo | Reducción de HCl y SO _x principalmente | Agua alcalina | 2.500 a 140.000 (no hay límite in- ferior o superior) | 400.000-2.000.000 | hasta 8.000 | 95-110 euros/tonelada (entregado) 8.000-45.000 euros/ año+agua | |
| Reducción de compuestos gaseosos orgánicos | | | | | | | |
| Postcombustión térmica en un termo reactor (externo) | Reducción de COV | | 10.000 - 50.000 | 180.000-420.000 | 500-4.500 | | |
| Combustión interna del gas de carbonización | Reducción de COV | | | 42.000-300.000 | 500-8.000 | | |

Nota: En la columna «Tamaños/caudales comunes» y en la columna «Guía de inversión aproximada» constan intervalos. Es razonable suponer que las cifras de Am³/h pequeñas corresponden a la cifra de inversión en euros pequeña y que la cifra de Am³/h grande corresponde a la cifra de inversión en euros grande. Entre medias el aumento no es lineal; normalmente, cuantos más Am³/h se tratan más barata es la inversión por Am³.

¹⁾ Los caudales se indican en «m³ reales» (Am³, a diferencia a los m³ normales, condición estándar) porque deben tratarse los gases de combustión reales.

4.4. Aguas residuales del proceso de fabricación

4.4.1. El agua como materia prima

El agua es una materia prima muy importante en las industrias de la fabricación cerámica pero las cantidades utilizadas varían mucho entre los sectores y los procesos. El agua añadida directamente a las mezclas de cuerpos cerámicos no conlleva un problema de aguas residuales, ya que, posteriormente, se evapora al aire durante las etapas de secado y cocción. Las aguas residuales del proceso de fabricación se generan sobre todo por el lavado y la suspensión de los materiales arcillosos en agua corriente durante las etapas del proceso de fabricación.

4.4.2. El agua como vehículo de intercambio térmico

El agua desempeña esta función en los sistemas de refrigeración hidráulicos y en los compresores, entre otros. El agua utilizada con este propósito debe estar limpia y presentar baja dureza para impedir incrustaciones en los intercambiadores térmicos. El agua empleada puede circular en circuitos cerrados después de operaciones simples de refrigeración y/o limpieza, por lo que el consumo de agua corresponde a la cantidad de agua evaporada. Debido a que el agua de los circuitos cerrados para operaciones de refrigeración está, en la mayoría de los casos, acondicionada para evitar la corrosión o fermentación de las sustancias orgánicas, el tratamiento con aguas residuales procedentes del proceso de producción no suele ser posible (en este contexto, véase también el documento BREF sobre sistemas de refrigeración industrial).

4.4.3. El agua como agente de depuración

También se utiliza agua en lavadores de gases residuales por vía húmeda (sistemas de limpieza en húmedo de los gases de combustión y separadores húmedos de polvo). En estos sistemas se pueden usar las aguas residuales del proceso de fabricación recicladas, tratadas mediante un procedimiento físico simple (asentamiento con o sin tratamiento químico previo) y pueden volver a circular o tratarse.

4.4.4. El agua como agente limpiador

Se utiliza agua para limpiar las instalaciones, sobre todo las unidades de preparación de materias primas, los moldes y otras unidades de moldeo, líneas de esmaltado y engobe, así como otras unidades de decoración. La limpieza es la

operación en la que más agua se utiliza y la que necesita una gestión adecuada para lograr un ahorro y evitar aguas residuales del proceso de fabricación. Se puede reducir el consumo de agua si ésta se trata y se reutiliza varias veces en la limpieza.

4.4.5. Objetivos y soluciones para la reducción de las aguas residuales del proceso de fabricación (emisiones y consumo)

Los objetivos del tratamiento del agua procedente de los procesos de fabricación cerámica implican reducir el consumo de agua y conseguir unas emisiones mínimas de aguas residuales del proceso de fabricación. Para alcanzar estos objetivos se ponen en práctica medidas de optimización del proceso y se emplean sistemas de tratamiento de las aguas residuales del proceso de fabricación.

4.4.5.1. OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS

Descripción y ventajas medioambientales logradas

La minimización del consumo de agua es fundamental y para conseguir esta reducción pueden implementarse las medidas de optimización de los procesos siguientes:

- Acción sobre el circuito de agua instalando válvulas automáticas que impiden las fugas de agua cuando ésta ya no se necesita.
- Instalación de un sistema de alta presión en la planta con fines de limpieza (o equipos de limpieza de alta presión).
- Cambio de sistemas de limpieza de gases residuales en húmedo a sistemas alternativos que no consumen agua (sistemas de limpieza en seco de los gases residuales, véanse las secciones 4.2.3 y 4.3.4)
- Instalación de sistemas de recolección de residuos de esmalte in situ.
- Instalación de sistemas de tuberías de transporte por deslizamiento.
- Recolección separada de las corrientes de aguas residuales de diferentes pasos del proceso.
- Reutilización de aguas residuales del proceso de fabricación en la misma etapa del proceso, en particular la reutilización repetida del agua de limpieza después de su tratamiento adecuado.

Efectos cruzados

Sin cuestiones.

Datos operativos

La solución óptima implica la reutilización de las aguas residuales del proceso de fabricación en el mismo paso del proceso. Para determinar la cantidad máxima de aguas residuales reutilizables en la planta y para diseñar soluciones de tales características, se puede diseñar un balance hídrico (denominado «flujo másico») que estipule todos los puntos y las cantidades de aguas residuales generadas, así como todos los posibles usos de éstas.

En este contexto, la tabla siguiente muestra los índices de reciclado de aguas residuales del proceso de fabricación que pueden lograrse en los diferentes sectores de la industria cerámica. Los datos corresponden a los índices promedio por sectores en Alemania y a los índices más altos conseguidos con relación a las aguas residuales del proceso de fabricación generadas [4, UBA, 2001].

Tabla 4.8. Índices de reciclado de aguas residuales del proceso de fabricación que se alcanzan en diferentes sectores de la industria cerámica

| Sector | Promedio | Índice más alto |
|-----------------------------|-----------|-----------------|
| Pavimentos y revestimientos | 70 – 80 % | 100 % |
| Cerámica doméstica | n/d | 50 % |
| Cerámica sanitaria | 30 – 50 % | 50 % |

Se registran unos índices variables de reutilización de las aguas residuales alcanzables, referentes al agua de proceso necesaria para la fabricación de distintos productos de pavimentos y revestimientos: del 10 % (gres cerámico sin esmaltar) al 70 % (baldosas esmaltadas de monococción y gres cerámico esmaltado) [6, Timellini, 2004].

Los índices de reciclado y reutilización de las aguas residuales del proceso de fabricación se alcanzan mediante una combinación de las medidas de optimización del proceso y de la aplicación de sistemas de tratamiento de las aguas residuales mencionados en la sección 4.4.5.2.

Aplicabilidad

Las medidas de optimización de los procesos para minimizar el consumo de agua se pueden poner en práctica en todos los sectores de la industria cerámica.

Economía

Depende de cada medida/tarea relacionada con el caso en particular, pero la minimización del consumo de agua conlleva, por regla general, unos costes reducidos del agua dulce.

Impulsores de la implementación

Ahorro de costes al ejecutar los procesos de una manera eficaz.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998], [13, SYKE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.4.5.2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En este contexto, también puede encontrarse información de utilidad en el BREF sobre tratamiento y gestión de aguas y gases residuales en el sector químico.

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Los principales sistemas de tratamiento de aguas residuales son los siguientes:

Homogenización: se utilizan tanques de homogenización para obtener una composición compatible con el agua que se va a tratar y, en la medida de lo posible, para eliminar los problemas relativos a las variaciones en los componentes. El uso de tales tanques presenta mejoras en todos los tratamientos posteriores puesto que la homogeneidad que se obtiene facilita el control de las adiciones de productos así como la compatibilidad con las instalaciones utilizadas.

Aireación: se trata de un proceso físico que se usa a menudo en el tratamiento del agua con propósitos distintos, como la oxidación de los materiales para facilitar los posteriores procesos de floculación, oxigenación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales, eliminación de olores, etc. El equipo de aireación puede utilizar agitadores en superficie o turbinas.

Sedimentación (asentamiento): se refiere a la separación parcial de partículas sólidas de un líquido debido a la gravedad. Existen varios tipos de tanques de asentamiento; pueden ser rectangulares, redondos o de láminas.

Filtración: la filtración tiene que ver con la separación de sólidos en suspensión de un líquido haciendo pasar la suspensión por un medio poroso que retiene los sólidos y deja que el líquido fluya a través de él. Los tipos utilizados en la industria cerámica son filtros en profundidad, prensas de filtro y filtros de vacío rotatorios.

Absorción de carbón activado: este tratamiento se basa en la gran capacidad del carbono para absorber las moléculas orgánicas presentes en el agua. Se trata de un sistema muy adecuado para eliminar sustancias orgánicas no biodegradables.

Precipitación química: es un proceso para eliminar diferentes elementos disueltos por precipitación, como compuestos insolubles, mediante el uso de reactivos como la cal.

Coagulación y floculación: el propósito de este tratamiento es el de separar las suspensiones coloidales y producir aglomeraciones de partículas, p. ej. mediante el uso de alúminas o polielectrólitos y/o una combinación de cal y sales metálicas.

Intercambio de iones y ósmosis inversa: estos procesos sirven para eliminar boro del agua de limpieza procedente de las secciones de esmalte y aplicación. La ósmosis inversa se utiliza también para reducir la cantidad de aguas residuales del proceso de fabricación para vertido.

Si se aplican estas medidas o una combinación de ellas, pueden alcanzarse unas reducciones significativas de las emisiones de aguas residuales del proceso de fabricación y puede reducirse el consumo de agua (véase también la Tabla 4.8).

Efectos cruzados

Es necesario eliminar los residuos de sedimentación/filtrado si no hay posibilidades de reutilizarlos (especialmente si se usan agentes de floculación, precipitación o absorción).

Datos operativos y aplicabilidad

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales del proceso de fabricación se pueden utilizar en todos los sectores de la industria cerámica, pero debe tenerse en cuenta la tarea concreta:

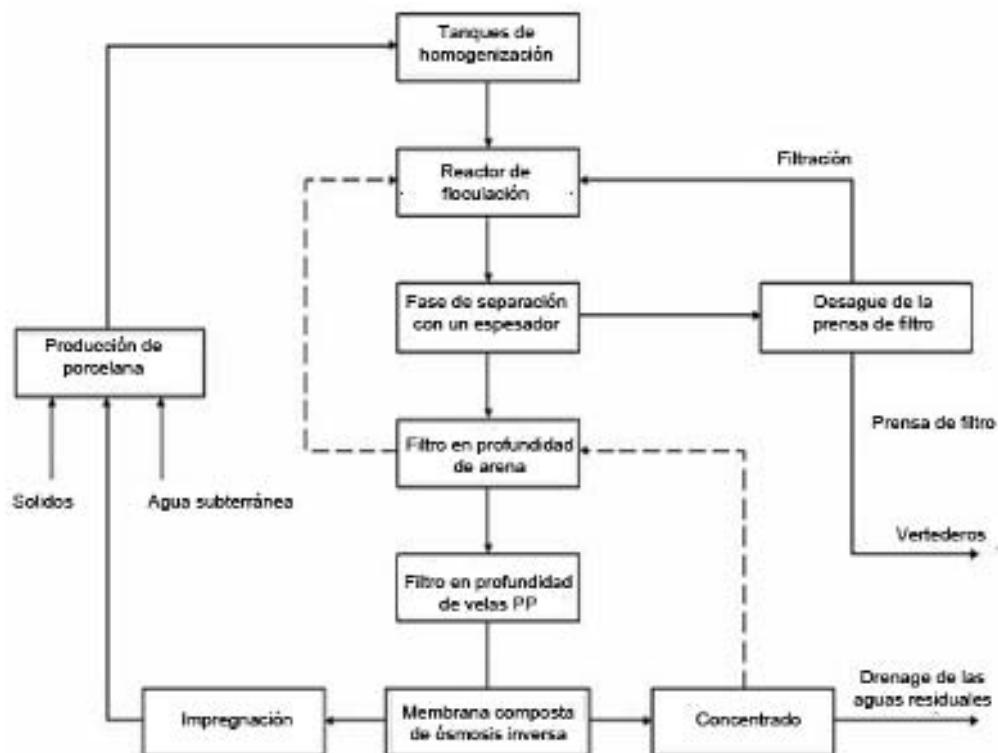
- Si las aguas residuales deben reutilizarse en el proceso de preparación del cuerpo cerámico, no se requerirá, en principio, tratamiento alguno, pero se

necesitará un tanque de homogeneización para garantizar que se mantienen las características más compatibles.

- Si el agua se va a reutilizar para la limpieza de las instalaciones, la calidad del agua deberá ser mayor, de manera que se requerirá sedimentación con posterior aireación, con o sin tratamiento químico posterior para eliminar olores.
- Las aguas residuales excedentes que deban eliminarse externamente suelen precisar la combinación de homogenización, floculación, sedimentación y filtración. También se aplica la ósmosis inversa posterior para reducir la cantidad de aguas residuales del proceso de fabricación que se vierten.

Como ejemplo, la siguiente figura muestra un diagrama de flujo de una planta de purificación de aguas residuales del proceso de fabricación de un fabricante de cerámica de mesa de porcelana, que consiste en una combinación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales mencionados arriba [4, UBA, 2001].

Figura 4.16. Diagrama de flujo de una planta de purificación de aguas residuales del proceso de fabricación



En este contexto, véase la Tabla 3.38, que muestra el análisis de aguas residuales correspondiente con relación a las distintas etapas del proceso y la Tabla 3.39, que muestra el análisis de aguas residuales de una planta de cerámica doméstica en la cual la limpieza se lleva a cabo con un proceso de precipitación química.

Véase también la Tabla 3.49, que muestra el análisis de las aguas residuales del proceso de limpiado procedentes de un proceso de fabricación de cerámica técnica (aislantes eléctricos, en el cual la limpieza del agua se lleva a cabo mediante floculación, separación con un espesador de placas deflectoras y filtración con una prensa de filtro, mientras que la Tabla 3.50 muestra asimismo concentraciones de contaminantes en las aguas residuales procedentes de un fabricante de aislantes eléctricos después de la floculación pero sin filtración.

Economía

Si las aguas residuales deben eliminarse externamente, el cumplimiento de los límites especificados en las leyes existentes requiere una combinación cara de varios pasos de tratamiento que incluyen: sedimentación, precipitación química, floculación y un proceso final basado en el intercambio de iones o en la ósmosis inversa, como se menciona anteriormente.

En caso de poder reutilizar el agua limpiada procedente de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, los costes de agua dulce se reducen. La combinación del reciclaje/reutilización de las aguas residuales del proceso de fabricación y las medidas de optimización del proceso para minimizar el consumo de agua permite un ahorro de los costes relacionados con la eliminación de materiales residuales procedentes de los tratamientos mencionados.

Impulsores de la implementación

- Obligaciones legales.
- Ahorro del consumo de agua y de materias primas.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[1, BMLFUW, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [10, Navarro, 1998], [13, SYKE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [30, TWG Ceramics, 2005], [31, Probst, 2005]

4.5. Pérdidas/residuos del proceso de fabricación

4.5.1. Lodos generados por la fabricación de productos cerámicos

4.5.1.1. SISTEMAS DE RECICLADO DE LODOS

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Reciclar implica reutilizar los lodos de los cuerpos cerámicos, como es el caso de las suspensiones acuosas y las barbotinas que contienen materiales cerámicos, por ejemplo, para la fabricación de pavimentos y revestimientos, véase también las secciones 2.3.5 y 3.3.5.

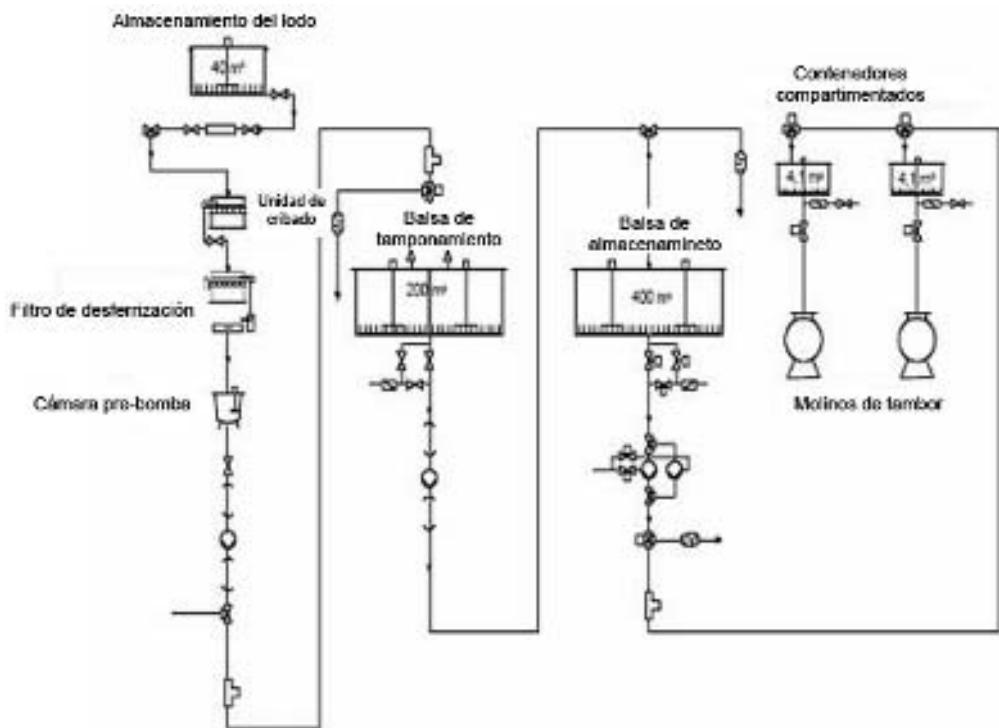
Los sistemas de reciclado de lodos se pueden implementar en instalaciones en las que se preparen materias primas mediante molturación por vía húmeda, ya que los lodos pueden utilizarse directamente, sin tratamientos posteriores, o con simples tratamientos físicos o físico-químicos, con la ventaja adicional de poder utilizar el agua que contienen como agua de molturación. Si se requiere un proceso de preparación del cuerpo seco y aunque la adición de lodo no plantea problemas, la gestión es más complicada, puesto que primero hay que secar el lodo.

