

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS



RECOPIACION BIBLIOGRAFICA DE
DATOS Y CONCEPTOS BASICOS DE
LA INDUSTRIA CERAMICA.

ACONDICIONAMIENTO DE UN HORNO Y
CONSTRUCCION DE TEMPLADORES
PARA FABRICACION DE PIEZAS
DE CERAMICA Y VIDRIO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIEROS QUIMICOS PRESENTAN

CARMINA CARLOTA CALZADO FLORES

JOSE LUCAS ALDAPE IBARRA

ALFONSO QUINTANILLA COBIAN

EMILIO GONZÁLEZ GUERRA

FERNANDO AYALA ESPINOSA

MONTERREY, N. L.

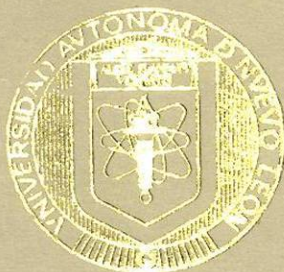
OCTUBRE DE 1976

TL
TP807
.R43
1976
c.1



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS



RECOPILACION BIBLIOGRAFICA DE
DATOS Y CONCEPTOS BASICOS DE
LA INDUSTRIA CERAMICA.

ACONDICIONAMIENTO DE UN HORNO Y
CONSTRUCCION DE TEMPLADORES
PARA FABRICACION DE PIEZAS
DE CERAMICA Y VIDRIO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIEROS QUIMICOS PRESENTAN

CARMINA CARLOTA CALZADO FLORES

JOSE LUCAS ALDAPE IBARRA

ALFONSO QUINTANILLA COBIAN

EMILIO GONZALEZ GUERRA

FERNANDO AYALA ESPINOSA

MONTERREY, N. L.

OCTUBRE DE 1976

A los que con su cooperación
hicieron posible el logro de
éste objetivo.

PROLOGO

Debido al gran desarrollo científico y tecnológico que existe en otros países respecto a la Industria cerámica y a la gran demanda que tiene nuestro país de productos cerámicos y, dado que en nuestras universidades no se le dá un carácter lo suficientemente científico al estudio de esta materia, se requiere que haya en las escuelas de nivel superior el material y equipo necesario para que tanto estudiantes como profesionistas puedan desarrollar estudios tendientes a crear nuevas tecnologías que puedan sustituir o complementar las ya existentes.

No en cuenta lo anterior, quisimos elaborar esta tesis con la intención de llegar a promover en nuestra escuela un punto de vista más científico en materia educacional de la rama de la cerámica. Para esto llevamos a cabo nuestro trabajo en varias etapas, la primera fué recopilar tipo de información bibliográfica al respecto; y se complementaron con visitas a industrias del ramo, después se trataron de aplicar los conceptos básicos en un trabajo puramente experimental y, por último quisimos recopilar las etapas anteriores en el presente apuntando dar una visión clara del trabajo realizado.

CONTENIDO. -

Prólogo..... iv

PARTE I

CAPITULO I
Introducción..... 2
CAPITULO II
Materias primas..... 7
CAPITULO III
Productos cerámicos..... 14
CAPITULO IV
Procesos elementales de la química fundamental 65

PARTE II

CAPITULO I
Introducción..... 73
CAPITULO II
Materias primas..... 76
CAPITULO III
Aspectos fisicoquímicos en la fabricación de vidrio..... 92
CAPITULO IV
Procesos en la fabricación de vidrio..... 105
CAPITULO V
Defectos de fabricación en la técnica del vidrio..... 125
CAPITULO VI
Clases de vidrio..... 133
CAPITULO VII
Sobre la experiencia..... 152

PENDICE A..... 164
PENDICE B..... 171
PENDICE C..... 186
PENDICE D..... 195

BIBLIOGRAFIA..... 200

CERAMICA

(PARTE I)

CAPITULO I

INTRODUCCION

1. - HISTORIA. (*)

La ejecución de la alfarería es tan antigua que difícilmente se pueden fijar sus inicios en una región determinada. Uno de los aspectos notables acerca de la alfarería primitiva es su casi universal asociación con el hombre prehistórico que habitó la totalidad de la superficie de la tierra; como las comunicaciones eran prácticamente inexistentes, hemos llegado a la conclusión de que la alfarería se desarrolló independientemente en muchas regiones. Fué completamente lógico que la ejecución de la alfarería siguiera de cerca el descubrimiento del fuego, ya que el efecto endurecedor que éste tiene sobre la arcilla es fácilmente observable.

La alfarería prehistórica se hizo de arcilla impura que podía quemar a baja temperatura a fuego abierto, aunque en ciertas ocasiones se situaron muros provisionales alrededor del fuego con objeto de lograr una especie de horno. Probablemente las primeras piezas tuvieron un carácter utilitario y lo sucedieron los objetos ceremoniales. Estos se modelaron manualmente, tal vez valiéndose de una piedra redondeada, después se utilizó la mano libre como se

(*) Bib. (2) Cap. 12

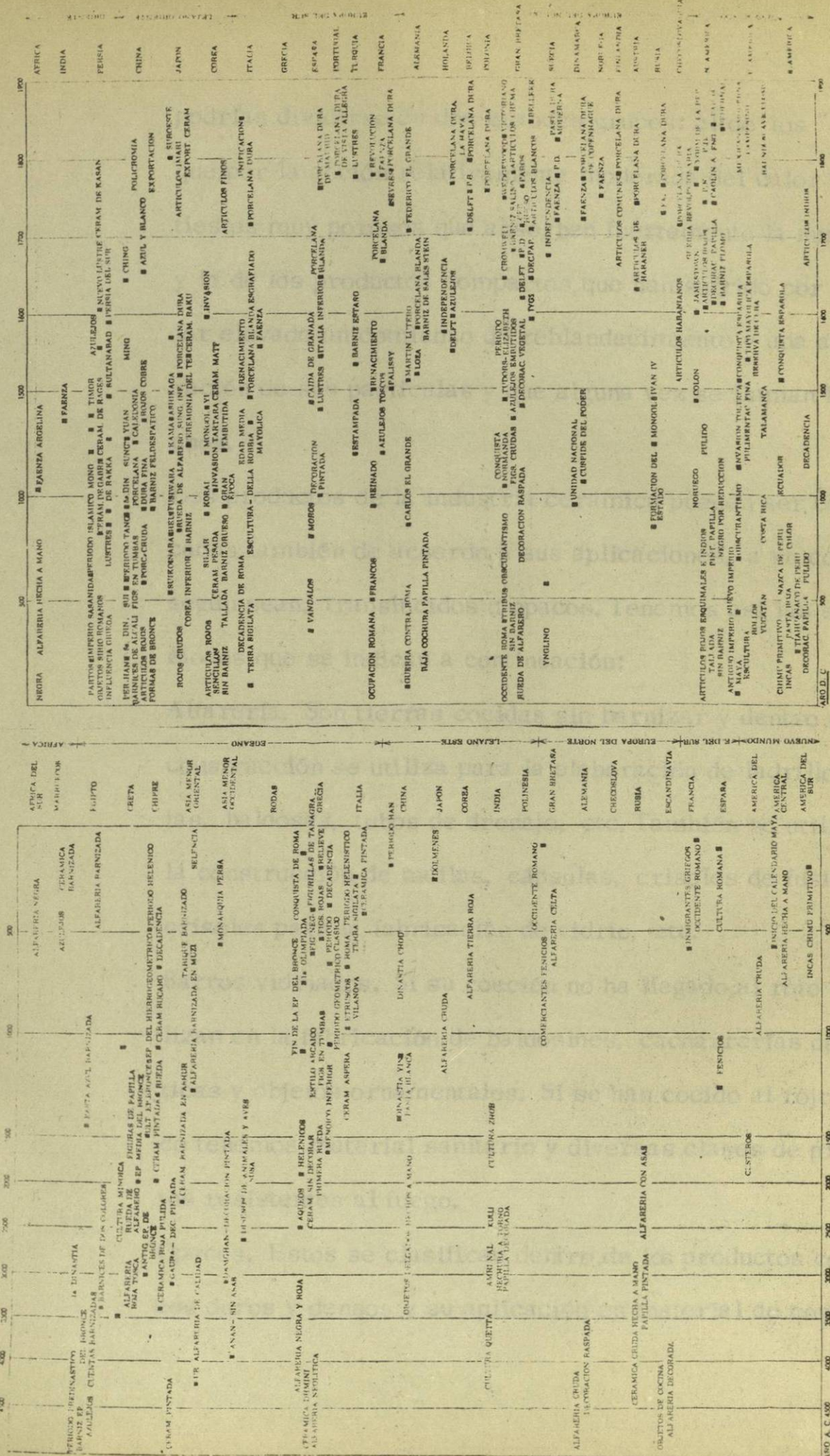
hace hoy en pueblos primitivos.

En la siguiente hoja se da una tabla del curso que ha seguido la cerámica a través del tiempo.

La cerámica (voz derivada del griego KERAMOS, que significa objeto de barro), comprende todos los productos que han sido obtenidos usando las propiedades más características de la arcilla y de otros silicatos de alúmina semejantes, existentes en la naturaleza. La propiedad más interesante de las sustancias arcillosas es la de ser moldeables ya que han sido amasadas con agua, y la de conservar la forma que se les ha dado una vez secas y sometidas a la acción del fuego. Durante la operación del secado se produce siempre la contracción del objeto moldeado, debido a la pérdida del agua añadida con el amasado, y simultáneamente la formación de poros, éstos fenómenos continúan produciéndose durante la cocción, no solo porque por la acción del fuego se elimina toda el agua añadida al amasar la arcilla, sino porque ésta pierde el agua químicamente combinada que tenía con la consiguiente formación de nuevos poros. Si la temperatura continúa elevándose, estos van cerrándose paulatinamente y la pasta cocida va tornándose cada vez más compacta, aumentando su densidad.

Partiendo de éstas observaciones, los productos cerámicos

Tabla 12.2 (b)
HISTORIA MUNDIAL DE LA ALFARERÍA



AFRICA DEL SUR: ALFARERÍA NEGRA, CERÁMICA PINTADA, AZULEJOS, ALFARERÍA PINTADA.
AFRICA DEL NORTE: CERÁMICA PINTADA, ALFARERÍA PINTADA.
EUROPA DEL NORTE: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
EUROPA DEL SUR: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
ASIA MENOR ORIENTAL: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
ASIA MENOR OCCIDENTAL: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
INDIA: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
CHINA: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
JAPÓN: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
EUROPA: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
AMÉRICA DEL SUR: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
AMÉRICA DEL NORTE: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
AMÉRICA CENTRAL: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.
AMÉRICA DEL SUR: CERÁMICA CRUDA, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS, ALFARERÍA CRUDA, CERÁMICA CRUDA DECORADA CON ASAS.

Historia Mundial de la Alfarería.

podrían dividirse en dos grandes grupos: el de los "barros" que por la acción relativamente moderada del calor forman tiestos muy porosos que absorben fuertemente la humedad, y la de los productos compactos que han sufrido por un calor elevado un comienzo de reblandecimiento y una aglomeración de sus partículas y que alguna vez se llaman bizcos.

Los productos de la industria cerámica pueden ser clasificados también de acuerdo a sus aplicaciones, a su color y según sean, translúcidos u opacos. Tenemos así las subdivisiones que se indican a continuación:

Alfarería. Son tierras cocidas sin barnizar y dentro de la construcción se utiliza para la elaboración de ladrillos, tejas, baldosas, tubos de drenaje, etc. También se utiliza en la construcción de muflas, cápsulas, crisoles de fusión, crisoles para la fabricación de vidrio, etc.

Barros vidriados. Si su cocción no ha llegado al rojo se utilizan en la fabricación de baldosines, cacharrerías domésticas y objetos ornamentales. Si se han cocido al rojo blanco tenemos material sanitario y diversas clases de productos resistentes al fuego.

Opacos. Estos se clasifican dentro de los productos cerámicos duros y densos y su aplicación en material de constru -

cción son las lozetas para pavimentación, tubos de canalización y productos resistentes a la acción de los ácidos.

Vidriado. Dentro de los que no han llegado al rojo blanco tenemos utensilios para la industria química, los que ya pasaron por éste punto se usan para la elaboración de loza doméstica y objetos de adorno.

Translúcidos. Dentro de su aplicación para materiales de construcción tenemos vasijas y cerámica artística como la porcelana dura y blanda en todas sus variedades.

CAPITULO II

MATERIAS PRIMAS (*)

Arcillas. La arcilla es la espina dorsal de las artes cerámicas se encuentra en casi todas las partes de la superficie habitable de la tierra aunque varían ampliamente sus propiedades. Para usarse en cerámica algunas se usan tal como aparecen mientras otras deben ser purificadas o mezcladas con ingredientes apropiados para convertirlas en moldeables.

La arcilla está constituida de pequeños cristales compuestos principalmente de un mineral llamado caolinita cuya composición aproximada es: 47% de sílice (SiO_2), 39% de alúmina (Al_2O_3) y, 14% de agua (H_2O).

Además puede contener otras partículas como el cuarzo, los feldespatos ($\text{K, NaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) que durante la quemadura se convierten en ligas.

Existen otros tipos de arcillas diferentes a las caolinitas, las más importantes son las montmorilonitas y las haloisitas, que son más finas que las primeras y se emplean para aumentar la propiedad de plasticidad de otros materiales cerámicos.

Clases de Arcillas:

Caolines. Son las blancas, de todas las arcillas debido al bajo contenido de fierro que contienen. No son muy plásticos, tienen poca dureza de secado y son extremadamente refractarios. Para aumentar su plasticidad se les agrega la arcilla de bolas y se añaden las ligas para que sean menos refractarios.

Arcilla de bolas "ball clay". Son altamente plásticas y con alta fuerza en el secado.

Arcillas compactas. Contienen suficiente feldespato combinado con arcilla plástica dando propiedades de plasticidad y formando una pasta densa al quemarse. Son ingredientes importantes de muchas pastas.

Composición química de las arcillas:

Los análisis químicos de una arcilla nos dicen algo de lo que de ella podemos esperar cuando las usamos en una pasta.

La tabla 15-1 presenta los análisis químicos de algunas arcillas típicas.

Esta tabla muestra las sumas de los óxidos básicos (FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O), los óxidos neutros (Al_2O_3), y los óxidos ácidos (SiO_2 , TiO_2). Esta clasificación es útil debido a que según más alto es el porcentaje de los óxidos básicos, más baja es la temperatura requerida para la quema.

TABLA 15-1

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ARCILLAS TÍPICAS, EN PORCENTAJES

Componente	Arcilla de porcelana inglesa †	Caolín de Carolina del N. †	Caolín plástico de Florida †	Ball clay de Kentucky	Ball clay de Tennessee	Arcilla compacta de Nueva Jersey	Arcilla roja de ladrillo
Sílice (SiO ₂)	48	46	47	53 ✓	61	68	57
Alúmina (Al ₂ O ₃)	38	36	37	29 ✓	25	22	19
Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	0.5	0.6	0.8	2	1	1.6	7
Magnesio (MgO)	—	0.4	0.2	0.3	0.1	0.2	3
Cal (CaO)	—	0.4	0.2	0.4	0.1	0.3	4
Titanio (TiO ₂)	—	0.4	0.2	0.8	1.3	—	1
Alcalis (K,NaO)	2	0.7	0.3	2	2	2.5	5
Agua combinada	12	13	15	12 †	10 †	6	4
Oxidos básicos	2.5	2.1	1.5	4.7	3.2	4.6	19
Oxidos neutros	38	36.4	37.2	29	25.0	22.0	19
Oxidos ácidos	48	46	47.0	53.8	62.3	68.0	58

† Lavada.

‡ Incluye alguna materia orgánica.

Peso equivalente. Es aquel peso que producirá el peso de fórmula de cualquier porción de las sustancias en que estamos interesados. En consecuencia, no existe peso equivalente de un compuesto simple.

Ejemplo:

El feldespato potásico ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) tiene un peso fórmula de 556.8 gr ; así, este peso del feldespato producirá un

peso fórmula de K_2O , uno de Al_2O_3 , y 6 de SiO_2 . Si necesita

mos un peso fórmula de K_2O ó 6 de Al_2O_3 , hay que usar 556.8gr

de feldespato (su peso equivalente) . Si hemos de hacerlo con SiO_2 , debemos usar 556.8 partes por 6 , o sea 92.9 gr de feldespa

to que es su peso equivalente en términos de sílice (SiO_2)

La tabla 15-3 nos presenta fórmulas y pesos equivalentes de los óxidos que las constituyen . (localizada en el apéndice C)

Propiedades físicas de las Arcillas:

Algunas de éstas propiedades están influenciadas por el tamaño de la partícula de las arcillas, así como la distribución de las mismas. En la arcilla de bolas "ball clay" se ha pasado a través de una fina criba para eliminarle el lignito (carbón) y el cascajo, es la más fina de las arcillas, por lo tanto tiene alto encogimiento de secado y da más fortaleza.

Las propiedades plásticas de una arcilla representan un papel muy importante en el moldeado. No existe un modo seguro de medir cuantitativamente las propiedades, en especial la de la plasticidad, sin embargo algunas combinaciones de caolín, ball clay son muy prácticos.

Propiedades del secado. Elaboradas por métodos ordinarios, todas las arcillas y pastas encogen al secar debido a la eliminación de finas capas de agua que se encuentran entre las partículas, mientras más finas sean las partículas, más serán las capas de agua y mayor será el encogimiento. En conseque

cuencia, las "ball clay" encogen notablemente en comparación con los caolines que encogen muy poco. Este encogimiento disminuye al agregar feldespatos.

Propiedades de cochura. Las propiedades de mayor interés en la cochura son: el color, el encogimiento y la porosidad. El color de cochura depende en gran parte de la cantidad de minerales de hierro presentes. Los caolines residuales lavados con un 5% de FeO son muy blancos, los sedimentarios con 7% son ligeramente cremas, los "ball clay" con un 1% dan en la cochura un color crema definido, las arcillas compactas con un 2.5% dan un color gris ante y las arcillas de ladrillo con un 7% producen un rojo en la quema.

Aunque la cantidad de hierro en la quema tiene la mayor influencia sobre el color otros factores lo afectan por ejemplo la cal que actúa como elemento blanqueador.

Se determina la porosidad de una arcilla pesando la cantidad de agua absorbida por la arcilla quemada, tras haber estado hirviendo durante una hora y tras haberla sumergido durante 24 hrs. Por ejemplo si una pieza no barnizada pesa 196 gr. estando seca y 220 después del tratamiento la absorción es:

$$\frac{220 - 196}{196} \times 100 = 12.24 \%$$

El valor absorción es importante para juzgar la conveniencia -

de una arcilla para determinado propósito. Las arcillas de tipo compacto permiten reducir la referida temperatura, las no compactas tienden a aumentar la absorción de la pasta usada.

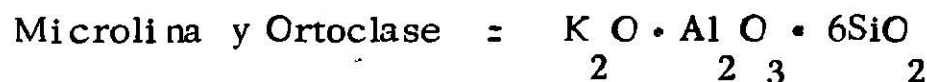
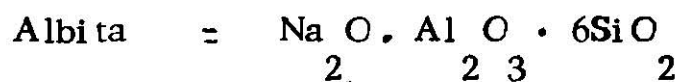
Materiales Cerámicos Aplásticos:

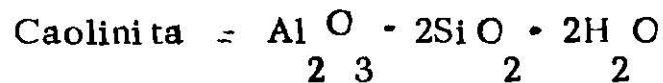
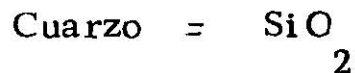
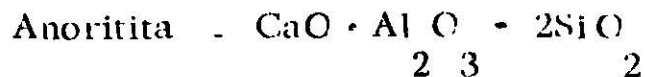
a) Sílice. La sílice en forma de cuarzo se usa en casi todas las pastas por tres razones que son:

- (1) Para reducir el encogimiento de secado y así ayudar a prevenir cuarteaduras en la pieza.
- (2) Para dar mejores cualidades de cocción reduciendo el encogimiento determinado por ésta.
- (3) Para actuar como una especie de armazón que mantenga la forma de la pieza en el horno.

b) Feldespato. Se usa como liga en las pastas cerámicas. Cuando se quema la pasta se quema el feldespato y forma vidrio derretido que determina la unión de las partículas de arcilla; al solidificarse, el vidrio concede fuerza y dureza a la pasta. Los feldespatos son de los pocos compuestos insolubles al agua de sosa y potasa.

Su composición varía y está compuesto generalmente por:





Las composiciones más altas en potasa (K_2O) se usan en pastas cerámicas mientras que las de alto contenido en sosa se usan en barnices.

d) Otras ligas.

Niefelina-Sienita. Este mineral es parecido al feldespato, pero es una liga más fuerte en pastas vidriosas de baja temperatura.

Caliza y Magnesita. Estos minerales son los carbonatos de calcio y magnesio. Se usan en pequeñas cantidades como ligas en algunas pastas vítreas y como ingredientes de muchos esmaltes.

CAPITULO III

PRODUCTOS CERAMICOS

1. - VIDRIO. (Ver parte II)
2. - ESMALTES. (*)

Se llaman esmaltes a los recubrimientos vítreos obtenidos sobre la pasta cerámica verde (monococción) ó sobre bisco - chos, con el propósito de ~~mej~~orar su aspecto y decoración.

Desafortunadamente no es posible garantizar que un esmalte pueda ser usado para una temperatura y cuerpo específico ya que hay un gran número de variables que intervienen en la - producción de los productos cerámicos y un esmalte puede ser satisfactorio para una temperatura en una planta y resultar diferente a la misma temperatura en otra planta.

Algunas de las variables son las siguientes:

1. Ciclo y temperatura de quemado.
2. Composición del cuerpo y tipo del producto final.
3. Propiedades Físicas y Químicas de la materia prima.
4. Atmósfera del horno, tipo de combustible, colocación de - las piezas, etc.
5. Técnica para la preparación y aplicación del esmalte.

Sin embargo, los ensayos en el laboratorio pueden dar una buena indicación del esmalte que se usará para alguna aplicación - específica.

Formación del esmalte. El esmalte es una delgada capa de vidrio o de vidrio y cristales que se adhiere a las superficies del cuerpo. Se logra mezclando vidrio finamente molido al agua para hacer la suspensión, y se aplica a la superficie de la pieza ya sea, mediante pincel en capa delgada, por inmersión o por roceado. Al ser quemada la pieza se funden las partículas del esmalte y forman una capa continua y brillante. Un buen esmalte debe cumplir con las siguientes características fundamentales:

1. Ser fácilmente aplicable a la superficie de la pasta y de carácter no tóxico.
2. Poseer un amplio rango de maduración.
3. Ser completamente impermeable a líquidos y gases.
4. Ser versátil con respecto a la obtención de diferentes coloraciones.
5. Producir después de quemado, una superficie libre de defectos apreciables.
6. Soportar las condiciones de servicio que su uso requiere.

Aparte, debe ser estable contra las condiciones atmosféricas, resistir a los jabones y dureza extremada y debe también contraerse al enfriar en la misma proporción que lo hace la pasta a la que ha sido aplicado.

Debido al gran número de esmaltes de diferente composición que se utilizan en la fabricación de artículos esmaltados, su

clasificación sólo puede hacerse de una manera muy general. -
en:

a) Esmaltes crudos.

b) Esmaltes fritos.

1. Con plomo (opacos y transparentes).

2. Sin plomo (opacos y transparentes).

3. Con fritas opacificadas.

Los esmaltes crudos prácticamente han dejado de utilizarse -
en la fabricación de azulejos industriales, quedando reducido -
su empleo a cierto tipo de fabricaciones artísticas y porcelana
sanitaria, con temperatura de quemado superior a los 1200 -
grados centígrados.

Lo anterior no debe causar sorpresa, ya que si examinamos --
las grandes ventajas que se obtienen utilizando fritas en los es-
maltes, podemos observar lo siguiente:

1. Los materiales que reaccionan lentamente a bajas tempera -
turas, alcanzan mayor acción fundente después de fritos.

2. Los materiales solubles en agua, como nitratos, carbonatos-
y boratos alcalinos, que no pueden ser empleados en esmaltes -
crudos, pasan a ser insolubles mediante su incorporación a la -
frita.

3. El fritado aumenta el rango de quemado del esmalte y reduce
el punto de fusión.

4. Se simplifica el almacenamiento de materia prima.

5. Se eliminan variaciones de una carga a otra ya que la homogeneidad de un esmalte fritado es muy superior a la de un esmalte crudo, puesto que no presenta el problema de segregación, que en los esmaltes crudos es causado por diferencias en el peso específico ó en el tamaño de la partícula de sus ingredientes.

Los ingredientes tóxicos del esmalte lo son mucho menos cuando forman parte de un vidrio insoluble ó frita.

6. Los esmaltes fritos forman superficies tersas aún en ciclos cortos de quemado, lo que los hace fácilmente adaptables a los métodos modernos de ciclo rápido.

Dentro del grupo de esmaltes fritos, hemos mencionado las dos variedades que pueden darse: con plomo y sin plomo.

Existen unas diferencias favorables y desfavorables que conviene conocer para saber, en cada caso, elegir el esmalte más adecuado al tipo de fabricación que se desee.

Para ver fácilmente estas diferencias, las presentamos en un cuadro comparativo de los dos tipos de esmaltes.

VENTAJAS

Con Plomo

- Amplio rango de maduración
- Buena elasticidad mecánica

-Buen rendimiento en colores

Sin Plomo

- Buena resistencia al cuarteo
- Resistencia al rayado y a la abrasión
- Buena capacidad en capa delgada
- Poco desprendimiento de gases en cocción
- Estabilidad de tono en los esmaltes coloreados
- Muy buen brillo
- Económico
- Forman buena interfase con el biscocido

Inconveniencias.

Con Plomo

- Suceptibles de ataques por los ácidos
- Peligro de toxicidad
- Gasifican mucho en la cocción, con pérdida de vidrio
- Presentan cuarteo con el tiempo
- Poca estabilidad de tono en el caso de esmaltes coloreados
- Poca capacidad en capa delgada
- Precio elevado
- Poca resistencia a la abrasión

Sin Plomo

- Rango de temperatura limitado

- Viscosidad muy alta con dificultades en la eliminación de burbujas
- En enfriamiento lento producen tendencia al mateado
- Necesitan mayor finura en la molienda

Constituyentes de los esmaltes:

Silica (SiO_2).

Fuente: feldespatos, arenas, sílicas y arcillas.

La sílica es uno de los constituyentes más importantes de los esmaltes y deberá ser ajustada para regular la temperatura de fusión del mismo. Variando el grupo RO y balanceándolo contra el contenido de sílica se puede controlar la temperatura de maduración del esmalte muy cercanamente. Incrementando la sílica a espensas del ácido bórico el esmalte se hace más duro, más brillante y más durable; se dice que sustituyendo sílica por ácido bórico aumenta el coeficiente de expansión. Por consecuencia, el ácido bórico y la sílica pueden variarse uno con respecto al otro, hasta obtener un grado de adaptación óptima entre cuerpo y esmalte.

Aumentando el contenido de sílica de un esmalte se obtendrá:

1. Aumento, en la temperatura de fusión.
2. Mayor viscosidad
3. Aumento en la resistencia al ataque químico.

4. Disminución en el coeficiente de expansión.
5. Incrementa la dureza del esmalte.
6. Se aumenta el brillo, hasta que con más altos porcentajes se producen texturas mates debido al incremento de dureza en el esmalte.
7. Aumenta la tendencia a la devitrificación .

Oxido Bórico (B_2O_3).

Fuente: bórax, ácido bórico y rasorita.

El óxido bórico es un constituyente importante de los esmaltes, debido a que produce mezclas más fluidas formando al mismo tiempo un vidrio tan bueno como el de sílica.

Cuando se usa en grandes cantidades, disminuye la resistencia al ataque de los ácidos e inclusive del agua. Es muy buen fundente, reduce la viscosidad entre ciertos límites y promueve cierto brillo. Los contenidos altos de óxido bórico reducen la resistencia mecánica y aumentan la solubilidad acortando el rango de quemado y causando deslaves en los colores.

Los esmaltes con alto contenido de ácido bórico, normalmente no son recomendables a ser horneados a fuego directo en ciclos largos.

Alúmina. (Al_2O_3)

Fuente: Feldespato, criolita y alúmina hidratada y calcinada.

La alúmina se puede combinar con sílica y óxidos básicos y es ampliamente usada para prevenir la devitrificación. En los esmaltes brillantes la relación alúmina-sílica, varía usualmente de 1:6 a 1:10, mientras que en los esmaltes mates la relación es de 1:3 a 1:4.

Se considera que el aumento de alúmina es una de las formas para obtener superficies mates. En esmaltes brillantes, el contenido de alúmina regula el grado de fluidez de la masa fundida (incrementando la alúmina, se incrementa la viscosidad) y da la estabilidad necesaria a la temperatura requerida para la maduración. Tiene gran efecto para la durabilidad, mayor que cualquier otro óxido, pues aumenta la dureza, baja la expansión térmica y agrega resistencia y brillo al esmalte.

Oxido de sodio (Na_2O).

2.

Fuente: Feldespato, bórax, carbonato de sodio y nitrato de sodio.

El óxido de sodio, es en la mayoría de las veces, más fundente que el óxido de potasio, y se usa principalmente en esmaltes de baja temperatura, donde se requiere su alto poder de fusión. El sodio tiene un alto coeficiente de expansión y puede causar cuarteo. Disminuye la resistencia a la tensión y la elasticidad en comparación con otras bases comúnmente usadas.

Oxido de calcio (CaO).

Fuente: Carbonato de calcio, mármol, piedra caliza y dolomita.

El óxido de calcio es el principal fundente en esmaltes de media y alta temperatura. Sin embargo, no es muy efectivo a bajas temperaturas (abajo de cono 4^(*)) ya que reduce la viscosidad de los esmaltes con alto contenido de sílica, aunque si se hacen demasiado fluidos, tiende a devitrificar produciendo un acabado mate. Disminuye ligeramente el coeficiente de expansión, en comparación con los alcalis.

Promueve la adherencia del esmalte con el cuerpo, ya que reacciona con él.

Contribuye a dar estabilidad y dureza al esmalte, cuando se usa en cantidad apropiada.

Oxido de plomo (PbO).

Fuente: litargirio, minio y carbonato de plomo.

El plomo reacciona fácilmente con la sílica para formar silicatos de plomo, que son vidrios estables que tienen alto brillo, debido a su alto índice de refracción. Tiene relativamente alto coeficiente de expansión, comparado con los alcalis. Disminuye la viscosidad de la masa fundida y proporciona ayuda, para evitar la devitrificación. Los esmaltes a base de plomo, son fáciles de

(*) Bib. Ver apéndice "B"

usar, ya que debido a su amplio rango de maduración, cualquier irregularidad en el proceso, no altera tanto las características finales, como lo haría un esmalte sin plomo. Cuando se usa una frita de plomo en forma de silicato, éste actúa con una fuerte acción fundente. Es relativamente soluble en agua y presenta un amplio rango de quemado.

El uso de compuestos de plomo en los esmaltes tiene las siguientes desventajas:

1. Es venenoso en varias de sus formas.
2. Utilizado en forma impropia en esmaltes y en artículos de forma doméstica, puede ser disuelto por jugos de frutas y ácidos débiles.
3. Se volatiliza fácilmente durante el quemado, provocando pérdida de brillo.
4. Disminuye el brillo del esmalte cuando se expone por largo tiempo a los gases comunmente presentes en la atmósfera.
5. La resistencia a la abrasión disminuye conforme aumenta el contenido de plomo.
6. Es fácilmente susceptible a reducción, si existe tal atmósfera en el horno.

Oxido de potasio (K_2O).

2

Fuente: Feldespato, carbonato y nitrato de potasio.

El óxido de potasio se usa frecuentemente como fundente, incluso en lugar del sodio ya que produce un esmalte más brillante y con un mayor rango de quemado. Tiende a aumentar el coeficiente de expansión y puede ocasionar cuarteos, si se usa en grandes cantidades.

Oxido de bario (BaO).

Fuente: Carbonato de bario.

El bario es muy usado en formulaciones libres de plomo como fundente, adicionado en cantidades pequeñas aumenta el brillo y la resistencia mecánica.

Oxido de magnesio (MgO).

Fuente: Carbonato de magnesio y dolomita.

El magnesio actúa como refractario hasta relativamente altas temperaturas, sin embargo, una mezcla de calcio-magnesio, como es la dolomita no, es tan refractaria como el magnesio solo. A altas temperaturas, empieza a ser un fundente activo, aumentando la fluidez del esmalte y bajando la expansión térmica. Se usa como constituyente en alguno de los esmaltes mates de baja temperatura, tiende a reducir el cuarteo y puede ser perjudicial para algunos colores bajo esmaltes.

Clasificación de Esmaltes

Clase	Tipo	Nombre	Composición	Fórmula típica	T n p. madur z
Crudo	Cont. óxido de plomo	Plomo crudo	0.65 PbO	0.15 Al ₂ O ₃ 1.45 SiO ₂	900°C Cono 010
			0.25 CaO 0.10 K ₂ O		
Crudo	Cont. óxido de zinc	Bristol	0.36 K ₂ O 0.24 ZnO 0.40 CaO	0.50 Al ₂ O ₃ 3.16 SiO ₂	1170°C Cono 5
Crudo	Libre de Plomo y zinc	Porcelana	0.30 K ₂ O 0.70 CaO	0.158 Al ₂ O ₃ 0.75 SiO ₂	1250°C Cono 9
Fritado	Libre de Plomo y bórax	Alcalino	0.50 K ₂ O 0.40 CaC 0.10 MgC	0.30 Al ₂ O ₃ 1.50 SiO ₂	1200°C Cono 6
Fritado	Óxido bórico, sin plomo	Plomo sin fritar	0.60 K ₂ O 0.40 CaO	2.70 SiO ₂ 0.50 B ₂ O ₃	1200°C Cono 09
Fritado	Óxido plomo, sin bórax	Plomo fritado	0.40 K ₂ O 0.25 Na ₂ O 0.35 PbO	0.15 Al ₂ O ₃ 2.30 SiO ₂	930°C Cono 09
Fritado	Óxidos plomo y bórico	Plomo fritado	0.43 CaC 0.26 PbO 0.18 Na ₂ O 0.14 ZnO	0.31 B ₂ O ₃ 2.60 SiO ₂	1200°C Cono 06

Calculos de formulas para Esmaltes. (*)

Debido a que un óxido como el de calcio es inestable y el bórico es soluble en agua, no puede ser usado directamente, en tal caso, se sustituye por carbonatos, los cuales, al calor desmenuzan al óxido deseado.

Oxidos comunmente usados en esmaltes:

- a). Oxidos Básicos. Oxido de sodio, de calcio, de potasio, de magnesio, de zinc, de bario, de plomo.
- b). Oxidos Neutros. Alúmina.
- c). Oxidos Acidos. Sílica, óxido bórico y óxido de estaño.

Conversión de formulas a pesos de hornada.

La conversión es un proceso sencillo y se realiza mediante pasos lógicos, por ej.: Si tenemos la siguiente fórmula:



Podemos sustituir el plomo con Pb_3O_4 ó con $3\text{PbO} \cdot 2\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y la sílice puede obtenerse de Pedernal (SiO_2).

Los pesos equivalentes de estos compuestos son: Pb_3O_4 (229), $3\text{PbO} \cdot 2\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (259), SiO_2 (60), en conveniencia el esmalte consistiría de:

$$1.0 (229) = 229\text{gr de } \text{Pb}_3\text{O}_4$$

$$1.0 (60) = \frac{60 \text{ gr de } \text{SiO}_2}{289 \text{ gr totales}}$$

ó

$$1.0 (259) = 259 \text{ gr de } 3\text{PbO} \cdot 2\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$$

$$1.0 (60) = \frac{60 \text{ gr de SiO}_2}{319 \text{ gr totales}}$$

Para hallar el porcentaje del peso de cada ingrediente, lo di
vidimos entre el peso total, lo cual dá:

$$79\% \text{ de } \text{Pb}_3\text{O}_4$$

$$21\% \text{ de SiO}_2$$

ó

$$81\% \text{ de } 3\text{PbO} \cdot 2\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$$

$$19\% \text{ de SiO}_2$$

Exponemos otra fórmula de más difícil conversión por lo que a-
pelaremos a una forma tabular de cálculo que puede utilizarse
en futuras hornadas.

0.65 PbO		
0.25 CaO	0.15 Al ₂ O ₃	1.45 SiO ₂
0.10 K ₂ O		

Para hacer la conversión hay que seguir las siguientes reglas:

1. Formar una tabla con los equivalentes de cada óxido según la fórmula Seger.
2. Agregar una columna a la izquierda de la tabla y escribir en ella primero las materias primas y el número de equivalentes requerido para obtener el primer óxido de la tabla.
3. Restar todos los óxidos introducidos por ése material de la totalidad del esmalte indicado en las cabeceras de las columnas, lo cuál elimina por lo menos un óxido.
4. Escribir una segunda materia prima en la columna izquierda en la totalidad requerida para suministrar el peso debido del segundo óxido.
5. Restar, como hicimos antes y repetir la operación hasta que se dé razón a todos los óxidos anotados en la parte alta de la columna. Generalmente la sílice es el último material eliminado.
6. Multiplicar ahora el número de equivalentes asociados con cada materia prima por su correspondiente peso equivalente, que dará el peso de horneada en gramos.

La aplicación de estas reglas se puede apreciar en la tabla 23-2, que presentamos a continuación. :

T A B L A 23-2

CÁLCULO DE BARNIZ

Materias primas agregadas en equiv.	EQUIVALENTES DE OXIDO EN EL BARNIZ				
	0.65 PbO	0.25 CaO	0.10 K ₂ O	0.15 Al ₂ O ₃	1.45 SiO ₂
0.65 Plomo blanco	0.65 PbO				
Diferencia	0	0.25 CaO	0.10 K ₂ O	0.10 Al ₂ O ₃	1.45 SiO ₂
0.25 Carbonato calcio	-----	0.25 CaO			
Diferencia	-----	0	0.10 K ₂ O	0.15 Al ₂ O ₃	1.45 SiO ₂
0.10 Feldespato	-----	-----	0.10 K ₂ O	0.10 Al ₂ O ₃	0.60 SiO ₂
Diferencia	-----	-----	0	0.05 Al ₂ O ₃	0.85 SiO ₂
0.05 Caolín	-----	-----	-----	0.05 Al ₂ O ₃	0.10 SiO ₂
Diferencia	-----	-----	-----	0	0.75 SiO ₂
Diferencia	-----	-----	-----	-----	0.75

Materia prima	Agregado equiv.	Peso equiv.	Peso rel. en g ¹	Ptje. ²
Plomo blanco	0.65	259	165	55
Carbonato calcio	0.25	100	25	8
Feldespato	0.10	557	56	18
Caolín	0.05	258	13	4
Pedernal	0.75	60	45	15
Total			308	100

¹ Del producto de los números de la 2a. y 3a. columnas.

