
RESUMEN GENERAL

1) Introducción

El presente documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria del vidrio refleja el intercambio de información que se ha llevado a cabo con arreglo al apartado 2 del artículo 16 de la Directiva 96/61/CE del Consejo y ha de contemplarse a la luz del prefacio, en el que se describen sus objetivos y forma de uso.

En el documento se analizan las actividades industriales especificadas en los puntos 3.3 y 3.4 del anexo 1 de la Directiva 96/61/CE, concretamente:

- 3.3 Instalaciones de fabricación de vidrio, incluida la fibra de vidrio, con una capacidad de fundición superior a 20 toneladas por día.
- 3.4 Instalaciones para la fundición de materiales minerales, incluida la fabricación de fibras minerales, con una capacidad de fundición superior a 20 toneladas por día.

A los efectos del presente documento, se considera que el sector del vidrio está constituido por las actividades industriales que se ajustan a las descripciones citadas en la Directiva, agrupadas en ocho subsectores en función de los productos que fabrican, aunque inevitablemente hay cierto grado de superposición entre ellos. Estos ocho subsectores son: el vidrio para envases, el vidrio plano, la fibra de vidrio de filamento continuo, el vidrio doméstico, los vidrios especiales (incluido el vidrio soluble), las lanas minerales (que se dividen en lana de vidrio y lana de roca), la fibra cerámica y las fritas.

El documento está estructurado en siete capítulos y varios anexos que contienen información complementaria:

- 1. Información general.
- 2. Técnicas y procesos aplicados.
- 3. Niveles actuales de emisión y consumo.
- 4. Técnicas a considerar en la determinación de las MTD.
- 5. Conclusiones sobre MTD.
- 6. Nuevas técnicas.
- 7. Conclusiones y recomendaciones.
- 8. Anexo 1: Datos de emisiones de un ejemplo de instalación.
- 9. Anexo 2: Ejemplo de balances sulfúreos.
- 10. Anexo 3: Observación.
- 11. Anexo 4: Legislación en los Estados miembros.

El resumen general pretende ser una sinopsis de las principales conclusiones que contiene el documento. Por su naturaleza, es imposible presentar todas las complejidades del asunto en un resumen tan breve. Por lo tanto, es obligado remitirse al cuerpo principal del documento y hacer hincapié en que la única referencia válida para determinar las MTD para una instalación en particular es el documento completo. Para tomar este tipo de decisiones, no cabe basarse exclusivamente en el resumen general, ya que la información puede quedar fuera de contexto y puede ocurrir que se realicen interpretaciones equivocadas.

2) La industria del vidrio

El capítulo 1 contiene información general sobre la industria del vidrio, con el fin de que las personas responsables de tomar decisiones puedan hacerse una idea global del sector y situar la información que se facilita más adelante en el contexto de los factores generales que afectan a la industria en su conjunto.

El sector del vidrio de la Unión Europea es sumamente diverso, tanto por los productos que fabrica como por las técnicas de producción que emplea. Los productos pueden ser desde copas

de cristal de plomo artísticamente hechas a mano hasta vidrio flotado en grandes cantidades para los sectores de construcción y automoción. Las técnicas de fabricación varían desde los pequeños hornos eléctricos que se utilizan en el subsector de fibra cerámica hasta los hornos regenerativos de caldeo cruzado que se utilizan en el subsector de vidrio plano, que producen hasta 700 toneladas diarias. En conjunto, la industria del vidrio también incluye muchas pequeñas instalaciones que no alcanzan el umbral de 20 toneladas diarias establecido en el anexo I de la Directiva.

Este sector produce principalmente artículos básicos, aunque se han ideado muchas maneras de añadir valor a los productos de gran volumen para evitar que pierda competitividad. Vende más del 80% de su producción a otros sectores y, en términos globales, depende en gran medida de los sectores de la construcción y de bebidas y alimentación. Sin embargo, algunos de los subsectores de menor volumen producen artículos técnicos o de consumo de gran valor.

En 1996, la producción total del sector comunitario del vidrio ascendió a 29.000.000 de toneladas (con excepción de las fibras cerámicas y las fritas). En la tabla siguiente se realiza un desglose indicativo por subsector.

Subsector	% de la producción comunitaria total (1996)
Vidrio para envases	60
Vidrio plano	22
Filamento continuo	1,8
Vidrio doméstico	3,6
Vidrios especiales	5,8
Lanas minerales	6,8

Desglose aproximado de la producción de vidrio por subsector (con excepción de la fibra cerámica y las fritas).

El capítulo 1 contiene información de cada subsector, estructurada en los siguientes epígrafes: descripción general, productos y mercados, consideraciones comerciales y financieras y principales problemas medioambientales. Dada la gran diversidad del sector, esta información varía mucho según el subsector. A modo de ejemplo, se resume a continuación la información relativa a la fabricación de vidrio para envases:

El subsector de vidrio para envases es el de mayor volumen de todo el sector comunitario del vidrio, en torno al 60% del total. Su producción consiste en envases de vidrio, es decir, botellas y tarros, aunque también pueden incluirse algunas vajillas hechas a máquina. En 1997, se fabricaron más de 17.300.000 de toneladas de productos en los 295 hornos que funcionan en la Unión Europea. En total, existen unas 70 empresas con 140 instalaciones. Todos los Estados miembros, menos Luxemburgo, producen este tipo de vidrio. El sector de bebidas representa alrededor del 75% del tonelaje total. Su principal competencia son materiales alternativos como el acero, el aluminio, el cartón y el plástico. El aumento del vidrio reciclado ha supuesto un avance importante en este subsector. En la UE, el promedio de aprovechamiento de los envases de vidrio usados se sitúa en torno al 50% del consumo total de materias primas, aunque algunas instalaciones utilizan hasta el 90%.

3) Procesos utilizados

El capítulo 2 describe los procesos y técnicas de fabricación que suelen emplearse en el sector del vidrio. La mayoría de los procesos pueden dividirse en cinco fases básicas: manipulación de los materiales, fundición, conformación, procesos finales y embalaje.

Dada su diversidad, la industria del vidrio utiliza una amplia gama de materias primas. Las técnicas de manipulación de materiales son comunes a muchas industrias y están descritas en el apartado 2.1 del documento técnico. El mayor problema es el control del polvo generado por la manipulación de materiales finos. Las principales materias primas utilizadas para la fundición son materiales para el soplado de vidrio (por ejemplo, arena de sílice o desperdicios de vidrio),

materiales intermedios o modificadores (por ejemplo, ceniza de sosa, caliza o feldespato) y agentes colorantes o decolorantes (por ejemplo, cromita férrica u óxido de hierro).

La fundición (la mezcla de materias primas a alta temperatura para obtener vidrio fundido) es la parte más importante del proceso productivo. Se trata de una compleja combinación de reacciones químicas y procesos físicos, y puede dividirse en varias fases: caldeo; fusión primaria; afino y homogenización; y acondicionamiento.

A continuación se resumen las principales técnicas de fundición. En los subsectores de lana de roca y fritas se utilizan técnicas diferentes, que están descritas con detalle en el cuerpo principal del documento. La fabricación de vidrio es una actividad que consume mucha energía y la elección de la fuente de suministro, de la técnica de caldeo y del método de recuperación de calor tiene una influencia decisiva en el diseño del horno. Estas decisiones son también las que más afectan a la eficiencia energética del proceso de fundición y a sus repercusiones para el medio ambiente. Las tres fuentes de energía más importantes en la fabricación de vidrio son el gas natural, el fuel-oil y la electricidad.

Los **hornos regenerativos** utilizan sistemas regenerativos de recuperación del calor. Los quemadores suelen colocarse en las lumbreras de gases de escape o aire de combustión o debajo de ellas. El calor de los gases de escape se utiliza para precalentar el aire antes de la combustión, haciendo pasar los gases por una cámara revestida de material refractario, que absorbe el calor. El horno sólo calienta por un lado cada vez. A los veinte minutos, se cambia de lado y se hace pasar el aire de combustión por la cámara previamente calentada con los gases de escape. La temperatura de precalentamiento puede alcanzar hasta 1.400°C, lo cual permite conseguir una eficiencia térmica muy elevada. En el horno regenerativo de caldeo cruzado, los quemadores y lumbreras de combustión se sitúan a ambos lados del horno y las cámaras de regeneración a uno u otro lado. El horno regenerativo de caldeo directo se basa en los mismos principios de funcionamiento, pero las dos cámaras de regeneración se sitúan en un extremo del horno.