La Figura 4.17 muestra esquemáticamente la instalación de reciclado de lodos de una planta de pavimentos y revestimientos (proceso húmedo) [4, UBA, 2001]. El lodo se bombea desde el almacén hacia una unidad de cribado en dos fases. A continuación, pasa por un filtro de desferrización y, de ahí, a una cámara pre-bomba con una capacidad de 3 m³. Desde aquí el lodo se bombea a dos balsas de 200 m³ que se van llenando alternativamente. Tras verificar las características del lodo y obtener un resultado positivo en los análisis, el barro pasa a la balsa de almacenamiento principal, que tiene una capacidad de 400 m³. El lodo cerámico se transporta de forma semiautomática desde la balsa de almacenamiento principal hasta los contenedores compartimentados desde los que se distribuye a los molinos de tambor para cada receta.

Mediante un sistema de reciclado de lodos se reduce el consumo de materias primas y agua, y, además, cabe la posibilidad de reducir la liberación de contaminantes en el medio ambiente.

Efectos cruzados

Si hay que secar el lodo para su reutilización aumenta el consumo de energía. También conviene prestar atención a las consecuencias negativas derivadas de la posible introducción de contaminantes procedentes de una fase/sección del proceso/planta, como la preparación y la aplicación de esmalte, en una fase/sección diferente, como pudiera ser la preparación del cuerpo cerámico. Los controles de

Figura 4.17. Vista esquemática de una instalación de reciclado de lodos

las emisiones gaseosas y las aguas residuales del proceso de fabricación constituyen una solución adecuada para prevenir semejantes consecuencias negativas.

Datos operativos y aplicabilidad

La cantidad de lodo producido en una instalación de pavimentos y revestimientos oscila entre 0,09-0,15 kg/m² por producto acabado en seco, lo que para un producto con una masa corporal de 15-20 kg/m², equivale a 0,4-1,0 % (kg lodo seco/kg cuerpo cerámico). Si todo el lodo generado durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales se reutiliza en la preparación del cuerpo cerámico, la adición relativa a las materias primas del cuerpo se sitúa, por lo tanto, en una proporción comprendida entre un 0,4 y un 1,0 % sobre una base seca. Se ha descubierto que una adición de lodo de un 1-1,5 por ciento a los cuerpos cerámicos preparados para la fabricación de baldosas no suele afectar al comportamiento de los productos durante el proceso de fabricación [10, Navarro, 1998], [32, TWG Ceramics, 2006].

Así pues, tanto en lo que respecta al equilibrio de la masa como al cambio de comportamiento resultante, la incorporación completa de lodos en los procesos de molturación por vía húmeda es viable técnicamente y facilita la gestión del proceso.

En el caso de procesos por vía húmeda en los que la planta de preparación del cuerpo cerámico es una instalación independiente o bien queda apartada de la instalación de producción, el lodo puede devolverse por carretera. Las suspensiones y los lodos acuosos se pueden devolver en cisternas o bien transportarse mediante tuberías.

En un principio, el empleo de lodos que contengan residuos esmaltados como constituyente del esmalte parece una opción muy acertada. Pero el principal inconveniente de este proceso estriba en la considerable heterogeneidad en el tiempo de las composiciones de los lodos, debida a la diversidad de esmaltes que suelen producirse al mismo tiempo en la mayoría de las empresas. Además, este lodo no puede ser el único constituyente del esmalte, sino que debe ser considerado como un aditivo (p. ej. empleado como agente fundente). Aunque la solución parece acertada en algunos casos, sobre todo si en la instalación se aplican uno o varios esmaltes diferentes, el empleo de este tipo de lodo en la preparación de esmaltados no se puede aplicar como solución general.

Por lo tanto, la reutilización de lodos no es aplicable en todos los casos. Si hay que cumplir una serie de requisitos de calidad o rendimiento, el barro sólo puede reutilizarse en otros productos (véase la sección 4.5.1.2).

Economía

El reciclado o la reutilización de lodos permite evitar –y, por lo tanto, ahorrar– los costes de eliminación.

Impulsores de la implementación

Ahorro de costes gracias al menor consumo de materias primas y agua, y a la ausencia de residuos.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [6, Timellini, 2004], [10, Navarro, 1998], [13, SYKE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006]

4.5.1.2. REUTILIZACIÓN DE LOS LODOS GENERADOS EN OTROS PRODUCTOS

Descripción y ventajas medioambientales logradas

El lodo puede reutilizarse en sectores de la industria cerámica diferentes de los que generan dicho lodo. De este modo se aportan soluciones técnicamente interesantes o económicamente ventajosas. Por ejemplo, el lodo procedente de la fabricación de cerámica doméstica o sanitaria puede utilizarse como entrada de materia prima/aditivo en la industria del tratamiento de la arcilla y en la fabricación de agregados de arcilla expandida.

Esto conduce, por un lado, a la no producción de residuos y, por otro, al ahorro en materias primas.

Efectos cruzados

Si hay que secar el lodo para su reutilización aumenta el consumo de energía. También conviene prestar atención a las consecuencias negativas derivadas de la posible introducción de contaminantes procedentes de una fase/sección del proceso/planta/industria, como la preparación de esmalte y su aplicación en la fabricación de cerámica doméstica, en una fase/sección diferente, tal y como pudiera ser la preparación del cuerpo cerámico en la fabricación de ladrillos. Los controles de las emisiones gaseosas y las aguas residuales del proceso de fabricación constituyen una solución adecuada para prevenir semejantes consecuencias negativas.

Datos operativos y aplicabilidad

Hay que tener en cuenta las temperaturas de fusión de los esmaltes, que forman parte del lodo, así como las propiedades fundentes si se va a reutilizar el lodo en la fabricación de productos de construcción, ya que puede afectar a las propiedades del producto..

Economía e impulsor de la implementación.

Ahorro económico mediante la reducción de materias primas y costes de eliminación.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

[3, CERAME-UNIE, 2003], [13, SYKE, 2004], [22, SYKE, 2004], [23, TWG Ceramics, 2005]

4.5.2. Pérdidas/residuos sólidos del proceso

Esta sección aborda las posibilidades de reducción de los residuos sólidos durante las diferentes etapas de los procesos de fabricación de los productos cerámicos. Las instalaciones/técnicas que generan pérdidas sólidas en el proceso ya se han tratado en este documento, por ejemplo, en los capítulos 2 y 4 relativos a las técnicas para la reducción de polvo.

4.5.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES EN RELACIÓN CON LA REUTILIZACIÓN DE LAS PÉRDIDAS SÓLIDAS DEL PROCESO COMO MATERIAS PRIMAS

El polvo recogido durante la carga, descarga, transporte y procesamiento mecánico de las materias primas puede, normalmente, reutilizarse como materia prima. Por ejemplo, en el almacenamiento de las materias primas, si el local dispone de depurador de aire y el silo cuenta con filtro superior, cualquier polvo filtrado puede derivarse directamente de vuelta al proceso de producción o al silo. Pero la reintroducción directa puede ser inviable cuando se trabaja con unidades centrales de extracción de polvo, debido a la mezcla de diversas materias primas.

Además, las pérdidas del proceso de fabricación que se generan antes de la cocción, normalmente pueden reutilizarse como materias primas, añadiéndolas a la mezcla de materias primas. En el proceso de moldeado, las pérdidas principales que surgen son recortes, moldes de yeso usados y polvo. En ocasiones, las piezas cortadas en la prensa se recogen bajo la propia prensa y se reintroducen directamente en el almacenamiento de material de la prensa. Es más, en ocasiones el polvo o las piezas cortadas se reintroducen como componentes de la receta en una barbotina de colar o en masas de gres. Los moldes de yeso usados pueden reutilizarse en la industria del cemento o, tras ser triturados y molturados, parcialmente en la industria de los fertilizantes.

El polvo originado en un sistema de limpieza en húmedo de los gases de combustión sólo puede reutilizarse en circunstancias determinadas, ya que puede contener altas concentraciones de azufre y fluoruros. Cuando se añade a la mezcla de la materia prima, este polvo puede aumentar las emisiones de HF y SO_x durante el proceso de cocción. Además, el polvo originado en un sistema de limpieza en húmedo de los gases de combustión puede contener partículas adsorbentes como la cal –por ejemplo, si se utiliza un sistema de adsorción que contenga cal– factor que afecta a las propiedades del producto. Por lo tanto, una conducción independiente para los diversos flujos de gas residual facilita la utilización óptima de las pérdidas de polvo en el proceso de fabricación. En la mayoría de los casos, en la fabricación de agregados de arcilla expandida el polvo se puede reciclar.

El yeso generado durante la limpieza de los gases de combustión, sobre todo en la fabricación de agregados de arcilla expandida o en la industria de ladrillos y

tejas, no puede reutilizarse en el proceso, aunque se utiliza en la industria del cemento como regulador del endurecimiento. Los materiales no reciclables in situ pueden utilizarse en otras industrias o entregarse a empresas externas para su reciclado o su eliminación.

Los productos desechados no aptos para la venta (cerámica rota) y los accesorios para cocción rotos, así como el material refractario roto procedente de los hornos, pueden reutilizarse como materias primas, pero sólo en algunos casos y tras ser expandidos. La cerámica rota no reutilizable en el proceso puede usarse en ocasiones como entrada de materia prima en otras industrias. Por ejemplo, los abrasivos aglomerados inorgánicos para ruedas rotas se emplean como material refractario en los hornos para la fabricación del acero, o como relleno en la construcción de carreteras. Los ladrillos rotos pueden utilizarse, por ejemplo, para cubiertas ajardinadas, pistas de tenis o como agregados para hormigones especiales.

Comparada con la eliminación de residuos en los vertederos, la reutilización de residuos sólidos del proceso de fabricación conlleva:

- Una reducción de las materias primas utilizadas.
- Una reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente.
- La reutilización de residuos sólidos del proceso de fabricación permite evitar –y, por lo tanto, ahorrar– los costes de eliminación y también algunos costes de materias primas.

[2, VITO, 2003], [3, CERAME-UNIE, 2003], [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005], [26, UBA, 2005], [28, Schorcht, 2005]

4.5.2.2. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LOS MOLDES DE YESO, ACCESORIOS PARA COCCIÓN Y ARTÍCULOS ROTOS –PREVENCIÓN/SUSTITUCIÓN/REDUCCIÓN

La aplicación de técnicas modernas en el proceso de moldeado permite reducir considerablemente la cantidad de residuos. Los moldes de yeso para la colada en barbotina se pueden sustituir por unidades de presión con moldes de polímeros. Con este método se descartan los moldes de yeso, lo que puede suponer un ahorro adicional en materias primas de hasta el 20 %, al tiempo que se reduce la producción de lodo blanco. El empleo de prensas isostáticas con moldes de polímeros hace innecesarios los moldes de yeso. En algunos sectores, como puede ser el de la fabricación de tejas, se pueden sustituir los moldes de yeso por moldes metálicos cerrados. Sin embargo, la sustitución de los moldes de yeso sólo es posible si se construye una unidad de moldeo nueva o si se renueva por completo la antigua, proceso caro y, por lo tanto, difícil de llevar a cabo, sobre todo para negocios de poco volumen. En algunos casos los moldes de yeso provocan problemas de calidad, ya que pueden aparecer bordes afilados. Además, comparados con los

moldes de yeso, los moldes metálicos presentan un nivel de agotamiento bastante inferior del agua que sale de la arcilla durante el moldeado.

También se puede reducir el número de moldes de yeso usados si aumenta su ciclo de duración. La utilización de mezcladoras de yeso automáticas y de mezcladoras de yeso a vacío permite producir moldes de yeso más resistentes, con un ciclo de duración entre dos y tres veces superior Sin embargo, en el prensado por vía húmeda de tejas de arcilla, por ejemplo, no se puede aumentar la dureza del yeso. Hay que buscar el equilibrio adecuado entre porosidad y dureza de la superficie, para que se ajuste a los requisitos de eliminación de agua y resistencia al desgaste.

En el proceso de cocción, y mediante el empleo de técnicas modernas, también es posible aplicar medidas para prevenir los residuos de forma directa. Si en lugar de cocer en hornos de túnel o con cápsula se emplean sistemas de cocción rápida, como sucede con los hornos de solera con rodillos, se puede reducir la cantidad de accesorios para cocción empleada, aunque en este caso hay que tener en cuenta que la duración de los accesorios para cocción depende de la temperatura (normalmente más alta en los hornos de solera con rodillos) y de la manipulación (más frecuente en la cocción rápida debido al menor tiempo de cocción necesario). Además, la cocción rápida crea más productos cerámicos con tara –por ejemplo, baldosas– cuando la forma es compleja, porque está pensada sobre todo para productos planos y, por lo tanto, no es aplicable en todos los casos.

La proporción de artículos rotos en el proceso de cocción se puede reducir mediante el control electrónico exacto de la curva de cocción y la optimización de los parámetros [4, UBA, 2001], [23, TWG Ceramics, 2005].

4.6. Consideraciones generales sobre el ruido

Esta sección aborda las posibilidades de reducción del ruido durante los diversos pasos de los procesos de fabricación de los productos cerámicos. Por un lado, algunas instalaciones/técnicas que generan ruido ya se han tratado en este documento, y, por otro, muchos aspectos relacionados con el ruido no son exclusivos del sector.

Se puede conseguir una reducción de las emisiones de ruido aplicando medidas directamente en la fuente del ruido. Las principales fuentes de ruido son, por ejemplo, los sistemas neumáticos para la limpieza de filtros, los compresores, los motores de las unidades de preparación y también las unidades de manipulación. La protección sonora se consigue con la revestimiento de la unidad emisora de ruido, o bien levantando paredes aislantes. Las paredes dobles y la construcción

de doble armazón forrado también demuestran su eficacia, ya que el aire atrapado entre la primera y la segunda pared garantiza un alto aislamiento acústico.

Las vibraciones y los ruidos procedentes de diversas instalaciones (por ejemplo, prensas, instalaciones de mezclado y machacado) no se reducen eficazmente con las medidas mencionadas. Por ello, la transmisión de vibraciones y ruidos debe evitarse con el aislamiento contra las vibraciones. Para reducir los problemas de ruido y vibración hay que introducir medidas eficientes: suspensiones metálicas, conexiones metálicas con protección de caucho, componentes de fieltro, caucho o corcho, y también aislamiento contra las vibraciones en toda la base con una capa de betún o un lecho individual para cada motor. Hay más medidas para reducir las emisiones de ruido, como el empleo de silenciadores en la fuente del ruido o el reemplazo de los ventiladores de giro rápido por otros más grandes pero de baja rotación.

Si todas estas medidas no pudieran aplicarse y no fuera posible trasladar las unidades ruidosas al interior del edificio, hay que poner en marcha medidas de protección acústica secundarias, normalmente en el propio edificio. Para ello hay que ampliar el grosor de las paredes y aislar acústicamente las ventanas (las de múltiple acristalamiento permiten, además, reducir los costes de calefacción). Dichas ventanas deben mantenerse cerradas cuando se opere con ruido. A este respecto cabe destacar, no obstante, que la necesidad de mantener las ventanas cerradas suele derivar en la instalación de sistemas de ventilación (caros y de alto consumo energético) que mejoren las condiciones laborales. También se pueden trasladar ventanas, puertas e instalaciones exteriores ruidosas a puntos alejados de zonas residenciales.

La forma de trabajar de los empleados también guarda relación con las emisiones de ruido. Las puertas deben mantenerse cerradas si no se produce un tráfico continuado; la conducción cautelosa de camiones y carretillas elevadoras en el puesto de trabajo también reduce las emisiones de ruido. Aparte de esto, hay que limitar la duración de los trabajos que provoquen más ruido. Por ejemplo, al atardecer o por la noche hay que evitar tirar los artículos rotos o circular con la carretilla elevadora. El mantenimiento regular de las unidades (engrasado y sustitución de silenciadores) sirve también para reducir el ruido [4, UBA, 2001].

Como el impulsor de una medida de protección contra el ruido suele ser una obligación legal (protección de un vecindario o un lugar de trabajo), desde el punto de vista económico se trata principalmente de un tema de gastos, sobre todo si hay medidas de construcción relacionadas.

4.7. Instrumentos de gestión medioambiental

Descripción

El mejor comportamiento medioambiental se suele conseguir mediante la instalación de la mejor tecnología y su puesta en funcionamiento de la forma más efectiva y eficiente posible. Esto lo reconoce la directiva IPPC, que define «técnicas» como *«la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada y desmantelada»*.

Para las instalaciones IPPC, un sistema de gestión medioambiental es una herramienta que los titulares pueden utilizar para abordar de una manera sistemática y objetiva las cuestiones de diseño, construcción, mantenimiento, funcionamiento y desmantelamiento. Un sistema de gestión medioambiental incluye la estructura organizativa, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para el desarrollo, implementación, mantenimiento, revisión y monitorización de la política medioambiental. Los sistemas de gestión medioambiental son más efectivos y eficientes cuando forman parte integrante de la gestión y el funcionamiento globales de una instalación.