² De los números de la 4a. columna divididos por 2.95

Conversión de pesos de hornada a fórmulas equivalentes:

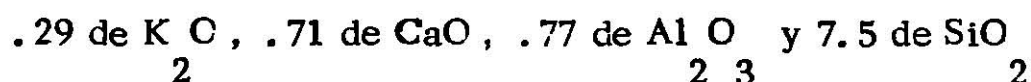
Esta conversión es muy sencilla, he aquí sus pasos:

1. Dividir el peso de cada material por su peso equivalente en términos de cada óxido componente.
2. Agregar juntos óxidos similares y elaborar una fórmula Seger.
3. Dividir cada una de las sumas obtenidas en (2) por la suma de los óxidos básicos.

Como ejemplo consideremos el esmalte de porcelana de cono 13 : (1)

Feldespato potásico: 25%	$25/557 = .045$ de K_2O
	$25/557 = .045$ de Al_2O_3
	$25/93 = .27$ de SiO_2
Carbonato de calcio: 11%	$11/100 = .11$ de CaO
Arcillas: 19%	$19/258 = .074$ de Al_2O_3
	$19/129 = .148$ de SiO_2
Pedernal: 45%	$45/60 = .75$ de SiO_2

Dividiendo entre .155 para obtener la unidad en óxidos básicos se obtiene la fórmula:



Composición de Esmaltes. (*)

Mezcla y peso. No importa la unidad de peso que vamos a usar para pesar los ingredientes de un esmalte -ya sean libras onzas ó gramos- siempre y cuando se use siempre la misma cantidad.

Para pesar los ingredientes del esmalte dará buen resultado una balanza bien ajustada antes de cada uso. El modo más eficaz de mezclar los ingredientes del esmalte es molerlos en un

(1) Ver apéndice A

(*) Bib. (2) Cap. 24

molino de bolas, el cuál consiste en un recipiente cilíndrico de porcelana provisto de bolas también de porcelana; al girar el recipiente sobre su eje la carga se voltea sobre las bolas y queda completamente molida. Los ingredientes secos, el agua, y las bolas, todo combinado, no deben de ocupar más de la mitad del molino. Una buena regla empírica es que se precisen 100 gr. de agua por cada 100 gr de esmalte seco en el molino.

La tabla 24-2 y la fig. 24-2 muestran las características de los molinos de bolas y la manera de vaciarlo.

TABLA 24-2
CARACTERÍSTICAS DE MOLINOS A BOLAS

Diámetro ext. del recipiente en cm	Cap. total del contenedor, en litros	Volumen de carga, en litros	Diám. de los guijos, en cm	Peso de carga en g ¹	Mejor velocidad en rpm
7.5	¼	0.08	0.9	90	150
12.5	1.00	¼	12.5	360	100
15.0	2.00	½	18.0	680	90
22.5	6.00	1.5	25	2 300	60
32.5	12.00	3	25	4 500	40

¹ Arena seca.



FIG. 24-2. Modo de vaciar debidamente un molino a bolas

Las papillas de esmaltado por inmersión deben tener una gravedad específica entre 1.4 y 1.5. Los de rociado pueden ser ligeramente más delgadas.

Medición de la gravedad específica del esmalte.

Peso del frasco graduado solo: 115.4 gr

Peso de frasco graduado más 100cc. de papilla de esmalte: 256.8

Diferencia: 141.4 gr.

Gravedad específica: $\frac{141.4}{100.0} = 1.41$

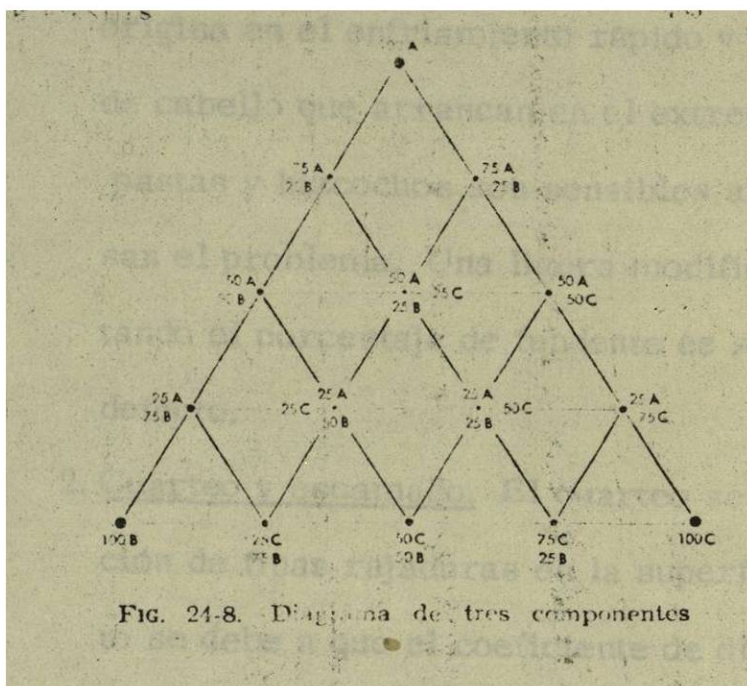
Mezcla sistemática de esmaltes.

Variación de un componente. Cuando hay que hacer un esmalte para determinado propósito resultan necesarias un sin número de pruebas pero es más sencillo hacer un par de ellas; por ejemplo si se piensa variar un componente en una fórmula háganse dos pruebas, una con alta concentración de éste y otra con -- baja, ajústense luego estas dos mezclas a igual gravedad específica y se combinan por volumen dando 9 diferentes esmaltes, -- de uniformes variaciones en el componente variado. Aplíquese después cada esmalte a un azulejo, quemándose el resultado de la mejor concentración se observará en uno de ellos.

Igual procedimiento se sigue para la variación de dos componentes.

La variación de 3 componentes se representa por el diagrama --

triangular mostrado en la figura 24-8.



Defectos en el material sin esmaltar: (*)

Los defectos más comunes que se aprecian en el esmalte son los siguientes:

1. Roturas y grietas. Muchas de las pérdidas por roturas que aparecen en el azulejo, son debidas a grietas que existían en el bizcocho y que pasaron inadvertidas en su control.

(*) Bib. (10).

En la segunda quema, la grieta se hace más grande e incluso origina la rotura de la pieza. Otras veces, sin embargo, puede aparecer debido a la excesiva humedad de la pieza esmaltada al entrar en el horno. Este defecto se acusa más cuando el horno tiene un precalentamiento excesivo y rápido. Otro problema de las grietas que aparecen en el esmalte se origina en el enfriamiento rápido y se presentan como líneas de cabello que arrancan en el extremo de la pieza. Ciertas pastas y bizcochos son sensibles a éste enfriamiento y acusan el problema. Una ligera modificación de la pasta aumentando el porcentaje de fundente es suficiente para corregir el defecto.

2. Cuarqueo y escamado. El cuarqueo se caracteriza por la aparición de finas rajaduras en la superficie vidriada. Este defecto se debe a que el coeficiente de dilatación del esmalte utilizado es excesivamente alto respecto al coeficiente del bizcocho. Puede aparecer inmediatamente al salir el material del horno, pero frecuentemente, aparecen cierto tiempo después, cuando la pieza sufre cambios de temperatura o la pasta se hincha por efecto de la humedad al ser utilizado el azulejo. El escamado ocurre cuando el coeficiente del esmalte es excesivamente bajo respecto al del bizcocho y el vidrio sufre una excesiva compresión o no hay suficiente interfase vidrio-biz-

cocho. Es mucho menos frecuente que el cuarteo, ya que los vidrios son más resistentes a los esfuerzos de compresión que de tensión.

3. Deformaciones. Generalmente, las deformaciones del azulejo en el horno de vidriado se deben a la poca resistencia mecánica del bizcocho que, al ir soportando por sus extremos en la caseta refractaria, se curva en la zona de alta temperatura. Por el contrario, si la pieza presenta una convexidad respecto a su cara esmaltada, el efecto debe atribuirse al bajo coeficiente del esmalte para ese bizcocho.
4. Poros. Los poros en el esmalte, denominados también puntos secos, pueden originarse por diferentes motivos. Cuando el bizcocho contiene caliche (granos gruesos de cal), después de esmaltado y vidriado, presentan poros que llegan hasta el bizcocho. Otras veces el esmalte ha cubierto el grano de cal y al hincharse, éste acaba por romper el vidriado y salta como una escama.
 Cuando el bizcocho tiene en la superficie granos de carbón ó gotas de grasa, aparecen en la superficie puntos secos de mayor o menor tamaño, según sea la mancha.
5. Recogimiento de esmalte. Cuando el tamaño de partícula del esmalte es muy pequeño, respecto a los granos sinterizados del bizcocho, el esmalte presenta recogimiento en la super-

ficie. Este defecto se acusa más en los esmaltes de plomo - que en los de zirconio . En la mayoría de los casos, empleando un esmalte poco molturado, se evita bastante el problema. También aparece recogimiento en las piezas sucias de grasa, cuando se aplica excesiva capa de esmalte ó cuando existe poca plasticidad de la suspensión y cuando hay un secado muy rápido a la entrada del horno.

6. Contaminación. La contaminación se presenta como puntos negros sobre la superficie del esmalte. En una fábrica de azulejos es un peligro latente en cada fase del esmaltado del azulejo, donde puede presentarse una contaminación. Empezando por los materiales utilizados para preparar el esmalte, molinos, tanques de esmalte, barnizadoras, parque de azulejos, esmaltados y horno de vidriado, en cualquier momento puede presentarse contaminación. Una constante vigilancia de estos aspectos, puede reducir al mínimo estos defectos.
7. Puntos de Alfiler (Pin - Hole). Es muy frecuente la aparición de los puntos de alfiler por causas de contaminación de pequeñas partículas de suciedad, que no se aprecian a simple vista, pero en otros muchos casos son varios los motivos que producen este problema . Así, aparecen puntos de alfiler cuando el el biscocho está excesivamente cocido, cuando el caolín usado como aditivo, contiene laminillas de mica, si el agua del es-

malte es excesivamente dura, cuando la frita no ha sido suficientemente fundida, cuando el horno de vidriado contiene gases, y cuando se utilizan esmaltes muy viscosos, si no se vidrea (hornean) con el suficiente tiempo para su maduración.

8. Peladuras. Las peladuras en los cantos de los azulejos se producen en la manipulación de las piezas después de esmaltadas. Aparte del cuidado de los operarios de la máquina esmaltadora y encasilladora, puede disminuirse el problema, aumentando el porcentaje de caolín en la molienda, ya que el uso de aditivos tipo colas, CMC, etc. son engorrosos y caros.
9. Pérdida de brillo. La pérdida de brillo en los azulejos, puede presentarse por muchos motivos. Uno es la falta de equilibrio Si-Al en el esmalte, también una frita, insuficientemente fundida, puede provocar este defecto. Cuando un esmalte se quema por encima de su temperatura de trabajo o hay gases sulfurados de la combustión dentro del canal, la pérdida de brillo es acusada. Otro factor que influye la pérdida de brillo en un vidriado es la insuficiente molturación del esmalte, siendo aconsejable utilizar éste al máximo grado de finura sin que se presenten problemas de recogimiento.
10. Burbujas. Los problemas de burbujas se presentan casi siempre cuando la atmósfera del horno no está limpia y no existe -

buena extracción. En algunos casos, éstas burbujas van acompañadas de una devitrificación en las orillas del azulejo y entonces el defecto es debido a un exceso de sulfatos en la superficie del bizcocho. En un bizcocho falto de cochura, también pueden aparecer burbujas en la superficie, del esmalte.

11. Destonificación y orillas. El problema de aparición de tonos en azulejos blancos puede ser debido a varias causas, tales como falta de opacidad, acusándose entonces las variaciones del color del bizcocho, también si el horno presenta diferencias de temperatura muy acusadas, la maduración del esmalte es distinta en cada zona, y por lo tanto la opacidad (recristalización del opacificante) en cada pieza; por último, los defectos de aplicación de la barnizadora se traducen en diferencias del espesor de capa y por lo tanto, el color del azulejo.

Para este tipo de fabricación deben tenerse en cuenta, además, los siguientes principios:

- Las características de suspensión del esmalte deben vigilarse constantemente para evitar sedimentaciones del pigmento.
- La fórmula del esmalte debe ser compatible con los colores que se van a usar.
- Siempre que sea posible, conviene utilizar porcentajes me

dios de colores (2 a 4%), en vez de usar colores muy intensos a muy baja concentración.

-Para obtener colores pastel, es muy recomendable no disminuir la concentración del pigmento, sino aumentar la o pacidad de la frita del esmalte.

-Los esmaltes viscosos, tipo zirconio, muestran mayor estabilidad que los esmaltes fluidos que contienen plomo, y que generalmente, tienden a tener menor opacidad.

12. Huellas en el esmalte. Este defecto aparece como unas líneas curvas en la superficie del azulejo y más frecuentemente en las esquinas. El origen del defecto está en las corrientes turbulentas de aire que se forman en el interior del horno. Para corregir el defecto se puede disminuir la velocidad de paso de las vagonetas, lo que trae consigo una disminución de los tiros forzados de aire en el horno. Otra solución, es utilizar fritas muy ricas en alúmina.

13. Exceso o falta de temperatura. Aparte de los problemas que originan las desviaciones de temperatura en la cocción de un esmalte de su temperatura característica, cuando la temperatura del horno se hace excesiva, se acusa en la producción un empobrecimiento de la superficie esmaltada, debido a una fuerte reacción de la cal del esmalte con la cal del bizcocho, formandose una interfase esmalte-bizcocho de un color obscuro

ro, que, incluso cambia el tono del vidriado.

14. Colores corridos. En la fabricación de azulejo decorado por serigrafía, es frecuente el corrido de la impresión. Esto es debido a que la frita vehículo del color es demasiado fusible, apareciendo un bajo relieve en la impresión.

Los tonos del material serigrafiado solo se pueden evitar si se mantiene un control de todos los aspectos que influyen en la decoración.

La viscosidad de la tinta, granulometría de la frita fundente, tipo de pantalla y uniformidad de la presión del rasero son los factores que más influyen en el resultado de la aplicación.

13. PASTAS CERAMICAS. (*)

La pasta cerámica debe de poseer ciertas propiedades especiales para ser útil:

- Debe tener buenas propiedades de moldeabilidad en su estado plástico.
- Debe secar razonablemente de prisa sin cuartarse.
- En la quema debe de adquirir estructura sólida y densa sin encoger exageradamente.
- La pieza terminada debe presentar el color y la translucidez deseada.

El mejorar cualquiera de estas propiedades puede significar el sacrificio de parte de las otras. Debemos alcanzar una combinación para lograr los mejores resultados posibles.

Cálculo del contenido mineral de las Pastas:

a) Análisis de una pasta no quemada.

Como ejemplo examinemos una pasta ordinaria de artíficos de arcilla con material blanco (white ware) compuesta de:

ball clay de Kentucky	28%
caolín de Georgia	24%
pedernal de alfarero	34%
potasa feldespática	14%

Los análisis químicos de los mencionados ingredientes constan en la siguiente tabla:

TABLA 17-2
COMPOSICIÓN DE INGREDIENTES DE PASTAS.

	Arcilla "ball" de Kentucky		Caolín de Georgia		Pedernal de alfarero		Potasa feldespática		Total
	%	% × .28	%	% × .24	%	% × .34	%	% × .14	
Sílice (SiO ₂)	53.0	14.8	45.8	11.0	99.8	34.0	69.5	9.5	69.6
Alúmina (Al ₂ O ₃)	29.0	8.1	38.5	9.3	0.2	0	17.5	2.5	1.99
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	2.0	0.5	0.7	0.2	—	—	0.1	0	0.8
Cal (CaO)	0.4	0.1	—	—	—	—	0.8	0.2	0.3
Magnesia (MgO)	0.3	0.1	—	—	—	—	—	—	0.1
Potasa (K ₂ O)	2.0	0.5	—	—	—	—	11.7	1.6	2.1

Las primeras cantidades en cada columna representan el peso en porcentajes; y, el segundo grupo de cantidades la cantidad relativa de material agregado, a la pasta.

Los pesos relativos a las cantidades de éxito según se pro-

sentan en la última columna de la tabla anterior pueden ahora usarse para calcular las cantidades reales de minerales agregados según se muestra en las tablas 17-3 y 17-4.

TABLA 17-3

CÁLCULO DE MINERALES EN LA PASTA DE ARTÍCULOS DE ARCILLA CON MATERIAL BLANCO (WHITEWARE)

Oxido	Peso relativo ¹	Núm. relativo de equivs. ²
Silice (SiO ₂)	69.6	1.153
Alúmina (Al ₂ O ₃)	19.9	0.197
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	0.8	0.0050
Magnesio (MgO)	0.1	0.0025
Cal (CaO)	0.3	0.0054
Potasa (K ₂ O)	2.1	0.0223

¹ De la Tabla 17-2.

² Primera columna div. por pesos equivs. Tabla 17-3.

Materiales puros agregados, en equiv.	Equival. relativos de óxidos (última columna sup.)					
	1.153 SiO ₂	0.1970 Al ₂ O ₃	0.0050 Fe ₂ O ₃	0.0025 MgO	0.0054 CaO	0.0223 K ₂ O
0.0223 Feldesp.	0.134	0.0223	.....	.....	.....	0.0223
Diferencia	1.019	0.1747	0.0050	0.0025	0.0054	0
0.175 Arcilla min.	0.350	0.1747				
Diferencia	0.669	0	0.0050	0.0025	0.0054	0
0.0025 MgCO ₃	.....	.....	.....	0.0025		
Diferencia	0.669	0	0.0050	0	0.0054	0
0.0045 CaCO ₃	.....	.....	.....	.....	0.0054	
Diferencia	0.669	0	0.0050	0	0	0
0.0050 Fe ₂ O ₃	.....	.....	0.0050			
Diferencia	0.669	0	0	0	0	0
0.669 cuarzo	0.669					
Diferencia	0	0	0	0	0	0

TABLA 17-4

CÁLCULO DE MINERALES EN LA PASTA DE ARTÍCULOS DE ARCILLA CON MATERIAL BLANCO (WHITEWARE)

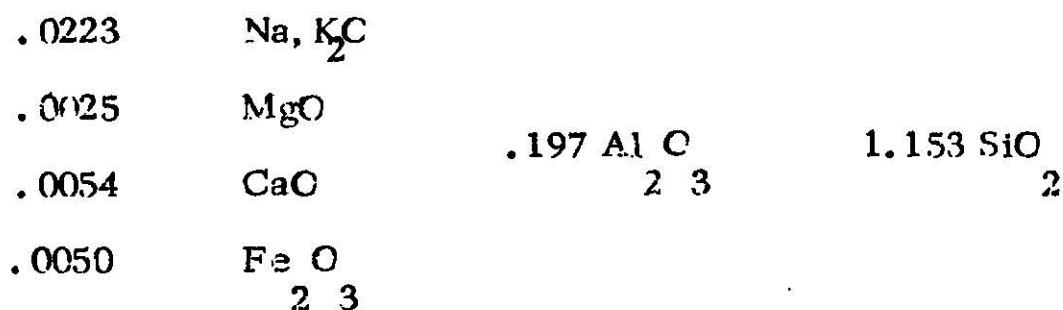
Mineral ³	Núm. rel. de equiv.	Peso relat. ¹	Peso porcent. ²
Arcilla mineral	0.175	45.2	45.6
Feldespato	0.022	12.2	12.5
Hematita	0.0050	0.9	0.9
Cal	0.0054	0.3	0.3
Magnesio	0.0025	0.1	0.1
Cuarzo	0.669	40.2	40.6
Total	—	98.9	100.0

¹ Obtenido multiplicando la 1a. col. por el peso equiv. Tabla 15-3.

² La 2a. col. dividida por 98.3.

³ Estos son teóricamente puros; no lo son en la Tabla 17-5.

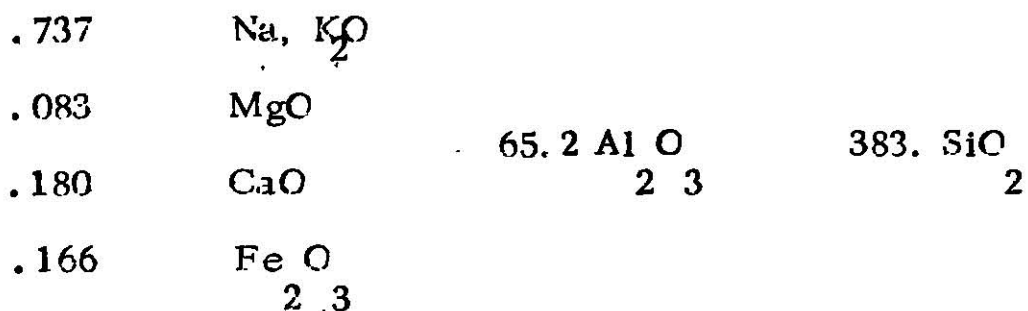
La fórmula equivalente de esta pasta para artículos de arcilla, con material blanco es:



Convirtiendo a la unidad la suma del grupo RO:

$$\begin{array}{r}
 .0223 \\
 .0025 \\
 \hline
 .0054 \\
 \hline
 .0302
 \end{array}$$

Dividiendo cada uno de los valores entre .0302 tenemos:



Cálculo por análisis del bizcocho. -

La composición del bizcocho puede determinarse analizando la pasta resultante de la quemá. El análisis de una porcelana eléctrica llevado a cabo por Meyer y Klinefelter dió la siguiente información:

Oxidos básicos = 5.3%

Oxidos neutros = 24.0%

Oxidos ácidos 70.7%

De tal resultado pueden hacerse ciertas suposiciones. De sus buenas propiedades de moldeabilidad se supone que el 25% de la horneada debe de haber sido "ball clay", y sabemos que se obtienen mejores resultados cuando se usa 2 "ball clay" en vez de uno; en consecuencia podemos sentar la premisa de que se hallan 2 "ball clay" totalizando un 25% de la pasta.

Si elegimos la materia prima de la tabla 17-5 y construimos la 17-6 como hicimos antes con los porcentos de los óxidos básicos, neutros y ácidos de la pasta quemada indicada registemos cada materia prima hasta que nada permanesca. Basese éste cálculo más en por ciento en peso que en equivalentes.

TABLA 17-5
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIAS PRIMAS

Componente	"Ball clay" de Kentucky	"Ball clay" de Tennessee	Feldes. de Maine	Caolin de Georgia	Pedernal de alfarero
Sílice (SiO ₂)	49.9%	50.3%	72.7%	45.7%	100.0%
Alúmina (Al ₂ O ₃)	31.4	31.5	15.1	38.7	—
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	0.6	0.6	0.1	0.3	—
Titanio (TiO ₂)	1.5	1.3	0.1	1.4	—
Cal (CaO)	0.2	0.2	0.3	0.2	—
Magnesia (MgO)	0.3	0.3	—	—	—
Potasa (K ₂ O)	1.2	2.0	8.3	—	—
Sosa (Na ₂ O)	0.2	0.3	3.1	—	—
Pérdida en quema	14.7	13.6	0.3	13.7	—
Oxidos básicos	1.9	2.8	11.7	0.2	—
Oxidos neutros ¹	32.0	32.1	15.2	39.0	—
Oxidos ácidos	51.4	51.6	72.8	47.0	100.0

¹ El Fe₂O₃ está incluido en los óxidos neutros.

TARLA 17 6'
CÁLCULO DE LA PASTA DE PORCELANA FÉLDTICA

Materia prima	Pasta quemada		
	Oxidos básicos	ácidos Oxidos	Oxidos neutros
0.125 "ball clay" Kentucky ¹	5.30%	70.70%	24.00%
Diferencia	0.24	6.43	4.00
0.125 "ball clay" Tennessee	5.06	64.27	20.00
Diferencia	0.35	6.45	4.01
0.398 Feldespato Maine ²	4.71	57.82	15.99
Diferencia	4.66	28.97	6.05
0.255 Caolín Georgia	0.05	28.85	9.94
Diferencia	0	16.84	9.94
0.1684 Pedernal	...	16.84	
Diferencia	...	0	

¹ Esta es una mitad del 2% de "ball clay" tomado en cuenta.
² Debe seleccionarse una cantidad de feldespato y caolín para dar (juntos) el debido valor a los óxidos básico y neutro todavía no considerados. Estas son cifras fácilmente obtenidas por álgebra, pero puede usarse un método de prueba y error.

Material	Partes	Porcentaje ¹
"Ball clay" Kentucky	0.125	11.67
"Ball clay" Tennessee	0.125	11.67
Feldespato Maine	0.398	37.16
Caolín Georgia	0.255	23.81
Pedernal	0.168	15.69
Total	1.0712 ²	100.00

¹ El número de partes dividido por 1.071 y multiplicado por 100 da el porcentaje.
² Este total excede de 1.000, porque la arcilla pierde agua en la cochura.

Clasificación de pastas cerámicas:

De acuerdo con la temperatura de cochura:

Baja Temperatura (1010°C, cono 6) tenemos:

a) Pasta de tierra roja

b) Pasta de talco.

Temperatura Mediana (1150°C, cono 4) tenemos:

- a) Pasta de arcilla compacta roja.
- b) Porcelana de paros.
- c) Porcelana de nefelina-sienita.
- d) Terracota roja.

Alta Temperatura (1230°C , cono 8), tenemos.

- a) Arcilla compacta gris.
- b) Arcilla de loza blanca.
- c) Porcelana.

Muy alta Temperatura (1450°C , cono 16).

- a) Porcelana de alta cochura.
- b) Refractarios.

Hay que seleccionar lo mismo la estructura que la temperatura de la quema para seleccionar una pasta para una determinada pieza.

Pastas Refractarias.

Son útiles las pastas refractarias para hacer hornos y equipos de horno, pero requieren de temperaturas de quema más altas que las comúnmente alcanzables.

Pastas de Arcilla Refractaria. (Fireclay).

Son una mezcla de arcilla refractaria plástica y de chamota. Presentan escaso encogimiento y pueden usarse venturosamente en piezas grandes.

Pastas de Alúmina.

Para usos refractarios que requieren temperaturas extremadamente altas, dá buenos resultados una mezcla de chamota de alúmina derretida y arcilla refractaria, pero esta pasta es más costosa que la descrita anteriormente.

Pasta de Silicio (Carborundum).

Excelentes son estas pastas para muflas y placas para estibar debido a su alta conductividad térmica y a su resistencia a las cuarteaduras. Sin embargo resulta más barato comprar muflas comerciales y placas de estiba que hacerlo en el estudio.

Pastas Aislantes.

Estas pastas, como su nombre lo indica se usan entre otras cosas para aislar hornos. Sin embargo recomendamos que se adquiera ladrillos aislantes en vez de intentar la ejecución de sus propios elementos de ésta especie.

4. - REFRACTARIOS. (*)

Con el término de refractarios se comprenden todos aquellos productos que se utilizan para resistir los efectos térmicos, químicos con que hay que contar en los procesos de hornos. Los refractarios se venden en forma de ladrillos refractarios de sí-

(*) Bib, (1)

lice, magnesita, cromita carburo de silicio, zirconio, productos de silicato aluminico de olivino, y otros. Cada día crece más el número de refractarios diferentes, permitiendo de este modo una mejor selección del refractario para cada uso en particular. Al fabricar refractario se escoge el material que mejor se adapte a las condiciones térmicas, físicas ó químicas a las que ha de servir. Los fundentes necesarios para aglutinar las partículas de los refractarios, han de ir en cantidades infinitas. Principalmente, por esta causa la vitrificación es muy pequeña.

Propiedades de los refractarios.

Al determinar el refractario más adecuado para una operación dada es necesario tener en cuenta la temperatura de trabajo del horno donde se necesita el refractario, la velocidad del cambio de temperatura la carga aplicada durante los calentamientos y las reacciones químicas que han de producirse.

Generalmente se requieren varios tipos de refractarios para la construcción de un horno, porque ningún refractario solo puede resistir todas las condiciones diferentes que predominan en las distintas partes del horno. Con objeto de prevenirse contra las reacciones entre los ladrillos de diferentes tipos, deberá utilizarse un cemento o ladrillo de separación que tenga poca tendencia a reaccionar con uno u otro de los refractarios adyacentes.

Propiedades químicas.

La clasificación corriente de los refractarios comerciales los divide en:

- a) Ácidos.
- b) Básicos.
- c) Neutros.

Los ladrillos de sílice son decididamente ácidos, y los de magnesia fuertemente básicos; pero sin embargo, los ladrillos de arcilla refractaria se colocan generalmente en el grupo neutro, aunque pueden pertenecer a una u a otra de ambas clases según el contenido relativo de sílice-alúmina. Además en la serie de los refractarios sílice-alúmina podrían hacerse muchos grupos con grandes diferencias en sus reacciones químicas.

Ordinariamente no es aconsejable utilizar un ladrillo ácido en contacto con un producto alcalino y viceversa.

Ni las reacciones químicas ni las propiedades pueden ser el único criterio para preveer un comportamiento aceptable; pero unas y otras han de ser estudiadas. La reacción química puede ser debida al contacto con la escoria, cenizas, combustibles y gases del horno, así como con productos tales como vidrio ó acero. Entre los gases que tienen efecto dieléctrico figuran : CaO , SO_2 , H_2 , el gas natural y el vapor de agua.

Porosidad.

La porosidad está directamente relacionada con otras muchas propiedades físicas del ladrillo incluida su resistencia química. Cuanto mayor sea la porosidad, más se penetrarán los gases. Para una especie dada de ladrillo, aquél que tenga la menor porosidad será el que tenga la mayor resistencia así como la conductividad calorífica y mayor capacidad térmica.

Punto de fusión.

Antes del uso de un refractario deberá determinarse su punto de reblandecimiento, éste punto puede hallarse utilizando conos pirométricos de puntos de reblandecimiento previamente determinados. La mayor parte de los refractarios comerciales se reblandecen gradualmente dentro de un amplio intervalo y no tienen punto de fusión definido por estar compuestos de varios minerales diferentes, tanto en estado amorfo como en el cristalino.

Los conos pirométricos (llamados en otros tiempos conos de Seger) son pequeñas pirámides formadas por mezclas de óxidos y resultan útiles para la medición aproximada de la temperatura desde 1100 a 3700^oF con intervalos de 36^oC. Se consideran indispensables no solo por la gran exactitud de la lectura sino también porque su comportamiento temperatura-tiempo es similar al de los materiales que han de sufrir la acción del fue-

go. Los puntos de fusión de estos conos pirométricos se incluyen en el apéndice.

Desportillado (Saltado).

La rotura o descascarillado de un ladrillo o bloque refractario a causa de tensiones desiguales o de compresión producida por el calor se conoce como desportillado o saltado. Los refractarios generalmente se dilatan al calentarse. Los ladrillos que tienen una dilatación mayor y una composición menos uniforme son más susceptibles de desportillarse o de saltarse cuando se someten a calefacción y enfriamiento bruscos. Cuando los refractarios se calientan durante mucho tiempo a temperaturas elevadas pueden experimentar un cambio de volumen permanente bien por dilatación o contracción que puede ser debido a inversión mineral, reblandecimiento o sobrecocura.

Resistencia.

La resistencia en frío sirve solo como ligera orientación para prever las resistencias a elevadas temperaturas. Aunque en la mayor parte de sus aplicaciones se colocan los refractarios bajo cargas de compresión, solo en raros casos, pueden estar sometidos a tracción o desgarramiento. La resistencia a la abrasión o a la erosión es también muy importante para muchas estructuras de hornos tales como las paredes de los hornos de

subproductos de cok y los revestimientos del extremo de descarga de los hornos de cemento rotatorios.

Resistencia a los cambios bruscos de Temperatura.

Hablando en términos generales, los ladrillos de menor dilatación térmica y de textura más basta, son más resistentes al cambio brusco de temperatura; también desarrollan menor tensión.

Los ladrillos que han sido usados durante largo tiempo sufren ordinariamente una alteración de sus propiedades, fundiéndose muchas veces en la superficie exterior, formando escorias vítreas e incluso presentándose más o menos corroídos.

Conductividad calorífica.

Los ladrillos más compactos y menos porosos tienen la mayor conductividad calorífica, debido a la ausencia de aire en los huecos. Aunque en algunas estructuras de hornos se desea la conductividad calorífica, como por ejemplo: En las paredes de mufla esta cualidad no es tan deseada como otras propiedades de los refractarios tales como la resistencia a las condiciones de la cochura y por ello se le otorga un interés de tipo secundario. El aislamiento es conveniente en algunos refractarios especiales.

Capacidad calorífica.

Esta depende de la conductividad calorífica, C_p y densidad del refractario. La pequeña cantidad de calor absorbida por los ladrillos de peso ligero cuenta como ventaja, cuando los hornos operan intermitentemente, porque la temperatura de trabajo del horno, puede obtenerse en menos tiempo, con menos combustible. De modo inverso el ladrillo denso y pesado de arcilla refractaria será el mejor para la celosía de un regenerador, como en los hornos de cok, de vidrio y en las estufas de los altos hornos.

Manufactura de Refractarios. -

Los métodos ordinarios para fabricar refractarios comprenden las siguientes operaciones y procesos elementales:

1. Molienda y cribado.
2. Mezcla.
3. Prensado ó moldeo y reprensado.
4. Secado.
5. Cochura ó vitrificado.

Generalmente la propiedad que tiene mayor importancia en la manufactura es la compacidad de la masa porque afecta a muchas otras propiedades importantes tales como la resistencia, estabilidad de volumen, resistencia a la escoria y al saltado así como a la capacidad calorífica.

Por otra parte para los refractarios aislantes se requiere de una estructura porosa, la cuál supone una densidad pequeña.

Molienda. - Evidentemente uno de los factores más importantes es el tamaño de las partículas empleadas en cada lote.

Es sabido que en una mezcla en la que la proporción entre las partículas gruesas y finas es aproximadamente de 45 a 55 con solamente algunas partículas intermedias proporciona las mezclas de mayor compacidad.

Un cribado cuidadoso y la separación y repetición del ciclo de molienda resultan imprescindibles para mantener un control estrecho, dando muy buen resultado tratándose de materiales muy cristalinos., pero es difícil de conseguir en mezclas de gran plasticidad.

Mezcla. - La función principal de la mezcla es la distribución de la sustancia plástica de manera que recubra íntimamente los componentes no plásticos, lo que tiene por finalidad proporcionar un lubricante durante la operación de moldeo y permitir la aglutinación de la masa con un mínimo de huecos.

Moldeo. - La gran demanda de ladrillos refractarios de mayor densidad, resistencia, estabilidad de volumen y uniformidad, ha dado como resultado la opción del método de prensado en seco

para el moldeo con prensa de funcionamiento mecánico y ha descartado el moldeo a mano y los procesos de extrusión. El método de prensado en seco es especialmente adecuado para los lotes constituidos principalmente por materiales aplásticos. - Con objeto de hacer el moldeo a presión alta, es muy necesario desairear los ladrillos durante el prensado para evitar laminados y agrietamientos al aflojar la presión, existen cuatro - formas de desairear los ladrillos para el prensado en seco:

1. Disminuir la velocidad de aplicación y aflojar la presión de modo que el aire de los huecos puede escapar a través de - los lados del ladrillo y de la caja de moldeo.
2. Doble prensado de los materiales.
3. Desaireado mediante gas, como butano, que se conduce a la caja de moldeo para desplazar el aire. Cuando se aplica la presión el gas queda absorbido en la arcilla o se condensa. Si se utiliza un gas inflamable habrá de manejarse con el - mayor cuidado para reducir el peligro de incendio.
4. Aplicación de vacío practicado a través de ventiladores en - la caja de moldeo. Este método ha sido aplicado con éxito - y parece ser el más prometedor.

Secado. - El secado tiene por objeto eliminar la humedad que - se agregó antes del moldeo para desarrollar la plasticidad. De-

berá tenerse en cuenta que la eliminación del agua de los huecos y produce grandes contracciones y tensiones internas. Por esta razón el proceso de prensado en seco que requiere de un 5 a un 8% de humedad en vez que de 10 a 15% usado en el método de barro duro ha tenido aceptación en la manufactura de prácticamente todos los tipos de materiales refractarios.

En algunos casos se omite totalmente el secado y se realiza éste durante la etapa de calentamiento.

Cochura. - La cochura puede verificarse en los típicos hornos de tunel continuos. Dos cosas importantes tienen lugar en la cochura:

1. El desarrollo de una aglutinación permanente por vitrificación parcial de la mezcla.
2. El desarrollo de formas minerales que se mantendrán estables en el futuro servicio del material.

Existen refractarios comerciales en los cuales la operación de cochura se elimina totalmente porque los materiales usados como materias primas se estabilizan previamente y luego se reduce al tamaño apropiado y se prensan.

Varietades de Refractario. - Hasta la fecha no se ha fabricado ningún refractario que sea adecuado para todas las condicio

nes. Aunque el término refractario ordinariamente significa un producto capaz de resistir la temperatura, en realidad solo en casos excepcionales, es el calor el único agente que lleva a la destrucción final; de aquí la necesidad de diferentes refractarios.

Ladrillo de arcilla Refractaria. - Las arcillas refractarias son el producto más utilizado en todos los materiales refractarios por resultar apropiadas para una gran variedad de aplicaciones y poder obtenerse en casi todas las cantidades necesarias. Las arcillas refractarias varían en su composición química, desde aquellas que contienen un gran exceso de sílice libre hasta las que tienen un gran contenido de alúmina.

La industria del acero son los principales consumidores de refractarios para revestimientos de altos hornos, estufas, hornos abiertos, y otros tipos de hornos. Otras industrias que también requieren de estos materiales son las forjas, hornos de cal, de cerámica, cubiletes, hornos de latón y cobre, hornos continuos de cerámica y metalúrgicos, calderas hornos de vidrio y de carbón etc.

