

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

FACULTAD DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES



ESTUDIO DE RECICLAJE DEL VIDRIO PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO

TESIS

PRESENTADO POR:

- **Bach. HUAMAN ALIAGA, Mabel Yobana**
- **Bach. ROJAS ORELLANA, Yuzzelly**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA Y DE MATERIALES**

**HUANCAYO – PERU
2009**

ASESOR:
Ing. MARIO CERRÓN MADUEÑO

Dedicado de manera especial a mis padres por su apoyo incondicional en el logro de mis metas.

Yuzzelly

A mis queridos padres y a Juan Carlos, por su constante apoyo en mi formación profesional

Mabel

AGRADECIMIENTO

Nuestros sinceros agradecimientos a la primera casa superior de estudios: Universidad Nacional del Centro del Perú y en particular a la Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales; en cuyas aulas adquirimos conocimientos y recibimos consejos que hicieron posible alcanzar nuestro anhelado sueño profesional.

Del mismo modo agradecemos al Ing. Mario Cerrón Madueño, por su valiosa enseñanza e incondicional apoyo en el asesoramiento del presente trabajo de investigación.

Manifestamos también nuestro profundo agradecimiento a nuestros familiares y personas allegadas a nosotras, quienes con su ejemplo y perseverancia nos mostraron el camino para alcanzar nuestras metas trazadas.

ESTUDIO DE RECICLAJE DEL VIDRIO PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO

RESUMEN

HUAMAN ALIAGA, Mabel Yobana- ROJAS ORELLANA, Yuzzelly

Se reporta un estudio cuasi-experimental del reciclaje de vidrio para elaborar nuevos productos tales como: el vidrio soluble, vidrio sodocalcico y borosilicato; las cuales se fabricaron utilizando como materia prima los envases de vidrio reciclados, fundentes, álcalis y estabilizantes.

Los envases ya usados pueden fundirse a una temperatura menor para fabricar nuevos productos, lográndose con ello la protección del medio ambiente. Se seleccionó en forma aleatoria una muestra de 100 envases, a las cuales se les aplicó la selección por colores y el análisis químico para obtener información.

Los resultados obtenidos muestran que tenemos materia prima en abundancia y podemos obtener diversos productos a base del vidrio reciclado.

INTRODUCCIÓN

SEÑOR PRESIDENTE DEL JURADO

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO

Tenemos el honor de poner a consideración del ilustre jurado el presente trabajo de investigación intitulado “ESTUDIO DE RECICLAJE DEL VIDRIO PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO”, con la finalidad de optar el título profesional de Ingeniero Metalurgista y de Materiales.

El problema que ha motivado nuestra investigación esta formulado de la manera siguiente: *¿Qué tipo de productos se obtendrá a partir del reciclaje de desechos de vidrio?* Así mismo, el objetivo general que ha orientado el estudio es: *Reciclar vidrios para obtener productos de uso domestico e industrial* y de este modo preservar el medio ambiente. Y, la hipótesis que se ha demostrado es: *Se obtendrán vidrios de uso domestico e industrial reciclando desechos de vidrio.*

El presente estudio ha sido dividido en cuatro capítulos, en los que se ha abordado aspectos teóricos, metodológicos y prácticos de la

investigación. Así, en el capítulo I, denominado Generalidades, se aborda la ubicación y accesibilidad, disponibilidad de suministros, estudio de mercado, análisis de la demanda, análisis de la oferta y la demanda proyectada. En el capítulo II, llamado Marco teórico, se trata sobre los antecedentes, bases teóricas-científicas, definición de términos básicos y normalización. En el Capítulo III, signado como Diseño del horno, se aborda el estudio y selección de refractarios. En el Capítulo IV, llamado Ingeniería del Proyecto, se aborda la ingeniería de proceso de fabricación de vidrios, diagrama de flujos y esquema, balance de materia y energía. En el Capítulo V, llamado resultado y discusión, se aborda a la descripción de la experimentación, presentación, sistematización, análisis e interpretación de datos, contrastación de hipótesis y discusión de resultados.

Luego presentamos las conclusiones, sugerencias, fuente de información y anexos.

Antes de rubricar esta introducción, estimamos convenientes agradecer muy de veras, a las personas e instituciones que nos han permitido elaborar este estudio; de manera muy especial, a nuestra familia quienes han contribuido en nuestro desarrollo profesional.

LAS AUTORAS.

ÍNDICE

ACTA DE SUSTENTACIÓN
ASESOR
DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO
RESUMEN
INTRODUCCIÓN
INDICE

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	11
1.2 CLIMA	11
1.3 DISPONIBILIDAD DE SUMINISTROS	12
1.4 RECURSOS NO METÁLICOS	12
1.5. ESTUDIO DE MERCADO	13
1.6 ANTECEDENTES Y LIMITACIONES	15
1.7 ANÁLISIS DE LA DEMANDA	16
1.8 USOS ESPECÍFICOS DEL PRODUCTO FINAL	19

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO (VIDRIO)

2.1 ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	22
2.2 NORMALIZACION DE LAS MATERIAS PRIMAS PERUANAS USADAS EN LA FABRICACION DEL VIDRIO	43

CAPÍTULO III
DISEÑO DEL HORNO

3.1 ESTUDIO Y SELECCIÓN DE REFRACTARIOS: DISEÑO DEL HORNO	45
--	----

CAPITULO IV
INGENIERÍA DEL PROYECTO

4.1 INGENIERÍA DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE VIDRIOS	61
4.2 DIAGRAMA DE FLUJO Y ESQUEMA	66
4.3 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	67

CAPITULO V
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 DESCRIPCION DE LA EXPERIMENTACION (INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES)	107
5.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	110

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

FUENTES DE INFORMACIÓN

ANEXOS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La planta piloto Metalúrgica de Yauris, propiedad de la Universidad Nacional del Centro del Perú, se encuentra ubicada cerca de la Urb. Pio Pata en el distrito de El Tambo; provincia de Huancayo, departamento de Junín. A una altitud de 3200 m.s.n.m, en la margen izquierda del río Mantaro.

El acceso a la planta es mediante una carretera afirmada accesible a la carretera central y la vía ferroviaria que hace posible la venta de los concentrados de minerales y otros productos por la planta piloto metalúrgica; especialmente a la ciudad de la Oroya como a la de la capital.

1.2 CLIMA

El clima es templado seco, frío lluvioso por encontrarse geográficamente en la región Quechua. En tiempo de invierno se manifiesta entre los meses de Diciembre a Marzo donde existe mucha precipitación la cual perjudica los trabajos de la planta. En época de verano es templado y seco, la humedad disminuye y los días se hacen calurosos llegando de 18 a 20 °C y las noches frías llegando de 4 a 7 °C.

El relieve topográfico de la zona se halla en la extremidad meridional de una llanura, que es cubierta por abanicos- afluentes de grava y el valle esta escalonado por terrazas.

1.3 DISPONIBILIDAD DE SUMINISTROS

El agua que se emplea en las operaciones de la planta es abastecida por SEDAM-HUANCAJO. En las instalaciones de la planta existe un tanque de agua de 5.34 m³ de capacidad, es el reservorio de agua utilizado en los procesos de operaciones de la planta, que es bombeado a un tanque secundario ubicado al lado derecho de la cancha de almacenamiento y que este es suministrado a la planta de procesamiento.

La energía eléctrica actualmente es suministrada por Electrocentro llegando a un transformador trifásico de 100 KVA de donde es distribuida para toda la planta.

1.4 RECURSOS NO METALICOS

Todo recurso natural posee ciertas cualidades inherentes que derivan de su propia naturaleza. Los recursos no metálicos, específicamente cuando pensamos en el vidrio nos imaginamos un sólido con una rigidez y elasticidad comparables a las del acero, pero con ciertas propiedades mecánicas que limitan sus aplicaciones; como por ejemplo que no tiene ductibilidad, ya que no se deforma a temperatura ambiente, y que si tratamos de cambiar su forma aplicando una fuerza, lo único que logramos es que se rompa. En realidad es un material duro pero frágil al mismo tiempo, y algo que refuerza esa debilidad es la presencia de imperfecciones superficiales, como astilladuras o ranuras.

El vidrio es un material totalmente reciclable y no hay límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado. Al reciclarlo no se pierden las propiedades y se ahorra una cantidad de energía de alrededor del 30% con respecto al vidrio nuevo.

Para su adecuado reciclaje el vidrio es separado y clasificado según su tipo el cual por lo común está asociado a su color, una clasificación general es la que divide a los vidrios en tres grupos: verde, ámbar o café y transparente. El proceso de reciclado luego de la clasificación del vidrio requiere que todo material ajeno sea separado como son tapas metálicas y etiquetas, luego el vidrio es triturado y fundido junto con arena, hidróxido de sodio y caliza para fabricar nuevos productos que tendrán idénticas

propiedades con respecto al vidrio fabricado directamente de los recursos naturales. En algunas ciudades del mundo se han implementado programas de reciclaje de vidrio, en ellas pueden encontrarse contenedores especiales para vidrio en lugares públicos.

1.5 ESTUDIO DE MERCADO

1.5.1 Finalidad:

Con el estudio de mercado se trata de observar y determinar con carácter técnico si los desechos de vidrio cumplirán ciertos requisitos para la elaboración de productos de uso doméstico e industrial.

Esta facilidad de reutilización del vidrio abre muchas posibilidades para que la sociedad y la humanidad en general puedan gestionar de una manera fácil reparación, conservación y mejoras al medioambiente. El vidrio para envases es el vidrio utilizado para la fabricación de frascos, materiales de laboratorio, silicato de sodio, etc.

1.5.2 Metodología:

De manera general todo estudio de mercado necesita contemplar los siguientes elementos o consideraciones:

a) Características del mercado

- Especificaciones técnicas (normas y estándares universales).
- Dar a conocer los nombres técnicos como comerciales.

b) Usos específicos y usuarios:

- Quienes compran o usan dichos productos.
- Para qué sirven.
- Hábitos del consumidor.
- Si el producto es una materia prima, bien intermedio o producto final.

c) Áreas Geográficas:

- Qué zona de influencia ha de tener el producto.
- Si el reciclaje dará trabajo directo o indirecto a una determinada población y en qué porcentaje.
- Posibilidades de elaborar los productos.

d) Producción Existentes:

- Número de plantas recicladoras en la ciudad y capacidad instalada de las mismas.
- Tecnología que se utilizará.
- Antigüedad de las plantas existentes.
- Grado de aceptación del reciclaje en el mercado.

e) Balance entre Oferta y Demanda

- Sirve para determinar la demanda insatisfecha.

1.6 ANTECEDENTES Y LIMITACIONES

La idea esencial de nuestro proyecto Estudio de reciclaje del vidrio para la elaboración de productos en la ciudad de Huancayo, consiste en la recuperación y/o reciclado de envases de vidrio para que sean reutilizados y fabricar nuevos productos, utilizables para las necesidades de las personas. Con ello se reduce la contaminación porque en los Botaderos de Basura, sería menor la cantidad de basura inorgánica que estaría ingresando, lo cual contribuye a la conservación del medio ambiente.

En nuestra investigación hemos encontrado, que el vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Especialmente el envase de vidrio que es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero. Está facilidad de reutilización del vidrio abre muchas posibilidades para que la sociedad y la humanidad en general puedan gestionar de una manera fácil reparación, conservación y mejoras al medioambiente. El vidrio para envases es el vidrio utilizado para la fabricación de frascos y botellas.

El vidrio para envases es el único vidrio que en la actualidad se recicla en grandes cantidades. El vidrio de ventanas, bombillos, espejos, platos de cerámica, vasos, recipientes para el horno y fibra de vidrio no es

reciclable junto con el vidrio de envases, y se considera contaminante en el reciclaje de los mismos. Los frascos o las botellas de vidrio son únicos en la industria de los reciclables.

El estudio tiene muchas limitaciones, siendo la principal la de obtener la información que ofrezca todo crédito, por cuando sucedía con frecuencia de que la información que se publicaba no se ajustaba a la realidad, ésta tenía que ser verificada y corregida.

Este hecho curioso se explica por la tendencia de los empresarios, industriales, técnicos y personas que laboran en vidrio, de tratar de alterar la información, por temor a la competencia, manteniendo en secreto las características, técnicas requeridas para esta industria. Por tal motivo, en muchos casos, nos limitaremos a considerar solamente la información procedente de organismos estatales, para ajustarse más a la realidad.

En forma general y venciendo las dificultades, se obtuvo información a través de personas vinculadas a esta industria, lográndose con ello, en la medida de las posibilidades, el estudio de mercado y de ingeniería del proyecto que enfocamos. Después de un chequeo estadístico, se incluye un mercado apreciable que ofrece las garantías suficientes para justificar su fabricación.

1.7 ANALISIS DE LA DEMANDA

A. Definición del producto:

La consideración más específica a la hora de comercializar el vidrio, es la necesidad de realizar una separación por colores. Los colores más frecuentes son: verde, marrón e incoloro. En la industria del vidrio, el verde se denomina esmeralda, el marrón es el ámbar y el incoloro es el blanco. Con el fin de que las botellas y los frascos cumplan las estrictas especificaciones del fabricante, solamente puede usarse el vidrio esmeralda o el ámbar para fabricar botellas verdes o marrones, respectivamente.

Utilizar el vidrio de los envases para fabricar nuevos productos favorece la conservación de la energía y reduce los costos de fabricación. El reciclaje de los envases de vidrio tiene un impacto mayor sobre la mejora de los programas de reciclaje para residuos sólidos que sobre la reducción de los requisitos de recolección y evacuación de residuos.

Desde el punto de vista de su aplicación, el vidrio se clasifica en industrial y doméstico:

- Se entiende como vidrio industrial el vidrio que no es utilizado como envase para productos alimenticios (almacenamiento de productos químicos, biológicos, vidrio plano: ventanas, cristales blindados, fibra óptica, bombillas, etc.).
- Se entiende como vidrio doméstico el que se emplea para almacenar productos alimenticios (conservas, vinos, yogures,

etc.); aunque de una manera más generalizada, es el vidrio que el ciudadano deposita en los contenedores destinados a este fin.

B. Ubicación geográfica:

La ciudad de Huancayo se encuentra a una altura aproximada de 3200 metros sobre el nivel del mar en la zona centro del Perú, abarcando tres distritos.

La ciudad por su ubicación estratégica tiene conexión con la Capital del Perú, cuenta con acceso por vía terrestre, a través de autos, camiones, ómnibus y también por vía férrea.

Tiene una superficie de 44 197.23 Km².

La ciudad de Huancayo está dividida en tres distritos:

DISTRITO	SUPERFICIE KM ²
• Huancayo	248.52
• Chilca	8.30
• El tambo	73.56

1.8 USOS ESPECÍFICOS DEL PRODUCTO FINAL

El vidrio tiene una gran variedad de aplicaciones en la industria donde han adquirido un notable desarrollo, principalmente debido a investigaciones físico-químicas que han descubierto nuevas fórmulas de composición. Actualmente el vidrio tiene una infinidad de usos, tanto en la industria de la construcción, como en industrias dedicadas a la fabricación

de productos farmacéuticos, cosméticos y productos alimenticios en general.

Los silicatos de sodio tienen muchas propiedades útiles que no comparten otras sales alcalinas. Esto, junto con el hecho de que tienen bajo costo, da como resultado un amplio campo de uso en diferentes industrias. Son utilizados en la industria como adhesivos, detergentes, ingredientes en compuestos de limpieza, cementos, binders, capas protectoras y peculiares, ayuda coagulante, anticorrosivos, bases de catalizadores, defloculadores, insumos químicos, zeolitas, etc. Las diferentes propiedades y características funcionales de los silicatos solubles pueden ser utilizadas para resolver eficiente y económicamente muchos problemas que surgen en procesos industriales y químicos.

En la actualidad existe producción de vajillas, no solamente de vidrio sino de cerámica vidriada, plástico, fierro enlosado, melanine y loza, ya sea común o fina (importada) de Inglaterra, China o Japón.

Como se observará en este panorama las vajillas de vidrio producidas en el país son de costo relativamente más bajo que los productos anteriores; además, el bajo costo de las materias primas nacionales, así como algunos insumos tales como la soda Ash y la criolita sintética y la fácil tecnología, permiten productos de cualidades físicas y químicas aceptables.

El borosilicato destaca por su durabilidad y resistencia a los ataques químicos y las altas temperaturas, por lo que se utiliza mucho en utensilios de cocina, aparatos de laboratorio y equipos para procesos químicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO (VIDRIO)

2.1 ANTECEDENTES Y GENERALIDADES:

2.1.1 Historia

Las primeras piezas de vidrio fueron encontradas en Babilonia y otras ciudades importantes de Mesopotamia y que datan aproximadamente unos 500 años a.c, se cree que estos vidrios antiguos son restos de esmaltes o fritas preparadas para revestir y decorar los objetos de cerámica. No se sabe que momento el vidrio dejó de ser un elemento decorativo de la cerámica para ser trabajo como material independiente, pero hay restos que indican que en la Mesopotamia ya alrededor de 2100 años a.c, se fabricaban objetos de vidrio con una técnica similar a la de la cerámica, se realizaba, con la mezcla pastosa aunque no completamente fundida. La brillante y variedad de los colores

obtenidos les daba el valor similar al de las piedras preciosas, estos fueron los factores que ayudaron a la difusión de estos vidrios primitivos, principalmente a Egipto y su área de influencia.

Durante el siglo XVIII A.C. el vidrio en Egipto tuvo un particular desarrollo se dice que el faraón TUTMOSIS III (1504-1450 A.C.) al someter a Caldeos, Asirios y otros pueblos de Mesopotamia, llevó hacia Egipto a muchos artesanos vidrieros dándoles grandes facilidades para desarrollar sus trabajos. Se conservan de aquella época perlas y cuentas de vidrios de colores, así como pequeños recipientes y vasos de diversas formas.

La imitación de piedras preciosas agregando diferentes colorantes oxidantes era uno de los objetivos principales, así como la elaboración de artículos, adornos personales, amuletos, figuras humanas, animales pequeños, recipientes destinados a contener aromas y esencias preciada, en general se trataban de objetos de vidrio opacos no transparente. Para su fabricación se partía siempre de barras o varillas obtenidas por fusión de la frita o mezcla de materia (arena, cenizas, nitro, etc.), fundidas en pequeños crisoles o moldes.