En el marco de la Unión Europea, muchas organizaciones han decidido de forma voluntaria implementar sistemas de gestión medioambiental basados en la EN ISO 14001:2004 o en el reglamento comunitario de ecogestión y ecoauditoría EMAS. EMAS incluye los requisitos para un sistema de gestión de la EN ISO 14001, pero pone especial énfasis en el cumplimiento de la legalidad, el comportamiento medioambiental y la implicación de los empleados; requiere también verificación externa del sistema de gestión y validación mediante una declaración medioambiental pública (en la EN ISO 14001 la autodeclaración puede sustituir la verificación externa). También hay muchas organizaciones que han decidido poner en marcha sistemas de gestión medioambientales no estandarizados.

Aunque tanto los sistemas estandarizados (EN ISO 14001:2004 y EMAS) como los sistemas no estandarizados («personalizados») toman, en principio, la *organización* como la entidad, este documento restringe el enfoque y no incluye todas las actividades de la organización, como es el caso de sus productos y servicios, puesto que la entidad regulada bajo la directiva IPPC es la *instalación* (tal y como se define en el artículo 2).

Un sistema de gestión medioambiental para una instalación IPPC puede contener los siguientes componentes:

- a) Definición de una política medioambiental.
- b) Planificación y establecimiento de objetivos.
- c) Implementación y funcionamiento de los procedimientos.

- d) Control y acciones correctivas.
- e) Revisión de la gestión.
- f) Preparación de una declaración medioambiental.
- g) Validación por parte de un organismo de certificación o de un verificador externo de sistemas de gestión medioambiental.
- h) Consideraciones de diseño para el desmantelamiento de la planta al final de su vida útil.
- i) Desarrollo de tecnologías más limpias.
- j) Indicadores de referencia.

Estas características se explican con mayor detalle a continuación. Para obtener información detallada sobre los componentes (a) a (g), todos ellos incluidos en el EMAS, véase también la documentación de referencia indicada más adelante.

a) *Definición de una política medioambiental*

- La alta dirección es responsable de definir una política medioambiental para una instalación que garantice que:
- Sea apropiada a la naturaleza, la escala y los impactos medioambientales de las actividades.
- Incluya un compromiso para la prevención y el control de la contaminación.
- Incluya el compromiso de cumplir con todas las regulaciones y legislaciones medioambientales aplicables, y con otras obligaciones que suscriba la organización.
- Ofrezca el marco adecuado para llevar a cabo el planteamiento y la revisión de los objetivos medioambientales.
- Se documente y comunique a todos los empleados.
- Esté a disposición del público y de todas las partes interesadas.

b) *Planificación, p. ej.:*

- Procedimientos para identificar los aspectos medioambientales de la instalación que permitan determinar las actividades que tienen o pueden tener un impacto importante en el entorno, y para mantener actualizada dicha información.
- Procedimientos para identificar y brindar acceso a obligaciones legales y otras obligaciones que la organización suscriba y que se puedan aplicar a los aspectos medioambientales de sus actividades.
- Establecimiento y revisión de los objetivos medioambientales documentados, teniendo en cuenta los requisitos legales y otros requisitos, así como la opinión de las partes interesadas.
- Establecimiento y actualización periódica de un programa de gestión medioambiental que incluya la designación de responsabilidades para la consecución de los objetivos en cada función y nivel relevante, así como los medios y el plazo de tiempo que delimitarán dicha consecución.

c) *Implementación y funcionamiento de los procedimientos*

Es importante contar con sistemas implantados que garanticen que los procedimientos se conocen, se entienden y se cumplen; por lo tanto, una gestión medioambiental efectiva incluye:

(i) Estructura y responsabilidad

- Definición, documentación y comunicación de funciones, responsabilidades y autoridades; esto conlleva el nombramiento de un representante específico para la gestión.
- Obtención de los recursos imprescindibles para la implementación y el control del sistema de gestión medioambiental, entre los que se cuentan los recursos humanos y los conocimientos especializados, la tecnología y los recursos financieros.

(ii) Formación, conciencia y competencia

- Identificación de las necesidades de formación para garantizar que todo el personal, cuyo trabajo pueda afectar de forma significativa a los impactos medioambientales de la actividad, reciba la formación adecuada.

(iii) Comunicación

- Establecimiento y mantenimiento de procedimientos de comunicación interna entre los diversos niveles y funciones de la instalación, de procedimientos que fomenten el diálogo con terceras partes interesadas y procedimientos para recibir, documentar y, en caso necesario, responder a comunicaciones importantes por parte de terceras partes interesadas.

(iv) Implicación de los empleados

- Implicación de los empleados en el proceso para conseguir un alto nivel de comportamiento medioambiental, aplicando las formas adecuadas de participación, tales como un libro de sugerencias, grupos de trabajo basados en proyectos o comités medioambientales.

(v) Documentación

- Establecimiento y mantenimiento actualizado de la información, en papel o formato electrónico, para describir los elementos principales del sistema de gestión y su interacción, y para remitir a cualquier documentación relacionada.

(vi) Proceso de control eficiente

- Control adecuado de los procesos bajo cualquier modo de funcionamiento, es decir, preparación, arranque, operaciones rutinarias, apagado y condiciones anómalas.
- Identificación de los principales métodos e indicadores de rendimiento para medir y controlar estos parámetros (p. ej. flujo, presión, temperatura, composición y cantidad).
- Documentación y análisis de condiciones de funcionamiento anómalas para identificar la raíz del problema, solucionarlo y evitar que vuelva a producirse. Esto se puede conseguir en mayor medida aplicando una cultura de no culpabilidad, mediante la cual la identificación de las causas es más importante que el descubrimiento y culpabilización del causante.

(vii) Programa de mantenimiento

- Establecimiento de un programa de mantenimiento estructurado, basado en descripciones técnicas del equipo, normas, etc., así como de posibles fallos del equipo y sus consecuencias.
- Apoyo del programa de mantenimiento con los sistemas adecuados de registro y pruebas de diagnóstico.
- Reparto claro de responsabilidades para la planificación y la ejecución del mantenimiento.

(viii) Preparación y respuesta ante emergencias

- Establecimiento y mantenimiento de procedimientos para identificar accidentes y situaciones de emergencia potenciales, preparar la respuesta, y prevenir y mitigar el impacto medioambiental que puedan llevar asociado.

d) *Control y acciones correctivas, por ejemplo:*

(i) Monitorización y mediciones

- Establecimiento y mantenimiento de procedimientos documentados para monitorizar y medir con regularidad las características principales de las operaciones y actividades que pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente, incluidos el registro de la información sobre el nivel de seguimiento, los controles operativos relevantes y el cumplimiento de los objetivos medioambientales de la instalación (*véase también el documento de referencia sobre monitorización de emisiones*).
- Establecimiento y mantenimiento de un procedimiento documentado que evalúe periódicamente el cumplimiento de la legislación y las regulaciones medioambientales pertinentes.

(ii) Acción correctiva y preventiva

- Establecimiento y mantenimiento de procedimientos que definan la responsabilidad y la autoridad en la gestión e investigación de condiciones no conformes con los permisos, otras obligaciones legales y también los objetivos, las acciones pertinentes para mitigar los posibles impactos provocados y la puesta en marcha de acciones correctivas y preventivas apropiadas a la magnitud del problema y proporcionales al impacto medioambiental producido.

(iii) Registros

- Establecimiento y mantenimiento de procedimientos para la identificación, el mantenimiento y la disposición de registros medioambientales legibles, identificables y fáciles de encontrar, incluidos los registros de formación y los resultados de las auditorías y las revisiones.

(iv) Auditoría

- Establecimiento y mantenimiento de programas y procedimientos para la realización de auditorías periódicas sobre el sistema de gestión medioambiental que incluyan entrevistas con el personal, inspección de las condiciones de funcionamiento y del equipo, y revisión de los registros y la documentación, y que redunden en un informe escrito realizado de forma imparcial y objetiva por los empleados (auditorías internas) o por empresas externas (auditorías externas), que cubran el ámbito, la frecuencia y las metodologías de la auditoría, así como las responsabilidades y las obligaciones para la realización de auditorías y el registro de los resultados, con el fin de determinar si el sistema de gestión medioambiental se ajusta o no a los términos planificados y si la implementación y el mantenimiento son correctos.
- Realización de la auditoría o del ciclo de auditorías, cuando sea apropiado, a intervalos nunca superiores a tres años, dependiendo de la naturaleza, escala y complejidad de las actividades, la importancia de los impactos medioambientales asociados, la importancia y la urgencia de los problemas detectados en anteriores auditorías, y el historial de los problemas medioambientales: las actividades más complejas y con un impacto medioambiental más significativo se auditán con mayor frecuencia.
- Establecimiento de los mecanismos adecuados para garantizar que los resultados de la auditoría se pongan en práctica.

(v) Evaluación periódica del cumplimiento legal

- Análisis del cumplimiento de la legislación medioambiental aplicable y de las condiciones de los permisos medioambientales que mantiene la instalación.
- Documentación de la evaluación.

e) *Revisión de la gestión, por ejemplo:*

- Revisión, por parte de la alta dirección, en los intervalos que se determine, del sistema de gestión medioambiental, para garantizar su idoneidad, adecuación y efectividad en todo momento.
- Certificar que se recoge toda la información necesaria para que la dirección pueda llevar a cabo esta evaluación.
- Documentación de la revisión.

f) *Preparación de una declaración medioambiental*

- Preparación de una declaración medioambiental que preste especial atención a los resultados obtenidos por la instalación y los compare con sus objetivos medioambientales. Se redacta con regularidad (una vez al año o con menos frecuencia), dependiendo de la importancia de las emisiones, la generación de residuos, etc. Tiene en cuenta las necesidades informativas de terceras partes que puedan estar interesadas, y está a disposición del público (p. ej. en publicaciones electrónicas, bibliotecas, etc.).

Cuando se redacta una declaración, el titular puede utilizar indicadores de comportamiento medioambiental importantes ya existentes, garantizando que los indicadores elegidos:

- i. Ofrecen una evaluación adecuada del comportamiento de la instalación.
- ii. Se entienden y no son ambiguos.
- iii. Permiten realizar una comparativa anual para evaluar el desarrollo del comportamiento medioambiental de la instalación.
- iv. Permiten realizar comparativas con referentes sectoriales, nacionales o regionales cuando sea apropiado.
- v. Permiten realizar comparaciones con obligaciones reguladoras cuando sea apropiado.

g) *Validación por parte de un organismo de certificación o de un verificador externo de sistemas de gestión medioambiental*

- Al contar con la validación por parte de un organismo de certificación, o de un verificador externo de sistemas de gestión medioambiental, del sistema de gestión, de la auditoría y de la declaración medioambiental, se consigue, si se lleva a cabo de la forma adecuada, mejorar la credibilidad del sistema.

h) *Consideraciones de diseño para el desmantelamiento de la planta al final de su vida útil*

- Tener en cuenta el impacto medioambiental que conllevará el desmantelamiento final de la unidad a la hora de diseñar una planta nueva, como medida prevísora que permite realizar una desmantelamiento más sencillo, limpio y económico.

- El desmantelamiento plantea riesgos medioambientales por la contaminación de la tierra (y las aguas subterráneas), y genera enormes cantidades de residuos sólidos. Las técnicas preventivas son específicas para cada proceso, pero hay que tener en cuenta una serie de consideraciones generales:
 - i. Evitar estructuras subterráneas.
 - ii. Incorporar características que faciliten el desmantelamiento.
 - iii. Elegir acabados de superficie de fácil descontaminación.
 - iv. Emplear una configuración de equipo que minimice los productos químicos atrapados y facilite el drenaje o la limpieza.
 - v. Diseñar unidades flexibles independientes que permitan un cierre por fases.
 - vi. Emplear materiales biodegradables y reciclables siempre que sea posible.

i) *Desarrollo de tecnologías más limpias*

- La protección del medio ambiente debe erigirse en factor integrante de cualquier actividad de diseño del proceso que lleve a cabo el titular, puesto que las técnicas incorporadas en las primeras fases del diseño son más efectivas y económicas. Las actividades o los estudios de I+D pueden, por ejemplo, brindar importancia al desarrollo de tecnologías más limpias. Como alternativa a las actividades internas, se pueden desarrollar planes para estar al día, cuando corresponda, del trabajo realizado por otros titulares o institutos de investigación activos en el campo concreto.

j) *Indicadores de referencia, p. ej.:*

- Elaboración sistemática y periódica de comparaciones con referentes sectoriales, nacionales o regionales, en aspectos tales como la eficiencia energética y las actividades de conservación de energía, la elección de materiales de entrada, las emisiones a la atmósfera y los vertidos en el agua (utilizando, por ejemplo, el registro europeo de emisiones contaminantes, EPER), el consumo de agua y la generación de residuos.

Sistemas de gestión medioambiental estandarizados y no estandarizados:

Un sistema de gestión medioambiental puede adoptar un sistema estandarizado o no estandarizado («personalizado»). La implementación y adhesión a un sistema estandarizado aceptado internacionalmente, como es el caso de la EN ISO 14001:2004, dota de mayor credibilidad al sistema en cuestión, sobre todo si está sujeto a una verificación externa rigurosa. EMAS ofrece un punto de credibilidad adicional, puesto que interactúa con el público mediante la declaración medioambiental y el mecanismo que garantizan el cumplimiento de la legislación medioambiental aplicable. En principio, sin embargo, los sistemas no estandarizados pueden ser igualmente efectivos, siempre y cuando el diseño y la implementación sean los adecuados.

Ventajas medioambientales logradas

La implementación y la adhesión a un sistema de gestión medioambiental consiguen que el titular preste mayor atención al comportamiento medioambiental de la instalación. En particular, el mantenimiento y el cumplimiento de unos procedimientos operativos claros para afrontar situaciones tanto normales como anómalas, así como las líneas de responsabilidad asociadas, garantizan que las condiciones de autorización de la instalación y otros objetivos medioambientales se cumplan en todo momento.

En general, los sistemas de gestión medioambiental garantizan la mejora continua del comportamiento medioambiental de la instalación. Cuanto más pobre sea el punto de partida, más significativas serán las mejoras a corto plazo que puedan esperarse. Si la instalación ofrece ya un buen comportamiento medioambiental, el sistema ayuda al titular a mantener un alto nivel de comportamiento medioambiental.

Efectos cruzados

Las técnicas de gestión medioambiental están pensadas para rebajar el impacto medioambiental global, aspecto que coincide con el enfoque integrado de la directiva IPPC.

Datos operativos

No hay información específica registrada.

Aplicabilidad

Los componentes descritos anteriormente son de aplicación en todas las instalaciones IPPC. El alcance (p. ej. el nivel de detalle) y la naturaleza de las MTD (p. ej. estandarizadas o no estandarizadas) estarán relacionados, por regla general, con la naturaleza, la escala y la complejidad de la instalación, y con la gama de impactos medioambientales que pueda tener.

Economía

Resulta complicado determinar con precisión los costes y las ventajas económicas resultantes de la introducción y del mantenimiento de un buen sistema de gestión medioambiental. A continuación presentamos una serie de estudios. No obstante, se trata de simples ejemplos, y sus resultados no son del todo coherentes. Tal vez no representen a todos los sectores de la UE y, por lo tanto, conviene analizarlos con precaución.

Un estudio sueco realizado en 1999 encuestó a las 360 empresas suecas con certificación ISO y registro EMAS. Tras recoger un 50% de respuestas, entre otras se extrajeron las siguientes conclusiones:

- Los gastos que conlleva la introducción y el manejo de un sistema de gestión medioambiental son altos pero no desproporcionados, excepto en el caso de empresas muy pequeñas. Los gastos han de ir decreciendo con el paso del tiempo.
- Es posible reducir costes si se establece un alto grado de coordinación e integración del sistema de gestión medioambiental con otros sistemas de gestión.
- La mitad de los objetivos medioambientales dan sus frutos al cabo de un año; se reducen los costes y/o aumentan los ingresos.
- El mayor ahorro de costes se produjo al reducirse el gasto en energía, materias primas y tratamiento de residuos.
- Casi todas las empresas creen que su posición en el mercado se ha reforzado gracias al sistema de gestión medioambiental. Un tercio de las empresas certifican un aumento de los ingresos gracias al sistema de gestión medioambiental.

En algunos Estados miembros, si la instalación cuenta con algún tipo de certificado, se aplica un descuento a los honorarios de supervisión.

Algunos estudios¹ demuestran que hay una relación inversa entre el tamaño de la empresa y los costes de implementación de un sistema de gestión medioambiental. Similar es la relación que afecta al período de recuperación del capital invertido. De ambos elementos se deduce que en las PYME la relación entre costes y beneficios es menos favorable que en el caso de grandes empresas.

Según un estudio suizo, el coste medio de la elaboración y puesta en funcionamiento de la norma ISO 14001 puede variar:

- Para una empresa de entre 1 y 49 empleados: 64.000 CHF (44.000 euros) para elaborar los sistemas de gestión medioambiental y 16.000 CHF (11.000 euros) al año en mantenimiento.
- Para un emplazamiento industrial con más de 250 empleados: 367.000 CHF (252.000 euros) para elaborar los sistemas de gestión medioambiental y 155.000 CHF (106.000 euros) al año en mantenimiento.

Estas cifras aproximadas no representan necesariamente el coste real para cualquier emplazamiento industrial, ya que el importe dependerá en gran medida de diversos aspectos relevantes (contaminantes, consumo de energía...) y de la complejidad de los problemas que se van a analizar.

¹ E.g. Dyllick y Hamschmidt (2000, 73) citado en Klemisch H. y R. Holger, *Umweltmanagementsysteme in kleinen und mittleren Unternehmen – Befunde bisheriger Umsetzung*, KNI Papers 01/02, enero de 2002, pág. 15; Clausen J., M. Keil y M. Jungwirth, *The State of EMAS in the EU.Eco-Management as a Tool for Sustainable Development – Literature Study*, Institute for Ecological Economy Research (Berlín) y Ecologic – Institute for International and European Environmental Policy (Berlín), 2002, p 15.