En los **hornos recuperativos**, el calor se recupera a través de intercambiadores (llamados recuperadores) y el aire de combustión está sujeto a un precalentamiento permanente por medio de los gases de escape. Con los recuperadores metálicos, la temperatura de precalentamiento del aire se limita a 800°C. La capacidad de fusión específica (por unidad de superficie) de los hornos recuperativos es un 30% inferior a la de un horno regenerativo. Los quemadores están situados a ambos lados del horno, en dirección transversal al flujo de vidrio, y caldean continuamente por ambos lados. Este tipo de horno se utiliza principalmente cuando se necesita que la explotación sea muy flexible con una inversión inicial mínima, en especial si el proceso trabaja a una escala demasiado reducida para que el uso de regeneradores sea económicamente viable. Es más adecuado para las instalaciones de pequeña capacidad, aunque no es raro hallar hornos de mayor capacidad (hasta 40 toneladas diarias).

La **oxicombustión** implica la sustitución del aire de combustión por oxígeno (con una pureza superior al 90%). Al eliminar la mayor parte del nitrógeno de la atmósfera de combustión se reduce el volumen de los gases de escape en dos terceras partes. Por lo tanto, es posible ahorrar energía porque no es necesario calentar el nitrógeno atmosférico a la temperatura de la llama. También se evita en gran medida la formación de NO_x térmicos. En general, los hornos de oxicombustión tienen el mismo diseño que los hornos recuperativos, con varios quemadores laterales y una sola lumbrera de escape de gases. Sin embargo, los hornos diseñados para este tipo de combustión no utilizan sistemas de recuperación de calor para precalentar el oxígeno suministrado a los quemadores.

Los **hornos eléctricos** disponen de una cámara con revestimiento refractario sustentada por un armazón de acero, con electrodos insertados en el lateral, en la parte superior o, lo que es más habitual, en el fondo del horno. La energía de fusión se obtiene por calentamiento resistivo, con el paso de la corriente por el vidrio fundido. Esta técnica se aplica normalmente en los hornos pequeños, en particular para fabricar vidrios especiales. La viabilidad económica de estos hornos tiene un límite máximo de capacidad, que depende del coste de la electricidad en

comparación con los combustibles fósiles. Sustituyendo estos últimos, se evita la formación de productos de la combustión.

La **fusión combinada por medio de combustibles fósiles y electricidad** puede adoptar dos formas: caldeo principal con combustible fósil y sobrealimentación eléctrica; o caldeo principalmente eléctrico apoyado por combustible fósil. La sobrealimentación eléctrica es una forma de aumentar el calor en el horno haciendo pasar una corriente eléctrica por los electrodos situados en el fondo del tanque. Una técnica menos común es utilizar gas o petróleo como combustible de apoyo en un horno calentado principalmente con electricidad.

Los **hornos discontinuos** se utilizan cuando se necesita producir vidrio en menores cantidades, especialmente si se cambia la fórmula periódicamente. En estos casos, se utilizan hornos de crisoles o tanques diarios para fundir lotes concretos de materias primas. En muchos procesos de fabricación de vidrio de este tipo, la Directiva de IPPC no sería de aplicación porque es probable que su capacidad de fundición diaria no alcance las 20 toneladas. Básicamente, un horno de crisoles consta de una sección inferior para precalentar el aire de combustión y una sección superior que contiene los crisoles y actúa como cámara de fusión. Los tanques diarios son de mayor capacidad, del orden de 10 toneladas diarias. Estructuralmente, se parecen mucho al cuadrángulo de un horno convencional, pero se llenan con una sola carga diaria.

Los **hornos de diseño especial** tienen por objeto mejorar la eficiencia del proceso y atenuar sus efectos en el medio ambiente. Los más conocidos son los hornos LoNOx y el Flex Melter.

En los apartados siguientes se describen algunos aspectos del proceso principal y de las técnicas utilizadas en cada subsector de la industria.

El subsector de **vidrio para envases** es muy diverso y en él se utilizan casi todas las técnicas de fundición descritas. El proceso de conformación se realiza en dos fases: la conformación inicial de la pieza en tosco por prensado con un émbolo percutor o por soplado con aire comprimido; y el moldeo final por soplado para obtener la forma hueca terminada. En consecuencia, estos dos procesos se denominan “prensado-soplado” y “soplado-soplado”, respectivamente. Para fabricar los envases se utilizan casi exclusivamente máquinas de secciones individuales.

El **vidrio plano** se fabrica casi siempre con hornos regenerativos de caldeo cruzado. El proceso de flotación consiste básicamente en verter el vidrio fundido en un baño de estaño para formar una cinta con las superficies superior e inferior, que se mantienen paralelas debido al efecto de la gravedad y de la tensión superficial. Del baño de flotación, la cinta de vidrio pasa al túnel de recocido, donde se enfría gradualmente para reducir los esfuerzos residuales. También pueden aplicarse revestimientos en línea para mejorar las prestaciones del producto (por ejemplo, vidriados de baja emisividad).

Para fabricar **fibra de vidrio de filamento continuo**, se utilizan hornos recuperativos u hornos de oxicomustión. El vidrio circula desde el horno hasta el canal de distribución, donde pasa por unos casquillos de trefilado situados en su base para formar filamentos continuos. Estos se estiran y pasan juntos sobre un rodillo o cinta donde reciben un revestimiento acuoso individual. Con los filamentos revestidos se forman haces (torones) para su tratamiento posterior.

El subsector de **vidrio doméstico** abarca una gama muy diversa de productos y procesos, desde la fabricación manual de cristal de plomo hasta los procesos mecanizados de producción en serie que se utilizan para fabricar vajillas en grandes cantidades. En este subsector se emplean casi todas las técnicas de fundición anteriormente descritas, desde los hornos de crisoles hasta los grandes hornos regenerativos. Los procesos de conformación pueden ser manuales, automáticos o semiautomáticos y los productos obtenidos pueden someterse a operaciones de acabado en frío (por ejemplo, el cristal de plomo suele cortarse y pulimentarse).

El subsector de **vidrios especiales** también comprende una gama muy diversa de productos, que pueden ser muy diferentes según su composición, método de fabricación y aplicación. Los

procesos de fundición más comunes son los hornos recuperativos, hornos de oxigás, hornos regenerativos, hornos eléctricos y tanques diarios. Dada la diversidad de productos, se utilizan muchas técnicas de conformación. Algunas de las principales son las de prensado-soplado, laminación, prensado de cintas, extrusión de tubos, trefilado y disolución (vidrio soluble).

Los hornos de **lana de vidrio** suelen ser hornos eléctricos, hornos recuperativos a gas u hornos de oxicomustión. El vidrio fundido fluye a lo largo de un canal de distribución y pasa a través de unos casquillos de un solo orificio hasta unas hilanderas rotativas centrífugas. Las fibras se forman por centrifugado con atenuación de los gases inflamados. A continuación se pulveriza una solución acuosa de resina fenólica sobre las fibras. La fibra revestida pasa por aspiración a un transportador móvil que la lleva a un horno de secado y curado.

La **lana de roca** suele fabricarse en hornos de cubilote alimentados con coque. El material fundido se recoge en el fondo del horno y fluye a través de una artesa corta hasta la máquina hiladora. Se utiliza aire para atenuar las fibras y dirigirlas a las cintas de recepción. Por medio de una serie de toberas, se pulveriza una solución acuosa de resina fenólica sobre las fibras. El resto del proceso es básicamente igual que el de fabricación de lana de vidrio.

La **fibra cerámica** se produce exclusivamente en hornos eléctricos. Para convertir el material fundido en fibra se utilizan norias de gran velocidad o chorros de aire de alta presión y las fibras pasan después a una cinta de recepción. En esta fase, el material puede embalsarse o transformarse primero en una manta para después embalsarse como producto o afieltrarse. También puede pasar a algunos procesos finales.

En la producción de **fritas** se utilizan hornos continuos y discontinuos. Es normal fabricar una gran variedad de fórmulas en pequeños lotes. Los hornos suelen caldearse con petróleo o gas natural y muchas fábricas utilizan la oxicomustión. Los hornos continuos pueden ser de caldeo cruzado o de caldeo directo, con un solo quemador. Los hornos discontinuos son recipientes refractarios cuadrados o cilíndricos, montados con un determinado grado de rotación. El material fundido puede templarse directamente en un baño de agua o hacerse pasar entre rodillos enfriados con agua para obtener copos de producto.

4) Niveles de emisión y consumo

El capítulo 3 contiene información sobre los niveles de emisión y consumo que se registran en todos los procesos y técnicas de fabricación de vidrio descritos en el capítulo 2. Primero se repasan los flujos de insumos y producción que son comunes a todo el sector y después se realiza un análisis más específico de cada subsector. En este capítulo se describen las principales características y fuentes de las emisiones y aspectos relacionados con la energía. Lo que se pretende con esta información es que los responsables de una instalación en proceso de autorización puedan poner sus propias cifras de emisiones y consumos en contexto con otros procesos del mismo subsector o de la industria del vidrio en su conjunto.