Así se fue difundiendo por todo el mundo antiguo, en Grecia no llegó a florecer una artesanía vidriera importante luego de un periodo de decadencia, la artesanía del vidrio egipcio volvió a florecer en Alejandría, pero contando ya con dos competidores, los Fenicios y los Romanos;

fueron los Fenicios probablemente llevados por su espíritu comercial los más aventajados herederos de la artesanía vidriera egipcia, fundamentalmente por contar con arenas silíceas excepcionalmente aptas.

2.1.2 Definición:

El vidrio es un producto inorgánico constituido generalmente por sílice duro frágil y transparente de elevada resistencia química y deformable a altas temperaturas. El vidrio también es una sustancia compacta físicamente uniforme que se encuentra en un estado amorfo no cristalino y estructuralmente desordenado con punto de fusión variable y no definido.

Según la tabla periódica el grupo más importante de compuestos que dan lugar a los vidrios es el de los óxidos, ya que dentro de él quedan comprendidos los principales formadores de vidrio de interés técnico e industrial. Aunque los óxidos como: B_2O_3 ; SiO_2 ; GeO_2 ; P_2O_5 ; As_2O_5 ; As_2O_3 ; Sb_2O_5 ; V_3O_5 ; SO_3 ; pueden congelarse en estado vítreo, solo (unos pocos) tienen verdadera importancia, estos son principalmente el SiO_2 y el B_2O_3 . Todos ellos poseen la aptitud de formar vidrios no sólo aisladamente sino mezclados con otros óxidos metálicos, como los alcalinos, alcalinos térreos y la alúmina que por sí mismo no son susceptibles de ser congelados en estado vítreo, pero que pueden reaccionar con aquellas formando una fase vítrea.

El vidrio también es un producto inorgánico cuyo mayor componente es el ácido silícico con diversos óxidos metálicos que se forman por la fusión de los componentes y constituyen a temperaturas muy altas, una masa fluida que se convierte en plástico antes de congelarse y que una vez solidificada, resulta transparente, translúcida coloreada o incolora, poseyendo siempre un brillo característico y presentando fractura concoidea.

El vidrio es un silicato doble formado por un silicato alcalino combinado con otros o térreo; solamente así resulta un producto fusible y resistente a la acción de los diversos agentes. Aún cuando unas bases pueden ser reemplazadas por otras esta sustitución altera profundamente las propiedades del producto.

Definición según A.S.T.M. (1037) que el vidrio es un producto inorgánico fundido que se ha enfriado hasta un estado rígido sin experimentar cristalización.

2.1.3 Etimología:

El vidrio deriva de la palabra latina vitrum (vidrio), se han derivado también en las diferentes lenguas como:

Catalán : vidre

Italiano : vetro

Portugués: vidro

Francés : verre

2.1.4 Composición y tipos de vidrio.

Las materias primas empleadas para la fabricación del vidrio se clasifican siguiendo un criterio empírico basados según su punto de fusión las cuales son:

INORGANICO	Elementos	No metálico: S, Se. Metálicos: Au - Si, Pt - Pd, Cu - Au
	Óxidos	SiO ₂ , B ₂ O ₃ ; P ₂ O ₅ SiO ₂ - Na ₂ O; B ₂ O ₃ - Al ₂ O ₃ - CaO
	calcogenuros	As ₂ S ₃ ; GeSe ₂ , P ₂ S ₃
	Halogenuros	BeF ₂ , PbCl ₂ ; AgI.
	Oxisales	HKSO ₄ , Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O; Ca(NO ₃) ₂
	Oxinitruros	Si ₃ N ₄ - Al ₂ O ₃ -SiO ₂ ; AlN- Y ₂ O ₃ -SiO ₂ .
ORGÁNICOS MIXTOS		Algunas siliconas
ORGÁNICAS		Glicoles, azúcares, polímeros (Polietileno, poliestireno, poliamidas, etc.)

2.1.5 Materias primas para la fabricación:

La industria del vidrio exige tres requisitos fundamentales de las materias primas que utilizan y estas son:

- a) Cantidades suficientes y suministro interrumpido como para alimentar en forma continua los hornos de fusión.
- b) Calidad dentro de las especificaciones establecidas para cada tipo de vidrio y constante a lo largo del tiempo.

- c) Economicidad que permita mantener los costos de producción más bajos.

Las materias primas se pueden clasificar de acuerdo a sus propiedades que desarrollan para la elaboración del vidrio, siendo las principales las siguientes:

2.1.5.1 Formadores:

1. Arenas y cuarzos.

Ambos productos introducen en el vidrio su componente principal, la Sílice (SiO_2 o bióxido de silicio). Las arenas son el producto de la disgregación natural de minerales silíceos y otros, por ende las adecuadas para la industria del vidrio son las que contienen mayor porcentaje de sílice (en forma de cuarzo) y un mínimo de otros componentes considerados como impurezas (las más importantes, el óxido de hierro, FeO ó Fe_2O_3)

Se encuentran yacimientos de arena silíceos generalmente en las costas de los ríos y lagunas, y en terreno de origen sedimentario a escasa profundidad, distribuidos en todo el mundo.

El cuarzo es un mineral compuesto básicamente por sílice (SiO_2). Se encuentra en yacimientos junto con otros minerales, principalmente feldespato y mica, constituyendo las pepmatitas.

La industria del vidrio depende, tradicionalmente, del suministro de grandes cantidades de arena sílicea cuya calidad se especifica sobre la base de los tres criterios mencionados:

a. Análisis químico:

El punto más importante es el contenido de hierro, expresado por lo común como porcentaje de Fe_2O_3 (óxido férrico), aun cuando el hierro pueda encontrarse en otro estado de oxidación. Este elemento imprime al vidrio una coloración verdosa amarillenta más o menos intensa, según su tenor y su estado de oxidación. La coloración de la arena ya es un indicio de su contenido en hierro; cuanto mayor es éste, más oscura es aquella.

No existen especificaciones aceptadas internacionales, y según el tipo de vidrio se admiten mayores porcentajes de hierro. Además del valor del porcentaje de Fe_2O_3 proporcionado por el análisis químico, conviene llevar a cabo ensayos de fusión, para poder prever con que color se obtendrá el vidrio; es muy común hacer patrones de vidrios con distintas cantidades de óxido de hierro. Las arenas pueden contener otras impurezas (Al_2O_3 , CaO , TiO_2 , etc.), pero no revisten tanta importancia como el Fe_2O_3 . Como pérdida por calcinación (en su mayor parte humedad), se admite un 0.5 a 1% pero puede variar según exigencias particulares y la presencia de otras impurezas.

b. Composición mineralógica:

La arena o el cuarzo deben estar exentos de minerales que no lleguen a disgregarse durante el proceso de fusión, y que den así origen a defectos conocidos como puntos negros, es decir, partículas sin fundir. Entre los minerales que pueden dar origen a este defecto está la cromita (cromita ferrosa), las espínelas (óxido de hierro, aluminio y magnesio), el rutilo (bióxido de titanio), el circón (silicato de circonio), y otros menos comunes.

c. Granulometría:

De la granulometría de la arena depende en buena medida la velocidad de fusión. No existen aquí criterios uniforme, dependiendo el tamaño del grano óptimo del tipo de horno y temperaturas alcanzadas. Los gránulos no deben ser demasiado gruesos, pues se correría el peligro de que no llegasen a fundir, o ello requeriría mucho tiempo, demasiado finos por que incluirían mucho aire en la mezcla que luego dificultaría la operación de afinado. Si el cuarzo es molido demasiado fino (menos de malla 200), puede inclusive ser arrastrado por las corrientes de aire de los gases de combustión y ocluir las cámaras regenerativas. Los tamaños de grano generalmente recomendados para fusión en hornos eléctricos están entre 0.8 y 0.2 m.m, y para fusión en crisoles entre 0.4 y 0.2-0.3 m.m. La arena ya viene naturalmente disgregada, por lo que no es necesario molerla, y se la clasifica por tamizado, separándola en gruesa,

media. La granulometría indica corresponde aproximadamente a las mallas ASTM 20/ 70. En rigor hay que conocer la distribución del tamaño de las partículas, y no sólo sus dimensiones máximas y mínimas.

d. Características y especificaciones:

SILICE:

Formula Química: SiO_2

Peso molecular: 60.4

Forma en que se encuentra en la naturaleza:

- Cuarzo (tridimita, cristobalita y amorfa)
- Cuarcitas
- Areniscas

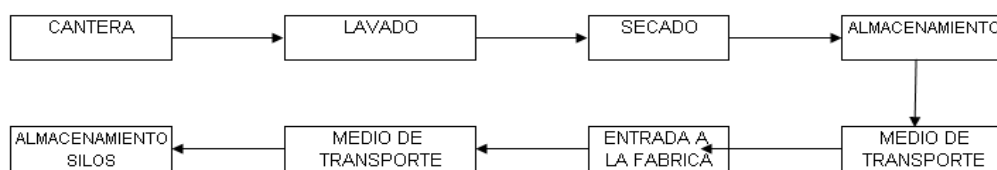
Preferencia para la industria del vidrio: como arenas silíceas lavadas con agua para eliminar las arcillas e impurezas de minerales de fierro.

La sílice pura no afecta en casi nada el coeficiente de dilatación de vidrio.

e. Requisitos que debe reunir una buena arena:

- Tener alto porcentaje de SiO_2 .
- Aspecto granulado y color blanco, si es terroso es por que tiene alto porcentaje de finos.
- En el caso del vidrio blanco, el contenido de Fe_2O_3 debe mantenerse entre 0.05 a 0.03.

- Para vidrio ámbar pueden llegarse hasta 0.08% de Fe_2O_3 , igualmente en el caso del vidrio de color verde.
- No debe contener caolín ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), éste tiene menos del 2 % de álcalis y pequeña cantidad de fierro. El caolín es infusible pues su punto de ablandamiento es de 1770 °C.



2 Feldespato.

Los feldespatos son silicoaluminatos de elementos alcalinos y alcalinotérreos y cumple con la función de introducir en el vidrio alúmina (Al_2O_3) y óxido de potasio (K_2O). Dado que los feldespatos son silicatos, se introduce también sílice (SiO_2), que se suma a la introducida por la arena o el cuarzo. Los feldespatos contienen cantidades variables de óxido de sodio (Na_2O), que puede reemplazar parcial o totalmente al de potasio. En la naturaleza existen junto con el cuarzo y la mica en los yacimientos pegmáticos, de modo que es el usual explotar estos tres minerales conjuntamente. Los principales tipos de feldespato son:

- Albita (feldespato sódico) $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$; entre los feldespatos sódicos tenemos: Andesina, Labradorita y Bytownite.
- Otoclasa, Microline (feldespato potásico) $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$.

- Anortita (feldespato cálcio) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

Los requerimientos de la industria del vidrio con respecto a este mineral son los siguientes:

a. Análisis químico:

Como las cantidades de feldespato que integran la mezcla son relativamente pequeñas con respecto a las de arena o cuarzo, el contenido de Fe_2O_3 no es tan crítico, y no existen especificaciones para los distintos tipos de vidrio. Las especificaciones químicas más generalmente aceptadas son las que se acercan más a la composición teórica del feldespato potásico (rotoclasa), $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, o sea SiO_2 64.8%, Al_2O_3 18.3% y K_2O 16.9%. Una especificación típica es: SiO_2 máx. 64 a 68%, Al_2O_3 MIN. 18%, K_2O , 10% Na_2O min. 3%, máx. 6%, Fe_2O_3 máx. 0.05 a 0.1%, CaO máx 1.0%, MgO máx. 0.2% y pérdida por calcinación máx. 0.4%.

b. Composición mineralógica y granulometría.

Debido a su contenido de Al_2O_3 , el feldespato da al vidrio las siguientes propiedades:

- Incrementa la resistencia al rayado, a la rotura por tracción y al impacto (fragilidad).
- Incrementa la durabilidad química – weathering.

- Disminuye la tendencia a la desvitrificación.
- Ayuda a las operaciones de prensado.
- Tienen a disminuir las imperfecciones de los moldes.
- No eleva la temperatura del recocido.
- Da brillo a la vajilla mejorando la apariencia.
- Lustre brioso perla.
- Fractura desigual
- Color: Blanco, rosa, lechoso, beige, marrón, rojizo, plomo, verde y azulado (depende de las impurezas).

3. Caliza.

Son minerales calcáreos constituidos fundamentalmente por carbonato de calcio (Ca_2CO_3), y su función es introducir en la composición del vidrio el óxido de calcio (CaO). Se trata de minerales muy abundante en la naturaleza y cuyo uso principal es la industria del cemento. Desde el punto de vista del análisis químico, la industria del vidrio requiere las especificaciones promedio: CaO mín. 55%, (Fe_2O_3 máx. 0.1% para vidrio incoloro y 0.6% para vidrio de color, MgO máx. 1 a 5% y SiO_2 máx. 1 a 2%.

Es de hacer notar que todas las calizas contienen pequeños porcentajes de magnesio, cuando superan el 5% de MgO se les clasifican como dolomitas.

En lo que respecta a requisitos mineralógicos y de granulometría, las exigencias son las mismas a las de los minerales mencionados en los párrafos precedentes. Se utilizan diversos tipos de calizas: calcáreos naturales, piedra caliza, creta, conchillas o mármol molido, existiendo intensos yacimientos en todo el mundo; ocasionalmente se utiliza otras fuentes de CaO, y escorias de alto hornos.

El carbonato de calcio, se le debe emplear en la formación del vidrio en una cantidad tal que proporcione al vidrio hasta un 12% de CaO, no debe pasarse este límite, pues de lo contrario el vidrio se torna duro y muy difícil de fundir, ya que el punto de fusión del CaO es de 2572 °C.

El CaO proporciona al vidrio las siguientes propiedades:

- Dureza.
- Durabilidad.
- Viscosidad.
- Tenacidad.
- Facilita la fusión y refinado.

- Impurezas: óxido de hierro, sílice, alúmina, sustancias orgánicas, etc.

4 Carbonato de Sodio.

El carbonato de sodio (Na_2CO_3) cumple con la función de fundir la sílice, produciéndose durante la reacción de fusión silicato de sodio. La fabricación del vidrio exige especificaciones bastante estrictas del carbonato de sodio. En lo que se refiere a la pureza, debe ser del 98 al 99% como mínimo, con un máximo del 1% de cloruros, 0.1% de insoluble en agua, trazas de Fe y sulfatos, y 1 a 2% de humedad. En lo que concierne a granulometría, se prefiere el tipo denominado “denso”, con densidad aparente 1.5 y tamaño, y grano promedio de 0.5 mm.

5 Dolomita:

La dolomita es un carbonato doble de calcio y magnesio: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ por extensión se denomina así, aunque incorrectamente, a las mezclas de carbonatos de calcio y magnesio que se encuentran también en la naturaleza.

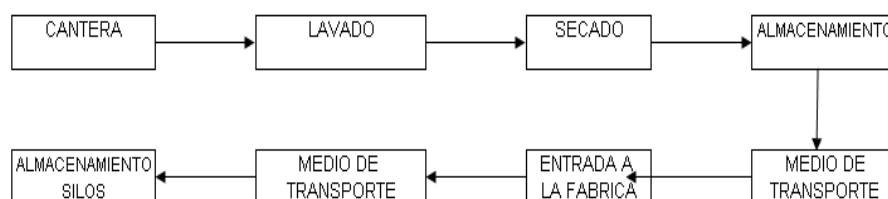
Los minerales con menor contenido de MgO que el correspondiente a la fórmula de la dolomita deben llamarse, con más propiedad, calizas dolomíticas. Su función en la fabricación del vidrio es introducir el óxido de magnesio (MgO) en el material.

Desde el punto de vista del análisis químico, cuanto mayor es su contenido en MgO, mayor es su valor. No existen especificaciones normalizadas para la industria del vidrio, pero, en general, son similares a las de las calizas. Requerimientos típicos son:

CaO+MgO mín 50%, CaO máx.30%, MgO mín. 15%. En que respecta a los requisitos mineralógicos y granulométricos son similares a los ya mencionados.

6 Fluorita:

La fluorita o espato flúor es un mineral constituido por fluoruro de calcio (CaF_2) y se utiliza para la fabricación de vidrios opales y otros vidrios especiales, el consumo de este mineral es, por tanto, limitado. Otra limitación para su uso es durante la fusión se desprende vapores de ácido fluorhídrico (HF) sumamente tóxicos y corrosivos. Existen diversos tipos (denominados “grados”) de fluorita, según su tenor en CaF_2 , Para la producción de vidrios opales se refieren los más de 90% de CaF_2 (Fluorita “grado cerámico”). Con respecto a impurezas y análisis los valores son similares a los citados para otros minerales.



2.1.5.2 Otras materias primas.

Los minerales que hemos mencionado hasta ahora son los más importantes como materias para la fabricación del vidrio. Sin embargo existen otros minerales especiales, que tienen aplicaciones particulares, algunos de éstos son los siguientes:

a. Manganeso:

El bióxido de manganeso, o pirolusita (MnO_2) cumple funciones como decolorantes, para eliminar la coloración debida al hierro. En la actualidad se usa poco, prefiriéndose el selenio, pese a su precio mucho mayor. Se considera óptimo un mineral con 80% de MnO_2 y Fe_2O_3 máx. 1.5%.

b. Baritina:

Este mineral, también llamado barita, es químicamente, sulfato de bario, $BaSO_4$. La industria vidriera lo utiliza para la fabricación de vidrio satinado y escarchado, y para introducir el óxido de bario (BaO) en vidrios ópticos especiales de alto índice de refracción y en vidrios para cristalería fina. Se requiere un contenido en $BaSO_4$ mayor del 70%, Fe_2O_3 máx. 0.06%, color blanco y granulometría entre 30 y 50. Su consumo está en disminución, ya que la baritina natural tiende a ser reemplazada por el sulfato de Bario precipitado, cuya pureza es más fácil de controlar.

c. Sulfato de sodio:

Se utiliza en la industria del vidrio como Sulfato de Sodio anhidro (Na_2SO_4) para reemplazar, en parte, el carbonato de sodio.

