

# LA FABRICACION DEL VIDRIO Y LA PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE

**J. A. VINOS ALDANA**

Cristalería Española, S. A. (Madrid)

## RESUMEN

Se hace en primer lugar una exposición de la importancia creciente del problema de la contaminación industrial y de la situación de la fabricación de vidrio en el contexto general. Se comenta a continuación la legislación tanto nacional como de otros países europeos y de las directivas de la C.E.E. analizando la tendencia futura de todas las legislaciones con especial incidencia en la legislación alemana. Se presentan los organismos vidrios internacionales que se ocupan de este tema y se comparan los efectos sobre el medio ambiente tanto de tipo de energía o combustible empleado como de los distintos tipos de vidrio fabricados. Finalmente se da una somera idea de los métodos anticontaminantes empleados en las diferentes fabricaciones vidrieras haciendo alusión a sus costos tanto de implantación como de mantenimiento.

## Glass manufacture and protection of the environment

This paper shows the increasing importance of the problem of industrial pollution and the position of glass manufacturing in the general sense. This is followed by commenting the laws, both national as well as those of other European countries, and rules of the E.E.C. analyzing the future tendency of all legislations with special emphasis on German laws.

The International glass bodies that deal with this subject are introduced. Comparison is made of the effects on the environment of the type of energy or fuel used as well as of the different types of glass manufactured.

Finally, a brief description is made of the anti-pollution methods used in different glass factories referring to the starting and maintenance costs.

## La fabrication du verre et la protection de l'environnement

Après un exposé liminaire sur l'importance croissante du problème de la pollution industrielle et sur la situation de la fabrication du verre dans le contexte général, l'auteur commente la législation aussi bien de l'Espagne que d'autres pays européens et les directives de la C.E.E. et il analyse l'évolution future de toutes les législations et insiste spécialement sur la législation allemande. Il présente les organismes verriers internationaux qui s'occupent de la question et il compare les effets sur l'environnement, d'une part, des divers types d'énergie ou de combustible utilisés et, d'autre part, des différents types de verre fabriqués. Il termine en expliquant sommairement les méthodes antipollution employés dans leurs coûts aussi bien d'implantation que de maintien.

## Glasherstellung und Umwelt

Die Arbeit beginnt mit einer Darstellung der zunehmenden Bedeutung der Umweltbelastung durch die Industrie und der Stellung der Glasfabrikation innerhalb dieses weiteren Kontextes.

Anschließend werden die inländisch-spanische Rechtslage sowie die Gesetzgebung anderer europäischer Länder und die einschlägigen EG-Richtlinien zu dieser Thematik unter besonderer Berücksichtigung künftig zu erwartender Tendenzen rechtlicher Regelungen auf diesem Gebiet besprochen, wobei besonders auf den Einfluß der bundesdeutschen Gesetzgebung näher eingegangen wird.

Es werden ferner die internationalen Organisationen der Glasbranche, die sich mit dieser Thematik befassen, vorgestellt, und sowohl die Auswirkungen der einzelnen Energieformen und Brennstoffe sowie der verschiedenen Glasarten auf die Umwelt miteinander verglichen.

Zum Abschluß erfolgt ein kurzer Überblick über die bei der Herstellung der einzelnen Glassorten angewandten Verfahren zur Verhütung der Umweltverschmutzung, wobei besonders auf die Kostenfrage (Investitions- und Instandhaltungskosten) eingegangen wird.

## 1. INTRODUCCION

La ley española de protección del ambiente atmosférico comienza diciendo que «la degradación del medio ambiente constituye, sin duda alguna, uno de los problemas capitales que la humanidad tiene planteados en esta segunda mitad del siglo, problema cuya gravedad no es preciso ponderar».

Esta ley data de 1972 y su decreto de aplicación tardó más de dos años en aparecer.

Entre tanto, en 1973 había estallado la primera crisis del

petróleo modificando totalmente el panorama económico europeo.

A la crisis del petróleo, y prácticamente sin solución de continuidad, siguió una profunda crisis económica que con su secuela del crecimiento exorbitante del paro afectó de forma profundísima a los países de la Península Ibérica.

