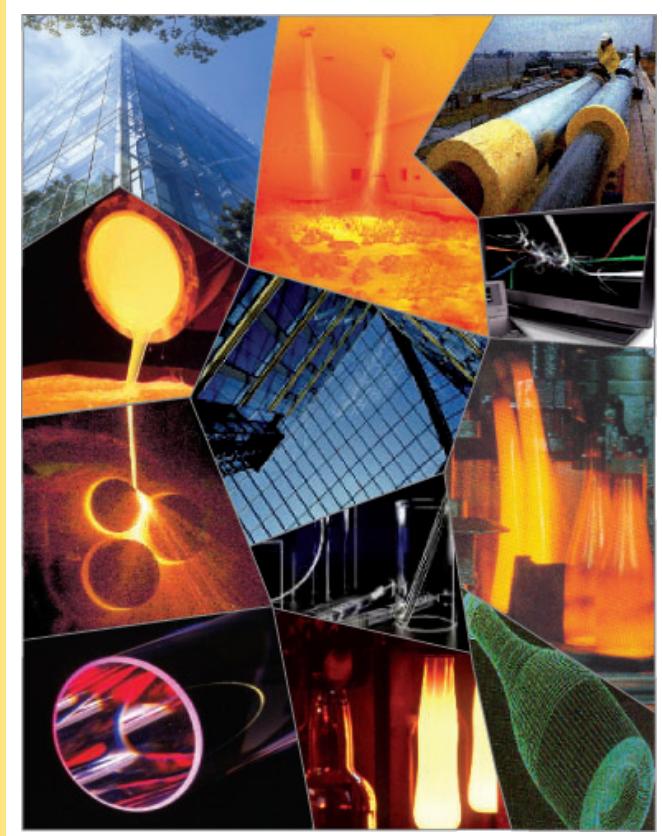


# Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de la Fabricación del Vidrio



Serie Monografías

**Guía de Mejores Técnicas  
Disponibles en España  
del Sector de la Fabricación del Vidrio**



**2007**

## ***EQUIPO DE TRABAJO Y REDACCIÓN***

### **Directora del equipo:**

- Carmen Canales Canales. Ministerio de Medio Ambiente

### **Coordinadores técnicos:**

- Íñigo de Vicente Mingarro. Consulnima
- Alicia Durán. Instituto de cerámica y vidrio

### **Colaboradores:**

- Enric Pueyo Bes. Generalitat de Cataluña.
- Juan Pablo Belzunegui Otano. Gobierno de Navarra.
- Mikel Ballesteros García. Gobierno Vasco.
- VIDRIO ESPAÑA, con las siguientes asociaciones integrantes:
  - Asociación de Empresas Fabricantes de Lanas Minerales Aislantes (AFELMA)
  - Asociación Nacional de Empresas de Fabricación Automática de Envases de Vidrio (ANFEVI)
  - Asociación de Fabricantes de Vidrio Hueco
  - Asociación de Fabricantes de Vidrio Plano (FAVIPLA)
  - Asociación de Fabricantes de Otros Vidrios (AFOVI) -Vidrio doméstico, Vidrios especiales, Filamento continuo)
- Virginia Villa Jiménez. Consulnima.
- Asociación del Vidrio de la Comunidad Valenciana (AVIVAL).
- Óscar González Sánchez. TRAGSA
- Pilar Casado de Amezúa Ayala. TRAGSA

### **FOTOGRAFÍA PORTADA:**

Carmen Díaz Dorado Instituto de cerámica y vidrio. A partir de Imágenes de Vidrio España.

Catálogo general de publicaciones oficiales  
<http://www.060.es>

Edita: Centro de Publicaciones  
Secretaría General Técnica  
Ministerio de Medio Ambiente ©

I.S.B.N.: 978-84-8320-389-7  
NIPO: 310-07-050-5  
NIPO Internet: 310-07-051-0  
Depósito legal: M. 36.168-2007

Imprime: Sociedad Anónima de Fotocomposición.  
Talisio, 9 - 28027 Madrid

Impreso en papel reciclado al 100% totalmente libre de cloro

# PRESENTACIÓN

Los poderes públicos disponen de diferentes herramientas para la defensa del medio ambiente y la salud humana. Una de ellas en el ámbito industrial es la Ley 16/2002 de prevención y control integrados de la contaminación (Ley IPPC). En ella, la sostenibilidad industrial se prescribe mediante dos figuras, una de naturaleza jurídico-administrativa y otra de fomento de las tecnologías limpias, que garantizan el uso racional de recursos y la minimización de la contaminación, de la generación de residuos y de la degradación del suelo, el aire y el agua.

La Ley IPPC, por tanto, se basa en:

- Autorización Ambiental Integrada: Permiso por el que se permite, a los solos efectos de la protección del medio ambiente y de la salud de las personas, explotar una instalación, bajo unas condiciones determinadas y dependientes de las características locales, geográficas y técnicas de la instalación.
- Mejores Técnicas Disponibles: En España se decidió, además de prestar colaboración en los BREF europeos, elaborar Guías españolas sobre MTDs en las que se pretende conocer la realidad de la industria española, prestando especial atención a los aspectos medioambientales.

La presente guía es el resultado de una revisión técnica de los documentos existentes en la materia, se ha pretendido redactar un documento que consiga recoger la repercusión de las tecnologías en la emisión de contaminantes y que sirva de ayuda a las autoridades competentes a la hora de otorgar los permisos.

Esta guía, correspondiente al sector del Vidrio, ha sido elaborada bajo la coordinación y supervisión del Ministerio de Medio Ambiente por un grupo de trabajo técnico multidisciplinar compuesto por representantes técnicos de las Comunidades Autónomas, distintos subsectores industriales del vidrio, expertos investigadores de institutos tecnológicos y consultoría medioambiental. El objetivo subyacente ha sido en todo momento la adecuación del impacto del proceso industrial al entorno que le rodea.

Se pretende que los documentos de Mejores Técnicas Disponibles permitan a las autoridades tener una base importante a la hora de fijar los Valores Límite de Emisión en la Autorización Ambiental Integrada, pero también queremos que sean un referente para la industria a la hora de dirigir sus inversiones en el actual entorno de sostenibilidad, pues no debemos olvidar que la mejora tecnológica está directamente relacionada con la salud y el futuro del propio sector industrial y de toda la Sociedad.

Jaime Alejandro Martínez  
Director General de Calidad y Evaluación Ambiental  
Ministerio de Medio Ambiente



# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO EN ESPAÑA Y EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL VIDRIO .....</b>	7
1.1. Panorama general de la Industria del Vidrio en España .....	7
1.2. Proceso de fabricación del vidrio .....	11
1.3. Técnicas disponibles para la reducción de emisiones en la fabricación de vidrio .....	24
1.4. Otros documentos BREF relacionados con la Industria del Vidrio .....	33
<b>CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS Y MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES DE LOS SUBSECTORES DE FABRICACIÓN DEL VIDRIO EN ESPAÑA .....</b>	35
SECCIÓN 1. VIDRIO HUECO .....	35
1. Introducción .....	35
2. Características del proceso de fabricación .....	37
3. Niveles actuales de emisiones y consumos de energía y materias primas .....	42
4. Técnicas utilizadas y mejores técnicas disponibles en vidrio hueco .....	49
SECCIÓN 2. VIDRIO PLANO .....	75
1. Introducción .....	75
2. Características del proceso de fabricación .....	76
3. Niveles actuales de emisiones y consumos de energía y materias primas .....	79
4. Técnicas utilizadas y mejores técnicas disponibles en vidrio plano .....	86
SECCIÓN 3. FILAMENTO CONTINUO .....	111
1. Introducción .....	111
2. Características del proceso de fabricación .....	111
3. Niveles actuales de emisiones y consumos de energía y materias primas .....	113
4. Técnicas utilizadas y mejores técnicas disponibles en filamento continuo .....	120
SECCIÓN 4. LANAS MINERALES .....	147
1. Introducción .....	147
2. Características del proceso de fabricación .....	149
3. Niveles actuales de emisiones y consumos de energía y materias primas .....	154
4. Técnicas utilizadas y mejores técnicas disponibles en lanas minerales .....	160
SECCIÓN 5. VIDRIO DOMÉSTICO .....	189
1. Introducción .....	189
2. Características del proceso de fabricación .....	190
3. Niveles actuales de emisiones y consumos de energía y materias primas .....	193
4. Técnicas utilizadas y mejores técnicas disponibles en la industria de vidrio doméstico .....	199
SECCIÓN 6. VIDRIOS ESPECIALES .....	229
1. Introducción .....	229
2. Características del proceso de fabricación .....	229
3. Niveles actuales de emisiones y consumos de energía y materias primas .....	231
4. Técnicas utilizadas y mejores técnicas disponibles en vidrios especiales .....	236
<b>CAPÍTULO 3. MEDICIÓN Y CONTROL DE EMISIONES: SISTEMAS DE MEDIDA, CÁLCULO Y ESTIMACIÓN .....</b>	257
1. Principales sustancias contaminantes en la industria del vidrio .....	258
2. Recomendaciones generales para el control de emisiones de sustancias contaminantes significativas al aire consideradas en el EPER/E-PRTR para el sector del vidrio .....	261
3. Recomendaciones generales para el control de emisiones de sustancias contaminantes al agua consideradas en el EPER/E-PRTR para el sector del vidrio .....	267

---

## ÍNDICE

---

4. Interpretación y notificación de los resultados medidos .....	268
<b>CAPÍTULO 4. TÉCNICAS EMERGENTES .....</b>	<b>269</b>
1. Técnicas en constante evolución y desarrollo .....	269
2. Técnicas en investigación .....	272
<b>ANEXO I. LAS EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO<sub>x</sub>), PRINCIPAL PROBLEMA DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO .....</b>	<b>277</b>
1. Origen de las emisiones de NO <sub>x</sub> en el proceso .....	277
2. Las técnicas para la reducción de las emisiones de NOX .....	279
3. Discusión sobre los niveles de emisión de NO <sub>x</sub> asociados a MTD .....	280
<b>ANEXO II. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE EMISIONES, POR MEDIO Y POR SUSTANCIAS, PARA LA INDUSTRIA DEL VIDRIO .....</b>	<b>285</b>
<b>ANEXO III. LEGISLACIÓN APLICABLE A LA INDUSTRIA DEL VIDRIO .....</b>	<b>309</b>
<b>ANEXO IV. ACUERDOS VOLUNTARIOS Y OTROS DOCUMENTOS DE INTERÉS .....</b>	<b>326</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>327</b>

## 1. *Información general sobre la industria del vidrio en España y el proceso de fabricación del vidrio*

### 1.1. PANORAMA GENERAL DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO EN ESPAÑA

La industria del vidrio española presenta una típica estructura dual. Por un lado, un pequeño número de grandes compañías, con una fuerte concentración de capital y con una estrecha dependencia económica y tecnológica con respecto a los grandes grupos multinacionales. Por otro, existe una cantidad importante de pequeñas y medianas empresas dispersas y con nivel tecnológico diverso.

La industria vidriera es una industria muy heterogénea en cuanto a aplicaciones, procesos y técnicas, que abarcan desde los sistemas más tradicionales hasta la tecnología de última generación. En menor o mayor medida están todos representados en la industria española. Gran cantidad de productos de vidrio forman parte de la vida cotidiana de la población (envases para alimentación y bebidas, vidrio de automóvil y edificios, vajillas y otros productos de menaje, lanas para aislamiento, filamento continuo para refuerzo de otros materiales, vidrio para iluminación etc...).

De acuerdo con los productos de vidrio que se fabrican en España, pueden distinguirse los siguientes subsectores:

- Vidrio hueco (botellas, tarros, frascos, moldeados, aisladores y bombillas).
- Vidrio plano (vidrio flotado y vidrio impreso).
- Filamento continuo de vidrio.
- Lanas minerales (lanas de vidrio y de roca).
- Vidrio doméstico y decorativo (fundamentalmente vidrio de mesa).
- Tubo de vidrio.

Debe señalarse también un subsector muy especial e importante a nivel español que es el de las fritas, material vítreo que constituye la base para los vidriados de materiales de revestimiento y recubrimientos cerámicos tipo azulejos. Aunque las fritas son vidrios, dadas sus especiales características y su vinculación con la industria cerámica, tradicionalmente se consideran parte de la misma, más que como una industria vidriera. Por esta razón, se considera oportuno no tratar dicho subsector dentro del ámbito de esta guía sobre las Mejores Técnicas Disponibles en la fabricación de vidrio.

Así pues, la industria vidriera española se distribuye de la siguiente manera:

**Tabla 1.1. Distribución de la industria vidriera española**

Subsector	Nº empresas	Nº instalaciones	Observaciones
VIDRIO HUECO	11	20	Fabricación de botellas, tarros, frascos, moldeados, aisladores y bombillas.
VIDRIO PLANO	3	6	Sector muy homogéneo en técnicas y procesos.
FILAMENTO CONTINUO	1	1	Hilos y tejidos de refuerzo.
LANAS MINERALES	3	3	Lanas de vidrio y de roca.
VIDRIO DOMÉSTICO	7	7	Fabricación de vajilla, vidrio de mesa y objetos decorativos.
TUBO DE VIDRIO	1	1	Vidrio para iluminación y envases farmacéuticos.
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>38</b>	-

Fuente: Vidrio España, 2005.

La distribución geográfica de estas instalaciones abarca a todo el territorio nacional:



Figura 1.1. Distribución geográfica de las industrias del vidrio en España.

Muchos de los productos de vidrio pueden calificarse como no sustituibles, lo que confiere al sector un carácter estratégico a nivel nacional. Tal es el caso del vidrio plano, utilizado en la industria del automóvil y la edificación, o el filamento continuo. También es considerado un sector estratégico por su influencia directa sobre el PIB, que en el caso del vidrio hueco puede llegar al 0,11 %.

El sector vidriero español está, en su gran mayoría, agrupado en Vidrio España, en la que se encuentran las empresas más importantes a través de sus asociaciones sectoriales. Vidrio España representa aproximadamente el 98 % del sector a nivel nacional, y prácticamente la totalidad de las empresas con una capacidad instalada de producción superior a 20 t/día.

Las asociaciones y empresas integradas en Vidrio España, se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1.2. Asociaciones integradas en Vidrio España**

Asociación	AFELMA	ANFEVI	Asociación de fabricantes de vidrio hueco	FAVIPLA	Otros vidrios
Productos fabricados	Lanas minerales (de vidrio y de roca)	Vidrio hueco Botellas y tarros	Botellas Frascos Iluminación	Vidrio plano	Servicio de mesa Filamentos Tubos y envases farmacéuticos
Empresas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤Ursa Ibérica Aislantes, S.A.</li> <li>➤Rockwool Peninsular, S.A.</li> <li>➤Saint Gobain-Cristalería, S.A. (Isover)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤Saint Gobain - VICASA</li> <li>➤Saint Gobain - Mont Blanc</li> <li>➤Vidrala</li> <li>➤BA Vidrio</li> <li>➤O-I Rovira</li> <li>➤O-I BSN</li> <li>➤Vidrieras Canarias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤Crisbisbal</li> <li>➤Ramón Clemente</li> <li>➤Vidrierías Masip</li> <li>➤Cristalerías de Mataró</li> <li>➤S. Gobain La Granja</li> <li>➤Vidriera del Atlántico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤Guardian Navarra, S.L.U.</li> <li>➤Guardian Llodio Uno, S.L.U.</li> <li>➤Glapilk (Glaverbel y Pilkington)</li> <li>➤Saint Gobain Cristalería, S.A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤Bormioli Rocco</li> <li>➤S. Gobain-Vetrotex</li> <li>➤Vicrla</li> <li>➤Schott Ibérica</li> </ul>

Fuente: Vidrio España, 2005

La asociación AVIVAL agrupa a las siguientes empresas fabricantes de vidrio doméstico, todas ellas ubicadas en la Comunidad Valenciana, concretamente en la zona de la Olleria en la comarca de Vall de Albaida, y muy próximas entre sí:

- La Mediterránea.
- Viart.
- Vidrio Ecológico.
- Vidrios San Miguel.
- Recycling Glass.

Estas empresas tienen una capacidad de extracción de los hornos muy variable, desde 5 a 50 t/día.

La producción de vidrio en España ha crecido muy por encima del PIB, con un incremento acumulado del 53% durante el período 1990-2003. En la Tabla 1.3 puede verse su evolución según los diferentes tipos de vidrio para este período.

La cifra de negocios de la industria vidriera española, superó en 2003 los 1.480 millones de €, lo que muestra que es un sector en expansión que realiza importantes inversiones sobre todo en su capacidad para atender tanto a la demanda interna como externa. Por sectores, dicha cifra de negocios se distribuye según se señala en la Tabla 1.4.

*Tabla 1.3. Evolución de la producción en los distintos subsectores (datos en toneladas producidas)*

Año	VIDRIO HUECO	VIDRIO PLANO	LANAS MINERALES	OTROS <sup>(a)</sup>	TOTAL
1990	1.767.750	652.624	60.068	144.531	2.624.973
1995	1.824.078	868.567	66.685	152.815	2.912.145
1998	2.231.423	824.786	88.983	170.222	3.315.414
1999	2.323.679	789.380	92.219	181.346	3.386.624
2000	2.443.989	1.003.670	98.098	183.376	3.729.133
2001	2.494.334	1.082.790	169.461	188.417	3.935.002
2002	2.639.666	1.102.185	171.660	167.640	4.081.151
2003	2.601.453	1.082.805	189.386	187.576	4.061.220

Fuente: Vidrio España.

<sup>(a)</sup> Incluye la producción de vidrio doméstico, filamento continuo y tubo para envases farmacéuticos.

*Tabla 1.4. Evolución de la cifra de negocios en los distintos subsectores (datos en miles de €)*

Año	VIDRIO HUECO	VIDRIO PLANO	LANAS MINERALES	OTROS (a)	TOTAL
2000	630.201	398.600	118.151	206.932	1.353.884
2001	683.254	439.000	157.531	202.566	1.482.351
2002	713.289	407.900	163.728	196.017	1.480.934
2003	733.980	384.300	163.745	205.075	1.487.100

Fuente: Vidrio España.

<sup>(a)</sup> Incluye la producción de vidrio doméstico, filamento continuo y tubo para envases farmacéuticos.

El sector de fabricación de vidrio se caracteriza por una fuerte tendencia a la externalización de las actividades no productivas, como son aquellas relacionadas con la logística. El empleo directo se cifra en más de 8.670 puestos de trabajo. Cada vez más se demanda por parte del sector una mayor cualificación de profesionales sobre todo en ámbitos técnicos y medioambientales.

Los dos aspectos que mejor pueden definir la trayectoria de la industria vidriera española son la competitividad y el crecimiento. España es el cuarto productor europeo, por detrás de Alemania, Francia e Italia. El grado de innovación tecnológica, junto con la capacidad inversora, productiva y de comercialización, son la clave para la competitividad, permitiendo situar la producción española en los puestos más destacados del mercado vidriero europeo.

## 1.2. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL VIDRIO

El proceso de fabricación del vidrio es básicamente el mismo para todos los subsectores: preparación de las materias primas, fusión, conformado, tratamientos posteriores y, por último, almacenamiento y expedición de los productos finales. Aun siguiendo este proceso, las particularidades de los diferentes productos vienen marcadas por las condiciones, que en cada etapa se definen en función de la finalidad. En la figura 1.2 se incluye un esquema del proceso tipo de fabricación de vidrio.

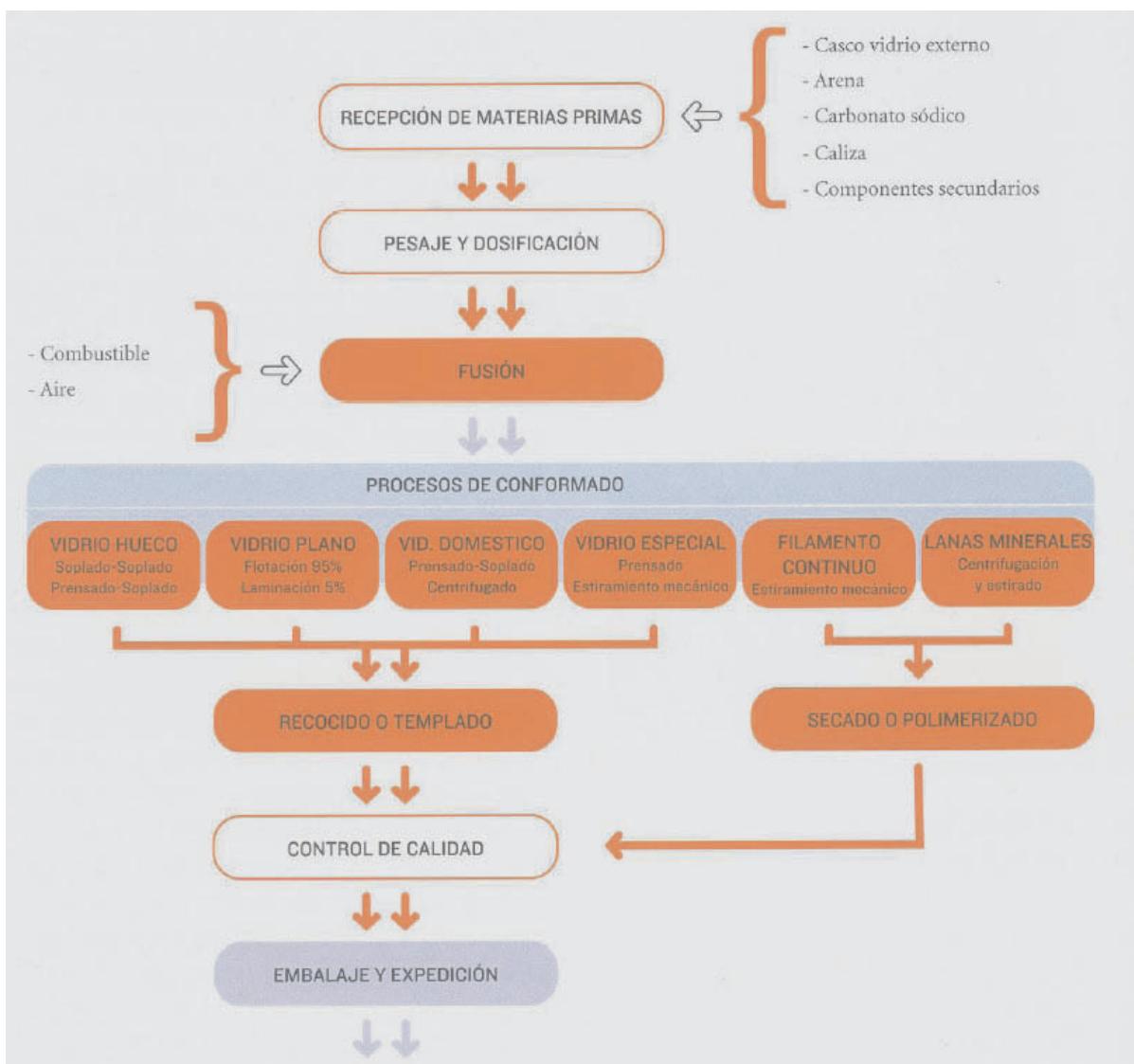


Figura 1.2. Esquema general del proceso de fabricación del vidrio.

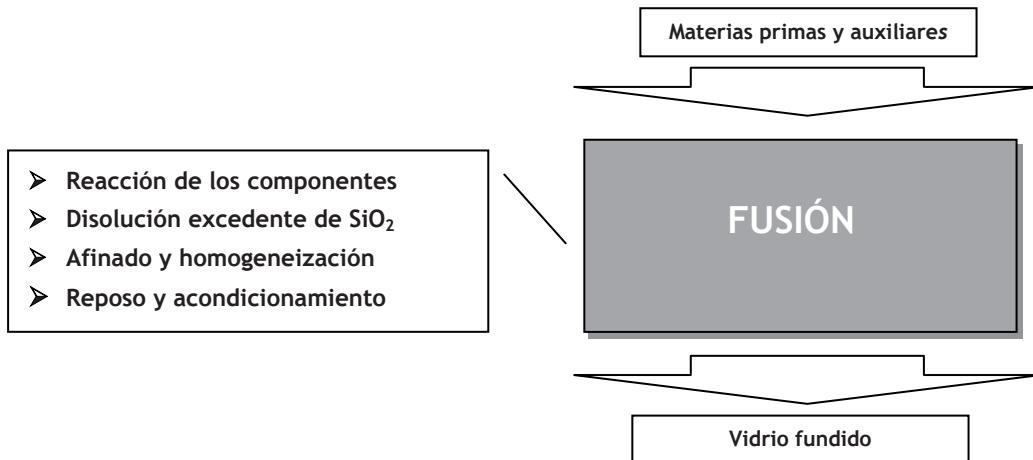
Como puede verse en el esquema anterior, según sea el conformado así se tendrá un tipo u otro de vidrio. Es evidente que ello va a determinar y configurar las demás etapas del proceso. En los siguientes apartados se explican los principales aspectos del proceso que son comunes para todos los productos y subsectores fabricantes.

### 1.2.1. Etapas del proceso de fabricación de vidrio

La elaboración del vidrio es un proceso complejo que comienza con la recepción de las materias primas, su dosificación, mezclado y homogeneización. Termina con la salida del producto frío a la desembocadura del túnel o del archa de recocido. El proceso de elaboración puede considerarse dividido en seis etapas más o menos diferenciadas:

- Reacción de los componentes y formación de vidrio.
- Disolución del excedente de sílice sin reaccionar.
- Afinado (homogeneización de la masa vítrea fundida y eliminación de los gases disueltos y burbujas ocluidas).
- Reposo y acondicionamiento térmico.
- Conformado.
- Enfriamiento y recocido.

#### *La fusión*



**Figura 1.3. Etapa de fusión del vidrio.**

Las cuatro primeras etapas se suceden sin solución de continuidad dentro del horno, constituyendo la fusión propiamente dicha, y de acuerdo a un programa térmico cuidadosamente establecido. Este programa comprende un aumento progresivo de la temperatura hasta un máximo de 1600°C, seguido de un enfriamiento y de un período de estabilización en el que la masa vítrea debe alcanzar la rigurosa homogeneidad térmica requerida para su inmediata conformación.

Los principales tipos de hornos utilizados en la industria vidriera española y sus características se muestran en la tabla 1.5.

Si bien la fusión es común a toda la fabricación de vidrio, los parámetros difieren según el producto final; el tipo de vidrio, el conformado posterior, y las exigencias de calidad tienen una influencia determinante en la fijación de los parámetros de la fusión.

El término de “ fusión” es, hasta cierto punto, incorrecto. Por analogía con algunos procesos metalúrgicos resultaría más propio hablar de fundición o, más correctamente, de vitrificación o de formación de vidrio. Sin embargo, el uso extendido de ese término en el lenguaje vidriero hace muy difícil que pueda desarraigarse y ser sustituido por otro.

**Tabla 1.5. Principales tipos de hornos utilizados en la industria vidriera española**

Tipo de horno		Descripción	Aplicación
Hornos discontinuos	Hornos tipo crisol	<ul style="list-style-type: none"> <li>Son de planta circular (la llama suele ser vertical y no tienen sistemas de recuperación) o rectangular de diferentes capacidades (la llama es horizontal y suelen tener cámaras regenerativas).</li> <li>Frecuentes en pequeñas producciones (&lt;20 t/día).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frecuentes en procesos de soplado manual</li> </ul>
Hornos continuos (de balsa o cuba) regenerativos	Hornos de llamas transversales con cámaras de regeneración	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los quemadores, entre 4 y 6 por cada lado, son regulables de forma independiente y están dispuestos lateralmente. El sentido de las llamas es perpendicular al de la circulación del vidrio (quemadores transversales).</li> <li>El sistema de recuperación de calor está formado por dos apilamientos de piezas refractarias (regeneradores) que se calientan alternativamente con los gases de la combustión provenientes del horno. Mientras que una cámara está siendo calentada por los gases, la otra precalienta el aire de combustión. Despues de un período pre-determinado (20-30 minutos) se invierte el ciclo de calentamiento y el aire de combustión se pasa a través de la cámara previamente calentada por los gases residuales.</li> <li>Presentes en producciones de más de 350 t/día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vidrio hueco</li> <li>Vidrio plano</li> <li>Lanas minerales (lanas de vidrio)</li> <li>Vidrios especiales</li> </ul>
	Hornos de bucle con sistemas regenerativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estos hornos son más pequeños y poseen únicamente dos pórticos ubicados en la pared posterior. La boca del enfornaje (sistema de alimentación de la masa vitrificable) está en posición lateral. En cada pórtico hay un quemador cuya llama hace un recorrido en forma de "U" o bucle de ida y vuelta, saliendo por el otro pórtico hacia la cámara de regeneración respectiva.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vidrio hueco</li> <li>Vidrio plano</li> <li>Vidrio doméstico</li> </ul>
Hornos continuos (de balsa o cuba) recuperativos	Hornos transversales recuperativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los recuperadores son intercambiadores de calor de material refractario y acero inoxidable. En este tipo de diseño el aire frío que entra es precalentado indirectamente por un flujo continuo de gases residuales a través de un intercambiador de calor metálico. No existe ciclo de inversión. La temperatura del aire está limitada a un máximo aproximado de 800°C y la cantidad de calor recuperado es consecuentemente inferior que la del horno de regeneración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vidrio hueco</li> <li>Filamento continuo</li> </ul>
	Hornos de bucle recuperativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los quemadores están situados a ambos lados del horno, transversales al flujo de vidrio y queman continuamente desde ambos lados, permitiendo un mejor control y unas temperaturas más estables.</li> <li>Los quemadores están situados de forma que el camino de las llamas tiene forma de U o bucle de ida y vuelta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vidrio hueco</li> </ul>
Hornos eléctricos		<ul style="list-style-type: none"> <li>Consisten en una cámara de material refractario de forma más o menos cuadrada y encapsulada en una carcasa normalmente de acero, con electrodos insertados en los laterales, en la parte superior o, más frecuentemente, en la parte inferior del horno. La energía eléctrica es alimentada a partir de una corriente que pasa a través del fundido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lanas minerales (lanas de vidrio)</li> <li>Vidrio doméstico (muy común sobre todo en el caso del vidrio al plomo y del vidrio opal)</li> </ul>
Hornos tipo cubilote		<ul style="list-style-type: none"> <li>Consiste en un cilindro de acero cerrado en su parte inferior, refrigerado por agua y revestido interiormente con material refractario. Utiliza coque como combustible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lanas minerales (lanas de roca)</li> </ul>

### *El conformado*<sup>1</sup>

El comportamiento viscoso-plástico de los vidrios a alta temperatura facilita su moldeado en un amplio intervalo térmico, utilizando para ello diversos procedimientos en función del tipo de vidrio fabricado: colado, soplado, prensado, estirado, flotado, laminado, centrifugado y fibrado (ver figura 1.2).

En cada caso, el vidrio se acondiciona térmicamente en la zona de trabajo para estabilizar su viscosidad. De este parámetro depende la utilización de uno u otro procedimiento de conformado así como la cadencia y el rendimiento de fabricación en los sistemas automáticos.

Después del conformado, se somete al vidrio a un proceso de enfriamiento y recocido, etapa crítica ya que se requiere que el vidrio pase de un estado plástico a un estado rígido con la suficiente lentitud para que su estructura se relaje de forma uniforme y adquiera en todos sus puntos el mismo volumen específico.

#### **1.2.2. Las materias primas en la fabricación del vidrio**

El vidrio es un material que se obtiene por la fusión, dentro de un horno a alta temperatura, de una mezcla de materias primas de muy diversa naturaleza.

La industria vidriera exige tres requisitos importantes de las materias primas que utiliza:

- Cantidad suficiente y suministro ininterrumpido para garantizar una carga continua al horno.
- Calidad dentro de las especificaciones establecidas para cada tipo de vidrio y constancia a lo largo del tiempo.
- Mantenimiento de los costes de producción.

Por otro lado, las mejores materias primas son aquellas que:

- Facilitan el manejo de la mezcla.
- Reducen la temperatura de fusión.
- Aumentan la velocidad de fusión.
- Reducen las pérdidas y disminuyen la erosión de los refractarios del horno.

Las materias primas que intervienen en la formación de la masa vítreas pueden ser agrupadas en función de los óxidos metálicos que aportan, de la influencia de éstos sobre el producto final o del papel que juegan en el proceso de elaboración del vidrio.

La diversidad de tipos y productos de vidrio fabricados requiere de una gran variedad de materias primas en diferentes grados de pureza. No obstante, las principales son arenas silíceas y cuarzo, carbonato de sodio, feldespato potásico, calizas y calizas dolomíticas y, cada vez más, casco de vidrio (vidrio reciclado).

---

<sup>1</sup> Para más información sobre el proceso de fabricación del vidrio, consultar: *El Vidrio*. J. M<sup>a</sup> Fernández Navarro. Editorial CSIC. 2<sup>a</sup> edición, 1991.

En cuanto a su origen puede hablarse de:

- Materias primas de origen mineral: arena, cuarzo, caliza, dolomita, feldespatos, fluorita, boratos naturales tipo ulexita, etc.
- Materias primas de origen químico: carbonatos de sodio, bórax, colorantes, etc.
- Casco de vidrio: vidrio reciclado. Puede ser interno o externo.
- Materias primas secundarias: escorias, fundentes, vitrificantes y estabilizantes.

Atendiendo a la influencia de los materiales sobre el producto final, también puede hablarse de:

- Componentes principales, cuando entran en la composición (% en peso) en cantidades superiores al 1-2% y cumplen funciones de formadores y modificadores de red. Son principalmente sílice, alúmina, óxidos de calcio, magnesio, sodio, etc.
- Componentes minoritarios, cuando entran en pequeñas cantidades ya sea como impurezas, para cumplir alguna función durante el proceso, o para obtener determinadas propiedades del producto final. Son los afinantes, colorantes, oxidantes, reductores, opacificantes, etc.

El consumo de unas y otras materias dependerá del proceso y del producto final. Las consideraciones específicas para cada uno de los procesos de fabricación son expuestas en las secciones correspondientes.

En la siguiente tabla se muestran las principales materias primas agrupadas por tipos:

**Tabla 1.6. Materias primas utilizadas en la fabricación del vidrio**

Tipo/grupo	Materia prima fuente
Vitrificantes ( $\text{SiO}_2$ )	Arena
Fundentes ( $\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{K}_2\text{O}$ )	Carbonato sódico y escorias
Estabilizadores ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{CaO}$ , $\text{MgO}$ )	Caliza, dolomía, feldespato, alúmina, nefelina, fluorita, otros
Afinantes ( $\text{SO}_3$ , $\text{NO}_3$ , $\text{As}_2\text{O}_3$ )	Sulfato sódico, sulfato cálcico, sulfato bárico, arsénico, nitrato sódico, otros
Colorantes (óxidos metálicos, etc...)	Óxidos de hierro, óxido de cromo, dicromatos de potasio, cromita, óxido de cobalto, sulfato de sodio, carbón

Un aspecto muy importante en la industria vidriera es el uso creciente de casco de vidrio, tanto interno como externo, como sustituto de otras materias primas o de parte de éstas en distintos porcentajes en función del tipo de vidrio fabricado.

El uso de casco de vidrio presenta varias ventajas importantes como son:

- La valorización de un residuo.
- La disminución del consumo de otras materias primas de origen primario.
- La notable reducción en el consumo de energía.

El casco de vidrio tiene la misma composición de los vidrios a fundir y su uso implica una importante reducción del consumo energético porque elimina el costo asociado a las reacciones químicas involucradas en el proceso de fusión: descarbonatación, disociación, reacciones en estado sólido, formación de inquemados, etc. Además, el uso de casco de vidrio actúa como catalizador, acelerando la reacción entre los vitrificantes y fundentes e implica que el calor de reacción y latente de fusión son nulos y que las emisiones a la atmósfera son menores.

Según el tipo de vidrio y las características del producto final, la composición de las mezclas y la participación de cada una de estas materias primas puede ser muy variable. Pequeñas modificaciones pueden conferir a un mismo vidrio propiedades completamente diferentes. De igual manera, para composiciones similares, diferentes parámetros de fusión pueden cambiar las propiedades finales.

Las formulaciones más comunes para los diferentes tipos de vidrio producidos en España, varían entre los intervalos que se indican en la siguiente tabla.<sup>2</sup>

**Tabla 1.7. Formulaciones más comunes para los diferentes tipos de vidrio**

Vidrio	Óxidos (%)	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO+MgO	BaO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	Otros
Vidrio plano	71-73	13-16	-	7-13,5	-	-	0,2-1,5	-	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,02-1,0	
Vidrio hueco <sup>(a)</sup>	70-75	10-16	0-3	2-16 0-6	-	-	1-2,5	-	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0-1	
Vidrio doméstico <sup>(b)</sup>	56-81	2,5-18,1	7,1-13,0	0,9-19,0 0,5-5,0	-	14,0-35,0	0,2-17,5	-	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 2,6 Li <sub>2</sub> O: 8,0 TiO <sub>2</sub> : 1,5 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,2-17,1 FNa + F <sub>3</sub> Al <sub>3</sub> : 4	
Moldeados	70-75	10-16	0-3	2-16 0-6	-	-	1-2,5	-	-	
Tubo de vidrio	71,6	7,9	1,4	0,3	2,8	-	5,5	0,4	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 9,9	
Filamento continuo <sup>(c)</sup>	53-60	0,5-2	-	20-24	-	-	11-16	-	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0-10	
Lanas minerales	(d)	(d)	(d)	(d)			(d)			

(a) Intervalo de composición para vidrio hueco incoloro.

(b) La composición varía mucho dependiendo del tipo de vidrio doméstico: vidrios sódico-cálcicos, cristales al plomo, borosilicatos térmicos, borosilicatos opal blanco, vitrocerámicos. Para composiciones de tipo sódico-cálcico los porcentajes de los principales óxidos (SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O y CaO) varían entre el 71-73%, 12-14% y 10-12% respectivamente. Para composiciones con plomo (cristal al plomo) estos intervalos varían entre 54-65% para la sílice y 13-15% para el óxido de sodio o potasio. Los porcentajes de óxido de plomo pueden ser muy amplios pero con carácter general varían entre el 20-30%. En vidrios de tipo borosilicato los porcentajes de SiO<sub>2</sub> varían entre el 70-80%, el sodio o potasio varía entre el 4-8% y el óxido de aluminio entre el 2 y el 7%. El contenido en boro en forma de trióxido de boro se encuentra entre el 7-13%. Los vidrios domésticos opales suelen tener una composición formada por óxidos de silicio, sodio, potasio, calcio, aluminio y con unos contenidos en flúor del 4%. En general, en la fabricación de vidrio para uso doméstico, el porcentaje de casco varía mucho según los procesos y en la mayoría de los casos se trata del producido en las propias fábricas.

(c) Las composiciones pueden variar mucho en función de las aplicaciones posteriores: textiles, eléctricas, etc.

(d) Las formulaciones de lanas de vidrio suelen variar entre el 65 y el 80% de componentes vitrificantes (SiO<sub>2</sub> procedente de arena y casco de vidrio) y entre el 20-35% para el resto de componentes. En el caso de lanas de roca, todos los componentes se aportan casi al 100% por el uso de rocas basálticas y escorias.

### 1.2.3. Consideraciones medioambientales y energéticas del proceso de fabricación del vidrio

Las palabras clave en el sector del vidrio en materia de medio ambiente son: economía de energía, control de la contaminación atmosférica y reciclado.

<sup>2</sup> En todos los casos se han tomado composiciones de referencia. Las variaciones pueden ser importantes en algunos casos como en el filamento continuo.

La fabricación del vidrio es una actividad muy activa desde el punto de vista energético ya que es un gran consumidor de este recurso. En general, se trata de un proceso caracterizado por producir en continuo, cuyos inicios y finales de campaña vienen determinados principalmente por la vida útil de los hornos que suele ser entre 8 y 15 años, dependiendo de sus características y del proceso de fabricación.

Así, el control y la optimización del consumo de recursos es un aspecto muy importante para el sector y sobre el que existe ya una larga tradición. Sus impactos al medio son constantemente evaluados y minimizados mediante la adopción de medidas primarias y de eficiencia energética.

### *El vidrio y la eficiencia energética*

La fabricación de cualquier producto de vidrio es esencialmente un proceso energético y por tanto, la elección de la fuente de energía y de los sistemas de recuperación son los aspectos que rigen el rendimiento económico del proceso, la eficiencia energética de la fusión y las afecciones medioambientales que se pueden generar.

En general, la energía necesaria para la fusión del vidrio supone más del 75% del total de energía consumida en el proceso de fabricación, por lo que la elección de técnicas que puedan reducir el consumo energético es de vital importancia.

El coste de la energía es uno de los factores más importantes a la hora de considerar los costes de inversión y de operación para las diferentes instalaciones. Hay que tener en cuenta que el consumo energético representa entre el 20 y el 30% del coste total del producto final. De hecho, este aspecto, por su condición de crítico, es uno de los que suponen mayores motivaciones para el desarrollo e implementación de nuevos diseños de hornos y técnicas que conlleven importantes ahorros en el consumo de energía, además de las consideraciones medioambientales que en los últimos tiempos han resultado ser un factor determinante.

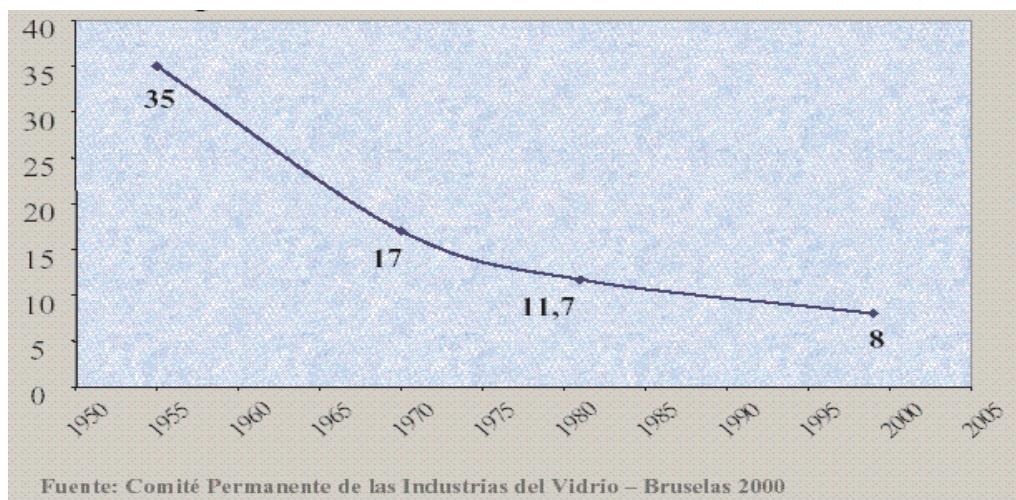


Figura 1.4. Rendimiento de energía específica (GJ/t de vidrio producido) (datos de la UE).

Por este motivo, las empresas trabajan constantemente, sobre todo en las últimas décadas, en la optimización de los consumos de energía mediante el empleo de materiales refractarios de última tecnología, mejoras en la combustión, aislamiento e ingeniería de proceso, de tal manera que se ha alcanzado un límite casi asintótico, que hace que pequeñas mejoras supongan elevadas inversiones cuya viabilidad económica no está perfectamente contrastada o incluso no sea aconsejable. En la figura 1.4 se puede apreciar la evolución del requerimiento energético por tonelada de vidrio producido, que se ha reducido a menos de un cuarto de su valor en menos de 50 años.

El sector vidriero español se encuentra en la vanguardia tecnológica, al mismo nivel que sus competidores europeos, adaptándose a las mejores técnicas disponibles existentes en el mercado en lo que a ahorro y eficiencia se refiere.

Las medidas más comunes y eficaces desarrolladas para reducir el consumo de energía son las que se centran en:

- El diseño de los hornos y técnicas de fusión.
- La elección del combustible y el control del proceso de combustión.
- El uso de casco de vidrio en las composiciones.
- Las técnicas de aprovechamiento del calor residual a partir de los gases generados en el proceso.

No obstante, la gran mayoría de estas modificaciones encaminadas a la mejora de los procesos y optimización de los consumos, sólo pueden ser adoptadas e implantadas coincidiendo con los períodos de reconstrucción total o parcial de los hornos.

Asimismo, conviene destacar que el horno, durante su vida útil y hasta su reconstrucción, va perdiendo eficiencia energética a causa del envejecimiento. Por ejemplo, un horno cuya vida útil media es de 8 años incrementa su consumo energético en 1-3% cada año.

Quizá de estos aspectos, uno de los más importantes es el uso de casco de vidrio. Además de reducir el consumo de materias primas, supone importantes ahorros energéticos ya que rebaja la temperatura de fusión y, por tanto, el consumo de combustibles, teniendo efectos muy positivos tanto desde el punto de vista económico como medioambiental.

En cada una de las secciones del Capítulo 2, se amplía la información acerca de la eficiencia energética en los distintos subsectores de la industria del vidrio.

### *El vidrio como material inerte y recicitable*

El vidrio puede y debe considerarse como un material compatible con la protección del medio ambiente de varias formas. Siempre que no esté contaminado, es un material inerte y recicitable al 100%. Además, el vidrio es la base para la fabricación de productos cuyas aplicaciones demuestran grandes beneficios ambientales principalmente vinculados con el ahorro energético.

Por ello, a la hora de valorar medioambientalmente al vidrio y su proceso de fabricación, es importante incluir en dicho balance las utilidades y aplicaciones del mismo en los diferentes sectores de actividad así como la posibilidad de su reincorporación al ciclo productivo.

En la Tabla 1.8 se reflejan algunos ejemplos de estos beneficios ambientales del vidrio.

**Tabla 1.8. Beneficios medioambientales del vidrio**

Reciclaje de vidrio	<p>El reciclaje del vidrio tiene consecuencias directas sobre el medio ambiente de tal forma que su uso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ahorra energía. Con la energía que se ahorra en el reciclaje de una botella se podría mantener encendida una bombilla de 100 vatios durante 4 horas.</li> <li>▪ Ahorra materias primas. En el reciclaje de 3.000 envases se ahorra más de una tonelada de materias primas naturales.</li> <li>▪ Reduce los residuos depositados en vertedero. 3.000 botellas recicladas suponen 1.000 kilos menos de basura</li> <li>▪ Reduce la contaminación atmosférica. Al quemar menos combustible y emplear menos materias primas se reducen las emisiones de sustancias tales como el CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>.</li> </ul>
Vidrio plano	Como elemento aislante en el sector residencial, contribuye a la mejora de la eficiencia energética y a la reducción de la contaminación acústica.
Lanas minerales	<p>Diferentes aplicaciones contribuyen a la protección del medio ambiente: aislamiento térmico, aislamiento acústico y protección frente al fuego. Como aislante térmico, por ejemplo, la aplicación de lanas minerales disminuye la contaminación atmosférica como consecuencia del ahorro energético conseguido.</p> <p>Una aplicación poco conocida pero cada vez más utilizada de las lanas minerales consiste en su empleo como sustrato para cultivo hidropónico, que permite ahorrar un 70% en el consumo de agua de riego y evitando además la contaminación de suelos con fertilizantes.</p>
Filamento continuo	Estos productos aportan importantes reducciones de peso con los consiguientes ahorros de energía, sobre todo en la industria del automóvil. Por ejemplo, la mayoría de las palas de los rotores de los grandes aerogeneradores están fabricadas con plástico reforzado con hilo de vidrio, contribuyendo a la reducción de la contaminación atmosférica.

### **Importancia estratégica del reciclado del vidrio**

El empleo de casco de vidrio en sustitución de las materias primas tradicionales (arena, carbonato sódico, caliza, dolomía, etc.) reduce significativamente el consumo de energía y de materias primas, con la particularidad de que se puede utilizar en todos los tipos de hornos, tanto de combustibles fósiles como de oxicombustión y eléctricos, y para la mayoría de los subsectores del vidrio.

El casco de vidrio consume menos energía de fusión que las materias primas que lo componen dado que las reacciones químicas asociadas a la fusión del vidrio ya se han realizado y su masa es un 20% menor que la de las materias primas equivalentes. Así, el aumento del consumo de casco de vidrio en cada composición tiene el potencial de ahorrar energía; de hecho, cada 10% adicional de casco de vidrio produce una reducción del 2,5-3% en el consumo de energía del horno. En este contexto, no hay que olvidar que para el sector del vidrio es vital reducir al máximo el consumo energético ya que, además de suponer el mayor problema medioambiental, representa entre un 20-30% de su coste.

En el caso de las materias primas, se estima que 1 t de vidrio reciclado ahorra 1,2 t de materias primas.

Por otra parte, además de los sustanciales ahorros energéticos y de materias primas, se dan otras ventajas medioambientales asociadas al empleo de casco. Las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas se reducen significativamente debido a un doble efecto. En primer lugar, el uso de casco de vidrio permite un menor consumo de combustible y unas menores temperaturas dentro del horno, reduciéndose las emisiones derivadas de la utilización de combustibles fósiles. En segundo lugar, al sustituir los carbonatos y sulfatos que constituyen

la materia prima por casco, se evitan las correspondientes reacciones de descarbonatación y desulfatación y con ellas las emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>x</sub>.

La posibilidad de reciclaje del casco de vidrio es diferente en función del tipo de proceso, producto y origen del casco. El casco de vidrio de origen interno generado en cada proceso es reutilizado prácticamente en su totalidad, siempre que no esté contaminado.

La utilización de casco de vidrio puede alcanzar importantes porcentajes en función del subsector, pudiendo llegar incluso hasta el 100% de utilización de vidrio reciclado en sustitución de las materias primas en los sectores de vidrio hueco y doméstico. En función del subsector, el uso del casco de vidrio externo será más o menos restringido debido fundamentalmente a los requerimientos de los productos finales.

En España, la tasa de reciclado de vidrio fue del 41,2 %, en el año 2004 (Fuente: Ecovidrio).

Como es lógico, las posibilidades de aprovechamiento del casco de vidrio externo, con las mejoras medioambientales aquí reseñadas, pasan por la existencia de procedimientos y circuitos adecuados de recuperación de dicho casco. Estos circuitos se gestionan en la industria del vidrio hueco a través de Ecovidrio. En función del tipo de producto fabricado, la introducción de la separación por colores en el actual sistema de recogida y tratamiento permitiría disponer de casco de vidrio por colores en función de las necesidades de producción, lo que contribuiría a la disminución de la cantidad de colorante en masa necesaria para obtener el color final y, en el caso del vidrio blanco, a aumentar la cantidad de casco disponible (al no estar mezclado con vidrio de color).

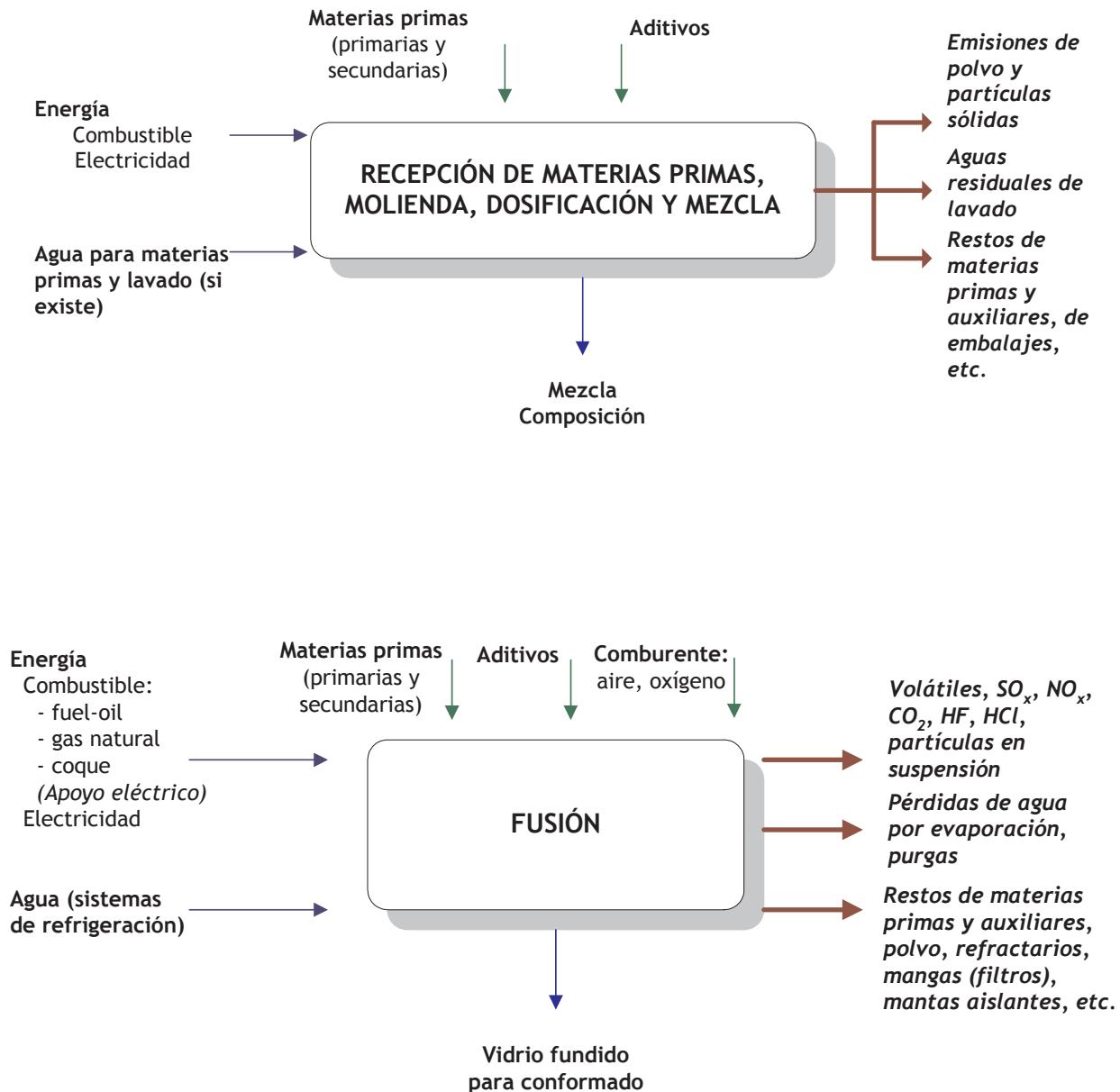
Dentro de este capítulo de la separación por colores y sus implicaciones, cabe señalar la fórmula que se viene empleando con éxito en Japón. En este caso la respuesta viene del campo del marketing, promoviendo lo que denominan "vidrio ecológico" que, en definitiva, no es otro que el vidrio que se fabrica con casco mezcla de colores. Se obtiene un envase funcionalmente idéntico, que, una vez aceptado por la sociedad, permite alcanzar altas tasas de reciclado. En el mercado español, sería necesario fomentar un cambio en la conciencia ciudadana para conseguir la aceptación de este tipo de productos.

Por otra parte, los circuitos de recogida selectiva gestionados por Ecovidrio están dirigidos principalmente a envases de vidrio y no existen para otros tipos de vidrio, como por ejemplo los procedentes de los talleres de transformación de vidrio plano, residuos de construcción (ventanas, etc.), pantallas de TV, monitores de ordenadores, vidrio de iluminación, lunas de automóviles, etc. En estos casos, existen algunos canales de recogida, aunque no están suficientemente extendidos para permitir el reciclado intensivo y eficiente. Hay que señalar que muchos de estos tipos de vidrio necesitan diversos tratamientos previos para proceder a su reciclado. Sería por ello conveniente que las administraciones públicas contribuyeran a estos esfuerzos de recuperación con el objetivo de que la tasa total de reciclado aumentara.

La industria del vidrio dispone *a priori* de posibilidades técnicas de reutilización de mayores porcentajes de casco de los que se vienen empleando. Pero es condición indispensable para ello que se disponga de dicho casco en condiciones óptimas en lo que se refiere a su calidad, separación por tipos y colores, etc. Es igualmente importante la participación ciudadana, que permitiría aumentar la cantidad de casco de vidrio recogida.

### Consumos y emisiones característicos en la fabricación del vidrio

En la figura 1.5 se muestran los principales aspectos medioambientales asociados a las etapas del proceso de fabricación del vidrio. Como se puede ver, la etapa con mayor incidencia medioambiental desde todos los puntos de vista es la fusión.



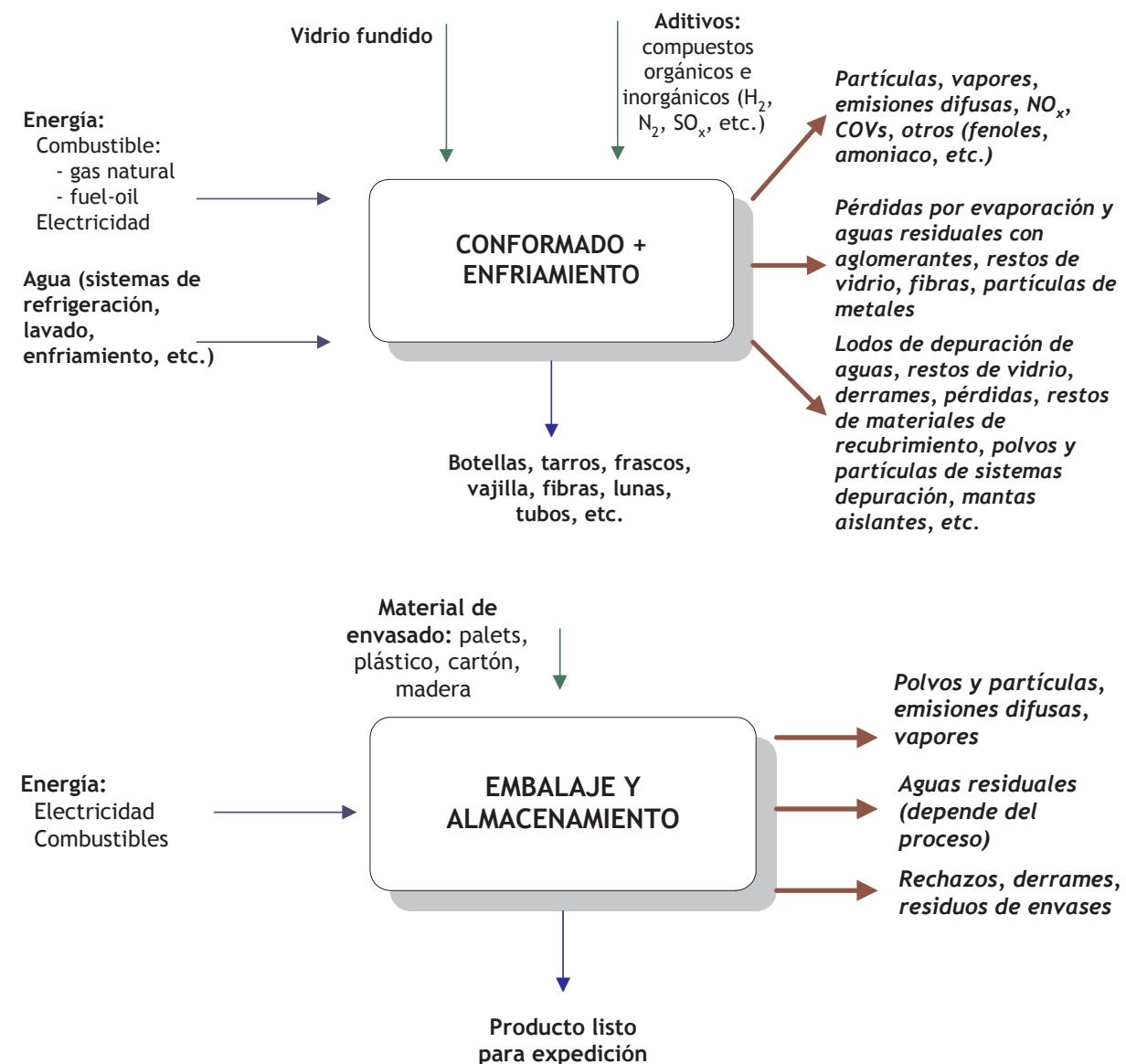


Figura 1.5. Aspectos medioambientales, por etapas, del proceso de fabricación del vidrio.

El mayor consumo energético del proceso se produce en el horno durante la fusión, y de ahí que el control de la fusión y las mejoras en su rendimiento mediante cualquiera de las medidas que se adopten sean tan importantes. La principal fuente de energía son los combustibles fósiles (gas natural y fuel mayoritariamente) y, en menor medida, energía eléctrica. Esta última es importante durante las etapas de conformado y operaciones posteriores, así como también en apoyo a la fusión o en sistemas de fusión mixtos (*boosting*). Puede ser la principal fuente de energía en sectores como el vidrio doméstico o en algunas lanas minerales, ya que la fusión puede ser totalmente eléctrica.

También el consumo de materias primas y auxiliares es un hecho relevante, si bien éste es un aspecto en constante mejora por las repercusiones económicas que tiene para la industria.

Además del consumo de recursos, los principales aspectos medioambientales que deben ser considerados son las emisiones a la atmósfera. La mayoría se generan en la etapa de la fusión y son debidas, principalmente, al combustible y a la descomposición de las materias primas.

Las sustancias y contaminantes más significativos que pueden emitirse durante el proceso son las siguientes:

**Tabla 1.9. Aspectos medioambientales por etapas del proceso de fabricación del vidrio**

Emisión	Fuente	Etapas de proceso
Partículas y polvo	Condensación de materiales volátiles. Manipulación y transporte de materias primas. Productos de combustión. Composición del vidrio.	RECEPCIÓN, DOSIFICACIÓN Y MEZCLA FUSIÓN
NO <sub>x</sub> [Ver Anexo I: "Las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ), principal problemática de la industria del vidrio"]	NO <sub>x</sub> térmico debido a las altas temperaturas. Descomposición de los compuestos de nitrógeno en la composición. Oxidación del nitrógeno contenido en los combustibles.	FUSIÓN
SO <sub>x</sub>	Azufre del combustible. Descomposición de los compuestos de azufre en la composición. Oxidación del sulfuro de hidrógeno (en cubilote).	FUSIÓN
Cloruros/HCl	Presentes como impurezas en algunas materias primas, especialmente en el carbonato sódico sintético.	FUSIÓN CONFORMADO
Fluoruros/HF	Presentes como impurezas en algunas materias primas. Presentes en las materias primas añadidas en la fabricación de algunos tipos de vidrio (filamento continuo) para mejorar la fusión o para inducir ciertas propiedades.	FUSIÓN CONFORMADO
Metales pesados	Presentes como impurezas en algunas materias primas (cascos principalmente) y en combustibles. Procedentes de materias primas utilizadas en algunas industrias y en formulaciones especiales. Procedentes de los aditivos utilizados como colorantes o decolorantes en algunos vidrios.	FUSIÓN CONFORMADO
CO <sub>2</sub>	Productos de combustión. Emitido después de la descomposición de los carbonatos.	FUSIÓN
CO	Productos de combustión incompleta, particularmente en algunos procesos.	FUSIÓN
SH <sub>2</sub>	Formado a partir de materias primas y el azufre del combustible debido a las condiciones reductoras existentes en algunas partes de, principalmente, los hornos tipo cubilote.	FUSIÓN
COVs y otras sustancias	Materias primas auxiliares orgánicas e inorgánicas para recubrimientos y otros tratamientos (fibrados, etc.)	CONFORMADO

El consumo de agua, el vertido de aguas residuales, la generación de residuos y la contaminación del suelo, son otros aspectos ambientales a considerar. En principio, presentan un menor impacto medioambiental que los anteriores, aunque su afección al medio ambiente puede ser muy variable dependiendo del subsector o del proceso. Aunque el objeto de esta guía no es la caracterización e identificación de los residuos de fabricación del vidrio, es conveniente consultar la Lista Europea de Residuos<sup>3</sup> en la que éstos se incluyen con el código 10 11 (Residuos de la fabricación del vidrio y sus derivados).

<sup>3</sup> Publicado por la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.

La contaminación acústica suele ser por regla general muy acusada dentro de las instalaciones pero no tiene por qué afectar al exterior de las mismas. Los límites establecidos por la legislación vigente son generalmente respetados.

Además de los aspectos medioambientales relacionados directamente con la producción de vidrio, las instalaciones pueden tener otros aspectos medioambientales derivados de procesos de transformación del vidrio (si se realizan en la propia planta).

### **1.3. TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA FABRICACIÓN DE VIDRIO**

#### **1.3.1. Consideraciones generales**

Como ya se ha indicado, los aspectos medioambientales más significativos de la industria vidriera son los derivados de las emisiones atmosféricas. Los relacionados con el agua y los residuos no suponen, en general, grandes impactos, aunque dependiendo del proceso pueden adquirir cierta relevancia. La industria vidriera española viene aplicando desde hace tiempo medidas tanto de carácter primario como secundario que reducen el consumo de recursos y previenen o minimizan la emisión de contaminantes.

Las técnicas o medidas de carácter primario son aquellas que evitan o reducen la formación de sustancias contaminantes en origen. Las técnicas o medidas de carácter secundario son las que actúan sobre dichos contaminantes para reducir sus consecuencias e impactos sobre el medio ambiente.

Siempre que sea posible se debe incentivar el desarrollo y la implantación de medidas primarias, ya que son las únicas que aportan auténticas soluciones para la reducción en origen de las emisiones. Las medidas secundarias deberían limitarse a los casos en que hayan sido agotadas las posibilidades de actuar sobre las causas. En muchas ocasiones, las medidas más eficaces para la minimización de emisiones no consisten en una única técnica, sino en la combinación de varias de ellas. Aunque la primera opción debe ser la adopción de medidas de tipo primario, con estas técnicas no siempre son alcanzables los valores de emisión exigidos por la legislación medioambiental, por lo que se hace necesario tomar medidas adicionales de tipo secundario.

Muchas de las técnicas descritas pueden ser aplicables a la mayoría de las instalaciones y comparten los mismos principios. No obstante, teniendo en cuenta que la fabricación del vidrio no es un proceso único, existe una amplia variedad en cuanto a los sistemas y métodos utilizados para la reducción de las emisiones. La aplicabilidad y eficiencia de estas técnicas, aunque se establecen unos criterios generales, pueden variar incluso para instalaciones que fabriquen el mismo tipo de productos basados en procedimientos parecidos, en función del tamaño del horno, de su tirada o de los combustibles utilizados.

**1.3.2. Técnicas disponibles para la reducción de emisiones en la fabricación del vidrio contenidas en el "Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Fabricación de Vidrio".**

En el Documento BREF se hace una recopilación de las técnicas de reducción de emisiones que se consideran más apropiadas en la determinación de lo que constituyen las Mejores Técnicas Disponibles, tanto en general como para una instalación determinada. De acuerdo con la primera edición del Documento BREF (2001), la industria del vidrio incluye una amplia variedad de productos, procesos y técnicas de fabricación, en los que puede usarse una amplia gama de posibilidades para la reducción de las emisiones. Sin embargo, la idoneidad y eficacia de las técnicas pueden variar significativamente de una instalación a otra.

A continuación se describen brevemente las técnicas disponibles incluidas en el Documento BREF (versión 2001) para la reducción de las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

**Tabla 1.10. Técnicas para la reducción de las emisiones a la atmósfera en la fusión incluidas en el Documento BREF**

TÉCNICA <sup>4</sup>	DESCRIPCIÓN
Selección de la técnica de fusión	Selección de la técnica de fusión a emplear en función de los siguientes factores: capacidad requerida, composición del vidrio, combustible a emplear y su precio, e infraestructuras de las que se disponga.
Fusión eléctrica	Horno de fusión con energía eléctrica. La energía para la fusión se suministra por calentamiento resistivo gracias a los flujos de corrientes eléctricas que se establecen entre distintos pares de electrodos y que atraviesan el baño de vidrio. Son hornos de cuba rectangular y suelen tener una vida media de 5-10 años.
<b>ETAPA: RECEPCIÓN, MEZCLA Y DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS</b>	
Técnicas para la manipulación de materias primas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Silos cerrados ventilados con equipos de eliminación de polvo (ej. filtros de tejido).</li> <li>▪ Si la cantidad a almacenar no requiere el uso de silos, almacenamiento de las materias primas finas en contenedores cerrados o sacos herméticos.</li> <li>▪ Almacenamiento de las materias primas polvorrientas gruesas a cubierto para evitar las emisiones transportadas por el viento.</li> <li>▪ Uso de vehículos de limpieza de calzadas y de técnicas de humidificación con agua.</li> <li>▪ Transportadores cerrados.</li> <li>▪ Sistemas de transporte neumático equipados con sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.</li> <li>▪ Adición de un porcentaje de agua en la mezcla (del 0-4%).</li> <li>▪ Control de la emisión de polvo en la zona de alimentación del horno mediante humidificación de la mezcla, creación de una ligera presión negativa dentro del horno, aplicación de aspiración que ventila a un sistema de filtro, utilización de alimentadores helicoidales cerrados y cierre de las cámaras de alimentación.</li> <li>▪ Diseño de las naves con el mínimo de aberturas y puertas y aplicación de cortinas antipolvo o sistemas de aspiración en zonas potencialmente muy polvorrientas.</li> <li>▪ En los almacenamientos de materias volátiles, mantenimiento de las temperaturas lo más bajas posibles.</li> <li>▪ Reducción de las pérdidas de los tanques de almacenamiento a presión atmosférica mediante: pintura para tanques con baja absorción solar, control de temperatura, aislamiento de los tanques, gestión de inventarios, tanque de techo flotante, sistemas de trasvase con retorno</li> </ul>

<sup>4</sup> Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas para la reducción de emisiones de tipo secundario.

TÉCNICA <sup>4</sup>	DESCRIPCIÓN	
	de vapor, tanques con techo de diafragma, válvulas de presión/vacío (cuando los tanques tengan que soportar fluctuaciones de presión), tratamientos específicos de las emisiones (adsorción, absorción, condensación), llenado subterráneo.	
<b>ETAPA: Fusión</b>		
Selección de la técnica de fusión	Selección de la técnica de fusión a emplear en función de los siguientes factores: capacidad requerida, composición del vidrio, combustible a emplear y su precio, e infraestructuras de las que se disponga.	
<b>ETAPA: Fusión</b>		
Fusión eléctrica	Horno de fusión con energía eléctrica. La energía para la fusión se suministra por calentamiento resistivo gracias a los flujos de corrientes eléctricas que se establecen entre distintos pares de electrodos y que atraviesan el baño de vidrio. Son hornos de cuba rectangular y suelen tener una vida media de 5-10 años.	
Partículas	<p>Modificación de las materias primas</p> <p>Reducción de la temperatura en la superficie del material fundido</p> <p>Posición de los quemadores</p> <p>Conversión a combustión a gas (o fuel-oil muy bajo en azufre)</p> <p>Minimización de emisiones de hornos eléctricos</p> <p>Precipitadores electrostáticos</p> <p>Filtros de mangas</p> <p>Colectores mecánicos</p> <p>Medios de filtro a alta temperatura</p>	<p>Selección de las materias primas para minimizar la generación de partículas y, si es practicable, el uso de aditivos alternativos. Se incluye la obtención y clasificación de vidrio recuperado.</p> <p>Diseño y geometría del horno para mejorar las corrientes convectivas y la transferencia de calor.</p> <p>Apoyo eléctrico para reducir la temperatura aplicando energía directamente en el material fundido y mejorando las corrientes convectivas.</p> <p>Uso de casco de vidrio, lo que reduce los requisitos de energía de fusión permitiendo trabajar a una temperatura más baja y disminuir el consumo de combustible.</p> <p>Ubicación de los quemadores de forma que se optimice la velocidad y dirección del aire de combustión, así como la velocidad y dirección del combustible.</p> <p>Utilización de gas (o fuel-oil muy bajo en azufre) como principal fuente de energía en la fusión.</p> <p>En hornos eléctricos, las emisiones de la parte superior fría pueden minimizarse reduciendo los caudales de aire y la turbulencia durante la mezcla y mediante la optimización del tamaño de gránulo y de la humedad de las materias primas.</p> <p>Consisten en una serie de electrodos de descarga de alto voltaje y los correspondientes electrodos colectores. Las partículas se cargan y son separadas seguidamente de la corriente de gas por influencia del campo eléctrico generado entre los electrodos.</p> <p>Disponen de una membrana de tejido permeable al gas pero que retiene el polvo. Inicialmente, el polvo se deposita en las fibras de la superficie y dentro del espesor del tejido, pero a medida que se acumula la capa superficial, ella misma se convierte en el medio filtrante. Es necesaria una limpieza periódica del filtro.</p> <p>Son técnicas que utilizan fuerzas mecánicas para separar el polvo de la corriente de gas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ciclones: se aplica un movimiento de giro al gas y el polvo se separa por fuerza centrífuga.</li> <li>▪ Sedimentadores por gravedad: el gas entra en una cámara grande en la que se reduce su velocidad, con lo que el polvo sedimenta.</li> <li>▪ Cámaras con pantallas: las pantallas hacen que el gas cambie de dirección y sedimente el polvo.</li> <li>▪ Celosías: bancos de pequeñas pantallas dividen y cambian la dirección del flujo de gas, haciendo que el polvo sedimente.</li> </ul> <p>Utilización de materiales en los filtros capaces de funcionar a alta temperatura. Los filtros más comunes en otras industrias son los filtros cerámicos.</p>

TÉCNICA <sup>4</sup>	DESCRIPCIÓN
Óxidos de nitrógeno	Lavadores húmedos Pueden utilizarse para controlar las emisiones gaseosas y de partículas. La recogida de partículas se produce mediante impacto por inercia, intercepción y difusión. La eliminación de gases se produce por absorción (por transferencia de materia entre un gas soluble y un disolvente en un dispositivo de contacto gas-líquido) y, en menor medida, por condensación. Es posible utilizar el agua de proceso.
	Modificaciones en la combustión Relación reducida de aire/combustible. Reducción de la temperatura del aire de combustión. Combustión por etapas. Recirculación de los gases de combustión. Quemadores de baja emisión de NO <sub>x</sub> . Elección del combustible.
	Formulación de la mezcla Reducción de los niveles de nitratos, utilizados como agentes oxidantes y de afino, hasta el mínimo compatible con los requisitos de los productos y de fusión.
	Diseños especiales para hornos Hornos de tipo recuperativo que integran diversas características previstas para permitir menores temperaturas de llama y con ello menores niveles de NO <sub>x</sub> . Ejemplos de estos hornos son: el horno de fusión Sorg LoNO <sub>x</sub> ® (bajo en NO <sub>x</sub> ), el horno de fusión flexible Flex® Melter (generalmente para aplicaciones discontinuas).
	Proceso FENIX Basado en la combinación de una serie de medidas primarias para la optimización de la combustión y la reducción del consumo de energía. La optimización de la combustión hace referencia a: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ La reducción del exceso de aire sin originar problemas de calidad del vidrio o emisiones de CO.</li><li>▪ Supresión de puntos calientes y homogeneización de temperaturas de llama.</li><li>▪ Mezcla controlada del combustible y del aire de combustión.</li></ul> Este proceso comporta una modificación completa del sistema de combustión y el uso de un nuevo tipo de inyectores sujeto a una solicitud de patente. Incluye también una revisión del sistema de control del horno y la instalación de métodos de medición de determinados parámetros del horno.
	Oxicombustión Se sustituye el aire por oxígeno (pureza > 90%) como comburente. La técnica se puede usar con fuel-oil o, más frecuentemente, con gas natural. La eliminación de la mayor parte del nitrógeno de la atmósfera de combustión reduce el volumen de los gases residuales (compuestos principalmente por CO <sub>2</sub> y vapor de agua) en un 70-85% según la pureza del oxígeno. En general, los hornos de oxicombustión tienen el mismo diseño básico que los hornos de fusión recuperativos, con quemadores laterales múltiples y un solo pórtico de escape de gases residuales.
	Proceso 3R Técnica desarrollada por Pilkington y cuyo fundamento es la incorporación de combustibles (gas natural o fuel) de forma controlada en la corriente de los gases residuales a la entrada del regenerador, permitiendo reducciones sustanciales de emisiones de NO <sub>x</sub> . En principio, esta técnica sólo es aplicable a hornos regenerativos.
	Recombustión (reburning) Consiste en reducir los NO <sub>x</sub> inyectando un combustible (generalmente gas natural) en la salida de los humos del horno, con lo que se consigue transformarlos en nitrógeno según la siguiente reacción: $\text{CH}_4 + 2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
	Reducción catalítica selectiva (SCR) Consiste en la reacción del NO <sub>x</sub> con amoniaco en un lecho catalítico a la temperatura apropiada. Hay varios catalizadores disponibles, que operan en márgenes de temperatura ligeramente distintos. Los más comunes son óxidos de vanadio y titanio impregnados sobre un sustrato metálico o cerámico, aunque también pueden usarse tamices moleculares de zeolitas en los que la reacción tiene lugar en la estructura porosa microscópica.

TÉCNICA <sup>4</sup>	DESCRIPCIÓN
Óxidos de azufre	<p>Reducción no catalítica selectiva (SNCR)</p> <p>Los óxidos de nitrógeno en el gas de combustión se reducen a nitrógeno mediante reacción a alta temperatura con amoniaco. La temperatura operativa es del orden de 800-1.100°C, pero la mayor eficacia se da alrededor de los 950°C.</p> <p>Únicamente es aplicable en hornos recuperativos, en los que no causa excesivos problemas salvo en algunos casos de composiciones especiales elaboradas a muy altas temperaturas.</p>
	<p>Selección del combustible</p> <p>Utilización de gas natural o fuel-oil de bajo contenido en azufre como principal fuente de energía en la fusión.</p>
	<p>Formulación de la mezcla</p> <p>Reducción al mínimo practicable de la utilización de materias primas que den lugar a emisiones de SO<sub>x</sub>, esto es, sulfatos (utilizados como agentes de afino y oxidantes) y, en lana de roca, escorias (cuyo uso puede minimizarse mediante el uso de residuos de proceso interno reciclado) y briquetas aglomeradas con cemento.</p>
Lavado seco o semiseco	<p>El material reactivo (el absorbente) se introduce y se dispersa en la corriente de gas residual, reaccionado con las moléculas de SO<sub>x</sub> y formando un sólido que debe ser eliminado de la corriente de gas mediante un precipitador electrostático o un filtro de mangas.</p> <p>Los absorbentes también son eficaces para eliminar otros gases ácidos, particularmente haluros (HCl y HF) y también algunos compuestos de selenio.</p> <p>En algunas aplicaciones, el absorbente se inyecta directamente en el conducto del gas residual, pero es más eficaz si se utiliza una columna de reacción (proceso seco) o una cámara de reacción (proceso semiseco).</p> <p>En el proceso seco, el absorbente es un polvo seco (normalmente Ca(OH)<sub>2</sub>, NaHCO<sub>3</sub> o Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al que puede agregarse aire para facilitar su dispersión.</p> <p>En el proceso semiseco, el absorbente (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaO o Ca (OH)<sub>2</sub>) se agrega en forma de suspensión o solución y la evaporación de agua enfria la corriente de gas.</p>
	<p>Selección de las materias primas de forma que no contengan flúor o cloro en cantidades importantes como impurezas.</p> <p>Técnicas que reducen la volatilización reduciendo la temperatura y el flujo de aire y minimizando las turbulencias:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor uso de casco de vidrio.</li> <li>• Refuerzo eléctrico.</li> <li>• Mejora en el diseño y la geometría del horno.</li> <li>• Posición de los quemadores.</li> <li>• Reducción de la relación aire-combustible.</li> <li>• Sistemas de quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub>.</li> <li>• Fusión con oxicombustión.</li> <li>• Fusión eléctrica.</li> </ul>
Fluoruros (HF) y cloruros	<p>Formulaciones de mezcla sin adición de fluoruros (aplicable a filamento continuo)</p> <p>La producción de filamento continuo requiere la adición de fluoruro para optimizar la tensión superficial y las propiedades de liquidez, para facilitar el fibrado y minimizar las roturas de los filamentos.</p> <p>Algunas empresas han desarrollado la metodología para utilizar formulaciones de mezcla sin fluoruros. La optimización de estas técnicas puede requerir modificaciones en el diseño del horno.</p>
Fusión en hornos eléctricos de parte superior fría (aplicable a vidrios opales: vidrio doméstico, tubo de vidrio y vidrio para envases)	<p>En este tipo de horno se reducen las emisiones ya que globalmente se necesita menos fluoruro y una parte considerable de éste se absorbe en la capa superficial de la mezcla. Asimismo, el uso de la fusión eléctrica reduce notablemente el volumen del gas residual a tratar.</p>

TÉCNICA <sup>4</sup>		DESCRIPCIÓN
	Técnicas de lavado	Las principales técnicas de lavado aplicables a las emisiones de HF y HCl son el lavado seco y semiseco. El lavado húmedo puede ser técnica y económicamente viable en procesos a muy pequeña escala, utilizando un lavador de lecho lleno con circulación de agua o preferiblemente una solución alcalina. El principal inconveniente es que se genera una corriente acuosa residual.
Óxidos de carbono	Sistema de postcombustión (aplicable a cubilotes de lana de roca)	Instalación de un sistema de postcombustión para oxidar las emisiones de CO antes de su liberación a la atmósfera.
	Sustitución de los carbonatos como materias primas	Los carbonatos, que originan emisiones de CO <sub>2</sub> , son las principales fuentes de óxidos de metales alcalinos y alcalinotérreos, siendo las únicas fuentes alternativas de estos óxidos los residuos de consumo y los residuos de proceso. Esto es vidrio recuperado para los procesos de vidrio, y residuos de proceso, productos reciclados y escoria (sólo en lana de roca) para lanas minerales.

En cuanto a las técnicas relativas a las etapas de conformado y posteriores, se incluyen las siguientes, diferenciadas por subsectores<sup>5</sup>:

**Tabla 1.11. Técnicas para la reducción de las emisiones a la atmósfera en otras operaciones incluidas en el Documento BREF**

ETAPA: CONFORMADO, RECOCIDO/TEMPLADO/SECADO/POLIMERIZADO, EMBALAJE Y EXPEDICIÓN		
Subsector	Proceso	Descripción de la técnica
Vidrio hueco	Aplicación de capas/recubrimiento en caliente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Minimización del uso de recubrimiento de forma compatible con las especificaciones del producto.</li> <li>▪ Asegurar una buena hermeticidad de las zonas de aplicación de recubrimientos para minimizar las pérdidas.</li> <li>▪ Tratamiento de los gases residuales:</li> <li>▪ Extracción y emisión directamente a la atmósfera, asegurando una buena dispersión (a utilizar sólo si las emisiones son muy bajas).</li> <li>▪ Extracción y tratamiento con técnicas secundarias como lavado húmedo.</li> <li>▪ Combinación del gas residual de este proceso con el gas residual del horno, aplicando una técnica de tratamiento secundaria al conjunto.</li> <li>▪ Combinación del gas residual con el aire de combustión del horno.</li> </ul>
Vidrio plano	Aplicación de capas en línea	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las emisiones del proceso de aplicación de capas en línea son muy específicas de cada caso, aunque, en general, se pueden controlar con una combinación de las siguientes técnicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo de eliminación de polvo, filtro de mangas o precipitador electrostático, combinados o no con lavado seco.</li> <li>- Lavado químico húmedo.</li> <li>- Oxidación a alta temperatura, incineración térmica o similar.</li> </ul> </li> </ul>
Filamento continuo	Aplicación del recubrimiento de los hilos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Selección de materiales de recubrimiento con bajos niveles de disolventes orgánicos.</li> <li>▪ Sistemas de lavado húmedo para controlar el gas residual (en este caso, el efecto sobre las sustancias volátiles estará limitado a la condensación).</li> <li>▪ Precipitadores electrostáticos (no se conocen ejemplos).</li> </ul>

<sup>5</sup> Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas para la reducción de emisiones de tipo secundario.

ETAPA: CONFORMADO, RECOCIDO/TEMPLADO/SECADO/POLIMERIZADO, EMBALAJE Y EXPEDICIÓN		
Subsector	Proceso	Descripción de la técnica
Filamento continuo	Secado del aglomerante	Selección de materias (optimización de la formulación del recubrimiento).
	Corte y molienda	Las emisiones de polvo pueden tratarse fácilmente mediante su aspiración a un sistema de filtro.
	Procesos secundarios	En los procesos secundarios se pueden usar otros materiales de recubrimiento o aglomerantes. Las emisiones, específicas de cada caso, pueden tratarse con técnicas de eliminación estándar para COV y trazas de gases.
Vidrio doméstico	Corte	El agua se utiliza para evitar emisiones de polvo en las operaciones de corte. Si estas actividades se realizan sumergidas en un refrigerante líquido puede haber aspiración para eliminar la neblina de refrigerante. Si se realizan operaciones de corte o esmerilado en seco, el polvo puede extraerse y pasarse a través de un sistema de filtro eficaz.
	Pulido	De la superficie del baño de pulido, compuesto por ácido fluorhídrico y sulfúrico, se desprenden vapores de HF y SiF <sub>4</sub> que se tratan con lavado húmedo, con agua o con una solución química.
Tubo de vidrio	Corte, esmerilado y pulido en seco	Las emisiones de las operaciones de corte, esmerilado o pulido en seco pueden controlarse mediante un filtro de mangas.
Lana mineral	Zona de moldeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Chorros de impacto con ciclones: en lana de vidrio y en algunas instalaciones de lana de roca se pulveriza agua en el conducto de aspiración y en el ventilador de la correa de recogida a donde se dirige la fibra recubierta de resina. Los chorros de impacto se combinan con ciclones. Con ello se previene la acumulación de material en el conducto y se eliminan algunos componentes gaseosos y partículas de la corriente de gas.</li> <li>▪ Lavado húmedo para controlar las emisiones gaseosas y de partículas.</li> <li>▪ Precipitadores electrostáticos húmedos, en los que el material recogido se elimina de las placas colectoras mediante un líquido adecuado (generalmente agua), de forma intermitente o mediante irrigación por rociado continuo.</li> <li>▪ En lana de roca pueden usarse filtros de planchas de lana de roca que consisten en una estructura de acero o cemento en la que planchas de lana de roca montadas en cajas actúan como medio de filtración. Tienen una buena eficacia de eliminación de partículas y gotas de aglomerante, pero mala en el caso de compuestos gaseosos.</li> </ul> <p>Optimización de la composición química del sistema de aglomerante y de la eficacia del método de aplicación.</p>
	Horno de polimerización	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Chorros de impacto y ciclones.</li> <li>▪ Lavadores húmedos.</li> <li>▪ Precipitadores electrostáticos húmedos.</li> <li>▪ Incineración térmica de los gases residuales (destruye los compuestos orgánicos mediante oxidación térmica, dando CO<sub>2</sub>, agua, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y otros productos de combustión).</li> </ul>
	Enfriamiento del producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de filtro para eliminar polvo en combinación con una velocidad de evacuación y altura suficiente para evitar olores a nivel del suelo.</li> <li>▪ Sistema de lavado húmedo (por ejemplo, tipo Venturi) en combinación con una dispersión adecuada.</li> <li>▪ Combinación del aire de enfriamiento con el sistema de tratamiento de gas residual de la zona de moldeo o del horno de polimerización.</li> </ul>
	Mecanización y embalaje del producto	Las emisiones de polvo de las operaciones de recorte, corte y rajado del producto pueden ser recogidas con un sistema de aspiración pasando luego por un filtro de mangas.
	Emisión de olores	<p>En los hornos de fusión eléctricos de parte superior fría la generación de olores puede minimizarse mediante la adición de agentes oxidantes o con el pretratamiento de la fibra.</p> <p>Los casos de olores pueden reducirse mediante un buen mantenimiento y limpieza del horno.</p>

ETAPA: CONFORMADO, RECOCIDO/TEMPLADO/SECADO/POLIMERIZADO, EMBALAJE Y EXPEDICIÓN		
Subsector	Proceso	Descripción de la técnica
Lana mineral		<p>En la fusión en cubilote, la emisión de sulfuro de hidrógeno, de fuerte olor, puede solucionarse mediante su combustión en un sistema de postcombustión que también se encarga de otras emisiones olorosas. Los casos de olores pueden reducirse mediante sistemas de lavado húmedo, una dispersión adecuada y previsión para la rápida extinción de los incendios en el horno. La incineración de los gases residuales del horno de polimerización es una solución muy eficaz.</p> <p>En la zona de moldeo, las emisiones de olores, si existen, pueden eliminarse mediante lavado y dispersión adecuada, o incluso mediante lavado húmedo utilizando un agente oxidante.</p>

Entre las técnicas para el control de las emisiones al agua, el Documento BREF (versión 2001) incluye las siguientes<sup>6</sup>:

**Tabla 1.12. Técnicas para el control de las emisiones al agua incluidas en el Documento BREF**

SUBSECTOR	DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas de refrigeración cerrados y minimización de las purgas</li> <li>▪ Buenas prácticas estándar para controlar las emisiones del almacenamiento de materias primas líquidas: existencia de depósitos de contención de tamaño adecuado, inspección/ensayo de los tanques y recintos de contención, protección contra rebosé, posición de los respiraderos y puntos de llenado dentro del recinto y otros elementos de contención</li> <li>▪ Técnicas estándar de control de la contaminación: sedimentación, cribado, separadores de aceite, neutralización y vertido a los sistemas municipales de alcantarillado.</li> </ul>
Lana de vidrio	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utilización de sistemas de agua de proceso de circuito cerrado y, cuando sea factible, incorporación al mismo de las purgas de agua de refrigeración, las aguas de limpieza y los vertidos de aglomerante.</li> <li>▪ Inclusión de un tanque de retención que albergue las sobrecargas de volumen, que luego pueden reintroducirse en el sistema.</li> <li>▪ Diseño de sistemas que minimicen el riesgo de contaminación de los circuitos de agua limpia por el agua de proceso, por ejemplo, haciendo que los conductos de agua limpia sean herméticos</li> </ul>
Filamento continuo	<p>Utilización de procedimientos de manipulación cuidadosos, particularmente en la zona de preparación del aglomerante, para evitar que éste contamine el agua.</p> <p>Tratamiento físico/químico o biológico del efluente.</p>
Tubo de vidrio	<p>Tratamiento físico/químico o biológico del efluente.</p>
Vidrio doméstico (vidrio al plomo y vidrio de cristal)	<p>El agua utilizada en las operaciones de corte, conteniendo auxiliares de corte y partículas de vidrio finas, puede tratarse con técnicas estándar de separación de sólidos.</p> <p>Tras su inmersión en ácido, el vidrio tiene una capa de sulfato de plomo en la superficie que se lava con agua caliente. Este efluente, ácido y con contenido en sulfato de plomo soluble, puede tratarse con una combinación de técnicas químicas y físicas: el sulfato de plomo puede hacerse reaccionar para precipitar el plomo, que puede eliminarse mediante coagulación y floculación, seguidas de una separación física. El residuo ácido de los lavadores húmedos requiere su neutralización antes de ser vertido.</p>

Entre las técnicas para minimizar la generación de residuos, el Documento BREF (versión 2001) incluye técnicas que se incluyen en la Tabla 1.13<sup>7</sup>:

<sup>6</sup> Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas de tipo secundario.

<sup>7</sup> Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas de tipo secundario.

**Tabla 1.13. Técnicas para la minimización de residuos incluidas en el Documento BREF**

RESIDUO	DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA
Residuos de materias primas	Si los requisitos de calidad lo permiten, pueden reciclarse al proceso.
Polvo recogido de las corrientes de gas residual	Si los requisitos de calidad lo permiten, pueden reciclarse al proceso.
Material de fusión no convertido en producto	Generalmente se enfriá y fragmenta el material fundido en agua y luego se usa el vidrio de desecho formado de esta manera directamente como materia prima (en lana de roca no se puede usar este vidrio en la mayoría de los casos).
Producto de desecho (material no conforme con las especificaciones, recortes de bordes, producto de desecho de cambios o roturas y muestras de las pruebas de calidad)	<p>Minimización de su generación, por ejemplo, reduciendo los recortes de los bordes al mínimo tamaño.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En general, pueden ser reciclados en el proceso, ya sea directamente o con un tratamiento previo como en el caso de las lanas minerales.</li> <li>▪ En lana de vidrio, los residuos fibrosos pueden ser procesados y vendidos como lana de soplado.</li> <li>▪ En filamento continuo no suele ser posible el reciclado de desechos de hilos al horno debido a los altos requisitos de calidad del producto.</li> </ul>
Residuos sólidos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales	Generalmente se envían a vertedero.

Por último, el Documento BREF (versión 2001) incluye las siguientes técnicas disponibles dirigidas al ahorro y la eficiencia energética<sup>8</sup>:

**Tabla 1.14. Técnicas para el ahorro y la eficiencia energética incluidas en el Documento BREF**

TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
Técnica de fusión y diseño del horno	La elección de la técnica de fusión y el diseño del horno tiene gran efecto sobre la eficiencia energética. Así, se debe elegir un horno en función del ritmo de producción deseado y de los costes asociados de inversión y operación a lo largo de su vida, siendo uno de los más importantes el coste energético.
Control de combustión y elección de combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aunque el combustible tradicional en la industria del vidrio ha sido el fuel-oil, en los últimos años se ha extendido y generalizado el uso de gas natural, cuya llama es menos radiante, generando un mayor consumo de energía. No obstante, a medida que aumenta la experiencia con la combustión a gas, pueden alcanzarse niveles que se acercan a los de combustión de fuel-oil.</li> <li>▪ Sistemas de quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub>, que reducen la cantidad de aire de combustión hasta niveles casi estequiométricos, perdiéndose menos energía en el gas residual.</li> <li>▪ Enriquecimiento con oxígeno del aire de combustión, reduciéndose los volúmenes de gas y aumentando la temperatura de llama, con lo que se mejora la eficacia energética (debe formar parte de un sistema global controlado de combustión de bajo nivel de NO<sub>x</sub>).</li> </ul>
Uso de casco de vidrio	Reduce significativamente el consumo de energía y su uso generalmente es aplicable a todos los tipos de hornos.
Caldera de recuperación	Los gases residuales pasan directamente a través de una caldera tubular con el fin de generar vapor que puede usarse para calefacción de espacios, calentamiento de fuel-oil almacenado y de conductos o para producir electricidad.
Precalentamiento de la mezcla y del casco de vidrio	Utilizando el calor residual de los gases residuales para precalentar la mezcla y el casco de vidrio pueden obtenerse considerables ahorros de energía.

<sup>8</sup> Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas de tipo secundario.

## 1.4. OTROS DOCUMENTOS BREF RELACIONADOS CON LA INDUSTRIA DEL VIDRIO

Además del Documento BREF de la industria del vidrio, existen una serie de documentos BREF transversales que pueden ser utilizados en la industria del vidrio:

- Documento de referencia sobre la aplicación de las MTD en los sistemas de Refrigeración Industrial (Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems. Diciembre, 2001)<sup>9</sup>.
- Documento de Referencia de principios generales de monitorización (Documento BREF) (2003)<sup>10</sup>.
- Documento de referencia sobre la aplicación de las MTD para el Tratamiento de superficies con disolventes (Draft Reference Document on Best Available Techniques to Surface Treatments using organic solvents. 2º borrador, septiembre, 2005)<sup>11</sup>.
- Documento de referencia sobre la aplicación de las MTD respecto a las emisiones generadas por el Almacenamiento (Reference Document on the application of Best Available Techniques to emissions from storage of bulk or dangerous materials. Finalizado aunque pendiente de IEF. Enero, 2005)<sup>12</sup>.
- Documento de referencia sobre la aplicación de las MTD sobre Técnicas de Eficiencia energética (Reference Document on the application of Best Available Techniques to energy efficiency. En elaboración - el grupo de trabajo se ha reunido por primera vez. Mayo 2005)<sup>13</sup>.
- Documento de referencia sobre la aplicación de las MTD en el Sector del Tratamiento de residuos (Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries. Agosto, 2005)<sup>14</sup>.

<sup>9</sup> Disponible en <http://www.eper-es.com>.

<sup>10</sup> Disponible en <http://www.eper-es.com>

<sup>11</sup> Disponible en <http://eippcb.jrc.es>.

<sup>12</sup> Disponible en <http://eippcb.jrc.es>.

<sup>13</sup> Disponible el Informe de la primera reunión del grupo de trabajo en <http://eippcb.jrc.es>.

<sup>14</sup> Disponible en <http://eippcb.jrc.es>



## 2. *Características y mejores técnicas disponibles de los subsectores de fabricación del vidrio en España*

### **SECCIÓN 1. *Vidrio hueco***

#### **1. INTRODUCCIÓN**

Dentro de la denominación de vidrio hueco, se incluye la fabricación de envases de vidrio (botellas, tarros y frascos), aisladores, bombillas y moldeados de vidrio. Las principales características de esta industria son:

- Productivas: La producción es de tipo continuo, por exigencias de la propia fusión y homogeneización del vidrio para un tratamiento automático del proceso de moldeo, precisando de una gran regularidad de funcionamiento. Únicamente se producen paradas cuando los hornos se encuentran agotados por el desgaste sufrido durante la campaña.
- Tecnológicas: Las empresas vidrieras españolas se encuentran al mismo nivel que las del resto de los países en materia tecnológica, pudiendo competir con ellas tanto por la modernidad de los equipos como por el grado de automatización de los procesos. No existen tecnologías alternativas en la fabricación automática de envases de vidrio, y sólo se observan pequeñas diferencias en cuanto al tipo de horno y al proceso de moldeo. Además, la tecnología suele proceder de grupos especializados a los que hay que adquirir el equipamiento, que cuenta con todas las acreditaciones y garantías.
- Financieras: La industria de envases de vidrio es intensiva en capital. El gran volumen de inversión requerido para arrancar la actividad, unido a una recuperación lenta y paulatina, que supone un margen estrecho por unidad de producto, hace necesaria una especial consideración hacia la inversión y la programación de las campañas.
- Temporales: La duración de un horno es de 10 a 12 años, a partir de los que se debe proceder a su reparación total o sustitución por uno nuevo. Es exclusivamente al finalizar este período cuando se pueden incorporar al proceso las modificaciones necesarias para adecuarse a las cambiantes condiciones del mercado.
- Energéticas: La fabricación de envases de vidrio consume una elevada cantidad de energía, que puede variar entre el 20% y 30% de los costes de producción. De esta circunstancia se derivan dos consecuencias: que su reducción es en todo momento un objetivo prioritario y que cualquier incremento del coste del combustible tiene un fuerte reflejo en el precio de venta.

El sector de vidrio hueco español tiene una estructura muy similar a la de otros países fabricantes: fuerte concentración de capital en pocos grupos empresariales de un nivel tecnológico equiparable al resto de países de nuestro entorno, junto a empresas de pequeño y mediano tamaño, más dispersas y con un nivel tecnológico medio-bajo. El sector de vidrio hueco está agrupado principalmente en dos asociaciones: ANFEVI (Asociación Nacional de

Empresas de Fabricación Automáticas de Envases de Vidrio) y Asociación de Fabricantes de Vidrio Hueco. Ambas pertenecen a Vidrio España.

Las principales características de la industria de vidrio hueco en España son:

**Tabla 2.1.1. Características de las empresas españolas fabricantes de vidrio hueco**

Nº de empresas	11
Nº de centros de producción	20
Facturación (€/año)	776.845.000
Mano de obra total ocupada	4.106
Producción total de vidrio fundido (t/año)	2.572.974

Fuente: Vidrio España (2004).

Las empresas tienen entre 1 y 6 centros productivos. Cada instalación o centro productivo dispone de 1, 2 ó 3 hornos. En total hay 40 hornos. Cada centro productivo emplea de 100 a 350 trabajadores.

El sector del vidrio hueco en España es importante, con una aportación directa al PIB del 0,11%. Se caracteriza por ser una actividad netamente exportadora, cerca del 13% de la producción europea de envases de vidrio es de origen español.

**Tabla 2.1.2. Mercado europeo de envases (en toneladas)**

Alemania	4.207.713
Francia	3.772.469
Italia	3.542.486
España	2.096.466
Reino Unido	1.898.745
Portugal	984.814
Otros (Bélgica, Holanda, Irlanda, Dinamarca, Noruega, Suecia, Finlandia, Grecia, Austria, Suiza y Turquía)	2.459.336
<b>TOTAL</b>	<b>18.962.029</b>

Fuente: ANFEVI, Vidrio España y FEVE (2003).

El sector aumentó su capacidad de producción en un 60% en el período 1990-2002 y estima que va a continuar con esta tendencia, creciendo alrededor del 4,8% al año.

El mercado del vidrio hueco se encuentra muy vinculado a la industria agroalimentaria, sobre todo a la de bebidas y tarros de alimentos, así como a la industria de perfumes y envases especiales como los destinados a determinados fármacos. La principal característica es que los envases de vidrio cumplen con los principales requisitos de envasado de todas estas industrias que los usan.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

Dentro del vidrio hueco pueden diferenciarse, a su vez, distintos grupos según el producto fabricado: envases (botellas, tarros y frascos), vidrio para iluminación, moldeados y aislantes. El proceso de fabricación de todos estos tipos de vidrio es muy similar y sigue el esquema general expuesto en la siguiente figura:

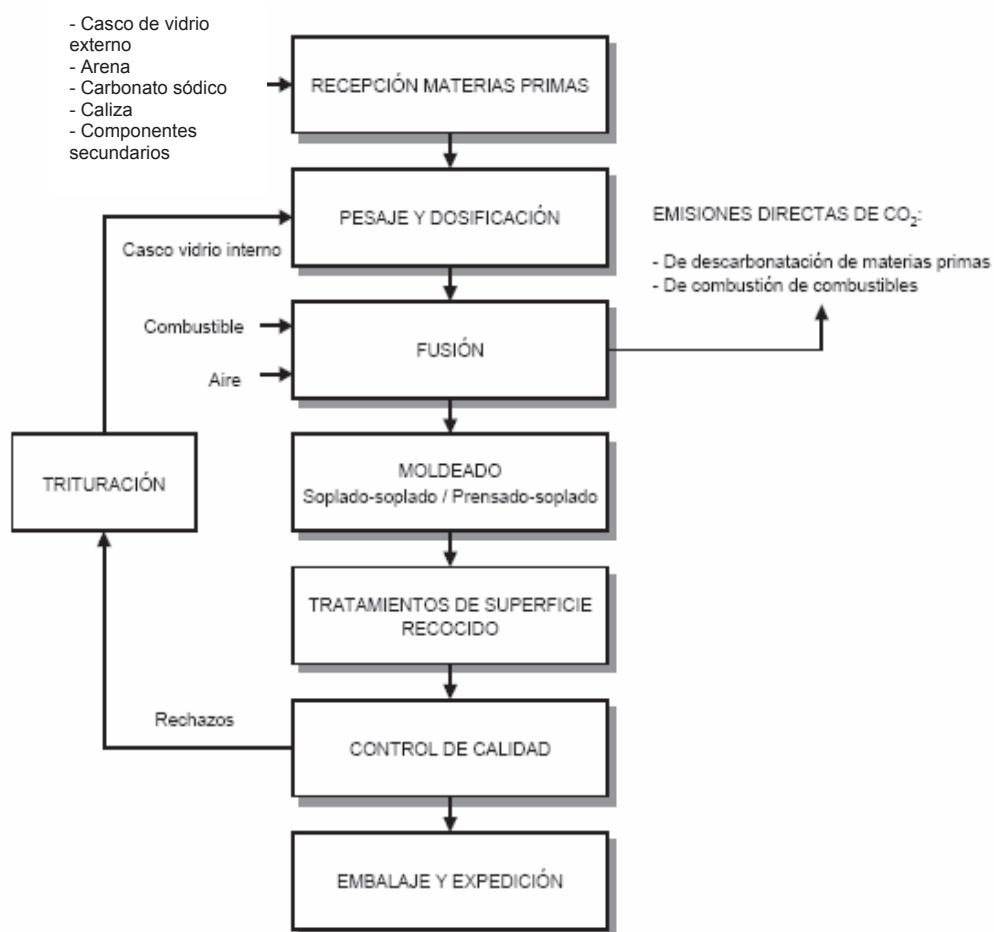


Figura 2.1.1. Proceso tipo de fabricación de vidrio hueco.