Los insumos del proceso pueden dividirse en cuatro categorías principales: materias primas (materiales que forman parte del producto), energía (combustibles y electricidad), agua y materiales auxiliares (agentes de proceso, materiales de limpieza, productos químicos de tratamiento de aguas, etc.). Las materias primas que se utilizan en esta industria son en gran medida compuestos inorgánicos sólidos, ya sean minerales naturales o productos artificiales, y pueden ser materiales muy gruesos o polvo fino. También se utilizan muchos líquidos y gases, ya sea como materiales auxiliares o como combustibles.

En la tabla 3.1 del cuerpo principal del documento se enumeran las materias primas más utilizadas en la producción de vidrio. Las materias primas que se utilizan en la conformación del producto y otros procesos finales (por ejemplo, revestimientos y aglomerantes) son más específicas de cada subsector y se tratan en apartados posteriores. El sector del vidrio no es un gran consumidor de agua, que utiliza principalmente como medio de refrigeración, limpieza y humidificación de los lotes de producción, pero el proceso de fabricación consume mucha

energía y, por lo tanto, los combustibles pueden ser uno de sus insumos más importantes. Las principales fuentes de energía son el fuel-oil, el gas natural y la electricidad. Los aspectos relacionados con la energía y los combustibles se analizan en el apartado 3.2.3 y en los apartados subsectoriales.

La producción del proceso puede dividirse en cinco categorías principales: producto, emisiones atmosféricas, residuos líquidos, residuos sólidos y energía.

En todos los subsectores de producción de vidrio se utilizan materias primas en polvo o en gránulos. Los procesos de almacenamiento y manipulación de estos materiales son importantes fuentes potenciales de emisión de polvo.

Los principales problemas medioambientales asociados al sector del vidrio son las emisiones atmosféricas y el consumo de energía. La fabricación de vidrio es un proceso que requiere altas temperaturas y que consume mucha energía, llevando aparejadas las consiguientes emisiones de productos de la combustión y la oxidación térmica del nitrógeno atmosférico, es decir, dióxido de azufre, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Las emisiones de los hornos también contienen polvo y concentraciones menores de metales. Se calcula que en 1997 las emisiones del sector del vidrio ascendían a 9.000 toneladas de polvo, 103.500 toneladas de NOx, 91.500 toneladas de SOx y 22.000.000 de toneladas de CO₂ (incluida la generación de electricidad). Esto representa el 0,7% del total de las emisiones de estas sustancias en la Unión Europea. El consumo total de energía fue de aproximadamente 265 PJ. En la tabla siguiente se resumen las principales emisiones de los procesos de fusión que se utilizan en la industria del vidrio.

Emisión	Fuente / comentarios
Partículas.	Condensación de los componentes volátiles de la carga. Arrastre de material fino en la carga. Productos de la combustión de algunos combustibles fósiles.
Óxidos de nitrógeno.	NOx térmicos debido a las altas temperaturas del horno. Descomposición de los compuestos de nitrógeno que contienen los materiales de la carga. Oxidación del nitrógeno que contienen los combustibles.
Óxidos de azufre.	Azufre en el combustible. Descomposición de los compuestos de azufre que contienen los materiales de la carga. Oxidación del sulfuro de hidrógeno en los hornos de cubilote.
Cloruros/HCl.	Presentes como impureza en algunas materias primas, especialmente el carbonato sódico artificial. NaCl utilizado como materia prima en algunos vidrios especiales.
Fluoruros/HF.	Presentes como impureza menor en algunas materias primas. Agregados como materia prima en la producción de fritas esmaltadas para dotar al producto terminado de determinadas propiedades. Agregados como materia prima en la fibra de vidrio de filamento continuo y en algunas partidas de vidrio para mejorar la fusión o para dotar al vidrio de determinadas propiedades (por ejemplo, la opalescencia). Cuando se agregan fluoruros a la carga, como el espato flúor, las emisiones incontroladas pueden ser muy altas.
Metales pesados (p. ej. V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As y Cd).	Presentes como impurezas menores en algunas materias primas, en los desperdicios de vidrio usado y en los combustibles. Se utilizan en los fundentes y agentes colorantes que se emplean en la fabricación de fritas (principalmente plomo y cadmio). Se utilizan en las fórmulas de algunos vidrios especiales (por ejemplo, cristal de plomo y algunos cristales de colores). El selenio se utiliza como colorante (cristal al bronce) o como agente decolorante en algunos cristales transparentes.
Dióxido de carbono.	Producto de la combustión. Se emite tras la descomposición de los carbonatos que contienen los materiales de carga (por ejemplo, ceniza de sosa, caliza).
Monóxido de carbono.	Producto de la combustión incompleta, especialmente en hornos de cubilote.

Emisión	Fuente / comentarios
Sulfuro de hidrógeno.	Se forma a partir de las materias primas o del azufre que contienen los combustibles utilizados en los hornos de cubilote debido a las condiciones de reducción que se dan en algunas partes del horno.

Resumen de las emisiones atmosféricas derivadas de los procesos de fundición.

Las emisiones que generan los procesos finales pueden variar mucho de un subsector a otro y se analizan en los apartados específicos de cada uno de ellos. Aunque hay semejanzas en las técnicas de fundición que se utilizan en muchos subsectores, los procesos finales tienden a ser específicos. Las actividades que generan emisiones atmosféricas son diversas, como la aplicación o el secado de revestimientos, los tratamientos secundarios (corte, pulido, etc.), o algunas operaciones de conformación de productos (como lanas minerales o fibra cerámica).

En general, las emisiones al medio acuático son relativamente escasas y son pocos los problemas importantes que son específicos de la industria del vidrio. Sin embargo, en algunos subsectores hay actividades que requieren un estudio más pormenorizado y que se analizan en los apartados específicos de cada uno de ellos, especialmente los de vidrio doméstico, vidrios especiales y filamento continuo.

Una característica de casi todos los subsectores es que la gran mayoría de los residuos de vidrio que se generan internamente se reciclan en el mismo horno. Las principales excepciones son el filamento continuo y la fibra cerámica y algunos productos de vidrio doméstico y vidrios especiales muy sensibles a la calidad. En los subsectores de lanas minerales y fritas, las cantidades de residuos que se reciclan en el horno son muy variables y pueden ser del 0% al 100% en algunas fábricas de lana de roca.

5) Técnicas a considerar en la determinación de las MTD

Muchos de los subsectores que integran la industria del vidrio utilizan grandes hornos continuos que duran hasta doce años. Estos hornos requieren una importante inversión inicial que debe renovarse cada cierto tiempo. La forma más económica de aplicar cambios radicales en la tecnología de fusión es hacerlos coincidir con las reformas periódicas del horno y lo mismo cabe decir de las complejas técnicas secundarias de reducción de emisiones. Sin embargo, también es posible incorporar muchas mejoras, incluidas las técnicas secundarias, durante la campaña de trabajo.

En este resumen se describen brevemente las principales técnicas utilizadas para controlar cada una de las sustancias que emiten los procesos de fundición y algunos de los procesos finales. Se concentra sobre todo en las emisiones atmosféricas, ya que normalmente son las más importantes que se generan en los procesos de fabricación de vidrio. En el capítulo 4 se incluyen descripciones detalladas de cada técnica y se explican los niveles de emisión que llevan aparejados, su aplicabilidad, cuestiones financieras y otras consideraciones.

Partículas

Las técnicas utilizadas para controlar las emisiones de partículas pueden ser medidas primarias o medidas secundarias (generalmente precipitadores electrostáticos y filtros de mangas).

El precipitador electrostático consta de una serie de electrodos de descarga de alta tensión y sus correspondientes electrodos colectores. Las partículas se cargan y posteriormente se separan del flujo de gases por efecto del campo eléctrico. Estos precipitadores son muy eficaces para recoger polvo de 0,1 a 10 μm , y su eficiencia total puede ser del 95% al 99%. El rendimiento real varía en función de las características de los gases de escape y del diseño del propio precipitador. En principio, este sistema puede aplicarse en todas las instalaciones nuevas y antiguas de todos los subsectores (excepto los cubilotes de lana de roca, debido al riesgo de explosión). Es probable que los costes sean más elevados en las plantas antiguas, en especial si hay limitaciones de espacio.

En la mayoría de aplicaciones, cabe esperar que un precipitador electrostático de dos o tres fases y de diseño moderno alcance del orden de 20 mg/m^3 . Si se utilizan diseños de alta eficiencia o las condiciones son favorables, suele ser posible alcanzar niveles menores. Los costes son muy variables, dependiendo en gran medida del rendimiento deseado y del volumen de los gases de escape. La inversión inicial (incluido el sistema depurador de gases ácidos) puede ser de 500.000 a 2.750.000 euros, con unos costes anuales de explotación de 20.000 a 30.000 euros.