Un reciente estudio alemán (Schaltegger, Stefan y Wagner, Marcus, *Umweltmanagement in deutschen Unternehmen - der aktuelle Stand der Praxis*, febrero 2002, p. 106) presenta los siguientes gastos en sistemas de gestión medioambiental en diversos ámbitos. *Cabe destacar que estas cifras son muy inferiores a las del estudio suizo citado con anterioridad. Se confirma así la dificultad que conlleva determinar los costes de un sistema de gestión medioambiental.*

Costes de elaboración (euros):

| | | |
|--------|---|--------|
| mínimo | - | 18.750 |
| máximo | - | 75.000 |
| medio | - | 50.000 |

Costes de validación (euros):

| | | |
|--------|---|--------|
| mínimo | - | 5.000 |
| máximo | - | 12.500 |
| medio | - | 6.000 |

Un estudio llevado a cabo por el Instituto Alemán de Empresarios (Unternehmerinstitut/Arbeitsgemeinschaft Selbständiger Unternehmer UNI/ASU, 1997, *Umweltmanagementbefragung - Öko-Audit in der mittelständischen Praxis - Evaluierung und Ansätze für eine Effizienzsteigerung von Umweltmanagementsystemen in der Praxis*, Bonn.) brinda información sobre el ahorro medio anual gracias a los sistemas de gestión medioambiental y el tiempo aproximado que tarda en recuperarse la inversión. Por ejemplo, para unos costes de implementación de 80.000 euros, calculan un ahorro medio de 50.000 euros al año, lo que corresponde a un periodo de recuperación de la inversión de un año y medio.

Para estimar los costes externos relativos a la verificación del sistema se puede acudir al Foro Internacional de Acreditación (International Accreditation Forum) (<http://www.iaf.nu>).

Impulsores de la implementación

Los sistemas de gestión medioambiental ofrecen diversas ventajas, como por ejemplo:

- Mejor comprensión de los aspectos medioambientales de la empresa.
- Mejor base para la toma de decisiones.
- Mayor motivación del personal.
- Oportunidades adicionales para la reducción de costes operativos y mejora de la calidad del producto.

- Mejor comportamiento medioambiental.
- Mejor imagen de la empresa.
- Reducción de gastos por responsabilidad, seguros y no conformidad.
- Mayor atractivo de cara a empleados, clientes e inversores.
- Mayor confianza de los reguladores, que puede redundar en una menor supervisión reguladora.
- Mejores relaciones con los grupos ecologistas.

Ejemplos de plantas

Las características descritas anteriormente en los puntos (a) a (e) son elementos característicos de EN ISO 14001:2004 y del European Community Eco-Management and Audit Scheme (EMAS); las características (f) y (g) son específicas del EMAS. Estos dos sistemas estandarizados se aplican en una serie de instalaciones IPPC. Por ejemplo, 357 organizaciones pertenecientes a la industria química y de productos químicos de la UE (código 24 de NACE) estaban registradas en el EMAS en julio de 2002, y la mayoría funciona con instalaciones IPPC.

En el Reino Unido, la Agencia Medioambiental de Inglaterra y Gales realizó una encuesta en 2001 entre diversas instalaciones reguladas por IPC (antecesora de IPPC). Se demostró que el 32 % de las encuestadas cumplían la certificación ISO 14001 (el equivalente al 21 % de todas las instalaciones IPC) y que el 7 % estaban registradas en el EMAS. Todas las fábricas de cemento del Reino Unido (unas 20) tienen la certificación ISO 14001 y la gran mayoría están registradas en el EMAS. En Irlanda, donde se requiere un sistema de gestión medioambiental (no necesariamente estandarizado) para obtener licencias IPC, se estima que 100 de cada 500 instalaciones con licencia han establecido un sistema de gestión medioambiental que cumple la normativa ISO 14001; las otras 400 han optado por un sistema de gestión medioambiental no estandarizado.

Documentación de referencia

(Regulación (EC) N° 761/2001 del parlamento y el consejo europeos que permite la participación de las organizaciones en un reglamento comunitario de ecogestión y ecoauditoría (EMAS), OJ L 114, 24/4/2001, http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm)

(EN ISO 14001:2004, <http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html>; <http://www.tc207.org>)

5. Mejores técnicas disponibles para la fabricación de productos cerámicos

Para entender este capítulo y sus contenidos emplazamos al lector a repasar el prefacio de este documento y, en particular, la quinta sección del prefacio: «Cómo entender y utilizar este documento». Las técnicas y los niveles, o los intervalos de niveles, de emisión y/o de consumo asociados que se presentan en este capítulo se han evaluado mediante un proceso iterativo dividido en los siguientes pasos:

- Identificación de las cuestiones medioambientales clave del sector de la fabricación cerámica.
- Revisión de las técnicas más relevantes para solventar estas cuestiones clave.
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento medioambiental sobre la base de los datos disponibles en la Unión Europea y el resto del mundo.
- Revisión de las condiciones mediante las que se consiguen estos niveles de comportamiento; costes, efectos cruzados y los principales impulsores involucrados en la implementación de las técnicas.
- Selección de las «mejores técnicas disponibles (MTD)» y de los niveles de emisión y/o consumo asociados, en la industria cerámica en general, todo ello de acuerdo con el Artículo 2(11) y el Anexo IV de la Directiva.

El juicio experto de la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación y del grupo técnico de trabajo relevante ha desempeñado un papel fundamental en cada uno de estos pasos, así como en la forma de presentar la información en este documento.

En este capítulo, y sobre la base de esta evaluación, se presentan las técnicas y, en la medida de lo posible, los niveles de emisión y consumo asociados con el empleo de las MTD, que se consideran como apropiados para el sector de la fabricación cerámica en su conjunto; en muchos casos, reflejan el comportamiento actual de algunas instalaciones de esta industria. Cuando se presentan niveles de emisión o de consumo «asociados con las mejores técnicas disponibles», se sobrentiende que dichos niveles representan el comportamiento medioambiental que se puede prever como resultado de la aplicación, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el equilibrio de costes y beneficios inherentes a la definición de MTD. No son en ningún caso valores límite de emisión ni de consumo, ni deben entenderse como tales. En algunos casos puede ser técnica-

mente posible conseguir mejores niveles de emisión o de consumo pero, debido a cuestiones de coste o a consideraciones cruzadas, no se consideran apropiados como MTD para el sector cerámico en su conjunto. Sin embargo, podrían justificarse en casos más específicos movidos por aspectos impulsores especiales.

Los niveles de emisión y consumo asociados con el empleo de las MTD deben considerarse conjuntamente con cualquier condición de referencia especificada (p. ej. períodos estadísticos).

Conviene realizar una clara distinción entre el concepto «niveles asociados con las MTD» descrito anteriormente y el término «nivel posible» empleado en otras partes de este documento. Cuando se describe un nivel como «posible» empleando una técnica o combinación de técnicas particulares, quiere decir que, mediante dichas técnicas, se podrá alcanzar el nivel al cabo de un período de tiempo considerable, siempre y cuando la instalación o el proceso presenten un mantenimiento y un funcionamiento correctos.

Siempre que estén disponibles, los datos relativos a los costes se acompañan de la descripción de las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Estos datos permiten hacerse una idea aproximada de la magnitud de los costes relacionados. Sin embargo, el coste real de la aplicación de una técnica dependerá sobre todo de la situación específica en relación con, por ejemplo, los impuestos, las tasas y las características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible evaluar a fondo dichos factores específicos de emplazamiento en este documento. En ausencia de datos relativos a los costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen de las observaciones realizadas en instalaciones ya existentes.

Lo que se pretende con las MTD generales de este capítulo es que sirvan de punto de referencia a la hora de analizar el rendimiento actual de una instalación ya existente o valorar la propuesta de una instalación nueva. De este modo, ayudarán en la determinación de las condiciones de autorización basadas en las MTD o en el establecimiento de reglas generales según el Artículo 9(8). Está previsto que las nuevas instalaciones puedan diseñarse de modo que rindan a unos niveles generales de MTD iguales o superiores a los aquí presentados. Se considera también que las instalaciones ya existentes podrían alcanzar o mejorar los niveles generales de MTD, ateniéndose a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Si bien los documentos de referencia sobre las MTD no establecen estándares legales, su objetivo es el de aportar información para orientar a la industria, a los Estados miembros y al público en general en referencia a los niveles de emisión y consumo posibles mediante el uso de las técnicas especificadas. Los valores límite adecuados para cualquier caso específico deberán determinarse teniendo en cuenta los objetivos de la Directiva IPPC y las consideraciones locales.

En este documento, las conclusiones sobre las MTD, en lo que concierne al sector cerámico, se establecen en dos niveles. La sección 5.1 presenta las conclusiones sobre las MTD genéricas, es decir, las que se aplican en general al conjunto de la industria cerámica. La sección 5.2 incluye conclusiones sobre las MTD específicas para cada uno de los nueve grandes sectores cerámicos que se analizan. Las «mejores técnicas disponibles» para una instalación determinada implican, en general, la aplicación de una o varias de las técnicas y medidas enumeradas en este capítulo dentro de la sección genérica o de la sección específica de cada sector (secciones 5.1 y 5.2).

En el caso de técnicas identificadas individualmente como MTD que puedan combinarse, los efectos de dichas combinaciones se expondrán en las conclusiones referentes a las condiciones de autorización basadas en las MTD para casos particulares.

RECOMENDACIÓN PARA AYUDAR A LOS USUARIOS/LECTORES DE ESTE DOCUMENTO

Se recomienda encarecidamente la lectura conjunta de los capítulos 5 y 4, porque hay que tener en cuenta tanto la aplicabilidad como las restricciones relacionadas con la aplicabilidad de las técnicas y las medidas referidas en el capítulo 4. Para ayudar al lector a este respecto, en el capítulo 5 se incluyen referencias al capítulo 4.

Véanse las definiciones siguientes en relación con las condiciones estándar para las mediciones de las concentraciones y caudales volumétricos, que también aparecen en el glosario:

| | |
|------------------------|--|
| m^3/h | caudal volumétrico: si no se indica lo contrario, el caudal volumétrico en este documento se refiere a un 18% vol. de oxígeno y estado estándar. |
| mg/m^3 | concentración: si no se indica lo contrario, en este documento las concentraciones de sustancias gaseosas o mezclas de sustancias se refieren a gases de combustión secos con un 18% vol. de oxígeno y estado estándar, y las concentraciones de benceno se refieren a un 15% vol. de oxígeno y estado estándar. |
| estado estándar | se refiere a una temperatura de 273 K y a una presión de 1013 hPa. |

Debemos destacar una vez más que, tal y como se describe de una manera más completa en el PREFACIO, este documento no propone valores límite de emisión. La determinación de las condiciones de autorización adecuadas implicará la consideración de factores locales específicos de emplazamiento, las caracte-

rísticas técnicas de la instalación de que se trate, su ubicación geográfica y las condiciones medioambientales locales. En el caso de instalaciones ya existentes debe tenerse en cuenta asimismo la viabilidad económica y técnica de su modernización. Incluso el propio objetivo de garantizar un nivel alto de protección para el medio ambiente en general, normalmente implicará juicios de compromiso entre diferentes tipos de impactos medioambientales que, con frecuencia, estarán influidos por consideraciones locales.

Aunque se intenta resolver alguna de estas cuestiones, en este documento no es posible ocuparse de ellas en detalle. Por lo tanto, las técnicas y niveles presentados en el capítulo 5 no serán necesariamente apropiados para todas las instalaciones. Por otra parte, la obligación de garantizar un nivel elevado de protección medioambiental, incluyendo la minimización de la contaminación a larga distancia o transfronteriza, implica que las condiciones de autorización no pueden establecerse sobre la base de consideraciones puramente locales. Por ello es de suma importancia que se tenga en cuenta la información que contiene este documento.

5.1. Mejores técnicas disponibles genéricas

Esta sección incluye las conclusiones sobre las MTD aplicables al conjunto de los nueve sectores presentados y descritos en detalle en este documento. Las «mejores técnicas disponibles» para una instalación determinada implican, en general, la aplicación de una o varias de las técnicas y medidas enumeradas en la sección genérica y en las secciones específicas de cada sector (sección 5.2).

Las mejores técnicas disponibles y los intervalos de niveles de emisión o de consumo asociados con las mejores técnicas disponibles que se presentan (gamas de VEA correspondientes a las MTD), están relacionadas con instalaciones dotadas de diferentes tamaños de horno, hornos de usos diversos (p. ej. continuos o discontinuos), y diferente cómputo anual de horas de funcionamiento. No se pueden tener plenamente en cuenta las consideraciones locales especiales. Los NEA para las MTD no definen ni proponen valores límite de emisión (VLE).

Se recomienda encarecidamente la lectura conjunta de los capítulos 5 y 4, porque hay que tener en cuenta tanto la aplicabilidad como las restricciones relacionadas con la aplicabilidad de las técnicas y las medidas referidas en el capítulo 4. Las conclusiones sobre las MTD del capítulo 5 no pueden interpretarse correctamente si no se lee dicho capítulo junto con el capítulo 4. Para ayudar al lector a este respecto, en el capítulo 5 se incluyen referencias al capítulo 4.

5.1.1. Gestión medioambiental

Son diversas las técnicas de gestión medioambiental que quedan determinadas como MTD. El alcance (p. ej. el nivel de detalle) y la naturaleza de las MTD (p. ej. estandarizadas o no estandarizadas) estarán relacionados, por regla general, con la naturaleza, la escala y la complejidad de la instalación, y con la gama de impactos medioambientales que pueda conllevar.

Las MTD sirven para aplicar y respetar un sistema de gestión medioambiental que incorpore, en función de las circunstancias concretas, las características siguientes (véase la sección 4.7):

- a) Definición de una política medioambiental para la instalación por parte de la alta dirección (la responsabilidad de la alta dirección se considera condición indispensable para la aplicación satisfactoria de otras características del sistema de gestión medioambiental).
- b) Planificación y establecimiento de los procedimientos necesarios.
- c) Implementación de los procedimientos, prestando atención especial a:
 - I. La estructura y la responsabilidad.
 - II. La formación, la conciencia y la competencia.
 - III. La comunicación.
 - IV. La implicación de los empleados.
 - V. La documentación.
 - VI. Un proceso de control eficiente.
 - VII. Un programa de mantenimiento.
 - VIII. La preparación y la respuesta ante emergencias.
 - IX. La protección conforme a la legislación medioambiental.
- d) Control del rendimiento y adopción de medidas correctivas, prestando especial atención a:
 - I. Monitorización y mediciones (véase también el documento de referencia sobre monitorización de emisiones).
 - II. Acción correctiva y preventiva.
 - III. Mantenimiento de registros.
 - IV. Auditoría interna independiente (cuando sea posible) para determinar si el sistema de gestión medioambiental se ajusta a los planes y se ha implementado y se mantiene como es debido.
- e) Supervisión por parte de la alta dirección.
Hay tres características adicionales, complementarias de las anteriores, consideradas como medidas de apoyo. Sin embargo, por norma general su ausencia no se contradice con las MTD. Los tres pasos adicionales son:

- f) Revisión y validación del sistema de gestión y la auditoría por parte de un organismo con certificación acreditada o de un verificador externo de sistemas de gestión medioambiental.
- g) Preparación y publicación (y, posiblemente, validación externa) de una declaración medioambiental que describa todos los aspectos medioambientales importantes de la instalación, que permita compararla cada año con los objetivos medioambientales así como con los referentes del sector, cuando sea apropiado.
- h) Implementación y respeto de un sistema voluntario internacionalmente aceptado, como son el EMAS y la EN ISO 14001:2004. Este paso voluntario dota de mayor credibilidad al sistema de gestión medioambiental. Sobre todo el EMAS, que abarca todas las características anteriormente citadas, aporta mayor credibilidad. En principio, sin embargo, los sistemas no estandarizados pueden ser igualmente efectivos, siempre y cuando el diseño y la implementación sean los adecuados.

También es importante tener en cuenta, especialmente en la industria cerámica, las siguientes características potenciales de los sistemas de gestión medioambiental:

- i) El impacto medioambiental del posible desmantelamiento de la unidad en la etapa de diseño de una planta nueva.
- j) El desarrollo de tecnologías más limpias
- k) Cuando sea posible, la aplicación de indicadores sectoriales con regularidad, incluidos la eficiencia energética y las actividades de conservación de energía, la elección de materiales de entrada, las emisiones a la atmósfera, los vertidos en el agua, el consumo de agua y la generación de residuos.

5.1.2. Consumo de energía

Encontrará consideraciones generales en relación con el consumo de energía en la sección 3.2.1.

- a) Las MTD sirven para reducir el consumo de energía aplicando una combinación de las siguientes técnicas:
 - I. Mejora del diseño de hornos y secaderos En este contexto, véase la sección 4.1.1, en la que se presentan distintas medidas que pueden aplicarse a los sistemas de hornos/secaderos por separado o combinadas.
 - II. Recuperación del excedente de calor de los hornos, especialmente en la zona de refrigeración (véase la sección 4.1.2). En concreto, el excedente de calor del horno procedente de la zona de enfriamiento en forma de aire caliente se puede utilizar para calentar los secaderos.

- III. Aplicación del combustible utilizado en el proceso de cocción (sustitución del fueloil pesado y los combustibles sólidos por combustibles de baja emisión). En este contexto, véase la sección 4.1.4, con relación al cambio del proceso de cocción en horno a combustibles gaseosos o fueloil EL.
 - IV. Modificación de los cuerpos cerámicos. En este contexto, véase la sección 4.1.5, en la que se presentan varias posibilidades y la aplicabilidad para la modificación de los cuerpos cerámicos.
- b) Las MTD sirven para reducir el consumo de energía primaria mediante instalaciones de cogeneración/plantas combinadas de calor y energía en función de la demanda de calor útil, con arreglo a sistemas de regulación energética económicamente viables (véase la sección 4.1.3).