Refractarios ricos en alúmina. - Estos tipos de refractarios solo han llegado a generalizarse en los últimos 15 años

El consumo de ellos en forma de ladrillos se debe principalmente a los perfeccionamientos en su calidad y a la demanda creciente de refractarios que puedan resistir condiciones extremas para las cuáles no resultan adecuados los ladrillos refractarios de arcilla refractaria ni de sílice.

Los refractarios y la temperatura de vitrificación aumenta con el contenido de alúmina. Otra valiosa propiedad de éste tipo de ladrillo es que son propiamente inertes al CO y no se desintegran en atmósferas de gas natural hasta 1000°C .

La industria del cemento es el mayor consumidor de ladrillos ricos en alúmina. Otra de sus buenas aplicaciones es en la zona de calcinación de los hornos rotatorios de cal y dolomita tales como los que se emplean en la fabricación de barro calizo en las fábricas de papel al sulfato. Han demostrado ser satisfactorios en las coberturas de calderas por la resistencia que presentan a la acción química de las cenizas de combustibles ricas en óxidos básicos y han resultado económicos en revestimientos de hornos de vidrio, hornos calentados por petróleo, destiladores de petróleo a alta presión, en los techos de los hornos de reblandecimiento de plomo y en las coronas de los hornos de silicato sódico.

La alúmina pura en forma de corindos sintetizados está satisfaciendo una necesidad muy específica en las bujías de aviación.

Ladrillo de sílice. - Contienen de un 95 a un 96% de SiO_2 y un 2% de piedra caliza que se agrega durante la molienda como aglutinante. Los ladrillos de sílice tienen una dilatación permanente que se produce durante la cochura y se debe a una transformación alotrópica que tiene lugar en la masa cristalina. Al calentarse de nuevo los ladrillos de sílice, vuelven a dilatarse un 1.5% aproximadamente. Este hecho deberá ser tenido en cuenta cuando se utilicen. Los ladrillos de sílice se manufacturan por prensado eléctrico en muchos tamaños normalizados. Tienen una textura muy homogénea exenta de bolsas de aire y de defectos de moldeo. Su escasa porosidad es una cualidad muy conveniente por su resistencia a la penetración de escoria. La resistencia de los ladrillos de sílice es mucho más alta que la de los de arcilla y por esta razón se utilizan para arcos en hornos grandes. Los hornos en que se utilizan han de calentarse y enfriarse gradualmente para disminuir el riesgo de saltado y agrietado. Los hornos de hogar abierto llevan ladrillos de sílice en su arco principal, muros laterales, arcos de pórticos y frontones. En los hornos de vidrio, las paredes y los arcos son también de sílice. Por su elevada conductividad calorífica los ladrillos de sílice han sido utilizados en los hornos de subproductos de cok y en las retortas de gas. También se utilizan en hornos eléctricos, convertidores Bessmer y hornos de rever

bero para fusión de cobre.

Ladrillos de magnesita. - Figuran entre los más importantes refractarios básicos. Contienen 85% de MgO y a lrededor del 7% de Fe_2O_3 que reaccionan para dar la aglutinación debida. -

Su punto de fusión es más elevado que el de ningún otro refractario comercial (2150°C) y su resistencia en frío es muy grande. Estos ladrillos no resisten mucha carga a elevada temperatura sino que se agrietan y saltan muy fácilmente cuando se someten a cambios de temperatura. Aunque su dilatación calorífica es relativamente grande, disminuye al subir la temperatura. Los ladrillos de magnesita son muy caros y por ello se utilizan solo cuando ha de tener lugar una reacción básica y deben estar soportados por metal. Su mayor uso es en los hornos de hogar abierto, aunque también se utilizan mucho para revestimientos de convertidores de cobre y para la construcción de partes de los hornos de reverbero y de refino de cobre.

Ladrillo de cromita. - $(\text{FeO} \bullet \text{Cr}_2\text{O}_3)$ La cromita se clasifica

a veces como producto básico a pesar de que su reacción química es neutra. Perfeccionamientos recientes en la fabricación de los ladrillos de cromo han traído consigo mayor resistencia física y también al saltado a elevada temperatura. Sin embargo - los ladrillos de este refractario encuentran poco uso fuera de la

industria del acero.

Refractarios de carburo de silicio. - Están clasificados entre los superrefractarios; son notables por su propiedad de resistir cambios bruscos de temperatura y también son resistentes a muchos reactivos químicos. Para su manufactura se muele el producto bruto del horno de carburo de silicio y se agrega el producto cerámico aglutinante. El aglutinante puede ser también en algunos casos el propio carburo de silicio finamente dividido o arcilla. La mezcla se moldea para darle la forma y se vitrifica el aglutinante. En las calidades muy superiores se emplea menos del 10% del material aglutinante. Estos ladrillos son extraordinariamente refractarios y poseen gran conductividad calorífica, poca dilatación y gran resistencia a la abrasión y al saltado.

Son mecánicamente fuertes y resisten cargas en los hornos hasta temperaturas de 1650°C . A temperatura elevada su resistencia es menor.

Estos refractarios se usan generalmente en muflas por su conductividad calorífica, su capacidad para absorber y desprender calor rápidamente y su resistencia al saltado con cambios repetidos de temperatura los hacen convenientes para los recuperadores. Los refractarios de éste tipo pueden fabricarse más delgados que los de arcilla.

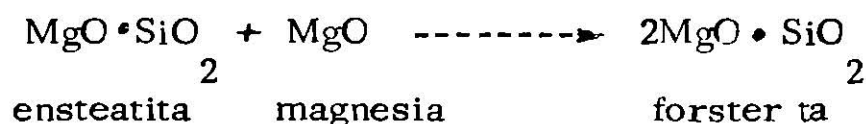
Refractarios a partir de silicatos aluminicos. - Los refractarios que contienen un gran porcentaje de mullita cristalizada ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) se denominan refractarios de mullita. Los refractarios de arcilla tienden a hacerse viscosos a temperaturas próximas a los 1600°C por lo que no son adecuados para soportar cargas. Como la mullita a esta temperatura sigue en estado cristalino, se ha hecho un estudio de minerales de silicato aluminico que puedan convertirse en mullita casi en un 100%. Entre los minerales empleados en este estudio figuran la cianita, silmanita, andalucita y dumortierita. De todos ellos el más prometedor y más utilizado es la cianita, su buena resistencia eléctrica los hace más adecuados para aparatos eléctricos.

Refractarios de fusión eléctrica. - Los refractarios obtenidos por electrofusión se manufacturan introduciendo una mezcla de arcillas de diásporo ricas en alúmina para tener una proporción $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ en la parte alta de un horno eléctrico. En caso necesario se hace un ajuste para tener la proporción de mullita estable. El silicato aluminico fundido a 1850°C se vierte del horno a intervalos en moldes contruidos con barro de arena. Los moldes se someten a recocido durante 6 -

das. El refractario obtenido de esta forma tiene una estructura vítrea no porosa con un coeficiente lineal casi la mitad que el de un buen ladrillo refractario. Los bloques no pueden cortarse pero pueden ser molidos en muelas de alundo, sin embargo, la habilidad en el vaciado ha progresado con rapidéz y ahora se hacen a satisfacción formas complicadas.

Los refractarios por fusión denominados bloques Cor hart se utilizan en hornos de vidrio como revestimientos, en las zonas de calentamiento de los hornos rotatorios, en los hornos de calderas modernos expuestos a un servicio duro y en instalaciones metalúrgicas tales como en los hornos de forja.

Refractarios de olivino. - El material que se presenta en la naturaleza como olivino contiene: $2(\text{Mg, Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ y es el refractario de mayor refractariedad. En la manufactura de refractarios a partir de éste mineral se agrega ordinariamente magnesia calcinada, para convertir otros minerales accesorios en forita (Mg SiO_4) que es el silicato magnésico más estable a temperaturas elevadas. Por ejemplo la ensteatita ó clinoensteatita que se presenta en el olivino extraído de la mina se convierte en forsterita:



Estos refractarios tienen las ventajas de un elevado punto de fusión, no sufrir transformaciones durante el calentamiento y una estabilidad de volumen a temperaturas elevadas no sobrepasada por ningún otro producto. No se precisa calcinación en su preparación. Estos refractarios han sido utilizados satisfactoriamente en los hornos de refino de cobre y como mortero para unir otros ladrillos refractarios .

CAPITULO IV

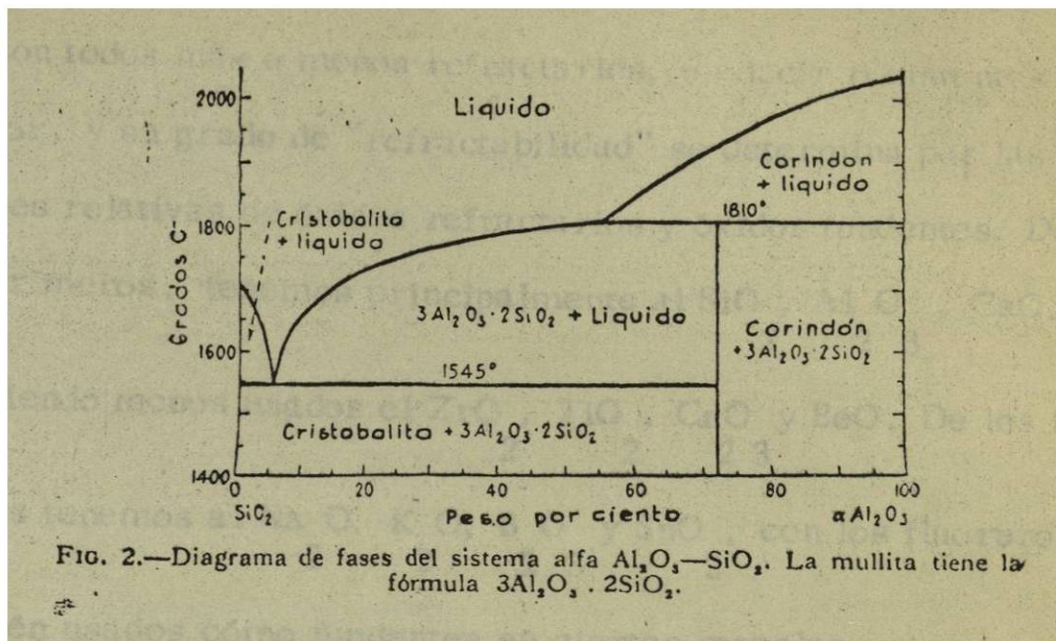
PROCESOS ELEMENTALES DE LA QUIMICA FUNDAMENTAL (*)

Todos los productos cerámicos se elaboran combinando diversas cantidades de las antedichas materias primas, dándoles forma, y sometiéndolos a la temperatura de cocción. Esta temperatura puede variar desde sólo 700°C en algunos recubrimientos vidriados hasta los $1300-1400^{\circ}\text{C}$, para algunos procesos de vitrificación. Las temperaturas de cocción provocan diversas reacciones las cuáles son las bases químicas de los siguientes procesos elementales:

1. Deshidratación, de $150-650^{\circ}\text{C}$
2. Calcinación, p. ej. del CaCO_3
3. Oxidación del hierro y de la materia orgánica.
4. Formación de silicatos.

Algunas de las reacciones químicas iniciales, son relativamente sencillas, como la calcinación del CaCO_3 , y las deshidrataciones y descomposiciones de la caolinita. Otras reacciones, como la formación de silicatos, son muy complejas y cambian con la temperatura y con la proporción de los componentes, como puede verse en la figura 2.

(*) Bib. (7)



La aplicación de la regla de las fases, como se ha hecho en la figura, ha sido de una vital importancia para interpretar las observaciones empíricas en las industrias cerámicas y hacer predicciones para su perfeccionamiento. Por ejemplo, los datos de la figura 2. sobre el sistema alúmina-silica, han conducido a importantes progresos en el procedimiento de obtención de los refractarios de mullita. Ahí se observa que variando la temperatura se puede obtener cualquier porcentaje de licuefacción, excepto en los puntos monovariantes. Así pues, si regulando la temperatura se puede conseguir que la fusión no progrese demasiado, quedará siempre un esqueleto de material sólido suficiente para mantener compacta la masa caliente. Del diagrama se desprende que la mullita es el único compuesto estable de alúmina y sílice a alta temperatura.

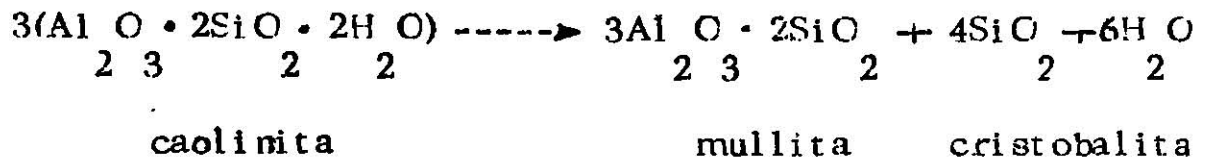
Los productos cerámicos, al ser fundamentalmente silicatos son todos más o menos refractarios, es decir resistentes al calor, y su grado de "refractabilidad" se determina por las cantidades relativas de óxidos refractarios y óxidos fundentes. De los primeros, tenemos principalmente al SiO_2 , Al_2O_3 , CaO y MgO , siendo menos usados el ZrO_2 , TiO_2 , Cr_2O_3 y BeO . De los fundentes tenemos al Na_2O , K_2O , B_2O_3 y SnO_2 , con los fluoruros también usados como fundentes en ciertas mezclas.

Las reacciones químicas que se producen al calentar la arcilla son muy importantes. El primer efecto del calor es el usar el agua de hidratación, lo cual ocurre alrededor de los 600 ó 650°C , absorbiendo mucho calor y dejando una mezcla amorfa de alúmina y sílice como se ha comprobado mediante el estudio con rayos X.



En realidad una gran proporción de la alúmina puede ser extraída con ácido clorhídrico en esta fase de la elaboración. Al continuar el calor la alúmina amorfa cambia muy bruscamente a los 940°C en una forma cristalina, alúmina gamma, desprendiendo muy poco calor. A temperatura un poco superior a 1000°C comienza la combinación de alúmina con la sílice para dar mullita, :-----
 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. A una temperatura poco superior, a unos 1700°C

la sílice remanente se convierte en cristobalita cristalina. Por lo tanto, la reacción fundamental en el calentamiento de la arcilla es en conjunto lo siguiente:



El estado de equilibrio de las mezclas del sistema Al_2O_3 -

SiO_2 en función de la temperatura está resumido en el dia

grama de fases de este sistema en la figura 2.. La presencia de fundente tiende a reducir la temperatura de formación de la mullita, así como a conseguir las condiciones de equilibrio indicadas en el diagrama.

Un producto cerámico real contiene muchos más ingredientes que arcilla. Por ello, las reacciones químicas son más complicadas, y en el producto final además de la mullita y -cristobalita, existirán otras especies químicas presentes. Sin embargo la porción alcalina del feldespato, y la mayoría de los fundentes llegan a formar parte de la parte vítrea del -producto cerámico. Todos los productos cerámicos sufren un cierto grado de vitrificación o formación de vidrio durante el calentamiento, y éste depende de:

1. Las cantidades relativas de óxidos refractarios y fundentes.
2. La temperatura.
3. El tiempo de la cocción.

La fase vítrea comunica propiedades convenientes a ciertos productos cerámicos, por ejemplo actuando como aglutinante y haciendo transluciente la porcelana china. Incluso en los refractarios es conveniente alguna vitrificación que actúe como aglutinante aunque en el caso de ser demasiado extensa, destruiría la cualidad refractaria. Así se ve que todo producto cerámico está compuesto de una matriz vítrea, más cristales, de los de la mullita y la cristobalita son los dos más importantes.

El grado de vitrificación proporciona la base para una clasificación práctica de los productos cerámicos del modo siguiente:

1. Productos blancos:

Cantidades variables de fundentes, cocción a temperatura moderadamente elevadas, vitrificación variable.

2. ~~Productos~~ pesados de arcilla.

Fundentes abundantes, cocción a temperaturas bajas, - poca vitrificación. refractarios.

3. Refractarios.

Poco fundentes, cocción a temperaturas elevadas, poca vitrificación.

4. Esmaltes.

Fundentes muy abundantes. cocción a temperaturas mo
deradas, vitrificación completa.

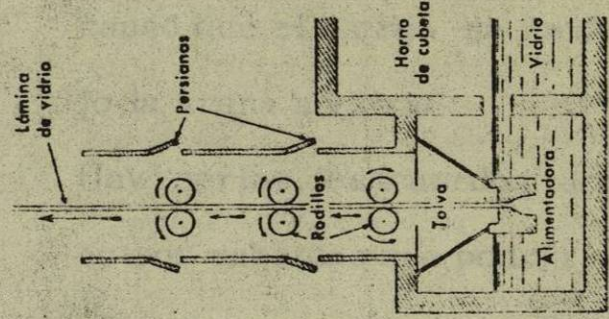
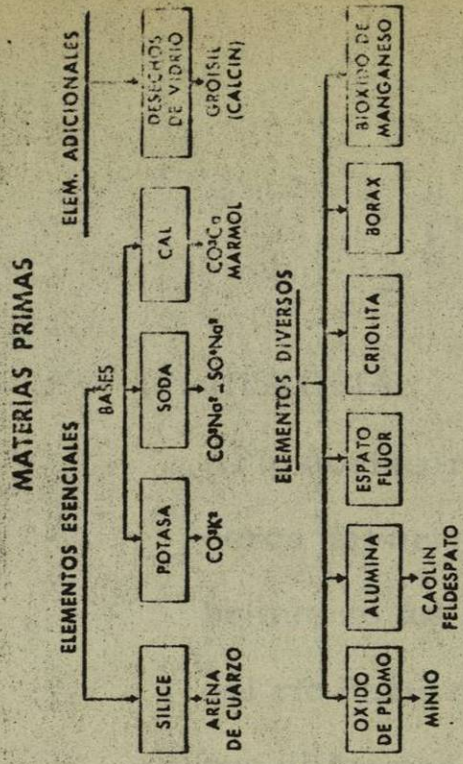
5. Vidrio.

Fundentes moderados, cocción a temperaturas eleva -
das, vitrificación completa.

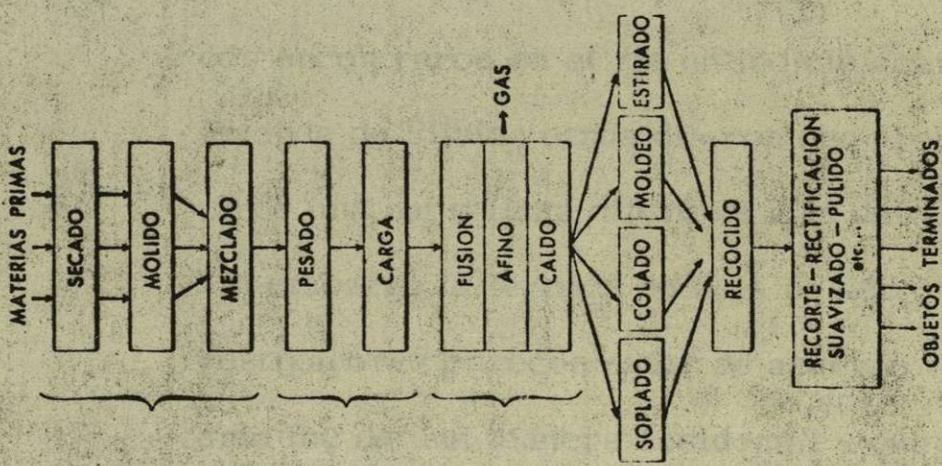
W I D R I O

(P A R T E II)

EL VIDRIO



ESTIRADO (Sistema Fourcault)



I - PREPARACION DE LA MEZCLA

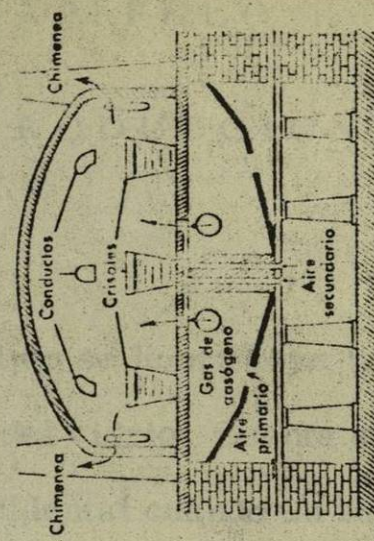
II - CARGA

III - FUSION

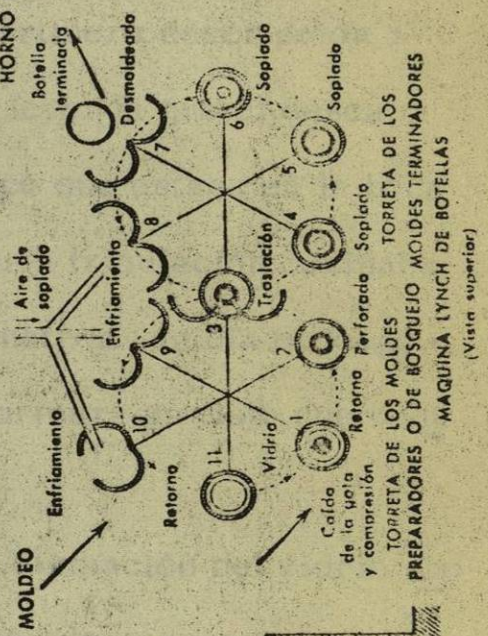
IV - MODELADO

V - RECOCIDO

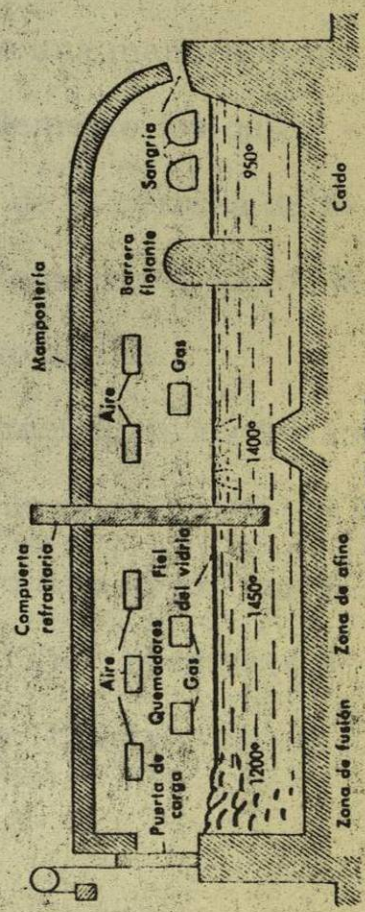
VI - TERMINACION



HORNO DE CRISOLES O POTES



COLADA CONTINUA DEL VIDRIO (Sistema Ford)



HORNO DE HOYO

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

1. - HISTORIA.

Al historiador Plinio se le atribuye la primera descripción acerca del origen del vidrio. Cuenta su leyenda que el descubrimiento fué accidental cuando un barco que estaba en la boca del río Belus cargado con "natron" y cuya tripulación cocinaba sus alimentos sobre bloques del dicho natron. un día el fuego causó que el natron se fundiera y se formara un flujo que redujo la arena a vidrio.

Hay serios desacuerdos acerca de la formación del vidrio, nosotros sabemos que podría ser producido de una manera simple. algunos expertos declaran que indudablemente los químicos encontraron en el río un indicio acerca de la certeza de la leyenda de Plinio; otros dijeron que probablemente el natron era de una naturaleza diferente a la del vidrio actual.

Sin embargo la leyenda no deja de ser una ficción, todos los investigadores parecen estar de acuerdo en que el origen del vidrio fué de una manera accidental y que esto data aproximadamente de 1500 años A.C. . Se han encontrado ciertas tumbas egipcias con incrustaciones de vidrio soplado Existen discusio-

nes de como el vidrio soplado fué introducido en Europa pero es lógico suponer que los métodos fueron llevados por los romanos que según referencias bíblicas, estos dominaron Egipto. Durante la Edad Media, Venecia gozó de un monopolio como centro de la industria del vidrio y hasta el siglo XVI no se fabricó vidrio ni en Alemania ni en Inglaterra. El vidrio de ventanas se menciona por primera vez en el año 290 D. C. , y el vidrio cilíndrico para ventana soplado a mano fué inventado por un monje del siglo XII. Sin embargo hasta el siglo XV no se generalizó el uso del vidrio de ventana. El vidrio laminado aparece en Francia en 1688.

Los primeros talleres se fundaron a principios del siglo XVII en Jamestown en 1608 y en Salem Mass en 1639. Durante más de tres siglos después de haber sido establecida en América la industria del vidrio seguía esencialmente estancada en lo que se refiere a su progreso tecnológico. Los métodos seguían siendo manuales y empíricos. Desde el punto de vista químico el único perfeccionamiento durante este período se limitaba a la purificación de los materiales empleados y a aumentar la economía en el combustible. Ciertamente se establecieron algunas relaciones entre la composición química de los vidrios y sus propiedades ópticas y otras propiedades físicas pero con todo, la industria antes de 1900 era un arte que guardaba celosamente

te sus fórmulas secretas y métodos empíricos de fabricación basados principalmente en la experiencia.

Hacia el final del siglo XIX Lubbers inventó una adaptación mecánica del método del vidrio cilíndrico de ventana soplado a mano, y en 1914 se desarrolló en Bélgica el método Fourcault para estirar una lámina de vidrio de modo continuo. Estos métodos fueron seguidos en otros procesos directos de laminado continuo, como los de Colburn, Pittsburgh Plate Glass y Libbey-Owens. El advenimiento de los automóviles cerrados creó una enorme demanda de lámina de vidrio de tamaño pequeño, demanda que fué parcialmente satisfecha al emprender su fabricación los propios fabricantes de automóviles.

Mientras tanto casi todas las ramas de la industria del vidrio se encontraban en proceso de rápida evolución; muchos hombres de ciencia se dedicaron a ello y se inventaron máquinas automáticas para aumentar la velocidad de producción de botellas, bombillas para la luz eléctrica; a la vez aparecían nuevos productos como resultado de las extensas investigaciones realizadas. Como consecuencia de ello la industria del vidrio es, hoy en día un campo sumamente especializado que emplea todos los elementos de la ciencia moderna para la producción, control y desenvolvimiento de sus numerosos productos.

CAPITULO II

MATERIAS PRIMAS ()

Hay dos tipos de Materias Primas en la fabricación del vidrio, unas que son propiamente formadas del vidrio y otras que son usadas como medios de coloración y clarificación.

1. Oxidos ácidos del vidrio:

a) Arena. - El componente principal de los vidrios corrientes es la sílice que se introduce en forma de arena. El cuarzo y el pedernal casi no se usan debido a las dificultades que trae su uso y a su costo elevado; generalmente se usa arena cuarzosa que se encuentra en grandes cantidades.

Las arenas cristalinas cuarzosas de buena calidad deben satisfacer 2 exigencias fundamentales: Poseer un grano fino y ser muy pobres en hierro. El tamaño del grano debe mantenerse entre .1mm y .3mm. Cuando el grano es más grande, como de .5 a 1mm la fusión se hace con dificultad y hay formación de "piedras" en el vidrio; si es demasiado pequeño, abajo de .1mm se retarda la clarificación de la masa.

El cuarzo unicamente se utiliza para obtener ciertos vidrios especiales, como vidrios ópticos. La cantidad de -

hierros cuando se quieren obtener vidrios especiales incoloros. Por ej. en vidrios ópticos no debe exceder de .01% de óxido de hierro mientras que para el vidrio blanco corriente puede llegar hasta un .3% y ésta cantidad puede aumentar en los vidrios de ventana o para laboratorio. La can tidad de titanio no debe ser mayor que de .05 a .06%, una pequeña cantidad de carbon puede influir sobre la decolora ción por el selenio.

En la industria se designan como "arenas de cuarzo" las que contienen menos del 2% de alúmina lo que corresponde a un contenido de caolín de cerca del 5% ó a una riqueza de feldespató potásico del 10%. Las arenas que contienen cantidades mayores de alúmina se denominan arenas caolif nicas o de feldespató y sirven especialmente para aquellos casos en la fabricación de vidrio que requieren la presencia de ciertas cantidades de alúmina.

La arena también puede contener óxido de cro mo que acen túa el color.

Las arenas de buena calidad son sometidas a un tratamiento basado en su lavado, levigación y tamizado. Para mejorar su calidad hay que eliminar más o menos los compuestos de hierro que contenga. Esto se realiza químicamente por disolución de los ácidos (HCl) y por vía mecánica, por

separación magnética, aunque esto último se practica muy poco.

Se ha comprobado que la mezcla con arena que tenga de 4 a 5% de humedad funde con mayor facilidad que empleando la misma arena seca, referida la mezcla a una misma cantidad de sílice; ello es debido a que los granos de arena húmedos son mojados mejor por los fundentes como el carbonato de sodio. Además la arena húmeda no produce polvo y la mezcla posee menos tendencia a separarse en sus componentes. Una arena de grano normal o aunque sea con un poco de grano más basto se funde más lentamente que otra de grano muy fino, pero esto se ve compensado porque la composición se clarifica más de prisa que cuando la arena es de grano fino.

Tratándose de arena de granos finos, al principio se funde con una velocidad relativamente grande, una gran parte de ácido silícico y la masa fundida se hace más viscosa e impide que escapen bien las burbujas de los gases, por este motivo, el vidrio resulta defectuoso.

- b) **Acido Bórico y bórax.** - En sus aplicaciones el ácido bórico va colocado mucho después que la sílice. Se introduce en el vidrio por sus buenas propiedades, que hacen más fácil la fusibilidad de la masa, y por disminuir la viscosidad lo que faci

Uta mucho el afino. Cuando se emplea el ácido bórico puro no se suele usar en forma de óxido bórico o de vidrio de ácido bórico anhidro, sino que por lo general se emplea el ácido bórico hidratado con 54.8% de óxido de boro y 45.2% - de agua, y casi siempre en forma de semolina que se mez - cla y funde muy fácilmente. Para un Kg. de óxido de boro (B_2O_3) hay que emplear 1.77Kg. de ácido bórico (H_3BO_3).

Prácticamente hay que emplear un poco más, pues el ácido bórico se volatiliza algo con el vapor de agua. Generalmente se emplea el bórax cristalizado que contiene 10mol de a - gua, en forma de sémola que funde con facilidad. El bórax anhidro, llamado vidrio de boro, no se usa mucho por ser - higroscópico y fundir con más dificultad. Un Kg. de bórax - con agua de cristalización produce .366Kg. de B_2O_3 y .0162 Kg. de Na_2O . Salvo en algunos casos raros no se usan mine

rales que contengan ácido bórico, como boracita, bandermi - ta, kernita, porque siempre contienen productos secundarios que estorban el proceso de la fabricación.

El ácido bórico comunica al vidrio cualidades muy particula - res. Hace la "composición" más fácilmente fusible, actúa en sentido opuesto a la desvitrificación, hace al vidrio más bri - llante, estimula la disolución de los co orantes y aumenta la

resistencia química y, más especialmente, la térmica. A causa de estas propiedades el ácido bórico se emplea en cantidades de hasta 12% y más cuando se trata de obtener vidrios especiales. Gracias a estas mismas propiedades, así como a lo apropiado que han resultado como fundentes, se usan, desde hace pocos años, el ácido bórico y el bórax, por lo menos en pequeñas cantidades, en casi todos los vidrios, con el fin de aumentar el rendimiento de las hornadas, de manera que la mayor parte de los vidrios para espejos y ventanas, así como el vidrio hueco y de botella son bóricos.

Cuando a una "composición" determinada se van añadiendo cantidades cada vez más elevadas de bórax, hasta 1%, la temperatura de fusión disminuye (en un caso) casi en 10°C por cada 1% de óxido de boro contenido en el vidrio. El rendimiento y la clarificación son mejores proporcionalmente. Por el contrario, cuando se substituye Na_2O por B_2O_3 no se consi-

gue una disminución de la temperatura de fusión, y, prácticamente no es perceptible ninguna mejora en el rendimiento ni en la clarificación. Sólo mejoran la resistencia térmica y la química.

c) Acido fosfórico y ácido arsenioso: - Estas sustancias, que son óxidos ácidos del vidrio, tienen escasa importancia y se emplean para dar opacidad, o bien en la clarificación.

Oxidos de vidrio básicos:

a) Carbonato sódico. - El carbonato sódico se emplea principalmente como fundente para introducir en el vidrio el óxido alcalino Na_2O . Tiene como objeto iniciar la reacción formadora del vidrio con la sílice de la arena.

En la sosa Solvay deben exigirse las siguientes condiciones: Como máximo debe contener 1% de agua en el lugar de entrega. .1% de residuo insoluble, .7% de cloruro sódico. .2% de sulfatos, .006% de óxido de hierro (por lo menos para el vidrio hueco blanco).

Un Kg. de carbonato sódico puro deja en el vidrio .585Kg.

Na_2O , debiendo tenerse en cuenta el mayor contenido en productos secundarios. Inversamente 1Kg. de Na_2O en el vidrio requiere la adición de 1.710Kg. de carbonato sódico puro.

Antes se empleaba el carbonato sódico ligero Solvay, es decir, carbonato sódico de gran volumen y poco peso, calcinado débilmente. Pronto se vió que el carbonato sódico ligero presentaba ciertos inconvenientes: gran espacio ocupado al ser almacenado, levantar mucho polvo al mezclarlo, mala fusión del vidrio debido a su escasa conductividad térmica,

v mucha absorción de agua. Por esta causa la industria del vidrio usa un carbonato sódico muy calcinado, denso que es la llamada "sosa pesada". Es esencial que el carbonato sódico no solo sea denso sino también granulado. Con un grano de .1mm como máximo debe dejar 5% sobre el tamiz, que, - por otra parte, no debe ser de grano de más de 1mm. Cuando el grano es grueso no solo presenta el inconveniente de mezclarse irregularmente con los demás componentes, sino que además es pulverizado por la máquina de mezclar. Se ha empleado y se emplea también el carbonato sódico Le-Blanc, que es pesado y que contiene 90-92% de carbonato sódico con 6-8% de sulfatos; este material, sosa de sulfatos, es mejor fundente y además un buen medio de clarificación.

Para la uniformidad de la fusión es conveniente que el granulado del carbonato sea lo más regular y siempre lo más idéntico cuidando que no se altere durante su almacenaje. Debe ser un poco higroscópico, pero no tanto que llegue a formar grumos; si así ocurre no hay más remedio que molerle de nuevo y tamizarlo. Si forma grumos se obtiene muchas veces un vidrio con "piedras". Para evitarlo hay que determinar, de vez en cuando; la humedad y finura del grano.

- b) Sulfato sódico. - El sulfato sódico es más barato que el carbonato, pero con el objeto de introducir el Na O en el vidrio se

le emplea mucho menos. La causa de este menor consumo radica en que al fundir la masa del vidrio hay que gastar un 15% más de combustible (hay que operar a elevadas temperaturas) en que los refractarios siempre son más o menos atacados por el sulfato, en que se pierden grandes cantidades de azufre desprendidos en forma de SO_2 y SO_3 , que arrastrados por el aire

ocasionan los inconvenientes sabidos. A pesar de estos inconvenientes se le emplea todavía en la fabricación de lunas y de botellas, pero nunca en una proporción mayor a la de una parte de sulfato por 2-3 de carbonato sódico. Tratándose de pequeñas cantidades el sulfato sódico es un buen clarificante.

c) Carbonato potásico. - Para introducir en el vidrio el K_2O que

después del Na_2O es el óxido alcalino más importante para dicha

industria, se usan diversas clases de carbonato potásico, de las cuales unas son de origen vegetal, procedentes de la incineración de maderas o de melazas, otras, más raras, de origen animal, de la suarda o churra, y otras de origen mineral, de las sales de los yacimientos potásicos.

El carbonato potásico es muy higroscópico, y por lo tanto se le debe de almacenar en locales secos; de lo contrario se endurece y forma grumos.

d) Cal. - La adición de cal, que es el óxido divalente básico del vidrio, más importante para la fabricación, es imprescindible puesto que a este cuerpo se debe el poder obtener un vidrio duro y que pueda ser usado. El SiO_2 y el Na_2O por sí solos producen un vidrio que se disuelve en el agua, el llamado "vidrio soluble"; únicamente la introducción de la cal endurece al vidrio y le confiere sus propiedades más características.

La técnica del vidrio distingue las siguientes clases de carbonato de calcio:

1. Caliza pura, rica, que por lo menos contiene 98% de CaCO_3 y como máximo .10% de óxido de hierro ; las demás impurezas son: sílice, arcilla y casi siempre un poco de MgCO_3
2. Caliza ordinaria con 90% de CaCO_3 por lo menos; cerca de .1-.3% de óxido de hierro y cantidades algo mayores de las demás impurezas.
3. Margas calizas o arcillosas (o sea, todas las demás calizas naturales).
4. Calizas dolomáticas con más de 5%, y regularmente con 10% de MgCO_3 .

e) Magnesia. - El MgO se introduce en el vidrio en forma de magnesia calcinada natural o de magnesia usta precipitada. Sin embargo esto es raro porque estos productos son difíciles

de fundir. Antes se empleó la magnesia alba, el carbonato precipitado, mientras que la magnesita natural era poco apreciada debido a ser difícil de fundir. de los productos artificiales hay que preferir siempre los pesados, es decir, aquellos que pesan mucho por volumen.

Cuando se quiere introducir simultáneamente la cal y la magnesia en el vidrio, es aconsejable el empleo de la dolomita, en la cuál la cal y la magnesia están en la misma proporción molecular: $45.73\% \text{MgCO}_3 = 21.87\% \text{MgO}$ y $54.27\% \text{CaCO}_3 = 30.41\% \text{CaO}$

Prácticamente el contenido en magnesia suele ser un poco menor. Existen, además, toda la escala de transiciones, desde la caliza pura hasta la magnesita pura. Por lo general, las dolomitas son más ricas en hierro que las calizas.