Los filtros de mangas están formados por una membrana textil permeable a los gases, pero que retiene el polvo. Este se deposita en la superficie y en el interior del tejido, y a medida que se forma la capa superficial se convierte en el medio filtrante dominante. La dirección del flujo de gas puede ser de dentro afuera de la manga o de fuera adentro. La eficiencia de los filtros textiles puede ser del 95% al 99%. Las emisiones de partículas pueden alcanzar niveles de entre $0,1$ y 5 mg/m^3 , e inferiores a 10 mg/m^3 en la mayoría de los casos. La posibilidad de alcanzar niveles tan bajos puede ser importante si el polvo contiene concentraciones de metales significativas, ya que las emisiones de metales deben ser bajas.

En principio, los filtros de mangas pueden utilizarse en todas las instalaciones nuevas y antiguas de todos los subsectores. Sin embargo, debido a que pueden cegarse en ciertas circunstancias, no son la opción ideal para todas las aplicaciones. En la mayoría de los casos existen soluciones técnicas para estos problemas, pero pueden no estar exentas de costes. En términos generales, sus costes de inversión y explotación son comparables a los que requieren los precipitadores electrostáticos.

Las técnicas primarias de control se basan principalmente en el cambio de las materias primas y en la modificación de los hornos o sistemas de caldeo. Los resultados de las técnicas primarias casi nunca son comparables a los filtros de mangas y los precipitadores electrostáticos.

Óxidos de nitrógeno (NOx)

Las técnicas más apropiadas para controlar las emisiones de NOx suelen ser las medidas primarias, la fundición con oxicomustión, la reducción química por combustible, la reducción catalítica selectiva y la reducción selectiva no catalítica.

Las medidas primarias pueden dividirse en dos tipos principales: modificaciones de la combustión “convencional” y diseños de hornos especiales o paquetes de diseño que optimizan la combustión. La oxicomustión también es una técnica primaria pero se trata por separado debido a su especificidad. Las modificaciones de la combustión convencional suelen ser la reducción de la relación aire/combustible, la reducción de la temperatura de precalentamiento, la combustión escalonada y los quemadores bajos en NOx, o una combinación de estas técnicas. La inversión inicial es, en general, bastante pequeña y los costes de explotación suelen ser reducidos debido a que se consume menos combustible y a que la combustión es mejor. En este aspecto se ha avanzado mucho, pero el grado de reducción que puede alcanzarse depende claramente del punto de partida. No es raro conseguir reducciones del 40% al 60% y en algunos casos se han conseguido niveles inferiores a $650\text{-}1.100 \text{ mg/Nm}^3$.

Se han desarrollado diseños especiales de hornos que reducen las emisiones de NOx, como por ejemplo el horno LoNOx. Estos diseños han sido un éxito, pero el proceso tiene ciertas restricciones que limitan su aplicabilidad. El proceso FENIX es un paquete de optimización de la combustión que se basa en medidas primarias y que está adaptado a un horno concreto. Se han registrado niveles de 510 mg/Nm^3 y de $1,1 \text{ kg}$ por tonelada de material fundido, pero en el momento de redactarse estas líneas los ejemplos conocidos eran limitados.

La oxicomustión implica la sustitución del aire de combustión por oxígeno. Al eliminar la mayor parte del nitrógeno de la atmósfera de combustión se reduce el volumen de los gases de escape en dos terceras partes. Por lo tanto, es posible ahorrar energía porque no es necesario calentar el nitrógeno atmosférico a la temperatura de la llama. También se evita en gran medida

la formación de NO_x térmicos, porque el único nitrógeno presente en la atmósfera de combustión es el nitrógeno residual que queda en el oxígeno o en el combustible, el nitrógeno derivado de la disgregación de los nitratos y el que contenga el aire parásito que pueda haber.

El principio de la oxicomustión está perfectamente demostrado y puede considerarse aplicable a todo el sector en su conjunto. Sin embargo, en algunos subsectores (especialmente los de vidrio plano y vidrio doméstico) todavía se considera una tecnología en desarrollo que puede implicar un alto riesgo económico. Se está realizando un esfuerzo de investigación considerable y la técnica encuentra cada vez mayor aceptación a medida que aumenta el número de plantas. Los problemas que rodean a estos sistemas son muy complejos y se analizan con detalle en el capítulo 4. Su competitividad económica depende en gran medida del ahorro de energía que pueda conseguir (y de los costes relativos de las técnicas alternativas de reducción de emisiones) en comparación con el coste del oxígeno. La viabilidad técnica y económica de estos sistemas está supeditada a los problemas específicos de cada planta.

La reducción química por medio de combustible engloba a todas las técnicas que consisten en añadir combustible a los gases de escape para reducir químicamente los NO_x a N₂ por medio de una serie de reacciones. El combustible no se quema, sino que se piroliza para formar radicales que reaccionan con los componentes de los gases de escape. Las dos técnicas principales que se han desarrollado para la industria del vidrio son el proceso 3R y el proceso Reburning. Ambas se limitan actualmente a los hornos regenerativos. El proceso 3R está ya totalmente listo para aplicarse en el sector y el proceso Reburning se ha probado en plantas reales con resultados prometedores. El proceso 3R puede alcanzar niveles de emisión inferiores a 500 mg/Nm³, lo que se corresponde con un aumento del 6% al 10% en el consumo de combustible. Del proceso Reburning se espera que permita conseguir niveles comparables una vez desarrollado por completo. El aumento del consumo de energía que conllevan ambas técnicas puede reducirse en gran medida con sistemas de recuperación y medidas primarias.

La reducción catalítica selectiva (SCR) consiste en hacer reaccionar los NO_x con amoníaco sobre una capa catalizadora, generalmente a 400°C. Casi todos los procesos de fabricación de vidrio requieren un sistema de tres fases con eliminación de polvo y depuración de gases ácidos. Normalmente, los sistemas están diseñados para lograr reducciones del 75% al 95% y suele ser posible alcanzar niveles de emisión inferiores a 500 mg/Nm³. El coste de esta técnica depende principalmente del volumen de los gases de escape y de la reducción de NO_x deseada. En general, se requiere una inversión inicial (incluido el precipitador electrostático y el depurador) de 1.000.000 a 4.500.000 euros y los costes de explotación oscilan entre 50.000 y 75.000 euros anuales. En principio, la reducción catalítica selectiva puede aplicarse en casi todas las fábricas de vidrio, sean nuevas o antiguas. Sin embargo, hay varios problemas que pueden limitar la aplicabilidad de esta técnica en determinados casos. Por ejemplo, no se ha probado en hornos alimentados con fuel-oil pesado ni en la producción de lana de vidrio o filamento continuo.

La reducción selectiva no catalítica (SNCR) se basa en el mismo principio que la catalítica, pero las reacciones se producen a mayor temperatura (800-1.100°C) sin necesidad de un catalizador. Este sistema no necesita eliminación de polvo ni depuración de los gases ácidos. Generalmente pueden conseguirse eficiencias de reducción del 30% al 70%, siendo el factor crítico la disponibilidad de amoníaco suficiente a la temperatura correcta. La inversión inicial oscila entre 200.000 y 1.350.000 euros y los costes de explotación entre 23.000 y 225.000 euros anuales, según el tamaño del horno. En principio, esta técnica puede aplicarse a todos los procesos de fabricación de vidrio, sea en fábricas nuevas o antiguas, pero con una limitación importante: ha de ser posible introducir el reactivo en un punto del sistema de gases de escape en el que pueda mantenerse la temperatura correcta durante el tiempo de reacción adecuado. Esta limitación debe tenerse especialmente en cuenta en las plantas antiguas y en los hornos regenerativos.

Óxidos de azufre (SO_x)

Las principales técnicas utilizadas para controlar las emisiones de SO_x son la elección del combustible, la formulación de la carga y la depuración de los gases ácidos.