El proceso de fabricación del vidrio hueco comienza con la descarga en los silos de recepción de las materias primas (arena, carbonato sódico, caliza y componentes secundarios), desde los cuales son trasladadas a los silos de almacenamiento. Seguidamente se realiza el pesaje automático de las cantidades exactas de las materias primas mediante básculas electrónicas, lográndose la mezcla adecuada que alimentará el horno de fusión y que se denomina mezcla vitrificable.

Esta mezcla es sometida a un proceso de fusión en continuo en hornos a una temperatura por encima de los 1.500 °C. En la siguiente tabla, se muestran los tipos de hornos utilizados en la fusión del vidrio hueco y el número de hornos de cada tipo existentes:

**Tabla 2.1.3. Tipos y número de hornos**

TIPO DE HORNO	NÚMERO
Llama de bucle:	
Recuperativos	3
Regenerativos	29
Llama transversal:	
Recuperativos	3
Regenerativos	5

Fuente: Vidrio España (2005).

Las etapas de conformado, enfriamiento, transformación, tratamientos posteriores, acabados, etc., son específicas de cada tipo de vidrio hueco.

## 2.1. Conformado

El proceso de conformado se produce a través de moldes de diversos tipos. Aunque depende del producto, en general el grado de automatización del vidrio hueco es muy alto.

Una característica común de los diferentes procesos de conformado es el sistema de alimentación por medio de gotas de vidrio; el vidrio fundido procedente del horno pasa al alimentador a través de un canal de material refractario. Al pasar por estos canales, el vidrio se enfriá algunas decenas de grados en su primer tramo y luego sigue avanzando, calentado por una serie de quemadores que lo mantienen a una temperatura constante hasta su descarga en los moldes a través del alimentador de gota.

Estos sistemas de alimentación permiten suministrar una serie continua de gotas de vidrio fundido, iguales en peso y en forma entre sí, a la máquina formadora. El control de la forma, el peso y la velocidad de goteo, dependen de la viscosidad. Por ello, el control de la temperatura debe de ser muy riguroso. El mantenimiento de la temperatura se consigue aportando energía, bien eléctrica (en el caso de producciones especiales), bien mediante la combustión de gas natural o propano.

Antes de describir los diferentes procesos de conformado existentes en la industria española es preciso hacer las siguientes consideraciones:

- En primer lugar, su condición de proceso continuo. Un horno trabaja de forma ininterrumpida durante la campaña, que viene a ser del orden de 10 años, las 24 horas del día, los 365 días del año.
- En segundo lugar, la uniformidad de los procesos. No existen tecnologías alternativas en la fabricación de envases de vidrio. Únicamente pueden observarse pequeñas diferencias en cuanto al tipo de horno y el proceso de moldeo.
- En tercer lugar, la tecnología suele proceder de suministradores especializados, a los que se adquiere el equipamiento.

### 2.1.1. Proceso de fabricación de envases: soplado-soplado y prensado-soplado

Desde el punto de vista del mercado, en los envases de vidrio hay que distinguir los envases estándar (generalmente botellas, frascos y tarros) de los personalizados con diseños especiales dirigidos a nichos de mercado como la perfumería. En todo caso, el conformado en la fabricación automática de envases se ajusta a uno de estos dos procesos, que a su vez pueden ser a gota simple, doble, triple o cuádruple:

### Soplado-soplado

El proceso de soplado-soplado puede dividirse en las siguientes etapas:

- **Etapa 1.** Las gotas de vidrio caen del canal de alimentación y son recogidas por un conducto móvil que, siguiendo un orden determinado, las conduce sucesivamente hacia cada uno de los moldes preliminares de la máquina.
- **Etapa 2.** Éstos, colocados en posición invertida, reciben la gota y a continuación son obturados por una cabeza sopladora que inyecta un breve golpe de aire para facilitar la penetración de la gota hasta el fondo del premolde, al mismo tiempo que un punzón situado en la parte inferior forma la boca de la botella. Esta prebotella se denomina "paresón".
- **Etapa 3.** Se abre el premolde y un brazo mecánico toma el paresón por su boca y lo transfiere, invirtiendo su posición, al molde de acabado. El molde y su contenido reciben un nuevo soplado para la forma definitiva y se enfrián lo suficiente para evitar cualquier deformación de la pieza que pudiera producirse a su salida del molde.
- **Etapa 4.** Se abre el molde y la botella terminada se coloca sobre la cinta transportadora que la conduce al archa de recocido, tras el depósito de un recubrimiento que mejora sus propiedades.

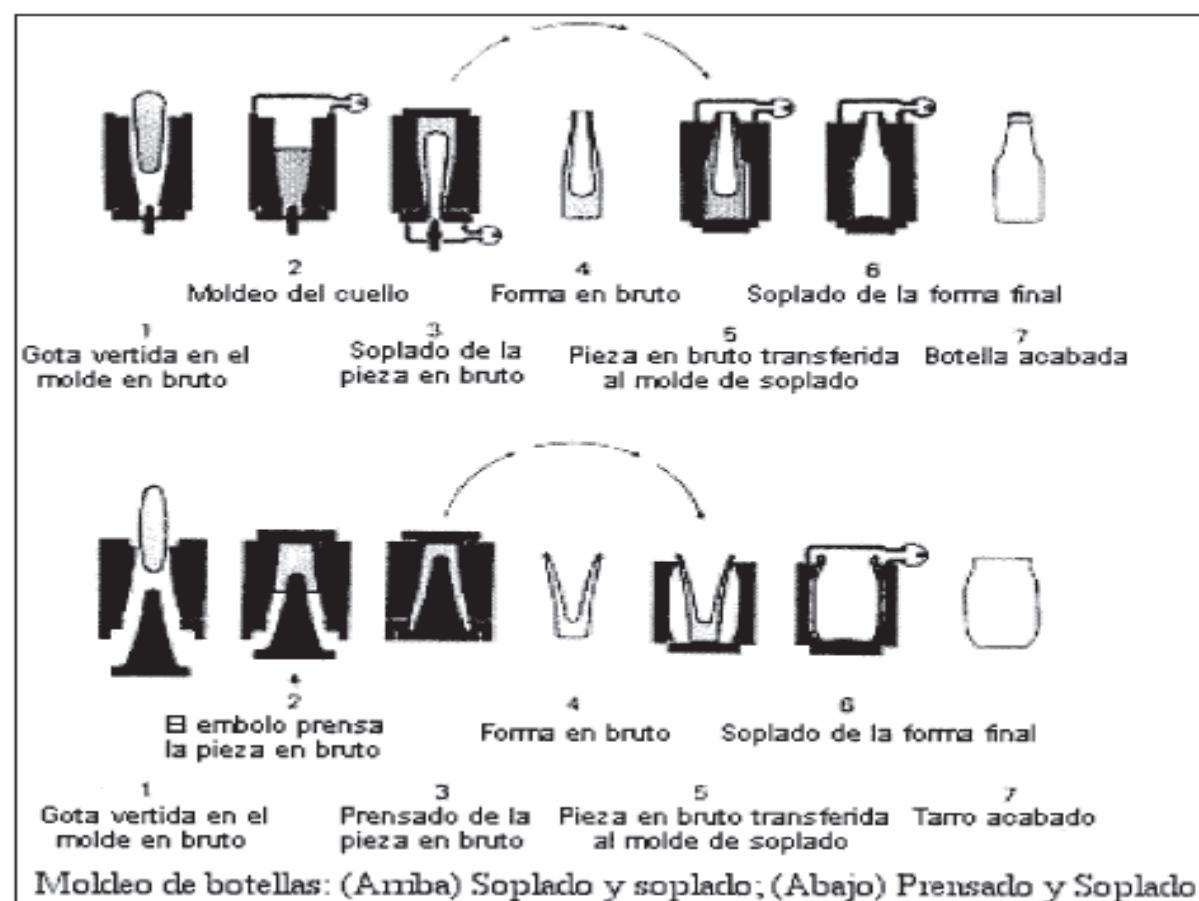


Figura 2.1.2. Moldeo por prensado-soplado y por soplado-soplado

Fuente: "Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Fabricación del Vidrio. Documento BREF", Ministerio de Medio Ambiente, 2004.

### **Prensado-soplado**

La diferencia con respecto al proceso anterior está en que en la primera etapa, el vidrio se ajusta al molde por la acción de un punzón de dimensiones predeterminadas en lugar de mediante soplado. De este modo se posibilita un reparto uniforme del vidrio y consecuentemente unos espesores de las paredes del envase muy precisos.

#### **2.1.2. *Otros procesos de conformado***

El prensado parte de unos principios mecánicos similares. El proceso consiste en depositar la gota sobre un molde, comprimirla con la parte superior del molde y abrir éste cuando el vidrio ya está rígido.

El centrifugado se emplea para obtener artículos huecos de simetría axial (platos, fuentes) o bien para la obtención de piezas de gran diámetro o piezas de vidrio decorativo, debido a la mejor calidad de la superficie resultante.

### **2.2. Moldes**

Los moldes utilizados en las máquinas automáticas de la industria del vidrio hueco han alcanzado un alto grado de perfección, tanto en sus tolerancias dimensionales como en el acabado de sus superficies.

Actualmente, los moldes suelen realizarse por terceros, aunque la mayoría de las fábricas cuentan con talleres para el mantenimiento y reparación de los mismos. Su elevado coste hace que deban recibir un mantenimiento especial que prolongue su vida útil.

### **2.3. Recocido**

Después del moldeo, el vidrio se somete a un proceso de enfriamiento y recocido, etapa crítica ya que se requiere que el vidrio pase de un estado plástico a uno rígido con la suficiente lentitud para que su estructura se relaje de forma uniforme y adquiera en todos sus puntos el mismo volumen específico. Este proceso implica la eliminación de las tensiones mecánicas, normalmente introducidas en el proceso de conformado.

### **2.4. Tratamientos superficiales**

Durante la fabricación de las piezas de vidrio, se aplican diversos tratamientos para mejorar su comportamiento mecánico previniendo la aparición de microfisuras en la superficie producidas por el roce entre piezas o con otros elementos externos. Estos tratamientos superficiales se aplican a la salida de la máquina de conformado ("en caliente"), a la salida del archa de recocido y antes del proceso de control y empaquetamiento ("en frío"). Se emplean precursores de óxidos de estaño y titanio en caliente y ácidos oleicos y parafinas, aplicados mediante pulverización de una suspensión acuosa en frío.

### **2.5. Otras operaciones de acabado**

En el siguiente cuadro se resumen algunas de las principales operaciones típicas de los terminados y acabados:

**Tabla 2.1.4. Operaciones de acabado en vidrio hueco**

TERMINADO	CARACTERÍSTICAS
MECÁNICO	Tallado. Esmerilado.
PULIDO	Utilización de diferentes abrasivos en función del producto, tales como óxido de cerio, óxidos férricos, etc.
SOLDADURA	Proceso térmico para la unión de diferentes piezas que conforman un producto.
GRABADOS AL ÁCIDO	Distintos acabados como el mateado, vidrios translúcidos, satinados, etc. Suelen emplearse distintas concentraciones de diferentes ácidos y sus mezclas: ácido fluorhídrico, soluciones de fluoruros ácidos, fluoruro de amonio, ácido sulfúrico, etc...
DECORADOS	Diversos recubrimientos y tratamientos para decorados: esmaltes, metalizados, recubrimientos con capas plásticas protectoras y recubrimientos de óxidos (Sn y Ti) utilizados en envases de vidrio.
TEMPLADOS	Templados térmicos. Templados químicos.

En este tipo de operaciones suelen generarse gran cantidad de residuos sólidos.

## 2.6. Controles

Un alto porcentaje de las inversiones realizadas por la industria vidriera se destinan a garantizar la calidad por el control unitario automático de la totalidad de las piezas fabricadas. Mediante sistemas electrónicos en continuo se verifican las diferentes características, en particular, control de la boca, homogeneidad del espesor y existencia de grietas, piedras y/o burbujas.

Además, existe un control muestral que permite conocer en cada instante la distribución estadística de otras propiedades como resistencia a la presión interna, resistencia al rayado y ángulo de desligamiento.

## 2.7. Embalado

El proceso termina con el embalaje automático de las paletas retractiladas que se distribuyen al mercado.

### 3. NIVELES ACTUALES DE EMISIONES Y CONSUMOS DE ENERGÍA Y MATERIAS PRIMAS

La fabricación de vidrio hueco es una actividad caracterizada por un importante consumo energético. La etapa con mayor incidencia medioambiental es la fusión. También el consumo de materias primas es un hecho relevante, si bien el porcentaje de casco de vidrio que se recicla es cada vez mayor, con el consecuente ahorro en el consumo energético y de materias primas.

En la siguiente tabla se resumen los principales aspectos medioambientales de los procesos de fabricación del vidrio hueco:

**Tabla 2.1.5. Aspectos ambientales fabricación del vidrio hueco**

Etapa	Categoría de Aspectos Ambientales	Aspectos Medioambientales
Recepción, Molienda y Mezcla de Materias Primas	Consumo Recursos	<u>Materias primas</u> : arena, carbonatos, sulfatos, casco de vidrio, componentes minoritarios (óxido de hierro, óxido de cromo, dicromato de potasio, cromita, óxido de cobalto, sulfato de sodio, carbón) <u>Gases para el proceso</u> : oxígeno (en caso de que se utilice). <u>Agua</u> : humidificación, mezclas y lavado (si existe). <u>Energía</u> : eléctrica (mezcladoras, transportadores, pesada, clasificación).
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación de aguas	Aguas residuales de lavado con metales (si existe)
	Residuos	Derrames, pérdidas, rechazos, envases y embalajes, partículas de los sistemas de aspiración.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Fusión	Consumo Recursos	<u>Agua</u> : refrigeración de hornos. <u>Energía</u> : combustible empleado para fusión (75-80% total del proceso). Apoyo eléctrico.
	Contaminación atmosférica	Partículas, $SO_x$ , $CO_2$ , $NO_x$ , metales pesados (impurezas), HF, HCl, CO.
	Contaminación de aguas	Aguas residuales procedentes de purgas y pérdidas de los sistemas de refrigeración que contienen sales disueltas y sustancias para el tratamiento del agua.
	Residuos	Polvos de los conductos (sulfatos y otros), residuos de refractarios, restos de vidrio, infundidos, desmantelamiento de hornos.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Conformado + Enfriamiento (recocido, otros) + Transformación	Consumo Recursos	<u>Materias primas y auxiliares</u> : para tratamientos en caliente y en frío (tetracloruro de estaño y polietilenos). <u>Agua</u> : refrigeración. <u>Energía</u> : Normalmente consumo de energía eléctrica o combustibles fósiles (gas).
	Contaminación atmosférica	Vapores, emisiones difusas: HCl, HF, compuestos de Sn (gas y partículas).
	Contaminación de aguas	Aguas residuales con restos de vidrio, partículas, algo de aceite, sustancias para el tratamiento de aguas. Purgas, pérdidas.
	Residuos	Casco recicitable, derrames y pérdidas, residuos de recubrimientos superficiales, etc.
	Ruido	Emisiones de ruidos.

Etapa	Categoría de Aspectos Ambientales	Aspectos Medioambientales
Embalaje y Almacenamiento	Consumo Recursos	<u>Energía:</u> energía eléctrica.
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación de aguas	Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, etc.
	Residuos	Envases y embalajes de materias primas, rechazos, derrames, pérdidas.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Operaciones de mantenimiento y limpieza	Consumo Recursos	<u>Energía:</u> energía eléctrica. Materias auxiliares (aceites y grasas)
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación de aguas	Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, aceites, otros.
	Residuos	Rechazos y derrames en general, lodos de depuradoras, aceites, etc.
	Ruido	Emisiones de ruidos.

### 3.1. Consumo de recursos: materias primas, agua y energía

#### 3.1.1. Consumo de materias primas

En el siguiente cuadro, se recogen las materias primas utilizadas mayoritariamente en la fabricación de vidrio hueco:

**Tabla 2.1.6. Materias primas utilizadas en la fabricación de vidrio hueco**

CONSUMOS	CARACTERÍSTICAS	CUANTIFICACIÓN (%)	OBSERVACIONES
Materias primas y auxiliares	Minerales, rocas, y otras sustancias químicas	≈ 20-70 Arena. ≈ 12-15 Carbonato sódico y escorias. ≈ 12-13 Caliza, dolomía, feldespato, alúmina, nefelina, fluorita, otros. ≈ 2-3 Sulfato sódico, sulfato cálcico, sulfato bárico, arsénico, nitrato sódico, otros. ≈ 0,1-1 Óxido de hierro, óxido de cromo, dicromato de potasio, cromita, óxido de cobalto, sulfato de sodio, carbón.	Porcentajes estimados en función del consumo global de materias primas
Materias secundarias	Casco de vidrio	≈ 15-80	Interno y/o externo

El almacenamiento de las materias primas y auxiliares se realiza en silos cerrados y almacenes ubicados en el interior de las instalaciones con lo que se minimiza la contaminación de aguas de lluvia por arrastre y la contaminación del suelo por lixiviación de materiales.

#### 3.1.2. Consumo de agua

La principal actividad consumidora de agua es la refrigeración de los equipos (supone más del 70% del total consumido). Normalmente estos sistemas funcionan en circuitos cerrados donde se reponen las pérdidas por evaporación. Otros usos minoritarios del agua en la fabricación del vidrio hueco son los usos sanitarios y la limpieza de las instalaciones

(consumo < 30%), la adecuación de la carga del horno (humidificación de la arena) y los diferentes tratamientos superficiales para acabados o procesos especiales.

El consumo medio de agua en las fábricas de vidrio hueco oscila entre 0,3 y 2 m<sup>3</sup>/t Vº Fº<sup>15</sup> (Fuente: Vidrio España, 2004).

### 3.1.3. Consumo de energía

La fabricación de vidrio es un proceso que fundamentalmente consume energía. La principal fuente de energía son los combustibles fósiles, que se consumen mayoritariamente en la etapa de fusión, aunque también en las etapas de conformado, recocido, temple y acondicionamiento de las cargas.

En cuanto a la energía eléctrica, se consume principalmente en las máquinas de conformado, en la generación de aire comprimido, en el transporte de materiales, en algunos procesos de calentamiento, como apoyo en la fusión (*boosting*), etc. En la siguiente tabla se muestra el consumo de energía por tipo de fuente utilizada en los hornos del subsector de fabricación de vidrio hueco:

**Tabla 2.1.7. Consumo de energía en los hornos de fabricación de vidrio hueco**

Subsector	Nº de hornos considerados	Producción total de vidrio fundido (t/año)	Tipos de fuentes de energía	Distribución de consumos (MWh/año)	Porcentaje con respecto al total del consumo energético (%)	Consumo específico (MWh/t Vº Fº)
Vidrio hueco	40	2.572.974	Gas natural	3.180.996	72,80	1,2363
			Fuel-oil	610.222	13,96	0,2372
			Electricidad	570.938	13,07	0,2219
			Propano	7.500	0,17	0,0029

Fuente: Vidrio España (2004).

Más del 70% del total del consumo energético de una fábrica de vidrio hueco corresponde al horno. De ahí que el control de la fusión y las mejoras en su rendimiento mediante cualquiera de las medidas que se adopten sean tan importantes. El resto del consumo energético, aproximadamente entre el 3 y 10%, se consume en las etapas de acondicionamiento y del 4 al 12%, en otras actividades. En la tabla 2.1.8 se resumen, de forma aproximada, los consumos de energía para el vidrio hueco en cada una de las partes del proceso.

El consumo de energía en los hornos varía sensiblemente en función del producto fabricado. Así, en la fabricación de envases de grandes tiradas es de 1,4 MWh/t Vº Fº, pudiendo duplicarse o incluso triplicarse en frasquería o en bombillas. En general, en la fusión (hornos) y canales de alimentación, el consumo energético oscila entre el 70% y el 90% del total.

<sup>15</sup> Vº Fº : vidrio fundido.

**Tabla 2.1.8. Consumo de energía por etapas**

<b>Combustibles (energía no eléctrica) (100%) <sup>(a)</sup></b>
Horno de fusión: ≈ 75- 85%
Canales y feeders: 6-7,5%
Archas de recocido y decorados: 2-4%
Cadenas de temple: 2,5%
Calderas y calefacción: 1%
Transporte: 0,4%
Hornos de retracción: 0,3%
<b>Consumo de energía eléctrica (100%) <sup>(b)</sup></b>
Transformaciones mecánicas: 80% <sup>(c)</sup>
Electrotermia: 20% <sup>(d)</sup>

Fuente: MINER, diversos estudios energéticos del sector.

<sup>(a)</sup> Se considera el 100% del consumo de combustibles. La distribución es aproximada y en cada proceso de fabricación dentro del vidrio hueco puede variar ya que en muchos procesos y/o etapas es frecuente el uso de energía eléctrica.

<sup>(b)</sup> Se considera el 100% del consumo de energía eléctrica.

<sup>(c)</sup> Se entiende por transformaciones mecánicas el consumo de energía eléctrica global de la fábrica excluido el apoyo a la fusión, en canales y feeders, archas de recocido, cadenas de temple y calentamiento del combustible.

<sup>(d)</sup> Se entiende por electrotermia, la energía eléctrica consumida como apoyo a la fusión, en canales y feeders, archas de recocido, cadenas de temple y calentamiento del combustible.

En la fabricación de vidrio prensado (aislantes), la incidencia de los hornos en el consumo de combustible es menor ya que existen otras operaciones importantes del proceso (requemados y templos) que suponen también un consumo energético elevado (del orden 27%).

Los consumos específicos por producto dependen del tipo de materia prima utilizada, forma y peso de la pieza a fabricar, calidad del vidrio, equipos utilizados, etc. En el siguiente cuadro, pueden verse los diferentes valores para diferentes productos:

**Tabla 2.1.9. Consumo específico (térmico y eléctrico) por productos (valores medios)**

Producto	Térmico (th/t)	Eléctrico (kWh/t)
Botellas, tarros, frascos	2.548	254
Frascos especiales (perfumería)	4.028	603
Aisladores (prensado, moldeado)	5.146	650
Otros vidrios (para alumbrado)	2.489	441

Fuente: MINER, varios estudios energéticos del sector.

### 3.2. Emisiones atmosféricas

Las principales emisiones se generan en la etapa de fusión. En el siguiente cuadro se muestran los intervalos de emisiones más representativos de este subsector:

CONTAMINANTE	VALOR <sup>(a)</sup>
Partículas totales <sup>(b)</sup>	150-300 mg/Nm <sup>3</sup> seco
NO <sub>x</sub>	1.500-3.000 mg/Nm <sup>3</sup> seco
SO <sub>x</sub> (fuel)	1.500-1.800 mg/Nm <sup>3</sup> seco
SO <sub>x</sub> (gas)	800-1.000 mg/Nm <sup>3</sup> seco
HCl	6-9 mg/Nm <sup>3</sup> seco
HF	< 5 mg/Nm <sup>3</sup> seco
Cr (VI)	150-5.000 µg/Nm <sup>3</sup> seco
Pb	500-5.000 µg/Nm <sup>3</sup> seco

Fuente: Vidrio España.

(a) Si no se especifica lo contrario, los datos se refieren a condiciones en seco, 0 °C (273 K), 101,3 kPa, 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Prácticamente la totalidad de las partículas emitidas pueden ser consideradas como PM<sub>10</sub>.

Estos intervalos de variación están relacionados con el combustible utilizado, las condiciones de explotación, así como con el tipo de horno y tiempo que lleva funcionando. Además, la dispersión se ve acrecentada también por la inexistencia, en España, de legislación específica sobre métodos de medida para las emisiones de hornos de vidrio y por la poca experiencia de la mayoría de las entidades encargadas de realizarlas. Esta limitación condiciona el conocimiento real de las emisiones de partida lo que supone una dificultad añadida a la hora dimensionar la instalación y medir su grado de eficiencia.

También son representativas las emisiones de CO<sub>2</sub> de las instalaciones de vidrio hueco que oscilan entre los 400 y 1.000 g/kg Vº Fº.

### 3.3. Residuos

La característica principal del subsector es que prácticamente la totalidad de los residuos de vidrio generados durante el proceso pueden ser reutilizados. El resto de residuos proceden de operaciones de manipulación de materias primas, sistemas de depuración y captación de partículas, sistemas de filtrado de humos de los gases y residuos de sulfatos en los hornos.

También son importantes, al final de las campañas de los hornos, los residuos de refractarios generados por la reconstrucción de las estructuras. Estas operaciones implican cantidades importantes de residuos (entre 500 y 2.000 t, dependiendo del tamaño de los hornos) que, dadas las posibilidades actuales de valorización externa, pueden ser mínimamente recuperados eliminándose a través de vertederos autorizados.

En cuanto a los residuos procedentes de embalajes, operaciones de mantenimiento, etc., no suponen grandes problemas ya que normalmente son reutilizados, reciclados o gestionados de forma adecuada según los casos.

La generación de residuos peligrosos en el sector del vidrio hueco varía entre 0,7 y 1 kg/t Vº Fº y la de residuos no peligrosos oscila entre 5 y 6 kg/t Vº Fº (ANFEVI, 2005).

La producción por tipo de residuo se resume en el siguiente cuadro:

**Tabla 2.1.11. Generación de residuos**

Tipos de residuos generados en las instalaciones de vidrio hueco	t/año	Clasificación/tipo de residuo	Gestión
Casco de vidrio <sup>16</sup>	15.000-29.000	Residuo no peligroso	Reutilización en proceso (casco)
Chatarra metálica	20-300	Residuo no peligroso	Reciclado
Papel y cartón	25-50	Residuo no peligroso	Reciclado
Lodos de depuradora	10-50	Residuo no peligroso/Residuo peligroso	Vertedero
Aceites usados	2-3	Residuo peligroso	Gestor autorizado/reutilización
Bidones plásticos/metálicos	700-1000 (ud)	Residuo peligroso/Residuo no peligroso	Gestor autorizado
Otros bidones (Tratamiento en caliente)	<3	Residuo peligroso	Gestor autorizado
Sulfatos cámaras	<6	-	-
Plásticos	10-25	Residuo no peligroso	Vertedero/Reciclaje
Emulsiones con aceites	≈ 30	Residuo peligroso	Gestor autorizado
Otros (maderas, residuos de operaciones de mantenimiento, etc.)	1-2	Residuo no peligroso/Residuo peligroso	Vertedero
Limpieza sistemas de refrigeración	-	Residuo peligroso	Vertedero
Refractarios y aislantes del hornos	2-3	Residuo no peligroso	Vertedero inerte/de seguridad

Fuente: ANFEVI y pequeños productores.

La zona de almacenamiento de residuos dentro del subsector del vidrio hueco suele presentar las siguientes características:

- Área separada y delimitada.
- Cobertura superior y lateral contra pluviales de manera que no pueda entrar el agua de lluvia.
- Solera impermeable.
- Métodos de retención de los posibles derrames (bandejas de recogida, cubetos de contención, etc.) en el caso de residuos líquidos.
- Alejado de las arquetas de pluviales.
- Medidas contra incendios.

Todas estas medidas pretenden eliminar, o al menos reducir al máximo, el vertido de aguas de lluvia contaminadas por arrastre de diferentes materiales y la contaminación del suelo por lixiviación.

<sup>16</sup> Estas cantidades no se consideran en el cómputo total para establecer la relación residuos/producción, ya que son reutilizados en su totalidad dentro de las plantas como materia prima.

### 3.4. Ruido

Las emisiones de ruido se producen principalmente en los sistemas de alimentación de las materias primas, en los hornos y en las máquinas automáticas de conformado. El tratamiento que se le da actualmente es el cerramiento de dichos sistemas, según los casos y procesos.

### 3.5. Vertidos de aguas residuales

Como se ha comentado anteriormente, los principales usos del agua en el subsector de vidrio hueco son el agua para la refrigeración, el enfriamiento de los rechazos de vidrio caliente y, en menor medida, la limpieza, la humidificación de la mezcla y el uso sanitario.

De los usos anteriores, los principales vertidos de aguas residuales que se generan son: purgas del sistema de refrigeración en circuito cerrado que contienen sales disueltas y productos químicos procedentes del tratamiento de aguas. La mayor parte de las pérdidas que se dan en este circuito son por evaporación y arrastre en torres de refrigeración.

- Aguas sanitarias procedentes de servicios y duchas.
- Un proceso específico de este subsector es el circuito para enfriar y fragmentar los desechos de vidrio caliente. Se trata de un circuito cerrado donde el agua contiene:
  - Polvo de vidrio debido a la fragmentación y a la acción de los sistemas de arrastre mecánico utilizados para dragar el vidrio de las cubetas de agua.
  - Pequeñas cantidades de aceite de las máquinas y taladrina utilizada en los mecanismos de corte.

Este circuito suele incluir un separador de sólidos y aceite para depurar el agua y devolverla al circuito o verterla en condiciones adecuadas.

Los residuos de lodos procedentes del separador contienen sólidos en suspensión (polvo de vidrio) y baja contaminación en aceite y productos químicos para el tratamiento del agua. Estos lodos bien se reciclan con las materias primas, bien se tratan externamente a través de gestor autorizado.

El volumen de aguas residuales vertidas procedentes de las instalaciones de vidrio hueco es relativamente bajo, pudiendo llegar en algún caso a los  $0,8\text{m}^3/\text{t V}^\circ\text{ F}^\circ$ . En gran parte proceden de las purgas de los sistemas de refrigeración. Los principales contaminantes presentes en las aguas residuales son los sólidos en suspensión y los aceites y grasas. De acuerdo con la información proporcionada por Vidrio España, tanto la  $\text{DBO}_5$  como la DQO se encuentran dentro de los límites establecidos en las autorizaciones de vertido, por lo que estos vertidos son fácilmente tratables y reutilizables.

Las sustancias características y los límites de vertido de las mismas deben estar especificados en las autorizaciones de vertido otorgadas por las administraciones competentes a las instalaciones de vidrio hueco. Normalmente los parámetros que se controlan son de tipo físico (temperatura, color, etc.) y químico (pH,  $\text{DBO}_5$ , DQO, etc). En general, está prohibido el vertido a cauce de todas aquellas sustancias que no estén incluidas expresamente en la autorización de vertido (Artículo 100 del texto refundido de la Ley de Aguas “*Queda prohibido, con carácter general, el vertido directo o indirecto de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del Dominio Público*”).

*Hidráulico, salvo que se cuente con la previa autorización administrativa").* No obstante, es recomendable que las instalaciones hagan al menos una analítica completa de sus vertidos teniendo en cuenta las sustancias contaminantes y los requisitos incluidos en las nuevas normativas de información ambiental (Registros EPER y E-PRTR), de cara a identificar todas las sustancias que son emitidas por la instalación.

#### 4. TÉCNICAS UTILIZADAS Y MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES EN VIDRIO HUECO

Las Mejores Técnicas Disponibles (MTD), constituyen una de las herramientas que para la protección del medio ambiente se contemplan tanto en la Ley 16/2002, de 1 de julio, como en la Directiva 96/61, de 24 de septiembre de 1996. De acuerdo con la definición dada en el artículo 3 párrafo ñ) de la Ley, una MTD es:

*"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 posible, reducir en general las emisiones y el impacto en conjunto del medio ambiente y de la salud de las personas".*

También se entenderá como:

- *"Técnicas, la tecnología utilizada, junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada o paralizada.*
- *Disponibles, las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del correspondiente sector industrial, en condiciones económicas y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en España, 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 y de la salud de las personas."*

Además, para la consideración de una técnica como Mejor Técnica Disponible, deben tenerse en cuenta los criterios establecidos en el Anejo 4 de la Ley, entre los que se destacan los siguientes:

- Uso de técnicas que produzcan pocos residuos.
- Uso de sustancias menos peligrosas.
- Desarrollo de técnicas de recuperación y reciclado de sustancias generadas y utilizadas en el proceso, y de los residuos cuando proceda.
- Procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento comparables que hayan dado pruebas positivas a escala industrial.
- Avances técnicos y evolución de los conocimientos científicos.
- Carácter, efectos y volumen de las emisiones de que se trate.
- Plazos que requiera la instauración de una mejor técnica disponible.
- Consumo y naturaleza de los recursos utilizados.
- Medidas de eficiencia energética.
- Impacto global y riesgos al medio ambiente.

De acuerdo con estos criterios, las mejores técnicas disponibles son aquellas que no generan emisiones o, en su caso, minimizan al máximo las mismas así como sus efectos sobre el medio ambiente. Como norma general, son las medidas o técnicas de tipo primario las que deberían considerarse como tales, ya que son las técnicas que reducen las emisiones en la

fuente de origen. Las medidas secundarias corrigen la contaminación producida y deberían aplicarse cuando las primarias no permiten alcanzar los niveles de eficiencia ambiental requeridos.

La fabricación de vidrio no es una ciencia exacta, por lo que la aplicación de una misma técnica en hornos similares puede no producir los mismos resultados. Además, la aplicación de soluciones similares para problemas parecidos está condicionada por las características locales propias de cada planta o instalación.

La viabilidad técnica y económica de determinadas medidas implica muchas veces la paralización de los procesos. En el sector de vidrio hueco, y el español no es una excepción, es muy importante la consideración de los plazos para la adopción o implantación de determinadas tecnologías, sobre todo cuando éstas suponen un cambio tecnológico importante, cambios o adquisición de equipamiento o modificaciones sustanciales de las instalaciones. Este tipo de adaptaciones y actuaciones sólo pueden llevarse a cabo en los períodos de reconstrucción de las instalaciones y, en concreto, de los hornos, coincidente con el final de su vida útil. Se debe tener en cuenta, además, que el coste de aplicación de una técnica determinada depende fuertemente de las características concretas de cada instalación, aspecto que es difícil contemplar de forma exhaustiva en un documento como éste.

El proceso de fabricación del vidrio es, como ya se ha dicho, un proceso energético intensivo, lo que hace que el consumo de energía sea el principal problema de la industria. Pero también es cierto que es el factor sobre el que, a lo largo del tiempo, se ha incidido preferentemente introduciendo mejoras que, además de reducir los consumos y costes, actúan sobre la generación de las emisiones en origen.

En cuanto a los datos y niveles de emisiones que se recogen y que se asocian a las “mejores técnicas disponibles”, deben entenderse como niveles de emisión esperables y apropiados en la industria, con las limitaciones expresadas en párrafos anteriores, y en el horizonte temporal de la Directiva IPPC.

Los “niveles asociados de emisión” no son en ningún caso valores límite de emisión y, por tanto, no deben asimilarse a tales. La decisión sobre los límites que deben aplicarse a cada instalación es responsabilidad de la autoridad medioambiental competente que, además de las técnicas consideradas como MTD, tiene que tener en cuenta aspectos tales como:

- Características de la instalación (si es nueva o ya existente).
- Localización geográfica.
- Medidas adicionales de calidad ambiental locales o regionales.

Es importante remarcar que los valores de emisión asociados incluidos en los Documentos BREF, fruto del intercambio de información sobre mejores técnicas disponibles de ámbito europeo, tal y como está previsto en la Directiva IPPC, son valores de referencia asociados a una mejor técnica en las condiciones óptimas de funcionamiento, que no siempre son alcanzables en regímenes reales de operación. Los BREF, que no tienen rango legal, son herramientas complementarias aplicables como guía para la industria y la administración ambiental.

También hay que tener en cuenta que una única técnica o MTD, primaria o secundaria, puede no ser aplicable para reducir todos los contaminantes emitidos por un foco de emisión o, en su caso, para alcanzar los niveles de emisión exigidos. Por ejemplo, el uso de determinados filtros reduce la concentración de partículas, pero implica la generación de

residuos que deben ser gestionados adecuadamente y el aumento del consumo de energía en la instalación.

Al final, en el balance medioambiental para la adopción de una u otra solución, deben tenerse en cuenta todos estos factores y valorar el peso relativo de cada uno de ellos. Dependiendo de la ubicación, de las características de la instalación e incluso de los objetivos en políticas medioambientales, así deberán de ser las soluciones finales que, en cada caso, deben aplicarse.

#### 4.1. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones

Como ya se ha mencionado, el principal problema medioambiental de la industria del vidrio hueco se asocia a su elevado consumo energético. A lo largo del tiempo se han introducido todas las medidas primarias que reducen este consumo y previenen en origen la formación de contaminantes, siendo por tanto las que mejores resultados ambientales dan.

Así, las medidas primarias, al actuar en el origen, son las que realmente aportan soluciones y al no existir tecnologías revolucionarias, los mayores esfuerzos se deben hacer en optimizar el proceso y en mejorar las eficiencias energéticas.

- Otras medidas que pueden reducir determinadas emisiones, a la vez pueden generar otros impactos medioambientales.
- En general, las medidas secundarias aumentan el consumo energético, lo que habrá de ser tenido en cuenta en el balance global.

En las siguientes tablas se muestran las técnicas más comúnmente utilizadas en las instalaciones de vidrio hueco para la reducción de las emisiones más importantes. Estas técnicas están basadas en medidas de tipo primario, y fundamentalmente enfocadas a la optimización del consumo de recursos mejorando la eficiencia de los procesos.

##### 4.1.1. Etapa: Recepción, mezcla y dosificación de materias primas

**Tabla 2.1.12. Almacenamiento de sólidos pulverulentos en silos cerrados**

<b>Tipo de técnica</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Las materias primas que se consumen en grandes cantidades se almacenan en silos cerrados dotados de equipos de recogida y eliminación de polvo.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas. Eliminación de la contaminación de aguas pluviales por arrastre de materiales almacenados a la intemperie. Eliminación de la contaminación del suelo por lixiviación.
<b>Inconvenientes</b>	Importantes necesidades de espacio.
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición.
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.13. Almacenamiento cubierto de materias auxiliares**

<b>Tipo de técnica</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Las materias primas auxiliares de menor consumo se recepcionan en sacos o contenedores herméticos. Estos envases se almacenan en áreas cubiertas en el interior de las instalaciones con medidas de contención de derrames (bandejas de recogida, cubetos, etc.).
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas. Eliminación de la contaminación de aguas pluviales por arrastre de materiales almacenados a la intemperie. Eliminación de la contaminación del suelo por lixiviación.
<b>Inconvenientes</b>	Importantes necesidades de espacio
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición
<b>% de instalación en la industria española (a)</b>	100%

(a) En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.14. Cubrimiento de las cintas transportadoras de materias primas**

<b>Tipo de técnica</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Las materias primas se mueven sobre cintas transportadoras cubiertas
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas
<b>Inconvenientes</b>	Dificulta la vigilancia y el mantenimiento de las cintas
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición
<b>% de instalación en la industria española (a)</b>	100%

(a) En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.15. Acondicionamiento de la zona de alimentación del horno**

<b>Tipo de técnica</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Introducir diferentes técnicas en la zona de alimentación del horno que permiten controlar las emisiones de polvo: humidificación de la mezcla, alimentadores cerrados, silos de alimentación cerrados, etc.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas
<b>Inconvenientes</b>	La humidificación de la mezcla produce un mayor consumo energético y mayor pérdida de material
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición
<b>% de instalación en la industria española (a)</b>	100%

(a) En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.16. Acondicionamiento de los edificios**

Tipo de técnica	PRIMARIA
Incluida en BREF	Sí
Descripción técnica	Los edificios de composición y las naves de hornos se diseñan con el mínimo de aperturas posible
Aspectos ambientales	Reducción de emisiones de partículas
Inconvenientes	Es necesario asegurar un grado de refrigeración natural y de renovación del aire en el interior de estos edificios
Cuándo se aplica	Construcción del área de almacenamiento y composición
% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

#### 4.1.2. Etapa: Fusión

**Tabla 2.1.17. Hornos regenerativos**

Tipo de técnica	PRIMARIA
Incluida en BREF	Sí
Descripción técnica	Horno de fusión de vidrio que permite aprovechar la temperatura de los gases de la combustión para calentar el aire necesario para la misma. Se consigue por tanto un precalentamiento del aire de combustión (por ejemplo, a 1.250°C).
Aspectos ambientales	Reducción del consumo de energía Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub>
Inconvenientes	El calentamiento previo del aire de combustión facilita la formación de NO <sub>x</sub>
Cuándo se aplica	Reparación total de un horno
% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	85%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.18. Horno recuperativo**

Tipo de técnica	PRIMARIA
Incluida en BREF	Sí
Descripción técnica	Horno de fusión de vidrio que permite aprovechar la temperatura de los gases de la combustión para calentar el aire necesario para la misma. Se consigue por tanto un precalentamiento del aire de combustión (por ejemplo, a 850 °C).
Aspectos ambientales	Reducción del consumo de energía Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub>
Inconvenientes	Menor eficiencia energética que los regenerativos
Cuándo se aplica	Reparación total de un horno
% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	15%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.19. Aumento progresivo del % de casco de vidrio como materia prima**

Tipo de técnica	PRIMARIA
Incluida en BREF	SÍ
Descripción técnica	El vidrio es un material que puede reintroducirse en el proceso sin que el producto final pierda ninguna de sus propiedades
Aspectos ambientales	<p>Reducción de las emisiones y del consumo energético por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un menor empleo de combustible ya que el vidrio necesita menor energía para fundirse que las materias primas (un 2,5%-3% de ahorro en energía por cada 10% de vidrio reciclado)</li> <li>▪ Reducción de la cantidad de materias primas utilizadas y, a su vez, de las emisiones de proceso por descarbonatación (1 t de vidrio reciclado ahorra 1,2 t de materias primas).</li> <li>▪ Reducción del volumen de residuos urbanos.</li> </ul>
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La industria del vidrio está consumiendo todo el vidrio reciclado que se produce de la recogida selectiva en España. Por tanto, se debe aumentar la sensibilización a la ciudadanía por el reciclado de vidrio.</li> <li>▪ Las instalaciones que producen vidrio incoloro no cuentan con vidrio reciclado externo como materia prima. La recogida selectiva de vidrio no distingue entre vidrio incoloro y vidrio de color, por tanto, no se puede incorporar al proceso productivo casco de vidrio externo.</li> <li>▪ El casco de vidrio incoloro procede en su mayor parte de rechazos del mismo proceso productivo y, en cualquier caso, es muy difícil que el porcentaje de reciclado supere el 10%.</li> <li>▪ Falta de desarrollo de equipos que separen por colores y que resulten rentables para tratar casco a los niveles de exigencia requeridos.</li> <li>▪ Pérdida de calidad de producto por tratamiento inadecuado. Cuanto mayor es el porcentaje de vidrio reciclado, mayores son las exigencias de calidad, en cuanto a contaminantes (cerámica, porcelana, piedras, metales magnéticos y no magnéticos, materia orgánica) y, por tanto, se necesitan instalaciones más sofisticadas para su tratamiento</li> </ul>
Cuándo se aplica	En cualquier momento
% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.20. Boosting eléctrico**

Tipo	PRIMARIA
Incluida en BREF	SÍ
Descripción técnica	Empleo de energía eléctrica en sustitución de parte del combustible fósil o como aporte extra para fusión del vidrio
Aspectos ambientales	Reducción del consumo de combustibles fósiles y, por tanto, de las emisiones de partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub>
Inconvenientes	<p>La cantidad de electricidad para sustituir al combustible fósil viene condicionada por su precio (se estima que es rentable &lt;5% de la energía total consumida en el horno en las condiciones actuales).</p> <p>El aprovechamiento energético de combustible fósil en un horno de vidrio es muy superior al que se consigue en una central térmica para producir energía eléctrica.</p>
Cuándo se aplica	Reparación total de un horno
% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	75%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.21. Diseños de la geometría del horno**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	La superficie del vidrio es un factor importante en la formación de partículas y otros contaminantes atmosféricos. Los cambios en el diseño del horno intentan mejorar la transmisión energética a través de la masa vitrificable de manera que la temperatura de la superficie del vidrio sea más baja.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de partículas, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> Reducción del consumo de energía
<b>Inconvenientes</b>	Necesidad de la contratación de una ingeniería altamente especializada en el diseño, construcción, supervisión y puesta en marcha de hornos de fusión de vidrio.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.22. Condiciones de llama**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	NO
<b>Descripción técnica</b>	Desde el punto de vista vidriero, la llama debe satisfacer un cierto número de criterios para mejorar la capacidad de fusión y permitir la elaboración de un vidrio de calidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es necesario asegurar una buena cobertura del baño de vidrio por las llamas.</li> <li>▪ Es necesario una llama lo más caliente y luminosa posible para aumentar la transferencia térmica por radiación.</li> <li>▪ Es necesario controlar el reparto térmico y el carácter oxidante o reductor de la llama, con el fin de evitar los fenómenos de formación de espuma y controlar la coloración y el afinado del vidrio.</li> </ul> En las llamas de difusión, donde la mezcla del comburente y el combustible se realiza en el horno, la impulsión del chorro de combustible es un parámetro importante porque actúa sobre la longitud de la llama. Si el impulso aumenta, la longitud de la zona de combustión aumenta y con ello la formación de NO <sub>x</sub> es más rápida pero más limitada en el tiempo.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de NO <sub>x</sub> .
<b>Inconvenientes</b>	El aumento de la impulsión entraña fenómenos secundarios inversos (recirculación de los humos, disminución del tiempo de estancia de los compuestos químicos que conforman el vidrio).
<b>Cuándo se aplica</b>	En algunos casos puede aplicarse en cualquier momento.
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.23. Posicionamiento de los quemadores**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Una elevada velocidad del gas o un elevado nivel de turbulencias en la superficie del vidrio pueden incrementar la volatilización de sustancias de la masa vitrificable. El posicionamiento de los quemadores tratando de optimizar la velocidad, la dirección y combustión de gas es una práctica habitual en los hornos de vidrio.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de NO <sub>x</sub> . Reducción de partículas.
<b>Inconvenientes</b>	Estas modificaciones en el posicionamiento de los quemadores suelen ser más efectivas cuando hay un nuevo diseño del horno.
<b>Cuándo se aplica</b>	En algunos casos puede aplicarse en cualquier momento.
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.24. Sustitución de fuel por gas natural**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Reemplazar el fuel por gas natural como energía principal en el horno de fusión de vidrio
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de partículas, SO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub>
<b>Inconvenientes</b>	El uso de gas natural aumenta de manera importante la emisión de NO <sub>x</sub> . La transferencia de calor a la masa vitrificable es más pobre debido a la menor luminosidad de la llama. Por tanto, la necesidad de consumo energético es mayor para alcanzar la temperatura de fusión del vidrio. Depende del precio del gas natural y de las posibilidades de acceso al mismo. Puede reducir la capacidad extractiva del horno.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	90%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.25. Reducción de la relación aire/gas a niveles estequiométricos**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Controlar la cantidad del aire que se emplea para la combustión del gas sea lo más baja posible
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
<b>Inconvenientes</b>	Dificultad para mantener las condiciones estequiométricas con la información que se maneja actualmente sobre las características del combustible. Si la combustión de gas está por debajo del nivel estequiométrico, la concentración de CO puede aumentar peligrosamente afectando a los refractarios (que se desgastan), dándole un carácter reductor a la atmósfera del horno lo que puede afectar a la calidad del vidrio (grado de afinado, color, etc.). Además, al no producirse una oxidación completa del carbono, disminuye el rendimiento energético.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento.
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.26. Sellado de las paredes del horno y cámaras**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Reducir la entrada de aire parásito que aumenta la presencia de NO <sub>x</sub>
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> Reducción del consumo energético
<b>Inconvenientes</b>	Dificultad de mantener en el tiempo ya que las cámaras sufren procesos de dilatación y contracción por sus propias condiciones de trabajo.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento.
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.27. Quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub>**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Las características principales de estos quemadores son: ■ Se reducen los picos en las temperaturas de llama ya que permiten una mezcla más lenta entre el gas y el aire de combustión. ■ Aumenta la radiación de las llamas. ■ Disminuye la volatilización de los óxidos de sodio procedente del baño de vidrio fundido.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> y partículas
<b>Inconvenientes</b>	En los hornos transversales la mayor longitud de llama puede penetrar en las cámaras disminuyendo su vida útil.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España

**Tabla 2.1.28. Uso de materiales refractarios de elevada eficiencia lo que permite mejorar el aislamiento**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	NO
<b>Descripción técnica</b>	La mejora en los materiales refractarios permite reducir las pérdidas de calor del horno y alargar la vida útil del mismo
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción en el consumo energético
<b>Inconvenientes</b>	El aislamiento está limitado por el desarrollo de los materiales interiores del horno.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

**Tabla 2.1.29. Mejora de los sistemas de recuperación de calor situados en las cámaras de regeneración**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida en BREF</b>	NO
<b>Descripción técnica</b>	Mejorar las estructuras internas de la cámara de regeneración que permiten aumentar el intercambio de calor
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción en el consumo energético
<b>Inconvenientes</b>	Aumenta la concentración de NO <sub>x</sub> térmico al elevar la temperatura del aire de combustión
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

Como consecuencia directa de las actuaciones descritas anteriormente se consigue mejorar el comportamiento medioambiental mediante la reducción en origen de las emisiones, alcanzando los siguientes niveles:

**Tabla 2.1.30. Niveles de emisiones alcanzados con la implantación de las técnicas utilizadas**

PARÁMETROS	RANGO DE EMISIÓN (mg/Nm <sup>3</sup> )
Partículas	150-300
NO <sub>x</sub>	1.500-3.000
SO <sub>x</sub>	Gas natural: 800 - 1.000 Fuel: 1.500 - 1.800

La aplicación de la totalidad de las medidas primarias desarrolladas en la actualidad en condiciones óptimas (el mejor horno en condiciones ideales de operación: nuevo, con extracción nominal, estabilidad de funcionamiento, etc.), podría conducir a los siguientes niveles de emisión:

**Tabla 2.1.31. Niveles de emisiones alcanzados con la implantación de todas las técnicas primarias en condiciones óptimas**

PARÁMETROS	RANGO DE EMISIÓN (mg/Nm <sup>3</sup> )
Partículas	150-300
NO <sub>x</sub>	Horno bucle: 850 - 1.300 Horno transversal: 1.300 - 1.500
SO <sub>x</sub>	Gas natural: 800 - 1.000 Fuel: 1.500 - 1.800

Respecto a las emisiones de NO<sub>x</sub>, las medidas primarias son las mejores opciones disponibles ya que aún existen muchas incertidumbres sobre la eficacia de otras técnicas de tipo secundario cuyas experiencias en planta no están resultando como se esperaba (de acuerdo con las previsiones descritas en el BREF).

Las medidas primarias también pueden permitir la reducción de emisiones de partículas y SO<sub>x</sub> aunque no en el mismo grado.

#### 4.1.3. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones al agua

**Tabla 2.1.32. Sistemas de refrigeración en circuito cerrado**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SI
<b>Descripción técnica</b>	Instalación de circuitos cerrados para el agua de refrigeración.
<b>Aspectos ambientales</b>	Minimización del consumo de agua y de los vertidos de aguas residuales.
<b>Inconvenientes</b>	Periódicamente es necesario realizar purgas del circuito cerrado que contienen sales disueltas y productos químicos utilizados en el tratamiento del agua, etc.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento.
<b>% de instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio hueco existentes en España.

## 4.2. Aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en vidrio hueco

Es objetivo de este apartado la descripción y evaluación de las Mejores Técnicas Disponibles que son aplicables al subsector de vidrio hueco. Además de los “niveles asociados a MTD” y las características de cada una de las técnicas, se incluyen variables tan importantes como la aplicabilidad, los impactos ambientales derivados de su uso y los costes de inversión y de mantenimiento asociados. Las valoraciones económicas deben tomarse con carácter orientativo, dado que su coste real depende en gran medida de las condiciones de las instalaciones y no sólo de los condicionantes ambientales.

### 4.2.1. Partículas

#### Técnicas primarias

**Tabla 2.1.33. Medidas primarias para la reducción de partículas**

<b>Proceso</b>	Manipulación de materias primas
<b>Objeto de la MTD</b>	Reducción de la emisión de partículas
<b>Tipo MTD</b>	Primaria
<b>Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Almacenamiento de sólidos pulverulentos en silos cerrados equipados con sistemas de recogida y eliminación de polvo.</li> <li>▪ Almacenamiento de materiales auxiliares pulverulentos, consumidos en menor cantidad, en sacos cerrados y/o contenedores herméticos en almacenes cubiertos.</li> <li>▪ Evitar almacenamientos de materiales pulverulentos a la intemperie.</li> <li>▪ Coberturas para cintas transportadoras.</li> <li>▪ Control de las emisiones en zona de carga mediante humidificación, cerramiento en bandejas de alimentación, etc.</li> <li>▪ Acondicionamiento de los edificios para evitar las emisiones difusas de polvo.</li> </ul>
<b>Aplicabilidad</b>	La principal limitación es la necesidad de grandes espacios para poder construir silos de almacenamiento adecuados a las cantidades consumidas.
<b>Resultado obtenido</b>	Una combinación apropiada de las medidas primarias descritas normalmente consigue que las emisiones de estas actividades sean insignificantes.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup></b>	-
<b>Nivel BREF <sup>(b)</sup></b>	No definido en BREF
<b>Inversión (año 2005)</b>	Puede variar mucho en función del número de técnicas que se instalen.

Costes operativos	≈ 30.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	No necesario
Estado del arte	Ampliamente probadas a nivel industrial
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se consiguen reducciones sustanciales en las emisiones de partículas para la mayoría de las instalaciones.</li> <li>▪ Estas técnicas no tienen ningún aspecto medioambiental negativo importante.</li> <li>▪ Se evita la pérdida de materias primas.</li> <li>▪ Se evita la contaminación de aguas pluviales por arrastre de materiales almacenados a la intemperie y de suelos por lixiviación.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costes elevados.</li> <li>▪ Necesidades importantes de espacio.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Las limitaciones de cada una de estas medidas por separado se han explicado en la fila de inconvenientes de las tablas del apartado 4.1.
Impactos ambientales	-

<sup>(a)</sup> Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0 °C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>

<sup>(b)</sup> Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0 °C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

## Técnicas secundarias

**Tabla 2.1.34. Precipitador electrostático (electrofiltro)**

Proceso	Horno de fusión.
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas.
Tipo MTD	Secundaria.
Descripción	<p>El equipo genera un campo electrostático que carga negativamente las partículas circulantes en la corriente de aire, por lo que éstas migran hacia las placas colectoras, cargadas positivamente. Las placas se limpian periódicamente por vibración o golpeteo.</p> <p>Generalmente el sistema requiere un pre-tratamiento de los humos con un agente alcalino con el objeto de neutralizar el gas ácido que puede influir negativamente sobre la filtración y sobre la duración del material del electrofiltro.</p>
Aplicabilidad	La principal limitación es su coste, por tanto, sólo resulta económicamente aceptable en el caso de hornos con una capacidad productiva de al menos 200-250 t/día de vidrio
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de partículas es del 70-90% y es función de la concentración inicial y al número de campos que compongan el filtro.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	30 -50 mg/Nm <sup>3</sup> (0,045 - 0,075 kg/t Vº Fº)
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	5-30 mg/Nm <sup>3</sup> (<0,1 kg/t de vidrio fundido)
Inversión (año 2005)	3.000.000 - 4.000.000 € (en función del caudal de humos).
Costes operativos	≈ 200.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	30 días/año
Estado del arte	Es una tecnología probada a nivel industrial.

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>▪ El polvo recogido puede ser reutilizado en el proceso en su mayor parte.</li> <li>▪ Menor pérdida de carga con respecto a los filtros de mangas, por lo que los costes operativos son menores.</li> <li>▪ Puede formar parte de un sistema integrado de tratamiento con otros equipos de depuración, por ejemplo, de SO<sub>x</sub>.</li> <li>▪ No se colmata fácilmente debido a una elevada pérdida de carga o contenido en humedad con respecto a lo que suele ocurrir con un filtro de mangas.</li> <li>▪ Permite la filtración de humos a elevadas temperaturas (350-400°C) y está más experimentado en el ámbito industrial que los filtros de mangas para dichas temperaturas.</li> <li>▪ Se puede diseñar por etapas de modo que se puedan adicionar más campos. Tiene el límite del espacio disponible.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesita energía eléctrica para su funcionamiento, el coste de esta energía es elevado (aprox. &lt;1% de la energía total consumida en el horno).</li> <li>▪ El residuo generado no es totalmente reutilizable, especialmente en vidrio hueco donde los requisitos de sulfato para vidrio reducido, cuando se logran consumos elevados de casco de vidrio, son muy bajos.</li> <li>▪ Es necesario un lavador de gases ácidos previamente, por tanto, se deben añadir los costes de mantenimiento y operación de este sistema.</li> <li>▪ Costes importantes de inversión y explotación.</li> <li>▪ Es vital mantener las operaciones del sistema de depuración dentro de las condiciones de diseño. De lo contrario, la eficacia puede bajar considerablemente.</li> <li>▪ Elevadas necesidades de espacio para su instalación, pudiendo llegar a condicionar la capacidad del horno.</li> <li>▪ Puede provocar interferencias en la conducción del horno (sobre todo en el control de la presión).</li> <li>▪ Hay que observar las precauciones de seguridad en el uso de equipos de alto voltaje.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En hornos eléctricos y hornos convencionales de menos de 200 t/día los elevados costes pueden hacer que se elijan otras técnicas alternativas, como los filtros de mangas.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genera una elevada cantidad de residuos de polvo de electrofiltro (entre 1.000-2.000 kg/día), no siempre reutilizable en el proceso de fusión. Las características físico-químicas de este residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.</li> <li>▪ Consumo energético elevado para el funcionamiento del electrofiltro y para la extracción de los gases depurados (ventilador).</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 1,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.1.35. Filtro de mangas**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	El sistema consta de membranas textiles permeables al gas que retienen las partículas. El gas a tratar fluye del exterior al interior de la manga. El polvo retenido se debe eliminar para evitar pérdidas de carga, mediante flujo inverso, agitación, vibración o aire comprimido. El equipo puede instalarse en algunos casos para funcionar conjuntamente con un <i>scrubber</i> seco o semiseco para gases ácidos.
Aplicabilidad	La principal limitación son sus costes operativos y la elevada pérdida de carga generada por la retención del polvo, lo que obliga a limitar su aplicación a hornos de baja o mediana dimensión, con unos caudales de humos entre 20.000-30.000 Nm <sup>3</sup> /h. El diseño del filtro debe optimizar el balance entre la pérdida de carga (coste operativo) y el tamaño (coste de inversión). Si la velocidad de filtración es demasiado elevada, la pérdida de carga será grande y las partículas penetrarán y obstruirán el tejido. Si la velocidad de filtración es demasiado baja, el filtro sería eficaz pero muy caro.
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de partículas es del 85-95% en función de la concentración inicial del humo a tratar.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	10 - 20 mg/Nm <sup>3</sup> (0,015 - 0,030 kg/t Vº Fº)
Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup>	<10 mg/Nm <sup>3</sup> (<0,015 kg/t de vidrio fundido)
Inversión (año 2005)	3.000.000 €
Costes operativos	≈ 500.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	30 días/año
Estado del arte	No es una tecnología de aplicación recomendable en los grandes hornos de vidrio.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>▪ Recogida del producto en estado seco.</li> <li>▪ Bajo coste de inversión en las aplicaciones más simples.</li> <li>▪ Suelen estar equipados con sistemas de limpieza automática y sensores de colmatación.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La tendencia de las partículas presentes en el gas residual a adherirse al material del filtro hace que la limpieza del filtro sea a menudo difícil. Algunos tipos de polvo son muy difíciles de desalojar, lo que hace que la pérdida de carga sea superior al valor diseñado.</li> <li>▪ Las características que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el material del filtro (resistencia química, forma de las fibras y tipo de hilo, trama y acabado del tejido, resistencia a la abrasión, eficacia de recolección, permeabilidad del tejido, etc) hace que el precio de las mangas pueda ser elevado.</li> <li>▪ Elevados requisitos de espacio.</li> <li>▪ A menudo se requiere enfriamiento de los gases por debajo del límite superior de resistencia del material del filtro. Los tejidos de filtro convencionales tienen normalmente una temperatura operativa máxima entre 130 y 220°C y, en general, cuanto mayor es la temperatura operativa, mayor es el coste.</li> </ul> <p>Problemas con el punto de rocío de cualquier sustancia condensable presente (como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o agua), si la temperatura es demasiado baja se produce condensación, lo que provoca obstrucción del tejido.</p>

Desventaja	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cada 2-4 años se requiere la sustitución de la manga. Si se produce un problema y las mangas se obstruyen o resultan dañadas, el coste de sustitución puede ser alto. Este tipo de problemas suele ocurrir. Sería recomendable realizar una caracterización inicial de los residuos de mangas generados en cada proceso para saber si se trata de residuos peligrosos (código LER: 10 11 15* Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión, que contienen sustancias peligrosas) o no peligrosos (código LER: 10 11 16 Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión distintos de los especificados en el código 10 11 15).</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>La necesidad de enfriamiento de los humos impide la aplicación del filtro de mangas en el caso de que se deba efectuar posteriormente una desnitrificación de los humos mediante catalizador (SCR). De hecho, esta tecnología se puede utilizar aplicando sobre el humo depurado y a la temperatura de 350°C.</li> <li>La mayoría de los hornos de vidrio con combustibles fósiles requieren un control de presión sensible y, la presencia de un filtro de tejido con una gran pérdida de carga puede hacerlo más difícil.</li> <li>Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Genera una elevada cantidad de residuos no siempre reutilizables en el proceso de fusión.</li> <li>Consumo energético elevado para vencer la pérdida de carga originada en el filtro de mangas.</li> </ul>

- (a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 1,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

#### 4.2.2. NO<sub>x</sub>

[Ver Anexo I: "Las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx), principal problemática de la industria del vidrio"]

#### Técnicas primarias

**Tabla 2.1.36. Medidas primarias para la reducción de NO<sub>x</sub>**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Primaria
Descripción	<p>Reducir la emisión de NO<sub>x</sub> mediante las siguientes modificaciones de la combustión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción del ratio aire/combustible.</li> <li>Reducción de la temperatura del aire de combustión.</li> <li>Combustión por etapas.</li> <li>Recirculación de los gases de combustión.</li> <li>Quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub>.</li> <li>Elección del combustible.</li> <li>Boosting eléctrico.</li> <li>Diseños adecuados de la geometría del horno.</li> <li>Posicionamiento y número de quemadores.</li> <li>Aumento en el consumo de casco de vidrio como materia prima.</li> </ul>

Aplicabilidad	La principal limitación es la necesidad de implantar una batería de técnicas para conseguir eficiencias de eliminación relevantes y de contar con una ingeniería altamente especializada en el diseño, implantación y puesta a punto de las mismas.
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación puede llegar hasta un 70% en función del número de técnicas que se apliquen y de la concentración de partida de los humos.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup> (c)	Horno bucle: 800 - 1.100 mg/Nm <sup>3</sup> (1,2 - 1,65 kg/t Vº Fº) Horno transversal: 1.000 - 1.500 mg/Nm <sup>3</sup> (1,5 - 2,25 kg/t Vº Fº) Teniendo en cuenta que el tamaño de los hornos en este subsector suele ser grande, cuando el horno es nuevo (aproximadamente entre el primer y quinto año de vida) los niveles de emisión esperables pueden encontrarse en la parte inferior del intervalo, entre 800 y 950 para los hornos tipo bucle y entre 1.000 y 1.250 para los transversales. A medida que el horno envejece, los valores de emisión normalmente se desplazan hacia la parte superior del mismo. La vida útil de los hornos cada vez es mayor, por lo que la eficiencia del horno también aumenta, siendo esperable que los niveles de emisión se encuentren en la parte media del intervalo durante más tiempo.
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	600-850 mg/Nm <sup>3</sup> (0,9-1,3 kg/t vidrio fundido)
Inversión (año 2005)	Puede variar mucho en función del número de técnicas que se instalen.
Costes operativos	≈ 30.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Ampliamente probadas a nivel industrial.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajos costes relativos.</li> <li>▪ Se consiguen reducciones sustanciales en las emisiones de NO<sub>x</sub> para la mayoría de tipo de hornos.</li> <li>▪ Estas técnicas no tienen ningún aspecto medioambiental negativo importante y pueden producir a menudo un ahorro significativo de energía.</li> <li>▪ Las menores temperaturas del horno y el menor consumo energético tienen asimismo como consecuencia menores emisiones globales.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se requiere una pericia sustancial para obtener los mejores resultados.</li> <li>▪ Puede ser necesario modificar el diseño del horno para obtener los mejores resultados.</li> <li>▪ Debe tenerse cuidado en evitar problemas de calidad del vidrio debidos a cambios redox.</li> <li>▪ Deben controlarse los niveles de CO para evitar daños en el material refractario.</li> <li>▪ La atmósfera más reductora puede fomentar las emisiones SO<sub>2</sub>.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las limitaciones de cada una de estas medidas por separado se han explicado en la fila de inconvenientes de las tablas del apartado 4.1.</li> </ul>
Impactos ambientales	Se incrementa la energía primaria necesaria en el proceso.

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 1,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.1.37. Oxicombustión**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Primaria
Descripción	Combustión basada en la utilización de oxígeno en vez de aire para quemar el combustible. Al no introducir el nitrógeno del aire se reduce la producción de óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ). El oxígeno debe ser producido por separado.
Aplicabilidad	Su uso en la industria del vidrio se ha visto limitado y la técnica es todavía considerada como una tecnología en desarrollo con un posible elevado riesgo económico. En general, es beneficioso retrasar su instalación hasta la siguiente reconstrucción del horno para potenciar al máximo los beneficios obtenidos y evitar los problemas previstos.
Resultado obtenido	La eficacia de eliminación es del 20-45%. Parece ser que debido a las reducciones de caudal que se producen por la eliminación del aire de combustión, se alcanzan concentraciones puntuales que rondan los 2.000-3.000 mg/Nm <sup>3</sup> .
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	0,7-1,2 kg/t Vº Fº (Basado en resultados obtenidos en Holanda con producción de O <sub>2</sub> <i>in situ</i> con plantas VSA (absorción por oscilación de vacío). La experiencia de Holanda muestra que la pureza del oxígeno obtenido influye de forma importante en el resultado. Si el oxígeno es producido <i>in situ</i> (con VSA) se obtienen los valores más altos. También el contenido de N <sub>2</sub> en el gas y la edad de los hornos influencian directamente el resultado. A los pocos años el horno perderá estanqueidad produciéndose entradas de aire que, aunque pequeñas, aumentarán mucho la formación de NO <sub>x</sub> por el nitrógeno del aire).
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	0,5-1,1 kg/t Vº Fº, con el comentario de que los valores más bajos no se consiguen con gas sino con fuel-oil.
Inversión (2005)	3.500.000 €
Costes operativos	≈ 100.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	El buen mantenimiento del horno es imprescindible y muy relevante, porque cada fuga influirá significativamente en el NO <sub>x</sub> producido.
Estado del arte	Existen algunas instalaciones para fusión de vidrio de envases en Europa. La razón de su existencia fue la necesidad de experimentar nueva tecnología para reducir NO <sub>x</sub> debido a la presión de la legislación en esos países.
Ventajas	NO <sub>x</sub> bajo.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento del consumo eléctrico en un 6%, comparado con los hornos de regeneradores a causa del elevado consumo eléctrico que tiene la producción de oxígeno.</li> <li>▪ Para un horno de O<sub>2</sub> de 250 t/día, el extracoste debido a su mayor desgaste será de 200-700 K €/año (menor duración y mayor mantenimiento).</li> <li>▪ Aumento de la contaminación global debido al incremento del consumo energético.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posibles problemas de estabilidad de color del vidrio.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	Aumento del consumo energético y como consecuencia de la contaminación global.

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

## Técnicas secundarias

Tabla 2.1.38. 3 R (reacción y reducción en los regeneradores)

Proceso	Hornos de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	Adición controlada de un combustible hidrocarbonado (fuel, gas natural, etc), a la corriente de gas de combustión en la entrada del regenerador. El combustible no se quema, sino que se disocia y reduce el NO <sub>x</sub> formado en el horno. Esta tecnología es de aplicación en hornos regenerativos, donde el regenerador proporciona las condiciones necesarias de temperatura, mezcla turbulenta y tiempo de residencia para una adecuada reacción. El grado de reducción de NO <sub>x</sub> depende principalmente de la cantidad de combustible añadida.
Aplicabilidad	Sólo se considera aplicable en hornos regenerativos.
Resultado obtenido	Reducción global de NO <sub>x</sub> del orden del 70-85%
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	500 - 1.100 mg/Nm <sup>3</sup> (0,75 - 1,65 kg/t Vº Fº)
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-1,1 kg/t Vº Fº)
Inversión (año 2000)	300.000 € (el coste es menor respecto a otros sistemas secundarios de eliminación de NO <sub>x</sub> ).
Costes operativos	1,5-2,0 €/t Vº Fº. El coste operativo viene determinado por el consumo de combustible en función del nivel inicial de NO <sub>x</sub> . Dicho consumo puede representar del 1,8% al 10% del consumo energético para la fusión. En el caso de que la instalación fuese dotada de un sistema de recuperación de calor, el aumento del consumo debido al proceso de desnitrificación puede encontrarse entre el 2-3% del consumo total de energía.
Tiempos de parada para mantenimiento	Sin datos
Estado del arte	Las escasas experiencias existentes no han dado resultados positivos.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Puede conseguir reducciones sustanciales de NO<sub>x</sub>.</li> <li>■ Aplicable a la mayoría de tipos de hornos regenerativos.</li> <li>■ No representa cambios importantes en el diseño o funcionamiento de la planta.</li> <li>■ Bajos costes de inversión.</li> <li>■ Puede aplicarse sin necesidad de parar el horno.</li> <li>■ No se requieren reactivos químicos.</li> <li>■ El mayor consumo de combustible se puede compensar en algunos casos por la recuperación de calor perdido.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La atmósfera reductora creada en los regeneradores daña los materiales refractarios. De hecho, se ha comprobado la necesidad de reparar los regeneradores dos años después de la instalación de esta tecnología, cuando su vida media normalmente es de 10-12 años. La sustitución de materiales refractarios por materiales de mayor resistencia térmica y química representa costes demasiado elevados que no compensan la reducción conseguida en NO<sub>x</sub>.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La calidad del refractario para el regenerador debe soportar químicamente la presencia de concentraciones elevadas de monóxido de carbono y térmicamente el aumento de la temperatura del humo de combustión.</li> <li>■ No aplicable a hornos no regenerativos.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mayor consumo de combustible (generalmente un 7%).</li> <li>■ Mayores emisiones de CO<sub>2</sub> (20 - 30 kg/t de vidrio fundido).</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 1,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

Tabla 2.1.39. SCR (reducción selectiva con catalizador)

Proceso	Hornos de fusión			
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>			
Tipo MTD	Secundaria			
Descripción	Se hace reaccionar al NO <sub>x</sub> con amoniaco en un lecho catalítico a la temperatura adecuada. Los catalizadores más habituales son TiO <sub>2</sub> y V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> depositados sobre un sustrato metálico o cerámico. La reacción se da a temperaturas entre 200 y 500°C, siendo la temperatura óptima de reacción diferente para cada catalizador.			
Aplicabilidad	Es necesario instalar un equipo de control de partículas antes de la unidad de SCR. Generalmente se instala un precipitador electrostático, ya que el uso de filtros de mangas requeriría un recalentamiento posterior de los gases.			
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> es del 70-90%			
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup> (c)	700 -1.000 mg/Nm <sup>3</sup> (1,05 -1,5 kg/t Vº Fº)			
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	500 -700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5 -1,1 kg/t vidrio fundido)			
Inversión (€) (año 2000)	50 t/día 990.000	100 t/día 1.500.000	300 t/día 2.420.000	450 t/día 3.100.000
Costes operativos (€/año)	74.000	108.000	200.000	260.000
Tiempos de parada para mantenimiento	Sin datos			
Estado del arte	Existen ejemplos dentro de la industria del vidrio y en otros sectores industriales, aunque es escasa en vidrio hueco.			
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alta eficacia de reducción de NO<sub>x</sub>.</li> <li>■ Reduce el NO<sub>x</sub> de todas las fuentes del horno, no sólo el NO<sub>x</sub> térmico.</li> <li>■ Puede formar parte de un sistema integrado de control de la contaminación atmosférica.</li> <li>■ Los proveedores suelen ofrecer garantías de eficacia.</li> </ul>			
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ El sistema consume energía de forma considerable.</li> <li>■ Debe instalarse con eliminación de polvo y lavado de gases ácidos, ya que se requieren bajos niveles de partículas y de SO<sub>2</sub>.</li> <li>■ Coste de inversión alto.</li> <li>■ Elevados requisitos de espacio.</li> <li>■ Sigue habiendo dudas razonables sobre las vidas útiles de los catalizadores.</li> <li>■ La temperatura operativa limita las posibilidades de recuperación de calor.</li> <li>■ Puede requerirse enfriamiento para hornos recuperativos.</li> </ul>			
Limitaciones de aplicación	Uno de los aspectos clave de los costes de SCR es la vida útil del catalizador y su contaminación. Hay aspectos técnicos aún por resolver en algunas aplicaciones para evitar la posible contaminación en plantas con combustión a fuel-oil o a gas. Un problema asociado a esta técnica puede ser la formación de bisulfato amónico como consecuencia de la reacción del reactivo con el SO <sub>3</sub> formado, especialmente cuando el combustible contiene elevada concentración de azufre. El bisulfato puede envenenar el catalizador y causar incrustaciones y corrosión de los equipos. Algunas partículas de metales alcalinos pueden contaminar también el catalizador. En muchos casos es necesaria la instalación de un scrubber para gases ácidos.			
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se consume y emite amoniaco, cuyo almacenamiento y manipulación plantea problemas medioambientales y de seguridad. De hecho, el almacenamiento de amoniaco en ciertas cantidades puede provocar la aplicación de la normativa SEVESO.</li> <li>■ Fuera del rango de temperatura operativo, pueden producirse emisiones de NH<sub>3</sub> o un aumento de las emisiones de NO<sub>x</sub>. Una temperatura demasiado baja produce desprendimiento de amoniaco y una menor eficacia, si es demasiado alta puede producirse aumento en la emisión de NO<sub>x</sub>.</li> </ul>			

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 1,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

En relación a las MTD para la reducción de las emisiones de  $\text{NO}_x$ , es destacable que:

- En cuanto a las técnicas primarias, es necesario utilizar una combinación de las existentes para alcanzar los niveles asociados a las MTDs indicados en las tablas correspondientes.
- En la implantación de las MTD primarias, se debe tener en cuenta que su eficacia no es estable en el tiempo, pudiendo variar las emisiones de  $\text{NO}_x$ .

#### 4.2.3. $\text{SO}_x$ , $\text{HCl}$ y $\text{HF}$

##### Técnicas secundarias

**Tabla 2.1.40. Lavador por vía seca o semihúmeda**

Proceso	Hornos de fusión	
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de $\text{SO}_x$ , $\text{HCl}$ y $\text{HF}$	
Tipo MTD	Secundaria	
Descripción	<p>Se introduce un material absorbente que se dispersa en el gas a tratar. Este material reacciona con el <math>\text{SO}_x</math> para formar un sólido que ha de ser recogido por un precipitador electrostático o un filtro de mangas.</p> <p>En el proceso seco el absorbente es un polvo seco, generalmente <math>\text{Ca(OH)}_2</math>, <math>\text{NaHCO}_3</math> o <math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math>, que pueden ser dispersados mediante aire a presión. En el proceso semiseco el absorbente (<math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math>, <math>\text{CaO}</math> o <math>\text{Ca(OH)}_2</math>) se añade en forma de solución o dispersión y la evaporación del agua enfriá la corriente de gas.</p> <p>En el sector del vidrio el proceso más usado es el seco (con <math>\text{Ca(OH)}_2</math>) junto con precipitador electrostático, a una temperatura de unos 400°C.</p> <p>El scrubber o lavador puede instalarse como protección de otros equipos contra los gases ácidos.</p>	
Aplicabilidad	Las técnicas son aplicables a todos los procesos con gases residuales que contengan sustancias ácidas. El proceso seco se utiliza más ampliamente en la industria del vidrio ya que tradicionalmente ha sido la forma más eficaz desde el punto de vista de costes de alcanzar los requisitos técnicos vigentes.	
Resultado obtenido	<p>La eficacia de eliminación del gas ácido puede variar notablemente en función del tipo y cantidad del reactivo empleado, la temperatura del proceso de tratamiento del humo y el tipo de humo a tratar.</p> <p>La emisión de <math>\text{SO}_x</math> se puede reducir entre el 80-90% y en el caso del <math>\text{HCl}</math> y <math>\text{HF}</math>, hasta el 95%.</p>	
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	$\text{SO}_x$ : 500 (vidrio reducido)-900 (vidrio oxidado) $\text{mg/Nm}^3$ $(0,75-1,35 \text{ kg/t vidrio fundido})$	Para gas natural
	$\text{SO}_x$ : 1.200 (vidrio reducido)-1.600 (vidrio oxidado) $\text{mg/Nm}^3$ $(1,8-2,4 \text{ kg/t vidrio fundido})$	Para combustibles líquidos
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	$\text{SO}_x$ : 200-500 $\text{mg/Nm}^3$ $(0,3-0,75 \text{ kg/t vidrio fundido})$	Para gas natural (la prioridad es reducir las emisiones de $\text{SO}_x$ y es posible el pleno reciclaje del polvo en muchos casos)
	$\text{SO}_x$ : 500-1.200 $\text{mg/Nm}^3$ $(0,75-1,8 \text{ kg/t vidrio fundido})$	Para combustibles líquidos (la prioridad es reducir las emisiones de $\text{SO}_x$ y es posible el pleno reciclaje del polvo en muchos casos)
Inversión (año 2000)	2.500.000-3.500.000 €	
Costes operativos	150.000 €/año	
Tiempos de parada para mantenimiento	-	
Estado del arte	Es una tecnología ampliamente probada a nivel industrial.	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pueden conseguirse reducciones sustanciales en las emisiones de <math>\text{SO}_x</math> (según el balance específico de azufre y el reciclado de polvo de electrofiltro).</li> <li>■ Los absorbentes utilizados son también efectivos para atrapar otros gases ácidos, especialmente haluros (<math>\text{HCl}</math> y <math>\text{HF}</math>) y algunos compuestos de selenio</li> <li>■ En la mayoría de casos, el polvo recogido puede ser reciclado.</li> </ul>	
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Consumo energía.</li> <li>■ Importantes costes de inversión y operación.</li> </ul>	

<b>Limitaciones de aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el caso de utilizar conjuntamente con filtro de mangas los gases se deben enfriar.</li> <li>Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
<b>Impactos ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se produce un residuo sólido que puede aumentar de manera importante la cantidad de residuos generados. En la mayoría de casos, puede reciclarse, pero requiere ajustes en el proceso y limitar la eficacia global de reducción de <math>SO_x</math>.</li> <li>Cuando se utilizan pequeñas cantidades de casco de vidrio en la composición, el sulfato aportado por éste representa una cantidad menor que la requerida para el afino, consiguiéndose por tanto una reducción de las emisiones de <math>SO_x</math> y del consumo de sulfato sódico. Por el contrario, con niveles elevados de casco de vidrio en la composición, la cantidad de sulfato aportada es mayor que la requerida en la mezcla, creándose un residuo sólido que se debe gestionar. Además, y a menos que se elimine una parte del polvo, las emisiones de <math>SO_x</math> aumentan. Este problema es más importante en vidrios reducidos con elevados niveles de vidrio recuperado.</li> </ul>

- (a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 °K), 101,3 kPa y 8% de  $O_2$ .
- (b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $O_2$ .
- (c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 1,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

#### 4.2.4. Emisiones al agua

En general las emisiones al agua, como ya se ha mencionado anteriormente, son relativamente escasas. Estas emisiones pueden ser recicladas o tratadas mediante técnicas estándar.

Además de los sistemas en circuito cerrado que reducen el consumo y las emisiones de agua, como medidas generales para el control de las emisiones al agua pueden aplicarse las siguientes técnicas:

- Cubetos adecuados.
- Vigilancia y control de tanques y cubetos.
- Sistemas automáticos de control y detección de fugas y derrames.
- Venteos y puntos de llenado en el interior de los cubetos.

En su caso, el envío a sistemas de depuración de las aguas residuales, también puede considerarse como MTD. Estos sistemas de tratamiento de aguas residuales pueden ser:

- Tratamiento fisico-químico: cribado, separación superficial, sedimentación, centrifugación, filtración, neutralización, aireación, precipitación y coagulación y floculación.
- Tratamiento biológico: fangos activos y biofiltración.

#### 4.2.5. Residuos

En la medida de lo posible, las instalaciones de fabricación de vidrio deben prevenir, o al menos minimizar, la generación de residuos. Cuando no sea posible, se consideran Mejores Técnicas Disponibles, tal y como se ha comentado a lo largo del apartado 4.2, la utilización de casco de vidrio interno y la recuperación y reciclaje del polvo recogido en los sistemas de captación.

El empleo de casco de vidrio interno en sustitución de las materias primas tradicionales permite:

- Reducir el consumo de materias primas.

- Minimizar las emisiones a la atmósfera debidas, por un lado, a la reducción de las emisiones derivadas de la utilización de combustibles fósiles y, por otro, a que se evitan las reacciones de descarbonatación y desulfatación de las materias primas, y con ellas las emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>x</sub>.

La recuperación y reciclaje del polvo permite también mejorar la eficiencia energética, minimizar las emisiones de algunos contaminantes (por ejemplo, los SO<sub>x</sub>) y reducir el consumo de materias primas. No obstante, este residuo no siempre puede ser totalmente reutilizado en la fusión, especialmente en vidrio hueco donde los requisitos de sulfato para vidrio reducido, cuando se logran consumos elevados de casco de vidrio, son muy bajos. Además, en el caso del electrofiltro, las características fisicoquímicas del residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.

#### **4.3. Valoración de la aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en vidrio hueco**

Del conjunto de las MTD incluidas en el documento BREF como aplicables al subsector de fabricación de vidrio hueco, así como de las consideradas MTD en el apartado 4.2 del presente documento, la experiencia de su implantación en industrias tanto europeas como españolas desde la publicación del BREF ha proporcionado información suficiente acerca de su viabilidad técnica y económica, así como de los beneficios e impactos ambientales que puede generar. Esta información queda reflejada en la siguiente tabla a través de la valoración cualitativa de cada una de las técnicas desde el punto de vista técnico, ambiental y económico.

Se ha valorado cada MTD de 0 a 4 para los apartados técnico, ambiental y económico, considerando "0" como la valoración mínima (peor valorado) y "4" como la valoración máxima (mejor valorado). Si la técnica es no aplicable o no relevante en el subsector, se ha indicado con "n.a.".

Desde el punto de vista técnico, se ha valorado que la técnica:

- Es viable desde el punto de vista técnico y es aplicable.
- Está contrastada.
- Existe experiencia suficiente a escala industrial.

En la valoración ambiental se han considerado:

- Los objetivos ambientales del subsector.
- Los beneficios ambientales que aporta la técnica.
- El balance ambiental total.

Por último, para valorar el aspecto económico, se ha tenido en cuenta la información existente sobre:

- Rentabilidad económica de la inversión en un plazo razonable.
- Costes de operación y mantenimiento posterior.

Cuando en la tabla no se encuentra valorada una técnica, se considera que no es aplicable al subsector por no existir experiencia suficiente para el mismo o no disponer de datos suficientes para su consideración.

Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas de tipo secundario.

**Tabla 2.1.41. Valoración técnica, ambiental y económica de las MTDs**

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup> (b)
<b>ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIAS PRIMAS</b>				
Silos cerrados ventilados a través de equipos de eliminación de polvo (por ejemplo, filtros de tejido).	4	2	2	-
Almacenamiento de materias primas finas en contenedores cerrados o sacos herméticos.	3	2	3	-
Almacenamiento de materias primas polvorrientas gruesas a cubierto.	3	3	2	-
Uso de vehículos de limpieza de calzadas y otras técnicas de humedecimiento con agua de las mismas.	n.a.	n.a.	n.a.	-
Transportadores cerrados.	3	3	2	-
Transporte neumático que dispone de un sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.	3	3	2	-
Adición de un porcentaje de agua en la mezcla (del 0-4%).	3	2	3	-
Control de la emisión de polvo en la zona de alimentación del horno: humidificación de la mezcla, creación de una ligera presión negativa dentro del horno, aplicación de aspiración que ventila a un sistema de filtro, utilización de alimentadores helicoidales cerrados, cierre de las cámaras de alimentación.	2	1 <sup>(g)</sup>	2	-
Diseño de las naves con el mínimo de aberturas y puertas y aplicación de cortinas antipolvo o sistemas de aspiración en zonas potencialmente muy polvorrientas.	2	2	3	-
En los almacenamientos de materias volátiles, mantenimiento de las temperaturas lo más bajas posibles.	n.a.	n.a.	n.a.	-
Reducción de las pérdidas de los tanques de almacenamiento a presión atmosférica mediante: pintura para tanques con baja absorción solar, control de temperatura, aislamiento de los tanques, gestión de inventarios, tanque de techo flotante, sistemas de trasvase con retorno de vapor, tanques con techo de diafragma, válvulas de presión/vacío (cuando los tanques tengan que soportar fluctuaciones de presión), tratamientos específicos de las emisiones (adsorción, absorción, condensación), llenado subterráneo.	n.a.	n.a.	n.a.	-
<b>FUSIÓN</b>				
<b>Partículas/polvo</b>				
Filtro de mangas (en conjunción con sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco, cuando sea necesario)	3	2 <sup>(c)</sup>	1	10 - 20
Precipitador electrostático (en conjunción con sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco, cuando sea necesario)	3	2 <sup>(c)</sup>	1	30-50

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup> (b)
<b>Óxidos de azufre</b>				
Sistema de eliminación de polvo, en conjunción con lavado de gases ácidos cuando proceda (con el reciclaje del residuo sulfatado cuando sea posible)	3	1 <sup>(c)</sup>	1	500-900 (gas natural) 1.200-1.600 (combustibles líquidos)
<b>Óxidos de nitrógeno</b>				
▪ Modificaciones de la combustión: ▪ Reducción del ratio aire/combustible ▪ Reducción de la temperatura del aire de combustión ▪ Combustión por etapas ▪ Recirculación de los gases de combustión ▪ Quemadores de bajo NO <sub>x</sub> ▪ Elección del combustible ▪ <i>Boosting</i> eléctrico ▪ Diseños adecuados de la geometría del horno ▪ Posicionamiento y número de quemadores ▪ Aumento en el consumo de casco de vidrio como materia prima	4	4	3	800-1.100 (horno bucle) 1.000-1.500 (horno transversal)
Oxicombustión	1 <sup>(d)</sup>	2	1	0,7-1,2 kg/t
3R/Recombustión (para hornos regenerativos)	1 <sup>(e)</sup>	2	2	500-1.100
SCR	1 <sup>(f)</sup>	2	1	700-1.000
SNCR	1 <sup>(f)</sup>	1	1	-
<b>Otras emisiones de la fusión</b>				
Selección de materias primas	n.a.	n.a.	n.a.	-
Lavado de gases ácidos (combinado con selección de materias primas)	n.a.	n.a.	n.a.	-
<b>PROCESOS DE ACABADO</b>				
Minimización del uso de recubrimiento de forma compatible con las especificaciones del producto.	2	4	4	-
Asegurar una buena hermeticidad de las zonas de aplicación de recubrimientos para minimizar las pérdidas.	2	4	4	-
Sistema de eliminación común de gases ácidos y polvo para tratar conjuntamente los vapores del tratamiento en caliente y los gases residuales del horno.	3	1	1	-
Extracción y emisión de los gases directamente a la atmósfera, asegurando una buena dispersión (a utilizar sólo si las emisiones son muy bajas).	3	1	4	-
Extracción y tratamiento de los gases con técnicas secundarias como lavado húmedo.	2	3	2	-
Combinación del gas residual con el aire de combustión del horno.	1	1	3	-

<sup>(a)</sup> Los datos se refieren a condiciones en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.<sup>(b)</sup> Estos niveles están supeditados a la disponibilidad de casco de vidrio reciclado y a que el horno trabaje en condiciones óptimas (el mejor horno en condiciones ideales de operación: nuevo, con extracción nominal, estabilidad de funcionamiento, etc.).

- (c) El uso de electrofiltros y filtros de mangas presenta otros inconvenientes desde el punto de vista medioambiental:
- Genera una elevada cantidad de residuos (entre 1.000-2.000 kg/día) no totalmente reutilizable en el proceso de fusión. Las características físico-químicas de este residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.
  - Consumo energético elevado para el funcionamiento
- Por su parte, los lavadores consumen energía por lo que se incrementa el consumo energético total de la instalación. Además, se produce un residuo sólido que puede aumentar de manera importante la cantidad de residuos generados y, aunque en la mayoría de los casos puede reciclarse, esto requiere ajustes en el proceso y limitar la eficacia global de reducción de  $\text{SO}_x$ . Por último, los costes de inversión y operación de los lavadores son importantes.
- (d) La oxicombustión estuvo muy en boga en los años 90 aunque actualmente se encuentra fuertemente cuestionada por las siguientes razones:
- Elevado incremento del consumo energético.
  - Dificultad en la conducción del proceso de fusión.
  - Mayor desgaste de la estructura del horno.
  - Necesidad de garantizar en continuo el suministro de  $\text{O}_2$ .
- (e) El empleo de 3R presenta los siguientes inconvenientes que, desde el punto de vista técnico, lo hace poco fiable:
- El mayor campo de aplicación se ha dado en el vidrio plano que cuenta con refractario de mayor calidad. Incluso con esta calidad, la experiencia ha demostrado que la atmósfera reductora creada en los regeneradores daña los materiales refractarios. De hecho, se ha comprobado la necesidad de reparar los regeneradores dos años después de la instalación de esta tecnología, cuando habitualmente su vida media es de 10-12 años.
  - Mayor consumo de combustible (aproximadamente un 7% más).
  - Mayores emisiones de  $\text{CO}_2$  por el uso de hidrocarburos para conseguir la reducción necesaria de  $\text{NO}_x$  (20-30 kg de  $\text{CO}_2/\text{t}$  de vidrio fundido).
- (f) El empleo de amoniaco en procesos complejos (continuos, cambios de colores, surtido elevado de modelos, volúmenes importantes, etc.) como el del vidrio no está recomendado debido a los riesgos inherentes a su propio uso.
- (g) Son técnicas muy diversas, algunas de las cuales pueden ser incluso perjudiciales para el balance medioambiental. En todo caso tienen muy escaso efecto sobre la reducción de partículas difusas.



## ***SECCIÓN 2. Vidrio plano***

### **1. INTRODUCCIÓN**

El subsector del vidrio plano abarca la producción de vidrio flotado y vidrio impreso. Este último se utiliza en aplicaciones donde se desea dispersar la luz (particiones, mamparas, invernaderos, etc.). El vidrio flotado se utiliza principalmente en el sector de la edificación y del automóvil y representa el 95% de la producción total.

La diversidad de productos fabricados a partir de estos vidrios es muy amplia y depende del uso final del producto. En líneas generales se pueden diferenciar los siguientes tipos de transformados derivados del vidrio plano:

- Vidrio laminado y de seguridad.
- Vidrio plateado (espejos).
- Vidrio mateado.
- Vidrio de capas (de control de emisión, reflectantes).
- Vidrio de automoción.
- Vidrio templado.
- Vidrio serigrafiado.
- Vidrio antirreflectante.
- Y otros.

Las principales características de esta industria son:

- **Productivas**: la producción es de tipo continuo, por exigencias de la propia fusión, homogeneización del vidrio y proceso posterior de formación de una “hoja continua”, precisando de una gran regularidad de funcionamiento. Únicamente se producen paradas cuando los hornos se encuentran agotados por el desgaste sufrido durante la campaña.
- **Tecnológicas**: las empresas vidrieras españolas se encuentran al mismo nivel que las del resto de los países en materia tecnológica, pudiendo competir con ellas tanto por la modernidad de los equipos como por el grado de automatización de los procesos. No existen tecnologías alternativas en la fabricación de vidrio plano, pudiendo únicamente observarse pequeñas diferencias en cuanto al tipo de horno y otros aspectos del proceso. Además, la tecnología procede de grupos especializados a los que hay que adquirir el equipamiento, que obviamente cuenta con todas las acreditaciones y garantías.
- **Financieras**: la industria de vidrio plano es intensiva en capital. El gran volumen de inversión requerido para arrancar la actividad, unido a una recuperación lenta y paulatina que supone un margen estrecho por unidad de producto, hace necesaria una especial consideración hacia la inversión y la programación de las campañas.
- **Temporales**: la duración de un horno es de 10 a 15 años (con tendencia a aumentar este período), debiendo entonces procederse a su sustitución por uno nuevo. Es exclusivamente al finalizar este período cuando se pueden incorporar al proceso las modificaciones necesarias para adecuarse a las cambiantes condiciones del mercado.

- Energéticas: la fabricación de vidrio plano consume una elevada cantidad de energía, que puede situarse entre el 20% y 30% de los costes de producción. De esta circunstancia se derivan dos consecuencias: que su reducción ha sido en todo momento un objetivo prioritario y que cualquier incremento del coste de combustible tiene un fuerte reflejo en el precio de venta.

La fabricación de vidrio plano está repartida entre tres sociedades, Saint Gobain Cristalería, S.A., Guardian, S.A., y Glapilk (Glaverbel y Pilkington), que representan el 100% de la producción de vidrio plano en España. Están agrupados en FAVIPLA (Asociación de Fabricantes de Vidrio Plano), integrante de Vidrio España. Saint Gobain Cristalería cuenta con tres centros productivos: dos líneas de vidrio flotado, situadas en Avilés (Asturias) y en Arbós (Tarragona) y una de vidrio colado en Renedo (Santander). Guardian dispone de un centro en Llodio (Álava) con una línea de vidrio flotado y otra de vidrio colado, y otro en Tudela (Navarra) con una línea de flotado. Por último, Glapilk cuenta con una línea de flotado en el Puerto de Sagunto (Valencia).

De la producción total de vidrio en España, en torno al 25 % corresponde a vidrio plano. La capacidad de producción es de unas 3.100 toneladas diarias, incluyendo vidrio flotado y vidrio colado. La producción anual ronda 1.100.000-1.150.000 toneladas.

**Tabla 2.2.1. Características de las empresas españolas fabricantes de vidrio plano**

Nº de empresas	3
Nº de centros de producción	6
Facturación (millones €/año)	460-500
Mano de obra total ocupada	2.420
Producción total de vidrio fundido (t/año)	1.090.000

Fuente: Vidrio España (2003).

Los principales mercados de vidrio plano son el sector de automoción y la construcción. Otros sectores demandantes de este tipo de vidrio son el mobiliario, el aeronáutico, la electrónica, los electrodomésticos y las aplicaciones antifuegos.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fusión del vidrio plano es muy similar al del resto de los subsectores, explicado de forma general en la Parte I del presente documento. En la figura 2.2.1 se presenta el proceso tipo para el vidrio plano, el cual se diferencia en las etapas de conformado, recocido y corte del resto de los subsectores.

Las materias primas (arena, carbonato sódico, caliza y componentes secundarios) se descargan en silos de almacenamiento. Seguidamente se realiza un pesaje automático de las cantidades adecuadas de las materias primas, incluyendo el casco de vidrio, mediante básculas electrónicas, lográndose la mezcla en húmedo adecuada que alimentará el horno de fusión.

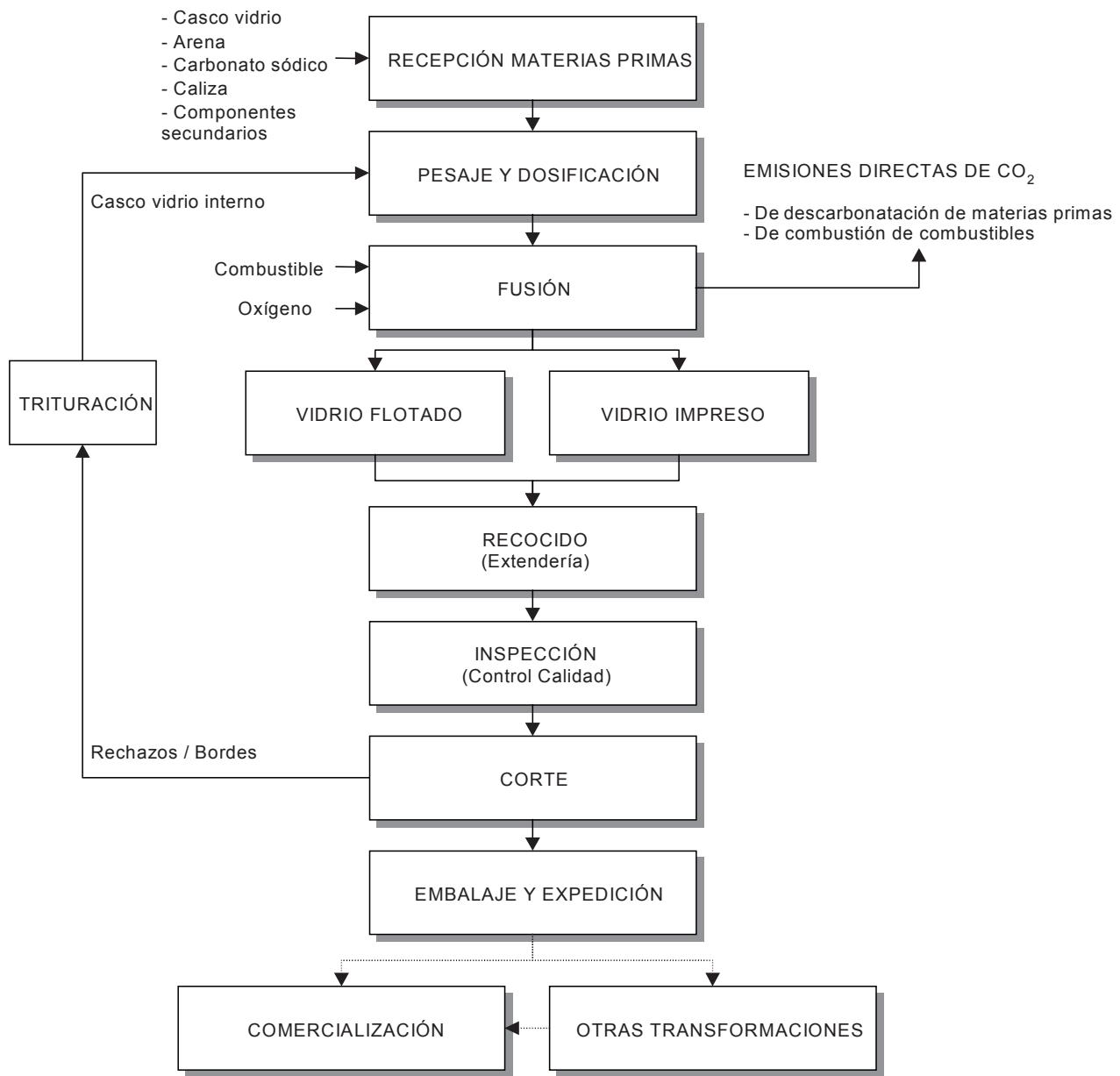


Figura 2.2.1. Proceso tipo para la fabricación de vidrio plano.

La mezcla vitrificable es sometida a un proceso de fusión en continuo en el horno, a una temperatura máxima de aproximadamente 1.550°C. Después de que los componentes se fundan, el vidrio es afinado y homogeneizado con la finalidad de eliminar las burbujas de aire y gases generados en el proceso, hasta obtener una masa acondicionada de vidrio dispuesta para la etapa de flotado o impresión. Modificando las composiciones pueden obtenerse vidrios de color y vidrios especiales. En las industrias españolas de fabricación de vidrio plano existen dos tipos de hornos:

Tabla 2.2.2. Tipos y número de hornos

TIPO DE HORNO	NÚMERO
Llama transversales regenerativos	5
Llama de bucle regenerativos	2

El conformado del vidrio plano en España se realiza básicamente por flotación, si bien se mantienen líneas de producción por colado continuo (laminado) en función de las especificaciones de los productos finales.

El proceso de fabricación de vidrio plano mediante laminado continuo deriva históricamente de los procesos de colado. Fue el desarrollo de los grandes hornos balsa lo que permitió abordar la puesta en marcha de instalaciones de fabricación continua de forma similar a las instalaciones de vidrio hueco.

El proceso de flotación, técnica desarrollada comercialmente desde 1960 (sistema Pilkington), permite obtener un vidrio que presenta las ventajas de los métodos tradicionales de estirado y laminado/pulido, sin presentar ninguno de sus inconvenientes.

El vidrio, fundido en hornos balsa de grandes dimensiones ( $300\text{-}350\text{ m}^2$ ) y después de afinado y acondicionado, se vierte sobre un baño de estaño fundido de entre 30 y 90 mm de profundidad. El vidrio fundido flota sobre el baño de estaño debido a su menor densidad. El flotado permite una mayor homogeneidad de espesor de la lámina que otros procesos.