- f) Carbonato de bario (barita). - El carbonato de bario, es poco usado a causa de que sus yacimientos son raros, y por la gran cantidad de hierro que suele contener. Por este motivo se emplea más el carbonato bórico precipitado. Se le obtiene del espato pesado (baritina) por reducción con carbón y precipitación posterior con anhídrido carbónico. A pesar de que sus impurezas casi siempre se hallan reducidas a pequeñas cantidades de sulfato bórico insoluble y a algunas décimas por ciento de BaS_2 estos cuerpos pueden dar un color feo al vidrio, que aparecerá

ligeramente amarillo. El carbonato bórico precipita lo l
 contener por lo menos 99% de BaCO_3 y estar prácticam

exento de hierro. Si contiene humedad puede dar lugar a
 formación de grumos. 100Kg. de carbonato bórico proporcio-
 nan al vidrio 77.7Kg. de óxido de bario.

Por su modo de actuar en el vidrio, el óxido de bario se encuen-
 tra colocado entre el CaO y el PbO . Comunica al vidrio una -
 serie de propiedades valiosas: un elevado poder de refracción
 de la luz, un amplio intervalo para el trabajado de vidrio, y -
 facilidad en la clarificación de la masa fundida .

- g) Primeras materias conteniendo alúmina. - La importancia co-
 mo componente del vidrio deriva de la serie de propiedades -
 que adquiere el vidrio. Como su punto de fusión es muy eleva-
 do, sólo se le puede emplear de un modo limitado, hasta un
 10% como máximo

Las combinaciones naturales y artificiales empleadas en la -
 industria del vidrio son las siguientes:

1. Alúmina anhidra. - Es un cuerpo casi siempre difícil de fun-
 dir, por cuya causa cuando hay que emplear el Al_2O_3 , sin o -

tras materias que le acompañen, se suele usar una alúmina
 hidratada. Raras veces se emplea el aluminato sódico, que con

tiene teóricamente 35% de alúmina y 65% de óxido sódico, el que prácticamente lleva siempre una elevada cantidad de agua. El nitrato de aluminio ha sido empleado como oxidante y como clarificante en lugar del salitre.

2. Caolín. - Puede emplearse en lugar del hidrato de alúmina en todos aquellos casos en que no se altera el contenido de sílice, pero en que puede variarse la cantidad de alcalinos. Debe recordarse que los caolines contienen una composición muy variable. es bueno secar el caolín a 400°C antes de su uso. - Cuando pueden usarse alcalinos y alcalinotérreos, la adición de alúmina puede hacerse en forma de los distintos feldespatos conocidos, porque en este estado funde más fácilmente. En la industria del vidrio se usa mucho la llamada arena feldespática, que queda como residuo en los lavaderos de caolín. Existen otros feldespatos, como la leucita y la nefelina, que por sí mismos tienen escasa importancia, pero que la poseen como componentes de las siguientes rocas:

3. Granito y syenita. - Estas rocas se han empleado como fundentes baratos. A consecuencia de su poca cantidad de alcalinos (5-10%) no se usan tanto como la fonolita, que contiene 12 y 17%. Este último mineral suele tener mucho hierro (2-5%), y por esta causa solo es empleado para producir el vidrio verde. Cuando se quieren fabricar vidrios de un verde oscuro, hasta

negros, se usan rocas muy ricas en hierro, tales como basalto, masas espáticas, andecitas etc.

- h) Oxido de Zinc y de cadmio. - El óxido de zinc se emplea para producir ciertos vidrios especiales. Hasta 5-8% puede substituir a la cal, haciendo la composición más fusible, pero si se sobrepasa estas cantidades favorece la desvitrificación. Para los vidrios de la mejor calidad se emplea el óxido de zinc - químicamente puro (blanco de zinc).

Para los vidrios ordinarios se emplea el óxido de zinc técnico que por obtenerse directamente de los minerales contiene muchas materias secundarias. Además de polvo de zinc, carbón y azufre tiene óxidos de hierro y de cobre, así como cantidades relativamente grandes de óxido de plomo en forma de sulfatos, que llega a veces al 30% de $PbSO_4$; precisamente esta cantidad de sulfato de plomo puede dificultar su empleo, pues forma fácilmente la "hiel". Sin embargo, tiene la ventaja de no ser tan esponjoso como el blanco de zinc puro, es decir, de ser más pesado.

El óxido de cadmio muestra en el vidrio un comportamiento análogo al óxido de zinc. Como su precio es elevado, el óxido - pardo de cadmio se emplea poco como materia prima en la fabricación de vidrio. Su adición comunica al vidrio una elevada resistencia a la tracción y a la presión, además de mejorar -

mucho su resistencia química y térmica.

- i) Oxidos de titanio, zirconio y estaño. - El óxido de titanio se emplea mucho en la actualidad porque aumenta notablemente el índice de refracción del vidrio, su resistencia a los agentes quí-
micos, y eleva su punto de reblandecimiento. Casi siempre -
se emplea un óxido de titanio puro de fusión de 1560°C .

El óxido de zirconio se puede también emplear en grandes cantidades sin que el vidrio se enturbie. Sin embargo como no conica al vidrio otras propiedades distintas o mejores que las -
que les comunica la alúmina, sólo se emplea para la fabrica -
ción de vidrios especiales. Se puede usar el óxido puro de zir-
conio, o el llamado Terrar, que contiene 10% de sílice y 5%
de Na_2O .

El óxido de estaño es hoy en día muy poco usado, pues no confiere al vidrio ninguna cualidad especial.

- j) Oxido de plomo. - El óxido de plomo dá al vidrio un gran poder
de refracción, y, a esto se debe de manera primordial su em
pleo. El óxido de plomo tiene un punto de fusión bajo, 880°C ,
y es reducido con facilidad, lo que debe tenerse en cuenta du-
rante la fusión.

Se le emplea en forma de minios muy oxidados, que suelen -
contener un exceso de oxígeno combinado en forma de super-
óxido de plomo. Un buen minio para vidrio debe contener la -

maxima cantidad posible de superóxido. Teóricamente es posible casi un 35% de PbO_2 . Para su empleo en lugar de litargirio

es decisivo el hecho de estar prácticamente libre de plomo metálico a causa de una insuficiente oxidación; el plomo metálico origina durante la fabricación la corrosión de la cubeta ó del crisol, y produce coloraciones del vidrio muy difíciles de eliminar. Según experiencias modernas este peligro no es en la actualidad tan grave como lo fuera en otro tiempo.

El minio desprende oxígeno cuya acción oxidante resulta beneficiosa para la fusión del vidrio. En primer lugar se usa el minio "Cristalgas". Debe ser pesado y de color rojo oscuro, y contener más del 30% de superóxido. Su cantidad de hierro ha de ser menor de .006% y sólo debe dejar indicios de residuos insolubles; ha de contener la menor cantidad posible de plomo metálico. El óxido de cobre no debe pasar de la cantidad de $10^{-3}\%$ y en él no deben de existir ni indicios de cobalto. Existe una segunda clase llamada minio "puro" que contiene menos de 30% de superóxido y algunas centésimas por ciento de óxido de hierro. Se le puede emplear para la fabricación de los vidrios de plomo ordinarios. El conocido minio "mezclado", que se emplea en pintura y que contiene de 25 a 60% de blanco de barita, no puede ser empleado a causa del peligro de que forme mucha "hiel", además de colorear mucho el vidrio por la

gran cantidad de hierro que contiene.

- k) Oxidos de arsénico, antimonio y bismuto. - El trióxido de arsénico apenas se emplea como componente del vidrio, pero en cambio, tiene aplicación como medio para clarificar y decolorar, y algunas veces para enturbiar el vidrio.

El óxido de antimonio más usado es el trióxido de antimonio, y alguna vez, más rara, en forma de antimoniato sódico. En el vidrio se puede introducir directamente un 8-10% de óxido de antimonio y aún más. La composición se funde más fácilmente, la viscosidad disminuye lo mismo que la dilatación, y lo que es más sorprendente, aumenta de manera notable la dureza mecánica del vidrio comunicándole un gran brillo. Por estos motivos se le usa en la fabricación de vidrios especiales, incluso ópticos.

El óxido de bismuto se emplea poco; su comportamiento es análogo al del óxido de plomo, aún cuando es posible obtener vidrios con 60% de óxido de bismuto. El vidrio de bismuto es fácilmente fusible y muy brillante. Sin embargo los vidrios muy ricos en bismuto se tienen que fundir a bajas temperaturas; de lo contrario se producen coloraciones negras como consecuencia de una disociación. Se emplea el trióxido de bismuto que presenta un color amarillo limón.

CAPITULO III

ASPECTOS FISICOQUIMICOS EN LA FABRICACION DE VIDRIO()

1.- Conceptos de la materia "vidrio" y su estructura químico-física. -

Con el vocablo vidrio se designa una sustancia sólida que se diferencia de todos los demás cuerpos sólidos, con la excepción de algunos cristales, por poseer como propiedad característica la de ser transparente, sin que esta transparencia esté ligada con una estructura determinada. El vidrio, al aumentar la temperatura se reblandece isotrópicamente, terminando por formar una masa fundida homogénea, la cuál, por enfriamiento, una vez pasada su zona de plasticidad, se solidifica en un cuerpo también homogéneo. En la moldeabilidad de la masa fundida, y en el hecho de conservar la forma que se le ha dado una vez fría se basa la fabricación de una multitud de objetos de uso diario y de otros más especiales que forman la producción de la industria del vidrio.

Las propiedades físicas exteriores que caracterizan al vidrio son:

- su transparencia.
- su dureza.
- el ser quebradizo.

- ofrecer muy poca resistencia a la flexión.

Químicamente el vidrio se puede obtener de un gran número de cuerpos químico-inorgánicos, de los cuáles algunos, que son fundamentales como SiO_2 , CaO (o Al_2O_3 , MgO , etc) y -

Na_2O (o K_2O), se hallan en parte, combinados químicamente

entre sí y formando siempre mezclas de dichos compuestos en estado sólido.

Es evidente que este concepto del vidrio, críticamente considerado, es insuficiente para definir el estado peculiar en que se encuentra la materia en el vidrio. Este estado nos es señalado por una deficiente capacidad de solidificación al cristalizarse la masa fundida. Tammann fué el primero que se preocupó de formular una definición utilizable del estado vítreo. Según sus ideas, los vidrios son líquidos metaestables, sobreenfriados. Con una tendencia a la cristalización extraordinariamente pequeña y una velocidad de cristalización también muy pequeña, se anticipa tan de prisa la solidificación, en unos tiempos de enfriamiento comparativamente cortos, que no dá lugar a la ordenación de los elementos estructurales (átomos, moléculas, complejos iónicos.) en una red cristalina definida, aún cuando persista en ellos la tendencia a crystalizar. La ordenación de los átomos, moléculas y iones

han quedado , pues. irregular como sucede en los líquidos, si bien en este caso , debido al sobreenfriamiento han quedado en un estado "congelado" estable. Esta primera proposición permite desarrollar una concepción estructural basada en las propiedades externas del vidrio, pero no ha podido convertirse en una teoría irrefutable. Más tarde, los conocimientos que fueron adquiriéndose acerca de la constitución estructural de los cristales y de las masas fundidas, lo que se debe, en gran parte, a las investigaciones de A. Zachariasen, teoría que fué comprobada y perfilada en ciertos puntos por los trabajos de los investigadores B. E. Warren, A. Dietzel y R. Brill.

Zachariasen encontró que en los vidrios de silicato existen grupos SiO_4 enlazados formando redes, pero tales grupos no están colocados simétricamente, como sucede con los cristales, sino que lo están desordenadamente, es decir, de una manera irregular. (fig. 180). Los grupos SiO_4 tienen la forma de un tetraedro con el átomo Si como centro de gravedad y los átomos O en los vértices. Dos tetraedros de esta clase se hallan unidos por un átomo de O en común. El encadenamiento de los tetraedros es totalmente irregular e ilimitado, en el espacio. Este modo de formarse la red es posible con todos los óxidos que existen en el vidrio, modificando la estructura los

iones nuevamente introducidos, por ejemplo: Na, Pb, Mg, etc los cuáles se intercalan en la combinación existente y dan origen a lugares de separación laxos. Con la ayuda de esta concepción del vidrio es posible predecir de antemano ciertas propiedades determinadas derivándolas de su estructura .

Ejemplo: Los cationes actúan hendiendo tanto más cuanto más pequeño sea su radio, o cuanto mayor sea su carga. En la serie K-Na-Li-Ba-Sr-Ca-Mg-Ti, los vidrios son menos viscosos ;

otros, Al_2O_3 y B_2O_3 presentan anomalías, apareciendo dos

coordinaciones, por ejemplo como grupos BO_3 y BO_4 . Cuando

la cantidad de Na_2O es menor al 16% aparecen los grupos BO_4

los cuales dan al vidrio buenas cualidades, tanto en sentido químico como térmicamente. Por encima del 16% los grupos BO_4 se transforman en grupos BO_3 de coordinación, alterando

el campo iónico que los rodea. Cuando el contenido de Na_2O es muy pequeño, como consecuencia del empobrecimiento en iones, O_2 existen preferentemente grupos BO_3 .

Este fenómeno puede expresarse por el curso de los coeficientes de dilatación, como puede verse en la fig. 181. Esta explicación del estado vítreo derivada del conocimiento de la estruc

tura. en el sentido de la teoría de las redes. puede resumirse formulándola de un modo aproximado de la siguiente manera: de un estado progresivo de asociación y de polimerización de los elementos estructurales, es acelerado a medida que la temperatura disminuye; que la mezcla de las diferentes clases de unión actúa no sólo impidiendo la unión de los átomos de una manera cristalina, regular, sino que, al contrario, provoca uniones irregulares, fuertemente deformadas. De lo expuesto se deduce que son posibles las tres formas siguientes de materia vítrea:

1. Con átomo más unión iónica vidrios inorgánicos (óxidos) .
2. Con átomo más unión metálica selenio y antimonio vítreo.
3. Con átomo más unión de van der Waals vidrios orgánicos.

A. Dietzel, basándose en las anteriores consideraciones, ha llegado a las siguientes clasificación y determinación de cuanto abarca el concepto de estado vítreo, que no está ya limitado únicamente a los vidrios orgánicos, sino que incluye también las materias artificiales vítreas:

Vitroide (Concepto general)

Elementos	Vidrio inorgánico	Organo-silicatos
(selenio vítreo)	con sus subdivisiones	siliconas

Vidrios Orgánicos

con sus subdivisiones.

La teoría de las redes de Zachariasen-Warren ha reconocido en la estructura del estado vítreo una completa continuidad pero existen algunas observaciones que hacen muy verosímil la existencia de los cristalitos. Algunos investigadores han comprobado la existencia dentro de las redes, o en las interrupciones de la misma. Investigaciones röntgenográficas señalan interferencias significativas, que pueden ser atribuidas a determinados compuestos que tiene la magnitud de los cristalitos, o sea solo 10 hasta 20Å . La teoría del mosaico o de los cristalitos no puede considerarse como segura.

Sin embargo, la tendencia a formar cristales no ha desaparecido por completo, en el vidrio, sino que se muestra aquella, y en este caso indeseable- en las condiciones determinadas - que se produce la "desvitrificación", lo que ocurre cuando se presenta en los iones la ocasión de ordenarse en una red estable.

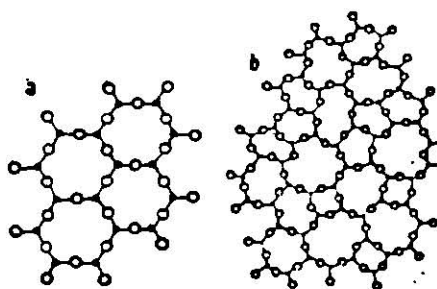


Fig. 180. — Estructura reticular regular e irregular.

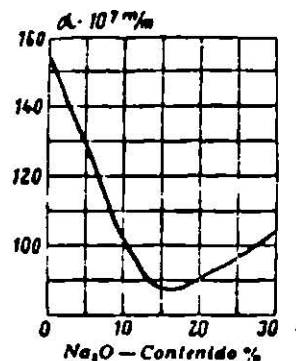


Fig. 181. — Coeficiente de dilatación de vidrios de borato sódico.

2.-Influencia de uno de los componentes del vidrio sobre sus propiedades fisicoquímicas. - (*)

a) Generalidades sobre el calcio. El calcio, elemento del grupo 2A de la familia de los metales alcalino-térreos, es uno de los elementos difundido con mayor abundancia en la corteza terrestre. Es de un color blanco argentino, dúctil y maleable.

El calcio es separado de la masa volcánica en forma de silico aluminato (feldespato), y una pequeña parte se separa como fluofosfato (apatita). Este material, por disgregación lenta, por reacción hidrotérmica y bioquímica se transforma en bicarbonato; de éste bicarbonato se origina la roca sedimentaria, metamórfica y sedimentaria secundaria.

Propiedades físicas del calcio:

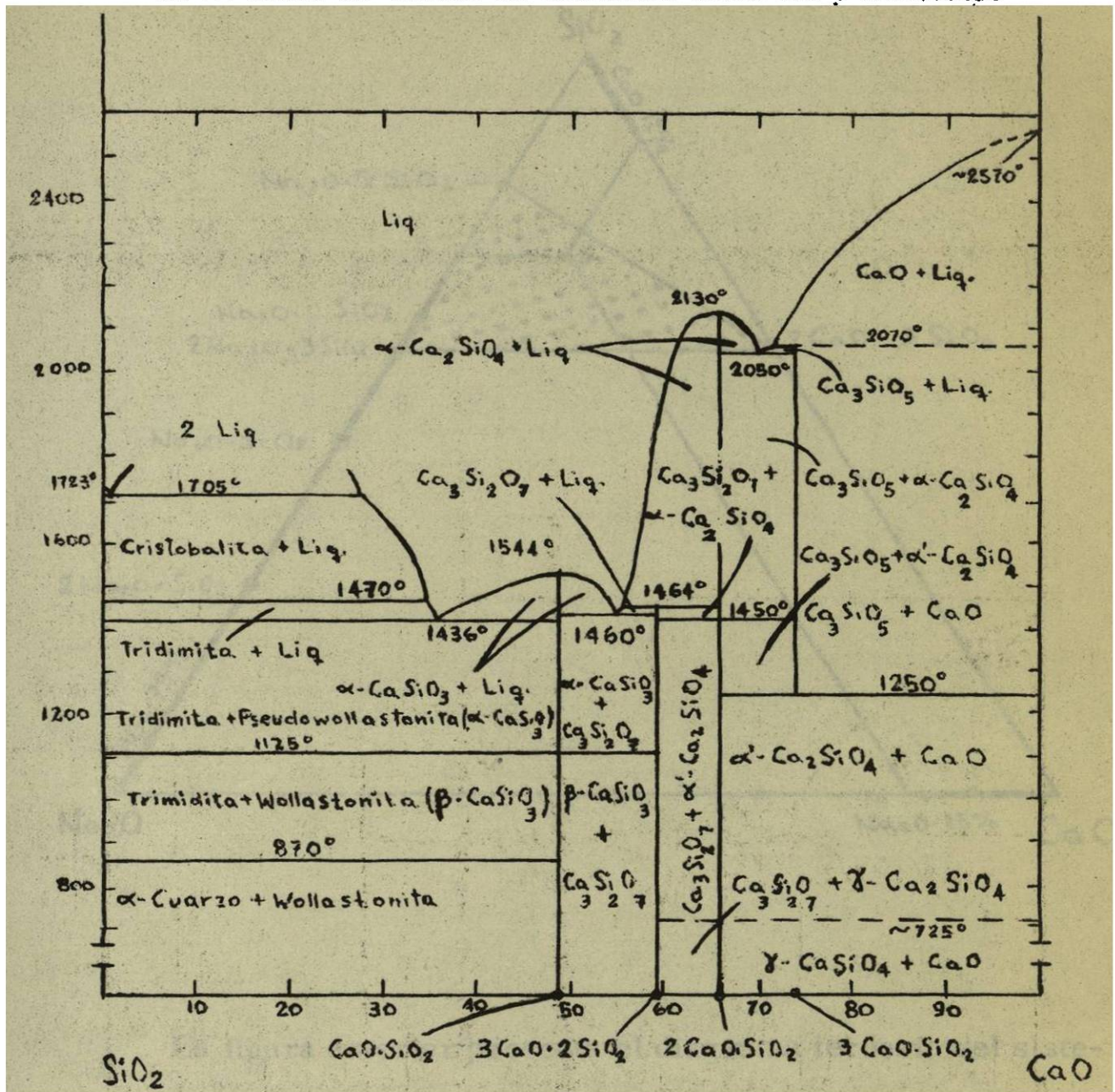
Punto de fusión	845.0°C
Punto de ebullición	1420.0°C
Densidad a 20°C	1.452
Cp en cal/g-°C	.1549 (de 0-100°C)
Calor de combustión en cal/g.	3.870
Radio atómico en Å	1.97
Radio iónico en Å (Ca ²⁺)	.99
Electronegatividad Pauling	1.0

(*^ Fig. 4).

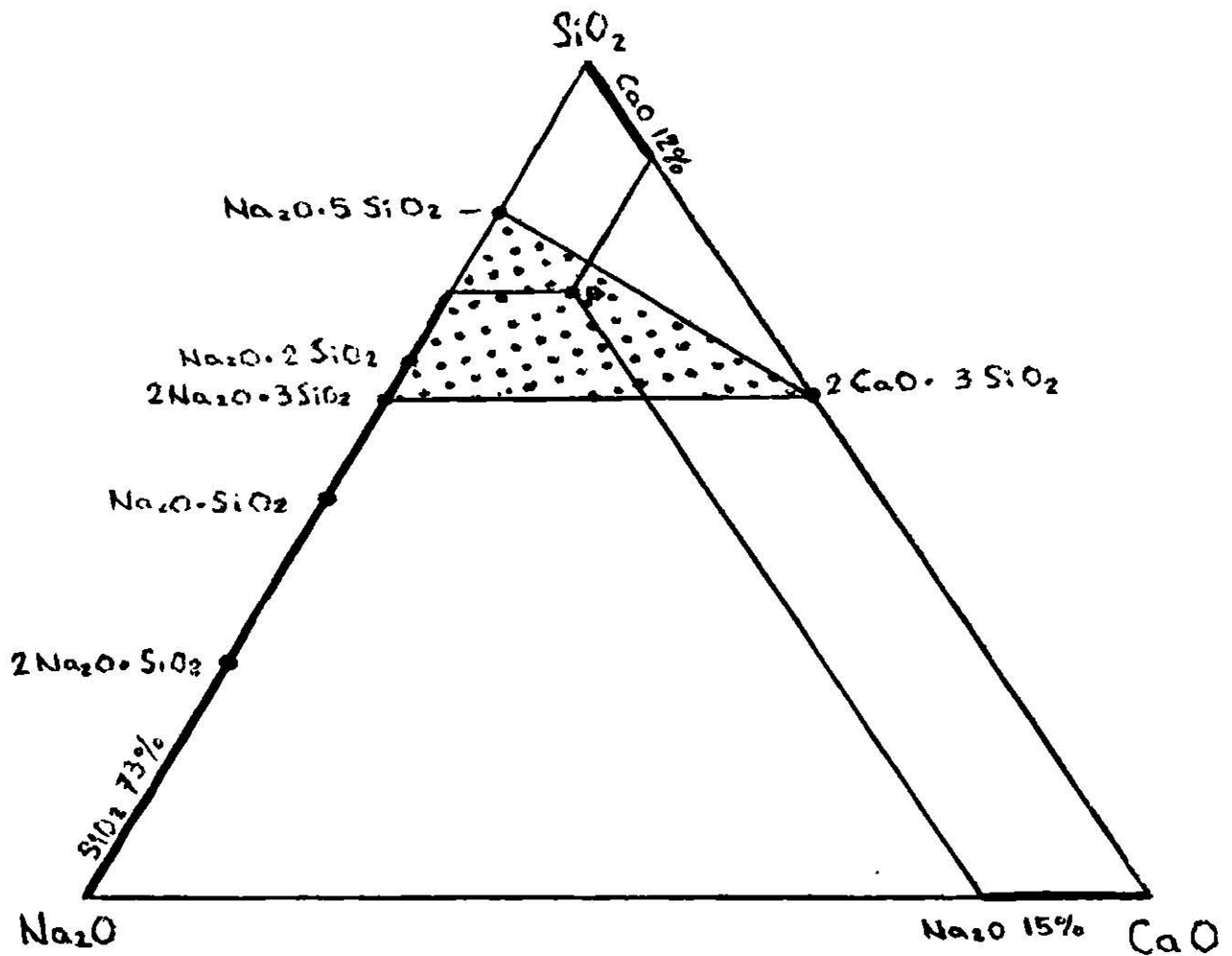
La siguiente tabla presenta los principales minerales del Calcio:

Mineral:	Fórmula:	Sistema:
Calcita	CaCO_3	trigonal
Aragonita	CaCO_3	rómbico
Dolomita	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	triagonal
Anidrita	CaSO_4	rómbico
Gesso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	monoclínico
Fosforita	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$	-----
Apatita	$\text{Ca}_5\text{F, Cl, OH}(\text{PO}_4)_3$	hexagonal
Monita	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-----
Monetita	CaHPO_4	rómbico
Hidrofilita	CaCl_2	-----
Clorocalcita	KCaCl_3	ditriagonal
Tachidrita	$\text{CaMg}_2\text{Cl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	-----
Boronatocalcita	$\text{Na}_2\text{CaB}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-----
Wolastonita	$\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$	-----
Anoritita	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	tetragonal
Schelita	CaWO_4	tetragonal
Povelita	CaMoO_4	cúbico
Fluorita	CaF_2	monoclínico
Colemanita	$\text{Ca}_2\text{F}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	monoclínico
Hidroboraquita	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	

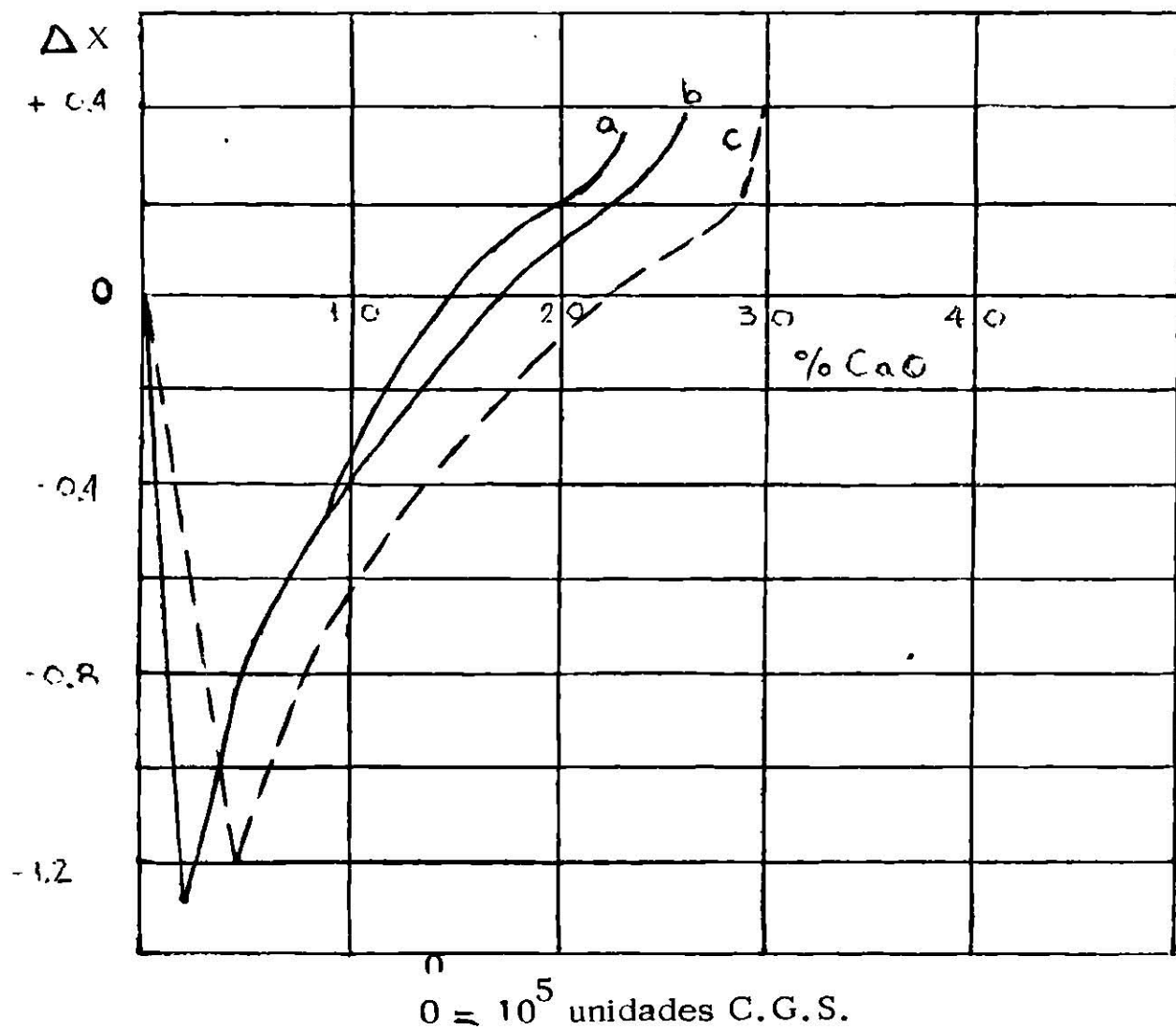
b) El óxido de calcio en sistemas binarios y ternario:



En la figura se presenta el diagrama de equilibrio de fases del sistema CaO-SiO₂. Muestra los diferentes compuestos que se forman a distintas temperaturas y composiciones.

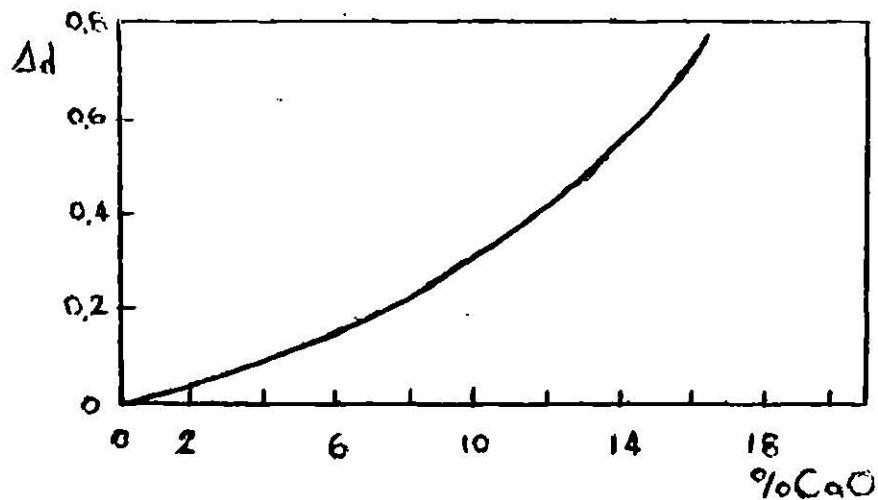


La figura anterior presenta el diagrama ternario del sistema SiO_2 - Na_2O - CaO , éste muestra los compuestos que el CaO forma con el SiO_2 y el Na_2O en diferentes proporciones. La zona punteada representa la mezcla ternaria para todos los vidrios sódico-cálcicos; y, el punto "P" indica la composición clásica de este sistema.

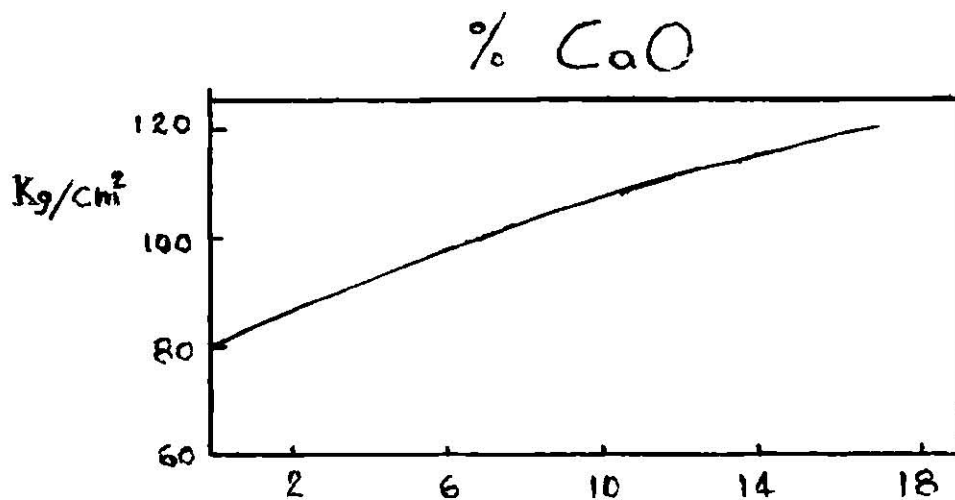


En la figura anterior se representa la variación de la viscosidad del vidrio fundido (localizado con la línea "a" dentro de la figura) con respecto al % de CaO que contenga.

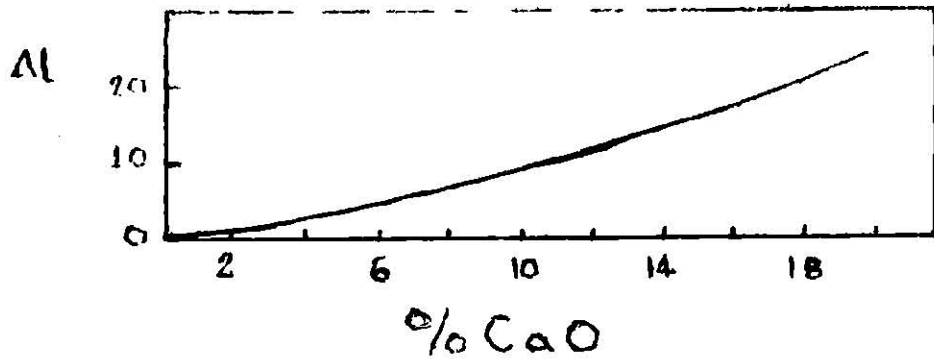
La siguiente figura indica la variación de la dureza superficial (Δd) en Mohs con respecto al % de CaO en el vidrio.



Variación de la dureza superficial (mohs) respecto al %CaO



Variación de la resistencia mecánica a la tracción respecto al % de CaO



Variación del coeficiente de dilatación (Δl)
respecto al % de CaO.

CAPITULO IV

PROCESOS EN LA FABRICACION DE VIDRIO ()

1 Mezclado Fusión del Vidrio.

a) Obtención de la composición y alimentación del horno. -

La obtención de la "composición" va precedida de un preparado mecánico de las materias primas: molido, tamizado y secado de las mismas. Con frecuencia, estas operaciones no se realizan en la vidriería, pues las fábricas de vidrio suelen recibir de sus proveedores las primeras materias primas en condiciones para su empleo inmediato. A esta preparación sigue la mezcla de las materias primas en aparatos mezcladores de artesas, platos y cilindros rotativos. La operación se realiza en pocos minutos. Favorece el éxito del mezclado el hecho de que la arena contenga cerca del 5% de humedad.

El briquetado de la mezcla presenta ciertas ventajas económicas y técnicas: Conserva la homogeneidad de la mezcla, evita el desprendimiento de polvo y la pérdida consiguiente, facilita la alimentación, protege el material refractario, y aumenta la capacidad de la fusión. Es de notar que la aceleración de ésta no se produce sino después de 12 hrs., por lo menos, de preparada la briqueta. La fabricación de las briquetas necesita una instalación especial y consume mucha energía.

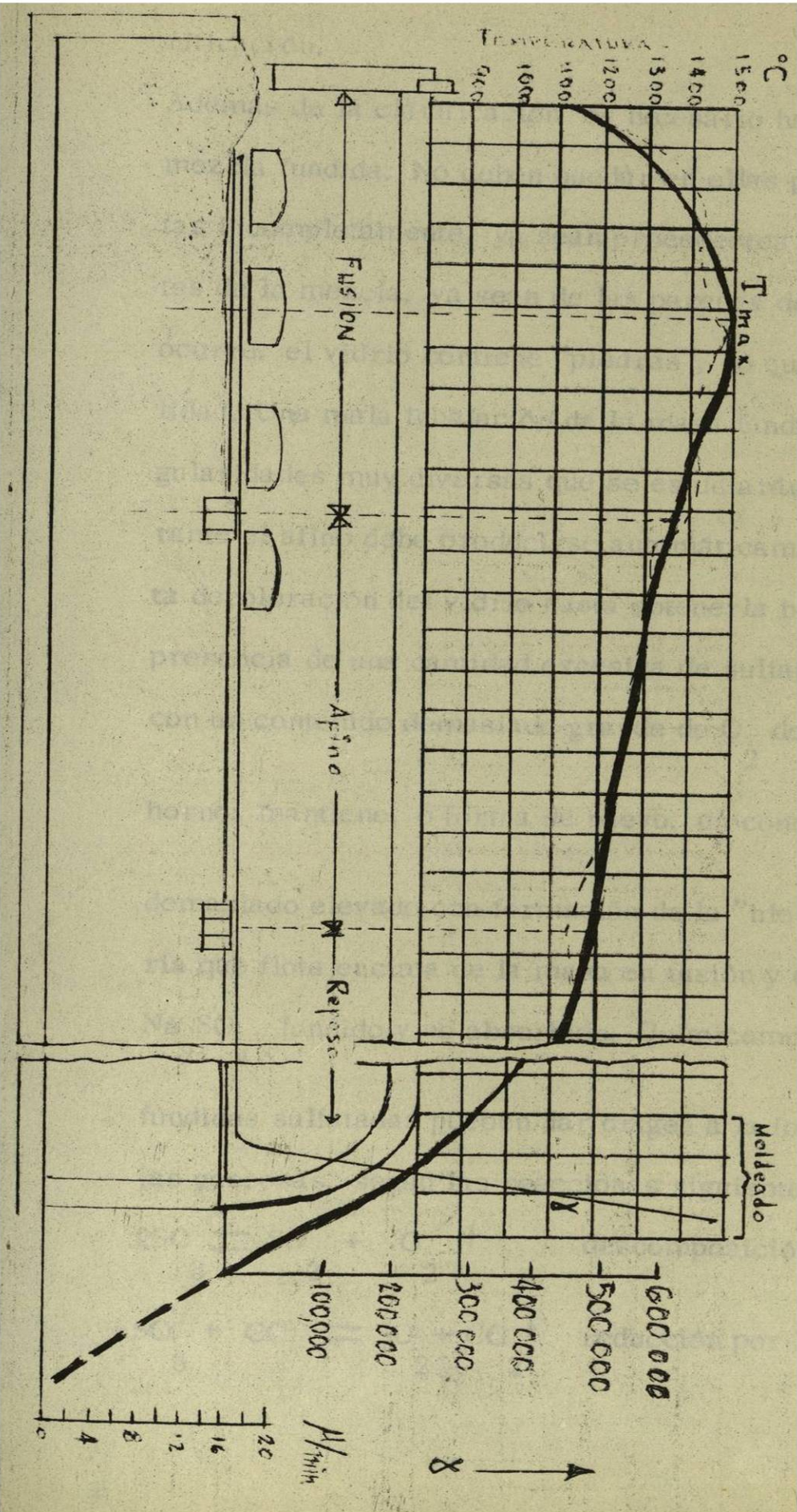
El transporte de la mezcla hasta el horno de fusión se realiza

mediante instalaciones que eviten la separación de los componentes de la mezcla. Se suelen emplear cintas transportadoras de acero o de goma, o pequeñas vagonetas móviles, por ejemplo, un barril de transportadores suspendidos.

