

2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

FABRICACION DE RECUBRIMIENTOS VITREOS
FRITAS Y ESMALTES CERAMICOS.

REPORTE POR EXPERIENCIA PROFESIONAL
QUE COMO UNO DE LOS REQUISITO
Para obtener el Título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a:

C. MARCO ANTONIO RAMIREZ VELA

Asesor: I.Q. José Benjamin Rangel Granados

277958



México, D. F., 1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



GOBIERNO NACIONAL
SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/003/99

ASUNTO: Asignación de Jurado

C. MARCO ANTONIO RAMÍREZ VELA
Presente

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

Presidente: I.Q. Alejandro Rogel Ramírez
Vocal: M. en C. Roberto Mendoza Serna
Secretario: I.Q. José Benjamín Rangel Granados
Suplente: Q.F.I. Ma. Del Carmen Niño de Rivera O.
Suplente: I.Q. Flora Antor Hernández

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F., 21 de Enero de 1999

EL JEFE DE LA CARRERA

I.Q. ARTURO E. MÉNDEZ GUTIÉRREZ

DEDICATORIA

A MI ESPOSA ,

XOCHITL, POR SU AMOR, ALIENTO Y APOYO INCONDICIONAL PARA
CULMINAR ESTE TRABAJO...

A MIS HIJOS,

ENRIQUE URIEL, KAREN MONTSERRAT Y KARLA BERENICE, QUIENES SON
MI INSPIRACION PARA SEGUIR ADELANTE...

A MIS PADRES,

COMO UNA MUESTRA DE GRATITUD A SU EJEMPLO Y PERSEVERANCIA,
ASI COMO LAS ATENCIONES Y CUIDADOS QUE TUVIERON PARA
CONMIGO...

A MIS HERMANOS,

JOSE GUADALUPE , ROBERTO, JULIETA, RAFAEL, MA. JUANA, OMAR Y
KARINA

... MUCHAS GRACIAS...

MI MAS SINCERO AGRADECIMIENTO AL ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS POR SU VALIOSA COOPERACION PARA CONCRETAR ESTE TRABAJO, ASI COMO A LAS PERSONAS QUE DEDICARON SU TIEMPO PARA LA REVISION DEL MISMO, EL CUAL SE VIO ENRIQUECIDO CON SUS COMENTARIOS.

CONTENIDO

CAPITULO	DESCRIPCION	PAGINA
	RESUMEN	1
	OBJETIVOS	2
	INTRODUCCION	3
1	IMPORTANCIA DEL USO DE RECUBRIMIENTOS CERAMICOS	6
2	CLASIFICACION DE LA INDUSTRIA CERAMICA	9
3	MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LA FABRICACION DE RECUBRIMIENTOS CERAMICOS	14
4	CALCULO EN FRITAS Y ESMALTES CERAMICOS	40
5	FABRICACION DE FRITAS	53
6	FABRICACION DE ESMALTES	80
7	PROPIEDADES DEL ESMALTE CERAMICO	102
	CONCLUSIONES	117
	RECOMENDACIONES	119
	APENDICES	121
	GLOSARIO	124
	BIBLIOGRAFIA	129

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el tema "FABRICACION DE RECUBRIMIENTOS VITREOS, FRITAS Y ESMALTES CERAMICOS", es importante aclarar que no se trata de una revisión bibliográfica, ya que lo indicado a lo largo del reporte constituye un resumen de la experiencia vivida durante ocho años de trabajo en una planta fabricante de fritas y esmaltes cerámicos

Así podemos encontrar referencias bibliográficas que soportan éste reporte, con fechas de edición atrasadas pero que actualmente constituyen el marco de referencia en que se sustenta el desempeño de la cerámica actual, existen dos obras clásicas para la gente que a nivel industrial se desempeña en la fabricación de las fritas y esmaltes cerámicos estas son las obras de los autores Singer & Singer (Cerámica Industrial) y la de I. A Andrews (Enamels)

Inicialmente se da una semblanza en términos generales del papel que desempeña el ingeniero químico en este sector de la industria, posteriormente se enmarca la importancia que tienen los recubrimientos cerámicos, así como la clasificación actual de la cerámica, la cual abarca desde la cerámica tradicional hasta la cerámica avanzada

Se resumen las principales materias primas empleadas en este sector para la fabricación de fritas y esmaltes cerámicos, también se hace referencia a los cálculos que se aplican en el diseño de dichos materiales

Se describen los métodos de fabricación de fritas y esmaltes cerámicos, asociando a ellos el control de calidad que se aplica para aprobar o rechazar los lotes fabricados

Por último se discuten las propiedades que deben tener estos materiales para su uso final

OBJETIVOS

- 1.- Estructurar un reporte que refleje la experiencia adquirida a lo largo de 8 años de trabajo en una planta manufacturera de fritas y esmaltes cerámicos
- 2 - Establecer la importancia que tiene el uso de materiales cerámicos en la vida cotidiana del género humano
- 3 - Describir las materias primas de origen mineral o químico que se emplean en la industria cerámica
- 4 - Describir el proceso de fabricación de las fritas y esmaltes cerámicos, indicando factores de relevancia, observados a través de la experiencia lograda durante el manejo de los procesos de fabricación.
- 5.- Indicar las propiedades más importantes que deben cubrir las fritas y esmaltes cerámicos en cuestiones de calidad, dependiendo del uso al que se destinan.
- 6.- Identificar áreas de oportunidad en las que sea factible realizar mejoras en el proceso de fabricación de fritas y esmaltes cerámicos.

INTRODUCCION

El ingeniero químico tiene una amplia gama de posibilidades para desempeñarse en cualquier rama del ámbito profesional, esta puede ir desde la docencia, la investigación, el trabajo en firmas de ingeniería hasta la colaboración en plantas de transformación.

En este último sector el profesionista en ingeniería química se enfrenta a grandes retos, inmerso en una serie de problemas que en el mayor número de veces se relacionan con el uso de paquetes de tecnología obsoleta, con plantas de proceso que aun después de su depreciación siguen generando bienes de consumo, sin una adecuada inversión en la renovación de la tecnología.

En la industria del vidrio existe un sector específico, la industria cerámica, en ella el profesionista en ingeniería química encuentra una industria muy interesante, en la que para lograr formar parte de la misma lo obliga a estudiar todos los elementos necesarios para aportar un valor agregado a las actividades que desempeñe dentro de ella.