El baño de flotación se encuentra en atmósfera reductora ( $N_2$  con pequeños porcentajes de  $H_2$ ) para evitar la oxidación del estaño metal y está dividido en varias zonas con aporte de energía eléctrica cuyo control de temperatura es muy riguroso, oscilando entre  $1050^\circ\text{C}$  y  $700^\circ\text{C}$ . La principal ventaja de este procedimiento es la obtención de una lámina de vidrio pulida por ambas caras sin necesidad de ser sometida a ninguna operación posterior. La lámina sale de la cámara de flotado a través de un tren de rodillos especiales (LOR) y prosigue en forma horizontal dentro del horno de recocido (extendería), donde el vidrio se enfriá de forma controlada desde los  $600^\circ\text{C}$  hasta, aproximadamente, los  $200^\circ\text{C}$ . A la salida del horno de recocido, la lámina se enfriá, se corta y se somete a los distintos procesos de transformación según su destino final.

Además de las ventajas del proceso de flotación ya señaladas, hay que añadir la alta velocidad de extracción que permite este proceso. Para un espesor de 6 mm, la velocidad de extracción puede llegar a los 350 m/h. Los espesores que pueden obtenerse mediante el procedimiento de flotación varían entre los 2 y 20 mm y la anchura de la lámina obtenida puede sobrepasar los 4 m.

Tras el conformado, una vez recocido y sometido a un control de calidad mediante sistemas ópticos, se procede a realizar el corte de la lámina de vidrio a la salida de la extendería de forma automática y según controles y dimensiones automatizados. Las hojas obtenidas son clasificadas según los niveles de calidad requeridos, embaladas y trasladadas al almacén de productos acabados para su posterior distribución o para someterse a las siguientes transformaciones.

A continuación, se resumen algunas de las principales operaciones típicas de los terminados y acabados en el vidrio plano:

- Vidrio de automoción, que consiste en la laminación y curvado o en el templado del vidrio plano.
- Doble, triple o múltiple acristalamiento, que consiste en disponer dos o más láminas de vidrio con cámaras intermedias de aire para conseguir un aislamiento acústico y térmico. La adición de capas reflectantes, antirreflectantes y emisivas aumenta la eficiencia aislante.

- Vidrio laminado, que consiste en unir dos o más hojas de vidrio con uno o más filmes de polivinil butiral (PVB), lo cual permite que el vidrio se comporte como un producto de seguridad. Si se produce una rotura, los fragmentos de vidrio no se desprenden sino que se quedan adheridos al plástico. Asimismo, el vidrio laminado posee características de aislamiento térmico y acústico.
- Tratando las superficies con procedimientos como el mateado al ácido, se obtienen vidrios translúcidos que se utilizan para el acondicionamiento y decoración de interiores.
- Depositando capas muy finas (10 nm – 20 µm) de diversas composiciones y por diversos procesos, se fabrican espejos, vidrio esmaltado, vidrios de control solar o vidrios cuya función es economizar energía.
- Efectuando un templado térmico (enfriamiento rápido del vidrio, que pasa de 600 a 300°C) o químico, se refuerzan las propiedades mecánicas del vidrio, indispensables para los vidrios templados de seguridad.

### 3. NIVELES ACTUALES DE EMISIONES Y CONSUMOS DE ENERGÍA Y MATERIAS PRIMAS

La fabricación de vidrio plano es una actividad intensiva en consumo energético. La etapa con mayor importancia medioambiental, desde todos los puntos de vista, es la fusión (emisiones de gases y partículas). También el consumo de materias primas es un hecho relevante en la industria del vidrio, si bien el porcentaje de casco de vidrio interno (el uso de casco externo en vidrio plano es prácticamente nulo) que se recicla supone ahorro en el consumo de materias primas primarias y energía.

En la siguiente tabla se resumen los principales aspectos medioambientales del proceso de fabricación del vidrio plano:

**Tabla 2.2.3. Aspectos medioambientales de la fabricación de vidrio plano por etapas**

Etapa	Categoría de aspectos medioambientales	Aspectos medioambientales
Recepción, Molienda y Mezcla de Materias Primas	Consumo Recursos	<p><u>Materias primas:</u> arena silícea, casco de vidrio, nefelina, carbonato sódico, caliza, dolomía, sulfato sódico anhidro, sulfato cálcico, escorias, feldespatos, carbón y óxidos metálicos.</p> <p><u>Agua:</u> humidificación, mezclas y lavado (si existe).</p> <p><u>Energía:</u> eléctrica (mezcladoras, transportadores, pesada, clasificación).</p>
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación de aguas	Aguas residuales de lavado con metales (si existe).
	Residuos	Derrames, pérdidas, rechazos, envases y embalajes, partículas sistemas de aspiración.
	Ruido	Emisiones de ruido.
Fusión	Consumo Recursos	<p><u>Agua:</u> refrigeración de hornos.</p> <p><u>Energía:</u> combustible empleado para fusión. Apoyo eléctrico</p>
	Contaminación atmosférica	Volátiles, $SO_x$ , $CO_2$ , $NO_x$ , metales pesados (impurezas), HF, HCl, CO, pérdidas por evaporación.
	Contaminación de aguas	Aguas residuales procedentes de purgas y pérdidas de los sistemas de refrigeración que contienen sales disueltas y sustancias para el tratamiento del agua.

Etapa	Categoría de aspectos medioambientales	Aspectos medioambientales
Fusión	Residuos	Polvos de los conductos (sulfatos y otros), residuos de refractarios, restos de vidrio, infundidos, desmantelamiento de hornos (material refractario).
	Ruido	Emisiones de ruido.
Conformado + Enfriamiento (extendería) + Transformación	Consumo Recursos	<u>Materias primas auxiliares</u> , para recubrimientos en frío y caliente. <u>Gases para el proceso</u> : Nitrógeno, hidrógeno y dióxido de azufre. <u>Agua</u> : Refrigeración. <u>Energía</u> : Normalmente consumo de energía eléctrica o combustibles fósiles (gas).
	Contaminación atmosférica	Emisiones difusas: SO <sub>x</sub> .
	Contaminación de aguas	Aguas residuales con restos de vidrio, partículas, algo de aceite, sustancias para el tratamiento de aguas, purgas, pérdidas.
	Residuos	Restos de materias primas y auxiliares y de productos intermedios, manta aislante, residuos recubrimientos superficiales, etc.
	Ruido	Emisiones de ruido.
Embalaje y Almacenamiento	Consumo Recursos	<u>Energía</u> : Energía eléctrica.
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación de aguas	Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, etc.
	Residuos	Restos de envases y embalajes, producto fuera de especificaciones.
	Ruido	Emisiones de ruido.
Operaciones de mantenimiento y limpieza	Consumo Recursos	<u>Energía</u> : Energía eléctrica. Materias auxiliares (aceites y grasas, etc.)
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación de aguas	Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, aceites, otros.
	Residuos	Rechazos y derrames en general, lodos de depuradoras, aceites, material refractario, manta aislante.
	Ruido	Emisiones de ruido.

### 3.1. Consumo de recursos: Materias primas, energía y agua

#### 3.1.1. Consumo de materias primas

En el siguiente cuadro, se recogen las materias primas utilizadas mayoritariamente en la fabricación de vidrio plano:

**Tabla 2.2.4. Porcentajes medios estimados en función del consumo global de materias primas**

Arena	61 %
Carbonato sódico	18 %
Dolomía	16 %
Caliza	2 %
Escoria	0,9 %
Feldespato/nefelina	0,8 %
Sulfato sódico	0,7 %
Óxido de hierro	0,1 %
Carbón	0,02 %
Colorantes	<0,001 %

Fuente: Vidrio España, 2005.

El porcentaje de casco de vidrio utilizado (propio y/o comprado) se sitúa en torno al 20%, dependiendo de su disponibilidad y de las especificaciones del producto acabado.

El almacenamiento de las materias primas y auxiliares se realiza en silos cerrados y almacenes ubicados en el interior de las instalaciones con lo que se minimiza al máximo la contaminación de aguas de lluvia por arrastre y la contaminación del suelo por lixiviación de materiales.

### 3.1.2. Consumo de agua

La principal actividad consumidora de agua es la refrigeración de los equipos. Normalmente estos sistemas funcionan en circuitos cerrados donde se reponen las pérdidas por evaporación. Además, se consume agua para reponer las purgas realizadas en los tratamientos posteriores a la fusión.

El consumo total de agua en el subsector de vidrio plano en España es, en general, poco significativo y equivale a consumos específicos de alrededor de  $0,5 \text{ m}^3/\text{t V}^\circ \text{ F}^\circ$ .

### 3.1.3. Consumo de energía

Como ya se ha mencionado, la fabricación de vidrio plano, como en el resto de la industria del vidrio, es un proceso que fundamentalmente consume energía. La principal fuente de energía son los combustibles fósiles los cuales se consumen en su mayor parte en la fusión, aunque también pueden utilizarse en la alimentación, conformado, recocido, temple y acondicionamiento de las cargas. La energía eléctrica se consume principalmente en el conformado, aire comprimido, transporte de materiales, en algunos procesos de calentamiento, como apoyo en la fusión, en sistemas de fusión mixtos (*boosting*), etc.

La distribución del consumo de energía en un proceso típico de vidrio flotado se muestra en el gráfico, pero es necesario tener en cuenta que el uso energético en procesos particulares puede variar ligeramente:

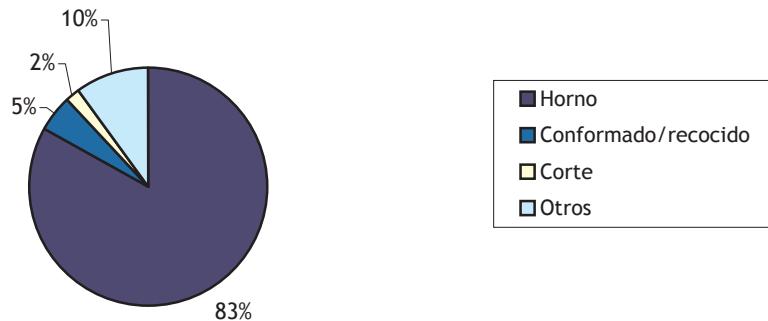


Figura 2.2.2. Uso de energía para un proceso típico de vidrio flotado.

Puede observarse que más de tres cuartos de la energía utilizada en una planta se gasta en la fusión del vidrio. De ahí que el control de la fusión y las mejoras en su rendimiento sean tan importantes. Tanto los hornos de quemadores transversales como los de bucle consumen más del 90% de la totalidad de la energía utilizada en la fábrica. El conformado y el recocido suponen un 5% adicional. La energía restante se utiliza para servicios, sistemas de control, iluminación, calefacción y procesos postmoldeo como inspección y embalaje.

Salvo excepciones y procesos concretos, el consumo de energía eléctrica en la industria vidriera se centra en el conformado y operaciones posteriores. Así, en la fabricación de vidrio plano el consumo de energía eléctrica en estas etapas puede suponer más del 50% del total.

La distribución de usos y consumos de las distintas fuentes de energía en el vidrio plano español se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 2.2.5. Distribución del consumo energético en la fabricación de vidrio plano

Subsector	Nº de hornos considerados	Producción total de vidrio fundido (t/año)	Tipos de fuentes de energía	Distribución de consumos (MWh/año)	Porcentaje con respecto al total del consumo energético (%)	Consumo específico (kWh/t Vº Fº)
Vidrio plano	7	1.100.000	Gas natural	1.860.187	82,00	1.691,08
			Fuel	282.601	12,46	256,91
			Propano	3.525	0,16	3,20
			Electricidad	122.335	5,39	111,21

Fuente: Vidrio España, 2005.

En el siguiente cuadro se resumen y se comparan, de forma aproximada, los consumos por etapa del conjunto de combustibles por un lado y de la electricidad por otro, en la fabricación de vidrio plano:

**Tabla 2.2.6. Consumo de energía por etapas**

VIDRIO PLANO
<b>Combustibles (100%) <sup>(a)</sup></b>
Horno de fusión: ≈ 80-90%
Calderas y calefacción: 3,5%
Hornos para vidrios especiales: 2%
Estirado y extendería: 1,7-5%
Secaderos: 1%
Transportes y grupos electrógenos: 0,1%
<b>Consumo de energía eléctrica (100%) <sup>(b)</sup></b>
Transformaciones mecánicas: 74%
Electrotermia: 26% <sup>(c)</sup>
Otros: 0,2%

Fuente: MINER, diversos estudios energéticos del sector.

- (a) Se considera el 100% del consumo de combustibles. La distribución es aproximada y en cada proceso de fabricación dentro del vidrio plano puede variar, ya que en muchos procesos y/o etapas es más frecuente el uso de energía eléctrica.
- (b) Se considera el 100% del consumo de energía eléctrica repartida en las operaciones principales y de forma global.
- (c) Se entiende por electrotermia la energía eléctrica utilizada con fines de calentamiento en un equipo determinado. En vidrio plano, la electrotermia se utiliza principalmente en el baño float, extendería y hornos de tratamientos térmicos para algunos vidrios especiales, etc.

### 3.2. Emisiones atmosféricas

En este apartado se tratan las emisiones a la atmósfera de los principales contaminantes generados en la fusión (hornos). Actualmente y salvo casos muy concretos, las emisiones de polvo y partículas procedentes de otras etapas están controladas y, en la mayoría de los casos, se toman medidas preventivas o correctivas como sistemas de aspiración y captación de polvo, cerramientos, automatización en la dosificación, mezcla en húmedo y transporte, etc.

En el siguiente cuadro se muestran los intervalos de emisiones más representativos de este subsector:

**Tabla 2.2.7. Emisión de sustancias contaminantes en función del tipo de combustible utilizado <sup>(a)</sup>**

SUSTANCIA	GAS NATURAL (mg/m <sup>3</sup> )	FUEL-OIL (mg/m <sup>3</sup> )
Óxidos de Nitrógeno	1.500-4.000	1.100-3.600
Óxidos de azufre	400-1.800	1.500-3.000
Partículas totales <sup>(b)</sup>	120-350	150-500
Cloruros (HCl)	25-80	25-80
Floruros (HF)	5-20	5-20
Metales	0-0,5	0-0,5

Fuente: TWG, IPTS e industria española.

Los valores reflejados en este cuadro están referidos a vidrio plano transparente y de composición sódico-cálcica.

(a) Condiciones de referencia: en seco, 273 K, 101,3 kPa y 8% O<sub>2</sub>.

(b) Prácticamente la totalidad de las partículas emitidas pueden ser consideradas como PM<sub>10</sub>.

Este intervalo de variación está relacionado con el combustible utilizado y las condiciones de explotación, así como con el tipo de horno y tiempo que lleva funcionando. Además, la dispersión se ve acrecentada por la inexistencia en España de legislación específica sobre métodos de medida para las emisiones de hornos de vidrio, así como por la poca experiencia

de la mayoría de las entidades encargadas de realizarlas. Esta limitación condiciona el conocimiento real de las emisiones de partida lo que supone una dificultad añadida a la hora dimensionar la instalación y medir su grado de eficacia.

También son representativas las emisiones de CO<sub>2</sub> de las instalaciones de vidrio plano que oscilan entre los 500 y 600 g/kg Vº Fº.

### 3.3. Residuos

La característica principal del subsector es que el rechazo de casco producido se reutiliza como materia prima prácticamente en su totalidad (casco interno). El resto de residuos proceden de operaciones de manipulación de materias primas, de los sistemas de depuración y captación de partículas, sistemas de filtrado de humos de los gases y residuos de sulfatos en los hornos.

También son importantes, al final de la campaña de un horno, los residuos de refractarios generados por la reconstrucción de las estructuras. Estas operaciones pueden generar cantidades importantes de residuos (entre 500 y 2.000 t, dependiendo del tamaño de los hornos) que, dada la posibilidades actuales de valorización externa, pueden ser mínimamente recuperados, eliminándose en su mayor parte a través de vertederos autorizados.

**Tabla 2.2.8. Generación de residuos**

TIPOS DE RESIDUOS GENERADOS EN LAS INSTALACIONES DE VIDRIO PLANO	t/AÑO	CLASIFICACIÓN/TIPO DE RESIDUO	GESTIÓN
Chatarra metálica	20-250	Residuo no peligroso	Reutilización
Papel y cartón	10-90	Residuo no peligroso	Reutilización
Aceites usados	1-4	Residuo peligroso	Gestor autorizado/Reutilización
Bidones plásticos/metálicos	10-25	Residuo peligroso/Residuo no peligroso	Gestor autorizado
Plásticos	10-90	Residuo no peligroso	Vertedero
Emulsiones con aceites	≈ 30	Residuo peligroso	Gestor autorizado
Otros (maderas, residuos de operaciones de mantenimiento, etc.)	40-220	Residuo no peligroso/Residuo no peligroso	Vertedero
Baterías	1-2	Residuo peligroso	Reciclado/gestor autorizado
Restos de limpieza de cámaras y de materias primas	100-1000	Residuo peligroso - Residuo no peligroso	Reciclado/gestor autorizado
Refractarios y aislantes de los hornos	10-500	Residuo peligroso - Residuo no peligroso	Vertedero inerte/ gestor autorizado
Otros (clínicos, tubos, etc.)	-	Residuo peligroso	Incineración/depósito seguridad/gestor autorizado

Fuente: Vidrio España, 2005.

La cantidad de casco de vidrio generada es de alrededor de 150.000 t/año. No se puede considerar un residuo en sentido estricto, ya que todos los rechazos y restos de casco interno generados son reutilizados directamente en las plantas como materia prima.

**Tabla 2.2.9: Producción relativa de residuos**

PRODUCCIÓN TOTAL DE RESIDUOS (t/año)	PRODUCCIÓN TOTAL DE FAVIPLA (t Vº Fº/año)	RELACIÓN RESIDUOS/PRODUCCIÓN
1.250-2.200	1.090.000	0,001-0,002

Fuente: Vidrio España, 2005.

La zona de almacenamiento de residuos dentro del subsector del vidrio plano suele presentar las siguientes características:

- Área separada y delimitada.
- Cobertura superior y lateral contra pluviales de manera que no pueda entrar el agua de lluvia.
- Solera impermeable.
- Métodos de retención de los posibles derrames (bandejas de recogida, cubetos de contención, etc.) en el caso de residuos líquidos.
- Alejado de las arquetas de pluviales.
- Medidas contra incendios.

Todas estas medidas pretenden eliminar o, al menos, reducir al máximo el vertido de aguas de lluvia contaminadas por arrastre de diferentes materiales y la contaminación del suelo por lixiviación.

### 3.4. Ruidos

El nivel acústico suele ser alto en el interior de las instalaciones, pero no afecta al exterior. Las principales fuentes generadoras de ruido son los sistemas de alimentación de materias primas y el funcionamiento de los hornos.

Generalmente para reducir los efectos se emplean sistemas de protección personal, unas veces con carácter individual y otras como zonas de aislamiento acústico dentro de las propias instalaciones.

### 3.5. Vertidos de aguas residuales

Como se ha comentado anteriormente, los principales usos del agua en este sector son limpieza, refrigeración y humidificación de mezclas. Los vertidos de aguas residuales de las fábricas varían entre 20 y  $< 300 \text{ m}^3/\text{día}$ . Las emisiones acuosas se limitan fundamentalmente a las purgas y pérdidas de los sistemas de refrigeración, que en general funcionan en circuito cerrado, a las aguas de limpieza y a la circulación de aguas superficiales. Las aguas de limpieza no presentan ningún aspecto particular que no sea común en cualquier instalación industrial, esto es, la presencia de sólidos inertes. Las purgas del sistema de refrigeración contienen sales disueltas y productos químicos de tratamiento de aguas. La calidad del agua superficial dependerá del grado de separación de los desagües y de limpieza de la instalación.

Excluyendo el agua residual doméstica, las evacuaciones de agua normalmente sólo contienen sólidos y productos químicos para el tratamiento del sistema de agua. En el sector se utilizan técnicas de control de contaminación simples, como sedimentación, cribado y neutralización.

Se pueden producir otros vertidos en los tratamientos posteriores del vidrio y en las operaciones de limpieza de la sección productiva.

En general, los vertidos de aguas residuales no constituyen un aspecto esencial en cuanto a la contaminación producida. Las sustancias y límites de vertido de las mismas, deben estar especificadas en las autorizaciones de vertido otorgadas por las administraciones competentes.

Normalmente los parámetros que se controlan son de tipo físico (temperatura, color, etc.) y químico (pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, etc.). En general, está prohibido el vertido a cauce de todas aquellas sustancias que no estén incluidas expresamente en la autorización de vertido. (Artículo 100 del texto refundido de la Ley de Aguas: *“Queda prohibido, con carácter general, el vertido directo o indirecto de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del dominio público hidráulico, salvo que se cuente con la previa autorización administrativa.”*)

No obstante, es recomendable que las instalaciones hagan al menos una analítica completa de sus vertidos teniendo en cuenta las sustancias contaminantes y los requisitos incluidos en las nuevas normativas de información ambiental (Registros EPER y E-PRTR), de cara a identificar todas las sustancias que son emitidas por la instalación.

#### 4. TÉCNICAS UTILIZADAS Y MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES EN VIDRIO PLANO

Las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) constituyen una de las herramientas que se contemplan para la protección del medio ambiente tanto en la Ley 16/2002, de 1 de julio, como en la Directiva 96/61, de 24 de septiembre. De acuerdo con la definición dada en el artículo 3, párrafo ñ) de la Ley 16/2002, una MTD es:

*“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 posible, reducir en general las emisiones y el impacto en conjunto del medio ambiente y de la salud de las personas”.*

También se entenderá por:

- *“Técnicas, la tecnología utilizada, junto con la forma en que la instalación está diseñada, construida, mantenida, explotada o paralizada.”*
- *“Disponibles, las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del correspondiente sector industrial, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en España, 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 y de la salud de las personas”.*

Además, en la consideración de una técnica como Mejor Técnica Disponible, deben tenerse en cuenta los criterios establecidos en el anexo 4 de la Ley 16/2002, entre ellos:

- Uso de técnicas que produzcan pocos residuos.

- Uso de sustancias menos peligrosas.
- Desarrollo de técnicas de recuperación y reciclado de sustancias generadas y utilizadas en el proceso.
- Procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento comparables y positivos a escala industrial.
- Avances técnicos y evolución de los conocimientos científicos.
- Carácter, efectos y volumen de las emisiones de que se trate.
- Plazos de implantación.
- Consumo y naturaleza de los recursos utilizados.
- Medidas de eficiencia energética.
- Impacto global y riesgos al medio ambiente.

Así, según estos criterios, las mejores técnicas disponibles son aquellas que no generan emisiones o, si no es posible, minimizan al máximo las mismas y sus efectos sobre el medio ambiente. Como norma general, las medidas primarias son las que deberían considerarse como tales, ya que son las técnicas que reducen las emisiones en la fuente de origen, mientras que las técnicas secundarias corrigen la contaminación producida, por lo que deberían aplicarse cuando aquellas no permiten alcanzar los niveles de eficiencia ambiental requeridos.

La adopción de una MTD es muy variable en función de las particularidades de cada instalación. La aplicación de una misma técnica en instalaciones similares no produce los mismos resultados.

La viabilidad técnica y económica de determinadas medidas puede implicar la paralización de los procesos. En el sector vidriero es muy importante la consideración de los plazos para la implantación de determinadas técnicas, sobre todo cuando puedan suponer un cambio tecnológico o equipamiento importante o modificaciones sustanciales de las instalaciones. Este tipo de actuaciones sólo pueden llevarse a cabo en los períodos de reconstrucción de las instalaciones (hornos) al final de su vida útil. Se debe tener en cuenta también, que el coste de aplicación de una técnica determinada depende de forma importante de las características de cada instalación. Los datos al respecto que se incluyen en esta guía, se ofrecen con carácter orientativo y corresponden a la experiencia del sector.

La fabricación del vidrio es un proceso energético, lo que hace que el consumo de energía sea uno de los principales aspectos considerados por la industria. Históricamente, se ha incidido sobre él realizando una serie de mejoras que, además de reducir los consumos y los costes asociados, actúan sobre la generación de las emisiones en origen.

Las técnicas y medidas descritas en este apartado pueden considerarse como las más apropiadas para el sector de vidrio plano. En cuanto a los datos y niveles de emisiones asociados a las "mejores técnicas disponibles" deben entenderse como niveles de emisión esperables con las limitaciones expresadas en párrafos anteriores, y en el horizonte temporal de la normativa IPPC.

Los niveles de emisión asociados a MTDs, no son en ningún caso valores límite de emisión y no deben asimilarse a tales. La decisión sobre los límites que deben fijarse en cada instalación es responsabilidad de la autoridad medioambiental competente que, además de las MTD, tiene que tener en cuenta:

- Las características de la instalación (si es nueva o ya existente).
  - La localización geográfica.
  - Las medidas adicionales de calidad ambiental locales o regionales.
-

Es importante remarcar que los valores de emisión asociados incluidos en el Documento BREF, son valores de referencia asociados a una mejor técnica en las condiciones óptimas de funcionamiento, que no siempre son alcanzables en regímenes reales de operación. El BREF, que no tiene rango legal, es una herramienta importante aplicable como guía para la industria y la administración ambiental.

Esta Guía de MTD para la industria del Vidrio en España pretende completar la información disponible, teniendo en cuenta las particularidades del subsector de vidrio plano en el ámbito español.

También hay que tener en cuenta que una única MTD, primaria o secundaria, puede no ser aplicable para reducir todos los contaminantes emitidos por un foco de emisión o, en su caso, para alcanzar los niveles de emisión exigidos. Un ejemplo característico de ello es el uso de determinados filtros que reducen las emisiones de partículas, pero implican la generación de residuos que deben ser gestionados adecuadamente y el aumento del consumo de energía en la instalación.

Al final, en el balance medioambiental para la adopción de una u otra solución, deben tenerse en cuenta todos estos factores y valorar el peso relativo de cada uno de ellos. Dependiendo de la ubicación, de las características de la instalación e incluso de los objetivos en políticas medioambientales, así deberán ser las soluciones finales que deben aplicarse en cada caso. Este último aspecto se refleja con especial interés en este apartado.

#### **4.1. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones**

En las siguientes tablas se muestran las técnicas más comúnmente utilizadas en las instalaciones de vidrio plano de la industria española para la reducción de las emisiones más importantes. Estas técnicas están basadas en medidas de tipo primario y fundamentalmente enfocadas a la optimización del consumo de recursos mediante la mejora de la eficiencia de los procesos, teniendo en cuenta que:

- Las medidas primarias, al atacar el origen, son las únicas que realmente aportan soluciones.
- Al no existir tecnologías revolucionarias, los mayores esfuerzos se deben hacer en optimizar el proceso y en mejorar las eficiencias energéticas.
- Otras medidas pueden reducir determinadas emisiones pero a la vez pueden generar otros impactos medioambientales.
- En general, las medidas secundarias aumentan el consumo energético, lo que habrá de ser tenido en cuenta en el balance global.

El sector es consciente de la importancia de los impactos medioambientales del proceso de fabricación, sobre todo de aspectos como las emisiones atmosféricas de determinadas sustancias. Teniendo en cuenta la visión integral del medio ambiente que establece la normativa IPPC, los recursos de la industria relacionados con las circunstancias derivadas de un proceso sin paradas entre 10-15 años, así como los criterios generales sobre la adopción de MTD expuestos en la introducción de este apartado 4, siempre se debe priorizar la implantación de técnicas que estén sólidamente probadas y programarlas de acuerdo con las exigencias del propio proceso o de las instalaciones.

#### 4.1.1. Etapa: Recepción, mezcla y dosificación de materias primas

**Tabla 2.2.10. Almacenamiento de sólidos pulverulentos en silos cerrados**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Las materias primas que se consumen en grandes cantidades se almacenan en silos cerrados dotados de equipos de recogida y eliminación de polvo.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas. Eliminación de la contaminación de aguas pluviales por arrastre de materiales almacenados a la intemperie. Eliminación de la contaminación del suelo por lixiviación.
<b>Inconvenientes</b>	Importantes necesidades de espacio
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.11. Almacenamiento cubierto de materias auxiliares**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Las materias primas auxiliares de menor consumo se recepcionan en sacos o contenedores herméticos. Estos envases se almacenan en áreas cubiertas en el interior de las instalaciones con medidas de contención de derrames (bandejas de recogida, cubetos, etc.).
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas. Eliminación de la contaminación de aguas pluviales por arrastre de materiales almacenados a la intemperie. Eliminación de la contaminación del suelo por lixiviación.
<b>Inconvenientes</b>	Importantes necesidades de espacio.
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.12. Cubrimiento de las cintas transportadoras de materias primas**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Las materias primas se mueven sobre cintas transportadoras cubiertas.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas.
<b>Inconvenientes</b>	Dificulta la vigilancia y el mantenimiento de las cintas.
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.13. Acondicionamiento de la zona de alimentación del horno**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Introducción de diferentes técnicas en la zona de alimentación del horno que permiten controlar las emisiones de polvo: Humidificación de la mezcla, alimentadores cerrados, silos de alimentación cerrados, etc.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas.
<b>Inconvenientes</b>	La humidificación de la mezcla produce un mayor consumo energético y mayor pérdida de material.
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.14. Acondicionamiento de los edificios**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Los edificios de composición y las naves de hornos se diseñan con el mínimo de aperturas posible
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas
<b>Inconvenientes</b>	Es necesario asegurar un grado de refrigeración natural y de renovación del aire en el interior de estos edificios
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

#### 4.1.2. Etapa: Fusión

**Tabla 2.2.15. Hornos regenerativos**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Horno de fusión de vidrio que permite aprovechar la temperatura de los gases de la combustión para calentar el aire necesario para la misma. Se consigue, por tanto, el precalentamiento del aire de combustión (por ejemplo, a 1.250 °C).
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de energía. Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> .
<b>Inconvenientes</b>	El calentamiento previo del aire de combustión facilita la formación de NO <sub>x</sub> .
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total de un horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.16. Aumento progresivo de la cantidad de casco de vidrio empleado como materia prima**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	El vidrio es el único material que puede reintroducirse en el proceso sin que el producto final pierda ninguna de sus propiedades.
<b>Aspectos ambientales</b>	<p>Reducción de las emisiones y del consumo energético por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un menor empleo de combustible ya que el vidrio necesita menor energía para fundirse que las materias primas (un 2% de ahorro en energía por cada 10% de vidrio reciclado).</li> <li>▪ Reducción de la cantidad de materias primas utilizadas y, a su vez, de las emisiones de proceso por descarbonatación (1 t de vidrio reciclado ahorra 1,2 t de materias primas).</li> </ul> <p>Minimización del volumen de residuos urbanos.</p>
<b>Inconvenientes</b>	<p>Requiere recogida selectiva por calidades por parte de los transformadores y de los gestores de tratamiento de vidrio y plantas de tratamiento de casco. En este sentido, los problemas de separación por colores y calidades del vidrio plano hacen necesaria la implantación de medidas orientadas a la selección en origen.</p> <p>Las infraestructuras necesarias para la recogida selectiva por parte de los transformadores son externas, no existiendo un control sobre las mismas por parte del sector de fabricación de vidrio. Sería necesario asegurar un precio competitivo del casco con respecto al precio de las materias primas, de cara a mantener precios competitivos del producto final fabricado con mayores porcentajes de casco.</p> <p>El proceso de fabricación de vidrio plano es muy sensible incluso a niveles bajos de contaminación en la materia prima, lo cual hace que los porcentajes de casco empleados actualmente estén muy cerca del límite técnica y económicamente viable. Conforme aumenta el porcentaje de casco, las exigencias de calidad son mayores. Los niveles máximos permitidos para vidrio flotado son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Metales ferreos: 2 g/t para partículas &lt; 0,5 g</li> <li>▪ Metales no ferreos: 0,5 g/t para partículas &lt; 0,1 g</li> <li>▪ Materiales refractarios: ausencia</li> <li>▪ Sustancias orgánicas: 45 g/t para partículas &lt; 2 g</li> </ul>
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.17. Boosting eléctrico**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Empleo de energía eléctrica en sustitución de parte del combustible fósil para fusión del vidrio.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de combustibles fósiles y, por tanto, de las emisiones de partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> .
<b>Inconvenientes</b>	<p>La cantidad de electricidad para sustituir al combustible fósil viene condicionada por su precio (se estima que es rentable &lt; 5% del total de la energía consumida en el horno en las condiciones actuales).</p> <p>El aprovechamiento energético de combustible fósil en un horno de vidrio es muy superior al que se consigue en una central térmica para producir energía eléctrica.</p>
<b>Cuándo se aplica</b>	En el momento de la reparación total de un horno.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	25%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.18. Diseños de la geometría del horno**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	La superficie del vidrio es un factor importante en la formación de partículas y otros contaminantes atmosféricos. Los cambios en el diseño del horno intentan mejorar la transmisión energética a través de la masa vitrificable de manera que la temperatura de la superficie del vidrio sea más baja.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de partículas, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> . Reducción del consumo de energía.
<b>Inconvenientes</b>	Necesidad de contratar a una ingeniería altamente especializada en el diseño, construcción, supervisión y puesta en marcha de hornos de fusión de vidrio.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.19. Condiciones de llama**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	NO
<b>Descripción técnica</b>	Desde el punto de vista vidriero, la llama debe satisfacer un cierto número de criterios para mejorar la capacidad del fusión y permitir la elaboración de un vidrio de calidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es necesario asegurar una buena cobertura del baño de vidrio por las llamas.</li> <li>▪ Es necesario una llama lo más caliente y luminosa posible para aumentar la transferencia térmica por radiación.</li> <li>▪ Es necesario controlar el reparto térmico y el carácter oxidante o reductor de la llama, para controlar la formación de espuma, la coloración y el afinado del vidrio.</li> </ul> En las llamas de difusión, donde la mezcla del comburente y el combustible se realiza en el horno, la impulsión del chorro de combustible es un parámetro importante porque actúa sobre la longitud de la llama. Si el impulso aumenta, la longitud de la zona de combustión aumenta y con ello la formación de NO <sub>x</sub> es más rápida pero más limitada en el tiempo.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de NO <sub>x</sub> .
<b>Inconvenientes</b>	El aumento de la impulsión entraña fenómenos secundarios inversos (recirculación de los humos y disminución del tiempo de estancia de los compuestos químicos que conforman el vidrio).
<b>Cuándo se aplica</b>	En algunos casos puede aplicarse en cualquier momento.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.20. Posicionamiento y número de quemadores**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Una elevada velocidad del gas o un elevado nivel de turbulencias en la superficie del vidrio pueden incrementar la volatilización de sustancias de la masa vitrificable. El posicionamiento y número de quemadores tratando de optimizar la velocidad, la dirección y combustión de gas es una práctica habitual en los hornos de vidrio.
<b>Aspectos ambientales</b>	Mejor eficiencia térmica. Reducción de la emisión de partículas.
<b>Inconvenientes</b>	Estas modificaciones en el posicionamiento de los quemadores suelen ser más efectivas cuando hay un nuevo diseño del horno
<b>Cuándo se aplica</b>	En algunos casos puede aplicarse en cualquier momento.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.21. Sustitución de fuel por gas natural**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Reemplazar el fuel por gas natural como energía principal en el horno de fusión de vidrio
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de partículas, $SO_x$ y $CO_2$ .
<b>Inconvenientes</b>	El uso de gas natural aumenta de manera importante la emisión de $NO_x$ . La transferencia de calor a la masa vitrificable es más pobre debido a la menor luminosidad de la llama. Por tanto, la necesidad de consumo energético es mayor para alcanzar la temperatura de fusión del vidrio. Tiene un límite en el precio comparado de la termia. Puede reducir la capacidad extractiva del horno.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	85%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.22. Reducción de la relación aire/gas a niveles estequiométricos**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Controlar que la cantidad de aire que se emplea para la combustión del gas sea la menor posible.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de $NO_x$ .
<b>Inconvenientes</b>	Dificultad para mantener las condiciones estequiométricas con la información que se maneja actualmente sobre las características del combustible. Si la combustión de gas está por debajo del nivel estequiométrico, la concentración de CO puede aumentar peligrosamente desgastando los refractarios. El carácter reductor de la atmósfera del horno puede afectar a la calidad del vidrio (grado de afinado, color, etc.) y, al no producirse una oxidación completa del carbono, disminuye el rendimiento energético.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento en función del diseño del horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.23. Sellado de las paredes del horno y cámaras**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Reduce la entrada de aire parásito que aumenta la presencia de $NO_x$ .
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de $NO_x$ . Reducción del consumo energético.
<b>Inconvenientes</b>	Dificultad de mantener en el tiempo ya que las cámaras sufren procesos de dilatación y contracción por sus propias condiciones de trabajo.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.24. Quemadores de bajo NO<sub>x</sub> y baja impulsión**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	Sí
Descripción técnica	<p>Las características principales de estos quemadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducen los picos en las temperaturas de llama ya que permiten una mezcla más lenta entre el gas y el aire de combustión.</li> <li>▪ Aumentan la radiación de las llamas.</li> <li>▪ Disminuyen la volatilización de los óxidos de sodio procedente del baño de vidrio fundido.</li> </ul>
Aspectos ambientales	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> y partículas.
Inconvenientes	En los hornos transversales la mayor longitud de llama puede penetrar en las cámaras disminuyendo su vida útil.
Cuándo se aplica	Reparación total del horno
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	30%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.25. Uso de materiales refractarios de elevada eficiencia**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	NO
Descripción técnica	La mejora en los materiales refractarios permite reducir las pérdidas de calor del horno y alargar la vida útil del mismo
Aspectos ambientales	Reducción en el consumo energético.
Inconvenientes	El aislamiento está limitado por el desarrollo de los materiales interiores del horno.
Cuándo se aplica	Reparación total del horno.
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

**Tabla 2.2.26. Mejora de los sistemas de recuperación de calor situados en las cámaras de regeneración**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	NO
Descripción técnica	Mejora de las estructuras internas de la cámara de regeneración que permiten aumentar el intercambio de calor.
Aspectos ambientales	Reducción en el consumo energético.
Inconvenientes	Aumenta la concentración de NO <sub>x</sub> térmico al elevar la temperatura del aire de combustión y la condensación de sulfatos.
Cuándo se aplica	Reparación total del horno.
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

Como consecuencia directa de las actuaciones descritas anteriormente, se consigue mejorar el comportamiento medioambiental mediante la reducción en origen de las emisiones, alcanzando los siguientes niveles:

**Tabla 2.2.27. Niveles de emisiones alcanzados con la implantación de las técnicas utilizadas**

PARÁMETROS	INTERVALO DE EMISIÓN (mg/Nm <sup>3</sup> )
Partículas	120 - 300
NO <sub>x</sub>	1.500 - 3.000
SO <sub>x</sub>	Gas natural: 800 - 1.000 Fuel: 1.500 - 2.000

La aplicación de la totalidad de las medidas primarias desarrolladas en la actualidad en condiciones óptimas (el mejor horno, en condiciones ideales de operación, nuevo, estable en su funcionamiento, con extracción nominal, etc.), podrían conducir a los siguientes niveles de emisión:

**Tabla 2.2.28. Niveles de emisiones alcanzados con la implantación de todas las técnicas primarias en condiciones óptimas**

PARÁMETROS	RANGO DE EMISIÓN (mg/Nm <sup>3</sup> )
Partículas	100 - 250
NO <sub>x</sub>	Horno bucle: 800 - 1.100 Horno transversal: 1.200 - 1.500
SO <sub>x</sub>	Gas natural: 800 - 1.000 Fuel: 1.500 - 1.800

Por tanto, respecto a las emisiones de NO<sub>x</sub>, las medidas primarias son las mejores opciones disponibles ya que aún existen muchas incertidumbres sobre la eficacia de otras técnicas de tipo secundario cuyas experiencias en planta no están resultando como se esperaba (de acuerdo con las previsiones descritas en el BREF).

Las medidas primarias también pueden permitir la reducción de emisiones de partículas y SO<sub>x</sub>, aunque no en los mismos grados.

#### 4.1.3. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones al agua

**Tabla 2.2.29. Sistemas de refrigeración en circuito cerrado**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	Sí
Descripción técnica	Instalación de circuitos cerrados para el agua de refrigeración
Aspectos ambientales	Minimización del consumo de agua y de los vertidos de aguas residuales
Inconvenientes	Periódicamente es necesario realizar purgas del circuito cerrado que contienen sales disueltas y productos químicos utilizados en el tratamiento del agua, etc.
Cuándo se aplica	En cualquier momento
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de vidrio plano existentes en España.

## 4.2. Aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en vidrio plano

Es objetivo de este apartado la descripción y evaluación de las Mejores Técnicas Disponibles que son aplicables al subsector de vidrio plano. Además de los “niveles asociados a MTD” y las características de cada una de las técnicas, se incluyen variables tan importantes como la aplicabilidad e impactos ambientales derivados de su uso, así como los costes de inversión y de mantenimiento asociados. Las valoraciones económicas deben tomarse con carácter orientativo, dado que su coste real depende en gran medida de las condiciones de las instalaciones y no sólo de condicionantes ambientales.

#### 4.2.1. Partículas

##### Técnicas primarias

**Tabla 2.2.30. Medidas primarias para la reducción de partículas**

Proceso	Manipulación de materias primas
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas
Tipo MTD	Primaria
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Almacenamiento de sólidos pulverulentos en silos cerrados equipados con sistemas de recogida y eliminación de polvo.</li> <li>▪ Almacenamiento de materiales auxiliares pulverulentos, consumidos en menor cantidad, en sacos cerrados y/o contenedores herméticos en almacenes cubiertos.</li> <li>▪ Evitar almacenamientos de materiales pulverulentos a la intemperie.</li> <li>▪ Coberturas para cintas transportadoras.</li> <li>▪ Control de las emisiones en zona de carga mediante humidificación, cerramiento en bandejas de alimentación, etc.</li> <li>▪ Acondicionamiento de los edificios para evitar las emisiones difusas de polvo.</li> </ul>
Aplicabilidad	La principal limitación es la necesidad de grandes espacios para poder construir silos de almacenamiento adecuados a las cantidades consumidas.
Resultado obtenido	Una combinación apropiada de las medidas primarias descritas normalmente consigue que las emisiones de estas actividades sean insignificantes.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	-
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	-
Inversión (año 2005)	Puede variar mucho en función del número de técnicas que se instalen.
Costes operativos	≈ 30.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	No necesario
Estado del arte	Ampliamente probadas a nivel industrial
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se consiguen reducciones sustanciales en las emisiones de partículas para la mayoría de las instalaciones.</li> <li>▪ Estas técnicas no tienen ningún aspecto medioambiental negativo importante.</li> <li>▪ Se evita la pérdida de materias primas.</li> <li>▪ Se evita la contaminación de aguas pluviales por arrastre de materiales almacenados a la intemperie y de suelos por lixiviación.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costes elevados.</li> <li>▪ Necesidades importantes de espacio.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Las limitaciones de cada una de estas medidas por separado se han explicado en la fila de inconvenientes de las tablas del apartado 4.1.
Impactos ambientales	-

<sup>(a)</sup> Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(b)</sup> Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

Técnicas secundariasTabla 2.2.31. *Electrofiltro*

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	<p>El equipo genera un campo electrostático que carga negativamente las partículas circulantes en la corriente de aire, por lo que éstas migran hacia las placas colectoras, cargadas positivamente. Las placas se limpian periódicamente por vibración o golpeteo.</p> <p>Generalmente el sistema requiere un pretratamiento de los humos con un agente alcalino para neutralizar el gas ácido que puede influir negativamente sobre la filtración y sobre la duración del material del electrofiltro.</p>
Aplicabilidad	La principal limitación es su coste, por tanto, sólo resulta económicamente aceptable en el caso de horno con una capacidad productiva de al menos 200-250 t/día de vidrio
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de partículas es del 70-90% y es función de la concentración inicial y del número de campos que compongan el filtro.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	30 - 50 mg/Nm <sup>3</sup> (0,075 - 0,125 kg/t Vº Fº)
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	5-30 mg/Nm <sup>3</sup> (<0,1 kg/t de vidrio fundido)
Inversión (año 2005)	3.000.000 - 4.000.000 € (en función del caudal de humos)
Costes operativos	≈ 200.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	30 días/año
Estado del arte	Es una tecnología probada a nivel industrial.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>▪ El polvo recogido puede ser reutilizado en el proceso en su mayor parte.</li> <li>▪ Menor pérdida de carga con respecto a los filtros de mangas, por lo que los costes operativos son menores.</li> <li>▪ Puede formar parte de un sistema integrado de tratamiento con otros equipos de depuración, por ejemplo, de SO<sub>x</sub>.</li> <li>▪ No se colmatan fácilmente debido a una elevada pérdida de carga o contenido en humedad con respecto a lo que suele ocurrir con un filtro de mangas.</li> <li>▪ Permite la filtración de humos a elevadas temperaturas (350-400 °C) y está más experimentado en el ámbito industrial que los filtros de mangas para dichas temperaturas.</li> <li>▪ Se puede diseñar por etapas de modo que se puedan adicionar más campos. Tiene el límite del espacio disponible.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesita energía eléctrica para su funcionamiento (aprox. &lt; 1% de la energía total consumida en el horno). El coste de esta energía es elevado.</li> <li>▪ El residuo generado no es reutilizable en su totalidad.</li> <li>▪ Es necesario un lavador de gases ácidos previamente, por lo que se deben añadir los costes de mantenimiento y operación de este sistema.</li> <li>▪ Costes importantes de inversión y explotación.</li> <li>▪ Es vital mantener las operaciones del sistema de depuración dentro de las condiciones de diseño. De lo contrario, la eficacia puede disminuir considerablemente.</li> <li>▪ Elevadas necesidades de espacio para su instalación, pudiendo llegar a condicionar la capacidad del horno.</li> <li>▪ Puede provocar interferencias en la conducción del horno (sobre todo en el control de la presión).</li> <li>▪ Hay que observar las precauciones de seguridad en el uso de equipos de alto voltaje.</li> </ul>

Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>En hornos eléctricos y hornos convencionales de menos de 200 t/día, los elevados costes pueden hacer que se elijan otras técnicas alternativas como los filtros de mangas.</li> <li>Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Genera una elevada cantidad de residuos de polvo de electrofiltro (entre 1.000-2.000 kg/día), no siempre reutilizable en el proceso de fusión. Las características físico-químicas de este residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.</li> <li>Consumo energético elevado para el funcionamiento del electrofiltro y para la extracción de los gases depurados (ventilador).</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t V° F°: 2,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.2.32. Filtro de mangas**

Proceso	Horno de fusión.
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas.
Tipo MTD	Secundaria.
Descripción	El sistema consta de membranas textiles permeables al gas que retienen las partículas. El gas fluye del exterior al interior de la manga. El polvo acumulado se tiene que eliminar para evitar pérdidas de carga, mediante flujo inverso, agitación, vibración o aire comprimido. El equipo puede instalarse en algunos casos para funcionar conjuntamente con un scrubber seco o semiseco para gases ácidos.
Aplicabilidad	La principal limitación son sus costes operativos, la elevada pérdida de carga generada por la retención del polvo limitan su aplicación a hornos de baja o mediana dimensión, con unos caudales de humos entre 20.000-30.000 Nm <sup>3</sup> /h. El diseño del filtro debe optimizar el balance entre la pérdida de carga (coste operativo) y el tamaño (coste de inversión). Si la velocidad de filtración es demasiado elevada, la pérdida de carga será grande y las partículas penetrarán y obstruirán el tejido. Si la velocidad de filtración es demasiado baja, el filtro sería eficaz pero muy caro.
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de partículas es del 85-95% en función de la concentración inicial del humo a tratar.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	10 - 20 mg/Nm <sup>3</sup> (0,025 - 0,05 kg/t V° F°)
Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup>	<10 mg/Nm <sup>3</sup> (<0,025 kg/t de vidrio fundido)
Inversión (año 2005)	3.000.000 €
Costes operativos	≈ 500.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	30 días/año
Estado del arte	No es una tecnología de aplicación relevante en los grandes hornos de vidrio.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>Recogida del producto en estado seco.</li> <li>Bajo coste de inversión en las aplicaciones más simples.</li> <li>Suelen estar equipados con sistemas de limpieza automática y sensores de colmatación.</li> </ul>

Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La tendencia de las partículas a adherirse al material del filtro hace que la limpieza sea difícil. Esto puede hacer que la pérdida de carga sea superior al valor diseñado.</li> <li>▪ Las características que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el material del filtro (resistencia química, forma de las fibras y tipo de hilo, trama y acabado del tejido, resistencia a la abrasión, eficacia de recolección, permeabilidad del tejido, etc.) hacen que el precio de las mangas pueda ser elevado.</li> <li>▪ Necesidad de espacio.</li> <li>▪ Puede necesitarse enfriamiento de los gases por debajo del límite superior de resistencia del material del filtro. Los tejidos de filtro convencionales tienen una temperatura operativa máxima entre 130 y 220°C: cuanto mayor es la temperatura operativa, mayor es el coste.</li> <li>▪ Problemas con el punto de rocío de cualquier sustancia condensable presente (como <math>H_2SO_4</math> o agua): si la temperatura es demasiado baja se produce condensación, lo que provoca obstrucción del tejido.</li> <li>▪ Las mangas deben sustituirse cada 2-4 años. El coste de sustitución puede ser alto. Sería recomendable realizar una caracterización inicial de los residuos de mangas generados en cada proceso para saber si se trata de residuos peligrosos (código LER: 10 11 15* Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión, que contienen sustancias peligrosas) o no peligrosos (código LER: 10 11 16 Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión distintos de los especificados en el código 10 11 15).</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La necesidad de enfriamiento de los humos dificulta en gran medida la aplicación del filtro de mangas por encima de 200°C.</li> <li>▪ La mayoría de los hornos de vidrio con combustibles fósiles requieren un control de presión sensible y la presencia de un filtro de tejido con una gran pérdida de carga puede hacerlo más difícil.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genera una elevada cantidad de residuos no siempre reutilizable en el proceso.</li> <li>▪ Consumo energético elevado para vencer la pérdida de carga originada en el filtro de mangas.</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $O_2$ .

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $O_2$ .

(c) Factor utilizado para convertir  $mg/Nm^3$  a  $kg/t V^o F^o$ :  $2,5 \times 10^{-3}$  (Documento BREF).

#### 4.2.2. $NO_x$

[Ver Anexo I: "Las emisiones de Óxidos de Nitrógeno ( $NO_x$ ), principal problemática de la industria del vidrio"]

#### Técnicas primarias

**Tabla 2.2.33. Medidas primarias para la reducción de  $NO_x$**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de $NO_x$
Tipo MTD	Primaria

<b>Descripción</b>	Se trata de reducir la emisión de NO <sub>x</sub> mediante las siguientes modificaciones de la combustión: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducción de la ratio aire/combustible.</li> <li>▪ Reducción de la temperatura del aire de combustión.</li> <li>▪ Combustión por etapas.</li> <li>▪ Recirculación de los gases de combustión.</li> <li>▪ Quemadores de bajo NO<sub>x</sub>.</li> <li>▪ Elección del combustible.</li> <li>▪ <i>Boosting</i> eléctrico.</li> <li>▪ Diseños adecuados de la geometría del horno.</li> <li>▪ Posicionamiento y número de quemadores.</li> <li>▪ Aumento en el consumo de casco de vidrio como materia prima.</li> </ul>
<b>Aplicabilidad</b>	La principal limitación es la necesidad de implantar una batería de técnicas para conseguir una eficiencia de eliminación relevante y de contar con una ingeniería altamente especializada en el diseño, implantación y puesta a punto de las mismas.
<b>Resultado obtenido</b>	La eficiencia de eliminación puede llegar hasta un 70% en función del número de técnicas que se apliquen y de la concentración de partida de los humos.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup></b>	Horno bucle: 800 - 1.100 mg/Nm <sup>3</sup> (2 - 2,75 kg/t Vº Fº) Horno transversal: 1.200 - 1.500 mg/Nm <sup>3</sup> (3 - 3,75 kg/t Vº Fº)
<b>Nivel BREF <sup>(b)</sup></b>	500-850 mg/Nm <sup>3</sup> (1,25-2,2 kg/t Vº Fº)
<b>Inversión (año 2005)</b>	Puede variar mucho en función del número de técnicas que se instalen.
<b>Costes operativos</b>	≈ 30.000 €/año
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	
<b>Estado del arte</b>	Son medidas ampliamente probadas a nivel industrial.
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajos costes relativos.</li> <li>▪ Se consiguen reducciones sustanciales en las emisiones de NO<sub>x</sub> para la mayoría de tipos de hornos.</li> <li>▪ Estas técnicas no tienen ningún aspecto medioambiental negativo importante y pueden producir a menudo un ahorro significativo de energía.</li> <li>▪ Las menores temperaturas del horno y el menor consumo energético tienen asimismo como consecuencia menores emisiones globales.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se requiere una pericia sustancial para obtener los mejores resultados.</li> <li>▪ Puede ser necesario modificar el diseño del horno para obtener los mejores resultados.</li> <li>▪ Debe tenerse cuidado en evitar problemas de calidad del vidrio debidos a cambios redox.</li> <li>▪ Deben controlarse los niveles de CO para evitar daños en el material refractario.</li> <li>▪ La atmósfera más reductora puede fomentar las emisiones SO<sub>2</sub>.</li> </ul>
<b>Limitaciones de aplicación</b>	Las limitaciones de cada una de estas medidas por separado se han explicado en la fila de inconvenientes de las tablas del apartado 4.1.
<b>Impactos ambientales</b>	Se incrementa la energía primaria necesaria en el proceso.

<sup>(a)</sup> Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(b)</sup> Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(c)</sup> Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 2,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.2.34. Oxicombustión**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Primaria
Descripción	Combustión basada en la utilización de oxígeno en vez de aire para quemar el combustible. Al no introducir el nitrógeno del aire se reduce la producción de óxidos de nitrógeno. El oxígeno debe ser producido por separado.
Aplicabilidad	Existen algunas instalaciones para fusión de vidrio de envases en Europa.
Resultado obtenido	La eficacia de eliminación es del 20-45%
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	0,5-1,5 kg/t
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	1,25-1,75 kg/t
Inversión (2005)	3.500.000 €
Costes operativos	≈ 100.000 €/año Para un horno de O <sub>2</sub> de 250 t/día el extracosto debido a su mayor desgaste será de 200.000-700.000 €/año (menor duración y mayor mantenimiento)
Tiempos de parada para mantenimiento	El buen mantenimiento del horno es imprescindible y muy relevante, porque cada fuga influirá significativamente en el NO <sub>x</sub> producido.
Estado del arte	Algunas instalaciones en Europa que no parecen confirmar las expectativas puestas en esta tecnología. La experiencia de Holanda muestra que la pureza del oxígeno obtenido influye de forma importante en el resultado. Si el oxígeno es producido <i>in situ</i> (con VSA), se obtienen los valores más altos. También el contenido de N <sub>2</sub> en el gas y la edad de los hornos influyen directamente en el resultado. A los pocos años, el horno perderá estanqueidad produciéndose entradas de aire que, aunque pequeñas, aumentarán mucho las emisiones de NO <sub>x</sub> por el nitrógeno del aire.
Ventajas	NO <sub>x</sub> bajo.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento de un 6% consumo energético comparado con los hornos de regeneradores a causa del elevado consumo eléctrico que tiene la producción de oxígeno.</li> <li>▪ Aumento de contaminación integrada por causa del consumo energético global.</li> <li>▪ Aceleración del proceso de desgaste del horno.</li> <li>▪ Alta sensibilidad a la entrada de aire parásito.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recomendable sólo en hornos de baja capacidad y no sodo-cálcicos.</li> <li>▪ Posibles problemas de estabilidad de color del vidrio.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	Aumento del consumo energético y por tanto de la contaminación global.

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

### Técnicas secundarias

**Tabla 2.2.35. 3 R (reacción y reducción en los regeneradores)**

Proceso	Hornos de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Secundaria.
Descripción	Adición controlada de combustible (fuel, gas natural, etc.) a la corriente de gas de combustión en la entrada del regenerador. El combustible no se quema, sino que se disocia y reduce el NO <sub>x</sub> formado en el horno. Esta tecnología es de aplicación en hornos regenerativos, donde el regenerador proporciona las condiciones necesarias de temperatura, mezcla turbulenta y tiempo de residencia para una adecuada reacción. El grado de reducción de NO <sub>x</sub> depende principalmente de la cantidad de combustible añadida.
Aplicabilidad	Sólo se considera aplicable en hornos regenerativos.

Resultado obtenido	Reducción global de NO <sub>x</sub> del orden del 70-85%.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	500-1.100 mg/Nm <sup>3</sup> (1,25-2,75 kg/t Vº Fº)
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	500-850 mg/Nm <sup>3</sup> (1,25-2,2 kg/t vidrio fundido)
Inversión (año 2000)	300.000 € (el coste es menor respecto a otros sistemas secundarios de eliminación de NO <sub>x</sub> ).
Costes operativos	1,5-2,0 €/t Vº Fº. El coste operativo viene determinado por el consumo de combustible en función del nivel inicial de NO <sub>x</sub> , que puede representar del 1,8% al 10% del consumo energético para la fusión. En el caso de que la instalación fuese dotada de un sistema de recuperación de calor, el aumento del consumo relativo al proceso de desnitrificación puede encontrarse en valores del 2-3% del consumo total de energía.
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	En el momento de la publicación del documento BREF, sólo 7 plantas habían implantado esta técnica, aunque muchas más habían adquirido licencias para utilizarlas. El principal motivo por el que no se encuentra más ampliamente difundida es que, en la mayoría de los casos, se pueden alcanzar los límites legales de emisión de NO <sub>x</sub> con técnicas primarias. La mayor parte de la experiencia con la técnica procede de hornos de vidrio flotado.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Puede conseguir reducciones sustanciales de NO<sub>x</sub>.</li> <li>■ Aplicable a la mayoría de tipos de hornos regenerativos.</li> <li>■ No representa cambios importantes en el diseño o funcionamiento de la planta.</li> <li>■ Bajos costes de inversión.</li> <li>■ Puede aplicarse sin necesidad de parar el horno.</li> <li>■ No se requieren reactivos químicos.</li> <li>■ El mayor consumo de combustible se puede compensar en algunos casos por la recuperación de calor perdido.</li> </ul>
Desventajas	La atmósfera reductora creada en los regeneradores daña los materiales refractarios. De hecho, se ha comprobado la necesidad de reparar los regeneradores dos años después de la instalación de esta tecnología, cuando normalmente su vida media es de 10-12 años. La sustitución de materiales refractarios por materiales de mayor resistencia térmica y química representa costes demasiado elevados que no compensan la reducción conseguida en NO <sub>x</sub> .
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La calidad del refractario para el regenerador debe soportar químicamente la presencia de concentraciones elevadas de monóxido de carbono y térmicamente el aumento de la temperatura del humo de combustión</li> <li>■ No aplicable a hornos no regenerativos.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mayor consumo de combustible (aproximadamente un 7%).</li> <li>■ Mayores emisiones de CO<sub>2</sub> (20-30 kg/t Vº Fº).</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 2,5 × 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.2.36. SNCR (Reducción Selectiva Sin Catalizador)**

Proceso	Hornos de fusión.			
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> .			
Tipo MTD	Secundaria.			
Descripción	Inyección de compuestos amoniacales. En la industria del vidrio sólo se utiliza amoniaco o soluciones acuosas de amoniaco. A temperaturas de 800-1.000°C, los óxidos de nitrógeno son reducidos a N <sub>2</sub> . La eficiencia de la reacción depende de diversos factores, como la temperatura, concentración inicial de NO <sub>x</sub> , homogeneidad de la mezcla del reactivo con el gas, ratio amoniaco/NO <sub>x</sub> y tiempo de reacción (se requiere al menos 2 segundos).			
Aplicabilidad	Debido a la temperatura a que es necesario operar, el sistema se aplica más fácilmente a hornos dotados de recuperadores de calor.			
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> es del 30-70%. El aumento de la eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> aumenta también el riesgo de emisión de amoniaco.			
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	1.000 mg/Nm <sup>3</sup> (2,5 kg/t Vº Fº)			
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	500-850 mg/Nm <sup>3</sup> (1,25-2,2 kg/t vidrio fundido)			
Inversión (€) (año 2000)	50 t/día 190.000	100 t/día 280.000	300 t/día 450.000	450 t/día 575.000
Costes operativos (€/año)	23.000	28.000	73.000	100.000
Tiempos de parada para mantenimiento	-			
Estado del arte	El uso de la SNCR en hornos regenerativos existentes es muy improbable debido a los costes. En hornos de recuperación pequeños, los costes relativos de la SNCR son bastante altos y, en muchos casos, la industria se inclina por otras medidas de control más efectivas desde el punto de vista económico.			
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La SNCR puede conseguir buenas eficacias de reducción de NO<sub>x</sub> si se dan las condiciones de operación adecuadas.</li> <li>■ Bajo coste de inversión en comparación con otras alternativas (SCR).</li> <li>■ No requiere catalizador.</li> <li>■ Bajo consumo energético.</li> <li>■ No requiere de un pretratamiento de filtración de las partículas, dado que el sistema no cuenta con la presencia de un catalizador que puede provocar la deposición de las partículas o su aglomeración.</li> </ul>			
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La inyección de amoniaco dentro del rango de temperatura correcta es esencial, aunque en ocasiones es muy difícil de lograr (particularmente para hornos regenerativos). De hecho, este sistema conlleva una limitación en la producción ajustando los valores de extracción a unos rangos muy delimitados. Al variar la extracción del horno se modifica el intervalo de temperatura a la que se debe efectuar la inyección de amoniaco, con el consiguiente riesgo de emisión de amoniaco (temperatura baja) o aumento de la emisión de NO<sub>x</sub> (temperatura demasiado elevada).</li> <li>■ Una mezcla uniforme del reactivo con el gas a depurar es muy importante y puede ser difícil de lograr.</li> <li>■ Se forma bisulfato amónico que puede causar problemas de incrustación y corrosión.</li> <li>■ Posibles daños en el material refractario de los regeneradores.</li> </ul>			
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Técnica más fácil de aplicar en hornos recuperativos que regenerativos.</li> <li>■ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>			
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se consume y emite amoniaco, cuyo almacenamiento y manipulación plantea problemas medioambientales y de seguridad. El almacenamiento de amoniaco en ciertas cantidades puede provocar la aplicación de la normativa SEVESO.</li> <li>■ Fuera del intervalo de temperaturas operativo, pueden producirse emisiones de NH<sub>3</sub> o un aumento de las emisiones de NO<sub>x</sub>. Una temperatura demasiado baja produce desprendimiento de amoniaco y una menor eficacia, si es demasiado alta puede producirse un aumento en la emisión de NO<sub>x</sub>.</li> </ul>			

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 2,5 × 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.2.37. SCR (Reducción selectiva con catalizador)**

Proceso	Hornos de fusión.			
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> .			
Tipo MTD	Secundaria.			
Descripción	Se hace reaccionar al NO <sub>x</sub> con amoniaco en un lecho catalítico a la temperatura adecuada. Los catalizadores más habituales son TiO <sub>2</sub> y V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> depositados sobre un sustrato metálico o cerámico. La reacción se da a temperaturas entre 200 y 500°C, siendo la temperatura óptima de reacción diferente para cada catalizador. Estas temperaturas son inferiores a las requeridas en la SNCR debido a la acción del catalizador.			
Aplicabilidad	Es necesario instalar un equipo de control de partículas antes de la unidad de SCR. Generalmente se instala un precipitador electrostático, ya que el uso de filtros de mangas requeriría un recalentamiento posterior de los gases.			
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> es del 70-90%.			
Nivel asociado a MTD (a) (c)	800 mg/Nm <sup>3</sup> -1.000 mg/Nm <sup>3</sup> (2,0-2,5 kg/t Vº Fº)			
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	500-850 mg/Nm <sup>3</sup> (1,25-2,2 kg/t vidrio fundido)			
Inversión (€) (año 2000)	50 t/día 990.000	100 t/día 1.500.000	300 t/día 2.420.000	450 t/día 3.100.000
Costes operativos (€/año)	74.000	108.000	200.000	260.000
Tiempos de parada para mantenimiento	-			
Estado del arte	Existen ejemplos dentro de la industria del vidrio y en otros sectores industriales.			
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alta eficacia de reducción de NO<sub>x</sub>.</li> <li>■ Reduce el NO<sub>x</sub> de todas las fuentes del horno, no sólo el NO<sub>x</sub> térmico.</li> <li>■ Puede formar parte de un sistema integrado de control de la contaminación atmosférica.</li> <li>■ Los proveedores suelen ofrecer garantías de eficacia.</li> </ul>			
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ El sistema consume energía de forma considerable.</li> <li>■ Debe instalarse con eliminación de polvo y lavado de gases ácidos, ya que se requieren bajos niveles de partículas y de SO<sub>2</sub>.</li> <li>■ Coste de inversión alto.</li> <li>■ Elevados requisitos de espacio.</li> <li>■ Sigue habiendo dudas razonables sobre las vidas útiles de los catalizadores.</li> <li>■ La temperatura operativa limita las posibilidades de recuperación de calor.</li> <li>■ Puede requerirse enfriamiento para hornos recuperativos.</li> </ul>			
Limitaciones de aplicación	Uno de los aspectos clave de los costes de SCR es la vida útil del catalizador que puede reducirse significativamente en caso de envenenamiento. Hay aspectos técnicos aún por resolver en algunas aplicaciones. Por ejemplo, en plantas con combustión a fuel-oil existe la posibilidad de envenenamiento del catalizador. Esto también es aplicable a hornos con combustión a gas con elevados niveles de sulfato. Un problema asociado a esta técnica puede ser la formación de bisulfato amónico como consecuencia de la reacción del reactivo con el SO <sub>3</sub> formado, especialmente cuando el combustible contiene elevada concentración de azufre. El bisulfato puede envenenar el catalizador y causar incrustaciones y corrosión de los equipos. Algunas partículas conteniendo metales alcalinos también pueden envenenar el catalizador. Esto implica además que, en muchos casos, es necesaria la instalación de un scrubber para gases ácidos.			
Impactos ambientales	Similares efectos que los de SNCR			

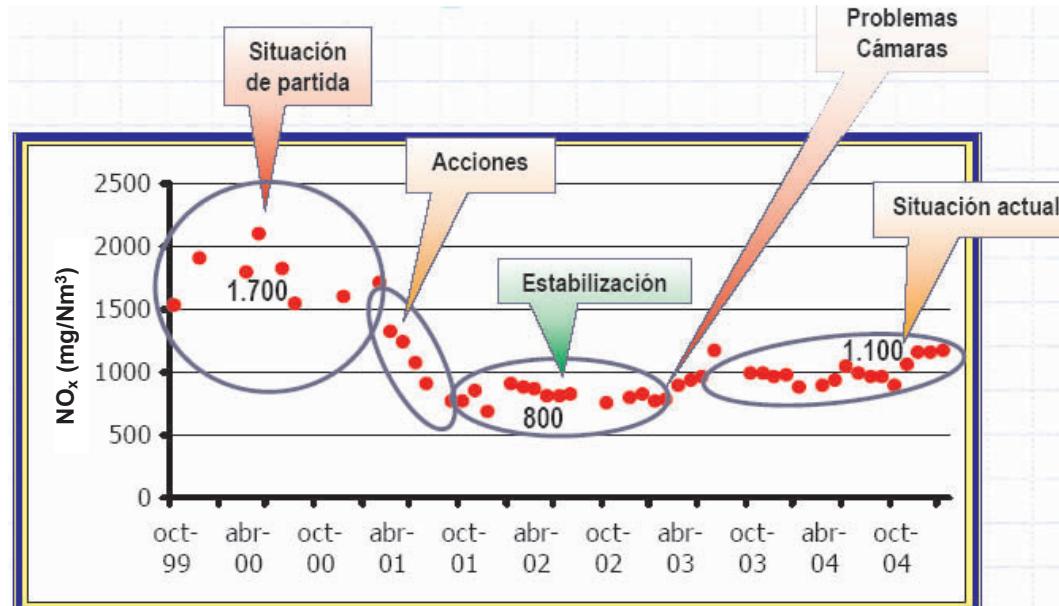
(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 2,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

En relación a las MTD para la reducción de las emisiones de  $\text{NO}_x$ , es destacable:

- En cuanto a las técnicas primarias, es necesario utilizar una combinación de las existentes para alcanzar los niveles asociados a la MTD indicados en las tablas correspondientes.
- En la implantación de las MTD primarias, se debe tener en cuenta que su eficacia no es estable en el tiempo, pudiendo variar las emisiones de  $\text{NO}_x$ , tal y como se comprueba en el gráfico.



Fuente: "Aplicación de las MTDs en la Industria del Vidrio". Jesús Rebordinos, Saint-Gobain Cristalería. Abril 2005.

El gráfico muestra la evolución en el tiempo de las emisiones de  $\text{NO}_x$  en un horno de *float* nuevo después de realizar un conjunto de acciones para optimizar la combustión actuando sobre el nivel de oxígeno, relación de aire/combustible, posición y tipo de quemadores, etc. Como se observa en el gráfico, aunque inicialmente se consiguió un descenso del nivel de  $\text{NO}_x$  hasta los 800 mg/Nm<sup>3</sup>, las condiciones de la atmósfera en el horno se vuelven con el tiempo muy reductoras, provocando daños en las cámaras y dificultando el control del proceso. Por ello, para mantener la atmósfera predominantemente oxidante en la cuba de fusión, es necesario elevar el nivel de  $\text{NO}_x$ .

#### 4.2.3. $\text{SO}_x$ , $\text{HCl}$ y $\text{HF}$

##### Técnicas secundarias

Tabla 2.2.38. Lavador por vía seca o semihúmeda

Proceso	Hornos de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de $\text{SO}_x$ , $\text{HCl}$ y $\text{HF}$ .
Tipo MTD	Secundaria.

<b>Descripción</b>	<p>Se introduce un material absorbente que se dispersa en el gas a tratar. Este material reacciona con el <math>\text{SO}_x</math> para formar un sólido que ha de ser recogido por un precipitador electrostático o un filtro de mangas.</p> <p>En el proceso seco el absorbente es un polvo seco, generalmente <math>\text{Ca}(\text{OH})_2</math>, <math>\text{NaHCO}_3</math> o <math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math>, que puede ser dispersado mediante aire a presión. En el proceso semiseco el absorbente (<math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math>, <math>\text{CaO}</math> o <math>\text{Ca}(\text{OH})_2</math>) se añade en forma de solución o dispersión y la evaporación del agua enfriá la corriente de gas.</p> <p>En el sector del vidrio el proceso más usado es el seco (con <math>\text{Ca}(\text{OH})_2</math>), junto con precipitador electrostático, a una temperatura de unos 400°C.</p> <p>El <i>scrubber</i> o lavador puede instalarse como medida de protección de otros equipos contra los gases ácidos.</p>	
<b>Aplicabilidad</b>	<p>La técnica es aplicable a todos los procesos con gases residuales que contengan sustancias ácidas. El proceso seco se utiliza más ampliamente en la industria del vidrio ya que tradicionalmente ha sido la forma más eficaz, desde el punto de vista de costes, de alcanzar los requisitos técnicos vigentes.</p>	
<b>Resultado obtenido</b>	<p>La eficacia de eliminación del gas ácido puede variar notablemente en función del tipo y cantidad del reactivo empleado, la temperatura del proceso de tratamiento del humo y el tipo de humo a tratar.</p> <p>La emisión de <math>\text{SO}_x</math> se puede reducir entre el 80-90% y en el caso de <math>\text{HCl}</math> y <math>\text{HF}</math>, hasta el 95%.</p>	
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup></b>	$\text{SO}_x$ : 600-1.000 mg/Nm <sup>3</sup> (1,5-2,5 kg/t Vº Fº)	Para gas natural
	$\text{SO}_x$ : 1.200-1.600 mg/Nm <sup>3</sup> (3-4 kg/t Vº Fº)	Para combustibles líquidos
<b>Nivel BREF <sup>(b)</sup></b>	$\text{SO}_x$ : 200-800 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-2 kg/t Vº Fº)	Para gas natural
	$\text{SO}_x$ : 500-1.500 mg/Nm <sup>3</sup> (1,25-3,75 kg/t Vº Fº)	Para combustibles líquidos
<b>Inversión (año 2000)</b>	2.500.000-3.500.000 €	
<b>Costes operativos</b>	150.000 €/año	
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	-	
<b>Estado del arte</b>	Es una tecnología ampliamente probada a nivel industrial.	
<b>Ventajas</b>	<p>Pueden conseguirse reducciones sustanciales en las emisiones de <math>\text{SO}_x</math> (según el balance específico de azufre y el reciclado de polvo de electrofiltro).</p> <p>Los absorbentes utilizados son también efectivos para atrapar otros gases ácidos, especialmente haluros (<math>\text{HCl}</math> y <math>\text{HF}</math>) y algunos compuestos de selenio.</p> <p>En la mayoría de casos, el polvo recogido puede ser reciclado, reduciendo el consumo de materias primas.</p>	
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Consume energía.</li> <li>▪ Importantes costes de inversión y operación.</li> </ul>	
<b>Limitaciones de aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En el caso de utilizar conjuntamente con un filtro de mangas los gases se deben enfriar.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>	
<b>Impactos ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puede aumentar la generación de residuos a gestionar. En la mayoría de casos, puede reciclarse, pero esto requiere ajustes en el proceso y puede limitar la eficacia global de reducción de <math>\text{SO}_x</math>.</li> <li>▪ A bajos niveles de vidrio recuperado, el sulfato recogido será normalmente menos del requerido para el afino, y puede que sea posible aumentar la asimilación del azufre del polvo recogido en el vidrio (es decir, una mayor porcentaje de <math>\text{SO}_3</math>). Globalmente, las emisiones se reducen, y también se reduce el consumo de sulfato sódico. Si la cantidad de sulfato recogida es mayor que el sulfato requerido en la mezcla, se creará una corriente de residuo sólido para su desecho exterior. Alternativamente, si se recicla todo el material en cantidades mayores que las requeridas, el sistema se convierte en un circuito cerrado que alcanza un equilibrio dinámico en el que los únicos sumideros de azufre son el vidrio y las emisiones a la atmósfera.</li> </ul>	

<sup>(a)</sup> Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $\text{O}_2$ .

<sup>(b)</sup> Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $\text{O}_2$ .

<sup>(c)</sup> Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº:  $2,5 \times 10^{-3}$  (Documento BREF).

#### 4.2.4. *Emisiones al agua*

En general las emisiones al agua, como ya se ha mencionado anteriormente, son relativamente escasas. Estas emisiones pueden ser recicladas o tratadas mediante técnicas estándar.

Además de los sistemas en circuito cerrado que reducen el consumo y las emisiones de agua, como medidas generales para el control de las emisiones pueden aplicarse las siguientes técnicas:

- Cubetos adecuados.
- Vigilancia y control de tanques y cubetos.
- Sistemas automáticos de control y detección de fugas y derrames.
- Venteos y puntos de llenado en el interior de los cubetos.

En su caso, el envío a sistemas de depuración de las aguas residuales, también puede considerarse como MTD. Estos sistemas de tratamientos de agua residuales pueden ser:

- Tratamiento físico-químico: cribado, separación superficial, sedimentación, centrifugación, filtración, neutralización, aireación, precipitación y coagulación y floculación.
- Tratamiento biológico: fangos activos y biofiltración.

#### 4.2.5. *Residuos*

En la medida de lo posible, las instalaciones de fabricación de vidrio deben prevenir, o al menos minimizar, la generación de residuos. Cuando no sea posible, se consideran Mejores Técnicas Disponibles, tal y como se ha comentado a lo largo del apartado 4.2, la utilización de casco de vidrio interno y la recuperación y reciclaje del polvo recogido en los sistemas de captación.

El empleo de casco de vidrio interno en sustitución de las materias primas tradicionales permite:

- Reducir el consumo de materias primas.
- Reducir de forma significativa el consumo de energía.
- Minimizar las emisiones a la atmósfera debidas, por un lado, a la reducción de las emisiones derivadas de la utilización de combustibles fósiles y, por otro, a que se evitan las reacciones de descarbonatación y desulfatación de las materias primas, y con ellas las emisiones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{SO}_x$ .

La recuperación y reciclaje del polvo permite también mejorar la eficiencia energética, minimizar las emisiones de algunos contaminantes (por ejemplo, los  $\text{SO}_x$ ) y reducir el consumo de materias primas. No obstante, este residuo no siempre puede ser totalmente reutilizado en la fusión y, en el caso del electrofiltro, sus características fisicoquímicas (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.

### 4.3. Valoración de la aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en vidrio plano

Desde su publicación en 2001, del conjunto de las MTD incluidas en el documento BREF aplicables al subsector de vidrio plano así como de las consideradas MTD en el apartado 4.2, y por la experiencia en su implantación tanto en industrias europeas como españolas, se dispone de información suficiente acerca de su viabilidad técnica y económica, así como de los beneficios e impactos ambientales que pueden generar. Esta información se refleja en la siguiente tabla a través de la valoración cualitativa de cada una de las técnicas desde el punto de vista técnico, ambiental y económico.

Se ha valorado cada MTD de 0 a 4 para los apartados técnico, ambiental y económico, considerando "0" como la valoración mínima (peor valorado) y "4" como la valoración máxima (mejor valorado). Si la técnica es no aplicable o no relevante en el subsector, se ha indicado con "n.a.".

Desde el punto de vista técnico, se ha tenido en cuenta si la MTD:

- Es viable desde el punto de vista técnico y es aplicable.
- Está contrastada.
- Existe experiencia suficiente a escala industrial.

En la valoración ambiental se han considerado:

- Los objetivos ambientales del subsector.
- Los beneficios ambientales que aporta la técnica.
- El balance ambiental total.

Por último, para valorar el aspecto económico, se ha tenido en cuenta la información existente sobre:

- Rentabilidad económica de la inversión en un plazo razonable.
- Costes de operación y mantenimiento posterior.

Cuando en la tabla no se encuentra valorada una técnica, se considera que no es aplicable al subsector, por no existir experiencia suficiente en el mismo o por no disponer de datos suficientes para su consideración.

Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas de tipo secundario.

**Tabla 2.2.39. Valoración técnica, ambiental y económica de las MTDs**

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>
<b>ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIAS PRIMAS</b>				
Silos cerrados ventilados a través de equipos de eliminación de polvo (por ejemplo, filtros de tejido).	3	3	2	-
Almacenamiento de materias primas finas en contenedores cerrados o sacos herméticos.	3	3	3	-
Almacenamiento de materias primas polvorrientas gruesas a cubierto.	3	3	3	-
Uso de vehículos de limpieza de calzadas y otras técnicas de humedecimiento con agua de las mismas.	3	3	3	-

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>
Transportadores cerrados.	3	3	3	-
Transporte neumático con sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.	3	3	3	-
Adición de un porcentaje de agua en la mezcla (del 0-4%).	3	3	3	-
Control de la emisión de polvo en la zona de alimentación del horno: humidificación de la mezcla, creación de una ligera presión negativa dentro del horno, aplicación de aspiración que ventila a un sistema de filtro, utilización de alimentadores helicoidales cerrados, cierre de las cámaras de alimentación.	3	3	3	-
Diseño de las naves con el mínimo de aberturas y puertas y aplicación de cortinas antipolvo o sistemas de aspiración en zonas potencialmente muy polvorrientas.	3	3	3	-
En los almacenamientos de materias volátiles, mantenimiento de las temperaturas lo más bajas posibles.	n.a.	n.a.	n.a.	-
Reducción de las pérdidas de los tanques de almacenamiento a presión atmosférica mediante: pintura para tanques con baja absorción solar, control de temperatura, aislamiento de los tanques, gestión de inventarios, tanque de techo flotante, sistemas de trasvase con retorno de vapor, tanques con techo de diafragma, válvulas de presión/vacío (cuando los tanques tengan que soportar fluctuaciones de presión), tratamientos específicos de las emisiones (adsorción, absorción, condensación), llenado subterráneo.	n.a.	n.a.	n.a.	-
<b>FUSIÓN</b>				
<b>Partículas/polvo</b>				
Filtro de mangas (en conjunción con sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco, cuando sea necesario)	1 <sup>(b)</sup>	2 <sup>(b)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	10 - 20
Precipitador electrostático (en conjunción con sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco, cuando sea necesario)	3	2 <sup>(b)</sup>	0	30-50
<b>Óxidos de azufre</b>				
Sistema de eliminación de polvo, en conjunción con lavado de gases ácidos cuando proceda (con el reciclaje del residuo sulfatado cuando sea posible)	2	1 <sup>(b)</sup>	0	600-1.000 (gas natural) 1.200-1.600 (combustibles líquidos)
<b>Óxidos de nitrógeno</b>				
Minimización del uso de nitratos en la mezcla	n.a.	n.a.	n.a.	-
Modificaciones de la combustión:				
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducción del ratio aire/combustible</li> <li>▪ Reducción de la temperatura del aire de combustión</li> <li>▪ Combustión por etapas</li> <li>▪ Recirculación de los gases de combustión</li> <li>▪ Quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub></li> <li>▪ Elección del combustible</li> <li>▪ <i>Boosting</i> eléctrico</li> </ul>	3	3	2	Horno bucle: 800-1.100 Horno transversal: 1.200 -1.500

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>
▪ Diseños adecuados de la geometría del horno ▪ Posicionamiento y número de quemadores ▪ Aumento en el consumo de casco de vidrio como materia prima				
Oxicombustión	2 <sup>(c)</sup>	1 <sup>(c)</sup>	0 <sup>(c)</sup>	0,5-1,5 kg/t Vº Fº
3R/Recombustión (para hornos regenerativos y en combinación con técnicas primarias)	1 <sup>(d)</sup>	1 <sup>(d)</sup>	0 <sup>(d)</sup>	500-1.100
SCR	1 <sup>(e)</sup>	1 <sup>(e)</sup>	0 <sup>(e)</sup>	800-1.000
SNCR	1 <sup>(e)</sup>	1 <sup>(e)</sup>	1 <sup>(e)</sup>	1.000
<b>Otras emisiones de la fusión</b>				
Selección de materias primas	4	3	2	-
Lavado de gases ácidos (combinado con selección de materias primas)	n.a.	n.a.	n.a.	-

(a) Los datos se refieren a condiciones en seco, 0 °C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) El uso de electrofiltros y filtros de mangas presenta otros inconvenientes desde el punto de vista medioambiental:

- Genera una elevada cantidad de residuos (entre 1.000-2.000 kg/día) no reutilizable en su totalidad en el proceso de fusión. Las características físico-químicas de este residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.
- Consumo energético elevado para su funcionamiento.

Además, la eficacia de los filtros de mangas va asociada a su resistencia a las altas temperaturas y a la presión del horno. Por otra parte, su coste operativo anual es muy alto.

Por su parte, los lavadores consumen energía por lo que se incrementa el consumo energético total de la instalación. Además, se produce un residuo sólido que puede aumentar de manera importante la cantidad de residuos generados y, aunque en la mayoría de los casos puede reciclarse, esto requiere ajustes en el proceso y limitar la eficacia global de reducción de SO<sub>x</sub>. Por último, los costes de inversión y operación de los lavadores son importantes.

(c) La oxicombustión estuvo muy en boga en los años 90 aunque actualmente se encuentra fuertemente cuestionada por las siguientes razones:

- Elevado incremento del consumo energético.
- Dificultad en la conducción del proceso de fusión.
- Mayor desgaste de la estructura del horno.
- Necesidad de garantizar en continuo el suministro de O<sub>2</sub>.

(d) El empleo de 3R presenta los siguientes inconvenientes que, desde el punto de vista técnico, lo hace poco fiable:

- El mayor campo de aplicación se ha dado en el vidrio plano que cuenta con refractario de mayor calidad. Incluso con esta calidad, la experiencia ha demostrado que la atmósfera reductora creada en los regeneradores daña los materiales refractarios. De hecho, se ha comprobado la necesidad de reparar los regeneradores dos años después de la instalación de esta tecnología, cuando habitualmente su vida media es de 10-12 años.
- Mayor consumo de combustible (aproximadamente un 7% más).
- Mayores emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de hidrocarburos para conseguir la reducción necesaria de NO<sub>x</sub> (20-30 kg de CO<sub>2</sub>/t de vidrio fundido).

(e) El empleo de amoníaco en procesos complejos (continuos, cambios de colores, surtido elevado de modelos, volúmenes importantes, etc.) como el del vidrio no está recomendado debido a los riesgos inherentes a su propio uso.

Por otra parte, en los sistemas sin catalizador (SNCR), la formación de bisulfato amónico origina obstrucción y corrosión, pudiendo afectar a la estructura de los regeneradores. En los sistemas con catalizador (SCR), el coste operativo es demasiado elevado y exige, en la mayoría de los casos, la instalación de un depurador de gases ácidos.

## SECCIÓN 3. *Filamento continuo*

### 1. INTRODUCCIÓN

La producción de filamento continuo de vidrio es uno de los subsectores minoritarios de la industria del vidrio en España en cuanto a tonelaje, pero sus productos tienen un valor añadido importante. Este sector abarca la manufactura de los filamentos continuos y su transformación en otros productos.

Los filamentos continuos de vidrio se producen y suministran en diversas formas: ovillos, mantas, hilos cortados y tejidos, siendo su principal uso el refuerzo de materiales compuestos, principalmente resinas termoendurecibles y termoplásticos. La utilización de estos materiales redunda en un importante aligeramiento de las piezas fabricadas, con una densidad del 1,5 kg/dm<sup>3</sup> sustituyen a piezas entre 2 y 5 veces más pesadas.

Los mercados principales de los "composites" son los sectores de construcción, automóvil y transporte (50%), así como la industria de generación de energía y de electrónica. Otras aplicaciones son en canalizaciones y depósitos, deportes, ocio, equipos agrícolas, maquinaria industrial y sector naval.

El segundo uso en importancia es la fabricación textil, principalmente en la producción de circuitos impresos en la industria electrónica.

En España, sólo VETROTEX, filial del Grupo Saint-Gobain, produce filamento continuo de refuerzo para plásticos y cementos, filamento continuo en madeja y productos textiles diversos y comercializa productos de otras empresas del grupo. Una parte muy importante de su producción se destina a la exportación.

**Tabla 2.3.1. Características de las empresas españolas fabricantes de filamento continuo**

Nº de empresas	1
Nº de centros de producción	1
Facturación (millones de €/año)	<70
Producción (t/año)	43.000
Mano de obra total ocupada	370
Producción total de vidrio fundido (t/año)	60.000

### 2. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

Los productos de filamento continuo de vidrio pueden clasificarse, por su longitud, en filamento continuo de vidrio (fibra larga) o discontinuo (fibra corta). Entre estas dos clasificaciones, hay una estrecha correlación. Las fibras textiles, por ejemplo, están constituidas por filamentos continuos o por fragmentos lo suficientemente largos como para poder ser tejidos o empleados como refuerzo de plásticos o de otros materiales.

Las fibras cortas se emplean normalmente en forma de mantas o fieltros para diferentes aplicaciones como aislantes térmicos y/o acústicos.

En la figura 2.3.1, se presenta el conjunto de procesos tipo para la obtención de filamento, tanto continuo como discontinuo, para las aplicaciones ya mencionadas. A excepción del conformado, el proceso de fabricación es muy similar al del resto de los subsectores.

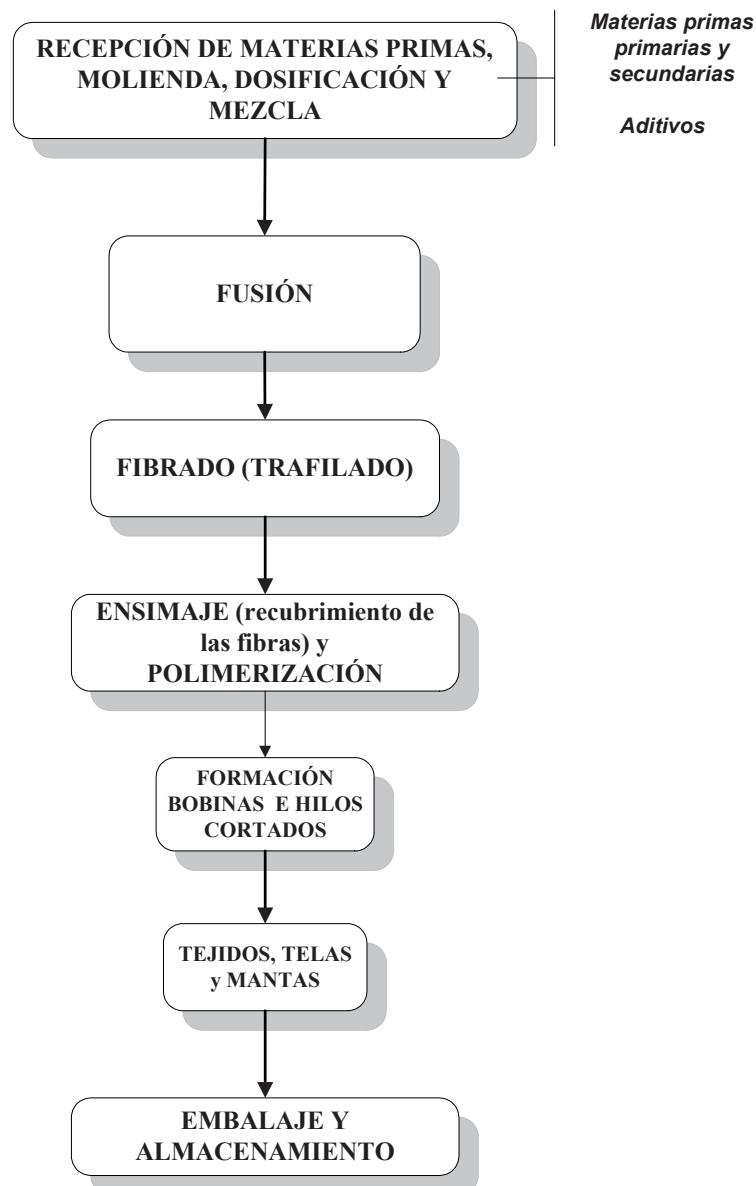


Figura 2.3.1.- Proceso tipo para la fabricación de filamento continuo de vidrio.

El proceso de fabricación de filamento continuo de vidrio comienza con la descarga en los silos de recepción de las materias primas. Seguidamente se realiza el pesaje automático de las cantidades exactas de las materias primas mediante básculas electrónicas, lográndose la mezcla adecuada que alimentará el horno de fusión.

La mezcla vitrificable es sometida a un proceso de fusión en continuo en hornos. La industria española de filamento continuo dispone de dos hornos UNIT MELTER, que utilizan gas natural y tienen una capacidad nominal de hasta 140 t/día.

Una característica básica de estos productos es su composición baja en alcalinos y que contienen  $B_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  y  $ZrO_2$ , esto implica mayores temperaturas de fusión ( $\approx 1.650^{\circ}C$ ) y, por tanto, cambio en la composición del material de los hornos (sustitución de la bóveda de sílice por mullita).

## 2.1. Conformado

La etapa de conformado presenta diferencias significativas con respecto al resto de los subsectores. Existen numerosos procedimientos de fabricación de filamento continuo, siempre basados en tres operaciones diferentes: estirado, centrifugado y soplado.

En la industria española la fabricación de filamento continuo, se lleva a cabo por el método de *estirado a través de hileras* o *trafilado*. El vidrio, una vez fundido, se distribuye por canales hacia una chapa perforada (hilera) de platino (al 10-20% de rodio). El haz de filamentos generado en la hilera se estira por un canal guía hasta formar un hilo múltiple.

Durante esta operación los hilos son recubiertos con un protector orgánico polimerizado a modo de apresto (proceso conocido con el galicismo de “ensimaje” o “ensimage”). Por último, los hilos se enrollan en un mandril colocado sobre una bobina (el mandril forma parte de la bobinadora que es la máquina que realmente se encarga del estirado).

El tipo de hilera, la viscosidad del vidrio y la velocidad de bobinado determinan la cantidad de filamentos y el diámetro final de los hilos que puede variar entre 10 y 20  $\mu m$ .

En la fabricación de filamento continuo, la homogeneidad química y térmica del vidrio resultan factores críticos.

## 2.2. Segunda transformación y acabados

Dentro de este punto deben mencionarse sólo aquellas operaciones de acabado que se realizan en algunos procesos para la formación de bobinas (productos antiestáticos) y de mantas a partir de hilos cortados que se unen por medio de ligantes líquidos (tipo acetatos) o sólidos (resinas de poliéster).

## 3. NIVELES ACTUALES DE EMISIONES Y CONSUMOS DE ENERGÍA Y MATERIAS PRIMAS

La fabricación de filamento continuo, como el resto de la industria del vidrio, es una actividad intensiva en el consumo energético. La etapa con mayor incidencia medioambiental desde todos los puntos de vista es la fusión debido al elevado consumo de energía, aunque el consumo de materias primas también es relevante. La mayor temperatura necesaria en este proceso aumenta el consumo energético, por lo que el consumo de combustibles en la etapa de fusión suele complementarse con apoyo eléctrico.

En la siguiente tabla se resumen los principales aspectos medioambientales de los procesos de fabricación del filamento continuo de vidrio.

Tabla 2.3.2. Aspectos medioambientales de la fabricación de filamento continuo de vidrio por etapas

ETAPA	CATEGORÍA DE ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES	ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES
Recepción, Molienda y Mezcla de Materias Primas	Consumo Recursos	<p>Materias primas vitrificables: arena silícea, carbonato cálcico, óxido de calcio, alumino silicatos, colemanita, borato cálcico, ácido bórico, feldespatos, sulfato cálcico, carbonato sódico, carbonato potásico, sulfato sódico, óxidos metálicos, dolomía.</p> <p>Materias primas para recubrimientos: acetatos, poliuretanos, resinas, ácido acético, sales de amoniaco.</p> <p>Materias primas aglomerantes: polivinilacetatos, resinas fenólicas, etc.</p> <p>Aire comprimido.</p> <p>Agua: refrigeración, lavado y limpieza.</p> <p>Energía: eléctrica (mezcladoras, transportadores, pesada, clasificación).</p>
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación del agua	Aguas residuales de lavado con metales (si existe).
	Residuos	Derrames, pérdidas, rechazos, envases y embalajes, partículas de los sistemas de aspiración.
	Ruido	Emisiones de ruido.
Fusión	Consumo Recursos	<p>Agua, para la refrigeración de los hornos.</p> <p>Energía: combustible empleado para fusión (80% total del proceso). Apoyo eléctrico.</p> <p>Oxígeno como comburente</p>
	Contaminación atmosférica	Volátiles, $\text{SO}_x$ , $\text{CO}_2$ , $\text{NO}_x$ , metales, HF, HCl, B, F, CO, pérdidas por evaporación.
	Contaminación del agua	Aguas residuales procedentes de purgas y pérdidas de los sistemas de refrigeración que contienen sales disueltas y sustancias para el tratamiento del agua.
	Residuos	Polvos de los conductos (sulfatos, boratos, residuos cálcicos y otros), residuos de refractarios, restos de vidrio, infundidos, desmantelamiento de hornos, residuos de tratamientos de humos.
	Ruido	Emisiones de ruido.
Fibrado + Ensimaje + Polimerización + acabados	Consumo Recursos	<p>Materias primas auxiliares, para recubrimientos y aglomerantes.</p> <p>Agua: refrigeración, recubrimientos.</p> <p>Energía: normalmente consumo de energía eléctrica y combustibles fósiles (gas).</p>
	Contaminación atmosférica	Vapores, emisiones difusas: HCl, HF, COV's.
	Contaminación del agua	Aguas residuales con restos de filamento continuo, aglomerantes, partículas y otras sustancias. Aguas residuales procedentes de purgas y pérdidas de los sistemas de refrigeración que contienen sales disueltas y sustancias para el tratamiento del agua.
	Residuos	Filamentos continuos, restos de aglomerantes, lodos tratamientos de aguas, derrames y pérdidas, etc.
	Ruido	Emisiones de ruido.
Embalaje y Almacenamiento	Consumo Recursos	<p>Energía: energía eléctrica.</p> <p>Embalado: madera, cartón, plástico, gas (plastificadoras)</p>
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación del agua	Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, etc. (no significativas)
	Residuos	Envases y embalajes, rechazos, derrames, pérdidas.
	Ruido	Emisiones de ruido.

ETAPA	CATEGORÍA DE ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES	ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES
Operaciones de mantenimiento y limpieza	Consumo Recursos	<u>Energía</u> : energía eléctrica. Materias auxiliares (aceites y grasas, etc.)
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación del agua	Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, aceites, etc.
	Residuos	Rechazos y derrames en general, lodos de depuradoras, aceites, etc.
	Ruido	Emisiones de ruido.

### 3.1. Consumo de recursos: materias primas

En el capítulo 1 se describen las funciones, características y propiedades de las materias primas generalmente utilizadas en el proceso de fusión del vidrio. En el siguiente cuadro, se recogen, de forma resumida, las principales materias primas utilizadas en la fabricación de filamento continuo:

**Tabla 2.3.3. Materias primas utilizadas en la fabricación de filamento continuo**

MATERIA PRIMA	FUENTE
Materias primas formadoras de vidrio	Arena silícica.
Materias primas modificadoras	Carbonato de calcio, óxido de calcio, silicato de aluminio, colemanita, borato cálcico, bórax, ácido bórico, feldespatos, compuestos de flúor, sulfato cálcico, carbonato sódico, carbonato potásico, sulfato sódico, óxido de zinc, rutilo u óxido de titanio, óxido de zirconio, dolomia, óxido de hierro.
Materias primas para recubrimientos	Acetatos, poliuretano, resinas tipo epoxi, silano, modificadores del pH (ácido acético, ácido clorhídrico, sales de amoniaco), lubricantes (normalmente aceites minerales).
Aglomerantes y productos secundarios	Polivinilacetato, poliésteres saturados, resinas.
Otros materiales consumidos	Materiales de embalaje: plásticos, papel, cartón, madera. Aceites lubricantes. Gases para el proceso: oxígeno, etc.

Los componentes principales en la fabricación de filamento continuo son las arenas, los carbonatos alcalinos y alcalinotérreos, el óxido de aluminio y los compuestos de boro. Los intervalos de variación son muy amplios dependiendo de la composición formulada. En la mayoría de ellas los óxidos de silicio, sodio, potasio, calcio, magnesio, boro y aluminio suman más del 95% de la composición final. En la siguiente tabla se cuantifica el consumo de los principales materiales por tonelada de producto fabricado:

**Tabla 2.3.4. Consumo específico de las principales materias primas**

SUSTANCIA	CUANTIFICACIÓN (kg/t de producto) <sup>17</sup>
SiO <sub>2</sub>	≈ 300-460
Colemanita	≈ 140-250
CaO	≈ 300-411
Compuestos de flúor	≈ < 20
Otros	3-153

<sup>17</sup> Cantidadas estimadas en función del consumo global de materias primas.

Los productos o materiales utilizados en los recubrimientos suponen pequeñas proporciones sobre el total, normalmente entre el 0,5 y el 2%. Suelen estar constituidos mayoritariamente por soluciones acuosas de polímeros (50% de sólidos) y pequeñas cantidades de otros de los compuestos reflejado en el cuadro anterior.

### 3.2. Consumo de recursos: Energía y agua

#### 3.2.1. Consumo de agua

Uno de los consumos más importantes de agua se produce en la refrigeración de equipos. Normalmente estos sistemas funcionan en circuitos cerrados donde se reponen las pérdidas por evaporación y las purgas. En la fabricación de filamento continuo el consumo de agua es mayor que en otros subsectores de fabricación de vidrio, ya que también se utiliza durante el recubrimiento de los filamentos continuos (ensimaje) y en las operaciones de acabado y procesos especiales.

**Tabla 2.3.5. Características del consumo de agua en la producción de filamento continuo de vidrio**

Consumo de agua	Principales operaciones consumidoras de agua
<p>Consumo global en función de la producción: &gt; 1.800 m<sup>3</sup>/día</p> <p>Consumo específico por tonelada de producto acabado: 12-20 m<sup>3</sup>/t</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Refrigeración de los sistemas de fusión (20%)</li> <li>▪ Procedente del área de conformado</li> <li>▪ Preparación y aplicación del aglomerante</li> <li>▪ Tratamientos posteriores</li> <li>▪ Limpieza sección productiva</li> </ul>

#### 3.2.2. Consumo de energía

La fabricación de filamento continuo es, como el resto del vidrio, un proceso intensivo en energía. La principal fuente de energía está constituida por los combustibles fósiles, que son consumidos en su mayor parte en la fusión, aunque también en las etapas de conformado o acondicionamiento de las cargas. La energía eléctrica se utiliza en el conformado, en la producción de aire comprimido, en el transporte de materiales, en algunos procesos de calentamiento, como apoyo en la fusión, en sistemas de fusión mixtos (*boosting*), etc.

La distribución de usos y consumos de combustibles en el subsector del filamento continuo español se indica en las siguientes tablas:

**Tabla 2.3.6. Distribución del consumo energético en la fabricación de filamento continuo**

Subsector	Nº de hornos considerados	Producción total de vidrio fundido (t/año)	Tipos de fuentes de energía	Distribución de consumos (MWh/año)
Filamento continuo	2	60.000	Gas	240.000
			Electricidad	50.000

Fuente: Vidrio España, 2005.

**Tabla 2.3.7. Consumo específico de energía por etapa**

Consumo específico (fusión)	Energía total (gas natural + apoyo eléctrico)	6,8-12 GJ/t Vº Fº	(según datos estimados)
Consumo específico (conformado)	Energía total (incluyendo apoyo eléctrico)	2-4 GJ/ t Vº Fº	

Fuente: Vidrio España, 2005.

En general, en la fusión (hornos) y canales de alimentación, el consumo energético puede variar entre el 60% y el 80% del total.

### 3.3. Emisiones atmosféricas

Los valores de emisión de los principales contaminantes en la fabricación de filamento continuo dependen de muchos factores. Especialmente hay que tener en cuenta el tipo y la composición de los hilos, las técnicas o sistemas de depuración utilizados y la edad de los hornos. En líneas generales, pueden darse como valores típicos los recogidos en el siguiente cuadro:

**Tabla 2.3.8. Emisiones de sustancias contaminantes**

SUSTANCIA	MEDIDAS PRIMARIAS (MG/M <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>	MEDIDAS SECUNDARIAS (MG/M <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>
Óxidos de Nitrógeno	326-900	-
Dióxido de azufre	100-700 (gas natural)	-
Partículas <sup>(b)</sup>	250-500	< 50
Cloruros (HCl)	< 10	< 10
Fluoruros (HF)	10-50 (sin adición de fluoruros) 200-400 (con adición de fluoruros) 20-50 (con adición de fluoruros y selección de materias primas)	< 20 (sin adición) < 20 (con adición)
Metales	< 5	< 5

Fuente: Vidrio España, 2005.