La carga del horno con la composición se efectúa, en el caso de emplear este sistema, llenando los crisoles a mano, mediante una cuchara o aparatos basculantes. Este viejo procedimiento tiene sus ventajas en los hornos de cubeta, ya que permite mantener una buena cantidad de mezclado alejado del ataque de los fuegos de fusión. En cambio, tiene el inconveniente de producir polvo e interrumpir el proceso de la fusión a cada nueva carga. Obran favorablemente las instalaciones para cargar el horno que permiten introducir la mezcla bastante hacia adentro. El tornillo de alimentación que se probó primero tuvo que ser abandonado. En América se han ideado una serie de procedimientos para introducir la mezcla por debajo de la superficie del vidrio fundido. En Alemania se emplea una hélice que comprime la mezcla contra la masa.

La fusión propiamente dicha consiste en la fusión de la mezcla hasta la completa disolución de las materias primas que la componen. En el afino, ó en el proceso de clarificación, la masa líquida fundida experimenta una homogeneización progresiva desprendiendo las burbujas gaseosas que han sido in-

introducidas con las materias primas que la componen hasta que la masa queda completamente clara; a la clarificación sigue el período de reposo a la temperatura que disminuye, y en la parte de la cubeta destinada a obrador. En la figura puede verse el curso de todo el proceso de la fusión del vidrio desde la carga de la cubeta hasta la cubeta de trabajo con la curva de temperaturas (T) y los demás fenómenos que se producen, como formación de gases, clarificación (eliminación de las burbujas de gas), variaciones de la viscosidad (V) y curso de la velocidad de cristalización (GK). Durante el auténtico proceso de fusión hay un vivo desprendimiento gaseoso producido por la descomposición química de algunos de los componentes de la mezcla, como carbonatos y sulfatos. Esta formación de burbujas gaseosas tiene importancia para el afinado, y al mismo tiempo es también importante que puedan desprenderse de la masa fundida, pues de lo contrario el vidrio saldría con la falta grave que representa el conservar burbujas ocluidas. debe evitarse también que el gas combustible o el vapor puedan entrar en la mezcla que se está fundiendo. El desprendimiento de las burbujas es dificultado por la viscosidad cuando es excesiva, y en este caso las burbujas abandonan la masa fundida sólo muy lentamente, y siempre de un modo incompleto. Es preciso que todas las burbujas se ha-



Proceso Físico en la Fusión del Vidrio.

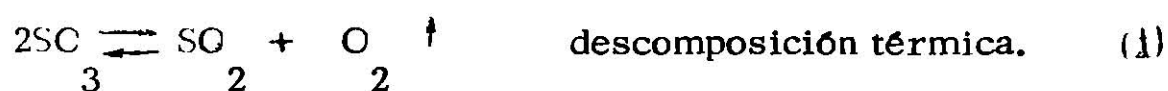
yan desprendido de un modo seguro dentro de la zona de clarificación.

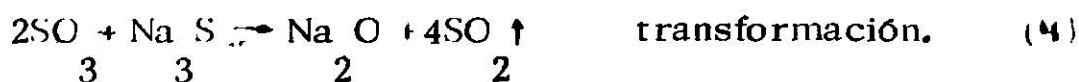
Además de la clarificación es necesario hacer homogénea la mezcla fundida. No deben quedar en ellas partículas disueltas incompletamente, ya sean procedentes de los componentes de la mezcla, ya sean de las paredes de la cubeta; si así ocurre, el vidrio contiene "piedras", lo que disminuye su calidad. Una mala igualación de la masa fundida dá lugar a irregularidades muy diversas que se estudiarán más tarde. Durante el afino debe producirse automáticamente una completa decoloración del vidrio hasta obtenerla blanca del todo. La presencia de una cantidad excesiva de sulfato, combinándose con un contenido demasiado grande de O_2 de la atmósfera del

horno, mantiene, o forma de nuevo, un contenido en Na_2SO_4

demasiado elevado con formación de la "hiel" que es una escoria que flota encima de la masa en fusión y que contiene el Na_2SO_4 , fundido y no absorbido. Químicamente, las masas

fundidas sulfatadas pueden dar origen a la formación de burbujas gaseosas, según las reacciones siguientes:



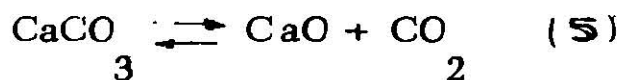


La "hiel" del vidrio debe ser quemada mediante una adición de carbón en forma de madera, carbón vegetal ó polvo de carbón ó bien trabajando con una atmósfera reductora en el horno, porque el quemar la hiel consiste en reducir el Na_2SO_4 . La pre-

sencia de una poca cantidad de hiel es señal de que tanto la fusión como la calefacción están bien conducidas.

Empleando una calefacción reductora, la mayor parte del SO_3 se desprende directamente de la superficie de la masa fundida sin formación de burbujas, de modo que prácticamente hace inútil la clarificación.

Ahora bien, no son sólo los sulfatos y los cloruros los componentes de la mezcla que dan lugar a la formación de "hiel"; también se forma ésta al fundir materias fluoradas para producir vidrios opalescentes. Los carbonatos separan CO_2 a consecuencia de una descomposición térmica:



Los halogenúros (cloruros, fluoruros) también pueden desprender gases.

Por influir mucho en la calidad del vidrio, el proceso de la formación de burbujas gaseosas y su separación ha sido objeto de meticolosas investigaciones. Cuando el peso de un volumen de vidrio fundido se eleva durante el afino a 2.2-2.5 es más fácil la separación de las burbujas, pero su alta viscosidad y su tensión superficial la dificulta. Si el volumen es muy grande, el vidrio a elevadas temperaturas puede admitir pequeñas cantidades de gases, y por pequeñas que sean estas cantidades pueden formar numerosas burbujas. Cuando la cantidad de SiO_2 es elevada, en un mismo tiempo y a una misma temperatura, queda en libertad más SO_2 ; posiblemente este fenómeno debe atribuirse al carácter fuertemente ácido del SiO_2 combinado con la temperatura elevada en este caso. Otros autores lo atribuyen a que se refuerza el efecto de "piedrecillas de ebullición", y, en efecto, los granos de arena que no se han fundido actúan como tales. En consecuencia, creen que una parte de granos gruesos de arena facilitan el afino del vidrio.

b) Vidrio fundido. -

Para mostrar cuáles son los puntos que hay que tener en cuenta durante la clarificación, mencionaremos como ejemplo, el afino de una masa fundida que contiene sulfato. La composición

más favorable del mezclado. por lo menos para el horno de cubeta. es la que contiene una proporción determinada de sulfato en relación con la cantidad de Na_2CO_3 , relación que es del 4 del alcalino total como sulfato, y el resto como carbonato sódico. Cuando se quiere fundir un vidrio que contenga 16% de Na_2O habrá que emplear $4(2.3) = 9.2\text{Kg}$. de sulfato con .5Kg de carbón y $12(1.7) = 20.3\text{Kg}$ de carbonato sódico. Para impedir la formación de "hiel" habrá que mantener en el horno, durante la primera fusión, fuego uniforme y débilmente reductor. Después la atmósfera del horno deberá ser oxidante para que no se descomponga totalmente el sulfato y de lugar a que se forme un vidrio con burbujas. Se ha demostrado que independientemente de esto, tanto si se ha usado el sulfato en gran cantidad como fundente, como si lo ha sido en pequeña cantidad como clarificante queda siempre en el vidrio, durante la fusión en bruto, un 2% de Na_2SO_4 , aproximadamente. Durante el afino, al aumentar la temperatura se descompone aproximadamente la mitad de este sulfato, y el SO_2 que se desprende sirve para clarificar la masa fundida. Como regla para el afino hay que tener presente que una vez que se ha alcanzado el máximo de temperatura y a continuación ésta va descendiendo, no debe nunca volverse al

máximo de antes, porque el residuo de sulfato que queda comen-
zaría a descomponerse y el vidrio refinado contendría de nue-
vo burbujas.

Cuando se adiciona "groisil", o sea vidrio molido, tiene que -
ser en forma de grano muy fino, y la cantidad adicionada nunca
debe exceder del 40%: de lo contrario, tanto la fusión como el
afino tropezarán con dificultades. En este caso la cantidad de
clarificante debe calcularse teniendo en cuenta la porción de vi-
drio molido añadido.

El proceso del afino está ligado al desprendimiento de las bur-
bujas según las reacciones (1) y (5), desprendimiento que tie-
ne lugar cuando la temperatura ha alcanzado su máximo, que es
cuando las reacciones que ponen en libertad a los gases se de-
sarrollan con gran rapidez y cuando la masa fundida tiene su -
viscosidad más baja o sea en las condiciones más favorables
para la eliminación de los gases.

Además del sulfato se emplean otros medios para refinar el -
vidrio sobre los cuáles conviene observar lo siguiente:

El KNO_3 y el NaNO_3 no son buenos clarificantes porque se des-
componen a temperaturas relativamente bajas, de modo que el
desprendimiento del gas ha terminado en la zona de refino pro-
piamente dicha. El $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ se puede emplear porque sólo se

descompone a temperatura alta. Si As_2O_3 y Sb_2O_3 se usan solos, no rinden tan buen resultado como si se emplean mezclados con nitro. Para el vidrio ordinario se emplean 3Kg. de nitro mezclado con $.2 \cdot 5$ Kg. de As_2O_3 ó Sb_2O_3 ; para vidrios de plomo se emplea el doble de esta cantidad por 100Kg de arena. El cloruro sódico empleado en pequeñas cantidades (1-3Kg.) acelera la fusión y además es un buen clarificante, en particular para vidrios borosilicatos y para vidrios de color pero a éstos no se debe agregar As_2O_3 , nitro ni sulfato. También acelera la fusión el BaCl_2 y los fluoruros (espatofluor), lo mismo que el fluosilicato sódico. De las sales amoníacas se emplea únicamente el $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

c) Decoloración del vidrio. -

El vidrio tiene un color indeseable producido casi únicamente por la presencia de pequeñas cantidades de óxido de hierro en la "composición". La eliminación del color originado por el pequeño contenido en óxido de hierro es el fin de la decoloración. Hay dos clases de decoloración:

1. Decoloración química. Se basa en la oxidación del óxido ferroso FeO . Que da un color azulado, convirtiéndole en el óxido férrico (Fe_2O_3) que tiene un color débilmente amarillo. Co-

mo oxidantes se emplean : nitrato sódico , dióxido de manganeso , arsénico. óxido de cerio, óxido de antimonio y la acción oxidante del fuego.

2. Decoloración física. Neutraliza la coloración debida al hierro con otros colores complementarios. Se emplean: MnO_2 , NiO , CaO y selenio. El vidrio decolorado físicamente , siempre es un poco obscuro, pero incoloro.

La condición más segura para obtener un vidrio sin color, es que las primeras materias usadas no contengan hierro. La acción del bióxido de manganeso (pirolusita) es doble: el FeO azul se convierte en Fe_2O_3 amarillo, y el exceso de manganeso

transforma en un compuesto de manganito de color rojo azulado que compensa el resto del color de hierro que pudo haber quedado.

Los cloruros y los fluoruros también poseen una acción decolorante que se atribuye a la volatilidad del cloruro de hierro, y en el caso de los fluoruros, a la formación de combinaciones complejas.

Los vidrios decolorados con selenio exigen ciertos cuidados durante la fabricación, pues puede volver a aparecer el color durante el temple o el enfriamiento. Esto sólo sucede cuando la cantidad presente de hierro es grande. Esta falta solo puede e-

vitarse procurando que el vidrio contenga poco hierro y cromo durante la fusión y el trabajado, particularmente en el momento de enfriamiento la atmósfera sea débilmente oxidante o neutra. Modernamente en la técnica del vidrio se ha ensayado la decoloración por las "tierras raras". Se han probado el óxido de cerio que actúa químicamente por desprenderse de su oxígeno que decolora, y el óxido de neodimio que decolora ópticamente gracias a su color violeta. Prácticamente se usan preparados de cerio que contienen los dos óxidos, y también otros óxidos de tierras raras en proporciones variables. Con los preparados de cerio casi nunca se consigue una decoloración completa, y por lo general hay que adicionar pirolusita o selenio. Incluso, a veces, conviene añadir pequeñas cantidades de arsénico para acabar la decoloración. A pesar de lo dicho, lo cierto es que con preparados de cerio se obtienen magníficos vidrios incoloros.

Una decoloración adicional de los vidrios se consigue por la acción de radiaciones luminosas artificiales y por la luz del día, lo que puede ser debido a un gran contenido de arsénico. Los vidrios de plomo no presentan este fenómeno. Un contenido de óxido de plomo de 3-4% en el vidrio acabado es suficiente para que no se produzca la acción de las radiaciones lumínicas.

II Enfriamiento del vidrio. -

El enfriamiento del vidrio (temple) tiene por objeto repartir uniformemente la tensión en el cuerpo de vidrio obtenido. Cuando un vidrio trabajado se saca del horno y se somete a un enfriamiento rápido en el aire, las tensiones del mismo se distribuyen tan desigualmente que pueden producir la rotura. Conduciendo el enfriamiento de un modo regular, los vidrios llegan a enfriarse hasta una completa libertad de tensiones, o las tensiones interiores se reparten de manera tan uniforme en el cuerpo de vidrio que desaparece el peligro de que se quiebren.

Las tensiones aparecen debido a que el enfriamiento de las capas más internas del vidrio se retarda en relación con las capas más externas, que se enfrían antes; ello se debe a la escasa conductividad térmica del vidrio. Sólo por encima de unos límites determinados de expansión térmica, dentro de un intervalo de temperatura bien determinado, que varía, según la clase de vidrio, entre $350-550^{\circ}\text{C}$ es posible la distensión, porque a estas temperaturas corresponde una movilidad de vidrio que permite la compensación de las tensiones.

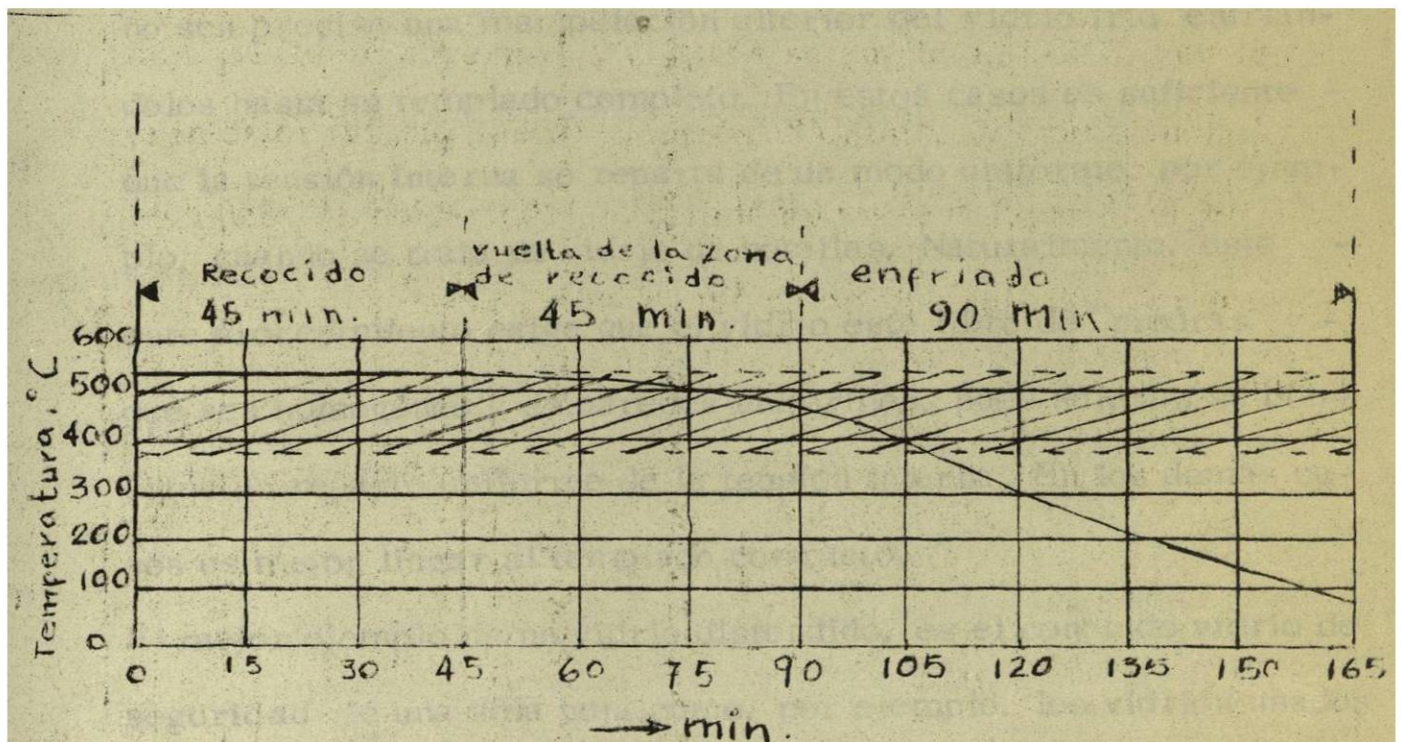
Son posibles distintos procesos de enfriamiento con una acción diferente:

a) Distensión en el límite superior en un punto que refleja un tiempo relativamente corto, y enfriamiento muy lento por debajo del

Límite inferior.

b) Distensión algo por encima del límite inferior durante algún tiempo relativamente largo, y rápido paso por el límite inferior.

El método b) se emplea para grandes piezas de vidrio, y el a) para el vidrio hueco y plano. El vidrio se calienta durante unos 45 min. al límite superior, y después se enfría de $1-2^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ en el inferior (vidrio hueco) y, de $5-10^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ (vidrio plano). En conjunto, el proceso del enfriamiento viene a durar unas 3hrs. El curso de la curva de enfriamiento puede verse en la figura anexa. En el procedimiento mecánico para la fabricación de vidrios planos, el enfriamiento y la expansión térmica tienen lugar en la parte inferior de la máquina en unos $200^{\circ}/\text{min.}$



Para el temple del vidrio se usan cámaras, hornos de enfriamiento que trabajan periódicamente y hornos canales de enfriamiento que lo hacen de un modo continuo. Estos últimos, más modernos, son fácilmente regulables. El vidrio que se va a enfriar entra a los canales sobre vagonetas, cintas de transporte, o bien, corre sobre rodillos.

En los hornos de templado más modernos los productos de vidrio pasan verticalmente por el canal, gracias a una especie de rosario de modo que el templado y el subirlos al piso superior de la fábrica se realiza de forma simultánea. Este sistema tiene la ventaja de ocupar poco lugar, un gasto de transporte mínimo, así como sencillez y economía en la calefacción.

El endurecido del vidrio se practica mucho para los casos en que no sea precisa una manipulación ulterior del vidrio frío, enfriándolos hasta su templado completo. En estos casos es suficiente que la tensión interna se reparta de un modo uniforme, por ejemplo, cuando se trata de vidrio de botellas. Naturalmente, este procedimiento exige que el vidrio esté libre de "piedras" y que sea homogéneo y de paredes uniformes, pues sólo así se consigue un reparto uniforme de la tensión interna. En los demás casos es mejor llegar al templado completo.

El mejor ejemplo de un vidrio distendido, es el conocido vidrio de seguridad de una sola hoja como, por ejemplo, los vidrios usados

para parabrisas de automóviles. Por un rápido y uniforme enfriamiento en corriente de aire, o de vapor, el vidrio, aún quedando tenso posee todas sus tensiones internas compensadas. De tal forma, esta clase de vidrios posee una gran resistencia mecánica y química, y simultáneamente una mejor estabilidad térmica y química. Cuando se rompen lo hacen en trozos redondeados, poco peligrosos. Tienen algunos inconvenientes, por ejemplo, no se pueden cortar con el diamante, ni trabajarse.

Modernamente, en los EE. UU. se emplea de nuevo el vidrio endurecido, hueco y prensado para la fabricación de vasos y vajillas. Estos platos, fuentes, vasos y otros objetos de uso doméstico son irrompibles en cierto grado. Se les prueba dejándoles caer desde 3mts. de altura y no deben romperse en cierto grado.

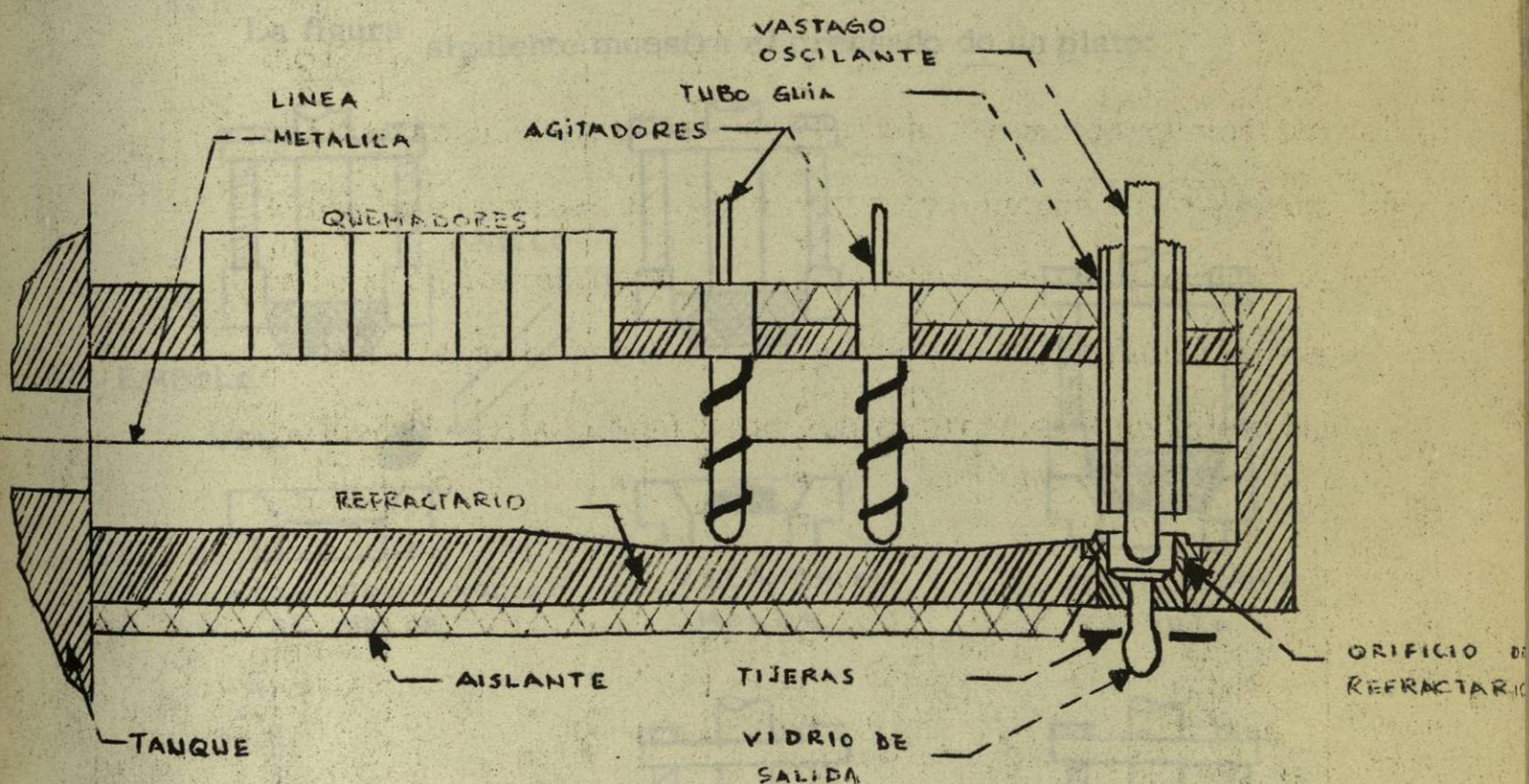
III, Moldeo del Vidrio. -

En un principio recipientes de vidrio eran hechos convirtiendo la piedra arsénica en fibras de vidrio; luego, el soplete trajo una facilidad en la fabricación del vidrio, produciéndose el vidrio de arte y de usos químicos de esta manera.

Además, en este centenario ha habido grandes progresos, que van desde el moldeo simple, prensado manual, prensado rotatorio y a máquinas de producción en línea recta. Cualquier obser-

vación de la operación de una planta moderna de vidrio no pudo -
 más que imprimir una mayor velocidad y uniformidad de opera-
 ción.

Alimentación. El primer paso para la formación automática del
 vidrio es el obtener un vidrio uniforme en todos sus aspectos. Es-
 ta función corresponde al "alimentador", el cual toma al vidrio
 de la cámara de terminado y lo lleva a la temperatura correcta, -
 y, luego lo agita. La siguiente figura presenta a un "alimentador"
 típico:



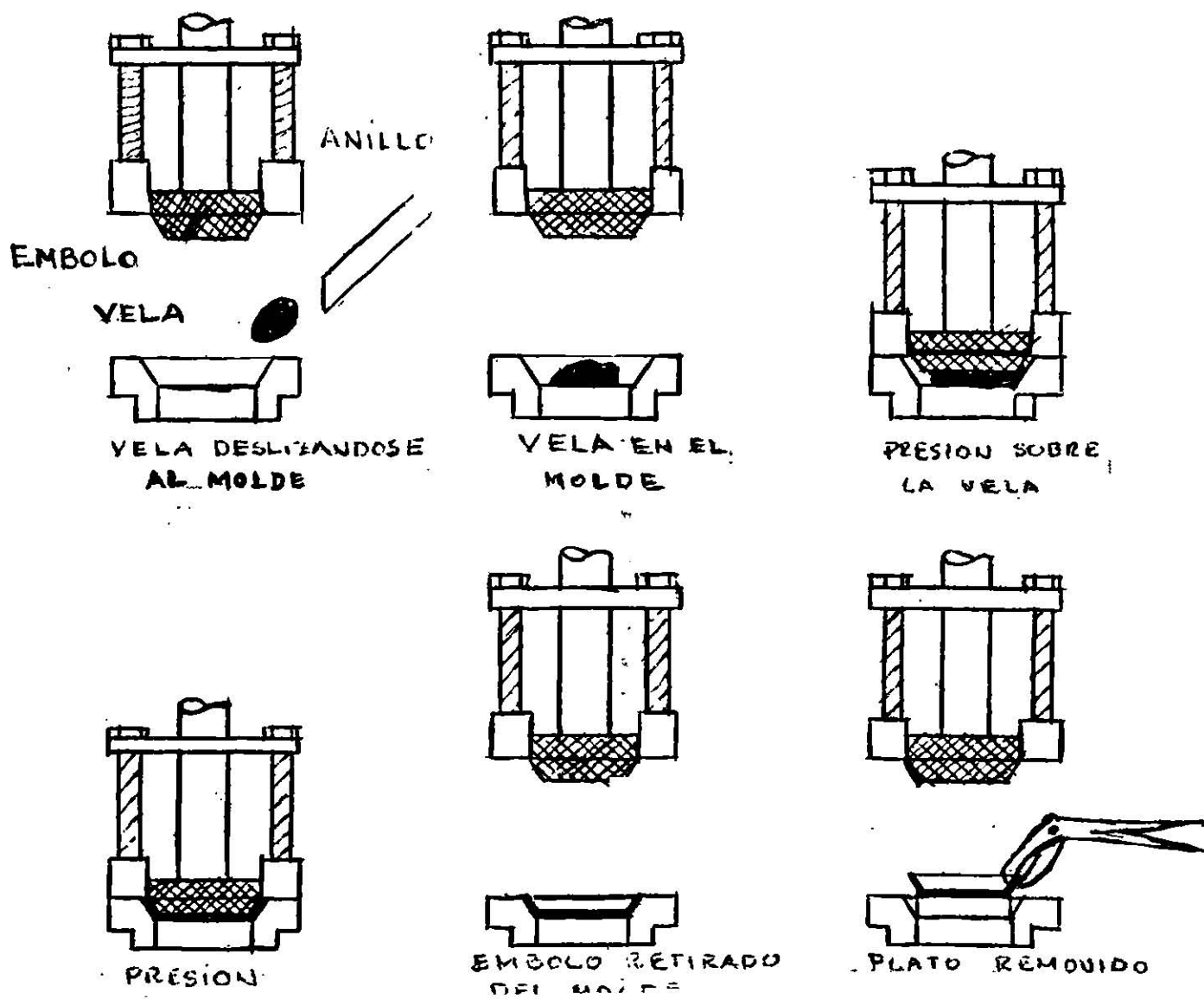
Corte seccional de un Alimentador.

El alimentador está provisto de quemadores múltiples, algunos-agitadores y tres alimentadores de velas. Detalles de el alimenta-
dor se muestran también. La altura del tubo regula la razón de
flujo y el pistón atende la corriente hacia un corte más eficiente -
en el punto de la salida angosta.

El alimentador opera a una velocidad de 15 a 75 velas /min. El -
corte proporciona la orientación de la vela hacia el molde. Un a-
limentador maneja 20 toneladas de vidrio por día.

Prensado.

La figura siguiente muestra el prensado de un plato:

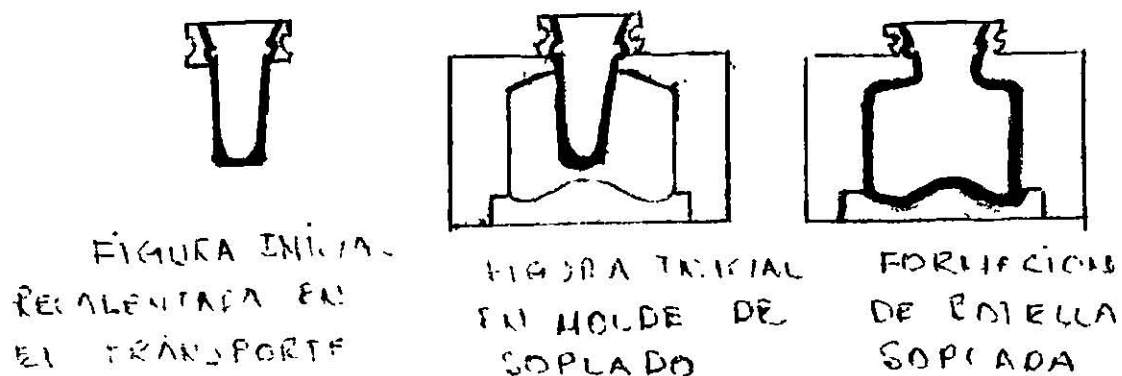
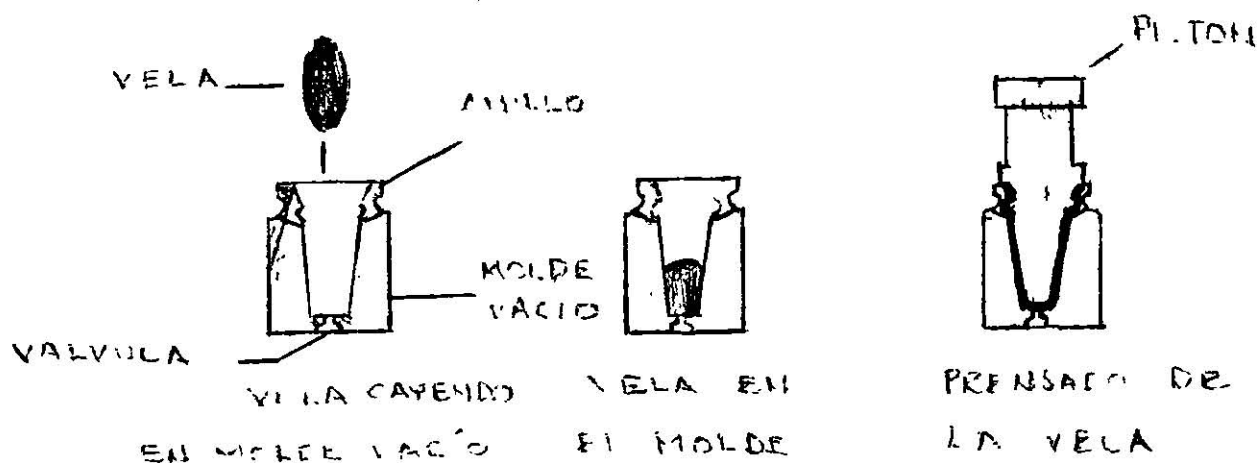


El molde está hecho de hierro fundido, y en la superficie interior cuenta con una película de carbón formada a partir de una capa aceitosa. Esta capa está hecha a partir de : 100gr. de aceite de linaza, 200gr. de resina y 100gr. de polvo fino de corcho. El molde debe de mantenerse a la temperatura correcta, ya que si este está más caliente , el vidrio se pegará al molde, y si está frío , el vidrio no formará la superficie deseada.

Soplado.

El soplado es muy usado en la fabricación de envases tales como jarras, botellas, etc. Algunos procesos son usados como se muestra en la figura.

Proceso de Prensado y Soplado del Vidrio



Hay dos etapas en cada método. la primera es la formación de una figura temporal de la vela. y la segunda es el soplado de esta dentro del molde de soplado. La primera etapa varía con los diferentes métodos. la segunda es igual en todos ellos. Durante el soplado, las porciones gruesas del vidrio retienen más calor que las delgadas y entonces fluye más, produciendo así un espesor uniforme.

Los moldes son de hierro forjado especial, manteniendo su temperatura alrededor de 400°F y cubiertos con una pasta moldeada .

CAPITULO V

DEFECTOS DE FABRICACION EN LA TECNICA DEL VIDRIO (*)

No es posible detenernos a tratar de las faltas de fabricación que pueden tener los vidrios, aunque la extensión e importancia de este capítulo es grande para la industria vidriera; por este motivo vamos a limitarnos a los defectos de vidrio derivados de su fusión. Son faltas que vuelven a aparecer en los objetos fabricados con el vidrio defectuoso; por ejemplo, las fisuras y las roturas, el vidrio con coloraciones perjudiciales, las faltas en el temple, etc. son defectos que ya han sido expuestos en parte al referirnos a la resistencia química, a la decoloración y al enfriamiento. En la figura anexa pueden verse 8 grupos de faltas y sus causas, repartidos en un número igual de fases de la fabricación.

a) Vidrios con piedras. -

Se llaman piedras, las partículas sólidas, extrañas al vidrio, que a veces se encuentran en éste. Se distinguen dos grupos de piedras: Unas proceden de la "composición", o de la fusión, y son componentes empleados en grano demasiado grueso, o mal mezclados (arena), pudiendo deberse también a que la mezcla no ha sido bien realizada. A este grupo pertenecen las piedras originadas por la desvitrificación o por la "hiel", además de las mencionadas antes. Forman el segundo grupo todas aquellas clases de "piedras" que -

(*) Bib. (1) pág. 434

proceden del material refractario del horno, y en primer lugar - de los crisoles, o de la cubeta, las cuáles son más o menos ricas en alúmina y por esta causa se les denomina piedras de refractario; además, pertenecen a este grupo las que tienen en la bóveda del horno, construída casi siempre en material dina (sílice).

La distinción más sencilla entre ambas clases de piedras se basa en su color. Cuando las piedras son de un blanco puro, sobre todo en el vidrio transparente, pertenecen casi siempre al primer grupo. Dentro de este grupo hay que distinguir las piedras que proceden - propiamente de la "composición" o de la fusión, de las piedras resultantes de la desvitrificación que se reconocen por su estructura radial, y las piedras de la "hiel", que tienen un sabor amargo. Por excepción, también las piedras de refractario pueden ser blancas cuando proceden de la vitrificación del refractario. Cuando poseen un color amarillento o parduzco son siempre piedras de refractario.

Mejor que el color, para distinguir las piedras sirve el ensayo - con carbonato sódico; las piedras del primer grupo se disuelven - fácilmente en el carbonato sódico fundido, mientras que las del - segundo grupo apenas si son atacadas.

Posibles defectos de fabricación, sus clases y orígenes.

Mom. de la fá- brica. → Clases de defec. de defec.	Compo- sición. I	Fusión II	Afino III	Reposo IV	Moldea- do V	Enfria- do VI	Embal. almac. trans. VII	Usos VIII
Piedras A								
Cuerpos sólidos y vidrio. B								
Vidrio en el v. homogén. C								
Burbujas en el vidrio. D								
Coloración Exceso de color. E								
Desvitrific. Cristales en el vidrio. F								
Defectos de moldeado. G								
Tensión Fractura golpe H								
Precipitación, Descompes.								

POSIBLES DEFECTOS DE FABRICACION, SUS CLASES Y ORIGENES

b) Falta de homogeneidad. -

La falta de homogeneidad en el vidrio ha sido objeto en estos últimos años de cuidadosas investigaciones, cuyos resultados vamos a reseñar aquí.

La inhomogeneidad define una irregularidad en la masa del vidrio que se manifiesta por deformaciones de las imágenes, dispersión de la luz, y diferencias en el color. Algunas veces la irregularidad sale a la superficie y puede ser observada directamente. Casi siempre tiene formas alargadas y planas.

Este concepto incluye todas las inhomogeneidades del vidrio y se debe a que la homogeneización de los componentes de la masa ha sido incompleta, siendo su origen siempre de índole química. Las alteraciones ópticas y las irregularidades que puedan tener las paredes del vidrio no pertenecen a este grupo, si bien se las puede reconocer y estudiar por los mismos medios.