Los requerimientos exigen un 92% mínimo de Na_2SO_4 , un contenido máximo de cloruros del 2% y un contenido de insolubles en agua de 2% como máximo para vidrios planos y del 1.8% como máximo para vidrios para envases. Hay yacimientos naturales en muchos países, pero el consumo de este producto está en disminución, siendo sustituido por sulfato de sodio suministrado la industria química.

Su uso se limita a los casos en que es imprescindible (vidrios ámbar de azufre – carbono), debido a que ataca mucho los materiales refractarios, y desprende vapores corrosivos.

d. Litio:

Para fabricar muchos vidrios especiales, de manera particular los vidrios cerámicos y los esmaltes vítreos, se están introduciendo de manera creciente el óxido de litio (Li_2O). Su fuente son los minerales más comunes (espodumeno, lepidolita y otros silicoaluminatos de litio), de los cuales hay yacimientos en muchos países.

e. Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$):

Ya sea natural o purificado, se utiliza para la introducción del anhídrido bórico (B_2O_3) en ciertos vidrios especiales (boro silicatos

neutros y termo resistentes en partículas). En la Argentina existen yacimientos (boratela) que están entre los más grandes del mundo y aprovisionan a las industrias vidrieras de muchos otros países. Es preferible usarlo anhidro. También puede utilizarse otros compuestos de boro, ejemplo el ácido bórico (H_3BO_3).

f. Carbonato de potasio:

Reemplaza, en parte, al de sodio cuando se desea introducir más potasio en el vidrio; se trata de un producto sumamente caro, cuyo uso hay que limitar en lo posible. El óxido de potasio también entra, como se dijo, en el feldespató potásico.

g. Nitrato de sodio:

Cumple una función oxidante. Ciertos fosfatos de calcio se usan en la fabricación de vidrios boro silicatos opales, y el penta óxido de fósforo (P_2O_5) entra en la composición de algunos vidrios ópticos.

h. Selenio:

Cumple la función de disminuir la coloración debida al hierro (decolorante), y su uso se extiende, reemplazando al magnesio. La acción del selenio como decolorante es potente, pues es necesario para lograr una buena decoloración 0.15 oz. de éste por tonelada de vidrio. Si el vidrio tiene un porcentaje de Fe_2O_3 mayor a 0.1 no se usa. El selenio

como decolorante se usa en la fabricación del vidrio Rubí de Selenio, en conjunto con el Sulfuro de Cadmio.

Precio muy elevado por eso su consumo debe reducirse a 5 onzas/tonelada de vidrio como promedio.

Este decolorante no se usa en vajillas con espesores gruesos porque cuando se le expone a radiaciones puede restablecer el color rosado característico. Así mismo no se le usa en cristalería (se le reemplaza por el óxido de Cerio).

i. Carbón:

El carbón es el más común agente reductor empleado en la industria del vidrio, su índice de reducción es de 6.70 por 2000 Kg de sílice.

Se suele usar antracita en polvos para lograr una buena homogenización de este material con los demás ingredientes de la mezcla.

j. Vidrio reciclado (Cullet):

En la fabricación de todo tipo de vidrio es conveniente, por razones económicas introducir en la mezcla una cierta cantidad de vidrio roto o reciclado, con una composición aproximada a la formulación del vidrio a producir.

El vidrio reciclado, puede tener dos orígenes: uno Interno y otro Externo. El interno proviene de la misma fábrica, es decir, de las líneas de inspección (envases defectuosos) y también de las máquinas de formado (envases rechazados ante de entrar a la templadora o cuando se chorrea para un cambio de producción). La cantidad de toneladas de vidrio obtenido de ésta manera es variable, dependiendo de la extracción de toneladas por día de vidrio al horno de fusión, de la máquina formadora, de la dificultad del envase para el conformado y de la rigurosidad en las líneas de inspección. El externo es adquirido fuera de la fábrica, a un proveedor que se encarga de recolectar en grandes cantidades de vidrios, que proviene en su mayoría de los basurales u otros lugares. Algunos de los proveedores, además de recolectar el vidrio, lo seleccionan de acuerdo al color y lo someten a un proceso de chancado y lavado, aumentando el valor por tonelada de vidrio.

El vidrio para envases es el vidrio utilizado para la fabricación del vidrio soluble y demás productos de vidrio. Es el vidrio de las botellas de gaseosas, cerveza, frascos de mayonesa y conservas, frascos de comidas para bebés, botellas de vino, licores, además de otras comidas y bebidas envasadas.

Por otro parte tenemos vidrios que no son reciclables y se consideran contaminantes, tales como: los vidrios de ventana, bombillos, espejos, platos de cerámica, recipientes para el horno y fibras de vidrio.

El usar el vidrio reciclado, tiene las siguientes ventajas:

- Economiza combustible, ya que la energía necesaria para las reacciones químicas no debe consumirse nuevamente.
- Economiza el carbonato de sodio, al disminuir su porcentaje en la mezcla.
- Ataca menos los materiales refractarios, ya que no hay volatilización de álcalis ni arrastre de polvos.
- El vidrio para envases es el único vidrio que en la actualidad se recicla en grandes cantidades.
- El vidrio es uno de los bienes fabricados que es 100% reciclable.
- El vidrio en sí mismo no constituye una amenaza para el medio ambiente porque es inerte, no es biodegradable.

2.1.6 Propiedades.

- Características mecánicas y físicas: Densidad: 2,5
- Dureza: 6,5 (mohr)
- Res. flexión en vidrios recocidos: 400 Kp/cm²
- Res. flexión en vidrios templados: 1000-2000 Kp/cm²
- Res. compresión: 10000 Kp/cm²

a. Características químicas:

- Gran resistencia, excepto a fosfatos y silicatos alcalinos. Para evitar ataques químicos se descalcifica la superficie, esto se consigue con un pulido al fuego o un tratamiento químico.
- Los vidrios con un PH < 7 son inatacables.

2.1.7 Color del vidrio:

Las impurezas en las materias primas afectan al color del vidrio. Para obtener una sustancia clara e incolora, los fabricantes añaden manganeso con el fin de eliminar los efectos de pequeñas cantidades de hierro que producen tonos verdes y pardos. El cristal puede colorearse disolviendo en él óxidos metálicos, sulfuros o seleniuros. Otros colorantes se dispersan en forma de partículas microscópicas tales como:

Rojo	Óxido de cobre, oro, selenio, manganeso, óxido ferroso
Rosa	Menos cantidad que los anteriores o neodimio
Naranja	Rojo más cadmio
Amarillo	Plomo, óxido de antimonio, cadmio, hierro más manganeso, óxido de uranio y uronato de sodio y titanio
Verde	Óxido de cromo, hierro, compuestos de uranio, cobre, cobre más cromo, óxido de cobalto y antimonio
Azul	Óxido de cobalto, cobre, óxido de cobalto más óxido de manganeso
Violeta y púrpura	Óxidos de manganeso más óxido de níquel

Marrones	Azufre con carbono, níquel, compuestos de hierro, hierro más manganeso, uranio
Ahumados	Platino, iridio
Negros opacos	Óxido de zinc y óxido de manganeso
Blancos opacos	Óxido de zinc, óxido de calcio, fosfato cálcico, fluoruro cálcico.

2.2 NORMALIZACION DE LAS MATERIAS PRIMAS PERUANAS USADAS EN LA FABRICACION DEL VIDRIO.

2.2.1 Concepto de normalización.

Uno de los factores tecnológicos que más preocupa al tecnólogo vidriero que por las dificultades que presentan son causa de muchas deficiencias y defectos. Se trata pues del acondicionamiento de las materias primas nacionales, a los requerimientos de cada uno de los procesos en particular; lo que equivale a decir: Normalizar las materias primas nacionales. "Normalizar es establecer en términos claros, breves y concisos, los requisitos y características de calidad, ajuste y tolerancia exigidos a los materiales en base de sus propiedades y usos. Asegurar su eficiencia indicando los métodos de muestreo, de ensayo y de análisis para comprobar si dichos productos reúnen las condiciones establecidas que aseguren su uniformidad para su empleo.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL HORNO

3.1 ESTUDIO Y SELECCIÓN DE REFRACTARIOS: DISEÑO DEL HORNO

3.1.1 Generalidades, cálculos del horno

Entendemos por hornos industriales los equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente. El objeto de este calentamiento puede ser muy variado, por ejemplo:

- Fundir.
- Ablandar para una operación de conformación posterior.
- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades

- Recubrir las piezas con otros elementos, operación que se facilita frecuentemente operando a temperatura superior a la del ambiente.

En este estudio denominaremos hornos a todos aquellos equipos o instalaciones que operan, en todo o en parte del proceso, a temperatura superior a la ambiente, realizándose el calentamiento de forma directa sobre las piezas (inducción, pérdidas dieléctricas, resistencia propia) o de forma indirecta por transmisión de calor de otros elementos (resistencias eléctricas, tubos radiantes eléctricos o de combustión, hornos de llamas, etc.). Esta transmisión de calor puede realizarse por llamas (lecho fluidificado), convección (hornos con fuerte recirculación de los humos, del aire o de la atmósfera protectora sobre las piezas) y radiación (de resistencias, de tubos radiantes, de llamas o de las paredes refractarias interiores).

En la industria de los No metálicos se utilizan para cocer ladrillos, materiales de laboratorio, objetos de vidrio, porcelana y otros productos y en la elaboración de cemento. Los hornos utilizados en esta industria son de dos tipos: hornos intermitentes, donde el fuego se apaga cuando no está cargado y se enciende cuando se introduce una horneada, y hornos continuos, en los que la carga y descarga se realiza con el horno encendido. En la actualidad se utilizan ambos tipos, aunque los diferentes modelos de horno continuo son más adecuados para la producción a gran

escala. Los hornos continuos más importantes son el horno túnel, en el que los productos se mueven por una larga cámara de combustión sobre una cinta transportadora, y el horno rotatorio, en el que los productos atraviesan, por la fuerza de la gravedad, una larga cámara de combustión inclinada.

La severidad de las condiciones que los refractarios deben resistir en el interior del horno depende de la temperatura y de la clase de vapores, polvos y los gases del horno. La cal, la soda y otros materiales usados en la manufactura del vidrio reaccionan químicamente a altas temperaturas con varios materiales refractarios; los álcalis volátiles son especialmente corrosivos, penetrando fácilmente en los poros de los ladrillos.

El desarrollo de nuevas calidades de vidrio, que tengan propiedades específicas, que están siendo usados comercialmente, el desarrollo de nuevas formas en el diseño (de fusión de vidrio) y los cambios radicales en la construcción, implica el desarrollo de nuevos materiales y técnica en la fabricación de refractario.

3.1.2 Estudio detallado de las propiedades y condiciones de los refractarios.

Los avances en la tecnología del vidrio, lanza un gran reto a la industria de los refractarios, por la continua demanda para ir renovando los hornos para la producción de vidrio.

3.1.2.1 Factores que afectan la vida de los refractarios

Cuando la vida de un horno es demasiado corta, no considerándose ésta como normal, un estudio se debe hacer de todos los factores que lo gobiernan incluyendo el diseño y la construcción del horno, selección de refractarios y las variables de operación práctica.

3.1.2.2 Diseño del horno:

Un cambio en el diseño del horno en algunas circunstancias, podría ser el más efectivo, asegurando de esta manera una vida más larga de los refractarios. Este podría ser el caso, por ejemplo, cuando el volumen de un cambio de gases de combustión es insuficiente o cuando el calor es encerrado, cuando las paredes son delgadas o sostenidas inadecuadamente, cuando la cantidad de insolación es excesiva; también pueden presentarse problemas cuando el ladrillo tiene alta carga o cuando la ventilación o enfriamiento no es bien controlada.

Los ladrillos que trabajan expuestos a altas temperaturas en sus dos caras, sin prevención de ventilación, no puede esperarse que tengan larga vida, como los que están calentados por una sola cara.

La vida de una pared o bóveda de ladrillo expuesta a la acción de un choque de llama, puede incrementarse por un rediseño del horno, por ajustarse y controles de los quemadores que aseguren una larga llama y eviten un sobrecalentamiento localizado o por uso de ladrillos de alto poder refractario.

Las medidas y el sitio donde van los quemadores son importantes, por que los refractarios de las paredes están sujetos a altas temperaturas al flujo de cenizas de combustible.

a. Descripción del horno:

El horno es de construcción metálica, electro soldado, a partir de chapas y perfiles de acero laminado en frío, con un tratamiento especial anticorrosivo, de gran robustez, con avanzado diseño y protección con imprimación fosfocromatante y pintura epoxídica de agradables tonos, lo que le confiere una larga vida y un acabado estéticamente agradecido.

El aislamiento se realiza mediante fibras minerales y cerámicas de baja masa térmica y gran poder calorífico, cuidadosamente dispuestas en estratos para reducir las perdidas de calor. La puerta es de apertura lateral, con cierre por aldaba, y perfecto ajuste sobre un marco de refractario. En el interior del horno una solera de refractario facilita la colocación de las piezas a tratar y su manejo a altas temperaturas.

Se ha previsto la introducción de atmósfera controlada en el horno con chimenea para la evacuación de gases y antorcha de quemado.

b. Calentamiento:

Las resistencias eléctricas están colocadas en los laterales y techo del horno e incorporadas a una masa de hormigón refractario que las

protege de la agresión de los posibles gases desprendidos por la carga y las resguarda de golpes y rozaduras durante la carga y descarga.

Son de hilo resistor de aleación Cr-Al-Fe y preparadas para ser conectadas a la red de 230 - 400 Voltios de 2 o 3 fases.

Los calefactores están ampliamente sobredimensionados para una larga vida, y son de fácil sustitución con conexionado frío en la parte posterior del horno, protegida por cárter. En el caso de fusión de una resistencia el cambio de la misma es muy sencillo, pudiéndose realizar en pocos minutos por personas no especializadas.














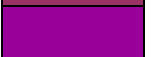



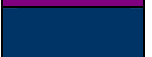




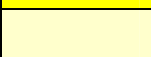
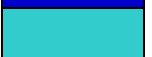

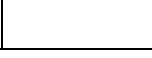
c. Control de temperatura:

El control de la temperatura está asegurado por un regulador electrónico con visualizador digital. En el cuadro eléctrico que le acompaña a estos hornos se instala un temporizador el cual una vez transcurrido el tiempo de tratamiento a la temperatura deseada proporciona una señal eléctrica para el accionamiento de una alarma acústica y/o luminosa.

El horno se pone en marcha al conectar el equipo y alcanzada la temperatura de consigna empieza el conteo del tiempo programado, transcurrido el cual se activa una señal de 230V 10A, pero no se apaga el horno, que continúa a la temperatura programada. La temperatura se puede programar entre 0 y 1.300 °C. La velocidad de subida a temperatura se puede variar entre el 10 y el 100% de la máxima.

Finalizado el proceso, con el horno a la temperatura deseada, se reinicia las veces que se desee.

También se puede determinar la temperatura mediante el código de colores:

CALOR DE TEMPLE		TEMPERATURA	CALOR DE REVENIR	
Marrón Oscuro		550	Amarillo Claro	
Marrón Rojo		630	Oro	
Rojo Oscuro		680	Oro Oscuro	
Rojo Cereza		740	Marrón	
Oscuro		770	Rojo	
Rojo Cereza		800 °	Rojo – Violeta	
Rojo Cereza Claro		850 °	Púrpura	
Rojo Claro		900 °	Violeta	
Rojo muy claro		950 °	Azul Oscuro	
Amarillo Oscuro		1000 °	Azul	
Amarillo		1100 °	Azul Claro	
Amarillo Claro		1200 °	Gris Azul	
Amarillo Blanco		1300 °	Gris Verde	
Blanco Vivo				

d. Cálculos del horno:

Área de superficie del horno:

$$As=2(ab + ah + bh)$$

Dimensiones interiores (mm):

Ancho: 440

Alto: 320

Fondo: 560

Dimensiones aproximadas exteriores (mm):

Ancho: 760

Alto: 1600

Fondo: 960

Peso aproximado (gr): 1200

Potencia (kw): 15

Conexión Voltaje: 380 v

e. Vistas longitudinal y transversal de un horno eléctrico:



3.1.3. Refractarios para bóvedas:

Los refractarios de sílice están siendo usados por muchos años en las bóvedas de hornos. La mayoría de hornos en operación en el mundo emplean sílice por las siguientes razones:

- La sílice en comparación con los otros refractarios es más barata.
- La sílice se disuelve más fácilmente en el vidrio que en otros tipos de material.
- Los ladrillos de sílice tienen medianamente buena resistencia a los vapores alcalinos en los hornos de fusión de vidrio.
- Los ladrillos de sílice son fuertes y tienen buena resistencia a la carga a su punto de fusión.
- El horno de fusión de vidrio en general no demanda rápidos cambios de temperatura en periodos cortos de tiempo y por consiguiente hay poca oportunidad para que se produzca el astillado térmico.
- La expansión térmica de la sílice es en general, fácilmente controlada, hasta alcanzar la temperatura de operación durante el calentamiento del horno.

- A temperaturas altas uniformes, la sílice puede vidriarse fácilmente en buena atmósfera de vapores alcalinos y dar una superficie altamente reflectiva de calor, usando buenas condiciones de fusión dentro del horno.
- Por sus propiedades de condición térmica los ladrillos de sílice, en comparación con otros materiales propios para la construcción de bóvedas podría dar menos pérdidas de calor.

3.1.4 Ataque a la bóveda de sílice:

Los vapores de soda bajo presión son uno de los primeros constituyentes del ataque a los ladrillos de sílice en las bóvedas y cuando los hornos están en operación alguna forma de penetración en la superficie de trabajo de los ladrillos puede ocurrir; la cal, arena de sílice o cullet que son cargados en forma intermitente con algunos aditivos, pueden seriamente afectar a los ladrillos de sílice de la bóveda.

El carbonato de sodio es por consiguiente, el más probable constituyente intermitente que causa preocupación.

Estas reflexiones nos llevan a seleccionar un refractario de sílice de gran calidad donde el control de su fabricación sea riguroso. En los últimos años se está usando un ladrillo de gran pureza con alto contenido de sílice y resultando bajo de impurezas, particularmente Alúmina Titanio, Soda, Potasio, Fierro. Para la producción de la calidad es necesaria la

pureza de las materias primas, utilizándose generalmente cuarcita con bajas impurezas que someter a varios procesos de lavado.