(a) Condiciones de referencia: en seco, 273 K, 101.3 kPa y 8% O<sub>2</sub>.

(b) Normalmente son sulfatos y boratos de sodio y potasio. Prácticamente la totalidad de las partículas emitidas pueden ser consideradas como PM<sub>10</sub>.

Las emisiones de fluoruro dependen de las materias primas utilizadas en la composición, ya que en estos procesos suelen añadirse compuestos con flúor según los tipos de productos. Las cantidades que suelen introducirse varían hasta alcanzar los 20 kg/t de producto.

También son representativas las emisiones de CO<sub>2</sub> de las instalaciones de filamento continuo que oscilan entre los 900 y 1.100 g/kg Vº Fº.

Otros contaminantes emitidos a la atmósfera son: compuestos orgánicos volátiles, boro y flúor. En muchos casos las emisiones se deben a pérdidas por evaporación.

### 3.4. Residuos

La tipología de los residuos generados por las instalaciones de fabricación de filamento continuo tiene alguna particularidad debido a los productos fabricados y las materias primas empleadas.

Así, por ejemplo, el filamento continuo es un proceso muy sensible a la calidad de las materias primas, por lo que los residuos de materias primas generados en el proceso no siempre pueden ser reciclados o reutilizados. Lo mismo ocurre con los residuos de vidrio, los cuales pueden dar lugar a impurezas si son reutilizados en el proceso. Existen algunas técnicas para tratar estos residuos y poder aprovecharlos, pero por regla general no es fácil.

Las instalaciones generan entre 60 y 205 kg de restos de filamento y vidrio por tonelada producida, parte de los cuales no se pueden reciclar y son depositados en vertedero. El contenido en  $B_2O_3$  y  $ZrO_2$  de estos residuos les confiere cierto valor añadido por lo cual debería estudiarse el uso de los mismos en procesos alternativos como puede ser la producción de fritas.

Los residuos procedentes de los sistemas de depuración y captación de partículas sí pueden ser recogidos y reutilizados en el proceso como materias primas, pero depende de los casos y, sobre todo, de los sistemas instalados.

Los residuos de aglomerantes se producen en cantidades entre 1-13 kg/t de producto.

La producción de residuos en las instalaciones españolas de filamento continuo se resume en el siguiente cuadro:

**Tabla 2.3.9. Generación de residuos**

TIPOS DE RESIDUOS GENERADOS EN FILAMENTO CONTINUO DE VIDRIO	t/AÑO (APROX.)	CLASIFICACIÓN/TIPO DE RESIDUO	GESTIÓN
Casco de vidrio <sup>18</sup>	100-420	Residuos no peligrosos	Reutilización
Emulsiones aguas-acetatos	25-30	Residuos peligrosos	Gestor autorizado
Agua + filamento continuo (lodos)	10-15	Residuos peligrosos	Gestor autorizado
Acetatos	3-4	Residuos peligrosos	Gestor autorizado
Disolventes no halogenados	0,5-1	Residuos peligrosos	Gestor autorizado
Disolventes alcalinos	0,1-0,5	Residuos peligrosos	Gestor autorizado
Tensioactivos	0,5-1	Residuos peligrosos	Gestor autorizado
Disolución ácida	0,1-0,2	Residuos peligrosos	Gestor autorizado
Resinas	5,5-60	Residuos peligrosos	Gestor autorizado
Aceites usados	3-6	Residuos peligrosos	Gestor autorizado/valorización
Envases contaminados	25-30	Residuos peligrosos	Gestor autorizado/recuperación
Filamento continuo húmedo	12.000-14.000	Residuos no peligrosos	Vertedero
Filamento continuo seco	1.000-2.000	Residuos no peligrosos	Reutilización/vertedero
Rechazo composición	100-300	Residuos no peligrosos	Vertedero
Otros desechos industriales (residuos de operaciones de mantenimiento, etc)	140-150	Residuos peligrosos/no peligrosos	Reciclaje/reutilización/vertedero
Residuos asimilables a urbanos	14-20	Residuos no peligrosos	Reciclaje/reutilización/vertedero

Fuente: Vidrio España, 2004.

<sup>18</sup> Como en los casos anteriores no se consideran estas cantidades para el cálculo de la relación residuos/producción.

**Tabla 2.3.10. Producción específica de residuos**

PRODUCCIÓN TOTAL DE RESIDUOS (t/año)	PRODUCCIÓN DE LA PLANTA (t/año)	RELACIÓN RESIDUOS/PRODUCCIÓN
16.000-19.000	≈ 43.000	≈ 0,431

Fuente: Vidrio España, 2004.

### 3.5. Ruidos

El nivel de ruidos suele ser alto en el interior de las instalaciones, pero no afecta al exterior. Las emisiones de ruido proceden principalmente de los sistemas de alimentación de las materias primas, los hornos y sus sistemas de alimentación.

Generalmente se emplean sistemas de protección para reducir los efectos, unas veces de carácter individual y otras como zonas de aislamiento acústico dentro de las propias instalaciones.

### 3.6. Vertido de aguas residuales

El caudal de vertido de aguas residuales es mayor que en otros subsectores de fabricación de vidrio, pudiendo superar los 1.000 m<sup>3</sup>/día.

En este subsector, el vertido de aguas residuales puede tener cierta importancia desde el punto de vista medioambiental ya que pueden darse efluentes con compuestos orgánicos, utilizados para la polimerización del filamento. Por este motivo, las aguas residuales deben ser tratadas antes de su vertido final.

Las principales actividades generadoras de vertidos son:

- Purgas del sistema de refrigeración en circuito cerrado que contienen sales disueltas y productos químicos procedentes del tratamiento de aguas. La mayor parte de las pérdidas que se dan en este circuito son por evaporación y arrastre en torres de refrigeración.
- Conformado.
- Preparación y aplicación del aglomerante (fabricación de emulsiones para el recubrimiento de los hilos).
- Tratamientos posteriores.
- Limpieza de la sección productiva.
- Aguas sanitarias procedentes de servicios y duchas.

En general, las sustancias y límites de vertido de las mismas, deben estar especificadas en las autorizaciones de vertido otorgadas por las administraciones competentes. Normalmente los parámetros que se controlan son de tipo físico (temperatura, color, etc.) y químico (pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, etc.). En general, está prohibido el vertido a cauce de todas aquellas sustancias que no estén incluidas expresamente en la autorización de vertido. (Artículo 100 del texto refundido de la Ley de Aguas: “*Queda prohibido con carácter general, el vertido directo o indirecto de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del Dominio Público Hidráulico, salvo que se cuenta con la previa autorización administrativa*”.) No obstante, es recomendable que las instalaciones hagan al menos una analítica completa de sus vertidos teniendo en cuenta las sustancias contaminantes y los requisitos incluidos en las nuevas normativas de información ambiental (Registros EPER y E-PRTR), de cara a identificar todas las sustancias que son emitidas por la instalación.

#### 4. TÉCNICAS UTILIZADAS Y MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES EN FILAMENTO CONTINUO

Las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) constituyen una de las herramientas que se contemplan para la protección del medio ambiente tanto en la Ley 16/2002, de 1 de julio, como en la Directiva 96/61, de 24 de septiembre. De acuerdo con la definición dada en el artículo 3, párrafo ñ) de la Ley 16/2002, una MTD es:

*“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 posible, reducir en general las emisiones y el impacto en conjunto del medio ambiente y de la salud de las personas”.*

También se entenderá por:

- *“Técnicas, la tecnología utilizada, junto con la forma en que la instalación está diseñada, construida, mantenida, explotada o paralizada.*
- *Disponibles, las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del correspondiente sector industrial, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en España, 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 y de la salud de las personas”.*

Además, deben considerarse los criterios establecidos en el anexo 4 de la Ley 16/2002, entre ellos:

- Uso de técnicas que produzcan pocos residuos.
- Uso de sustancias menos peligrosas.
- Desarrollo de técnicas de recuperación y reciclado de sustancias generadas y utilizadas en el proceso.
- Procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento comparables y positivos a escala industrial.
- Avances técnicos y evolución de los conocimientos científicos.
- Carácter, efectos y volumen de las emisiones de que se trate.
- Plazos de implantación.
- Consumo y naturaleza de los recursos utilizados.
- Medidas de eficiencia energética.
- Impacto global y riesgos al medio ambiente.

Así, según estos criterios, las mejores técnicas disponibles son aquellas que no generan emisiones o, si no es posible, minimizan al máximo las mismas y sus efectos sobre el medio ambiente. Como norma general, las medidas primarias son las que deberían considerarse como tales, ya que son las técnicas que reducen las emisiones en la fuente de origen, mientras que las técnicas secundarias corrigen la contaminación producida, por lo que deberían aplicarse cuando aquellas no permitan alcanzar los niveles de eficiencia ambiental requeridos.

La adopción de una MTD es muy variable en función de las particularidades de cada instalación. La aplicación de una misma técnica en instalaciones similares no produce los mismos resultados.

El proceso de fabricación de filamento continuo de vidrio, como el del resto de la industria vidriera, es un proceso fundamentalmente energético, por lo que la mayoría de los esfuerzos se dirigen a conseguir una mayor eficiencia de los procesos optimizando el consumo de recursos.

El subsector es consciente de la importancia de los impactos medioambientales del proceso de fabricación, sobre todo de aspectos como las emisiones atmosféricas de determinadas sustancias. Teniendo en cuenta la visión integral del medio ambiente que establece la IPPC, los recursos de la industria, considerando que se trata de un proceso en continuo sin paradas entre 8-12 años, así como los criterios generales sobre la adopción de MTD, siempre se debe priorizar la implantación de técnicas que estén sólidamente probadas y programarlas de acuerdo con las exigencias del propio proceso o de las instalaciones. Las técnicas y medidas descritas en este apartado pueden considerarse como las más apropiadas para el subsector.

Los “niveles de emisión alcanzables”, no son valores límite de emisión y no deben asimilarse a tales. La decisión sobre los límites que deben fijarse en cada instalación, es responsabilidad de la autoridad medioambiental competente que, además de las MTD, tienen que tener en cuenta:

- Las características de la instalación (si es nueva o ya existente).
- La localización geográfica.
- Las medidas adicionales de calidad ambiental locales o regionales.

Es importante remarcar que los valores de emisión asociados incluidos en el Documento BREF, son valores de referencia asociados a una mejor técnica en las condiciones óptimas de funcionamiento y que no siempre son alcanzables en regímenes reales de operación. El BREF, que no tienen rango legal, es una herramienta que como guía es muy útil para la industria y la administración ambiental.

Hay que tener en cuenta que una única MTD, primaria o secundaria, puede no ser aplicable para reducir todos los contaminantes emitidos por un foco o, en su caso, para alcanzar los niveles de emisión exigidos. Un ejemplo característico de ello son los sistemas de filtración, reducen las emisiones de partículas, pero implican la generación de residuos que deben ser gestionados adecuadamente y el aumento del consumo de energía en la instalación.

Al final, en el balance medioambiental para la adopción de una u otra solución, deben tenerse en cuenta todos estos factores y valorar el peso relativo de cada uno de ellos. Dependiendo de la ubicación, de las características de la instalación e incluso de los objetivos en políticas medioambientales, así deberán ser las soluciones finales que deben aplicarse en cada caso.

En los siguientes apartados se describen las medidas que actualmente se aplican valorando los diferentes aspectos para su consideración como MTD.

#### 4.1. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones

En este apartado se recogen las técnicas más comúnmente utilizadas en las instalaciones de filamento continuo para la reducción de las emisiones más importantes. Estas técnicas están basadas en medidas de tipo primario y secundario y, fundamentalmente, enfocadas a la optimización del consumo de recursos mediante la mejora de la eficiencia de los procesos.

##### 4.1.1. Etapa: Recepción, mezcla y dosificación de materias primas

**Tabla 2.3.11. Medidas para evitar las emisiones de polvo y partículas en la recepción, mezcla y dosificación de materias primas**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sistemas neumáticos de transporte (considerando la posibilidad de disponer de sistemas de filtros para limpiar el aire de transporte y evitar obturaciones de los conductos).</li> <li>■ Cintas transportadoras.</li> <li>■ Cerramiento de los lugares de descarga.</li> <li>■ Cerramiento de los silos de almacenamiento.</li> <li>■ Cerramiento de las cintas transportadoras.</li> <li>■ Almacenamiento de los materiales utilizados como componentes secundarios o minoritarios en contenedores cerrados.</li> <li>■ Adición de hasta el 4% de agua a la composición, sobre todo en el caso de los finos.</li> <li>■ Dosificadoras/básculas y mezcladoras.</li> <li>■ Protección de silos y contenedores con pinturas de baja absorción de la luz solar, control de la temperatura interior y exterior del silo, aislamiento de los contenedores, controles de las fluctuaciones de presión y tratamientos específicos de absorción, adsorción, condensación en silos.</li> </ul>
<b>Aspectos ambientales</b>	Evita la emisión de polvo y partículas.
<b>Inconvenientes</b>	-
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100 %

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

##### 4.1.2. Etapa: Fusión

**Tabla 2.3.12. Modificación/selección de las materias primas**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Sustitución por otras materias primas o materiales cuyos efectos en las emisiones al aire sean menores que las utilizadas habitualmente.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de las emisiones de partículas, SO <sub>x</sub> , óxidos de carbono, HF y HCl.
<b>Inconvenientes</b>	No siempre es posible la sustitución de unas materias primas por otras que cumplan la misma función, sobre todo por la disponibilidad de cantidades adecuadas de materiales de calidad suficiente, la consistencia del suministro y los costes.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100 % (cuando es aplicable, según las materias primas).

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

**Tabla 2.3.13. Apoyo eléctrico ("boosting")**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Empleo de energía eléctrica en sustitución de parte del combustible fósil para la fusión del vidrio.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de combustibles fósiles y de las emisiones de partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> . Aumento de la eficiencia energética.
<b>Inconvenientes</b>	Condicionado por el precio de la electricidad (se estima que es rentable utilizar < 5% de la energía total consumida en el horno en las condiciones actuales). Suele aplicarse como una herramienta de operación en el proceso más que como una técnica. Sigue ir acompañada de otras medidas parecidas, como la sustitución de los quemadores existentes por otros de bajos NO <sub>x</sub> , etc.
<b>Cuándo se aplica</b>	En las reparaciones de los hornos.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

**Tabla 2.3.14. Diseños de la geometría del horno**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	La superficie del vidrio es un factor importante en la formación de partículas y otros contaminantes atmosféricos. Los cambios en el diseño del horno intentan mejorar la transmisión energética a través de la masa vitrificable de manera que la temperatura de la superficie del vidrio sea más baja.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de partículas, NO <sub>x</sub> , HF y HCl. Reducción del consumo de energía.
<b>Inconvenientes</b>	Es necesario contratar una ingeniería altamente especializada en el diseño, construcción, supervisión y puesta en marcha de hornos de fusión de vidrio.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

**Tabla 2.3.15. Disposición de los quemadores**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	El posicionamiento de los quemadores de tal forma que se trate de optimizar la velocidad, la dirección y combustión de gas es una práctica habitual en los hornos para reducir turbulencias en la superficie del vidrio y la volatilización de sustancias.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de partículas y NO <sub>x</sub> . Reducción del consumo de energía.
<b>Inconvenientes</b>	Estas modificaciones suelen ser más efectivas cuando hay un nuevo diseño del horno.
<b>Cuándo se aplica</b>	En los períodos de reconstrucción de los hornos.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

**Tabla 2.3.16. Cambio de combustible**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Sustitución de fuel por gas natural o combustibles con bajo contenido en azufre. Puede hacerse de forma parcial mediante sistemas de combustión mixta cuyos porcentajes de mezcla son muy variables.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de partículas, $\text{SO}_x$ y $\text{CO}_2$ .
<b>Inconvenientes</b>	El uso de gas natural aumenta de manera importante la emisión de $\text{NO}_x$ . La transferencia de calor a la masa vitrificable es más pobre debido a la menor luminosidad de la llama. Por tanto, la necesidad de consumo energético es mayor para alcanzar la temperatura de fusión del vidrio. Tiene un límite en el precio comparado de la termia. El coste del cambio depende fundamentalmente de la disponibilidad del gas natural o de combustibles bajos en azufre y de los precios frente a otros combustibles. Puede reducir la capacidad extractiva del horno.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reconstrucción o construcción de un horno nuevo
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

**Tabla 2.3.17. Reducción de la relación aire/combustible**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Sellado del bloque de quemadores para evitar la entrada de aire en la zona de alimentación de mezclas y ajuste de la relación de aire/combustible a niveles casi estequiométricos.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de $\text{NO}_x$ , HF y HCl.
<b>Inconvenientes</b>	Es necesario medir los niveles de NO, CO y $\text{O}_2$ en el gas residual ya que si la combustión es subestequiométrica, el CO y el desgaste del material refractario pueden aumentar el nivel redox del vidrio, afectando a su calidad.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento, pero debe realizarse con cuidado y de forma progresiva.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

**Tabla 2.3.18. Técnicas de aprovechamiento del calor residual a partir de los gases generados en el proceso**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Utilización del calor residual de los gases residuales generados en el proceso para obtener aire precalentado. Además, se puede realizar una segunda recuperación para los servicios auxiliares de la planta.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de energía.
<b>Inconvenientes</b>	Se requiere de mucha experiencia en el proceso. Pueden ser necesarias modificaciones en los hornos. Se requiere estricto control del CO para evitar daños en los refractarios.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reconstrucción de los hornos
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

**Tabla 2.3.19. Quemadores de bajo NO<sub>x</sub> y baja impulsión**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Se consigue una reducción de los picos en las temperaturas de llama ya que permite una mezcla más lenta entre el gas y el aire de combustión, un aumento de la radiación de las llamas y una disminución de la volatilización de los óxidos de sodio procedente del baño de vidrio fundido.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> , partículas, HCl y HF. Ahorro de energía.
<b>Inconvenientes</b>	En los hornos transversales la mayor longitud de llama puede penetrar en las cámaras disminuyendo su vida útil.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

**Tabla 2.3.20. Oxi-combustión**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Sustitución de aire por oxígeno como comburente. Normalmente esta sustitución es parcial.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> , HF y HCl.
<b>Inconvenientes</b>	Su aplicación queda restringida a pequeñas producciones debido fundamentalmente al precio que puede alcanzar el oxígeno. Además, quedan problemas por resolver en cuanto a la corrosión de las estructuras de los materiales refractarios.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	50%

<sup>(a)</sup> En función del número de hornos existentes en las instalaciones de filamento continuo españolas.

### Técnicas secundarias

**Tabla 2.3.21. Filtros de mangas**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Los filtros de mangas son una serie de tejidos filtrantes (mangas) que están en el interior de una cámara de forma cilíndrica o paralelepípeda, con un colector en su parte inferior. Los gases pasan a través de los poros de las mangas que retienen las partículas en suspensión. Se forma así una capa de polvo, la cual requiere ser limpiada con frecuencia por vía mecánica (vibración o golpeo) o mediante descargas de aire comprimido a contracorriente. En la selección del material filtrante se debe tener en cuenta la composición de los gases, la naturaleza y tamaño de las partículas, la eficiencia requerida, los costes económicos y la temperatura del gas (rara vez soportan más de 250 °C por lo que suele ser necesario incorporar un sistema de enfriamiento de los gases).
<b>Aspectos ambientales</b>	Es muy eficiente (hasta el 99%) en la eliminación de partículas.
<b>Inconvenientes</b>	Necesidad de cambiar las mangas periódicamente y de instalar sistemas de enfriamiento de los gases. Generación de residuos.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	50%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

**Tabla 2.3.22. Lavado seco o semiseco**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	<p>El material reactivo (el absorbente) se introduce y se dispersa en la corriente de gas residual, reaccionado con las moléculas de <math>\text{SO}_x</math> y formando un sólido que debe ser eliminado de la corriente de gas mediante un sistema de filtro. Los absorbentes también son eficaces para eliminar otros gases ácidos, particularmente haluros (HCl y HF). En algunas aplicaciones, el absorbente se inyecta directamente en el conducto del gas residual, pero es más eficaz si se utiliza una columna de reacción (proceso seco) o una cámara de reacción (proceso semiseco).</p> <p>En el proceso semiseco, el absorbente (<math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math>, CaO o <math>\text{Ca}(\text{OH})_2</math>) se agrega en forma de suspensión o solución. La evaporación de agua enfria la corriente de gas.</p>
<b>Aspectos ambientales</b>	<p>Reducciones en las emisiones de <math>\text{SO}_x</math>, dependiendo del balance de azufre y nivel de reciclado.</p> <p>También se reducen emisiones de cloruros, fluoruros y otros ácidos.</p> <p>En muchos casos el polvo puede recuperarse y ser reciclado.</p>
<b>Inconvenientes</b>	<p>Consumo de energía.</p> <p>Puede incrementar la generación de residuos sólidos.</p> <p>Requiere importantes costes de inversión y operación.</p> <p>Suelen complementar a los electrofiltros o a los filtros de mangas.</p>
<b>Cuándo se aplica</b>	En relación con la instalación de sistemas de filtrado (filtro de mangas).
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

#### 4.1.3. Etapa: Conformado, acabado y embalaje

Las emisiones producidas en las etapas posteriores a la fusión en la fabricación de filamento continuo, se localizan en la aplicación de los recubrimientos, el secado, el corte y molienda y otros procesos secundarios.

#### Técnicas primarias

**Tabla 2.3.23. Modificación/selección de las materias primas**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	<p>Selección de materiales de recubrimiento con niveles bajos de disolventes orgánicos para minimizar las emisiones procedentes de los recubrimientos.</p> <p>Selección de materias primas para evitar la emisión de sustancias volátiles en las estufas de secado de los aglomerados húmedos.</p>
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de las emisiones de partículas, $\text{SO}_x$ , óxidos de carbono, HF y HCl.
<b>Inconvenientes</b>	No siempre es posible la sustitución de unas materias primas por otras que cumplan la misma función, sobre todo por la disponibilidad de cantidades adecuadas de materiales de calidad suficiente, la consistencia del suministro y los costes.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100% (cuando es posible)

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

#### 4.1.4. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones al agua

##### Técnicas Primarias

**Tabla 2.3.24. Sistemas de refrigeración en circuito cerrado**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SI
<b>Descripción técnica</b>	Instalación de circuitos cerrados para el agua de refrigeración.
<b>Aspectos ambientales</b>	Minimización del consumo de agua y de los vertidos de aguas residuales.
<b>Inconvenientes</b>	Periódicamente es necesario realizar purgas del circuito cerrado que contienen sales disueltas y productos químicos utilizados en el tratamiento del agua, etc.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

##### Técnicas Secundarias

**Tabla 2.3.25. Tratamiento de las aguas residuales**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	NO
<b>Descripción técnica</b>	Tratamiento de depuración de las aguas residuales mediante: - Filtro rotativo para la eliminación de sólidos. - Balsa de homogeneización y oxigenación.
<b>Aspectos ambientales</b>	Disminución de la carga contaminante vertida.
<b>Inconvenientes</b>	Generación de residuos. Consumo de energía. Costes de operación y mantenimiento.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones de filamento continuo existentes en España.

## 4.2. Aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en filamento continuo

El objetivo de este apartado es la descripción y evaluación de las Mejores Técnicas Disponibles que son aplicables al subsector de filamento continuo. Además de los “niveles asociados a MTD”, y las características de cada una de las técnicas, se incluyen variables tan importantes como la aplicabilidad e impactos ambientales derivados de su uso, así como los costes de inversión y de mantenimiento asociados. Las valoraciones económicas deben tomarse con carácter orientativo, dado que su coste real depende en gran medida de las condiciones de las instalaciones y no tanto de condicionantes ambientales.

### 4.2.1. Partículas

##### Técnicas Primarias

**Tabla 2.3.26. Medidas primarias para la reducción de las emisiones de partículas en la recepción y manipulación de materias primas**

<b>Proceso</b>	Recepción, dosificación y mezcla de las materias primas.
<b>Objeto de la MTD</b>	Reducción de las emisiones de partículas.
<b>Tipo MTD</b>	Primaria.
<b>Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Silos estancos.</li> <li>▪ Transporte por cintas o neumático.</li> <li>▪ Dosificadoras/básculas y mezcladoras.</li> <li>▪ Sistema de lavado de materias primas.</li> </ul>

<b>Aplicabilidad</b>	Se puede aplicar en cualquier instalación, en función de la distancia entre las zonas de almacenamiento y de fabricación.
<b>Resultado obtenido</b>	Reducción de las emisiones de polvo. En el caso de las dosificadoras/básculas y mezcladoras, se evitan casi al 100% las emisiones difusas de partículas.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup></b>	<10 mg/m <sup>3</sup>
<b>Nivel BREF <sup>(b)</sup></b>	-
<b>Inversión (año 2005)</b>	2-3 millones de € (para una instalación de 7-10 silos)
<b>Costes operativos</b>	1-1,5% de la inversión
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	0,5%
<b>Estado del arte</b>	Se encuentran instaladas en la totalidad de las industrias de filamento españolas.
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costes de operación bajos.</li> <li>▪ Grandes ventajas medioambientales.</li> <li>▪ Las dosificadoras/básculas y mezcladoras son instalaciones totalmente automáticas, evitándose así la manipulación directa de sustancias peligrosas por los operarios.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Altos costes de instalación.</li> <li>▪ El transporte por cintas o neumático consume energía.</li> <li>▪ Existe la posibilidad de que se introduzcan finos en el horno. Es necesario aplicar protección contra el viento y evitar pérdidas de material. Cuando se utilice transporte neumático, es importante aplicar un sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte.</li> </ul>
<b>Limitaciones de aplicación</b>	En general no existen limitaciones para su aplicación, sólo algunas particularidades para algunas sustancias específicas.
<b>Impactos ambientales</b>	Consumo de energía eléctrica. En los sistemas de lavado de materias primas, consumo de agua y generación de aguas residuales.

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

### Técnicas Secundarias

*Tabla 2.3.27. Electrofiltro*

<b>Proceso</b>	Horno de fusión
<b>Objeto de la MTD</b>	Reducción de la emisión de partículas
<b>Tipo MTD</b>	Secundaria
<b>Descripción</b>	<p>El equipo genera un campo electrostático que carga negativamente las partículas circulantes en la corriente de aire, por lo que éstas migran hacia las placas colectoras, cargadas positivamente. Las placas se limpian periódicamente por vibración o golpeteo.</p> <p>Generalmente el sistema requiere un pre-tratamiento de los humos con un agente alcalino con el objeto de neutralizar el gas ácido que puede influir negativamente sobre la filtración y sobre la duración del material del electrofiltro.</p>
<b>Aplicabilidad</b>	La principal limitación es su coste. Sólo resulta económicamente aceptable para hornos con capacidad de al menos 200-250 t/día.
<b>Resultado obtenido</b>	La eficiencia de eliminación de partículas es del 70-90% y es función de la concentración inicial y al número de campos que compongan el filtro.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup></b>	30 mg/Nm <sup>3</sup> (0,14 kg/t de vidrio fundido)
<b>Nivel BREF <sup>(b)</sup></b>	5-30 mg/Nm <sup>3</sup> (< 0,14 kg/t de vidrio fundido) (Si hay un precipitador electrostático ya instalado y que alcance niveles de emisiones de 50 mg/Nm <sup>3</sup> en lugar de 30, los costes de sustitución o modificaciones importantes antes de la próxima reconstrucción podrían ser desproporcionados en relación con las ventajas obtenidas)
<b>Inversión (año 2005)</b>	2.000.000 - 3.000.000 €

Costes operativos	≈ 200.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	30 días/año
Estado del arte	Es una tecnología probada a nivel industrial.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>▪ El polvo recogido puede ser reutilizado en el proceso, al menos en parte.</li> <li>▪ Puede formar parte de un sistema integrado de tratamiento con otros equipos de depuración, por ejemplo, de SO<sub>x</sub>.</li> <li>▪ Permite la filtración de humos a elevadas temperaturas (350-400 °C).</li> <li>▪ Se puede diseñar por etapas de modo que se puedan adicionar más campos. Tiene el límite del espacio disponible.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No retiene partículas por debajo de 10 micras.</li> <li>▪ Necesita energía eléctrica para su funcionamiento (aprox. &lt; 1% de la energía total consumida en el horno). El coste de esta energía es elevado.</li> <li>▪ El residuo generado no siempre es reutilizable.</li> <li>▪ Costes importantes de inversión y explotación.</li> <li>▪ Elevadas necesidades de espacio para su instalación, pudiendo llegar a condicionar la capacidad del horno.</li> <li>▪ Es vital mantener las operaciones del sistema de depuración dentro de las condiciones de diseño, de lo contrario, la eficacia puede bajar considerablemente.</li> <li>▪ Puede provocar interferencias en la conducción del horno.</li> <li>▪ Es necesario adoptar precauciones de seguridad en el uso de equipos de alto voltaje.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En hornos eléctricos y hornos convencionales de menos de 200 t/día los elevados costes pueden hacer que se elijan otras técnicas alternativas, como los filtros de mangas.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genera una elevada cantidad de residuos (entre 1.000-2.000 kg/día), no siempre reutilizable en el proceso de fusión. Las características físico-químicas de este residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.</li> <li>▪ Consumo energético elevado para el funcionamiento del electrofiltro y para la extracción de los gases depurados (ventilador).</li> </ul>

- (a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t V° F°: 4,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.3.28. Filtro de mangas**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	(ver apartado 4.1)
Aplicabilidad	El diseño del filtro debe optimizar el balance entre la pérdida de carga (coste operativo) y el tamaño (coste de inversión). Si la velocidad de filtración es demasiado elevada, la pérdida de carga será grande y las partículas penetrarán y obstruirán el tejido. Si la velocidad de filtración es demasiado baja, el filtro sería eficaz pero muy caro.
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de partículas es del 85-99% en función de la concentración inicial del humo a tratar.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	10-20 mg/Nm <sup>3</sup> (0,045-0,090 kg/t V° F°)

<b>Nivel BREF<sup>(b) (c)</sup></b>	<10 mg/Nm <sup>3</sup> (<0,045 kg/t Vº Fº) (Si hay un precipitador o un filtro de mangas ya instalado y que alcance niveles de emisiones de 50 mg/Nm <sup>3</sup> , los costes de sustitución o modificaciones importantes antes de la próxima reconstrucción podrían ser desproporcionados en relación con las ventajas obtenidas)
<b>Inversión (año 2005)</b>	1.000.000-1.500.000 €
<b>Costes operativos</b>	300.000-400.000 €/año
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	30-45 días/año
<b>Estado del arte</b>	Desde la publicación del Documento BREF, estos filtros han evolucionado incorporando sistemas de limpieza mejorados para disminuir las pérdidas de carga.
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>▪ Recogida del producto en estado seco.</li> <li>▪ Bajo coste de inversión en las aplicaciones más simples.</li> <li>▪ Suelen estar equipados con sistemas de limpieza automática y sensores de colmatación.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La limpieza del filtro es difícil por problemas de adherencia. Algunos tipos de polvo son muy difíciles de desalojar, lo que hace que la pérdida de carga sea superior al valor diseñado.</li> <li>▪ Las características del material del filtro (resistencia química, forma de las fibras y tipo de hilo, trama y acabado del tejido, resistencia a la abrasión, eficacia de recolección, permeabilidad del tejido, etc.) hace que el precio de las mangas pueda ser elevado.</li> <li>▪ Elevados requisitos de espacio.</li> <li>▪ A menudo se requiere enfriamiento de los gases por debajo del límite superior de resistencia del material del filtro. Los tejidos de filtro convencionales tienen una temperatura operativa máxima entre 130 y 220°C y, en general, cuanto mayor es la temperatura operativa, mayor es el coste.</li> <li>▪ Problemas con el punto de rocío de cualquier sustancia condensable presente (como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o agua).</li> <li>▪ Periódicamente (cada 2-4 años) se requiere la sustitución de las mangas. Sería recomendable realizar una caracterización inicial de los residuos de mangas generados en cada proceso para saber si se trata de residuos peligrosos (código LER: 10 11 15* Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión, que contienen sustancias peligrosas) o no peligrosos (código LER: 10 11 16 Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión distintos de los especificados en el código 10 11 15).</li> </ul>
<b>Limitaciones de aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La mayoría de los hornos de vidrio con combustibles fósiles requieren un control de presión sensible y la presencia de un filtro de tejido con una gran pérdida de carga puede hacerlo más difícil.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
<b>Impactos ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genera una elevada cantidad de residuos no siempre reutilizable en el proceso de fusión. Por lo general, el polvo que no se reintroduce en el proceso debe gestionarse como residuo peligroso.</li> <li>▪ Consumo energético para vencer la pérdida de carga originada en el filtro de mangas.</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 4,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

#### 4.2.2. NO<sub>x</sub>

[Ver Anexo I: "Las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), principal problemática de la industria del vidrio]

## Técnicas primarias

**Tabla 2.3.29. Medidas primarias para la reducción de NO<sub>x</sub>**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Primaria
Descripción	<p>Se trata de reducir la emisión de NO<sub>x</sub> mediante las siguientes modificaciones de la combustión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducción del ratio aire/combustible.</li> <li>▪ Reducción de la temperatura del aire de combustión.</li> <li>▪ Combustión por etapas.</li> <li>▪ Recirculación de los gases de combustión.</li> <li>▪ Quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub>.</li> <li>▪ Elección del combustible</li> <li>▪ Boosting eléctrico.</li> <li>▪ Diseños adecuados de la geometría del horno.</li> <li>▪ Posicionamiento y número de quemadores.</li> </ul>
Aplicabilidad	La principal limitación es la necesidad de implantar una batería de técnicas para conseguir una eficiencia de eliminación relevante y de contar con una ingeniería altamente especializada en el diseño, implantación y puesta a punto de las mismas.
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación puede llegar hasta un 70% en función del número de técnicas que se apliquen y de la concentración de partida de los humos.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	1.000-1.500 mg/Nm <sup>3</sup> (4,5-6,75 kg/t Vº Fº)
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	800 mg/Nm <sup>3</sup> (NOTA: El documento BREF reconoce la dificultad de alcanzar niveles por debajo de esta cifra, y ésta sólo se conseguiría en la mejor de las condiciones de operación)
Inversión (año 2005)	Puede variar mucho en función del número de técnicas que se instalen.
Costes operativos	≈ 300.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Son medidas ampliamente probadas a nivel industrial.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajos costes relativos.</li> <li>▪ Se consiguen reducciones sustanciales en las emisiones de NO<sub>x</sub> para la mayoría de tipos de hornos.</li> <li>▪ Estas técnicas no tienen ningún aspecto medioambiental negativo importante y pueden producir a menudo un ahorro significativo de energía.</li> <li>▪ Las menores temperaturas del horno y el menor consumo energético tienen asimismo como consecuencia menores emisiones globales.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se requiere una pericia sustancial para obtener los mejores resultados.</li> <li>▪ Puede ser necesario modificar el diseño del horno para obtener los mejores resultados.</li> <li>▪ Debe tenerse cuidado en evitar problemas de calidad del vidrio debidos a cambios redox.</li> <li>▪ Deben controlarse los niveles de CO para evitar daños en el material refractario.</li> <li>▪ La atmósfera más reductora puede fomentar las emisiones SO<sub>2</sub>.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Las limitaciones de cada una de estas medidas por separado se han explicado en la fila de inconvenientes de la tabla del apartado 4.1.
Impactos ambientales	Se incrementa la energía primaria necesaria en el proceso.

<sup>(a)</sup> Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(b)</sup> Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(c)</sup> Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 4,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.3.30. Oxicombusión**

Proceso	Horno de fusión.
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> .
Tipo MTD	Primaria.
Descripción	(Ver apartado 4.1).
Aplicabilidad	En cualquier instalación. Suele utilizarse parcialmente.
Resultado obtenido	La eficacia de eliminación es del 20-45%.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	Depende de la situación de la planta y del porcentaje de sustitución
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-1,5kg/t)
Inversión (2005)	Para sustituciones parciales: 100.000-200.000 € Para 100 % sustitución. 3.500.000 €
Costes operativos (€/año)	Bajos (según porcentaje de sustitución).
Tiempos de parada para mantenimiento	El buen mantenimiento del horno es imprescindible y muy relevante, porque cada fuga influirá significativamente en el NO <sub>x</sub> producido.
Estado del arte	De acuerdo con el Documento BREF, el 48,5% de las instalaciones europeas producen filamento continuo utilizando oxicombustión.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ NO<sub>x</sub> bajo.</li> <li>▪ Puede ayudar a reducir las emisiones globales de compuestos volátiles del horno (partículas, fluoruros, cloruros, etc.).</li> <li>▪ Los costes de inversión de los hornos son considerablemente menores.</li> <li>▪ En algunas aplicaciones, la técnica tiene un coste neutro o produce ahorros.</li> <li>▪ Son posibles sustanciales ahorros de energía.</li> <li>▪ Potencial de mejora de la producción por metro cuadrado y mejor control del proceso.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Si no se consiguen ahorros de energía, la técnica puede ser muy cara.</li> <li>▪ La eficacia de los costes varía mucho entre aplicaciones.</li> <li>▪ Puede haber problemas con el desgaste del material refractario.</li> <li>▪ La producción de oxígeno consume energía.</li> <li>▪ No se reduce el NO<sub>x</sub> procedente de fuentes no térmicas.</li> <li>▪ El almacenamiento, producción y uso de oxígeno tiene riesgos inherentes, por lo que hay que tomar las medidas de seguridad pertinentes.</li> <li>▪ La producción de oxígeno genera ruido.</li> <li>▪ Para un horno de O<sub>2</sub> de 250 t/día, el extracosto debido a su mayor desgaste será de 200-700 K€/año (menor duración y mayor mantenimiento)</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recomendable sólo en hornos de baja capacidad y no sodo-cálcicos.           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Posibles problemas de estabilidad de color del vidrio.</li> </ul> </li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	Aumento del consumo energético y como consecuencia la contaminación global.

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

## Técnicas secundarias

**Tabla 2.3.31. 3R (Reacción y Reducción en los regeneradores)**

Proceso	Hornos de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	Adición controlada de combustible (fuel, gas natural, etc.) a la corriente de gas de combustión en la entrada del regenerador. El combustible no se quema, sino que se disocia y reduce el NO <sub>x</sub> formado en el horno. Es de aplicación en hornos regenerativos, donde el regenerador proporciona las condiciones necesarias de temperatura, mezcla turbulenta y tiempo de residencia para una adecuada reacción. El grado de reducción de NO <sub>x</sub> depende principalmente de la cantidad de combustible añadida.
Aplicabilidad	Sólo se considera aplicable en hornos regenerativos
Resultado obtenido	Reducción global de NO <sub>x</sub> del orden del 70-85%.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	700 -900 mg/Nm <sup>3</sup> (3,15-4,05 kg/t Vº Fº).
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	De lo expuesto en el BREF, no puede deducirse que ésta técnica sea una MTD para este subsector
Inversión (año 2000)	300.000 € (el coste es menor respecto a otros sistemas secundarios de eliminación de NO <sub>x</sub> )
Costes operativos	1,5-2,0 €/t de vidrio fundido. El coste operativo viene determinado por el consumo de combustible en función del nivel inicial de NO <sub>x</sub> , que puede representar del 1,8 al 10% del consumo energético para la fusión. En el caso de que la instalación fuese dotada de un sistema de recuperación de calor, el aumento del consumo relativo al proceso de desnitrificación puede encontrarse en valores del 2-3% del consumo total de energía.
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Poca experiencia en plantas del subsector de filamento continuo.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Puede conseguir reducciones sustanciales de NO<sub>x</sub>.</li> <li>■ Aplicable a la mayoría de tipos de hornos regenerativos.</li> <li>■ No representa cambios importantes en el diseño o funcionamiento de la planta.</li> <li>■ Bajos costes de inversión.</li> <li>■ Puede aplicarse sin necesidad de parar el horno.</li> <li>■ No se requieren reactivos químicos.</li> <li>■ El mayor consumo de combustible se puede compensar en algunos casos por la recuperación de calor perdido.</li> </ul>
Desventajas	La atmósfera reductora creada en los regeneradores daña los materiales refractarios. De hecho, se ha comprobado la necesidad de reparar los regeneradores dos años después de la instalación de esta tecnología, cuando habitualmente su vida media es de 10-12 años. La sustitución de materiales refractarios por materiales de mayor resistencia térmica y química representan costes demasiado elevados que no compensan la reducción conseguida en NO <sub>x</sub> .
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La calidad del refractorio para el regenerador debe soportar la presencia de concentraciones elevadas de CP y el aumento de la temperatura del humo de combustión.</li> <li>■ No aplicable a hornos no regenerativos.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mayor consumo de combustible (aproximadamente un 7%).</li> <li>■ Mayores emisiones de CO<sub>2</sub> (20-30 kg/t de vidrio fundido).</li> </ul>

<sup>(a)</sup> Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(b)</sup> Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(c)</sup> Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 4,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

Tabla 2.3.32. SNCR (reducción selectiva sin catalizador)

Proceso	Hornos de fusión		
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>		
Tipo MTD	Secundaria		
Descripción	Inyección de compuestos amoniacales. A temperaturas de 800-1.000°C los óxidos de nitrógeno son reducidos a N <sub>2</sub> . La eficiencia de la reacción depende de diversos factores, como la temperatura, concentración inicial de NO <sub>x</sub> , homogeneidad de la mezcla del reactivo con el gas, ratio amoniaco/NO <sub>x</sub> y tiempo de reacción (se requiere al menos 2 segundos).		
Aplicabilidad	Debido a la temperatura a la que es necesario operar, el sistema se aplica más fácilmente a hornos dotados de recuperadores de calor.		
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> es del 30-70%. El aumento de la eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> aumenta también el riesgo de emisión de amoniaco.		
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	700-900 mg/Nm <sup>3</sup> (3,15-4,05kg/t Vº Fº)		
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	Reducciones del 40-70% en las emisiones de NO <sub>x</sub>		
Inversión (€) (año 2000)	50 t/d ≈ 190.000	100 t/d ≈ 280.000	300 t/d ≈ 450.000
Costes operativos (€/año)	≈ 23.000	≈ 28.000	≈ 73.000
Tiempos de parada para mantenimiento	-		
Estado del arte	No existe experiencia en el sector de filamento continuo.		
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La SNCR puede conseguir buenas eficacias de reducción de NO<sub>x</sub> si se dan las condiciones de operación adecuadas.</li> <li>■ Bajo coste de inversión en comparación con otras alternativas (3R).</li> <li>■ No requiere catalizador.</li> <li>■ Bajo consumo energético.</li> <li>■ No requiere de un pretratamiento de filtración de las partículas, dado que no hay un catalizador que puede provocar la deposición de las partículas o su aglomeración.</li> </ul>		
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La inyección de amoniaco dentro del rango de temperatura correcto es esencial, aunque en ocasiones es muy difícil de lograr (particularmente para hornos regenerativos).</li> <li>■ Una mezcla uniforme del reactivo con el gas a depurar es muy importante y puede ser difícil de lograr.</li> <li>■ Se forma bisulfato amónico que puede causar problemas de incrustación y corrosión.</li> <li>■ Posibles daños en el material refractario de los regeneradores.</li> </ul>		
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Técnica más fácil de aplicar en hornos recuperativos que regenerativos.</li> <li>■ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>		
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se consume y emite amoniaco, cuyo almacenamiento y manipulación plantea problemas medioambientales y de seguridad. De hecho, el almacenamiento de amoniaco en ciertas cantidades puede provocar la aplicación de la normativa SEVESO.</li> <li>■ Fueras del rango de temperatura operativo, pueden producirse emisiones de NH<sub>3</sub> o un aumento de las emisiones de NO<sub>x</sub>. Una temperatura demasiado baja produce desprendimiento de amoniaco y una menor eficacia y si es demasiado alta puede producirse un aumento en las emisiones de NO<sub>x</sub>.</li> </ul>		

<sup>(a)</sup> Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(b)</sup> Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(c)</sup> Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 4,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.3.33. SCR (reducción selectiva con catalizador)**

Proceso	Hornos de fusión.		
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> .		
Tipo MTD	Secundaria.		
Descripción	Se hace reaccionar al NO <sub>x</sub> con amoniaco en un lecho catalítico a la temperatura adecuada. Los catalizadores más habituales son TiO <sub>2</sub> y V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> depositados sobre un sustrato metálico o cerámico. La reacción se da a temperaturas entre 200 y 500°C, siendo la temperatura óptima de reacción diferente para cada catalizador. Estas temperaturas son inferiores a las requeridas en la SNCR debido a la acción del catalizador.		
Aplicabilidad	Es necesario instalar un equipo de control de partículas antes de la unidad de SCR. Generalmente se instala un precipitador electrostático, ya que el uso de filtros de mangas requeriría un recalentamiento posterior de los gases. De acuerdo con el Documento BREF, esta técnica nunca ha sido probada para filamento continuo.		
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> es del 70-90%		
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	700-800 mg/Nm <sup>3</sup> (3,15-3,6 kg/t Vº Fº)		
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	De lo expuesto en el BREF, no puede deducirse que ésta técnica sea una MTD para este subsector (ya que pueden darse problemas con la condensación de boratos en el catalizador).		
Inversión (€) (año 2000)	50 t/día ≈ 990.000	100 t/día ≈ 1.500.000	300 t/día ≈ 2.420.000
Costes operativos (€/año)	≈ 74.000	≈ 108.000	≈ 200.000
Tiempos de parada para mantenimiento	-		
Estado del arte	Existen ejemplos dentro de la industria del vidrio y en otros sectores industriales. No hay experiencia en filamento continuo.		
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alta eficacia de reducción de NO<sub>x</sub>.</li> <li>■ Reduce el NO<sub>x</sub> de todas las fuentes del horno, no sólo el NO<sub>x</sub> térmico.</li> <li>■ Puede formar parte de un sistema integrado de control de la contaminación atmosférica.</li> <li>■ Los proveedores suelen ofrecer garantías de eficacia.</li> </ul>		
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Consumo de energía considerable.</li> <li>■ Debe instalarse con eliminación de polvo y lavado de gases ácidos, ya que se requieren bajos niveles de partículas y de SO<sub>2</sub>.</li> <li>■ Coste de inversión alto y elevados requisitos de espacio.</li> <li>■ Sigue habiendo dudas razonables sobre las vidas útiles de los catalizadores.</li> <li>■ La temperatura operativa limita las posibilidades de recuperación de calor.</li> <li>■ Puede requerirse enfriamiento para hornos recuperativos.</li> </ul>		
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ En el caso del filamento continuo, el problema potencial es la presencia de sustancias volátiles que contienen boro en los gases residuales. Estas sustancias pueden condensar formando sales y sustancias ácidas a 60 °C, y a las temperaturas de la SCR suelen estar presentes en cantidades significativas, pudiendo afectar gravemente la eficacia del catalizador. Además, resultan difíciles de eliminar por soplado del hollín.</li> </ul>		
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se consume y emite amoniaco, cuyo almacenamiento y manipulación plantea problemas medioambientales y de seguridad. De hecho, el almacenamiento de amoniaco en ciertas cantidades puede provocar la aplicación de la normativa SEVESO.</li> <li>■ Fuera del rango de temperatura operativo, pueden producirse emisiones de NH<sub>3</sub> o un aumento de las emisiones de NO<sub>x</sub>. Una temperatura demasiado baja produce desprendimiento de amoniaco y una menor eficacia y si es demasiado alta puede producirse un aumento en las emisiones de NO<sub>x</sub>.</li> </ul>		

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 4,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

En relación a las MTD para la reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub>, es destacable que:

- En cuanto a las técnicas primarias, es necesario utilizar una combinación de las existentes para alcanzar los niveles asociados indicados en las tablas correspondientes.
- En la implantación de las MTD primarias se debe tener en cuenta que su eficacia no es estable en el tiempo, pudiendo variar las emisiones de NO<sub>x</sub>.

#### 4.2.3. *Otras emisiones*

##### Técnicas primarias

**Tabla 2.3.34. Modificación/selección de materias primas**

Proceso	Fusión
Objeto de la MTD	Reducción de las emisiones de partículas, SO <sub>x</sub> , óxidos de carbono, HF y HCl.
Tipo MTD	Primaria
Descripción	(Ver apartado 4.1)
Aplicabilidad	Se consideran generalmente aplicables a todos los subsectores de la industria. Su aplicabilidad está en función de la existencia de materias alternativas, su precio y su disponibilidad, así como de las características del producto final.
Resultado obtenido	Reducción de las emisiones de partículas (10-30%), SO <sub>x</sub> , HF, HCl, CO <sub>2</sub> y compuestos de boro.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	Reducción de CO <sub>2</sub> del orden de 10-20% por tonelada de vidrio fundido
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	-
Inversión (año 2005)	200.000 - 300.000 €
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Existen experiencias en distintas plantas y para distintas sustancias y materias primas.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo coste.</li> <li>▪ No se producen residuos ni se consume energía eléctrica.</li> <li>▪ Reducción de las emisiones de partículas, SO<sub>x</sub>, óxidos de carbono, HF, HCl, CO<sub>2</sub> y compuestos de boro.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En el caso de las partículas, no se alcanzan los niveles de emisión que permiten las medidas secundarias (filtros).</li> <li>▪ No siempre es posible la sustitución de unas materias primas por otras que cumplan la misma función, sobre todo por la disponibilidad de cantidades adecuadas de materiales de calidad suficiente, la consistencia del suministro y los costes.</li> <li>▪ En el caso de los óxidos de azufre, se pueden conseguir similares ventajas incrementando el reciclaje de los residuos generados en la propia planta.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Estas medidas pueden imponer restricciones operativas adicionales sobre el proceso.
Impactos ambientales	Las alternativas a determinadas materias pueden provocar otros impactos medioambientales.

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

**Tabla 2.3.35. Conversión a combustión a gas (o fuel oil muy bajo en azufre)**

Proceso	Fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas, SO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> .
Tipo MTD	Primaria
Descripción	(Ver apartado 4.1)
Aplicabilidad	Se consideran generalmente aplicables a todas las instalaciones.
Resultado obtenido	Reducción de la emisión de partículas (10-30%), SO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> .
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	-
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	-
Inversión (año 2005)	500.000-1.000.000 €
Costes operativos (€/año)	En función del consumo y el coste de gas. Los costes de mantenimiento se reducen con respecto al fuel.
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Todos los hornos de la industria española han realizado la conversión.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducción de las emisiones.</li> <li>▪ Bajo coste (en función de la disponibilidad y el precio del combustible).</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El uso de gas natural aumenta de manera importante la emisión de NO<sub>x</sub>.</li> <li>▪ La transferencia de calor a la masa vitrificable es más pobre debido a la menor luminosidad de la llama. Por tanto, la necesidad de consumo energético es mayor para alcanzar la temperatura de fusión del vidrio.</li> <li>▪ Tiene un límite en el precio comparado de la termia. El coste del cambio depende fundamentalmente de la disponibilidad del gas natural o de combustibles bajos en azufre y de los precios frente a otros combustibles.</li> <li>▪ Puede reducir la capacidad extractiva del horno.</li> <li>▪ No se pueden alcanzar los niveles de emisiones de partículas asociados con técnicas secundarias.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En función de la disponibilidad del combustible y de su precio.</li> <li>▪ Impone restricciones operativas adicionales sobre el proceso.</li> </ul>
Impactos ambientales	Se incrementan las emisiones de NO <sub>x</sub> .

<sup>(a)</sup> Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(b)</sup> Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

## Técnicas secundarias

**Tabla 2.3.36. Combinación de eliminación secundaria de polvo (filtro de mangas) + lavador por vía seca o semihúmeda**

Proceso	Hornos de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas, SO <sub>x</sub> , HCl, HF y metales.
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	<p>Se introduce un material absorbente que se dispersa en el gas a tratar. Este material reacciona con el SO<sub>x</sub> para formar un sólido que ha de ser recogido por un filtro de mangas.</p> <p>En el proceso seco el absorbente es un polvo seco, generalmente Ca(OH)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> o Na<sub>2</sub>HCO<sub>3</sub>, que pueden ser dispersados mediante aire a presión. En el proceso semiseco el absorbente (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaO o Ca (OH)<sub>2</sub>) se añade en forma de solución o dispersión y la evaporación del agua enfriá la corriente de gas.</p> <p>En el sector del vidrio el proceso más usado es el seco (con Ca (OH)<sub>2</sub>) a una temperatura de unos 400°C.</p> <p>El lavador se combina con un sistema de eliminación secundaria de polvo.</p>

Aplicabilidad	En principio, es una técnica aplicable a todos los procesos, ya sean instalaciones nuevas o existentes. El proceso seco es utilizado más ampliamente en la industria del vidrio.
Resultado obtenido	-
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	SO <sub>x</sub> , en combustión de gas natural: < 200 mg/Nm <sup>3</sup> (< 0,9 kg/t de vidrio fundido). Si se utilizan sulfatos como agentes de afino: < 800 mg/Nm <sup>3</sup> (< 3,6 kg/t de vidrio fundido). SO <sub>x</sub> , en combustión a fuel-oil: 500-1.000 mg/Nm <sup>3</sup> (2,25-4,5 kg/t de vidrio fundido). Cloruros (expresados como HCl): < 30 mg/Nm <sup>3</sup> . Fluoruros (expresados como HF): 5-15 mg/Nm <sup>3</sup> . Metales (grupo I + 2): < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales (grupo I): < 1 mg/Nm <sup>3</sup> (<0,005 kg/t de vidrio fundido).
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	SO <sub>x</sub> , en combustión de gas natural: < 200 mg/Nm <sup>3</sup> (< 0,9 kg/t de vidrio fundido). Si se utilizan sulfatos como agentes de afino: < 800 mg/Nm <sup>3</sup> (< 3,6 kg/t de vidrio fundido). SO <sub>x</sub> , en combustión a fuel-oil: 500-1.000 mg/Nm <sup>3</sup> (2,25-4,5 kg/t de vidrio fundido). Cloruros (expresados como HCl): < 30 mg/Nm <sup>3</sup> Fluoruros (expresados como HF): 5-15 mg/Nm <sup>3</sup> Metales (grupo I + 2): < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales (grupo I): < 1 mg/Nm <sup>3</sup>
Inversión (año 2005)	1.000.000-1.500.000 €
Costes operativos	300.000-400.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	30-45 días/año
Estado del arte	Es una tecnología ampliamente probada a nivel industrial, aunque la experiencia es limitada con el lavado semiseco para procesos de pequeño tamaño.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pueden conseguirse reducciones sustanciales en las emisiones de SO<sub>x</sub>.</li> <li>■ Los absorbentes utilizados son también efectivos para atrapar otros gases ácidos, especialmente haluros (HCl y HF) y algunos compuestos de selenio.</li> <li>■ En la mayoría de casos, el polvo recogido puede ser reciclado, reduciendo el consumo de materias primas.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Importantes costes de inversión y operación.</li> <li>■ La eficiencia del absorbente es muy baja (se necesita gran cantidad de absorbente para una baja eliminación de SO<sub>x</sub>).</li> <li>■ La eliminación de polvo es esencial.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Sólo debe considerarse como MTD si las condiciones locales requieren bajos límites de emisión de óxidos de azufre, por lo que la reducción de las emisiones de SO <sub>x</sub> constituye la prioridad absoluta frente a otros impactos medioambientales.
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Consumo energía.</li> <li>■ Generación de gran cantidad de residuos que en ciertos procesos pueden ser peligrosos y que no pueden reutilizarse eficazmente, por lo que deben ser eliminados mediante su depósito en vertedero.</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 4,5 x 10<sup>3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.3.37. Combinación de sistemas de filtro (electrofiltro o filtro de mangas) + lavador por vía seca o semihúmeda**

Proceso	Procesos de acabado
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas, $\text{SO}_x$ , HCl, HF y metales
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	Combinación de dos técnicas: ▪ Precipitador electrostático o filtro de mangas, para la eliminación del polvo. ▪ Lavador por vía seca o semihúmeda.
Aplicabilidad	En principio, es una técnica aplicable a todos los procesos, ya sean instalaciones nuevas o existentes. El proceso seco es utilizado más ampliamente en la industria del vidrio.
Resultado obtenido	-
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	Partículas: 20-50 mg/Nm <sup>3</sup>
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	Partículas: 5-20 mg/Nm <sup>3</sup> COVs: 5-50 mg/Nm <sup>3</sup>
Inversión (año 1999)	>1.200.000 € ( $\pm 30\%$ )
Costes operativos (año 1999)	$\approx 300.000$ €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	30 días/año
Estado del arte	Es una tecnología ampliamente probada a nivel industrial, aunque la experiencia es limitada con el lavado semiseco para procesos de pequeño tamaño.
Ventajas	▪ Pueden conseguirse reducciones sustanciales en las emisiones de $\text{SO}_x$ . ▪ Los absorbentes utilizados son también efectivos para atrapar otros gases ácidos, especialmente haluros (HCl y HF) y algunos compuestos de selenio. ▪ En la mayoría de casos, el polvo recogido puede ser reciclado, reduciendo el consumo de materias primas.
Desventajas	▪ Importantes costes de inversión y operación. ▪ La eficiencia del absorbente es muy baja (se necesita gran cantidad de absorbente para una baja eliminación de $\text{SO}_x$ ). ▪ La eliminación de polvo es esencial.
Limitaciones de aplicación	Sólo debe de considerarse como MTD si las condiciones locales requieren bajos límites de emisión de óxidos de azufre, por lo que la reducción de las emisiones de $\text{SO}_x$ constituye la prioridad absoluta, frente a otros impactos medioambientales.
Impactos ambientales	▪ Consumo energía. ▪ Generación de gran cantidad de residuos que en ciertos procesos pueden ser peligrosos y que no pueden reutilizarse eficazmente, por lo que deben ser gestionados a través de un gestor autorizado.

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $\text{O}_2$ .

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $\text{O}_2$ .

**Tabla 2.3.38. Selección de materias primas + sistema de filtración + lavador por vía seca o semihúmeda**

Proceso	Procesos de acabado
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas, $SO_x$ , HCl, HF y metales
Tipo MTD	Primaria + Secundarias
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combinación de tres técnicas:</li> <li>▪ Selección de materias primas.</li> <li>▪ Sistema de eliminación secundaria de polvo.</li> <li>▪ Lavador por vía seca o semihúmeda.</li> </ul>
Aplicabilidad	En principio, es una técnica aplicable a todos los procesos, ya sean instalaciones nuevas o existentes. El proceso seco es utilizado más ampliamente en la industria del vidrio.
Resultado obtenido	Depende del tipo de instalación.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	HCl: < 1-50 mg/Nm <sup>3</sup> HF: < 1-5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales: < 1-5 mg/Nm <sup>3</sup>
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	Partículas: 5-20 mg/Nm <sup>3</sup> COVs: 5-50 mg/Nm <sup>3</sup>
Inversión (año 1999)	> 600.000 € ( $\pm$ 30%)
Costes operativos (año 1999)	$\approx$ 180.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	30 días/año
Estado del arte	La experiencia es limitada con el lavado semiseco para procesos de pequeño tamaño.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pueden conseguirse reducciones sustanciales en las emisiones de <math>SO_x</math>.</li> <li>▪ Los absorbentes utilizados son también efectivos para atrapar otros gases ácidos, especialmente haluros (HCl y HF) y algunos compuestos de selenio.</li> <li>▪ En la mayoría de casos, el polvo recogido puede ser reciclado, reduciendo el consumo de materias primas.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Importantes costes de inversión y operación.</li> <li>▪ La eficiencia del absorbente es muy baja (se necesita gran cantidad de absorbente para una baja eliminación de <math>SO_x</math>).</li> <li>▪ La eliminación de polvo es esencial.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Sólo debe considerarse como MTD si las condiciones locales requieren bajos límites de emisión de óxidos de azufre, por lo que la reducción de las emisiones de $SO_x$ constituye la prioridad absoluta frente a otros impactos medioambientales.
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Consumo energía.</li> <li>▪ Generación de gran cantidad de residuos que en ciertos procesos pueden ser peligrosos y que no pueden reutilizarse eficazmente, por lo que deben ser correctamente gestionados a través de un gestor autorizado.</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $O_2$ .

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $O_2$ .

**Tabla 2.3.39. Electrofiltros húmedo (EPW)**

Proceso	Procesos de acabado
Objeto de la MTD	Emisiones de partículas y COVs
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	En los precipitadores electrostáticos húmedos, el material recogido se elimina de las placas colectoras mediante un líquido adecuado, normalmente agua, de forma intermitente o mediante irrigación por rociado en continuo. Los tres tipos principales (placa e hilo, placa y placa, y tubo e hilo) pueden utilizarse en húmedo.
Aplicabilidad	En principio, la técnica es aplicable a procesos tanto nuevos como existentes.
Resultado obtenido	Hasta un 95% de reducción de las emisiones.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	Partículas: 20-50 mg/Nm <sup>3</sup> COVs: 10-50 mg/Nm <sup>3</sup>
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	Partículas: 20-50 mg/Nm <sup>3</sup> COVs: 5-50 mg/Nm <sup>3</sup>
Inversión (año 1999)	300.000-600.000 € (± 30%) (el sistema de limpieza de gases suponen el 60% de la inversión)
Costes operativos (año 1999)	50.000 - 100.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	30 días/año
Estado del arte	Poca experiencia en el subsector de filamento continuo.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Buenas eficacias de eliminación para partículas y para gotas/aerosoles.</li> <li>▪ Posibilidad de absorción de sustancias gaseosas con una elevada saturación y uso de agua limpia.</li> <li>▪ Baja caída de presión, con lo que los costes operativos y el consumo energético son relativamente bajos.</li> <li>▪ Los bloqueos son raros si se utilizan chorros de impacto para eliminar la materia fibrosa grande.</li> <li>▪ Larga vida útil con un bajo mantenimiento.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se genera un efluente acuoso, que generalmente es recicitable.</li> <li>▪ Se consume energía, aunque relativamente poca en comparación con otros requisitos de proceso.</li> <li>▪ Costes de inversión relativamente elevados.</li> <li>▪ Requisitos de espacio considerables.</li> <li>▪ El mantenimiento es bajo aunque crítico; un mal mantenimiento causa una caída considerable de la eficacia.</li> <li>▪ El elevado voltaje impone requisitos de seguridad.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	-
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se genera un efluente acuoso, que generalmente es recicitable.</li> <li>▪ Generación de residuos.</li> </ul>

<sup>(a)</sup> Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

<sup>(b)</sup> Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

#### 4.2.4. *Emisiones al agua*

En general las emisiones al agua, como ya se ha mencionado anteriormente, son relativamente pequeñas. Estas emisiones pueden ser recicladas o tratadas mediante técnicas estándar.

Además de los sistemas en circuito cerrado que reducen el consumo y las emisiones de agua, como medidas generales para el control de las emisiones pueden aplicarse las siguientes técnicas:

- Cubetos adecuados.
- Vigilancia y control de tanques y cubetos.
- Sistemas automáticos de control y detección de fugas y derrames.
- Venteos y puntos de llenado en el interior de los cubetos.

En su caso, el envío a sistemas de depuración de las aguas residuales, también puede considerarse como MTD. Estos sistemas de tratamientos de agua residuales pueden ser:

- Tratamiento fisico-químico: cribado, separación superficial, sedimentación, centrifugación, filtración, neutralización, aireación, precipitación y coagulación y flocculación.
- Tratamiento biológico: fangos activos y biofiltración.

### 4.3. **Valoración de la aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en filamento continuo**

Del conjunto de las MTD incluidas en el Documento BREF como aplicables al subsector de fabricación de filamento continuo, así como de las consideradas MTD en el apartado 4.2, la experiencia de su implantación en industrias tanto europeas como españolas desde la publicación del BREF ha proporcionado información suficiente acerca de su viabilidad técnica y económica, así como de los beneficios e impactos ambientales que pueden generar. Esta información queda reflejada en la siguiente tabla a través de la valoración cualitativa de cada una de las técnicas desde el punto de vista técnico, ambiental y económico.

Se ha valorado cada MTD de 0 a 4 para los apartados técnico, ambiental y económico, considerando "0" como la valoración mínima (peor valorado) y "4" como la valoración máxima (mejor valorado). Si la técnica es no aplicable o no relevante en el subsector, se ha indicado con "n.a.".

Desde el punto de vista técnico, se ha tenido en cuenta si la MTD:

- Es viable desde el punto de vista técnico y es aplicable.
- Está contrastada.
- Existe experiencia suficiente a escala industrial.

En la valoración ambiental se han considerado:

- Los objetivos ambientales del subsector.
- Los beneficios ambientales que aporta la técnica.
- El balance ambiental total.

Por último, para valorar el aspecto económico, se ha tenido en cuenta la información existente sobre:

- Rentabilidad económica de la inversión en un plazo razonable.
- Costes de operación y mantenimiento posterior.

Cuando en la tabla no se encuentra valorada una técnica, se considera que no es aplicable al subsector, por no existir experiencia suficiente para el mismo o por no disponer de datos suficientes para su consideración.

Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas de tipo secundario.

**Tabla 2.3.40. Valoración técnica, ambiental y económica de las MTDs**

MTD	Valora-ción técnica	Valora-ción ambiental	Valora-ción económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>
<b>ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIAS PRIMAS <sup>(b)</sup></b>				
Silos cerrados ventilados a través de equipos de eliminación de polvo (por ejemplo, filtros de tejido).	4	3,5	2	<10
Almacenamiento de materias primas finas en contenedores cerrados o sacos herméticos.	4	3,5	3	-
Almacenamiento de materias primas polvorrientas gruesas a cubierto.	n.a.	n.a.	n.a.	-
Uso de vehículos de limpieza de calzada y otras técnicas de humedecimiento con agua de las mismas.	n.a.	n.a.	n.a.	-
Transportadores cerrados.	3,5	3,5	3	<10
Transporte neumático con sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.	3,5	3,5	4	<10
Adición de un porcentaje de agua en la mezcla (del 0-4%).	n.a.	n.a.	n.a.	-
Control de la emisión de polvo en la zona de alimentación del horno: aplicación de aspiración que ventila a un sistema de filtro, utilización de alimentadores helicoidales cerrados, cierre de las cámaras de alimentación.	3,5	3,5	2	-
Diseño de las naves con el mínimo de aberturas y puertas y aplicación de cortinas antipolvo o sistemas de aspiración en zonas potencialmente muy polvorrientas.	2	2	2	-
En almacenamientos de materias volátiles, mantenimiento de las temperaturas lo más bajas posibles.	3	3	1	-
Reducción de las pérdidas en tanques de almacenamiento a presión atmosférica mediante: pintura para tanques con baja absorción solar, control de temperatura, aislamiento de los tanques, gestión de inventarios, tanque de techo flotante, sistemas de trasvase con retorno de vapor, tanques con techo de diafragma, válvulas de presión/vacío, tratamientos específicos de las emisiones (adsorción, absorción, condensación), llenado subterráneo.	n.a.	n.a.	n.a.	-
Dosificadoras/básculas y mezcladoras.	3	3	3	< 10
Sistema de lavado de materias primas.	n.a.	n.a.	n.a.	<10
<b>FUSIÓN</b>				
<b>Energía</b>				
Elección de la técnica de fusión y diseño de los hornos	4	4	2	-
Control de la combustión y elección del combustible	4	4	2	-
Uso de casco de vidrio interno y/o externo	2	3	0	-
Precalentamiento de las composiciones y del casco de vidrio	0	2	0	-

MTD	Valora-ción técnica	Valora-ción ambiental	Valora-ción econó-mica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>
<b>Partículas/polvo</b>				
Modificación/selección de materias primas	2	2	2	-
Diseño de quemadores	2	2	2	-
Conversión a gas o a fuel-oil muy bajo en azufre	3	3	2	-
Reducción de la temperatura en la superficie del material fundido	2	2	1	-
Filtro de mangas, en conjunción con un sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco (si es necesario)	3	3	2	10-20
Precipitador electrostático, en conjunción con un sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco si es necesario	2 <sup>(c)</sup>	3	1	30
<b>Óxidos de azufre</b>				
Conversión a gas o a fuel-oil muy bajo en azufre	3	3	2	-
Modificación/selección de materias primas	2	2	2	-
Lavado de gases ácidos (fundamentalmente el lavado seco) + eliminación secundaria de polvo	3	2	1	- SO <sub>x</sub> , en combustión de gas natural: < 200. Si se utilizan sulfatos como agentes de afino: < 800. - SO <sub>x</sub> , en combustión a fuel-oil: 500-1.000.
<b>Óxidos de nitrógeno</b>				
Oxicombustión	2	2	1	-
Medidas primarias para la reducción del NO <sub>x</sub> :				
▪ Reducción de la ratio aire/combustible				
▪ Reducción de la temperatura del aire de combustión				
▪ Recirculación de los gases de combustión	2	3	2	1.000-1.500
▪ Quemadores de bajo NO <sub>x</sub>				
▪ Elección del combustible				
3R	1	2	1	700-900
<b>Óxidos de nitrógeno</b>				
SCR	1	1	1	700-800
SNCR	1	1	1	700-900
<b>Otras emisiones de la fusión</b>				
Reducción en origen (emisiones de fluoruros y cloruros)	1	3	1	-
Formulaciones de mezcla sin adición de fluoruros	1	3	1	-
Sustitución de los carbonatos como materias primas	3	2	2	-
Lavado de gases ácidos en combinación con la eliminación de polvo	3	3	2	- HCl: < 30. - HF: 5-15. - Metales (grupo I + II): < 5. - Metales (grupo I): < 1.

MTD	Valora-ción técnica	Valora-ción ambiental	Valora-ción econó-mica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>
<b>PROCESOS DE ACABADO</b>				
Electrofiltro o Filtro de mangas + Lavador por vía seca o semihúmeda	n.a.	n.a.	n.a.	Partículas: 20-50
Selección de materias primas+Sistema de filtración+Lavador vía seca/semihúmeda	n.a.	n.a.	n.a.	HCl: <1-50 HF: <1-5 Metales: <1-5
Electrofiltros húmedo (EPW)	n.a.	n.a.	n.a.	Partículas: 20-50 COV: 10-50

- (a) Los datos se refieren a condiciones en seco, 0 °C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (b) La valoración de las MTD recogidas en este apartado dependen del tipo, la cantidad y la variedad de materias primas utilizadas en el subsector.
- (c) En hornos de menos de 200 t/día los costes de los precipitadores son más elevados que en el caso de los filtros de mangas y su eficiencia es algo menor.



## SECCIÓN 4. *Lanas minerales*

### 1. INTRODUCCIÓN

Las lanas minerales son productos aislantes obtenidos a partir de arenas y rocas basálticas por procesos físicos de fusión y centrifugado y constituidos por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos que forman un fieltro que mantiene en su interior aire en estado inmóvil.

Las materias primas son fundidas en hornos a alta temperatura (más de 1.300 °C según proceso). El material resultante de la fusión es centrifugado en discos giratorios a alta velocidad hasta la obtención de los filamentos que, debidamente aglutinados, conformarán la lana mineral.

La arena silícica y el vidrio de recuperación son las materias primas base para la producción de la lana de vidrio, mientras que la lana de roca se obtiene mediante la transformación de las rocas basálticas y de escorias de altos hornos.

Los tres fabricantes españoles de lanas minerales se agrupan en AFELMA (Asociación de Empresas Fabricantes de Lanas Minerales Aislantes) y son el grupo Saint-Gobain Cristalería, S.A. (ISOVER, planta en Azuqueca de Henares), que fabrica lanas de vidrio y de roca, Ursia Ibérica Aislantes, S.A. (Tarragona), que fabrica productos de lana de vidrio y Rockwool Peninsular, S.A. (Navarra), fabricantes de productos de lana de roca. Todas las plantas disponen de sistemas gestión de la calidad y el medio ambiente.

**Tabla 2.4.1. Características de las empresas españolas fabricantes de lanas minerales**

Nº de empresas	3
Nº de centros de producción	3
Facturación (€/año)	150.000.000 (≈ 3.000.000 m <sup>3</sup> /año)
Producción (t Vº Fº/año) <sup>19</sup>	175.000

Fuente: AFELMA y Vidrio España, 2004.

El uso de las lanas minerales está orientado a multitud de sectores dentro de la industria y de la construcción gracias a sus excelentes propiedades como aislante térmico, acústico y de protección contra incendios, por lo que son los materiales aislantes más utilizados en Europa.

El entrelazado de filamentos de los productos de lana mineral presenta la particularidad de inhibir el flujo de calor a través de los mismos, constituyendo un excelente aislante térmico tanto para calefacción como para refrigeración.

Las lanas minerales unen a sus propiedades como aislante térmico, las altas prestaciones como aislante acústico: amortiguan los ruidos, proporcionan corrección acústica por sus características absorbentes y evitan la propagación del ruido del exterior o de viviendas o locales adyacentes.

<sup>19</sup> Aunque el término "vidrio fundido" se aplica tanto para lana de vidrio como lana de roca como simplificación, en este último caso, el término correcto sería "roca fundida".

Además, las lanas minerales son materiales incombustibles, por lo que no favorecen el inicio, desarrollo o propagación del fuego ni emiten gases o humos que puedan ser asfixiantes o tóxicos, facilitando la evacuación en caso de incendio. Debido a su estabilidad, incluso a altas temperaturas, actúan como una barrera que protege los elementos constructivos de la acción del fuego, proporcionando una mayor resistencia al mismo.

Las lanas minerales se utilizan en edificación residencial, edificación industrial, techos, climatización (conductos de refrigeración y calefacción), industria, marina, protección contra el fuego de estructuras, electrodomésticos, vehículos, etc. En función de las aplicaciones, los productos pueden incorporar distintos tipos de revestimientos para proporcionar prestaciones adicionales.

Las lanas de vidrio se utilizan en forma de fieltros constituidos por trozos de fibra de 2 a 5 cm de longitud unidos mediante una resina y generalmente recubiertos por uno o ambos lados de una capa de papel resistente. También se utilizan recubrimientos de papel de aluminio.

El consumo *per capita* de lanas minerales en el mercado español es muy inferior al de otros países con necesidades de aislamientos similares a pesar de sus excelentes cualidades. Este subsector compite además con una amplia variedad de materiales aislantes, fundamentalmente con productos derivados del petróleo y especialmente con las espumas de poliuretano.

Las lanas minerales son productos que están sujetos a marcado CE (para la construcción), de acuerdo con la Directiva Europea 89/106, lo que garantiza su conformidad con la norma europea armonizada UNE-EN 13162.

Asimismo, las lanas minerales están sujetas a la Directiva Europea 69/1997, de 5 de diciembre de 1997, por la que se adapta, por vigésimo tercera vez, al progreso técnico la Directiva 1967/548/CEE del Consejo, relativa a la clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. En virtud de esta normativa, todos los productos fabricados en España disponen de certificados que demuestran que son productos inocuos y sin riesgos tanto para los usuarios como para los instaladores o manipuladores de los mismos.

### ***Consideraciones medioambientales***

El aislamiento térmico que proporcionan las lanas minerales evita pérdidas energéticas y por tanto, disminuye las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero.

El sector de las lanas minerales ha iniciado un proceso de análisis de las características ambientales de sus productos utilizando una metodología basada en normas internacionales (Norma XP P01-010, partes 1 y 2). Dicho proceso resulta útil para evaluar el impacto ambiental de los edificios.

A título de ejemplo, se resumen a continuación los resultados de los indicadores de impacto ambiental referidos a una unidad funcional específica de lana mineral (UF), definida como el producto necesario para proporcionar un aislamiento de resistencia térmica  $5 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  a  $1 \text{ m}^2$  de cerramiento durante el ciclo de vida del edificio de 50 años, en una zona climática media de la UE (50 años es la vida media que se asigna en la UE a todos los aislantes térmicos en la edificación).

**Tabla 2.4.2. Resultados para la unidad funcional "producto de lana de vidrio", para proporcionar un aislamiento de  $R=5$  ( $m^2 \cdot K$ )/W, a 1  $m^2$  de muro durante 50 años, en una zona climática media de la UE**

Nº	Impacto Ambiental	Valores para una anualidad		Unidad
		(Excluida fase uso = ahorro energía)	(Incluida fase uso = ahorro energía)	
1	<b>Consumo recursos energéticos</b>			
	Energía primaria total	1,5	- 223	MJ/UF
	Energía renovable	0,13	-9,2	MJ/UF
	Energía no renovable	1,4	- 214	MJ/UF
2	<b>Indicador de agotamiento de r. nat. (ADP)</b>			
	Renovables	0,00048	-0,032	kg eq /UF
	No Renovables	0,00013	-0,0016	kg eq antimonio/UF <sup>(a)</sup>
3	<b>Consumo de agua</b>	0,35	- 32	l/UF
4	<b>Residuos Sólidos</b>	Valorizados	0,032	kg/UF
	Eliminados	-	-	-
	Clasificados	0,00060	-0,022	kg/UF
	No clasificados	0,052	-0,054	kg/UF
	Inertes	0,73	-2,1	kg/UF
	Radiactivos	0,00023	-0,0020	kg/UF
5	<b>Cambio Climático</b>	0,083	-5,0	kg eq. CO <sub>2</sub> /UF (a)
6	<b>Acidificación del aire</b>	0,00064	-0,011	kg eq. SO <sub>2</sub> /UF (a)
7	<b>Polución del aire</b>	13	- 137	m <sup>3</sup> /UF
8	<b>Polución del agua</b>	8,3	- 92	m <sup>3</sup> /UF
9	<b>Destrucción ozono estratosférico</b>	0	0	kg CFC eq. R 11/ UF (a)
10	<b>Formación ozono fotoquímico</b>	0,038	-1,3	kg eq. etileno/ UF (a)

<sup>(a)</sup> La norma + utiliza estos elementos (antimonio, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CFC o HCFC, etileno, etc.) como productos de referencia para el cálculo de los indicadores, aunque el mencionado elemento puede perfectamente no formar parte del proceso específico.

En la tabla anterior puede comprobarse que el impacto medioambiental para cada uno de los indicadores del producto es positivo (impacto negativo en el sentido del Inventario del Ciclo de Vida) si consideramos la fase de fabricación y la fase de uso (como aislante).

En cuanto a los residuos generados por las lanas minerales tras su fase de uso, éstos son considerados no peligrosos de acuerdo con la Orden Ministerial MAM/304/2002, que publica el listado europeo de residuos, clasificándose en el epígrafe 17 06 04 *Residuos Generados en las obras de construcción*.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación de lanas de vidrio y roca se engloba dentro del grupo de procesos de fabricación de fibra discontinua corta. El esquema general de fabricación de ambos productos se resume en los siguientes diagramas de proceso:

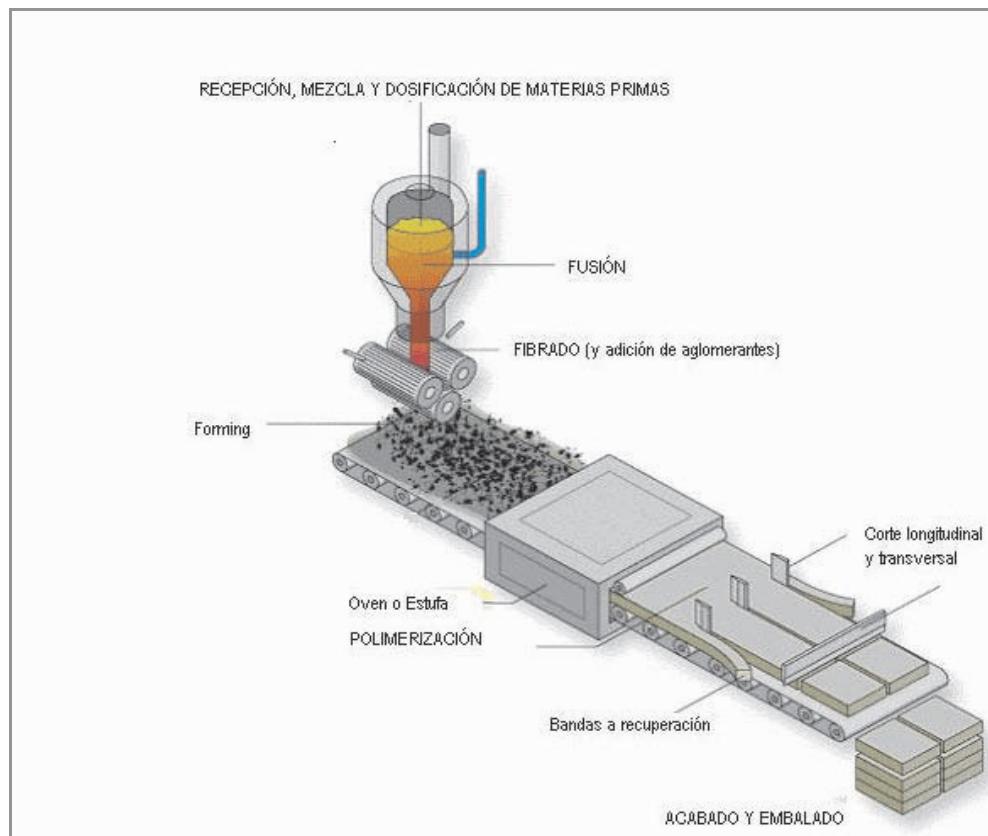


Figura 2.4.1. Proceso tipo para la fabricación de lanas de roca.

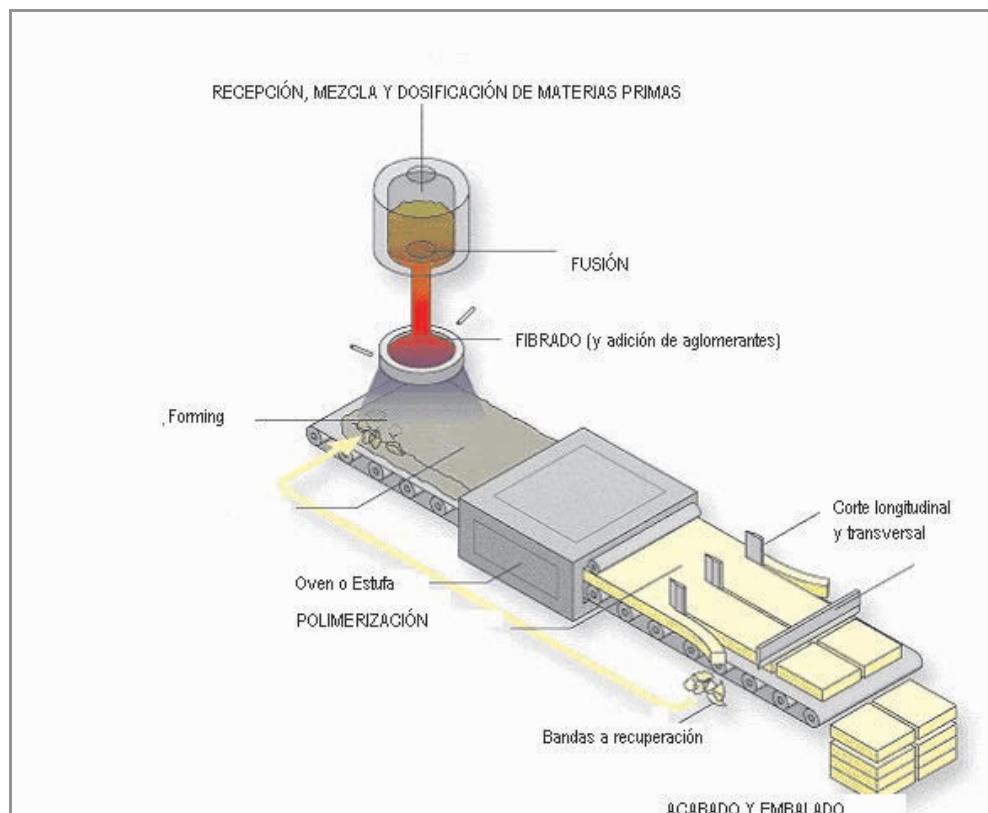


Figura 2.4.2. Proceso tipo para la fabricación de lanas de vidrio.

El proceso comienza con el transporte de las materias primas hasta la planta, generalmente en camiones. Una vez en la planta, las materias primas son controladas e inspeccionadas para garantizar que están dentro de especificaciones. La descarga para su almacenamiento se realiza directamente a granel, bajo techo o a cielo abierto, o en trincheras o tolvas desde las que son transportadas mediante cintas transportadoras o transporte neumático hasta silos de hormigón o metálicos. Según el proceso, los componentes minoritarios pueden ser descargados de forma manual.

La dosificación de las materias primas se efectúa por pesada de forma manual, semiautomática o automática, dependiendo del proceso y de la instalación. En los sistemas más automatizados, la descarga se realiza por transportadores vibratorios de diferente capacidad a tolvas-básculas. Posteriormente, en el caso de la lana de vidrio, por cinta transportadora va a la mezcladora, cargándose en el horno. En lana de roca, las materias primas ya mezcladas se cargan por la parte superior del cubilote.

## 2.1. Los hornos en la fabricación de lanas

La elección de los sistemas de fusión depende de numerosos factores:

- Capacidad requerida.
- Composición del vidrio.
- Tipo de energía y su precio.
- Infraestructuras de las que se disponga, experiencia y preferencias de los fabricantes.

La fabricación de lanas minerales es una actividad de elevado consumo energético. Por ello, el diseño del horno es de vital importancia. Los parámetros a considerar son:

- El método de calentamiento (por combustión o eléctrico).
- El sistema del precalentamiento del aire de combustión.
- La disposición de los quemadores en el caso de hornos de combustible y la disposición y diseño de electrodos en el caso de hornos eléctricos y
- Los sistemas de recuperación de calor.

En gran medida, del diseño del horno y de la fuente energética utilizada va a depender la eficiencia energética del proceso y su impacto medioambiental. Los tipos de hornos utilizados en el subsector de lanas se describen a continuación.

### *Hornos eléctricos*

Los hornos eléctricos consisten en una cuba rectangular de material refractario que contiene el baño de vidrio fundido y en la que se insertan los electrodos por su parte inferior, superior o por los laterales. La energía para la fusión es suministrada por calentamiento resistivo gracias a los flujos de corriente eléctrica que se establecen entre distintos pares de electrodos y que atraviesan el baño de vidrio.

Estos hornos funcionan de forma continua y tienen una vida útil de entre 5 y 10 años.

La alimentación de la mezcla en un horno eléctrico se realiza por la parte superior del mismo mediante cintas que recorren toda la superficie del horno. Se forma así una capa de materias primas que recubre por completo la superficie del baño de vidrio fundido. De este modo se consigue que el calor que trata de escapar del baño de vidrio atraviese la capa de materias primas obteniéndose eficiencias térmicas muy elevadas.

Pero tal vez la característica más relevante desde el punto de vista medioambiental es que no se produce combustión, evitándose la formación de los productos de la misma como  $\text{NO}_x$  térmico,  $\text{CO}_2$  derivado de la combustión y  $\text{SO}_x$  y se reduce la emisión de gases de la fusión al limitarse éstos a vapor de agua procedente de la humedad de las materias primas y de los productos de descarbonatación. Además, se emplean filtros de mangas para la retención de partículas.

### *Hornos tipo balsa*

Los hornos de balsa suelen ser de forma rectangular. Están construidos con materiales refractarios resistentes a la acción corrosiva del fundido. En uno de sus extremos se encuentra el sistema de alimentación y en el otro la zona de extracción del fundido. El nivel de vidrio fundido suele mantenerse constante lo que implica una circulación continua del material fundido.

Dentro del horno y según zonas perfectamente controladas desde el punto de vista térmico, se produce la fusión, el afinado y la homogeneización.

El horno utilizado en la fabricación de lana de vidrio es del tipo de quemadores transversales (o *cross-fired*). Dentro de este tipo de hornos, la geometría y disposición de los quemadores puede ser muy variada y dependerá del diseño del sistema de fusión.

### *Hornos tipo cubilote*

El horno de fundición tipo cubilote es propio de las lanas de roca y de similar funcionamiento al siderúrgico. Consiste en un cilindro de acero cerrado en su parte inferior, refrigerado por agua y revestido interiormente con material refractario.

El material se carga por su parte superior generándose un gradiente de temperatura vertical que alcanza su temperatura máxima (< 1500 °C) en la zona de combustión a una altura de 1-1,5 m sobre la base. A esta altura aproximadamente el material fundido sale del cubilote a través de un sifón dejando caer el fundido sobre las unidades de fibrado.

La energía necesaria para la fundición la aporta el combustible sólido (coque), lo que requiere aporte de aire a esta zona de combustión. El aire de entrada es previamente calentado favoreciéndose un ahorro de combustible y una reducción de gases contaminantes.

Esta característica hace que los materiales sean de gran tamaño de forma que se permita el paso de aire a través de la carga de material y pueda salir por la parte superior.

Una de las características de este horno es que se dan en su interior condiciones altamente reductoras por lo que la generación de CO y  $\text{H}_2\text{S}$  es importante. Debido a estas condiciones reductoras y al contenido en hierro de algunas materias primas (basalto y escorias) se produce una reducción a hierro metálico que se deposita en la base del horno.

Para evitar que el hierro metálico salga a través del sifón y pueda dañar las unidades de fibrado, es necesario eliminarlo periódicamente mediante picaje de la base del cubilote, lo cual genera una gran cantidad de material fundido ("picajes") que cae al exterior del cubilote.

La cantidad de hierro acumulado en la base del cubilote va a determinar las campañas de producción oscilando estas entre 7-15 días, período tras el cual no es posible eliminar la totalidad del hierro acumulado en la base del cubilote. Tras este período se vacía completamente el cubilote para iniciar una nueva campaña.

## 2.2. Fibrado

El vidrio fundido en los hornos es conducido mediante canales de refractario hasta las máquinas centrifugadoras. En el caso de la lana de vidrio, estas máquinas están constituidas por discos o platos que giran a muy elevada velocidad y que disponen de gran cantidad de perforaciones en su periferia. El vidrio fundido cae en el interior de estos discos y por efecto de la fuerza centrífuga se ve obligado a salir a través de dichas perforaciones, lo que produce un primer estirado. Una corriente de gases a alta presión y temperatura confiere al vidrio la energía suficiente para completar el mismo. Los filamentos así formados son recogidos sobre una cinta transportadora colocada bajo las centrifugadoras. En su caída son impregnados con los materiales aglomerantes que conferirán al producto las propiedades mecánicas que se precisan.

En el caso de la lana de roca, el vidrio se forma por centrifugado dejándose caer sobre la periferia de rotores metálicos que giran a elevada velocidad. El impacto del chorro de vidrio sobre esta superficie giratoria produce su estirado, que se completa también en este caso con ayuda de toberas de soplando de aire con resina, que hacen que se proyecten las fibras sobre una cinta perforada. Desde el interior de la cinta hay una fuerte succión de aire que recoge las fibras sobre la superficie externa de dicha cinta, pasando posteriormente a formar el manto. Esta extracción de aire, además de recoger las fibras, sirve para eliminar restos de fibras, agua y resina pulverizada desde las ruedas de fibrado. Como en el caso de la lana de vidrio, los filamentos formados en las centrifugadoras serán también aquí impregnados con las materias aglomerantes.

## 2.3. Polimerización

Una vez formado, el manto pasa a un horno de aire caliente (aproximadamente 250°C), quedando entre dos mallas perforadas que hacen avanzar el producto y a través de las cuales se fuerza el paso de aire caliente verticalmente haciendo que la resina se polimerice y solidifique dando al producto el espesor y características físicas finales.

En esta fase puede incorporarse revestimiento de velo de vidrio que se adhiere al manto en el mismo horno de curado.

Una vez que el manto sale del horno, se enfriá por el paso de aire frío.

## 2.4. Acabado y embalaje

En la parte final de la línea se realiza el corte y se adicionan los distintos complejos que van a formar parte del producto final, tales como papel, aluminio, velos, etc. Dependiendo del tipo de producto a fabricar y según el destino final se procede al corte y presentación en distintos formatos, principalmente rollos y paneles.

Los productos fabricados, después de pasar todos los controles de calidad definidos, son embalados (en cajas de cartón, palets, etc.) e identificados conforme a los estándares de aplicación para ser almacenados antes de su expedición al cliente.

## 3. NIVELES ACTUALES DE EMISIONES Y CONSUMOS DE ENERGÍA Y MATERIAS PRIMAS

En la siguiente tabla se resumen los principales aspectos medioambientales de los procesos de fabricación de lanas minerales:

**Tabla 2.4.3. Aspectos medioambientales de la fabricación de lanas minerales por etapas**

Etapa	Categoría de aspectos medioambientales	Aspectos medioambientales
Recepción, molienda, dosificación y mezcla de materias primas	Contaminación atmosférica	Polvo.
	Contaminación del agua	Aguas residuales de lavado.
	Residuos	Restos de embalajes, sacos de materias primas, mezclas rechazadas.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Fusión	Contaminación atmosférica	Partículas, $\text{SO}_x$ , $\text{CO}_2$ , $\text{NO}_x$ , $\text{HCl}$ , $\text{HF}$ , $\text{CO}$ y partículas de vapor de agua.
	Contaminación del agua	Aguas de refrigeración y fugas.
	Residuos	Material de picaje, cenizas, residuos de refractarios durante la reconstrucción del horno y mangas de filtros.
	Ruido	Emisiones de ruido.
Fibrado, polimerización y acabado	Contaminación atmosférica	COVNM, derivados de aglomerantes y partículas.
	Contaminación del agua	Aguas de lavado y de tratamientos superficiales.
	Residuos	Lanas polimerizadas y no polimerizadas, fangos y aceites.
	Ruido	Emisiones de ruido.
Embalaje y almacenamiento	Contaminación atmosférica	Polvo
	Residuos	Restos de embalajes, chatarra.
	Ruido	Emisiones de ruido (equipos de transporte)

### 3.1. Consumo de recursos: materias primas, agua y energía

#### 3.1.1. Consumo de materias primas

En el siguiente cuadro, se recogen las principales materias primas utilizadas en la fabricación de lanas de vidrio y de roca:

**Tabla 2.4.4. Materias primas utilizadas en la fabricación de lanas minerales**

CONSUMOS	CARACTERÍSTICAS	CUANTIFICACIÓN	
		LANA DE VIDRIO	LANA DE ROCA
Materias primas	Vitrificantes	65-80% (fundamentalmente, arena de sílice y casco de vidrio interno y externo)	100% [roca basáltica, escoria y briquetas (aglomerados de residuos de lana de roca y cemento) ]
	Fundentes, estabilizantes y afinantes (carbonato sódico, caliza, dolomía, sulfato y nitrato sódico, alúmina y otros)	20-35%	En el caso de las lanas de roca las materias fundentes están incluidas en la composición química de las materias primas fundamentales
	Aglomerante	1-14%	
Materias secundarias	Casco de vidrio	3-17%	5%
	Revestimientos superficiales (oxiasfalto, filme plástico y adhesivo orgánico)	3%	
	Embalajes	3%	

#### 3.1.2. Consumo de agua

Una de las principales actividades consumidoras de agua en la fabricación de lanas minerales es la refrigeración de los equipos, si bien estos sistemas suelen funcionar en circuitos cerrados donde se reponen únicamente las fugas y las pérdidas por evaporación. Los procesos de fibrado y polimerización y algunas operaciones de acabado también son consumidores de agua. Además, el agua puede usarse en el proceso para limpieza de las instalaciones y en la dilución de aglomerantes.

El consumo global de agua para la fabricación de lanas minerales es de 25-125 m<sup>3</sup>/día.

#### 3.1.3. Consumo de energía

La fabricación de vidrio es un proceso que intensivo en energía. La principal fuente de energía son los combustibles fósiles que se consumen en las etapas de fusión y alimentación, aunque también durante el conformado, recocido, temple y acondicionamiento de las cargas.

La energía eléctrica se utiliza principalmente en el conformado y en operaciones posteriores, en la producción de aire comprimido, en el transporte de materiales, en algunos procesos de calentamiento, como apoyo en la fusión y en sistemas de fusión mixtos (*boosting*). En algunos casos, puede ser la fuente de energía principal y utilizarse en la fusión.

**Tabla 2.4.5. Distribución del consumo energético en la fabricación de lanas minerales**

Subsector	Nº de hornos considerados	Producción total de vidrio fundido (t/año)	Tipos de fuentes de energía <sup>(a)</sup>	Consumo específico (kWh/t Vº Fº)
Lanas minerales	4	175.000	Gas natural	Lana de vidrio: 3000-6000
			Energía eléctrica	
			Coque (utilizado en la fabricación de lanas de roca)	Lana de roca: 2000-5000

Fuente: Vidrio España, 2004.

<sup>(a)</sup> En lanas de vidrio, la distribución del consumo energético entre los distintos tipos de fuentes de energía puede ser muy variable en función del tipo de horno (eléctrico, gas natural), el sistema de tratamiento de gases, etc. En lanas de roca, el consumo de coque representa alrededor del 50% del consumo energético total de la planta, el gas natural puede suponer entre el 15-30% y la energía eléctrica el 20-35% restante.

Los consumos específicos por producto van a depender del tipo de materia prima utilizada, la forma y peso de la pieza a fabricar, la calidad del vidrio, los equipos utilizados, etc. En la siguiente tabla se muestran los consumos de energía correspondientes a cada una de las etapas del proceso de fabricación de lanas minerales:

**Tabla 2.4.6. Consumo de energía por etapas**

Recepción, mezcla y dosificación (Energía eléctrica)
< 5% del consumo total de energía
Fusión (Energía eléctrica/ gas natural/ Coque)
Lanas de vidrio: 20-45 % del consumo total de energía
Lanas de roca: 30-40% del consumo total de energía
Arcas de recocido y decorados: 2-4% del consumo total de energía
Fibrado + Polimerización + Acabados (Gas natural/energía eléctrica)
Fibrado: 25-35% del consumo total de energía
Polimerización: 25-35% del consumo total de energía
Acabados y embalajes: 6-10% del consumo total de energía

Fuente: Vidrio España, 2005.

Como se puede comprobar en la tabla, el porcentaje más importante del consumo energético de una fábrica corresponde al horno. De ahí que el control de la fusión y las mejoras en su rendimiento mediante cualquiera de las medidas que se adopten sean tan importantes.

### 3.2. Emisiones atmosféricas

En la mayoría de los casos, la producción de vidrio se realiza en hornos con generadores que queman combustible fósil (gas natural o coque) y a veces, con apoyo eléctrico. La parte más importante de la energía fósil se consume en los hornos, por lo que es en la etapa de fusión donde hay que prestar más atención a las emisiones a la atmósfera. Los contaminantes principales que hay que considerar dependen del tipo de lana fabricado.

En el caso de los hornos eléctricos, la única fuente de energía en la fusión es la eléctrica, eliminándose así todos los contaminantes derivados de la quema de combustibles fósiles.

Los hornos de las fábricas de lanas minerales no son instalaciones de fundición clásicas. La fusión de las materias primas es un proceso químico complejo y los humos se componen a la

vez de productos de combustión y de gases que resultan de la descomposición de las materias primas en el horno. Además, las temperaturas necesarias para la fundición de las materias primas son muy altas, favoreciendo, en el caso de las lanas de vidrio, la formación de  $\text{NO}_x$ . Por su parte, en la fabricación de lanas de roca, el consumo de coque provoca altos niveles de  $\text{SO}_x$  en las emisiones.

Los niveles de emisión en cada etapa del proceso de fabricación se reflejan a continuación:

**Tabla 2.4.7. Emisión de sustancias contaminantes en las etapas de recepción, mezcla y dosificación de materias primas y de fusión**

ETAPA	CONTAMINANTE	CARACTERÍSTICAS	LANAS DE VIDRIO	LANAS DE ROCA	OBSERVACIONES
Recepción, mezcla y dosificación	Polvo	-	-	-	Emisiones no importantes cuantitativamente.
Fusión	Partículas totales <sup>(a)</sup>	Los contaminantes y sus cantidades dependen de la composición inicial, del combustible utilizado, del tipo de horno, etc.	25-220	20-100	Los datos de las emisiones están dados en $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , y con sistemas de filtración de humos
	$\text{SO}_2$		20-100	2.400-3.000	
	$\text{NO}_x$		500-1.200	50-400	
	$\text{CO}_2$		30.000-190.000	130.000-260.000	
	HCl		0,5-15	10-150	
	HF		0,5-5	1-30	
	CO		-	30-80.000	

<sup>(a)</sup> Prácticamente la totalidad de las partículas emitidas pueden ser consideradas como PM10.

**Tabla 2.4.8. Emisión de sustancias contaminantes en las etapas de fibrado, polimerización, acabado y embalaje**

ETAPA	CONTAMINANTE	CARACTERÍSTICAS	FIBRADO+ PRIMERIZACIÓN ( $\text{MG}/\text{M}^3$ )	SÓLO FIBRADO ( $\text{MG}/\text{M}^3$ )	SÓLO POLIMERIZACIÓN ( $\text{MG}/\text{M}^3$ )	ACABADO Y EMBALAJE ( $\text{MG}/\text{M}^3$ )
Fibrado + polimerización + acabado + embalaje	Partículas totales <sup>(a)</sup>	Emisiones resultantes de los tratamientos y recubrimientos orgánicos	30-200	30-200	20-150	1-50
	Fenol		2-50	2-50	2-40	-
	Formaldehído		2-30	2-30	2-60	-
	Amoniaco		150-250	150-250	150-460	-
	COVs		5-150	5-150	50-200	-
	Aminas		1-40	5-40	5-150	-

<sup>(a)</sup> Prácticamente la totalidad de las partículas emitidas pueden ser consideradas como PM10.

En la industria para la fabricación de lanas minerales las materias primas utilizadas pueden contener fluoruros, cloruros y compuestos de boro, si bien las emisiones de estas están por debajo de los límites de detección de las técnicas de medida utilizadas actualmente.

Una particularidad del sector español de lanas de vidrio es que los productos fabricados son de alta densidad y con unos porcentajes de aglomerantes cercanos al 14%, lo cual tiene consecuencias directas sobre las emisiones de determinados compuestos en las etapas posteriores a la fusión, tal y como se refleja en la tabla anterior. Este hecho hay que tenerlo en cuenta a la hora de determinar las MTD y sobre todo los valores de emisión asociados, tal y como contempla el apartado 5.8.5 del Documento BREF: "Los niveles de emisiones asociados con las MTD para las emisiones de la zona de moldeo y del horno de polimerización, pueden no ser alcanzables en todas las circunstancias. Si se producen productos de alta densidad o productos con un elevado contenido de aglomerante, los niveles alcanzables con las técnicas consideradas generalmente como MTD para el sector podrían ser considerablemente superiores".