Como el fenómeno es provocado por una realización incompleta de los procesos mecánicos de fluidez, o de los procesos físico-químicos de disolución, hay que estimular durante la fabricación todas aquellas causas que tienden a evitarlo y que conducen a una rápida homogeneización del vidrio. Ya al preparar la mezcla de los componentes hay que procurar que éstos tengan una magnitud de grano uniforme; el vidrio fundido debe desgasificarse bien y es preciso evitar la formación de "hiel" y la disolución de refractario del

horno, cubeta o crisol. Durante el labrado del vidrio no tienen que producirse variaciones químicas en la superficie del mismo.

Formas posibles de inhomogeneidad

Inhomogeneidad como concepto general.

I. - Disoluciones de material refractario que no ha sido totalmente absorbido en el vidrio fundido.

A). - Filamentos. Casi siempre superficies a veces, salen de los nódulos

B). - Nódulos Gotas. Vitrificados procedentes de la cámara del horno, bóveda, etcétera. (Nódulos y gotas con inclusiones.)

C). - Vidrio Granuloso. Vidrio adherido en los bordes, rico en alúmina irregularmente disuelta. Por ejemplo: por una corriente de madejas filamentosas deshilachadas.

II. - Defectos de homogeneidad que no proceden del período de fusión, sino que aparecen en los períodos de trabajo.

A). - Aguas. Fina forma de falta de homogeneidad casi siempre superficial, de origen químico o térmico y también debida a la hiel. Contorno apreciable.

Perturbaciones químicas y físicas que pueden diferenciarse en el baño de inmersión.

B). - Rampas. Formas groseras de perturbaciones espesadas con fuerte acción óptica, originada por faltas térmicas, se forman mu-

chas veces durante la labra.

C). - Bandas estiradas. - Formas estirada de rampas, entramados etc.

Por otra parte, algunas veces la inhomogeneidad del vidrio se provoca adrede con el fin de producir vidrio de adorno. Así se fabrica el vidrio mármol, vidrio con aguas, afiligranado, etc., pero esto no entra en este capítulo que solo se refiere al vidrio defectuoso. Hemos de indicar, sin embargo, que esta falta del vidrio puede ser un buen indicador, ya que permite deducir en algunos casos la causa de los defectos de la fabricación, por ejemplo cuando se fabrican diversas clases de vidrio plano. Existe un procedimiento, debido a Toepler-Schardin, para determinar la inhomogeneidad del vidrio, que da buenos resultados y que se basa en el hecho de producir una imagen en sombra mediante la perturbación del camino de un haz de rayos luminosos perfectamente delimitado y contrastado. Para conocer la disminución de la refracción en el interior de una muestra de vidrio se la ilumina dentro de un baño de inmersión (sumersión en un líquido de comportamiento óptico análogo, eliminando así las irregularidades ópticas de superficie). Schardin y G. Stamm han ideado un procedimiento para el ensayo de los vidrios planos.

c) Vidrio con burbujas incluidas. -

La inclusión de burbujas en el vidrio es también falta del vidrio que puede, dar lugar a perturbaciones. Sin embargo, la formación de burbujas, que cuando se hallan en el vidrio acabado un defecto - es imprescindible durante la fabricación para conseguir una buena homogeneización de la masa del vidrio. Las causas de su formación son muy diversas. Las burbujas se deben casi siempre a inclusiones de gases, pero también pueden obedecer a inclusiones sólidas y coloreadas, como las originadas por los sulfatos (burbujas de sales) Cuando en un lugar se juntan muchas pequeñas burbujas, se llama "yeseados". Las burbujas casi siempre son redondeadas, pero en los procedimientos de labra de vidrio por estirados suelen tomar una forma alargada de lanceta .

Según sea su origen y la causa que las ha formado, las burbujas se clasifican en burbujas de fusión y burbujas de trabajo.

Burbujas de fusión son las debidas al aire de la mezcla, al vapor de agua y a los gases resultantes de una descomposición, como anhídrido carbónico, gas sulfuroso, vapor de agua, vapores de flúor y de selenio. Se debe a un afino o clarificador insuficiente del vidrio.

Burbujas de sales. Se presentan después del enfriamiento con un contenido total o parcialmente sólido, casi siempre turbio, formado por ejemplo, por sulfato (burbujas de "hiel") ó cloruros, cuando estas materias clarificadoras han sido añadidas en exceso, o cuan-

do se ha añadido poco carbón a la fusión con sulfato.

Burbujas de hierro. Se deben a partículas de hierro liberadas durante la fusión del vidrio. A éste grupo pertenecen las burbujas de óxidos metálicos, que pueden encontrarse en el vidrio en ciertas condiciones.

Burbujas de labrado. Se forman durante la manipulación del vidrio fuera del horno, y casi siempre se forman por burbujas de aire oculto en el vidrio por haberse cocido mal la porción que va a trabajarse, al llenar los moldes de las máquinas o durante la colada de grandes masas de vidrio.

Un fenómeno que pertenece a este grupo es la formación en el vidrio de bandas tenues como velos, llamadas blanco de fuego, que, a veces, están en el interior del vidrio y otras veces son superficiales. Están formadas por unas redes de finísimas burbujillas en parte debidas al sulfato, pero que muchas veces son el resultado de una de vitrificación.

CAPITULO VI

CLASES DE VIDRIO (*)

La clasificación del vidrio en sus diferentes clases puede hacerse en tres grupos principales: Vidrio hueco, vidrio plano y vidrios especiales, que incluyen todas las clases de vidrio especial: vidrio de varillas y tubos, vidrio hilado, vidrio para piezas de construcción, etc. Como grupo aparte de los anteriores se halla el formado por los vidrios de color.

a) Vidrio Hueco. -

Por su composición, aplicaciones y color se diferencian: el vidrio hueco ordinario (vidrio verde, vidrio de color natural y vidrio de botellas, vidrios para envases de todas clases) y el vidrio hueco blanco, que en su mejor calidad se llama cristal.

1. Vidrio hueco ordinario (vidrio de botellas).

Los vidrios antiguos de botella eran, por su composición, ricos en alúmina (hasta 15%) y en cal magnesia (hasta un 25%) y pobres en alcalinos (menos del 10%) y para su obtención se empleaban, cuando era posible, rocas naturales. Modernamente hay dos tipos de vidrio de botella obtenidos por medios mecánicos: el tipo Owens y el tipo "alimentación". Las máquinas Owens trabajan mejor con un vidrio rico en alúmina y con un conteni-

(*) Bib. (1) pág 431

do normal en cal y en alcalinos. Se puede llegar de una composición de hasta el 15% en alúmina sin que por ello padezca la manipulación del vidrio. No es conveniente pasar de esta cifra a causa de la estabilidad química del vidrio. Estos vidrios, ricos en alúmina, son baratos por emplearse rocas naturales, como la fonolita, que permiten ahorrar en el consumo de carbonato sódico. Veamos, por ejemplo, la composición para vidrio pardo, 20 partes de arena, 60 partes de fonolita, 20 partes de caliza, 1.8 partes de sulfato y 3.5 partes de pirolusita, dan un vidrio que contiene 58.8% de sílice, 16% de alúmina, 1.4% de óxido de hierro, 3% de óxido de manganeso, 10.7% de cal, 1% de magnesia, 10.8% de álcalis y .4% de SO_3 .

Por el contrario, las máquinas del tipo "alimentación" producen un vidrio que esencialmente más blando que el anterior. Por su composición se aproxima al vidrio hueco blanco con escaso porcentaje de alúmina, y por lo menos 15% de álcalis. Estos dos tipos de vidrio se diferencian, además por su color: el tipo duro Owens ofrece un color pardo oscuro que para obtenerlo sólo se pueden emplear el óxido de hierro con pirolusita, mientras que el tipo blando "alimentación" se puede colorear por el procedimiento barato de azufre-carbón.

2. Vidrio hueco semiblanco y blanco. - (Cristal)

El vidrio hueco semiblanco y tres tercios blanco se denomina - también vidrio ordinario, o vidrio corriente, y se emplea principalmente en la economía doméstica. A este grupo pertenecen todos los vidrios de uso doméstico e industrial, como vasos, copas, cápsulas, envases para conservas y para otros productos. Una delimitación de esta clase de vidrio que la separe claramente tanto del vidrio verde como del cristal, no es fácil de establecer desde el punto de vista de la técnica del vidrio. Se pensó que la cantidad de hierro podría suministrar una norma para tal subdivisión, considerando que el vidrio verde se puede obtener con .3% de óxido de hierro y con toda seguridad con .5% del mismo, mientras que el cristal no puede ser obtenido si contiene una dosis que excede del .1%. Pero resultó, que en realidad, esta cualidad dependía de la forma en que se encontraba el hierro en el vidrio y del punto hasta donde se había podido llevar la decoloración. Hasta hoy no ha sido posible encontrar otro sistema para la clasificación que el de la muestra tipo Standard, en forma de un frasco de vidrio, con el cuál se comparan por una parte el - vidrio verde y por otra el cristal.

El vidrio ordinario corresponde a la porcelana de uso corriente, mientras que el cristal es más bien de lujo. Se le emplea

para cristalería fina y para objetos de fantasía. Comprende dos grupos: el cristal de cal y el cristal de plomo se le llama cristal de Bohemia o simplemente cristal. Primitivamente se le funde con carbonato potásico, pero a causa del elevado precio de este producto se le ha ido substituyendo por el carbonato sódico (hasta el límite tolerado por la decoloración). Así es, que en una misma fábrica, se obtiene un cristal de potasio, decorados, y un vidrio de sosa muy poco coloreado para formas de paredes muy finas. Una composición de este tipo es la siguiente: 15Kg. de carbonato sódico, 18Kg. de carbonato potásico, 100Kg. de arena, 15Kg. de mármol, 3Kg. de nitrato sódico y .3Kg. de arsénico. El cristal de plomo es bastante moderno, tuvo su origen en Inglaterra, pasando desde Francia y Bélgica a Alemania y Bohemia. Actualmente son usuales las siguientes denominaciones para el cristal de plomo: 1 (cristal de plomo), que contiene por lo menos 18% de óxido de plomo; 2 (semicristal de plomo) con menos del 18% de óxido de plomo, pero siempre con más del 5%. Ambas clases de cristales pueden ser sopladas con la boca y esmeriladas a mano, prensadas (cristal prensado), o prensadas y después esmeriladas.

Un cristal de plomo "verdadero", con 18% de óxido de plomo, debe contener como máximo 15% de potasio, porque sólo así res-

ponde a la estabilidad química requerida y al mismo tiempo al peligro de desvitrificación que se deduce de la regla del vidrio de plomo. Una composición, aproximadamente de esta especie, es la siguiente: 100Kg. de arena, 30Kg. de minio, 30 Kg. de carbonato potásico, 5Kg. de nitrato potásico y .5% de arsénico.

b) Vidrio Plano. -

La distinción que se hacía antiguamente entre vidrios de ventanas y lunas de espejo no puede ser mantenida actualmente, rigurosamente hablando, dados los procedimientos de fabricación, y mejor se dirá vidrio delgado para referirse al vidrio plano débil, y vidrio grueso para referirse al vidrio plano fuerte, aunque, claro está, siguen empleándose también las antiguas denominaciones.

El vidrio plano delgado es casi completamente plano, de un espesor uniforme, sus dos caras son lisas y posee una gran transparencia. Las mejores calidades tienen sólo ondulaciones débiles que pierden por el pulido. Según su espesor los vidrios planos se clasifican en: 4/1 = 2.3mm; 6/1 = hasta 3mm; 8/1 = hasta 3.8mm. de grueso. Además se fabrican otros vidrios más delgados para cuadros. Por su calidad se distingue el vidrio plano de primera clase para ventanas de habitaciones lujosas, y el de segunda clase para ventanas de habitaciones más modestas.

tas, fábricas y oficinas. Al lado de estos vidrios para construcción, se fabrican otros vidrios especiales, por ejemplo, para ferrocarriles y automóviles, el vidrio para muebles, el vidrio para incrustaciones sobre espejo, el vidrio fotográfico, etc. La composición química del vidrio plano obtenido mecánicamente se ha fijado después de haber realizado grandes progresos, de manera que se obtenga un vidrio relativamente blando, sobre todo con el fin de evitar todo peligro de desvitrificación durante el estirado. A este fin sirve la introducción de una pequeña cantidad de alúmina y la substitución parcial de la cal por magnesia.

En cambio en los vidrios planos gruesos o en las lunas, que son colocadas o laminadas, pero no estiradas, se han mantenido los contenidos en cal y sosa normales, siendo su composición química la de un vidrio duro. Las lunas que han experimentado el pulido con abrasivos pueden ser de dos clases: la primera se emplea para la fabricación de espejos, y la segunda para placas destinadas a ferrocarriles, automóviles, muebles, etc. Hay tres procedimientos importantes para la fabricación mecánica del vidrio plano, son: El procedimiento de Fourcault, el de Libbey-Owens-Colburn y el de Pittsburg.

c) Vidrios Especiales. -

Componentes	KZ = Número de kilómetros por mm ² (poder de cristalización)																					
	Vidrio de Turin para aparatos fácilmente fusible		acmlturo		Vidrio para bombillas		Vidrio para para molibdeno 1447 III (Schott)		Vidrio para lentes 16 III (Schott)		Vidrio de duran 2877 III (Schott)		Vidrio duro 12,7		Vidrio Pyrex Corning Glass Works		Vidrio Schottmax 1585 III (Schott)		Fibra			
SiO ₂	70,0	68,6	62,6	70,3	67,5	64,64	75,55	73,78	72,4	80,8	63,34	50,2										
Al ₂ O ₃	3,3	3,3	4,3	1,4	2,5	4,87	5,04	4,09	4,4	2,3	22,87	13,3										
Fe ₂ O ₃	0,2	?	?	?	?	0,18	0,10	0,07	?	0,2	0,13	?										
B ₂ O ₃	—	3,2	1,9	—	2,0	10,92	8,98	13,39	12,7	12,0	7,42	14,1										
MgO.....	—	—	—	3,4	—	0,18	—	0,21	0,2	—	8,54	4,4										
CaO.....	6,3	7,3	7,1	5,5	7,0	0,51	0,44	0,30	0,5	0,3	4,72	15,9										
ZnO.....	—	—	—	—	7,0	10,78	—	—	3,3	—	—	—										
BaO.....	—	—	7,9	2,0	—	—	3,76	3,08	—	—	—	0,5										
Na ₂ O.....	14,0	12,3	10,2	16,4	14,0	7,42	5,15	4,63	5,2	4,1	0,01	1,3										
K ₂ O.....	6,2	5,3	6,0	1,0	—	0,35	1,22	0,24	1,3	0,1	0,38	0,3										
°C.....	KG	KZ	KG	KZ	KG	KZ	KG	KZ	KG	KZ	KG	KZ	KG	KZ	KG	KZ	KG	KZ	KG	KZ		
500.....	—	410	—	1200	—	—	—	—	—	—	—	—										
700.....	0,2	32	100	0,1	31	0,1	740	0,3	155	—	—	400	100	∞	1100	—	—	2900	0,6	100		
900.....	—	—	—	—	2	—	88	1	0,1	0,1	1	0,5	200	0,1	70	∞	—	—	—	—		
1100.....	—	—	—	—	—	—	—	0,3	—	16	0,7	50	2,8	0,1	15	—	—	—	0,5	135	0,5	3
Especie cristallina	Cristobalita	Cristobalita	Cristobalita	Cristobalita	Cristobalita y tridimta	Cristobalita	Cristobalita	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	Cristobalita	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	Cristobalita y tridimta	

En esta tabla se expone la constitución química de estos vidrios especiales.

Para mostrar como se separan muchos vidrios especiales de la composición normal de los demás vidrios, daremos como ejemplo la composición de algunos empleados en la técnica de la luz. El análisis de un vidrio muy permeable a la radiación UV ha dado los siguientes resultados: 2.1% de sílice, 4.6% de ácido bórico, 66.5% de ácido fosfórico y 25.2% de cal.

Un vidrio para lámparas de luminiscencia tuvo la siguiente composición: 66.0% de sílice, 6.8% alúmina, 2.0% flúor, 10.0% de sosa, 6% de potasio, 3.5% de cal, 4.3% de óxido de zinc, 1.2 % sulfuro de titanio y 0.35% de sulfuro de manganeso. El color de este vidrio es amarillo anaranjado.

Un vidrio resistente a la acción del mercurio es el siguiente: 68% sílice, 8% ácido bórico, 3% de alúmina y 3% de sosa, 13% de potasio y 4% de cal.

Los tubos y varillas de vidrio que se emplean en los instrumentos, así como diversos utensilios, se fabrican por vía mecánica, por alguno de los siguientes procedimientos:

1. Por el antiguo procedimiento de la caña, que se puede emplear de la siguientes maneras:
 - a) Método danés. Estirando el vidrio de la superficie exterior de la caña.
 - b) Procedimiento Philips, estirando el vidrio del interior de la caña.

2. Los procedimientos modernos de estirado mediante una hilera,

a). Procedimiento Maeiz-Fchuller. el que la hilera esta situada de bajo de la superficie del vidrio, y éste es estirado hacia arriba.

b). Procedimiento Vello-Hänleil, en el cual la hilera se encuentra sobre el fondo de la vasija que contiene el vidrio, el cual es estirado hacia abajo.

El procedimiento Hänleil se utiliza también para estirar el vidrio de cuarzo y otros vidrios duros hasta temperaturas de 2000°C. Para ellos se funde el cuarzo en un crisol de molibdeno, en forma tubular, calentando enérgicamente; el vidrio fluye sobre un mandril hasta la hilera que saca afuera el cuerpo en forma tubular, y allí es cogido con una máquina de estirar que le da forma de cinta sin fin.

La fabricación mecánica de los vidrios para envasar marcó, desde 1926, las condiciones precisas para la obtención mecánica de tubos.

b). Lana de vidrio y Fibra de vidrio.

La lana de vidrio ordinaria es conocida desde hace mucho tiempo y se obtenia por varios procedimientos, por ejemplo, por centrifugación; en cambio, el desarrollo de la industria de las fibras de vidrio es muy reciente, habiéndose logrado fabricar fibras de 9-10 micras de diámetro. Las fibras de vidrio con un diámetro inferior de menos de 12 micras pueden hilarse convirtiéndolas en un mate-

rial útil para la industria textil. Para sacar estas finísimas fibras de vidrio se pueden usar dos procedimientos: el estirado de la fibra de una varilla de vidrio que está fundiéndose, y el estirado de la fibra de una masa fundida de vidrio.

c). Espuma de vidrio y Vidrio esponjado. -

Los vidrios que tienen huecos, concavidades vacías han adquirido últimamente importancia industrial, reconocida desde hace tiempo. Bajo el concepto general de "vidrios porosos" se incluye una serie de cuerpos que llevan distintas denominaciones, como "espuma de vidrio", "vidrio espumoso", se dividen a su vez en vidrios esponjados y fundidos. :

Los procesos de fabricación consisten en producir una dispersión de gases o de vapores en el seno de una masa de vidrio moldeable. Esto se realiza por cuatro procedimientos:

1. Por los gases contenidos en la masa de vidrio fundida o solidificada;
2. Por agitar, fundir o comprimir gases de la masa fluida, fundida, de vidrio;
3. Por reacciones térmicas que desprenden gases de sustancias inorgánicas y orgánicas, las cuáles pueden entrar como componentes - en las "composición" del vidrio, o se puede introducir en el vidrio ya fabricado durante la fusión;
4. Por mezcla de un dispersoide de polvo de vidrio.

El vidrio esponjado debe sufrir un afino en su superficie. Cuando se le corta quedan abiertos los poros, expuestos a la acción de los agentes atmosféricos y a otros ataques químicos. Se puede, pues su superficie, uniéndola o pegando sobre ellas láminas de vidrio.

b) Ladrillos de vidrio.

Existen tres clases de ladrillos de vidrio, considerados desde el punto de vista de su fabricación: los sopladados por la boca, los prensados y sopladados mecánicamente. Los prensados han perdido la acción aislante de las capas de aire. Poco antes de la guerra se había ensayado la obtención de ladrillos abiertos que eran cerrados por una placa de vidrio; simultáneamente se probó la fabricación de ladrillos formados por dos partes que unían entre sí en caliente mediante una hoja de aluminio, o directamente por una fusión posterior de ambas partes.

c) Vidrios Coloreados. -

Las coloraciones de disoluciones verdaderas que se producen al disolver en el vidrio óxidos y silicatos, son el resultado de una experiencia muy antigua en la técnica de vidrio.

Los resultados nuevos se relacionan con las coloraciones producidas por las soluciones coloidales de pigmentos, y se trata de coloraciones que abarcan de la zona del espectro que van desde el amarillo al rojo.

a) Amarillo de azufre y de carbón.

Por adición de azufre como tal o en forma de sulfuros, y carbón, se pueden producir coloraciones que van desde el amarillo hasta el rojo pardo, atribuidas a la formación de polisulfuros. En presencia, de una gran cantidad de hierro se forman sulfoferritos - que casi siempre tienen color pardo. Los grados inferiores de polisulfuros colorean desde un dorado de vino hasta anaranjado y rojo oscuro. Empleando vidrios fuertemente ácidos, si son ricos en hierro se obtiene un matiz gris que se debe a la formación de sulfuro de hierro.

b) Rosa de selenio.

Con el selenio se pueden conseguir cinco grados distintos de oxidación con las correspondientes combinaciones de color, según sea el grado oxidante o reductor del tratamiento a que se someta:

Oxidación fuerte	Seleniato	inoloro
Oxidación normal	Selenito	inoloro
Oxidación débil	Selenio elemental	rosa
Reducción débil	Poliseleniuros	pardo
Id. más FeO	Seleniuro de hierro	rojo pardo
Reducción fuerte	Seleniuro	inoloro

Prácticamente casi nunca se tiene el caso de oxidación o reducción extremadas. Para la obtención de rosa se recomienda mantener u-

na atmósfera ligeramente oxidante, a lo que se debe el uso muy extendido del nitro y del arsénico, que actúa favorablemente en este sentido.

Los vidrios potásicos, casi siempre dan un rosa más puro que los sódicos, y para conseguir un mismo matiz se utiliza menos materia colorante. La dificultad con que tropieza la formación de un rosa de selenio radica en la necesidad de evitar toda formación de color pardo que siempre aparece en presencia de un reductor (carbón), incluso después de enfriar. Las arenas se emplean para producir el vidrio pueden contener el carbón en cantidad suficiente para que se produzca dicha coloración. En los vidrios ácidos la coloración rosa es más persistente que en los alcalinos. Los vidrios de plomo cuando contienen mucho, plomo también se coloran más o menos de amarillo o pardo, debido a una oxidación.

c) Rubí de selenio.

La coloración se produce por la separación en la masa de vidrio en un estado de una elevadísima dispersión de cristalitos de seleniuro de cadmio y de sulfuro de cadmio. A la composición se agrega sulfuro de cadmio y seleniuro de sodio, o selenio. Este elemento desplaza la mayor parte del azufre del sulfuro de cadmio, formando seleniuro de cadmio mientras el azufre se volatiliza arrastrando considerables cantidades variables de selenio, de modo que es posible que empleando una misma composición se obtengan distintos matices de coloración. La presencia del óxido de zinc facili-

ta la formación del color aunque su acción no haya sido por ahora bien explicada. Verosímilmente se forman pequeñas cantidades de sulfuro de zinc que obran como estabilizador. La experiencia ha enseñado que los vidrios poco viscosos, por ejemplo, los vidrios con adición de ácido bórico, dan colores mejores.

La elevadísima dispersión en que llegan a encontrarse los cristallitos es producida por una acción específica del calor que actuando da origen a la materia colorante propiamente dicha. El color del vidrio se debe a una repartición ultra dispersa de los cristales originados saliendo de un reparto molecular del sulfo-seleniuro de cadmio. Eligiendo adecuadamente la composición de la mezcla que forma el vidrio, puede producirse el tratamiento térmico dicho de manera que se produzca el color dentro de las normas de manipulación corrientes.

d). Rubí de Antimonio.

La formación de este hermoso vidrio de color rojo intenso es debida a que se forman cristallitos ultradispersos de sulfuro de antimonio disuelto en el vidrio.

La "composición" no se prepara empleando el sulfuro de antimonio sino una mezcla de trióxido de antimonio, azufre y carbón, que actúa como reductor. Solo dentro de una zona muy limitada en la proporción de estas tres sustancias se pueden lograr, durante la fusión las condiciones precisas de reducción para que la coloración de un ro-

jo intenso aparezca durante el templado subsiguiente. La coloración se produce a una temperatura relativamente alta, comenzando a los 580°C. Los vidrios de rubí de selenio también enjendran el color a temperaturas altas.

d). - Vidrios Solubles

Con este nombre se designan los silicatos de sodio y potasio, fluidos de composición estequiométrica variables, y las soluciones acuosas de dichos silicatos en las formas comerciales corrientes. Por sus aplicaciones como por sus propiedades, pertenecen mas bien al grupo de los morteros que al de los vidrios.

Se obtienen por fusión del SiO_2 con óxidos básicos o con sales cuyos ácidos sean volátiles por la acción del calor. La sílice, dada su gran estabilidad a elevada temperatura, puede también desplazar los ácidos fuertes de las sales. La sílice se funde a 1500°C - mezclada con carbonato sódico, potásico o sulfato sódico con la adición de carbón vegetal, la masa fluida se recoge en un depó-sito.

El aumento de sílice aumenta la viscosidad y el Na_2O la disminuye la solubilidad del vidrio soluble sódico es inferior a la del potásico; disminuye gradualmente a medida que aumenta el contenido de SiO_2 .

Síntesis de la Clasificación de los Vidrios. (*)

a) Vidrios sódico-cálcico:

Vidrio a base de sosa y cal: poco brillo, pero buena resistencia.

Vidrios blancos (vidrios de bazar y vidrios planos), materia - prima de excelente calidad.

Vidrio de botella: materias primas de cualquier calidad, arena ferruginosa para dar coloración, aumento de la proporción de cal y del vidrio de botella, triturado.

Vidrio de espejos: Enfriamiento muy lento

b) Vidrios potásico-cálcicos:

Vidrios a base de potasa y cal: más brillo y dureza mayor.

Vidrios llamados de "Bohemia" : cal en forma de caliza sacaroide, sílice en forma de cuarzo hialino . Caldeo por hornos de madera y gasógenos de madera.

Crown - glass: Empleo en óptica.

c) Vidrios potásico-plúmbicos:

Vidrios a base de potasa y óxido de plomo: caracterizado por - pureza, brillo, densidad, sonoridad, gran poder refringente; se prestan muy bien a la talla y al pulimiento.

Cristal ordinario (artículos finos de bazar).

Strass: más rico en plomo que el cristal; se emplea con o sin color, en joyería.

(*) Bib. (6)

Flint-glass: vidrio de óptica, con mucho plomo; densidad 1,52.
gran poder de dispersión.

d) Vidrios para ópticas:

Crown-glass y Flint - glass: vidrios de antiguo uso.

Con bario: crown de bario, flints de bario.

Con anhídrido bórico: crown de boro-silicato y flints de boro.

Crowns de anhídrido fosfórico y fosfato.

Absorbentes del ultravioleta; por ej.: Fieuzal, Fieltrays.

Trasparentes al infrarrojo; ej. : Infra-rex.

e) Vidrios coloreados:

Generalmente presencia de óxidos metálicos; preparados por incorporación del óxido durante la fusión o por refusión del blanco con el óxido.

Vidrio rojo: oro, cobre.

Vidrios amarillos: plata, uranio (azufre y carbono).

Vidrios verdes: hierro, cromo.

Vidrios azules: cobalto.

Vidrios azul-verdoso: hierro.

Vidrios violeta: níquel, manganeso.

f) Vidrios diversos:

Vidrio soluble: silicato sódico o potásico.

Vidrio ópalo: aspecto lechoso obtenido por adición

de fluoruros de calcio y de sodio, etc.

Vidrio mate: resultante de la acción de un abrasivo (arena, gres, etc.) o del ácido fluorhídrico gaseoso sobre el vidrio ordinario.

Vidrio granuro: sometido a la acción intensa del ácido fluorhídrico.

Vidrio de poca dilatación: vidrio boratado de bajo coeficiente de dilatación (ej. : pirex, $32 \cdot 10^{-7}$), por tanto, poco sensible a las variaciones bruscas de temperatura.

Vidrio de sílice: no es un vidrio propiamente dicho, sino sílice fundida en el horno eléctrico. Muy refractario y de poca dilatación (objetos de laboratorio fuertemente caldeados), muy aislantes, muy transparentes al ultravioleta.

Vidrio para ampollas de rayos X : no detiene estas radiaciones como el vidrio ordinario.

Vidrio catedral: vidrio laminado, espeso, caracterizado por huecos y relieves impresos sobre las dos caras; impide la visión neta de los objetos coloreados del otro lado.

Vidrio irrompible: variedad de vidrio templado.

Vidrio rayado: sumergido en caliente en agua fría, después calentado; los trozos se resueldan, pero las rayas quedan visibles.

Vidrio de seguridad: no deben romperse en fragmentos duros y agudos:

1. Vidrio sandwich (por ej. : Triplex) hoja de materia plástica

(celuloide o acetato de celulosa) pegada entre dos vidrios: los trozos quedan adheridos a la materia plástica.

2. Vidrio género Seguridad: vidrios templados, al salir del horno. por medio de fuertes chorros rasantes de aire sobre las dos caras.

3. Vidrio armado, en la masa del cuál hay sumergida una red de hilos de acero (también existen en los vidrios orgánicos).

4. Vidrio blindado: formado por un gran número de capas alternadas de vidrio y de materias plásticas.

Vidrio espuma: contiene gran cantidad de burbujas gaseosas - que le dan ciertas propiedades difusoras y le confieren una - densidad particularmente baja (de .3 a .15).

CAPITULO VII

Sobre la Experiencia.

El objetivo principal de nuestro trabajo fué el de utilizar los recursos que existían en la Facultad para aplicarlos a la rama de la Cerámica. Para esto, se hizo una evaluación de estos recursos y se vió que el horno de fundición de vidrio necesitaba una reconstrucción y acondicionamiento.

A. Construcción de quemadores.

En la actualidad existen gran variedad de tipos de quemadores. De estos se vió que las características principales que debe de poseer un quemador son:

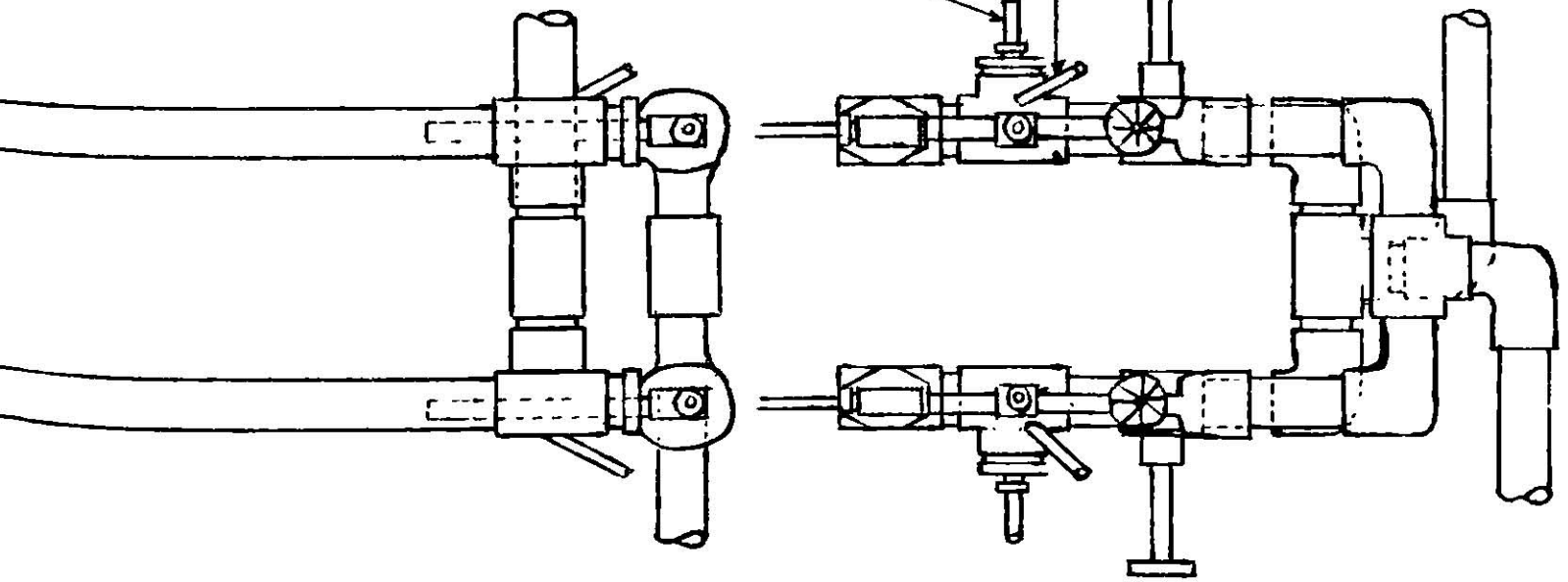
- a) Debe proporcionar una mezcla bastante homogénea de aire - gas.
- b) Facilidad de regular la relación aire - gas.
- c) Que la pérdida de presión entre la fuente de los fluidos y la salida de la mezcla sea mínima.

Observando dichas características y viendo la necesidad de medir el flujo - se diseñó un quemador que tuviera las anteriores características e introduciendo un instrumento que respondiera a una señal proporcional al flujo del fluido.

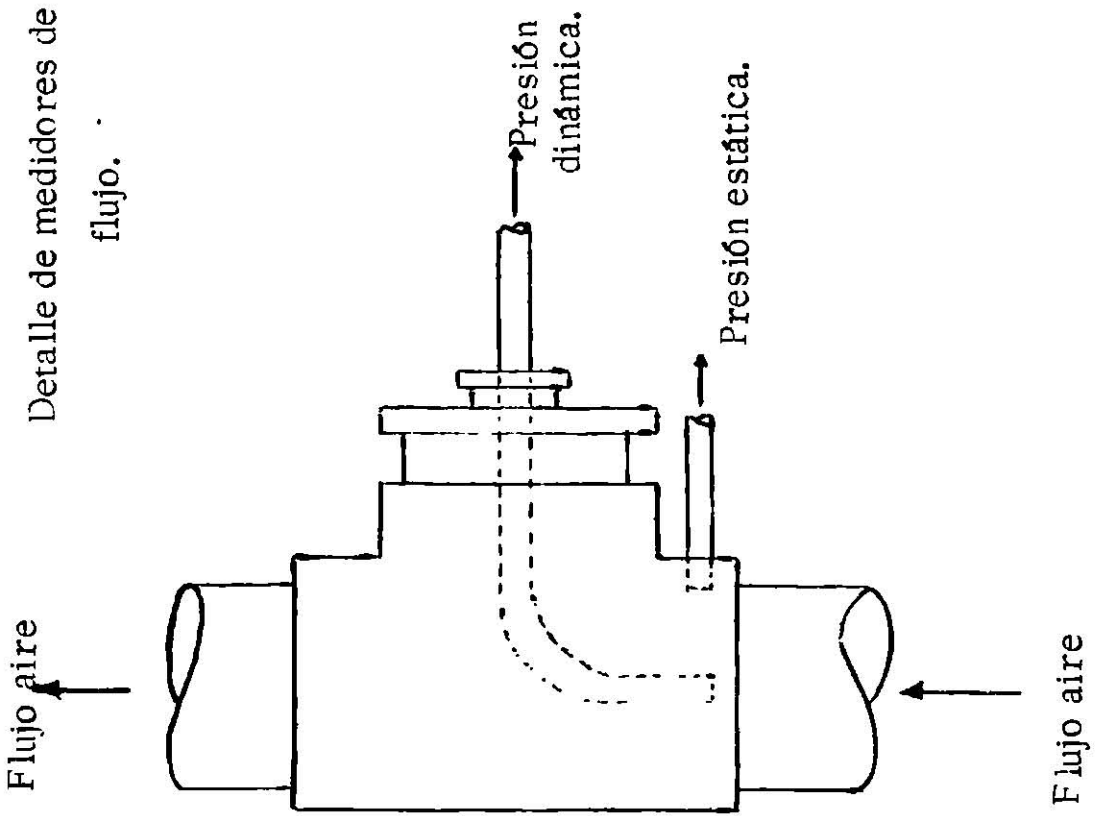
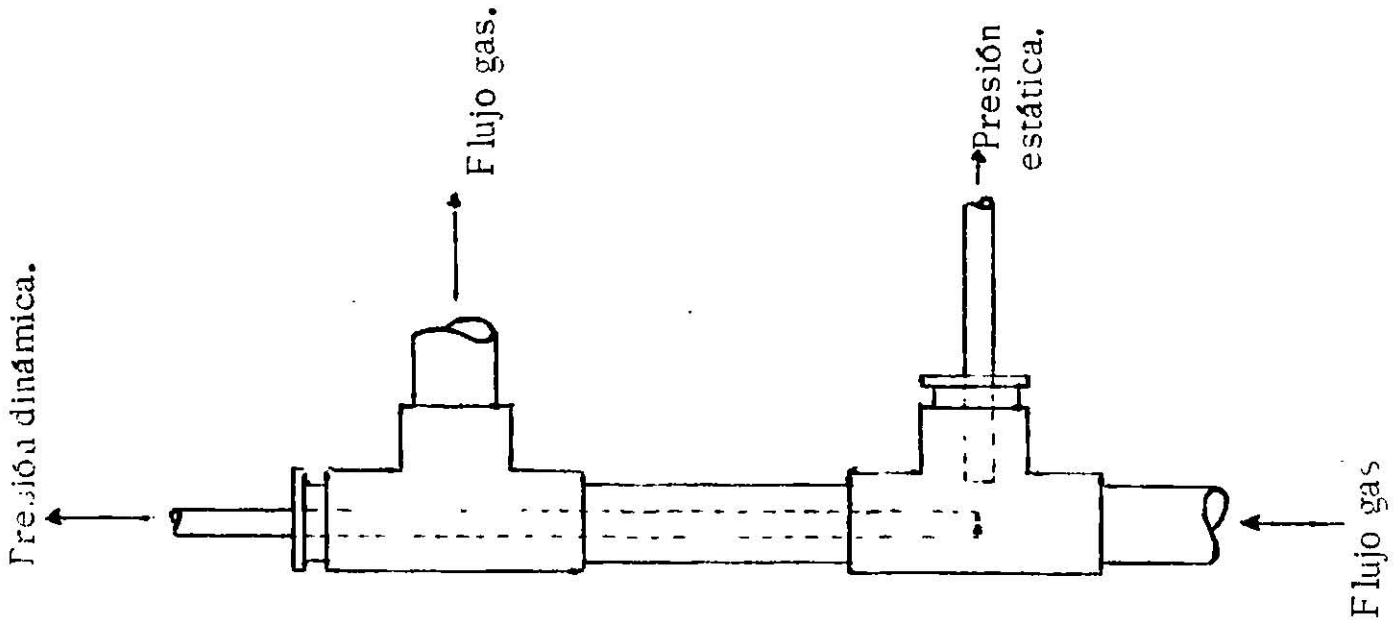
En la figura de la pág. posterior se muestran los medidores que funcionan con el principio del tubo "pitot". Se escogió este tipo por las siguientes ventajas:

- a) Facilidad de construcción e instalación.
- b) La pérdida de presión en el funcionamiento es mucho menor que la de

ESQUEMA DE QUEMADORES PARA
HORNO DE VIDRIO

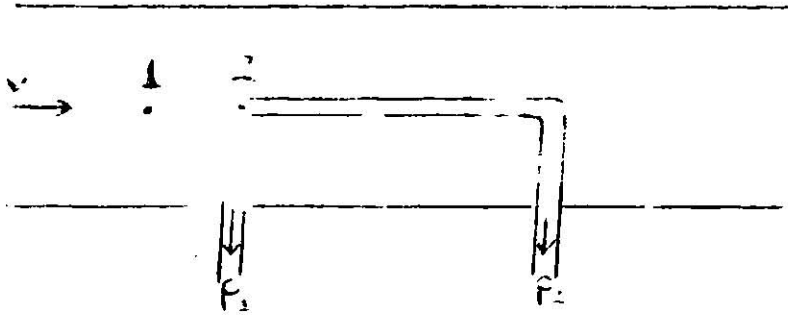


(1) Ver detalle de n editores
pitot en la siguiente hoja.



otros medidores, por ej.: venturi, placa de orificio.