5.1.3. Emisiones de polvo

En la sección 3.1.1.1, encontrará consideraciones generales en relación con las emisiones de polvo.

5.1.3.1. EMISIONES DIFUSAS DE POLVO

Las MTD sirven para reducir las emisiones difusas de polvo combinando las siguientes técnicas:

- a) Medidas para operaciones que generan polvo. En este contexto, véase la sección 4.2.1, en la que se presentan distintas medidas que pueden aplicarse por separado o combinadas.
- b) Medidas para las zonas de almacenamiento a granel. En este contexto, véase la sección 4.2.2, en la que se presentan distintas medidas que pueden aplicarse por separado o combinadas.

5.1.3.2. EMISIONES CANALIZADAS DE POLVO PROCEDENTES DE LAS OPERACIONES QUE LO GENERAN

Emisiones de polvo procedentes de las operaciones que generan polvo distintas del secado, la atomización o la cocción:

Las MTD sirven para reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de las operaciones que generan polvo (véase la sección 4.2.3, en la que se describen algunas técnicas dirigidas exclusivamente a la eliminación de polvo) a 1-10 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa (véase la

sección 4.2.3.2). Sin embargo, el intervalo de valores de emisión podría ser más amplio en función de las condiciones específicas de funcionamiento.

5.1.3.3. EMISIONES DE POLVO DE LOS PROCESOS DE SECADO

Emisiones de polvo procedentes de los procesos de secado:

Las MTD sirven para mantener las emisiones de polvo en los procesos de secado en el intervalo de 1-20 mg/m³, como valor medio diario, mediante la limpieza del secadero, evitando la acumulación de residuos de polvo en su interior y adoptando protocolos de mantenimiento adecuados (véase la sección 4.2).

5.1.3.4. EMISIONES DE POLVO DE LOS PROCESOS DE COCCIÓN EN HORNO

Emisiones de polvo procedentes de los procesos de cocción en horno.

Las MTD sirven para reducir las emisiones de polvo (partículas) procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos a 1-20 mg/m³ como valor medio diario mediante una combinación de las medidas/técnicas primarias siguientes:

- a) Uso de combustibles con bajo contenido de cenizas, p. ej. gas natural, gas natural licuado (GNL), gas licuado de petróleo (GLP) y fueloil extra ligero (véase la sección 4.1.4).
- b) Minimización de la formación de polvo en el momento de cargar en el horno los artículos que deben cocerse (véase la sección 4.2).

Si se aplica la limpieza en seco de los gases de combustión por medio de filtros (véase la sección 4.3.4.3), un nivel de emisión de polvo inferior a 20 mg/m³ de los gases de combustión depurados se considera una MTD (NEA MTD).

Si se aplican adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada (véase la sección 4.3.4.1), un nivel de emisión de polvo inferior a 50 mg/m³ de los gases de combustión depurados se considera una MTD (NEA MTD).

Para los agregados de arcilla expandida, véanse las MTD específicas del sector (sección 5.2.4).

5.1.4. Compuestos gaseosos

Encontrará consideraciones generales en relación con las emisiones de compuestos gaseosos en la sección 3.1.1.2.

5.1.4.1. MEDIDAS/TÉCNICAS PRIMARIAS

- a) Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos gaseosos (p. ej. HF, HCl, SO_x, COV, metales pesados) procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos mediante la aplicación de una o varias de las medidas/técnicas primarias siguientes:
 - I. Reducción de la entrada de precursores de contaminantes. En este contexto, véase la sección 4.3.1, en la que se presentan varias posibilidades de reducción de la entrada de distintos precursores de contaminantes.
 - II. Optimización de la curva de calentamiento. En este contexto, véase la sección 4.3.3.1, en la que se presentan diversos aspectos de la optimización de procesos mediante la optimización del control de la curva de calentamiento del proceso de cocción.
- b) Las MTD sirven para mantener las emisiones de NO_x procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción de los hornos por debajo de los 250 mg/m³, como valor medio diario expresado como NO₂, para temperaturas de los gases de los hornos inferiores a 1.300 °C, o por debajo de 500 mg/m³, como valor medio diario expresado como NO₂, para temperaturas de los gases de los hornos iguales o superiores a 1.300 °C, mediante una combinación de las medidas/técnicas primarias (véanse las secciones 4.3.1 y 4.3.3, en concreto para la reducción de la entrada de precursores de NO_x), excepto para los agregados de arcilla expandida.
- c) Las MTD sirven para mantener las emisiones de NO_x procedentes de los gases residuales de los motores de cogeneración por debajo de 500 mg/m³, como valor medio diario expresado como NO₂, mediante la aplicación de medidas de optimización de procesos (véanse las secciones 4.1.3 y 4.3.1).

5.1.4.2. MEDIDAS/TÉCNICAS SECUNDARIAS Y COMBINADAS CON MEDIDAS/TÉCNICAS PRIMARIAS

Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos mediante la aplicación de una de las medidas/técnicas secundarias siguientes:

- a) Adsorbentes de lecho fijo de tipo cascada (véase la sección 4.3.4.1).
- b) Limpieza en seco de los gases de combustión con un filtro (filtro de bolsa o precipitador electrostático, véase la sección 4.3.4.3).

Si se aplica una combinación de las medidas/técnicas primarias descritas en la sección 5.1.4.1.a y/o de las medidas/técnicas descritas en esta sección, los siguientes niveles de emisión de compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de

los gases de combustión de los procesos de cocción de los hornos constituyen los NEA para las MTD:

Tabla 5.1. Niveles de emisión con relación a las MTD para compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos

| Parámetro | Unidad, expresada como valor medio diario | NEA MTD1 |
|---|---|-----------------------|
| Fluoruro, expresado como HF | mg/m ³ | 1-10 ² |
| Cloruro, expresado como HCl | mg/m ³ | 1-30 ³ |
| SO _x expresado como SO ₂ Contenido de azufre en la materia prima = 0,25% | mg/m ³ | <500 |
| SO _x expresado como SO ₂ Contenido de azufre en la materia prima > 0,25% | mg/m ³ | 500-2000 ⁴ |

¹ Los intervalos dependen del contenido de contaminante (precursor) en las materias primas: en los procesos de cocción de productos cerámicos con bajo contenido de contaminante (precursor) en las materias primas, los niveles inferiores dentro del intervalo constituyen las MTD; en los procesos de cocción de productos cerámicos con alto contenido de contaminante (precursor) en las materias primas, los niveles más elevados dentro de la gama se consideran NEA para las MTD.

² El nivel de MTD superior puede ser menos elevado en función de las características de la materia prima.

³ El nivel de MTD superior puede ser inferior en función de las características de la materia prima. Asimismo, el NEA MTD superior no debe impedir la reutilización de las aguas residuales.

⁴ El nivel de MTD superior se aplica únicamente a las materias primas con un contenido de azufre sumamente elevado.

5.1.5. Aguas residuales del proceso de fabricación (emisiones y consumo)

En la sección 3.1.2 y la sección 3.2.2 encontrará consideraciones generales en relación con las aguas residuales del proceso de fabricación (emisiones y consumo).

- a) Las MTD sirven para reducir el consumo de agua mediante la aplicación de medidas de optimización del proceso. En este contexto, véase la sección 4.4.5.1 en la que se presentan distintas medidas de optimización del proceso que pueden aplicarse por separado o combinadas.
- b) Las MTD sirven para depurar las aguas residuales de proceso mediante la aplicación de sistemas de tratamiento de aguas residuales del proceso de fabricación. En este contexto, véase la sección 4.4.5.2, en la que se presentan varios sistemas de depuración de aguas residuales del proceso, que pueden aplicarse juntos o por separado para garantizar la limpieza adecuada del agua que va a reutilizarse en el proceso de fabricación, o que va a verterse directamente a los cursos de agua o indirectamente al sistema de alcantarillado de aguas residuales urbanas.

- c) Las MTD sirven para reducir la carga emisiones de contaminantes en los vertidos de aguas residuales. Los siguientes niveles de emisión en los vertidos de aguas residuales se consideran NEA para las MTD:

Tabla 5.2. Niveles de emisión de contaminantes en los vertidos de aguas residuales con relación a las MTD

| Parámetro | Unidad | NEA MTD (muestra mixta de 2 horas) |
|----------------------------------|--------|---------------------------------------|
| Sólidos en suspensión | mg/l | 50,0 |
| Compuestos orgánicos halogenados | mg/l | 0,1 |
| Plomo (Pb) | mg/l | 0,3 |
| Cinc (Zn) | mg/l | 2,0 |
| Cadmio (Cd) | mg/l | 0,07 |

Si en el proceso de fabricación se reutilizara más del 50% del agua del proceso, pueden considerarse asimismo como NEA para las MTD unas concentraciones más elevadas de esos contaminantes, siempre que la carga del contaminante específico por cantidad de producción (kg de materia prima transformada) no sea más elevada que la carga de contaminante resultante de un porcentaje de reciclado de agua inferior al 50%.

5.1.6. Lodos

En la sección 3.1.3 encontrará consideraciones generales en relación con los lodos.

Las MTD sirven para reciclar/reutilizar los lodos aplicando una o varias de las siguientes técnicas:

- a) Sistemas de reciclado de lodos (véase la sección 4.5.1.1).
- b) Reutilización de los lodos generados en otros productos (véase la sección 4.5.1.2).

5.1.7. Pérdidas/residuos sólidos del proceso de fabricación

Encontrará consideraciones generales en relación con las pérdidas/residuos sólidos del proceso en la sección 3.1.3.

Las MTD sirven para reducir las pérdidas/residuos sólidos del proceso combinando las siguientes técnicas:

- a) Reintroducción de materias primas no mezcladas (véase la sección 4.5.2.1).
- b) Reintroducción de artículos rotos en el proceso de fabricación (véase la sección 4.5.2.1).
- c) Uso de las pérdidas sólidas del proceso en otras industrias (véase la sección 4.5.2.1).
- d) Control electrónico de la cocción (véase la sección 4.5.2.2).
- e) Aplicación de parámetros optimizados (véase la sección 4.5.2.2).

5.1.8. Ruido

En la sección 3.1.4. encontrará consideraciones generales en relación con el ruido

Las MTD sirven para reducir el ruido combinando las siguientes técnicas (véase la sección 4.6):

- a) Revestimiento de las unidades.
- b) Aislamiento de las unidades contra las vibraciones.
- c) Uso de silenciadores y ventiladores de baja rotación.
- d) Colocación de ventanas, accesos y unidades ruidosas lejos del vecindario.
- e) Aislamiento acústico de ventanas y muros.
- f) Cierre de ventanas y accesos.
- g) Realización de actividades (exteriores) ruidosas sólo de día.
- h) Mantenimiento adecuado de la instalación.

5.2. Mejores técnicas disponibles por sectores

Esta sección incluye las conclusiones sobre las MTD específicas para cada uno de los nueve sectores descritos en detalle en este documento. Las «mejores técnicas disponibles» para una instalación determinada consisten, en general, en la aplicación de una o varias de las técnicas y medidas enumeradas en la sección genérica y en las secciones específicas de cada sector (sección 5.1).

Las mejores técnicas disponibles y los intervalos de niveles de emisión o consumo asociados con las mejores técnicas disponibles presentadas (intervalos de NEA correspondientes a las MTD) están relacionadas con instalaciones dotadas de diferentes tamaños de horno, hornos de usos diversos (p. ej. continuos o discontinuos), y diferente cómputo anual de horas de funcionamiento. No se pueden tener plenamente en cuenta consideraciones locales especiales. Los NEA para las MTD no definen ni proponen valores límite de emisión (VLE).

Se recomienda encarecidamente la lectura conjunta de los capítulos 5 y 4, porque hay que tener en cuenta tanto la aplicabilidad como las restricciones relacionadas con la aplicabilidad de las técnicas y las medidas referidas en el capítulo 4. Las conclusiones sobre las MTD del capítulo 5 no pueden interpretarse correctamente si no se lee dicho capítulo junto con el capítulo 4.

Para ayudar al lector a este respecto, en el capítulo 5 se incluyen referencias al capítulo 4.

5.2.1. Ladrillos y tejas

5.2.1.1. COMPUESTOS GASEOSOS/MEDIDAS/TÉCNICAS PRIMARIAS

Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos gaseosos (p. ej. HF, HCl, SO_x) procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos mediante la adición de aditivos ricos en calcio (véase la sección 4.3.2) si con ello no se ve afectada la calidad del producto final.

5.2.1.2. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción (con concentraciones en el gas crudo superiores a 100-150 mg/m³, en función de las características del gas crudo, como su composición o temperatura) a 5-20 mg/m³, como valor medio diario expresado como C total, mediante postcombustión térmica en termorreactores de cámara única o triple (véase la sección 4.3.5.1).

5.2.2. Tuberías de gres vitrificado

5.2.2.1. EMISIONES CANALIZADAS DE POLVO

Las MTD sirven para reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los procesos de esmalte por pulverización a 1-10 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa (véase la sección 4.2.3.2) o filtros de láminas sinterizadas (véase la sección 4.2.3.3).

5.2.3. Productos refractarios

5.2.3.1. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

- a) Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en pequeños volúmenes de gases residuales procedentes del tratamiento con compuestos orgánicos mediante filtros de carbón activo (véase la sección 4.3.4.5).

Para volúmenes de gases residuales más importantes, las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles procedentes del tratamiento con compuestos orgánicos a 5-20 mg/m³, como valor medio diario expresado como C total, mediante la aplicación de un sistema de postcombustión térmica (véase la sección 4.3.5.1).

- b) Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción (con concentraciones en el gas crudo superiores a 100-150 mg/m³, en función de las características del gas crudo, como su composición o temperatura) a 5-20 mg/m³, como valor medio diario expresado como C total, mediante postcombustión térmica en termorreactores de cámara única o triple (véase la sección 4.3.5.1).

5.2.3.2. PÉRDIDAS/RESIDUOS SÓLIDOS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

Las MTD sirven para reducir la cantidad de pérdidas/residuos sólidos del proceso en forma de moldes de yeso utilizados para el moldeado mediante la aplicación de una o varias de las medidas siguientes (véase la sección 4.5.2.2):

- a) Sustitución de los moldes de yeso por moldes de polímeros.
- b) Sustitución de los moldes de yeso por moldes metálicos.
- c) Uso de mezcladoras de yeso a vacío.
- d) Reutilización en otras industrias de los moldes de yeso usados.

5.2.4. Agregados de arcilla expandida

5.2.4.1. EMISIONES CANALIZADAS DE POLVO

Las MTD sirven para reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los gases residuales calientes a 5-50 mg/m³, como valor medio diario, mediante precipitadores electrostáticos (véase la sección 4.2.3.5) o separadores húmedos de polvo (véase la sección 4.2.3.4).

5.2.4.2. COMPUESTOS GASEOSOS/MEDIDAS/TÉCNICAS PRIMARIAS

Las MTD sirven para mantener las emisiones de NO_x procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en hornos rotatorios por debajo de 500 mg/m³, como valor medio diario expresado como NO₂, mediante una combinación de medidas/técnicas primarias (véanse las secciones 4.3.1 y 4.3.3).

5.2.5. Pavimentos y revestimientos

5.2.5.1. EMISIONES CANALIZADAS DE POLVO

- a) Las MTD sirven para reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los procesos de secado por pulverización a 1-30 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa (véase la sección 4.2.3.2), o a 1-50 mg/m³, mediante la aplicación de ciclones combinados (véase la sección 4.2.3.1) con separadores húmedos de polvo (véase la sección 4.2.3.4) en las instalaciones existentes, si el agua de lavado puede reutilizarse.
- b) Las MTD sirven para reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los procesos de esmaltado por pulverización a 1-10 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa (véase la sección 4.2.3.2) o filtros de láminas sinterizadas (véase la sección 4.2.3.3).

5.2.5.2. EMISIONES DE POLVO DE LOS PROCESOS DE COCCIÓN EN HORNO

Las MTD sirven para reducir las emisiones de polvo (partículas) de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos a 1-5 mg/m³, como valor medio diario, mediante la limpieza en seco de los gases con un filtro de bolsa (véase la sección 4.3.4.3); también se utiliza para la eliminación de fluoruros.

5.2.5.3. COMPUESTOS GASEOSOS/MEDIDAS/TÉCNICAS SECUNDARIAS

- a) Las MTD sirven para reducir las emisiones de HF procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos a 1-5 mg/m³, como valor medio diario, mediante, por ejemplo, la limpieza en seco de los gases con un filtro de bolsa (véase la sección 4.3.4.3).
- b) Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos mediante adsorbentes modulares (véase la sección 4.3.4.2), especialmente en los casos en los que no es muy alto el caudal de gases de combustión (por debajo de 18.000 m³/h) y son bajas las concentraciones de polvo y de compuestos inorgánicos distintos de HF (SO₂, SO₃, HCl).

5.2.5.4. REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO

Las MTD sirven para reutilizar en el proceso de fabricación las aguas residuales del proceso con un porcentaje de reciclado de estas aguas comprendido entre un 50 y un 100% (dependiendo del tipo de baldosa o azulejo que debe fabricarse, véase la sección 4.4.5.1) mediante una combinación de medidas de optimización del proceso y sistemas de depuración de las aguas residuales del proceso, tal y como se describe en la sección 4.4.5.

5.2.5.5. REUTILIZACIÓN DE LODOS

Las MTD sirven para reutilizar los lodos procedentes de la depuración de las aguas residuales del proceso en la preparación del cuerpo cerámico, en una proporción comprendida entre un 0,4% y un 1,5% en peso de lodo seco añadido al cuerpo cerámico, mediante un sistema de reciclado de lodos (véase la sección 4.5.1.1), si procede.