### 3.3. Residuos

Las fábricas de lanas minerales generan dos tipos de residuos:

- **Residuos industriales no peligrosos**, que suelen ser residuos de embalaje y de acondicionamiento (palets, pipas metálicas, embalajes, plásticos, papeles, cartones) o residuos de mantenimiento (chatarras). La puesta en marcha de recogidas selectivas, como las zonas internas de almacenamiento de residuos que ya existen, es la base de la gestión de estos residuos con vistas a su reciclado o revalorización.
- **Residuos específicos**, entre los que se encuentran los lodos de decantación del tratamiento de las aguas residuales, los polvos de los conductos de humos y los residuos de refractarios, generados por la demolición de los hornos cuya vida útil es de 8 a 10 años. Los refractarios utilizados en la fábrica generalmente son inertes y no causan problemas. Aún así, una parte de ellos puede estar contaminada especialmente por su contacto prolongado con el vidrio a elevadas temperaturas, convirtiéndose así en residuos que deben de gestionarse conforme su caracterización. Por último, los residuos de lanas minerales son considerados no peligrosos de acuerdo con la Orden MAM/304/2002, que publica el listado europeo de residuos, encuadrándose en el epígrafe 10 11 03 *Residuos generados durante el proceso de fabricación*.

En la tabla 2.4.9. se cuantifica la producción de los residuos generados en mayor cantidad.

### 3.4. Ruido

Las emisiones de ruido se producen principalmente en los sistemas de alimentación de las materias primas y en los hornos. El tratamiento que se le da actualmente es el cerramiento de dichos sistemas, según los casos y procesos y de acuerdo con la legislación vigente.

Tabla 2.4.9. Generación de residuos

ETAPA	TIPO RESIDUO	CARACTERISTICAS	LANAS DE VIDRIO	LANAS DE ROCA	OBSERVACIONES
Recepción, mezcla y dosificación	Restos de embalajes, sacos de materias primas, mezclas rechazadas	-	400 t/año		-
Fusión	Picajes de fondo de cubilote	Se clasifican en función de su naturaleza	5-20%	5-30%	Los residuos de los sistemas de tratamiento de humos se producen en la limpieza y mantenimiento de filtros.
	Residuos de refractarios				Los residuos de refractarios se producen generalmente al final de la vida útil del horno.
	Residuos derivados de sistemas de tratamiento de humos				
Fibrado + polimerización + acabado + embalaje.	Lana húmeda/no polimerizada	Reutilizados como materias primas	2-5%	2-10%	-
	Lanas polimerizadas (incluye revestimientos)	Clasificados como residuos industriales no peligrosos	5-20%	5-15% (reutilizables como materia prima)	
	Embalajes (plástico, cartón, madera)	Clasificados como asimilables a urbanos	-	-	-

### 3.5. Vertidos de aguas residuales

Como se ha comentado anteriormente, los principales usos del agua en la fabricación de lanas minerales son la refrigeración y, en menor medida, los procesos de fibrado y polimerizado, algunas operaciones de acabado, la limpieza de las instalaciones y el uso sanitario.

De los usos anteriores, los principales vertidos de agua residuales que se generan, considerados no significativos, son:

- Purgas del sistema de refrigeración en circuito cerrado que contienen sales minerales disueltas y productos químicos procedentes del tratamiento de aguas. La mayor parte de las pérdidas que se dan en este circuito son por evaporación y arrastre en torres de refrigeración.
- Aguas sanitarias procedentes de servicios y duchas.
- Aguas pluviales.

En general, las sustancias y límites de vertido de las mismas, deben estar especificadas en las autorizaciones de vertido otorgadas por las administraciones competentes. Normalmente los parámetros que se controlan son de tipo físico (temperatura, color, etc.) y químico (pH,

DBO<sub>5</sub>, DQO, etc.). En general, está prohibido el vertido a cauce de todas aquellas sustancias que no estén incluidas expresamente en la autorización de vertido (Artículo 100 del texto refundido de la Ley de Aguas: *“Queda prohibido con carácter general, el vertido directo o indirecto de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del Dominio Público Hidráulico, salvo que se cuente con la previa autorización administrativa”*.) No obstante, es recomendable que las instalaciones hagan al menos una analítica completa de sus vertidos teniendo en cuenta las sustancias contaminantes y los requisitos incluidos en las nuevas normativas de información ambiental (Registros EPER y E-PRTR), de cara a identificar todas las sustancias que son emitidas por la instalación.

#### 4. TÉCNICAS UTILIZADAS Y MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES EN LANAS MINERALES

Las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) constituyen una de las herramientas que se contemplan para la protección del medio ambiente tanto en la Ley 16/2002, de 1 de julio, como en la Directiva 96/61, de 24 de septiembre. De acuerdo con la definición dada en el artículo 3, párrafo ñ) de la Ley 16/2002, una MTD es:

*“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 posible, reducir en general las emisiones y el impacto en conjunto del medio ambiente y de la salud de las personas”*.

También se entenderá por:

- *“Técnicas, la tecnología utilizada, junto con la forma en que la instalación está diseñada, construida, mantenida, explotada o paralizada.”*
- *“Disponibles, las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del correspondiente sector industrial, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en España, 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 y de la salud de las personas.”*

Además, para la consideración de una técnica como Mejor Técnica Disponible, deben tenerse en cuenta los criterios establecidos en el anexo 4 de la Ley 16/2002, entre los que se destacan los siguientes:

- Uso de técnicas que produzcan pocos residuos.
- Uso de sustancias menos peligrosas.
- Desarrollo de técnicas de recuperación y reciclado de sustancias generadas y utilizadas en el proceso.
- Procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento comparables y positivos a escala industrial.
- Avances técnicos y evolución de los conocimientos científicos.
- Carácter, efectos y volumen de las emisiones de que se trate.
- Plazos de implantación.
- Consumo y naturaleza de los recursos utilizados.
- Medidas de eficiencia energética.
- Impacto global y riesgos al medio ambiente.

De acuerdo con estos criterios, las mejores técnicas disponibles son aquellas que no generan emisiones o, si esto no es posible, minimizan al máximo las mismas así como sus efectos sobre el medio ambiente. Como norma general, son las técnicas de tipo primario las que deberían considerarse como tales ya que son las que reducen las emisiones en la fuente de origen, mientras que las medidas secundarias corrigen la contaminación producida y deberían aplicarse cuando aquellas no permiten alcanzar los niveles de eficiencia ambiental requeridos.

La adopción de una MTD es muy variable en función de las particularidades de cada instalación. La fabricación de lanas no es un proceso único. La aplicación de una misma técnica en instalaciones similares no tiene por qué producir los mismos resultados.

La viabilidad técnica y económica de determinadas medidas implica muchas veces la paralización de los procesos. Es muy importante la consideración de los plazos para la adopción o implantación de determinadas actuaciones, sobre todo cuando éstas suponen un cambio de tecnología importante, adquisición de equipamiento o modificaciones sustanciales de las instalaciones (cambio de combustible, oxi-combustión, etc.). Este tipo de adaptaciones y modificaciones sólo pueden llevarse a cabo en los períodos de reconstrucción de las instalaciones, y en concreto de los hornos, coincidentes con el final de su vida útil o de campaña. Se debe tener en cuenta, además, que el coste de aplicación de una técnica determinada depende fuertemente de las características concretas de cada instalación, aspecto que es difícil contemplar de forma exhaustiva en documento como éste. Los datos que se ofrecen al respecto tienen carácter orientativo y corresponden a la experiencia del sector.

El proceso de fabricación de las lanas es un proceso energético intensivo, lo que hace que el consumo de energía sea uno de los principales problemas de la industria. Por este motivo a lo largo del tiempo se ha incidido preferentemente sobre él introduciendo una serie de mejoras que, además de reducir los consumos de energía y los costes asociados a los mismos, actúan sobre la generación de las emisiones en origen.

Las técnicas y medidas descritas en el apartado 4.2 de esta sección pueden considerarse como las más apropiadas para la fabricación de lanas. En cuanto a los datos y niveles de emisiones que se recogen y que se asocian a las "mejores técnicas disponibles" deben entenderse como niveles de emisión esperables y apropiados en la industria, con las limitaciones expresadas en párrafos anteriores, y en el horizonte temporal de la normativa IPPC.

Los "niveles asociados a MTD" no son en ningún caso valores límite de emisión, y por tanto no deben asimilarse a tales. La decisión sobre los límites que deben aplicarse a cada instalación es responsabilidad de la autoridad medioambiental competente que, además de las técnicas consideradas como MTD, tiene que tener en cuenta aspectos tales como:

- Características de la instalación (si es nueva o ya existente).
- Localización geográfica.
- Medidas adicionales de calidad ambiental locales o regionales.

Es importante remarcar que los valores de emisión asociados incluidos en los Documentos BREF, son valores de referencia asociados a una mejor técnica en las condiciones óptimas de funcionamiento, que no siempre son alcanzables en regímenes reales de operación. Los BREF, que no tienen rango legal, son una herramienta más, muy útil, aplicable como guía para la industria y la administración ambiental.

También hay que tener en cuenta que una única técnica o MTD, primaria o secundaria, puede no ser aplicable para reducir todos los contaminantes emitidos por un foco de emisión o, en su caso, para alcanzar los niveles de emisión exigidos. Por ejemplo, el uso de determinados filtros reduce la concentración de partículas, pero implica la generación de residuos que deben ser gestionados adecuadamente y el aumento del consumo de energía en la instalación.

Al final, en el balance medioambiental para la adopción de una u otra solución, deben conjugarse todos estos factores y valorar el peso relativo de cada uno de ellos. Dependiendo de la ubicación, de las características de la instalación e incluso de los objetivos en políticas medioambientales, así deberán ser las soluciones finales que deben aplicarse en cada caso.

#### 4.1. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones

Se muestran las técnicas más comúnmente utilizadas en las instalaciones de lanas minerales para la reducción de las emisiones más importantes. Estas técnicas están basadas en medidas de tipo primario y secundario, y fundamentalmente enfocadas a la optimización del consumo de recursos mejorando la eficiencia del proceso.

##### 4.1.1. Etapa: Recepción, mezcla y dosificación de materias primas

###### Técnicas primarias

**Tabla 2.4.10. Sistemas neumáticos de transporte de materias primas y sistemas cerrados y estancos**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	Sí
Descripción técnica	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Sistemas neumáticos de transporte (considerando la posibilidad de disponer de sistemas de filtros para limpiar el aire de transporte y evitar obturaciones de los conductos).</li><li>▪ Cerramiento (parcial en el caso de las lanas de roca) de los lugares de descarga.</li><li>▪ Cerramiento de los silos de almacenamiento.</li><li>▪ Cerramiento de las cintas transportadoras.</li><li>▪ Adición de hasta el 4% de agua a la composición, sobre todo en el caso de los finos.</li></ul>
Aspectos ambientales	Evita la emisión de polvo y partículas.
Cuándo se aplica	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno.
% instalación en la industria española	100% de las instalaciones de lanas minerales

### Técnicas secundarias

*Tabla 2.4.11. Filtros de mangas*

Tipo	SECUNDARIA
Incluida BREF	Sí
Descripción técnica	<p>Los filtros de mangas están formados por una serie de tejidos filtrantes (mangas) soportados por una estructura. Todo el conjunto está en el interior de una cámara de forma cilíndrica o paralelepípedica, con un colector en su parte inferior. Los gases a depurar pasan a través de los poros de las mangas en los cuales se retienen las partículas en suspensión, formándose una capa de polvo sobre el sistema filtrante que causa un aumento de la caída de presión y un ligerísimo aumento del rendimiento. Con el tiempo, la caída se hace tan importante que se requiere la limpieza de los filtros por vía mecánica (vibración o golpeo) o mediante descargas de aire comprimido a contracorriente.</p> <p>Para la selección del material filtrante se debe tener en cuenta la composición de los gases, la naturaleza de las partículas y su tamaño, la eficiencia requerida, los costes económicos y la temperatura del gas.</p>
Aspectos ambientales	Es muy eficiente (hasta el 99%) en la eliminación de partículas.
Inconvenientes	Necesidad de cambiar las mangas periódicamente.
Cuándo se aplica	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
% instalación en la industria española	10% de las instalaciones de lanas minerales (sólo se encuentra implantado parcialmente en una instalación)

### **4.1.2. Etapa: Fusión**

#### Técnicas primarias

En la fabricación de lanas, el proceso de fusión presenta características específicas frente a otros procesos. Así, en la fusión de lanas de roca se usan hornos de tipo cubilote, muy semejantes a los de la industria metalúrgica, y coque como combustible. En la fabricación de lanas de vidrio, junto con el vidrio doméstico, el uso de la fusión totalmente eléctrica es una técnica viable. La fusión eléctrica se considera como una técnica de tipo primario ya que su principal efecto es la eliminación de los contaminantes procedentes de la combustión, reduciéndose de forma significativa sus emisiones. Sus características se resumen a continuación:

*Tabla 2.4.12. Hornos eléctricos*

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	Sí
Descripción técnica	Horno de fusión con energía eléctrica. La energía para la fusión se suministra por calentamiento resistivo gracias a los flujos de corrientes eléctricas que se establecen entre distintos pares de electrodos y que atraviesan el baño de vidrio. Son hornos de cuba rectangular y suelen tener una vida media de 5-10 años.
Aspectos ambientales	Evita la formación de contaminantes derivados de la combustión (partículas, óxidos de carbono, $SO_x$ , $NO_x$ , HF y HCl). Mejora de la eficiencia energética directa.
Inconvenientes	Elevados costes de explotación. Reducción de la vida útil del horno. No es económicamente y técnicamente viable para la producción de vidrio a gran escala.
Cuándo se aplica	Sustitución total de un horno
% instalación en la industria española	25% de las instalaciones de lanas minerales (sólo se encuentra implantado en una de las instalaciones existentes de producción de lana de vidrio)

En el caso de la lanas, independientemente del horno y combustible fósil utilizado, es muy frecuente el uso de energía eléctrica como apoyo en la fusión (*boosting*), pudiendo suponer entre el 2-20% del consumo total de energía en esta etapa. Los principales aspectos del apoyo eléctrico en la fabricación de lanas son los siguientes:

**Tabla 2.4.13. Apoyo eléctrico ("boosting")**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Empleo de energía eléctrica en sustitución de parte del combustible fósil para la fusión del vidrio.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de combustibles fósiles y, por tanto, de las emisiones de partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> . Aumento de la eficiencia energética.
<b>Inconvenientes</b>	La cantidad de electricidad para sustituir al combustible fósil viene condicionada por su precio (se estima que es rentable < 5% de la energía total consumida en el horno en las condiciones actuales). El uso de este tipo de medidas no suelen ser sustitutivas de los sistemas de fusión disponibles en una instalación, aún teniendo en cuenta las ventajas medioambientales que tiene la fusión eléctrica, debido al alto coste que dicha fuente energética tiene en la mayoría de los casos. Suele aplicarse como una herramienta de operación en el proceso más que como una técnica. De hecho, es normal que cuando se decide la incorporación de energía eléctrica, suele ir acompañada de otras medidas parecidas, como la sustitución de los quemadores existentes por otros de bajos NO <sub>x</sub> , etc.
<b>Cuándo se aplica</b>	En las reparaciones de los hornos
<b>% instalación en la industria española</b>	25% de las instalaciones de lanas minerales (sólo se encuentra implantado en una de las instalaciones existentes de producción de lana de vidrio)

Otras técnicas primarias empleadas por el sector para la fusión son las siguientes:

**Tabla 2.4.14. Modificación/selección de las materias primas**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Sustitución por otras materias primas o materiales cuyos efectos en las emisiones al aire son menores que las utilizadas habitualmente.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de las emisiones de partículas, SO <sub>x</sub> , óxidos de carbono, HF y HCl. En el caso de las lanas de roca, la utilización de escorias permite reducir el consumo de energía.
<b>Inconvenientes</b>	No siempre es posible la sustitución de unas materias primas por otras que cumplan la misma función, sobre todo por la disponibilidad de cantidades adecuadas de materiales de calidad suficiente, los requerimientos técnicos, la consistencia del suministro y los costes. El uso de escorias aumenta las emisiones de SO <sub>2</sub> .
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
<b>% instalación en la industria española</b>	100% de las instalaciones de lanas minerales

**Tabla 2.4.15. Aumento progresivo del % de casco de vidrio como materia prima**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	El vidrio es el único material que puede reintroducirse en el proceso sin que el producto final pierda ninguna de sus propiedades, siempre y cuando no esté contaminado. En lanas de vidrio es más restrictivo el uso de casco interno que en lanas de roca. En lanas de roca sólo se utiliza casco interno, no externo.

Aspectos ambientales	<p>Reducción de las emisiones y del consumo energético por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un menor empleo de combustible: el vidrio necesita menos energía para fundirse (un 2% de ahorro en energía por cada 10% de vidrio reciclado).</li> <li>▪ Reducción de la cantidad de materias primas utilizadas y, a su vez, de las emisiones de proceso por descarbonatación (1 t de vidrio reciclado ahorra 1,2 t de materias primas).</li> <li>▪ Minimización del volumen de residuos urbanos.</li> </ul>
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En lanas de vidrio, restricciones en el uso de casco interno.</li> <li>▪ En lanas de roca, no se puede utilizar casco externo.</li> <li>▪ Pedida de calidad de producto por tratamiento inadecuado.</li> </ul>
Cuándo se aplica	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
% instalación en la industria española	100% de las instalaciones de lanas minerales

**Tabla 2.4.16. Diseños de la geometría del horno**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	Sí
Descripción técnica	La superficie del vidrio es un factor importante en la formación de partículas y otros contaminantes atmosféricos. Los cambios en el diseño del horno intentan mejorar la transmisión energética a través de la masa vitrificable de manera que la temperatura de la superficie del vidrio sea más baja.
Aspectos ambientales	Reducción de la emisión de partículas, NO <sub>x</sub> , HF y HCl. Reducción del consumo de energía.
Inconvenientes	Necesidad de la contratación de una ingeniería altamente especializada en el diseño, construcción, supervisión y puesta en marcha de hornos de fusión de vidrio.
Cuándo se aplica	Reparación total del horno
% instalación en la industria española	100% de las instalaciones de lanas minerales

**Tabla 2.4.17. Disposición de los quemadores (lanas de vidrio)**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	Sí
Descripción técnica	Una elevada velocidad del gas o un elevado nivel de turbulencias en la superficie del vidrio pueden incrementar la volatilización de sustancias de la masa vitrificable. El posicionamiento de los quemadores tratando de optimizar la velocidad, la dirección y combustión de gas es una práctica habitual en los hornos de vidrio.
Aspectos ambientales	Reducción de la emisión de partículas y NO <sub>x</sub> .
Inconvenientes	Estas modificaciones en el posicionamiento de los quemadores suelen ser más efectivas cuando hay un nuevo diseño del horno.
Cuándo se aplica	Normalmente deben implantarse en los períodos de reconstrucción de los hornos.
% instalación en la industria española	50% de las instalaciones de lana de vidrio

**Tabla 2.4.18. Reducción de la relación aire/combustible (lanas de vidrio)**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sellado del bloque de quemadores para evitar la entrada de aire en la zona de alimentación de mezclas.</li> <li>▪ Reducción de la relación de aire/combustible a niveles casi estequiométricos.</li> </ul>
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> , HF y HCl.
<b>Inconvenientes</b>	Es necesario medir los niveles de NO, CO y O <sub>2</sub> en el gas residual ya que si la combustión es subestequiométrica, los niveles de CO y el desgaste del material refractario pueden aumentar y alterarse el nivel redox del vidrio, afectando a su calidad.
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno, pero debe realizarse con cuidado y de forma progresiva para evitar problemas.
<b>% instalación en la industria española</b>	50% de las instalaciones de lana de vidrio

**Tabla 2.4.19. Oxicombustión (lana de vidrio)**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	Se sustituye el aire por oxígeno como comburente.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> , HF y HCl.
<b>Inconvenientes</b>	Su aplicación queda restringida a pequeñas producciones debido fundamentalmente al precio que puede alcanzar el oxígeno, que es el principal parámetro de rentabilidad en esta técnica. Además, quedan problemas por resolver para que se puedan alcanzar períodos de campaña aceptables, sobre todo los que se refieren a la corrosión de las estructuras de los materiales refractarios.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% instalación en la industria española</b>	50% de las instalaciones de lanas de vidrio

**Tabla 2.4.20. Técnicas de aprovechamiento del calor residual a partir de los gases generados en el sistema de combustión (lanas de roca)**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	Utilización del calor generado en la postcombustión de los gases del proceso de fundición.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de energía (y por tanto de las emisiones derivadas de la combustión).
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
<b>% instalación en la industria española</b>	100% de las instalaciones de lanas de roca

Como consecuencia directa de estas actuaciones se consigue mejorar el comportamiento medioambiental mediante la reducción en origen de las emisiones de contaminantes durante la fusión.

Si bien con las medidas primarias se actúa sobre la fuente del problema, muchas veces no basta para alcanzar los límites legales exigibles. En estos casos, siempre hay que optar por la combinación de una o varias técnicas primarias y/o secundarias, teniendo siempre en cuenta que una misma opción puede operar y tener una eficacia muy diferente en función de las características de las instalaciones.

En cuanto a las emisiones de SO<sub>x</sub>, es necesario destacar que, en lanas de roca, el reciclaje de las mismas, el uso de subproductos como materias primas (escorias) y la utilización del

sistema de postcombustión (ver técnicas secundarias) tienen como consecuencia el incremento de dichas emisiones.

Este incremento ha de tenerse en cuenta a la hora de establecer los límites de referencia, si la prioridad es el reciclaje de residuos al objeto de evitar la transferencia de contaminantes de un medio a otro, para alcanzar unos elevados niveles de protección ambiental de forma integrada.

### Técnicas secundarias

**Tabla 2.4.21. Sistema de postcombustión (lana de roca)**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	Mediante el sistema de postcombustión se oxidan las emisiones de CO y H <sub>2</sub> S antes de su liberación a la atmósfera.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de CO y H <sub>2</sub> S.
<b>Inconvenientes</b>	Consumo energético. Aumento de las emisiones de CO <sub>2</sub> y SO <sub>x</sub> .
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
<b>% instalación en la industria española</b>	100% de las instalaciones de lana de roca

**Tabla 2.4.22. Precipitadores electrostáticos (lanas de vidrio)**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	Se basan en la aplicación entre dos electrodos de descarga y de recogida (emisor-colector), de una diferencia de potencial eléctrico muy elevado (> 100 kW), suficiente para producir la ionización del gas a depurar. Las partículas quedan cargadas eléctricamente con una polaridad determinada, siendo atraídas por el electrodo colector sobre el que se depositan formando una capa. La eliminación de las capas se realiza por vía seca mediante la vibración de los colectores.
<b>Aspectos ambientales</b>	Es muy eficiente (hasta el 99%) en la eliminación de partículas de entre 0,1 y 10 micras.
<b>Inconvenientes</b>	Consumo eléctrico. Para hornos eléctricos y para hornos con producciones inferiores a 200 t/día, los costes de inversión pueden resultar muy altos y normalmente se utilizan otros sistemas.
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
<b>% instalación en la industria española</b>	50% de las instalaciones de lanas de vidrio

**Tabla 2.4.23. Filtros de mangas**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	(Ver apartado 4.1.1)
<b>Aspectos ambientales</b>	Es muy eficiente (hasta el 99%) en la eliminación de partículas.
<b>Inconvenientes</b>	Se generan dos tipos de residuos: - Las partículas recogidas (cenizas), que no siempre se pueden reciclar. - Las mangas, que deben ser cambiadas periódicamente.
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
<b>% instalación en la industria española</b>	100% de las instalaciones de lana de roca. 50% de las instalaciones de lanas de vidrio.

**Tabla 2.4.24. Colectores mecánicos (ciclones)**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	Están formados por una cámara cilíndrica que se prolonga en su parte inferior en otra troncocónica donde se halla la salida del material. Pueden ser de tipo convencional o de alto rendimiento. En estos últimos, el diámetro de la parte cónica es menor para conseguir mayores fuerzas de separación. La elección entre uno u otro debe realizarse considerando conjuntamente aspectos técnicos y económicos: los de mayor rendimiento consumen más energía debido a las mayores pérdidas de carga que se originan. Suelen estar integrados con algún otro sistema más eficiente para reducir la entrada de las partículas mayores.
<b>Aspectos ambientales</b>	Permiten separar partículas mayores de 10 micras con una eficiencia del 45-90%.
<b>Inconvenientes</b>	Para tamaños menores, la eficiencia no supera el 5-30%.
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
<b>% instalación en la industria española</b>	100% de las instalaciones de lanas de roca

#### 4.1.3. Etapa: Fibrado, polimerización, acabado y embalaje

##### Técnicas secundarias

**Tabla 2.4.25. Lavador húmedo + sistema de filtración**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	<p>Los lavadores húmedos pueden utilizarse para controlar las emisiones gaseosas y de partículas tanto en la zona de moldeo como en el horno de polimerización. Como los criterios de diseño en ambos casos son muy distintos, para mantener bajos los costes de inversión suelen diseñarse para controlar las emisiones de ambos.</p> <p>La recogida de partículas se produce mediante impacto por inercia, intercepción y difusión. La eliminación de gases se produce por absorción (por transferencia de materia entre un gas soluble y un disolvente en un dispositivo de contacto gas-líquido) y, en menor medida, por condensación.</p> <p>Es posible utilizar el agua de proceso como medio de lavado y combinar las emisiones de la zona de moldeo y del horno de polimerización en una misma etapa de tratamiento. El agua se utiliza en circuito cerrado.</p> <p>Tras el lavador, se utiliza un sistema de filtración (ciclón, filtro) para eliminar las partículas de menor tamaño.</p>
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de las emisiones de partículas y de gases
<b>Inconvenientes</b>	<p>La eficacia está limitada en las partículas por el consumo de energía (fundamentalmente por la caída de presión) y en las sustancias gaseosas por el uso de agua de proceso como medio de lavado (en lugar de agua limpia).</p> <p>Elevados costes y tiempos de mantenimiento.</p>
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno (es probable que los costes sean mayores en instalaciones existentes).
<b>% instalación en la industria española</b>	50% de las instalaciones de lanas de vidrio

**Tabla 2.4.26. Incineradores (lana de roca)**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	<p>Se utilizan para controlar las emisiones orgánicas del horno de polimerización. Los incineradores pueden ser de dos tipos: térmicos (<math>&gt; 750^{\circ}\text{C}</math>) o catalíticos (<math>350-400^{\circ}\text{C}</math>), aunque estos últimos no se consideran practicables en el sector debido a la elevada carga de partículas y a la presencia de materiales resinosos que envenenarían el catalizador.</p> <p>La incineración térmica destruye los compuestos orgánicos mediante oxidación térmica. El tiempo de estancia en la cámara de combustión debe ser suficiente para asegurar una combustión incompleta. La temperatura operativa debe estar <math>200-400^{\circ}\text{C}</math> por encima de la temperatura de inflamación espontánea de la sustancia más estable. Es necesario que haya turbulencia para conseguir una eficaz transferencia de calor y de materia de combustión y para evitar los "puntos fríos", lo que se consigue utilizando quemadores que generen una llama de combustión en remolino e incorporando pantallas en la cámara de combustión.</p>
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de contaminantes orgánicos y olores.
<b>Inconvenientes</b>	<p>Se consume energía dado que el valor calorífico del gas no es suficiente para sustentar la combustión.</p> <p>Produce dióxido de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno.</p>
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
<b>% instalación en la industria española</b>	50% de las instalaciones de lanas de roca

**Tabla 2.4.27. Filtros de lana de roca (lana de roca)**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	<p>El filtro de planchas de lanas de roca consiste en una estructura de acero o cemento en la que las planchas de lanas de roca montadas en cajas actúan como medio de filtración.</p> <p>El medio del filtro debe cambiarse periódicamente para mantener la eficacia de eliminación de partículas y evitar una mayor resistencia a la circulación del aire.</p>
<b>Aspectos ambientales</b>	<p>Buena eficacia en la eliminación de partículas y gotas.</p> <p>Las planchas de filtro usadas pueden reciclarse normalmente al horno si se dispone de un proceso de briquetado.</p>
<b>Inconvenientes</b>	Eficiencia de eliminación limitada para sustancias gaseosas.
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
<b>% instalación en la industria española</b>	50 % de las instalaciones de lanas de roca.

#### 4.1.4. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones al agua

**Tabla 2.4.28. Sistemas de refrigeración en circuito cerrado (lanas minerales)**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SI
<b>Descripción técnica</b>	Instalación de circuitos cerrados para el agua de refrigeración
<b>Aspectos ambientales</b>	Minimización del consumo de agua y de los vertidos de aguas residuales
<b>Inconvenientes</b>	Periódicamente es necesario realizar purgas del circuito cerrado que contienen sales disueltas y productos químicos utilizados en el tratamiento del agua, etc.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento
<b>% instalación en la industria española</b>	100%

**Tabla 2.4.29. Sistemas de agua de proceso en circuito cerrado (lanas minerales)**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SI
<b>Descripción técnica</b>	Instalación de circuitos cerrados para el agua de proceso
<b>Aspectos ambientales</b>	Minimización del consumo de agua y de los vertidos de aguas residuales
<b>Inconvenientes</b>	El sistema de agua de proceso tiene un volumen limitado, siendo necesaria la instalación de un tanque de retención que alberge las sobrecargas de volumen, que luego pueden reintroducirse en el sistema. Un gran volumen de agua de proceso representa un potencial de contaminación de los circuitos de agua limpia (como el agua superficial o el agua de enfriamiento del vidrio recuperado), debiendo diseñar y utilizar los sistemas para minimizar este riesgo.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento
<b>% instalación en la industria española</b>	100%

**Tabla 2.4.30. Sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales para consumo en agua de proceso en circuito cerrado (lanas minerales)**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	NO
<b>Descripción técnica</b>	Recogida de aguas pluviales para consumo de agua de proceso
<b>Aspectos ambientales</b>	Minimización del consumo de agua y de los vertidos de aguas pluviales y residuales
<b>Inconvenientes</b>	Dimensionar adecuadamente las balsas para contener situaciones de tormentas.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento
<b>% instalación en la industria española</b>	50% de las instalaciones de lana de roca

## 4.2. Aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en lanas minerales

Es objetivo de este apartado la descripción y evaluación de las Mejores Técnicas Disponibles que son aplicables al subsector de lanas minerales. Además de los “niveles asociados a MTD”, y las características de cada una de las técnicas, se incluyen variables tan importantes como la aplicabilidad e impactos ambientales derivados de su uso, así como los costes de inversión y de mantenimiento asociados. Las valoraciones económicas, deben tomarse con carácter orientativo, dado que su coste real depende en gran medida de las condiciones de las instalaciones y no únicamente de condicionantes ambientales.

### 4.2.1. Partículas

#### Técnicas primarias

**Tabla 2.4.31. Sistemas neumáticos de transporte de materias primas y sistemas cerrados y estancos**

<b>Proceso</b>	Recepción, dosificación y mezcla de las materias primas
<b>Objeto de la MTD</b>	Reducción de las emisiones de partículas
<b>Tipo MTD</b>	Primaria

<b>Descripción</b>	Silos estancos. Transporte por cintas o neumático. Dosificadoras/básculas y mezcladoras
<b>Aplicabilidad</b>	Se puede aplicar en cualquier instalación, en función de la distancia entre las zonas de almacenamiento y de fabricación.
<b>Resultado obtenido</b>	Reducción de las emisiones de polvo.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup></b>	-
<b>Nivel BREF <sup>(b)</sup></b>	-
<b>Inversión (€) (año 2005)</b>	-
<b>Costes operativos</b>	60.000 €/año
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	100 horas
<b>Estado del arte</b>	Se encuentran instaladas en la totalidad de las industrias de lanas minerales españolas.
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajos costes de instalación y operación.</li> <li>▪ En el caso de las dosificadoras/básculas y mezcladores, se trata de instalaciones totalmente automáticas y se evitan casi al 100% las emisiones difusas. Además, se evita la manipulación directa de sustancias peligrosas.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	El transporte por cintas o neumático consume energía y existe la posibilidad de que se introduzcan finos en el horno si no se dispone de sistemas que lo eviten. Además, es necesario aplicar algún tipo de cobertura para proporcionar protección contra el viento y evitar pérdidas sustanciales de material. Los sistemas pueden diseñarse para cerrar el transportador por todos los lados. Cuando se utilice transporte neumático, es importante aplicar un sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.
<b>Limitaciones de aplicación</b>	-
<b>Impactos ambientales</b>	Consumo de energía eléctrica (en transporte por cintas o neumático y dosificadoras/básculas y mezcladoras, si éstas consumen energía).

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

## Técnicas Secundarias

**Tabla 2.4.32. Electrofiltro (lanas de vidrio)**

<b>Proceso</b>	Horno de fusión
<b>Objeto de la MTD</b>	Reducción de la emisión de partículas
<b>Tipo MTD</b>	Secundaria
<b>Descripción</b>	(ver apartado 4.1)
<b>Aplicabilidad</b>	La principal limitación es su coste. Por tanto, sólo resulta económicamente aceptable en el caso de hornos con una capacidad productiva de al menos 200-250 t/día de vidrio.
<b>Resultado obtenido</b>	La eficiencia de eliminación de partículas es del 70-90% y es función de la concentración inicial y al número de campos que compongan el filtro.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup></b>	30-50 mg/Nm <sup>3</sup> (0,1-0,2 kg/t Vº Fº) <sup>(c)</sup> (Si hay un precipitador electrostático o un filtro de mangas ya instalado y que alcance niveles de emisiones de 50 mg/Nm <sup>3</sup> en lugar de 30, los costes de sustitución o modificaciones importantes antes de la próxima reconstrucción podrían ser desproporcionados en relación con las ventajas obtenidas).

<b>Nivel BREF <sup>(b)</sup></b>	5-30 mg/Nm <sup>3</sup> (<0,1 kg/t de vidrio fundido) (Si hay un precipitador electrostático o un filtro de mangas ya instalado y que alcance niveles de emisiones de 50 mg/Nm <sup>3</sup> en lugar de 30, los costes de sustitución o modificaciones importantes antes de la próxima reconstrucción podrían ser desproporcionados en relación con las ventajas obtenidas.)
<b>Inversión (año 2005)</b>	3.000.000 - 4.000.000 € (en función del caudal de humos)
<b>Costes operativos</b>	≈ 200.000 €/año
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	30 días/año
<b>Estado del arte</b>	Es una tecnología probada a nivel industrial.
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>▪ El polvo recogido puede ser reutilizado en el proceso en su mayor parte.</li> <li>▪ Puede formar parte de un sistema integrado de tratamiento con otros equipos de depuración, por ejemplo, de SO<sub>x</sub>.</li> <li>▪ No se colmatan fácilmente debido a una elevada pérdida de carga o contenido en humedad con respecto a lo que suele ocurrir con un filtro de mangas.</li> <li>▪ Permite la filtración de humos a elevadas temperaturas (350-400 °C) y está más experimentado en el ámbito industrial que los filtros de mangas para dichas temperaturas.</li> <li>▪ Se puede diseñar por etapas de modo que se puedan adicionar más campos (tiene el límite del espacio disponible).</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesita energía eléctrica para su funcionamiento (aprox. &lt; 1% de la energía total consumida en el horno). El coste de esta energía es elevado.</li> <li>▪ El residuo generado no es totalmente reutilizable.</li> <li>▪ Costes importantes de inversión y explotación.</li> <li>▪ Es vital mantener las operaciones del sistema de depuración dentro de las condiciones de diseño, ya que de lo contrario la eficacia puede bajar considerablemente.</li> <li>▪ Elevadas necesidades de espacio para su instalación, pudiendo llegar a condicionar la capacidad del horno.</li> <li>▪ Puede provocar interferencias en la conducción del horno.</li> <li>▪ Hay que observar las precauciones de seguridad en el uso de equipos de alto voltaje.</li> </ul>
<b>Limitaciones de aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En hornos eléctricos y hornos convencionales de menos de 200 t/día, los elevados costes pueden hacer que se elijan otras técnicas alternativas como los filtros de mangas.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
<b>Impactos Ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genera una elevada cantidad de residuos de polvo de electrofiltro (entre 100-200 kg/día), no siempre reutilizable en el proceso de fusión. Las características físico-químicas de este residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.</li> <li>▪ Consumo energético elevado para el funcionamiento del electrofiltro y para la extracción de los gases depurados (ventilador).</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Los niveles asociados a MTD en kg/t V° Fº están calculados a partir de datos de emisiones y de producción reales de las instalaciones españolas.

**Tabla 2.4.33. Filtro de mangas**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	(ver apartado 4.1)
Aplicabilidad	El diseño del filtro debe optimizar el balance entre la pérdida de carga (coste operativo) y el tamaño (coste de inversión). Si la velocidad de filtración es demasiado elevada, la pérdida de carga será grande y las partículas penetrarán y obstruirán el tejido. Si la velocidad de filtración es demasiado baja, el filtro sería eficaz pero muy caro.
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de partículas es del 85-99% en función de la concentración inicial del humo a tratar.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	Hornos con filtros nuevos: 10-20 mg/Nm <sup>3</sup> Hornos con filtros ya instalados: 20-50 mg/Nm <sup>3</sup> (Si hay un precipitador electrostático o un filtro de mangas ya instalado y que alcance niveles de emisiones de 50 mg/Nm <sup>3</sup> , los costes de sustitución o modificaciones importantes antes de la próxima reconstrucción podrían ser desproporcionados en relación con las ventajas obtenidas.)
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	< 10 mg/Nm <sup>3</sup> (Si hay un precipitador electrostático o un filtro de mangas ya instalado y que alcance niveles de emisiones de 50 mg/Nm <sup>3</sup> , los costes de sustitución o modificaciones importantes antes de la próxima reconstrucción podrían ser desproporcionados en relación con las ventajas obtenidas)
Inversión (año 2005)	3.000.000 €
Costes operativos	20.000-50.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	10 días/año
Estado del arte	Desde la publicación del Documento BREF, estos filtros han evolucionado incorporando sistemas de limpieza mejorados para disminuir las pérdidas de carga.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas</li> <li>▪ Recogida del producto en estado seco.</li> <li>▪ Bajo coste de inversión en las aplicaciones más simples.</li> <li>▪ Permite reutilizar en el proceso las partículas recogidas.</li> <li>▪ Suelen estar equipados con sistemas de limpieza automática y sensores de colmatación.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La tendencia de las partículas del gas residual a adherirse al material del filtro hace que su limpieza sea a menudo difícil. Algunos tipos de polvo son muy difíciles de desalojar, lo que hace que la pérdida de carga sea superior al valor diseñado.</li> <li>▪ Las características que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el material del filtro (resistencia química, forma de las fibras y tipo de hilo, trama y acabado del tejido, resistencia a la abrasión, eficacia de recolección, permeabilidad del tejido, etc.) hacen que el precio de las mangas pueda ser elevado.</li> <li>▪ Elevados requisitos de espacio.</li> <li>▪ A menudo se requiere enfriamiento de los gases por debajo del límite superior de resistencia del material del filtro. Los tejidos de filtro convencionales tienen normalmente una temperatura operativa máxima entre 130 y 220 °C y, en general, cuanto mayor es la temperatura operativa, mayor es el coste.</li> <li>▪ Problemas con el punto de rocío de cualquier sustancia condensable presente (como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o agua): si la temperatura es demasiado baja se produce condensación, lo que provoca obstrucción del tejido.</li> <li>▪ Periódicamente (cada 2-4 años en el caso de los filtros utilizados en los hornos y cada 5-7 años en los de las zonas de corte del producto final) se requiere la sustitución de las mangas. Si se produce un problema y las mangas se obstruyen o resultan dañadas, el coste de sustitución puede ser alto. Este tipo de problemas</li> </ul>

Desventajas	suele ocurrir. Sería recomendable realizar una caracterización inicial de los residuos de mangas generados en cada proceso para saber si se trata de residuos peligrosos (código LER: 10 11 15* Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión, que contienen sustancias peligrosas) o no peligrosos (código LER: 10 11 16 Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión distintos de los especificados en el código 10 11 15).
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>La mayoría de los hornos de vidrio con combustibles fósiles requieren un control de presión sensible y la presencia de un filtro de tejido con una gran pérdida de carga puede hacerlo más difícil.</li> <li>Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Genera una elevada cantidad de residuos no siempre reutilizable en el proceso de fusión. Además, en ocasiones el polvo debe gestionarse como residuo peligroso.</li> <li>Consumo energético para vencer la pérdida de carga originada en el filtro de mangas.</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

#### 4.2.2. NO<sub>x</sub>

[Ver Anexo I: "Las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), principal problemática de la industria del vidrio"]

#### Técnicas primarias

**Tabla 2.4.34. Diseño de la geometría del horno y quemadores, utilización de casco como materia prima, reducción relación aire/combustible y boosting eléctrico**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Primaria
Descripción	<p>Se trata de reducir la emisión de NO<sub>x</sub> mediante las siguientes modificaciones de la combustión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción del ratio aire/combustible</li> <li>Boosting eléctrico</li> <li>Diseños adecuados de la geometría del horno</li> <li>Posicionamiento y número de quemadores</li> <li>Aumento en el consumo de casco de vidrio como materia prima</li> </ul>
Aplicabilidad	La principal limitación es la necesidad de implantar una batería de técnicas para conseguir una eficiencia de eliminación relevante y de contar con una ingeniería altamente especializada en el diseño, implantación y puesta a punto de las mismas.
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación puede llegar hasta un 70% en función del número de técnicas que se apliquen y de la concentración de partida de los humos.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	Horno bucle: 700-1.000 mg/Nm <sup>3</sup> (1,4-2 kg/t Vº Fº) <sup>(c)</sup> Horno transversal: 700-1.300 mg/Nm <sup>3</sup> (1,4-2,6 kg/t Vº Fº) <sup>(c)</sup>
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (generalmente equivale a 0,5-1,4 kg/t vidrio fundido)
Inversión (año 2005)	Puede variar mucho en función del número de técnicas que se instalen.
Costes operativos	30.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Son medidas ampliamente probadas a nivel industrial

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajos costes relativos.</li> <li>Se consiguen reducciones en las emisiones de NO<sub>x</sub> para la mayoría de tipos de hornos.</li> <li>Estas técnicas no tienen ningún aspecto medioambiental negativo importante y pueden producir a menudo un ahorro significativo de energía.</li> <li>Las menores temperaturas del horno y el menor consumo energético tienen asimismo como consecuencia menores emisiones globales.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se requiere una pericia sustancial para obtener los mejores resultados.</li> <li>Puede ser necesario modificar el diseño del horno para obtener los mejores resultados.</li> <li>Debe tenerse cuidado en evitar problemas debidos a cambios redox.</li> <li>Deben controlarse los niveles de CO para evitar daños en el material refractario.</li> <li>La atmósfera más reductora puede fomentar las emisiones SO<sub>2</sub>.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Las limitaciones de cada una de estas medidas por separado se han explicado en la fila de inconvenientes de la tabla del apartado 4.1.
Impactos ambientales	Se incrementa la energía primaria necesaria en el proceso.
(a)	Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .
(b)	Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .
(c)	Los niveles asociados a MTD en kg/t V° Fº están calculados a partir de datos de emisiones y de producción reales de las instalaciones españolas.

Tabla 2.4.35. Oxicombustión

Proceso	Horno de fusión (Lanas de Vidrio)
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Primaria
Descripción	(ver apartado 4.1)
Aplicabilidad	Aplicable únicamente a lanas de vidrio.
Resultado obtenido	La eficacia de eliminación es del 20-45%.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	NO <sub>x</sub> : 700 mg/Nm <sup>3</sup> (1,4 kg/t V° Fº) <sup>(c)</sup>
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	NO <sub>x</sub> : 500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (generalmente equivale a 0,5-1,4 kg/t V° Fº)
Inversión (2005)	3.500.000 €
Costes operativos	100.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	El buen mantenimiento del horno es imprescindible y muy relevante, porque cada fuga influirá significativamente en el NO <sub>x</sub> producido.
Estado del arte	Existen algunas instalaciones en Europa, aunque no parecen confirmar las expectativas en esta tecnología.
Ventajas	NO <sub>x</sub> bajo.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento en un 6% del consumo energético comparado con los hornos de regeneradores a causa del elevado consumo eléctrico que tiene la producción de oxígeno.</li> <li>Para un horno de O<sub>2</sub> de 250 t/día el extracoste debido a su mayor desgaste será de 200-700 K€/año (menor duración y mayor mantenimiento).</li> <li>Aumento de contaminación integrada por causa del consumo energético.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Posibles problemas de estabilidad de color del vidrio.</li> <li>Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno</li> </ul>
Impactos ambientales	Aumento del consumo energético y por consecuencia de la contaminación global.
(a)	Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .
(b)	Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .
(c)	Los niveles asociados a MTD en kg/t V° Fº están calculados a partir de datos de emisiones y de producción reales de las instalaciones españolas.

4.2.3. *Otras emisiones*Técnicas primarias

Tabla 2.4.36. Modificación/selección de materias primas

Proceso	Fusión
Objeto de la MTD	Reducir la emisión de partículas, SO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> S, CO y metales
Tipo MTD	Primaria
Descripción	Sustitución por otras materias primas o materiales cuyos efectos en las emisiones al aire sean menores que las utilizadas habitualmente.
Aplicabilidad	Se consideran generalmente aplicables a todas las partes de la industria, aunque no siempre son aplicables en las instalaciones de lanas de roca. Su aplicabilidad está en función de la existencia de materias alternativas, su viabilidad técnica, su precio y su disponibilidad, y de las características del producto final.
Resultado obtenido	Reducción en las emisiones de partículas (10-30%), SO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> S, CO y metales.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	Partículas: 30-50 mg/Nm <sup>3</sup> (0,1 - 0,2 kg/t Vº Fº). H <sub>2</sub> S: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> CO: 200 mg/Nm <sup>3</sup> (0,4 kg/t Vº Fº). Metales grupo I+2: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales grupo I: < 1 mg/Nm <sup>3</sup> SO <sub>x</sub> : 1.400 - 3.000 mg/Nm <sup>3</sup> (lanas de roca) (3,4 - 7 kg/t Vº Fº). SO <sub>x</sub> : 50 - 70 mg/Nm <sup>3</sup> (lanas de vidrio) (0,1 - 0,15 kg/t Vº Fº).
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	Cloruros (expresados como HCl): < 30 mg/Nm <sup>3</sup> Fluoruros (expresados como HF): < 5 mg/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> S: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> CO: < 200 mg/Nm <sup>3</sup> Metales grupo I + II: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales grupo I: < 1mg/Nm <sup>3</sup>
Inversión (€) (año 2005)	No existen datos cuantificados válidos, cada caso es diferente.
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Se encuentran instaladas en la totalidad de las industrias de lanas minerales españolas.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo coste.</li> <li>▪ No se producen residuos ni se consume energía eléctrica.</li> <li>▪ Reducción de las emisiones de partículas, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, CO y metales. En el caso de las lanas de roca, la utilización de escorias permite la reducción de emisiones de óxidos de carbono y del consumo de energía y de materias primas (rocas).</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En el caso de las partículas, no se alcanzan los niveles de emisión que permiten las medidas secundarias (filtros).</li> <li>▪ No siempre es posible la sustitución de unas materias primas por otras que cumplan la misma función, sobre todo por la disponibilidad de cantidades adecuadas de materiales de calidad suficiente, la consistencia del suministro y los costes.</li> <li>▪ El uso de escorias aumenta las emisiones de SO<sub>2</sub>.</li> <li>▪ En el caso de los óxidos de azufre, se pueden conseguir similares ventajas incrementando el reciclaje de los residuos generados en la propia planta.</li> <li>▪ En el caso de la lana de roca, no es posible la reducción del H<sub>2</sub>S in del CO sin medidas secundarias.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	No siempre son aplicables a las instalaciones de lana de roca. Estas medidas pueden imponer restricciones operativas adicionales sobre el proceso.
Impactos ambientales	Las alternativas a determinadas materias pueden provocar otros impactos medioambientales.

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Los niveles asociados a MTD en kg/t Vº Fº están calculados a partir de datos de emisiones y de producción reales de las instalaciones españolas.

**Tabla 2.4.37. Horno eléctrico**

Proceso	Fusión
Objeto de la MTD	Eliminación de la formación de contaminantes derivados de la combustión
Tipo MTD	Primaria
Descripción	(Ver apartados 2 y 4.1)
Aplicabilidad	Debido al combustible utilizado y a la capacidad productiva, únicamente pueden ser utilizados en la fabricación de lanas de vidrio.
Resultado obtenido	Eliminación de los contaminantes derivados de la combustión
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	NO <sub>x</sub> : 700 mg/Nm <sup>3</sup> (1,4 kg/t VºFº) <sup>(c)</sup>
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	NO <sub>x</sub> : 500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (generalmente equivale a 0,5-1,4 kg/t Vº Fº)
Inversión (2005)	1.500.000-2.000.000 € (en función del tamaño del horno, profundidad de cuba y tecnología de electrodos empleada)
Costes operativos (€/año)	Muy variables dependiendo de la producción
Tiempos de parada para mantenimiento	El horno eléctrico funciona en continuo desde el principio hasta el final de su vida útil.
Estado del arte	Se encuentra instalado en una industria de fabricación de lana de vidrio española.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Evita la formación de contaminantes derivados de la combustión de combustibles fósiles (partículas, óxidos de carbono, SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>).</li> <li>▪ Mejora de la eficacia energética directa.</li> <li>▪ Emisiones directas muy bajas.</li> <li>▪ Posible aumento del índice de fusión por metro cuadrado de superficie del horno.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevados costes de explotación.</li> <li>▪ Reducción de la vida útil del horno.</li> <li>▪ No es económica y técnicamente viable para la producción de vidrio a gran escala.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No aplicables a lanas de roca.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	Consumo energía eléctrica.

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Los niveles asociados a MTD en kg/t Vº Fº están calculados a partir de datos de emisiones y de producción reales de las instalaciones españolas.

**Tabla 2.4.38. Sistema de postcombustión en lana de roca**

Proceso	Fusión
Objeto de la MTD	Reducción de las emisiones de CO y H <sub>2</sub> S
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	(Ver apartado 4.1)
Aplicabilidad	En principio la técnica es aplicable a procesos de lana de roca. Debido al tipo de fundición, se generan concentraciones elevadas de CO y H <sub>2</sub> S que obligan a disponer de este tipo de sistemas de combustión.
Resultado obtenido	Superior al 95% de reducción.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	Partículas: 30-50 mg/Nm <sup>3</sup> (0,1-0,2 kg/t Vº Fº) CO: 200 mg/Nm <sup>3</sup> (0,4 kg/t Vº Fº) H <sub>2</sub> S: 5-50 mg/Nm <sup>3</sup> SO <sub>x</sub> : 1.400-3.000 mg/Nm <sup>3</sup> (3,4-7 kg/t Vº Fº)

Nivel BREF <sup>(b)</sup>	CO: < 200 mg/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> S: < 5 mg/Nm <sup>3</sup>
Inversión (año 2005)	500.000 - 1.000.000 €
Costes operativos	100.000 - 150.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	300 horas/año
Estado del arte	Es una técnica utilizada en todas las instalaciones de fabricación de lana de roca.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de oxidación de CO y H<sub>2</sub>S.</li> <li>▪ No se generan residuos acuosos ni líquidos.</li> <li>▪ Aprovechamiento energético de los gases residuales en el proceso de fusión.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se consumen grandes cantidades de energía.</li> <li>▪ Se emite CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	-
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se consume energía.</li> <li>▪ Se emite CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.</li> </ul>

- (a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (c) Los niveles asociados a MTD en kg/t Vº Fº están calculados a partir de datos de emisiones y de producción reales de las instalaciones españolas.

**Tabla 2.4.39. Electrofiltro húmedo (EPW)**

Proceso	Fibrado/Curado.
Objeto de la MTD	Emisiones de partículas, fenol, formaldehído, amoniaco, aminas, COV's.
Tipo MTD	Secundaria.
Descripción	En los precipitadores electrostáticos húmedos, el material recogido se elimina de las placas colectoras mediante un líquido adecuado, normalmente agua, de forma intermitente o mediante irrigación por rociado en continuo. Los tres tipos principales (placa e hilo, placa y placa, y tubo e hilo) pueden utilizarse en húmedo.
Aplicabilidad	En principio, la técnica es aplicable a procesos de lana de vidrio tanto nuevos como existentes y es adecuada para las emisiones de la zona de moldeo y del horno de polimerización, así como para emisiones combinadas de ambas.
Resultado obtenido	Hasta un 95 % de reducción de las emisiones.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	<p><b>Lana de vidrio:</b>            Partículas: 50-100 mg/Nm<sup>3</sup>            (3-5 kg/t Vº Fº)            Fenol: 15-30 mg/Nm<sup>3</sup>            0,3-0,6 kg/t Vº Fº            Amoniaco: 65-150 mg/Nm<sup>3</sup>            (3-5 kg/t Vº Fº)            Aminas: 5-15 mg/Nm<sup>3</sup>            (0,1-0,3 kg/t Vº Fº)            COVs: 50 mg/Nm<sup>3</sup> (1 kg/t Vº Fº)            Formaldehído: 10-25 mg/Nm<sup>3</sup>            (0,2-0,5 kg/t Vº Fº)            (En lana de vidrio, los valores indicados en el Documento BREF no son alcanzables en España debido a las particularidades del producto, según lo indicado en el apartado 3.2.)</p> <p><b>Lana de roca:</b>            Partículas: 50-100 mg/Nm<sup>3</sup>            (3-5 kg/t Vº Fº)            Fenol: 15-30 mg/Nm<sup>3</sup>            (0,3-0,6 kg/t Vº Fº)            Amoniaco: 65-150 mg/Nm<sup>3</sup>            (3-5 kg/t Vº Fº)            Aminas: 5-15 mg/Nm<sup>3</sup>            (0,1-0,3 kg/t Vº Fº)            COVs: 50 mg/Nm<sup>3</sup> (1 kg/t Vº Fº)            Formaldehído: 10-25 mg/Nm<sup>3</sup>            (0,2-0,5 kg/t Vº Fº)</p>

Nivel BREF <sup>(b)</sup>	Partículas: 20-50 mg/Nm <sup>3</sup> Fenol: 5-15 mg/Nm <sup>3</sup> Amoniaco: 30-65 mg/Nm <sup>3</sup> Aminas: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> COVs: 10-50 mg/Nm <sup>3</sup> Formaldehído: 5-10 mg/Nm <sup>3</sup>
Inversión (€) (año 2005)	-
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	En 1997, aproximadamente un 30% de las instalaciones de lana de vidrio utilizaban esta técnica, aunque no era usada por ninguna instalación de lana de roca.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Buenas eficacias de eliminación para partículas y para gotas/aerosoles, pudiendo alcanzarse &lt; 20 mg/Nm<sup>3</sup>.</li> <li>▪ Posibilidad de absorción de sustancias gaseosas con una elevada saturación.</li> <li>▪ Aplicable a las emisiones de moldeo y polimerización.</li> <li>▪ Baja caída de presión, con lo que los costes operativos y el consumo energético son relativamente bajos.</li> <li>▪ Los bloqueos son raros si se utilizan chorros de impacto para eliminar la materia fibrosa grande.</li> <li>▪ Larga vida útil con un bajo mantenimiento.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se genera un efluente acuoso, que generalmente es reciclable en la producción de lana de vidrio, aunque bastante menos en la de lana de roca.</li> <li>▪ Se consume energía, aunque relativamente poca en comparación con otros requisitos de proceso.</li> <li>▪ Costes de inversión relativamente elevados.</li> <li>▪ Requisitos de espacio considerables.</li> <li>▪ El mantenimiento es bajo aunque crítico; un mal mantenimiento causa una caída considerable de la eficacia.</li> </ul> <p>El elevado voltaje impone requisitos de seguridad.</p>
Limitaciones de aplicación	La principal desventaja en cuanto a su aplicación, es la dificultad potencial de desechar la corriente acuosa en lana de roca.
Impactos ambientales	Se genera un efluente acuoso, que generalmente es reciclable en la producción de lana de vidrio, aunque bastante menos en la de lana de roca.

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Los niveles asociados a MTD en kg/t Vº Fº están calculados a partir de datos de emisiones y de producción reales de las instalaciones españolas.

**Tabla 2.4.40. Filtros de lana de roca**

Proceso	Fibrado y Curado
Objeto de la MTD	Emisiones de partículas, fenol, formaldehído, amoniaco, aminas, COV's
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	(ver apartado. 4.1)
Aplicabilidad	Aplicables en la fabricación de lanas de roca, tanto en instalaciones nuevas como existentes.
Resultado obtenido	Hasta un 99% de reducción

Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	Partículas: 50-100 mg/Nm <sup>3</sup> (3-5 kg/t Vº Fº) Fenol: 15-30 mg/Nm <sup>3</sup> (0,3-0,6 kg/t Vº Fº) Amoniaco: 65-150 mg/Nm <sup>3</sup> (3-5 kg/t Vº Fº) Aminas: 5-15 mg/Nm <sup>3</sup> (0,1-0,3 kg/t Vº Fº) COVs: 50 mg/Nm <sup>3</sup> (1 kg/t Vº Fº) Formaldehído: 10-25 mg/Nm <sup>3</sup> (0,2-0,5 kg/t Vº Fº)
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	Partículas: 20-50 mg/Nm <sup>3</sup> Fenol: 5-15 mg/Nm <sup>3</sup> Amoniaco: 30-65 mg/Nm <sup>3</sup> Aminas: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> COVs: 10-50 mg/Nm <sup>3</sup> Formaldehído: 5-10 mg/Nm <sup>3</sup>
Inversión (año 2005)	100.000- 300.000 €
Costes operativos	20.000- 50.000 €/año
Tiempos de parada para mantenimiento	800 horas/año
Estado del arte	De acuerdo con el Documento BREF (versión 2001), el 90% de los procesos de lana de roca utilizan esta técnica para tratar los gases residuales de la zona de moldeo, y menos de un 10% para las emisiones del horno de polimerización.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pueden conseguirse buenas eficacias de eliminación para partículas.</li> <li>▪ Las planchas de filtro usadas pueden reciclarse en el proceso si hay instalaciones disponibles.</li> <li>▪ No se generan residuos acuosos.</li> <li>▪ Bajos costes de inversión.</li> <li>▪ Baja caída de presión, por lo que los costes operativos y el consumo energético son relativamente bajos.</li> </ul>
Desventajas	Se consume energía, aunque relativamente poca en comparación con otras técnicas secundarias.
Limitaciones de aplicación	El uso de esta técnica en los hornos de polimerización se encuentra limitado en parte por la elevada temperatura del gas. No se considera aplicable para procesos de lana de vidrio.
Impactos ambientales	Se generan residuos de planchas de filtro usadas que sólo pueden reciclarse si hay instalaciones disponibles.

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 °K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Los niveles asociados a MTD en kg/t Vº Fº están calculados a partir de datos de emisiones y de producción reales de las instalaciones españolas.

**Tabla 2.4.41. Scrubber + ciclones**

Proceso	Fibrado/Curado
Objeto de la MTD	Emisiones de partículas, fenol, formaldehído, amoniaco, aminas, COV's
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	(Ver apartado. 4.1)
Aplicabilidad	Aplicables en la fabricación de lanas de vidrio y de roca.
Resultado obtenido	30-80%, dependiendo del medio de lavado utilizado. Es necesario tener en cuenta la protección integrada del medio ambiente evitando vertidos y la optimización del consumo de agua.

<b>Nivel asociado a MTD</b> <sup>(a) (c)</sup>	<p><b>Lanas de vidrio</b></p> <p>Partículas: 50-100 mg/Nm<sup>3</sup> (3-5 kg/t Vº Fº)</p> <p>Fenol: 15-30 mg/Nm<sup>3</sup> (0,3-0,6 kg/t Vº Fº)</p> <p>Amoniaco: 65-150 mg/Nm<sup>3</sup> (3-5 kg/t Vº Fº)</p> <p>Aminas: 5-15 mg/Nm<sup>3</sup> (0,1-0,3 kg/t Vº Fº)</p> <p>COVs: 50 mg/Nm<sup>3</sup> (1 kg/t Vº Fº)</p> <p>Formaldehído: 10-25 mg/Nm<sup>3</sup> (0,2-0,5 kg/t Vº Fº)</p> <p>(En lana de vidrio, los valores indicados en el Documento BREF no son alcanzables en España debido a las particularidades del producto, según lo indicado en el apartado 3.2.)</p>	<p><b>Lanas de roca:</b></p> <p>Partículas: 50-100 mg/Nm<sup>3</sup> (3-5 kg/t Vº Fº)</p> <p>Fenol: 15-30 mg/Nm<sup>3</sup> (0,3-0,6 kg/t Vº Fº)</p> <p>Amoniaco: 65-150 mg/Nm<sup>3</sup> (3-5 kg/t Vº Fº)</p> <p>Aminas: 5-15 mg/Nm<sup>3</sup> (0,1-0,3 kg/t Vº Fº)</p> <p>COVs: 50 mg/Nm<sup>3</sup> (1 kg/t Vº Fº)</p> <p>Formaldehído: 10-25 mg/Nm<sup>3</sup> (0,2-0,5 kg/t Vº Fº)</p>
<b>Nivel BREF</b> <sup>(b)</sup>	Partículas: 20-50 mg/Nm <sup>3</sup> Fenol: 5-15 mg/Nm <sup>3</sup> Amoniaco: 30-65 mg/Nm <sup>3</sup> Aminas: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> COVs: 10-50 mg/Nm <sup>3</sup> Formaldehído: 5-10 mg/Nm <sup>3</sup>	
<b>Inversión (año 2005)</b>	50.000 €	
<b>Costes operativos</b>	5.000-10.000 €/año	
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	Precisa de grandes tiempos de limpieza/mantenimiento que pueden llegar al 5-10 % del total de la producción	
<b>Estado del arte</b>	Un 90 % de las instalaciones existentes en Europa disponen de este sistema asociado en alguna fase de sus procesos con grandes variaciones en sus diseños y métodos operativos dependiendo de la protección integral priorizada.	
<b>Ventajas</b>	Se pueden combinar las emisiones de la zona de moldeo y del horno de polimerización en una sola etapa de tratamiento, no suponiendo un aumento sustancial del coste global de la técnica si se hace en la fase de diseño.	
<b>Desventajas</b>	La eficacia está limitada en las partículas por el consumo de energía (fundamentalmente por la caída de presión) y en las sustancias gaseosas por el uso de agua de proceso como medio de lavado de cara a conseguir una protección ambiental integrada disminuyendo los consumos de recursos naturales y evitando los vertidos o generación de residuos.	
<b>Limitaciones de aplicación</b>	La técnica no está limitada a plantas nuevas o existentes, pero es probable que los costes sean mayores en estas últimas.	
<b>Impactos ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevados consumos energéticos derivados de la perdida de carga.</li> <li>▪ Consumo de agua y generación de aguas residuales si no existe un sistema de recirculación.</li> </ul>	

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Los niveles asociados a MTD en kg/t Vº Fº están calculados a partir de datos de emisiones y de producción reales de las instalaciones españolas.

**Tabla 2.4.42. Incineración térmica**

Proceso	Horno de polimerización
Objeto de la MTD	Emisiones de partículas, fenol, formaldehído, amoniaco, aminas, COV's
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	(ver apartado. 4.1)
Aplicabilidad	Aplicable a lanas de roca y, en principio, tanto a procesos nuevos como existentes.
Resultado obtenido	Extremadamente eficaz para eliminar sustancias orgánicas de corrientes de gases residuales (hasta < 10 mg/Nm <sup>3</sup> ), pero no se reducen las partículas inorgánicas.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	Partículas: 50-100 mg/Nm <sup>3</sup> (3-5 kg/t Vº Fº) Fenol: 15-30 mg/Nm <sup>3</sup> (0,3-0,6 kg/t Vº Fº) Amoniaco: 65-150 mg/Nm <sup>3</sup> (3-5 kg/t Vº Fº) Aminas: 5-15 mg/Nm <sup>3</sup> (0,1-0,3 kg/t Vº Fº) COVs: 50 mg/Nm <sup>3</sup> (1 kg/t Vº Fº) Formaldehído: 10-25 mg/Nm <sup>3</sup> (0,2-0,5 kg/t Vº Fº)
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	Partículas: 5-30 mg/Nm <sup>3</sup> Fenol: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Amoniaco: < 20-65 mg/Nm <sup>3</sup> o < 0,4 kg/t producto acabado (hasta un máximo de 100 mg/Nm <sup>3</sup> ) Aminas: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> COVs: < 10 mg/Nm <sup>3</sup> Formaldehído: < 5 mg/Nm <sup>3</sup>
Inversión (año 2005)	200.000-500.000 €
Costes operativos	100.000-150.000 €/año (debido principalmente al consumo de combustible-gas natural)
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	De acuerdo con en el Documento BREF, un 60-70% de las instalaciones utilizan esta técnica en el horno de moldeo.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de destrucción de contaminantes orgánicos y olores.</li> <li>▪ No se generan residuos acuosos o líquidos.</li> <li>▪ Costes relativamente bajos en aplicaciones apropiadas.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se consume energía, dado que el valor calorífico del gas no es suficiente para sustentar la combustión.</li> <li>▪ Se emite dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno.</li> <li>▪ Mala eficacia de eliminación de partículas inorgánicas.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Debido al elevado volumen, la baja concentración, la baja temperatura y, en ocasiones, el alto contenido de humedad, la técnica se considera prohibitivamente cara para el gas residual de la zona de moldeo.
Impactos ambientales	Se consume energía y se emite dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Los niveles asociados a MTD en kg/t Vº Fº están calculados a partir de datos de emisiones y de producción reales de las instalaciones españolas.

#### 4.2.4. *Emisiones al agua*

En general las emisiones al agua, como ya se ha mencionado anteriormente, son relativamente escasas. Estas emisiones pueden ser recicladas o tratadas mediante técnicas estándar.

En el subsector de lanas minerales se consideran MTD las siguientes técnicas primarias:

- **Instalación de sistemas de refrigeración en circuito cerrado.** Esta técnica tiene el inconveniente de que periódicamente es necesario realizar purgas del circuito cerrado que contienen sales disueltas y productos químicos utilizados en el tratamiento del agua, etc.
- **Instalación de sistemas de agua de proceso en circuito cerrado,** en la etapa de preparación de resina y en el sistema de limpieza de zonas de fibraje. Una de las ventajas de esta técnica es que las purgas de los sistemas de refrigeración y las aguas de limpieza en algunos casos pueden incorporarse al sistema. Además, la mayor parte de las materias utilizadas en el proceso son compatibles con la composición química del agua de proceso y, en caso contrario, el agua puede desviarse a un tanque de retención para su tratamiento y/o vertido. Los inconvenientes de esta técnica se han enumerado en el apartado 4.1.4. Los costes de inversión son superiores a los 100.000 € mientras que los costes de mantenimiento se encuentran entre los 10.000 y 30.000 €/año. El tiempo estimado de parada para el mantenimiento del sistema es de aproximadamente 10 días/año.
- **Instalación de sistemas de recogida de aguas pluviales en balsas y envío al circuito cerrado de aguas de proceso,** en la etapa de preparación de resina y en el sistema de limpieza de zonas de fibraje. Las principales ventajas que presenta esta técnica son el aprovechamiento del agua de lluvia con lo que se disminuye el consumo de agua potable y la posibilidad de evitar que aguas pluviales contaminadas sean vertidas a cauce. Los inconvenientes de esta técnica se han enumerado en el apartado 4.1.4. La inversión necesaria para su instalación está entre 50.000 y 100.000 € y los costes de operación y mantenimiento anuales son superiores 10.000 €. Existe experiencia en la implantación de esta técnica en empresas de lana de roca españolas.

Todas estas técnicas, aplicables tanto en lana de vidrio como en lana de roca, permiten una reducción significativa en el consumo de agua y en el vertido de aguas residuales. Asimismo, se trata de tecnologías ampliamente probadas a nivel industrial que pueden instalarse en plantas nuevas o existentes.

Además de los sistemas en circuito cerrado, como medidas generales para el control de las emisiones pueden aplicarse las siguientes técnicas:

- Cubetos adecuados.
- Vigilancia y control de tanques y cubetos.
- Sistemas automáticos de control y detección de fugas y derrames.
- Venteos y puntos de llenado en el interior de los cubetos.

En su caso, el envío a sistemas de depuración de las aguas residuales, también puede considerarse como MTD. Estos sistemas de tratamientos de agua residuales pueden ser:

- Tratamiento físico-químico: cribado, separación superficial, sedimentación, centrifugación, filtración, neutralización, aireación, precipitación y coagulación y floculación.
- Tratamiento biológico: fangos activos y biofiltración.

#### 4.2.5. *Residuos*

En la medida de lo posible, las instalaciones de lanas minerales deben prevenir, o al menos minimizar, la generación de residuos. Cuando no sea posible, se consideran Mejores Técnicas Disponibles, tal y como se ha comentado a lo largo del apartado 4.2, la utilización de casco de vidrio interno y la recuperación y reciclaje de restos de fibra y polvo recogido en los sistemas de captación.

Cuando se emplea casco de vidrio interno en sustitución de las materias primas tradicionales, es posible:

- Reducir el consumo de materias primas.
- Reducir de forma significativa el consumo de energía.
- Minimizar, en algunos casos, las emisiones a la atmósfera debidas, por un lado, a la reducción de las emisiones derivadas de la utilización de combustibles fósiles y, por otro, a que se evitan las reacciones de descarbonatación y desulfatación de las materias primas, y con ellas las emisiones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{SO}_x$ .

La recuperación y reciclaje de restos de fibras y polvo permite también mejorar la eficiencia energética, minimizar las emisiones de algunos contaminantes y reducir el consumo de materias primas. No obstante, estos residuos no siempre puede ser reutilizado en su totalidad en la fusión. En el caso de electrofiltros, las características fisicoquímicas de estos residuos (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.

### 4.3. **Valoración de la aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en lanas minerales**

Del conjunto de las MTD incluidas en el Documento BREF como aplicables al subsector de fabricación de lanas minerales, así como de las consideradas MTD en el apartado 4.2, la experiencia de su implantación en industrias tanto europeas como españolas ha proporcionado información suficiente acerca de su viabilidad técnica y económica, así como de los beneficios e impactos ambientales que pueden generar. Esta información queda reflejada en la tabla a través de la valoración cualitativa de cada una de las técnicas desde el punto de vista técnico, ambiental y económico.

Se ha valorado cada MTD de 0 a 4 para los apartados técnico, ambiental y económico, considerando "0" como la valoración mínima (peor valorado) y "4" como la valoración máxima (mejor valorado). Si la técnica es no aplicable o no relevante en el subsector, se ha indicado con "n.a.".

En el caso del punto de vista técnico, se ha valorado que la técnica:

- Es viable desde el punto de vista técnico y es aplicable.
- Está contrastada.
- Existe experiencia suficiente a escala industrial.

En la valoración ambiental se han considerado:

- Los objetivos ambientales del subsector.
- Los beneficios ambientales que aporta la técnica.
- El balance ambiental total.

Por último, para valorar el aspecto económico, se ha tenido en cuenta la información existente sobre:

- Rentabilidad económica de la inversión en un plazo razonable.
- Costes de operación mantenimiento posterior.

Cuando en la tabla no se encuentra valorada una técnica, se considera que no es aplicable al subsector, por no existir experiencia suficiente para el mismo o por no disponer de datos suficientes para su consideración.

Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas de tipo secundario.

**Tabla 2.4.43. Valoración técnica, ambiental y económica de las MTDs**

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>
<b>ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIAS PRIMAS</b>				
Silos cerrados ventilados a través de equipos de eliminación de polvo (por ejemplo, filtros de tejido).	4	3	3,5	-
Almacenamiento de materias primas finas en contenedores cerrados o sacos herméticos.	4	3,5	3	-
Almacenamiento de materias primas polvorrientas gruesas a cubierto.	1 <sup>(b)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	-
Uso de vehículos de limpieza de calzadas y de técnicas de humedecimiento con agua.	1,5 <sup>(b)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	-
Transportadores cerrados.	2	2	1	-
Transporte neumático con sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.	2	2	2	-
Adición de un porcentaje de agua en la mezcla (del 0-4%).	1,5 <sup>(b)</sup>	2 <sup>(b)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	-
Control de la emisión de polvo en la zona de alimentación del horno: humidificación de la mezcla, creación de una ligera presión negativa dentro del horno, aplicación de aspiración que ventila a un sistema de filtro, utilización de alimentadores helicoidales cerrados, cierre de las cámaras de alimentación.	3	3	2	-
Diseño de las naves con el mínimo de aberturas y puertas y aplicación de cortinas antipolvo o sistemas de aspiración en zonas potencialmente muy polvorrientas.	3	2	3	-
En los almacenamientos de materias volátiles, mantenimiento de las temperaturas lo más bajas posibles.	1 <sup>(b)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	-
Reducción de las pérdidas de los tanques de almacenamiento a presión	4	4	2	-

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>
atmosférica mediante: pintura para tanques con baja absorción solar, control de temperatura, aislamiento de los tanques, gestión de inventarios, tanque de techo flotante, sistemas de trasvase con retorno de vapor, tanques con techo de diafragma, válvulas de presión/vacío (cuando los tanques tengan que soportar fluctuaciones de presión), tratamientos específicos de las emisiones (adsorción, absorción, condensación), llenado subterráneo.				
Dosificadoras/básculas y mezcladoras.	4	4	4	-
<b>FUSIÓN</b>				
<b>Partículas/polvo</b>				
Modificación/selección de materias primas				30-50
Fusión eléctrica	4	4	4	-
Precipitador electrostático (sólo en lana de vidrio)	4	4	2	30-50
Filtro de mangas	4	4	4	Hornos con filtros nuevos: 10-20 Hornos con filtros ya instalados: 20-50
<b>Óxidos de azufre</b>				
Modificación/selección de materias primas	2	2	2	Lanas de roca: 1.400-3.000 Lanas de vidrio: 50-70
Fusión eléctrica	4	4	4	-
Lavado de gases ácidos por vía seca o semihúmeda (fundamentalmente el lavado seco)	0 <sup>(c)</sup>	0 <sup>(c)</sup>	<sup>(c)</sup>	-
<b>Óxidos de nitrógeno</b>				
Fusión eléctrica	4	4	4	700
Oxicombustión				700
Precalentamiento de las composiciones y/o del casco de vidrio	n.a.	n.a.	n.a.	-
Reducción del ratio aire/combustible	3	4	2	700-1.000 (horno bucle) 700-1.300 (horno transversal)
Boosting eléctrico	3	4	2	700-1.000 (horno bucle) 700-1.300 (horno transversal)
Diseños adecuados de la geometría del horno	3	3	3	700-1.000 (horno bucle) 700-1.300 (horno transversal)
Posicionamiento y número de quemadores	3	3	3	700-1.000 (horno bucle) 700-1.300 (horno transversal)
Aumento en el consumo de casco de vidrio como materia prima	4	4	4	700-1.000 (horno bucle) 700-1.300 (horno transversal)
<b>Otras emisiones de la fusión</b>				
Selección de materias primas (emisiones de haluros, metales y sulfuro de hidrógeno)	2	3	2	H <sub>2</sub> S: < 5 CO: < 200 Metales grupo I+II: < 5 Metales grupo I: < 1
Oxidación térmica (emisiones de sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono)	4	4	3	Partículas: 30-50 CO: 200 H <sub>2</sub> S: 5-50

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>
				SO <sub>x</sub> : 1.400 - 3.000
Lavador por vía seca o semihúmeda (emisiones de HCl y HF)	1 <sup>(c)</sup>	1 <sup>(c)</sup>	1 <sup>(c)</sup>	-
Fusión eléctrica	4	4	4	-
<b>PROCESOS DE ACABADO: Emisiones de la zona de moldeo y emisiones combinadas de moldeo y polimerización</b>				
Precipitador electrostático húmedo (lana de vidrio)	3	3	1	Lanas de vidrio Partículas: 50-100 Fenol: 15-30 Amoniaco: 65-150 Aminas: 5-15 COVs: 50 Formaldehído: 10-25
Filtro de lana de roca (sólo en procesos de lana de roca)	4	4	4	-
Scrubbers + ciclones	3	3	3	Lanas de vidrio Partículas: 50-100 Fenol: 15-30 Amoniaco: 65-150 Aminas: 5-15 COVs: 50 Formaldehído: 10-25
Lavador de lecho relleno	n.a.	n.a.	n.a.	-
Uso de aglomerantes sin aminas y resinas catalizadoras sin aminas	n.a. <sup>(d)</sup>	n.a. <sup>(d)</sup>	n.a. <sup>(d)</sup>	-
<b>PROCESOS DE ACABADO: Emisiones del horno de polimerización</b>				
Incinerador térmico	4	4	3	Partículas: 50-100 Fenol: 15-30 Amoniaco: 65-150 Aminas: 5-15 COVs: 50 Formaldehído: 10-25
<b>PROCESOS DE ACABADO: Emisiones de actividades de acabado (mecanizado, etc)</b>				
Filtro de mangas	n.a. <sup>(e)</sup>	n.a. <sup>(e)</sup>	n.a. <sup>(e)</sup>	-

(a) Los datos se refieren a condiciones en seco, 0 °C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Aunque estas técnicas ya están implantadas en las industrias españolas de fabricación de lanas minerales, no contribuyen de forma significativa a la reducción global de las emisiones de partículas en este tipo de instalaciones.

(c) El lavado de gases ácidos por vía seca o semiseca presenta las siguientes desventajas:

- No se consiguen reducciones importantes de las emisiones de SO<sub>x</sub>.
- La eficiencia del absorbente es muy baja (se necesita una gran cantidad de absorbente).
- El sistema de filtros de mangas existente reduce aún más la eficiencia del absorbente.
- El consumo de absorbente es muy elevado (entre 30 y 50 kg/hora).
- Se consume energía.
- Los costes de inversión y operación son muy altos.
- Esta técnica genera grandes cantidades de residuos peligrosos que no pueden reciclarse.
- Las empresas fabricantes de lana de roca en España han realizado importantes y cuantiosas inversiones para reducir la generación de residuos del proceso de fabricación, mientras que el uso de lavadores implica la generación de un residuo que no puede ser gestionado en el proceso.

- El consumo de escorias en la fabricación de lana de roca supone un ahorro de otras materias primas naturales (rocas) y una notable reducción en el combustible necesario para la fundición (se trata de un material que funde más fácilmente que rocas naturales). Sin embargo su uso puede aumentar la cantidad de emisiones de azufre debido a su composición química.
  - El sistema de reciclado mediante briquetas (ladrillos que contienen residuos de lana de roca del proceso y cenizas del proceso de combustión) permite reciclar la casi totalidad de residuos generados en el proceso, evitándose su vertido exterior en gran medida. Sin embargo requiere para su fabricación el uso de cemento, por lo que los niveles de azufre pueden aumentar.
- (d) La utilización de estos productos es función de su disponibilidad en el mercado.
- (e) En las plantas españolas no se realizan actividades de mecanizado.

## SECCIÓN 5. *Vidrio Doméstico*

### 1. INTRODUCCIÓN

El vidrio doméstico es uno de los subsectores más diversos de la industria del vidrio. Abarca la producción de vidrio de mesa, menaje de cocina y artículos decorativos (vasos, tazas, tazones, platos, floreros, ornamentos,...). La mayoría de estos productos son vidrios sodocálcicos, incoloros o de color. Las formulaciones de vidrio al plomo o cristal se utilizan para producir las cristalerías, licoreras y artículos decorativos de alto brillo y densidad, mientras que el vidrio opal se utiliza para la fabricación de vajilla de mesa (tazas, platos, ensaladeras y fuentes de horno). Una parte de la producción española utiliza 100% casco de vidrio para la fabricación de servicios de mesa y objetos decorativos fundamentalmente.

Todas aquellas instalaciones de fabricación de vidrio doméstico que dispongan de una capacidad de fusión superior a 20 t/día, se encuentran incluidas en el epígrafe 3.3. del Anexo I de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

En España hay dos empresas fabricantes de vidrio doméstico con mayor capacidad de producción, pertenecientes a Vidrio España, Bormioli Rocco y Vicerila, cuyas principales características se muestran en la tabla:

**Tabla 2.5.1. Características de las grandes empresas españolas fabricantes de vidrio doméstico**

Nº de empresas	2
Nº de centros de producción	2
Facturación (millones €/año)	63
Producción (t/año)	41.000
Mano de obra total ocupada	390
Producción total de vidrio fundido (t/año)	61.000

Fuente: Vidrio España (2004).

Las industrias agrupadas en la Asociación del Vidrio de la Comunidad Valenciana (AVIVAL) se localizan en la comarca del Vall de Albaida (zona de la Ollería), muy próximas unas de otras. Como materia prima utilizan 100% casco de vidrio y disponen de hornos de menor capacidad de fusión que las anteriores (con capacidades de extracción entre 5,8 y 50 t/día).

**Tabla 2.5.2. Características de las empresas agrupadas en AVIVAL**

Nº de empresas	5
Facturación (millones €/año)	50
Mano de obra total ocupada	1.000
Producción total de vidrio fundido (t/año)	34.016

Fuente: AVIVAL (2005).

Además, existen numerosas empresas de pequeño tamaño especialmente dedicadas al vidrio decorativo y con representación en casi todas las Comunidades Autónomas. Estas empresas no se encuentran dentro del ámbito de este documento ya que su producción es menor a 20 t/día.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

Dentro del vidrio doméstico pueden diferenciarse distintos tipos en función del producto fabricado, aunque el proceso general de fabricación de todos ellos es bastante similar.

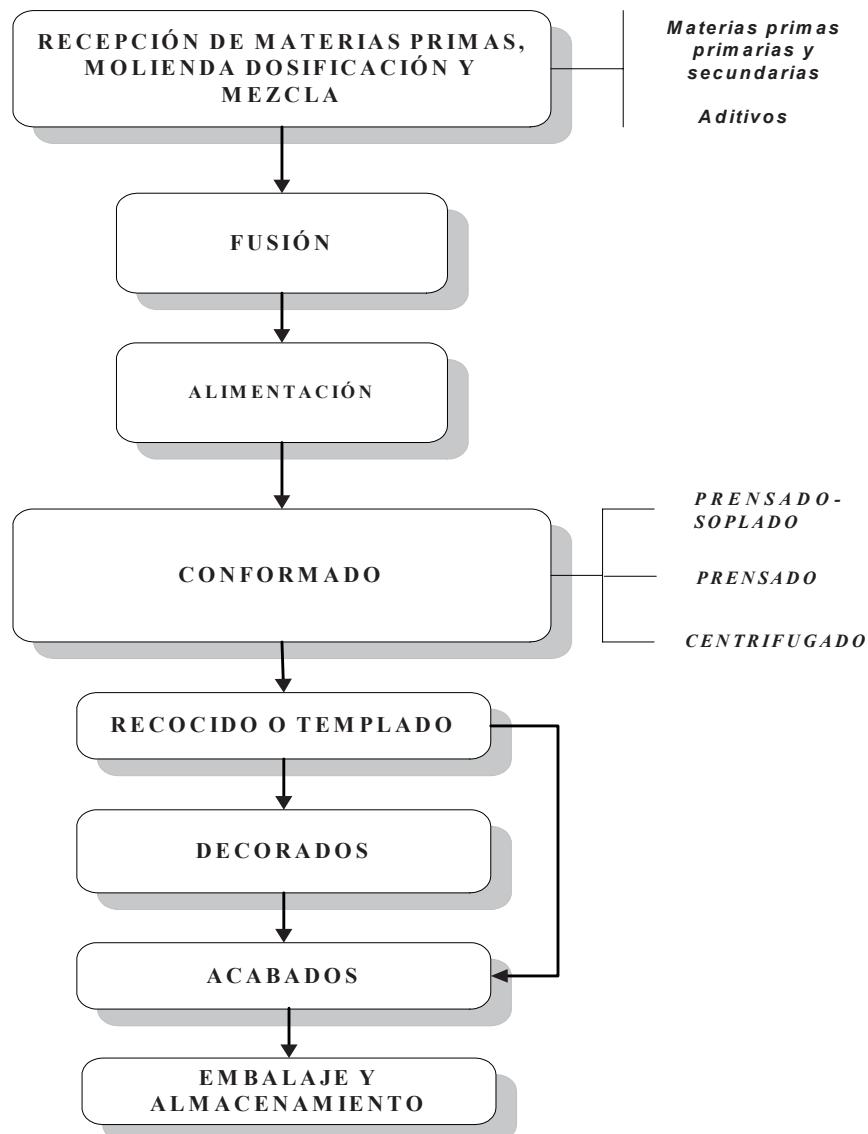


Figura 2.5.1. Proceso tipo para la fabricación de vidrio doméstico (vajillas y vidrio de mesa).

El proceso de fabricación del vidrio doméstico comienza con la descarga en los fosos de recepción de las materias primas (arena, carbonato sódico, caliza y componentes secundarios), desde los cuales son trasladadas a los silos de almacenamiento. Seguidamente se realiza el pesaje automático de las cantidades exactas de las materias primas mediante básculas electrónicas, lográndose la mezcla adecuada que alimentará el horno de fusión.

La mezcla vitrificable es sometida a un proceso de fusión en continuo en hornos. En la siguiente tabla se muestran los hornos utilizados en la fusión del vidrio doméstico en las grandes instalaciones españolas incluidas en Vidrio España:

**Tabla 2.5.3. Tipos y número de hornos de las grandes empresas de vidrio doméstico**

Tipo de horno	Número
Horno eléctrico	2
Horno regenerativo	2

Las cinco empresas integradas en AVIVAL disponen de 17 hornos, aunque en función de las necesidades de producción puede encontrarse alguno de ellos en parada. Se trata de hornos de bucle y transversales, ambos con recuperadores metálicos. La temperatura a la que operan estos hornos es algo menor (entre 1.430 y 1.550°C) debido a la utilización del 100% de casco de vidrio reciclado.

Las etapas de conformado, enfriamiento, transformación, tratamientos secundarios, acabados, etc., son específicas de cada tipo de vidrio doméstico.

## 2.1. Conformado

El grado de automatización en la fabricación de vidrio doméstico es muy alto. En función del producto y la automatización del proceso, el conformado, en moldes puede realizarse por prensado, prensado-soplado y centrifugado. En las empresas con menor capacidad de producción coexisten la fabricación automática con otras técnicas más artesanales como el soplado semiautomático y el soplado manual.

Una característica común a todos los procesos de fabricación de vidrio doméstico es el sistema de alimentación mediante gotas de vidrio. El vidrio fundido procedente del horno pasa al alimentador a través de un canal de material refractario; al pasar por estos canales, el vidrio se enfriá algunas decenas de grados en su primer tramo y luego sigue avanzando calentado por una serie de quemadores que lo mantienen a una temperatura constante hasta su descarga en los moldes a través del alimentador de gotas.

Este sistema de alimentación permite suministrar una serie continua de gotas de vidrio fundido, iguales en peso y en forma, a la máquina formadora. El control de la forma, el peso y velocidad de goteo, depende de la viscosidad. Por ello, el control de la temperatura debe ser muy riguroso. El mantenimiento de la temperatura se consigue aportando energía, bien eléctrica (en el caso de vajillas y producciones especiales), bien mediante la combustión de gas natural o propano.

### *Proceso de prensado*

El prensado es un proceso automático donde la conformación de la pieza en molde se realiza por prensado del vidrio fundido mediante punzón. Las máquinas, totalmente automáticas y utilizadas para grandes y pequeñas producciones, suelen ser de tipo rotativo y funcionan con alimentadores a gotas.

### *Proceso de prensado-soplado*

El proceso de prensado-soplado, fijo o girado, también es un proceso automático. Las etapas de las que consta son:

- a) Etapa 1. Conformación de la pieza en el molde preliminar por prensado.
- b) Etapa 2. El preformado recibe su forma definitiva por soplado en un molde de acabado. Existen dos métodos diferentes:
  - o La preforma es trasladada al segundo molde para ser soplada.
  - o La preforma permanece fija y es el molde de acabado el que se traslada hasta aquélla. Este método es el más empleado y el que ha servido como punto de partida para el desarrollo de máquinas automáticas de fabricación más modernas, como las Pöintg, Lynch JP y Hartford M28.
- c) Etapa 3. Recorte del "cuello" sobrante de la pieza.

### *Proceso de centrifugado para la fabricación de vidrio de mesa*

El centrifugado es ampliamente utilizado para la fabricación de platos y otras piezas de vajilla de mesa y objetos artísticos.

El conformado por este proceso consiste en:

- a) Etapa 1. Recoger la gota de vidrio procedente del sistema de alimentación sobre un molde que gira.
- b) Etapa 2. El vidrio fluido se proyecta por acción de la fuerza centrífuga contra las paredes del molde y se conforma con espesor constante que depende de la velocidad.

Las principales ventajas que ofrece este método son la uniformidad en el espesor de las piezas y, sobre todo, la excelente textura de su superficie superior virgen de todo contacto mecánico.

## **2.2. Segunda transformación y acabados**

Dentro de este punto se incluyen sólo aquellas operaciones de acabado que se realizan en algunos procesos como son tratamientos superficiales, corte, etc.

### **2.2.1. Requemado**

Tras la conformación del vidrio, los artículos pueden ser sometidos a la operación de requemado, destinada a eliminar los rebordes cortantes del vidrio.

### **2.2.2. Recocido y/o templado**

Después del conformado o moldeado de las piezas para adquirir la forma definitiva, se las somete a un proceso de enfriamiento, etapa crítica en el proceso ya que se requiere que el vidrio pase de un estado plástico a un estado rígido con la suficiente lentitud para que su estructura se relaje de forma uniforme, liberándose de tensiones mecánicas residuales, y adquiera en todos sus puntos el mismo volumen específico.

Tanto el templado como el recocido son dos métodos de control de tensiones del vidrio. En función del producto se hará un templado, que consiste en un enfriamiento rápido que genera una capa a compresión que aumenta la resistencia mecánica ("vidrios irrompibles"), o un recocido en el que el enfriamiento se hace de forma mucho más lenta para conseguir una homogeneidad estructural en toda la pieza.

### *2.2.3. Tratamientos superficiales*

Durante la fabricación del vidrio se aplican ciertos tratamientos para mejorar su comportamiento (aumentando su resistencia mecánica y previniendo la aparición de microfisuras en la superficie y su rayado por roces) y/o para evitar la exudación del vidrio (migración del sodio a la superficie). Estos tratamientos superficiales se aplican a la salida de la máquina de conformado ("en caliente"), a la salida del archa de recocido y antes del proceso de control y empaquetamiento ("en frío"). En la práctica se emplean precursores de óxidos de estaño y titanio en caliente y ácidos oleicos y polímeros aplicados mediante pulverización de una suspensión acuosa en frío.

### *2.2.4. Otras operaciones de acabado*

Las operaciones típicas de acabado en los productos de vidrio doméstico son la soldadura (proceso térmico para la unión de diferentes piezas que conforman un producto) y los decorados (utilizando diversos recubrimientos y tratamientos como los esmaltes o calcomanías). En este tipo de operaciones suele generarse una cantidad importante de residuos sólidos.

## **3. NIVELES ACTUALES DE EMISIONES Y CONSUMOS DE ENERGÍA Y MATERIAS PRIMAS**

El vidrio doméstico es, además de una actividad intensiva en energía como el resto de la industria del vidrio, un subsector muy diverso con una amplia gama de productos a partir de diferentes composiciones y tipos de horno. Por ello, existe una gran variedad en los consumos y emisiones derivados de sus procesos.

La etapa con mayor importancia medioambiental es la fusión, en la que se producen elevados consumos de energía y la mayor parte de las emisiones gases y partículas a la atmósfera. En la fabricación de vidrio doméstico, también las etapas posteriores de conformado y acabado son importantes desde el punto de vista energético. Además, el consumo de materias primas supone un aspecto medioambiental relevante en el conjunto del proceso.

En la Tabla 2.5.4 se resumen los principales aspectos medioambientales de los procesos de fabricación del vidrio doméstico:

Tabla 2.5.4. Aspectos medioambientales de la fabricación de vidrio doméstico por etapas

Etapa	Categoría de aspectos medioambientales	Aspectos medioambientales
Recepción, Molienda y Mezcla de Materias Primas	Consumo Recursos	<u>Materias primas</u> : arena silícica, casco de vidrio propio, carbonato sódico y potásico, caliza, dolomía, sulfato sódico, alúmina, feldespatoídes, nitratos, bórax, compuestos metálicos (Cr, Fe, Co, Cu, Mn, Ni, Se, Zn, Ce, Pb, Sn, Ab), compuestos de flúor, cloruros metálicos orgánicos e inorgánicos de estaño y de titanio, ácido oleico. <u>Gases para el proceso</u> : oxígeno (en caso de que se utilice) e hidrógeno. <u>Agua</u> : humidificación, mezclas y lavado (si existe). <u>Energía</u> : eléctrica (mezcladoras, transportadores, pesada, clasificación).
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación del agua	Aguas residuales de lavado con metales (si existe).
	Residuos	Derrames, pérdidas, rechazos, envases y embalajes, partículas de los sistemas de aspiración.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Fusión	Consumo Recursos	<u>Aqua</u> : refrigeración de hornos. <u>Energía</u> : combustibles fósiles y/o energía eléctrica (85% total proceso).
	Contaminación atmosférica	Volátiles, $SO_x$ , $CO_2$ , $NO_x$ , F, Pb, B, HF, HCl, CO, pérdidas por evaporación.
	Contaminación del agua	Aguas residuales procedentes de purgas y pérdidas de los sistemas de refrigeración que contienen sales disueltas y sustancias para el tratamiento del agua.
	Residuos	Polvos de los conductos (sulfatos y otros), refractarios, restos de vidrio, infundidos, desmantelamiento de los hornos.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Conformado + Recocido/Templado + Decorados +Acabados	Consumo Recursos	<u>Materias primas auxiliares</u> : para tratamientos superficiales. <u>Aqua</u> : refrigeración. <u>Energía</u> : normalmente consumo de energía eléctrica.
	Contaminación atmosférica	Vapores, emisiones difusas: HCl, HF (vidrio opal), compuestos de Sn (gas y partículas en los tratamientos en caliente).
	Contaminación del agua	Aguas residuales con restos de vidrio, partículas, algo de aceite, sustancias para el tratamiento de aguas. Purgas, pérdidas.
	Residuos	Casco reciclable, derrames y pérdidas, residuos de recubrimientos superficiales.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Embalaje y Almacenamiento	Consumo Recursos	<u>Energía</u> : energía eléctrica.
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación del agua	Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, etc.
	Residuos	Envases y embalajes de materias primas, rechazos, derrames, pérdidas.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Operaciones de mantenimiento y limpieza	Consumo Recursos	<u>Energía</u> : energía eléctrica. Materias auxiliares (aceites y grasas, etc.)
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación del agua	Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, aceites, otros.
	Residuos	Rechazos y derrames en general, lodos de depuradoras, aceites.
	Ruido	Emisiones de ruidos.

### 3.1. Consumo de recursos: Materias primas

Las composiciones tipo del vidrio doméstico se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 2.5.5. Composición tipo del vidrio doméstico*

Vidrio/óxidos (%)	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO+MgO	BaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	Otros
Vidrio opal	60-80	1,5-3,5	12-15	0,5-3	0,2-2,5	0,2-17,5	0,1-0,5	F: 3-5
Vidrio transparente	60-80	-	12-15	10-14	-	1-2,5	-	K <sub>2</sub> O: 1,5

La composición varía mucho dependiendo del tipo de vidrio doméstico. Para composiciones de tipo sódico-cálcico los porcentajes de los principales óxidos, SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O y CaO, varían entre el 71-73%, 12-14% y 10-12% respectivamente.

Los vidrios domésticos opales suelen tener una composición formada por óxidos de silicio, sodio, potasio, calcio, aluminio y con unos contenidos de flúor del 4%.

En general, en la fabricación de vidrio para uso doméstico, los porcentajes de casco varían mucho según los procesos. En las industrias que fabrican vidrio de composición, el porcentaje de casco de vidrio incorporado supone por término medio el 30%, tratándose en su mayor parte del producido en las propias instalaciones. En otros casos, el porcentaje de casco de vidrio supone el 100%, correspondiendo a casco tanto interno como externo.

Las principales materias primas utilizadas en la fabricación de vidrio doméstico se recogen en el siguiente cuadro:

*Tabla 2.5.6. Materias primas utilizadas en la fabricación de vidrio doméstico*

Materia prima	Fuente
Materias primas formadoras de vidrio	Arena silícica, casco de vidrio.
Materias primas modificadoras	Nefelina, sienita, carbonato sódico, carbonato potásico, caliza, dolomía, sulfato sódico, álumina, nitrato sódico, nitrato potásico, bórax, arsénico, óxido de plomo, compuestos de flúor y de antimonio.
Materias primas colorantes y otros aditivos	Cromita férrica, óxido de hierro, óxido de cobalto, Se/Zn, cerio.
Productos para recubrimientos	Cloruros metálicos orgánicos e inorgánicos: tetracloruro de estaño, tetracloruro de titanio, etc.
Productos lubricantes	Ácido oleico, etc.
Otros materiales consumidos	Materiales de embalaje: plásticos, papel, cartón, madera. Aceites lubricantes. Gases para el proceso: oxígeno e hidrógeno. Productos para pulido: HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaOH. Productos para decoraciones, esmaltes, arenas, etc.

En la siguiente tabla se cuantifica el consumo de los principales materiales por tonelada de vidrio fundido:

**Tabla 2.5.7. Consumo específico de las principales materias primas**

SUSTANCIA	CONSUMO (t/t Vº Fº)
Arena	0,2 - 0,6
Carbonatos (potásico, dolomía, bárico, sódico, caliza,)	0,05 - 0,4
Nitrato sódico, alúmina, sulfato sódico	0,01 - 0,03
Decolorantes y otros aditivos (óxido de Zn, óxido de Ce)	0,03 - 0,9
Compuestos fluorados (fluosilicato sódico, criolita) y otras materias (Neobor)	0,06 - 0,08
Casco de vidrio (interno)	0,1 - 0,6

Fuente: Vidrio España, 2005.

### 3.2. Consumo de recursos: energía y agua

#### 3.2.1. Consumo de agua

Uno de los usos más importantes del agua en la fabricación de vidrio doméstico es la refrigeración de los equipos. Estos sistemas funcionan normalmente en circuitos cerrados donde se reponen las pérdidas por evaporación.

**Tabla 2.5.8. Características del consumo de agua en la producción de vidrio doméstico**

CONSUMO DE AGUA	PRINCIPALES OPERACIONES CONSUMIDORAS DE AGUA
Consumo específico por t de vidrio fundido: 2-5 m <sup>3</sup> /t Vº Fº	Refrigeración ( fusión y conformado). Limpieza y refrigeración equipos. Usos sanitarios

#### 3.2.2. Consumo de energía

La fabricación de vidrio doméstico es un proceso intensivo en energía. La principal fuente de energía son los combustibles fósiles, utilizados en las etapas de fusión, alimentación, conformado, recocido, temple, acabado y acondicionamiento de las cargas. La electricidad se consume fundamentalmente en las máquinas de conformado, aire comprimido, transporte de materiales, en algunos procesos de calentamiento, como apoyo en la fusión, en sistemas de fusión mixtos, etc., aunque también puede ser la principal fuente de energía en la fusión (hornos eléctricos).

La distribución de consumos de energía dentro del subsector de vidrio doméstico se muestra en la tabla 2.5.9.

En las empresas de fabricación de vidrio doméstico con mayor capacidad de producción, el consumo energético puede ser más importante en las líneas posteriores a la fusión que en el propio horno. Así, la relación de consumo entre el horno y el resto de las etapas suele ser del 50/50, pero puede llegar a representar el 40/60. Como valor medio, el consumo de los hornos eléctricos en la fabricación de vidrios sodocálcicos es de 1-4 GJ/t Vº Fº.

**Tabla 2.5.9. Distribución del consumo energético en las industrias de mayor capacidad de producción fabricantes de vidrio doméstico**

Subsector	Fuente de energía	Distribución de consumos (MWh/año)	Porcentaje con respecto al total del consumo energético (%)	Consumo específico (MWh/t Vº Fº)
Vidrio doméstico	Energía Eléctrica	Horno eléctrico: 26.200	≈ 50	0,43
		Resto Planta: 30.400	≈ 50	0,50
	Gas Natural	Horno: 69.300	≈ 40	1,14
		Resto planta: 87.000	≈ 60	1,43

Fuente: Vidrio España, 2005.

En las empresas de menor capacidad de producción, por el contrario, la etapa de fusión es la principal consumidora de energía (gas natural y, en campañas puntuales, fuel) y supone, junto con el conformado y los canales de alimentación, el 80% del total. El 20% restante corresponde a las arcas de recocido. El consumo de gas natural es de 278.172 MWh/año (94% del total de la energía consumida), mientras que el de electricidad es de 19.167 MWh/año.

Los consumos específicos por producto van a depender del tipo de materia prima utilizada, la forma y peso de la pieza a fabricar, la calidad del vidrio, los equipos utilizados, etc. En el siguiente cuadro se muestran los consumos específicos dentro del subsector del vidrio doméstico:

**Tabla 2.5.10. Consumos específicos por tonelada de vidrio fundido**

Energía no eléctrica	5-14 (9) GJ/t Vº Fº
Energía eléctrica	1-4 (2,5) GJ/t Vº Fº

Fuente: Vidrio España, 2005.

En el caso de las empresas de menor capacidad de producción, las tiradas de producto suelen ser cortas, siendo necesario realizar como mínimo un cambio de producto al día, por lo que la eficiencia energética es menor que en las empresas con grandes tiradas de un mismo producto.