La importancia de la protección del medio ambiente quedaba automáticamente relegada, pues el principal objetivo de los gobiernos pasaba a ser la evitación de la destrucción del empleo y no agobiar de forma complementaria la situa-

ción de las empresas para evitar situaciones ya de por sí difíciles y complicadas.

En el hombre de la calle, de a pie, ha ido calando con mayor intensidad la importancia del medio ambiente. No me refiero a organizaciones ecologistas, en muchos casos movidas por intereses políticos alejados de la conservación de la naturaleza, sino a una gran mayoría de ciudadanos que empiezan a considerar la protección del medio ambiente como algo imprescindible y a la que hay que dedicar la atención que se merece.

Pero la protección del medio ambiente es algo complejo que tiene múltiples facetas y conviene, aunque sólo sea someramente, analizarlas para ver el lugar que la fabricación de vidrio puede ocupar.

Protección del medio ambiente es:

- la defensa del paisaje que afecta en primer lugar a construcciones y urbanizaciones
- la restauración y mejora de las zonas de interés natural y artístico y también la restauración del paisaje en las canteras de materias primas
- la lucha contra la contaminación del aire, de las aguas e incluso del suelo por utilización abusiva de pesticidas y abonos
- el tratamiento adecuado de residuos tales como refractarios con cromo, etc.
- la defensa de zonas verdes y espacios libres
- la implantación adecuada de las instalaciones industriales en polígonos preparados no residenciales
- la eliminación de la congestión en el tráfico, la aminorción del ruido y tantas otras facetas que aún se podrían incluir.

Hay todo un espíritu de opinión que va abriéndose camino y que se niega a aceptar el desarrollo industrial a cualquier precio. Vemos países europeos que niegan la autorización de implantación a industrias por considerar que sus chimeneas son contaminantes.

Afortunadamente, los vidrieros no avanzan en cabeza de la contaminación, sino que van detrás de las centrales térmicas, industria siderúrgica, cementera, química, etc. Sin embargo, la reglamentación de los diferentes países del mundo es cada vez más estricta y nos afecta ya de lleno en los países más industrializados.

Los vidrieros de todo el mundo, conscientes de la importancia del tema, han formado comisiones técnicas dentro de sus organizaciones internacionales para el estudio y la solución de los problemas planteados.

Entre estas comisiones internacionales podemos citar la «Comisión Environnement del Comité Permanente de las Industrias del Vidrio» y el «Comité Técnico Núm. 13 para Problemas del Medio Ambiente» de la ICG (International Commission on Glass).

## 2. LEGISLACION SOBRE PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE

No solamente la legislación es diferente en cada país, sino que en muchos países la normativa depende —como en el caso de Francia— de los distintos prefectos que rigen los distintos departamentos y lo que es admisible en unos no lo es en otros.

Esta diversidad se mantendrá en el futuro, sobre todo en cuanto a la aplicación de la normativa, si bien, como es lógico, ésta se irá unificando sobre todo en Europa.

En España apareció la primera legislación sobre el tema en el año 1972 con la Ley 38/1972 de 22 de diciembre (BOE de 26-12-1972), apareciendo en años sucesivos diversos decretos sobre protección del medio ambiente, siendo el último el real decreto 717/1987 de 27 de mayo (BOE de 6-6-1987).

Está en estudio y parece próxima la publicación de una ley general única que armonice criterios con la legislación europea.

En la República Federal Alemana se produjo un cambio fundamental en febrero de 1986, con la promulgación de un decreto conocido como TA-LUFT para el mantenimiento de la pureza del aire. Alemania está actuando de locomotora, intentando y en muchos casos consiguiendo, arrastrar a los demás países europeos.

La importancia de la TA-LUFT ha sido fundamental, pues ha revolucionado totalmente los niveles de contaminación admitidos.

Las razones de la presión alemana sobre Europa son fáciles de comprender. Por una parte, la industria alemana anti-contaminante es muy fuerte e intenta vender su material dentro y fuera de su país. Por otra parte, al ser la legislación alemana la más dura, los costos que con ello se originan son superiores a los de los otros países, con lo que se encuentran en inferioridad de condiciones con los países vecinos y tratan de evitarlo.