5.2.6. Cerámica de mesa y de decoración (cerámica doméstica)

5.2.6.1. EMISIONES CANALIZADAS DE POLVO

- a) Las MTD sirven para reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los procesos de secado por pulverización a 1-30 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa (véase la sección 4.2.3.2), o a 1-50 mg/m³, mediante la aplicación de ciclones combinados (véase la sección 4.2.3.1) con separadores húmedos de polvo (véase la sección 4.2.3.4) en las instalaciones existentes, si el agua de lavado puede reutilizarse.
- b) Las MTD sirven para reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los procesos de esmalte por pulverización a 1-10 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa (véase la sección 4.2.3.2) o filtros de láminas sinterizadas (véase la sección 4.2.3.3).

5.2.6.2. COMPUESTOS GASEOSOS/MEDIDAS/TÉCNICAS SECUNDARIAS

Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos mediante adsorbentes modulares (véase la sección 4.3.4.2), especialmente en los casos en los que no es muy alto el caudal de gases de combustión (por debajo de 18.000 m³/h) y son bajas las concentraciones de polvo y de gas crudo de compuestos inorgánicos distintos de HF (SO₂, SO₃, HCl).

5.2.6.3. REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO

Las MTD sirven para reutilizar en el proceso de fabricación las aguas residuales del proceso con un porcentaje de reciclado de estas aguas comprendido entre un 30 y un 50%, mediante una combinación de medidas de optimización del proceso y sistemas de depuración de las aguas residuales del proceso, tal y como se describe en la sección 4.4.5.

5.2.6.4. PÉRDIDAS/RESIDUOS SÓLIDOS DEL PROCESO

Las MTD sirven para reducir la cantidad de pérdidas/residuos sólidos del proceso en forma de moldes de yeso utilizados para el moldeado mediante la aplicación de una o varias de las medidas siguientes (véase la sección 4.5.2.2):

- a) Sustitución de los moldes de yeso por moldes de polímeros.
- b) Sustitución de los moldes de yeso por moldes metálicos.
- c) Uso de mezcladoras de yeso a vacío.
- d) Reutilización en otras industrias de los moldes de yeso usados.

5.2.7. Cerámica sanitaria

5.2.7.1. EMISIONES CANALIZADAS DE POLVO

Las MTD sirven para reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los procesos de esmalte por pulverización a 1-10 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa (véase la sección 4.2.3.2) o filtros de láminas sinterizadas (véase la sección 4.2.3.3).

5.2.7.2. COMPUESTOS GASEOSOS/MEDIDAS/TÉCNICAS SECUNDARIAS

Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos mediante adsorbentes modulares (véase la sección 4.3.4.2), especialmente en los casos en los que no es muy alto el caudal de gases de combustión (por debajo de 18.000 m³/h) y son bajas las concentraciones de polvo y de compuestos inorgánicos distintos de HF (SO₂, SO₃, HCl).

5.2.7.3. REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO

Las MTD sirven para reutilizar en el proceso de fabricación las aguas residuales del proceso con un porcentaje de reciclado de estas aguas comprendido entre un 30 y un 50%, mediante una combinación de medidas de optimización del proce-

so y sistemas de depuración de las aguas residuales del proceso, tal y como se describe en la sección 4.4.5.

5.2.7.4. PÉRDIDAS/RESIDUOS SÓLIDOS DEL PROCESO

Las MTD sirven para reducir la cantidad de pérdidas/residuos sólidos del proceso en forma de moldes de yeso utilizados para el moldeado mediante la aplicación de una o varias de las medidas siguientes (véase la sección 4.5.2.2):

- a) Sustitución de los moldes de yeso por moldes de polímeros.
- b) sustitución de los moldes de yeso por moldes metálicos.
- c) Uso de mezcladoras de yeso a vacío.
- d) reutilización en otras industrias de los moldes de yeso usados.

5.2.8. Cerámica técnica

5.2.8.1. EMISIÓNES CANALIZADAS DE POLVO

- a) Las MTD sirven para reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los procesos de secado por pulverización a 1-30 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa (véase la sección 4.2.3.2), o a 1-50 mg/m³, mediante la aplicación de ciclones combinados (véase la sección 4.2.3.1) con separadores húmedos de polvo (véase la sección 4.2.3.4) en las instalaciones existentes, si el agua de lavado puede reutilizarse.
- b) Las MTD sirven para reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de los procesos de esmaltado por pulverización a 1-10 mg/m³, como valor medio cada media hora, mediante filtros de bolsa (véase la sección 4.2.3.2) o filtros de láminas sinterizadas (véase la sección 4.2.3.3).

5.2.8.2. COMPUESTOS GASEOSOS/MEDIDAS/TÉCNICAS SECUNDARIAS

Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos inorgánicos gaseosos procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción en los hornos mediante adsorbentes modulares (véase la sección 4.3.4.2), especialmente en los casos en los que no es muy alto el caudal de gases de combustión (por debajo de 18.000 m³/h) y son bajas las concentraciones de polvo y de compuestos inorgánicos distintos de HF (SO₂, SO₃, HCl).

5.2.8.3. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción (con concen-

traciones en el gas crudo superiores a 100-150 mg/m³, en función de las características del gas crudo, como su composición o temperatura) a 5-20 mg/m³, como valor medio diario expresado como C total, mediante postcombustión térmica en termorreactores de cámara única o triple (véase la sección 4.3.5.1).

5.2.8.4. PÉRDIDAS/RESIDUOS SÓLIDOS DEL PROCESO

Las MTD sirven para reducir la cantidad de pérdidas/residuos sólidos del proceso en forma de moldes de yeso utilizados para el moldeado mediante la aplicación de una o varias de las medidas siguientes (véase la sección 4.5.2.2):

- a) Sustitución de los moldes de yeso por moldes de polímeros.
- b) Sustitución de los moldes de yeso por moldes metálicos.
- c) Uso de mezcladoras de yeso a vacío.
- d) Reutilización en otras industrias de los moldes de yeso usados.

5.2.9. Abrasivos aglomerados inorgánicos

5.2.9.1. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Las MTD sirven para reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles procedentes de los gases de combustión de los procesos de cocción (con concentraciones en el gas crudo superiores a 100-150 mg/m³, en función de las características del gas crudo, como su composición o temperatura) a 5-20 mg/m³, como valor medio diario expresado como C total, mediante postcombustión térmica en termorreactores de cámara única o triple (véase la sección 4.3.5.1).

6. Técnicas emergentes para la fabricación de productos cerámicos

6.1. Quemadores de tubo radiante

La reducción de niveles de vapor de agua en los gases del horno suele conllevar menores índices de emisión de fluoruro, ya que el mecanismo básico de liberación de fluoruro de los minerales arcillosos es la pirohidrólisis. Esta reacción se produce a temperaturas de 800°C y superiores.

En ensayos de laboratorio se descubrió que al reducir el contenido de agua de la atmósfera del horno se reducían las emisiones tanto de HF como de SO_x. En la práctica, la reducción del contenido de agua en la atmósfera del horno sería difícil de conseguir desde el punto de vista técnico, dado que el agua se produce durante la combustión de los combustibles fósiles empleados para calentar el horno. Esta producción de agua puede evitarse calentando el horno indirectamente con quemadores de tubo radiante alimentados por gas (véase la sección 4.3.3.2).

Para su aplicación en la industria cerámica, los quemadores de tubo radiante se fabrican en carburo de silicio que está dotado de una alta conductividad térmica y de una gran resistencia al calor en situaciones de cambios bruscos de temperatura. Con estos quemadores de tubo radiante, los hornos se calientan de forma indirecta (excepto en la zona de precalentamiento), y la llama del quemador se ubica en un tubo resistente al calor en el que se lleva a cabo la combustión. La radiación térmica es la principal encargada de pasar el calor del quemador al proceso. Los elevados valores que corresponden al flujo de calor se sitúan en una franja de entre 70-120 kW/m².

En un principio, los quemadores de tubo radiante se pueden aplicar a las industrias de pavimentos y revestimientos, cerámica de mesa y decoración, cerámica sanitaria, cerámica técnica y abrasivos aglomerados inorgánicos, pero la escala de producción en la fabricación de ladrillos y tejas, tuberías de gres vitrificado, productos refractarios y agregados de arcilla expandida es demasiado grande. Algunos proyectos han demostrado que pueden ser aplicados en hornos de solera con rodillos y hornos de vagoneta, si bien esta tecnología aún no se ha probado en hornos de túnel.

Un proyecto piloto holandés en el que se equipó un horno de solera con rodillos con quemadores de tubo radiante para la fabricación de pavimentos y reves-

timientos, generó unas emisiones de HF de entre 0,7 mg/m³ (fabricación de revestimientos) y 1,2 mg/m³ (fabricación de pavimentos), así como factores de emisión de HF específicos de entre 3 y 6 mg/kg. Los costes añadidos que conlleva la instalación de quemadores de tubo radiante y el manejo de un horno con una capacidad de producción de 500.000 m² de baldosas al año se estimaron en más de 450.000 euros [5, InfoMil, 2003].

6.2. Cocción asistida por microondas y secaderos de microondas

La cocción o sinterización de las piezas cerámicas es un paso decisivo en el proceso de fabricación. Las cargas pesadas sobre carros grandes dificultan la transferencia del calor desde el exterior hacia el centro de la carga y el centro de cada ladrillo. Los gradientes térmicos pueden derivar en esfuerzos térmicos y productos dañados; en ocasiones, la temperatura de la superficie es más alta que en el centro de la unidad o de la carga.

Se han llevado a cabo muchos trabajos de investigación para poder aplicar la energía por microondas en la cocción de piezas cerámicas. Este proceso calienta el producto directamente, incluso calienta el centro de las unidades. Para evitar una pérdida de calor inapropiada en la estructura del horno, la energía por microondas se combina con fuentes de calor convencionales, tales como el gas o la energía eléctrica.

Todavía quedan por resolver algunos problemas técnicos, incluidos ciertos aspectos relativos a la seguridad, para que el proceso pueda aplicarse con viabilidad económica en hornos de fabricación a gran escala; también hay que tener en cuenta lo relativamente elevados que son los costes por consumo eléctrico. Sin embargo, el trabajo experimental denota una serie de beneficios significativos que deberían desarrollarse en el futuro:

- Minimización de los esfuerzos térmicos en el ciclo de cocción.
- Aumento considerable del flujo de productos, es decir, ciclos de cocción mucho más breves.
- Reducción considerable del consumo de energía para la cocción, aunque tal vez haya menos excedente de calor disponible para tareas de secado.
- Reducción de pérdidas/residuos sólidos del proceso.
- Mejoras cualitativas, incluido un logro considerable en propiedades mecánicas.
- Eliminación de aglutinantes mejorada (de los productos refractarios).
- Reducción de las emisiones a partir de un menor consumo de energía y un mayor resultado de producción.
- Reducción de las emisiones de fluoruros, muy relacionados con el tiempo que el producto pasa a más de 800°C.

En principio, la energía por microondas también puede utilizarse para el secado de piezas cerámicas (véase la sección 2.2.5.8). Las ventajas y desventajas, enumeradas anteriormente en el caso de la cocción, son igualmente válidas para los procesos de secado con hornos microondas. Los estudios demuestran que el secado mediante microondas no se puede aplicar a productos de perfil complejo, tan sólo a perfiles finos [20, CERAME-UNIE, 2004] [28, Schorcht, 2005] [30, TWG Ceramics, 2005].

6.3. Nuevo tipo de sistema de secado para productos refractarios

Descripción y ventajas medioambientales logradas

El secado de componentes refractarios de gran tamaño para la construcción, tales como cubiertas para cucharas o techos para hornos de arco, conlleva un gasto excesivo de tiempo y un gran consumo de energía. Al colocar láminas de acero inoxidable resistentes al calor (con temperaturas de calentamiento de hasta 1.100 °C) o fibras de carbono (a temperaturas inferiores de secado de menos de 250 °C) como elemento de calentamiento en la mezcla refractaria que se ha de verter, el componente puede secarse desde el interior. Las láminas o las fibras de carbono se adaptan a la estructura y no provocan interferencias.

Como el secado se produce desde dentro hacia fuera, el agua se desplaza en la misma dirección que el frente térmico. De este modo, los tiempos de secado se reducen de forma considerable.

El control de la temperatura mejora sustancialmente la calidad de los componentes para la construcción; así, se obtiene un secado más uniforme, con menos grietas de secado y una mejor estabilidad estructural. Mejoras logradas en los siguientes parámetros:

- a) Resistencia al machacado en frío: +50%
- b) Resistencia a la flexión: +50%
- c) Resistencia a la abrasión: +70%
- d) Extensión de la vida útil: +50%.

Esta técnica de secado ofrece un ahorro energético considerable, que se puede incluso potenciar, sobre todo en el caso de componentes para la construcción de gran tamaño, si se aísla el producto refractario durante el secado.

Efectos cruzados

Sin cuestiones.

Datos operativos y aplicabilidad

Las fibras de carbono se pueden emplear a temperaturas de hasta aproximadamente 250 °C, y las láminas metálicas a temperaturas más altas de hasta 1.100 °C. Los ensayos realizados con un componente para la construcción de nueve toneladas demostraron que el consumo energético que se precisaba anteriormente para su secado era de 77.000 kWh con una humedad residual del 6%. La instalación de láminas de calentamiento y el aislamiento durante el secado redujeron el consumo energético a 2.000 kWh, lo que supone un ahorro en torno al 97%. El tiempo de secado se redujo de cinco a tres días.

Economía

Al reducir el consumo de energía, se puede conseguir un ahorro económico considerable, sobre todo en el caso de componentes para la construcción de gran tamaño que pesen hasta 20 toneladas.

Impulsores de la implementación

- Componentes para la construcción de mejor calidad y mayor vida útil.
- Ahorro económico.
- Ahorro de tiempo.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

Varios fabricantes utilizan esta técnica, como es el caso de Wolf GmbH, Urbar, Alemania, [30, TWG Ceramics, 2005] [32, TWG Ceramics, 2006].

6.4. Gestión avanzada de las aguas residuales del proceso con recuperación integrada de los esmaltados

En una fábrica de cerámica se ha desarrollado un innovador modelo de sistema de tratamiento de aguas residuales que reduce de forma considerable la emisión de contaminantes y permite ahorrar en la fabricación de cerámica sanitaria y de mesa, así como de pavimentos y revestimientos.

El nuevo sistema para las aguas residuales tiene cinco módulos:

- Microfiltración: las aguas residuales procedentes del proceso mayor de esmaltado (esmaltado en blanco, 80% del consumo total del esmaltado) pasan a través de una planta de microfiltración para la recuperación del esmaltado. El esmalte recuperado vuelve a la preparación de esmalte.

- Tratamiento de un flujo tributario de aguas residuales del proceso de fabricación: las aguas residuales procedentes de la preparación de la pasta para la fabricación de pavimentos y revestimientos, escasas en volumen pero muy contaminadas, pasan a una planta de tratamiento independiente. El lodo residual resultante, que contiene componentes de gran calidad que permiten aumentar la capacidad de sinterizado del cuerpo cerámico, se envía a la preparación de la pasta al tiempo que el efluente se desvía a la planta municipal de tratamiento de aguas residuales para la consiguiente eliminación de los componentes biodegradables.
- Inclusión de tanques de sedimentación ya existentes: las aguas residuales de la preparación del esmalte pasan por un sistema de tanques de sedimentación que se han potenciado con una serie de medidas adicionales y cuya monitorización es automática. El lodo residual resultante también retorna a la preparación de la pasta en la fabricación de pavimentos y revestimientos, al tiempo que las aguas residuales del proceso pasan a una nueva planta de tratamiento de aguas residuales bastante menor.
- Construcción de una nueva planta central de tratamiento de aguas residuales: la anterior planta de tratamiento de aguas residuales gestionaba hasta 3.500 m³ de aguas residuales al día. Cuando se construyó la primera planta de tratamiento de aguas residuales a principios de los años 70, las estructuras de cobertura desarrolladas en el área de trabajo de pavimentos y revestimientos hacían que resultara imposible separar el agua de lluvia de las aguas residuales de la producción. La nueva planta centralizada, último modelo de su categoría, recoge las aguas residuales en la misma fábrica y las bombea hacia el nuevo sistema sobre superficie, de modo que en ningún momento se mezcla con las aguas pluviales. El ajuste a unos volúmenes de aguas residuales de 700-800 m³/día, la reducción de las cargas contaminantes de los flujos de aguas residuales y las mejoras tecnológicas han permitido diseñar una planta totalmente automática cuyo funcionamiento precisa únicamente del 20% de las necesidades originales de personal y que genera unos ahorros considerables en energía y floculantes. Parte del fango residual de esta planta también puede reutilizarse en la fabricación de baldosas. Teniendo en cuenta que posee unas cargas contaminantes más bajas y que tiene menor contenido de agua (25% máximo), como consecuencia de una nueva prensa de filtro de cámara, el remanente puede almacenarse sin riesgos en las propias instalaciones de la fábrica. Los ensayos que se han llevado a cabo demuestran que el material también puede utilizarse como componente de la capa de sellado mineral en sistemas de cobertura final de vertederos.
- Separación del agua pluvial: dado que el agua residual del proceso se separa del agua del sistema de alcantarillado subterráneo, no es necesaria la costosa modernización de las antiguas alcantarillas y pozos. La reducción y la auto-

matización en relación con el uso de floculantes promete ahorros considerables en cuanto a material y costes.

El rediseño del sistema presenta las siguientes ventajas medioambientales

- Recuperación del esmalte blanco y reutilización en el propio proceso.
- Ahorro de capacidad en vertedero.
- Uso innecesario de biocidas y filtros de carbón activado.
- Tratamiento por separado del agua residual del proceso altamente contaminada.
- Reciclado en la propia planta del lodo residual.
- Parte del agua residual del proceso contaminada biológicamente se suministra a la planta de tratamiento municipal de aguas residuales.
- No hay riesgos de agua residual contaminada en el sistema de alcantarillado antiguo.
- Ahorros energéticos gracias a la adaptación de las plantas.
- Ahorros en floculantes para la separación de lodos.