### 3.3. Emisiones atmosféricas

Como en el resto de los vidrios, en la fabricación de vidrio doméstico el principal aspecto medioambiental son las emisiones generadas durante la fusión. En el siguiente cuadro se resumen valores de emisiones medios de los contaminantes más importantes emitidos en condiciones normales para el subsector de vidrio doméstico:

**Tabla 2.5.11. Emisiones generadas en la fusión <sup>(a)</sup>**

Producción	Caudal seco	O <sub>2</sub>	Partículas totales <sup>(b)</sup>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	HF	HCl
Vidrio transparente									
t/día/horno	Nm <sup>3</sup> /h	%	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
70-140	10.000-25.000	12-15	100-130	5-60 (gas) 2.000-2.500	500-4.000	138.000-150.000	2-25	< 30	< 50
Vidrio opal									
t/día/horno	Nm <sup>3</sup> /t Vº Fº	%	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº
80-90	100-200	20	< 0,20	-	0,30-2	-	< 0,05	< 0,05	< 0,01

Fuente: Vidrio España, 2005.

(a) En este caso se evalúa el comportamiento de emisiones en términos de emisiones específicas de masa (kg/t Vº Fº).

(b) Prácticamente la totalidad de las partículas emitidas pueden ser consideradas como PM<sub>10</sub>.

Las emisiones de metales (incluyendo el plomo) están por debajo de  $< 5 \text{ mg/Nm}^3$ , en el caso de los vidrios sodocálcicos, y entre 0,05-0,5 (0,0001-0,035 kg/t Vº Fº) en vidrios con plomo. El resto de sustancias no presentan emisiones significativas en vidrio doméstico.

### 3.4. Residuos

La característica principal del sector es que prácticamente la totalidad de los residuos de vidrio generados durante el proceso, pueden ser reutilizados en el mismo. El resto de residuos proceden de operaciones de manipulación de materias primas, sistemas de depuración y captación de partículas, sistemas de filtrado de los gases y residuos de sulfatos en los hornos.

Normalmente, al final de la campaña de un horno, la totalidad de la estructura compuesta por material refractario es desmantelada y reemplazada. Estas operaciones pueden producir cantidades importantes de residuos (entre 500 y 2.000 t, dependiendo del tamaño de los hornos) que pueden ser mínimamente valorizados.

En cuanto a los residuos procedentes de embalajes, operaciones de mantenimiento, etc., no suponen grandes problemas ya que normalmente son reutilizados, reciclados o gestionados de forma adecuada según los casos.

La producción de residuos por tipo en el subsector español se resume en el siguiente cuadro:

**Tabla 2.5.12. Generación de residuos**

Tipos de residuos generados en las instalaciones de vidrio doméstico	t/año	Clasificación/tipo de residuo	Gestión
Chatarra metálica	30-80	No peligroso	Reutilización
Papel y cartón	50-160	No peligroso	Reutilización
Lodos de depuradora	20-60	No peligroso/Peligroso	Vertedero
Aceites usados	2-6	Peligroso	Gestor autorizado/Reutilización
Bidones plásticos/metálicos	1-5	Peligroso/No peligroso	Gestor autorizado
Residuos pinturas	0,8-2	Peligroso	Gestor autorizado
Otros bidones (tratamiento en caliente)	0,5-2	Peligroso	Gestor autorizado
Sulfatos cámaras	1,2-4	Peligroso	Gestor peligroso
Plásticos	40-100	No peligroso	Vertedero/Reciclaje
Emulsiones con aceites	1-2	Peligroso	Gestor autorizado
Otros (maderas, residuos de operaciones de mantenimiento, etc.)	1-2	No peligroso/Peligroso	Vertedero
Refractarios y aislantes cambiados en hornos	1-3	Peligroso/Inerte	Vertedero inerte/ de seguridad

### 3.5. Ruido

Las emisiones de ruido se producen principalmente en los sistemas de alimentación de las materias primas y en los hornos.

### 3.6. Vertidos de aguas residuales

Como se ha comentado anteriormente, los principales usos del agua en la fabricación de vidrio son la refrigeración de equipos y el enfriamiento de los rechazos de vidrio caliente. En menor medida, la limpieza, la humidificación de la mezcla y el uso sanitario.

De los usos anteriores, los vertidos de aguas residuales que se generan son:

- Purgas del sistema de refrigeración en circuito cerrado, que contienen sales disueltas y productos químicos procedentes del tratamiento del agua. La mayor parte de las pérdidas que se dan en este circuito son por evaporación y arrastre en torres de refrigeración.
- Aguas sanitarias procedentes de servicios y duchas.

En general, las sustancias y límites de vertido de las mismas, deben estar especificadas en las autorizaciones de vertido otorgadas por las administraciones competentes. Normalmente los parámetros que se controlan son de tipo físico (temperatura, color, etc.) y químico (pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, etc.). En general, está prohibido el vertido a cauce de todas aquellas sustancias que no estén incluidas expresamente en la autorización de vertido. (Artículo 100 del texto refundido de la Ley de Aguas: *“Queda prohibido con carácter general, el vertido directo o indirecto de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del Dominio Público Hidráulico, salvo que se cuente con la previa autorización administrativa”*.) No obstante, es recomendable que las instalaciones hagan al menos una analítica completa de sus vertidos teniendo en cuenta las sustancias contaminantes y los requisitos incluidos en las nuevas normativas de información ambiental (Registros EPER y E-PRTR), de cara a identificar todas las sustancias que son emitidas por la instalación.

## 4. TÉCNICAS UTILIZADAS Y MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES EN LA INDUSTRIA DE VIDRIO DOMÉSTICO

Las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) constituyen una de las herramientas que se contemplan para la protección del medio ambiente tanto en la Ley 16/2002, de 1 de julio, como en la Directiva 96/61, de 24 de septiembre. De acuerdo con la definición dada en el artículo 3, párrafo ñ) de la Ley 16/2002, una MTD es:

*“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 posible, reducir en general las emisiones y el impacto en conjunto del medio ambiente y de la salud de las personas”*.

También se entenderá por:

- *“Técnicas, la tecnología utilizada, junto con la forma en que la instalación está diseñada, construida, mantenida, explotada o paralizada”*.
- *“Disponibles, las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del correspondiente sector industrial, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en España, 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 y de la salud de las personas."*

Además, para considerar una técnica como Mejor Técnica Disponible, deben tenerse en cuenta los criterios establecidos en el anexo 4 de la Ley 16/2002, entre los que se destacan los siguientes:

- Uso de técnicas que produzcan pocos residuos.
- Uso de sustancias menos peligrosas.
- Desarrollo de técnicas de recuperación y reciclado de sustancias generadas y utilizadas en el proceso.
- Procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento comparables y positivos a escala industrial.
- Avances técnicos y evolución de los conocimientos científicos.
- Carácter, efectos y volumen de las emisiones de que se trate.
- Plazos de implantación.
- Consumo y naturaleza de los recursos utilizados.
- Medidas de eficiencia energética.
- Impacto global y riesgos al medio ambiente.

Así, las mejores técnicas disponibles son aquellas que no generan emisiones o, si esto no es posible, minimizan al máximo las mismas así como sus efectos sobre el medio ambiente. Como norma general, son las medidas de tipo primario las que deberían considerarse como tales, ya que son las técnicas que reducen las emisiones en la fuente de origen, mientras que las técnicas secundarias corrigen la contaminación producida y deberían aplicarse cuando aquéllas no permiten alcanzar los niveles de eficiencia ambiental requeridos.

La adopción de una MTD es muy variable en función de las particularidades de cada instalación. La fabricación de vidrio no es una ciencia exacta, por lo que la aplicación de una misma técnica en instalaciones similares no produce los mismos resultados. Pero, además, la aplicación de soluciones similares para problemas parecidos, está muy condicionada por las características locales propias de cada planta o instalación.

La viabilidad técnica y económica de determinadas técnicas implica muchas veces la paralización de los procesos. En este sector, es muy importante la consideración de los plazos en la implantación de determinadas medidas o técnicas, sobre todo cuando éstas suponen un cambio de tecnología importante, de equipamiento o modificaciones sustanciales de las instalaciones (cambio de combustible, oxicombustión, etc.). Este tipo de adaptaciones y modificaciones sólo pueden llevarse a cabo, en los períodos de reconstrucción de los hornos, coincidentes con el final de su vida útil. Se debe tener en cuenta, además, que el coste de aplicación de una técnica determinada depende de las características concretas de cada instalación, aspecto que es difícil contemplar de forma exhaustiva en documento como éste. Los datos que se ofrecen al respecto tienen carácter orientativo y corresponden a la experiencia del subsector.

El proceso de fabricación de vidrio doméstico es un proceso energético. El consumo de energía es uno de los principales problemas de la industria. Por este motivo se ha incidido preferentemente sobre este factor introduciendo una serie de mejoras que, además de reducir los consumos y los costes asociados, actúan sobre la reducción de las emisiones en origen.

Las técnicas descritas en esta sección pueden considerarse como las más apropiadas para el subsector de vidrio doméstico. En cuanto a los datos y niveles de emisiones que se recogen y que se asocian a las “mejores técnicas disponibles”, deben entenderse como niveles de emisión esperables, con las limitaciones expresadas en párrafos anteriores y en el horizonte temporal de la normativa IPPC.

Los “niveles asociados a MTD” no son en ningún caso valores límite de emisión y, por tanto, no deben asimilarse a tales. La decisión sobre los límites que deben aplicarse a cada instalación es responsabilidad de la autoridad medioambiental competente que, además de las técnicas consideradas como MTD, tiene que tener en cuenta aspectos tales como:

- Las características de la instalación (si es nueva o ya existente).
- La localización geográfica.
- Medidas adicionales de calidad ambiental locales o regionales.

Es importante remarcar que los valores de emisión asociados incluidos en los Documentos BREF, son valores de referencia asociados a una mejor técnica en las condiciones óptimas de funcionamiento, que no siempre son alcanzables en regímenes reales de operación. Los BREF no tienen rango legal, pero son una herramienta muy útil para la industria y la administración ambiental.

También hay que tener en cuenta que una única técnica o MTD, primaria o secundaria, puede no ser aplicable para reducir todos los contaminantes emitidos por un foco de emisión o, en su caso, para alcanzar los niveles de emisión exigidos. Por ejemplo, el uso de determinados filtros reduce la emisión de partículas, pero implica la generación de residuos que deben ser gestionados adecuadamente y el aumento del consumo de energía en la instalación.

Al final, en el balance medioambiental para la adopción de una u otra solución, deben tenerse en cuenta todos estos factores y valorar el peso relativo de cada uno de ellos. Dependiendo de la ubicación, de las características de la instalación e incluso de los objetivos en políticas medioambientales, así serán las soluciones finales que deben aplicarse en cada caso.

En los apartados siguientes se describen las técnicas aplicadas y la consideradas como MTD para el subsector de vidrio doméstico.

#### 4.1. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones

##### 4.1.1. Etapa: Recepción, mezcla y dosificación de materias primas

###### Técnicas primarias

**Tabla 2.5.13. Almacenamiento de sólidos pulverulentos en silos cerrados**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Las materias primas que se consumen en grandes cantidades se almacenan en silos cerrados ventilados a través de equipos de recogida y eliminación de polvo.

Aspectos ambientales	Reducción de emisiones de partículas. Eliminación de la contaminación de aguas pluviales por arrastre de materiales almacenados a la intemperie. Eliminación de la contaminación del suelo por lixiviación.
Inconvenientes	Importantes necesidades de espacio
Cuándo se aplica	Construcción del área de almacenamiento y composición
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : ≈ 55% Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : No aplicable (no se utiliza este tipo de materias primas)

(a) En función del número de instalaciones

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.14. Almacenamiento del casco de vidrio en zonas cubiertas**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	NO
Descripción técnica	El vidrio reciclado que se utiliza como materia prima se almacena en zonas cubiertas.
Aspectos ambientales	Al evitar que el vidrio se moje por efecto del agua de lluvia, se evita un mayor consumo de energía en la fusión.
Inconvenientes	Importantes necesidades de espacio
Cuándo se aplica	Construcción del área de almacenamiento
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 100% Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 60%

(a) En función del número de instalaciones existentes

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.15. Almacenamiento cubierto de materias primas auxiliares**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	Sí
Descripción técnica	Las materias primas auxiliares de menor consumo se recepcionan en sacos o contenedores herméticos. Estos envases se almacenan en áreas cubiertas en el interior de las instalaciones con medidas de contención de derrames (bandejas de recogida, cubetas, etc.).
Aspectos ambientales	Reducción de emisiones de partículas. Eliminación de la contaminación de aguas pluviales por arrastre de materiales almacenados a la intemperie. Eliminación de la contaminación del suelo por lixiviación.
Inconvenientes	Importantes necesidades de espacio
Cuándo se aplica	Construcción del área de almacenamiento y composición
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 100% Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : no aplicable (estas instalaciones no disponen de materias primas auxiliares)

(a) En función del número de instalaciones existentes

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.16. Cubrimiento de las cintas transportadoras de materias primas**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Las materias primas se mueven sobre cintas transportadoras cubiertas
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas (únicamente en el caso de las instalaciones de vidrio doméstico de composición). Al evitar que el vidrio se moje por efecto del agua de lluvia, se evita un mayor consumo de energía en la fusión.
<b>Inconvenientes</b>	Dificulta la vigilancia y el mantenimiento de las cintas
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 100% Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 60%

(a) En función del número de instalaciones existentes.

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.17. Acondicionamiento de la zona de alimentación del horno**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Introducir diferentes técnicas en la zona de alimentación del horno que permiten controlar las emisiones de polvo: humidificación de la mezcla, alimentadores cerrados, silos de alimentación cerrados, etc.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas
<b>Inconvenientes</b>	La humidificación de la mezcla produce un mayor consumo energético y mayor pérdida de material
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 100% Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : no aplicable (no se utilizan materias pulverulentas)

(a) En función del número de instalaciones existentes.

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.18. Acondicionamiento de los edificios**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Los edificios de composición y las naves de hornos se diseñan con el mínimo de aperturas posible.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de emisiones de partículas (en instalaciones de vidrio doméstico de composición). Reducción de los contaminantes derivados de la combustión al reducir la entrada en el horno de aire parásito (tanto en instalaciones de vidrio doméstico de composición como de vidrio doméstico 100% reciclado).
<b>Inconvenientes</b>	Es necesario asegurar un grado de refrigeración natural y de renovación del aire en el interior de estos edificios
<b>Cuándo se aplica</b>	Construcción del área de almacenamiento y composición y las naves de los hornos
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 100% (edificios de composición y naves de hornos) Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 100% (naves de hornos)

(a) En función del número de instalaciones existentes.

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

#### 4.1.2. *Etapa: Fusión*

##### Técnicas primarias

**Tabla 2.5.19. Hornos regenerativos**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Horno de fusión de vidrio que permite aprovechar la temperatura de los gases de salida (a 1.300°C), para precalentar el aire necesario para la misma.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de energía. Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> .
<b>Inconvenientes</b>	El calentamiento previo del aire de combustión facilita la formación de NO <sub>x</sub> .
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación, reconstrucción o construcción nueva del horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 50% (para vidrios sódicos-cálcicos) Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : No aplicable (la instalación de regeneradores no está justificada económicamente en hornos con capacidad menor a 100 t/día)

<sup>(a)</sup> En función del número de hornos existentes.

<sup>(b)</sup> Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

<sup>(c)</sup> Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.20. Hornos con recuperadores metálicos**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Horno de fusión de vidrio que permite aprovechar la temperatura de los gases de salida (a 550-750 °C), para precalentar el aire necesario para la misma.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de energía. Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> .
<b>Inconvenientes</b>	El calentamiento previo del aire de combustión facilita la formación de NO <sub>x</sub> .
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación, reconstrucción o construcción nueva del horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : No aplica (se utilizan hornos regenerativos o eléctricos) Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 100%

<sup>(a)</sup> En función del número de hornos existentes.

<sup>(b)</sup> Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

<sup>(c)</sup> Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.21. Fusión eléctrica**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Horno de fusión cuya energía es suministrada por calentamiento resistivo a medida que la corriente pasa a través del vidrio fundido. Necesita de combustibles fósiles para templar el horno a principios de cada campaña. Funciona de forma continua y tienen una vida útil de 2-7 años.
<b>Aspectos ambientales</b>	Eliminación de emisiones derivadas de la combustión de los combustibles (SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> térmico, CO <sub>2</sub> , partículas).
<b>Inconvenientes</b>	Aumento del consumo de energía eléctrica. Es rentable en hornos relativamente pequeños. Aumento en el consumo de nitratos para mantener condiciones oxidantes.

<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 50 % (en vidrios opales) Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 0% <sup>20</sup>

- (a) En función del número de hornos existentes.  
 (b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.  
 (c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.22. Aumento progresivo del porcentaje de casco de vidrio como materia prima**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	El vidrio es el único material que puede reintroducirse en el proceso sin que el producto final pierda ninguna de sus propiedades
<b>Aspectos ambientales</b>	<p>Reducción de las emisiones y del consumo energético por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un menor empleo de combustible ya que el vidrio necesita menor energía para fundirse que las materias primas (un 2% de ahorro en energía por cada 10% de vidrio reciclado) y, por tanto, una disminución de las emisiones debidas al combustible.</li> <li>▪ Reducción de la cantidad de materias primas utilizadas y, a su vez, de las emisiones de proceso por descarbonatación (1 t de vidrio reciclado ahorra 1,2 t de materias primas).</li> <li>▪ Minimización del volumen de residuos urbanos.</li> </ul>
<b>Inconvenientes</b>	<p>En el caso de las instalaciones que fabrican vidrio de composición, sólo puede ser utilizado el casco de vidrio interno, por lo que el consumo del mismo está limitado a la "producción" de casco en la propia fábrica. Además, el uso es limitado porque puede afectar a las condiciones y calidad del producto final. En el caso de las instalaciones que utilizan un 100% de casco de vidrio como materia prima, el principal inconveniente es la escasez de vidrio reciclado blanco (sin mezclar) y su alto precio.</p> <p>Además, supone un aumento de los rechazos en la producción debido a que se producen fisuras en el producto más fácilmente.</p>
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 100% (sólo se utiliza casco de vidrio interno) Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 100% (casco interno y externo)

- (a) En función del número de instalaciones existentes.  
 (b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.  
 (c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.23. Boosting eléctrico (apoyo eléctrico)**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Empleo de energía eléctrica en sustitución de parte del combustible fósil para fusión del vidrio
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de combustibles fósiles y, por tanto, de las emisiones de partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> .
<b>Inconvenientes</b>	La cantidad de electricidad para sustituir al combustible fósil viene condicionada por su precio (se estima que es rentable < 5% de la total consumida en el horno en las condiciones actuales).

<sup>20</sup> El empleo de casco de vidrio como materia prima supone una reducción significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas debido a un doble efecto. Por un lado, el uso de casco de vidrio permite un menor consumo de combustibles reduciéndose las emisiones derivadas de la utilización de combustibles fósiles. Por otro lado, al sustituir los carbonatos y sulfatos que constituyen la materia prima por casco, se evitan las correspondientes reacciones de descarbonatación y desulfatación y con ellas las emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>x</sub>.

<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : ≈30% Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 0% <sup>21</sup>

- (a) En función del número de hornos existentes.  
 (b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.  
 (c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.24. Diseños de la geometría del horno**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	La superficie del vidrio es un factor importante en la formación de partículas y otros contaminantes atmosféricos. Los cambios en el diseño del horno intentan mejorar la transmisión energética a través de la masa vitrificable de manera que la temperatura de la superficie del vidrio sea más baja.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de partículas, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> . Reducción del consumo de energía
<b>Inconvenientes</b>	Necesidad de la contratación de una ingeniería altamente especializada en el diseño, construcción, supervisión y puesta en marcha de hornos de fusión de vidrio.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% instalación en la industria española</b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 75%
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 100%

- (a) En función del número de hornos existentes.  
 (b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.  
 (c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.25. Condiciones de llama**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	NO
<b>Descripción técnica</b>	Desde el punto de vista vidriero, la llama debe satisfacer un cierto número de criterios para mejorar la capacidad del fusión y permitir la elaboración de un vidrio de calidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es necesario asegurar una buena cobertura del baño de vidrio por las llamas</li> <li>▪ Es necesario una llama lo más caliente y luminosa posible para aumentar la transferencia térmica por radiación</li> <li>▪ Es necesario controlar el reparto térmico y el carácter oxidante o reductor de la llama, con el fin de dominar los fenómenos de formación de espuma, la coloración y el afinado del vidrio</li> </ul> En las llamas de difusión, donde la mezcla del comburente y el combustible se realiza en el horno, la impulsión del chorro de combustible es un parámetro importante porque actúa sobre la longitud de la llama. Si el impulso aumenta, la longitud de la zona de combustión aumenta y con ello la formación de NO <sub>x</sub> es más rápida pero más limitada en el tiempo.

<sup>21</sup> El empleo de casco de vidrio como materia prima supone una reducción significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas debido a un doble efecto. Por un lado, el uso de casco de vidrio permite un menor consumo de combustibles reduciéndose las emisiones derivadas de la utilización de combustibles fósiles. Por otro lado, al sustituir los carbonatos y sulfatos que constituyen la materia prima por casco, se evitan las correspondientes reacciones de descarbonatación y desulfatación y con ellas las emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>x</sub>.

Aspectos ambientales	Reducción de NO <sub>x</sub> .
Inconvenientes	<p>El aumento de la impulsión entraña fenómenos secundarios inversos (recirculación de los humos, disminución del tiempo de estancia de los compuestos químicos que conforman el vidrio).</p> <p>Las condiciones de llama dependen del control de la combustión (relación aire/gas). La combustión varía en función de la calidad del gas que llega a las instalaciones.</p>
Cuándo se aplica	En algunos casos puede aplicarse en cualquier momento
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	<p>Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup>: 50% (solo en hornos de gas)</p> <p>Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup>: 75%</p>

(a) En función del número de hornos existentes.

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.26. Sustitución de fuel por gas natural**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	SÍ
Descripción técnica	Reemplazar el fuel por gas natural como energía principal en el horno de fusión de vidrio
Aspectos ambientales	Reducción de la emisión de partículas, SO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> .
Inconvenientes	<p>El uso de gas natural aumenta de manera importante la emisión de NO<sub>x</sub>.</p> <p>La transferencia de calor a la masa vitrificable es más pobre debido a la menor luminosidad de la llama. Por tanto, la necesidad de consumo energético es mayor para alcanzar la temperatura de fusión del vidrio.</p> <p>Tiene un límite en el precio comparado de la termia.</p> <p>Puede reducir la capacidad extractiva del horno.</p>
Cuándo se aplica	Reconstrucción o nueva construcción del horno
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	<p>Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup>: 50% (en los hornos de gas)</p> <p>Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup>: 90%</p>

(a) En función del número de hornos existentes.

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.27. Sellado de las paredes del horno y cámaras**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	SÍ
Descripción técnica	Reduce la entrada de aire parásito que aumentaría la presencia de NO <sub>x</sub> .
Aspectos ambientales	<p>Reducción de la emisión de NO<sub>x</sub>.</p> <p>Reducción del consumo energético.</p>
Inconvenientes	Dificultad de mantener en el tiempo ya que las cámaras sufren procesos de dilatación y contracción por sus propias condiciones de trabajo.
Cuándo se aplica	En cualquier momento
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	<p>Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup>: 50% (en los hornos de gas)</p> <p>Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup>: 75%</p>

(a) En función del número de hornos existentes.

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.28. Reducción de la relación aire/gas a niveles estequiométricos**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	Sí
<b>Descripción técnica</b>	Controlar que la cantidad de aire que se emplea para la combustión del gas sea lo más baja posible
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de NO
<b>Inconvenientes</b>	Dificultad para mantener las condiciones estequiométricos con la información que se maneja actualmente sobre las características del combustible. Si la combustión de gas está por debajo del nivel estequiométrico, la concentración de CO puede aumentar peligrosamente afectando a los refractarios (que se desgastan), dándole un carácter reductor a la atmósfera del horno lo que puede afectar a la calidad del vidrio (grado afinado, color, etc.). Además, al no producirse una oxidación completa del carbono disminuye el rendimiento energético.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 50% (en los hornos de gas) Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 75%

(a) En función del número de hornos existentes.

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.29. Uso de materiales refractarios de elevada eficiencia**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	NO
<b>Descripción técnica</b>	La mejora en los materiales refractarios permite mejorar el aislamiento, reducir las pérdidas de calor del horno y alargar la vida útil del mismo.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción en el consumo energético
<b>Inconvenientes</b>	El aislamiento está limitado por el desarrollo de los materiales interiores del horno.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 100% Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 75%

(a) En función del número de hornos existentes.

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

**Tabla 2.5.30. Sistemas de recuperación de calor**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	NO
<b>Descripción técnica</b>	Mejorar las estructuras internas de cámaras de regeneración y recuperadores metálicos que permiten aumentar el intercambio de calor.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción en el consumo energético.
<b>Inconvenientes</b>	Aumenta la concentración de NO <sub>x</sub> térmico al elevar la temperatura del aire de combustión.
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación total del horno.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	Instalaciones de vidrio doméstico de composición <sup>(b)</sup> : 50% (en los hornos de gas) Instalaciones de vidrio doméstico 100% reciclado <sup>(c)</sup> : 75%

(a) En función del número de hornos existentes.

(b) Se han considerado únicamente las instalaciones con mayor capacidad de producción. El porcentaje de casco de vidrio que utilizan en la composición es aproximadamente del 30%.

(c) Se han considerado las instalaciones con menor capacidad de producción. Utilizan como materia prima 100% casco de vidrio reciclado.

Hay que añadir otras tres técnicas ya implantadas en algunas de las industrias de vidrio doméstico españolas:

- El paso de tres líneas de producción a una única línea en la que se produce y se suelda, ha permitido disminuir el consumo de energía y las emisiones de sustancias contaminantes a la atmósfera.
- En la mayoría de los procesos de fabricación de vidrio doméstico, el combustible de los mecheros utilizados en las líneas para el templado o recocido es gas natural.
- Por último, la utilización de cintas textiles para el transporte de los productos, que soportan mayores temperaturas, permite evitar las emisiones difusas producidas por el calentamiento de las cintas de otros materiales.

Como consecuencia directa de todas las actuaciones enumeradas en este apartado, se consigue mejorar el comportamiento medioambiental mediante la reducción en origen de las emisiones de contaminantes durante la fusión.

#### 4.1.3. *Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones al agua*

En general, este subsector, de forma similar al resto, tiene emisiones al agua poco significativas. Los principales usos son para sistemas de refrigeración y limpieza.

**Tabla 2.5.31. Sistemas de refrigeración en circuito cerrado**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SI
<b>Descripción técnica</b>	Instalación de circuitos cerrados para el agua de refrigeración.
<b>Aspectos ambientales</b>	Minimización del consumo de agua y de los vertidos de aguas residuales.
<b>Inconvenientes</b>	Periódicamente es necesario realizar purgas del circuito cerrado que contienen sales disueltas y productos químicos utilizados en el tratamiento del agua, etc.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones existentes.

No obstante, en ciertas operaciones en vidrio doméstico, especialmente en la fabricación de vidrio al plomo, pueden generarse vertidos característicos que han de ser tratados:

- **Operaciones de corte.** Las partículas de vidrio y de materiales de corte pueden ser retiradas mediante técnicas estándar, y el agua recirculada (es necesario realizar purgas).
- **Lavado de piezas.** Las aguas de lavado son ácidas y contienen sulfato de plomo soluble, que puede ser separado mediante técnicas fisicoquímicas (por ejemplo, precipitación con carbonato cálcico, seguido de floculación y coagulación).
- **Lavador húmedo.** El efluente ácido (residuo) ha de ser neutralizado. Alternativamente el ácido hexafluorosilícico puede ser recuperado y vendido como subproducto.

## 4.2. Aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en vidrio doméstico

Es objetivo de este apartado la descripción y evaluación de las Mejores Técnicas Disponibles que son aplicables al subsector de vidrio doméstico. Además de los “niveles asociados a MTD” y las características de cada una de las técnicas, se incluyen variables tan importantes como la aplicabilidad, los impactos ambientales derivados de su uso y los costes de inversión y de mantenimiento asociados. Las valoraciones económicas deben tomarse con carácter orientativo, dado que su coste real depende en gran medida de las condiciones de las instalaciones y no sólo de condicionantes ambientales.

### 4.2.1. Partículas

#### Técnicas primarias

**Tabla 2.5.32. Medidas primarias para la reducción de partículas en la recepción y manipulación de materias primas**

Proceso	Recepción, dosificación y mezcla de las materias primas
Objeto de la MTD	Reducción de las emisiones de partículas
Tipo MTD	Primarias/Secundarias
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Silos cerrados con equipos de eliminación de polvo.</li> <li>▪ Almacenamiento de materias primas finas en contenedores cerrados o sacos herméticos.</li> <li>▪ Almacenamiento de materias primas polvorrientas gruesas a cubierto.</li> <li>▪ Uso de vehículos de limpieza de calzadas y de técnicas de humedecimiento con agua.</li> <li>▪ Transportadores cerrados.</li> <li>▪ Transporte neumático con sistema hermético y filtros.</li> <li>▪ Adición de un porcentaje de agua en la mezcla (del 0-4%).</li> <li>▪ Control de la emisión de polvo en la zona de alimentación del horno: humidificación de la mezcla, creación de una ligera presión negativa dentro del horno, aplicación de aspiración, utilización de alimentadores helicoidales cerrados, cierre de las cámaras.</li> <li>▪ Diseño de las naves con el mínimo de aberturas y puertas y aplicación de cortinas antipolvo o sistemas de aspiración en zonas potencialmente muy polvorrientas.</li> <li>▪ En los almacenamientos de materias volátiles, mantenimiento de las temperaturas lo más bajas posibles.</li> <li>▪ Reducción de las pérdidas de los tanques de almacenamiento a presión atmosférica mediante: pintura para tanques con baja absorción solar, control de temperatura, aislamiento de los tanques, válvulas de presión/vacío (cuando los tanques tengan que soportar fluctuaciones de presión), tratamientos específicos de las emisiones (adsorción, absorción, condensación), llenado subterráneo.</li> </ul>
Aplicabilidad	Se puede aplicar en cualquier instalación.
Resultado obtenido	Reducción de las emisiones de polvo.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	-
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	No se establecen niveles
Inversión (€) (año 2005)	-
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	-

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajos costes de instalación y operación.</li> <li>En el caso de las dosificadoras/básculas y mezcladores, se trata de instalaciones totalmente automáticas y se evitan casi al 100% las emisiones difusas, así como la manipulación directa de sustancias peligrosas por los operarios.</li> </ul>
Desventajas	El transporte por cintas o neumático consume energía y existe la posibilidad de que se introduzcan finos en el horno si no se dispone de sistemas que lo eviten. Además, es necesario aplicar algún tipo de cobertura para proporcionar protección contra el viento y evitar pérdidas sustanciales de material. Los sistemas pueden diseñarse para cerrar el transportador por todos los lados. Cuando se utilice transporte neumático, es importante aplicar un sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.
Limitaciones de aplicación	-
Impactos ambientales	Consumo de energía eléctrica (en transporte por cintas o neumático y dosificadoras/básculas y mezcladoras, si éstas consumen energía). Consumo de agua (en la humidificación de la mezcla y de calzadas).
(a)	Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .
(b)	Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .

### Técnicas secundarias

**Tabla 2.5.33. Electrofiltro**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	<p>El equipo genera un campo electrostático que carga negativamente las partículas circulantes en la corriente de aire, que migran hacia las placas colectoras, cargadas positivamente. Las placas se limpian periódicamente por vibración o golpeteo.</p> <p>Generalmente el sistema requiere un pre-tratamiento de los humos con un agente alcalino con el objeto de neutralizar el gas ácido que puede influir negativamente sobre la filtración y sobre la duración del material del electrofiltro.</p> <p>Si es apropiado, puede operar en conjunción con un sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco.</p>
Aplicabilidad	La principal limitación es su coste, por tanto, sólo resulta económicamente aceptable en el caso de horno con una capacidad productiva de al menos 200-250 t/día de vidrio
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de partículas es del 70-90% y es función de la concentración inicial y el número de campos que compongan el filtro.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	5-30 mg/Nm <sup>3</sup> (< 0,1 kg/t de vidrio fundido)
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	5-30 mg/Nm <sup>3</sup> (< 0,1 kg/t de vidrio fundido)
Inversión (€) (año 2005)	-
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	30 días/año
Estado del arte	Es una tecnología probada a nivel industrial.

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>▪ El polvo recogido puede ser reutilizado en el proceso, en su mayor parte.</li> <li>▪ Menor pérdida de carga con respecto a los filtros de mangas, por lo que los costes operativos son menores.</li> <li>▪ Puede formar parte de un sistema integrado de tratamiento con otros equipos de depuración, por ejemplo, de SO<sub>x</sub>.</li> <li>▪ No se colmatan fácilmente debido a una elevada pérdida de carga o contenido en humedad con respecto a lo que suele ocurrir con un filtro de mangas.</li> <li>▪ Permite la filtración de humos a elevadas temperaturas (350-400 °C) y está más experimentado en el ámbito industrial que los filtros de mangas para dichas temperaturas.</li> <li>▪ Se puede diseñar por etapas de modo que se puedan añadir más campos (con el límite del espacio disponible).</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesita energía eléctrica para su funcionamiento (aprox. &lt; 1% de la energía total consumida en el horno). El coste de esta energía es elevado.</li> <li>▪ El residuo generado no es reutilizable en su totalidad.</li> <li>▪ Es necesario un lavador de gases ácidos previamente. Por tanto, se deben añadir los costes de mantenimiento y operativos de este sistema.</li> <li>▪ Costes importantes de inversión y explotación.</li> <li>▪ Es vital mantener las operaciones del sistema de depuración dentro de las condiciones de diseño. De lo contrario, la eficacia puede bajar considerablemente.</li> <li>▪ Elevadas necesidades de espacio para su instalación, pudiendo llegar a condicionar la capacidad del horno.</li> <li>▪ Puede provocar interferencias en la conducción del horno.</li> <li>▪ Hay que observar las precauciones de seguridad en el uso de equipos de alto voltaje.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En hornos eléctricos y hornos convencionales de menos de 200 t/día, los elevados costes pueden hacer que se elijan otras técnicas alternativas, como los filtros de mangas.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genera una elevada cantidad de residuos (polvo de electrofiltro) no siempre reutilizable en el proceso de fusión. Las características físico-químicas de este residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.</li> <li>▪ Consumo energético elevado para el funcionamiento del electrofiltro y para la extracción de los gases depurados (ventilador).</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 2,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.5.34. Filtro de mangas**

Proceso	Horno de fusión Corte, esmerilado y pulido en seco
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	El sistema consta de membranas textiles permeables al gas que retienen las partículas. El gas fluye del exterior al interior de la manga. El polvo retenido se debe eliminar para evitar pérdidas de carga, mediante flujo inverso, agitación, vibración o aire comprimido. El equipo puede instalarse en algunos casos para funcionar conjuntamente con un lavado ( <i>scrubber</i> ) seco o semiseco para gases ácidos.

Aplicabilidad	<p>La principal limitación son sus costes operativos y la elevada pérdida de carga generada por la retención del polvo, lo que obliga a limitar su aplicación a hornos de baja o mediana dimensión, con unos caudales de humos entre 20.000-30.000 Nm<sup>3</sup>/h.</p> <p>El diseño del filtro debe optimizar el balance entre la pérdida de carga (coste operativo) y el tamaño (coste de inversión). Si la velocidad de filtración es demasiado elevada, la pérdida de carga será grande y las partículas penetrarán y obstruirán el tejido. Si la velocidad de filtración es demasiado baja, el filtro sería eficaz pero muy caro.</p>
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de partículas es del 85-95% en función de la concentración inicial del humo a tratar.
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	Para la etapa de fusión: 10 - 20 mg/Nm <sup>3</sup> (0,025 - 0,05 kg/t de vidrio fundido)
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	Para la etapa de fusión: <10 mg/Nm <sup>3</sup> (<0,025 kg/t de vidrio fundido)
Inversión (€) (año 2005)	-
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	30 días/año
Estado del arte	No es una tecnología de aplicación relevante en los grandes hornos de vidrio.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>▪ Recogida del producto en estado seco.</li> <li>▪ Bajo coste de inversión en las aplicaciones más simples.</li> <li>▪ Suelen estar equipados con sistemas de limpieza automática y sensores de colmatación.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La adherencia al material del filtro hace que la limpieza del filtro sea a menudo difícil. Algunos tipos de polvo son muy difíciles de desalojar, lo que hace que la pérdida de carga sea superior al valor diseñado.</li> <li>▪ Las características que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el material del filtro hace que el precio de las mangas pueda ser elevado.</li> <li>▪ Elevados requisitos de espacio.</li> <li>▪ A menudo se requiere enfriamiento de los gases por debajo del límite superior de resistencia del material del filtro. Los tejidos de filtro convencionales tienen normalmente una temperatura operativa máxima entre 130 y 220 °C y, en general, cuanto mayor es la temperatura operativa, mayor es el coste.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Problemas con el punto de rocío de cualquier sustancia condensable presente (como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o agua): si la temperatura es demasiado baja se produce condensación, lo que provoca obstrucción del tejido.</li> <li>▪ Periódicamente (cada 2-4 años) se requiere la sustitución de las mangas. Si se produce un problema y las mangas se obstruyen o resultan dañadas, el coste de sustitución puede ser alto. Este tipo de problemas suele ocurrir. Sería recomendable realizar una caracterización inicial de los residuos de mangas generados en cada proceso para saber si se trata de residuos peligrosos (código LER: 10 11 15* Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión, que contienen sustancias peligrosas) o no peligrosos (código LER: 10 11 16 Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión distintos de los especificados en el código 10 11 15).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La necesidad de enfriamiento de los humos impide la aplicación del filtro de mangas en el caso de que se deba efectuar posteriormente una desnitrificación de los humos mediante catalizador (SCR). De hecho, esta tecnología se puede utilizar tras el filtro y recalentando el gas residual hasta aproximadamente una temperatura de 350°C.</li> <li>▪ La mayoría de los hornos de vidrio con combustibles fósiles requieren un control de presión sensible y la presencia de un filtro de tejido con una gran pérdida de carga puede hacerlo más difícil.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>

<b>Impactos ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Genera una elevada cantidad de residuos no siempre reutilizable en el proceso de fusión.</li> <li>■ Consumo energético para vencer la pérdida de carga originada en el filtro de mangas.</li> </ul>
(a)	Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .
(b)	Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .
(c)	Factor utilizado para convertir mg/Nm <sup>3</sup> a kg/t V° F°: 2,5 x 10 <sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.5.35. Corte bajo líquido**

<b>Proceso</b>	Corte, esmerilado y pulido
<b>Objeto de la MTD</b>	Reducción de la emisión de partículas
<b>Tipo MTD</b>	Secundaria
<b>Descripción</b>	El agua se utiliza normalmente como refrigerante para el corte y para evitar emisiones de polvo. Cuando las actividades de corte, esmerilado y pulido se realizan sumergidas en un refrigerante líquido, no hay emisiones apreciables a la atmósfera.
<b>Aplicabilidad</b>	-
<b>Resultado obtenido</b>	No se producen emisiones de partículas
<b>Nivel asociado a MTD</b> <sup>(a)</sup>	Fluoruros: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Partículas: < 10 mg/Nm <sup>3</sup> Metales (Grupo I + II): < 50 mg/Nm <sup>3</sup>
<b>Nivel BREF</b> <sup>(b)</sup>	Fluoruros: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Partículas: < 10 mg/Nm <sup>3</sup> Metales (Grupo I + II): < 50 mg/Nm <sup>3</sup>
<b>Inversión (€) (año 2005)</b>	-
<b>Costes operativos (€/año)</b>	-
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	-
<b>Estado del arte</b>	-
<b>Ventajas</b>	Reducción de las emisiones de partículas
<b>Desventajas</b>	En el sistema de eliminación puede ser necesario un eliminador de neblinas.
<b>Limitaciones de aplicación</b>	-
<b>Impactos ambientales</b>	Se genera una corriente de agua contaminada.

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

En relación con las MTD para la reducción de las emisiones de partículas, el Documento BREF indica que algunos representantes de la industria del vidrio pertenecientes al grupo de trabajo consideran que las técnicas secundarias, aunque más eficaces, tienen un coste mucho mayor que las primarias, lo que puede justificar que no se apliquen. Parece ser que esto es especialmente relevante para los hornos de vidrio sodocálcico de pequeña capacidad que ya consigan niveles relativamente bajos de polvo y de metales.

#### 4.2.2.- NO<sub>x</sub>

[Ver Anexo I: "Las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx), principal problemática de la industria del vidrio."]

## Técnicas primarias

Tabla 2.5.36. Fusión eléctrica

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de las emisiones de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Primarias
Descripción	Horno de fusión con energía eléctrica. La energía para la fusión se suministra por calentamiento resistivo gracias a los flujos de corrientes eléctricas que se establecen entre distintos pares de electrodos y que atraviesan el baño de vidrio. Son hornos de cuba rectangular y suelen tener una vida media de 5-10.
Aplicabilidad	Su uso está limitado por los costes de explotación y por algunas consideraciones técnicas.
Resultado obtenido	Se elimina totalmente la emisión de los contaminantes derivados de la combustión.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	< 3 kg/t Vº Fº
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	< 3 kg/t Vº Fº (si se emplea nitrato en la composición)
Inversión (año 2005)	2.000.000-4.000.000 €
Costes operativos (€/año)	Superiores a los hornos convencionales
Tiempos de parada para mantenimiento	No existen paradas programadas de mantenimiento (funcionamiento en continuo hasta el final de la vida útil del horno: 2-7 años).
Estado del arte	Los hornos eléctricos son ampliamente utilizados en el subsector de vidrio doméstico, aunque no se consideran probados a nivel técnico o económico para la producción de vidrio a gran escala (> 300 t/día).
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Eliminación de la emisión de todos los contaminantes derivados de la combustión.</li> <li>■ Mejora de la eficacia energética directa.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Elevados costes de explotación.</li> <li>■ Reducción de la vida útil del horno.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ No es económica y técnicamente viable para la producción de vidrio a gran escala.</li> <li>■ Sólo puede instalarse en la reconstrucción del horno</li> </ul>
Impactos ambientales	Evita la formación de contaminantes derivados de la combustión (partículas, óxidos de carbono, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , HF y HCl).

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

Tabla 2.5.37. Medidas primarias para la reducción de NO<sub>x</sub>

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Primaria
Descripción	<p>Se trata de reducir la emisión de NO<sub>x</sub> mediante las siguientes modificaciones de la combustión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reducción del ratio aire/combustible.</li> <li>■ Reducción de la temperatura del aire de combustión.</li> <li>■ Combustión por etapas.</li> <li>■ Recirculación de los gases de combustión.</li> <li>■ Quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub>.</li> <li>■ Elección del combustible.</li> <li>■ <i>Boosting</i> eléctrico.</li> <li>■ Diseños adecuados de la geometría del horno.</li> <li>■ Posicionamiento y número de quemadores.</li> <li>■ Aumento en el consumo de casco de vidrio como materia prima.</li> </ul>

<b>Aplicabilidad</b>	La principal limitación es la necesidad de implantar una batería de técnicas para conseguir una eficiencia de eliminación relevante y de contar con una ingeniería altamente especializada en el diseño, implantación y puesta a punto de las mismas.
<b>Resultado obtenido</b>	La eficiencia de eliminación puede llegar hasta un 70% en función del número de técnicas que se apliquen y de la concentración de partida de los humos.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup></b>	700-1.500 mg/Nm <sup>3</sup> (1,75-3 kg/t vidrio fundido) (En el caso de que se utilicen cantidades importantes de nitratos en la composición, estos niveles pueden verse algo incrementados)
<b>Nivel BREF <sup>(b)</sup></b>	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-1,75 kg/t vidrio fundido)
<b>Inversión (año 2005)</b>	≈ 2.000.000 €
<b>Costes operativos</b>	≈ 500.000 €/año
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	Dependerá del tipo de medida primaria siendo necesario en algunos casos esperar al final de la vida útil del horno.
<b>Estado del arte</b>	Son medidas ampliamente probadas a nivel industrial.
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajos costes relativos.</li> <li>▪ Se consiguen reducciones sustanciales en las emisiones de NOx para la mayoría de tipos de hornos.</li> <li>▪ Estas técnicas no tienen ningún aspecto medioambiental negativo importante y pueden producir a menudo un ahorro significativo de energía.</li> <li>▪ Las menores temperaturas del horno y el menor consumo energético tienen asimismo como consecuencia menores emisiones globales.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Limitación física debido a que los hornos son de menor volumen.</li> <li>▪ Sólo se puede emplear casco interno y de forma limitada ya que se pueden modificar las condiciones oxidantes del vidrio.</li> <li>▪ Empleo de nitratos como materia prima lo que incrementa aún más las emisiones de NOx.</li> <li>▪ La atmósfera más reductora puede fomentar las emisiones SO<sub>2</sub>.</li> </ul>
<b>Limitaciones de aplicación</b>	La principal limitación es la necesidad de implantar una batería de técnicas para conseguir una eficiencia de eliminación relevante y de contar con una ingeniería altamente especializada en el diseño, implantación y puesta a punto de las mismas
<b>Impactos ambientales</b>	Se incrementa la energía primaria necesaria en el proceso.

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 2,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.5.38. Oxicombustión**

<b>Proceso</b>	Horno de fusión
<b>Objeto de la MTD</b>	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
<b>Tipo MTD</b>	Primaria
<b>Descripción</b>	Combustión basada en la utilización de oxígeno en lugar de aire para quemar el combustible. Al no introducir el nitrógeno del aire se reduce la producción de óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ). El oxígeno debe ser producido por separado.
<b>Aplicabilidad</b>	<p>Su uso en la industria del vidrio se ha visto limitado y la técnica es todavía considerada como una tecnología en desarrollo con un posible elevado riesgo económico.</p> <p>En general, es beneficioso retrasar la instalación hasta la siguiente reconstrucción del horno para potenciar al máximo los posibles beneficios y evitar los problemas previstos.</p>

Resultado obtenido	En general, la eficacia de eliminación se encuentra entre el 70% y el 90% (pudiendo alcanzar una reducción de las emisiones de NO <sub>x</sub> hasta 1-2 kg/t de Vº Fº).
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup> (c)	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-1,75 kg/t vidrio fundido)
Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup>	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-1,75 kg/t vidrio fundido)
Inversión (€) (2005)	-
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	El buen mantenimiento del horno es imprescindible y muy relevante, porque cada fuga influirá significativamente en el NO <sub>x</sub> producido.
Estado del arte	De acuerdo con el Documento BREF, se han llevado a cabo ensayos en el sector de vidrio doméstico que han dado una buena reducción de NO <sub>x</sub> , pero se han observado fenómenos de fuerte espumación en algunos casos, que pueden dar problemas cuando se requieran elevados requisitos de calidad.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ NO<sub>x</sub> bajo.</li> <li>▪ Puede ayudar a reducir las emisiones globales de compuestos volátiles del horno (partículas, fluoruros, cloruros, etc.).</li> <li>▪ Los costes de inversión de los hornos son menores.</li> <li>▪ Son posibles reducciones sustanciales en el consumo de energía en algunas aplicaciones (particularmente cuando se sustituye un horno de recuperación).</li> <li>▪ Cuando los volúmenes de gas residual son reducidos, pueden reducirse los costes de inversión del equipo de eliminación.</li> <li>▪ Potencial de mejora de la producción por m<sup>2</sup> y mejor control del proceso.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento del consumo energético comparado con los hornos de regeneradores a causa del elevado consumo eléctrico que tiene la producción de oxígeno.</li> <li>▪ Puede haber problemas con el desgaste del material refractario.</li> <li>▪ La eficacia de costes varía mucho entre aplicaciones y debe determinarse individualmente.</li> <li>▪ No se reduce el NO<sub>x</sub> de las fuentes no térmicas.</li> <li>▪ La técnica tiene mayor eficacia si se combina con la reconstrucción de un horno.</li> <li>▪ El almacenamiento, producción y uso de oxígeno tienen riesgos inherentes, por lo que hay que hacer los estudios de seguridad pertinentes.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posibles problemas de estabilidad de color del vidrio.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento del consumo energético y por consecuencia de la contaminación global.</li> <li>▪ La producción de oxígeno genera ruido.</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 2,5 x 10<sup>3</sup> (Documento BREF).

### Técnicas secundarias

**Tabla 2.5.39. SNCR (reducción selectiva sin catalizador)**

Proceso	Hornos de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Secundaria

<b>Descripción</b>	Inyección de compuestos amoniacales. En la industria del vidrio sólo se utiliza amoníaco o soluciones acuosas de amoníaco. A temperaturas de 800-1.000°C los óxidos de nitrógeno son reducidos a N <sub>2</sub> . La eficiencia de la reacción depende de diversos factores, como la temperatura, concentración inicial de NO <sub>x</sub> , homogeneidad de la mezcla del reactivo con el gas, ratio amoníaco/NO <sub>x</sub> y tiempo de reacción (se requiere al menos 2 segundos).
<b>Aplicabilidad</b>	Debido a la temperatura a la que es necesario operar, el sistema se aplica más fácilmente a hornos dotados de recuperadores de calor.
<b>Resultado obtenido</b>	La eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> es del 30-70%. El aumento de la eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> aumenta también el riesgo de emisión de amoníaco.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup></b>	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-1,75 kg/t vidrio fundido)
<b>Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup></b>	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-1,75 kg/t vidrio fundido)
<b>Inversión (€) (año 2005)</b>	-
<b>Costes operativos (€/año)</b>	-
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	-
<b>Estado del arte</b>	No disponible
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La SNCR puede conseguir buenas eficacias de reducción de NO<sub>x</sub> si se dan las condiciones de operación adecuadas.</li> <li>■ Bajo coste de inversión en comparación con otras alternativas (SCR).</li> <li>■ No requiere catalizador.</li> <li>■ Bajo consumo energético.</li> <li>■ No requiere de un pretratamiento de filtración de las partículas, dado que el sistema no cuenta con la presencia de un catalizador que puede provocar la deposición de las partículas o su aglomeración.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La inyección de amoníaco dentro del rango de temperatura correcto es esencial, aunque en ocasiones es muy difícil de lograr (particularmente para hornos regenerativos). De hecho, este sistema conlleva una limitación en la producción ajustando los valores de extracción a unos rangos muy delimitados. Al variar la extracción del horno se modifica el intervalo de temperatura a la que se debe efectuar la inyección de amoníaco, con el consiguiente riesgo de emisión de amoníaco (temperatura baja) o aumento de la emisión de NO<sub>x</sub> (temperatura demasiado elevada).</li> <li>■ Una mezcla uniforme del reactivo con el gas a depurar es muy importante y puede ser difícil de lograr.</li> <li>■ Se forma bisulfato amónico que puede causar problemas de incrustación y corrosión.</li> <li>■ Posibles daños en el material refractario de los regeneradores.</li> </ul>
<b>Limitaciones de aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Técnica más fácil de aplicar en hornos recuperativos que regenerativos.</li> <li>■ Su implantación debe esperar a la reparación total del horno.</li> </ul>
<b>Impactos ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se consume y emite amoníaco, cuyo almacenamiento y manipulación plantea problemas medioambientales y de seguridad. De hecho, el almacenamiento de amoníaco en ciertas cantidades puede provocar la aplicación de la normativa SEVESO.</li> <li>■ Fueras del rango de temperatura operativo, pueden producirse emisiones de NH<sub>3</sub> o un aumento de las emisiones de NO<sub>x</sub>. Una temperatura demasiado baja produce desprendimiento de amoníaco y una menor eficacia, si es demasiado alta puede producirse un aumento en las emisiones de NO<sub>x</sub>.</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 2,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

**Tabla 2.5.40. SCR (reducción selectiva con catalizador)**

Proceso	Hornos de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	Se hace reaccionar el NO <sub>x</sub> con amoniaco en un lecho catalítico a la temperatura adecuada. Los catalizadores más habituales son TiO <sub>2</sub> y V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> depositados sobre un sustrato metálico o cerámico. La reacción se da a temperaturas entre 200 y 500 °C, siendo la temperatura óptima de reacción diferente para cada catalizador. Estas temperaturas son inferiores a las requeridas en la SNCR debido a la acción del catalizador.
Aplicabilidad	Es necesario instalar un equipo de control de partículas antes de la unidad de SCR. Generalmente se instala un precipitador electrostático, ya que el uso de filtros de mangas requeriría un recalentamiento posterior de los gases.
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> es del 70-90%
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-1,75 kg/t vidrio fundido)
Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup>	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-1,75 kg/t vidrio fundido)
Inversión (€) (año 2005)	-
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Existen ejemplos dentro de la industria del vidrio y en otros sectores industriales.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alta eficacia de reducción de NO<sub>x</sub>.</li> <li>■ Reduce el NOx de todas las fuentes del horno, no sólo el NOx térmico.</li> <li>■ Puede formar parte de un sistema integrado de control de la contaminación atmosférica.</li> <li>■ Los proveedores suelen ofrecer garantías de eficacia.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ El sistema consume energía de forma considerable.</li> <li>■ Debe instalarse con eliminación de polvo y lavado de gases ácidos, ya que se requieren bajos niveles de partículas y de SO<sub>2</sub>.</li> <li>■ Coste de inversión alto.</li> <li>■ Elevados requisitos de espacio.</li> <li>■ Sigue habiendo dudas razonables sobre las vidas útiles de los catalizadores.</li> <li>■ La temperatura operativa limita las posibilidades de recuperación de calor.</li> <li>■ Puede requerirse enfriamiento para hornos recuperativos.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Uno de los aspectos clave de los costes de SCR es la vida útil del catalizador que puede reducirse significativamente en caso de envenenamiento. Hay aspectos técnicos aún por resolver en algunas aplicaciones. Por ejemplo, en plantas con combustión a fuel-oil existe la posibilidad de envenenamiento del catalizador. Esto también es aplicable a hornos con combustión a gas con elevados niveles de sulfato. Un problema asociado a esta técnica puede ser la formación de bisulfato amónico como consecuencia de la reacción del reactivo con el SO <sub>3</sub> formado, especialmente cuando el combustible contiene elevada concentración de azufre. El bisulfato puede envenenar el catalizador y causar incrustaciones y corrosión de los equipos. Algunas partículas conteniendo metales alcalinos pueden envenenar también el catalizador. Esto implica además que, en muchos casos es necesaria la instalación de un scrubber para gases ácidos.
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se consume y emite amoniaco, cuyo almacenamiento y manipulación plantea problemas medioambientales y de seguridad. De hecho, el almacenamiento de amoniaco en ciertas cantidades puede provocar la aplicación de la normativa SEVESO.</li> <li>■ Fuera del rango de temperatura operativa, pueden producirse emisiones de NH<sub>3</sub> o un aumento de las emisiones de NO<sub>x</sub>. Una temperatura demasiado baja produce desprendimiento de amoniaco y una menor eficacia, si es demasiado alta puede producirse aumento en la emisión de NO<sub>x</sub>.</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

- (b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº: 2,5 x 10<sup>-3</sup> (Documento BREF).

Para el caso de las emisiones de NO<sub>x</sub>, el Documento BREF reconoce que los niveles de eficacia de algunas de las MTD consideradas (medidas primarias, 3R/Recombustión, oxicombustión, SNCR y SCR) no representan una mejora significativa sobre la eficacia actual para muchas instalaciones, por lo que representarían propuestas a medio plazo.

Además, para los procesos que utilicen gran cantidad de nitratos en la mezcla, los niveles de emisión asociados a estas MTD, pueden ser difíciles de conseguir sin eliminación secundaria. Si el uso de nitratos es infrecuente o los costes de medidas secundarias no son viables, se podría considerar que el nivel de emisiones asociado con las MTD fuera inferior a 1.500 mg/Nm<sup>3</sup> (< 3 kg/t Vº Fº).

Por último, es destacable que:

- En cuanto a las técnicas primarias, es necesario utilizar una combinación de las existentes para alcanzar los niveles asociados indicados en las tablas correspondientes.
- En la implantación de las MTD primarias, se debe tener en cuenta que su eficacia no es estable en el tiempo, pudiendo variar las emisiones de NO<sub>x</sub>.

#### 4.2.3. Otras emisiones

##### Técnicas primarias

**Tabla 2.5.41. Modificación/selección de materias primas**

Proceso	Fusión
Objeto de la MTD	Reducir la emisión de HCl, HF y metales
Tipo MTD	Primaria
Descripción	Sustitución por otras materias primas o materiales cuyos efectos en las emisiones al aire sean menores que con las utilizadas habitualmente. Se puede usar en combinación con el lavado de gases ácidos, para eliminar el SO <sub>x</sub> .
Aplicabilidad	Se consideran generalmente aplicables a todas las partes de la industria, aunque los resultados pueden ser diferentes en función de la planta en que se apliquen. Su aplicabilidad está en función de la existencia de materias alternativas, su precio y su disponibilidad, y de las características del producto final.
Resultado obtenido	Reducción en las emisiones de HF, HCl y metales.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	Cloruros (expresados como HCl): < 30 mg/Nm <sup>3</sup> Fluoruros (expresados como HF): < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales grupo I + II: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales grupo I: < 1 mg/Nm <sup>3</sup>
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	Cloruros (expresados como HCl): < 30 mg/Nm <sup>3</sup> Fluoruros (expresados como HF): < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales grupo I + II: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales grupo I: < 1 mg/Nm <sup>3</sup>
Inversión (€) (año 2005)	-
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	-

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bajo coste.</li> <li>■ No se producen residuos ni se consume energía eléctrica.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ En el caso de las partículas, no se alcanzan los niveles de emisión que permiten las medidas secundarias (filtros).</li> <li>■ No siempre es posible la sustitución de unas materias primas por otras que cumplan la misma función, sobre todo por la disponibilidad de cantidades adecuadas de materiales de calidad suficiente, la consistencia del suministro y los costes.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Estas medidas pueden imponer restricciones operativas adicionales sobre el proceso.
Impactos ambientales	Las alternativas a determinadas materias pueden provocar otros impactos medioambientales.
(a)	Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .
(b)	Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .

## Técnicas secundarias

**Tabla 2.5.42. Lavador por vía seca o semiseca**

Proceso	Hornos de fusión	
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de SO <sub>x</sub> , HCl y HF	
Tipo MTD	Secundaria	
Descripción	<p>Se introduce un material absorbente que se dispersa en el gas a tratar. Este material reacciona con el SO<sub>x</sub> para formar un sólido que ha de ser recogido por un precipitador electrostático o un filtro de mangas.</p> <p>En el proceso seco el absorbente es un polvo seco, generalmente Ca (OH)<sub>2</sub>, NaHCO<sub>3</sub> o Na<sub>2</sub>(CO)<sub>3</sub>, que pueden ser dispersados mediante aire a presión. En el proceso semiseco, el absorbente (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaO o Ca (OH)<sub>2</sub>) se añade en forma de solución o dispersión y la evaporación del agua enfriá la corriente de gas.</p> <p>En el sector del vidrio el proceso más usado es el seco (con Ca (OH)<sub>2</sub>) junto con precipitador electrostático, a una temperatura de unos 400°C.</p> <p>El scrubber o lavador puede instalarse como medida de protección de otros equipos contra los gases ácidos.</p>	
Aplicabilidad	Las técnicas son aplicables a todos los procesos con gases residuales que contengan sustancias ácidas. El proceso seco se utiliza más ampliamente en la industria del vidrio ya que tradicionalmente ha sido la forma más eficaz desde el punto de vista de costes de alcanzar los requisitos técnicos vigentes.	
Resultado obtenido	<p>La eficacia de eliminación del gas ácido puede variar notablemente en función del tipo y cantidad del reactivo empleado, la temperatura del proceso de tratamiento del humo y el tipo de humo a tratar.</p> <p>La emisión de SO<sub>x</sub> se puede reducir entre el 80-90 % y en el caso de HCl y HF, hasta el 95%.</p>	
Nivel asociado a MTD <sup>(a) (c)</sup>	<p>SO<sub>x</sub>: 200-500 mg/Nm<sup>3</sup> (0,5-1,25 kg/t vidrio fundido)</p> <p>Si se utilizan niveles bajos de sulfatos: &lt; 200 mg/Nm<sup>3</sup> (0,5 kg/t Vº Fº)</p> <p>SO<sub>x</sub>: 500-1.300 mg/Nm<sup>3</sup> (1,25-3,25 kg/t vidrio fundido)</p> <p>Cloruros (expresados como HCl): &lt; 30 mg/Nm<sup>3</sup></p> <p>Fluoruros (expresados como HF): &lt; 5 mg/Nm<sup>3</sup></p> <p>Metales grupo I + 2: &lt; 5 mg/Nm<sup>3</sup></p> <p>Metales grupo I: &lt; 1 mg/Nm<sup>3</sup></p>	<p>Para gas natural</p> <p>Para combustibles líquidos</p>

<b>Nivel BREF<sup>(b) (c)</sup></b>	$SO_x: 200-500 \text{ mg/Nm}^3$ (0,5-1,25 kg/t vidrio fundido) Si se utilizan niveles bajos de sulfatos: < 200 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5 kg/t Vº Fº)	Para gas natural
	$SO_x: 500-1.300 \text{ mg/Nm}^3$ (1,25-3,25 kg/t vidrio fundido)	Para combustibles líquidos
	Cloruros (expresados como HCl): < 30 mg/Nm <sup>3</sup> Fluoruros (expresados como HF): < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales grupo I + 2: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Metales grupo I: < 1 mg/Nm <sup>3</sup>	
<b>Inversión (€) (año 2005)</b>	-	
<b>Costes operativos (€/año)</b>	-	
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	-	
<b>Estado del arte</b>	Es una tecnología ampliamente probada a nivel industrial.	
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pueden conseguirse reducciones sustanciales en las emisiones de <math>SO_x</math> (según el balance específico de azufre y el reciclado de polvo de electrofiltro).</li> <li>Los absorbentes utilizados son también efectivos para atrapar otros gases ácidos, especialmente haluros (HCl y HF) y algunos compuestos de selenio.</li> <li>En la mayoría de casos, el polvo recogido puede ser reciclado, reduciendo el consumo de materias primas.</li> </ul>	
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo energía.</li> <li>Importantes costes de inversión y operación.</li> </ul>	
<b>Limitaciones de aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el caso de utilizar conjuntamente con filtro de mangas, los gases se deben enfriar.</li> <li>Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>	
<b>Impactos ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se produce un residuo sólido que no siempre puede reciclarse. En la mayoría de casos, sí puede reciclarse, pero esto requiere ajustes en el proceso y puede limitar la eficacia global de reducción de <math>SO_x</math>.</li> <li>Cuando se utilizan pequeñas cantidades de casco de vidrio en la composición, el sulfato aportado por éste representa una cantidad menor que la requerida para el afino, consiguiéndose por tanto una reducción de las emisiones de <math>SO_x</math> y del consumo de sulfato sódico. Por el contrario, con niveles elevados de casco de vidrio en la composición, la cantidad de sulfato aportada es mayor que la requerida en la mezcla, creándose un residuo sólido que se debe gestionar. Además, y a menos que se elimine una parte del polvo, las emisiones de <math>SO_x</math> aumentan. Este problema es más importante en vidrios reducidos con elevados niveles de vidrio recuperado.</li> </ul>	

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $O_2$ .

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $O_2$ .

(c) Factor utilizado para convertir mg/Nm<sup>3</sup> a kg/t Vº Fº:  $2,5 \times 10^{-3}$  (Documento BREF).

**Tabla 2.5.43. Lavado húmedo**

<b>Proceso</b>	Corte, esmerilado y pulido
<b>Objeto de la MTD</b>	Reducción de la emisión de partículas y gases
<b>Tipo MTD</b>	Secundaria
<b>Descripción</b>	Los lavadores húmedos pueden utilizarse para controlar las emisiones gaseosas y de partículas. Como los criterios de diseño en ambos casos son muy distintos, para mantener bajos los costes de inversión suelen diseñarse para controlar las emisiones de ambos.

<b>Descripción</b>	La recogida de partículas se produce mediante impacto por inercia, intercepción y difusión. La eliminación de gases se produce por absorción (por transferencia de materia entre un gas soluble y un disolvente en un dispositivo de contacto gas-líquido) y, en menor medida, por condensación. Es posible utilizar el agua de proceso como medio de lavado. El agua se utiliza en circuito cerrado. Tras el lavador, se puede utilizar un sistema de filtración para eliminar las partículas de menor tamaño.
<b>Aplicabilidad</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno (aunque es probable que los costes sean mayores en instalaciones existentes).
<b>Resultado obtenido</b>	-
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup></b>	Fluoruros: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Partículas: < 10 mg/Nm <sup>3</sup> Metales (Grupo I + 2): < 50 mg/Nm <sup>3</sup>
<b>Nivel BREF <sup>(b)</sup></b>	Fluoruros: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> Partículas: < 10 mg/Nm <sup>3</sup> Metales (Grupo I + 2): < 50 mg/Nm <sup>3</sup>
<b>Inversión (€) (año 2005)</b>	-
<b>Costes operativos (€/año)</b>	-
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	-
<b>Estado del arte</b>	-
<b>Ventajas</b>	Se utilizan para controlar emisiones mixtas de gases y partículas, con lo que los costes de inversión son menores.
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La eficacia está limitada en las partículas por el consumo de energía (fundamentalmente por la caída de presión) y en las sustancias gaseosas por el uso de agua de proceso como medio de lavado (en lugar de agua limpia).</li> <li>▪ Pueden tener tendencia al bloqueo por partículas insolubles y se genera una lechada residual.</li> </ul>
<b>Limitaciones de aplicación</b>	La técnica no está limitada a plantas nuevas o existentes, pero es probable que los costes sean mayores en estas últimas.
<b>Impactos ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se consume energía.</li> <li>▪ Se crea un efluente contaminado (aunque es posible utilizar el agua de proceso en circuito cerrado).</li> </ul>

(a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

#### 4.2.4. Emisiones al agua

En general las emisiones al agua, como ya se ha mencionado anteriormente, son relativamente pequeñas. Estas emisiones pueden ser recicladas o tratadas mediante técnicas estándar.

Además de los sistemas en circuito cerrado que reducen el consumo y las emisiones de agua, como medidas generales para el control de las emisiones pueden aplicarse las siguientes técnicas:

- Cubetos adecuados
- Vigilancia y control de tanques y cubetos
- Sistemas automáticos de control y detección de fugas y derrames
- Venteos y puntos de llenado en el interior de los cubetos

En su caso, el envío a sistemas de depuración de las aguas residuales, también pueden considerarse como MTD. Estos sistemas de tratamientos de agua residuales pueden ser:

- Tratamiento físico-químico: cribado, separación superficial, sedimentación, centrifugación, filtración, neutralización, aireación, precipitación y coagulación y floculación.
- Tratamiento biológico: fangos activos y biofiltración.

#### 4.2.5. *Residuos*

En la medida de lo posible, las instalaciones de fabricación de vidrio doméstico deben prevenir, o al menos minimizar, la generación de residuos. Cuando no sea posible, se consideran Mejores Técnicas Disponibles, tal y como se ha comentado a lo largo del apartado 4.2, la utilización de casco de vidrio interno y la recuperación y reciclaje del polvo recogido en los sistemas de captación.

El empleo de casco de vidrio interno en sustitución de las materias primas tradicionales permite:

- Reducir el consumo de materias primas.
- Reducir de forma significativa el consumo de energía.
- La minimización de las emisiones a la atmósfera debido, por un lado, a la reducción de las emisiones derivadas de la utilización de combustibles fósiles y, por otro, a que se evitan las reacciones de descarbonatación y desulfatación de las materias primas, y con ellas las emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>x</sub>.

La recuperación y reciclaje del polvo permite también mejorar la eficiencia energética, minimizar las emisiones de algunos contaminantes (por ejemplo, los SO<sub>x</sub>) y reducir el consumo de materias primas. No obstante, este residuo no siempre puede ser totalmente reutilizado en la fusión. Además, en el caso del electrofiltro, las características fisicoquímicas del residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.

### 4.3. **Valoración de la aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en vidrio doméstico**

Del conjunto de las MTD incluidas en el documento BREF como aplicables al subsector de fabricación de vidrio doméstico, así como de las consideradas MTD en el apartado 4.2, la experiencia de su implantación en industrias tanto europeas como españolas desde la publicación del BREF ha proporcionado información suficiente acerca de su viabilidad técnica y económica, así como de los beneficios e impactos ambientales que pueden generar. Esta información queda reflejada en la siguiente tabla a través de la valoración cualitativa de cada una de las técnicas desde el punto de vista técnico, ambiental y económico.

Se ha valorado cada MTD de 0 a 4 para los apartados técnico, ambiental y económico, considerando "0" como la valoración mínima (peor valorado) y "4" como la valoración máxima (mejor valorado). Si la técnica es no aplicable o no relevante en el subsector, se ha indicado con "n.a.".

Desde el punto de vista técnico, se ha valorado que la técnica:

- Es viable desde el punto de vista técnico y es aplicable.

- Está contrastada.
- Existe experiencia suficiente a escala industrial.

En la valoración ambiental se han considerado:

- Los objetivos ambientales del subsector.
- Los beneficios ambientales que aporta la técnica.
- El balance ambiental total.

Por último, para valorar el aspecto económico, se ha tenido en cuenta la información existente sobre:

- Rentabilidad económica de la inversión en un plazo razonable.
- Costes de operación y mantenimiento posterior.

Cuando en la tabla no se encuentra valorada una técnica, se considera que no es aplicable al subsector, por no existir experiencia suficiente para el mismo o por no disponer de datos suficientes para su consideración.

Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas de tipo secundario.

**Tabla 2.5.44. Valoración técnica, ambiental y económica de las MTDs**

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) (a)
<b>ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIAS PRIMAS</b>				
Siros cerrados ventilados a través de equipos de eliminación de polvo (por ejemplo, filtros de tejido).	4	2	2	-
Almacenamiento de materias primas finas en contenedores cerrados o sacos herméticos.	3	2	3	-
Almacenamiento de materias primas polvorrientas gruesas a cubierto.	3	3	2	-
Uso de vehículos de limpieza de calzadas y de técnicas de humedecimiento con agua.	n.a.	n.a.	n.a.	-
Transportadores cerrados.	3	3	2	-
Transporte neumático con sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.	3	3	2	-
Adición de un porcentaje de agua en la mezcla (del 0-4%).	3	2	3	-
Control de la emisión de polvo en la zona de alimentación del horno: humidificación de la mezcla, creación de una ligera presión negativa dentro del horno, aplicación de aspiración que ventila a un sistema de filtro, utilización de alimentadores helicoidales cerrados, cierre de las cámaras de alimentación.	1	0	1	-
Diseño de las naves con el mínimo de aberturas y puertas y aplicación de cortinas antipolvo o sistemas de aspiración en zonas potencialmente muy polvorrientas.	1	1	3	-
En los almacenamientos de materias volátiles, mantenimiento de las temperaturas lo más bajas posibles.	n.a.	n.a.	n.a.	-

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) (a)
Reducción de las pérdidas de los tanques de almacenamiento a presión atmosférica mediante: pintura para tanques con baja absorción solar, control de temperatura, aislamiento de los tanques, gestión de inventarios, tanque de techo flotante, sistemas de trasvase con retorno de vapor, tanques con techo de diafragma, válvulas de presión/vacío (cuando los tanques tengan que soportar fluctuaciones de presión), tratamientos específicos de las emisiones (adsorción, absorción, condensación), llenado subterráneo.	n.a.	n.a.	n.a.	-
<b>FUSIÓN</b>				
<b>Polvo/partículas</b>				
Filtro de mangas, en conjunción con un sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco (si es apropiado)	3	1 <sup>(b)</sup>	1	10-20
Precipitador electrostático, en conjunción con un sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco (si es apropiado)	3	1 <sup>(b)</sup>	1	5-30
<b>Óxidos de azufre</b>				
Eliminación secundaria de polvo con lavado de gases ácidos seco o semiseco cuando proceda	3	1 <sup>(b)</sup>	1	SO <sub>x</sub> (gas natural): 200-500 o < 200 si se utilizan bajos niveles de sulfatos. SO <sub>x</sub> (combustible líquido): 500-1.300
<b>Óxidos de nitrógeno</b>				
Modificaciones de la combustión: ▪ Reducción de la ratio aire/combustible ▪ Reducción de la temperatura del aire de combustión ▪ Combustión por etapas ▪ Recirculación de los gases de combustión ▪ Quemadores de bajo NO <sub>x</sub> ▪ Elección del combustible ▪ Boosting eléctrico ▪ Diseños adecuados de la geometría del horno ▪ Posicionamiento y número de quemadores ▪ Aumento en el consumo de casco de vidrio como materia prima	4	4	3	Si se utilizan nitratos en la composición: 700-2.000 En caso contrario: 700-1.500
Oxicombustión	0 <sup>(c)</sup>	2	1	500-700
Horno de fusión Flex melter (para hornos de fusión pequeños)	n.a.	n.a.	n.a.	-
Fusión eléctrica (en vidrio al plomo, vidrio de cristal y vidrio opalino)	2	4	0	< 3 kg/t Vº Fº
3R/Recombustión (para hornos regenerativos)	0 <sup>(d)</sup>	2	2	-
SNCR	1 <sup>(e)</sup>	2	1	500-700
SCR	0 <sup>(e)</sup>	1	1	500-700
<b>Otras emisiones de la fusión</b>				
Selección de materias primas	n.a.	n.a.	n.a.	Cloruros: <30 Fluoruros: <5 Metales grupos I+2: <5

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) (a)
Lavador de gases ácidos (en combinación con selección de materiales)	n.a.	n.a.	n.a.	Metales grupo I: <1 Cloruros: <30 Fluoruros: <5 Metales grupos I+II: <5 Metales grupo I: <1
<b>PROCESOS DE ACABADO</b>				
Corte bajo líquido				Fluoruros: <5 Partículas: <10 Metales (grupo I+II): <50
Aspiración a un sistema de filtro de mangas (en caso de corte o esmerilado en seco)	n.a.	n.a.	n.a.	-
Lavado húmedo				Fluoruros: <5 Partículas: <10 Metales (grupo I+II): <50

- (a) Los datos se refieren a condiciones en seco, 0 °C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (b) El uso de electrofiltros y filtros de mangas presenta otros inconvenientes desde el punto de vista medioambiental:
- Genera una elevada cantidad de residuos no siempre reutilizable en el proceso de fusión. Las características físico-químicas de este residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.
  - Consumo energético elevado para el funcionamiento
- Por su parte, los lavadores consumen energía por lo que se incrementa el consumo energético total de la instalación. Además, se produce un residuo sólido que puede aumentar de manera importante la cantidad de residuos generados y, aunque en la mayoría de los casos puede reciclarse, esto requiere ajustes en el proceso y limitar la eficacia global de reducción de SO<sub>x</sub>. Por último, los costes de inversión y operación de los lavadores son importantes.
- (c) La oxícombustión estuvo muy en boga en los años noventa aunque actualmente se encuentra fuertemente cuestionada por las siguientes razones:
- Elevado incremento del consumo energético.
  - Dificultad en la conducción del proceso de fusión.
  - Mayor desgaste de la estructura del horno.
  - Necesidad de garantizar en continuo el suministro de O<sub>2</sub>.
- (d) El empleo de 3R presenta los siguientes inconvenientes que, desde el punto de vista técnico, lo hace poco fiable:
- La experiencia ha demostrado que la atmósfera reductora creada en los regeneradores daña los materiales refractarios. De hecho, se ha comprobado la necesidad de reparar los regeneradores dos años después de la instalación de esta tecnología, cuando habitualmente su vida media es de 10-12 años.
  - Mayor consumo de combustible (aproximadamente un 7% más).
  - Mayores emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de hidrocarburos para conseguir la reducción necesaria de NO<sub>x</sub> (20-30 kg de CO<sub>2</sub>/t de vidrio fundido).
- (e) El empleo de amoníaco en procesos complejos (continuos, cambios de colores, surtido elevado de modelos, volúmenes importantes, etc.) como el del vidrio no está recomendado debido a los riesgos inherentes a su propio uso.



## SECCIÓN 6. *Vidrios Especiales*

### 1. INTRODUCCIÓN

Los productos de vidrios especiales tienen un valor relativamente alto y representan un subsector extremadamente amplio que cubre una amplia gama de productos tales como:

- Tubo de vidrio para iluminación, envases para medicamentos, material de laboratorio, tubos catódicos (CRT) para televisores y monitores, etc.
- Vidrio óptico.
- Vidrio de laboratorio y técnico.
- Vidrio de borosilicato y cerámica (menaje de cocina y usos domésticos a altas temperaturas).
- Vidrio para la industria electrónica (paneles de LCD).

En España, SCHOTT-Ibérica, S.A.- División Atevi, filial del grupo alemán Schott, fabrica tubo de vidrio para envases farmacéuticos en un solo centro de producción localizado en Sant Adriá de Besós (Barcelona):

**Tabla 2.6.1. Características de las empresas españolas fabricantes de tubo de vidrio**

Nº de empresas	1
Nº de centros de producción	1
Facturación (€/año)	20.000.000
Producción (t Vº Fº/año)	17.500
Mano de obra total ocupada	140

Fuente: Vidrio España (2004).

Además, Schott Ibérica cubre el vacío de producción nacional de vidrio técnico y óptico, importando vidrio y material para laboratorio, vidrios especiales para la industria química, vidrio técnico, lentes de telescopios, vidrios para electrónica, etc.

### 2. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación tipo del tubo de vidrio en la industria española, muy similar en las primeras etapas al del resto de los subsectores, se muestra en la figura 2.6.1.

El proceso de fabricación del tubo de vidrio comienza con la descarga en los fosos de recepción de las materias primas (arena, carbonato sódico, caliza y componentes secundarios), desde los cuales son trasladadas a los silos de almacenamiento. Seguidamente se realiza el pesaje automático de las cantidades exactas de las materias primas mediante básculas electrónicas, lográndose la mezcla adecuada que alimentará el horno de fusión.

La mezcla vitrificable es sometida a un proceso de fusión en continuo en hornos. En las instalaciones españolas de fabricación de tubo de vidrio se dispone de dos hornos regenerativos con llama transversal alternativa que utilizan como combustible fuel y gas natural, uno de los cuales cuenta con apoyo eléctrico.

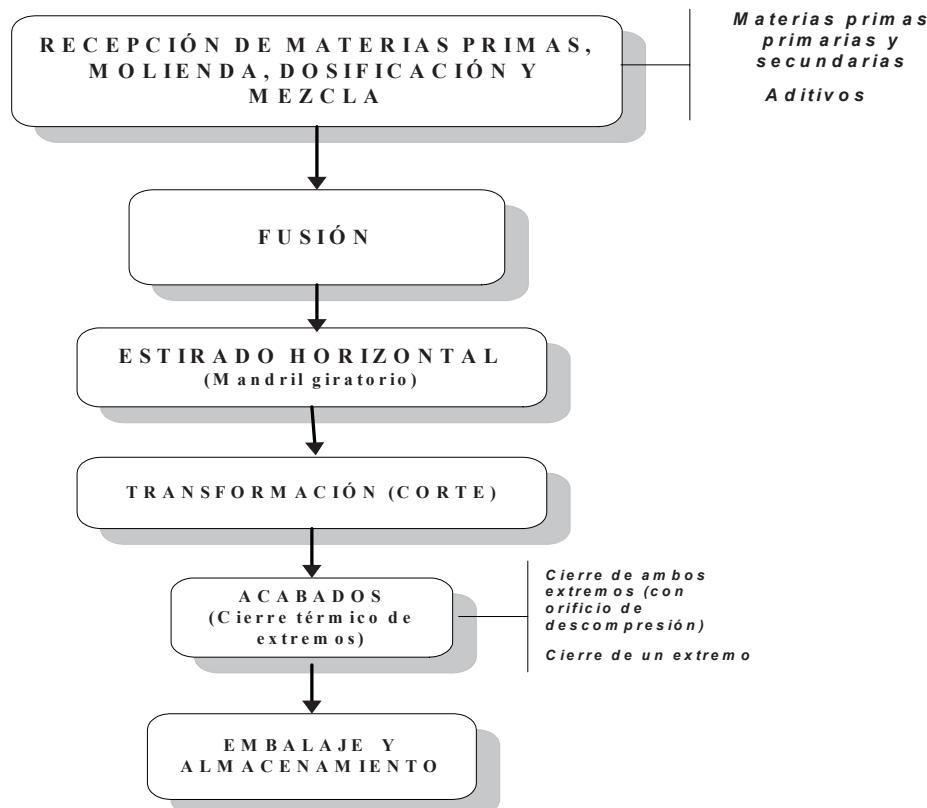


Figura 2.6.1. Proceso de fabricación de tubo de vidrio.

Las etapas posteriores de estirado, recocido, transformación, etc., son específicas del proceso de fabricación del tubo de vidrio.

## 2.1. Conformado

La fabricación del tubo de vidrio se hace por estirado de la masa fundida, con inyección de aire comprimido intermitente para formar las paredes del tubo. Los distintos procedimientos de fabricación de tubo y varilla de vidrio se resumen en la siguiente tabla (J. M<sup>a</sup> Fernández Navarro, 1984-91):

Tabla 2.6.2. Procedimientos de fabricación de tubo y varilla de vidrio

PROCEDIMIENTO	FORMA DE MOVIMIENTO	SISTEMA
Manual	Estirado Horizontal	
Mandril Giratorio	Estirado Horizontal	Danner, Philips
Con boquilla	Vertical Ascendente	Schuller, Corning, Shapiro
	Vertical Descendente	Vello, Haenlein

En la única instalación española de fabricación de tubo de vidrio, se utiliza el procedimiento de mandril giratorio (sistema Danner), en el que el vidrio fundido cae sobre un cuerpo cilíndrico de aleación metálica (mandril o “caña”), que está inclinado hacia el extremo de salida formando un ángulo de entre 15° y 30° con la horizontal y que rota continuamente sobre sí mismo. Dicho mandril está ubicado dentro de un horno cuya temperatura puede regularse con gran precisión. La capa de vidrio que envuelve al mandril es estirada en forma de tubo, mientras que por la tubuladura interna del mandril se sopla aire comprimido. Los parámetros que determinan los diámetros y espesores de los diferentes tubos son:

- Caudal de alimentación del vidrio fundido.
- Diámetro del mandril.
- Velocidad de rotación.
- Temperatura del vidrio.
- Presión de inyección de aire comprimido.
- Velocidad de estirado.

## 2.2. Segunda transformación y acabados

Dentro de este punto se incluyen sólo aquellas operaciones de acabado que se realizan en algunos procesos como son tratamientos superficiales, corte, etc.

### 2.2.1. Tratamientos superficiales

Durante la fabricación del tubo de vidrio se aplican ciertos tratamientos para mejorar su comportamiento previniendo la aparición de microfisuras en la superficie. Estos tratamientos superficiales se suelen aplicar a la salida de la máquina de conformado ("en caliente"), empleándose un polisorbato utilizado en la industria alimentaria.

Además, en algunos productos también se aplica un tratamiento térmico a la salida del conformado para el cierre de uno o los dos extremos del tubo de vidrio. En el caso del cierre de los dos extremos, se practica un orificio de descompresión del tubo, también mediante tratamiento térmico.

## 3. NIVELES ACTUALES DE EMISIONES Y CONSUMOS DE ENERGÍA Y MATERIAS PRIMAS

La fabricación de tubo de vidrio es una actividad eminentemente energética. La etapa con mayor incidencia medioambiental desde todos los puntos de vista es la fusión, en la que se producen los mayores consumos de energía y la mayor parte de las emisiones gases y partículas a la atmósfera.

En la siguiente tabla se resumen los principales aspectos medioambientales de los procesos de fabricación de tubo de vidrio:

**Tabla 2.6.3. Aspectos medioambientales de la fabricación de tubo de vidrio por etapas**

ETAPA	CATEGORÍA DE ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES	ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES
Recepción, Molienda y Mezcla de Materias Primas	Consumo Recursos	<p><u>Materias primas:</u> arena silícica, casco de vidrio interno, nefelina, sienita, carbonato sódico, carbonato potásico, caliza, dolomía, sulfato sódico, escorias, feldespatos, carbón, óxidos metálicos, compuestos de boro.</p> <p><u>Agua:</u> humidificación, mezclas y lavado (si existe).</p> <p><u>Energía:</u> eléctrica (mezcladoras, transportadores, pesada, clasificación).</p>
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación del agua	Aguas residuales de lavado con metales (si existe).
	Residuos	Derrames, pérdidas, rechazos, envases y embalajes, partículas de los sistemas de aspiración.

ETAPA	CATEGORÍA DE ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES	ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES
Fusión	Ruido	Emisiones de ruidos.
	Consumo Recursos	<u>Agua</u> : refrigeración de hornos. <u>Energía</u> : combustible empleado para fusión (80% total del proceso). Apoyo eléctrico.
	Contaminación atmosférica	Volátiles, SO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , metales pesados (impurezas), HF, HCl, B, CO, pérdidas por evaporación.
	Contaminación del agua	Aguas residuales procedentes de purgas y pérdidas de los sistemas de refrigeración que contienen sales disueltas y sustancias para el tratamiento del agua.
	Residuos	Polvos de los conductos (sulfatos y otros), residuos de refractarios, restos de vidrio, infundidos, desmantelamiento de hornos.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Conformado + Enfriamiento (estirado) + Transformación	Consumo Recursos	<u>Materias primas auxiliares</u> . <u>Agua</u> : refrigeración. <u>Energía</u> : normalmente consumo de energía eléctrica o combustibles fósiles (gas).
	Contaminación atmosférica	Vapores, emisiones difusas: HCl, HF.
	Contaminación del agua	Aguas residuales con restos de vidrio, partículas, aceites y sustancias para el tratamiento de aguas. Purgas, pérdidas.
	Residuos	Casco recicitable, derrames y pérdidas, residuos de recubrimientos superficiales, etc.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Embalaje y Almacenamiento	Consumo Recursos	<u>Energía</u> : energía eléctrica.
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación del agua	Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, etc.
	Residuos	Envases y embalajes de materias primas, rechazos, derrames, pérdidas.
	Ruido	Emisiones de ruidos.
Operaciones de mantenimiento y limpieza	Consumo Recursos	<u>Energía</u> : energía eléctrica. Materias auxiliares (aceites y grasas, etc.)
	Contaminación atmosférica	Polvo y partículas.
	Contaminación del agua	Aguas residuales con restos de partículas, vidrio, materias primas, aceites, otros.
	Residuos	Rechazos y derrames en general, lodos de depuradoras, aceites, ...
	Ruido	Emisiones de ruidos

### 3.1. Consumo de recursos: Materias primas

La composición tipo del tubo de vidrio se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2.6.4. Composición tipo del tubo de vidrio**

Vidrio/óxidos (%)	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	BaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	MgO	TiO <sub>2</sub>
Borosilicato	70-81	8-13	3,5-6,5	0,5-1,5	0,01-1	-	0,01-0,03	2,3-5,5	0,01-1	0,01-0,5	0,01-5

Fuente: Documento BREF, 2001.

Las principales materias primas utilizadas en la fabricación de tubo de vidrio se recogen en el siguiente cuadro:

**Tabla 2.6.5. Materias primas utilizadas en la fabricación de tubo de vidrio**

MATERIA PRIMA	FUENTE
Materias primas formadoras de vidrio	Arena silícea, casco de vidrio
Materias primas modificadoras	Nefelina, sienita, carbonato sódico, carbonato potásico, caliza, dolomía, sulfato sódico, alúmina, nitrato sódico, nitrato potásico, bórax, arsénico, compuestos de flúor y de antimonio
Materias primas colorantes y otros aditivos	Cromita férrica, óxido de hierro, óxido de cobalto, Se/Zn, cerio.
Productos para recubrimientos	Cloruros metálicos orgánicos e inorgánicos: tetracloruro de estaño, tetracloruro de titanio, etc.
Productos lubricantes	Ácido oleico, etc.
Otros materiales consumidos	Materiales de embalaje: plásticos, papel, cartón, madera. Aceites lubricantes. Gases para el proceso: oxígeno e hidrógeno. Productos para pulido: HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaOH. Productos para decoraciones: esmaltes, arenas, etc.

El porcentaje de casco de vidrio propio que se utiliza en las instalaciones de tubo de vidrio es, como valor medio, inferior al 25%. En la fabricación de tubo de vidrio para la industria farmacéutica únicamente se puede utilizar el casco de vidrio interno ya que se requieren unos altos niveles de calidad y la completa certeza de que el vidrio reutilizado no está contaminado. Asimismo, en ocasiones, las altas exigencias de calidad impuestas por la casa matriz con el objetivo de hacer intercambiables todos los productos de sus diferentes factorías, no permiten la utilización de vidrio externo.

### 3.2. Consumo de recursos: Energía y agua

#### 3.2.1. Consumo de agua

Los principales consumos de agua son debidos a refrigeración de termoelementos y electrodos de hornos y al enfriamiento de las ocasionales coladas de vidrio debidas a paradas o ajustes técnicos.

#### 3.2.2. Consumo de energía

La fabricación de tubo de vidrio es un proceso que fundamentalmente consume energía. La principal fuente de energía son los combustibles fósiles los cuales se consumen en las etapas de fusión, alimentación, conformado y acondicionamiento de las cargas.

En cuanto a la energía eléctrica, se consume principalmente en las máquinas de conformado, aire comprimido, transporte de materiales, en algunos proceso de calentamiento, como apoyo en la fusión, en sistemas de fusión mixtos (*boosting*), etc. En el caso del tubo de vidrio, la electricidad puede ser la principal fuente de energía también en la fusión.

Más del 75% del total del consumo energético de una fábrica de vidrio corresponde al horno. De ahí que el control de la fusión y las mejoras en su rendimiento mediante cualquiera de las medidas que se adopten sean tan importantes.

La distribución de consumos de energía dentro del tubo de vidrio se indica en el siguiente cuadro:

**Tabla 2.6.6. Consumo de energía en los hornos de fabricación de tubo de vidrio**

Subsector	Nº de hornos considerados	Capacidad instalada (t/día)	Fuente de energía	Distribución de consumos (MWh/año)	Porcentaje con respecto al total del consumo energético (%)	Consumo específico (kWh/t Vº Fº)
Tubo de vidrio	2	55	Gas natural	86.200	7,48	4.926
			Fuel-oil nº 1	13.750	12,68	786
			Energía eléctrica	8.500	7,84	486

En general, en la fusión (hornos) y canales de alimentación, el consumo energético puede variar entre el 70% y el 97% del total, aunque en el caso del tubo de vidrio, el aporte de energía eléctrica en los hornos puede llegar a ser del 50%.

Los consumos específicos por producto van a depender del tipo de materia prima utilizada, la forma y peso de la pieza a fabricar, la calidad del vidrio, los equipos utilizados, etc. En el siguiente cuadro se muestran los consumos específicos dentro del subsector del tubo de vidrio:

**Tabla 2.6.7. Consumos específicos por tonelada de vidrio fundido (kWh/t Vº Fº)**

Fuente de energía	Cuantificación
Energía no eléctrica	5.712
Energía eléctrica	486

### 3.3. Emisiones atmosféricas

La mayor parte de las emisiones a la atmósfera se generan en los hornos. No se tienen datos sobre emisiones en el resto de las etapas del proceso. No obstante, hay que decir que actualmente y salvo casos muy concretos, las emisiones de polvo y partículas procedentes de otras etapas están controladas y, en la mayoría de los casos, se toman medidas preventivas o correctivas como sistemas de aspiración y captación de polvo, cerramientos, automatización en la dosificación, mezcla y transporte, etc.

Las principales sustancias contaminantes emitidas a la atmósfera en este tipo de instalaciones son partículas ( $< 0,8 \text{ kg/t Vº Fº}$ ), compuestos volátiles,  $\text{SO}_x$  ( $< 2,8 \text{ kg/t Vº Fº}$ ),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  ( $0,9-11 \text{ kg/t Vº Fº}$ ), metales pesados, HF, HCl, pérdidas por evaporación, vapores y emisiones difusas,  $\text{SiF}_4$  y compuestos de Sn (gases y partículas).

En el siguiente cuadro se resumen valores de emisiones medios de las sustancias contaminantes más importantes en condiciones normales para el tubo de vidrio:

**Tabla 2.6.8. Tabla resumen de las emisiones en el sector tubo de vidrio<sup>(b)</sup>**

PRODUCCIÓN	Caudal seco	O <sub>2</sub>	Partículas totales <sup>(a)</sup>	SO <sub>2</sub>	NOx	CO <sub>2</sub>	CO	HF
t/día horno	Nm <sup>3</sup> /h	%	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
48	31.750	13	240	(c)	3.500	68.750	(c)	30
t/día horno	Nm <sup>3</sup> /t Vº Fº	%	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº	kg/t Vº Fº
48	661	-	3,81	(c)	55,56	1.091	(c)	0,48

(a) Prácticamente la totalidad de las partículas emitidas pueden ser consideradas PM<sub>10</sub>.

(b) Los datos corresponden a los promedios de los dos hornos que actualmente funcionan. Los datos correspondientes a cada horno difieren notablemente entre sí debido a las distintas condiciones técnicas de funcionamiento de cada uno de ellos.

(c) Los gases de combustión del fuel y el gas natural reaccionan con los boratos alcalinos que se desprenden en la fusión del vidrio, decantando en su totalidad como una mezcla de sulfatos alcalinos y azufre, parte de la cual se deposita en las partes frías de las cámaras de regeneración, mientras que el resto (los finos) es arrastrado como partículas sólidas en los gases de emisión. Como resultado, en los análisis de las emisiones, la concentración de SO<sub>2</sub> se encuentra actualmente por debajo de los límites de detección de la técnica utilizada. Lo mismo ocurre con el CO.

### 3.4. Residuos

La característica principal del sector es que prácticamente la totalidad de los residuos de vidrio generados durante el proceso, pueden ser reutilizados de nuevo en el mismo. El resto de residuos proceden de operaciones de manipulación de materias primas, de los sistemas de depuración y captación de partículas, sistemas de filtrado de humos de los gases y residuos de sulfatos en los hornos.

Normalmente, al final de la campaña de un horno (4-5 años), la totalidad de la estructura compuesta por material refractario es desmantelada y reemplazada. Estas operaciones pueden producir cantidades importantes de residuos (entre 200 y 500 t) que pueden ser mínimamente valorizados.

En cuanto a los residuos procedentes de embalajes, operaciones de mantenimiento, etc., no suponen grandes problemas ya que normalmente son reutilizados, reciclados o gestionados de forma adecuada según los casos.

La producción de residuos por tipo en el subsector español se resume en el siguiente cuadro:

**Tabla 2.6.9. Generación de residuos**

Tipos de residuos generados en las instalaciones de tubo de vidrio	t/año	Clasificación/tipo de residuo	Gestión
Casco <sup>22</sup>	3.500	No peligroso	Reutilización en proceso (casco)
Chatarra metálica	50	No peligroso	Reutilización
Papel y cartón	< 3	No peligroso	Reutilización
Aceites usados	< 1	Peligroso	Gestor autorizado/Reutilización
Bidones plásticos/metálicos	0,1	Peligroso	Gestor autorizado
Sulfatos cámaras	< 35	-	Gestor autorizado
Plásticos	< 3	No peligroso	Vertedero/Reciclaje
Otros (maderas, residuos de operaciones de mantenimiento, etc.)	< 50	No peligroso	Vertedero
Refractarios y aislantes cambiados en hornos	< 500 <sup>23</sup>	No peligroso/Peligroso	Vertedero inerte/ de seguridad

<sup>22</sup> Estas cantidades no se consideran en el cómputo total para establecer la relación residuos/producción, ya que son reutilizados en su totalidad dentro de las plantas como materia prima.

<sup>23</sup> Esta cantidad se genera únicamente en el momento en que se reparan los dos hornos existentes en la única empresa de tubo de vidrio en España. Es necesario tener en cuenta que los hornos no se reparan todos los años y puede que no se reparen a la vez.

### 3.5. Ruido

Las emisiones de ruido se producen principalmente en los sistemas de alimentación de las materias primas y en los hornos.

### 3.6. Vertidos de aguas residuales

Como se ha comentado anteriormente, los principales usos del agua en la fabricación de tubo de vidrio son la refrigeración de equipos y el enfriamiento de los rechazos de vidrio caliente. En menor medida, la limpieza, la humidificación de la mezcla y el uso sanitario.

De los usos anteriores, los principales vertidos de aguas residuales que se generan son:

- Purgas del sistema de refrigeración en circuito cerrado que contienen sales disueltas y productos químicos procedentes del tratamiento de aguas. La mayor parte de las pérdidas que se dan en este circuito son por evaporación y arrastre en torres de refrigeración.
- Aguas sanitarias procedentes de servicios y duchas.

En general, las sustancias y límites de vertido de las mismas, deben estar especificadas en las autorizaciones de vertido otorgadas por las administraciones competentes. Normalmente los parámetros que se controlan son de tipo físico (temperatura, color, etc.) y químico (pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, etc.). En general, está prohibido el vertido a cauce de todas aquellas sustancias que no estén incluidas expresamente en la autorización de vertido. (Artículo 100 del texto refundido de la Ley de Aguas: *“Queda prohibido con carácter general, el vertido directo o indirecto de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del Dominio Público Hidráulico, salvo que se cuente con la previa autorización administrativa”*). No obstante, es recomendable que las instalaciones hagan al menos una analítica completa de sus vertidos teniendo en cuenta las sustancias contaminantes y los requisitos incluidos en las nuevas normativas de información ambiental (Registros EPER y E-PRTR), de cara a identificar todas las sustancias que son emitidas por la instalación.

## 4. TÉCNICAS UTILIZADAS Y MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES EN VIDRIOS ESPECIALES

Las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) constituyen una de las herramientas que se contemplan para la protección del medio ambiente tanto en la Ley 16/2002, de 1 de julio, como en la Directiva 96/61, de 24 de septiembre. De acuerdo con la definición dada en el artículo 3, párrafo ñ) de la Ley 16/2002, una MTD es:

*“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 posible, reducir en general las emisiones y el impacto en conjunto del medio ambiente y de la salud de las personas”.*

También se entenderá por:

- *“Técnicas, la tecnología utilizada, junto con la forma en que la instalación está diseñada, construida, mantenida, explotada o paralizada.*

- *Disponibles, las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del correspondiente sector industrial, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en España, 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 y de la salud de las personas".*

Además, para la consideración de una técnica como Mejor Técnica Disponible, deben tenerse en cuenta los criterios establecidos en el anexo 4 de la Ley 16/2002, entre ellos:

- Uso de técnicas que produzcan pocos residuos.
- Uso de sustancias menos peligrosas.
- Desarrollo de técnicas de recuperación y reciclado de sustancias generadas y utilizadas en el proceso.
- Procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento comparables y positivos a escala industrial.
- Avances técnicos y evolución de los conocimientos científicos.
- Carácter, efectos y volumen de las emisiones de que se trate.
- Plazos de implantación.
- Consumo y naturaleza de los recursos utilizados.
- Medidas de eficiencia energética.
- Impacto global y riesgos al medio ambiente.

Así, las mejores técnicas disponibles son aquellas que no generan emisiones o, en su caso, minimizan al máximo las mismas así como sus efectos sobre el medio ambiente. Como norma general, son las medidas de tipo primario las que deberían considerarse como tales, ya que son las que reducen las emisiones en la fuente de origen, mientras que las técnicas secundarias corrigen la contaminación producida y deberían aplicarse cuando aquéllas no permiten alcanzar los niveles de eficiencia ambiental requeridos.

La adopción de una MTD es muy variable en función de las particularidades de cada instalación. Así, la aplicación de una misma técnica en instalaciones similares no produce los mismos resultados.

La viabilidad técnica y económica de determinadas técnicas puede implicar la paralización de los procesos. Es muy importante la consideración de los plazos para la implantación de determinadas medidas, sobre todo cuando éstas suponen un cambio de tecnología o equipamiento importante o modificaciones sustanciales de las instalaciones (cambio de combustible, oxicombustión, etc.). Estos cambios sólo pueden llevarse a cabo en los períodos de reconstrucción de los hornos al final de su vida útil. Además, se debe tener en cuenta que los costes de aplicación dependen de las características concretas de cada instalación. Los datos que se ofrecen en esta guía, tienen carácter orientativo y corresponden a la experiencia del sector.

La fabricación de tubo de vidrio es un proceso energético intensivo, lo que hace que el consumo de energía sea uno de los principales problemas para la industria. A lo largo del tiempo se ha incidido preferentemente sobre este factor introduciendo mejoras que, además de reducir los consumos de energía y los costes asociados, actúan sobre la generación de las emisiones en origen.

Las técnicas y medidas descritas en el apartado 4.2 de esta subsección pueden considerarse como las más apropiadas para los vidrios especiales (tubo). En cuanto a los datos y niveles de emisiones que se asocian a las "mejores técnicas disponibles", deben entenderse como niveles de emisión esperables, con las limitaciones expresadas en párrafos anteriores, y en el horizonte temporal de la normativa IPPC.

Los "niveles asociados a MTD" no son valores límite de emisión y, por tanto, no deben asimilarse a tales. La decisión sobre los límites que deben aplicarse a cada instalación es responsabilidad de la autoridad medioambiental competente que, además de las MTD, tiene que tener en cuenta aspectos tales como:

- Características de la instalación (si es nueva o ya existente).
- Localización geográfica.
- Medidas adicionales de calidad ambiental locales o regionales.

Es importante remarcar que los valores de emisión asociados incluidos en los Documentos BREF, son valores de referencia asociados a una mejor técnica en las condiciones óptimas de funcionamiento, que no siempre son alcanzables en regímenes reales de operación. Los BREF, que no tienen rango legal, son una herramienta complementaria aplicable como guía para la industria y la administración ambiental.

También hay que tener en cuenta que una única técnica o MTD, primaria o secundaria, puede no ser aplicable para reducir todos los contaminantes emitidos por un foco de emisión o para alcanzar los niveles de emisión exigidos. Por ejemplo, el uso de filtros puede reducir la concentración de partículas, pero implica la generación de residuos que deben ser gestionados adecuadamente y el aumento del consumo de energía en la instalación.

Al final, en el balance medioambiental para la adopción de una u otra solución, deben considerarse todos los factores y valorar el peso relativo de cada uno de ellos.

Dependiendo de la ubicación, las características de la instalación e incluso de los objetivos en políticas medioambientales, así serán las soluciones finales que deben aplicarse en cada caso.

#### **4.1. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones**

A continuación se muestran las técnicas más comúnmente utilizadas en las instalaciones de tubo de vidrio para la reducción de las emisiones más importantes. Estas técnicas están basadas en medidas de tipo primario y secundario, y fundamentalmente dirigidas a la optimización del consumo de recursos mejorando la eficiencia de los procesos.