Un caso específico es la implantación de electrofiltros en los hornos «float». En Alemania son absolutamente obligatorios mientras que en la mayoría de los países europeos no, con lo que el costo de la inversión se encarece en unos 400 millones de pesetas; pero además hay que añadir los costos de mantenimiento y el problema de la utilización y manejo del polvo que no puede reciclarse en todos los casos.

Un caso muy curioso es que, en determinadas ocasiones, debido a la contaminación, es imposible la fabricación de determinados vidrios de color, siendo necesario para Alemania importarlos.

Por el contrario, en los países europeos en que la legislación está menos avanzada, los costos de inversión y de explotación en este campo son menores y no tienen ningún interés en que la legislación se endurezca.

En la tabla 1 se representan los niveles de contaminación admisibles en la antigua y nueva reglamentación.

Dentro de la legislación comunitaria tiene mucha importancia la directiva del Consejo del 15 de julio de 1980 concerniente a los valores límites y a los valores guía de la calidad atmosférica para el anhídrido sulfuroso y las partículas en suspensión (J.O. del C.E. del 30-8-80).

Otra directiva del 7 de marzo de 1985 fija el límite de calidad del aire para el NO<sub>2</sub> en 200 microgramos/Nm<sup>3</sup>.

Hay también un proyecto de directiva de la CEE para grandes instalaciones de combustión que está pendiente de su aprobación y que se representa en la tabla 2.

## 3. EMISIONES TIPICAS DE LOS HORNOS VIDRIEROS

Se dan a continuación varias tablas en las que aparecen las emisiones típicas de los hornos de vidrio plano, vidrio

hueco, fibra de vidrio de aislamiento y fibra de vidrio de refuerzo: tablas 3, 4, 5 y 6, respectivamente.

Es evidente la diferencia para un mismo tipo de hornos según que el combustible empleado sea el fuel o el gas natural.

En general, empleando como combustible el fuel, un gran problema es la tasa de SO<sub>2</sub> en los humos.

En el caso del empleo del gas natural, que siempre se ha considerado como un combustible limpio, es preciso tener

TABLA I

REGLAMENTACION ALEMANA SOBRE NIVELES DE CONTAMINACION ADMITIDOS

	Antigua TA-LUFT		Nueva TA-LUFT	
	mg/Nm <sup>3</sup>	Q(kg/h)	mg/Nm <sup>3</sup>	Q(kg/h)
<b>1. Partículas</b>				
Antimonio	50	1,0	5,0	25,00
Arsénico	—	—	1,0	5,00
Plomo	20	0,1	5,0	25,00
Cadmio	20	0,1	0,2	1,00
Cromo	20	0,1	1,0	5,00
Cobalto	50	1,0	1,0	5,00
Flúor	20	0,1	5,0	25,00
Manganeso	—	—	5,0	25,00
Níquel	20	0,1	1,0	5,00
Selenio	20	0,1	1,0	5,00
Teluro	20	0,1	1,0	5,00
Vanadio	20	0,1	5,0	25,00
<b>2. Compuestos gaseosos</b>				Q(kg/h)
Amoníaco (comp. amoniac.)	75	3,0	50,0	0,50
Bromo	—	—	5,0	0,05
Cloro	—	—	5,0	0,05
Cloruros	30	3,0	50,0	0,50
Acido cianhídrico	—	—	5,0	0,05
SO <sub>x</sub> (SO <sub>2</sub> )	—	—	500,0	5,00
NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> )	—	—	500,0	5,00
Fluoruros	5	0,15	5,0	0,05

TABLA II

PROYECTO DE DIRECTIVA DE LA CEE  
LIMITACION DE LAS EMISIONES DE POLVO SO<sub>2</sub> Y NO<sub>x</sub>  
PROVENIENTES DE LAS GRANDES INSTALACIONES  
DE COMBUSTION  
POTENCIA SUPERIOR A 50 MW th (43.000 th/h)

Tipo de combustible	Potencia térmica MW th	Valores límites de emisión en mg/Nm <sup>3</sup>		
		Polvo	SO <sub>2</sub>	NX <sub>x</sub>
Líquido	> 300 300-100 < 100	< 50	< 250 < 1.700 < 1.700	< 150
Gaseosos	> 300 300-100 < 100	< 5	< 35	< 100

en cuenta la extraordinaria importancia de los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> que normalmente se expresan en NO<sub>2</sub>. En los hornos calentados a gas son frecuentes valores de 150 mg/Nm<sup>3</sup> de partículas (polvo).