También existen otros materiales que se están usando actualmente en la construcción de bóveda, tales como la mullita, los refractarios básicos (cromo-magnesita, magnesita-cromo y magnesita), pero se tiene que ver muchos factores, para decidirse a reemplazar a la sílice, las cuales serán usados por muchos años más, por las condiciones de fusión del vidrio en los hornos.

3.1.5 Contenido de fase de vidrio:

Puede tener la significancia en los refractarios porque le da un efecto en la calidad del vidrio. Hay aproximadamente 17% de una fase de vidrio intersticial en los refractarios de zirconio-Alúmina, que es necesario para amortiguar la expansión y contracción térmica en forma de cristales monoclinicos del zirconio.

Un refractario denso, zirconio-Alúmina libre de fase vidrio, puede no tener la resistencia al shock térmico para un ataque de vidrio en servicio.

Como la fase de vidrio tiende a salir, pudiendo causar cuerdas, debido a diferencias en la gravedad específica y viscosidad, entre el vidrio interno del refractario que está siendo manufacturado.

Esta fase de vidrio puede llevar algunas dentritas de zirconio que puede causar piedras. También en esta fase puede estar variando los grados de absorción de gases que es causante de semillas o ampollas.

CAPITULO IV

INGENIERÍA DEL PROYECTO

4.1 INGENIERIA DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE VIDRIOS

4.1.1 Descripción del proceso

a. Almacén de materia Prima:

El vidrio reciclado que sirve como materia prima tiene casi las mismas características en la fabricación por otra parte es conveniente por razones económicas, ya que la energía necesaria para las reacciones no debe consumirse nuevamente con respecto al porcentaje no tiene límites, se puede usar al 100% siempre en cuando esté debidamente purificado y su composición sea homogénea.

La formulación para la fabricación con reciclaje de vidrio difieren a las investigaciones que desarrolla una industria y de acuerdo a sus necesidades, todas las materias primas están compuestas de óxidos.

b. Mezcla de materia prima:

Se prepara empleando el reciclado de vidrio calculado en el Balance de Materia, con la proporción debida y teniendo en cuenta la cantidad de ciclos de rotación del envase posteriormente. La mezcla se puede realizar manual o mecánicamente para lo cual es preciso condicionar la materia prima.

- **Granulometría Heterogénea:** La medida del tamaño de las partículas es esencial para una buena mezcla, esto es una de las etapas más importantes, puesto que la distribución granulométrica afecta directamente a las operaciones secundarias. Si las partículas son gruesas influyen en el proceso de la reacción de fusión del vidrio que repercute en la calidad del producto terminado originando un mal proceso. El tamaño o granulometría varía desde 0.5 mm hasta 3 mm.
- **Composición Química Variable:** El vidrio reciclado está contaminado con impurezas (plásticos, metales, cartones, etc.), las cuales se deben eliminar en el proceso de selección y mezclado, por otra parte también contiene óxido de hierro, caolines, micas, fosfatos y cloruros, entre estas impurezas el más preocupante es el

óxido de hierro, porque la presencia de este compuesto producirá una coloración a los envases dando un color azul-verde-amarillo. El contenido de óxido de hierro es aceptable y debe encontrarse en el rango de 0.005 a 0.003%.

- Secado del vidrio a granel: Operación donde se procede a secar el material con una humedad máxima de 0.5%, con el proceso de secado se realizará también la segregación de los componentes para no tener las siguientes características desfavorables:
 - Mayor dificultad para fundir la mezcla
 - Mayor consumo de combustible
 - Temperatura de operación más alta
 - Mayor desgaste de los materiales refractarios del horno.

c. Fusión de la Mixtura

Después de ser acondicionado el material (pesado y mezclado hasta alcanzar una buena homogeneidad) los componentes de la mezcla serán trasladados al horno, en el cual se funden hasta quedar convertidos en líquidos, viscoso y homogéneo a una temperatura que varía los 1200 a 1300 °C, luego de ser fundido este pasa una zona de refinación con una temperatura de 150 °C.

d. Consideraciones teóricas sobre fusión:

En el proceso de fusión de vidrio intervienen diversos factores:

- Debe existir un control sobre la calidad uniforme de las distintas materias primas empleadas en la elaboración tales como, la granulometría, pero exacto de los componentes químicos para no tener problemas en la fusión.
- Chancado y Seleccionado de vidrio: Se realiza de la siguiente manera:
 - Clasificación de los proveedores y las calidades de vidrio a comprar.
 - Selección y lavado del vidrio reciclado se realiza con el fin de eliminar impurezas como, metales magnéticos, materias orgánicas y otros.
 - Acondicionamiento granulométrico con 0.5 mm. de diámetro aproximado.
 - Una vez reducida al tamaño adecuado el material es transportado a los silos para su posterior operación.
 - El vidrio triturado y libre de impurezas es mezclado con fundentes para su respectiva fusión en el horno.

- Combustión para la fusión: Para el proyecto se utilizó energía eléctrica, la cual ofrece mínimo mantenimiento, fácil manipulación y control del trabajo y la mejor relación de costo por unidad fabricada.
- Alto poder calorífico: El sistema especial de calentamiento utiliza al máximo la energía radiante de las resistencias lo que posibilita la baja potencia instalada del horno
- Viscosidad uniforme: La baja o alta viscosidad en el interior del horno puede afectar apreciablemente la buena condición de operación del sistema de calentamiento para el horno. Si es demasiado viscoso se tendrá dificultad para el bombeo y la correcta ignición y facilitar de esta manera la combustión.
- Punto de inflamabilidad: Es el punto de obtener un incremento de temperatura hasta el punto de inflamación gaseosa, cuando hay la posibilidad de alcanzar una temperatura mayor del punto de inflamabilidad debe recurrirse necesariamente a un almacenamiento de diseño apropiado.
- Contenido de cenizas: El contenido de cenizas máximo permisible debe estar entre 0.08 al 0.1% las cenizas pueden formar incrustaciones, corrosión, rápido ataque en los

materiales refractarios de la cámara de combustión particularmente en altas temperaturas (1300°C), algunas también son abrasivas.

e. Dosis óptima para la preparación de la mezcla

La materia prima que ocupa mayor porcentaje es el vidrio reciclado como se menciona en el siguiente cuadro; según Balance de Materia para una dosis óptima:

VIDRIO SOLUBLE:

Materia prima	Kg.	%
Vidrio Reciclado	254.68	63.67
Carbonato de sodio	84.00	21.00
Sílice	61.32	15.33
TOTAL	400.00	100%

VIDRIO SODIO CALCICO:

Materia prima	Kg.	%
Vidrio Reciclado	252.00	63
Carbonato de sodio	84.00	21
Carbonato de calcio	64.00	16
TOTAL	400.00	100

VIDRIO BOROSILICATO

Materia prima	Kg.	%
Vidrio Reciclado	252.00	63

Carbonato de sodio	84.00	21
Feldespató	12.00	3
Bórax	52.00	13
TOTAL	400.00	100

El sistema de pesaje se realiza en una balanza electrónica, las cuales están definidas con un peso aproximado, luego de realizar las pesadas son transportadas para su respectivo mezclado con los reactivos químicos (fundentes), para luego alimentar al horno.

f. Horno (fusión del vidrio):

Es el dispositivo donde se lleva a cabo la fusión de la mezcla de la materia prima para formarla en vidrio, lo cual implica diferentes tipos de reacciones que pasan en todo el proceso hasta obtener el producto final que es vidrio, estas reacciones se llevan a cabo a altas temperaturas desde 1200 - 1300°C, temperatura que se obtienen por combustión de aire petróleo; aire – gas o corriente eléctrica.

La masa fundida se desplaza continuamente a la zona de fusión a determinadas condiciones de temperatura y presión, luego se desliza hacia la zona de refinación, aquí la masa fundida, adquiere la homogenización en un mismo nivel de temperatura y densidad.

g. Acondicionamiento del vidrio:

Se tiene en cuenta las condiciones generales del horno y el calentador:

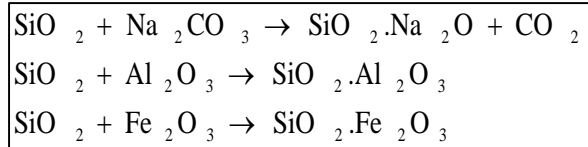
Lecho de fusión: Área donde se funde las materias primas por acción del calor, siendo básico controlar lo siguiente:

- Temperatura constante 1200 - 1300 °C.
- Presión del horno establecido 50 psi.
- Aire de combustión 80 psi; T=95°C
- Aire de atomización
- Temperatura óptima

h. Proceso de formación de los productos de vidrio

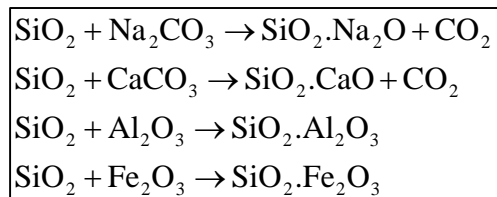
- Vidrio Soluble:

Los silicatos de sodio se producen fundiendo: Carbonato de Sodio (Na_2CO_3), arena (sílice), vidrio reciclado especialmente seleccionado; a una temperatura de 1200-1300°C. El producto resultante es un cristal amorfo (VIDRIO PRIMARIO) que puede ser disuelto por procesos especiales para producir soluciones en gran variedad de formas, de esta manera produciéndose una serie de reacciones que pueden englobarse en la resultante siguiente:



El silicato de sodio es un químico básico de múltiples usos en la producción de detergentes, aditivos de jabones, limpiadores de metal, agentes a prueba de fuego, solventes adhesivos, materiales de cemento secados, pinturas, revestimientos de cables eléctricos, clarificadores de agua, y un número de agentes adhesivos usados para adherir cosas como madera enchapada, tableros, pavimento y hojas de metal. Otro uso importante es en la manufactura de catalizadores básicos de silicato, gel de silicato.

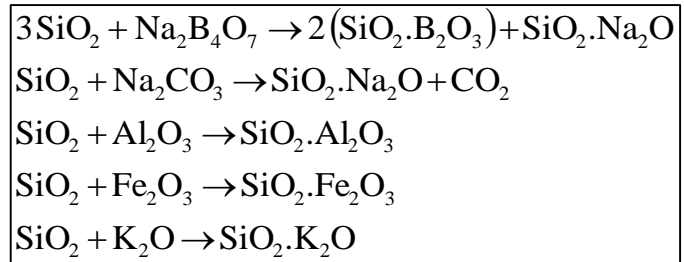
- Vidrio Sodocálcico:



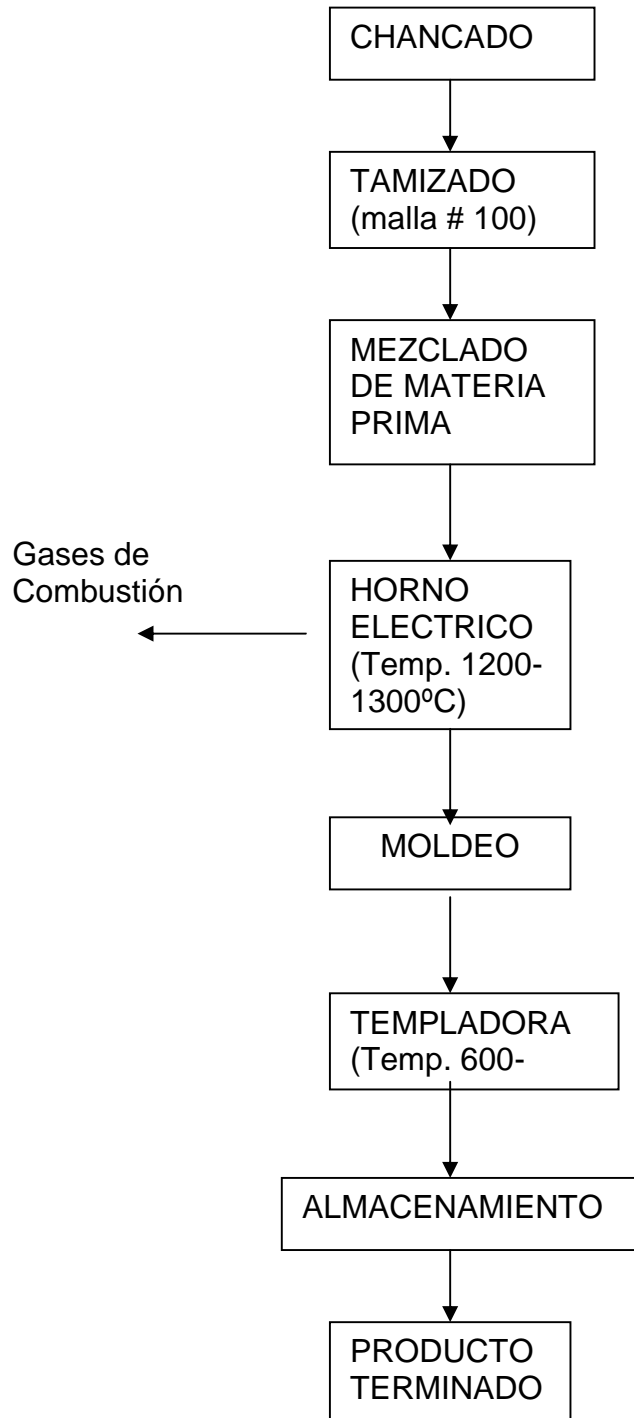
- Vidrio Borosilicato

La sustitución de óxidos alcalinos por óxido de boro en la red vítrea de la sílice da lugar a vidrios de más baja expansión. Cuando el B₂O₃ entra en la red de la sílice debilita su estructura y reduce considerablemente el punto de reblandecimiento de los vidrios de sílice. El efecto de debilitamiento se atribuye a la presencia de boros tri-

coordinados planares. Los vidrios boro-silicatados (vidrios pyrex) se usan para equipos de laboratorio, tuberías, material de cocina, como equipo para procesos químicos, hornos y faros de lámparas reflectoras.



4.2 DIAGRAMA DE FLUJO Y ESQUEMA



4.3 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

4.3.1 Constantes químicas de las materias primas e insumos

NOMBRE DE MATERIAL	FORMULA	PESO MOLECULAR	TIPO OXIDO	OXIDOS DESPUES FUSION	P.M. OXIDOS	FACTOR CONVERSION O COEFICIENTE DE EMPLEO
SILICE	SiO ₂	60	RO ₂	SiO ₂	60	1.0
SODA	Na ₂ CO ₃	106	R ₂ O	Na ₂ O	62	0.585
CAL	CaCO ₃	100	RO	CaO	56	0.560
DOLOMITA	MgCO ₃ CaCO ₃	184	RO	Ca MgO	56 40	0.304 0.217
BARITINA	BaSO ₄	233	RO	BaO	153	0.657
TRIOXIDO ARSENICO	As ₂ O ₃	198		As ₂ O ₃	198	1.0
SELENIO METALICO	Se	79				
OXIDO DE COBALTO (NEGRO)	Co ₃ O ₄	241	RO	CoO	75	0.934
CULLET						1.00
FELDESPATO POTASICO	K ₂ O. Al ₂ O ₃ . 6SiO ₂	556	RO R ₂ O ₃ 6RO ₂	K ₂ O AL ₂ O ₃ SiO ₂	90 102 60	0.162 0.183 0.648
SALITRE	NaNO ₃	85		Na ₂ O	62	0.365
ULEXITA (BORONATRO CALCITA)	Na ₂ O. 2CaO. 5B ₂ O ₃ . 16H ₂ O	382		Na ₂ O CaO B ₂ O ₃	62 40 70	
BORAX ANHIDRO	Na ₂ O. 2B ₂ O ₃	202	RO 2R ₂ O ₃	Na ₂ O B ₂ O ₃	62 70	0.162 0.366
ALUMINA	Al ₂ O ₃	102		Al ₂ O ₃	102	1.000
SULFATO DE SODIO	Na ₂ O ₃	142	RO	NaO	62	0.437

4.3.2 Análisis químicos de las materias primas e insumos

4.3.2.1 Sílice.

a. Humedad:

Llevar la muestra de silo y pesar en la balanza de humedad digital a temperatura del 120°C hasta que la lectura de humedad no varíe.

La humedad aceptada como máximo es 4%, el exceso se descuenta en contabilidad para efectos de pagar al proveedor. En la actualidad se está usando sílice totalmente seca, para evitar variaciones en la formulación de mezcla para el vidrio.

b. Granulometría.

Pesar gr. De muestra seca y llevar al Ro-TAP durante 15 minutos; luego pesar la cantidad de cada malla y calcular los respectivos porcentajes; no debe tener granosa gruesos la malla 20 y el porcentaje de finos en las mallas +100 y -100 no debe exceder del 15%.

c. Determinación de SiO₂:

Pulverizar la muestra en un mortero y pesar 1gr. De la muestra seca dentro de un crisol de platino, previamente tarado, añadir 25 ml de HF y 10 ml de ácido perclórico, evaporar sin que hierva sobre una plancha caliente pero sobre un asbesto para evitar salpicaduras. La sílice se evapora como tetrafloururo de silicio.

Cuando se evapore nuevamente hasta lograr una completa disgregación, llevar a peso del crisol después de la calcinación nos da la pérdida del peso, que multiplicada por 100k representa el porcentaje de SiO₂.

d. Determinación de pérdidas por calcinación.

Pesar 1 gr. de la muestra de sílice seca dentro de un crisol de platino previamente tarado, calcinar en un mechero primero a fuego lento y después a toda intensidad, durante 10 minutos. Retirar del mechero enfriar dentro de un desecador y pesar, la diferencia de las pesadas por 100 nos da el porcentaje de pérdida por calcinación.

e. Determinación del Al₂O₃

El crisol de la prueba de perdidas por calcinación se humedece con 25 ml de HF y 10 ml de ácido perclórico, se evapora sobre un asbesto en una plancha caliente hasta abundantes humos blancos. No secar del todo, añadir 5 ml más de HF mas 1ml de ácido perclórico y evaporar.