En México actualmente no se preparan profesionistas para que al egresar de las universidades o escuelas tecnológicas, se integren con amplios conocimientos al trabajo en plantas cerámicas. Las empresas que se mueven en este giro preparan a su personal colaborador, capacitándolo con el trabajo directo en campo

Cabe destacar que los profesionistas que presentan el mejor perfil para destacar en este ramo son los ingenieros químicos, ya que tienen la ventaja de poseer conocimientos diversos tanto en química, operaciones unitarias, costos, etc

En la actualidad aun se sigue asociando a la cerámica como una actividad artesanal, más que industrial, pero aun cuando esta apreciación prevalece, cabe señalar que detrás de la fabricación de una loseta cerámica, una vajilla, una estufa

y otras tantas aplicaciones que se le pueden dar a los recubrimientos cerámicos, se asigna en todas sus etapas de fabricación un valor agregado, respaldado éste por acciones ingenieriles, en las que el ingeniero químico tiene un papel muy importante

En la actualidad los materiales cerámicos cobran cada vez mayor importancia en el desarrollo y bienestar de la humanidad, su empleo ha estado ligado a ella desde que con ayuda del fuego se dio cuenta que ciertos materiales eran susceptibles de ser transformados para darle uso en beneficio propio

Este trabajo intenta dar un panorama de la fabricación de un tipo específico de materiales cerámicos, las fritas y esmaltes cerámicos, los cuales son empleados como materia prima en la industria de fabricación de losetas cerámicas y en la de la industria cerámica artística.

En el capítulo 1, se efectúa una breve revisión de la importancia que tienen los recubrimientos vítreos, haciendo énfasis en el sector que nos toca analizar.

El capítulo 2 reseña la clasificación industrial que presenta actualmente la industria cerámica en general, así como una correlación entre las funciones, propiedades y aplicaciones al que se destinan los diversos materiales cerámicos

En el capítulo 3, se efectúa una revisión de las principales materias primas empleadas en la fabricación de las fritas y esmaltes cerámicos, se da una semblanza de las principales variables a considerar cuando se selecciona alguna materia prima, se establece una clasificación de las materias primas en función del papel que juegan dentro de la formación del vidriado.

El capítulo 4 brinda los conceptos básicos empleados en el cálculo de fórmulas para la fabricación de fritas y esmaltes, se revisan las diferentes formas de expresar las composiciones para una fórmula de un material cerámico.

El capítulo 5 entra en materia, exponiendo la descripción del proceso de fabricación de las fritas, se detallan los dos procesos que actualmente se emplean en una fábrica manufacturera de fritas, a saber los dos procesos son el llamado "roller quench" y el "water quench", en esencia la diferencia más fuerte radica en el proceso de enfriamiento de la frita fundida, como se verá en detalle

En el capítulo 6 se efectúa la descripción de proceso de fabricación de los esmaltes cerámicos, se revisan las dos vías que actualmente se tienen a nivel industrial para su elaboración, en este caso hablamos de los procesos por vía seca y por vía húmeda

En el capítulo 7 se efectúa una revisión de las propiedades finales que deben poseer los esmaltes cerámicos en su uso final, las propiedades a revisar incluyen las mecánicas, térmicas, ópticas y químicas.

Se emiten las conclusiones que se desprenden del presente trabajo, las cuales se basan principalmente en la experiencia lograda por el desempeño durante varios años en este sector

Finalmente se mencionan algunas recomendaciones encaminadas a puntualizar las áreas de oportunidad que se tienen en el proceso de fabricación de las fritas y esmaltes cerámicos

Por último se encuentra la sección de apéndices en los que se muestra información de carácter técnico, de relevante importancia sobre todo para el cálculo de fórmula de fritas y esmaltes cerámicos, así como la bibliografía que sustenta el presente reporte.

CAPITULO 1

IMPORTANCIA DEL USO DE RECUBRIMIENTOS CERAMICOS

El hombre se ha preocupado por dar comodidad al medio que lo rodea, de la misma forma busca que los elementos que le dan bienestar y confort sean durables, estético e higiénico.

El presente trabajo nos ocupara de la fabricación de recubrimientos vítreos, los cuales se emplean para fabricar elementos tales como los recubrimientos para piso y muro, vajillas cerámicas, estufas, refrigeradores, cerámica ornamental y otros tantos enseres

La higiene del ambiente en que vivimos interviene de un modo notable para salvaguardar nuestra salud, por esto los elementos que lo forman deben poseer además de las características físicas necesarias, la estética y aquellas propiedades que hacen posible una limpieza más fácil y eficiente

Es de todos conocido que microbios, virus y bacterias pueden anidar en la suciedad que permanece en la superficie principalmente en superficies porosas o rugosa. por esto las superficies de los revestimientos no solo deben ofrecer escasa porosidad y rugosidad, sino que deben resistir las acciones químicas o físicas que favorecen el aumento de la porosidad y rugosidad.

Desde el punto de vista de la higiene, los recubrimientos para piso y muro bien utilizados presentan buenas características en cuanto a la facilidad de limpieza y resistencia a los agentes químicos lo que los hacen ser uno de los materiales más adecuados para estas exigencias.

En particular es aconsejable la utilización de pisos de alto grado de gresificación en vez de pisos esmaltados para aplicaciones tan específicas como la

pavimentación de ambientes industriales y recubrimientos para muro , sin decoración alguna, si es que estos son susceptibles de estar en contacto con soluciones ácidas o alcalinas.

Con pisos cerámicos en general no se presentan problemas cuando se usan en viviendas, oficinas, hoteles, e incluso en laboratorios, en los que los compuestos de limpieza particularmente agresivos se utilizan con moderación.

Los esmaltes cerámicos cumplen con las exigencias técnicas y estéticas, combinando factores tales como color, brillo, opacidad y textura, con otros como resistencia química, impermeabilidad, dureza y durabilidad. Estas propiedades se consiguen mediante una relación directa del diseño de la pieza y la obtención de una fórmula del esmalte adecuada.

Las exigencias en cuanto a las propiedades técnicas del esmalte, son mayores en pisos donde la resistencia al desgaste y la inalterabilidad por los agentes químicos es una constante en la mayoría de los productos.

En lo que respecta a los enseres que se usan para contener alimentos, aplica la misma consideración que se realizó para los pisos, es decir las superficies completamente lisas, libres de poros o rugosidades, ayudan a que con adecuados métodos de limpieza se tengan condiciones higiénicas para cuando estos se destinan a contener alimentos, resalta también la gran importancia que tienen la durabilidad y los diseños estéticos que se pueden lograr con las fritas y esmaltes cerámicos.

Este tan solo es un sector en el que se aplican los recubrimientos vítreos, pero no se limita, ya que existen actualmente una gran variedad de usos, los cuales quedan fuera del alcance del presente reporte.