En cuanto a las emisiones de NO<sub>x</sub>, están influenciadas por las temperaturas de fusión (NO<sub>x</sub> térmicas) y también por el contenido de nitrato en la composición, por ejemplo, en los hornos eléctricos.

Particular interés en el tema del medio ambiente están alcanzando los hornos eléctricos por ser mucho menos contaminantes. Para la misma talla del horno se considera en términos generales que la contaminación es del diez por ciento (tabla 7).

En los hornos eléctricos son frecuentes las reducciones de las emisiones a su décima parte. Por otra parte, al ser la temperatura de salida de los humos muy baja, es posible la instalación de filtros de mangas.

Pero no hay que olvidar que los hornos eléctricos tienen emisiones de partículas no despreciables de 100 a 300 mg/Nm<sup>3</sup> aunque el volumen de humos es mucho más reducido y, por consiguiente, los valores absolutos son muy inferiores a los hornos con combustible líquido o gaseoso.

Como puede apreciarse en la tabla 3, los valores son muy dispares y en gran parte debidos a los métodos de medida y a las dificultades de las mismas.

TABLA III

VALORES DE EMISIONES EN HORNOS DE VIDRIO PLANO

Número de hornos:	Seis
Tirada:	Entre 500 y 700 t/día
Combustible:	Fuel-gas
Partículas:	Entre 90 y 700 mg/nm <sup>3</sup> Entre 8 y 60 kg/h Entre 0,3 y 2,6 kg/t
SO <sub>2</sub> :	Entre 70 y 1.100 mg/Nm <sup>3</sup> Entre 20 y 180 kg/h Entre 0,8 y 8 kg/t
NO <sub>x</sub>	Entre 500 y 2.500 mg/Nm <sup>3</sup> Entre 70 y 200 kg/h Entre 3 y 9 kg/t

TABLA IV

VALORES DE EMISIONES EN HORNOS DE VIDRIO HUECO

Número de Hornos:	Tres
Tirada:	Entre 300 y 400 t/día
Combustible:	Fuel
Partículas:	150 - 380 mg/Nm <sup>3</sup> 8 - 12 kg/h 0,6 - 0,7 kg/t
SO <sub>2</sub> :	2.100 - 3.800 mg/Nm <sup>3</sup> 50 - 120 kg/h 3,8 - 8,6 kg/t
NO <sub>x</sub> :	700 - 1.600 mg/Nm <sup>3</sup> 32 - 37 kg/h 1,9 - 2,8 kg/t

TABLA V  
VALORES DE EMISIONES  
EN HORNOS DE VIDRIO DE AISLAMIENTOS

Número de Hornos:	Dos
Tirada:	Entre 150 y 220 t/día
Combustible	Gas
Partículas*:	Antes del electrofiltro: 1.500 - 2.600 mg/Nm <sup>3</sup> (57 - 60 kg/h) Después del electrofiltro: 3,5 - 3,6 mg/Nm <sup>3</sup> (0,10 - 0,13 kg/h)
SO <sub>2</sub> :	Del orden sw 500 mg/Nm <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub> :	460 - 840 mg/Nm <sup>3</sup> 18 - 19 kg/h

\* No hay que insistir en la eficacia de los electrofiltros.

TABLA VI  
VALORES DE EMISIONES  
PARA HORNOS DE FIBRA DE VIDRIO

Número de Hornos:	Tres
Tirada:	50 - 70 t/día
Partículas:	98 - 400 mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub> :	90 - 160 mg/Nm <sup>3</sup>
No <sub>x</sub> :	300 mg/Nm <sup>3</sup>
Flúor total:	100 - 275 mg/Nm <sup>3</sup> (el 95% en los gases)
Boro total:	165 - 390 mg/Nm <sup>3</sup> (el 75% en los gases)

En la tabla 4 puede verse la influencia del combustible: con el fuel crece el SO<sub>2</sub> y disminuye el NO<sub>x</sub>. El espectro de valores sigue siendo muy amplio.