Cuando se ha logrado una completa disgregación, enfriar y humedecer con 10 ml de HCl cc. Más 25 ml de agua hirviendo (calentar nuevamente para disolver las sales). Pasar el contenido del crisol a volumen de unos 25° cc, lavar cuidadosamente las paredes del crisol, mantener el volumen de unos 50 cc y precipitar el Al₂O₃ con amoniaco gota a gota usando rojo de metilo como indicador hasta el punto neutro mas una gota, hervir para coagular el precipitado y filtrar, lava tres veces con agua destilada fría. Calcinar el papel filtro en un crisol tarado de

platino, primero suavemente y luego a toda intensidad hasta peso constante. La diferencia del peso por 100 nos da el porcentaje de Al_2O_3 en la arena (sílice).

f. Determinación de Fe:

Pesar 10 gr. de la muestra seca mas unas gotas de ácido nítrico, más 5 ml de HCl cc Hervir para solubilizar el fierro, diluir con agua destilada, calentar a $40\text{ }^\circ\text{C}$ y ajustar el pH a 205 con indicador, pues de otro modo se produce un prematuro final aparente, por eso es conveniente añadir unas gotas mas de ácido sulfosalisílico con indicador al terminar, si reaparece el color rojo se continúa a la valoración con la solución EDTA amarillo permanente, anotar el gasto y calcular el porcentaje.

$$\% \text{Fe} = (V/WW) \times F \times 100$$

Donde:

V: Volumen.

W: Peso de la muestra.

F: Factor EDTA

g. Determinación de Na_2O_3

Al neutralizar la muestra anterior hasta viraje rojo, con rojo de metilo como indicador y H_2SO_4 , hirviendo para desalojar todo el CO_2 ; se anota el gasto consumido. Este gasto de ácido es calcio y magnesio lo hemos determinado de la siguiente manera de la titulación con NaOH una vez

que hemos determinado el porcentaje de B_2O_3 lo transferimos a un frasco volumétrico de 250 cc. De capacidad, lavando bien las paredes del erlenmeyer para recuperar toda la solución. Llenamos al enrase con agua destilada, agitar la solución y tomar una parte, alicuta de 25 ml para determinar calcio titulado con EDTA y calcein como indicador y añadiendo soda al 3% hasta 100 ml, de la misma manera determinaremos magnesio utilizando negro de cromo como indicador.

4.3.2.2 Carbonato de sodio

a. Humedad

La muestra de silo se lleva a la balanza de humedad, no debe contener más del 2% de humedad.

b. Determinación de Na_2CO_3

Pesar un gramo de muestra húmeda en un Erlenmeyer de 250 cc. Añadir 25 ml de agua destilada mas tres o cuatro gotas de rojo de metilo como indicador, titular con H_2SO_4 N/l hasta viraje rosado intenso, luego de la aparición de este color llevar a una plancha caliente y hervir para expulsar el CO_2 , si cambia el color seguir titulado hasta viraje rosado intenso permanente, anotar el gasto y calcular el porcentaje.

c. Determinación de cloruros

Pesar 1 gr. de la muestra húmeda dentro de un erlenmeyer de 250 cc y añadir de 25 ml de agua destilada; neutralizar con HNO_3 cc una vez alcanzada la neutralidad añadir 2 ó 3 gotas de cromado de potasio y

titular con AgNO_3 hasta viraje anaranjado; anotar el gasto y calcular el porcentaje.

4.3.2.3 Feldespato

a. Granulometría

La facilidad con que un feldespato entre en la solución durante la fusión depende de su finura. En la industria del vidrio se trabaja con un material que pase completamente la malla +20.

b. Determinación del Al_2O_3

Pesar 0.5 gr. de muestra seca en un crisol de platino y añadir 5 ml de HF y 5 ml de ácido perclórico, llevar a sequedad para eliminar la sílice (en la forma de tetrafluoruro de silicio). Observar si la disgregación es completa y en el caso que no sea así añadir mas HF y continuar la evaporación hasta lograr una completa disgregación, llevar al semi-seco (no secar completamente) y evitar salpicaduras. Humedecer el crisol con agua destilada y añadir unas gotas de HCl para disolver las sales, transferir a una fiola de 250 cc y pipetear muestras de 50 cc, llevar a punto neutro añadiendo gota a gota amoniaco hasta viraje neutro y añadir 2 gotas mas en exceso, calentar a $70\text{ }^\circ\text{C}$, filtrar y lavar el vaso y precipitado con agua previamente tarado, secar el papel de filtro, colocando el crisol sobre una plancha caliente, calcinar en el mechero primero a fuego lento y luego a intensidad hasta lograr una completa calcinación de la muestra. Enfriar en el desecador y pesar rápidamente (para evitar la hidratación del precipitado) y calcular el porcentaje de este.

4.3.2.4 Carbonato de calcio.

a. Granulometría.

Todo el material debe pasar a través de la malla 16.

b. Determinación de insolubles

Tomar 0.5 gr. de la muestra seca y colocarla en un vaso de 250 cc, atacar con HCl hasta completa disolución y llevar a sequedad, enfriar y añadir unas gotas de HCl y 25 ml de agua destilada, hervir, filtrar y calcinar en crisol de platino. El peso obtenido multiplicado por 200 nos da el porcentaje de insolubles.

c. Determinación de CaO

Recibir el filtrado en una fiola de 250 cc, lleva a enlace con agua destilada y pipetar 25 ml de la solución problema; añadir soda al 3% hasta completar 100 cc. Y emplear calcein como. El pH debe de estar igual o mayor de 12; titular con la solución EDTA desde viraje verde fosforescente a violeta, anotar el gasto y calcular el porcentaje.

$$\% \text{ CaO} = 0.5X \text{ (v/w)f}$$

d. Determinación del MgO

Pipetear 25 ml de la solución problema, añadir 10 gotas de amoníaco y usar 4 gotas de negro de ericromo como indicador, titular con la solución EDTA de viraje rosado hasta azul permanente, anotar el gasto y calcular el porcentaje.

$$\% \text{ MgO} = (V \text{ ericromo} - V \text{ calcein}) \times 0.868$$

4.3.2.5 Análisis del vidrio reciclado

Titular y moler la muestra de vidrio hasta pulverizarlo, pasar la muestra por la malla + 100. Pesar exactamente 1 gr. de muestra dentro de un crisol de platino previamente tarado, añadir 4 gr. de Na_2CO_3 Q.P. Mezclar bien el vidrio y el carbonato con una espátula, tener cuidado de limpiar la espátula dentro del crisol con un pincel o brocha de pelo de camello, con el fin de retirar cualquier polvillo adherido. Con la espátula añadir espolvoreando aproximadamente 1 gr. de Na_2CO_3 a modo de cubrir la mezcla. Fundir la mezcla aumentando gradualmente la temperatura del mechero a fin de la fusión sea tranquilo y no haya pérdida de la muestra por salpicaduras. Cuando la fusión es completa mantener esta temperatura durante 10 minutos, transferir el crisol caliente dentro de una cápsula grande de porcelana que contiene agua destilada fría (el agua no debe entrar dentro del crisol mientras la masa esté caliente). El objeto de este enfriando brusco del trizar la masa fundida para enfriar y facilitar el desprendimiento de crisol.

Enfriar y añadir entre 20 y 25 ml de agua destilada y dejar en reposo si es posible toda la noche para facilitar el desprendimiento de la masa fundida. Al añadir el ácido debe cubrirse el crisol con una luna de reloj para evitar salpicaduras. Con todo cuidado y con la ayuda de una paqueta desprende la masa fundida del crisol, añadiendo agua caliente y depositando la materia disuelta dentro de la capsula de porcelana limpia.

La limpieza del crisol tiene que ser total con ácido y agua caliente (secar el crisol en la plancha), para asegurarse que esté completamente limpio, los trozos de la masa fundida deben de desintegrarse completamente con baqueta de vidrio.

Evaporar a sequedad en un baño de aire colocando la capsula de porcelana sobre un triángulo de fierro colocando en una plancha caliente. Al comienzo evaporar sin tapa y cuando falte poco líquido por evaporar cubrir con una luna de reloj y llevar a completa sequedad. Cuando la deshidratación es completa seca, enfriar, retirar la tapa y humedecer el residuo de la evaporación con 5 ml de HCl y seguidamente 20 ml de agua caliente, digerir por 5 minutos y entonces filtrar a través de un papel de filtro medio de 9 cm y recibir el líquido filtrado en un vaso pirex 250 cc.

Lavar el precipitado de SiO_2 12 veces con HCl caliente (solución al 12m %) y reservar el papel de filtro.

Transferir el líquido nuevamente a la cápsula de porcelana y evaporar a sequedad como se hizo anteriormente, cuando la deshidratación sea completa enriar y humedecer con 10 ml de HCl y de nuevo evaporar a sequedad. Entonces en la plancha caliente a 105° por 30 minutos, enfriar y humedecer con 5 ml de HCl y añadir 20 ml de agua caliente; digerir por unos minutos y filtrar a través de un papel fino de 7 cm.

Lavar la cápsula y la luna d reloj para retirar cualquier material adherido. Lavar el precipitado 8 veces con HCl al 2% caliente.

Reunir los dos papeles de filtro resultante del filtrado de las dos operaciones y colocarlo en el crisol de platino en que originalmente se fundió la muestra. Calcinar suavemente al principio hasta que se quemó todo el papel filtro, luego incrementar poco a poco la temperatura hasta alcanzar 1200 °C.

Calcinar a esta temperatura durante 30 minutos, con todo cuidado retirar el crisol del mechero y colocarlo dentro del desecador, enfriar a temperatura ambiente y pesar. Repetir la ignición hasta alcanzar peso constante WI.

Humedecer el residuo de la calcinación con unas gotas de ácido sulfúrico (1: 1) con todo cuidado y añadir 10 ml HF.

Evaporar los constituyentes volátiles (fluoruro de silicio) y H₂SO₄, calentando el crisol sobre una plancha caliente y evitando salpicaduras, finalmente cuando se ha completado la evaporación calcinar suavemente al principio, y después a toda intensidad, mantener el crisol durante 2 minutos a 1200 °C y transferir el crisol a un desecador, enfriar y pesar W₂.

Calcular el porcentaje de SiO₂:

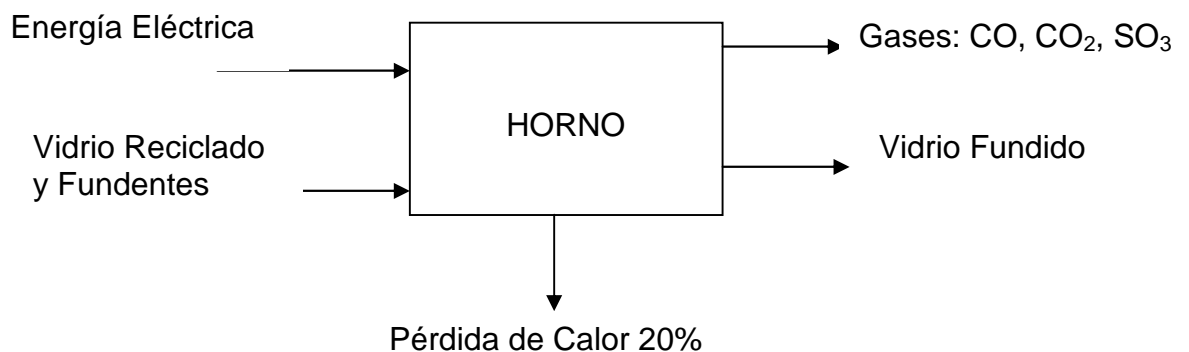
$$\%SiO_2 = (WI - W_2) \times 100.$$

4.3.3 Balance de materiales y óxidos presentes después de la fusión

4.3.3.1 Balance de materia

El balance de materia y la cantidad de óxidos que han de estar presentes en el vidrio después de la fusión dependen mucho de la mezcla de sólidos, de la eficiencia de la mezcladora, de la buena homogenización del vidrio que se funde dentro del horno. Si estas condiciones se cumplen y aplicando la Ley de la Conservación de la Materia “nada se crea ni se destruye, solo se transforma”, el análisis químico de las materias primas e insumos así como la determinación global de los óxidos que permanecen en el vidrio después de la fusión, deben reflejar la misma composición, excluyendo el vapor de agua y gases volátiles, tales como el As_2O_3 , el SO_3 y el CO_2 , entre los más importantes.

Un análisis de la corriente eléctrica, también es de extrema importancia para saber corregir ciertos defectos que puedan presentarse por causa de las impurezas que lleva implícito el (combustible).



COMPOSICION DE MATERIA PRIMA (gr) – VIDRIO SOLUBLE

MATERIA PRIMA	PESO (gr)	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Na ₂ CO ₃ %	Na ₂ SO ₄ %	NaCl %	INSOLUBLES %	HUMEDAD %
VIDRIO RECICLADO	254.68	99.00	0.62	0.026				0.354	
CARBONATO DE SODIO	84.00			0.0014	98.00	0.02	0.5	0.1	1.38
SILICE	61.32	98.00	0.45	0.05	0.5802			1.5	
TOTAL	400								

COMPOSICION DE MATERIA PRIMA (gr) – VIDRIO SODOCALCICO

MATERIA PRIMA	PESO (gr)	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Na ₂ CO ₃ %	Na ₂ SO ₄ %	NaCl %	INSOLUBLES %	HUMEDAD %	CaCO ₃ %
VIDRIO RECICLADO	252	99.00	0.62	0.026						
CARBONATO DE SODIO	84			0.0014	98.00	0.02	0.50	0.10	1.38	
CARBONATO DE CALCIO	64	0.57	0.30	0.064				2.07		97.00
TOTAL	400									

COMPOSICION DE MATERIA PRIMA (gr) – VIDRIO BOROSILICATO

MATERIA PRIMA	PESO (gr)	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Na ₂ CO ₃ %	Na ₂ SO ₄ %	NaCl %	INSOLUBLES %	HUMEDAD %	CaCO ₃ %	K ₂ O %	Na ₂ B ₄ O ₇ %
VIDRIO RECICLADO	252.00	99.00	0.62	0.0026								
CARBONATO DE SODIO	84.00			0.0014	98.00	0.02	0.50	0.10	1.38			
FELDESPATO	12.00	64.80	18.30								16.9	
BORAX	52.00								3.00			97.00
TOTAL	400											

COMPOSICION DEL PRODUCTO FINAL (gr) – VIDRIO SOLUBLE

OXIDOS	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	K ₂ O
SILICE	62.774	0.3892			0.0163			
Na ₂ CO ₃				11.7618	0.0052			0.475

COMPOSICION DEL PRODUCTO FINAL (gr) – VIDRIO SODOCALCICO

SILICE	62.774	0.3892	0.0163					
CaCO ₃	0.0402	0.0211	0.0045	3.8174			0.0465	0.0726
Na ₂ CO ₃			0.0052		11.7618	0.475		
OXIDOS	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃

**COMPOSICION DEL PRODUCTO FINAL (gr) – VIDRIO
BOROSILICATO**

OXIDOS	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	B ₂ O ₃	SO ₃
SILICE	62.774	0.3892	0.0163						
Na ₂ CO ₃			0.0052	11.7618	0.475				
FELDESPATO	0.0211	0.0028		0.0005	0.0012	0.0003			
BORONATRO	4.14	0.10	0.30	8.00	0.92	10.00	0.0116	30.00	0.027

4.3.3.2 Balance de energía

El calor necesario teóricamente para la fusión de vidrio es la suma de las calorías que se necesitan para calentar las materias primas para llegar a los 1300 °C, y de las calorías de reacción para el procesamiento. Pero la gran complejidad que se tiene en las reacciones químicas es bien difícil para poder establecer con exactitud el balance de energía.

I. Fases de producción.

Se pueden distinguir cuatro fases principales:

A. Fusión.

Se realiza en hornos de fusión que pueden clasificarse como hornos de crisol y hornos-tanques, subdividiéndose a su vez unos y otros en hornos de regeneración y hornos de recuperación. En los hornos de fusión el horno alcanza una temperatura máxima que se sitúa entre los 1500 y 1600 °C. El calor necesario se aporta por combustión, con o sin apoyo eléctrico, o por efecto Joule entre electrodos sumergidos.

B. Conformación.

Esta operación es característica de cada producto. Puede darse forma al vidrio a máquina o moldeándolo a mano. El factor mas importante que hay que tener en cuenta en el moldeo a máquina es que la máquina para moldear el vidrio ha de estar proyectada de manera que el artículo este terminado en muy pocos segundos. Durante este tiempo relativamente corto el vidrio se transforma de líquido viscoso en un sólido

transparente. Por ello se comprende inmediatamente que los problemas que hay que resolver en el proyecto de la maquina, como por ejemplo flujo de calor, estabilidad de los metales, transparencia de las cargas, etc., son muy complicados. El éxito de esta maquinación es una contribución muy importante de la ingeniería.

La fabricación de botellas a maquinaria en realidad no es más que una operación de vaciado que utiliza la presión del aire para producir en el molde el hueco central.

C. Temple.

Para reducir las tensiones es necesario templear todos los objetos de vidrio, que se hayan conformado a máquina o a mano. En esencial el temple comprende dos operaciones:

- Mantener la masa de vidrio por encima de cierta temperatura critica durante un tiempo suficiente, de manera que las tensiones internas se reduzcan por fluencia plástica hasta valores inferiores a un máximo predeterminado y
- Enfriar la masa a la temperatura ambiente con la lentitud necesaria para que las tensiones se mantengan por debajo de ese valor máximo. La estufa de temple no es más que una cámara calentada y que se ha proyectado con todo cuidado para que la velocidad de enfriamiento pueda controlarse rigurosamente y satisfacer las condiciones previstas.

D. Acabado.

Todos los tipos de vidrio templado han de sufrir ciertas operaciones de acabado, que, no obstante ser relativamente sencillas, tienen mucha importancia. Entre ellas figuran la limpieza, bruñido, pulimento, talla, grabado, tratamiento con chorro de arena, esmaltado, graduación y calibrado. Aunque para un objeto de vidrio no se requieren todas estas operaciones, casi siempre son necesarias algunas o varias de ellas.

4.3.3.3 El reactor de fusión de vidrio.

Un reactor de elaboración de vidrio es un recipiente sometido a temperaturas superiores a los 1 400°C, y al que hay que comunicar una cierta cantidad de calor que, como mínimo, será del orden de las 600 kcal/kg de vidrio obtenido. A un reactor así se le suele denominar Horno.