#### 4.1.1. Etapa: Recepción, mezcla y dosificación de materias primas

##### Técnicas primarias y secundarias

**Tabla 2.6.10. Medidas para evitar las emisiones de polvo y partículas en la recepción, mezcla y dosificación de materias primas**

Tipo	PRIMARIAS/SECUNDARIAS
Incluida BREF	Sí
Descripción técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Silos cerrados ventilados a través de equipos de eliminación de polvo (por ejemplo, filtros de tejido).</li> <li>▪ Almacenamiento de materias primas finas en contenedores cerrados o sacos herméticos.</li> <li>▪ Transportadores cerrados.</li> <li>▪ Transporte neumático con sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.</li> <li>▪ Aspiración del producto enornado en la zona de alimentación del horno.</li> <li>▪ Control de la emisión de polvo en la zona de alimentación del horno: humidificación de la mezcla, creación de una ligera presión negativa dentro del horno, aplicación de aspiración que ventila a un sistema de filtro, utilización de alimentadores helicoidales cerrados, cierre de las cámaras de alimentación.</li> </ul>
Aspectos ambientales	Evita la emisión de polvo y partículas.
Cuándo se aplica	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno.
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones existentes.

**Tabla 2.6.11. Filtros de mangas (en el transporte neumático)**

Tipo	SECUNDARIA
Incluida BREF	Sí
Descripción técnica	<p>Los filtros de mangas están formados por una serie de tejidos filtrantes (mangas) soportados por una estructura. Todo el conjunto está en el interior de una cámara de forma cilíndrica o paralelepípedica, que acaba en su parte inferior en un colector. Los gases a depurar son obligados a pasar a través de los poros del tejido filtrante en los cuales se retienen las partículas en suspensión, formándose una capa de polvo sobre el sistema filtrante que causa un aumento de la caída de presión y un ligerísimo aumento del rendimiento. Con el tiempo, la caída se hace tan importante que se requiere la limpieza de los filtros por vía mecánica (vibración o golpeo) o mediante descargas de aire comprimido a contracorriente. Para la selección del material filtrante se debe tener en cuenta la composición de los gases, la naturaleza de las partículas y su tamaño, la eficiencia requerida, los costes económicos y la temperatura del gas (las telas filtrantes rara vez soportan más de 250°C por lo que suele ser necesario incorporar un sistema de enfriamiento de los gases).</p>
Aspectos ambientales	Es muy eficiente (hasta el 99%) en la eliminación de partículas.
Inconvenientes	<p>En la fabricación de tubo de vidrio para envases farmacéuticos, las partículas recogidas no se pueden reciclar debido a las altas exigencias de calidad del producto.</p> <p>Necesidad de cambiar las mangas periódicamente.</p>
Cuándo se aplica	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones existentes.

#### 4.1.2. *Etapa: Fusión*

##### Técnicas primarias

**Tabla 2.6.12. Horno regenerativo**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	Horno de fusión de vidrio que permite aprovechar la temperatura de los gases de salida para precalentar el aire necesario para la misma.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de energía. Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> .
<b>Inconvenientes</b>	El calentamiento previo del aire de combustión facilita la formación de NO <sub>x</sub> .
<b>Cuándo se aplica</b>	Reparación, reconstrucción o nueva construcción del horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de hornos existentes.

**Tabla 2.6.13. Utilización de casco de vidrio interno como materia prima**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	En el subsector de fabricación de tubo de vidrio, el vidrio interno es el único material que puede reintroducirse en el proceso sin que el producto final pierda ninguna de sus propiedades
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de las emisiones y del consumo energético por: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Un menor empleo de combustible ya que el vidrio necesita menor energía para fundirse que las materias primas</li><li>▪ Reducción de la cantidad de materias primas utilizadas y, a su vez, de las emisiones de proceso por descarbonatación</li></ul> Minimización del volumen de residuos urbanos.
<b>Inconvenientes</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ En el subsector de tubo de vidrio para fabricación de envases farmacéuticos, únicamente se puede utilizar el casco de vidrio interno ya que se requieren unos altos niveles de calidad y la completa certeza de que el vidrio reutilizado no esté contaminado.</li><li>▪ Las altas exigencias de calidad impuestas por la casa matriz con el objetivo de hacer intercambiables todos los productos de sus diferentes factorías, no permiten la utilización de vidrio externo.</li><li>▪ El casco de vidrio interno procedente de la fabricación de vidrio de color no puede ser reutilizado en el proceso de vidrio blanco (aunque sí a la inversa).</li><li>▪ Falta de desarrollo de equipos que separen por colores y que resulten rentables para tratar casco a los niveles de exigencia requeridos.</li><li>▪ Pedida de calidad de producto por tratamiento inadecuado.</li></ul>
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones existentes.

**Tabla 2.6.14. Apoyo (boosting) eléctrico**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	Empleo de energía eléctrica en sustitución de parte del combustible fósil para la fusión del vidrio.
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción del consumo de combustibles fósiles y, por tanto, de las emisiones de partículas, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> .

Inconvenientes	La cantidad de electricidad para sustituir al combustible fósil viene condicionada por su precio (se estima que es rentable < 5% de la total consumida en el horno en las condiciones actuales). El aprovechamiento energético del combustible fósil en un horno de vidrio es muy superior al que se consigue en una central térmica para producir energía eléctrica.
Cuándo se aplica	Reparación total de un horno
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	50% (únicamente en líneas de vidrio ámbar)

<sup>(a)</sup> En función del número de hornos existentes.

**Tabla 2.6.15. Diseños de la geometría del horno**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	SÍ
Descripción técnica	La superficie del vidrio es un factor importante en la formación de partículas y otros contaminantes atmosféricos. Los cambios en el diseño del horno intentan mejorar la transmisión energética a través de la masa vitrificable de manera que la temperatura de la superficie del vidrio sea más baja.
Aspectos ambientales	Reducción de la emisión de partículas, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> . Reducción del consumo de energía.
Inconvenientes	Necesidad de la contratación de una ingeniería altamente especializada en el diseño, construcción, supervisión y puesta en marcha de hornos de fusión de vidrio.
Cuándo se aplica	Reparación total del un horno
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de hornos existentes.

**Tabla 2.6.16. Posicionamiento de los quemadores**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	SÍ
Descripción técnica	Una elevada velocidad del gas o un elevado nivel de turbulencias en la superficie del vidrio pueden incrementar la volatilización de sustancias de la masa vitrificable. El posicionamiento de los quemadores tratando de optimizar la velocidad, la dirección y combustión del gas es una práctica habitual en los hornos de vidrio.
Aspectos ambientales	Reducción de NO <sub>x</sub> .
Inconvenientes	Estas modificaciones en el posicionamiento de los quemadores suelen ser más efectivas cuando hay un nuevo diseño del horno.
Cuándo se aplica	En algunos casos puede aplicarse en cualquier momento.
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de hornos existentes.

**Tabla 2.6.17. Sustitución de fuel por gas natural (o fuel-oil muy bajo en azufre)**

Tipo	PRIMARIA
Incluida BREF	SÍ
Descripción técnica	Reemplazar el fuel por gas natural o fuel-oil muy bajo en azufre como energía principal en el horno de fusión de vidrio, ya sea total o parcialmente.
Aspectos ambientales	Reducción de la emisión de partículas, SO <sub>x</sub> y CO <sub>2</sub> .
Inconvenientes	El uso de gas natural aumenta de manera importante la emisión de NO <sub>x</sub> . La transferencia de calor a la masa vitrificable es más pobre debido a la menor luminosidad de la llama. Por tanto, la necesidad de consumo energético es mayor para alcanzar la temperatura de fusión del vidrio. Tiene un límite en el precio comparado de la termia. Puede reducir la capacidad extractiva del horno.
Cuándo se aplica	En la reconstrucción del horno
% instalación en la industria española <sup>(a)</sup>	100% (sustitución parcial)

<sup>(a)</sup> En función del número de hornos existentes.

**Tabla 2.6.18. Reducción de la relación aire/combustible**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sellado del bloque de quemadores para evitar la entrada de aire en la zona de alimentación de mezclas.</li> <li>▪ Reducción de la relación de aire/combustible a niveles casi estequiométricos</li> </ul>
<b>Aspectos ambientales</b>	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub> , HF y HCl.
<b>Inconvenientes</b>	Es necesario medir los niveles de NO, CO y O <sub>2</sub> en el gas residual ya que si la combustión es subestequiométrica, los niveles de CO y el desgaste del material refractario pueden aumentar y alterarse el nivel redox del vidrio, afectando a su calidad.
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno, pero debe realizarse con cuidado y de forma progresiva para evitar problemas.
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de hornos existentes.

### **Técnicas secundarias**

**Tabla 2.6.19. Filtros de mangas**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	(Ver tabla 2.6.13)
<b>Aspectos ambientales</b>	Es muy eficiente (hasta el 99%) en la eliminación de partículas.
<b>Inconvenientes</b>	<p>Se generan dos tipos de residuos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las partículas recogidas, que en la fabricación de tubo de vidrio para envases farmacéuticos no se pueden reciclar debido a las altas exigencias de calidad del producto.</li> <li>▪ Las mangas, que deben ser cambiadas periódicamente.</li> </ul>
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones existentes.

#### **4.1.3. Etapa: Corte, esmerilado o pulido en seco**

### **Técnicas secundarias**

**Tabla 2.6.20. Filtro de mangas**

<b>Tipo</b>	SECUNDARIA
<b>Incluida BREF</b>	SÍ
<b>Descripción técnica</b>	(Ver tabla 2.6.13)
<b>Aspectos ambientales</b>	Es muy eficiente (hasta el 99%) en la eliminación de partículas.
<b>Inconvenientes</b>	<p>Se generan dos tipos de residuos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las partículas recogidas, que en la fabricación de tubo de vidrio para envases farmacéuticos no se pueden reciclar debido a las altas exigencias de calidad del producto.</li> <li>▪ Las mangas, que deben ser cambiadas periódicamente.</li> </ul>
<b>Cuándo se aplica</b>	No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones existentes.

#### 4.1.3. Técnicas utilizadas para la reducción de emisiones al agua

**Tabla 2.4.21. Sistemas de refrigeración en circuito cerrado**

<b>Tipo</b>	PRIMARIA
<b>Incluida BREF</b>	SI
<b>Descripción técnica</b>	Instalación de circuitos cerrados para el agua de refrigeración
<b>Aspectos ambientales</b>	Minimización del consumo de agua y de los vertidos de aguas residuales
<b>Inconvenientes</b>	Periódicamente es necesario realizar purgas del circuito cerrado que contienen sales disueltas y productos químicos utilizados en el tratamiento del agua, etc.
<b>Cuándo se aplica</b>	En cualquier momento
<b>% instalación en la industria española <sup>(a)</sup></b>	100%

<sup>(a)</sup> En función del número de instalaciones existentes.

## 4.2. Aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en tubo de vidrio

Es objetivo de este apartado la descripción y evaluación de las Mejores Técnicas Disponibles que son aplicables al subsector de tubo de vidrio. Además de los “niveles asociados a MTD” y las características de cada una de las técnicas, se incluyen variables tan importantes como la aplicabilidad, los impactos ambientales derivados de su uso y los costes de inversión y de mantenimiento asociados. Las valoraciones económicas, deben tomarse con carácter orientativo, dado que su coste real depende en gran medida de las condiciones de las instalaciones y no sólo de condicionantes ambientales.

### 4.2.1. Partículas

#### Técnicas primarias

**Tabla 2.6.22. Medidas primarias para la reducción de partículas en la recepción y manipulación de materias primas**

<b>Proceso</b>	Recepción, dosificación y mezcla de las materias primas
<b>Objeto de la MTD</b>	Reducción de las emisiones de partículas
<b>Tipo MTD</b>	Primarias/Secundarias
<b>Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Silos cerrados ventilados a través de equipos de eliminación de polvo (por ejemplo, filtros de tejido).</li> <li>▪ Almacenamiento de materias primas finas en contenedores cerrados o sacos herméticos.</li> <li>▪ Transportadores cerrados.</li> <li>▪ Transporte neumático con sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.</li> <li>▪ Control de la emisión de polvo en la zona de alimentación del horno: humidificación de la mezcla, creación de una ligera presión negativa dentro del horno, aplicación de aspiración que ventila a un sistema de filtro, utilización de alimentadores helicoidales cerrados, cierre de las cámaras de alimentación</li> </ul>
<b>Aplicabilidad</b>	Se pueden aplicar en cualquier instalación.
<b>Resultado obtenido</b>	Reducción de las emisiones de polvo.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup></b>	-
<b>Nivel BREF <sup>(b)</sup></b>	No se especifica
<b>Inversión (€) (año 2005)</b>	-
<b>Costes operativos (€/año)</b>	-

Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	En su mayoría, se trata de medidas ampliamente aplicadas.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajos costes de instalación y operación.</li> <li>▪ En el caso de las dosificadoras/básculas y mezcladores, se trata de instalaciones totalmente automáticas y se evitan casi al 100% las emisiones difusas. Además, se evita la manipulación directa de sustancias peligrosas por los operarios.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El transporte por cintas o neumático consume energía y existe la posibilidad de que se introduzcan finos en el horno si no se dispone de sistemas que lo eviten. Además, es necesario aplicar algún tipo de cobertura para proporcionar protección contra el viento y evitar pérdidas sustanciales de material. Los sistemas pueden diseñarse para cerrar el transportador por todos los lados. Cuando se utilice transporte neumático, es importante aplicar un sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	-
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Consumo de energía eléctrica (en transporte por cintas o neumático y dosificadoras/básculas y mezcladoras, si éstas consumen energía).</li> <li>▪ Consumo de agua (en la humidificación de la mezcla y de calzadas).</li> </ul>

- (a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

## Técnicas secundarias

**Tabla 2.6.23. Electrofiltro**

Proceso	Horno de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	<p>El equipo genera un campo electrostático que carga negativamente las partículas circulantes en la corriente de aire, las cuales migran hacia las placas colectoras, cargadas positivamente. Las placas se limpian periódicamente por vibración o golpeteo.</p> <p>Generalmente el sistema requiere un pretratamiento de los humos con un agente alcalino con el objeto de neutralizar el gas ácido que puede influir negativamente sobre la filtración y sobre la duración del material del electrofiltro.</p> <p>Si es apropiado, puede operar en conjunción con un sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco.</p>
Aplicabilidad	La principal limitación es su coste. Por tanto, sólo resulta económicamente aceptable en el caso de horno con una capacidad productiva de al menos 200-250 t/día de vidrio.
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de partículas es del 70-90% y es función de la concentración inicial y al número de campos que compongan el filtro.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	-
Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup>	Partículas: 5-30 mg/Nm <sup>3</sup> (0,002 - 0,12 kg/t Vº Fº)
Inversión (€) (año 2005)	-
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Es una tecnología probada a nivel industrial.

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>▪ El polvo recogido puede ser reutilizado en el proceso en su mayor parte.</li> <li>▪ Menor pérdida de carga con respecto a los filtros de mangas, por lo que los costes operativos son menores.</li> <li>▪ Puede formar parte de un sistema integrado de tratamiento con otros equipos de depuración, por ejemplo, de <math>\text{SO}_x</math>.</li> <li>▪ No se colmatan fácilmente debido a una elevada pérdida de carga o contenido en humedad con respecto a lo que suele ocurrir con un filtro de mangas.</li> <li>▪ Permite la filtración de humos a elevadas temperaturas (350-400°C) y está más experimentado en el ámbito industrial que los filtros de mangas para dichas temperaturas.</li> <li>▪ Se puede diseñar por etapas de modo que se puedan adicionar más campos (con el límite del espacio disponible).</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesita energía eléctrica para su funcionamiento (aprox. &lt; 1% de la energía total consumida en el horno). El coste de esta energía es elevado.</li> <li>▪ El residuo generado no es reutilizable en su totalidad.</li> <li>▪ Puede ser necesario un lavador de gases ácidos previamente. Por tanto, se deben añadir los costes de mantenimiento y operativos de este sistema.</li> <li>▪ Costes importantes de inversión y explotación.</li> <li>▪ Es vital mantener las operaciones del sistema de depuración dentro de las condiciones de diseño. De lo contrario, la eficacia puede bajar considerablemente.</li> <li>▪ Elevadas necesidades de espacio para su instalación, pudiendo llegar a condicionar la capacidad del horno.</li> <li>▪ Puede provocar interferencias en la conducción del horno.</li> <li>▪ Hay que observar las precauciones de seguridad en el uso de equipos de alto voltaje.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En hornos eléctricos y hornos convencionales de menos de 200 t/día, los elevados costes pueden hacer que se elijan otras técnicas alternativas, como los filtros de mangas.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total del horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genera una elevada cantidad de residuos (polvo de electrofiltro) no siempre reutilizable en el proceso de fusión. Las características físico-químicas de este residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.</li> <li>▪ Consumo energético elevado para el funcionamiento del electrofiltro y para la extracción de los gases depurados (ventilador).</li> </ul>

- (a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $\text{O}_2$ .
- (b) Se ha tomado como factor para convertir de  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  a  $\text{kg}/\text{tonelada}$  de vidrio fundido, el proporcionado por el Documento BREF para vidrio de borosilicato (tubo):  $4 \cdot 10^{-3}$ .
- (c) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de  $\text{O}_2$ .

**Tabla 2.6.24. Filtro de mangas**

Proceso	Horno de fusión Corte en seco
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	(ver apartado 4.1)
Aplicabilidad	<p>La principal limitación son sus costes operativos, la elevada pérdida de carga generada por la retención del polvo obligan a limitar su aplicación a hornos de baja o mediana dimensión, con unos caudales de humos entre 20.000-30.000 <math>\text{Nm}^3/\text{h}</math>.</p> <p>El diseño del filtro debe optimizar el balance entre la pérdida de carga (coste operativo) y el tamaño (coste de inversión). Si la velocidad de filtración es</p>

<b>Aplicabilidad</b>	demasiado elevada, la pérdida de carga será grande y las partículas penetrarán y obstruirán el tejido. Si la velocidad de filtración es demasiado baja, el filtro sería eficaz pero muy caro
<b>Resultado obtenido</b>	La eficiencia de eliminación de partículas es del 85-95% en función de la concentración inicial del humo a tratar.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a) (b)</sup></b>	Para horno de fusión: 10-20 mg/Nm <sup>3</sup> (0,04-0,08 kg/t Vº Fº) (Si hay un precipitador o un filtro de mangas ya instalado y que alcance niveles de emisiones de 50 mg/Nm <sup>3</sup> , los costes de sustitución o modificaciones importantes antes de la próxima reconstrucción podrían ser desproporcionados en relación con las ventajas obtenidas)
<b>Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup></b>	Para horno de fusión: <10 mg/Nm <sup>3</sup> (0,04 - 0,12 kg/t Vº Fº)
<b>Inversión (año 2004)</b>	≈ 800.000 €
<b>Costes operativos (€/año)</b>	-
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	30 días/año
<b>Estado del arte</b>	No es una tecnología de aplicación relevante en los grandes hornos de vidrio. Se utiliza ampliamente en hornos eléctricos y particularmente para pequeños volúmenes de gases.
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficacia de eliminación de partículas.</li> <li>▪ Recogida del producto en estado seco.</li> <li>▪ Bajo coste de inversión en las aplicaciones más simples.</li> <li>▪ Suelen estar equipados con sistemas de limpieza automática y sensores de colmatación.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La tendencia de las partículas presentes en el gas residual a adherirse al material del filtro hace que su limpieza sea a menudo difícil. Algunos tipos de polvo son muy difíciles de desalojar, lo que hace que la pérdida de carga sea superior al valor diseñado.</li> <li>▪ Las características que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el material del filtro (resistencia química, forma de las fibras y tipo de hilo, trama y acabado del tejido, resistencia a la abrasión, eficacia de recolección, permeabilidad del tejido, etc.) hacen que el precio de las mangas pueda ser elevado.</li> <li>▪ Elevados requisitos de espacio.</li> <li>▪ A menudo se requiere enfriamiento de los gases por debajo del límite superior de resistencia del material del filtro. Los tejidos de filtro convencionales tienen normalmente una temperatura operativa máxima entre 130 y 220 °C y, en general, cuanto mayor es la temperatura operativa, mayor es el coste.</li> <li>▪ Problemas con el punto de rocío de cualquier sustancia condensable presente (como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o agua), si la temperatura es demasiado baja se produce condensación, lo que provoca obstrucción del tejido.</li> <li>▪ Periódicamente (cada 2-4 años) se requiere la sustitución de las mangas. Si se produce un problema y las mangas se obstruyen o resultan dañadas, el coste de sustitución puede ser alto. Este tipo de problemas suele ocurrir. Sería recomendable realizar una caracterización inicial de los residuos de mangas generados en cada proceso para saber si se trata de residuos peligrosos (código LER: 10 11 15* Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión, que contienen sustancias peligrosas) o no peligrosos (código LER: 10 11 16 Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión distintos de los especificados en el código 10 11 15).</li> </ul>
<b>Limitaciones de aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La necesidad de enfriamiento de los humos impide la aplicación del filtro de mangas en el caso de que se deba efectuar posteriormente una desnitrificación de los humos mediante catalizador (SCR). De hecho, esta tecnología se puede utilizar tras el filtro y recalentando el gas residual hasta aproximadamente una temperatura de 350°C.</li> <li>▪ La mayoría de los hornos de vidrio con combustibles fósiles requieren un control de presión sensible y la presencia de un filtro de tejido con una gran pérdida de carga puede hacerlo más difícil.</li> <li>▪ Su implantación debe esperar a la reparación total del horno.</li> </ul>

<b>Impactos ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genera una elevada cantidad de residuos que, en el subsector de fabricación de tubo de vidrio para la industria farmacéutica, no son reutilizables en el proceso de fusión. Estos residuos se deben gestionar como residuos peligrosos con gestores autorizados.</li> <li>▪ Consumo energético elevado para vencer la pérdida de carga originada en el filtro de mangas.</li> </ul>
(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .	
(b) Se ha tomado como factor para convertir de mg/Nm <sup>3</sup> a kg/tonelada de vidrio fundido, el proporcionado por el Documento BREF para vidrio de borosilicato (tubo): 4*10 <sup>-3</sup> .	
(c) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .	

#### 4.2.2. NO<sub>x</sub>

[Ver Anexo I: "Las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx), principal problemática de la industria del vidrio"]

#### Técnicas primarias

**Tabla 2.6.25. Medidas primarias para la reducción de NO<sub>x</sub>**

<b>Proceso</b>	Horno de fusión
<b>Objeto de la MTD</b>	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
<b>Tipo MTD</b>	Primaria
<b>Descripción</b>	<p>Se trata de reducir la emisión de NO<sub>x</sub> mediante las siguientes modificaciones de la combustión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducción del ratio aire/combustible</li> <li>▪ Reducción de la temperatura del aire de combustión</li> <li>▪ Combustión por etapas</li> <li>▪ Recirculación de los gases de combustión</li> <li>▪ Quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub></li> <li>▪ Elección del combustible</li> <li>▪ <i>Boosting</i> eléctrico</li> <li>▪ Diseños adecuados de la geometría del horno</li> <li>▪ Posicionamiento y número de quemadores</li> <li>▪ Aumento en el consumo de casco de vidrio como materia prima</li> </ul>
<b>Aplicabilidad</b>	La principal limitación es la necesidad de implantar una batería de técnicas para conseguir una eficiencia de eliminación relevante y de contar con una ingeniería altamente especializada en el diseño, implantación y puesta a punto de las mismas
<b>Resultado obtenido</b>	La eficiencia de eliminación puede llegar hasta un 70% en función del número de técnicas que se apliquen y de la concentración de partida de los humos.
<b>Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup></b>	850-1.500 mg/Nm <sup>3</sup> (3,4-6 kg/t Vº Fº) NOTA: Estos niveles podrán ser más tolerantes en caso de utilizar nitratos en la composición
<b>Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup></b>	600-850 mg/Nm <sup>3</sup> (2,4-3,4 kg/t Vº Fº)
<b>Inversión (€) (año 2005)</b>	-
<b>Costes operativos (€/año)</b>	-
<b>Tiempos de parada para mantenimiento</b>	-
<b>Estado del arte</b>	De acuerdo con la experiencia en Alemania, son medidas de difícil aplicación en las instalaciones de tubo de vidrio debido a la disminución de los rendimientos al modificar quemadores, geometrías de hornos y proporciones de combustibles.

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajos costes relativos.</li> <li>Se consiguen reducciones sustanciales en las emisiones de NO<sub>x</sub> para la mayoría de tipos de hornos.</li> <li>Estas técnicas no tienen ningún aspecto medioambiental negativo importante y pueden producir a menudo un ahorro significativo de energía.</li> <li>Las menores temperaturas del horno y el menor consumo energético tienen asimismo como consecuencia menores emisiones globales.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se requiere una pericia sustancial para obtener los mejores resultados.</li> <li>Puede ser necesario modificar el diseño del horno para obtener los mejores resultados.</li> <li>Debe tenerse cuidado en evitar problemas de calidad del vidrio debidos a cambios redox.</li> <li>Deben controlarse los niveles de CO para evitar daños en el material refractario.</li> <li>La atmósfera más reductora puede fomentar las emisiones SO<sub>2</sub>.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Las limitaciones de cada una de estas medidas por separado se han explicado en la fila anterior.
Impactos ambientales	Se incrementa la energía primaria necesaria en el proceso.
(a)	Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .
(b)	Se ha tomado como factor para convertir de mg/Nm <sup>3</sup> a kg/tonelada de vidrio fundido, el proporcionado por el Documento BREF para vidrio de borosilicato (tubo) : 4 · 10 <sup>-3</sup> .
(c)	Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O <sub>2</sub> .

### Técnicas secundarias

**Tabla 2.6.26. SNCR (reducción selectiva sin catalizador)**

Proceso	Hornos de fusión	
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>	
Tipo MTD	Secundaria	
Descripción	Inyección de compuestos amoniacales. En la industria del vidrio sólo se utiliza amoniaco o soluciones acuosas de amoniaco. A temperaturas de 800-1.000°C, los óxidos de nitrógeno son reducidos a N <sub>2</sub> . La eficiencia de la reacción depende de diversos factores, como la temperatura, concentración inicial de NO <sub>x</sub> , homogeneidad de la mezcla del reactivo con el gas, ratio amoniaco/NO <sub>x</sub> y tiempo de reacción (se requiere al menos 2 segundos).	
Aplicabilidad	En principio, la técnica es aplicable a todos los procesos de vidrio, incluidas plantas nuevas y existentes. Debido a la temperatura a la que es necesario operar, el sistema se aplica más fácilmente a hornos dotados de recuperadores de calor que a hornos regenerativos.	
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> es del 30-70%. El aumento de la eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> aumenta también el riesgo de emisión de amoniaco.	
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	-	
Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup>	NO <sub>x</sub> : 500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (2-2,8 kg/t Vº Fº)	
Inversión (€) (año 2000)	50 t/día	100 t/día
	≈ 190.000	≈ 280.000
Costes operativos (€/año)	≈ 23.000	≈ 28.000
Tiempos de parada para mantenimiento	-	
Estado del arte	-	

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>La SNCR puede conseguir buenas eficacias de reducción de NO<sub>x</sub> si se dan las condiciones de operación adecuadas.</li> <li>Bajo coste de inversión en comparación con otras alternativas (SCR).</li> <li>No requiere catalizador.</li> <li>Bajo consumo energético.</li> <li>No requiere de un pretratamiento del filtración de las partículas dado que el sistema no cuenta con la presencia de un catalizador que puede provocar la deposición de las partículas o su aglomeración.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>La inyección de amoniaco dentro del rango de temperatura correcto es esencial, aunque en ocasiones es muy difícil de lograr (particularmente para hornos regenerativos y sobre todo en plantas existentes). De hecho, este sistema conlleva una limitación en la producción ajustando los valores de extracción a unos rangos muy delimitados. Al variar la extracción del horno se modifica el intervalo de temperatura a la que se debe efectuar la inyección de amoniaco, con el consiguiente riesgo de emisión de amoniaco (temperatura baja) o aumento de la emisión de NO<sub>x</sub> (temperatura demasiado elevada).</li> <li>Una mezcla uniforme del reactivo con el gas a depurar es muy importante y puede ser difícil de lograr.</li> <li>Se forma bisulfato amónico que puede causar problemas de incrustación y corrosión.</li> <li>Posibles daños en el material refractario de los regeneradores.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Técnica más fácil de aplicar en hornos recuperativos que regenerativos, sobre todo en los existentes donde su uso es muy improbable.</li> <li>En hornos de recuperación pequeños, los costes relativos de la SNCR son bastante altos.</li> <li>Su implantación debe esperar a la reparación total de un horno.</li> </ul>
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se consume y emite amoniaco, cuyo almacenamiento y manipulación plantea problemas medioambientales y de seguridad. El almacenamiento de amoniaco en ciertas cantidades puede provocar la aplicación de la normativa SEVESO.</li> <li>Fuera del rango de temperatura operativo, pueden producirse emisiones de NH<sub>3</sub> o un aumento de las emisiones de NO<sub>x</sub>. Una temperatura demasiado baja produce desprendimiento de amoniaco y una menor eficacia: si es demasiado alta puede producirse un aumento en las emisiones de NO<sub>x</sub>.</li> </ul>

- (a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (b) Se ha tomado como factor para convertir de mg/Nm<sup>3</sup> a kg/tonelada de vidrio fundido, el proporcionado por el Documento BREF para vidrio de borosilicato (tubo):  $4 \cdot 10^{-3}$ .
- (c) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

Tabla 2.6.27. SCR (reducción selectiva con catalizador)

Proceso	Hornos de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de NO <sub>x</sub>
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	Se hace reaccionar al NO <sub>x</sub> con amoniaco en un lecho catalítico a la temperatura adecuada. Los catalizadores más habituales son TiO <sub>2</sub> y V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> depositados sobre un sustrato metálico o cerámico. La reacción se da a temperaturas entre 200 y 500°C, siendo la temperatura óptima de reacción diferente para cada catalizador. Estas temperaturas son inferiores a las requeridas en la SNCR debido a la acción del catalizador.
Aplicabilidad	En principio, la técnica puede aplicarse a la mayoría de procesos de la industria del vidrio y tanto a plantas nuevas como existentes. Es necesario instalar un equipo de control de partículas antes de la unidad de SCR. Generalmente se instala un precipitador electrostático, ya que el uso de filtros de mangas requeriría un recalentamiento posterior de los gases.
Resultado obtenido	La eficiencia de eliminación de NO <sub>x</sub> es del 70-90%

Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	-
Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup>	NO <sub>x</sub> : 500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (2-2,8 kg/t Vº Fº)
Inversión (año 2005)	≈ 1.500.000 € (inversión para la sustitución de los dos hornos que existen actualmente en la única empresa española de tubo de vidrio del subsector)
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Existen ejemplos dentro de la industria del vidrio y en otros sectores industriales.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alta eficacia de reducción de NO<sub>x</sub>.</li> <li>▪ Reduce el NOx de todas las fuentes del horno, no sólo el NO<sub>x</sub> térmico.</li> <li>▪ Puede formar parte de un sistema integrado de control de la contaminación atmosférica.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El sistema consume energía de forma considerable</li> <li>▪ Debe instalarse con eliminación de polvo (precipitadores electrostáticos) y lavado de gases ácidos, ya que se requieren bajos niveles de partículas y de SO<sub>2</sub>.</li> <li>▪ Coste de inversión alto.</li> <li>▪ Elevados requisitos de espacio.</li> <li>▪ Sigue habiendo dudas razonables sobre las vidas útiles de los catalizadores.</li> <li>▪ La temperatura operativa limita las posibilidades de recuperación de calor.</li> <li>▪ Puede requerirse enfriamiento para hornos recuperativos.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	Uno de los aspectos clave de los costes de SCR es la vida útil del catalizador que puede reducirse significativamente en caso de envenenamiento. Hay aspectos técnicos aún por resolver en algunas aplicaciones. Por ejemplo, en plantas con combustión a fuel-oil existe la posibilidad de envenenamiento del catalizador. Esto también es aplicable a hornos con combustión a gas con elevados niveles de sulfato. Un problema asociado a esta técnica puede ser la formación de bisulfato amónico como consecuencia de la reacción del reactivo con el SO <sub>3</sub> formado, especialmente cuando el combustible contiene elevada concentración de azufre. El bisulfato puede envenenar el catalizador y causar incrustaciones y corrosión de los equipos. Algunas partículas conteniendo metales alcalinos pueden envenenar también el catalizador. Esto implica además que, en muchos casos es necesaria la instalación de un scrubber para gases ácidos.
Impactos ambientales	Similares a los de la técnica SNCR

(a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

(b) Se ha tomado como factor para convertir de mg/Nm<sup>3</sup> a kg/tonelada de vidrio fundido, el proporcionado por el Documento BREF para vidrio de borosilicato (tubo):  $4 \cdot 10^{-3}$ .

(c) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

En relación a las MTD para la reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub>, es destacable que:

- En cuanto a las técnicas primarias, es necesario utilizar una combinación de las existentes para alcanzar los niveles asociados indicados en las tablas correspondientes.
- En la implantación de las MTD primarias, se debe tener en cuenta que su eficacia no es estable en el tiempo, pudiendo variar las emisiones de NO<sub>x</sub>.

#### 4.2.3. Otras emisiones

##### Técnicas secundarias

Tabla 2.6.28. Lavador por vía seca o semiseca

Proceso	Hornos de fusión
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de SO <sub>x</sub> , HCl y HF
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	<p>Se introduce un material absorbente que se dispersa en el gas a tratar. Este material reacciona con el SO<sub>x</sub> para formar un sólido que ha de ser recogido por un precipitador electrostático o un filtro de mangas.</p> <p>En el proceso seco el absorbente es un polvo seco, generalmente Ca(OH)<sub>2</sub>, NaHCO<sub>3</sub> o Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, que pueden ser dispersados mediante aire a presión. En el proceso semiseco el absorbente (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaO o Ca (OH)<sub>2</sub>) se añade en forma de solución o dispersión y la evaporación del agua enfriá la corriente de gas.</p>
Aplicabilidad	En principio, es aplicable a todos los procesos, tanto nuevos como existentes, con gases residuales que contengan sustancias ácidas. La eliminación de polvo es esencial. El proceso seco se utiliza mucho más ampliamente ya que es la técnica más eficiente para alcanzar los requisitos técnicos y legales, teniendo en cuenta las consideraciones económicas.
Resultado obtenido	Aunque la reducción alcanzada depende de una serie de factores relacionados con el proceso y el absorbente, el porcentaje de eliminación de SO <sub>2</sub> es normalmente superior al 80%.
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	No disponible
Nivel BREF <sup>(b) (c)</sup>	<p>SO<sub>x</sub>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para combustión a gas natural: 200-500 mg/Nm<sup>3</sup> (0,8-2 kg/t Vº Fº) (si se utilizan niveles bajos de sulfatos, esta cifra es inferior a 200 mg/Nm<sup>3</sup>).</li> <li>- Para combustión a fuel-oil: 500-1200 mg/Nm<sup>3</sup> (2-4,8 kg/t Vº Fº).</li> </ul> <p>(Las cifras de las partes altas de estos rangos corresponden a instalaciones en las que el polvo recogido se recicla. Si no se recicla, cabe esperar que las emisiones sean inferiores a los máximos indicados)</p> <p>Cloruros (expresados como HCl): &lt; 30 mg/Nm<sup>3</sup></p> <p>Fluoruros (expresados como HF): &lt; 5 mg/Nm<sup>3</sup></p> <p>Metales (Grupo I + II): &lt; 5 mg/Nm<sup>3</sup></p> <p>Metales (Grupo I): &lt; 1 mg/Nm<sup>3</sup></p>
Inversión (€) (año 2005)	-
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	Es una tecnología ampliamente probada a nivel industrial.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pueden conseguirse reducciones sustanciales en las emisiones de SO<sub>x</sub>.</li> <li>■ Los absorbentes utilizados son también efectivos para atrapar otros gases ácidos, especialmente haluros (HCl y HF) y algunos compuestos de selenio.</li> <li>■ En la mayoría de casos, el polvo recogido puede ser reciclado, reduciendo el consumo de materias primas.</li> </ul>
Desventajas	<p>Se consume energía.</p> <p>Importantes costes de inversión y operación.</p> <p>La eficiencia del absorbente es muy baja (se necesita gran cantidad de absorbente para una baja eliminación de SO<sub>x</sub>).</p>
Limitaciones de aplicación	Sólo debe considerarse como MTD si las condiciones locales requieren bajos límites de emisión de óxidos de azufre, por lo que la reducción de las emisiones de SO <sub>x</sub> constituye la prioridad absoluta, frente a otros impactos medioambientales.
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Consumir energía.</li> <li>■ Generación de gran cantidad de residuos que en ciertos procesos pueden ser peligrosos y que no pueden reciclarse eficazmente, lo que da lugar a residuos destinados a vertedero.</li> </ul>

## CAPÍTULO 2. SECCIÓN 6. VIDRIOS ESPECIALES

- (a) Nivel asociado a MTD: el resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (b) Se ha tomado como factor para convertir de mg/Nm<sup>3</sup> a kg/tonelada de vidrio fundido, el proporcionado por el Documento BREF para vidrio de borosilicato (tubo) : 4 · 10<sup>-3</sup>.
- (c) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

**Tabla 2.6.29 Lavador húmedo**

Proceso	Corte mecánico
Objeto de la MTD	Reducción de la emisión de partículas y gases ácidos
Tipo MTD	Secundaria
Descripción	<p>Los lavadores húmedos pueden utilizarse para controlar las emisiones gaseosas y de partículas. Como los criterios de diseño en ambos casos son muy distintos, para mantener bajos los costes de inversión suelen diseñarse para controlar las emisiones de ambos.</p> <p>La recogida de partículas se produce mediante impacto por inercia, intercepción y difusión. La eliminación de gases se produce por absorción (por transferencia de materia entre un gas soluble y un disolvente en un dispositivo de contacto gas-líquido) y, en menor medida, por condensación.</p> <p>Es posible utilizar el agua de proceso como medio de lavado y combinar las emisiones. El agua se utiliza en circuito cerrado.</p> <p>Tras el lavador, se puede utilizar un sistema de filtración para eliminar las partículas de menor tamaño.</p>
Aplicabilidad	<p>No es necesario esperar a la reparación o reconstrucción del horno (es probable que los costes sean mayores en instalaciones existentes).</p> <p>Esta técnica no sería necesaria en el caso de que para el corte se utilizaran procesos térmicos.</p>
Resultado obtenido	-
Nivel asociado a MTD <sup>(a)</sup>	No disponible
Nivel BREF <sup>(b)</sup>	<p>Fluoruros (expresados como HF): &lt; 5 mg/Nm<sup>3</sup></p> <p>Partículas: &lt; 5 mg/Nm<sup>3</sup></p> <p>Metales (Grupo I + II): &lt; 5 mg/Nm<sup>3</sup></p> <p>Metales (Grupo I): &lt; 1 mg/Nm<sup>3</sup></p>
Inversión (€) (año 2005)	-
Costes operativos (€/año)	-
Tiempos de parada para mantenimiento	-
Estado del arte	-
Ventajas	Se utilizan para controlar emisiones mixtas de gases y partículas, con lo que los costes de inversión son menores.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La eficacia está limitada en las partículas por el consumo de energía (fundamentalmente por la caída de presión) y en las sustancias gaseosas por el uso de agua de proceso como medio de lavado (en lugar de agua limpia).</li> <li>▪ Pueden tener tendencia al bloqueo por partículas insolubles y se genera una lechada residual.</li> </ul>
Limitaciones de aplicación	La técnica no está limitada a plantas nuevas o existentes, pero es probable que los costes sean mayores en estas últimas.
Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se consume energía.</li> <li>▪ Se crea un efluente contaminado (aunque es posible utilizar el agua de proceso en circuito cerrado).</li> </ul>

- (a) Nivel asociado a MTD: El resultado esperado en condiciones normales de operación. Este nivel ya presenta gran dificultad y más considerando el tipo de proceso y el funcionamiento sin paradas. Los niveles asociados a MTD están referidos a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

- (b) Nivel asociado a la técnica en el Documento BREF. Está referido a condiciones estándar: en seco, 0°C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.

#### 4.2.4. *Emisiones al agua*

En general las emisiones al agua, como ya se ha mencionado anteriormente, son relativamente pequeñas. Estas emisiones pueden ser recicladas o tratadas mediante técnicas estándar.

Además de los sistemas en circuito cerrado que reducen el consumo y las emisiones de agua, como medidas generales para el control de las emisiones pueden aplicarse las siguientes técnicas:

- Cubetos adecuados.
- Vigilancia y control de tanques y cubetos.
- Sistemas automáticos de control y detección de fugas y derrames.
- Venteos y puntos de llenado en el interior de los cubetos.

En su caso, el envío a sistemas de depuración de las aguas residuales, también pueden considerarse como MTD. Estos sistemas de tratamientos de agua residuales pueden ser:

- Tratamiento físico-químico: cribado, separación superficial, sedimentación, centrifugación, filtración, neutralización, aireación, precipitación y coagulación y floculación.
- Tratamiento biológico: fangos activos y biofiltración.

#### 4.2.5. *Residuos*

En la medida de lo posible, las instalaciones de fabricación de tubo de vidrio deben prevenir, o al menos minimizar, la generación de residuos. Cuando no sea factible, se consideran Mejores Técnicas Disponibles, tal y como se ha comentado a lo largo del apartado 4.2, la utilización de casco de vidrio interno y la recuperación y reciclaje del polvo recogido en los sistemas de captación.

El empleo de casco de vidrio interno en sustitución de las materias primas tradicionales permite:

- Reducir el consumo de materias primas.
- Reducir de forma significativa el consumo de energía.
- Minimizar las emisiones a la atmósfera, debido por un lado, a la reducción de las emisiones derivadas de la utilización de combustibles fósiles y, por otro, a que se evitan las reacciones de descarbonatación y desulfatación de las materias primas, y con ellas las emisiones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{SO}_x$ .

La recuperación y reciclaje del polvo permite también mejorar la eficiencia energética, minimizar las emisiones de algunos contaminantes (por ejemplo, los  $\text{SO}_x$ ) y reducir el consumo de materias primas. No obstante, este residuo no siempre puede ser totalmente reutilizado en las instalaciones de tubo de vidrio para la industria farmacéutica debido a los altos requisitos de calidad del producto. Además, en el caso del electrofiltro, las características fisicoquímicas del residuo (solubilidad elevada) imponen el uso de precauciones especiales en su manipulación y almacenamiento.

### 4.3. Valoración de la aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles en tubo de vidrio

Del conjunto de las MTD incluidas en el documento BREF aplicables al subsector de fabricación de vidrios especiales (tubo), así como de las consideradas MTD en el apartado 4.2, la experiencia de su implantación en industrias europeas y españolas desde la publicación del BREF ha proporcionado información suficiente acerca de su viabilidad técnica y económica, así como de los beneficios e impactos ambientales que pueden generar. Esta información queda reflejada en la siguiente tabla a través de la valoración cualitativa de cada una de las técnicas desde el punto de vista técnico, ambiental y económico.

Se ha valorado cada MTD de 0 a 4 para los apartados técnico, ambiental y económico, considerando "0" como la valoración mínima (peor valorado) y "4" como la valoración máxima (mejor valorado). Si la técnica es no aplicable o no relevante en el subsector, se ha indicado con "n.a.".

Desde el punto de vista técnico, se ha valorado que la técnica:

- Es viable desde el punto de vista técnico y es aplicable.
- Está contrastada.
- Existe experiencia suficiente a escala industrial.

En la valoración ambiental se han considerado:

- Los objetivos ambientales del subsector.
- Los beneficios ambientales que aporta la técnica.
- El balance ambiental total.

Por último, para valorar el aspecto económico, se ha tenido en cuenta la información existente sobre:

- Rentabilidad económica de la inversión en un plazo razonable.
- Costes de operación y mantenimiento posterior

Cuando en la tabla no se encuentra valorada una técnica, se considera que no es aplicable al subsector, por no existir experiencia suficiente para el mismo o por no disponer de datos suficientes para su consideración.

Las técnicas que aparecen sombreadas son técnicas de tipo secundario.

**Tabla 2.6.30. Valoración técnica, ambiental y económica de las MTDs** *Valoración técnica, ambiental y económica de las MTDs*

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) (a)
<b>ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIAS PRIMAS</b>				
Silos cerrados ventilados a través de equipos de eliminación de polvo (por ejemplo, filtros de tejido).	4	4	2	-
Almacenamiento de materias primas finas en contenedores cerrados o sacos herméticos.	4	4	1	-
Almacenamiento de materias primas polvorrientas gruesas a cubierto.	n.a.	n.a.	n.a.	-

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) (a)
Uso de vehículos de limpieza de calzadas y de técnicas de humedecimiento con agua.	n.a.	n.a.	n.a.	-
Transportadores cerrados.	4	4	3	-
Transporte neumático con sistema hermético con un filtro para limpiar el aire de transporte antes de su emisión.	4	4	4	-
Adición de un porcentaje de agua en la mezcla (del 0-4%).	n.a.	n.a.	n.a.	-
Control de la emisión de polvo en la zona de alimentación del horno: humidificación de la mezcla, creación de una ligera presión negativa dentro del horno, aplicación de aspiración que ventila a un sistema de filtro, utilización de alimentadores helicoidales cerrados, cierre de las cámaras de alimentación.	4	4	2	-
Diseño de las naves con el mínimo de aberturas y puertas y aplicación de cortinas antipolvo o sistemas de aspiración en zonas potencialmente muy polvorrientas.	n.a.	n.a.	n.a.	-
En los almacenamientos de materias volátiles, mantenimiento de las temperaturas lo más bajas posibles.	n.a.	n.a.	n.a.	-
Reducción de las pérdidas de los tanques de almacenamiento a presión atmosférica mediante: pintura para tanques con baja absorción solar, control de temperatura, aislamiento de los tanques, gestión de inventarios, tanque de techo flotante, sistemas de transvase con retorno de vapor, tanques con techo de diafragma, válvulas de presión/vacío (cuando los tanques tengan que soportar fluctuaciones de presión), tratamientos específicos de las emisiones (adsorción, absorción, condensación), llenado subterráneo.	n.a.	n.a.	n.a.	-
<b>FUSIÓN</b>				
<b>Polvo</b>				
Filtro de mangas, en conjunción con un sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco (si es apropiado)	3	3	2	10 - 20
Precipitador electrostático, en conjunción con un sistema de lavado de gases ácidos seco o semiseco (si es apropiado)	2 <sup>(b)</sup>	3	2 <sup>(b)</sup>	-
<b>Óxidos de azufre</b>				
Eliminación secundaria de polvo con lavado de gases ácidos seco o semiseco cuando proceda	4	4	2	-
<b>Óxidos de nitrógeno</b>				
Medidas primarias para la minimización de las emisiones de NO <sub>x</sub>	2 <sup>(c)</sup>	3	2	850-1.500 NOTA: Estos niveles podrán ser más tolerantes en caso de utilizar nitratos en la composición
Oxicombustión	2	2	1 <sup>(d)</sup>	-

MTD	Valoración técnica	Valoración ambiental	Valoración económica	Nivel asociado a MTD (mg/Nm <sup>3</sup> ) (a)
SNCR	3	3	2	-
SCR	2	2	2	-
<b>Otras emisiones de la fusión</b>				
Selección de materias primas	n.a.	n.a.	n.a.	-
Lavador de gases ácidos (en combinación con selección de materiales)	3	3	2	-
<b>PROCESOS DE ACABADO</b>				
Aspiración a un sistema de filtro de mangas (en caso de corte o esmerilado en seco)	n.a.	n.a.	n.a.	-
Lavado húmedo	n.a. <sup>(e)</sup>	n.a.	n.a.	-

- (a) Los datos se refieren a condiciones en seco, 0 °C (273 K), 101,3 kPa y 8% de O<sub>2</sub>.
- (b) En hornos de menos de 200 t/día los costes de los precipitadores son más elevados que en el caso de los filtros de mangas y su eficiencia es algo menor.
- (c) De acuerdo con la experiencia en Alemania, son medidas de difícil aplicación en las instalaciones de tubo de vidrio debido a la disminución de los rendimientos al modificar quemadores, geometrías de hornos y proporciones de combustibles.
- (d) La experiencia industrial en el subsector español el uso de esta técnica ha demostrado que en las instalaciones de tubo de vidrio tiene un rendimiento técnico bajo y elevados costes de energía y materiales.
- (e) Esta técnica no es aplicable en las instalaciones de tubo de vidrio existentes en la actualidad ya que las operaciones de corte se realizan utilizando procesos térmicos.

### *3. Medición y control de emisiones: sistemas de medida, cálculo y estimación*

El Registro “EPER-España: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes”, de competencia estatal y en funcionamiento desde el año 2001-2002, deriva de la aplicación de la Decisión 2000/479/CE relativa a la implantación de un inventario Europeo de Emisiones Contaminantes (EPER) en el marco de la Directiva 96/61/CE o IPPC y de las obligaciones de información contempladas en la Ley 16/2002, de 1 de julio, relativa a la Prevención y Control Integrados de la Contaminación. Constituye una herramienta de gran utilidad para el conocimiento y la evaluación del estado actual de la contaminación así como para la transparencia en la comunicación e información ambiental por parte de las empresas y las administraciones y es, al mismo tiempo, un primer paso en el desarrollo de sistemas de información cada vez más completos y transparentes denominados “PRTR”.

El nombre "PRTR" corresponde a las siglas en inglés de los Registros de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (“Pollutant Release and Transfer Registers”). El desarrollo e implantación de los Registros tipo “PRTR” en Europa tienen su fundamento jurídico en el Convenio de la CEPE (Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas, “UN/ECE”), sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en materia de medio ambiente, adoptado en Aarhus (Dinamarca) en 1998. En el marco de este convenio y por mandato de las Partes del mismo, en mayo de 2001 se adoptó el Protocolo para la Implantación de Registros de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (Protocolo PRTR).

El objetivo de la UE es que el “Registro Europeo PRTR” sustituya al actual EPER-EUROPA<sup>24</sup> a partir del año 2007. De hecho, ya se han tomado las medidas legislativas necesarias mediante el Reglamento 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo al establecimiento de un Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes<sup>25</sup>, en vigor desde el 24 de febrero de 2006.

Las principales novedades introducidas por el E-PRTR con respecto al EPER actual, y que afectan a la industria del vidrio, son el aumento del número de sustancias contaminantes sobre las que las industrias deberán notificar sus emisiones (de 50 a 92 sustancias), la inclusión de las emisiones al suelo, el traslado y transferencia de residuos fuera de los complejos industriales y la información sobre fuentes difusas. Asimismo, también ha variado el umbral de capacidad a partir del cual las instalaciones se encuentran incluidas en el ámbito de aplicación del Reglamento 166/2006 [epígrafes 3.e) y 3.f)]:

- Instalaciones para la fabricación de vidrio, incluida la fibra de vidrio, con una capacidad de fusión de 20 toneladas por día
- Instalaciones para la fusión de materias minerales, incluida la fabricación de fibras minerales, con una capacidad de fusión de 20 toneladas por día

---

<sup>24</sup> Es decir, que el contenido del primer informe E-PRTR serán las emisiones generadas por los complejos industriales en el año 2007.

<sup>25</sup> DOCE L33. de 4.02.2006, p.1

La información incluida en los apartados siguientes se basa en el EPER actual, indicándose, en su caso, las futuras modificaciones incluidas por el Registro E-PRTR.

## 1. PRINCIPALES SUSTANCIAS CONTAMINANTES EN LA INDUSTRIA DEL VIDRIO

La principal fuente de contaminación en la industria del vidrio son las emisiones atmosféricas generadas en la etapa de fusión, principal actividad IPPC del sector. Según el tipo de vidrio y las etapas de conformado pueden generarse emisiones de cierta importancia y que, por tanto, podrían tenerse que tener en cuenta a efectos del Inventario EPER actual. De forma genérica, las principales sustancias contaminantes que pueden emitirse en el proceso de fabricación del vidrio se resumen a continuación:

**Tabla 3.1. Principales sustancias contaminantes en el proceso de fabricación del vidrio**

SUBSECTOR/ACTIVIDAD	SUSTANCIAS CONTAMINANTES
<b>VIDRIO HUECO</b>	
Recepción materias primas, molienda, dosificación y mezclas	Polvo y partículas, SiO <sub>2</sub> cristalino
Proceso de fusión	Polvo y partículas, CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , HF, HCl, metales pesados
Conformado y operaciones posteriores	Polvo y partículas, compuestos orgánicos e inorgánicos, HCl, SO <sub>x</sub>
<b>VIDRIO PLANO</b>	
Recepción materias primas, molienda, dosificación y mezclas	Polvo y partículas, SiO <sub>2</sub> cristalino
Proceso de fusión	Polvo y partículas, CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , HF, HCl, metales pesados (en vidrios de color)
Conformado y operaciones posteriores	Polvo y partículas, compuestos orgánicos e inorgánicos, HCl, SO <sub>x</sub>
<b>FILAMENTO CONTINUO</b>	
Recepción materias primas, molienda, dosificación y mezclas	Polvo y partículas, SiO <sub>2</sub> cristalino
Proceso de fusión	Polvo y partículas, CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , HF, HCl, compuestos de boro
Conformado y operaciones posteriores	Polvo y partículas, compuestos orgánicos volátiles (COV), formaldehídos, amonio, aguas residuales
<b>LANAS MINERALES (ROCA Y VIDRIO)</b>	
Recepción materias primas, molienda, dosificación y mezclas	Polvo y partículas, SiO <sub>2</sub> cristalino
Proceso de fusión	Polvo y partículas, CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , HF, HCl, H <sub>2</sub> S
Conformado y operaciones posteriores	Polvo y partículas, compuestos orgánicos volátiles (COV), fenoles, aminas, formaldehído, amonio, NO <sub>x</sub> , aguas residuales
<b>VIDRIO DOMÉSTICO</b>	
Recepción materias primas, molienda, dosificación y mezclas	Polvo y partículas, SiO <sub>2</sub> cristalino, metales pesados
Proceso de fusión	Polvo y partículas, CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , HF, HCl, metales pesados
Conformado y operaciones posteriores	HF, aguas residuales
<b>VIDRIO ESPECIAL</b>	
Recepción materias primas, molienda, dosificación y mezclas	Polvo y partículas, SiO <sub>2</sub> cristalino, metales pesados
Proceso de fusión	Polvo y partículas, CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , HF, HCl, metales pesados, compuestos de boro, H <sub>2</sub> S
Conformado y operaciones posteriores	HF, aguas residuales

En cuanto a los efluentes líquidos en la fabricación del vidrio, las emisiones de sustancias contaminantes al agua no son importantes, por regla general, y sólo puede tener cierta relevancia en determinadas actividades de tratamientos superficiales y otras etapas de conformado específicas de subsectores concretos.

Los contaminantes del agua, cuando se dan, más comunes que pueden generarse en las diferentes etapas de fabricación en los diversos procesos productivos se resumen a continuación:

**Tabla 3.2. Principales sustancias contaminantes del agua en el proceso de fabricación del vidrio**

SECTOR/ACTIVIDAD	SUSTANCIAS CONTAMINANTES
<b>FABRICACIÓN DE VIDRIO (dependerá de cada subsector)</b>	
Recepción materias primas, molienda, dosificación y mezclas	
Proceso de fusión	Sólidos en suspensión, DQO, amonio, sulfatos, fluoruros, metales pesados (Zn, Pb, Sn, Ni, Cu, Cr, Cd, Sb, As, Ba, etc.), fenoles, compuestos de boro, aceites y grasas, pH.
Conformado y operaciones posteriores	
Operaciones de limpieza, etc.	

No obstante, a efectos del Registro EPER y del E-PRTR, hay que considerar la posibilidad de que en algunas de las etapas de proceso puedan generarse emisiones al agua y que éstas incluyan alguna de las sustancias que aparecen recogidas en los Anexo A1 de la Decisión EPER o del Reglamento E-PRTR. Si fuera así, y si además se superaran los umbrales correspondientes, existiría la obligación de notificar los datos.

### 1.1. Sustancias contaminantes: Identificación y cuantificación

Una vez identificadas las actividades y las categorías fuentes, las sustancias contaminantes sujetas a notificación serán todas y cada una de las generadas por dichas actividades y que superen los valores umbrales especificados (ver Decisión EPER y Reglamento E-PRTR).

Tanto para el Registro EPER como para el E-PRTR existe una lista por actividades de carácter orientativo y no limitativo que indican las emisiones de las sustancias contaminantes a la atmósfera y al agua más características de cada una de ellas. Al menos, habrá que notificar sobre esas sustancias. Las sublistas elaboradas para la industria del vidrio (epígrafes 3.3 y 3.4) son las siguientes (se incluyen también las sublistas incluidas en el Registro E-PRTR):

**Tabla 3.3. Emisiones de sustancias contaminantes a la atmósfera**

Número CAS	Contaminantes/sustancias/ (nº total)	Atmósfera	Umbrales de emisión a la atmósfera en kg/año	SECTOR/SUBSECTOR	
				3.3 (IPPC)	3.4 (IPPC)
<b>Temas medioambientales</b>					
630-08-0	CO	X	500.000	X	X
124-38-9	CO <sub>2</sub>	X	100.000.000	X	X
7664-41-7	NH <sub>3</sub>	X	10.000		X
	COVNM	X	100.000	X	X
	NO <sub>x</sub>	X	100.000	X	X
	SO <sub>x</sub>	X	150.000	X	X

Número CAS	Contaminantes/sustancias/ (nº total)	Atmósfera	Umbráles de emisión a la atmósfera en kg/año	SECTOR/SUBSECTOR	
				3.3 (IPPC)	3.4 (IPPC)
<b>Metales y sus compuestos</b>					
	As y sus compuestos	X	20	X	X
	Cd y sus compuestos	X	10	X	X
	Cr y sus compuestos	X	100	X	X
	Cu y sus compuestos	X	100	X	X
	Hg y sus compuestos	X	10	X	X
	Ni y sus compuestos	X	50	X	X
	Pb y sus compuestos	X	200	X	X
	Zn y sus compuestos	X	200		X
<b>Otros compuestos</b>					
	Cloro y compuestos inorgánicos	X	10.000	X	X
	Flúor y compuestos inorgánicos	X	5.000	X	X
	PM <sub>10</sub>	X	50.000	X	X
<b>Número de contaminantes EPER (SECTOR)</b>				<b>15</b>	<b>17</b>
<b>Nuevas sustancias E-PRTR</b>					
	PCDD + PCDF (dioxinas + furanos) (como Teq)	X	0,0001	X	X
608-93-5	Pentaclorobenceno	X	1	X	X
1336-36-3	Policlorobifenilos (PCB)	X	0,1	X	X
71-43-2	Benceno	X	1.000	X	X
	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	X	50	X	X
74-82-8	Metano (CH <sub>4</sub> )	X	100.000	X	X
	Hidrofluorocarburos	X	100	X	X
	Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	X	10.000	X	X
75-09-2	Diclorometano (DCM)	X	1.000	X	X
<b>Número de contaminantes E-PRTR (SECTOR)</b>				<b>10</b>	<b>10</b>
<b>Número total de contaminantes EPER + E-PRTR (SECTOR)</b>				<b>25</b>	<b>27</b>

**Tabla 3.4. Emisiones de sustancias contaminantes al agua**

Número CAS	Contaminantes/sustancias / (nº total)	Agua	Umbráles de emisión a las aguas en kg/año	SECTOR/SUBSECTOR	
				3.3 (IPPC)	3.4 (IPPC)
<b>Temas medioambientales</b>					
	Nitrógeno total	X	50.000		X
	Fósforo total	X	5.000		X
<b>Metales y sus compuestos</b>					
	As y sus compuestos	X	5	X	
	Cd y sus compuestos	X	5		X
	Cr y sus compuestos	X	50		X
	Cu y sus compuestos	X	50		X
	Hg y sus compuestos	X	1		X
	Ni y sus compuestos	X	20	X	X
	Pb y sus compuestos	X	20	X	X
	Zn y sus compuestos	X	100		X

<b>Otros compuestos orgánicos</b>					
71-43-2	Benceno	X	200		X
108-88-33	Tolueno				
100-41-4	Etilbenceno				
1330-20-7	Xilenos				
	Carbono orgánico total (TOC)	X	50.000	X	X
<b>Otros compuestos</b>					
	Fluoruros	X	2.000	X	X
<b>Número de contaminantes EPER (SECTOR)</b>				<b>5</b>	<b>12</b>
<b>Nuevas sustancias E-PRTR</b>					
	PCDD + PCDF (dioxinas + furanos) (como Teq)	X	0,0001	X	X
608-93-5	Pentaclorobenceno	X	1	X	X
108-95-2	Fenoles (como C total)	X	20	X	X
	Cloruros (como Cl total)	X	2.000.000	X	X
	Cianuros (como CN total)	X	50	X	X
1806-26-4	Octilfenoles y octilfenoles etoxilatos	X	1	X	X
<b>Número de contaminantes E-PRTR (SECTOR)</b>				<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Número total de contaminantes EPER + E-PRTR (SECTOR)</b>				<b>12</b>	<b>19</b>

## 2. RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL CONTROL DE EMISIÓNES DE SUSTANCIAS CONTAMINANTES SIGNIFICATIVAS AL AIRE CONSIDERADAS EN EL EPER/E-PRTR PARA EL SECTOR DEL VIDRIO

Lo primero que hay que tener en cuenta es que en la industria del vidrio en general son las emisiones atmosféricas, generadas principalmente en la etapa de fusión, la fuente de contaminación más importante. Las recomendaciones generales que se incluyen en este apartado hacen especial referencia al medio aire.

Una de las principales dificultades existentes en el control de emisiones es el establecimiento de criterios homogéneos para su realización. Normalmente suele ser realizado por entidades acreditadas por las autoridades competentes, las cuales pueden establecer criterios para su acreditación. Entre estos criterios se pueden encontrar la exigencia de que las entidades se encuentren acreditadas conforme a las normas UNE-EN ISO/IEC 17020:2004 Criterios generales para el funcionamiento de diferentes tipos de organismos que realizan inspección y/o UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

### 2.1. Control y medición de emisiones atmosféricas en la industria del vidrio

Como punto de partida para la determinación de las emisiones en la industria del vidrio, se dan una serie de recomendaciones generales sobre los aspectos más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de medir una emisión de una sustancia determinada, de cara a obtener datos comparables y representativos. Estas recomendaciones proceden de las

recogidas en el Anexo III del Documento sobre las Mejores Técnicas Disponibles en la Industria del Vidrio (BREF Glass Industry) adoptado en el año 2001<sup>26</sup>.

Estas referencias y recomendaciones hacen especial hincapié en las emisiones atmosféricas ya que en la industria del vidrio son mucho más importantes, tanto por su cantidad como por su incidencia en el medio ambiente, que las emisiones de sustancias contaminantes al agua, aunque también se dan recomendaciones sobre las técnicas disponibles para su control y minimización.

### 2.1.1. *Parámetros relevantes y/o críticos en el control de emisiones atmosféricas*

En el control de las emisiones es necesario tener en cuenta todos los parámetros relevantes que pueden influir en la medida de los contaminantes, en su interpretación y notificación de los resultados. Es necesario conocer y determinar, en cada caso, los parámetros característicos de las fuentes de emisión, como por ejemplo, la temperatura, humedad, velocidad y caudal de los gases, concentraciones de O<sub>2</sub>, CO y CO<sub>2</sub>, etc. La medida, en continuo o discontinuo, de las emisiones puede estar afectada por diferentes factores algunos de los cuales son particularmente importantes en el proceso de fusión del vidrio. Los parámetros críticos que, al menos, deben tenerse controlados para la determinación correcta de las emisiones son:

**Tabla 3.5. Parámetros críticos**

TIPO	OBSERVACIONES
1 Temperatura de los gases emitidos	La temperatura de los gases de combustión procedentes de la fusión puede variar considerablemente (100-850°C) dependiendo del proceso y tipo de instalaciones. Las temperaturas más bajas suelen corresponder a hornos discontinuos, fusión eléctrica y a algunas instalaciones con sistemas de depuración. Los posibles errores de medida influidos por la temperatura de los gases de combustión pueden minimizarse mediante el uso apropiado de filtros, el acondicionamiento de los filtros previo a su uso a altas temperaturas para evitar pérdidas de peso durante las medidas, o el uso de filtros y probetas precalentadas a bajas temperaturas, sobre todo en presencia de altos porcentajes de humedad para evitar condensaciones de ácidos y agua.
2 Caudal y velocidad de los gases emitidos	Aunque las partículas emitidas generadas en el proceso de fusión suelen ser mayoritariamente de tamaño muy fino, las medidas deben realizarse en condiciones isocinéticas. La geometría del conducto (sección) y la posición del punto de muestreo deben seleccionarse de forma que garanticen una correcta determinación de la velocidad del gas de combustión.
3 Composición de los gases	La presencia de altos porcentajes de agua en los gases residuales es muy común en el caso de oxicombustión y fusión con aire/gas cuando se usa agua como refrigerante en los sistemas de depuración. Es también frecuente en algunos procesos posteriores al de fusión que emplean lavadores húmedos como es el caso de la fabricación de filamento continuo de vidrio, etc. La determinación del punto de rocío <sup>27</sup> es importante para evitar la condensación durante la toma de muestras. Los contaminantes gaseosos deben medirse en probetas calentadas siempre que exista riesgo de condensación especialmente en flujos gaseosos ricos en SO <sub>3</sub> . Donde puedan ocurrir condensaciones de agua, el líquido resultante debe de chequearse para determinar la posible absorción de sustancias contaminantes gaseosas (como por ejemplo puede ocurrir con los SO <sub>X</sub> ).
4 Tipo de contaminantes y forma en	Algunos contaminantes pueden ser emitidos a la atmósfera tanto en estado gaseoso como en estado sólido. Éste es el caso de algunas sustancias procedentes de los procesos de fusión como ciertos compuestos de boro (ácido bórico), selenio, arsénico,

<sup>26</sup> Para la monitorización de cualquier parámetro se recomienda tener en cuenta el Documento de Referencia de principios generales de Monitorización (Documento BREF) (2003).

<sup>27</sup> O temperatura de rocío: temperatura a la cual el vapor contenido en el gas comienza a condensarse por enfriamiento a una temperatura dada.

TIPO	OBSERVACIONES
que son emitidos: gaseosos y sólidos	estaño (sobre todo el generado en los procesos de recubrimientos en caliente en la fabricación de vidrio hueco). El ácido bórico es emitido principalmente en forma gaseosa debido a su alta presión de vapor y su baja temperatura de condensación (por debajo de 160 °C). El Se utilizado en los procesos de coloración y decoloración del vidrio puede originar importantes emisiones gaseosas debido a la formación de compuestos muy volátiles, con temperaturas de condensación tan bajas como 60-100 °C. En estos casos, para evitar errores de medición o evaluación, el muestreo debe realizarse con sistemas combinados que permitan la toma de muestras sólidas y gaseosas de forma simultánea.
5 Distribución del tamaño de partículas	El diámetro de las partículas de polvo generadas en los procesos de fusión es normalmente muy pequeño: menos de 1 micra y generalmente entre 0,02 y 0,5 micras. Durante el muestreo de las partículas, se producen fácilmente aglomeraciones, y cuando se usan filtros de tipo alcalino, tienden a reaccionar con las sustancias gaseosas de naturaleza ácida presentes en la corriente de gases. Así, los filtros empleados para la retención de partículas deben ser inertes frente a los humos, recomendándose filtros de cuarzo. El elemento filtrante debe colocarse en la cabeza de la sonda, que irá situada en el interior de la chimenea, con lo que se facilita su manipulación y se obtienen resultados más reproducibles. Cuando la determinación de partículas está hecha en base a mediciones en continuo, las partículas finas son difíciles de remover de las partes ópticas del instrumental utilizado, dando resultados erróneos. <sup>28</sup>
6 Tiempo de muestreo	En los casos de hornos con regeneradores, además de los procedimientos estándares, los cuales requieren un tiempo suficiente de muestreo para recoger una muestra representativa, se debería tener en cuenta el ciclo de reversión de los regeneradores. Al final de cada ciclo (20-30 minutos) tiene lugar la inversión y se interrumpe la combustión por un período de aproximadamente un minuto, sin que se detenga la emisión de humos, pero con un notable cambio en la composición de los contaminantes. De hecho, las emisiones procedentes de los procesos de fusión pueden variar considerablemente en función de las condiciones de las cámaras en cada momento (temperatura). Para evitar posibles errores y obtener resultados o mediciones comparables, el tiempo de muestreo debería cubrir un número suficiente de ciclos de funcionamiento de quemadores. En todo caso, se tendrá cuidado de que la inversión se produzca en mitad del período de medición para minimizar la distorsión que ésta pueda producir. Esto también deber considerarse con los ciclos de limpieza de los equipos de depuración. Se debería evitar la determinación puntual de gases en chimenea, siendo necesario integrar los datos en el conjunto del período de medida.
7 Condiciones de Referencia <sup>29</sup>	Normalmente los valores límites de emisión son dados en concentración, referidos a 0°C, 101,3 kPa y: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para hornos de fusión continua: 8% de O<sub>2</sub> en seco.</li> <li>- Para hornos discontinuos: 13% de O<sub>2</sub> en seco.</li> <li>- Otras fuentes de emisión: no hay correcciones para O<sub>2</sub> o vapor de agua.</li> </ul>

### 2.1.2. Medición en continuo

En general, la medición en continuo es una práctica común en relación con las emisiones generadas en la fusión, ya que son las más relevantes del proceso de fabricación y las que se generan de forma continua.

Este tipo de medidas puede llevarse a cabo bien *in situ*, mediante equipos instalados permanentemente en los focos de emisión, bien a partir de equipos de medida móviles.

<sup>28</sup> El comentario es válido si se utiliza la medición por láser para conocer el diámetro de las partículas emitidas, pero no si se usa cualquier otro método gravimétrico.

<sup>29</sup> En general, la concentración de contaminantes es utilizada para dar cumplimiento a los valores límites de emisión permitidos. Son medidos directamente y no requieren información adicional sobre el proceso de producción la cual sí se necesita para la definición de factores de emisión o emisiones específicas (por ejemplo kg de emisión por t/V°F°). No obstante, los valores límite de emisión suelen darse en concentración (mg/m<sup>3</sup>) y factores de emisión o específicos (kg/t V°F°, kg/h, g/h), particularmente en el caso de gases residuales muy diluidos generados en procesos de fusión eléctrica y en general en presencia de altos % de oxígeno como en la oxicombustión. La corrección de O al 8 ó 13 % produciría resultados que no serían comparables con hornos que usan combustibles fósiles y aire en lugar de oxígeno en los procesos de fusión.

Las primeras son realizadas en la chimenea, en condiciones de temperatura y humedad relativas al punto de muestreo. En particular las medidas llevadas a cabo con instrumentos *in situ* pueden verse afectadas por el color, el tamaño y distribución de partículas de acuerdo con el tipo de vidrio producido (verde, marrón, opal, etc.). Las medidas a partir de equipos móviles se basan en la extracción de una muestra de gas con unas condiciones dadas y la posterior determinación de los contaminantes en condiciones secas (gas seco).

Tanto en un caso como en el otro, ambos sistemas requieren cuidadosos mantenimientos y una calibración periódica de los equipos.

De las sustancias emitidas por la industria del vidrio, pueden y suelen medirse forma continua, las siguientes:

**Tabla 3.6. Parámetros que pueden medirse de forma continua (monitorización en continuo)**

TIPO		MÉTODO ANALÍTICO MÁS FRECUENTE	Caudal (kg/h) <sup>30</sup>
1	O <sub>2</sub>	Células de óxido de zirconio, para magnetismo	
2	Polvo y partículas	Opacidad, <i>light scattering</i>	2-25
3	NO	Infrarrojos o fotometría de UV, quimioluminiscencia	
4	NO <sub>x</sub> (NO+NO <sub>2</sub> )	Infrarrojos o fotometría de UV, quimioluminiscencia equipada con conversores NO <sub>2</sub> a NO	30-150
5	SO <sub>2</sub>	Infrarrojos o fotometría de UV	50-150
6	CO	Fotometría infrarroja	5 -100
7	CO <sub>2</sub>	Fotometría Infrarrojo	
8	Total hidrocarburos	FID ( <i>Flame Ionization Detector</i> )	
9	HF y HCl	La determinación de HF y HCl no es fácil y requiere frecuentes comprobaciones de los equipos de medida. La medición en continuo de estos parámetros es apropiada para aquellos tipos de vidrios en cuyas composiciones se introducen compuestos de Cl y F ya que pueden generar emisiones incluso después de los sistemas de depuración	0,5 para HF 3-20 para HCl

### 2.1.3. *Medidas en discontinuo*

Este tipo de medidas consisten en la determinación puntual e individual de determinados parámetros en un período de tiempo limitado. Se realizan mediante el uso de sistemas apropiados de filtración, por adsorción o utilizando equipos o técnicas extractivas.

El número de medidas requeridas para obtener resultados representativos y comparables dependerá de cada caso. Generalmente se establecen en base a la variabilidad de la emisión y el tiempo de operación a controlar.

Para procesos de fusión en continuo y con emisiones más o menos estables y constantes, generalmente se realizan un mínimo de tres medidas. En procesos en los que exista una mayor variabilidad en las emisiones generadas, al menos deben de tomarse cinco muestras

<sup>30</sup> En legislaciones de algunos países (como Alemania o Francia) se requiere que las mediciones en continuo se realicen para un valor mínimo de caudal. Los datos expresados en esta columna son ejemplos de legislaciones en Alemania (valores mínimos) y Francia.

para cada caso. En casos especiales, es recomendable la realización de al menos 8-10 medidas.

De forma orientativa y resumida, se reflejan a continuación las técnicas analíticas más frecuentes para la determinación de las siguientes sustancias contaminantes:

**Tabla 3.7. Parámetros que pueden medirse de forma discontinua (monitorización en discontinuo)**

TIPO		MÉTODO ANALÍTICO MÁS FRECUENTES
1	Polvo y partículas	Filtración y gravimetría
2	NO <sub>x</sub> (NO+NO <sub>2</sub> )	IR o UV, quimioluminiscencia, absorción (colorimetría o cromatografía iónica)
3	SO <sub>2</sub>	Fotometría IR o UV o Absorción (colorimetría o valoración)
4	SO <sub>x</sub> (SO <sub>2</sub> +SO <sub>3</sub> )	Absorción (cromatografía iónica, ICP)
5	SO <sub>3</sub>	Absorción (valoración, cromatografía iónica)
6	Metales (As, Pb, Cd, Se, Cr, Cu, V, Mn, Ni, Co, Sb, etc.)	Filtración y/o Absorción (valoración, cromatografía iónica). Determinación por "AAS", ICP.
7	Cloruros como HCl	Filtración y absorción. Determinación por cromatografía iónica, valoración.
8	Fluoruros como HF	Filtración y absorción. Determinación por electrodos selectivos, cromatografía iónica
9	SH	Filtración y absorción, cromatografía iónica, colorimetría o valoración
10	Formaldehídos	Absorción, colorimetría o determinación por "HPLC"
11	Fenoles	Absorción. Cromatografía de gases o determinación por colorimetría
12	Amonio	Absorción. Cromatografía iónica, colorimetría o electrodos selectivos.
13	Aminas	Absorción en solución apropiada o en gel de sílice. "GC", "HPLC" o "GC-MS".
14	COV'S	FID ("Flame Ionization Detector")
15	O <sub>2</sub>	Paramagnetismo, células de óxido de zirconio
16	CO	Fotometría de IR
17	CO <sub>2</sub>	Fotometría de IR

Esta lista no es exhaustiva, ya que no refleja todas las técnicas analíticas que pueden ser empleadas en la industria del vidrio.

La mayoría de estas técnicas analíticas siguen procedimientos según estándares nacionales e internacionales (ISO, CEN, VDI, EPA, UNE).

No obstante, para algunas sustancias no existen tales estándares. Éste es el caso de la mayoría de las sustancias orgánicas (fenol, formaldehídos, aminas, etc.) y de compuestos inorgánicos como los de boro, tanto para emisiones en forma sólida como gaseosa.

En casos como los descritos anteriormente es recomendable usar técnicas de muestreo combinadas o técnicas analíticas combinadas (filtración y adsorción) que permitan la identificación y cuantificación de todas las fracciones.

En relación con la toma de muestras, tanto en las medidas en continuo como en discontinuo, es necesario tener en cuenta que:

- En los métodos extractivos es fundamental mantener la estanqueidad del sistema de aspiración de los humos. Deber verificarse momentos antes de la toma para asegurar que no entra aire en el tren de muestreo.
- En los métodos instrumentales, muy extendidos para la determinación de gases, los analizadores deben contrastarse con mezclas certificadas previamente a la realización de la medida, independientemente de que se efectúe una calibración de los mismos.

Una vez finalizada la medición se pueden contrastar algunos de los valores obtenidos. Conociendo algunos datos como las cantidades de vidrio producido, materias primas empleadas, combustible y la composición de todos ellos, se puede estimar el caudal teórico de los humos y el nivel aproximado teórico de  $\text{SO}_x$  para una concentración de oxígeno dada. Estos datos servirán para contrastar de modo orientativo los resultados experimentales obtenidos en las mediciones. Por su parte, los parámetros de medición permitirán verificar mediante cálculos el grado de isocinetismo alcanzado.

## 2.2. Cálculo y estimaciones de emisiones atmosféricas en la industria del vidrio

De acuerdo con los criterios del Registro EPER en vigor y del Registro E-PRTR, deben considerarse datos de emisiones calculados aquellos que son obtenidos según métodos de cálculo aceptados nacional o internacionalmente y factores de emisión representativos del sector de actividad<sup>31</sup>.

La determinación de los valores puede hacerse mediante balances simples o completos a partir de la determinación de todos los flujos de entradas y salidas de los distintos elementos químicos (a partir de datos de proceso e instalaciones, cantidades de materiales, composición, tipos de combustibles, etc), o mediante métodos basados en cálculos a partir en factores de emisión, siempre que dichos cálculos se basen en modelos más o menos estandarizados y representativos del sector<sup>32</sup>.

### 2.2.1. *Métodos de cálculo de emisiones (cálculo de balances)*

En algunos casos y para determinados contaminantes, el cálculo de balances puede ser un buen método de evaluación de las emisiones producidas.

Cuando en una determinada etapa del proceso ( fusión), la introducción de un compuesto o sustancia específica (*inputs*), las emisiones derivadas de su uso (*outputs*) y procesos físicos y químicos que puedan producirse son perfectamente conocidas, el cálculo de balances de materia puede ser un método cuantitativo idóneo para evaluar las emisiones de determinados contaminantes. Este es el caso del  $\text{SO}_2$  procedente de la fusión, el HF en la fabricación de vidrio opal, del Se y el bronce en la fabricación de vidrio de cuarzo, etc.

---

<sup>31</sup> Para la monitorización de cualquier parámetro se recomienda tener en cuenta el Documento de Referencia de principios generales de Monitorización (Documento BREF) (2003).

<sup>32</sup> En el caso del  $\text{CO}_2$ , los cálculos se realizarán de acuerdo con lo establecido en la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero y en la Decisión de la Comisión de 29 de enero de 2004 por la que se establecen directrices para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de conformidad con la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (Decisión 2004/156/CE).

---

El cálculo de balances de masa se realiza para comparar con el nivel de emisiones medidas. El Documento BREF sobre las Mejores Técnicas Disponibles<sup>33</sup> elaborado por el IPTS, incluye en sus anexos modelos para el cálculo de balances de azufre en dos supuestos. Este tipo de orientaciones pueden ser útiles para la determinación de algunas sustancias contaminantes cuando no se disponga de medidas reales.

Para el cálculo de emisiones atmosféricas, pueden seguirse también las recomendaciones incluidas en el Documento Guía para la implantación del Registro EPER vigente en 2006 y el Documento Guía para la implantación del E-PRTR (aplicable a partir del 2007), elaborados por la Comisión. Estas referencias son las siguientes:

**Tabla 3.8. Referencias sobre métodos de cálculo de emisiones atmosféricas**

REFERENCIA		FUENTE/DESCRIPCIÓN
1	UN/ECE's EMEP	Programa EMEP de contaminación atmosférica de fondo.
2	AEIG	"Atmospheric Emission Inventory Guidebook" (Agencia Europea de Medio Ambiente).
3	EtCA	"European Topic Centre on Air"
4	IPCC	"Intergovernmental Panel on Climate Change."
5	US EPA/AQPS	"US EPA Office of Air Quality Planning & Standards."
6	NAEI/UK	"National Atmospheric Emissions Inventory of the UK".
7	AEET	"Australian Emission Estimation Technique".
8	OCDE	OCDE.

## 2.2.2. *Métodos de estimación de emisiones atmosféricas*

Los métodos de estimación que deben contemplarse, según los criterios del Registro EPER en vigor en 2006, son aquellos datos obtenidos a partir de estimaciones o cálculos no normalizados, deducidos de las mejores hipótesis posibles o, en su caso, de opiniones autorizadas o experiencias propias. Ejemplo de este tipo de métodos puede ser la utilización de modelos funcionales estadísticos de modelización/correlación o de guías de buenas prácticas en ausencia de metodologías reconocidas.

## 3. RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL CONTROL DE EMISIONES DE SUSTANCIAS CONTAMINANTES AL AGUA CONSIDERADAS EN EL EPER/E-PRTR PARA EL SECTOR DEL VIDRIO

Como ya se ha dicho, la fabricación de vidrio es en general un proceso menos contaminante para el medio hídrico que para el aire. No obstante, según el proceso y tipo de vidrio fabricado, pueden generarse emisiones de ciertos contaminantes incluidos tanto en EPER como en E-PRTR como sustancias contaminantes del agua y, por tanto, sus emisiones deben de ser notificadas (ver sublistas sectoriales orientativas).

<sup>33</sup> Anexo 2: Ejemplo de Balances de azufre para hornos de Fusión de Vidrio Industriales. (Glass Industry BREF Document, pages 259-260. Octubre 2001. Disponible en <http://eippc.jrc.es>. La versión española se encuentra disponible en <http://www.eper-es.com>).

Las mayores dificultades derivan de que en la actualidad la mayoría de estas sustancias no están sometidas a un control periódico por parte de las empresas ya que no están incluidas explícitamente en las autorizaciones de vertido, aunque la administración competente en vertido a cauce considera que el vertido de cualquier sustancia no incluida en dicha autorización está prohibido. Normalmente suelen controlarse y exigirse otros parámetros como el pH, la temperatura, etc. En consecuencia se tiene poca experiencia sobre el tipo de contaminantes y su cantidad emitida.

#### **4. INTERPRETACIÓN Y NOTIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS MEDIDOS**

Para la notificación final de los datos sobre emisiones, tanto atmosféricas como al agua, incluidas en los Registros EPER y E-PRTR, es necesario que se tengan en cuenta unos mínimos en aras a la homogeneidad y coherencia en la notificación, facilitando su interpretación con carácter global e individual. Cada dato obtenido o notificado es deseable que estuviera identificado con la siguiente información:

- Método de medida aplicado y precisión
- Condiciones de operación más relevantes (datos de proceso)
- Condiciones de referencia (humedad, temperatura en los puntos de medida, etc.)
- Resultados de todas las medidas por separado o en el caso de medición en continuo, la frecuencia de distribución de todas las concentraciones medias horarias (por horas o cada treinta minutos) o diarias

Hay que indicar que dentro de los nuevos requisitos de información contemplados en el Reglamento 166/2006 (E-PRTR) no sólo se requiere el dato de emisión y el método de obtención (M, C o E), sino que además es requerido el método analítico utilizado, preferiblemente referido a estándares nacionales o internacionales si es posible.

En el Anexo I de esta Guía se incluye un listado de los métodos de determinación de las emisiones para las sustancias contaminantes más significativas de la industria del vidrio, de acuerdo a las sublistas orientativas de los registros EPER y E-PRTR<sup>34</sup>.

---

<sup>34</sup> Los documentos guía para la implantación de este tipo de inventarios suelen incluir una relación de los estándares internacionales mayoritariamente utilizados para la determinación de las emisiones de las sustancias incluidas, fundamentalmente para medición y cálculo.

---

## 4. *Técnicas emergentes*

La industria vidriera es una industria en constante evolución tecnológica. Dadas las particularidades de estas instalaciones, normalmente con grandes hornos que necesitan reconstrucciones periódicas, muchas de las técnicas consideradas actualmente como viables desde el punto de vista tecnológico, no lo son si se considera el aspecto económico y/o el de producción. Los costes asociados a las instalaciones de los hornos de fusión suelen ser muy altos y las modificaciones para introducir una mejora técnica o tecnológica son difícilmente planteables antes de llevar a cabo las reconstrucciones periódicas, sobre todo aquellas que suponen un cambio tecnológico sustancial.

Para la incorporación o la consideración de estas técnicas por parte de los industriales han de tenerse en cuenta estos factores, ya que las reparaciones durante los períodos de producción pueden ser altamente costosas, especialmente si se ha tenido que parar completamente el horno. Muchas de estas técnicas viables desde el punto de vista tecnológico, implican un cambio de tecnología, por lo que sólo serán aplicables cuando se produzca una revisión o reconstrucción total o parcial de los hornos y siempre que no existan otros factores que aconsejen la no instalación o la no aplicación en su totalidad de los principios en los que se base la técnica, como puedan ser el tipo de producto fabricado, el precio de las distintas fuentes energéticas, etc.

Se puede, por tanto, considerar dos niveles de técnicas en investigación dentro del sector del vidrio:

- Aquellas que son viables desde el punto de vista técnico pero que para su aplicación deben considerarse aspectos tan importantes como la edad de los hornos (o de la instalación) y los períodos de reconstrucción de los mismos.
- Aquellas técnicas en investigación que o bien están basadas en nuevos conceptos o que siendo viables desde el punto de vista técnico no existe una experiencia contrastada en el sector.

### 1. TÉCNICAS EN CONSTANTE EVOLUCIÓN Y DESARROLLO

Dentro de este grupo, se encuentran aquellas técnicas que no deberían clasificarse como en investigación ya que hay experiencia suficiente para su consideración como Mejor Técnica Disponible, pero en las que sí hay que tener en cuenta los factores descritos más arriba.

#### *Sistemas con quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub>*

Estos sistemas, aunque originariamente no fueron diseñados para las instalaciones fabricantes de vidrio, han sido aplicados en algunas plantas del sector. Actualmente, se encuentran en constante evolución y desarrollo, especialmente en esta industria.

La aplicación de estas técnicas en combinación con métodos avanzados de control de la combustión y con sistemas avanzados de control analítico de los gases emitidos, se muestra

como una fuente importante en la reducción de emisiones de  $\text{NO}_x$ . Existen, no obstante, algunos aspectos donde se necesita un mayor desarrollo:

- La respuesta del material refractario del horno al utilizar estos sistemas aún no se conoce con detalle. Se necesitan más estudios sobre la aplicación de esta técnica en todos los tipos de materiales refractarios disponibles en la actualidad para evaluar sus potenciales riesgos y el desarrollo de nuevos materiales más adecuados.
- La creación de condiciones reductoras derivadas del uso de esta técnica puede afectar a la calidad del vidrio fundido causando la descomposición de los sulfatos en las primeras fases de la fusión, lo que podría traer como consecuencia la necesidad de añadir compuestos de azufre para asegurar el afinado de la masa fundida, aumentando con ello las emisiones de  $\text{SO}_x$ .

### *Oxi-combustión*

La oxi-combustión no puede considerarse propiamente como una técnica emergente, pero su aplicación como tecnología generalizada depende básicamente de la edad de los hornos ya que requiere cambios sustanciales en su diseño. Incluso en las instalaciones en las que existe cierta experiencia, la oxi-combustión está en constante estudio para conseguir una correcta aplicación. Además, hay que considerar el factor económico ya que la materia prima (oxígeno) es muy cara y necesita instalaciones auxiliares para su producción.

Esta técnica depende en gran medida del tipo de producto fabricado y su aplicación puede causar problemas dentro del horno con las composiciones y los materiales refractarios. Dichas consideraciones hay que tenerlas en cuenta pues no siempre puede ser adecuado el cambio del sistema tradicional por la oxi-combustión. Además, la adopción de algunas medidas primarias (como la optimización en la formulación de las composiciones), de medidas secundarias o de una combinación de ambas puede resultar más efectivo y económicamente viable que la oxi-combustión.

### *Lavador por vía seca o semiseca en lanas de roca*

El lavador por vía seca o semiseca se puede utilizar como técnica secundaria en los hornos de fusión de lanas de roca. Permite reducir las emisiones de  $\text{SO}_x$ , aunque los absorbentes utilizados son también efectivos para atrapar otros gases ácidos, especialmente haluros (HCl y HF) y algunos compuestos de selenio. Además, el *scrubber* o lavador puede instalarse como medida de protección de otros equipos contra los gases ácidos.

En el lavador se introduce un material absorbente que se dispersa en el gas a tratar. Este material reacciona con el  $\text{SO}_x$  para formar un sólido que ha de ser recogido por un precipitador electrostático o un filtro de mangas. El polvo recogido puede ser reciclado otra vez al proceso.

En el proceso seco el absorbente es un polvo seco, generalmente  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaHCO}_3$  o  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , que puede ser dispersado mediante aire a presión. En el proceso semiseco el absorbente ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaO}$  o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) se añade en forma de solución o dispersión y la evaporación del agua enfriá la corriente de gas. El proceso más usado es el seco [con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] junto con un precipitador electrostático, a una temperatura de unos 400°C.

Actualmente, el rendimiento esperado de los lavadores para la reducción de las emisiones de  $\text{SO}_x$  en los hornos de lana de roca es bajo. Además, esta técnica tiene otras desventajas importantes:

- Los costes de inversión y operación son muy altos.
- La eficiencia del absorbente es muy baja (se necesita gran cantidad de absorbente para una baja eliminación de  $\text{SO}_x$ ).
- Se generan grandes cantidades de residuos, que en ciertos procesos pueden ser peligrosos y que no pueden reciclarse eficazmente.
- Es una técnica que consume energía.

Por todo ello, el subsector de lana de roca considera que esta técnica se encuentra todavía en desarrollo y que sólo debe de considerarse como MTD si las condiciones locales requieren bajos límites de emisión de óxidos de azufre, por lo que la reducción de las emisiones de  $\text{SO}_x$  constituye la prioridad absoluta frente a otros impactos medioambientales.

### *Formulación de la mezcla*

Dentro de este apartado hay que considerar como prácticas en constante desarrollo las técnicas o procedimientos relacionados con la optimización en la formulación de las composiciones, que incluyen, siempre que sea posible, la sustitución de unas materias primas o la incorporación de mayores porcentajes de vidrio reciclado propio o externo.

La adopción de estas mejoras suele acompañarse con la instalación de medidas secundarias para minimizar las emisiones de contaminantes. En estos casos hay que hacer la salvedad de siempre, existen medidas o procedimientos que no deberían llevarse a cabo en plena campaña de producción por los riesgos que conllevan. Además, según las medidas secundarias que se elijan, éstas requieren la reconstrucción total o el rediseño de algunas de las instalaciones, por lo que sólo son posibles cuando se tenga programada una parada para la reconstrucción o nueva instalación de la parte afectada, sobre todo si se trata del horno e instalaciones auxiliares al mismo.

### *Uso de casco de vidrio en filamento continuo*

Actualmente el uso de casco es muy restringido en el subsector de filamento continuo, por lo que se está investigando una técnica que permita aumentar el grado de utilización. Los principales aspectos del estado del arte se resumen a continuación:

**Tabla 4.1. Utilización de casco de vidrio interno y externo en filamento continuo**

Proceso	Fusión
Descripción	Uso de casco de vidrio interno y externo, utilizando una molienda del filamento que permita su introducción en los hornos.
Aplicabilidad	Potencialmente se pueden aplicar a cualquier tipo de instalación dependiendo de las características de la misma.
Resultado esperable	Reducción en el consumo de energía (por ejemplo, por cada 10% de casco utilizado, se reduce en un 2,5-3,0% el consumo energético).
Inversión (año 2005)	2-3 millones de € (datos estimados)
Costes operativos	900.000 €/año (Datos de costes incluyendo explotación, mantenimiento y amortización)
Estado del arte	Existen ciertas experiencias pero no desarrolladas a escala industrial
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso de casco también reduce el consumo de materias primas naturales.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El consumo de casco externo es prácticamente nulo en la actualidad y el de casco interno es muy limitado y se usa solo cuando no interfiera en los requerimientos de calidad. Debe de considerarse como técnica en desarrollo y emergentes para este subsector</li> </ul>

## 2. TÉCNICAS EN INVESTIGACIÓN

Dentro de este grupo de técnicas, se encuentran aquellas que aún están en fase experimental o que suponen cambios radicales en los conceptos actualmente aplicados, como los nuevos diseños de hornos basados en conceptos como la fusión rápida o de las que no existe la suficiente experiencia en el sector como para estimar su viabilidad.

También pueden considerarse técnicas en investigación aquellas que se han desarrollado en otros sectores industriales y que, a priori, presentan características que pueden sugerir su aplicación futura en la industria del vidrio, pero sin poder cuantificar en qué plazo de tiempo.

Entre estas nuevas tecnologías, a su vez pueden diferenciarse las que desarrollan nuevos sistemas para mejorar las condiciones de fusión basándose en los diseños actuales de los hornos, y aquellas que implican el desarrollo de nuevos tipos de hornos según conceptos diferentes a los generalizadamente utilizados en la industria del vidrio.

### *Nuevos sistemas para mejorar las condiciones de fusión*

A continuación se resumen las especiales características de estas técnicas basadas en los diseños actuales de los hornos, indicando sus principales ventajas y los principios en los que se basan:

**Tabla 4.2. Nuevos sistemas para mejorar las condiciones de fusión**

TÉCNICA	DESARROLLADO POR/ BASADO EN	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS
Sistema FENIX	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desarrollado por S. Gobain.</li> <li>▪ Está basado en: <ul style="list-style-type: none"> <li>- La combinación de varias medidas primarias para la optimización de la combustión y la reducción del consumo de energía.</li> <li>- La experiencia y el perfecto conocimiento de los fenómenos que actúan en la fusión.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El proceso lleva consigo una completa modificación de los sistemas de combustión y en particular requiere el uso de un nuevo tipo de inyectores. También incluye una revisión completa del sistema de control del horno.</li> <li>▪ Ventajas medioambientales, con la única experiencia real que existe: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub> en más de un 60% (de 1.600 mg/m<sup>3</sup> a 580 mg/m<sup>3</sup>, y de 4 kg/t Vº Fº a 1,25 kg/t Vº Fº).</li> <li>- puede suponer también un ahorro del 6% en el consumo energético.</li> </ul> </li> <li>▪ En cuanto a los costes de inversión para la implementación de la técnica, dependiendo de las plantas puede superar los 720.000 €, aunque el período de retorno de la inversión puede ser relativamente corto (alrededor de dos años).</li> <li>▪ Sólo ha sido probado en hornos regenerativos con quemadores transversales para vidrio plano. Aunque sus resultados son buenos, hoy por hoy no son extrapolables a otros procesos.</li> </ul>

TÉCNICA	DESARROLLADO POR/ BASADO EN	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS
SCONO <sub>x</sub> y SCOSO <sub>x</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollado en USA.</li> <li>Está basado en la oxidación del NO y SO<sub>x</sub> (+CO) contenidos en los gases con la utilización de un catalizador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El proceso ha sido desarrollado para otras industrias y se puede perfilar como una nueva tecnología para la eliminación de emisiones procedentes de hornos de fusión, aunque no existe experiencia de su aplicación en la industria vidriera.</li> <li>El NO es recogido hasta la saturación del catalizador por adsorción en la superficie del mismo, utilizando como adsorbente carbonato potásico.</li> <li>Mediante el uso de otros compuestos en el proceso de regeneración del catalizador, el NO oxidado reacciona con hidrógeno formándose vapor de agua y nitrógeno gas.</li> <li>La instalación suele consistir en sistemas modulares para permitir la regeneración de los catalizadores saturados y simultáneamente producir la adsorción del NO.</li> <li>Para el SO<sub>x</sub> se dispone de sistemas parecidos de tal forma que se puedan realizar las dos recuperaciones al mismo tiempo pero en módulos diferentes.</li> </ul>
Sistemas de filtración a altas temperaturas	Estos sistemas de filtración están basados en el uso de filtros cerámicos, normalmente de tipo candela.	<ul style="list-style-type: none"> <li>La utilización de filtros cerámicos tiene como principal ventaja que no es necesaria la instalación de sistemas de enfriamiento de los gases antes de la filtración, ya que dichos filtros aguantan perfectamente esas temperaturas.</li> <li>Además, permiten su limpieza y reutilización en los sistemas instalados.</li> <li>Existe poca experiencia en el sector vidriero y, aunque ha resultado positiva, hoy por hoy es una técnica inviable desde el punto de vista económico debido a sus altísimos costes.</li> </ul>
Sistema 3R (reacción y reducción en regeneradores) (En lanas de vidrio)	<ul style="list-style-type: none"> <li>El fundamento de esta técnica es la incorporación de combustibles (gas natural o fuel) de forma controlada en la corriente de gases residuales a la entrada del regenerador.</li> <li>Es de uso exclusivo en hornos regenerativos.</li> </ul>	<p>Sus ventajas potenciales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reducciones sustanciales de las emisiones de NO<sub>x</sub>.</li> <li>No existen grandes cambios en el diseño de las plantas.</li> <li>Los costes de inversión pueden considerarse bajos.</li> <li>Sería viable para instalaciones nuevas y existentes.</li> <li>Supone un incremento en el consumo de combustible dependiendo de si es gas o fuel, aunque este consumo puede reducirse con la utilización del calor residual de los gases.</li> </ul> <p>Por otro lado, pueden incrementarse las emisiones de CO<sub>2</sub> y causar problemas en el material refractario de las cámaras regenerativas.</p>

### *Nuevas tendencias en el diseño de hornos de fusión*

#### Fusión eléctrica

Antes de describir los nuevos diseños de hornos, conviene considerar como otra técnica, aunque no emergente, la fusión totalmente eléctrica. Esta técnica se utiliza actualmente en algún subsector de la industria del vidrio, especialmente en el vidrio doméstico y en algunas plantas de lanas minerales.

La principal ventaja del uso de hornos eléctricos desde el punto de vista medioambiental es que se eliminan los contaminantes procedentes de la utilización de combustibles fósiles, fundamentalmente los derivados del azufre, el NO<sub>x</sub> térmico y el dióxido de carbono.

Las emisiones quedan restringidas a las procedentes de la descomposición de las materias primas (CO<sub>2</sub> de los carbonatos, NO<sub>x</sub> de los nitratos y SO<sub>x</sub> de los sulfatos). En cambio, las emisiones de fluoruros pueden ser importantes según los productos.

Su viabilidad económica depende fundamentalmente del precio de la energía eléctrica frente a los combustibles tradicionales, que puede ser muy variable de unos sitios a otros. Además, los hornos eléctricos, por regla general, requieren una mayor atención en su mantenimiento, ya que sus períodos de reconstrucción suelen ser más cortos (aproximadamente entre 2 y 7 años). No obstante, son térmicamente entre 2 y 4 veces más eficientes. Por otro lado y por regla general suponen unas inversiones considerablemente menores que los hornos tradicionales.

En hornos convencionales con capacidad de producción de 50-75 t/día, las pérdidas caloríficas que se producen con combustibles tradicionales son relativamente altas comparadas con los mismos para grandes producciones (por encima de las 150 t/día). Es en estos casos donde la fusión eléctrica puede resultar competitiva. En general, puede decirse que para producciones de hasta 70-75 t/día, la fusión eléctrica es viable, siempre en función del precio de la energía eléctrica. Para instalaciones cuya capacidad de producción oscile entre las 75-150 t/día puede considerarse viable pero no en todas las circunstancias.

En resumen puede decirse que la utilización de la electricidad como fuente de energía en la fusión presenta importantes ventajas, siempre y cuando sea viable desde el punto de vista económico:

- Reducción importante de emisiones.
- Mejora directa de la eficiencia energética.
- En algunos casos supone bajos costes de inversión y normalmente se requiere menor espacio para la instalación.
- Suele dar mejores calidades en los productos y una mayor homogeneidad del vidrio.

Entre sus potenciales inconvenientes o desventajas se encuentran:

- No es aplicable para determinadas actividades y a partir de ciertos volúmenes de producciones.
- Es menos flexible para adoptar modificaciones posteriores en comparación con los sistemas de fusión tradicionales.
- Son necesarios unos períodos de revisión y reconstrucción inferiores a los tradicionales.
- Los costes de operación y mantenimiento son relativamente altos.
- En el caso de que se quisiera sustituir un sistema existente por otro de fuente eléctrica es necesaria la sustitución completa de la instalación, no siendo posible la adopción de modificaciones o reformas parciales.

Por lo tanto, la utilización de energía eléctrica como principal fuente para la fusión es una técnica que presenta importantes inconvenientes para establecer su generalización como MTD. En cada caso se podrá establecer, después de tener en cuenta todas las consideraciones que intervienen, la necesidad o la conveniencia de instalar la fusión eléctrica. No obstante, sí es práctica común la utilización de la energía eléctrica como apoyo en la fusión y en las etapas posteriores para aumentar la eficiencia energética y minimizar las emisiones.

### Nuevos diseños de hornos

Básicamente se están desarrollando los siguientes tipos de hornos:

- Hornos basados en el concepto de la fusión segmentada o en diferentes fases de acuerdo con el tipo de composición.
- Hornos avanzados de fusión rápida (sistema AGM y sistema por plasma).

Se describen a continuación cada uno de estos tipos de hornos indicando los principios en los que se basan y sus características.