Otra derivación de los esmaltes vítreos lo constituyen los esmaltes porcelanizados, los cuales emplean como soporte metal en lugar de una mezcla de arcillas, barros y talcos que se usan en la industria cerámica, este tema es muy amplio para tratarse en este reporte, pero básicamente se rige por los mismos principios de fabricación de la fritas y esmaltes

La importancia más sustancial estriba en que los esmaltes para porcelanizado contienen en su formulación una gran cantidad de metales, los cuales ayudan a crear la interfase de unión entre la parte vidriada y el soporte metálico que puede ser de aluminio o de acero al carbón.

El principal uso para las fritas y esmaltes de porcelanizado se tiene en la fabricación de estufas refrigeradores y calentadores, todo esto a nivel domestico, en tanto que a nivel industrial se emplean para recubrir algunos equipos de proceso, evitando con esto la corrosión y alargando la vida útil de los equipos, tales como intercambiadores de calor, reactores o recipientes que contengan sustancias químicas muy corrosivas.

CAPITULO 2

CLASIFICACION DE LA INDUSTRIA CERAMICA

2.1 CLASIFICACION INDUSTRIAL

En la actualidad podemos clasificar a la industria cerámica en siete grandes sectores la industria del vidrio y materiales ópticos, la de arcillas estructurales, la de cerámica blanca o sanitaria, la de recubrimientos , la de refractarios, la de fabricación de cementos y la de cerámica avanzada.

En la industria del vidrio y materiales ópticos encontramos a aquellos manufactureros que elaboran el vidrio plano empleado en las ventanas de las casas habitación, las que fabrican los cristales para los automóviles, las que fabrican los recipientes de vidrio, cristales emplomados, así como los que fabrican la llamada fibra de vidrio etc..

En la clasificación de arcillas estructurales caen todas las industrias que proveen las materias primas de origen mineral tal como las arcillas, feldespatos, sílice, etc También las fabricantes de todo tipo de ladrillos estructurales.

La industria que fabrica las vajillas, la llamada porcelana china, los muebles sanitarios se llama cerámica blanca o sanitaria

La industria de los recubrimientos se divide en la cerámica y la de porcelanizado, en la primera podemos encontrar todas aquellas industrias que fabrican las llamadas losetas cerámicas, ya sean para recubrir pisos o paredes, en la segunda se ubican las que fabrican los enseres domésticos tales como estufas, refrigeradores, etc., y algunos equipos de proceso que llevan un recubrimiento de vidrio

La industria de los refractarios es de gran importancia ya que este tipo de industria provee todos los materiales estructurales necesarios que ayudan en la fabricación de los recubrimientos, vidrio en cualquiera de sus modalidades y losetas cerámicas así como muebles sanitarios

La industria de los cementos, tiene su participación en la industria de la construcción suministrando los materiales que mezclados usualmente con agua exhiben propiedades adhesivas, necesarias para armar estructuras junto con los ladrillos. Para el caso de las industrias que fabrican recubrimientos cerámicos y las que poseen hornos que trabaja a temperaturas altísimas, proveen de una serie de cementos especiales que soportan a las mismas.

Por último la industria de la cerámica avanzada, en esta aun se están estudiando una infinidad de aplicaciones que pueden tener los materiales cerámicos entre los más destacados figuran la fabricación de superconductores cerámicos, la fabricación de huesos que pueden sustituir las partes dañadas en los humanos, también la fabricación de transistores cada vez más potentes, etc..

2.2 CORRELACION DE LAS FUNCIONES, PROPIEDADES Y APLICACIONES DE LOS MATERIALES CERAMICOS

Los componentes y productos cerámicos efectúan innumerables funciones, debido a que presentan muchas propiedades interesantes. Dichas propiedades son características de los materiales cerámicos y estas se ven grandemente influenciadas por la materia prima elegida así como el proceso empleado en su fabricación.

Los materiales cerámicos y vidrios tradicionalmente poseen cualidades de dureza, resistencia al calor, al agua y a los compuestos químicos. Funcionan bien en

aplicaciones tan variadas como la fabricación de sanitarios, losetas cerámicas, y en aplicaciones de la industria de la construcción, etc.,

Los materiales cerámicos avanzados poseen las mismas propiedades y otras más que los hace útiles en las siguientes aplicaciones, eléctrica, magnética, mecánica, óptica, nuclear, biológica, y química. A continuación se incluye la relación que guardan los materiales cerámicos con su función, propiedades y aplicación final.

FUNCIÓN	PROPIEDADES	APLICACIÓN
Ornamental y estética	Durabilidad Resistencia al uso	Alfarería Arquitectura Ornamental Joyería
Estructural	Dureza Durabilidad Transparencia Resistencia al agua	Losetas para piso, muros y techos Ladrillos Tuberías sanitarias Vidrios para ventanas
Hogar	Durabilidad Dureza Transparencia	Losa Utensilios para cocinar Usos sanitarios cementos Vasos y botellas
Térmica	Resistencia a choques eléctricos Aislante Resistencia a la -	Componentes de maquinas Hornos industriales Recubrimientos para intercambiadores de calor

FUNCION	PROPIEDADES	APLICACIÓN
	deformación bajo carga	Partes electrónicas
Mecánica	Alta resistencia Resistencia al uso	Componentes de motores Herramientas para cortar Equipo para deporte Implante de huesos Partes de uso industrial
Eléctrica y magnética	Superconductores	Electrodos para baterías Cables para transmisión de potencia Aparatos médicos
	Semiconductores	Sensores de temperatura y combustible para automóviles
	Dieléctricos	Bases de circuitos integrados capacitores
	Piezoeléctricos	Sensores de presión Encendedores de parrillas
	Magnéticas	Cintas de audio Imanes de motores
Opticas	Bajo índice de refracción Transparencia Luminiscencia	Fibras ópticas para comunicaciones Misiles Aparatos electro-opticos Tubo de rayos catódicos Pantallas Láser infrarrojo
Nuclear	Resistencia a la	Combustibles nucleares

FUNCION	PROPIEDADES	APLICACIÓN
	<p>radiación</p> <p>Alta resistencia a la temperatura</p>	<p>Revestimiento y blindaje de materiales nucleares</p>
<p>Biológica y química</p>	<p>Compatibilidad biológica</p> <p>resistencia a la corrosión</p>	<p>Dientes y huesos artificiales</p> <p>Convertidores catalíticos para automóviles</p> <p>Intercambiadores de calor</p>

CAPITULO 3

MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LA FABRICACION DE RECUBRIMIENTOS VITREOS

3.1 INTRODUCCION

En la mayoría de los productos cerámicos, los soportes se recubren de una capa vítrea que genéricamente se denomina "vidriado", el cual tiene como función cubrir el material con una capa uniforme e impermeable, realzar su función estética o decorativa y adaptarlo a sus necesidades de uso, como por ejemplo, ser resistente al rayado, fácilmente lavable, resistir a la acción de productos químicos etc..