En los procesos alimentados con petróleo, la principal fuente de SO_x es la oxidación del azufre que contiene el combustible. La cantidad de SO_x que generan los materiales de la carga varía según el tipo de vidrio, pero en general, siempre que se quema petróleo, las emisiones de SO_x superan a las de los materiales de carga. La forma más obvia de reducir estas emisiones es reducir el contenido de azufre del combustible. El fuel-oil puede tener varias proporciones de azufre (<1 %, <2 %, <3 % y >3 %), mientras que el gas natural está esencialmente exento de él. Cambiar a un combustible con menor contenido de azufre no suele conllevar un aumento de los costes, salvo que el precio del combustible es mayor. Para cambiar a un sistema de caldeo a gas es necesario instalar quemadores diferentes y realizar otras modificaciones diversas. Los precios de los distintos combustibles varían notablemente con el tiempo y según los Estados miembros, pero en general los combustibles bajos en azufre son más caros. Tal como se explica en el capítulo 5, los problemas políticos y económicos relacionados con el precio y la disponibilidad de los combustibles son de tal índole que se considera que la elección del más adecuado no forma parte del ámbito de aplicación del presente documento. Sin embargo, cabe señalar que las emisiones de SO_x suelen ser menores cuando se quema gas natural. Si se quema petróleo, se considera que la MTD es que contenga un 1% de azufre. Los combustibles con mayor contenido de azufre también pueden ser MTD si se aplican técnicas de reducción de emisiones que permitan conseguir niveles equivalentes.

En la fabricación de vidrio convencional, los sulfatos son la principal fuente de emisiones de SO_x entre los materiales de carga. Los sulfatos son los agentes de afino más utilizados y son además importantes agentes oxidantes. En casi todos los hornos modernos de fabricación de vidrio, se ha reducido la presencia de sulfatos en la carga a los niveles mínimos practicables, que varían según el tipo de vidrio. En el apartado 4.4.1.1 se tratan los problemas relativos a la reducción de los sulfatos y en el 4.4.3.3 los que afectan al reciclado del polvo eliminado por los filtros o por los precipitadores electrostáticos.

En la producción de lana de roca, las fuentes de SO₂ más importantes son (además del coque) la escoria de alto horno y las briquetas cementadas que forman parte de la carga. La disponibilidad de coque y escoria bajos en azufre está condicionada por la escasez de suministros a distancias económicas para el transporte. Por lo general, en la mayoría de lotes puede eliminarse la escoria, salvo en la producción de algunas cantidades de fibra blanca para usos específicos. El empleo de briquetas de residuos aglomerados por cemento implica un equilibrio entre la reducción de los residuos y la reducción de las emisiones de SO_x, que a menudo depende de prioridades concretas y debe considerarse asociado a un sistema depurador de gases ácidos. Esta cuestión se analiza en profundidad en los capítulos 4 y 5 del cuerpo principal del documento.

Los sistemas de depuración por vía seca y semiseca se basan en los mismos principios de funcionamiento. El material reactivo (el absorbente) se introduce y se dispersa en el flujo de gases de escape. Este material reacciona con las especies de SO_x para formar un sólido, que debe eliminarse del flujo de gases de escape por medio de un precipitador electrostático o filtros de mangas. Los absorbentes que sirven para eliminar SO_x también son eficaces con otros gases ácidos. En el proceso seco, el absorbente es un polvo desprovisto de humedad (habitualmente Ca(OH)₂, NaHCO₃, o Na₂(CO)₃). En el proceso semiseco, el absorbente (habitualmente Na₂CO₃, CaO o Ca(OH)₂) es una suspensión o solución y el flujo de gases se enfría por evaporación del agua. Las reducciones que se logran con estas técnicas dependen de varios factores, como la temperatura de los gases de escape, el tipo y cantidad de absorbente que se añade (o más concretamente, la relación molar entre el reactivo y los contaminantes) y su dispersión. En el apartado 4.4.3.3 se indican las eficiencias que se obtienen con diversos absorbentes y procesos.

El reciclado total del polvo filtrado –incluidos los residuos sulfatados– suele considerarse una opción razonable tanto desde el punto de vista económico como medioambiental, siempre que resulte técnicamente posible. Las emisiones de SO_x sólo pueden eliminarse por completo en origen (por razones de balance de masas), sustituyendo los sulfatos que contienen las materias primas por polvo filtrado. (Evidentemente, se trata de una práctica adicional a otras medidas

primarias adecuadas para reducir el insumo total de azufre.) Por lo tanto, para reducir las emisiones de gases ácidos puede ser necesario buscar una vía de eliminación externa para una parte del material recogido. Para determinar cuál es la mejor forma de proteger el medio ambiente de forma global, hay que tener en cuenta las condiciones específicas de cada establecimiento y poner en una balanza las prioridades de reducción de los residuos y de las emisiones de SO_x, que a veces pueden entrar en conflicto. En tal caso, es esencial conocer el balance de azufre del proceso para establecer niveles de emisión proporcionados a las MTD.

Si se recicla el polvo filtrado en un circuito cerrado, los niveles actuales de emisión de SO_x suelen ser del orden de 200 a 800 mg/Nm³ en el caso del gas natural y de 800 a 1.600 mg/Nm³ con fuel-oil al 1% de azufre. La mayoría de los sistemas instalados para la depuración de SO_x trabajan con cal seca a unos 400°C, que es la temperatura de los gases de escape que produce un horno regenerativo eficiente. A estas temperaturas, es posible lograr una reducción del 50%. Este porcentaje puede mejorarse a temperaturas de 200°C y en una atmósfera húmeda, pero hay que tener en cuenta otras consideraciones.

La eliminación de SO_x es una cuestión sumamente compleja que ha sido objeto de intenso debate en el seno del grupo de trabajo técnico. Por lo tanto, es esencial estudiar en profundidad la información presentada en los capítulos 4 y 5.

Fluoruros (HF) y cloruros (HCl)

Las emisiones de HF y HCl suelen deberse a la volatilización de los fluoruros y cloruros que contienen los materiales de carga, ya sean impurezas o agentes añadidos deliberadamente para dotar al vidrio fabricado de determinadas características. Las principales técnicas de reducción son la modificación de la carga o la depuración. Si se trata de impurezas, estas emisiones pueden controlarse seleccionando las materias primas, aunque a menudo se utiliza un sistema de depuración si tal práctica se considera insuficiente o si se desea controlar otras sustancias. Si se trata de agentes utilizados para obtener características específicas, se puede conseguir el mismo resultado por otros medios, como la depuración o la reformulación de la carga. Esta última técnica ha sido especialmente eficaz en la fabricación de filamento continuo.

Emisiones de procesos distintos de la fusión

Las emisiones que se generan en los procesos finales son específicas de cada subsector y se describen con cierto detalle en el apartado 4.5 del cuerpo principal del documento. Con la excepción del subsector de lanas minerales, las emisiones son en general mucho menores que las del proceso de fusión. Las técnicas de eliminación suelen ser técnicas convencionales de recogida de polvo y depuración por vía húmeda con algún grado de oxidación térmica.

En los procesos de fabricación de lanas minerales, se utilizan aglomerantes a base de resinas orgánicas cuya aplicación y curado pueden generar emisiones importantes. Las técnicas de control de estas emisiones se analizan en profundidad en el apartado 4.5.6 del cuerpo principal del documento.

Emisiones a las aguas

En general, las emisiones al medio acuático son relativamente escasas y son pocos los problemas importantes que son específicos de la industria del vidrio. El agua se utiliza principalmente para limpiar y refrigerar y puede reciclarse o tratarse fácilmente por medio de técnicas estándar. Los procesos de fabricación de lanas minerales y filamento continuo pueden comportar problemas específicos de contaminación orgánica, mientras que los procesos de fabricación de vidrios especiales, fritas y vidrio doméstico pueden generar emisiones de metales pesados (en particular, de plomo). En la tabla siguiente se señalan las principales técnicas que pueden utilizarse para controlar las emisiones a las aguas.

Tratamiento físico/químico

- Tamizado
- Despumación
- Sedimentación
- Centrifugación
- Filtración
- Neutralización
- Aireación
- Precipitación
- Coagulación y floculación

Tratamiento biológico

- Lodos activados
- Biofiltración

Lista de posibles técnicas de tratamiento de las aguas residuales en la industria del vidrio**Residuos sólidos**

Una característica de la industria del vidrio es que la producción de residuos sólidos es relativamente escasa en la mayoría de sus procesos. Casi ninguno tiene flujos significativos de subproductos intrínsecos. Los principales residuos del proceso son materias primas sin usar, restos de vidrio que no se han transformado en producto y productos desechados. Otros residuos sólidos son los materiales refractarios gastados y el polvo acumulado en los equipos instalados para eliminarlo o en los conductos de humos. Los residuos no fibrosos suelen reciclarse fácilmente en el proceso y se trabaja en el desarrollo de otras técnicas para reciclar otros tipos de residuos. El reciclado de residuos tiende al alza por motivos económicos, especialmente el incremento de los costes de vertido. En el apartado 4.7 del cuerpo principal del documento se describen los residuos que generan los procesos de fabricación de vidrio y las técnicas que se utilizan para controlarlos.