La cantidad de energía empleada en la obtención del vidrio depende de muchos factores, como son las materias primas utilizadas, el tipo de vidrio, la clase de producto, los equipos empleados, el modo de operación de estos (funcionamiento continuo o discontinuo), etc. En cualquier caso, el consumo energético es importante; ello es debido a los siguientes factores:

- Temperatura de fusión-afinado elevada (1 400 - 1 500 °C), lo que supone unas necesidades de energía teórica realmente importantes.
- Bajos rendimientos de los hornos de fusión convencionales. Debe tenerse en cuenta que en la actualidad, se consiguen valores

próximos al 50% para ciertos hornos con regeneradores y llamas en bucle. Los valores normales se sitúan entre un 25 y un 40. Sin embargo, en algunos hornos pequeños de crisol, este valor es inferior al 5%.

Estos rendimientos han sido superados ampliamente por los hornos eléctricos, cuya eficiencia energética se sitúa entre un 60 % y un 85%, pero que por motivos de costos de la energía eléctrica su utilización es muy limitada.

I. El Calor de formación.

Se designa como entalpia de formación o "calor de formación" de un compuesto a la variación de entalpia que acompaña la formación de una sustancia en su estado estándar a partir de sus elementos constituyentes en su estado estándar (la forma más estable de un elemento a 1 atmósfera de presión y una determinada temperatura, que suele ser 298 K ó 25 °C). De manera general para el vidrio expresamos el calor de formación con la ecuación

$$H_0 = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

Donde:

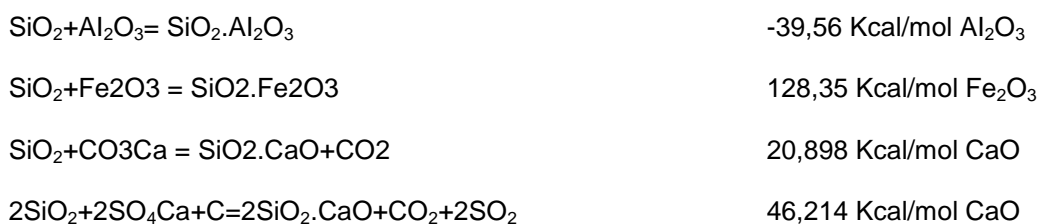
ΔH_1 se obtiene de las materias primas mezcladas en estado sólido: etapa 1,

ΔH_2 se obtiene de la fundición de los metasilicatos y la sílice fundida separadamente: etapa 2 y ΔH_3 se obtiene de la mezcla compleja de metasilicatos y la sílice: etapa 3.

Se desconoce qué reacciones se producen a cada temperatura y en cada zona de un horno de elaboración de vidrio, tanto entre fases líquidas, como sólidas y gaseosas. Lo que se conoce es su temperatura, la composición química de las materias que se introducen al horno, y que una vez alcanzada una cierta temperatura, fijada por la cinética química de estas materias, se dispone de una masa de vidrio de composición compleja, que se considera como perfectamente homogeneizada físicamente, y a la que se designa con el nombre genérico de vidrio fundido.

Acudiendo a los principios de la termodinámica, sabemos que los intercambios de calor de un sistema situado a presión constante, con su entorno, vienen dados por su cambio de entalpia, la cual a su vez es una función de estado, es decir que su variación no depende del tipo de los procesos que sufra el sistema, sino únicamente de las condiciones iniciales y finales del cambio. De esta cualidad de la entalpia de un sistema, se pasa del estado inicial de materias primas, al de vidrio a 25 °C, a través de aquellos pasos que, aun no siendo realizables en la práctica, facilitan la labor del cálculo de la variación entálpica del sistema.

- Etapa 1.- Las materias primas mezcladas y en estado sólido, deben realizar a la temperatura tipo, reacciones como las que se señalan:



$2\text{SiO}_2 + \text{CO}_2\text{Ca} \cdot \text{CO}_3\text{Mg} = \text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} + \text{SiO}_2 \cdot \text{MgO} + 2\text{CO}_2$	51,996 Kcal/mol MgO
$\text{SiO}_2 + \text{CO}_3\text{Na}_2 = \text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2$	-5,152 Kcal/mol Na ₂ O
$2\text{SiO}_2 + 2\text{SO}_4\text{Na}_2 + \text{C} = 2\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{SO}_2$	31,974 Kcal/mol Na ₂ O
$2\text{SiO}_2 + 4\text{NO}_2\text{Na} + \text{C} = 2\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 4\text{NO}_2$	30:5805 Kcal/mol Na ₂ O
$\text{SiO}_2 + \text{CO}_3\text{K}_2 = \text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O} + \text{CO}_2$	8,308 Kcal/mol K ₂ O
$\text{SiO}_2 + \text{CO}_3\text{Ba} = \text{SiO}_2 \cdot \text{BaO} + \text{CO}_2$	30,498 Kcal/mol BaO
$2\text{SiO}_2 + 2\text{SOBa} + \text{C} = 2\text{SiO}_2 \cdot \text{BaO} + \text{CO}_2 + 2\text{SO}_2$	62,584 Kcal/mol BaO
$\text{SiO}_2 + \text{MnO} = \text{SiO}_2 \cdot \text{MnO}$	-5,91 Kcal/mol MnO
$2\text{SiO}_2 + 2\text{SO}_4\text{Zn} + \text{C} = 2\text{SiO}_2 \cdot \text{ZnO} + \text{CO}_2 + 2\text{SO}_2$	36,184 Kcal/mol ZnO
$\text{SiO}_2 + \text{CO}_3\text{Li}_2 = \text{SiO}_2 \cdot \text{Li}_2\text{O} + \text{CO}_2$	24,998 Kcal/mol Li ₂ O

Y que las convertirán en metasilicatos de los diferentes elementos metálicos, a 25°C, quedando un exceso de SiO₂ sin reaccionar. Este proceso es sencillo de establecer termodinámicamente, si bien es irrealizable en la práctica a velocidades perceptibles. Sin embargo, el cálculo entálpico AH, es inmediato.

- Etapa 2.- Los metasilicatos y la sílice a 25 °C, en estado sólido y separadamente, se fundirán para pasar al estado líquido a 25 °C. Al igual que en la etapa anterior, este proceso es sencillo de establecer termodinámicamente, si bien es irrealizable en la práctica a velocidades perceptibles. No obstante, también el cálculo de AH₂ es sencillo, si se conoce la diferencia de calores específicos medios entre el material sólido y el líquido.
- Etapa 3.- Los metasilicatos y la sílice, ya en estado líquido, deben mezclarse y reaccionar entre sí para dar lugar a la mezcla/disolución de silicatos complejos de difícil definición, y a la

que ya llamamos vidrio. El valor de AH3 es totalmente desconocido, para la mayoría de los vidrios industriales, su valor es a lo sumo el 10% del valor total.

La suma: $\Delta H1 + \Delta H2 + \Delta H3 = H_0$ proporciona el valor del calor de formación de un vidrio dado, es decir, su entalpia tipo de formación (a 25 °C).

Al calor de formación a 25°C obtenido a partir de sustancias puras, habrá que añadir los calores de evaporación del agua de humectación de las materias primas así como el de deshidratación de sales hidratadas, tales como el CaSO4-2H2O, el Na2SO4-10H2O, el Na2CO3H2O o el Na2CO3-10H2O, todos ellos frecuentemente presentes en las mezclas vitrificables industriales, ya sea como tal materia prima, ya sea como consecuencia de la hidratación que se produce en el momento de la humidificación de las mezclas para evitar polvo en el transporte, etc.

Como consecuencia de todo lo anterior, puede representarse el calor de formación del vidrio según una ecuación del tipo:

$$\sum_{i=1}^m MP_{i(solido,1atm,25^{\circ}C)} \rightarrow Vidrio_{(solido,1atm,25^{\circ}C)} + \sum Gases\ derivados\ del\ vidrio_{(gas,1atm,25^{\circ}C)} - H_{FV}$$

Es decir:

$$\sum MP_{i(solido,1atm,25^{\circ}C)} \rightarrow V_{(Liquido,1atm,25^{\circ}C)} + \sum_{k=1}^p Gv_{k(solido,1atm,25^{\circ}C)} - H_0$$

Siendo H_0 el calor de formación, a 25°C, del vidrio en cuestión, partiendo de sus materias primas.

La cantidad de energía necesaria para preparar una unidad de masa de vidrio a una temperatura T_e , será la resultante del cálculo anterior, al que se le sumará el calor sensible de su calentamiento desde la temperatura tipo de 25 °C hasta el valor T_e . Esta segunda cantidad de energía se calculará a partir:

$$\int_{25}^{T_e} C_{p(T)} dT$$

Sabiendo que la función C_{pm} se obtiene de las relaciones empíricas.

1. La temperatura de fusión del vidrio.

La temperatura de fusión es la temperatura a la cual la sustancia pasa del estado sólido al estado líquido.

El valor de esa "temperatura de fusión" depende de la naturaleza química, y la proporción de las diferentes materias presentes. De algunos ensayos realizados, de forma industrial inducen a establecer como temperatura "de fusión" para vidrios de bajo contenido en álcalis los 1 420°C. Este "punto" no es una temperatura constante ni en el tiempo, ni para todas las mezclas vitrificables. No obstante para cada una de ellas, definida por la naturaleza de las sustancias que la componen, se mantiene dentro de unos límites bastantes estrechos. De manera general, puede decirse que este "punto de fusión" es tanto más bajo cuanto mayor es el contenido en álcalis del vidrio a elaborar. Los datos experimentales, muestran que dentro de la gama de las mezclas vitrificables corrientemente usadas en la industria del vidrio plano o para envases,

este punto puede oscilar entre un mínimo de 1 390°C para contenidos en álcalis del 14,5%, hasta los 1 450°C para contenidos del 12%.

II. Cinética química en la producción del vidrio.

El Na₂CO₃ en presencia de SiO₂ inicia su reacción sobre los 550°C. Sin embargo el primer eutéctico líquido Na₂O.3SiO₂ no se obtiene hasta los 789°C, y es a partir de ese momento que la velocidad de reacción empieza a tomar valores significativos. A partir de esa temperatura se van formando, gracias a distintas reacciones, diferentes fases líquidas de composiciones muy diversas.

Tabla 01. Cinética de las reacciones químicas formadoras del sílice.

<i>Temperatura °C</i>	<i>Transformación</i>
600	$\text{CO}_3\text{Na}_2 + \text{CO}_3\text{Ca} \rightarrow (\text{CO}_3)\text{CaNa}_2$
<760	$2[(\text{CO}_3)_2\text{CaNa}_2]10\text{SiO}_2 \rightarrow 2[2\text{SiO}_2.\text{Na}_2\text{O}] + 6\text{SiO}_2.3\text{CaO}.\text{Na}_2\text{O} + 6\text{CO}_2$
-760	<i>Fusión peritética:</i> $6\text{SiO}_2.3\text{CaO}.\text{Na}_2\text{O} + 2\text{SiO}_2.\text{Na}_2\text{O} \rightarrow 3\text{SiO}_2.2\text{CaO}.\text{Na}_2\text{O}$
785	Fusión del eutéctico 3CO ₃ Na ₂ .2CO-Ca
790	Fusión del eutéctico 3SiO ₂ .Na ₂ O
827-834	Fusión periférica: $3\text{SiO}_2.\text{CaO}.2\text{Na}_2\text{O} + \text{SiO}_2.\text{Na}_2\text{O} \rightarrow 3\text{SiO}_2.2\text{CaO}.\text{NaO}$
1.045	Fusión incongruente del 6SiO ₂ .3CaO.Na ₂ O
1.125	Fusión incongruente del 5SiO ₂ .3CaO.4Na ₂ O
1.141	Fusión incongruente del 3SiO ₂ .3CaO.Na ₂ O
1.284	Fusión congruente del 3SiO ₂ .2CaO.Na ₂ O
-1.450	Fusión congruente del 2SiO ₂ .2CaO.Na ₂ O

La velocidad con que reaccionan los componentes de este sistema resulta marcadamente influida por efecto de los aditivos que se incorporan. Por estudios realizados todos los ensayos y experimentos

llevan a concluir que la cinética química de estas combinaciones de sustancias es extremadamente compleja sin establecerse relaciones cuantitativamente aceptables entre velocidad de reacción, composición de la mezcla vitrificable y temperatura. De la inmensa cantidad de bibliografía sobre el tema, se extraen tres conclusiones técnicamente interesantes:

- Desde el punto de vista industrial, puede considerarse que la velocidad de reacción de las materias vitrificables por debajo de los 850°C es prácticamente nula.
- A partir de esa temperatura, la velocidad aumenta exponencialmente con ella, sucediéndose una serie de procesos de fusión.
- A partir de los 1 400 / 1 450 °C todas las materias están bajo la forma de vidrio.

III. Calentamiento de la mezcla vitrificable en el horno.

Las materias primas, convenientemente dosificadas y mezcladas, y con su humedad correspondiente para ser cargadas al horno, suelen denominarse genéricamente "mezcla o materia vitrificable". Cuando esta mezcla entra en el horno, a una temperatura ambiente (25 °C), recibe por su parte superior la radiación térmica propia del laboratorio de combustión de este. Dicha radiación es absorbida por la superficie de la mezcla, que se calienta y transmite su calor a las capas inmediatamente inferiores, y así sucesivamente. Cuando la temperatura de superficie haya alcanzado el valor para el que la mezcla vitrificable inicia de forma rápida su paso a la fase líquida, la absorción de calor servirá para subir su temperatura,

pero fundamentalmente para efectuar los cambios de fase y las reacciones correspondientes. A partir de ese momento, el aumento de temperatura de la superficie se realizará con más lentitud, y los cambios de fase y químicos prevalecerán. El fenómeno se asemejará al cambio de fase de una sustancia pura, tendiendo a mantenerse la temperatura constante en el que se denominó "punto de fusión".

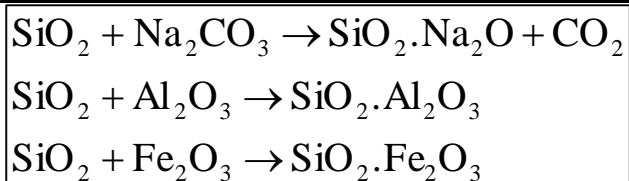
BALANCE DE MATERIA

VIDRIO SOLUBLE

Materia Prima	Masa (g)	%m	Componentes	Masa (g)	%m
Vidrio reciclado	254.68	63.67	SiO ₂	252.1332	99.000
			Al ₂ O ₃	1.5790	0.620
			Fe ₂ O ₃	0.0662	0.026
			CaO	0.0102	0.0040
			Insolubles	0.8914	0.350
Na ₂ CO ₃	84.00	21.00	Na ₂ CO ₃	82.3200	98
			Fe ₂ O ₃	0.0012	0.0014
			Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0186
			NaCl	0.4200	0.5
			H ₂ O	1.1592	1.38
			Insolubles	0.0840	0.1
SiO ₂	61.32	15.33	SiO ₂	60.0936	98
			Al ₂ O ₃	0.27594	0.45
			Fe ₂ O ₃	0.03066	0.05
			Insolubles	0.9198	1.5
Total	400.00	100.00			

MATERIAS PRIMAS

Componentes	Masa (g)	%m	M (g/molg)	n (molg)
SiO ₂	312.2268	78.0567	60.0860	5.1963
Na ₂ CO ₃	82.3200	20.5800	105.9900	0.7767
Al ₂ O ₃	1.8550	0.4637	101.9600	0.0182
Fe ₂ O ₃	0.0981	0.0245	159.7000	0.0006
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0039	142.0400	0.0001
NaCl	0.4200	0.1050	58.4400	0.0072
CaO	0.0102	0.0025	56.08	0.0002
H ₂ O	1.1592	0.2898	18.0000	0.0644
Insolubles	1.8952	0.4738		
Total	400.0000	100.0000		



PRODUCTO SOLIDO

Componentes	n molg	M (g/molg)	Masa (g)	%m
SiO ₂	4.4008	60.0860	264.4293	72.5141
SiO ₂ .Na ₂ O	0.7767	122.0660	94.8059	25.9985
SiO ₂ .Al ₂ O ₃	0.0182	162.0460	2.9481	0.8085
SiO ₂ .Fe ₂ O ₃	0.0006	219.7860	0.1349	0.0370
Na ₂ SO ₄	0.0001	142.0400	0.0156	0.0043
NaCl	0.0072	58.4400	0.4200	0.1152
CaO	0.0002	56.0800	0.0102	0.0028
Insolubles			1.8952	0.5197
Total			364.6592	100.0000

CORRIENTE GASEOSA

Componentes	n (molg)	M (g/molg)	Masa (g)	%m
CO ₂	0.7767	44.0100	34.1816	96.7199
H ₂ O	0.0644	18.0000	1.1592	3.2801
Total			35.3408	100.0000

COMPOSICION DEL
VIDRIO

Componentes	n (molg)	M (g/molg)	Masa (g)	%m
SiO ₂	5.1963	60.0860	312.2268	85.6215
Na ₂ O	0.7767	61.9800	48.1384	13.2009
Al ₂ O ₃	0.0182	101.9600	1.8550	0.5087
Fe ₂ O ₃	0.0006	159.7000	0.0981	0.0269
Na ₂ SO ₄	0.0001	142.0400	0.0156	0.0043
NaCl	0.0072	58.4400	0.4200	0.1152
CaO	0.0002	56.0800	0.0102	0.0028
Insolubles			1.8952	0.5197
Total			364.6592	100.0000

BALANCE DE ENERGIA

Corriente	Temperatura		
	°C	K	°F
Materia Prima	18	291.15	64.40
Estandar	25	298.15	77.00
Productos	1200	1473.15	2192.00
Gases	400	673.15	752.00

A.- CALOR SENSIBLE DE LA MATERIA PRIMA (REACTANTES)