Ventajas económicas

- Reducción de costes de personal al 20% de la plantilla original necesaria gracias a la automatización.
- Reducción de costes energéticos.
- Reducción de aditivos químicos.
- Recuperación de esmalte reutilizable.
- Reducción de costes de vertedero.

Los costes totales del sistema de tratamiento del agua residual del proceso ascienden a 2,8 millones de euros. Gracias a los ahorros resultantes, el período de amortización esperado es de unos 3 o 4 años.

Posibles inconvenientes

Aunque el sistema presentado puede caracterizarse como un sistema modelo, los riesgos posibles cuando las circunstancias difieren de las descritas podrían provocar los siguientes inconvenientes económicos y cualitativos:

- Los costes energéticos para la tecnología de filtración pueden superar el ahorro obtenido por la recuperación de las materias primas (según el índice original de pérdida de materia prima).
- Un diseño incorrecto de la planta de microfiltración puede generar costes de inversión excesivos o capacidad insuficiente.

- Fase prolongada de investigación sobre el uso del esmalte recuperado (pueden ser necesarias correcciones del color).
- La mezcla de afluentes sólo es posible en cierta medida, de lo contrario no se obtendrán los beneficios económicos por la recuperación de alta calidad.
- Se requiere una elevada competencia técnica en todo el sistema.
- Deben considerarse medidas de redundancia en la fase de planificación.

Conclusión: este tipo de implementación de la tecnología más avanzada sigue estando en fase de pruebas y está sujeta a condiciones estrictamente definidas [30, TWG Ceramics, 2005] [32, TWG Ceramics, 2006].

6.5. Esmaltado sin plomo de porcelana de alta calidad para vajilla

Descripción y ventajas medioambientales logradas

Hasta hace poco, en la porcelana para vajilla se empleaba un esmaltado con plomo. Las ventajas del esmaltado con plomo incluyen superficies perfectas y técnicas de procesamiento perfectas, en concreto debido al comportamiento de fusión y mojado típico de los esmaltes con plomo.

Un fabricante de cerámica de mesa desarrolló fórmulas de esmalte sin plomo basadas en silicatos de boro alcalinos, un sistema muy similar a los que contienen plomo desde el punto de vista de la calidad y las propiedades de aplicación. Este avance ha permitido un ahorro anual en óxido de plomo de 60 toneladas. El uso de cantidades mínimas de aditivos de proceso orgánico permite evitar, en gran medida, las nocivas repercusiones medioambientales de las emisiones orgánicas durante la cocción.

Los esmaltes se aplican por pulverización en húmedo utilizando suspensiones de esmaltado adaptadas reológicamente. Los flujos de agua residual del proceso generados en la cabina de pulverización, como la neblina de pulverización y el agua de la limpieza de la cabina y del rack, así como el polvo que genera el separador en seco, se tratan y reutilizan para el esmaltado junto con el nuevo esmalte. Este ciclo cerrado de esmaltado ha permitido optimizar los gastos de producción (pérdidas de esmalte y requisitos reales). Al mismo tiempo, también se han adaptado y optimizado los procesos térmicos de secado y cocción.

Los diseños sencillos no requieren cocción adicional y pueden cocerse junto con el esmalte si se utiliza una técnica bajo esmalte. Los diseños complejos, en color o incorporados en el esmalte deben cocerse por separado.

Efectos cruzados

El tratamiento y la recuperación del agua residual del proceso de aplicación del esmalte requiere un mayor consumo energético.

Datos operativos y aplicabilidad

Esta técnica se utiliza en la porcelana de mesa de alta calidad. Su uso para diseños bajo esmalte en color todavía no es posible o implicaría una inversión adicional.

Economía

Con esta técnica, el fabricante consigue un ahorro anual en óxido de plomo de 60 toneladas en dos fábricas. La conversión a esta técnica se llevó a cabo en el marco de una optimización fundamental de todo el proceso. La implementación de esta técnica como parte de la modernización de la tecnología del proceso ha conllevado una mayor viabilidad económica y una mayor competitividad en el mercado mundial.

Impulsores de la implementación

Los ahorros económicos en materia prima y la prevención de las emisiones de plomo han impulsado su implementación.

Ejemplos de plantas y documentación de referencia

Villeroy & Boch AG, Alemania, [30, TWG Ceramics, 2005], [32, TWG Ceramics, 2006].

7. Observaciones finales

Calendario del proceso de trabajo

Desde finales de 2003 hasta principios de 2006 se llevó a cabo el intercambio de información sobre las mejores técnicas disponibles en el marco del grupo de trabajo técnico (GTT) internacional creado con este objetivo. Se necesitaron aproximadamente dos años y medio para elaborar el borrador y desarrollar este documento basándose en la información facilitada y en los comentarios que surgieron de las dos consultas y la reunión final del grupo de trabajo. La Tabla 7.1 muestra los hitos del trabajo.

Tabla 7.1. Calendario del proceso de trabajo para la redacción del documento BREF sobre fabricación de productos cerámicos

| | |
|--|--------------------------|
| Inicio del BREF relativo a la fabricación de productos cerámicos | Octubre 2003 |
| Reunión inicial | 1-2 de diciembre de 2003 |
| Borrador 1 | Octubre de 2004 |
| Comentarios para el borrador 1 | Enero de 2005 |
| Borrador 2 | Junio de 2005 |
| Comentarios para el borrador 2 | Septiembre de 2005 |
| Cambio del autor del BREF | Septiembre de 2005 |
| Reunión final del grupo de trabajo | 14-17 de febrero de 2006 |
| Borrador final | Septiembre de 2006 |

Fuentes de información y desarrollo de este documento

Este documento está basado en más de 30 fuentes de información, con información vital procedente de la industria y de los Estados miembros. Antes de la reunión inicial ya se elaboraron algunos informes con el objetivo de proporcionar información orientada al desarrollo de este documento y, después de la reunión inicial, también tuvieron lugar múltiples contribuciones. Los informes fueron entregados por CERAME UNIE, la asociación industrial que representa a la

mayoría de fabricantes cerámicos europeos, y los siguientes Estados miembros: Austria, Bélgica, Finlandia, Alemania, Italia, Holanda, Portugal y España pueden considerarse elementos fundamentales de este documento.

También se obtuvo información adicional de gran utilidad de las visitas realizadas a diversas fábricas de cerámica de Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Italia y España, normalmente organizadas por y con representantes de los miembros del grupo de trabajo.

Este documento se redactó basándose en los más de mil comentarios realizados para el primer borrador y en los más de 750 comentarios del segundo borrador, procedentes de casi todos los integrantes del grupo de trabajo. En este contexto, debe tenerse en cuenta que el intercambio real de información se produjo entre los estados de la EU-15 (los 10 Estados miembros nuevos de la UE-25 no participaron activamente, salvo unas pocas excepciones,).

Basándose en la información proporcionada y en los comentarios recibidos, se desarrolló el ámbito de aplicación y la estructura de este documento de forma que englobara a los nueve sectores cerámicos principales. Estos sectores son los siguientes:

- pavimentos y revestimientos,
- ladrillos y tejas,
- cerámica de mesa y de decoración (cerámica doméstica),
- productos refractarios,
- cerámica sanitaria,
- cerámica técnica,
- tuberías de gres vitrificado,
- agregados de arcilla expandida,
- abrasivos aglomerados inorgánicos.

El orden de los capítulos de este documento (Resumen ejecutivo, Prefacio, Ámbito de aplicación, Capítulos 1-9 incluyendo las MTD - Capítulo 5 y Comentarios finales - Capítulo 7) sigue el orden estándar de la guía de redacción de documentos BREF (BREF Outline and Guide). Esta guía fue proporcionada por el foro de intercambio de información (IEF), establecido por la Comisión Europea para facilitar el intercambio de información en relación con la prevención y control integrados de la contaminación (en este contexto, véase también el Prefacio).

Lagunas de información que subsisten

A pesar de la gran cantidad de información y los muchos comentarios recibidos en relación con muchas cuestiones, es preciso señalar algunos problemas de información y las correspondientes consecuencias para el documento:

- en cierta medida, falta información cuantitativa consistente en relación con los datos económicos (costes) reales de algunas técnicas de reducción (a excepción de las técnicas de limpieza de los gases de combustión), junto con los correspondientes datos de rendimiento. Esto conlleva declaraciones cualitativas en lugar de cuantitativas, especialmente en el Capítulo 4 y, como consecuencia, en las conclusiones sobre las MTD, que actualmente están basadas principalmente en un enfoque cualitativo;
- la gran cantidad de grupos de productos y de etapas individuales del proceso de fabricación también comporta declaraciones cuantitativas antes que cualitativas, especialmente en las conclusiones sobre las MTD relacionadas con la eficacia energética. Los datos suministrados en este contexto muestran muchos aspectos o detalles específicos pero conducen a la conclusión de que, hasta ahora, es difícil realizar declaraciones cuantitativas generales en relación con este tema;
- en relación con el uso de combustibles alternativos (p. ej. biogás/biomasa) o combustibles sólidos (p. ej. carbón, coque de petróleo) sólo se facilitaron unos pocos datos de emisiones y consumo, la mayoría en una fase muy tardía del proceso de desarrollo de este documento (algunos incluso en la reunión final del grupo de trabajo) y, por lo tanto, no pudieron considerarse detalladamente.

Nivel de consenso en la reunión final del grupo de trabajo

Los principales elementos de discusión en la reunión final del grupo de trabajo fueron las conclusiones de las MTD, establecidas en dos niveles:

- Conclusiones genéricas sobre las MTD, es decir, las que se aplican en general al conjunto de la industria cerámica.
- Conclusiones sobre las MTD más específicas, es decir, aquellas que corresponden a cada uno de los nueve grandes sectores cerámicos que se analizan.

Las propuestas de las MTD se discutieron caso por caso y, en este contexto, también se discutió y se concluyó que el capítulo de las MTD no establece o propone valores límite de emisión, sino que sugiere valores de consumo y de emisión asociados con el uso de una selección de MTD. También se llegó a la conclusión de que las mejores técnicas disponibles para una instalación específica normalmente implican el uso de una técnica individual o una combinación de las técnicas y medidas que aparecen en el capítulo de las MTD bajo las secciones genérica y específica del sector.

Otro punto de discusión giró sobre si era preciso mencionar en el capítulo de Observaciones finales las dificultades en el tratamiento de la información recibida demasiado tarde. Este punto es especialmente relevante para el coque de petróleo como combustible para el proceso de cocción en horno, junto con la recomendación de recopilar más información para poder actualizar este documento sobre la fabricación cerámica.

Durante la reunión final del grupo de trabajo hubo un elevado grado de consenso, no se registraron diferencias de opiniones y, por lo tanto, retrospectivamente podemos considerar un éxito todo el proceso de intercambio de información.

Recomendaciones para trabajo futuro

El intercambio de información y su resultado, es decir, el presente documento, representan un paso importante para avanzar hacia la prevención y el control integrados de la contaminación de la fabricación cerámica. Es preciso que los Estados miembros de la UE-25 sigan trabajando y facilitando información, incluyendo los datos de costes reales para las técnicas de reducción y más información sobre la eficacia energética de cada técnica.

También se necesitará más información en relación con los combustibles sólidos y los combustibles alternativos, incluyendo todo tipo de datos de emisiones y consumo (p. ej. datos medidos de emisiones reales), para comprender adecuadamente el comportamiento de la industria en cuanto a emisiones para una revisión futura de este documento.

Además, los niveles de emisiones asociados con las MTD (NEA MTD) deben ser evaluados por colegas independientes durante la revisión de este documento, especialmente en relación con la franja alta de NEA para las MTD para emisiones de SO_x resultantes del proceso de cocción en horno en el que se utilizan materias primas con un elevado contenido de azufre, considerando técnicas de reducción avanzadas.

Para la revisión de este documento deberá considerarse un nivel de oxígeno del 17% como nivel de referencia.

Sugerencias de temas para un futuro trabajo de I+D

En relación con las técnicas que se describen en el capítulo de técnicas emergentes (Capítulo 6), sería necesario y útil un futuro trabajo de I+D que permitiera considerar estas técnicas en la determinación de las MTD para la fabricación cerámica.

Mediante sus programas de IDT, la Comunidad Europea lanza y apoya una serie de proyectos sobre tecnologías limpias, tecnologías emergentes de tratamiento y reciclado de gases de combustión y estrategias de gestión. Estos proyectos podrían aportar una contribución útil para futuras revisiones del BREF. Por tanto, se ruega a los lectores que informen a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB) de todos los resultados de las investigaciones relativas al ámbito tratado en el documento (véase también su prefacio).

8. Referencias

- 1 BMLFUW (2003). «Austrian Study on State of the Art of Manufacturing Ceramic Goods by Firing».
- 2 VITO (2003). «The Flemish BAT-report on the ceramic industry (brick and roof tile industry), English translation of parts of the original Dutch version - published in 1999».
- 3 CERAME-UNIE (2003). «Proposed Best Available Techniques (BAT) Reference Document (BREF) for the European Ceramic Industry, Rev. Nov. 2003».
- 4 UBA (2001). «Exemplary Investigation into the State of Practical Realisation of Integrated Environmental Protection within the Ceramics Industry under Observance of the IPPC-Directive and the Development of BAT Reference Documents».
- 5 InfoMil (2003). «Dutch Fact Sheets for the Production of Ceramics».
- 6 Timellini, G., Canetti, A. (2004). «The Italian Ceramic Tile Industry. Contribution to the identification and specification of the Best Available Techniques».
- 7 Dodd, A., Murfin, D. (1994). «Dictionary of Ceramics», The Institute of Materials.
- 8 Ullmann's (2001). «Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition», Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany.
- 10 Navarro, J. E. (1998). «Integrated Pollution Prevention and Control in the Ceramic Tile Industry. Best Available Techniques (BAT)».
- 11 Shreve, R. N. (1945). «The Chemical Process Industries, The Ceramic Industries», McGraw-Hill Chemical Engineering Series.
- 12 CTCV (2004). «Portuguese Ceramic Industry Data».
- 13 SYKE (2004). «The contribution of Finland to the exchange of information in the EU on the use of BAT to control the environmental impact of the manufacture of ceramic products, DRAFT June 28, 2004».

- 14 UBA (2004). «Production of inorganic bonded abrasives».
- 17 Burkart, M. (2004). «Personal Communication by site visits».
- 20 CERAME-UNIE (2004). «Proposed Best Available Techniques (BAT) Reference Document (BREF) for the European Ceramic Industry, Rev. Jan. 2004».
- 21 Almeida, M., Vaz, S., Baio, D. (2004). «Impactes Ambientais e Comércio de Emissões Indústria Cerâmica - Un caso de estudo».
- 22 SYKE (2004). «Report on Best Available Techniques in the Finnish ceramic industry».
- 23 TWG Ceramics (2005). «Merged and sorted comments master spread sheet on draft 1».
- 24 VKI-Germany (2004). «Breviary Technical Ceramics».
- 25 Voland, T., Leuenberger, C., Roque, R. (2004). «Statistic correlations between two methods of pollutant emission evaluation», *L'INDUSTRIE CÉRAMIQUE & VERRIÈRE*, No 994 - Mai-Juin 2004, pp. 54 - 66.
- 26 UBA (2005). «Basic information and data on the expanded clay industry in Germany», Compilation by German National Working group and German expanded clay industry.
- 27 VDI (2004). «Emission control ceramic industry, VDI Guideline 2585, Draft July 2004».
- 28 Schorcht, F. (2005). «Personal Communication by site visits».
- 29 IMA-Europe (2005). «IMA-Europe's comments on the inclusion of calcined clays, 4. May 2005».
- 30 TWG Ceramics (2005). «Merged and sorted comments master spread sheet on draft 2».
- 31 Probst, R. (2005). «Development of processes for cleaning ceramic waste water», *cfi ceramic forum international Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft*.
- 32 TWG Ceramics (2006). «Final TWG meeting Ceramics».