Energía

La fabricación de vidrio es una actividad que consume mucha energía y la elección de la fuente de energía, de la técnica de caldeo y del método de recuperación de calor tiene una influencia decisiva en el diseño del horno y en el rendimiento económico del proceso. Estas decisiones son también algunas de las que más afectan a la eficiencia energética de la fundición. En general, la energía necesaria para fundir el vidrio representa más del 75% del consumo total del proceso de fabricación. El coste de la energía de fundición está entre los de mayor cuantía en la explotación de las fábricas de vidrio y es por ello que se incentiva a los operarios para que reduzcan el consumo de energía.

A continuación se enumeran las principales técnicas aplicables para reducir el consumo de energía, que se estudian con detalle en el cuerpo principal del documento.

- Técnica de fundición y diseño del horno (por ejemplo, regeneradores, recuperadores, fundición eléctrica, oxicombustión y sobrealimentación eléctrica).
- Control de la combustión y elección del combustible (por ejemplo, quemadores bajos en emisiones de NOx, combustión estequiométrica, caldeo con petróleo o gas).
- Uso de desperdicios de vidrio.
- Calderas de recuperación.
- Precalentamiento de los desperdicios de vidrio o de la carga.

6) Resumen de las conclusiones relativas a las MTD

El capítulo 5 presenta las conclusiones relativas a las mejores técnicas disponibles para aplicar la prevención y el control integrados de la contaminación en la industria del vidrio. El capítulo comienza por una introducción, continúa con un apartado de generalidades y termina con las conclusiones específicas del subsector correspondiente. El objetivo es que las “MTD generales” descritas en este capítulo puedan utilizarse para juzgar el comportamiento medioambiental de una instalación ya existente o evaluar un proyecto de nueva instalación y contribuir así a la

determinación de las MTD para dicha instalación en particular. Las cifras presentadas **no** son valores límite de emisión y no deben entenderse como tales. Para determinar los valores límite apropiados a un caso concreto deberán tenerse en cuenta los objetivos de la Directiva de IPPC y los aspectos propios de la instalación.

La redacción final del capítulo 5 es el resultado de un intenso debate y de continuas reformas del texto por parte del grupo de trabajo técnico. El contexto y los detalles de las conclusiones son muy importantes y resulta difícil resumir el capítulo sin comprometer estos aspectos y el esfuerzo que ha sido necesario realizar para llegar a la posición actual. Por lo tanto, para tener un conocimiento exacto de la situación, es imprescindible consultar el documento en su totalidad y, en particular, el texto completo del capítulo 5.

En este resumen se explican algunos de los problemas que afectan al conjunto del sector y se sintetizan las principales conclusiones generales aplicando un criterio basado sobre todo en la sustancia contaminante. Una conclusión importante de este trabajo es que la industria del vidrio es tan diversa que a menudo es inadecuado especificar técnicas concretas. El criterio general que se ha seguido en el capítulo 5 es identificar niveles de comportamiento medioambiental que sean indicativos de las mejores técnicas disponibles, pero reconociendo que cada proceso puede tener su forma ideal de cumplir dichos niveles.

Generalidades

Una característica importante que presentan muchas instalaciones de la industria del vidrio es que los hornos requieren una reforma periódica, aunque de alcance variable. Coordinar la aplicación de determinadas técnicas hasta el momento de realizar una reforma puede conllevar ventajas técnicas y económicas, pero no siempre es así. El ciclo de reforma también implica que es importante tener en cuenta la antigüedad del horno para determinar la forma más adecuada de actuar en términos de las MTD con carácter general.

Las condiciones de referencia establecidas en el capítulo 5 son las siguientes:

- Gases de combustión: sin humedad, temperatura de 0°C (273°K), presión de 101,3 kPa, 8% o 13% de oxígeno por volumen según se trate de hornos continuos o discontinuos. En los sistemas de oxicomustión, la expresión de las emisiones corregidas al 8% de oxígeno es de escaso valor, por lo que estas emisiones deberán tratarse en términos de masa.
- Otros gases (incluidas las emisiones procedentes de los hornos de curado y secado sin incineración de los gases de cola): temperatura de 0°C (273°K), presión de 101,3 kPa, sin corrección por la concentración de oxígeno o del vapor de agua.

En el principal documento, los niveles de emisión asociados a las MTD se presentan en gamas de concentración (mg/m^3) y masa (kg por T_m de vidrio fundido), con el fin de poder comparar los hornos y dar una indicación de su impacto ambiental relativo. En los hornos alimentados con combustibles fósiles, la relación entre masa y concentración depende básicamente del consumo específico de energía para la fusión, aunque éste varía considerablemente en función de muy diversos factores, como la técnica de fundición, la capacidad del horno y el tipo de vidrio. En una industria tan diversa, es muy difícil establecer una relación directa entre las cifras de emisión en términos de masa y concentración sin presentar gamas tan amplias que disminuyan el valor de las conclusiones numéricas. Por lo tanto, se ha seguido el criterio de tomar las cifras de concentraciones como base para determinar las MTD y utilizar factores de conversión indicativos –establecidos en función de hornos modernos y energéticamente eficientes– para obtener cifras de masa “generalmente equivalentes” a dichos niveles de concentración.

A los efectos del presente resumen general, los niveles de emisión asociados a las MTD se expresan exclusivamente en concentraciones. La excepción a esta regla es cuando se tratan técnicas como la oxicomustión y cuando se considera que la masa es la forma más significativa de describir el comportamiento medioambiental. En cuanto a la masa por tonelada de vidrio

fundido, hay que hacer referencia al apartado 5.2, en el que se explican los factores de conversión, y a los apartados subsectoriales del capítulo 5.

Partículas / polvo

La conclusión relativa a las emisiones de polvo es semejante en todos los subsectores y se resume a continuación. Hay dos pequeñas excepciones a esta conclusión. En el caso de la fibra cerámica, se considera que el nivel de emisiones asociado a las MTD es inferior a 10 mg/Nm^3 , debido a la naturaleza de las partículas. En el caso de las fritas, la conclusión general es la que se describe a continuación, pero con el reconocimiento de que algunas instalaciones necesitarían cierto grado de desarrollo para cumplir estos niveles.

Con carácter general, se considera que la MTD para controlar las emisiones de polvo que producen los hornos utilizados en la industria del vidrio es la instalación de un precipitador electrostático o de un sistema de filtros de mangas, conjuntamente –si se considera necesario– con un sistema de depuración de gases ácidos por vía seca o semiseca. El nivel de emisiones asociado a estas técnicas es de 5 a 30 mg/Nm^3 , que en términos generales equivale a menos de $0,1 \text{ kg/Tm}$ de vidrio fundido. Los niveles inferiores de la gama señalada corresponden normalmente a los filtros de mangas. Estas cifras se basan en un período de promediado no inferior a treinta minutos y no superior a 24 horas. En algunos casos, pueden reducirse las emisiones de polvo a niveles inferiores aplicando las MTD para las emisiones de metales.

Algunos expertos del grupo de trabajo técnico dudaban que los beneficios medioambientales de las técnicas secundarias de eliminación de polvo justificasen el aumento de los costes que se produce en todos los casos. Sin embargo, la conclusión general es que estas técnicas son las MTD para la mayoría de hornos de fabricación de vidrio, salvo que puedan lograrse emisiones equivalentes con medidas primarias. En el apartado 4.4.1.7 y 5.2.2, se explican con detalle los pros y los contras de las técnicas primarias y secundarias.

Óxidos de nitrógeno

Esta sustancia resultó ser una de las más difíciles a la hora de extraer conclusiones sólidas con respecto a las MTD. En particular, es complicado establecer niveles de emisión generales que puedan aplicarse a más de un subsector. Por lo tanto, es esencial que las cifras que se dan en este apartado se consideren tan sólo un resumen indicativo de las conclusiones presentadas en el capítulo 5. Si se intenta basar las condiciones de concesión de un permiso en esta información resumida, sin consultar el cuerpo principal del documento, las cifras pueden quedar totalmente fuera de contexto y dar lugar a que se realicen comparaciones con niveles de referencia innecesariamente conservadores o permisivos.

En el caso de los óxidos de nitrógeno, la selección de las MTD depende mucho de los aspectos específicos de cada establecimiento, en especial de la técnica de fundición utilizada y de la antigüedad del horno. Con algunas técnicas pueden obtenerse resultados distintos en distintas aplicaciones y ocasionarse distintos costes según las condiciones específicas de la fábrica.

En los procesos de fabricación de vidrio para envases, vidrio plano, vidrios especiales (incluido el vidrio soluble), lanas minerales y fritas, se considera que el nivel de emisión de óxidos de nitrógeno (expresados en NO_2) que va asociado a la aplicación de las técnicas que se consideran MTD con carácter general es de 500 a 700 mg/Nm^3 . Aunque estos niveles son básicamente los mismos en todos los subsectores, las técnicas que pueden utilizarse para alcanzarlos, sus costes y la dificultad relativa de su aplicación pueden variar de uno a otro.