De acuerdo con la tabla 7, la disminución de emisiones es muy importante y la temperatura de los humos permite instalar filtros de mangas con inversiones considerablemente menores.

Hemos hecho antes alusión a la diferencia de emisiones con el tipo de combustible. En general, se viene considerando el gas natural como un combustible limpio, no contaminante.

Esto viene exclusivamente del hecho de que antes se asociaba la contaminación con el SO<sub>2</sub>, principalmente producido en la combustión del azufre del fuelóleo.

Hoy la contaminación por óxidos de nitrógeno se considera tan peligrosa o más que la del anhídrido sulfuroso.

En la tabla 8 se representan las emisiones atmosféricas de NO<sub>x</sub> según el tipo de horno y el tipo de combustible.

El NO<sub>x</sub> se expresa en NO<sub>2</sub> para humos secos con 8% de oxígeno. El gas natural puede exceder en NO<sub>x</sub> al fuel. De hecho en determinados países de Europa se busca una mezcla fuel-gas en la combustión para rebajar el contenido en NO<sub>x</sub> que se apreciaba en la utilización de gas natural como combustible único.

#### 4. DISTINTOS CONTAMINANTES EN LOS HORNOS DE COMBUSTION

Si queremos abarcar el conjunto del problema debemos analizar los principales contaminantes, así como su origen.

Hasta ahora hemos subrayado la importancia del tipo de combustible. Conviene no olvidar las materias primas que intervienen en la composición.

##### 4.1. Contaminación por fluoruros y cloruros

Las instrucciones técnicas del control de la calidad del aire publicadas en Alemania en febrero de 1986 contienen límites severos para fluoruros y cloruros.

El límite para fluoruros expresados como ácido fluorhídrico es de 5 mg/Nm<sup>3</sup> a un flujo de masa de más de 50 g/h.

La emisión límite para cloruros y sus compuestos gaseosos expresados como ácido clorhídrico es de 30 mg/Nm<sup>3</sup> con un 8% de oxígeno para un flujo de masa de más de 50 g/h.

El problema es importante no sólo en los casos de vidrios especiales, sino en general para todas las impurezas que llevan muchas materias primas utilizadas normalmente en la fabricación de vidrio.

TABLA VII  
VALORES DE EMISIONES  
PARA HORNOS ELECTRICOS

Número de hornos:	Cinco
Tirada:	Entre 25 y 150 t/día
Volumen de humos:	4.000 - 16.000 Nm <sup>3</sup> /secos
Temperaturas:	50° - 84° C
Partículas:	90 - 300 mg/Nm <sup>3</sup> 0,5 - 4 kg/h 0,5 - 1 kg/t
Flúor:	0,03 - 0,9 mg/Nm <sup>3</sup> 0,3 - 3 kg/h 0,05 - 5 kg/t

TABLA VIII  
EMISIONES ATMOSFERICAS DE NO<sub>x</sub> (en g/Nm<sup>3</sup>)

Tipo de horno	Fuel pesado	Gas natural
— Con recuperador:		
Normal	0,4 a 1,4	0,4 a 1,6
Máximo		2,6
— De bucle:		
Normal	1,0 a 2,4	1,4 a 3,0
Máximo		4,6
— Quemadores transversales:		
Normal	1,6 a 3,6	2,0 a 4,0
Máximo		5,6
Máximo con nitrato		7

En la tabla 9 se muestran los intervalos de contenido de fluoruros y cloruros en las distintas materias primas que intervienen en la fabricación del vidrio.

En distintos institutos tecnológicos del vidrio se han realizado balances de material para conocer los halogenuros introducidos, los fijados en el vidrio y los presentes en las emisiones. El cuadrar los balances no es fácil.

En el caso del instituto alemán antes citado, encuentran una volatilización para cloruros del 26% para el caso de un horno «float» de 700 t/día que utiliza fuel como combustible y en el mismo horno del 39% cuando el combustible es gas natural.

El Comité 13 de la ICG trabaja en la actualidad en unificar los métodos de medida, ya que los valores encontrados según métodos aceptados y razonablemente válidos en un mismo centro experimental son bastante divergentes entre sí.

Medidas experimentales en hornos «float» alemanes de 600 y 700 t/día que emplean como combustible fuel dan como resultado 18-50 mg/Nm<sup>3</sup> de cloruros y 3,3-4 mg/Nm<sup>3</sup> de fluoruros.

TABLA IX

CONTENIDO EN FLUORUROS Y CLORUROS DE MATERIAS PRIMAS

Materias primas	Cloruros (ppm)	Fluoruros (ppm)
Arena	20 - 330	30 - 60
Dolomita	10 - 2.200	120 - 400
Caliza	25 - 600	30 - 140
Carbonato sódico	60 - 2.500	6 - 120
Sulfato sódico	4 - 40	5 - 40
Feldespato	40 - 190	8 - 60
Colemanita	—	100 - 300
Nefelina-Sienita	10	40 - 370
Casco	100 - 280	20 - 320

En el caso de los mismos hornos, pero utilizando como combustible gas natural, los valores hallados son 15-39 mg/Nm<sup>3</sup>, respectivamente.

En las fábricas de fibra de vidrio los problemas de fluoruros suelen ser generales.

Conviene señalar que en Estados Unidos no tienen problemas de cloruros al emplear carbonato sódico natural.

En Alemania, Solvay ha debido remodelar totalmente su planta debido a este problema.

#### 4.2. Contaminación por selenio y metales pesados

El límite para el selenio es de 1 mg/Nm<sup>3</sup>. Además hay una directiva de la Comunidad que impide tener más de 100 kg de selenio en la fábrica. Esto obliga a una importante sociedad francesa a hacer dos aprovisionamientos diarios.

Para los fabricantes de vidrio de color es un gran problema, pues los valores comúnmente encontrados oscilan entre 2 y 9 mg/Nm<sup>3</sup>.

En este caso conviene atraer la atención al hecho de que hay una influencia muy importante de la temperatura a la

cual se realiza el ensayo. Se obtienen valores muy diferentes según la temperatura del método seguido en la medida.

En el caso del cromo el límite está en 1 mg para el Cr<sup>6+</sup>. En el cromo total abunda el Cr<sup>3+</sup>. En Estados Unidos el problema del cromo es importante, y es distinto según los diferentes Estados.

En cuanto al plomo, vanadio y arsénico, se encuentran en el polvo recuperado de los electrofiltros. En Francia encuentran hasta un 2% de plomo, mientras que en Italia los valores hallados no sobrepasan el 0,4%.

En los hornos «float» con electrofiltros debido a la presencia de vanadio y níquel no se recicla el polvo.

En el caso del vanadio va muy unido al azufre y los resultados no son muy fáciles de obtener, pues se adicionan los valores.

#### 5. MEDIDA EN CONTINUO DE LAS EMISIONES DE PARTICULAS NO<sub>2</sub> Y SO<sub>2</sub>

En todas las administraciones nacionales se está extendiendo cada vez más la idea de exigir en cada instalación industrial con chimenea un registro gráfico que dé la situación de las emisiones en cada momento.

Los opacímetros, por ejemplo, son obligatorios en Francia y Alemania.

El problema de estos aparatos está en su funcionamiento, calibrado, etc. Necesitan un mantenimiento adecuado al menos un día por semana.

En EE.UU. los aparatos son mucho más sofisticados, pero en general trabajan bien.

En California, en una fábrica «float», siguen medidas en continuo tanto de partículas como de NO<sub>2</sub>, y en otra planta integran en continuo SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> por quimiluminiscencia.

En Alemania prefieren las medidas por absorción infrarroja, pues los diámetros de los tubos son muy pequeños.

El costo de un opacímetro es del orden de cinco millones de pesetas. Un monitor para un solo componente cuesta en Alemania 50.000 marcos.

La casa Philips emplea sus propios aparatos en sus plantas vidrieras para medir en continuo partículas, óxidos de nitrógeno y oxígeno.

A partir del 1 de marzo de 1989 la ley obligará en Alemania en todas las plantas a tener un seguimiento continuo de las emisiones.

En Francia, en algunos casos, la ley admite el cálculo de SO<sub>2</sub> en vez de la medida.

#### 6. RECICLADO DEL POLVO DE ELECTROFILTROS

La utilización de electrofiltros es obligatoria según ley en todos los casos en determinados países.

En otros depende de la proximidad de la factoría a núcleos de población.

En Alemania la obligatoriedad llega a todas las nuevas fábricas vidrieras e incluso a las plantas en funcionamiento cuando paran para reparar los hornos.

En Alemania tanto Oberland como Gerresheimer reciclan la totalidad del polvo. En ambos casos ajustan la composi-

ción teniendo en cuenta el análisis del polvo. En general en este país se recicla en envases y fibra la totalidad en seco y hasta el 55% en húmedo. Philips en Aachen recicla también el polvo en sus hornos de pantallas de televisión.

En Japón y en Inglaterra es corriente también el reciclado de polvo, aunque en este último el reciclado es selectivo.

Debido al vanadio y al níquel, en las instalaciones «float» no suele recuperarse el polvo, lo que grava la utilización de electrofiltros.

Cuando se emplea como combustible el fuel, se produce un exceso de sulfato sódico.

## 7. TRATAMIENTOS PARA LA REDUCCION DE EMISIONES

### 7.1. Eliminación del polvo

La disminución del polvo de las emisiones de hornos de vidrio convencionales se realiza en la práctica totalidad de los casos por electrofiltros. Son aparatos de técnica probada y satisfactoria que alcanzan los niveles deseados.

Quizá convenga atraer la atención sobre el volumen importantísimo de la instalación. Se vehiculan los gases por tuberías de más de un metro de diámetro y en algunas instalaciones el volumen del material anticontaminante supera el volumen del propio horno. Son instalaciones con una inversión elevada.

En el caso de unidades para hornos «float» de 600-700 t/día cuestan del orden de los 350-400 millones de pesetas.

En el caso de electrofiltros para hornos de fibra de aislamiento de 200 t/día, el precio supera los 160 millones de pesetas.

A estas fuertes inversiones sin rentabilidad material hay que añadir el gran espacio ocupado y los costos de mantenimiento que son muy altos.

Por otra parte, es preciso tener en cuenta que la puesta en marcha es larga y delicada y que además de la evacuación de residuos con posibilidad variable de recuperación hay que tener en cuenta la importante corrosión del material.

Todos estos inconvenientes justifican parcialmente las reticencias de los industriales para aplicar un método eficaz de lucha contra la contaminación.

En el caso de hornos eléctricos para la fusión de vidrio, el problema, como hemos indicado antes, se simplifica enormemente; por una parte, el volumen de humos es muchísimo menor, y, por otra, la temperatura es muy baja, lo que permite la utilización de filtros de mangas cuyo costo es pequeño.

Desgraciadamente en Alemania y España el costo de la electricidad es muy alto y no es posible la construcción de hornos eléctricos para toneladas altas.

### 7.2. Desulfuración

Es un proceso general empleado en la industria química. La desulfuración va siempre acompañada de los electrofiltros y su eficacia puede sobrepasar el 90%.

En la industria del vidrio se han aplicado prácticamente todos los métodos generales y en particular los húmedos y secos.

Los más abundantes, aunque no excesivamente numerosos, son los llamados «semisecos».

Se trata de una torre de reacción en la que se inyecta lejía de sosa o hidróxido cálcico, formando sulfato sódico o sulfato cálcico.

Los subproductos son muy difícilmente comercializables y la cantidad producida es importante. Pensemos que para eliminar una tonelada de  $\text{SO}_2$  hacen falta cuatro toneladas de cal.

La inversión a realizar para un sistema de desulfuración que permita eliminar 200 kg/día de  $\text{SO}_2$  puede estimarse en 250 millones de pesetas y las cargas de explotación son del orden de los 12 millones anuales.

En Japón, la Nippon Sheet Glass tiene una planta de vidrios colados de 500 t/día con desulfuración a la cal y un «float» de 600 t/día con desulfuración mediante hidróxido sódico.

Oberland en tres hornos de botellas utiliza la desulfuración por procedimiento semiseco de Lurgi con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

En Estados Unidos se utiliza también carbonato sódico natural como desulfurante en una fábrica de botellas de California.

En determinados procesos de vía húmeda se busca la obtención de residuos valorizables, tales como sulfato y nitrato amónico (*Walther*) o bisulfato amónico (*Air Industrie*).

Hay otros procedimientos que utilizan la absorción por carbón activo o por óxido de cobre.

### 7.3. Disminución de óxidos de nitrógeno en los humos

El límite de la TA-LUFT de 1986 para estos óxidos se encuentra en 500 mg/Nm<sup>3</sup>.

Este no es más que un límite provisional y las previsiones son que baje tan pronto como técnicamente sea factible obtener, a un costo razonable, una disminución de los óxidos de nitrógeno.

Es importante resaltar aquí dos observaciones:

- Los especialistas están totalmente de acuerdo en que son mucho más nocivos los vapores nitrosos que los sulfurosos.
- Contrariamente a lo que se piensa normalmente, la combustión del gas natural no origina gases limpios, sino que, por el contrario, para una misma unidad de producción de vidrio, las emisiones producidas por el gas natural suelen tener un mayor contenido en  $\text{NO}_x$  que los originados por la combustión del fuel.

Los métodos para la reducción de los gases nitrosos en los humos no están perfectamente consolidados.

En *Harrogate* (Inglaterra), en el simposio celebrado en mayo de 1988 sobre «El papel del vidrio en el año 2000», una casa alemana presentó su *lonoxmelter*, una nueva concepción de horno de vidrio de botellas para reducir el contenido en óxidos de nitrógeno.

Los valores que se deben alcanzar con este horno en las emisiones son:  $\text{SO}_2$ , 750 mg/Nm<sup>3</sup>;  $\text{NO}_x$ , 400 mg/Nm<sup>3</sup>;  $\text{Cl}^1$ , 32 mg/Nm<sup>3</sup>, y  $\text{F}^1$ , 3 mg/Nm<sup>3</sup>. El horno utiliza fuel como combustible y las materias primas comunes en Alemania.

En general y para tratar los gases de los hornos convencionales emplean torres de reacción en las que se inyecta amoníaco.

La proporción de amoníaco con relación al monóxido de nitrógeno fija en cierto modo la cantidad de  $\text{NO}_x$  disminuida.

Para una relación  $\text{NH}_3/\text{NO}=0,7$  se ha encontrado en determinados ensayos  $\text{NO}_x \approx 600 \text{ mg/Nm}^3$ , mientras que para una relación  $\text{NH}_3/\text{NO}=1$  se ha encontrado solamente  $\text{NO}_x=200 \text{ mg/Nm}^3$ .

En todos los casos la temperatura a la que se inyecta el amoníaco es fundamental.

En Alemania se ha puesto en funcionamiento una planta de absorción de gases nitrosos con un costo de seis millones de marcos. El costo de mantenimiento es de 12 marcos por tonelada de vidrio.

En EE.UU. el costo de mantenimiento es de 1,5 \$ US por libra de polvo recuperado.

Steuler propone una planta catalítica con un costo de 700.000 marcos alemanes, un consumo de  $\text{NH}_3$  de 95.000 marcos alemanes por año y de catalizador de 25.000 marcos alemanes por año tratando  $20.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ .

Exxon ensaya su sistema Denox térmico.

El hecho de haberse conseguido de forma práctica en Alemania una reducción del 90% de los óxidos de nitrógeno utilizando una adición estequiométrica de amoníaco en el intervalo de temperatura  $950-1.050^\circ \text{ C}$  debe dejarnos la satisfacción de ver que la técnica avanza para conseguir un medio ambiente más saludable.

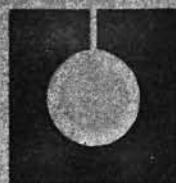


**VIII CONGRESO EXPOSICION  
ARGENTINO Y II IBEROAMERICANO  
DE CERAMICA VIDRIO Y REFRACTARIOS**

**CELVYR '88**

**Congreso exposición de Cerámica, Vidrio  
y Refractarios.**

ATAC



**BUENOS AIRES - REPUBLICA ARGENTINA - NOVIEMBRE 1988**