9. Glosario

| Término en español | Significado |
|--------------------|---|
| absorción | un proceso por el que una sustancia ejerce atracción sobre un fluido con el que está en contacto de modo que las moléculas de éste penetren en aquella. |
| ácido | compuesto químico que puede ceder protones. Una sustancia que en disolución con el agua produce iones de hidrógeno. |
| acidificación | añadir ácido a una sustancia para conseguir propiedades ácidas. |
| efecto agudo | un efecto adverso sobre algún organismo vivo en el que se desarrollan rápidamente síntomas graves que suelen subsistir aunque el organismo deje de estar expuesto. |
| toxicidad aguda | efectos adversos que resultan de una única dosis o una única exposición a un producto químico; cualquier tipo de envenenamiento producido en un período de tiempo breve, normalmente menos de 96 horas. Este término suele utilizarse para describir los efectos sobre animales de laboratorio. |
| adsorción | un proceso superficial; se refiere a la acumulación de moléculas de un gas o líquido para formar una fina película sobre la superficie de un sólido (asimilación de la superficie). |
| aireación | la acción de mezclar un líquido con aire (oxígeno). |
| aeróbico | un proceso biológico que se produce cuando hay oxígeno. |
| alcalino, álcali | compuesto químico que puede aceptar protones. Una sustancia que en disolución con el agua acepta iones de hidrógeno. |
| anaeróbico | un proceso biológico que se produce cuando no hay oxígeno. |
| AOCl | siglas en inglés de compuestos organoclorados adsorbibles. |
| AOX | siglas en inglés de compuestos organohalogenados adsorbibles. La concentración total en miligramos por litro, expresada como cloro, de todos los compuestos halogenados (a excepción del flúor) presentes en una muestra de agua que pueden ser adsorbidos en carbón activado. |
| atm | atmósfera normal (1 atm = 101.325 N/m ²). |
| bar | bar (1,013 bar = 1 atm). |
| MTD | las mejores técnicas disponibles. |

| Término en español | Significado |
|--------------------|--|
| NEA MTD | nivel de emisiones asociado con las MTD. |
| BF | siglas en inglés de floculación de carga. |
| BFW | siglas en inglés de agua de alimentación de la caldera para producir vapor. |
| bioquímicos | componentes químicos que se dan en la naturaleza o idénticos a las sustancias que se dan en la naturaleza. Algunos ejemplos son las hormonas, las feromonas y las enzimas. Los bioquímicos funcionan como pesticidas mediante modos de actuación no tóxicos y no letales (p. ej. desestabilizando el patrón de acomplamiento de los insectos, regulando su crecimiento o actuando como repelentes). |
| biodegradable | que puede ser descompuesto física y/o químicamente por microorganismos. Por ejemplo, muchas sustancias químicas, los restos de alimentos, el algodón, la lana y el papel son biodegradables. |
| biodiversidad | el número y variedad de organismos diferentes en los complejos ecológicos que constituyen su hábitat natural. Los organismos se organizan en muchos niveles, que van desde ecosistemas completos a las estructuras bioquímicas que constituyen la base molecular de la herencia. Por lo tanto, el término incluye diversos ecosistemas, especies y genes que deben estar presentes en un entorno saludable. Un gran número de especies deben caracterizar la cadena alimenticia representando múltiples relaciones depredador-presa. |
| bizcocho | (1) pieza de alfarería que se ha cocido pero todavía no se ha esmaltado. (2) el término tiene el significado de «sin esmaltado» y se suele usar en términos compuestos como «cocción de bizcochado». |
| DBO | demandia bioquímica de oxígeno: la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para descomponer materia orgánica. La unidad de medida es mg O ₂ /l. En Europa, la DBO suele medirse tras 3 (DBO ₃), 5 (DBO ₅) o 7 (DBO ₇) días. |
| cuerpo/masa | (1) una mezcla de materias primas que se moldeará para dar forma a un producto cerámico. (2) la parte interior de la pieza de alfarería para distinguirla del esmalte. |
| BREF | Documento de referencia sobre MTD. |
| BTEX | benceno, tolueno, etilbenceno, xileno. |
| BTX | benceno, tolueno, xileno. |

| Término en español | Significado |
|--------------------|---|
| calcita | forma cristalina de carbonato de calcio. |
| estuche | componentes para horno especiales para soportar, p. ej. las tejas durante la cocción. |
| CEN | Comité Europeo de Estandarización. |
| cerámica | En general, el término «cerámica» (productos cerámicos) se utiliza para materiales inorgánicos (que pueden tener algún contenido orgánico) formados por compuestos no metálicos y estabilizados mediante un proceso de cocción. |
| greda | tipo amorfo de carbonato de calcio. |
| arcilla | un material natural caracterizado por su plasticidad, tal como se extrae o tras molerse y mezclarse con agua. |
| COD | siglas en inglés de demanda química de oxígeno: la cantidad de bicromato de potasio, expresada como oxígeno, necesaria para oxidar químicamente a aprox. 150 °C las sustancias que contiene el agua residual. |
| efectos cruzados | el cálculo del impacto medioambiental de los vertidos al agua, a la atmósfera y al suelo, el uso energético, el consumo de materias primas, el ruido y la extracción de agua; es decir, todo lo requerido por la Directiva IPPC. |
| dH | grado de dureza del agua |
| emisión difusa | emisiones que surgen por contacto directo de sustancias volátiles o ligeramente pulverulentas con el entorno (atmósfera, bajo condiciones operativas normales). Pueden ser el resultado de: <ul style="list-style-type: none"> –el diseño inherente del equipo (p. ej. filtros, secaderos, etc.) –las condiciones operativas (p. ej. durante la transferencia de material entre contenedores) –el tipo de operación (p. ej. actividades de mantenimiento) –o de una liberación gradual a otros medios (p. ej. agua de refrigeración o agua residual) <p>Las emisiones fugitivas son un subconjunto de las emisiones difusas.</p> |
| fuentes difusas | fuentes de múltiples emisiones difusas o directas distribuidas dentro de un área definida. |
| DN | anchura nominal |
| dolomita | tipo de piedra caliza cuya fracción de carbonato está dominada por la dolomita mineral, el carbonato de calcio y magnesio, CaMg (CO ₃). |

| Término en español | Significado |
|---------------------------|--|
| DS | sólidos secos (contenido). La masa de un material que queda tras el proceso de secado según un método estándar de prueba. |
| EC50 | concentración efectiva media. La concentración en la que se observan efectos en el 50% de la población de ensayo tras la administración de una sola dosis. Los efectos incluyen la inmovilización de dafnia, la inhibición del crecimiento, la división celular o la producción de biomasa, o la producción de clorofila por algas. |
| efluentes | fluído físico (aire o agua junto con contaminantes) que forma una emisión. |
| EIPPCB | European IPPC Bureau (Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación). |
| emisión | la liberación directa o indirecta de sustancias, vibraciones, calor o ruido de fuentes individuales o difusas en la instalación en el aire, el agua o el suelo. |
| valores límite de emisión | la masa, expresada mediante determinados parámetros específicos, la concentración y/o el nivel de una emisión, que no pueden superarse durante uno o varios períodos de tiempo. |
| técnica de final de línea | una técnica que reduce los consumos o emisiones finales mediante algún proceso adicional pero que no cambia el funcionamiento fundamental del proceso central. Sinónimos: técnica secundaria, técnica de reducción. Antónimos: técnica integrada en los procesos, técnica primaria (una técnica que cambia de algún modo el funcionamiento del proceso central reduciendo de este modo las emisiones o consumos brutos). |
| engobe | capa de barbotina, blanca o de color, aplicada a un cuerpo cerámico poroso para mejorar su aspecto. |
| ESP | precipitador electrostático |
| eutrofización | la contaminación en una masa de agua a causa de las aguas residuales, los fertilizadores diluidos y los residuos industriales (nitratos inorgánicos y fosfatos). Estos compuestos estimulan el crecimiento de algas, reduciendo el contenido de oxígeno en el agua y, en consecuencia, matando animales con elevados requisitos de oxígeno. |
| instalación existente | una instalación en funcionamiento o, de conformidad con la legislación, existente antes de la fecha de entrada en vigor de esta Directiva, una instalación autorizada o capacitada para presentar una solicitud de autorización según los requisitos de la autoridad competente, siempre que la instalación entre en funcionamiento durante el año siguiente a la entrada en vigor de esta Directiva. |

| Término en español | Significado |
|-------------------------|---|
| cocción | el proceso de tratamiento térmico de materiales cerámicos en un horno para desarrollar un enlace vítreo o cristalino, otorgando a las piezas las propiedades asociadas con un material cerámico. |
| gases de combustión | gases residuales procedentes de los procesos de cocción/combustión |
| fundente | una sustancia que, incluso en pequeñas cantidades, reduce el punto de fusión del material en el que está presente (p. ej. álcalis en la arcilla) o del material al que se ha agregado (p. ej. borax agregado a esmaltes). |
| frita | composición cerámica que ha sido fundida, congelada para formar un vidrio y granulada. |
| fueloil EL | fueloil extra ligero |
| emisión fugitiva | emisión causada por equipos no estancos: emisión en el entorno resultante de una falta de estanqueidad gradual de un equipo diseñado para contener un fluido (gaseoso o líquido), básicamente causada por una diferencia de presión que provoca una fuga. Ejemplos de emisiones fugitivas: fugas de una brida, una bomba, un equipo sellado, etc. |
| PIB | producto interior bruto. |
| GJ | gigajulio. |
| vidrio | un sólido amorfo sin ordenación a gran distancia en la disposición de sus átomos. |
| esmaltado | película vítreo que se desarrolla sobre la superficie de un producto cerámico mediante la aplicación de un revestimiento por cocción. |
| cocción de brillo | la cocción de brillo es una cocción a temperaturas más bajas que las de bizcochado. |
| productos crudos/verdes | productos cerámicos moldeados pero sin secar ni cocer. |
| HFO | fueloil pesado. |
| hPa | hectopascal. |
| IEF | siglas en inglés de Foro de Intercambio de Información (entidad de asesoramiento informal en el marco de la Directiva IPPC). |
| inmisión | presencia y nivel de sustancia, olor o ruido contaminante en el entorno. |

| Término en español | Significado |
|------------------------|---|
| instalación | una unidad técnica estacionaria en la que se lleva a cabo una o varias de las actividades que aparecen en el Anexo I de la Directiva IPPC y cualquier otra actividad directamente asociada que tiene una conexión técnica con las actividades desarrolladas en el emplazamiento y que podrían tener efectos sobre la contaminación y las emisiones. |
| IPPC | prevención y control integrados de la contaminación. |
| I-TEQ | equivalente de toxicidad dioxina/furano. |
| K | Kelvin ($0^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$). |
| caolín | nombre derivado del chino Kao-Lin, una colina en la que los chinos encontraron por primera vez este tipo de arcilla al natural. |
| kcal | kilocaloría ($1\text{ kcal} = 4,19\text{ kJ}$). |
| horno | una instalación de altas temperaturas utilizada para la cocción de piezas cerámicas. |
| capacidad del horno | volumen de carga del horno. |
| componentes para horno | término general para piezas de material refractario utilizado para el soporte de productos cerámicos durante la cocción en el horno (accesorios para cocción). |
| ladrillo cara vista | un tipo de ladrillo para la construcción, con calidad de exterior o prensado, con baja absorción de agua y elevada resistencia a la compresión. |
| kWh | kilowatio/hora ($1\text{ kWh} = 3.600\text{ kJ} = 3,6\text{ MJ}$). |
| LAS | alquilbencenosulfonato de cadena lineal. |
| LC50 | concentración letal media. La menor concentración de una sustancia en el agua o en el aire medioambiental en miligramos por litro, suficiente para provocar la muerte en el 50% de la población de muestra en un período de tiempo definido (p. ej. 96 horas para peces, 48 horas para dafnia). |
| LD50 | dosis letal media. La dosis más baja de una sustancia administrada a especies como ratones y ratas, suficiente para causar la muerte en el 50% de la población de muestra en un período de tiempo definido (no más de 14 días) expresada en miligramos de la sustancia por kilogramo de masa corporal. |
| piedra caliza | roca mineral consistente solamente de CaCO_3 ; utilizada como tal o como materia prima para producir, por descarbonatación, cal (óxido de calcio) y, por hidratación de la cal, cal muerta o apagada (hidróxido de calcio) |

| Término en español | Significado |
|-----------------------------|--|
| GNL | gas natural licuado. |
| LOEC | concentración más baja de efecto observado. La concentración más baja determinada experimentalmente de una sustancia de muestra con la que pueden observarse efectos adversos. |
| GLP | gas licuado de petróleo. |
| LWA | agregado de arcilla expandida ligero: un agregado de arcilla hinchada creado por el repentino calentamiento de las arcillas apropiadas en un horno rotatorio o en solera de sinterización. |
| m ³ /h | caudal volumétrico: si no se indica lo contrario, el caudal volumétrico en este documento se refiere a un 18% vol. de oxígeno y estado estándar. |
| magnesia | óxido de magnesio (MgO). |
| magnesita | carbonato de magnesio (MgCO ₃). |
| mg/m ³ | concentración: si no se indica lo contrario, en este documento las concentraciones de sustancias gaseosas o mezclas de sustancias se refieren a gases de combustión secos con un 18% vol. de oxígeno y estado estándar y las concentraciones de benceno se refieren a un 15% vol. de oxígeno y estado estándar. |
| MJ | megajulio (1 MJ = 1.000 kJ = 10 ⁶ J). |
| seguimiento | proceso para evaluar o determinar el valor real y las variaciones de una emisión u otro parámetro, basándose en procedimientos de control, inspección, muestreo y medición sistemáticos, periódicos o puntuales, o en otros métodos de evaluación que proporcionen información sobre las cantidades emitidas y/o las tendencias para contaminantes emitidos. |
| MPa | megapascal. |
| efectos sobre varios medios | véase efectos cruzados. |
| n/a | no aplicable. |
| n/d | no disponible. |
| cicloalcanos | hidrocarburos saturados que contienen uno o varios anillos saturados de 5 o 6 átomos de carbono en sus moléculas. |
| s/d | sin datos. |
| N-Kj | nitrógeno analizado por el método de Kjeldahl. |
| Nm ³ | metro cúbico normal (273 K, 1.013 hPa). |

| Término en español | Significado |
|-------------------------------|---|
| NOAC | concentración sin efecto agudo observado. |
| NOEC | concentración sin efecto observado. |
| gas residual | término general para el gas/aire liberado durante los procesos de combustión o los procesos de extracción a temperaturas ambiente. |
| titular | una persona natural o legal que se encarga del funcionamiento o control de la instalación o, según se prevé en la legislación nacional, a la que se le ha delegado poder económico de decisión sobre el funcionamiento técnico de la instalación. |
| partículas | pulvo |
| pH | símbolo de la acidez o basicidad de una solución. Es el número equivalente al logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno. |
| contaminante | sustancia individual o grupo de sustancias que pueden dañar o afectar negativamente al medio ambiente |
| alfarería | este término se refiere normalmente a los artículos cerámicos domésticos. |
| ppm | partes por millón. |
| medida/ técnica primaria | una técnica que cambia de algún modo el funcionamiento del proceso central reduciendo de este modo las emisiones o consumos brutos (véase técnica de final de línea). |
| PTFE | politetrafluoretileno (Teflón). |
| rpm | revoluciones por minuto |
| medida/ técnica secundaria | véase técnica de final de línea. |
| densidad de carga | masa de artículos que deben cocerse sin accesorios para cocción en el volumen de cocción del horno en relación con el volumen de cocción total del horno. |
| sinterizado | término general para la densificación térmica de una compactación de polvo para formar un cuerpo policristalino. |
| barbotina | una suspensión de arcilla u otros materiales cerámicos en agua. |
| fango, cieno, lodo | una suspensión con un contenido de sólidos relativamente alto. |
| PYME | pequeñas y medianas empresas. |

| Término en español | Significado |
|--------------------|--|
| sorción | el proceso mediante el cual una sustancia atrapa o retiene a otra por adsorción o absorción. |
| emisión específica | emisión relacionada con una base de referencia, como la capacidad de producción o la producción real (p. ej. masa por tonelada o por unidad producida). |
| SS | sólidos suspendidos (contenido) (en agua) (véase también TSS). |
| estado estándar | se refiere a una temperatura de 273 K y a una presión de 1013 hPa. |
| TJ | terajulio. |
| TOC | carbono orgánico total. |
| TS | total sólidos (contenido). Contenido sólido antes de secar el material. |
| TSS | total de sólidos suspendidos (contenido) (en agua) (véase también SS). |
| GTT | grupo de trabajo técnico. |
| vitroso | término aplicado a los artículos cerámicos que, como resultado de un elevado grado de vitrificación (a diferencia de sinterización), tienen una porosidad extremadamente baja. |
| vitrificación | la fusión parcial progresiva de una cerámica o de un cuerpo como resultado de un proceso de cocción. |
| COV | compuestos orgánicos volátiles. |
| % vol. | porcentaje por volumen |
| W/(mK) | conductividad térmica. |
| % peso | porcentaje por peso. |
| μg | microgramo. |
| μS | microsiemens. |

Símbolos químicos

| | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------|---------------------|
| Al | Aluminio | H ₂ O | Agua | PbO | Óxido de plomo |
| Al ₂ O ₃ | Óxido de aluminio | HCl | Cloruro de hidrógeno | Pr | Praseodimio |
| BaO | Óxido de bario | HCN | Ácido cianhídrico | Pt | Platino |
| BN | Nitruro de boro | HF | Fluoruro de hidrógeno | Rh | Rodio |
| Ca | Calcio | K ₂ O | Óxido potásico | S | Azufre |
| Ca(OH) ₂ | Hidróxido cálcico | MgCO ₃ | Carbonato de magnesio | Sb | Antimonio |
| CaCl ₂ | Cloruro cálcico | MgO | Óxido de magnesio | Si | Silicio |
| CaCO ₃ | Carbonato cálcico | Mn | Manganeso | SiC | Carburo de silicio |
| CaF ₂ | Fluoruro de calcio | Mo | Molibdeno | SiO ₂ | Dióxido de silicio |
| CaO | Óxido de calcio | Na ₂ CO ₃ | Carbonato de sodio | Sn | Estaño |
| CaSO ₃ | Sulfito cálcico | Na ₂ O | Óxido sódico | SO ₂ | Dióxido de azufre |
| CaSO ₄ | Sulfato de calcio | Na ₂ SO ₃ | Sulfito sódico | SO ₃ | Anhídrido sulfúrico |
| Cd | Cadmio | NaCl | Cloruro sódico | SO _x | Óxidos de azufre |
| Ce | Cerio | NaF | Fluoruro de sodio | Ti | Titanio |
| Co | Cobalto | NaHCO ₃ | Carbonato ácido de sodio | TiN | Nitruro de titanio |
| CO | Monóxido de carbono | NaOH | Hidróxido de sodio | TiO ₂ | Bióxido de titanio |
| CO ₂ | Dióxido de carbono | NH ₃ | Amoníaco | V | Vanadio |
| Cr | Cromo | Ni | Níquel | W | Tungsteno |
| Cu | Cobre | NO ₂ | Dióxido de nitrógeno | WB ₂ | Boruro de tungsteno |
| F | Flúor | NO _x | Óxidos de nitrógeno | Zn | Cinc |
| Fe | Hierro | O ₂ | Oxígeno | Zr | Circonio |
| Fe ₂ O ₃ | Óxido de hierro | Pb | Plomo | ZrO ₂ | Dióxido de circonio |

ISBN 978-84-491-1148-8



9 788449 111488



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO



COMISIÓN EUROPEA

CENTRO DE PUBLICACIONES
Paseo de la Infanta Isabel, 1 - 28014 Madrid