Componentes	Masa (g)	n (molg)	Capacidad Calorifica			ΔH (cal)	
			Unidades	a	b		c
SiO ₂	312.2268	5.1963	cal/molg.K	9.679	1.066E-02	-1.989E+05	382.9730
Na ₂ CO ₃	82.3200	0.7767	J/molg.K	58.492	2.276E-01	-1.310E+06	143.4511
Al ₂ O ₃	1.8550	0.0182	cal/molg.K	27.605	2.758E-03	-8.480E+05	2.3749
Fe ₂ O ₃	0.0981	0.0006	kcal/molg.K	23.470	1.927E-02	-3.927E+05	105.8284
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0001	cal/molg.K	32.800			0.0253
NaCl	0.4200	0.0072	cal/molg.K	15.900			0.7999
CaO	0.0102	0.0002	cal/molg.K	12.128	8.800E-04	-2.080E+05	0.0127
H ₂ O (l)	1.1592	0.0644	J/molg.°C	75.400			8.1184
Insolubles	1.8952						
Total	400.0000						643.5837

$$C_p = a + bT + cT^{-2}$$

B.- CALOR SENSIBLE DE LOS PRODUCTOS

Componentes	Masa (g)	n (molg)	Unidades	Capacidad Calorífica				ΔH (cal)
				a	b	c	d	
SiO ₂	312.2268	5.1963	cal/molg.K	9.679	1.066E-02	-1.989E+05		113976.0171
Na ₂ O	48.1384	0.7767	cal/molg.K	13.377	9.834E-03	1.870E+04		20194.8790
Al ₂ O ₃	1.8550	0.0182	cal/molg.K	27.605	2.758E-03	-8.480E+05		601.0485
Fe ₂ O ₃	0.0981	0.0006	kcal/molg.K	23.470	1.927E-02	-3.927E+05		28597.8493
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0001	cal/molg.K	32.800				4.2393
NaCl	0.4200	0.0072	cal/molg.K	15.900				134.2685
CaO	0.0102	0.0002	cal/molg.K	12.128	8.800E-04	-2.080E+05		2.6539
Insolubles	1.8952							
Sub Total	364.6592							163510.9555
CO ₂	34.1816	0.7767	cal/molg.K	10.843	2.076E-03	-2.999E-05		3451.7109
Total								166962.6664

$C_p = a + bT + cT^{-2}$

C.- CALOR DE REACCION

Reacción Química	n (molg)	Δh_{rx} (kcal/molg)	ΔH_{rx} (cal)
$SiO_2 + Na_2CO_3 \rightarrow SiO_2 \cdot Na_2O + CO_2$	0.7767	-5.1520	-4001.4401
$SiO_2 + Al_2O_3 \rightarrow SiO_2 \cdot Al_2O_3$	0.0182	-39.5600	-719.7142
$SiO_2 + Fe_2O_3 \rightarrow SiO_2 \cdot Fe_2O_3$	0.0006	128.3500	78.8045
Total			-4642.3498

D.- CALOR DE FUSIÓN DE LOS PRODUCTOS

Componentes	Masa (g)	n (molg)	$\Delta h_{fusión}$ (cal/molg)	Temperatura de fusión (K)	ΔH (cal)
SiO ₂	312.2268	5.1963	175	847	909.3581
Na ₂ O	48.1384	0.7767	12000	1405	9320.1245
Al ₂ O ₃	1.8550	0.0182	26680	2327	485.3886
Fe ₂ O ₃	0.0981	0.0006	33000	1700	20.2614
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0001	5800	1163	0.6380
NaCl	0.4200	0.0072	6800	1081	48.8706
CaO	0.0102	0.0002	2040	1112	0.3706
Insolubles	1.8952				
Total	364.6592				10785.0118

E.- FLUJO DE CALOR PARA MANTENER EL HORNO ELECTRICO A 1200 °C

Cálculo de Pérdida de Calor a Través de las Paredes por Conducción de Calor Bidimensional en Estado Estacionario

$$Q = K S \Delta T$$

$$S = 6S_p + 12S_a + 8S_v$$

Para una pared: $S_p = A_p / e$

Para una orilla: $S_a = 0.54 L_a$

Para una esquina: $S_v = 0.15 e$

Temperatura externa del horno eléctrico, T_2 (°C)	58.0000
Area de la pared, A_p (m ²)	0.0529
Longitud del borde, L_a (m)	0.2300
Espesor de la pared, e (m)	0.1250
Conductividad térmica del material refractario, K (W/m.°C)	0.4498
S_p	0.4232
S_a	0.1242
S_v	0.0188
Flujo de Calor, Q (J/s=W)	6179.2639
Tiempo de operación (horas)	1
Calor	5313210.56

F.- CALOR DE EVAPORACION DEL AGUA

Componentes	Masa (g)	λ (cal/g)	ΔH (cal)
H ₂ O	1.1592	545.12	631.9031
Total			631.9031

RESUMEN

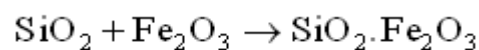
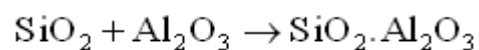
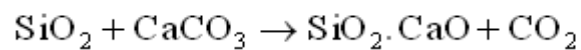
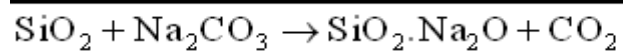
CALOR		ΔH (cal)	ΔH (kcal)
A.- CALOR SENSIBLE DE LA MATERIA PRIMA (REACTANTES)		643.58	0.6436
B.- CALOR SENSIBLE DE LOS PRODUCTOS		166962.67	166.9627
C.- CALOR DE REACCION		-4642.35	-4.6423
D.- CALOR DE FUSIÓN DE LOS PRODUCTOS		10785.01	10.7850
E.- FLUJO DE CALOR PARA MANTENER EL HORNO ELECTRICO A 1200 °C		5313210.56	5313.2106
F.- CALOR DE EVAPORACION DEL AGUA		631.90	0.6319
G.- CALOR DEBIDO A LA FORMACION DE SILICATOS COMPLEJOS (10%)		609732.37	609.7324
TOTAL		6097323.75	6097.3237
CALOR GENERADO POR LA RESISTENCIA ELECTRICA		6242476.354	6242.4764
Voltaje (V)	220.00		
Resistencia (Ω)	20.00		
Flujo de Calor (J/s=W)	2420.00		
Tiempo de Operación (h)	3.00		
CALOR TRANSFERIDO POR OTROS MECANISMOS NO CONSIDERADOS		145152.61	145.1526

BALANCE DE MATERIA

VIDRIO SODOCALCICO

Materia Prima	Masa (g)	%m	Componentes	Masa (g)	%m
Vidrio reciclado	252.00	63.00	SiO ₂	249.4800	99.000
			Al ₂ O ₃	1.5624	0.620
			Fe ₂ O ₃	0.0655	0.026
			CaO	0.0101	0.0040
			Insolubles	0.8820	0.350
Na ₂ CO ₃	84.00	21.00	Na ₂ CO ₃	82.3200	98
			Fe ₂ O ₃	0.0012	0.0014
			Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0186
			NaCl	0.4200	0.5
			H ₂ O	1.1592	1.38
			Insolubles	0.0840	0.1
CaCO ₃	64.00	16.00	CaCO ₃	62.08	97
			Fe ₂ O ₃	0.0384	0.06
			Al ₂ O ₃	0.192	0.3
			SiO ₂	0.3648	0.57
			Insolubles	1.3248	2.07
Total	400.00	100.00			

MATERIAS PRIMAS				
Componentes	Masa (g)	%m	M (g/molg)	n molg
SiO ₂	249.8448	62.4612	60.0860	4.1581
Na ₂ CO ₃	82.3200	20.5800	105.9900	0.7767
CaCO ₃	62.08	15.5200	100.0900	0.6202
Al ₂ O ₃	1.7544	0.4386	101.9600	0.0172
Fe ₂ O ₃	0.1051	0.0263	159.7000	0.0007
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0039	142.0400	0.0001
NaCl	0.4200	0.1050	58.4400	0.0072
CaO	0.0101	0.0025	56.08	0.0002
H ₂ O	1.1592	0.2898	18.0000	0.0644
Insolubles	2.2908	0.5727		
Total	400.0000	100.0000		



PRODUCTO SOLIDO				
Componentes	n molg	M (g/molg)	Masa (g)	%m
SiO ₂	2.7433	60.0860	164.8361	48.8602
SiO ₂ .Na ₂ O	0.7767	122.0660	94.8059	28.1021
SiO ₂ .CaO	0.6202	116.1660	72.0510	21.3572
SiO ₂ .Al ₂ O ₃	0.0172	162.0460	2.7883	0.8265
SiO ₂ .Fe ₂ O ₃	0.0007	219.7860	0.1446	0.0429
Na ₂ SO ₄	0.0001	142.0400	0.0156	0.0046
NaCl	0.0072	58.4400	0.4200	0.1245
CaO	0.0002	56.0800	0.0101	0.0030
Insolubles			2.2908	0.6790
Total			337.3624	100.0000

CORRIENTE GASEOSA				
Componentes	n (molg)	M (g/molg)	Masa (g)	%m
CO ₂	1.3969	44.0100	61.4784	98.1494
H ₂ O	0.0644	18.0000	1.1592	1.8506
Total			62.6376	100.0000

COMPOSICION DEL VIDRIO				
Componentes	n (molg)	M (g/molg)	Masa (g)	%m
SiO ₂	4.1581	60.0860	249.8448	74.0583
Na ₂ O	0.7767	61.9800	48.1384	14.2691
CaO	0.6204	56.0800	34.7932	10.3133
Al ₂ O ₃	0.0172	101.9600	1.7544	0.5200
Fe ₂ O ₃	0.0007	159.7000	0.1051	0.0312
Na ₂ SO ₄	0.0001	142.0400	0.0156	0.0046
NaCl	0.0072	58.4400	0.4200	0.1245
Insolubles			2.2908	0.6790
Total			337.3624	100.0000

BALANCE DE ENERGIA

Componentes	Masa (g)	n (molg)	Unidades	Capacidad Calorifica			ΔH (cal)
				a	b	c	
SiO ₂	249.8448	4.1581	cal/molg.K	9.679	1.066E-02	-1.989E+05	306.4561
Na ₂ CO ₃	82.3200	0.7767	J/molg.K	58.492	2.276E-01	-1.310E+06	143.4511
CaCO ₃	62.0800	0.6202	cal/molg.K	19.68	1.189E-03	-3.076E+05	71.5807
Al ₂ O ₃	1.7544	0.0172	cal/molg.K	27.605	2.758E-03	-8.480E+05	2.2462
Fe ₂ O ₃	0.1051	0.0007	kcal/molg.K	23.470	1.927E-02	-3.927E+05	113.4301
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0001	cal/molg.K	32.800			0.0253
NaCl	0.4200	0.0072	cal/molg.K	15.900			0.7999
CaO	0.0101	0.0002	cal/molg.K	12.128	8.800E-04	-2.080E+05	0.0126
H ₂ O	1.1592	0.0644	J/molg.°C	75.400			8.1184
Insolubles	2.2908						
Total	400.0000						646.1204
$C_p = a + bT + cT^{-2}$							

Componentes	Masa (g)	n (molg)	Unidades	Capacidad Calorifica				ΔH (cal)
				a	b	c	d	
SiO ₂	249.8448	4.1581	cal/molg.K	9.679	1.066E-02	-1.989E+05		91203.9428
Na ₂ O	48.1384	0.7767	cal/molg.K	13.377	9.834E-03	1.870E+04		20194.8790
CaO	34.7932	0.6204	cal/molg.K	12.128	8.800E-04	-2.080E+05		9064.1852
Al ₂ O ₃	1.7544	0.0172	cal/molg.K	27.605	2.758E-03	-8.480E+05		568.4660
Fe ₂ O ₃	0.1051	0.0007	kcal/molg.K	23.470	1.927E-02	-3.927E+05		30652.0525
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0001	cal/molg.K	32.800				4.2393
NaCl	0.4200	0.0072	cal/molg.K	15.900				134.2685
Insolubles	2.2908							
Sub Total	337.3624							151822.0332
CO ₂	61.4784	1.3969	cal/molg.K	10.843	2.076E-03	-2.999E-05		6208.1916
Total								158030.2248
$C_p = a + bT + cT^{-2}$								

Reacción Química	n (molg)	Δh_{rx} (kcal/molg)	ΔH_{rx} (cal)
$SiO_2 + Na_2CO_3 \rightarrow SiO_2 \cdot Na_2O + CO_2$	0.7767	-5.1520	-4001.4401
$SiO_2 + CaCO_3 \rightarrow SiO_2 \cdot CaO + CO_2$	0.6202	20.8980	12961.8128
$SiO_2 + Al_2O_3 \rightarrow SiO_2 \cdot Al_2O_3$	0.0172	-39.5600	-680.6989
$SiO_2 + Fe_2O_3 \rightarrow SiO_2 \cdot Fe_2O_3$	0.0007	128.3500	84.4651
Total			8364.1388

Componentes	Masa (g)	n (mol/g)	$\Delta h_{\text{fusión}}$ (cal/molg)	Temperatura de fusión (K)	ΔH (cal)
SiO ₂	249.8448	4.1581	175	847	727.6710
Na ₂ O	48.1384	0.7767	12000	1405	9320.1245
CaO	34.7932	0.6204	2040	1112	1265.6599
Al ₂ O ₃	1.7544	0.0172	26680	2327	459.0760
Fe ₂ O ₃	0.1051	0.0007	33000	1700	21.7168
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0001	5800	1163	0.6380
NaCl	0.4200	0.0072	6800	1081	48.8706
Insolubles	2.2908				
Total	337.3624				11843.7569

Componentes	Masa (g)	λ (cal/g)	ΔH (cal)
H ₂ O	1.1592	545.12	631.9031
Total			631.9031

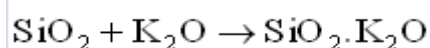
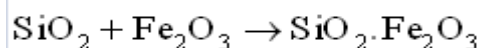
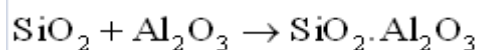
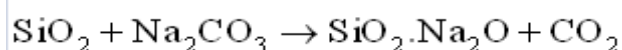
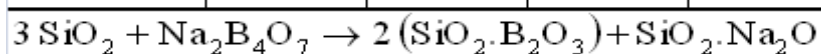
CALOR		ΔH (cal)	ΔH (kcal)
A.- CALOR SENSIBLE DE LA MATERIA PRIMA (REACTANTES)		646.12	0.6461
B.- CALOR SENSIBLE DE LOS PRODUCTOS		158030.22	158.0302
C.- CALOR DE REACCION		8364.14	8.3641
D.- CALOR DE FUSIÓN DE LOS PRODUCTOS		11843.76	11.8438
E.- FLUJO DE CALOR PARA MANTENER EL HORNO ELECTRICO A 1300 °C		5313210.56	5313.2106
F.- CALOR DE EVAPORACION DEL AGUA		631.90	0.6319
G.- CALOR DEBIDO A LA FORMACION DE SILICATOS COMPLEJOS (10%)		610302.97	610.3030
TOTAL		6103029.67	6103.0297
CALOR GENERADO POR LA RESISTENCIA ELECTRICA		26136000	26136.0000
Voltaje (V)	220		
Resistencia (Ω)	20		
Flujo de Calor (J/s=W)	2420		
Tiempo de Operación (h)	3		
CALOR TRANSFERIDO POR OTROS MECANISMOS NO CONSIDERADOS		20032970.33	20032.9703

BALANCE DE MATERIA

VIDRIO BOROSILICATO

Materia Prima	Masa (g)	%m	Componentes	Masa (g)	%m
Vidrio reciclado	252.00	63.00	SiO ₂	249.4800	99.000
			Al ₂ O ₃	1.5624	0.620
			Fe ₂ O ₃	0.0655	0.026
			CaO	0.0101	0.0040
			Insolubles	0.8820	0.350
Na ₂ CO ₃	84.00	21.00	Na ₂ CO ₃	82.3200	98
			Fe ₂ O ₃	0.0012	0.0014
			Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0186
			NaCl	0.4200	0.5
			H ₂ O	1.1592	1.38
			Insolubles	0.0840	0.1
Feldespatos	12.00	3.00	SiO ₂	7.776	64.8
			Al ₂ O ₃	2.196	18.3
			K ₂ O	2.028	16.9
Borax	52.00	13.00	Na ₂ B ₄ O ₇	50.44	97
			H ₂ O	1.56	3
Total	400.00	100.00			

MATERIAS PRIMAS				
Componentes	Masa (g)	%m	M (g/molg)	n (molg)
SiO ₂	257.2560	64.3140	60.0860	4.2815
Na ₂ B ₄ O ₇	50.44	12.6100	201.2200	0.2507
Na ₂ CO ₃	82.3200	20.5800	105.9900	0.7767
Al ₂ O ₃	3.7584	0.9396	101.9600	0.0369
Fe ₂ O ₃	0.0667	0.0167	159.7000	0.0004
K ₂ O	2.028	0.5070	94.2000	0.0215
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0039	142.0400	0.0001
NaCl	0.4200	0.1050	58.4400	0.0072
CaO	0.0101	0.0025	56.08	0.0002
H ₂ O	2.7192	0.6798	18.0000	0.1511
Insolubles	0.9660	0.2415		
Total	400.0000	100.0000		



PRODUCTO SOLIDO				
Componentes	n (molg)	M (g/molg)	Masa (g)	%m
SiO ₂	2.6940	60.0860	161.8696	44.5800
SiO ₂ .Na ₂ O	1.0273	122.0660	125.4043	34.5372
SiO ₂ .B ₂ O ₃	0.5013	129.7060	65.0270	17.9089
SiO ₂ .K ₂ O	0.0215	154.2860	3.3216	0.9148
SiO ₂ .Al ₂ O ₃	0.0369	162.0460	5.9733	1.6451
SiO ₂ .Fe ₂ O ₃	0.0004	219.7860	0.0918	0.0253
Na ₂ SO ₄	0.0001	142.0400	0.0156	0.0043
NaCl	0.0072	58.4400	0.4200	0.1157
CaO	0.0002	56.0800	0.0101	0.0028
Insolubles			0.9660	0.2660
Total			363.0992	100.0000

CORRIENTE GASEOSA				
Componentes	n (molg)	M (g/molg)	Masa (g)	%m
CO ₂	0.7767	44.0100	34.1816	92.6310
H ₂ O	0.1511	18.0000	2.7192	7.3690
Total			36.9008	100.0000

COMPOSICION DEL VIDRIO				
Componentes	n (molg)	M (g/molg)	Masa (g)	%m
SiO ₂	4.2815	60.0860	257.2560	70.8501
Na ₂ O	1.0273	61.9800	63.6750	17.5365
B ₂ O ₃	0.5013	69.6200	34.9034	9.6126
K ₂ O	0.0215	94.2000	2.0280	0.5585
Al ₂ O ₃	0.0369	101.9600	3.7584	1.0351
Fe ₂ O ₃	0.0004	159.7000	0.0667	0.0184
Na ₂ SO ₄	0.0001	142.0400	0.0156	0.0043
NaCl	0.0072	58.4400	0.4200	0.1157
CaO	0.0002	56.0800	0.0101	0.0028
Insolubles			0.9660	0.2660
Total			363.0992	100.0000