Los vidrios son aluminosilicatos fundidos que pueden tener, o no, formas cristalinas en suspensión. Frecuentemente surge confusión en los conceptos de vidrio y cristal, por lo cual estableceremos la diferencia básica entre ambos.

Los vidrios y por extensión los vidriados son sustancias amorfas, formados por fusión y posterior enfriamiento de silicatos, en su estructura se pueden distinguir unidades básicas de ordenación tetraédrica de Si-O, enlazadas, formando estructuras desordenadas.

Los cristales y por ende los compuestos cristalinos son sustancias en cuya estructura las unidades básicas de ordenación se disponen en forma regular en módulos que se repiten sucesivamente en las tres direcciones del espacio.

La capa vítrea que cubre el soporte tiene en realidad la estructura de un líquido subenfriado que puede tener partículas cristalinas en suspensión. El esmalte, por tanto, se puede considerar formado por vidrio, cristales y en ocasiones solo por vidrio.

ESMALTE = VIDRIO + CRISTALES

Existen una serie de factores determinantes de la composición del vidriado que se deben tener en cuenta a la hora de la elección de las materias primas como son

- a) Capacidad para formar una mezcla que pueda dar por fusión un vidriado homogéneo a una temperatura dada.
- b) Interacción adecuada con el soporte.
- c) Los coeficientes de dilatación de soporte y vidriado deben ser mutuamente compatibles a fin de evitar defectos debidos a fuerzas de tensión o compresión entre ambos.
- d) La composición del vidriado debe ajustarse a la consecución de las propiedades deseadas

I. CRITERIOS DE ELECCION DE MATERIAS PRIMAS

A la hora de formular un vidriado, ya sea un esmalte o una frit, es de vital importancia la adecuada elección de la materias primas que lo van a componer. Es importante conocer cuales son las principales características de cada materia prima (composición, impurezas etc) así como la disponibilidad, precio o toxicidad que van a limitar su uso.

Hay que tomar en cuenta que cada materia prima puede caracterizarse en función de una serie de parámetros susceptibles de ser medidos, y que por tanto cuando se dice que un esmalte lleva cuarzo en su fórmula de carga hay que considerar que en el mercado existen muchos tipos de cuarzo, por ejemplo, de composición, impurezas, estructura cristalina o amorfa o distribución granulométrica, por lo que se hace necesario caracterizar cada materia prima antes de incluirla en la fórmula

de carga de una composición, los parámetros para caracterizar a una materia prima son :

- composición química
- composición mineralógica
- impurezas
- distribución del tamaño de partícula
- superficie específica
- solubilidad en agua
- toxicidad (en el proceso de fabricación o en producto acabado)
- comportamiento durante su almacenamiento
- disponibilidad
- precio

3.2.1. COMPOSICION QUIMICA, COMPOSICION MINERALOGICA E IMPUREZAS

En ocasiones al emplear una determinada materia prima será importante conocer su grado de pureza mientras que otras veces este factor no tendrá tanta importancia siendo relevante , en cambio, el tipo de impurezas que contenga.

Como ejemplo se muestran varios análisis químicos de caolines comerciales tanto de importación como locales, en los cuales se aprecian variaciones en los contenidos de cuarzo y alúmina. Estas composiciones se pueden comparar con la composición teórica de un caolín, es decir una muestra de caolinita al 100 %

TABLA 3.1
ANALISIS QUIMICO DE CAOLINES COMERCIALES

	CAOLIN EPK	SILAL 300	TEORICO
SiO ₂	60.00	51.4	46.6
Al ₂ O ₃	28.00	34.5	39.5
Fe ₂ O ₃	0.30	0.065	-
TiO ₂	0.30	0.03	-
MgO	0.12	0.17	-
CaO	0.10	0.02	-
K ₂ O	1.65	1.20	-
Na ₂ O	0.10	0.10	-
P.C.	8.62	11.9	13.9

Las impurezas más habituales presentes en los caolines son los óxidos de hierro, titanio, magnesio, calcio, potasio y sodio, de los cuales solo los dos primeros afectan la blancura del caolín. Otro contaminante que afecta de manera significativa la calidad de las fritas y esmaltes, es el hierro metálico, el cual está presente en mayor o menor grado en toda materia prima de origen mineral, debido a que durante su procesamiento, la maquinaria se desgasta y adiciona este contaminante, el cual constituye un serio problema en la elaboración de fritas y esmaltes.

3.2.2. DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE PARTICULA Y SUPERFICIE ESPECIFICA

Las reacciones que tienen lugar entre las diferentes materias primas que componen el esmalte o frita para formar la estructura final son reacciones sólido/sólido, donde la superficie de contacto juega un importante papel en la cinética de reacción, es decir a mayor superficie específica (m²/g) y por lo tanto mayor superficie de contacto entre las partículas, mayor reactividad.

En materiales como los opacificantes, el grado de efectividad es una función directa de la superficie específica, la opacidad se incrementa en relación directa con la superficie específica

3.2.3. SOLUBILIDAD EN AGUA

Gran parte de las materias primas para vidriados disponibles en el mercado son solubles en agua lo que las incapacita para el uso ya que actualmente el método de aplicación más usado es por vía húmeda (esmalte en suspensión).

Cuando una materia prima es soluble en agua se introduce en la composición del esmalte en forma fritada, es decir es sometida a un tratamiento previo consistente en fundirla con sílice, alúmina y/o compuestos borácicos, formando así silicatos, aluminosilicatos o borosilicatos de estructura vítrea, insolubles en agua, a las cuales se les conoce como fritas.

En realidad no existe ninguna sustancia que sea totalmente insoluble en ningún disolvente, para efectos prácticos en cerámica, se considerará soluble a aquella sustancia cuya solubilidad sea por lo menos 10 gramos de soluto por litro de disolvente.

Ejemplos de materias primas para vidriados que son solubles en agua : carbonatos alcalinos (excepto de litio), hidróxidos alcalinos, casi todos los nitratos y cloratos, casi todas las sales de amonio, compuestos borácicos (bórax y ácido bórico).

Por otro lado como ejemplo de materias primas insolubles tenemos casi todos los hidróxidos exceptuando los alcalinos, casi todos los carbonatos y fosfatos excluyendo los alcalinos, feldespatos, caolines, alúmina, cuarzo, etc..

3.3. FUENTES DE MATERIAS PRIMAS

Para efectos de mayor simplicidad, vamos a clasificar las materias primas comúnmente utilizadas en la fabricación de fritas o esmaltes, de acuerdo con los óxidos que introducen en el vidriado.

3.3.1. MATERIAS PRIMAS QUE INTRODUCEN FORMADORES DE VIDRIO

Revisaremos en este grupo aquellos compuestos que introducen óxido de silicio y óxido de boro en la composición del vidriado.

3.3.1.1. MATERIAS PRIMAS QUE INTRODUCEN SiO_2 .

Se pueden utilizar arenas cuarcíferas, cuarzo, arcillas silicatos como feldespatos, caolines, wallastonita, talco, etc. las arenas tienen granulometrías más gruesas y generalmente menor contenido en cuarzo, y por tanto mayor contenido en impurezas. Es obvio que la calidad de las arenas usadas en la industria de la cerámica viene determinada por su composición y granulometría, y esta última tiene una gran importancia en las utilizadas como aporte de cuarzo en la operación de fritado ya que condiciona el rendimiento económico de este proceso.

El color de las arenas puede considerarse como indicativo de su pureza. las arenas blancas con una granulometría adecuada son las más indicadas para el proceso de fritado. La granulometría más funcional usada actualmente es la de un retenido sobre malla 200 de 5 % máximo, de hecho se busca que todas las

materias primas presenten esta distribución de tamaño de partícula para evitar problemas de segregación durante el mezclado, por otro lado ayuda a evitar que durante su manejo se generen demasiada polución, situación que se agrava cuando se usan finuras de malla 325.

El color de las arenas pueden considerarse como indicativo de su pureza, las arenas blancas con una granulometría adecuada, son las más indicadas para el proceso de fritado, algunas otras arenas sin embargo, pueden presentar cierta coloración y tras la calcinación ser blancas o amarillentas, esto puede deberse a la presencia de materia orgánica que desaparece después de la cocción. En la tabla 3.2 podemos apreciar algunos análisis químicos de arenas cuarcíferas comerciales en México.

TABLA 3.2 ANÁLISIS QUÍMICO DE ARENAS CUARCÍFERAS COMERCIALES EN MÉXICO		
	MPM MONTERREY	MAPRINSA
SiO ₂	99.4	98.0
Al ₂ O ₃	0.3	1.0
Fe ₂ O ₃	0.1	0.5
P. C.	0.2	0.5

A continuación se listan las funciones que tiene el bióxido de silicio (SiO₂), a saber

- Es un formador de vidrio
- Regula la temperatura de maduración.
- Confiere a los vidriados una viscosidad elevada.
- Mejora la resistencia química y mecánica.
- Cuando forma parte de la estructura del silicato (vidrio), disminuye el coeficiente de dilatación mientras que sin integrarse en el silicato fundido, en otras palabras como sílice cristalina lo aumenta.

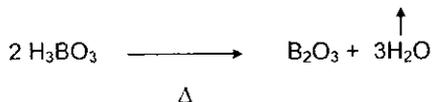
3.3.1.2. MATERIAS PRIMAS QUE INTRODUCEN B₂O₃

Las materias primas más comunes que introducen boro son ácido bórico (H₃BO₃), bórax, en sus tres presentaciones, Anhidro, pentahidratado y decahidratado (B₄O₇Na₂.nH₂O) y colemanita (3B₂O₃ 2CaO.5H₂O).

„) ACIDO BORICO

Es un material sólido y estable a temperatura ambiente, aunque debe preservarse de la humedad, es soluble en agua por lo que debe introducirse al vidriado en forma fritada, su solubilidad se incrementa con la temperatura.

Básicamente se utiliza como materia prima en el fritado cuando queremos introducir exclusivamente boro, aunque hay que tener en cuenta que existen dos fuentes uno que es deshidratado en el cual puede considerarse que el 100 % agregado a la formulación se retiene en el vidriado, en tanto que si se utiliza el ácido bórico normal (hidratado), solo se retendrá en el vidriado un 56.2 % de la cantidad agregada ya que el resto evoluciona como agua acorde a la siguiente reacción



Este material funde a 325 °C y fluye a los 500 °C, la pérdida de agua comienza a los 185 °C.

b) BORAX

Dependiendo de la hidratación introduce en el vidriado, el boro en las siguientes proporciones

ANHIDRO	$B_4O_7Na_2$	69.2 % DE B_2O_3
PENTAHIDRATADO	$B_4O_7Na_2 \cdot 5H_2O$	47.8 % DE B_2O_3
DECAHIDRATADO	$B_4O_7Na_2 \cdot 10H_2O$	36.5 % DE B_2O_3

El bórax también es soluble en agua por lo que su introducción es a través del fritado, la solubilidad al igual que el ácido bórico incrementa de gran manera con la temperatura.

c) COLEMANITA

Es poco soluble en agua por lo que en ocasiones se adiciona como aditivo en la molienda de esmaltes, la deshidratación de este material es muy violenta con la temperatura y funde a los 900 °C.

A continuación se resumen las funciones del B_2O_3 en el vidriado:

- Es un elemento formador de vidrio
- Es fundente iniciador de la fusión
- *Aumenta el brillo*
- Disminuye la tensión superficial lo que facilita la eliminación de burbujas durante la cocción
- Solubiliza fácilmente los óxidos colorantes

- Es el único óxido que, ejerciendo una acción fundente disminuye el coeficiente de dilatación
- Aumenta el índice de refracción
- Limita la cristalización (desvitricificación) del vidriado
- En elevada proporción presenta opalescencia

3.3.1.3. OTROS ELEMENTOS FORMADORES DE VIDRIO

Adicionalmente al bióxido de silicio y al óxido de boro existen otros elementos que son capaces de formar vidrio, entre ellos se encuentran los siguientes, GeO_2 , P_2O_5 , As_2O_5 , Sb_2O_5 , V_2O_5 , Nb_2O_5 y el Ta_2O_5 , por diversas circunstancias hasta el momento existen una serie de factores que limitan su uso en gran escala, ya que algunos de ellos se usan actualmente en pequeñas cantidades en la fabricación de fritas y esmaltes, la mayoría de estas materias primas son muy costosas, por lo cual se descartan como materias primas formadoras de vidrio, hasta el momento no existe una fuente económica que suministre los volúmenes hasta ahora consumidos por la industria cerámica.

Otro factor de gran peso es la toxicidad como en el caso del As_2O_5 , que como es bien sabido, es altamente tóxico, de hecho se considera un contaminante muy peligroso el cual se exige sea eliminado de cualquier materia prima, para otros el factor radica en la escasez de los mismos en la naturaleza, lo cual impide su uso a gran escala.

3.3.2. MATERIAS PRIMAS QUE INTRODUCEN ESTABILIZADORES DE RED

En este caso el óxido de aluminio es quien ayuda a estabilizar la red vítrea, la introducción a la red puede llevarse a cabo por materias primas que solo aportan Al_2O_3 y por otras que adicionalmente aportan algunos otros óxidos..

Las materias primas que solo aportan Al_2O_3 son : la alúmina calcinada, el corindon y la alúmina hidratada. Las alúminas comerciales presentan gran variedad de distribución de tamaño de partícula, por lo que para proceder a emplear alguna de ellas será necesario conocer este dato (es recomendable usar las de retenido máximo de 5 % en malla 200).

El corindon tiene una elevada dureza (9 en la escala de Mohs) por lo que frecuentemente es usada como abrasivo, su empleo en esmaltes es como aditivo en la molienda para lograr dar mayor resistencia al acabado final del esmalte después de la cocción, en la fabricación de fritas resulta incosteable usarlo ya que constituye una alúmina especial lo cual encarece demasiado su precio, por otro lado es muy difícil encontrarlo en la finura de malla 200.

Respecto a la alúmina hidratada, durante la cocción se deshidrata quedando en el vidrado el óxido correspondiente, en el caso de este material se repite el inconveniente del precio el cual resulta muy elevado para los fines que se persigue

Por otro lado tenemos materiales que adicionalmente aportan otros óxidos, los más significativos son los caolines y los feldespatos

En general los caolines reúnen una serie de características comunes como son el quemar blanco, su refractariedad y poder de suspensión, así como un bajo contenido en óxidos alcalinos y alcalinoterreos.

El uso primordial de los caolines en esmaltes es como agente de suspensión, la práctica ha demostrado que es recomendable no rebasar un 10 % en la formulación, con el fin de evitar problemas de reología. En la fabricación de fritas

A continuación se puntualizan las funciones mas importantes de los estabilizadores de red (Al_2O_3):

- Es un estabilizador de red
- Disminuye la tendencia a la desvitrificación
- Disminuye la fundencia
- Aumenta la viscosidad en fundido
- Coeficiente de dilatación medio/bajo
- Aumenta la resistencia mecánica y química
- Mejora la opacidad

3.3.3. MATERIAS PRIMAS QUE INTRODUCEN MODIFICADORES DE RED

Los elementos modificadores de red son aquellos que tienen como función primordial modificar la estructura vítrea y por consiguiente alteran las propiedades del vidriado, estos se clasifican de la siguiente manera.

- Oxidos alcalinos : Na_2O , K_2O , Li_2O
- Oxidos alcalinoterreos : CaO , BaO , SrO , MgO
- Oxido de plomo : PbO
- Oxido de zinc : ZnO .

Los óxidos de metales alcalinos son muy inestables, por lo que no se encuentran como óxidos puros. Para su introducción en una composición de vidriado se deben utilizar materias primas que contengan otros óxidos, sales o minerales alcalinos.

El óxido de sodio (Na_2O), puede introducirse con las siguientes materias primas : feldespato sodico ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), el cual es insoluble en agua, es la única

posibilidad de introducirlo en el vidriado, sin necesidad de fritado previo, la nefelina ($K_2O \cdot 3Na_2O \cdot 4Al_2O_3 \cdot 9SiO_2$) el cual es un feldespato más puro, el carbonato sodico (Na_2CO_3), el bórax ($Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot nH_2O$), el hidróxido de sodio ($NaOH$), el cual es soluble en agua, corrosivo e higroscópico, otros materiales son el nitrato sodico, sulfato sodico, cloruro sodico y fosfato sodico

El óxido de potasio (K_2O), presenta una alternativa similar al óxido de sodio, en cuanto a las fuentes más comerciales para introducir este elemento, el feldespato potasico ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), la nefelina, el carbonato de potasio (K_2CO_3), el hidróxido de potasio (KOH), el nitrato de potasio (KNO_3), de estos tanto el feldespato como la nefelina son insolubles.

Con respecto al óxido de litio, la adición de este óxido a un vidriado rebaja la temperatura de maduración debido a la formación de eutecticos con los otros componentes. Dado el elevado precio de las materias primas que introducen litio, en comparación con el resto de minerales alcalinos, solo se introduce cuando se desea incrementar la fundencia del vidriado sin aumentar excesivamente su coeficiente de dilatación, ya que por una parte es el alcalino más fundente y por tanto puede adicionarse en menores cantidades y por otro lado es el óxido alcalino con menor incidencia en la dilatación

Actualmente solo existen dos fuentes de litio, el carbonato de litio (Li_2O), el cual es sumamente fundente ya que funde a $735\text{ }^\circ\text{C}$ y es relativamente insoluble en agua, la segunda opción son los minerales de litio, los más usuales son la petalita ($Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 8SiO_2$) y el espodumeno ($Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$).

Los óxidos alcalinoterreos generalmente se añaden al vidriado como carbonatos y rara vez en forma de óxidos puros. Sus funciones en el vidriado varían de unos a otros, por lo que se describirán por separado.

El óxido de calcio (CaO), puede introducirse en el vidriado como: feldespato calcico ($\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), carbonato de calcio (CaCO_3), dolomita ($\text{CaO MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$) y espatofluor (CaF_2)

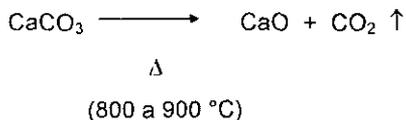
La forma mas económica y habitual de introducir CaO en los vidriados cerámicos es el carbonato, aunque este puede adicionarse en el esmalte como aditivo en molienda, es preferible introducirlo en la parte fritada, pues se evita de esta forma el riesgo de deterioro de calidad del vidriado ocasionada por la desgasificación del carbonato que puede provocar defectos puntuales (pinchados) y aumento de la porosidad en el mismo.

El feldespato calcico es un material que no se encuentra fácilmente en el mercado nacional, y es una de las formas mas convenientes de introducir CaO ya que a la misma vez se introduce SiO_2 y Al_2O_3 (formador y estabilizador de red respectivamente)

Cuando la fórmula exige el uso de carbonato de calcio, este puede añadirse como caliza, calcita, mármol, etc. En la tabla 3 4 se muestran algunos análisis químicos de materiales que aportan carbonato de calcio.

TABLA 3.4			
ANALISIS QUIMICOS DE CARBONATOS CALCICOS			
	MARMOL	CaCO_3 PRECIPITADO	CaCO_3 AMORFO
CO_2	43.0	44-47	44.10
CaO	55.0	48.00	54.98
SiO_2	<0.2	0.14	0.57
Al_2O_3	<0.5	0.25	0.27
Fe_2O_3	<0.1	0.15	0.03
MgO	<0.2	2.5	0.01

El carbonato calcico se descompone por acción del calor según la reacción



La desgasificación en el vidriado causa el defecto más común : el pinchado (pin-hole)

Otra fuente de calcio es el mineral llamado dolomita ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{CO}_2$), el cual se trata de un carbonato doble de calcio y magnesio, por lo que presentara una desgasificación similar a la del carbonato de calcio, esto origina que en ocasiones se prefiera introducir ambos óxidos durante el fritado.

La Wallastonita (CaSiO_3), es un producto que debido a la calidad que presenta , resulta de gran interés para ser usado en la industria cerámica ya que introduce el oxido de calcio correspondiente en forma de silicato lo que la exenta de tener evoluciones gaseosas durante la reacción ya sea en el fritado o bien cuando se usa como aditivo en los esmaltes, el gran inconveniente es que es incosteable usarla debido al alto costo que tiene actualmente en el mercado.

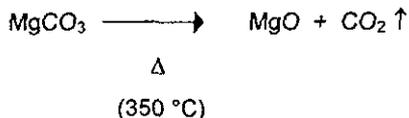
El Espatofluor comúnmente llamado fluorita (CaF_2), es un buen fúndente aunque reacciona con otros componentes del vidriado formando fluoruros volátiles de sílice, aluminio y sodio, los gases resultantes producen una textura poco satisfactoria en el esmalte. Por otro lado no es aconsejable el uso de compuestos de flúor como componente en fritas y esmaltes debido a su alta toxicidad.

A continuación se resumen los efectos que tiene el óxido de calcio en los vidriados cerámicos:

- A temperaturas mayores a los 1100 °C, aumenta la fundencia, comportándose a bajas temperaturas como un óxido refractario
- Aumenta la viscosidad del vidriado a temperaturas inferiores a 1000 °C, disminuyéndola a altas temperaturas
- Mejora la adherencia al soporte
- Coeficiente de dilatación medio
- Tendencia a desvitrificar formando cristales de silicato de calcio, lo que es la base de los denominados "mates de calcio"
- Mejora la resistencia mecánica del vidriado

Otro alcalinoterreo de gran interés en la industria cerámica es el óxido de magnesio (MgO), como tal tiene un elevado punto de fusión (2800 °C), aunque forma eutécticos con otros componentes por lo que usualmente es utilizado en bajo porcentaje, tiene un comportamiento similar al óxido de calcio aunque produce un vidriado más duro (madura a más alta temperatura) y es más viscoso.

Las fuentes más usuales para introducir MgO, en el vidriado son: el óxido de magnesio (MgO) al cual se le conoce comúnmente como magnesita calcinada, el carbonato de magnesio (MgCO₃) o magnesita la cual se descompone a los 350 °C, según la reacción



Este material es higroscópico y también muy esponjoso, por lo que puede presentar problemas en el almacenamiento.

La Dolomita ya mencionada anteriormente es la otra fuente de MgO en el vidriado, en resume las funciones básicas del MgO en el vidriado son las siguientes:

- Da vidriados de viscosidad en fundido muy elevada
- Coeficiente de dilatación intermedio

Otro de los alcalinoterreos muy usados en la cerámica es el carbonato de bario (BaCO_3), conocido también como Witherita, es tóxico e insoluble en agua, su preparación es a partir de sulfato de bario (Barita), se descompone con mayor dificultad que el carbonato de calcio pero el vidrio funde más rápidamente y es menos viscoso que el correspondiente de CaO .

La Barita (BaSO_4) puede ser usada directamente en la formulación de fritas o esmaltes, otra fuente de bario puede ser el feldespatos de bario o Celsiana ($\text{BaO Al}_2\text{O}_3 \text{SiO}_2$), el cual desafortunadamente no se consigue en el mercado actual a precios razonables. Las funciones del óxido de bario se resumen a continuación

- Fúndente enérgico a elevada temperatura
- Da brillo al vidriado
- Alto índice de refracción
- Coeficiente de dilatación medio-alto
- Proporciona una elevada interfase con el soporte

El óxido de estroncio (SrO), es el alcalinoterreo más noble en el sentido que da como resultado un vidriado con un excelente brillo y fundencia, además de que no es tóxico, el inconveniente es el alto costo que tiene como materia prima, actualmente la única fuente es el carbonato de estroncio, en la actualidad se están desarrollando trabajos de investigación para sustituir el uso del plomo efectuando combinaciones entre el carbonato de estroncio y los otros alcalinoterreos (bario y calcio), los efectos de usar óxido de estroncio en el vidriado se detalla a continuación:

- Es el fúndente más enérgico de todos los alcalinoterreos

- Rebaja la viscosidad en fundido
- Aumenta el índice de refracción
- Da buena resistencia química a los vidriados
- Es insensible a la atmósferas reductoras

El óxido de plomo resulta ser el óxido modificador de la estructura vítrea, que se ha usado desde hace mucho tiempo, aun en la actualidad se sigue usando a pesar de su elevada toxicidad, el proyecto de sustituirlo en la industria cerámica resulta de gran interés, ya que es muy difícil que algún elemento pueda sustituirlo dando las mismas características. El PbO es ligeramente soluble en ácido clorhídrico al 3 % volumen, que es la acidez aproximada de los jugos gástricos, por lo que su inhalación o ingestión conlleva que parte de él se acumule en la sangre provocando la enfermedad conocida como saturnismo, por este motivo nunca se carga al molino ninguna materia prima que introduzca PbO en el vidriado, a menos que sea en forma fritada formando silicatos o aluminosilicatos de plomo insolubles en ácidos.

El PbO es un componente importante en vidriados de baja temperatura de maduración debido a las propiedades especiales que confiere a estos, por ejemplo, un magnífico desarrollo de color, "estirado" perfecto (buena fluidez) o el actuar como un buen fundente. Todo esto hace que en coacciones sea muy difícil sustituirlo manteniendo las mismas características en el vidriado, el PbO comienza a volatilizar a partir de los 900 °C

Las materias primas que introducen PbO son el litargirio (PbO), el cual tiene la desventaja de que en el fritado puede reducirse a plomo metálico en presencia de atmósfera reductora, funde aproximadamente a 897 °C, la otra fuente la constituye el Pb₃O₄, a los 538 °C se presenta la siguiente reacción.