Hay varias situaciones que requieren tener en cuenta otros aspectos y en las cuales podría ser inadecuado basarse en los niveles de emisión indicados; por ejemplo, cuando se necesitan nitratos, cuando se utilizan ciertos materiales reciclados o cuando un horno se aproxima al final de su campaña de trabajo. Estas consideraciones son muy importantes y se tratan en los apartados subsectoriales del capítulo 5.

En el momento de redactarse el presente documento, el subsector de filamento continuo pasa por un período de transición en lo que respecta al control de los NOx, lo cual hace difícil llegar a conclusiones sólidas en relación con las MTD. La técnica más prometedora parece ser la fundición por oxidación, aunque se han conseguido algunos buenos resultados con la adopción de medidas primarias y no existen obstáculos técnicos que impidan el uso del sistema de reducción selectiva no catalítica. Con carácter general, se considera que la MTD para controlar los óxidos de nitrógeno (expresados en NO₂) puede ser la fusión por oxidación, y que el nivel de emisión asociado a la misma oscila entre 0,5 y 1,5 kg/Tm de vidrio fundido. Esta declaración no es una conclusión firme, sino más bien una opinión ponderada basada en la información disponible en el momento actual. Se reconoce que esta técnica sigue conllevando un elemento de riesgo económico, pero es previsible que alcance un grado de aceptación cada vez mayor a medio plazo. En el caso de que puedan aplicarse otras técnicas, se considera que un nivel de emisión comparable para los hornos alimentados por combustible y aire oscilaría entre 500 y 700 mg/Nm³.

De forma similar, es difícil extraer conclusiones sólidas con respecto a los niveles de NOx en la producción de vidrio doméstico. Hay ciertos aspectos específicos de este subsector que afectan a las opciones disponibles para el control de estas sustancias. Algunos de ellos pueden ilustrarse por medio de una comparación con la producción de vidrio para envases, como por ejemplo: la limitación de calidad es posiblemente mayor, el volumen de producción es menor, la capacidad media del horno es menor, hay restricciones al uso de restos de vidrio, la temperatura es mayor y el tiempo de residencia es más largo. Todos estos factores contribuyen a aumentar el consumo específico de energía y el potencial de formación de NOx. En general, la técnica se considera MTD si la fundición eléctrica (ya sea total o predominantemente eléctrica) es económicamente viable y, en particular, si se utiliza para fabricar cristal de plomo, cristal o vidrio opalino. En este caso, el nivel de emisión asociado a la MTD sería de 0,2 a 1 kg por tonelada de vidrio fundido.

Si la fundición eléctrica no es económicamente viable, pueden aplicarse otras técnicas. En el subsector de producción de vidrio doméstico se utilizan muy diversos tipos de hornos y, en general, la técnica más adecuada será específica de cada instalación. Se calcula que, dado el tiempo necesario para el desarrollo y aplicación de las técnicas, el nivel de emisión de óxidos de nitrógeno (expresado en NO₂) asociado a la MTD será del orden de 500 a 700 mg/Nm³ (o en el caso de la fusión por oxidación, de 0,5 a 1,5 kg por tonelada de vidrio fundido). Esta cifra se basa en la aplicación de medidas primarias (modificaciones de la combustión), de la oxidación, de la reducción selectiva catalítica o no catalítica o de los procesos 3R o Reburning (solamente hornos regenerativos).

Los hornos de cubilote para la fabricación de lanas de roca no suelen producir emisiones importantes de NOx, que pueden ser inferiores a 0,5 kg por tonelada de vidrio fundido sin aplicar controles específicos. Si se utilizan tanques (hornos sin crisoles), se considera que el nivel de emisión asociado a la MTD es equivalente al de la producción de lana de vidrio. La fibra cerámica se fabrica exclusivamente con hornos eléctricos y las emisiones de NOx son normalmente muy inferiores al nivel de 0,5 kg por tonelada de vidrio fundido.

Óxidos de azufre

La determinación de los niveles de emisión asociados a las MTD en cada uno de los subsectores es una cuestión compleja, con muchos aspectos interrelacionados y, en algunos casos, contradictorios. Estos aspectos se explican con detalle en los capítulos 4 y 5. La información aquí presentada es tan sólo un resumen indicativo.

Un factor importante es la elección del combustible y su contenido de azufre. Por lo tanto, los aspectos relacionados con el caldeo con petróleo o gas se analizan por separado. Además, ciertas formulaciones (especialmente los vidrios a base de cal soda) requieren añadir sulfatos a la carga y, evidentemente, las emisiones de SO₂ son superiores.

Es previsible que, en la mayoría de los casos, la aplicación de las MTD para las emisiones de polvo requiera la instalación de un sistema de eliminación específico, que a menudo es un depurador de gases ácidos. Los niveles de emisión que se indican en el capítulo 5 tienen en cuenta este hecho. Normalmente, los residuos sulfatados pueden reciclarse con las materias primas del horno para evitar que se genere un flujo de residuos sólidos. Sin embargo, la capacidad del vidrio para actuar como sumidero del azufre tiene un límite y el sistema puede alcanzar rápidamente un equilibrio y volver a emitir una cantidad importante del azufre reciclado. Por lo tanto, si el reciclado de polvo es total, el efecto de desulfuración del depurador puede quedar limitado por la capacidad del vidrio para absorber el azufre.

A fin de reducir aún más las emisiones de SO₂, puede ser necesario buscar una vía externa de eliminación o, si es posible, reducir el contenido de azufre en el combustible. Las opciones económicamente viables para reciclar el material fuera de fábrica son muy limitadas y la vía de eliminación más probable es el vertedero, con lo que se produce un flujo de residuos sólidos. Si se aplica un criterio medioambiental integrado, es necesario establecer si la prioridad es reducir las emisiones de SO₂ o evitar la producción de residuos sólidos. El enfoque más adecuado puede ser distinto según el proceso y, por este motivo, los niveles que se indican están en función de dicha prioridad. En la práctica, hay muchos casos en los que puede alcanzarse el nivel inferior con un reciclado total del polvo.

En la tabla siguiente se resumen los niveles de emisión asociados a las MTD en cada subsector y en varias situaciones. De nuevo hay que señalar que se trata de un resumen meramente indicativo y que es preciso consultar el capítulo 5 para tener en cuenta todos los aspectos.

Subsector	Niveles de emisión asociados a la MTD (mgSO ₂ /Nm ³)		Comentarios
	combustión de gas	combustión de petróleo	
Vidrio para envases con la prioridad de reducir el SO ₂ .	200 - 500	500 - 1.200	
Vidrio para envases con la prioridad de reducir los residuos.	< 800	< 1.500	Si el balance de masas no permite alcanzar las cifras anteriores.
Vidrio plano con la prioridad de reducir el SO ₂ .	200 - 500	500 - 1.200	
Vidrio plano con la prioridad de reducir los residuos.	< 800	< 1.500	Si el balance de masas no permite alcanzar las cifras anteriores.
Fibra de vidrio de filamento continuo.	< 200	500 - 1.000	Si hay sulfatos en la carga, la cifra podría aumentar hasta 800 en la combustión de gas. En la combustión de petróleo, el nivel superior de la gama corresponde al reciclado de polvo.
Vidrio doméstico.	200 - 500	500 - 1.300	Si el nivel de sulfatos en la carga es bajo, entonces la cifra es < 200 en la combustión de gas. El nivel superior de la gama corresponde al reciclado de polvo
Vidrios especiales, incluido el vidrio soluble.	200 - 500	500 - 1.200	El nivel superior de la gama corresponde al reciclado de polvo.
Lana de vidrio.	en general <50	300 - 1.000	En general, vidrio bajo en sulfatos.
Lana de roca (combustión de coque) con la prioridad de reducir y reciclar los residuos.	(a) < 600 (b) < 1.100 (c) < 1.400		(a) Carga de mineral. (b) 45% de briquetas cementadas. (c) Briquetas cementadas, incluido el polvo filtrado.
Lana de roca (combustión de coque) con la prioridad de reducir el SO ₂ .	(a) < 200 (b) < 350 (c) < 420		(a) Carga de mineral. (b) 45% de briquetas cementadas. (c) Briquetas cementadas, incluido el polvo filtrado.

Fibra cerámica (fusión eléctrica).	< 0,5 kg/Tm de vidrio fundido		Exclusivamente hornos eléctricos, la concentración será específica de cada caso.
Fritas.	< 200	500 - 1.000	Es raro que se utilice petróleo.

Resumen indicativo de los niveles de emisión de óxidos de azufre asociados a las MTD (expresados en SO₂).