**Tabla 4.3. Nuevos diseños de hornos**

TÉCNICA	PRINCIPIO	CARACTERÍSTICAS
Hornos de fusión segmentados SEG-MELTER	<p>Se fundamenta en las diferencias en las condiciones de fusión de las materias primas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Composición</li> <li>▪ Casco de vidrio</li> </ul>	<p>Normalmente, la temperatura de fusión para una composición determinada está por encima de los 1.400°C y el tiempo de permanencia en el horno es de 24 horas. En el caso del casco de vidrio, la temperatura de fusión no pasa de los 1.100°C durante 1-2 horas.</p> <p>Este sistema trata de aprovechar estas diferentes condiciones para un mejor rendimiento energético, incorporando un horno eléctrico para prefundir las composiciones de tal forma que un 75% del total se convierte en masa fundida. Después, se incorpora hacia un segundo estado donde se le añade el casco de vidrio y se introduce la mezcla en un segundo horno o cámara donde terminaría la fusión conjuntamente.</p> <p>Las ventajas potenciales que presenta este diseño son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La casi total eliminación de emisiones durante la primera fusión, ya que es eléctrica.</li> <li>▪ Menores consumos de combustibles en la segunda fusión, ya que se necesitaría menor temperatura.</li> <li>▪ El uso de oxícombustión en la segunda cámara de fusión minimizaría las emisiones de NO<sub>x</sub> y, por último, el tamaño de ésta sería menor debido al menor tiempo de residencia necesario para llevar a cabo la fusión.</li> </ul>
Horno de fusión rápida: sistema AGM	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fusión rápida.</li> <li>▪ AGM: concepto que implica la introducción en el horno de una mezcla de composición, combustible y aire a una velocidad relativamente alta.</li> </ul>	<p>La principal ventaja de introducir conjuntamente en el horno la composición, el combustible y el aire es que no se alcanzan temperaturas tan altas, con lo que las emisiones de NO<sub>x</sub> térmico se reducen drásticamente.</p>
Horno de fusión rápida por plasma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fusión rápida aprovechando la conductividad eléctrica del vidrio fundido.</li> <li>▪ Tecnología desarrollada por el British Glass Research Group.</li> </ul>	<p>El diseño del sistema consiste básicamente en la disposición de tres encendedores eléctricos dispuestos de forma que entre cada uno de ellos existe un ángulo de 120 °C. Para alimentar la llama de los encendedores se utiliza argón ionizado que es forzado a salir por la boquilla de los quemadores en forma de llama de baja energía.</p> <p>Según el diseño se pueden obtener importantes ventajas tales como la fusión en minutos de las composiciones siendo mínima o nula la producción de contaminantes. Otra importante ventaja es que el horno puede ser apagado o encendido sin que ello suponga un riesgo.</p> <p>El sistema es totalmente experimental y por ahora sólo se ha ensayado para hornos pequeños.</p>

Los nuevos diseños de hornos están en fase de desarrollo, por lo que su aplicación a la industria vidriera únicamente será posible a largo plazo. Estos diseños presentan aún muchos problemas, entre los que se encuentran los diferentes períodos de funcionamiento o

períodos sin reparaciones de las distintas cámaras que suelen darse en el caso de los hornos segmentados, ya que lo normal es que las partes de estos hornos alimentados con energía eléctrica (primer estado de fusión) requieran reparaciones cada menos tiempo que las segundas.

La fusión por plasma puede considerarse más o menos viable en un período de tiempo relativamente asequible para instalaciones pequeñas y que en ningún caso superen las 20 t/día, aunque no se tiene seguridad de su posible aplicación para todos los productos producidos por la industria vidriera. En todo caso, habrá que esperar para ver cómo evolucionan estas tecnologías y su aplicación a la industria.

## *ANEXO I. Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), principal problemática de la industria del vidrio*

La reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub> es uno de los principales retos ambientales de la industria del vidrio, si se tienen en cuenta los valores alcanzables con la aplicación de las técnicas actualmente viables desde el punto de vista técnico, ambiental y económico. La discusión sobre las técnicas que deben considerarse como MTD sigue abierta, ya que las consideradas MTDs en el “Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles para la industria del Vidrio” (Documento BREF adoptado en 2001) no están produciendo los resultados previstos cuando son aplicadas en las plantas.

Se ha considerado oportuno incluir este capítulo en el que se trata de forma específica esta problemática, para que sirva de orientación a la hora de determinar los niveles máximos de emisión de NO<sub>x</sub> y las medidas que permitan alcanzar los objetivos de reducción deseables, así como abrir la discusión de cara a la próxima revisión del BREF por la UE.

### **1. ORIGEN DE LAS EMISIONES DE NO<sub>x</sub> EN EL PROCESO**

Los hornos de fabricación de vidrio no son instalaciones de combustión clásicas. La fusión del vidrio es un proceso químico complejo como se ha explicado en el presente documento. Los humos que resultan del proceso de fusión están compuestos por productos y gases derivados de la combustión y de la descomposición y reacciones químicas de las diferentes materias primas. Una de las principales sustancias presente en los gases son los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), que se forman como consecuencia de las elevadas temperaturas del proceso de fusión y de la presencia de nitrógeno en el aire de combustión y en algunas de las materias primas utilizadas para las diferentes composiciones.

En los hornos de fusión de vidrio, los compuestos de nitrógeno que se forman son NO, que constituye más del 90%, y, en menor medida, NO<sub>2</sub>. En contacto con la atmósfera, el monóxido de nitrógeno se oxida muy rápidamente a dióxido de nitrógeno. Principalmente, hay tres mecanismos por los que se puede formar NO:

*Tabla I.1. Mecanismos de formación de NO*

FUENTE DE NITRÓGENO	LUGAR DE LA REACCIÓN	MECANISMO CINÉTICO
N <sub>2</sub> (aire)	Interior de la llama, reacción C/O, OH	NO térmico
N <sub>x</sub>	Frente de la llama (O, OH, C <sub>x</sub> )	NO del combustible NO naciente

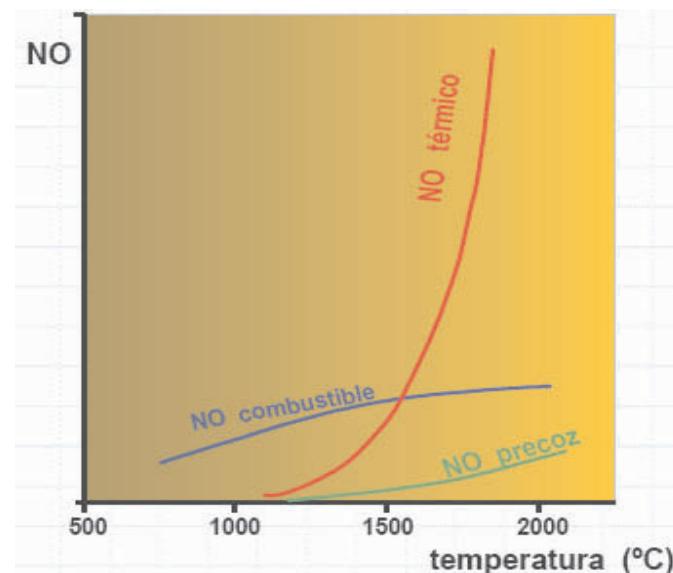
Fuente: G. Tackels: “Dossier la Industria del Vidrio y el Medio Ambiente, Evolución, Obligaciones y Oportunidades”. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vid.*, 35 (3), 155-163 (1996).

- **NO térmico:** el nitrógeno molecular del aire reacciona con radicales generados en el interior de la llama a temperaturas mayores de 1.200°C. Este mecanismo es el preponderante en los hornos de vidrio.

- **NO del combustible:** en el combustible se encuentran moléculas nitrogenadas que en el momento de la combustión se liberan en la fase gaseosa bajo la forma de moléculas relativamente pequeñas de tipo cianuros y aminas que reaccionan con el oxígeno. La concentración local de oxígeno juega un papel importante en la transformación de este nitrógeno en NO. El gas suele además contener nitrógeno molecular cuya oxidación se agrega al NO térmico.
- **NO naciente o precoz.** Este mecanismo está ligado a la presencia de radicales libres hidrocarbonados en el frente de la llama, que es la zona principal de oxidación. Algunos de estos radicales reaccionan con nitrógeno molecular para formar NO.

Otra fuente de NO se encuentra en la descomposición de los nitratos alcalinos introducidos en la mezcla vitrificable en vidrios de elevada calidad (en cantidades del orden de 2 a 4 kg de nitrato potásico por cada 100 kg de arena). Este mecanismo es muy eficiente en la formación de  $\text{NO}_x$  y adquiere importancia en la producción de vidrios especiales.

Como se ha dicho, el mecanismo principal de formación de  $\text{NO}_x$  es el NO térmico y la cinética de formación depende, como toda reacción química, de la temperatura de la llama (en la llama, la temperatura puede ser de hasta 1.650-2.000°C), del tiempo de reacción y de la concentración de las especies químicas que reaccionan. Como ilustra en la siguiente figura, la producción de NO es una función exponencial de la temperatura, superando ampliamente a las otras fuentes de NO a partir de 1.500°C.



Fuente: Tackels, G. (1996). "La industria del vidrio y el medio ambiente. Evolución, obligaciones y oportunidades". *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 35 (3), 155-163.

**Figura. I.1. Influencia de la temperatura de llama sobre la formación de NO**

Analizando las etapas y condiciones del proceso, se deduce que las emisiones de  $\text{NO}_x$  dependen del exceso de aire en la combustión, de la temperatura de precalentamiento del aire, de la temperatura de la llama y del tiempo de residencia a alta temperatura. Por tanto, a igualdad de otras condiciones, la concentración de  $\text{NO}_x$  dependerá del tipo de horno (bucle, Unit Melter, transversal) y del combustible utilizado.

En consecuencia, las acciones que pueden limitar la formación de estos compuestos deberían ir encaminadas a:

- Mantener el menor nivel de temperatura posible, asegurando los niveles de calidad y homogeneidad del vidrio, así como la capacidad de producción del horno.
- Disminuir la concentración de oxígeno hasta los niveles mínimos compatibles con una buena combustión, evitando la formación de CO.
- Reducir el tiempo de permanencia de las especies químicas en la zona de combustión.

## 2. LAS TÉCNICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE NO<sub>x</sub>

En el documento BREF del vidrio (adoptado en 2001), y como se ha indicado a lo largo de esta guía, se identifican una serie de técnicas como Mejores Técnicas Disponibles para la reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> de tipo primario y de tipo secundario. La consideración de determinadas técnicas como MTDs y la asociación de niveles de emisión a dichas técnicas, se realizó a partir de la información de que dispuso el grupo de trabajo técnico (TWG) durante la elaboración del documento. Estas técnicas son:

*Tabla I.2. MTDs para la reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub> en el Documento BREF (2001)*

TÉCNICAS PRIMARIAS	
Modificaciones en la combustión	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducción de la relación aire/combustible.</li> <li>▪ Reducción de la temperatura del aire de combustión.</li> <li>▪ Combustión por etapas.</li> <li>▪ Recirculación de los gases de combustión.</li> <li>▪ Quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub>.</li> <li>▪ Elección del combustible.</li> </ul>
Formulación de la mezcla	Reducción de los niveles de nitratos, utilizados como agentes oxidantes y afinantes, hasta el mínimo compatible con los requisitos de los productos y de fusión.
Diseños especiales para hornos	Hornos de tipo recuperativo que integran diversas características previstas para permitir menores temperaturas de llama y por tanto menores niveles de NO <sub>x</sub> . Ejemplos: horno de fusión Sorg LoNO <sub>x</sub> ® (bajo en NO <sub>x</sub> ), horno de fusión flexible Flex® Melter (generalmente para aplicaciones discontinuas).
Proceso FENIX	<p>Basado en la combinación de una serie de medidas primarias para la optimización de la combustión y la reducción del consumo de energía. La optimización de la combustión contempla:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La reducción del exceso de aire sin originar problemas de calidad del vidrio o emisiones de CO.</li> <li>▪ Supresión de puntos calientes y homogeneización de temperaturas de llama.</li> <li>▪ Mezcla controlada del combustible y del aire de combustión.</li> </ul> <p>Este proceso comporta una modificación completa del sistema de combustión y el uso de un nuevo tipo de inyectores sujeto a una solicitud de patente. Incluye también una revisión del sistema de control del horno y la instalación de métodos de medición de determinados parámetros del horno.</p>
Oxicombustión	Se sustituye el aire por oxígeno (pureza > 90%) como comburente. La técnica se puede usar con fuel-oil (oxi-fuel) o, más frecuentemente, con gas natural (oxi-gas). La eliminación de la mayor parte del nitrógeno de la atmósfera de combustión reduce el volumen de los gases residuales (compuestos principalmente por CO <sub>2</sub> y vapor de agua) en un 70-85% según la pureza del oxígeno. En general, los hornos de oxicombustión parten del mismo diseño básico que los hornos de fusión recuperativos, con quemadores laterales múltiples y un solo pótico de escape de gases residuales, aunque cambian los quemadores y el régimen de combustión del horno.

TÉCNICAS SECUNDARIAS	
Proceso 3R	Técnica desarrollada por Pilkington y cuyo fundamento es la incorporación de combustibles (gas natural o fuel) de forma controlada en la corriente de los gases residuales a la entrada del regenerador, permitiendo reducciones sustanciales de emisiones de NO <sub>x</sub> . En principio, sólo es aplicable a hornos regenerativos.
Recombustión (reburning)	Consiste en reducir los NO <sub>x</sub> inyectando un combustible (generalmente gas natural) en la salida de los humos del horno, con lo que se consigue transformarlos en nitrógeno molecular según la siguiente reacción: $\text{CH}_4 + 2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
Reducción catalítica selectiva (SCR)	Consiste en la reacción del NO <sub>x</sub> con amoniaco en un lecho catalítico a la temperatura apropiada. Hay varios catalizadores disponibles, que operan en márgenes de temperatura ligeramente distintos. Los más comunes son óxidos de vanadio y titanio impregnados sobre un substrato metálico o cerámico, aunque también pueden usarse tamices moleculares de zeolitas en los que la reacción tiene lugar en la estructura porosa microscópica.
Reducción no catalítica selectiva (SNCR)	Los óxidos de nitrógeno en el gas de combustión se reducen a nitrógeno mediante reacción a alta temperatura con amoniaco. La temperatura operativa es del orden de 800-1.100 °C, pero la mayor eficacia se da alrededor de los 950 °C. Únicamente es aplicable en hornos recuperativos, en los que no causa excesivos problemas salvo en casos de composiciones especiales elaboradas a muy altas temperaturas.

Desde el punto de vista de la prevención, la consideración de mejores técnicas disponibles debe hacerse en primer lugar sobre las técnicas primarias ya que éstas siempre actúan sobre la fuente de las emisiones, evitando la formación de los NO<sub>x</sub>. Las técnicas secundarias permiten la corrección de una emisión ya generada.

### 3. DISCUSIÓN SOBRE LOS NIVELES DE EMISIÓN DE NO<sub>x</sub> ASOCIADOS A MTD

La elaboración del BREF para este sector industrial fue llevada a cabo contando con escasas experiencias, a escala industrial, del uso de determinadas técnicas, para la reducción de emisiones de NOx. Las técnicas para la reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> y los valores de emisión asociados son uno de los aspectos que se han propuesto para la revisión del BREF, de acuerdo al mayor número de experiencias que a nivel europeo pueden considerarse desde la adopción del documento actual.

La experiencia española, así como de otras industrias europeas<sup>35</sup>, en la aplicación de las MTDs referenciadas en el BREF, se ha concentrado en la incorporación de las MTD primarias (fundamentalmente las denominadas "modificaciones de la combustión"). Si bien se ha logrado reducir de manera importante las emisiones de NO<sub>x</sub>, la experiencia demuestra que es difícil llegar en condiciones normales, constantes y continuas de funcionamiento a los niveles de emisión sugeridos por el BREF. En la siguiente tabla se comparan los niveles alcanzables de acuerdo a las experiencias de la industria española cuando aplican las técnicas primarias consideradas como MTD y los niveles asociados en el BREF:

<sup>35</sup> Como por ejemplo en el caso de la industria italiana del vidrio (Linne Guida Per L'Applicazione Della Directiva Europea IPPC 96/61/CE All'Industria Del Vetro Ed Alla Produzione Di Fritte (2006). Consultar Bibliografía).

**Tabla I.3. Niveles de emisión asociados a la MTD "Medidas primarias para la reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub>".<sup>36</sup>**

	Vidrio hueco	Vidrio plano	Filamento continuo	Lanas minerales	Vidrio doméstico	Vidrios especiales
<b>Nivel asociado a MTD en la Guía española</b>	Horno bucle: 800-1.100 mg/Nm <sup>3</sup> (1,2-1,65 kg/t Vº Fº) Horno transversal: 1.000-1.500 mg/Nm <sup>3</sup> (1,5-2,25 kg/t Vº Fº)	Horno bucle: 800 -1.100 mg/Nm <sup>3</sup> (2 -2,75 kg/t Vº Fº) Horno transversal: 1.200-1.500 mg/Nm <sup>3</sup> (3 -3,75 kg/t Vº Fº)		Horno bucle: 700-1.000 mg/Nm <sup>3</sup> (1,4-2 kg/t Vº Fº) Horno transversal: 700-1.300 mg/Nm <sup>3</sup> (1,4-2,6 kg/t Vº Fº)	700-1.500 mg/Nm <sup>3</sup> (1,75-3 kg/t vidrio fundido) [En el caso de que se utilicen cantidades importantes de nitratos en la composición, estos niveles pueden verse algo incrementados]	850-1.500 mg/Nm <sup>3</sup> (3,4-6 kg/t Vº Fº) [Estos niveles podrán ser más tolerantes en caso de utilizar nitratos en la composición]
<b>Nivel asociado a MTD en el Documento BREF</b>	600-850 mg/Nm <sup>3</sup> (0,9-1,3 kg/t vidrio fundido)	500-850 mg/Nm <sup>3</sup> (1,25-2,2 kg/t Vº Fº)	800 mg/Nm <sup>3</sup>	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (generalmente equivale a 0,5-1,4 kg/t Vº Fº)	500-700 mg/Nm <sup>3</sup> (0,5-1,75 kg/t Vº Fº)	600-850 mg/Nm <sup>3</sup> (2,4-3,4 kg/t Vº Fº)

Estas experiencias se centran principalmente sobre MTD relacionadas con la combinación de varias alternativas para mejorar el proceso de combustión y reducir las emisiones ("modificaciones en la combustión"). Experiencias llevadas a cabo sobre hornos en funcionamiento, en concreto sobre un horno de flotado (Rebordinos, 2005), muestran la evolución en el tiempo de las emisiones de NO<sub>x</sub> después de realizar un conjunto de acciones para optimizar la combustión. Como se detalla en dichas experiencias, tras aplicar estas medidas primarias se consiguieron niveles de NO<sub>x</sub> del orden de 800 mg/Nm<sup>3</sup>, pero las condiciones óptimas de funcionamiento implican mantener condiciones suficientemente oxidantes en la combustión para evitar la formación de altas concentraciones de CO, que generaría atmósferas fuertemente reductoras en las cámaras de regeneración y un aumento importante de la temperatura de los humos. Estas condiciones suponen la degradación y corrosión acelerada de los refractarios que constituyen la estructura básica de estas cámaras, reduciendo considerablemente la vida útil de las mismas y dificultando el control del proceso.

Por otro lado, la generación de altas concentraciones de CO redundará en el aumento del nivel de emisiones de CO y CO<sub>2</sub>. Por tanto, cabe profundizar en la aplicación de técnicas de tipo primario a través del control de los parámetros que regulan la combustión y que permiten alcanzar en muchas ocasiones concentraciones de NO<sub>x</sub> dentro de los intervalos previstos por el BREF, pero garantizando al mismo tiempo una relación coste/beneficio aceptable para la industria del vidrio, y en particular para los productos con escaso valor añadido, como los envases y el vidrio plano.

Entre las distintas modificaciones de la combustión que se pueden aplicar, se encuentra la elección del tipo de combustible. En general, se considera que el gas natural es una energía "más limpia" que el fuel, debido principalmente a que éste último genera mayores emisiones de SO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub> (del orden del 35% más por tonelada de combustible que el gas natural, debido

<sup>36</sup> Las "Medidas primarias para la reducción de NO<sub>x</sub>" incluyen las siguientes modificaciones de la combustión: reducción del ratio aire/combustible; reducción de la temperatura del aire de combustión; combustión por etapas; recirculación de los gases de combustión; quemadores de bajo NO<sub>x</sub>; elección del combustible; *boosting* eléctrico; diseños adecuados de la geometría del horno; posicionamiento y número de quemadores, y aumento en el consumo de casco de vidrio como materia prima (en aquellos subsectores donde es posible).

a su mayor contenido en carbono<sup>37</sup>). No obstante, es necesario hacer una serie de consideraciones desde el punto de vista medioambiental. En primer lugar, el fuel presenta un llama más luminosa pero con mayor radiación. La fusión del vidrio se logra a través de la energía de radiación, por lo que con el mismo consumo energético, el fuel consigue producir más toneladas de vidrio fundido. De hecho, en la actualidad se busca mejorar el proceso de craquización del gas natural en los quemadores para que aparezcan átomos de carbono sueltos en la llama y, de este modo, se incremente la energía de radiación. En segundo lugar, la combustión de fuel genera menores emisiones de NO<sub>x</sub> en comparación con el gas natural, debido a que la llama de este último tiene una menor emisividad térmica, por lo que requiere de una mayor temperatura de llama para conseguir la misma transferencia de calor al vidrio fundido. La temperatura de llama, como se ha explicado en el apartado 1, es uno de los factores clave para favorecer la formación de este contaminante. Como resultado, las emisiones de NO<sub>x</sub> son del orden del 30% mayor, con el uso de gas natural.

La oxicombustión, también considerada como MTD primaria, sólo sería aplicable cuando se plantea la reconstrucción del horno, ya que en instalaciones "modificadas" puede implicar, por el contrario, un aumento de las emisiones de NO<sub>x</sub>. En la implantación de la oxicombustión, son necesarias importantes modificaciones en la cámara de combustión, la sustitución de los quemadores, la utilización de refractarios de mayor calidad y la modificación total del régimen de combustión y de las características térmicas del horno. Esta MTD se caracteriza además por sus elevados costes de gestión, asociados al coste del oxígeno como combustible y a los costes de energía eléctrica si la producción del mismo se plantea *in situ* (sobre todo en España, donde los costes de la energía eléctrica son mayores que la media de la Unión Europea). La aplicación de la oxicombustión se dirige a hornos de alto consumo energético específico y está más extendida en los sectores de vidrio de borosilicato o en vidrios especiales. En otros tipos de vidrio, las experiencias existentes son más restringidas. Experiencias españolas en planta en vidrios especiales (tubo) han demostrado el bajo rendimiento técnico y elevados costes de energía y materiales.

Sí existen diversas plantas en las cuales se utiliza oxígeno para enriquecer el aire y disminuir el contenido relativo de nitrógeno.

Como se ha explicado a lo largo de este capítulo, la aplicación de las MTD basadas en técnicas primarias significa importantes reducciones en las emisiones, su eficacia final y sus posibilidades de alcanzar los niveles de emisión asociados a MTDs establecidos dependen mucho de la configuración de los hornos, de sus características específicas, de la gestión de la combustión y de la edad de las instalaciones.

Para alcanzar valores de emisión inferiores puede ser necesaria la adopción adicional de medidas secundarias. Estos casos, suelen implicar, en general, la elaboración de un análisis coste-beneficio ambiental ya que los costes de inversión y de gestión pueden llegar a ser particularmente elevados, en especial para aquellos casos en los que se fabrican productos de vidrio con bajo valor añadido.

Las MTDs secundarias más conocidas son la reducción selectiva con y sin catalizador (SCR y SNCR, respectivamente) y el proceso 3R. En estos casos, la discusión se centra más sobre su viabilidad técnica aunque también existe controversia a cerca de los valores de emisión asociados.

El proceso 3R sólo se puede aplicar al final de la campaña del horno, en el momento de su reconstrucción. Implica una fase asociada de puesta a punto para optimizar la cantidad de

---

<sup>37</sup> El factor de emisión de CO<sub>2</sub> en el fuel es de 77,4 kg/GJ, mientras que en el gas natural es de 56,1.

---

combustible inyectado en la cámara de regeneración y lograr unas condiciones reductoras aceptables. Con la aplicación de esta técnica se consigue una notable disminución de las emisiones de  $\text{NO}_x$ , pero tiene como inconveniente el incremento en el consumo de combustible, con las consiguientes emisiones de  $\text{CO}_2$  asociadas.

De forma similar, las técnicas SNCR y SCR son eficaces en la reducción de emisiones de  $\text{NO}_x$ , entre un 40% y un 70%, pero pueden aumentar las emisiones de otros compuestos, como el amoniaco. Hay que tener en cuenta también que las emisiones de compuestos amoniacales pueden verse afectadas por la Directiva Seveso II entrando estas instalaciones, en su caso, en el ámbito de la misma. Por las que estas instalaciones entrarían en su ámbito. Además, la aplicación del SCR está limitada por la vida de los catalizadores, de los cuales depende eliminar sustancias altamente corrosivas en los humos como álcalis, compuestos de boro o elevada concentración de  $\text{SO}_x$ . Para el uso de estas técnicas, se recomienda hacer previamente un estudio técnico dependiente de cada instalación.

Las estrictas limitaciones técnicas, como los intervalos térmicos de trabajo, elevan los costes económicos de su inversión y mantenimiento, pueden tener consecuencias directas sobre los sistemas de combustión, hornos, cámaras de regeneración y recuperadores, y pueden derivarse importantes problemas de corrosión de los materiales refractarios, disminuyendo su vida útil. Por otro lado, suele ser necesario la consideración de otras técnicas o combinación de ellas, ya que requieren para su correcto funcionamiento de bajos niveles de partículas y bajas concentraciones de  $\text{SO}_x$ ; es decir, deben instalarse junto con sistemas de eliminación de partículas y/o lavadores de gases ácidos. Otros aspectos que deben tenerse en cuenta en el balance final son sus efectos sobre el consumo energético y la generación de residuos, que dependerán de cada caso.

Por lo tanto, antes de considerar la aplicación de estas técnicas, solas o como complemento de técnicas primarias, es recomendable definir unos valores de emisión alcanzables, realizar los balances técnicos, económicos y medioambientales necesarios, y ajustar las instalaciones de modo que permitan soluciones viables; soluciones que primen la dimensión ambiental pero sin perder de vista el resto de las características, técnicas y económicas, de la instalación en cuestión. Esto implica que las soluciones deben ser necesariamente diseñadas para cada caso en particular, considerando la instalación, el tipo de producto y la localización específica, ya que soluciones similares pueden tener efectos diferentes en fábricas distintas.

A partir de este análisis de las MTD dirigidas a reducir las emisiones de  $\text{NO}_x$ , puede concluirse que los valores asociados de emisiones reflejados en los BREF deberían considerarse como referencia en las mejores condiciones de funcionamiento. Sin embargo, debe tomarse en consideración y evaluarse rigurosamente el efecto de la prolongación de la vida útil de los hornos, ya que la eficiencia de las medidas aplicadas varía a lo largo del tiempo. Es decir, el nivel de emisiones no es constante ni continuo a lo largo de la vida del horno. Y la prolongación del ciclo de vida de las instalaciones no responde sólo a criterios económicos sino también a políticas medioambientales.

La discusión sobre las técnicas que deben considerarse MTDs para la reducción de las emisiones de  $\text{NO}_x$  sigue abierta. Teniendo en cuenta las experiencias realizadas por la industria europea del vidrio y la situación actual de los niveles de emisión de  $\text{NO}_x$ , es recomendable fomentar el uso de técnicas que reduzcan las emisiones en su origen y seguir avanzando en el desarrollo de éstas y otras técnicas que permitan reducir de forma efectiva y sin otros impactos asociados, las emisiones de  $\text{NO}_x$ , que siguen siendo el principal problema medioambiental de la industria del vidrio.



## ANEXO II. *Métodos de determinación de emisiones, por medio y por sustancias, para la industria del vidrio*

A partir de la información recopilada y teniendo en cuenta los criterios explicados, se ha realizado un examen exhaustivo de los distintos métodos de medición identificados para su inclusión en esta propuesta metodológica.

### 1. MÉTODOS SELECCIONADOS PARA CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

En las tablas adjuntas se incluyen las propuestas de metodología de medición seleccionadas para los diferentes contaminantes atmosféricos, de acuerdo a los incluidos en las sublistas de sustancias a tener en cuenta para el sector del vidrio según la Guía EPER.

#### *Toma de muestras y otras cuestiones de carácter general*

FUENTES	MÉTODO MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes Fijas <sup>38</sup>	Características generales para la situación, disposición y dimensión de conexiones, plataformas y accesos para la toma de muestras		Orden 18/10/1976	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio
	Muestreo para la determinación automática de las concentraciones de gas.	UNE 77 218: 1995	Equivalente a ISO 10396: 1993.	
	Análisis de gas. Preparación de las mezclas de gases para calibración. Método de permeación.	UNE 77 238: 1999	Equivalente a ISO 6349: 1979.	
Emisiones de instalaciones industriales de combustión con potencia térmica inferior a 50 MWt e instalaciones de cogeneración	Medición en discontinuo, con duración mínima de media hora	Normas EN o UNE en su ausencia, ó internacionales	Decreto 319/1998 (Cataluña)	

<sup>38</sup> Dentro del concepto de fuentes fijas se incluyen los focos puntuales (chimeneas, conductos de emisión de gases,...), difusas (zonas de almacenamiento), de línea (cintas transportadoras) y otros focos estacionarios continuos o discontinuos en cada caso según lo especificado en la Norma de referencia.

**Monóxido de Carbono (CO)**

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Emisiones de instalaciones de incineración y coincineración de residuos	Mediciones continuas		Real Decreto 653/2003	
Emisiones de instalaciones industriales de combustión con potencia térmica < 50 MWt e instalaciones de cogeneración	Mediciones continuas		Decreto 323/1994 (Cataluña) Decreto 319/1998 (Cataluña)	
Fuentes fijas de emisión	Muestreo no isocinético, determinación <i>in situ</i> mediante células electroquímicas	DIN 33962, medidas puntuales	OCA.	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio
	Determinación con sensores en foco de CO mediante analizadores de rayos infrarrojos, que aplica el principio de correlación de filtro de gas	Medidas en continuo	OCA Sector vidrio CC.AA.	
	Determinación de la concentración mísica de monóxido de carbono (CO) mediante espectrometría infrarroja no dispersiva	EN ISO58: 2006	Propuesta por la guía para la implantación del E-PRTR	

**Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

MÉTODO DE CÁLCULO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Datos de la actividad x factor de emisión x factor de oxidación [para la determinación de los factores de emisión y oxidación se tendrán en cuenta las determinaciones de los Anexos I y IX de la Decisión 2004/156/CE]		Ley 1/2005 (Estatal) Decisión 2004/156/CE (UE)	Para todos los subsectores
MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Sistemas de medición continuos de emisiones (SMCE)	Normas CEN (si están disponibles) o ISO (por ejemplo ISO 10396:1993 e ISO 10012:2003)	Ley 1/2005 (Estatal) Decisión 2004/156/CE (UE)	Para todos los subsectores

**Amoniaco ( $NH_3$ )**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes fijas de emisión	Toma de muestra, mediante retención del $NH_3$ en dos borboteadores en serie con una disolución de ácido sulfúrico	NIOSH 6701 (adaptación del método)	OCA	Subsector de lanas minerales (epígrafe 3.4)
Fuentes fijas de emisión	Determinación por espectrofotometría de UV-Visible	NIOSH 205	OCA	Subsector de lanas minerales (epígrafe 3.4)

**Compuestos Orgánicos Volátiles no Incluido el Metano (COVNM)**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Focos fijos de emisión	Toma de muestra en función del compuesto	ASTM D 3686-95 ASTM D 3687-95	Utilizado por laboratorios de inspección	
Focos fijos de emisión	Determinación de la concentración de masa de carbono orgánico gaseoso total a altas concentraciones en conducto de gases. Método continuo analizador FID (detector de ionización de llama)	PrEN 13526 EN 12619-99	Propuestas por EPER OCA	Para todos los subsectores
FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes fijas de emisión	Muestreo no isocinético con sonda calefactora, con filtro de fibra de vidrio y determinación <i>in situ</i> en un analizador FID (detector de ionización de llama)	EN 12619/13526/13649	OCA	
Emisiones de Fuentes Estacionarias	Determinación de la concentración mísica de compuestos orgánicos gaseosos individuales	PrEN 13649 (en desarrollo) PNE-prEN 13649	Propuesta por EPER OCA	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio
Focos fijos de emisión	Determinación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) por cromatografía de gases/espectrometría de masas	ASTM D 3687-95 ASTM D 3686-95 En función de las sustancias	Utilizado por laboratorios de inspección	

**Óxidos de Nitrógeno ( $NO_x$ , como  $NO_2$ )**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Emisiones de instalaciones de incineración y coincineración de residuos	Mediciones continuas		Real Decreto 653/2003	
Emisiones de grandes instalaciones de combustión	Características de los monitores en continuo. Mediciones durante el período de una hora expresadas en mg/Nm <sup>3</sup>	UNE 77-224 equivale a ISO 10849/04,96	Orden 26/12/1995 Propuesta por EPER	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio
	Aseguramiento de los aspectos de calidad de los sistemas automáticos de medición	CEN/TC 264 WG 9	Propuesta por EPER	
	Determinación de la concentración de masa. Características de funcionamiento de los sistemas automáticos de medida.	ISO 10849/04,96; PNE 77-224	Propuesta por EPER	
	Determinación de la concentración de masa. Método fonometría de naftiletilendiamina	ISO 11564/04,98	Propuesta por EPER	
Fuentes Fijas	Quimioluminiscencia	EN KA92: 2005	Propuesta por la guía para la implantación de E-PRTR	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio
	Determinación de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) por retención de $NO_x$ en disolución absorbente de $H_2SO_4$ diluido y $H_2O_2$ . Espectrofotometría UV-VIS	EPA 7 (1990) EPA 7 (1986)	Utilizado por laboratorios de inspección	
	Muestreo no isocinético y determinación <i>in situ</i> mediante analizador automático de gases de combustión de células electroquímicas	DIN 33962 Discontinuo	OCA	
	Quimioluminiscencia en continuo; analizador de infrarrojos	Normas ISO, DIN EN	Sector Vidriero	

**Óxidos de Azufre (SO<sub>X</sub>, como SO<sub>2</sub>)**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Emisiones de instalaciones de incineración y coincineración de residuos	Mediciones continuas		Real Decreto 653/2003	
Emisiones de instalaciones industriales	Medición en continuo combustión <50 MWt y cogeneración		Decreto 319/1998 (Cataluña)	
Fuentes fijas	Características de funcionamiento de los métodos automáticos de medida de concentración mísica del SO <sub>2</sub> . Muestreo automático y analizadores en continuo	UNE 77 222: 1996	Equivalente a ISO 7935: 1992. Propuesta por EPER Orden 26/12/1995	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio
	Aseguramiento de los aspectos de calidad de los sistemas automáticos de medición	CEN/TC 264 WG 9	Propuesta por EPER	
Fuentes fijas	Muestreo no isocinético y espectrofotometría de UV-VIS	DIN 33962	OCA	
	Determinación de la concentración mísica de SO <sub>2</sub> . Método del peróxido de hidrógeno/perclorato de bario/torina	UNE 77 216 1 <sup>a</sup> modificación. 2000	Equivalente a ISO 7934: 1989/AM 1:1998 (propuesta por EPER). Orden 7/07/2000 (Cataluña) OCA	
	Determinación de la concentración de masa. Método de cromatografía iónica	ISO 11632/03,98; UNE 77 226:1999	Propuesta por EPER	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio
	Determinación de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) por titulación volumétrica	EPA 6 (40 CFR) Absorción en Disolución de H <sub>2</sub> O EPA 6 (1995) EPA 8 (1995) (SO <sub>2</sub> +SO <sub>3</sub> )	OCA	
	Det. <i>in situ</i> por cromatografía de líquidos de alta resolución	O de 10/8/1976 (Anexo 3)	OCA	

PARA DATOS CALCULADOS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Puede ser recomendable en algunos casos, también por su mayor fiabilidad, recurrir a <b>métodos de cálculos basados en consumo de combustible, tipo de combustible y balances de SO<sub>X</sub></b> , de acuerdo con los modelos expuestos en el Glass Industry BREF's Document (IPTS Octubre 2000)	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio

*Metales y sus Compuestos***As y compuestos (total como As)**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes Fijas	Isocinético con caudal aproximado de 20 L/min, según condiciones dinámicas de la chimenea	EPA 10/29/90 (borrador)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
Fuentes Fijas	Espectrofotometría de absorción atómica de cámara de grafito	EPA 10/29/90 (borrador) (EPA 29 y EPA 29, 1995)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
	Metales	VDI 3868 EN 14385:2004	Orden 7/07/2000 (Cataluña) Propuesta por EPER	

MÉTODOS ALTERNATIVOS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Absorción atómica por generación de hidruros. El As es reducido a la forma trivalente y convertido en arsena. Rango de trabajo 2-20.000 µg/l. Determinación por espectroscopía de emisión atómica por ICP, a 193,7 nm de longitud de onda. Límite de detección 13 ng/ml.	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio

**Cd y compuestos (total como Cd)**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes Fijas	Isocinético con caudal aproximado de 20 L/min, según condiciones dinámicas de la chimenea	EPA 10/29/90 (borrador)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
Fuentes Fijas	Espectrofotometría de absorción atómica de llama	EPA 10/29/90 (borrador) (EPA 29 y EPA 29, 1995)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
	Metales	VDI 3868 EN 14385:2004	Orden 7/07/2000 (Cataluña) Propuesta por EPER	

MÉTODOS ALTERNATIVOS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Absorción atómica con atomización por horno de grafito. Determinación por espectroscopía de emisión atómica por ICP, a 226,5 nm de longitud de onda, Límite de detección 1,6ng/mL.	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio

**Cr y compuestos (total como Cr)**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes Fijas	Isocinético con caudal aproximado de 20 L/min, según condiciones dinámicas de la chimenea	EPA 10/29/90 (borrador)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
Fuentes Fijas	Espectrofotometría de absorción atómica de llama	EPA 10/29/90 (borrador) (EPA 29 y EPA 29, 1995)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
	Metales	VDI 3868	Orden 7/07/2000 (Cataluña)	

MÉTODOS ALTERNATIVOS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Absorción atómica con atomización por horno de grafito. Determinación por espectroscopía de emisión atómica por ICP, a 205,6 nm de longitud de onda. Límite de detección 1,3 ng/mL.	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio

**Cu y compuestos (total como Cu)**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes Fijas	Isocinético con caudal aproximado de 20 L/min, según condiciones dinámicas de la chimenea	EPA 10/29/90 (borrador)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
Fuentes Fijas	Espectrofotometría de absorción atómica de llama	EPA 10/29/90 (borrador) (EPA 29 y EPA 29, 1995)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
	Metales	VDI 3868	Orden 7/07/2000 (Cataluña)	

MÉTODOS ALTERNATIVOS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Absorción atómica con atomización por horno de grafito. Determinación por espectroscopía de emisión atómica por ICP, a 324,8 nm de longitud de onda. Límite de detección 2,1 ng/mL.	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio

**Hg y compuestos (total como Hg)**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes Fijas	Isocinético con caudal aproximado de 20 L/min, según condiciones dinámicas de la chimenea. Disolución absorbente exclusiva para Hg: 4% Kmn O <sub>4</sub> /10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	EPA 10/29/90 (borrador)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
Fuentes Fijas	Espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío	EPA 10/29/90 (borrador) (EPA 29 y EPA 29, 1995)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
	Metales	VDI 3868	Orden 7/07/2000 (Cataluña)	
	Determinación de la concentración total	PrEN13211 (borrador)	Propuesta por EPER	

**Ni y compuestos (total como Ni)**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes Fijas	Isocinético con caudal aproximado de 20 L/min, según condiciones dinámicas de la chimenea	EPA 10/29/90 (borrador)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
Fuentes Fijas	Espectrofotometría de absorción atómica de llama	EPA 10/29/90 (borrador) (EPA 29 y EPA 29, 1995)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
	Metales	VDI 3868	Orden 7/07/2000 (Cataluña)	
		EN 14385:2004	Propuesta por EPER	

MÉTODOS ALTERNATIVOS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Absorción atómica con atomización por horno de grafito. Determinación por espectroscopía de emisión atómica por ICP, a 231,6 nm de longitud de onda. Límite de detección 3,4 ng/mL.	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio

**Pb y compuestos (total como Pb)**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes Fijas	Isocinético con caudal aproximada de 20 L/min, según condiciones dinámicas de la chimenea	EPA 10/29/90 (borrador)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
Fuentes Fijas	Espectrofotometría de absorción atómica de llama	EPA 10/29/90 (borrador) (EPA 29 y EPA 29, 1995)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio
	Metales	VDI 3868	Orden 7/07/2000 (Cataluña)	
		EN 14385:2004	Propuesta por EPER	

MÉTODOS ALTERNATIVOS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Absorción atómica con atomización por horno de grafito. Determinación por espectroscopía de emisión atómica por ICP, a 220,4 nm de longitud de onda. Límite de detección 17 ng/mL.	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio

**Zn y compuestos (total como Zn)**

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes Fijas	Isocinético con caudal aproximado de 20 l/min, según condiciones dinámicas de la chimenea	EPA 10/29/90 (borrador)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio especialmente en lanas y fritas
Fuentes Fijas	Espectrofotometría de absorción atómica de llama	EPA 10/29/90 (borrador) (EPA 29 y EPA 29, 1995)	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Comunidad Autónoma de Madrid	Todo tipo de vidrio, especialmente en lanas y fritas
	Metales	VDI 3868	Orden 7/07/2000 (Cataluña)	
		EN 14385:2004	Propuesta por EPER	

MÉTODOS ALTERNATIVOS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Absorción atómica con atomización por horno de grafito. Determinación por espectroscopía de emisión atómica por ICP, a 213,9 nm de longitud de onda. Límite de detección 0,6 ng/mL.	Para todos los subsectores fabricantes de cualquier tipo de vidrio

*Cloro y compuestos inorgánicos (como HCl)*

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Emisiones de instalaciones de incineración y coincineración de residuos	Mediciones continuas		Real Decreto 653/2003	
Fuentes Fijas	Isocinéticas con caudal aproximado de 20 L/min, según condiciones dinámicas de la chimenea	EPA 26 A	OCA	Todo tipo de vidrio
Fuentes Fijas	Cloruro de hidrógeno por cromatografía o potenciometría	UNE EN 1911-1,2,3: 1998 Equ. a EN 1911-1,2,3: 1998: Parte 1. Muestreo de gases Parte 2. Absorción de compuestos gaseosos. Parte 3. Análisis del sol. De absorción y cálculos.	OCA Orden 7/07/2000 (Cataluña) Propuesta por EPER	Todo tipo de vidrio
	Determinación por potenciometría	Methods of air sampling and analysis. Second Edition 805. Analytical method for chloride in air	OCA	

**OBSERVACIONES**

El método de determinación por potenciometría consiste en la medida de la diferencia de potencial que se establece entre dos electrodos (uno selectivo y otro de referencia), debida a la relación de actividades de los iones cloruro en el interior y en el exterior del electrodo selectivo, ya que el resto de componentes se mantienen constantes.

*Flúor y compuestos inorgánicos (como HF)*

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Emisiones de instalaciones de incineración y coincineración de residuos	Mediciones continuas		Real Decreto 653/2003	
Fuentes Fijas	Isocinéticas con caudal aproximado de 20 L/min, según condiciones dinámicas de la chimenea	EPA 26 A Mod	OCA	
Fuentes Fijas	Determinación por potenciometría	EPA 26 A Mod	OCA Comunidad de Madrid	Todo tipo de vidrio

**OBSERVACIONES**

El método de determinación por potenciometría consiste en la medida de la diferencia de potencial que se establece entre dos electrodos (uno selectivo y otro de referencia), debida a la relación de actividades de los iones fluoruro en el interior y en el exterior del electrodo selectivo, ya que el resto de componentes se mantienen constantes.

*PM<sub>10</sub> (partículas menores de 10 µm)*

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Fuentes Fijas	Isocinéticas con caudal aproximado de 20 L/min, según condiciones dinámicas de la chimenea (*)	EPA 5 Modificación	OCA	Todo tipo de vidrio (**)
	Determinación de la concentración y caudal mísico de material particulado en conductos de gases. Método gravimétrico manual. Partículas en industria	UNE 77223: 1997 Corresponde a ISO 9096: 1992	Orden 7/07/2000 (Cataluña) Real Decreto 108/1991 Propuesta por EPER OCA	
	Medición automática de la concentración másica de partículas. Características de funcionamiento, métodos de ensayo y especificaciones.	UNE 77 219: 1998 Equivalente a ISO 10155: 1995	Propuesta por EPER	
	Determinación por gravimetría.	EPA 5 (A AIR) EPA 17 (1995)	Orden 7/07/2000 (Cataluña) Decreto 22/98 (Cataluña) OCA	
	Determinación de la concentración de masa de total de polvo a bajas concentraciones (< 20 mg/m <sup>3</sup> ) Parte 1 Método gravimétrico manual	EN 13284	Propuesta por EPER	

**OBSERVACIONES**

(\*) La muestra de gas es extraída isocinéticamente. Las partículas son recogidas en un filtro de fibra de vidrio o cuarzo. Antes de que las partículas lleguen al filtro hay que dotar al sistema una modificación para retener las partículas mayores de 10 micras y así evitar que lleguen al filtro. Normalmente los equipos de muestreo consisten en una sonda de muestreo en cuarzo con caja caliente o filtro en cabeza, unidad de acondicionamiento y unidad de control. Previo al filtro se dispone un sistema de ciclones para retener las partículas mayores de 10 micras.

(\*\*) Para la determinación de las partículas en la industria del vidrio, no es tan importante la norma utilizada como que el procedimiento de dicha norma tenga en cuenta las características de cada proceso. Lo más importante es el tipo de filtro utilizado (de fibra de vidrio, cuarzo) en cada caso y la localización de ese filtro (dentro o fuera de la chimenea). Por ejemplo para vidrios sódico-cálcicos (hueco, plano y doméstico menos opal) se recomienda filtro de cuarzo y que estén localizados dentro de la chimenea (norma EPA 17, 1995). En fabricación de fibras es recomendable la localización del filtro en el exterior. La norma UNE 77223: 1997 da recomendaciones sobre la colocación del filtro, así si se deja fuera hay que tener en cuenta los condensados que se produzcan, los cuales dependen de los gases emitidos.

En procesos con hornos sin sistemas de enfriamiento de los gases previos a la salida, se recomienda la EPA 5 hasta unos 400°C.

## 2. MÉTODOS SELECCIONADOS PARA CONTAMINANTES EN EL AGUA

En las tablas adjuntas se incluyen las propuestas de metodología de medición seleccionadas para los diferentes contaminantes en el agua considerados en las sublistas correspondientes a la industria del vidrio.

### *Toma de muestras y otras cuestiones de carácter general*

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Efluentes líquidos: Aguas residuales	Muestreo. Parte 1: guía para el diseño de los programas de muestreo.	UNE-EN 25667-1:1995	OCA	Todo tipo de vidrio
	Muestreo. Parte 2: guía para las técnicas de muestreo.	UNE-EN 25667-2:1995	OCA	
	Muestreo. Parte 3: guía para la conservación y la manipulación de muestras.	UNE-EN ISO 5667-3:1996	OCA	
	Especificaciones técnicas de carácter general para los instrumentos que realizan las medidas en continuo	UNE 77077:1989		

### **OBSERVACIONES**

Para las tomas de muestras se propone considerar la utilización de la norma UNE-EN 25667-172/3.

### *Otras cuestiones generales de carácter legal a tener en cuenta*

FUENTES	MÉTODO DE MUESTREO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Efluentes líquidos: Aguas residuales (vertidos a cauce y vertidos a litoral)	Las muestras serán convenientemente preservadas y analizadas conforme a las normas de los "Métodos Normalizados para el Análisis de Agua" de la APHA-AWWA-WPCF.	SM. APHA-AWWA-WPCF, Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes USEPA, ASTM Section 11, Guidelines for testing of chemicals OECD, ISO, EN, UNE, AFNOR ó ANSI	OCA Decreto 62/94 (Madrid) Decreto 19/1998 (Asturias) Decreto 266/1994 (Valencia) Decretos 103/2000 y 193/2001 (Cataluña) Decreto 14/1996 (Andalucía) Decreto 8/1999 (Galicia) Decreto foral 82/1990 (Navarra) Red de Control de vertidos	Todo tipo de vidrio

**Total nitrógeno (como N)**

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Efluentes líquidos: Aguas residuales	Determinación de nitrógeno. Parte 1: Método por mineralización oxidante con peroxidisulfato.	UNE-EN ISO 11905-1:1998	Propuesta por EPER	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Determinación por reducción/quimioluminiscencia	EN V 12260	Propuesta por EPER	
	Determinación por oxidación reducción/quimioluminiscencia	DIN 38409-27	Propuesta por EPER	
	Determinación nitrógeno Kjedhal por el método de mineralización con selenio.	UNE-EN 25663:1994	Norma establecida en el Decreto 103/2000 (Cataluña)	
	Determinación de nitrógeno kjeldhal. Mineralización, destilación por el método kjeldahl y determinación del amonio por espectrometría de absorción molecular o titrimetría		Orden 8/02/88	
Aguas residuales continentales y litorales	Determinación de nitratos por espectrofotometría de absorción molecular		Orden 8/02/88 Decreto 14/1996 (Andalucía)	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Determinación de nitratos por el método del electrodo selectivo		Decreto 14/1996 (Andalucía)	

**OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS**

Efluentes líquidos: Aguas residuales	Determinación de nitrógeno amoniacal y Kjeldahl por titulación volumétrica	SM 4500 NH3 E (18 ed.) SM 4500-Norg B (17 ed.)	OCA	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Determinación de nitratos por espectrofotometría UV/VIS (reducción con cadmio)	SM 4500-NO3(B y E) (17 Ed) SM 4500-NO3 E (19 ed)	OCA	
	Determinación de nitratos por potenciometría	SM 4500-NO3- D (1993)	OCA	
	Det. nitritos por espectrofotometría UV-VIS (método de diazotación)	EPA 354.1 EPA 353.2, 1978	OCA	
	Det. nitritos, nitratos disueltos por cromatografía iónica en fase líquida. Parte 2	UNE-ENISO103042:1997		
	Determinación de nitratos por espectrofotometría UV-VIS	UNE 77027:1982	OCA	
	Det. de nitrógeno Total Kjeldahl por quimioluminiscencia	ASTM D-5176 (1991)	OCA	

Otras normas para la determinación de nitrógeno son: NF T90-110:1981; DIN 38414:1984; UNE-EN ISO 11732:1997; UNE-EN ISO 11732/1M: 1999; UNE 77028:1983; EPA 350.1 (1978); EPA 350.3 (1974); SM 4500-NH3 (B/E) (18 ed); DIN 38414:1984.

En la determinación de nitrógeno total intervienen diferentes métodos de análisis como la determinación del N kjeldahl (nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico), y el nitrógeno total que incluye el nitrógeno kjeldahl más los nitritos y nitratos.

*Total fósforo (como P, sólo epígrafe 3.4)*

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Determinación por el método espectrométrico con molibdato amónico	UNE-EN 1189:1997	Decreto 103/2000 (Cataluña) Propuesta por EPER	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Peroxidisulfato/inyección de flujo FIA, CFA	E DIN 38405-30	Propuesta por EPER	
<b>OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS</b>				
Efluentes líquidos: Aguas residuales	Fósforo disuelto por espectrofotometría UV-VIS	SM 4500-P D (17 ed) SM 4500 P C (19 ed.) SM 4500 P (B,E) (20 Ed 1998) NF T90-023:1982 Apdo. 5.1 DIN 38414:1984. UNE 77047:1983 SM 4500 P E (17 ed) SM 4500-P (B y E) (199) SM 4500-P (A,B y C) EPA 365 Parte 1 y 4 (1978)	OCA	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Determinación de ortofosfato disuelto por cromatografía iónica en fase líquida	UNE-EN ISO 10304-2:1997		

*Metales y sus compuestos**As y compuestos (total como As)*

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP- espectrometría de masas MS	ASTM D5673 DIN 38406-29	Propuesta por EPER	Todo tipo de vidrio, epígrafe 3.3
	Determinación por espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros (Hydris-AAS)	UNE-EN ISO 11969:1997 SM 3114 B (1993)	Propuesta por EPER Decreto 14/1996 (Andalucía) OCA	
	Determinación por espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP- AES	UNE-EN ISO 11885:1998	Propuesta por EPER	

OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS				
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Determinación por espectrometría de absorción atómica de llama	UNE 77056:1983 UNE 77056:1997 ERRATUM Proc Interno basado en SM 3111 (A y D)	OCA	Todo tipo de vidrio, epígrafe 3.3
	Determinación por espectrofotometría de absorción atómica electrotérmica		Decreto 14/1996 (Andalucía)	
	Espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo (ICP).	SM 3120-92	OCA	
	Determinación por espectrofotometría con dietiltiocarbamato de plata	UNE-EN 26595:1994		

### Cd y compuestos (total como Cd)

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-espectrometría de masas MS	ASTM D5673 DIN 38406-29	Propuesta por EPER	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Determinación por espectrometría de absorción atómica de llama	UNE-EN ISO 5961:1995 UNE 77056:1997 ERRATUM EPA 213.1 (1974) SM 3111 A y B (1993) SM 3111 B (17 ed) NF T 90-112: 1996	Propuesta por EPER Decreto 8/1999 (Galicia) Decreto 14/1996 (Andalucía) OCA	
	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-AES	UNE-EN ISO 11885:1998	Propuesta por EPER	
	Determinación por voltamperometría	DIN 38406-16	Propuesta por EPER	

### OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS

Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Determinación por espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo ICP	SM 3120-92	Utilizado por laboratorios de inspección	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
--	--	------------	--	-------------------------------

## Cr y compuestos (total como Cr, sólo epígrafe 3.4)

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP- espectrometría de masas MS	ASTM D5673 DIN 38406-29	Propuesta por EPER	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Determinación por espectrometría de absorción atómica (de llama)	UNE-EN 1233:1997 UNE 77056:1983 UNE 77056:1997 ERRATUM EPA 218.1 (1978) DIN 38414: 1984 SM 3111 A y B SM 3111 B (17 ed) NF T 90-112: 1996	Propuesta por EPER Orden 8/02/88 Decreto 8/1999 (Galicia) Ley 10/93 (Madrid) Decreto 16/99 (Murcia) Decreto 14/96 (Andalucía), OCA	
	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP- AES	UNE-EN ISO 11885:1998	Propuesta por EPER	
<b>OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS</b>				
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Det. por espectrofotometría de emisión por Plasma-ICP o absorción atómica (previa filtración)		Real Decreto 995/2000	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Det. por espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo ICP	SM 3120-92	Utilizado por laboratorios de inspección	
	Cr(VI) por espectrofotometría UV-VIS	SM 3500-Cr D (17 ed) DIN 38414:1984	Utilizado por laboratorios de inspección	

## Cu y compuestos (total como Cu)

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP- espectrometría de masas MS	ASTM D5673 DIN 38406-29	Propuesta por EPER	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Determinación de cobre por espectrometría de absorción atómica electrotérmica ET-AAS	DIN 38406-7	Propuesta por EPER Decreto 14/1996 (Andalucía)	
	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-AES	UNE-EN ISO 11885:1998	Propuesta por EPER	
	Determinación por voltamperometría	DIN 38406-16	Propuesta por EPER	

OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS				
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Det. por espectrofotometría de absorción atómica de llama	ISO 8288 UNE 77056:1997 ERRATUM EPA 220.1 (1978) SM 3111 A y B (1993) SM 3111 B (17 ed) NF T 90-112: 1996	Decisión 98/4, OSPAR Decreto 8/1999 (Galicia) Real Decreto 995/2000 OCA Ley 10/93 (Madrid) Decreto 16/1999 (Murcia)	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Det. por espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo ICP	SM 3120-92	Real Decreto 995/2000 OCA	

### Hg y compuestos (total como Hg)

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes	Determinación por espectrofotometría de absorción atómica (vapor frío)	UNE-EN 1483 (8/1/98) UNE 77057:1983 EPA 245.1 (1974)	Orden 8/02/1988 Orden 12/11/1987 Orden 31/10/1989 Ley 10/93 (Madrid) Decreto 8/1999 (Galicia) Decreto 14/1996 (Andalucía) Propuesta por EPER OCA	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Voltamperometría cíclica CV- espectrometría de absorción atómica AAS con amalgamación	UNE-EN 12338:1999	Propuesta por EPER	

### Ni y compuestos (total como Ni)

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Det. por espectrometría de absorción atómica electrotérmica ET-AAS	ASTM D5673 DIN 38406-11	Propuesta por EPER Decreto 14/1996 (Andalucía)	Todo tipo de vidrio
	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-AES	EN ISO 11885: UNE-EN ISO 11885:1998	Propuesta por EPER	
	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-espectrometría de masas MS	DIN 38406-29	Propuesta por EPER Real Decreto 995/2000	
	Det. por voltamperometría	DIN 38406-16	Propuesta por EPER	

OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS				
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Análisis por espectrometría de absorción atómica de llama	UNE 77056:1983 UNE 77056:1997 ERRATUM SM 3111 A y B (1993) SM 3111 B (17 ed) NF T 90-112: 1996 EPA 249.1 (1978)	Decreto 8/1999 (Galicia) Orden 8/02/1988 Decreto 16/1999 (Murcia) Ley 10/93 (Madrid) Real Decreto 995/2000 OCA'S	Todo tipo de vidrio
	Espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo ICP	SM 3120-92	OCA	

**Pb y compuestos (total como Pb)**

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-espectrometría de masas MS	ASTM D5673 DIN 38406-29	Propuesta por EPER Real Decreto 995/2000	Todo tipo de vidrio
	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-AES	EN ISO 11885: UNE-EN ISO 11885:1998	Propuesta por EPER	
	Det. por espectrometría de absorción atómica electrotérmica ET-AAS	DIN 38406-6	Propuesta por EPER Decreto 14/1996 (Andalucía)	
	Det. por voltamperometría	DIN 38406-16	Propuesta por EPER	

**OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS**

Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Análisis por espectrometría de absorción atómica de llama	UNE 77056:1983 UNE 77056:1997 ERRATUM EPA 239.1 (1978) SM 3111 A y B (1993) SM 3111 B (17 ed) NF T 90-112: 1996	Decreto 8/1999 (Galicia) Orden 8/02/1988 Ley 10/93 (Madrid) Decreto 16/1999 (Murcia) Real Decreto 995/2000. OCA	Todo tipo de vidrio
	Espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo ICP	SM 3120-92	ECA OCA	

**Zn y compuestos (total como Zn)**

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-espectrometría de masas MS	ASTM D5673 DIN 38406-29	Propuesta por EPER Real Decreto 995/2000	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-AES	EN ISO 11885: UNE-EN ISO 11885:1998	Propuesta por EPER	
	Det. por voltamperometría	DIN 38406-16	Propuesta por EPER	
<b>OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS</b>				
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Determinación por espectrometría de absorción atómica de llama	UNE 77056:1983 UNE 77056:1997 ERRATUM SM 3111 B (17 ed) SM 3111 A y B (1993) NF T 90-112: 1996 EPA 289.1 (1974)	Decreto 8/1999 (Galicia) Orden 8/02/1988 Real Decreto 995/2000 Decreto 14/1996 (Andalucía) Decreto 16/1999 (Murcia). Ley 10/93 (Madrid) OCA	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo ICP	SM 3120-92	OCA	

**Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno (BTEX)**

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y	Det. por cromatografía de gases con detector cromatográfico específico o detector de espectrometría de masas. Sistema de inyección específico para sustancias volátiles		Real Decreto 995/2000	Lanas Minerales, epígrafe 3.4
	Cromatografía de gases Headspace GC	DIN 38407-9	Propuesta por EPER	
	Benceno, Etilbenceno, Tolueno, Xileno. Purga y atrapamiento, desorción térmica y separación / cuantificación por cromatografía de gases / detector masas	EPA 8260 <sup>a</sup> (1994)	OCA	
	Det. por cromatografía de gases	SM 6220 (20 Ed 1998)	OCA	

*Carbono Orgánico Total COT (como C ó DQO/3)*

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Efluentes líquidos: Aguas residuales	Determinación de la DQO por espectrofotometría UV-VIS (método del dicromato potásico)	UNE 77004:1989 ISO 6060 (2 <sup>a</sup> Ed) AFNOR T 90-101 EPA 410.4 (1978)	Decreto 103/2000 (Cataluña) Decreto 8/1999 (Galicia) Decreto 14/1996 (Andalucía) Ley 10/93 (Madrid) Decreto 16/1999 (Murcia) Decisión 98/5, OSPAR Decisión 98/4, OSPAR OCA's	Todo tipo de vidrio
	Determinación de COT, TOC/DOC	UNE-EN 1484	Decisión 98/4, OSPAR Propuesta por EPER Decreto 103/2000 (Cataluña)	
	Guía para la determinación de carbono orgánico total (TOC) y carbono orgánico disuelto (DOC)	ISO 8245	Propuesta por EPER	

**OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS**

Efluentes líquidos: Aguas residuales	Determinación de la DQO en muestras con contenidos salinos > 2 g/L. Método alternativo	SM punto 5220 <sup>a</sup> (20 Ed)	Decreto 103/2000 (Cataluña)	
	Determinación de la DQO en muestras con contenidos inferiores a 50 mg/l	SM 5220B. 4b (17 Ed)	Decreto 8/1999 (Galicia)	
	Demanda Química de Oxígeno (DQO) por titulación volumétrica	NF T90-101:1988 DIN 38414:1984 SM 5220 C (17 ed)	OCA	
	Demanda Química de Oxígeno (DQO) por espectrofotometría UV-VIS. Reflujo cerrado	SM 5220 D (19 ed)	OCA	
	TOC/DOC	Método italiano estándar 5310C	Propuesta por EPER	Todo tipo de vidrio
	Carbono Orgánico Total (COT) por espectrofotometría IR	EPA 415.1 (1974) SM 5310 B (17 ed.) SM 5310 B (1998)	OCA	
	Determinación de COT por el método de combustión-Infrarrojo		Decreto 14/1996 (Andalucía)	
	Determinación COT mediante un detector de infrarrojo del CO <sub>2</sub> (obtenido por oxidación química del carbono orgánico). Método alternativo		OCA	
Aguas naturales y residuales	Carbono Orgánico Total (COT) por oxidación y espectrometría IR	EPA 415.1 (1974 Rev.)		

**Fluoruros**

FUENTES	MÉTODO ANALÍTICO	NORMA DE REFERENCIA	REFERENCIAS	SUBSECTOR APPLICABLE (TIPO DE VIDRIO)
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Técnica electroquímica	ISO 10359-1	Propuesta por EPER	Todo tipo de vidrio
	Determinación por electrodo selectivo o espectrofotometría de absorción molecular (tras destilación, en caso necesario)		Real Decreto 995/2000 Orden 8 /02/1988 Decreto 14/1996 (Andalucía) Ley 10/93 (Madrid) Decreto 16/1999 (Murcia)	
	Determinación por cromatografía iónica (IC)	CNR-IRSA	Propuesta por EPER	
	Determinación por el método colorimetría con alizarina	UNE 77044:1983		
Método aplicable a aguas débilmente contaminadas	Determinación por cromatografía en fase líquida Parte 1 (Determinación por cromatografía iónica (IC))	UNE-EN ISO 10304-1:1995	Propuesta por EPER	
OBSERVACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS				
Toda clase de aguas incluidas los efluentes y aguas de mar	Determinación por el método del electrodo de ión selectivo	ASTM D 1179-88	OCA	Todo tipo de vidrio
	Determinación por electrometría (potenciometría)	EPA 340.2 (1974 rev.) SM 4500 F- C (1998)	OCA	

### 3. CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS CONTAMINANTES ANUALES

En la siguiente tabla se refleja una aproximación al marco general, a tener en cuenta en la definición de los criterios generales y particulares aplicables a la determinación de las cargas contaminantes anuales de las sustancias contaminantes a la atmósfera y al agua.

*Criterios generales de referencia para la determinación de las cargas contaminantes anuales*

Métodos establecidos en Decisión EPER y Documento Guía			Métodos establecidos en Inventario CORINE-AIRE [Aplicables a contaminantes atmosféricos]		Métodos de evaluación establecidos en el Programa RID del Convenio OSPAR [Aplicable a contaminantes al agua]	
Código	Descripción	Método de Cálculo de la Carga Contaminante Anual	Métodos	Observaciones	Métodos	Observaciones
M: Medido	Dato de emisión con base en medidas realizadas utilizando métodos normalizados o aceptados; aunque sea necesario realizar cálculos para transformar los resultados de las medidas en datos de emisiones anuales	A partir de los resultados de controles directos de procesos específicos, con base en mediciones reales de concentraciones de contaminantes para una vía de emisión determinada.	A.1. Medición continua: Basados en la operación en continuo del equipo de medida en la instalación. La medida propiamente dicha puede ser continua o secuencial			
		A partir de métodos de medida normalizados o aceptados (en continuo)			General: Producto de la concentración de contaminante ponderada por el caudal medio y por el caudal total.	Se necesita un número importante de datos de caudal y concentración
		Con base en los resultados de un periodo corto y de medidas puntuales	A.2. Medición a intervalos periódicos: Basados en mediciones de emisiones realizadas de forma discontinua y sólo por el periodo de tiempo que dura la medición.		Alternativo al general: valor medio del producto del caudal por la concentración de la serie de medidas disponible	
					Cuando sólo se dispone de medidas puntuales: se utilizarán las mejores estimaciones disponibles del caudal y de la concentración	En el cálculo de la carga contaminante vertida de forma directa en el área marítima del Atlántico andaluz, se utiliza el producto del caudal anual por el valor medio de la concentración de las muestras disponibles

Métodos establecidos en Decisión EPER y Documento Guía			Métodos establecidos en Inventario CORINE-AIRE [Aplicables a contaminantes atmosféricos]		Métodos de evaluación establecidos en el Programa RID del Convenio OSPAR [Aplicable a contaminantes al agua]	
Código	Descripción	Método de Cálculo de la Carga Contaminante Anual	Métodos	Observaciones	Métodos	Observaciones
C. Calculado	Datos de emisión con base en cálculos realizados utilizando métodos de estimación aceptados nacional o internacionalmente y factores de emisión, representativos del sector industrial.	Utilizando datos de actividad (como consumo de fuel, tasas de producción, etc.) y factores de emisión.	D. Métodos basados en factores de emisión: factores y variables de actividad.			
		Utilizando variables como la temperatura, radiación global, etc.				
		Basados en balance de masas	B.1. Balance simple de materiales			
			B.2. Balance completo de materiales: basados en la determinación de todos los flujos de entradas y salidas, utiliza datos de proceso e instalaciones, cantidades de materiales y composición.	Se utiliza como método de contraste para validaciones de estimaciones atípicas.		
		Métodos de cálculo de emisiones descritos en referencias publicadas	C. Métodos basados en modelos funcionales estadísticos: modelización/correlación.			
E: Estimado	Datos de emisión basados en estimaciones no normalizadas, deducidos de las mejores hipótesis o de opiniones autorizadas.	Opiniones autorizadas, no basadas en referencias publicadas disponibles.			Con base en las condiciones contenidas, relativas a caudales y concentraciones máximas permitidas, en la autorización administrativa correspondiente.	
		Suposiciones, en caso de ausencia de metodologías reconocidas de estimación de emisiones o de guías de buenas prácticas.				



## ***ANEXO III. Legislación aplicable a la industria del vidrio***

### **1. LEGISLACIÓN COMUNITARIA Y NACIONAL**

#### **AGUAS**

##### **Vertidos a aguas continentales**

- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 2006/11/CEE del Consejo, de 15 de febrero de 2006, relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad (versión modificada).
- Directiva 83/513/CEE del Consejo, de 26 de septiembre de 1983, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de cadmio.
- Directiva 84/156/CEE del Consejo, de 8 de marzo de 1984, relativa a los valores límites y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio de los sectores distintos de la electrólisis de los cloruros alcalinos.
- Decisión N° 2455/2001/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de noviembre de 2001, por la que se aprueba la lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas, y por la que modifica la Directiva 2000/60/CE.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI, V2I de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de aguas.
- Real Decreto 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifican el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, modificada por el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo.
- Orden de 12-XI-87, sobre normas de emisión, objetivos de calidad y métodos de medición de referencia relativos a determinadas sustancias nocivas o peligrosas contenidas en los vertidos de aguas residuales.
- Orden MAM/1873/2004, de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el Real Decreto 606/2003.

##### **Vertidos a aguas marinas**

- Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General para el desarrollo y ejecución de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Real Decreto 1112/1992, de 18 de septiembre, que modifica parcialmente el Reglamento General para desarrollo y ejecución de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, aprobado por el Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre.

- Real Decreto 258/1989, de 10 de marzo, por el que se establece la normativa general de los vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar.
- Orden de 31 de octubre de 1989, por la que se establecen las normas de emisión, objetivos de calidad, métodos de medida de referencia y procedimiento de control relativos a determinadas sustancias peligrosas contenidas en los vertidos desde tierra al mar.
- Orden de 13 de julio de 1993 por la que se aprueba la Instrucción para el Proyecto de Conducciones de vertido desde tierra al mar.

## ATMÓSFERA

### Emisiones de instalaciones

- Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.
- Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972.
- Orden de 18 de octubre de 1976, sobre prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera.
- Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) debidas al uso de disolventes en determinadas actividades
- Real Decreto-Ley 5/2004, de 27 de agosto, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Real Decreto 1866/2004, de 6 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión 2005-2007.
- Real Decreto 60/2005, de 21 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1866/2004, de 6 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión, 2005-2007.
- Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Real Decreto 1264/2005, de 21 de octubre, por el que se regula la organización y funcionamiento del Registro Nacional de Derechos de Emisión (RENADE).
- Real Decreto 1315/2005, de 4 de noviembre, que establece las bases de los Sistemas de Seguimiento y Verificación de Emisiones de gases de efecto invernadero en instalaciones incluidas en el ámbito de aplicación de la Ley 1/2005, sobre el Comercio de Derechos de Emisión de Gases de Efecto Invernadero.

### Niveles de inmisión

- Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxidos de carbono.

### Sustancias que agotan la capa de ozono

- Reglamento (CE) nº 2037/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de junio de 2000, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.

### Instrumentos preventivos

- Directiva del Consejo 96/61/CEE, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y control integrados de la contaminación (IPPC).

- Decisión 2000/479/CE relativa la elaboración de un Inventario Europeo de Emisiones Contaminantes (EPER).
- Reglamento (CE) nº 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de enero relativo, al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE y 96/61/CE del Consejo. DOCE nº L 33/1, de 4 de febrero de 2006.
- Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.
- Orden de 15 de marzo de 1963, por la que se aprueba la Instrucción por la que se dictan normas complementarias para la aplicación del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.
- Decreto 3414/1964, de 6 de noviembre, por el que se modifican determinados artículos del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

## RESIDUOS

- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

### Residuos: envases y residuos de envases

- Decisión 171/2001, de 19 de febrero de 2001, por la que se establecen las condiciones para la no aplicación a los envases de vidrio de los niveles de concentración de metales pesados establecidos en la Directiva 94/62/CE relativa a los Envases y Residuos de Envases.
- Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.
- Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.
- Real Decreto 252/2006, de 3 de marzo, por el que se revisan los objetivos de reciclado y valorización establecidos en la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases, y por el que se modifica el Reglamento para su ejecución, aprobado por el Real Decreto 782/1998, de 30 de abril

### Residuos peligrosos

- Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, que desarrolla la Ley 20/1986 de Residuos Tóxicos y Peligrosos.
- Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988.

### Residuos peligrosos: aceites usados

- Orden de 28 de febrero de 1989, por la que se regula la gestión de aceites usados.
- Orden de 13 junio de 1990, por la que se modifica el apartado decimosexto, 2, y el anexo 2 de la Orden de 28 de febrero de 1989 por la que se regula la gestión de aceites usados.

#### **Residuos peligrosos: aparatos eléctricos y electrónicos**

- Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.

#### **Residuos: amianto**

- Real Decreto 108/1991, de 1 de febrero, sobre la prevención y reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto.

#### **Residuos: vehículos al final de su vida útil**

- Real Decreto 1383/2002, de 20 de diciembre, sobre gestión de vehículos al final de su vida útil.

#### **Residuos: PCB y PCT**

- Real Decreto 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterenilos y aparatos que los contengan.
- Real Decreto 228/2006, de 24 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los Policlorobifenilos, Policloroterenilos y Aparatos que los contengan (PCBs y PCTs).

#### **Vertederos**

- Decisión 33/2003, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo 2 de la Directiva 1999/31/CE.
- Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

### **RUIDO Y VIBRACIONES**

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, de Ruido.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

### **SUELOS CONTAMINADOS**

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

## 2. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA

### ANDALUCÍA

#### **Aguas**

- Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de la Calidad de las Aguas Litorales.
- Orden de 14 de febrero de 1997 por la que se clasifican las aguas litorales andaluzas y se establecen los objetivos de calidad de las aguas afectadas directamente por los vertidos, en desarrollo del Decreto 14/1996, de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de la Calidad de las Aguas Litorales.

#### **Atmósfera**

- Decreto 74/1996, de 20 de febrero. Protección del medio ambiente. Reglamento de la calidad del aire.

#### **Instrumentos preventivos**

- Ley 7/1994, de 18 de mayo, de protección ambiental.

#### **Residuos**

- Decreto 283/1995, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el reglamento de residuos de la comunidad autónoma de Andalucía.
- Decreto 104/2000, de 21 de marzo, por el que se regulan las autorizaciones administrativas de las actividades de valorización y eliminación de residuos y la gestión de residuos plásticos agrícolas.

#### **Ruido y Vibraciones**

- Decreto 326/2003, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la contaminación acústica en Andalucía.

### ARAGÓN

#### **Aguas**

- Ley 9/1997, de 7 de noviembre, de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Comunidad Autónoma de Aragón.
- Resolución de 5 de diciembre de 2001, de la Dirección del Instituto Aragonés del Agua, por la que se somete a información pública el Anteproyecto de Decreto por el que se aprueba el Reglamento de los vertidos de aguas residuales a las redes municipales de Alcantarillado.

## **Atmósfera**

- Decreto 25/1999, de 23 de marzo, del Gobierno de Aragón, por el que se regula el contenido de los informes de los organismos de control sobre contaminación atmosférica, en la Comunidad Autónoma de Aragón.
- Orden de 17 de enero de 2001, del Departamento de Medio Ambiente, por la que se modifica la Orden de 15 de junio de 1994, del Departamento de Medio Ambiente, por la que se establecen los modelos de libro registro de las emisiones contaminantes a la atmósfera en los procesos industriales y libro registro de las emisiones contaminantes a la atmósfera en las instalaciones de combustión.

## **Instrumentos preventivos**

- Orden de 28 de noviembre de 1986, del Departamento de Urbanismo, Obras Públicas y Transportes, sobre documentación que acompaña a la solicitud de licencia para ejercicio de actividades sometidas al Reglamento de actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas y regulación del trámite de visita de comprobación para el ejercicio de tales actividades.
- Decreto 109/1986, de 14 de noviembre, de la Diputación General de Aragón, por el que se regula la intervención de la Diputación General de Aragón en materia de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.

## **Residuos**

- Orden de 14 de marzo de 1995, del Departamento de Medio Ambiente, por la que se regula el procedimiento de inscripción en el Registro de Pequeños Productores de Residuos Tóxicos y Peligrosos de la Comunidad Autónoma de Aragón.

## **ASTURIAS**

### **Aguas**

- Ley 5/2002, de 3 de junio, del Principado de Asturias sobre vertidos de aguas residuales industriales a los sistemas públicos de saneamiento.
- Decreto 19/1998, de 23 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el Desarrollo de la Ley 1/1994, de 21 de febrero, de abastecimiento y saneamiento de aguas en el Principado de Asturias.

## **Residuos**

- Circular de 3 de enero de 1989, obligaciones a cumplir por productores y gestores de residuos tóxicos y peligrosos.

## **Ruido y Vibraciones**

- Decreto 99/1985, de 17 de septiembre, por el que se aprueban las normas sobre condiciones técnicas de los proyectos de aislamiento acústico y de vibraciones.

## **ISLAS BALEARES**

### **Residuos**

- Decreto 36/1998, de 13 de marzo, por el cual se crea el Registro de Pequeños Productores de Residuos Tóxicos y Peligrosos.

### **Ruido y Vibraciones**

- Decreto 20/1987, sobre ruido y vibraciones.

## **CANARIAS**

### **Aguas**

- Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas.
- Decreto 276/1993, de 8 de octubre, de Reglamento sancionador en materia de aguas.

### **Instrumentos preventivos**

- Ley 1/1998, de 8 de enero, de Régimen Jurídico de los Espectáculos Públicos y Actividades Clasificadas.

### **Residuos**

- Ley 1/1999, de 29 de enero, de Residuos.
- Decreto 51/1995, de 24 de marzo, por el que se crea y regula el registro de pequeños productores de residuos tóxicos y peligrosos.

## **CANTABRIA**

### **Aguas**

- Ley 2/2002, de 29 de abril, de Saneamiento y Depuración de las Aguas Residuales de la Comunidad Autónoma de Cantabria.

### **Instrumentos preventivos**

- Decreto 9/2004, de 5 de febrero, por el que se designa el órgano competente para otorgar la AAI y se crea la Comisión de Prevención y Control Integrado de la Contaminación.

### **Residuos**

- Decreto 42/2001, de 17 de mayo, por el que se crea y regula el Registro de Pequeños Productores de Residuos Peligrosos en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Cantabria.

- Orden 28/05/2001, por la que se regula el contenido mínimo de los Estudios de Minimización de Residuos Peligrosos.

## **CASTILLA-LA MANCHA**

### **Aguas**

- Ley 12/2002, de 27 de junio de 2002, reguladora del ciclo integral del agua de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha.

### **Atmósfera**

- Orden de 13 de septiembre de 2004, que designa el órgano competente para la aplicación, del Real Decreto-Ley 5/2004 por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

### **Instrumentos Preventivos**

- Decreto 79/86, de 11 de julio, sobre servicios y funciones en materia de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas de Castilla-La Mancha.

### **Normas Generales**

- Ley 16/2005, del Impuesto sobre determinadas actividades que inciden en el medio ambiente y del tipo autonómico del Impuesto sobre las Ventas minoristas de determinados hidrocarburos.

### **Residuos**

- Orden de 21 de enero de 2003, por la que se regulan las normas técnicas específicas que deben cumplir los almacenes y las instalaciones de transferencia de residuos peligrosos.
- Orden de 5 de marzo de 2001, por la que se regula el contenido básico de los estudios de minimización de la producción de residuos peligrosos.
- Orden de 21 de agosto de 2000, por la que se regulan los documentos a emplear por los recogedores-transportistas autorizados en Castilla-La Mancha en la recogida de residuos peligrosos procedentes de pequeños productores.

## **CASTILLA Y LEÓN**

### **Atmósfera**

- Decreto 124/2004, de 16 de diciembre, por el que se designa al órgano autonómico competente en materia de emisiones de gases de efecto invernadero y por el que se atribuye el ejercicio de la potestad sancionadora en dicha materia.

### **Instrumentos Preventivos**

- Ley 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León.

- Decreto 159/1994, de 14 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la aplicación de la Ley de Actividades Clasificadas.

## Residuos

- Orden de 19 de mayo de 1997, por la que se regulan los documentos de control y seguimiento a emplear en la recogida de Residuos Tóxicos y Peligrosos procedentes de Pequeños Productores.
- Decreto 180/1994, de 4 de agosto, de creación del registro de pequeños productores de residuos tóxicos y peligrosos.
- Orden de 19 de mayo 1992 por la que se regula el sistema de concesión de autorizaciones para realizar operaciones de recogida, transporte y almacenamiento de aceites usados.

## Ruido y Vibraciones

- Decreto 3/1995, de 12 de enero, por el que se establecen las condiciones que deberán cumplir las actividades clasificadas, por sus niveles sonoros o de vibraciones.

## CATALUÑA

### Aguas

- Decreto 47/2005, de 22 de marzo, de modificación del Decreto 103/2000, de 6 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de los tributos gestionados por la Agencia Catalana del Agua.
- Decreto 130/2003, de 13 de mayo, por el que se aprueba el reglamento de los servicios públicos de saneamiento.
- Decreto 103/2000, de 6 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de los Tributos gestionados por la Agencia Catalana del Agua.

### Atmósfera

- Decreto 390/2004, de 21 de septiembre, de asignación de competencias en materia de emisión de gases de efecto invernadero.
- Decreto 398/1996, de 12 de diciembre, regulador del sistema de planes graduales de reducción de emisiones a la atmósfera.
- Ley 6/1996, de 18 de junio, de modificación de la Ley 22/1983, de 21 de noviembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.
- Decreto 322/1987, de 23 de desarrollo de la Ley 22/1983, de 21 de noviembre de 1983, de Protección del Ambiente Atmosférico.
- Ley 22/1983, de 21 de noviembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.

### Instrumentos Preventivos

- Decreto 50/2005, de 29 de marzo, que desarrolla la Ley 4/2004, de 1 de julio, reguladora del proceso de adecuación de las actividades existentes a la Ley 3/1998 (IPPC) y de modificación del Decreto 220/2001, de gestión de las deyecciones ganaderas.

- Ley 4/2004, de 1 de julio, reguladora del proceso de adecuación de las actividades de incidencia ambiental a lo establecido en la Ley 3/1998, de 27 de febrero, de la intervención integral de la Administración ambiental.
- Decreto 143/2003, de 10/2006, modificación del Decreto 136/1999, de 18/2005, que aprueba el Reglamento General de desarrollo de la Ley 3/1998, de 27/2002, de la intervención integral de la administración ambiental y se adaptan sus anexos.
- Ley 13/2001, de 13 de julio, de modificación de la Ley 3/1998, de 27 de febrero, de la intervención integral de la Administración ambiental.
- Decreto 136/1999, de 18 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento general de despliegue de la Ley 3/1998, de 27 de febrero, de la intervención integral de la Administración ambiental, y se adaptan sus anexos.
- Ley 1/1999, de 30 de marzo, de modificación de la disposición final cuarta de la Ley 3/98, de 27 de febrero, de la intervención integral de la Administración ambiental.
- Ley 3/1998, de 27 de febrero, de la intervención integral de la Administración ambiental.

## **Residuos**

- Orden MAB/401/2003, de 19 de septiembre, por la que se aprueba el procedimiento de presentación telemática de la declaración anual de residuos industriales.
- Orden MAB/329/2003, de 15 de julio, que aprueba el procedimiento telemático relacionado con la formulación de la documentación de control y seguimiento de residuos y la solicitud de inscripción en el Registro de productores de residuos industriales.
- Ley 15/2003, de 13 de junio, de modificación de la Ley 6/1993, de 15 de julio, reguladora de los residuos.
- Ley 16/2003, de 13 de junio, de financiación de las infraestructuras de tratamiento de residuos y del canon sobre la disposición de residuos.
- Decreto 92/1999, de 6 de abril de modificación del Decreto 34/1996, de 9 de enero, por el que se aprueba el Catálogo de Residuos de Cataluña.
- Decreto 93/1999, de 6 de abril, de procedimiento de gestión de residuos.
- Decreto 1/1997, de 7 de enero de 1997, sobre la disposición del rechazo de los residuos en depósitos controlados
- Decreto 34/1996, de 9 de enero, por el que se aprueba el Catálogo de Residuos de Cataluña.
- Ley 6/1993, de 15 de julio, reguladora de los residuos.
- Orden de 6 de septiembre de 1988, sobre prescripciones en el tratamiento y eliminación de los aceites usados (tener en cuenta normativa posterior en materia de residuos).
- Orden de 9 de septiembre de 1986, de limitación del uso de los policlorobifenilos y los policloroterfenilos (su aplicación queda afectada por el Real Decreto 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterfenilos y aparatos que los contengan y por el Real Decreto 228/2006, de 24 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los Policlorobifenilos, Policloroterfenilos y Aparatos que los contengan (PCBs y PCTs).

## **Ruido y Vibraciones**

- Ley 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica.
- Resolución de 30 de octubre de 1995, por la cual se aprueba una ordenanza municipal tipo, reguladora del ruido y las vibraciones.

## **CEUTA**

### **Instrumentos preventivos**

- Real Decreto 2505/1996, de 5 de diciembre, sobre traspaso de funciones y servicios de la Administración del Estado a la Ciudad de Ceuta en materia de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.

## **EXTREMADURA**

### **Atmósfera**

- Resolución de 14 de septiembre de 2004, por la cual se atribuye al Director General de Medio Ambiente la competencia para resolver las solicitudes de autorización de emisión de gases de efecto invernadero.
- Anuncio de 14 de septiembre de 2004, por el que se da publicidad al listado provisional de instalaciones existentes en la Comunidad Autónoma de Extremadura, incluidas en el ámbito de aplicación del Real Decreto-Ley 5/2004.

### **Instrumentos Preventivos**

- Decreto 45/1991, de 16 de abril de 1991, de medidas de protección del ecosistema.

### **Residuos**

- Decreto 133/1996, de 3 de septiembre, por el que se crea el Registro de Pequeños Productores de Residuos Tóxicos y Peligrosos y se dictan normas para minimizar la generación de residuos procedentes de automoción y aceites usados.

### **Ruido y Vibraciones**

- Decreto 19/1997, de 4 de abril, de reglamentación de ruidos y vibraciones.

## **GALICIA**

### **Aguas**

- Decreto 265/2000, por el que se modifica el Decreto 8/1999, por el que se aprueba el Reglamento de Desarrollo legislativo del Capítulo IV de la Ley 8/1993, reguladora de la Administración Hidráulica de Galicia, relativa al canon de saneamiento.

### **Atmósfera**

- Orden de 31 de marzo de 2005, por la que se modifica la de 14 de septiembre de 2004, por la que se regula el procedimiento para la obtención de la autorización de emisión de gases de efecto invernadero.
- Orden de 14 de septiembre de 2004, por la que se regula el procedimiento para la obtención de la autorización de emisión de gases de efecto invernadero.
- Ley 8/2002, de 18 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico de Galicia.

- Orden de 27 de noviembre de 2001, por la que se desarrolla el Reglamento del Impuesto de Contaminación Atmosférica y se aprueban los diferentes modelos de declaración y de declaración-liquidación.
- Decreto 29/2000, de 20 de enero, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre la contaminación atmosférica.
- Ley 12/1995, de 29 de diciembre, del impuesto sobre la contaminación atmosférica.

### **Instrumentos Preventivos**

- Ley 1/1995, de 2 de enero, de Protección Ambiental de Galicia.

### **Residuos**

- Orden de 23 de diciembre de 2005, por la que se regula el contenido básico de los estudios de minimización de la producción de residuos no peligrosos que deben presentar los productores autorizados de residuos.
- Decreto 174/2005, de 9 de junio, por el que se regula el régimen jurídico de la producción y gestión de residuos y el Registro General de Productores y Gestores de Residuos de Galicia.
- Decreto 221/2003, de 27 de marzo, por el que se establece un régimen simplificado en el control de los traslados de residuos peligrosos producidos por pequeños productores de residuos.
- Orden de 11 de mayo de 2001, por la que se regula el contenido básico de los estudios de minimización de la producción de residuos peligrosos que deben presentar los productores autorizados de residuos.
- Decreto 154/1998, de 28 de mayo, por el que se publica el Catálogo de Residuos de Galicia.
- Ley 10/1997, de 22 de agosto, de Residuos Sólidos Urbanos de Galicia.

### **Ruido y Vibraciones**

- Decreto 320/2002, de 7 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece las Ordenanzas tipo sobre protección contra la contaminación acústica.
- Decreto 150/1999, de 7 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de protección contra la contaminación acústica.
- Ley 7/1997, de 11 de agosto, de Protección contra la Contaminación Acústica de Galicia.

### **MADRID**

#### **Aguas**

- Decreto 57/2005, de 30 de junio, por el que se revisan los anexos de la Ley 10/1993, de 26 de octubre, sobre vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento.
- Decreto 154/1997, de 13 de noviembre, sobre normas complementarias para la valoración de la contaminación y la aplicación de tarifas por depuración de aguas residuales.
- Decreto 62/1994, por el que se establecen normas complementarias para la caracterización de los vertidos líquidos industriales al Sistema Integral de Saneamiento.

- Decreto 40/1994, de 21 de abril, por el que se aprueban los modelos de documentos a que hace referencia la Ley 10/1993, de 26 de octubre, sobre vertidos líquidos industriales al Sistema Integral de Saneamiento.
- Ley 10/1993, de 26 de octubre, sobre vertidos líquidos industriales al Sistema Integral de Saneamiento.

### **Atmósfera**

- Resolución de 21 de junio de 2004, por la que se desarrollan determinados aspectos relativos la contaminación atmosférica industrial en la Comunidad de Madrid.
- Resolución de 14 de octubre de 2003, por la que se regulan determinados aspectos de actuación de los organismos de control autorizados en el campo reglamentario de la calidad ambiental, área atmósfera, de la Comunidad de Madrid.
- Resolución de 3 de junio de 2003, por la que se regulan determinados aspectos de la actuación de los Organismos de Control Autorizados en el campo reglamentario de la Calidad Ambiental, Área Atmósfera, en la Comunidad de Madrid.
- Resolución de 14 de marzo de 2003, por la que se regulan determinados aspectos de actuación de los Organismos de Control Autorizado en el campo reglamentario de la Calidad Ambiental, área atmósfera, en la Comunidad de Madrid.

### **Instrumentos Preventivos**

- Orden 581/2003, de 18 de marzo, por la que se desarrolla la regulación de la Tasa de Autorización Ambiental Integrada.

### **Residuos**

- Orden de 27 de junio de 2003, por la que se aprueba el modelo 670 de autoliquidación del Impuesto sobre Depósito de Residuos, el sobre de presentación y las instrucciones...
- Orden 1095/2003, de 19 de mayo, de regulación de las tasas por autorización para la producción y gestión de residuos, excluido el transporte, la de autorizaciones en transporte de residuos peligrosos y la de inscripción en registros...
- Ley 5/2003, de 20 de marzo, de residuos de la Comunidad de Madrid.
- Ley 6/2003, de 20 de marzo, del Impuesto sobre Depósito de Residuos.
- Orden 2029/2000, de 26 de mayo, por la que se regulan los impresos a cumplimentar en la entrega de pequeñas cantidades del mismo tipo de residuos.
- Decreto 326/1999, de 18 de noviembre, por el que se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados de la Comunidad de Madrid.
- Decreto 4/1991, de 10 de enero, por el que se crea el Registro de Pequeños Productores de Residuos Tóxicos y Peligrosos.

### **Ruido y Vibraciones**

- Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid.

## **REGIÓN DE MURCIA**

### **Aguas**

- Decreto 16/1999, de 22 de abril, sobre vertidos de aguas residuales industriales al alcantarillado.
- Ley 3/2000, de 12 de julio, de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia e Implementación del Canon de Saneamiento.

### **Atmósfera**

- Decreto 36/1992, de 9 de abril, sobre gestión de la Red Regional de Vigilancia y Previsión de la Contaminación Atmosférica.

### **Instrumentos preventivos**

- Ley 1/1995, de 8 de marzo, de Protección del Medio Ambiente de la Región de Murcia.
- Resolución de 28 de mayo de 2003, por la que se ordena la nueva publicación del texto íntegro del Decreto n.º 47/2003, de 16 de mayo, por el que se aprueba el reglamento del Registro de Establecimientos Industriales de la Región de Murcia.
- Resolución de 22 de septiembre de 2003, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se aprueban los modelos de los impresos del Registro de Establecimientos Industriales de la Región de Murcia, creado por el Decreto 47/2003 de 16 de mayo.

### **Ruido y Vibraciones**

- Decreto 48/1998, de 30 de julio, normas sobre protección del medio ambiente frente al ruido.

## **NAVARRA**

### **Aguas**

- Decreto Foral 12/2006, de 20 de febrero, por el que se establecen las condiciones técnicas aplicables a la implantación y funcionamiento de las actividades susceptibles de realizar vertidos de aguas a colectores públicos.
- Ley Foral 10/1988, de 29 de diciembre, de Saneamiento de las Aguas Residuales de Navarra.

### **Atmósfera**

- Decreto Foral 299/2004, por el que se designa al Departamento de Medio Ambiente (...), órgano competente en el ámbito de Navarra a efectos de lo dispuesto en el RD-L 5/2004, por el que se regula el régimen del comercio de los derechos de emisión de gases.
- Decreto Foral 6/2002, de 14 de enero, por el que se establecen las condiciones aplicables a la implantación y funcionamiento de las actividades susceptibles de emitir contaminantes a la atmósfera.

## Instrumentos Preventivos

- Ley Foral 4/2005, de 22 de marzo, de intervención para la Protección Ambiental.

## Residuos

- Decreto Foral 295/1996, de 29 de julio, por el que se establece el régimen simplificado de control en la recogida de pequeñas cantidades de residuos especiales.
- Decreto Foral 312/1993, de 13 de octubre, por el que se regula el Registro de Pequeños Productores de Residuos Tóxicos y Peligrosos.

## Ruido y Vibraciones

- Decreto Foral 135/1989, de 8 de junio, por el que se establecen las condiciones técnicas que deberán cumplir las actividades emisoras de ruidos o vibraciones.

## LA RIOJA

### Aguas

- Ley 5/2000, de 25 de octubre, de saneamiento y depuración de aguas residuales de La Rioja.
- Decreto 55/2001, de 21 de diciembre, por el que se aprueba el reglamento de desarrollo de la Ley 5/2000, de 25 de octubre, de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de La Rioja.

## Instrumentos Preventivos

- Ley 5/2002, de 8 de octubre, de Protección del Medio Ambiente de La Rioja.

## Residuos

- Decreto 86/1990, de 11 de octubre, de asignación de competencias en materia de autorizaciones para la producción y gestión de residuos tóxicos peligrosos.

## C. VALENCIANA

### Aguas

- Decreto 193/2001, de 18 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento sobre el Régimen Económico-Financiero y Tributario del canon de saneamiento, aprobado mediante Decreto 266/1994, de 30 de diciembre.
- Decreto 266/1994, de 30 de diciembre de 1994, por el que se aprueba el Reglamento sobre el Régimen Económico-Financiero y Tributario del Canon de saneamiento.
- Ley 2/1992, de 26 de marzo, del Gobierno Valenciano, de saneamiento de las Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana.

### Atmósfera

- Decreto 211/2004, de 8 de octubre, por el que se designan los órganos autonómicos competentes en materia de emisiones de gases de efecto invernadero.

### Instrumentos Preventivos

- Orden de 3 de enero de 2005, por la que se establece el contenido mínimo de los estudios de impacto ambiental que se hayan de tramitar ante esta Conselleria.
- Decreto 40/2004, de 5 de marzo, por el que se desarrolla el régimen de prevención y control integrados de la contaminación en la Comunidad Valenciana.
- Decreto 162/1990, de 15 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento para la Ejecución de la Ley 2/1989, de 3 de marzo, del Impacto Ambiental.
- Decreto 54/1990, de 26 de marzo, por el que se aprueba el Nomenclátor de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas, en cumplimiento de lo establecido en el artículo 1 de la Ley 3/1989, de 2 de mayo, de Actividades Clasificadas.
- Ley 3/1989, de 2 de mayo, de Actividades Clasificadas.
- Ley 2/1989, de 3 de marzo de 1989, de Impacto Ambiental.
- Orden de 7 de julio de 1983, por la que se aprueba la Instrucción 2/1983, que establece las directrices para la relación de los proyectos técnicos que acompaña a las solicitudes de licencias de actividades molestas...
- Orden de 10 de enero de 1983, de aprobación de la Instrucción 1/1983, por la que se dictan normas para la aplicación del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.

### Residuos

- Resolución de 18 de febrero de 2005, por la que se modifica la Resolución de 24 de mayo de 2004, por la que se regula el procedimiento para la comunicación telemática de las notificaciones previas a los traslados ...
- Resolución de 24 de mayo de 2004, por la que se regula el procedimiento para la comunicación telemática de las Notificaciones Previas a los Traslados (NPT) y Documentos de Control y Seguimiento (DCS) de residuos peligrosos.
- Orden de 5 de diciembre de 2002, de la Consellería de Medio Ambiente, por la que se regula el modelo de Declaración Anual de envases y residuos de envases.
- Decreto 135/2002, por el que se aprueba el Plan de Descontaminación y Eliminación de PCB de la Comunidad Valenciana.
- Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Generalitat Valenciana.
- Orden de 12 de marzo de 1998, por la que se crea y regula el Registro de Pequeños Productores de Residuos Tóxicos y Peligrosos de la Comunidad Valenciana.
- Orden de 15 de octubre de 1997, por la que se modifica la Orden de 6 de julio de 1994, del Conseller de Medio Ambiente, por la que se regulan los documentos de control y seguimiento de residuos tóxicos y peligrosos.
- Orden de 6 de julio de 1994, del Conseller de Medio Ambiente, por la que se regulan los documentos de control y seguimiento de residuos tóxicos y peligrosos para emplear únicamente por pequeños productores de residuos de Valencia.

## Ruido y Vibraciones

- Resolución de 9 de mayo de 2005, relativa a la disposición transitoria primera del Decreto 266/2004, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica.
- Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios.
- Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de protección contra la contaminación acústica.

## PAÍS VASCO

### Aguas

- Decreto 196/1997, de 29 de agosto, por el que se establece el procedimiento para el otorgamiento de autorizaciones de uso en la zona de servidumbre de protección del Dominio Público Marítimo-Terrestre y de vertido desde tierra al mar.
- Decreto 455/1999, de 28 de diciembre, por el que se aprueba definitivamente el Plan Territorial Sectorial de Ordenación de Márgenes de los Ríos y Arroyos de la Comunidad Autónoma del País Vasco (Vertiente Mediterránea).
- Decreto 415/1998, de 22 de diciembre, por el que se aprueba definitivamente el Plan Territorial Sectorial de Ordenación de Márgenes de los ríos y arroyos de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

### Instrumentos Preventivos

- Decreto 165/1999, de 9 de marzo, por el que se establece la Relación de Actividades Exentas de la Obtención de la Licencia de Actividad prevista en la Ley 3/1988, de 27 de febrero, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco.
- Ley 3/1998, de 27 de febrero, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco.
- Decreto 171/1985, de 11 de junio, por el que se aprueban las Normas Técnicas de Carácter General, de aplicación a las Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas a establecerse en Suelo Urbano residencial.
- Orden 14/1983, de 12 de mayo, del Departamento de Política Territorial y Transportes por la que se dictan normas técnicas complementarias para la aplicación del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.

### Residuos

- Ley 1/2005, de 4 de febrero, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo.
- Decreto 259/1998, de 29 de septiembre, por el que se regula la gestión del aceite usado en el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco.
- Decreto 423/1994, de 2 de noviembre, sobre gestión de residuos inertes e inertizados.

NOTA: La autoridad competente puede incluir aspectos relativos a la normativa de seguridad industrial, salud e higiene, accidentes graves, etc., en la Autorización Ambiental Integrada.

## ***ANEXO IV. Acuerdos voluntarios y otros documentos de interés***

- "Acuerdo voluntario entre el Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno vasco y las empresas firmantes del sector de vidrio, cerámica y cal para la mejora ambiental de dicho sector en la Comunidad Autónoma del País Vasco", 2005.
- "La Industria del Vidrio. Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles aplicables a la Industria (versión en catalán). Departamento de Medio Ambiente de la Generalidad de Cataluña". Junio 2003.

# BIBLIOGRAFÍA

## Documentos

- Comisión Europea (noviembre, 2000). *Guidance Document for EPER implementation*. Disponible en <http://www.eper.cec.eu.int>.
- Conselleria de Cultura, Educaió I Ciencia (1997-1998). *Síntesis del Estudio Sectorial del Subsector: Manufacturas del Vidrio*. Editado por Generalitat Valenciana.
- Durán, Alicia (1999). *Situación actual de la Industria y la Investigación en Vidrios: El Caso Español*. El Vidrio en Iberoamérica. Industrias, Investigación y Formación. Editorial CYTED-SECV.
- European Commission. Directorate-General JRC. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies (Seville). Technologies for Sustainable Development. European IPPC Bureau (2001). *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry*. Versión en inglés disponible en <http://www.eper-es.com>.
- Fernández Navarro, J. M<sup>a</sup> (1991). *El Vidrio*. Editorial CSIC. 2<sup>a</sup> Edición.
- Fernández Navarro, J. M<sup>a</sup> (1993). *La industria del vidrio en España y la investigación científica y técnica en este sector*. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 32, (6), 385-389.
- Fundación Entorno (1998). *Prospección Tecnológica de los sectores industriales afectados por la Directiva 96/61 (IPPC)*.
- Mari, Eduardo A. (1982). *Los Vidrios*. Editorial Américalee, S.R.L.
- Ministerio de Medio Ambiente (2004). *Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Fabricación de Vidrio. Documento BREF*. Versión en español disponible en <http://www.eper-es.com> y <http://eippcb.jrc.es>.
- Ministerio de Industria y Energía (1988). *Informe sobre la industria española*, 1997.
- Rebordinos, Jesús (2005). *Aplicación de las MTD's en la Industria del Vidrio*. Saint-Gobain Cristalería. Seminaris Temàtics de Qualificació Ambiental: Les millors tècniques disponibles, organizado por el Departament de Medi Ambient y Habitatge de la Generalitat de Catalunya. Disponible en <http://mediambient.gencat.net/>.
- Scalet, Bianca (2006). *Linne Guida Per L'Applicazione Della Directiva Europea IPPC 96/61/CE All'Industria Del Vetro Ed Alla Produzione Di Fritte*. Stazione Sperimentale del Vetro.
- Tackels, Guy (1996). *La industria del vidrio y el medio ambiente. Evolución, Obligaciones y oportunidades*. Boletín de la Sociedad de Cerámica y Vidrio, 35, (3), 155-163.
- TNO Science and Industry (2005). *TNO report IMC-RAP-05-13849/eja: Feasibility of NO<sub>x</sub> emission reduction measures for side-port fired regenerative container glass furnaces of OI in Alloa*.
- Varios autores (1998). *Guía Técnica: Depuración de los gases de combustión en la industria cerámica*. Editado por el Instituto de Tecnología Cerámica-AICE.
- Varios autores (1997). *Indicadores Energéticos*. Serie: Informes IDAE (nueve cuadernos). Editado por IDAE.

## Páginas web

- <http://eippcb.jrc.es>  
<http://www.eper-es.es>  
<http://www.eper.cec.eu.int>  
<http://www.tno.nl>  
<http://www.unece.org>

ISBN 978-84-8320-389-7



9 788483 203897

P.V.P.: 20,00 €  
(I.V.A. Incluido)



MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE