

UTILIZACIÓN RACIONAL DEL CASCO RECICLADO EN LA INDUSTRIA DEL VIDRIO HUECO

Ahorro Energético y de Materias Primas. Saneamiento Ambiental. Problemas Frecuentes. Tratamientos. Límites de Coloración y Migración de Metales Pesados. Mejora Continua de la Calidad.

Gabriel Adrián Borsella - HYALOS. Tecnología de Desarrollo y Proceso en Materiales Vitreos. Avda. 14 N° 5563 Berazategui (1884) Buenos Aires. tecnologiadelvidrio@yahoo.com.ar. Miembro fundador de ADIETEC Asociación de Innovadores y Emprendedores Tecnológicos adietec@yahoo.com.ar

Resumen

Frente a la crisis energética que atraviesa la Argentina en particular, los altos costos que se derivan de la demanda de gas industrial y electricidad se suman al progresivo aumento del precio de las materias primas nacionales e importadas. El uso de casco de vidrio proveniente básicamente de la industria de envases de fabricación automática se ha vuelto una alternativa muy ventajosa tanto para las grandes como las pequeñas y medianas empresas del rubro. No obstante, en general, este recurso renovable no es utilizado con criterio tecnológico acertado y ello repercute fuertemente en la notoria deficiencia de calidad frente a productos similares de importación, competitivos a nivel económico.

En el siguiente estudio se ponen de manifiesto los errores más frecuentes que se producen a lo largo de todo el ciclo - desde la elaboración a partir de las materias primas, tratamiento del descarte y vidrio reciclado en la vía pública, hasta su refundición en diversas cristalerías de rubros afines, se analizan los principales defectos de los productos terminados, su relación con los estándares de calidad y normas de salubridad nacionales e internacionales y se evalúan los pro y los contra a nivel de saneamiento ambiental y calidad de vida. Finalmente en base al diagnóstico realizado se proponen diversos criterios tendientes a la mejora continua conforme a una racionalización de la utilización más adecuada de este material de vital importancia tanto en nuestro país como en el resto del mundo.

Palabras clave: Reciclado, Vidrio, Cullet, Calcín, Casco, Tratamiento, Metales pesados.

Abstract

As opposed to the power crisis that crosses the Argentina in individual, the high costs which industrial gas and electricity are derived from the demand of progressive increase of the price of the national and concerned raw materials. The use of originating cullet basically of the industry of packages of automatic manufacture has become an alternative very advantageous as much for the great as small and medium companies from the guild. However, in general, this renewable resource is not used with guessed right technological criterion and it repels strongly in the well-know deficiency of quality in front of similar products of import, competitive at economic level. In the following study the error more frequent are shown than they take place throughout all the cycle - from the elaboration from raw material, treatment of the discarding and recycled glass in the public thoroughfare, to its refunding in diverse glasswork of compatible guilds -, analyze the main defects of finished products, their relation with standards of quality and national and international norms of salubrity and evaluate the advantage and the detriment at level of environmental cleaning and quality of life. Finally on the basis of the made diagnosis diverse tend criteria to the continuous improvement according to a rationalization of the suitable use more of this material of vital importance as much in our country as in the rest of the world set out.

Key words: Recycled, Glass, Cullet, Burning, Pieces, Treatment, Heavy metal

Introducción

Es escasa o casi nula la mención en la mayoría de los libros técnicos especializados del Reciclado de Vidrio. En general, si bien no es pasado por alto el beneficio que supone la incorporación de "casco", "calcín" o "cullet", indistintamente denominado, en la mezcla vitrificable, debido fundamentalmente al ahorro energético que resulta de la prescindencia del calor utilizado en la formación de los diversos eutécticos que acaban en la formación de los sucesivos compuestos que conducen a la disolución del excedente de sílice y posterior eliminación de gases residuales (fusión y afinado, respectivamente), sólo se lo considera un "aditivo importante" en la elaboración del vidrio.

Muchas veces, lamentablemente, los elevados criterios técnicos expuestos en textos fundamentales parecieran distanciarse cada vez más de la realidad de la industria. Desde luego, las ópticas son forzosamente distintas. Un investigador científico no está obligado a ser economista ni sociólogo, como para predecir lo que sucederá con las necesidades de mercado a futuro, ni un industrial puede atenerse al nivel de desarrollo de la ciencia básica cuando ésta no puede sostenerse económicamente.

De aquí que la inmensa proliferación de políticas de cuidado del medio ambiente y recursos naturales y energéticos hayan avanza-

do en dirección de la optimización del reciclado de aquellos materiales susceptibles de ser reutilizados sin ser afectadas sensiblemente sus propiedades originales. El vidrio es uno de los principales.

Y aquí se abre un paréntesis para señalar la diferencia entre **Reciclado** y **Reutilización**. Como ejemplo de lo antedicho sirva el caso de Suiza, Alemania, Italia o España, cuyos índices de recuperación del vidrio - el Reciclado, propiamente dicho- son los más elevados del planeta (en el primer caso supera el 90 % de la producción, 70 % en el segundo). Sin embargo, esto no es paralelo a la Reutilización de este material en la fabricación del vidrio. En el caso del vidrio incoloro para envases este porcentaje no supera el 30 %, salvo excepciones aisladas. El resto del cullet o casco de vidrio tratado y molido se vende a otros países.

Por el contrario, en nuestro país, si bien el Reciclado de vidrio a manos de recuperadores independientes ha aumentado mucho en los últimos años, dado que no existen políticas gubernamentales específicas y aplicadas al tema que concienticen a la población y garanticen un mínimo de salubridad a la gente que se encarga de este trabajo, no hay parangón alguno con los índices de los países tomados como ejemplo. Y aún así, en la Argentina prácticamente la totalidad del vidrio reciclado es reutilizado en la fabricación de vidrio nuevo en porcentajes que superan el 80 % en muchos casos.

Estas brechas señaladas traen desde luego consecuencias indeseadas y acumulativas en los artículos manufacturados, que están muy por debajo de los estándares mínimos de calidad que en nuestro propio país se cuidaron celosamente hasta no hace más de quince años.

En cuanto a la posibilidad de importar cullet de mejor calidad que el nacional, además de los costos de traslado y el alto valor del dólar y euro en relación al peso, volviéndolo de por sí prohibitivo, surge el inconveniente de una denominación anacrónica aduanera que llama "residuos" de vidrio a este producto, con las implicancias burocrático-sanitarias que ello trae aparejado.

Tipos de vidrio reciclado, composición media y propiedades

Como principales tipos de vidrio de uso doméstico separados para su reciclado y posterior tratamiento hay claramente dos clases bien diferenciadas:

- El vidrio plano de aberturas utilizado en la construcción, con sus derivados de segunda elaboración en mucha menor escala como son los laminados, templados, curvados para la industria automotriz, DVH, entre otros más específicos como los armados, antibala, etc. Todos estos vidrios tienen la misma composición base del proceso de flotado en cuba de estaño líquido y atmósfera de nitrógeno e hidrógeno para impedir la oxidación y adherencia del metal. Se trata no obstante de un vidrio de silicato sódico cálcico común, cuya composición difiere del otro gran grupo que describiremos con más detalle a continuación, por tener un mayor tenor de magnesio y menor alúmina, de incidencia directa en la baja del líquido y la viscosidad que requiere este proceso. Se presenta mayormente en las variedades incoloras, entre los bronce, fumé y otros colores minoritarios. Su utilización como casco, por ende, está reservada a esta industria y con grandes limitaciones, dado los diversos materiales plásticos (polivinil butiral y polarizados) y metales (estaño, azogado o plata) con que suelen recubrirse.

- El vidrio hueco de envases y artículos de menaje que constituye el grueso de la reutilización en el resto de las industrias, tanto de botellas y frascos como de bazar e iluminación. Puede establecerse una proporción levemente variable de aproximadamente un 60 % de vidrio verde de tono irregular con alto contenido de óxido crómico, el 25 % de incoloro o semiblanco y algo menos del 15 % de color ámbar conocido impropriamente como de azufre-carbón. Muchas veces el verde y el ámbar, dada la gran cantidad de verde oliva de envases de vinos que combinan el Cr₂O₃, el Fe₂O₃ y los polisulfuros pardo-amarillentos, van juntos en mezclas irregulares para la fabricación de vidrios verdes más absorbentes de la radiación U.V., que afectan a la mayoría de las bebidas derivadas de la fermentación de azúcares y levaduras. En cuanto a la separación entre los semiblanco y los "verde botella", cada vez se hace más difícil establecer un límite debido a una práctica desafortunada llevada adelante por algunas de las más importantes empresas del rubro, que comentaremos más adelante y es la causa principal de la pobre calidad óptica de los vidrios nacionales incoloros que utilizan el casco derivado de estos artículos como complemento de sus mezclas vitrificables.

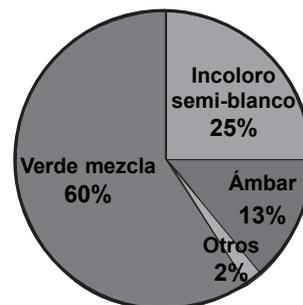
Por supuesto hay otro tipo de vidrios como los borosilicatos, los neutros para medicinales, los opales, el cristal de plomo, semicristales que utilizan cuarzo y prácticamente carecen de óxido de hierro colorante en su composición, óptica de faros automotores, tubos de iluminación y bombillas eléctricas, termómetros, vidrios oftálmicos, material de laboratorio, lana de vidrio, etc., pero juntos apenas constituyen un ínfimo porcentaje como para tener alguna influencia determinante en la composición media del vidrio reciclado.

Una serie de análisis químicos realizados en 1998 por el autor en diversos cuarteos de vidrio mezcla tratado de origen nacional, retenido en seco entre tamices Tyler # 4 y # 12, representativos de cientos de toneladas utilizadas a diario en una de las principales

empresas recicladoras y reutilizadoras de este material en el país arrojó el promedio siguiente:

Anhídrido Silícico (SiO ₂):	71,97 %
Alúmina (Al ₂ O ₃):	1,58 %
Oxido de Hierro total (como Fe ₂ O ₃):	0,224 %
Óxido de Cromo (como Cr ₂ O ₃):	0,067 %
Óxido de Titanio (TiO ₂):	0,029 %
Óxido de Calcio (CaO):	10,43 %
Óxido de Magnesio (MgO):	0,91 %
Óxido de Bario (BaO):	0,052 %
Óxido de Zinc (ZnO):	0,025 %
Óxido de Plomo (PbO):	< 0,001%
Óxido de Sodio (Na ₂ O):	13,64 %
Óxido de Potasio (K ₂ O):	0,79 %
Óxido de Litio (Li ₂ O):	0,012 %
Anhídrido Sulfúrico (SO ₃):	0,064 %
Anhídrido Bórico (B ₂ O ₃):	0,080 %
Anhídrido Arsenioso (As ₂ O ₃):	0,011 %
No determinados:	0,115 %

** Sílice y Bario determinados por gravimetría. Óxido de Calcio por permanganimetría. Alúmina con potenciómetro a electrodo de vidrio. Hierro, Cromo, Magnesio, Zinc y Plomo por A.A.S. Sodio, Potasio y Litio por fotometría de llama. Arsénico y Anhídrido Sulfúrico por yodometría. Anhídrido Bórico por volumetría. Titanio por colorimetría. Análisis realizados en Laboratorio Químico Físico de Rigolleau S.A. y Cristalería El Progreso Coop. Ltda. Chequeados contra patrón certificado NIST 620.*



Como puede observarse en principio menos del 0,20 % (exceptuando los no determinados) de las sustancias halladas (Bario, Zinc, Plomo, Litio, Boro y Arsénico), no pertenecen a la composición típica del vidrio sodocalcico de envases, cuyas materias primas base son cinco: Arena, Soda Solvay, Calcita, Feldespato y Yeso dihidrato o Sulfato de Sodio como único afinante y oxidante. El Óxido de Cromo lo aporta la Cromita natural finamente molida para obtener el tradicional verde esmeralda y tonalidades similares. Los polisulfuros del Ámbar no son detectables por métodos convencionales, aunque pueden deducirse a partir del estado Rédox del vidrio en relación al tenor inicial de Sulfato agregado y la relación Ferroso / Férrico.

En consecuencia se halla que la composición química general y, por ende, sus propiedades físicas responden a las de un vidrio de silicato sodocalcico para fabricación automática de envases.

Puntos de viscosidad teórica

- T° Fusión (100 % materia prima): 1440 °C
- T° Gota: 1180 °C
- Inicio de Soplo: 1020 °C
- Intervalo de Formación de Gota: 160 °C
- Intervalo de Soplado: 115 °C
- T° Salida de máquina: 825 °C
- T° Salida de molde: 760 °C
- T° Superior de Recocado: 545 °C

Caracterización del vidrio

Devitrificación (Líquidus): 1015 °C

Punto de Ablandamiento (Littleton): 725 °C
 Tiempo de enfriamiento (1mm debajo de la superficie): 100,2 seg.
 Coeficiente de Dilatación lineal (Expansión): 89×10^{-7}
 Densidad teórica: 2,5020 g / cm³
 Resistencia Hidrolítica (USP XX): 7 ml H₂SO₄ 0,02 N
 Rédox: -10 u. C
 Tensión Superficial (Dietzel): 325 dinas / cm
 Gradiente Térmico: 2,97 °C / cm
 Microdureza: 6300 MN / m² (aprox.)

Esto indica una serie de parámetros que determinan entre otras cosas que se trata de un vidrio "corto" para favorecer la mayor extracción por condicionamiento del rápido enfriamiento, apto para una máquina I.S. doble gota capaz de producir hasta 100 botellas de 250 cc de capacidad por minuto. Este detalle no es menor cuando se incorpora gran cantidad de casco de este vidrio en un horno balsa de extracción continua de trabajado manual, sobre todo si los artículos producidos son soplados a caña, o prensados neumáticamente. He aquí, pues una de las causas de la dificultad de utilizar cantidades crecientes de este material sin un balance composicional adecuado.

La gran ventaja es que ha sido fundido y afinado a más de 80 °C por encima de lo que indica la temperatura teórica, esto es de 1510 a 1530°C en la pared de sombra de la antecámara de fusión, con lo que se logra extraer la capacidad íntegra de un horno continuo de 150 T o más en 24 horas. Por supuesto esta capacidad de extracción está estrechamente relacionada con la cantidad de casco adicionado, ya que sólo hay que llevarlo a la temperatura de gota (alrededor de los 1200 °C) en tanto el calor excedente optimiza la velocidad de las reacciones químicas necesarias para la fusión y afinado completos del resto de composición, ayudados a su vez por el carácter no conductor del vidrio fundido. En definitiva, este material tiene excelentes propiedades mecánicas, alta resistencia química y térmica, y ha sido desgasificado casi totalmente, con lo que el efecto conocido como "reboll" o formación de burbujas secundarias prácticamente desaparece.

Pueden vislumbrarse los beneficios tan promocionados como ciertos del uso de casco de vidrio hueco de fabricación automática en cantidades crecientes: Ahorro sustancial de energía (según información proporcionada oportunamente por la Cámara Argentina de Fabricantes de Vidrio cada 10 % de material reciclado reduce alrededor de un 2,5 % el consumo de fuel oil); mayor capacidad de extracción; disminución drástica de emisión de gases de descomposición química a la atmósfera (grupos SOx, NOx y CO₂, responsables de la lluvia ácida y el efecto invernadero respectivamente); preservación de recursos minerales no renovables y mayor relación precio / costo.

A tal punto estos factores resultan contundentes que las grandes empresas que sobreviven en el rubro experimentaron un crecimiento inusitado en los últimos quince años, utilizando en el caso de los vidrios verdes (esto es, más del 60 % del mercado) hasta un 90 % de casco reciclado, y sobrepasando el 50 % en los semiblancos y los ámbar.

Ahora bien. Es necesario detenerse ante las preguntas: ¿Qué grado de estabilidad mantiene esta composición química media, más allá de la exactitud o precisión del análisis? ¿Es realmente representativa del total de vidrio hueco producido en la Argentina? ¿Existe alguna regla fiable que le asegure al tecnólogo que realiza las formulaciones de los batchs de mezcla vitrificable una composición fija de un material tan heterogéneo y difícil de controlar? ¿Qué sucede con las contaminaciones acumulativas que inevitablemente se multiplican, por muy estricto y riguroso que resulte el tratamiento de separación de todo aquello que suele acompañar las partidas de casco externo: lavado, molido y separación electromagnética de hierro de molienda?

Además, el problema principal no es la alta proporción de casco utilizado, sino la falta de criterio técnico a la hora de adecuar el exiguo margen de composición en un proceso altamente variable como se

puede apreciar conjuntamente con lo anterior. Y lo que resulta más preocupante: cómo la dinámica del mercado define por ejemplo el cambio de colores en un mismo horno o recortes drásticos en la utilización y calidad de las materias primas empleadas.

Causas de la regularidad creciente de la composición química del vidrio hueco a mayor volumen de casco reutilizado en la mezcla vitrificable

Uno de los enigmas a que se enfrentó el autor durante el seguimiento de las propiedades de los vidrios estudiados a lo largo de tres años, fue la paradójica estabilidad progresiva que experimentaban aquellos que aumentaban la proporción de casco mezcla de origen externo (cuyos análisis químicos se vislumbraban muy irregulares dada la dificultad de una toma de muestra representativa del total), contra la marcada inestabilidad de los vidrios que utilizaban arriba de un 70 % de materias primas de ajustadas especificaciones técnicas y riguroso criterio de aceptación en su composición, dentro del mismo proceso y condiciones de fabricación.

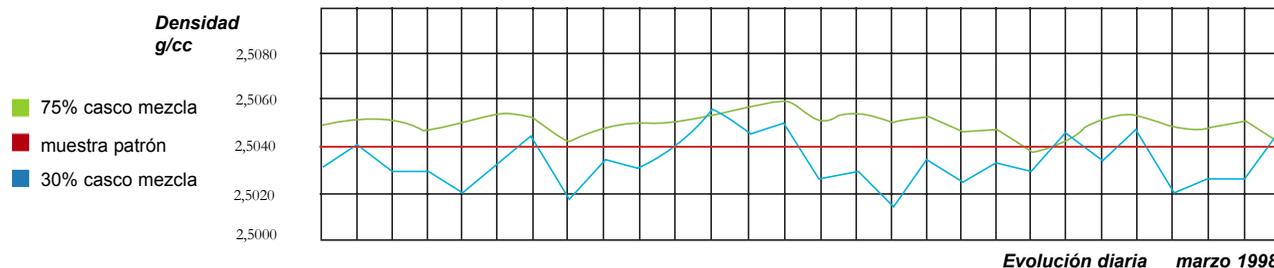
Básicamente, más allá de los análisis químicos realizados, el estudio se llevó a cabo mediante mediciones periódicas en probetas específicas de un mismo Horno de 150 T de extracción diaria de la densidad relativa -previo revenido térmico en mufla programable, para homogeneizar térmicamente las tensiones de orden físico -, el punto de ablandamiento y la determinación conjunta del coeficiente de dilatación lineal.

Estos tres controles cruzados sobre la misma muestra logran determinar aspectos fundamentales de la dinámica del proceso continuo. En primer lugar, la medición de la densidad por flotación y dilatación térmica contra patrón fijo, asegura una precisión de la cuarta decimal en las variaciones. Al estar uniformadas todas las probetas por el mismo programa de recocido, las variables se limitan a factores composicionales.

Del mismo modo, aunque con menor precisión, el Softening Point y el Expansion revelan cambios en la viscosidad, de origen químico. Como se trata de un vidrio de composición simple, puede deducirse fácilmente la causa de las variaciones. Una disminución de la densidad habla, en todos los casos, de un aumento en proporción de Sílice (en su carácter de componente principal), y en menor medida de Alúmina. Esto trae aparejado consecuentemente un aumento en el punto de ablandamiento y una disminución de la dilatación lineal, por ser ambos formadores de red vítrea. Una suba en la densidad, en cambio, necesita de los otros controles para establecer la auténtica causa.

Si el aumento responde a una mayor proporción de Óxido de Sodio (o Potasio, en casos excepcionales), el punto de ablandamiento baja y el Expansion aumenta ligeramente, volviendo al vidrio más "largo" y frágil, tal la acción de los modificadores de red. Finalmente, ante un incremento similar en la densidad, pero con un Softening Point más alto y una dilatación mayor, el responsable es sin dudas el Calcio (para el Magnesio en el vidrio hueco la influencia no es tan apreciable en las mediciones), que vuelve al vidrio más "corto" o "seco", según la terminología industrial, y más propenso a la aparición de microfisuras por incidencias térmicas en el intervalo de trabajo. Sobre estas tres magnitudes se traza la evolución del proceso de extracción continua, y dadas la rapidez y periodicidad de las determinaciones, pueden realizarse los cambios correctivos pertinentes, no sólo a nivel de formulación del batch, sino principalmente en el régimen mecánico de fabricación automática y la regulación de la temperatura de gota.

De acuerdo a lo anterior, los resultados encontrados fundamentalmente en el control diario de la densidad, al ser mucho más sensible que los otros descritos, muestran la aparente paradoja que se señaló al principio: A mayor proporción de casco de vidrio mezcla, de origen variable, mayor estabilidad química que con composición de formulación fija a base de materias primas de alta uniformidad.



El gráfico correspondiente a un mes de seguimiento, atestigua lo afirmado.

El punto resultó, pues, aclarar analíticamente estos comportamientos. Para ello se trató de hallar una metodología lo más confiable posible de efectuar cuarteos que resulten representativos de los grandes volúmenes de casco mezcla de origen externo utilizados, ya que el de retorno interno - artículos defectuosos rechazados en línea de inspección- retroalimenta el proceso continuo de forma directa.

Desde luego, se parte del vidrio ya tratado y molido, presto a agregarse a la mezcla vitrificable. Los fragmentos de este material son muy irregulares en tamaño y variedad, por lo cual, para llegar a la cantidad requerida en un análisis completo (de tres a cinco gramos), debe estandarizarse un tamaño de fragmento que atienda las siguientes condiciones:

- Ser lo suficientemente pequeño, luego de una serie de cuarteos progresivos - desde el frente de la pila madre, unos veinticinco a treinta kilos; la muestra representativa de esta cantidad inicial para llevar a laboratorio, de unos cinco kilos aproximadamente; una selección aleatoria de 300 gramos de la misma, secada a 120 °C en cápsula granataria de porcelana y tamizada 10^m por segregación vibratoria-, contener un promedio de los vidrios que componen la mezcla general.
- Ser lo suficientemente grande como para minimizar la alta actividad de la superficie fresca de rotura, fundamentalmente con el agua.
- Sin influir con lavados o separaciones magnéticas de material ferroso de molienda, evitar errores por contaminación del propio proceso de tratamiento.

Para los fines del análisis químico se estimó que tales condiciones se cumplieran en el retenido granulométrico entre las mallas de 4750 a 1400 micrones de abertura. Se toman cerca de siete gramos de este retenido y se muelen en mortero de ágata a polvo impalpable que inmediatamente se llevan a balanza analítica para la exacta pesada de las cantidades a disgregar, correspondientes a la solución A para determinación de cationes, otra para sílice por gravimetría y una tercera para aniones.

Después de reiterados análisis realizados a lo largo de un año, se estableció la composición media ya descrita en párrafos precedentes, con la noticia de una gran regularidad en los resultados. Esto, si bien explicaba el comportamiento de la densidad en los vidrios con mayor proporción de casco mezcla, resultaba aún más inquietante. De hecho, el enigma de tal regularidad había que buscarlo por otro lado.

Fue entonces que se tomó en cuenta la incidencia directa del mercado de envases en las propiedades químicas y físicas del vidrio obtenido. Ciertamente, el hecho de tratarse de volúmenes extraordinarios de material reciclado uniformaba las proporciones de los distintos vidrios que se producen en el país. De ellos, los porcentajes en circulación están intrínsecamente ligados al consumo de cada uno. Y se entiende que la variación de estos porcentajes es una función del tiempo de acuerdo a las tendencias del mercado. Como el vidrio total reciclado pertenece a una amplia franja de tiem-

po desde su elaboración hasta el momento de su reutilización, y el progresivo incremento de esta uniforme de manera natural la composición media, la incidencia en los cambios en los hábitos de consumo - por bruscos que fueren- se ven diluidos en el seguimiento diario hasta niveles mínimos.

Quedaba ahora buscar una explicación para el comportamiento más accidentado del vidrio con materia prima como componentes primordiales, siendo que éstas son naturalmente uniformes y sometidas a rigurosos controles de aceptación conforme Especificaciones Técnicas acordadas con los grandes proveedores. En este caso lo que decide estas oscilaciones es sin dudas el proceso de fusión y afinado. Hay que tener en cuenta que para la obtención industrial a gran escala de un vidrio hay que provocar numerosas y sucesivas reacciones que entrañan infinidad de variables fisicoquímicas: la humedad heterogénea de la composición del batch, la energía necesaria de acuerdo al caudal de extracción, la calidad irregular del combustible, la incidencia rédox de la atmósfera en la absorción calorífica, el volumen de gas de descomposición, los cambios en el tiraje de evacuación de estos gases, etc.

En el casco, la mayor parte de estos factores desaparecen, puesto que sólo hay que entregar la energía necesaria para llevar al fundido a temperatura de gota, y esto se produce de manera lineal, no a escalas, como en la formación de los progresivos eutécticos. Por otro lado, y quizá lo más importante, el casco de vidrio ya ha sido desgasificado casi totalmente y su rédox estabilizado en las fusiones previas. El contenido de humedad es mínimo, y por ende, la merma gaseosa es prácticamente nula. Es cierto que una ínfima fracción de álcali se volatiliza en cada fusión, pero ello es suplido por el balance estequiométrico de la mezcla vitrificable.

Aspectos indeseables de la reutilización creciente del casco de vidrio mezcla

Hasta aquí se han expuesto las ventajas incuestionables del uso de casco de vidrio en cantidades crecientes para un proceso continuo. Veamos ahora las consecuencias nocivas tanto para la calidad cuanto para la salubridad de esta práctica, cuando no se aplica con criterio técnico adecuado.

Lo primero que hay que señalar es que todo material de origen externo debe ser sometido a un estricto tratamiento de separación de infinidad de sustancias extrañas antes de poder ser utilizado. Las plantas más avanzadas de reciclado operan sobre la base de cintas vibradoras transportadoras por niveles, en donde en esencia se separa todo aquello no vítreo mediante distintas operaciones. Primeramente, se rompen los envases que ingresan y se les quita manualmente cerámicos, plásticos, metales, orgánicos, etc., en tanto sean advertidos por los operarios. Es obviamente, un trabajo altamente insalubre y riesgoso para el personal. Pueden producirse heridas, cortes e infecciones de múltiples orígenes. El ambiente de trabajo es frío y muy húmedo, lo cual trae inevitables consecuencias respiratorias y óseas por exposiciones prolongadas. La materia orgánica en descomposición puede producir náuseas o vómitos. La cinta continua sin el suficiente descanso por intervalos trae como consecuencia agotamiento visual,

con lo que no es igual el vidrio tratado al principio de un turno que al final del mismo. Los desechos son arrojados a canaletas laterales que confluyen en grandes cisternas abiertas del residuo semilíquido resultante.

En un segundo nivel operan los ventiladores que separan el plástico liviano, papel suelto y otras impurezas similares. A medida que se pasa de un nivel a otro, el vidrio se va fragmentando por rodillos metálicos, con lo que el tamaño de rotura es cada vez más pequeño. En un tercer nivel se produce el lavado que separa el papel o plástico pegado de las etiquetas y la suciedad: este líquido no se recupera, sino que se vierte en las cisternas referidas anteriormente y produce la humedad general de la planta. Finalmente, la cinta desemboca en los últimos rodillos del recorrido, donde el vidrio es triturado al tamaño requerido y se le separa el hierro de desgaste de los mismos por electroimán.

Entre los materiales más nocivos que no pueden ser separados por estos métodos están el plomo y el cadmio de las pinturas vitrificables, y los vestigios de mercurio de espejos y termómetros. Estos elementos, como es bien sabido, son metales pesados que el vidrio cede fácilmente en contacto con medio líquido de solvente acuoso. De hecho, para la determinación de los dos primeros, la resolución N° 55/ 92 del MERCOSUR (Normas técnicas comunes para la comercialización de productos alimenticios. Anexo: Envases y Equipamientos de Vidrio y Cerámica destinados a entrar en contacto con Alimentos) indica la utilización de Ácido Acético - presente en las bebidas alcohólicas - para determinar la migración de estas sustancias desde el vidrio. En tanto la Unión Europea restringe aún más dicha migración, extendiéndola al Mercurio y el Cromo Hexavalente a unas pocas P.P.M. en total.

Por ende, puede advertirse que estas y otras sustancias, al ingresar cada vez junto con el nuevo casco al conjunto de la mezcla vitrificable se transforman en acumulativas. De allí que deba definirse un criterio técnico limitante en esta recirculación indefinida que, lamentablemente, actualmente no existe en la Argentina.

Los organismos oficiales de Bromatología debieran exigir a aquellas empresas que funcionan en base a este proceso, un control por terceros de la presencia de metales pesados en los envases que producen y cotejarlos con los máximos que imponen las normas internacionales al respecto.

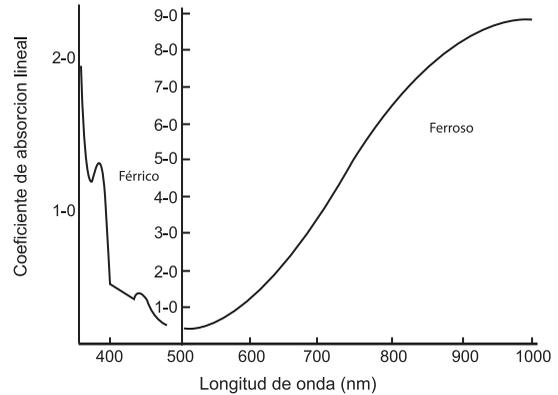
El problema de la coloración residual de los vidrios incoloros

Por último, ya referido al vidrio semiblanco, se expondrá brevemente la causa de la pobre calidad óptica de los mismos, en relación al producido en Europa y países desarrollados del resto del mundo.

A casi nadie que esté relacionado a la industria del vidrio puede dejar de llamarle la atención el fuerte reflejo verdoso de los envases "incoloros" por definición. Más cuando se los compara con los producidos en el exterior.

Sabido es que el óxido de hierro presente en todas las materias primas, por bajo tenor que tengan del mismo, desdobra en el vidrio sus estados de oxidación. El Fe₃₊ se integra a la red como formador, y absorbe fuertemente por debajo de los 400 nm de longitud de onda. En este estado apenas es apreciable la tonalidad amarillenta resultante. Sin embargo, por oxidante que sea la atmósfera de horno, siempre coexiste con el ión Fe₂₊, cuya alta y creciente banda de absorción en el infrarrojo cercano, penetra en la región visible del espectro provocando una intensa coloración verde azulada. Esta coloración se desplaza hacia longitudes menores de onda en cada nueva fusión del vidrio, con lo que éste se vuelve más azulado. A estos efectos es que se realizan las correcciones pertinentes de decoloración química (oxidando a férrico) y física por enmascaramiento con selenio y cobalto, como es de práctica habitual.

Sin embargo los vidrieros que utilizan casco de vidrio de este tipo



Coefficientes de absorción lineal de los iones ferroso y férrico. El coeficiente de absorción lineal es igual a la densidad óptica por centímetro recorrido por el haz de luz, multiplicada por el porcentaje en masa del óxido de hierro expresado como Fe₂O₃. De estos datos puede derivarse la relación ferroso/férrico, la cual indica las condiciones redox en el horno.

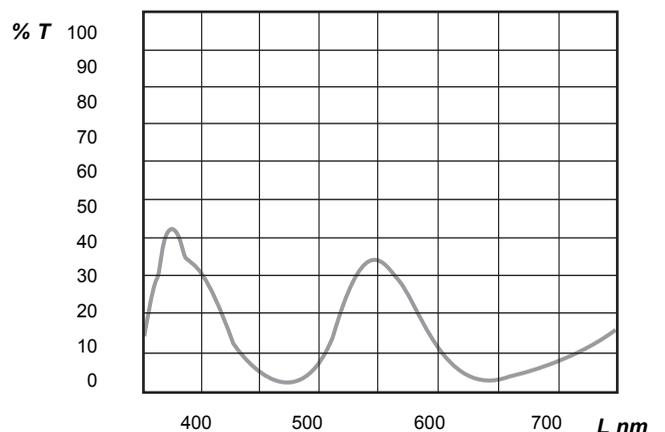
Publicac. Técn. INTEMIN N° 1: "Arenas para la Industria del Vidrio" 1994

como parte importante de sus mezclas vitrificables encuentran que la decoloración eficaz es casi imposible.

Si hemos de atenernos al tenor de hierro total, expresado como Fe₂O₃, como magnitud aditiva de las cinco materias primas que se utilizan en la elaboración del vidrio incoloro, de acuerdo a Especificaciones Técnicas medias, éste no debería sobrepasar las sesenta y cinco milésimas por ciento (0,065 % Fe₂O₃). Aún siendo éste un valor límite, no obsta para que su decoloración en los grandes hornos balsa de fabricación automática sea medianamente satisfactoria. El Selenio puede enmascarar, con correctivo de óxidos de Cobalto, esta cantidad sin grandes dificultades. Una proporción mayor de Sulfato o de otros agentes oxidantes corrige el estado Rédox del Ferroso / Férrico, en atmósfera con leve exceso de O₂. No obstante, la intensidad del tono verde amarillo que presentan actualmente los envases semiblanco escapa de los datos y condiciones descritas.

La acción decolorante óptica del Selenio se pierde de una fusión a otra. Esto es debido a la elevada volatilidad de este elemento. Pero el tono que debiera observarse entonces es el verde azulado, tal como presenta el Hierro en fusiones sucesivas, sin corrección de su estado de oxidación. El verde amarillo intenso nada tiene que ver con el tono esperable del óxido de Hierro total, así se encuentre su mayoría al estado férrico, puesto que la cantidad no lo justifica.

El causante de este color parasitario no es otro que el óxido de



Medición realizada por el autor, sobre una probeta de vidrio verde claro de Cromo a 10 mm de espesor.

romo, cuyo poder colorante es alrededor de diez veces superior o más. Mediciones espectrofotométricas por método C.I.E. 31, revelan la curva de transmitancia de este elemento en el vidrio, incluso a la baja sensibilidad de su concentración en el semiblanco, con un máximo definido entre los 548 y 554 nm de longitud de onda.

¿Cómo ha aparecido el cromo allí? Hay más de una respuesta

Lo primero y principal es una práctica poco feliz de algunas grandes industrias. Ya se ha mencionado la influencia directa del Mercado en la estabilidad química del casco de vidrio mezcla. He aquí que nuevamente el Mercado condiciona la estabilidad, pero esta vez negativamente.

El hecho es puntual y sencillo. El autor ha observado más de una vez lo que sucede: de acuerdo a lo establecido, primero por la experiencia y luego por cálculos específicos de gradiente térmico, los vidrios incoloros requieren un nivel de cuba en hornos industriales de 85 cm a 1 m de profundidad, según el tamaño del horno. El gradiente térmico de estos fundidos a Log 3 van desde 1,65 a 1,72 °C / cm, siendo los más transparentes a la radiación calorífica. Un vidrio verde esmeralda, a causa de su elevada absorción calorífica de 3,9 a 4,5 °C / cm, no puede superar los 60 cm de nivel de cuba, y aún así, el piso está por debajo del punto de fluidez (Log 5).

Incluso aceptadas estas condiciones elementales, ocurre que en reiteradas oportunidades, según las necesidades de producción, en hornos adecuados a fundido incoloro se programa un cambio de color al verde esmeralda, o lo que es peor todavía, a verde oliva, cuya absorción es mayor. Si se toma en cuenta que a partir de los 60 cm de profundidad el vidrio apenas fluye, y que el paso de tanque de fusión a tanque de trabajo es a ras del piso del horno, hay que bajar el nivel del fundido hasta lograr las corrientes de convección necesarias para la homogeneización y afinado. Pero el problema sobreviene cuando en el mismo horno se retorna de forma continuada al incoloro y se eleva el nivel a la altura de trabajo previa. No es difícil imaginar las consecuencias: el vidrio verde del piso (frío y de densidad mayor), apenas es lavado por el sobrenadante incoloro, aunque lo suficiente para teñir, durante muchísimo tiempo, de color verde amarillo brillante el resto del fundido presente en el horno. Como el cromo en cualquiera de los dos estados de oxidación (Cr₆₊ y Cr₃₊), transmite luz que abarca buena parte del espectro visible, la decoloración química no es posible por los métodos convencionales, y dada su intensidad, escapa también al enmascaramiento óptico por sustancias que desarrollen colores complementarios al azul verde del óxido Crómico (Cr₂O₃) y / o al Cromato amarillo (CrO₃).

Una determinación cromométrica en una muestra de vidrio semiblanco de envase de una conocida línea de gaseosas, cuya tonalidad verde amarilla era por demás acentuada, efectuado en agosto del 2006 con Difenil-Carbazida por el método de Cazeneuve arrojó un tenor de Cromo, expresado en Cr₂O₃ de 0,009 %, el cual es un valor inusualmente alto que no puede ser aportado por ninguna de las materias primas corrientes.

Lo segundo es una consecuencia ineludible de lo antedicho. El casco de vidrio semiblanco que contiene cromo, va contaminando acumulativamente el resto de los hornos que producen este material. Así, pues, el resultado es el que se observa en gran parte de los artículos de vidrio hueco, con las consecuencias sobreentendidas de estándares bajos de calidad que se multiplican luego en cada producto que utiliza ese material de tantas bondades como se expuso al principio, y acaba resultando el principal responsable de la desigual competencia frente a los mismos artículos importados, cuyo único secreto es atenerse a un criterio de elaboración uniforme de mejora continua y principios elementales de fabricación de vidrio incoloro.

Conclusión

Como corolario de todo lo expuesto, demostrando por un lado los enormes beneficios de la reutilización del vidrio reciclado de la

industria de envases, dada su uniformidad química y física a macroescala, junto a los procesos cada vez más rigurosos de clasificación y tratamiento del mismo, hay que reconsiderar su importancia a nivel técnico en la bibliografía especializada relacionada con la industria del vidrio, como materia prima mayoritaria. Por otro lado, es imperioso abandonar las prácticas viciosas carentes de criterios mínimos tecnológicos a nivel industrial, dado que se está llegando a un punto de irreversibilidad de la calidad del material, junto a las peligrosas consecuencias para la salud que conlleva la cesión de metales pesados acumulativos, fuera ya del máximo tolerable por las normas de salubridad internacionales para artículos de menaje y envases de alimentos líquidos de almacenamiento prolongado.

Una alternativa llevada adelante con éxito durante más de siete años, desarrollada y dirigida por el autor en grandes empresas del rubro alternativamente, con patente de invención incluida, contempla todas estas variables y permite obtener un vidrio de calidad creciente en cada ciclo, con disminución drástica de los componentes nocivos, tomando una composición base que incluye desde un 80 a un 90 % de vidrio roto mezcla - sin discriminación de colores mayoritarios - y permite obtener una gama estandarizada de coloraciones que va desde los 500 a los 580 nm de longitud de onda dominante por inducción Rédox.

En cuanto al vidrio semiblanco, está en desarrollo un procedimiento de decoloración química con resultados parciales altamente satisfactorios en hornos balsa de extracción continua de mediana capacidad.

Del máximo aprovechamiento del casco de vidrio con mejora continua de la calidad depende en gran medida la subsistencia de muchas empresas que, hoy por hoy, no pueden hacer frente a sus pares de origen asiático, sea en costos, volumen de producción o calidad final.

Bibliografía e información consultada (por orden de edición)

- Tratado de Química Analítica. F.P. Treadwell, W.D. Treadwell. Manuel Marín & Cía 956
- Fundamentos Físico-Químicos de la Fabricación del Vidrio. Hermann Salmang. Aguilar 1962
- The Handbook of Glass Manufacture. F. V. Tooley. Books for Industry 1974
- Química Adolfo Beguet. Cesarini Hnos. 1976
- Manual de Física B.M. Yavorsky, A.A. Detlaf. Ediciones Cientec 1977
- Colour generation and control in Glass C. R. Bamford. Elsevier 1977
- Los Vidrios. Eduardo A. Mari. América Lee. 1982
- Metalurgia y materiales para construcciones mecánicas. José L. Ferro. Cesarini Hnos. 1982
- International Sieve Chart. Catálogo de Cernidores para Granulometría (ISO 565: TBL 2) 1983
- El Vidrio. José María Fernández Navarro. C.S.I.C. Instituto de Cerámica y Vidrio Madrid 1985
- Método para la Medición de Color de los Vidrios. Octavio Piccinini. Documentación personal.
- Fundamentos de Química Analítica. Douglas A. Skoog, Donald M. West. Reverté 1988
- Arenas para la Industria del Vidrio. Ana M. Celeda y Eduardo A. Mari. Public. Téc. INTEMIN N° 1 1994
- El ciclo de la Tierra. Eduardo A. Mari. Fondo de Cultura Económica. Bs. As. 2000.

Revistas: Vidrio Latinoamericano, Glass Technology, Cerámica y Cristal, Vidriotecnia, Artículos diversos.

Internet:

www.infoecologia.com.ar www.ceamse.gov.ar www.inti.gov.ar
Sitios varios relacionados a reciclado de vidrio y su utilización en el mundo, índices de consumo, industria del vidrio, físico-química, óxido-reducción, hornos industriales, óptica y teoría de color, etc.

Instituciones oficiales consultadas:

INTEMIN CIDEMAT IRAM

Consultas personales y agradecimientos:

Dr. Octavio Piccinini (entre 1992 y 1997), Dr. Eduardo Mari (mayo de 1997), Lic. Ricardo Hevia (mayo de 1997), Ing. Carlos Villarejo (entre 1990 y 2001), Sr. Luis Angel Parente (entre 1990 y 2001), Ing. Septimio Ricciuti (1995 a 1998), Lic. Carlos Solier (mayo de 1997 y abril de 2004), Arnoldo Alonso Ibáñez (julio de 2007).



FABRICA DE PRODUCTOS QUIMICOS INDUSTRIALES

TELEFAX: 4651-3083
YERUA 2629 (1754) SAN JUSTO - BUENOS AIRES

ACETATOS de Cobalto, Cobre, Níquel y Sodio.
ALUMBRES de Amonio y de Potasio.
ALUMINATO de Sodio.
CARBONATOS de Cobre y de Níquel.
FOSFATOS (Disódico y Trisódico).
NITRATOS de Cobalto, Hierro (Férrico) y Níquel
SULFATOS de Cobre, Hierro (Ferroso) y Níquel.
OXIDOS e HIDRÓXIDOS de Cobre, Hierro y Níquel.



BONET ARGENTINA
COLORIFICIO CERAMICO

Viamonte 3954 (B1824LYF) Lanús Oeste - Bs. As. Argentina
Tel.: (54-11) 4228-8234 / 61
E-mail: ccbonet@ccbnet.com.ar

CARBANY

Esmaltes Vitrificables

- Esmaltes para vitrofusión
- Pintura sobre porcelana
- Esmaltes sobrecubierta para 750°C
- Esmaltes para metales (cobre - oro - plata)
- Esmaltes para cerámica artística
- Fritas, flux, fundentes
- Oxidos - pigmentos - vehiculos
- Esmaltes sin plomo para vajilla
- Brillantes - satinados - mates - opacos - transparentes

El Rosedal 14 Esq. Dardo Rocha - (1836) Llavallol
Tel.: (15) 4066-4657 y 4231-7482
carbany@hotmail.com www.carbany.com.ar

CERTEC S.R.L.
Productos & Servicios Cerámicos

Pigmentos para Cerámica y Enlozado
Asesoramiento en Desarrollos Especiales

Gral. Martín de Güemes 5277 (1603) Villa Martelli, Pcia. de Buenos Aires.
Tel./Fax: (011) 4709-9622 / 6197
www.certecsr.com / e-mail: certec@arnet.com.ar

BARBOTINA ROJA - BARBOTINA BLANCA - PASTAS LISAS
PASTAS CON CHAMOTE - ARCILLA TINCAR - CUARZO
FELDESPATO - CARBONATO DE CALCIO - DOLOMITA
BENTONITA - PIGMENTOS - ESMALTES - OXIDOS
ARCILLAS - REFRACTARIOS - HORNOS - TORNOS
PINCELES - HERRAMIENTAS PARA ESCULTURA Y CERAMICA



El Rincón del Ceramista®

M. Acosta 253/269 (1714) ITUZAINGO
Tel/fax: 4661-4553

E-mail: elrincondelceramista@fullzero.com.ar

ENVIOS AL INTERIOR • ENTREGAS A DOMICILIO



Oxido de hierro
"cromos"
grado pigmento

Cooperativa de Trabajo
Química del Sur Ltda.

Av. Rigolleau 2036 (1884) Berazategui
Tel.: 4256-1221 (líneas ROTATIVAS) Fax: 4216-3113
quimicadelsur@speedy.com.ar www.coop-quimicadelsur.com.ar

VEAHCOLOR
Materiales para Arte en Vidrio

VITRAL - TIFFANY - VITROFUSION



- herramientas - químicos - pulidoras
- productos para vitrofusión - hornos
- cintas de cobre y varillas de plomo
- pies y accesorios para lámparas
- libros y videos

MÁS DE 500 VIDRIOS NACIONALES E IMPORTADOS EN STOCK

Dr. E. Ravignani 1355 Capital Federal tel. (011) 4899 0455 www.veahcolor.com.ar
Muñoz 1644 San Miguel tel. (011) 4451 3983 ventas@veahcolor.com.ar



TECNOLOGIA DEL VIDRIO

FORMULACIÓN, DESARROLLO y PROCESO

GABRIEL ADRIAN BORSELLA

Tecnólogo Químico y Físico



Avda. 14 N° 5563 - (1884) Berazategui- Buenos Aires- Argentina
Tel.: (54-11) 4216-4339