Haciendo un balance en el tubo entre los puntos 1 y 2 como se muestra en la figura:



Se obtiene la siguiente fórmula general para fluidos compresibles:

$$v = (2C_p T_1 ((p_2/p_1)^{\frac{k-1}{\gamma}} - 1))^{\frac{1}{2}} = (2C_p T_2 (1 - (p_1/p_2)^{\frac{k-1}{\gamma}}))^{\frac{1}{2}} \quad (*)$$

Donde:

C_p es la capacidad calorífica

p_1 es la presión estática

p_2 es la presión dinámica

T_1 es la temperatura en el punto 1

$k = C_p/C_v$

v es la velocidad promedio del fluido.

Se obtuvieron los siguientes datos en la operación del horno a régimen estable:

	gas rama izq. I	aire rama izq. II	gas rama der. III	aire rama der. IV
P_1 (pulg. H ₂ O)	384.7421	385.1410	384.7421	385.0421
P_2 (pulg. H ₂ O)	384.8921	385.4210	384.9221	385.5921

Se tomó en cuenta que la Presión en Monterrey es inferior a la del nivel del mar, entonces considerando que el agua hierve a $98.2-98.4^{\circ}\text{C}$, de acuerdo a la Tabla de presiones de vapor se obtuvo la presión de 715 mm de Hg. y, esta se tomó como base para los cálculos.

Cálculos

Suposiciones:

- a) $T_1 = 20^{\circ}\text{C} = 68^{\circ}\text{F}$
- b) El combustible a usar, será gas natural. Siendo muy alto el porcentaje de CH_4 presente (96.24%), se considerará para todos los cálculos.

Datos:

	aire	CH_4	
C_p	5.0452 0.25	13.1786 0.245	$\frac{\text{lb}_f\text{-ft}}{\text{slug}\text{-}^{\circ}\text{R}}$ $\frac{\text{BTU}}{\text{lb}\text{-}^{\circ}\text{F}}$
k	1.403	1.31	
d	1.1347	0.626	kg/m^3
$A^{(*)}$	0.0013141	0.000196	m^2

(*) Area de la sección transversal del tubo.

	I	II	III	IV
$(p_2/p_1)^{\frac{k-1}{k}}$	1.00009224	1.0002982	1.0001978	1.00498169
$2C_p T_1$ (lb _f -ft/slug)	13916.657	6383.7876	13916.657	6383.7879
$v (=) \left(\frac{\text{lb}_f\text{-ft}}{\text{slug}}\right)^{\frac{1}{2}}$	1.1330029	1.379755	1.24131724	1.618004

Cómo: $9.802899 \text{ m/seg} = \left(\frac{\text{lb}_f\text{-ft}}{\text{slug}}\right)^{\frac{1}{2}}$ entonces,

$v = \text{m/seg}$	11.106713	13.525598	12.1685	15.86113
--------------------	-----------	-----------	---------	----------

Flujo molar:

d. v. A (kg/seg)	0.0013627	0.020168	0.0014918	0.0236505
---------------------	-----------	----------	-----------	-----------

mol/hr.	0.3066075	2.5036137	0.335655	2.93592
---------	-----------	-----------	----------	---------

Dividiendo:

$$\text{II/I} = 8.1655 \text{ mol aire/mol gas}$$

$$\text{IV/III} = 8.7468 \text{ mol aire/mol gas}$$

Resulta la relación aire- gas que se usó .

B. Construcción de la puerta del horno.

En el diagrama que se ilustra al final del capítulo se presenta el detalle de la puerta y la bóveda. La idea del funcionamiento de la puerta se basó en la mayoría de los hornos industriales de prueba.

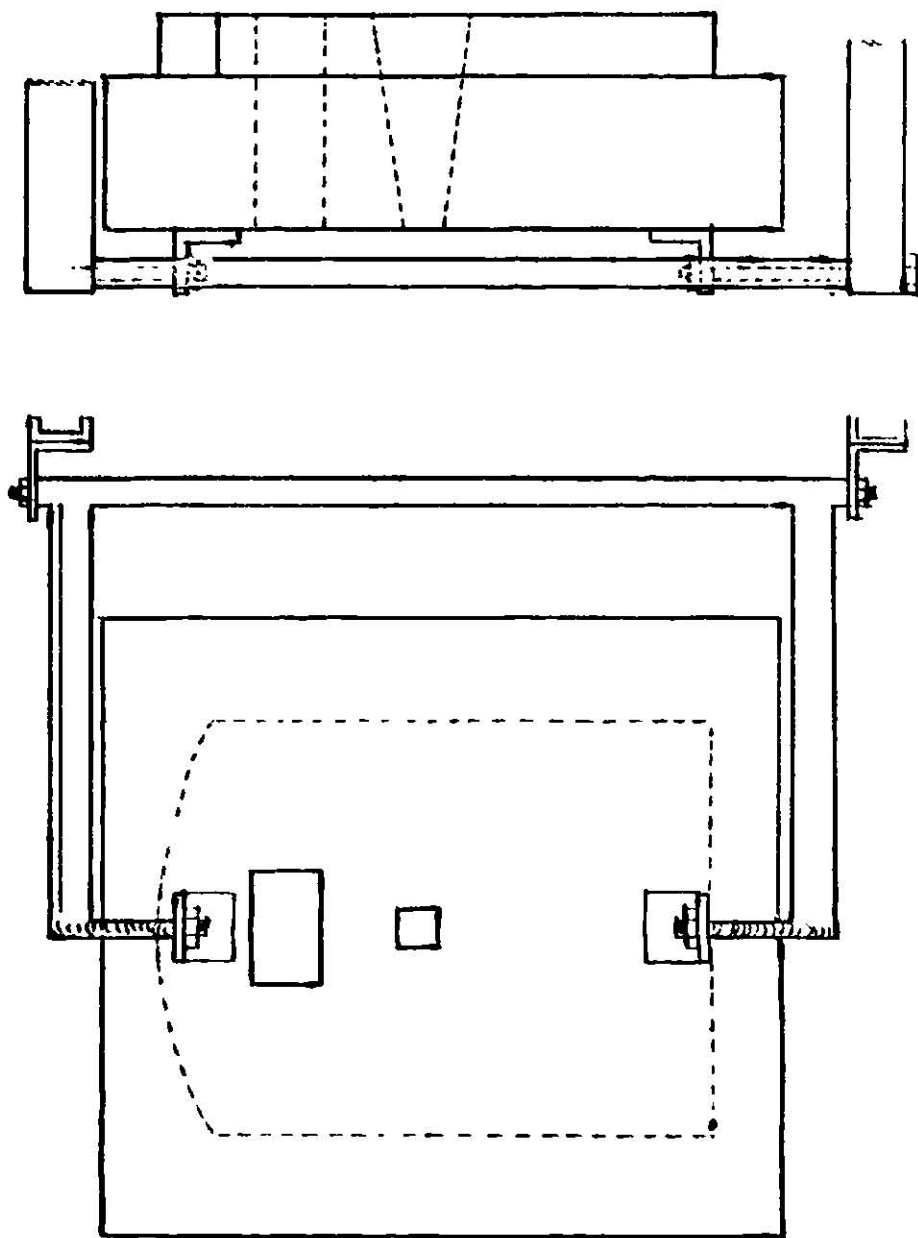
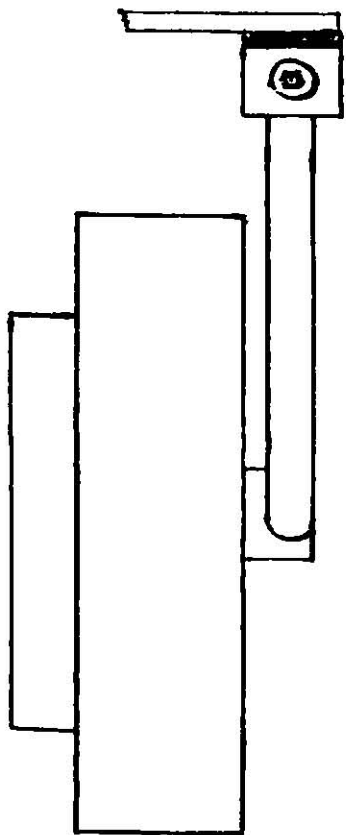
C. Templadores.

La mayoría de los templadores utilizados en la industria son diseñados en forma continua debido, a la dificultad de controlar la temperatura dentro de un rango aceptable en la curva de enfriamiento en un templador - tipo Batch. Al final del capítulo se ilustra un templador batch.

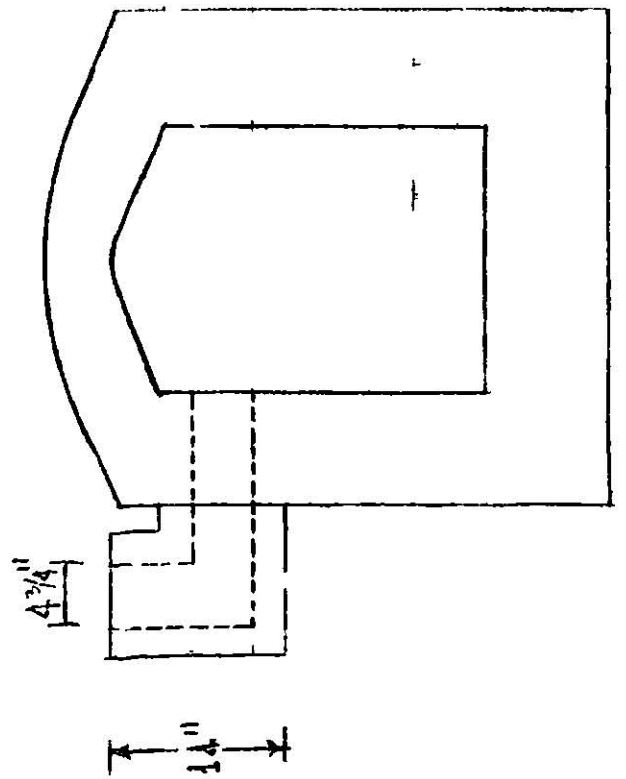
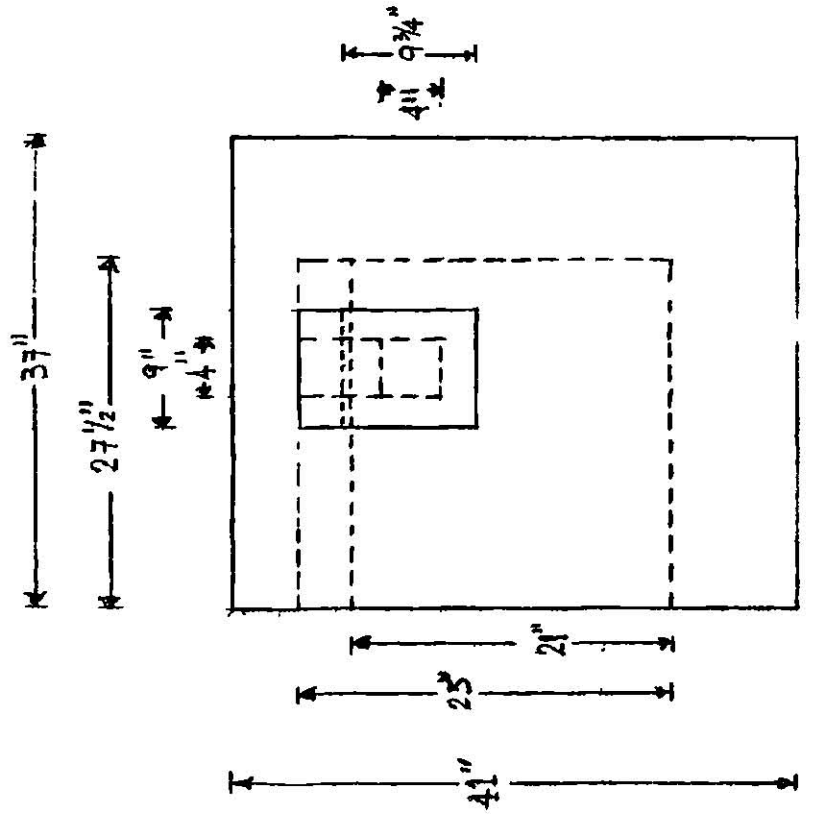
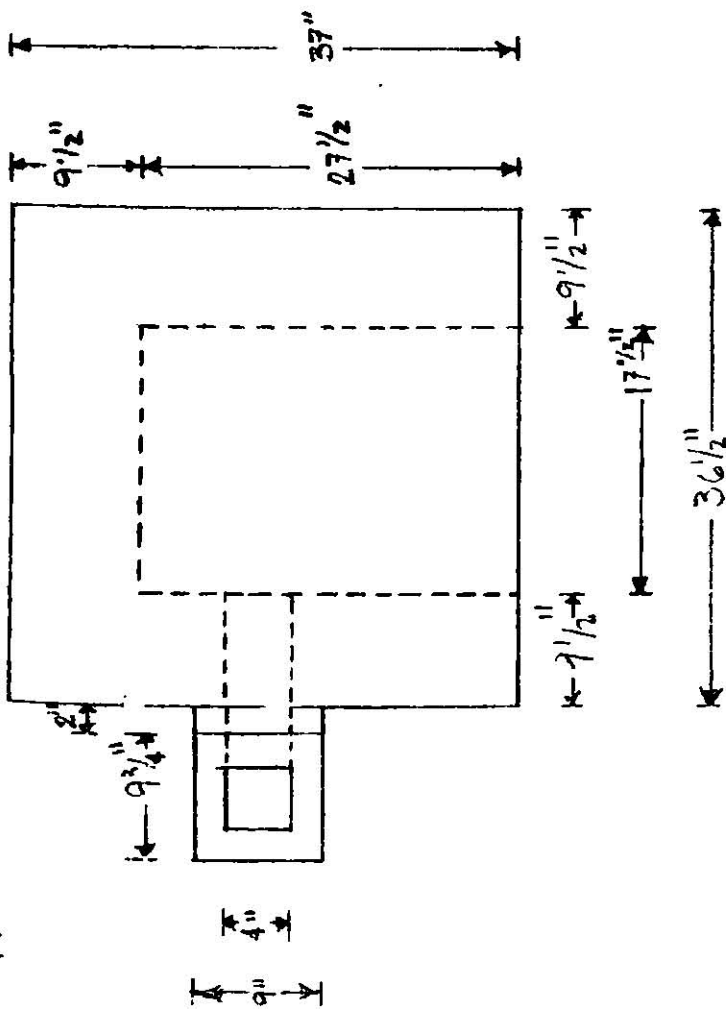
La manera del diseño se hizo desde el punto de vista experimental, ya que no es para una cierta producción industrial, sino, que este tipo de templador se utiliza para experimentación.

El control de temperatura se hace experimentalmente, regulando los flujos de aire gas de los quemadores y observando la señal de un termopar. El material del termopar usado es desconocido pero calibrando - este se obtuvo la siguiente gráfica de T vs mv .

DETALLE DE LA PUERTA PARA
EL HORNO DE VIDRIO.



ESQUEMA GENERAL DEL HORNO DE VIDRIO.



900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

Temperatura, (°C)

GRAFICA DE LA VARIACION DE LA TEMPERATURA EN RELACION A LA SEÑAL DEL TERMOPAR EXPRESADA EN MILIVOLTS.

Señal del termopar, (milivolts)

0

5

10

15

20

25

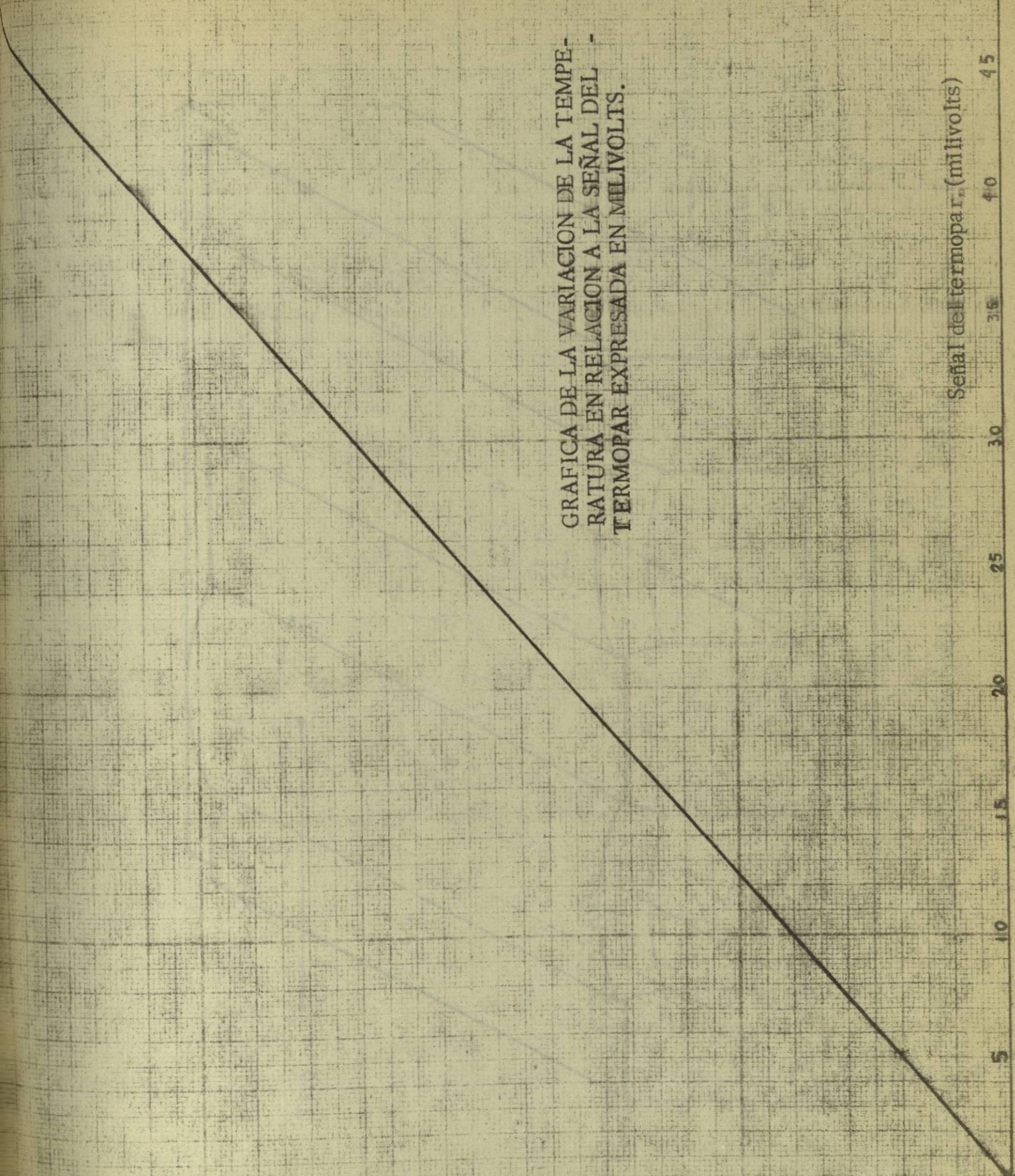
30

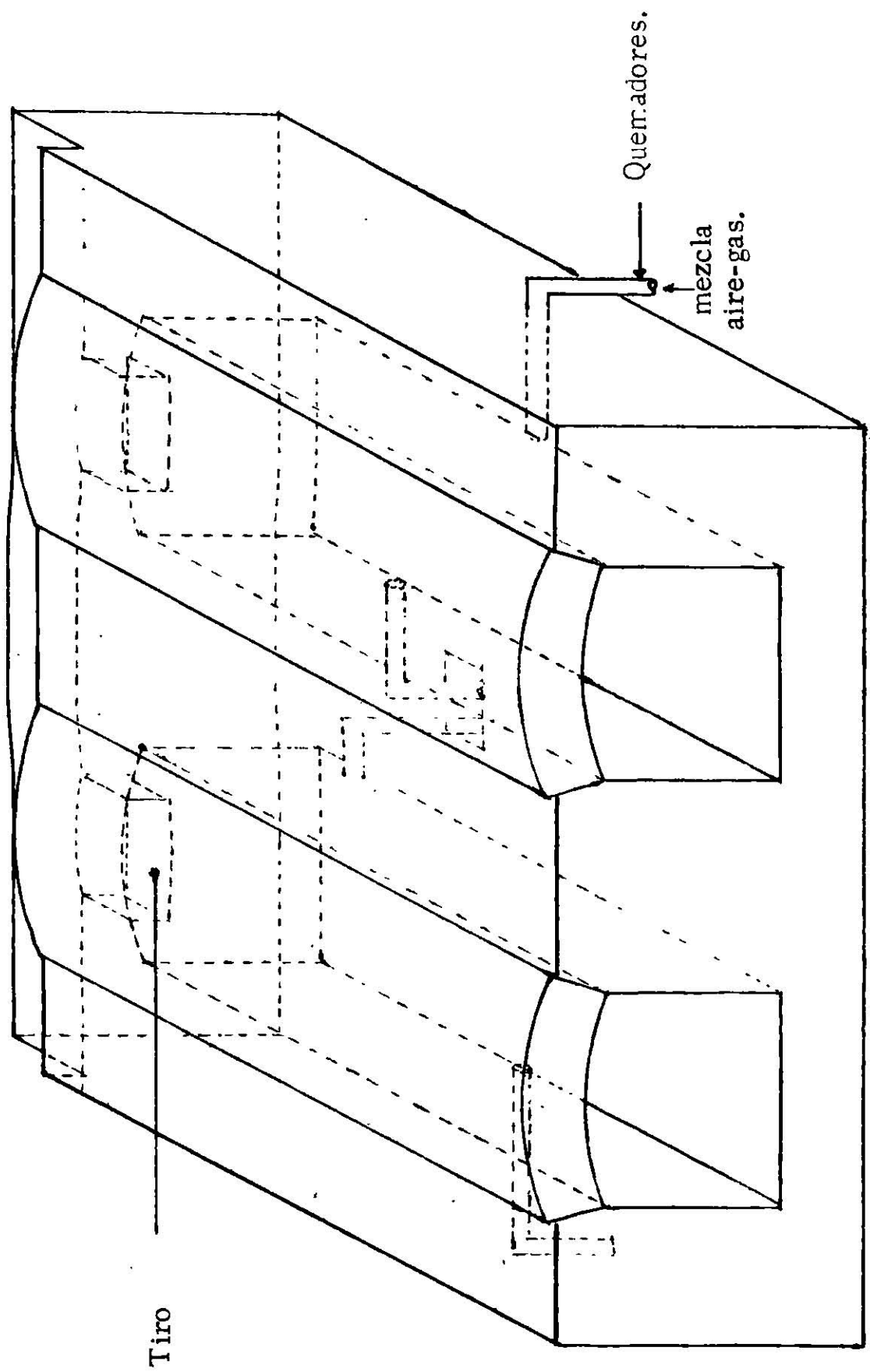
35

40

45

50





HORNOS TEMPLADORES PARA VIDRIO TIPO BATCH.

Existen actualmente varios tipos de pastas cerámicas en el mercado que se pueden utilizar para la fabricación de material de laboratorio. Una de estas pastas fabricada a base de talco ($MgCO_3$) se utilizó para hacer materiales como crisoles, morteros y otros dando buenos resultados, ahora, si se utilizara una pasta de características especiales se obtendrían resultados óptimos.

Se puede tener la idea de fabricar dichas pastas pero, sería mejor abrir el campo de la investigación sobre otras nuevas y, utilizar las ya existentes - en la elaboración de artículos de laboratorio.

Además, se hicieron pruebas sobre la fabricación de vidrio común $:SiO_2 - CaO - Na_2O$, pudiendo obtenerlo a partir de arenas y, siguiendo el trayecto de esta prueba se pudo observar que hay variables que es sumamente necesario tomar en cuenta:

- Selección de materias primas.
- Agitación para un proceso Batch.
- Control de temperatura para el fundido, afino, temperatura de toma y templado.
- Descarga del vidrio.

Conociendo, con la experiencia los problemas que se tuvieron para controlar dichas variables, es necesario para una buena producción instalar un mejor equipo que pueda cubrir los requisitos necesarios.

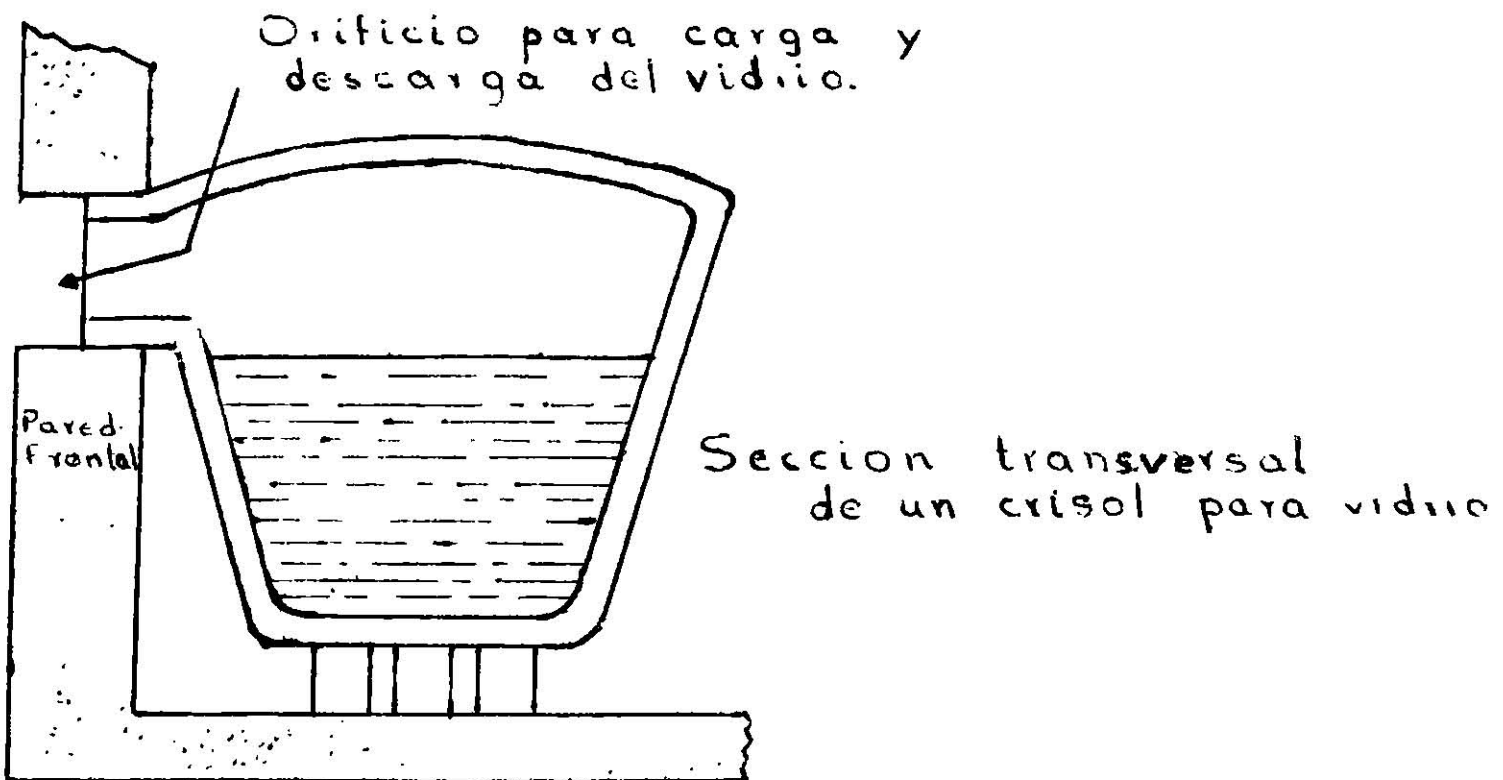
A P E N D I C E A

EQUIPO DE FUSION

Equipo de Fusión

Introducción. - Antes de la mitad del siglo XVIII el vidrio se fundía en crisoles de arcilla especial; cuando la demanda se incrementó, fueron introducidos los llamados hornos rectangulares de reverbedero. Después, con la máquina de moldeo mecánico se aumentó grandemente la capacidad necesaria, y, esto llevó al desarrollo de un fundidor continuo.

Crisoles. Un crisol típico se muestra en la siguiente figura:



Está hecho de arcilla para crisol y de pedacera de ladrillo refractario dando un cuerpo con gran resistencia a los cambios térmicos y a la presión que ejerce el vidrio sobre el crisol. Estos crisoles fijos se usaban para un moldeo a mano, lo cual encerraba un proceso lento, pero ahora se usa un crisol con salida hacia el molde.

Los crisoles fijos son usados para vidrio óptico, coloreado y artístico. Tienen

un rango de capacidad desde 500-4000lbs. ; y, el tiempo empleado desde la carga hasta el manejo puede ser menor de 24hrs. y, a una temperatura alrededor de 1400°C . La duración de este crisol es de algunos meses, con cargas y descargas periódicas. Como el horno no se puede enfriar para cambiar a un nuevo crisol, entonces es necesario precalentar el nuevo y romper una porción de la pared del horno, removiendo el crisol viejo caliente y reemplazando el nuevo ya precalentado.

Algunos vidrios ópticos son ahora fundidos en crisoles forrados de platino. Aunque el platino es muy costoso se puede usar otra vez.

El vidrio producido en crisoles de platino es especialmente homogéneo ya que ahí no hay solución de refractario como en el caso de crisoles de arcilla.

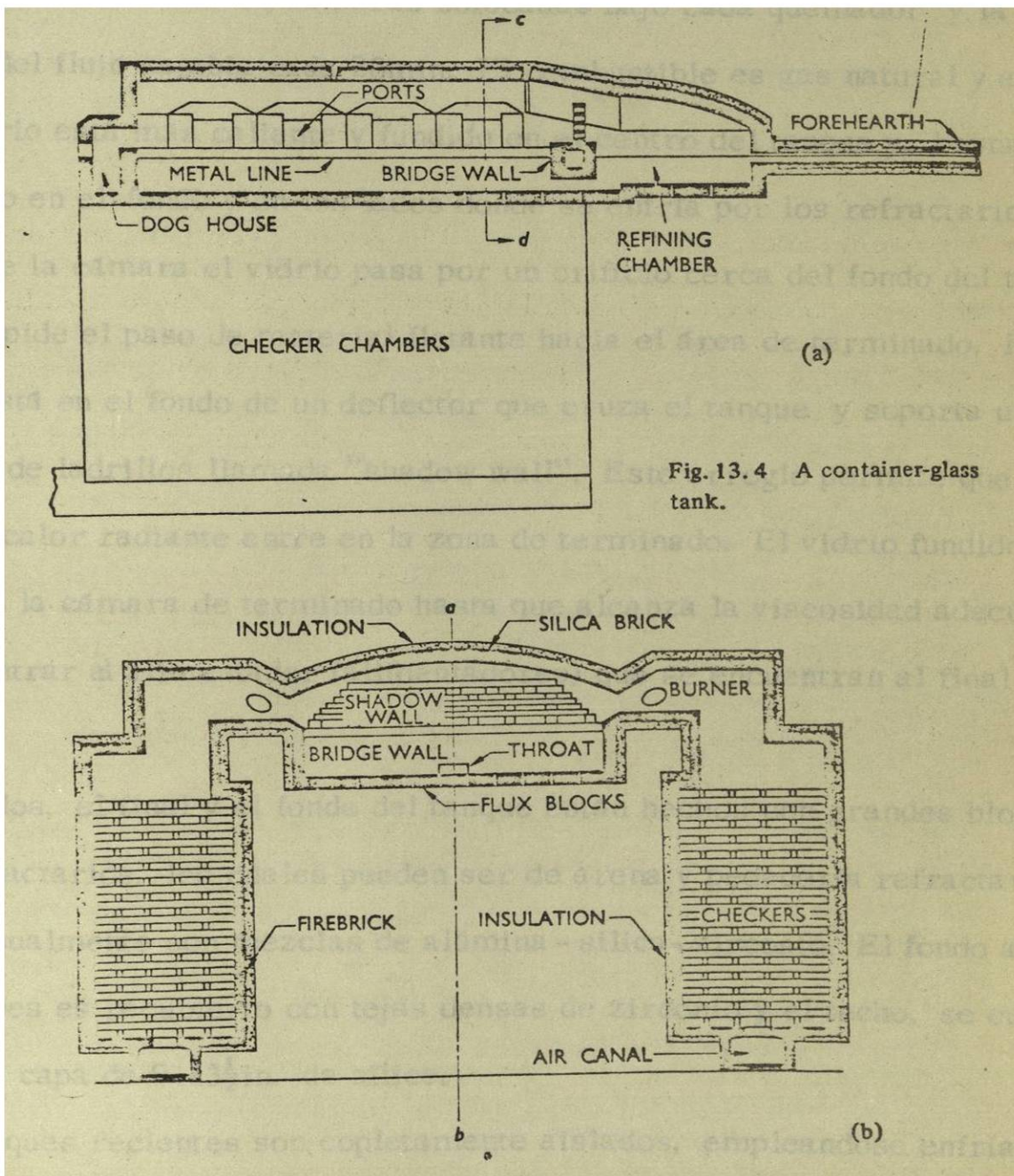
Tanque de Dña.

Obviamente el costo del fundido en crisoles es alto pero el método (tanque de dña) es algo menos costoso para grandes cantidades.

Este vidrio funde en conjunto como en el crisol, pero hay una diferencia fundamental. Aquí el vidrio es calentado completamente por la superficie libre, entonces la superficie del refractario es algo menor que la temperatura media del vidrio fundido. Esto permite que haya menos reacción entre el vidrio y el refractario pero provoca un gran gradiente de temperatura en el vidrio y tiende a producir inhomogeneidades. Vidrios más transparentes a las radiaciones infrarrojas presentan más uniformidad en la temperatura que la que podría esperarse.

Tanque de Cubeta.

Estos tanques retienen de 200-300tons. de vidrio y pueden operar por un promedio de $4\frac{1}{2}$ años sin interrumpir el trabajo fundiendo .3ton. de vidr por ft^2 del área de fundido, durante 24hrs. En la siguiente figura se muestran las partes principales de este tipo de tanques.



La materia prima es llevada hacia el tanque por un transportador continuo en una o más aberturas llamadas "dog house" y difundida hacia el baño de fundido en una película de 5-6in. de grosor. El calentamiento es hecho por calentadores o quemadores colocados a un lado del tanque y, con tiros del lado opuesto.

El aire es calentado en cámaras colocadas bajo cada quemador y la dirección del flujo cambia cada 20min. El combustible es gas natural y aceite. El vidrio está más caliente y fundido en el centro del tanque y, bastante viscoso en el fondo y en los lados donde se enfría por los refractarios. Al final de la cámara el vidrio pasa por un orificio cerca del fondo del tanque que impide el paso de material flotante hacia el área de terminado. El orificio está en el fondo de un deflector que cruza el tanque y soporta una rejilla de ladrillos llamada "shadow wall". Este arreglo permite que suficiente calor radiante entre en la zona de terminado. El vidrio fundido se deja en la cámara de terminado hasta que alcanza la viscosidad adecuada para entrar al alimentador (alimentadores) que se encuentran al final del tanque.

Los lados, el final y el fondo del tanque están hechos con grandes bloques de refractarios, los cuales pueden ser de arena y pedacera refractaria, pero usualmente son mezclas de alúmina - sílica - zirconio. El fondo algunas veces es recubierto con tejas densas de zirconio y el techo, se cubre con una capa de 9-13½ in. de sílice.

Los tanques recientes son completamente aislados, empleándose enfriadores

a lo largo de la línea metálica (tope del vidrio fundido) en la sección de fusión. Los tanques modernos de cubeta tienen áreas de fusión de 1000-1500 ft², y, la profundidad del vidrio es de 3-4ft.

En Europa algunos tanques de cubeta funden el vidrio con el calor generado por unos electrodos. Estos pueden ser de grafito o molibdeno.

Tanque para vidrio Plano.

Estos tanques son mucho más grandes que los anteriores, retienen alrededor de 1500ton. de vidrio. La siguiente figura muestra el diagrama de un tanque típico.