BALANCE DE ENERGIA

Componentes	Masa (g)	n (molg)	Unidades	Capacidad Calorifica			ΔH (cal)
				a	b	c	
SiO ₂	257.2560	4.2815	cal/molg.K	9.679	1.066E-02	-1.989E+05	315.5466
Na ₂ B ₄ O ₇	50.4400	0.2507	cal/molg.K	47.900			84.0500
Na ₂ CO ₃	82.3200	0.7767	J/molg.K	58.492	2.276E-01	-1.310E+06	143.4511
Al ₂ O ₃	3.7584	0.0369	cal/molg.K	27.605	2.758E-03	-8.480E+05	4.8120
Fe ₂ O ₃	0.0667	0.0004	kcal/molg.K	23.470	1.927E-02	-3.927E+05	71.9850
K ₂ O	2.0280	0.0215	cal/molg.K	18.154	4.090E-03	-1.398E-05	2.9174
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0001	cal/molg.K	32.800			0.0253
NaCl	0.4200	0.0072	cal/molg.K	15.900			0.7999
CaO	0.0101	0.0002	cal/molg.K	12.128	8.800E-04	-2.080E+05	0.0126
H ₂ O	2.7192	0.1511	J/molg.°C	75.400			19.0439
Insolubles	0.9660						
Total	400.0000						642.6436
$C_p = a + bT + cT^{-2}$							

Componentes	Masa (g)	n (molg)	Unidades	Capacidad Calorifica			ΔH (cal)
				a	b	c	
SiO ₂	257.2560	4.2815	cal/molg.K	9.679	1.066E-02	-1.989E+05	315.5466
Na ₂ B ₄ O ₇	50.4400	0.2507	cal/molg.K	47.900			84.0500
Na ₂ CO ₃	82.3200	0.7767	J/molg.K	58.492	2.276E-01	-1.310E+06	143.4511
Al ₂ O ₃	3.7584	0.0369	cal/molg.K	27.605	2.758E-03	-8.480E+05	4.8120
Fe ₂ O ₃	0.0667	0.0004	kcal/molg.K	23.470	1.927E-02	-3.927E+05	71.9850
K ₂ O	2.0280	0.0215	cal/molg.K	18.154	4.090E-03	-1.398E-05	2.9174
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0001	cal/molg.K	32.800			0.0253
NaCl	0.4200	0.0072	cal/molg.K	15.900			0.7999
CaO	0.0101	0.0002	cal/molg.K	12.128	8.800E-04	-2.080E+05	0.0126
H ₂ O	2.7192	0.1511	J/molg.°C	75.400			19.0439
Insolubles	0.9660						
Total	400.0000						642.6436
$C_p = a + bT + cT^{-2}$							

Reacción Química	n (molg)	Δh_{rx} (kcal/molg)	ΔH_{rx} (cal)
$3\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \rightarrow 2(\text{SiO}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3) + \text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O}$	0.2507		
$\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2$	0.7767	20.8980	16230.9969
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	0.0369	-39.5600	-1458.2415
$\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	0.0004	128.3500	53.6032
$\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O}$	0.0215	8.3080	178.8601
Total			15005.2187

Componentes	Masa (g)	n (mol/g)	$\Delta h_{\text{fusión}}$ (cal/molg)	Temperatura de fusión (K)	ΔH (cal)
SiO ₂	257.2560	4.2815	175	847	749.2561
Na ₂ O	63.6750	1.0273	12000	1405	12328.1754
B ₂ O ₃	34.9034	0.5013			
K ₂ O	2.0280	0.0215	558.0000	336	12.0130
Al ₂ O ₃	3.7584	0.0369	26680	2327	983.4652
Fe ₂ O ₃	0.0667	0.0004	33000	1700	13.7819
Na ₂ SO ₄	0.0156	0.0001	5800	1163	0.6380
NaCl	0.4200	0.0072	6800	1081	48.8706
CaO	0.0101	0.0002	2040	1112	0.3667
Insolubles	0.9660				
Total	363.0992				14136.5669

Componentes	Masa (g)	λ (cal/g)	ΔH (cal)
H ₂ O	2.7192	545.12	1482.2903
Total			1482.2903

CALOR		ΔH (cal)	ΔH (kcal)
A.- CALOR SENSIBLE DE LA MATERIA PRIMA (REACTANTES)		642.64	0.6426
B.- CALOR SENSIBLE DE LOS PRODUCTOS		147566.55	147.5665
C.- CALOR DE REACCION		15005.22	15.0052
D.- CALOR DE FUSIÓN DE LOS PRODUCTOS		14136.57	14.1366
E.- FLUJO DE CALOR PARA MANTENER EL HORNO ELECTRICO A 1300 °C		5313210.56	5313.2106
F.- CALOR DE EVAPORACION DEL AGUA		1482.29	1.4823
G.- CALOR DEBIDO A LA FORMACION DE SILICATOS COMPLEJOS (10%)		610227.09	610.2271
TOTAL		6102270.92	6102.2709
CALOR GENERADO POR LA RESISTENCIA ELECTRICA		26136000	26136.0000
Voltaje (V)	220		
Resistencia (Ω)	20		
Flujo de Calor (J/s=W)	2420		
Tiempo de Operación (h)	3		
CALOR TRANSFERIDO POR OTROS MECANISMOS NO CONSIDERADOS		20033729.08	20033.7291

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIMENTACIÓN (INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES)

En el presente capítulo de la descripción de resultados se interpretan los resultados que arrojan la evaluación de datos, la cual permitirá proponer soluciones al problema planteado, este capítulo contiene la definición de instrumentos de investigación, la forma de presentación de los datos y el resumen de los resultados.

Una vez tabulado los datos registrados en los instrumentos aplicados a la muestra seleccionada se procedió a realizar un análisis descriptivo de la frecuencia de opciones sobre las preguntas que midieron las variables en el estudio.

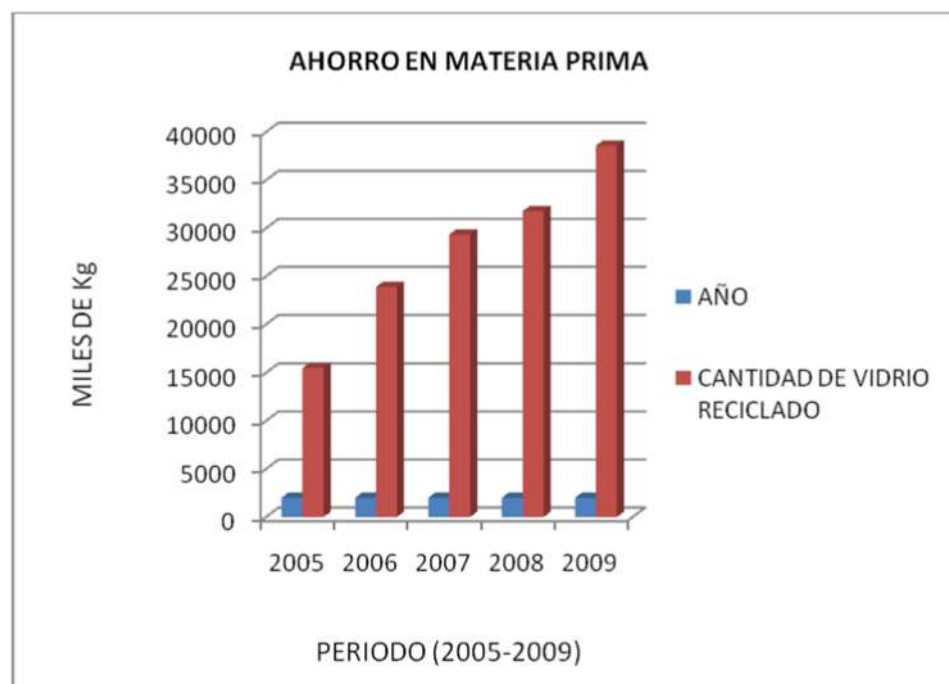
Se define como instrumento de investigación a los medios gráficos para la representación de la distribución de frecuencia.

En tal sentido se puede decir que esta investigación no es más que representar los datos de manera grafica para que de esta manera sea más fácil de entender.

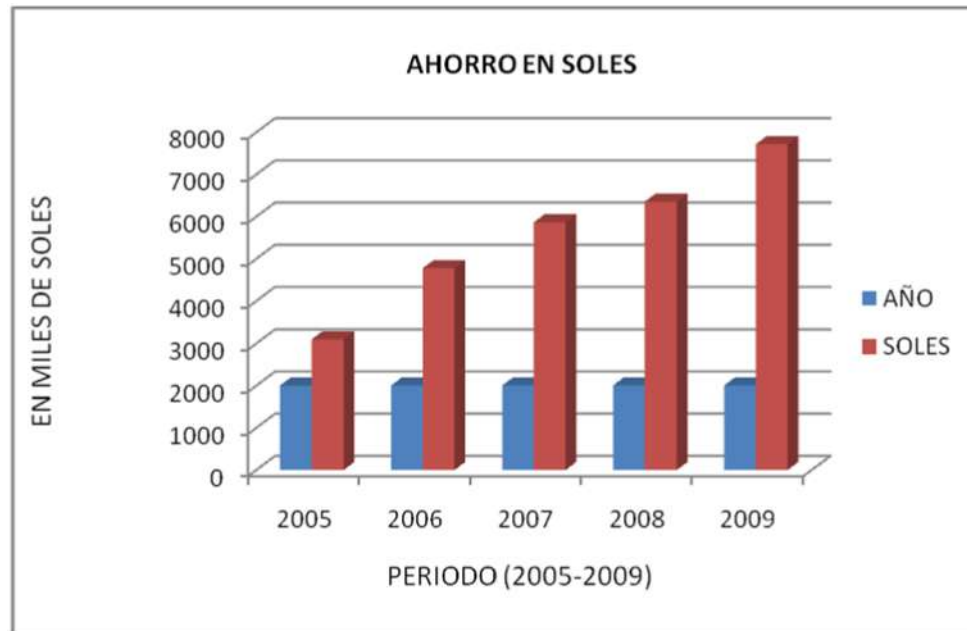
Los datos emanados de los instrumentos se registran en cuadros, con distribución absoluta (frecuencia) y porcentual en relación a los objetivos dirigidos a establecer acciones tendentes a solventar el problema investigado.

A continuación se presentan los cuadros y análisis. Los cuales reflejan la información que se obtiene de los instrumentos aplicados.

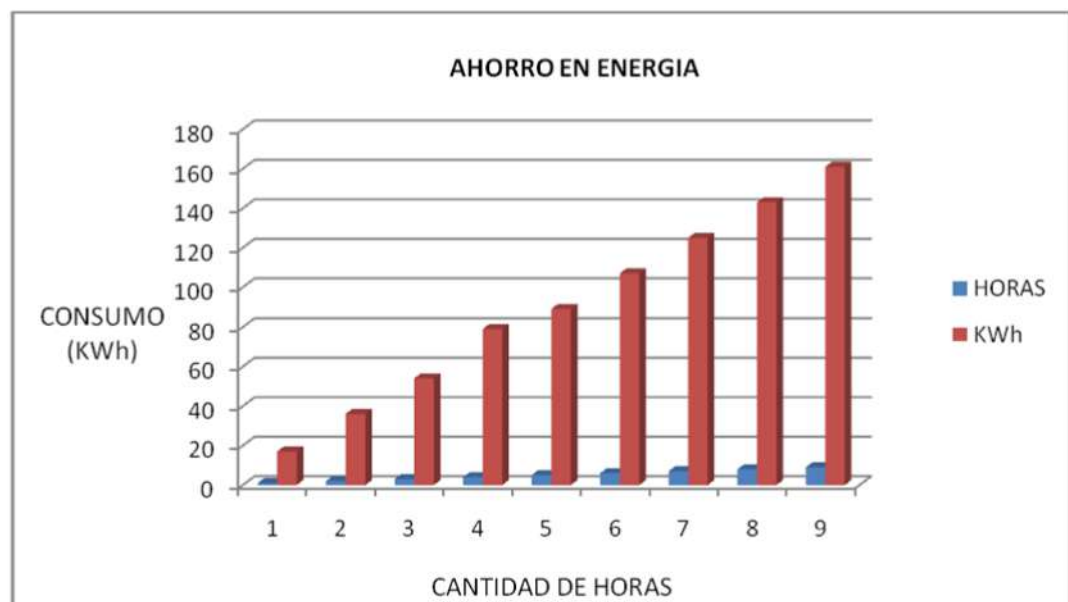
Por un lado, el empleo del vidrio usado reduce considerablemente la energía necesaria para su fabricación, el promedio de ahorro en los hornos es de 203.36 kg. De materia prima (vidrio reciclado)



Por otro lado, se disminuye el volumen de los residuos sólidos. Por cada tonelada de casco reciclado se reducen 1.000 Kg de basuras



Se reduce la erosión producida en la búsqueda y extracción de materias primas, así como hace disminuir la cantidad de combustible. Por cada tonelada de vidrio reciclado, se genera un ahorro del 70% de energía



Otra ventaja difícil de cuantificar pero no por ello menos importante es la mejora medioambiental que supone el poder reciclar envases que muchas veces, son tirados a cunetas o descampados sin ninguna consideración.

5.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con relación al resultado de nuestro proyecto de investigación denominado ESTUDIO DE RECICLAJE DEL VIDRIO PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS EN LA CIUDAD DE HUANCAYO.

Luego de haber efectuado todos los análisis correspondientes, a través de los índices de acopio, elaboración de cuadros y resúmenes. Se logró hacer un estudio que con ello se logró resultados favorables

Los antecedentes del problema fueron valiosos porque de ahí se adquirió diversos trabajos de investigación que nos ayudó a conocer más sobre el tema en estudio.

Después de culminar nuestra investigación, compartimos esta idea ya que hemos observado y determinado de acuerdo a la formulación del problema presentado. ¿De qué manera influye el reciclaje del vidrio?. Podemos asegurar que el vidrio reciclado es económico, rentable y se puede producir productos a base de estos.

También se concluye el proyecto con resultados positivos lográndose sacar diversos productos tales como: Vidrio soluble, vidrio sodocalcico, vidrio borosilicato.

En cuanto al marco teórico y a la justificación, este trabajo cuenta con una información que está acorde con los cambios que van surgiendo hoy en día; y es fácil de entender para las personas que quieran usar este trabajo como herramienta de conocimiento para futuros estudios

CONCLUSIONES

1. A partir de la fusión de envases de vidrio se obtuvieron tres tipos de vidrio: vidrio soluble, vidrio sodocálcico y vidrio Borosilicato
2. La sustitución del reciclaje de vidrio por la sílice es fundamental ya que el punto de fusión de la sílice es de 1600°C , mientras del vidrio reciclado es de 1200°C a 1300°C .
3. El vidrio para envases es el único vidrio que en la actualidad se recicla en grandes cantidades. El vidrio de ventanas, bombillos, espejos, platos de cerámica, vasos, recipientes para el horno y fibra de vidrio no es reciclable, y se considera contaminante en el reciclaje de los mismos.
4. Se debe tener especial interés en la conducción del calor, porque se puede perder potencial de valor de calentamiento debido a imperfecciones (combustión incompleta), también el mayor exceso de aire aumenta en gran cantidad los gases de combustión, y por lo

tanto, en efecto de la relación aire – combustible para la economía de esta relación debe estar sometido constantemente a diferentes análisis.

5. La medida del tamaño de las partículas es esencial para una buena mezcla, esto es una de las etapas más importantes, puesto que la distribución granulométrica afecta directamente a las operaciones secundarias
6. En el aspecto financiero, podemos decir que el reciclaje puede generar muchos empleos, ya que se necesita una gran fuerza laboral para recolectar los materiales aptos para el reciclaje y para su clasificación.

RECOMENDACIONES

1. Para obtener una materia prima adecuada, es necesario lavar los envases reciclados y seleccionarlos por colores, extraer las impurezas, reducir el volumen mediante trituración o rotura para su transporte al mercado como producto final.
2. El vidrio tiene un costo muy económico por su valor de uso, convirtiéndose en la mejor alternativa para el productor por ser el mejor material conocido para fabricar un producto por las características que ningún otro material posee, siendo este, la de preservar higiénicamente sin oxidar ni contaminar el medio ambiente, es inerte y totalmente impermeable.
3. Es recomendable la utilización de ladrillos refractarios hechos a base de carbón vegetal, chamota y arcilla refractaria para evitar las pérdidas de calor; a fin de reducir el costo de producción.

4. El tamaño o granulometría óptimo es de 0.5 mm hasta 3 mm, es decir pasarlo por malla # 100.
5. Con ayuda de los gobiernos locales, se puede crear un departamento de reciclaje en la ciudad de Huancayo, para de esta manera generar empleo y mejorar nuestra situación económica.
6. Si se desea instalar una planta de vidrio para artículos, se recomienda utilizar un tipo de horno a gas, por ser ecológico y económico a la vez.

FUENTES DE INFORMACION

1. SAPAG, Nassir
2002
Guía del Estudio de Mercado para la Evaluación de Proyectos,
Santiago-Chile: Mc. Graw Hill
2. DIAZ, Clemente
s.a
Balance de Energía y Materia,
Lima-Perú.
3. FLORES, Sofia
s.a
Balance de Materia y Energía,
Lima-Perú.
4. RUIZ, José
1990
Balance de Materia y Energía,
Lima-Perú.
5. CORAS, Alejandro,
CHAMORRO,
Gladys
1982
Proyecto para la Instalación de una planta productora de envases de vidrio para uso farmacéutico y de tocador-1982, trabajo de investigación para optar el Título de Ingeniero Químico, Huancayo-Perú: UNCP.

6. ARAUCO, Raúl
2002 **Proyecto de instalación de una planta para la obtención de envases a partir de reciclaje de vidrio – 2002**, trabajo de investigación para optar el Título de Ingeniero Químico, Huancayo-Perú: UNCP.
7. HUAMAN, James
2005 **Guía para elaborar el plan de investigación – 2005**, Chupaca – Perú.
8. http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/sec_6.html.