Otras emisiones de la fundición

Cada uno de los apartados subsectoriales del capítulo 5 contiene un subapartado que trata de las emisiones generadas por el proceso de fundición aparte del polvo, los NO_x y los SO_x. De estas “otras emisiones”, las más importantes suelen ser los cloruros (expresados en HCl), los fluoruros (expresados en HF) y los metales y sus compuestos. Con algunos metales se han formado dos grupos a los que se han asignado los números 1 y 2. Los metales que han quedado fuera de estos grupos se han especificado de forma individual, debido a su mayor toxicidad, o se han contemplado exclusivamente en la categoría de polvo, porque su baja toxicidad no justifica un análisis específico. Estos dos grupos quedan establecidos en la tabla siguiente.

Grupo 1: metales y sus compuestos	Grupo 2: metales y sus compuestos
Arsénico	Antimonio
Cobalto	Plomo
Níquel	Cromo III
Selenio	Cobre
Cromo VI	Manganeso
	Vanadio
	Estaño

Clasificaciones de los metales y sus compuestos

Las conclusiones sobre MTD que se han alcanzado en relación con estas sustancias son generalmente equivalentes en casi todos los subsectores. Se considera que la MTD para controlar estas emisiones es la selección de materias primas que las eviten al máximo, junto con un sistema de depuración de gases ácidos si se considera conveniente. La depuración puede no ser siempre necesaria para proteger los equipos de reducción de emisiones o para alcanzar las cifras indicadas para los SO_x. En tal caso, la depuración se considera MTD si no es posible alcanzar los niveles señalados a continuación mediante la adopción de medidas primarias. Se considera que los niveles de emisión asociados a la aplicación de las MTD para reducir los contaminantes especificados a continuación son:

- Cloruros (expresados en HCl) <30 mg/Nm³
- Fluoruros (expresados en HF) <5 mg/Nm³
- Metales (estado gaseoso y sólido) (grupos 1 y 2) <5 mg/Nm³
- Metales (estado gaseoso y sólido) (grupo 1) <1 mg/Nm³

En los subsectores de fritas y vidrios especiales, hay algunos casos de posibles emisiones de cadmio y talio. El nivel asociado a las MTD para reducir estos metales y sus compuestos es de < 0,2 mg/Nm³. En la producción de filamento continuo, el nivel de emisión de fluoruros asociado a las MTD es de 5 a 15 mg/Nm³. El nivel inferior de esta gama corresponde a los compuestos sin adición de fluoruro y el nivel superior a los compuestos con adición de fluoruro.

En el subsector de lana de roca, también se indican niveles de emisión asociados a las MTD para reducir el monóxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno: < 200 mg/Nm³ y < 5 mg/Nm³ respectivamente.

Procesos finales

Los procesos finales varían en gran medida en función del subsector y de las instalaciones concretas y por ello es necesario consultar los apartados subsectoriales del capítulo 5. Sin

embargo, a continuación se establecen algunos niveles de emisión indicativos asociados con las MTD, con la excepción de las lanas minerales. No todas las sustancias se encuentran en todos los subsectores o instalaciones, y algunas de ellas se tratan en algunos apartados subsectoriales que no se incluyen aquí porque sólo se aplican a un subsector. A pesar de estas consideraciones, hay cierta generalidad en los tipos de técnicas que podrían utilizarse en el caso de que fuera adecuado aplicar medidas de reducción secundarias.

- Cloruros (expresados en HCl) <math><30 \text{ mg/Nm}^3</math>
- Fluoruros (expresados en HF) <math><5 \text{ mg/Nm}^3</math>
- Partículas <math><20 \text{ mg/Nm}^3</math>
- Metales (estado gaseoso y sólido) (grupos 1 y 2) <math><5 \text{ mg/Nm}^3</math>
- Metales (estado gaseoso y sólido) (grupo 1) <math><1 \text{ mg/Nm}^3</math>

Emisiones a las aguas

Las emisiones acuosas que generan los procesos que intervienen en la industria del vidrio son normalmente escasas y no específicas de este sector. Sin embargo, hay varias actividades que pueden producir emisiones más importantes. Los niveles que se señalan a continuación se consideran apropiados para proteger el medio ambiente con carácter general y son indicativos de los niveles que podrían alcanzarse con las técnicas que se consideran MTD también con carácter general. No representan necesariamente los niveles que se alcanzan en el sector en la actualidad, sino que se basan en el criterio experto del grupo de trabajo técnico.

- Sólidos en suspensión <math><30 \text{ mg/l}</math>
- Demanda química de oxígeno (nota 1) 100 - 130 mg/l
- Amoníaco (Kjeldahl) <math><10 \text{ mg/l}</math>
- Sulfato <math><1.000 \text{ mg/l}</math>
- Fluoruro 15 - 25 mg/l
- Arsénico <math><0,3 \text{ mg/l}</math>
- Antimonio <math><0,3 \text{ mg/l}</math>
- Bario <math><3,0 \text{ mg/l}</math>
- Cadmio <math><0,05 \text{ mg/l}</math>
- Cromo (total) <math><0,5 \text{ mg/l}</math>
- Cobre <math><0,5 \text{ mg/l}</math>
- Plomo (nota 2) <math><0,5 \text{ mg/l}</math>
- Níquel <math><0,5 \text{ mg/l}</math>
- Estaño (nota 3) <math><0,5 \text{ mg/l}</math>
- Zinc <math><0,5 \text{ mg/l}</math>
- Fenol <math><1,0 \text{ mg/l}</math>
- Ácido bórico 2 - 4 mg/l
- pH 6,5 - 9
- Aceite mineral <math><20 \text{ mg/l}</math>

Nota 1: En la producción de filamento continuo se considera que esta cifra es 200 mg/l. En general, la demanda química de oxígeno es bastante baja y el nivel efectivamente asociado con la MTD puede depender de las aguas receptoras. Si éstas son especialmente sensibles, puede ser necesario alcanzar niveles inferiores.

Nota 2: En los procesos de fabricación de vidrio doméstico que utilizan cantidades importantes de compuestos de plomo, actualmente se considera más apropiado un nivel de 1 mg/l. No hay ningún obstáculo técnico que impida llegar a niveles de 0,5 mg/l y, si se dispone del tiempo necesario para desarrollar y aplicar técnicas adecuadas, esta cifra es alcanzable.

Nota 3: En las fábricas de vidrio para envases que utilizan depuradores de proceso húmedo para tratar las emisiones de los procesos finales, se considera más apropiado un nivel de <math>< 3 \text{ mg/l}</math>.

En ciertas circunstancias, el vertido a una instalación de tratamiento de aguas residuales u otro sistema de tratamiento fuera de obra también puede ser una MTD. En el caso de que se proponga este sistema, deberá estudiarse la idoneidad de la instalación receptora.

7) Conclusiones y recomendaciones del proyecto

Este capítulo se divide en tres apartados: intercambio de información, conclusiones generales y recomendaciones para futuros trabajos. En el primero se describen el calendario y los mecanismos que se han seguido en el intercambio de información. Tanto la industria como los Estados miembros facilitaron gran cantidad de información y, en general, de gran calidad. Esta información fue refinada y validada durante las rondas de consultas. Se recomienda realizar una revisión del presente documento dentro de cuatro o cinco años.

Las principales conclusiones generales son:

- Que el intercambio de información ha sido un éxito y que se alcanzó un alto grado de consenso tras la segunda reunión del grupo de trabajo técnico.
- Que la industria es sumamente diversa y que, en la mayoría de los casos, no procede especificar una sola técnica que pueda considerarse la MTD con carácter general.
- Que en los últimos años se ha avanzado mucho para mejorar la actuación de la industria desde el punto de vista medioambiental, aunque cabe esperar nuevos progresos o mejoras, especialmente en las técnicas primarias, pero también en las técnicas secundarias que hasta ahora han sido de aplicación más común en otros sectores.

Las principales recomendaciones para futuros trabajos son:

- Sería conveniente realizar un estudio más profundo (preferiblemente semicuantitativo) de los efectos cruzados.
- Sería útil analizar con más detalle los costes de las distintas técnicas a la hora de determinar las MTD.
- Cuando se revise este documento, sería útil realizar un estudio más profundo de las técnicas aplicables para mejorar la eficiencia energética, teniendo en cuenta la información más reciente.
- Cuando se revise este documento, deberá evaluarse de nuevo el progreso de las técnicas primarias de control de emisiones.
- Cuando se revise este documento, deberán evaluarse de nuevo las técnicas que actualmente tienen algunos aspectos no probados o puestos en duda, ya sea en el conjunto de la industria del vidrio o en ciertas aplicaciones. En particular, la eliminación del dióxido de azufre, la oxicomustión y la reducción catalítica selectiva.