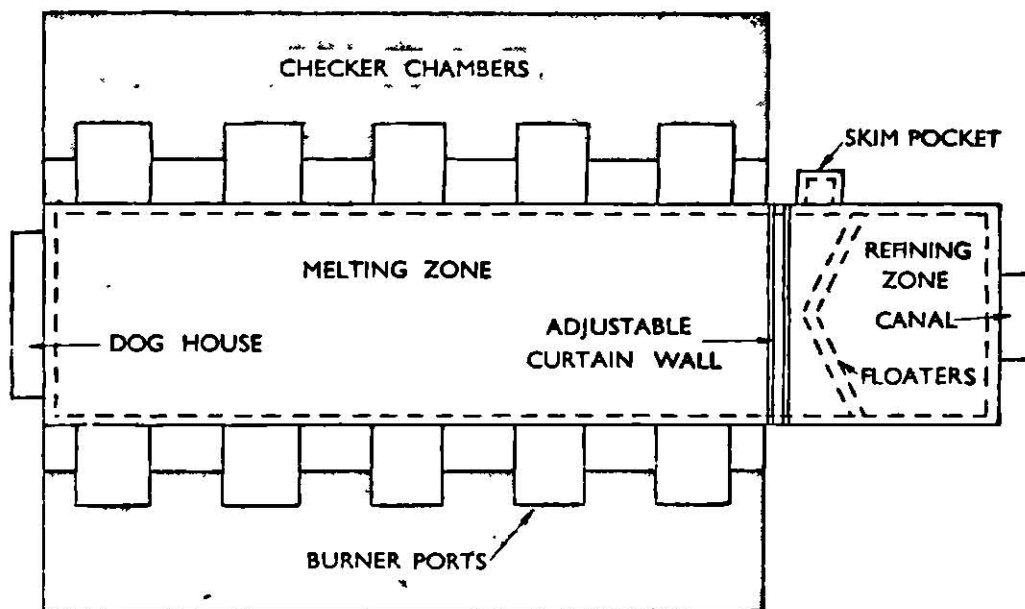


Fig. 13.5 Plan of a sheet-glass tank.

Este tanque es muy parecido al anterior, excepto en la longitud, y en lugar de deflectores y mámparas tiene un flotador que retiene la escoria.

En lugar del "shadow - wall" tiene una cortina ajustable que controla la temperatura en la zona de terminado. Uno de estos tanques puede proveer de 200 a 300tons. de vidrio en 24 hrs.

Ambos tanques, el de cubeta y el de vidrio plano tienen un recuperador que ahorra combustible pero aún así tiene una baja eficiencia térmica - de solo un 15 a un 25%. Las grandes pérdidas a través de los bloques - del tanque de fusión en los tanques modernos son casi compensadas por la adición de aislante.

A P E N D I C E B

PROPIEDADES FISICAS

Puntos finales e intervalos de conos pirométricos (calentados en aire)

Cono No.	Velocidad de calentamiento, 20 °C/hr			Velocidad de calentamiento, 150 °C/hr		
	Punto final, °C	Intervalo de cono, °C	Intervalo de flexión, °C	Punto final, °C	Intervalo de cono, °C	Intervalo de flexión, °C
022	585	10	45	605	10	55
021	595	30	45	615	35	45
020	625	5	30	650	10	25
019	630	40	30	660	60	20
018	670	50	30	720	50	30
017	720	15	30	770	25	30
016	735	35	35	795	10	55
015	770	25	30	805	25	45
014	795	30	45	830	30	40
013	825	15	45	860	15	50
012	840	35	50	875	30	85
011	875	15	65	905	10	65
010	890	40	30	895	35	25
09	930	15	35	930	20	40
08	945	30	55	950	40	60
07	975	30	35	990	25	50
06	1005	25	25	1015	24	35
05	1030	20	30	1 040	20	30
04	1050	30	40	1 060	55	40
03	1080	15	40	1 115	10	35
02	1095	15	35	1 125	20	35
01	1110	15	50	1 145	15	45
1	1125	10	30	1 160	5	45
2	1135	10	30	1 185	5	45
3	1145	20	30	1 170	20	40
4	1165	15	40	1 190	15	35
5	1180	10	40	1 206	25	50
6	1190	30	40	1 230	20	35
7	1210	15	40	1 250	10	60
8	1225	25	45	1 260	25	55
9	1250	10	65	1 285	20	115
10	1260	25	40	1 305	20	95
11	1285	25	70	1 325	10	80
12	1310	40	80	1 335	15	45
13	1350	40	70	1 350	50	55
14	1390	20	100	1 400	35	70
15	1410	40	85	1 435	30	115
16	1450	15	70	1 465	10	125
17	1465	20	50-75(?)	1 475	15	125
18	1485	30	90	1 490	30	85
19	1515	5	100	1 520	10	70
20	1520		---	1 530		60

(Continuacion.)

	Velocidad de calentamiento, 100°C/hr			Velocidad de calentamiento, 600 °C/hr. en horno de Arsem	
23	1158	15	30		
26	1595	10	10		
27	1605	10	15		
28	1615	25	10		
29	1640	10	30		
30	1650	30	25		
31	1680	20	25		
32	1700	45	15		
33	1745	15	30		
34	1760	25	15	1755	20
35	1785	25	15	1775	35
36	1810	10	25	1810	20
37	1820	15	5	1830	20
38	1835		15	1850	15
39				1865	20
40				1885	85
41				1970	45
42				2015	

Escala de Temperatura en grados Centígrados, con puntos de interés para el trabajo Cerámico

0	Fundese el hielo.
100	Hierve el agua.
200	
300	
400	Agua química eliminada del barro.
500	Rojo opaco.
600	Esmaltes de joyería.
700	
	Oro sobre barniz y colores esmalte.
800	Sobre acero.
900	Pastas y barnices de muy baja cochura (cono 010).
1000	Pastas y barnices de baja cochura. (cono 06).
1100	
	Porcelana tierna, arcilla roja, terracota (cono 4).
1200	
	Arcilla compacta, pasta de artículos blancos, porcelana de alta quema (cono 8)
1300	
1400	
	Porcelana de alta cochura (cono 16).
1500	
	En este punto queman los refractarios.
1600	
1700	
	Fúndese la sílice.
1800	Fúndese el caolín.

Densidades de algunos Materiales

Material:	Lbs ft ³
Cenizas	25-45
Bauxita comprimida seca	75-85
Bórax	50-55
Ladrillo de albañilería	120-140
Cemento Portland flojo	90
Cemento Portland comprimido	183
Arcilla seca	100-120
Carbón antracita	97
Carbón, bituminoso	84
Carbón	75
Concreto	144
Dolomita	181
Feldespató	65-70
Ladrillo de arcilla quemada	150
Fluorspató	110
Gasolina	45
Vidrio batch	85-90
Vidrio común	163
Cristal	184
Vidrio de pedernal	247
Vidrio plano o corona	161
Hielo	56
Hierro fundido	442
Keroseno	50
Cianita	118
Lima hidratada	35-45
Magnesita	187
Petróleo	54
Cuarzo pulverizado	110
Arena seca	90-105
Arena seca comprimida granulada	100-120
Arena granulada húmeda	118-120
Ladrillo de sílice	128
Nieve	8-33
Ceniza de sosa densa	169
Ceniza de sosa ligera	55-65
Acero frío	20-35
Acero maquinado	489

Material

lbs ft. 3

Talco
Agua a 4°C

487
62.4

Puntos de fusión de algunos compuestos y minerales

	°C	°F
Alúmina	2050	3722
Andalusita	1816	3301
Andalusita (comercial)	1655	3011
Oxido de Arsenio	200	392
Carbonato de bario	1360	2480
Cloruro de bario	960	760
Oxido de bario	(O ₂) 450	(O ₂) 842
Sulfato de bario	1580	2876
Bauxita	2035	3695
Bauxita (comercial)	1800-2020	3272-3668
Borax	al rojo vivo	
Calcita	2570	4658
Calcita (comercial)	2095-2485	3803-4505
Carbonato de calcio (disociación)	825	1517
Fluoruro de calcio	1300	2372
Oxido de calcio	2570	4658
Sulfato de calcio (disociación)	900	1652
Oxido de cromo	2330	4226
Oxido de cobalto	O ₂ 905	O ₂ 1661
Nitrato de cobalto	56	113
Oxido de cobre (Cu ₂ O)	1210	2210
Oxido de cobre (CuO)	1064	1947
Corundum	2035	3695
Corundum comercial	1850-2030	3362-3686
Cianita	1816	3301
Cianita comercial	1680	3056
Diespora	2035	3695
Diespora comercial	1920	3488
Tierra diatomaceas	1715	3119
Tierra diatomaceas comercial	1650	3002
Dolomita	2570-2800	4658-5072
Dolomita comercial	1925-2485	3497-4505
Oxido férrico	1548	2818
Oxido ferroso	1419	2586

	°C	°C
Arcilla refractaria (gris alto)	1660-1720	3020-3138
Arcilla refractaria (gris bajo)	1600-1650	2912-3002
Pedernal	1715	3119
Espatofluor	1300	2372
Forsterite	1910	3470
Ganister	1715	3119
Gibsita	2035	3695
Gibsita comercial	1760-2030	3200-3686
Halosita	1775	3227
Caolín	1740-1785	3164-3245
Caolinita	1785	3245
Cianita	1820	3308
Oxido de plomo litargirio	880	1616
Oxido de plomo minio	500- 530	932- 986
Cal	2570	4658
Piedra caliza	2570	4658
Magnesita (disociada)	2800	5072
Magnesita (comercial)	2000-2800	3632-5072
Carbonato de magnesio (disociado)	350	662
Oxido de magnesio (aprox.)	2825	5117
Magnetita	1538	2800
Dióxido de manganeso	O ₂ 1058	O ₂ 570
Mullita	1810	3290
Mullita (comercial)	1790	3254
Oxido de níquel	O ₂ 400	O ₂ 752
Feldespató ortoclase	1170	2138
Carbonato de potasio	880	1616
Cromato de potasio	975	1787
Dicromato de potasio	398	748
Nitrato de potasio	337	639
Oxido de potasio	rojo vivo	
Cuarzo	1715	3119
Rutilo (TiC ₂)	1900	3452

	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$
Rutilo (comercial)	1630	2966
Sílica	1715	3119
Carburo de silicio	2200	3992
Sillimanita	1816	3301
Sillimanita (comercial)	1810	3290
Carbonato de sodio	853	1567
Cloruro de sodio	792	1458
Nitrato de sodio	313	595
Oxido de sodio	al rojo vivo	
Sulfato de sodio	880	1616
Spinel	2135	3875
Oxido de estaño	1130	2066
Oxido de titanio (disociación)	1900	3452
Whiting (disociación)	825	1517
Circonio (disociación)	2550	4622
Dióxido de circonio	2700	4892
Silicato de sodio	1089	1992
Silicato de potasio	976	1789
Silicato de plomo	770	1418
Silicato de bario	1426	2599
Silicato de calcio (beta)	1540	2804

Factores para coeficiente de expansión
para vidrios de tipo $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

Oxido	factor por Γ_c de óxido por O_c por 10
Li_2O	6.56
Na_2O	3.86
K_2O	3.20
CaO	1.36
CaO-MgO	1.10
BaO	1.08
MgO	0.73
SiO_2	0.28
Al_2O_3	0.24
B_2O_3	0.60
ZnO	1.23

Factores para el cálculo de coeficientes de expansión
térmica (cúbica) de vidrios y esmaltes.

Composición	M. & H. $\times 10^{-7}$	W. & S. $\times 10^{-7}$	E. & T. $\times 10^{-7}$
SiO_2	0.8	0.8	0.15
Al_2O_3	5.0	5.0	0.42
B_2O_3	0.1	0.1	1.98
Na_2O	10.0	10.0	12.96
K_2O	3.5	8.5	11.7
PbO	4.2	3.0	3.18
ZnO	2.1	1.8	2.1
CaO	5.0	5.0	4.89
MgO	0.1	0.1	1.35
BaO	3.0	3.0	4.2
As_2O_5	2.0	2.0	
P_2O_5	2.0	2.0	
Sb_2O_5	3.6		
SnO_2	2.0		
TiO_2	4.1		
ZrO_2	2.1		
NaAlF_6	7.4		
NaF	7.4		
AlF_3	4.4		
CaF_2	2.5		

(Continuación)

Composicion	M & H, x 10 ⁻⁷
Cr ₂ C ₃	5.1
CoO	4.4
CuO	2.2
Fe ₂ O ₃	4.0
NiO	4.0
MnO	2.2

E & T. - Corregido por English and Turner, J. Am. Ceram. Soc. 12, 760 (1929).

W. & S. - Winkelmann and Schott, Jena Glass.

M. & H. - Mayer and Hlavas.

Rango de valores físicos obtenidos de varios vidrios.

Propiedad.	Rango de valores
Indice de refracción.	1.467 - 2.179
Gravedad específica	2.125 - 8.120
Coefficiente de elasticidad	6.5 x 10 ⁶ - 12.5 x 10 ⁶ lb/in ²
Resistencia a la compresibilidad	9.0 x 10 ⁴ - 18.0 x 10 ⁴ lb/in ²
Resistencia a la tensión	4.0 x 10 ³ - 1000 x 10 ³ lb/in ²
Conductividad térmica	1.8 x 10 ⁻³ - 2.8 x 10 ⁻³ cal/cm °C seg
Coefficiente de expansión	8.0 x 10 ⁻⁷ - 140 x 10 ⁻⁷ cm/°C cm
Punto de ablandamiento	500°C - 1510°C
Punto de recocido	350°C - 890°C
Resistividad volumétrica	10 ⁸ - 10 ¹⁸ ohms/cc
Constante dieléctrica	3.7 - 16.5

Puntos de Ablandamiento ($^{\circ}\text{C}$) de vidrios
de $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (por interferómetro)

	% Na_2O	0% Al_2O_3	2% Al_2O_3	4% Al_2O_3	6% Al_2O_3	8% Al_2O_3
6% CaO	11	**	1067	1099	1132	1164
	13	**	1054	1076	1098	1117
	15	**	1038	1054	1069	1085
	17	**	1022	1038	1054	1072
8% CaO	11	1072	1094	1114	1134	1166
	13	1058	1076	1094	1112	1125
	15	1042	1058	1072	1089	1092
	17	1026	1038	1049	1063	1076
10% CaO	11	1090	1105	1126	1150	1168
	13	1072	1087	1105	1121	1130
	15	1054	1069	1081	1094	1099
	17	1036	1051	1058	1065	1081
12% CaO	11	1107	1116	1137	1164	1170
	13	1085	1098	1114	1132	1137
	15	1065	1080	1080	1101	1108
	17	1045	1063	1069	1067	1085
14% CaO	11	1116	1132	1148	1161	1171
	13	1096	1110	1125	1134	1144
	15	1074	1087	1101	1112	1117
	17	1054	1067	1078	1085	1094
16% CaO	11	1126	**	**	**	**
	13	1105	**	**	**	**
	15	1083	**	**	**	**
	17	1062	**	**	**	**

Coefficientes globales de expansión en un rango de 80-170 °C
de un vidrio de Na₂O, CaO, SiO₂

multiplique por 10 ⁻⁷	% Na ₂ O.	0% Al ₂ O ₃	2% Al ₂ O ₃	4% Al ₂ O ₃	6% Al ₂ O ₃	8% Al ₂ O ₃
6% CaO	11	**	74	74	75	76
	13	**	81	81	81	82
	15	**	88	88	88	88
	17	**	96	99	95	94
8% CaO	11	76	74	74	74	77
	13	84	82	82	82	82
	15	91	90	89	89	90
	17	99	97	96	96	96
10% CaO	11	78	77	76	77	79
	13	85	84	83	83	84
	15	93	91	90	90	92
	17	100	99	99	96	98
12% CaO	11	80	79	79	80	81
	13	87	86	86	87	87
	15	95	94	93	94	93
	17	102	101	101	100	99
14% CaO	11	82	81	82	83	83
	13	88	88	90	90	89
	15	96	97	97	96	95
	17	103	103	104	103	102
16% CaO	11	83	**	**	**	**
	13	90	**	**	**	**
	15	97	**	**	**	**
	17	105	**	**	**	**

Hidróxidos	Sn(OH) ₂	VII	VII	VI	III	III	III	III	III	III	I	I
	Ba(OH) ₂	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III	I
Carbonatos	CaCO ₃	III	III	III	III	III	III	III	III	I	I	I
	BaCO ₃	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III	I	I	I
Haluros	LiCl	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VI	IV	I	I	I
	NaCl	VII	VII	VII	VII	VII	VI	IV	I	I	I	I
	KCl	VII	VII	VII	VII	VII	VI	V	I	I	I	I
	RbCl	VII	VI	IV	IV	IV	IV	I	I	I	I	I
	CsCl	VII	VI	IV	IV	IV	IV	IV	I	I	I	I
	NaBr	VII	VII	VII	VII	VII	VI	I	I	I	I	I
	KBr	VII	VII	VII	VII	VII	VI	I	I	I	I	I
	NaI	VII	VII	VI	III	III	I	I	I	I	I	I
	KI	VII	VII	VI	I	I	I	I	I	I	I	I
	MgCl ₂	VII	VII	VI	IV	IV	I	I	I	I	I	I
	CaCl ₂	VII	VII	VII	VI	IV	III	III	I	I	I	I
	SnCl ₂	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VI	IV	I	I	I
	BaCl ₂	VII	VI	IV	IV	IV	IV	IV	I	I	I	I
	AlCl ₃	VII	VI	IV	IV	IV	I	I	I	I	I	I
	Temperatura	°C-----	1450	1400	1350	1300	1250	1200	1100	1000	800	500	300

- Clave
- I -No hay cambio
 - II -No hay devitrificación pero hay un cubrimiento con el mismo material de prueba
 - III -Varias señas de devitrificación
 - IV -Vitrificación en la superficie
 - V -Fuerte vitrificación
 - VI -Debilitamiento debido a la vitrificación
 - VII -No hay prueba a esta temperatura

Efecto de varios elementos y compuestos sobre el vidrio de sílica a elevadas temperaturas, las reacciones se observaron al vacío. Cada prueba se sostuvo a baja temperatura por una hora, después se elevó la temperatura por una hora.

A P E N D I C E C

FACTORES PARA CALCULOS

Fórmulas y Pesos Equivalentes de los Materiales Cerámicos

Material:	Fórmula:	Peso de la fórmula
Acido Bórico	$B_2O_3 \cdot 3H_2O$	123.7
Alúmina	Al_2O_3	101.9
Arcilla (caolinita)	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258.2
Arcilla (calcinada)	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	222.2
Bióxido de manganeso	MnO_2	86.9
Bióxido de titanio	TiO_2	80.1
Bórax	$Na_2B_4O_7$	381.4
Carbonato de amonio	$(NH_4)_2CO_3 \cdot H_2O$	114.1
Carbonato de bario	$BaCO_3$	197.4
Carbonato de calcio	$CaCO_3$	100.1
Carbonato de plomo	$2PbCO_3 \cdot Pb(H_2O)$	775.6
Carbonato de litio	Li_2CO_3	73.9
Carbonato de magnesia	$MgCO_3$	84.3
Carbonato de potasio	K_2CO_3	138.0
Carbonato de sodio	Na_2CO_3	106.0
Carbonato de estroncio	$SrCO_3$	147.6
Carbonato de zinc	$ZnCO_3$	125.4
Criolita	Na_3AlF_6	210.0
Feldespato (potasio)	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556.8
Feldespato (sosa)	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524.5
Fluoruro de calcio	CaF_2	78.1
Hidrato de aluminio	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	155.9
Nitrato sódico	$NaNO_3$	85.0
Oxido de cobalto	Co_2O_3	165.9
Oxido de arsénico	As_2O_2	197.8
Oxido bórico	B_2O_3	69.6
Oxido cálcico (cal)	CaO	56.1
Oxido de cromo	Cr_2O_3	152.0
Oxido de cobre	CuO	79.6
Oxido de hierro	FeO	71.8
Oxido férrico	Fe_2O_3	159.7
Oxido de plomo	Pb_3O_4	685.9
Oxido de magnesia	MgO	40.3
Oxido de níquel	NiO	74.7
Oxido de estaño	SnO	150.7
Oxido de zinc	ZnO	81.4
Oxido de zirconio	ZrO_2	123.0
Pedernal (cuarzo)	SiO_2	60.1

Fórmulas y Pesos Equivalentes de los Materiales Cerámicos.

Material:	Peso Equivalente		
	Oxidos básicos	O. neutros	O. ácidos
Acido bórico	-----	123.7	-----
Alúmina	-----	101.9	-----
Arcilla (caolinita)	-----	258.2	129.1
Arcilla (calcinada)	-----	222.2	111.1
Bióxido de manganeso	86.9	-----	86.9
Bióxido de titanio	-----	-----	80.1
Bórax	381.4	190.7	-----
Carbonato de amonio	114.1	-----	-----
Carbonato de bario	197.4	-----	-----
Carbonato de calcio	100.1	-----	-----
Carbonato de plomo	258.5	-----	-----
Carbonato de litio	73.9	-----	-----
Carbonato de magnesia	84.3	-----	-----
Carbonato de potasio	138.0	-----	-----
Carbonato de sodio	106.0	-----	-----
Carbonato de estroncio	147.6	-----	-----
Carbonato de zinc	125.4	-----	-----
Criolita	140.0	420.0	-----
Feldespato (potasio)	556.8	556.8	92.9
Feldespato (sosa)	524.5	524.5	87.6
Fluoruro de calcio	78.1	-----	-----
Hidrato de amonio	-----	155.9	-----
Nitrato sódico	170.0	-----	-----
Oxido arsénico	-----	197.8	-----
Oxido bórico	-----	69.6	-----
Oxido cálcico (cal)	56.1	-----	-----
Oxido de cromo	76.0	152.0	-----
Oxido de cobalto	83.0	165.9	-----
Oxido de cobre	79.6	-----	-----
Oxido de hierro	71.8	-----	-----
Oxido férrico	79.8	159.7	-----
Oxido de plomo	228.5	-----	-----
Oxido de magnesia	40.3	-----	-----
Oxido de níquel	74.7	-----	-----
Oxido de estaño	-----	-----	150.7
Oxido de zinc	81.4	-----	-----
Oxido de zirconio	123.0	-----	-----
Pedernal (cuarzo)	-----	-----	60.1

Factores para Cálculo de Oxidos.

Material:	Fórmula Química
1. Alúmina	Al_2O_3
2. Hidrato de aluminio	$Al(OH)_3$
3. Fosfato de amonio	$NH_4H_2PO_4$
4. Oxido de antimonio	Sb_2O_3
5. Oxido de arsénico	As_2O_3
6. Carbonato de bario	$BaCO_3$
7. Bórax	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
8. Bórax (anhidro)	$Na_2B_4O_7$
9. Acido bórico	H_3BO_3
10. Carbonato de calcio	$CaCO_3$
11. Hidrato de calcio	$Ca(OH)_2$
12. Fosfato de calcio	$Ca_3(PO_4)_2$
13. Oxido de cromo	Cr_2O_3
14. Arcilla (comercial)	Variable
15. Oxido de cobalto	Co_3O_4
16. Oxido de cobre	CuO
17. Fosfato de dicalcio	$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$
18. Dolomita	$CaCO_3 \cdot MgCO_3$
19. Feldespato (ortoclase)	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$
20. Feldespato (comercial)	Variable
21. Oxido de hierro (hematita)	Fe_2O_3
22. Oxido de hierro (magnetita)	Fe_3O_4
23. Caolinita	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$
24. Bisilicato de plomo	fritado
25. Monosilicato de plomo	fritado
26. Oxido de plomo (litargirio)	PbO
27. Carbonato de litio	Li_2CO_3
28. Hidróxido de litio	$LiOH$
29. Magnesia	MgO
30. Carbonato de magnesia	$MgCO_3$
31. Bióxido de manganeso (pirolusita)	MnO_2
32. Nefelina sienita	comercial
33. Oxido de níquel	NiO
34. Ceniza de perla	K_2CO_3
35. Nitrato de potasio	KNO_3
36. Fosfato de potasio (monobásico)	KH_2PO_4
37. Pirofilita	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$
38. Cuarzo (sílice)	SiO_2
39. Plomo rojo	Pb_3O_4

Factores para Cálculo de Oxidos. (Continuacion)

Material:	Fórmula Química:
40. Rutilo	TiO_2
41. Ceniza de sosa.	Na_2CO_3
42. Nitrato de sodio	$NaNO_3$
43. Aluminato de sodio	$NaAlO_2$
44. Antimoniato de sodio	$NaSbO_3$
45. Fosfato de sodio (monobásico)	$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$
46. Silicato de sodio	variable
47. Carbonato de estroncio	$SrCO_3$
48. Oxido de estaño	SnO_2
49. Titania	TiO_2
50. Fosfato de sodio	Na_3PO_4
51. Mármol	$CaCO_3$
52. Plomo blanco	$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$
53. Oxido de zinc	ZnO
54. Zirconio	$ZrSiO_4$
55. Zirconia	ZrO_2

Continda Factores para Calculo de Oxidos.

Material:	Oxidos Basicos:				Oxidos Neutros:			Oxidos Acidos:									
	Li ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	SrO	BaO	ZnO	PbO	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	SnO ₂	ZrC ₂	P ₂ C ₅
1.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1.00	--	--	--	--	--	--
2.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	.654	--	--	--	--	--	--
3.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1.00	--	--	--	--	--
5.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.	--	--	--	--	--	--	.777	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.	--	.163	--	--	--	--	--	--	--	.366	--	--	--	--	--	--	--
8.	--	.308	--	--	--	--	--	--	--	.692	--	--	--	--	--	--	--
9.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	.565	--	--	--	--	--	--	--
10.	--	--	--	--	.56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.	--	--	--	--	.757	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.	--	--	--	--	.542	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
17.	--	--	--	--	.323	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	.423
18.	--	--	--	.218	.304	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
19.	--	1.69	--	--	--	--	--	--	--	.183	--	--	.648	--	--	--	--
20.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
21.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	.395	--	--	.465	--	--	--	--
24.	--	--	--	--	--	--	--	.85	--	--	--	--	.150	--	--	--	--
25.	--	--	--	--	--	--	.65	--	--	.010	--	--	.340	--	--	--	--
26.	--	--	--	--	--	--	1.00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
27.	.405	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
28.	.625	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29.	--	--	--	1.000	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
30.	--	--	--	.476	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
31.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
32.	--	.098	.046	.001,007	--	--	--	--	--	.0237	--	--	.0604	--	--	--	--
33.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Material:	Óxidos Básicos:										Óxidos Neutros:					Óxidos Ácidos:				
	Li ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	SrO	BaO	ZnO	PbO	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	SnO ₂	ZrO ₂	P ₂ O ₅			
34.	-	.681	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
35.	-	.465	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
36.	-	.346	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.522			
37.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.283	-	.667	-	-	-	-	-			
38.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	-			
39.	-	-	-	-	-	-	-	.98	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
40.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	-			
41.	-	.585	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
42.	-	.365	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
43.	-	.378	-	-	-	-	-	-	-	.622	-	-	-	-	-	-	-			
44.	-	.161	-	-	-	-	-	-	-	-	.756	-	-	-	-	-	-			
45.	-	.225	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.514			
46.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
47.	-	-	-	-	.702	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
48.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-			
49.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-			
50.	-	.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.433			
51.	-	-	.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
52.	-	-	-	-	-	-	-	.864	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
53.	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	.672	-			
54.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.328	-	-	-	-	-			
55.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-			

Continda Factores para Calculo de Oxidos

Material:	Oxidos Especiales:	Pérdidas:
1.	-----	-----
2.	-----	.346
3	-----	.383
4.	-----	-----
5.	1.110 Sb ₂ O ₅	-----
6.	1.000 As ₂ O ₃	.223
7.	-----	.471
8.	-----	-----
9.	-----	.435
10.	-----	.440
11.	-----	-----
12.	-----	.243
13.	-----	-----
14.	1.000 Cr ₂ O ₃	-----
15.	.934 CoO	.066
16.	1.000 CuO	-----
17.	-----	.254
18.	-----	.478
19.	-----	-----
20.	-----	-----
21.	.900 FeO	.100
22.	.931 FeO	.069
23.	-----	.110
24.	-----	-----
25.	-----	-----
26.	-----	-----
27.	-----	-----
28.	-----	.595
29.	-----	.375
30.	-----	-----
31.	.816 MnO	.524
32.	-----	.184
33.	1.000 NiO	.007

Continúa Factores para Cálculo de Oxidos

Material:	Oxidos Especiales:	Pérdidas:
34.	-----	.319
35.	-----	.535
36.	-----	.132
37.	-----	.050
38.	-----	-----
39.	-----	.020
40.	-----	-----
41.	-----	.415
42.	-----	.635
43.	-----	-----
44.	.839 Sb ₂ O ₅	-----
45.	-----	.261
46.	-----	-----
47.	-----	.298
48.	-----	-----
49.	-----	-----
50.	-----	-----
51.	-----	.440
52.	-----	.136
53.	-----	-----
54.	-----	-----
55.	-----	-----

A P E N D I C E

FORMULACIONES PARA CERAMICA

FALCOS TÍPICOS

	Nueva York	California	Texas	Wyoming
SiO_2	57	52.8	58.6	62.
MgO	28.9	27.8	27.2	30.
CaO	7.8	8.6	3.0	.5
Fe_2O_3	0.3	.3	.2	1.5
Al_2O_3	0.4	0.7	0.9	0.3
Na_2O	.3	1.2	0.1	0.2
Pérdidas por ignición	4.9	8.1	9.8	5.5

BASES DE FRITA COMERCIALES
Oxidos equivalentes en la frita

Frita Núm.	CaF_2	K_2O	Na_2O	CoO	MgO	BaO	SrO	ZnO	PbO	Al_2O_3	B_2O_3	SiO_2	ZrO_2	Peso de fórmula	Coef. de exp.
FRITAS PENCIO															
P-54			0.32	0.68							0.64	1.47		191	8.9
P-67		0.12	0.19	0.69						0.37	1.16	2.17		311	7.0
P-311		0.02	0.29	0.69						0.27	0.57	2.49		311	6.7
P-786		0.09	0.09	0.58			0.24			0.19	0.36	2.80		284	7.2
P-926		0.01	0.31	0.68						0.11	0.61	1.90		225	8.4
PL-63			0.21	0.29					0.50	0.12	0.66	2.60	0.07	379	6.1
PL-83			0.28						0.72		0.56	0.90		271	8.2
PL-197		0.07	0.18	0.29				0.32	0.14	0.20	0.26	2.43		276	6.7
PL-316									1.00	0.25		1.92		364	5.9
PL-349		0.09	0.09	0.58					0.24	0.19	0.36	2.80		313	6.4
PL-545									1.00	0.11		2.16		364	6.4
PL-723			0.07						0.93	0.07		1.21		291	8.9
PL-742			0.21	0.29					0.50	0.12	0.66	2.60	0.03	363	6.1
FRITAS FERRO															
3124		0.02	0.28	0.70						0.27	0.55	2.56		279	
3134			0.32	0.68							0.63	1.47		210	
3169		0.06	0.39	0.55						0.15	0.53	2.13		243	
3185			1.00								4.43	7.27		808	
3191			0.50	0.50							1.00	2.00		249	
3193		0.06	0.42	0.52						0.30	0.62	2.46		283	
3211				1.00							1.11			133	
3223			1.00								2.00	5.00		502	
3230		0.25	0.64			0.03		0.08		0.08	0.41	1.82		213	
3256			0.07	0.45	0.12	0.11	0.06	0.19						219	
3257				0.43	0.04	0.53			0.53	0.16	0.19	2.09	0.06	267	
3417		0.07	0.10	0.31					0.72	0.12	0.69	2.72	0.75	464	
3419			0.28						0.57		0.57	0.89		276	
3300		0.06	0.03	0.27	0.08	0.08		0.27	0.21	0.19		1.34		207	
3304			0.07						0.93	0.15		2.61		384	
3386		0.02	0.08						0.90	0.13	1.77	4.42		499	
3396			0.50						0.50		1.00	2.00		332	
3403		0.04	0.02						0.94	0.07		1.45		309	
3435		0.04	0.22	0.39					0.35	0.07	0.71	2.14		295	
3457			0.23	0.35					0.62	0.53		1.74		337	
FRITAS O. HOMMEL															
291		0.26	0.32	0.60					0.05	0.05	0.31	1.98		213	
244			0.62	0.31					0.08		0.78	2.34		268	
788		0.83	0.77						0.15	0.16	0.79	4.48		429	
126		0.17	0.20	0.38					0.40	0.27	0.37	2.15		308	
22				0.47					0.53		0.98	2.88		385	
235			0.84	0.30					0.52	0.13	0.68	2.72	0.07	197	
245			0.84	0.21				0.26	0.44	0.14	0.29	1.40		251	
240			0.28						0.72		0.56	0.90		271	
15				0.30					0.70		0.39	0.41		227	
243		0.34	0.03						0.94	0.07		1.23		295	
242			0.33	0.67							0.65	1.48		192	
69	0.10	0.14	0.15	0.22		0.11		0.41		0.02	0.29	1.36	0.17	205	
285		0.11	0.90						0.21	0.94	2.72			315	
90		0.02	0.29	0.69					0.28	0.56	2.60			284	
40		0.25	0.75						0.42	1.26	2.67			351	
253		0.29	0.30			0.41			0.31	0.69	1.99			310	
267		0.13	0.31	0.56					0.29	1.24	2.05			301	
266			0.33	0.68					0.32	1.10	1.31			245	
249			0.05	0.35		0.40		0.20		0.02	0.48	1.55		228	
313			0.20	0.61					0.20	0.86	1.54			262	

Barnices Crudos de Plomo (1)

Materia Prima	Brillante	Copaco	Mate
Plomo blanco	49 g	18 g	72 g
Carb. cal. (gruda)	10		9
Feldespatososa	18		28
Caolin plást. 1 dgar	5	5	5
Caolin calcinado	3	6	4
Pedernal	15	20	2
Oxido de estaño		12	
Oxido de zinc		2	
Agua	150c. c.	125c. c.	125 cc.
Molienda en mol. $\frac{1}{2}$ lt.	15min.	15min.	15min.
Grav. esp. papilla ₂	1.4	1.5	1.5
Aplicación. c.c./cm ²	0.1	0.2	0.2

(1) Quemada al cono 08-04 (950-1050°C)

Barnices de Porcelana

Materia Prima	Cono 8-9 (1225-1250°C)		Cono 16 (1450°C)	
	Carb. cal (gruda)	18 g	23 g	17 g
Feldespat. potasa	43	55	17	14
Caolin plást. 1 dgar	8	9	11	4
Caolin calcinado	9	7	9	
Pedernal	22		49	50
Hidróxido de aluminio		6	7	26
Agua	125 c. c.	125 c. c.	125 c. c.	125c. c.
Molienda en mol. 1 lt.	1 h	1 h	1 h	1 h
Grav. esp. papilla ₂	1.5	1.5	1.5	1.5
Aplicación c.c./cm ²	0.1	0.2	0.1	0.2

Composiciones para Vidrios

Tipos de Vidrios

Constituyentes	Ventana	Envase	Fibra Textil	Pedernal ligero	Pedernal pesado	Opalo	Vidrio de Telemetro.
SiO ₂	72.1	72.5	54	67.4	46.1	65.8	67.5
B ₂ O ₃			10				2.0
Al ₂ O ₃	1.1	1.9	14	1.7	.1	6.6	2.5
Fe ₂ O ₃	.2	.1					
As ₂ O ₃					.4		
ZnO				3.9			7.0
CaO	10.2	9.8	17.5	.4	.1	10.1	7.0
MgO	2.6	.1	4.5				
BaO		.7					
PbO				10.7	45.1		
K ₂ O		.8		.1	6.8	9.6	
Na ₂ O	13.6	13.7		15.	1.7	3.8	14.0
SO ₃					0.1		
F ₂						5.3	

Otros tipos de Vidrios

Constituyentes	Vidrio "E"	Vidrio "F"	vidrio "C"	Astrosil	Astrocuarzo
SiO ₂	52-60	64 - 66	60 - 65	99.2	99.5
CaO	16- 25		7 - 10		
Al ₂ O ₃	12-10	24.26	2 - 6	0.2 - 4.5	
B ₂ O ₃	8-13		2 - 7	.1 - 0.5	
K, Na ₂ O	0-1		8 - 12		
MgO	0-6	9-11	7 -10		

Composiciones típicas de vidrios "Pyrex"

Tipos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	K ₂ O	Li ₂ O	B ₂ O ₃	Na ₂ O
7740	81	2		0.5		3	4 (a)
7280	71	1	15	0.5	1		11 (a)
7913	96	0.5				3	(a)
0331	66	20.0					9 (b) (a)

(a) F, CL, SO₄, Al y Sb pueden estar presentes en el rango de .05 - .5

(b) Na₂O esta contenido principalmente en la superficie.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Enciclopedia de Tecnología Química
Raymond E. Kirk & Donald F. Othmer
Tomo IV - 1ª Edición Español
Unión tipográfica Editorial Hispanoamericana
UTEHA. México, 1962

- (2) Cerámica para el Artista Alfarero
F. H. Norton
1ª Edición Español
Compañía Editorial Continental S. A. México

- (3) Tecnología Química
Dr. Karl Winnacker & Dr. Ernest Weingaertner
Tomo II - Volumen: Química Ind. Inorgánica
Editorial Gustavo Gili, Barcelona.

- (4) Cerámica Informazione
Note di Chimica Ceramica
Abril- 1976, No. 116 (pág 197)
G. Aiazzi
Ed. Faenza - Italia

- (5) Ceramic Data Book
Handbook Engineering, 1976

- (6) Diccionario Enciclopédico Quillet
Tomo VIII
Editorial Argentina, Arfstides - Quillet, S. A.
Buenos Aires

- (7) Industrias de Proceso Químico
R. Norris Sherve
Ed. Dossat, S. A. , Madrid.

BIBLIOGRAFIA
(continuación)

- (8) Chemical Engineering Handbook
3^a Edición
John H. Perry
Ed. Mc Graw-Hill Book Co. , New York
- (9) Fluid Mechanics
Fifth Edition
Victor L. Streeter
Mc Graw-Hill Kogakusha, Id. Tokyo
- (10) Boletín de Ferro-Mexicana S. A. de C. V. , 1976