Δ

Las principales propiedades que infiere son

- Actúa como fundente, confiriendo al vidriado una alta fusibilidad
- Aumenta el brillo del vidriado
- Disminuye la viscosidad en fundido
- Disminuye la tensión superficial
- Disuelve fácilmente los óxidos naturales.
- Confiere un extraordinario desarrollo de color
- En elevados porcentajes dificulta la cristalización del vidriado
- Disminuye la resistencia química.
- Coeficiente de dilatación intermedio

El óxido de zinc se introduce a los vidriados en forma directa como óxido, en el mercado local existen 3 calidades, a saber el óxido de zinc sello dorado, el cual tiene una alta pureza y una baja concentración de óxido de plomo, el cual es un contaminante natural en el proceso de fabricación del óxido de zinc, la calidad referida se emplea solo en casos extremos donde se exige que la concentración del óxido de plomo no sobrepase de las 300 ppm . el zinc sello dorado se usa ampliamente en la industria farmacéutica. Los óxidos de zinc sello verde y sello rojo. se usan respectivamente para fabricar esmaltes cerámicos y para fabricar fritas en cuya formulación lleven PbO o que los niveles de contaminante (plomo) no afecten la calidad de las mismas El óxido de zinc es uno de los óxidos modificadores de red mas importante , las funciones básicas que tiene dentro de los vidriados cerámicos se listan a continuación:

- Enérgica acción fundente a temperaturas superiores a $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, aunque el efecto disminuye rápidamente al aumentar la cantidad de óxido

- En pequeños porcentajes mejora el brillo del vidriado.
- Adicionado junto a la alúmina mejora la opacidad y la blancura
- Coeficiente de dilatación medio/bajo.
- Aumenta la resistencia al rayado.
- Reduce la resistencia química.
- En exceso matifica y eleva la tensión superficial.
- Puede reforzar el efecto de algunos opacificantes.

Otro importante grupo de materias primas para la fabricación de fritas y esmalte cerámicos la constituyen los opacificantes, los principales opacificantes son .

- Oxido de estaño (SnO_2)
- Oxido de zirconio (ZrO_2).
- Silicato de zirconio (ZrSiO_2).
- Oxido de titanio (TiO_2)
- Oxido de antimonio (Sb_2O_5).
- Oxido de cerio (CeO_2)

La opacificación por óxido de estaño resulta de la acción de pequeñísimos cristales de Casiterita (SnO_2) añadidos principalmente en molienda, aunque también se generan a partir de recristalizaciones durante el enfriamiento, el óxido de estaño presenta una gran superficie específica ($4.8 \text{ m}^2/\text{gr}$), lo que lo convierte en un opacificante muy eficaz.

El SnO_2 tiene una baja solubilidad en el vidriado fundido. Se utiliza regularmente como aditivo en el molino y no en el fritado ya que puede dar lugar a la aparición de estannatos solubles en agua. Su uso como opacificante está restringido a la cerámica artística a causa de su elevado precio.

La opacidad con SnO_2 resulta intensa en composiciones ricas en PbO y Al_2O_3 y se debilita, hasta llegar prácticamente a desaparecer, en esmaltes con altos contenidos en alcalinos y B_2O_3 . El óxido de estaño funde a 1127°C , se emplea a nivel industrial en porcentajes no mayores al 4 %.

Se pueden resumir las funciones del óxido de estaño dentro de los vidriados cerámicos de la siguiente forma:

- Actúa como opacificante
- Disminuye la fundencia del vidriado, esto debido a su alto punto de fusión
- Otorga al vidriado una textura superficial característica
- Disminuye el coeficiente de dilatación
- Aumenta la resistencia química

Otro de los opacificantes de mayor uso en la industria cerámica lo constituye el óxido de titanio, el cual se emplea como opacificante en presencia de boro y en vidriados ricos en alúmina. Es posible también conseguir vidriados mate de titanio por cristalización del óxido de titanio durante el enfriamiento.

Existen tres formas diferentes de esta materia prima: el Rutilo, el Anatasa y la Broockita, algunas de sus propiedades físicas se muestran en la tabla 3.5.

Otros dos compuestos que introducen TiO_2 son la Esfena (CaTiSiO_5) y la Ilmenita (FeTiO_3), aunque su uso es demasiado limitado.

TABLA No. 3.5
PROPIEDADES FISICAS DE OXIDOS DE TITANIOS

Mineral	Formula	Forma Cristalina.	Densidad	Dureza	Indice de refracción.
Rutilo	TiO ₂	tetragonal	4.23- 5.5	6-6.5	2.7
Anatasa	TiO ₂	tetragonal	3.9	5.5-6	2.52
Broockita	TiO ₂	rómbico	4 08-4 20	5.5-6	2.58

Las funciones del TiO₂ dentro del vidriado se listan a continuación:

- Actúa como opacificante
- Disminuye la fundencia del vidriado
- Aumenta la viscosidad en fundido
- Mejora la resistencia química y mecánica
- *Reduce la solubilidad del plomo*
- Coeficiente de dilatación medio-alto

Tanto la Anatasa como el Rutilo se obtienen a partir de la Ilmenita (FeTiO₃), a temperaturas alrededor de los 1000 °C la Anatasa recristaliza como rutilo dando tonalidades amarillentas y en consecuencia modificando la tonalidad del esmalte. Esta recristalización esta favorecida por una temperatura de cocción muy alta y una baja viscosidad en fundido y en consecuencia limita la utilización de la Anatasa en la fabricación de esmaltes blancos opacificados

Se puede conseguir una tonalidad blanca a base de TiO₂ de cristales de silicotitanato de calcio (CaTiSiO), este compuesto se forma durante el calentamiento del esmalte, se disuelve a la temperatura de maduración de este para recristalizar durante el enfriamiento.. En la tabla 3 6 se presenta el análisis químico de una Anatasa comercial.

TABLA 3.6
ANALISIS QUIMICO DE UNA ANATASA

TiO ₂	99 00 %
SiO ₂	0 40 %
Al ₂ O ₃	0 08 %
CaO	< 0 01 %
MgO	< 0 01 %
Fe ₂ O ₃	0 02 %
Na ₂ O	0.10 %
K ₂ O	0 15 %
ZrO ₂	< 0 02 %

El Rutilo se encuentra asociado generalmente a cantidades variables de Fe₂O₃ (sobre el 1%), se encuentra en el mercado en diferentes distribuciones de tamaños de partícula con las denominaciones de arena de rutilo y harina de rutilo

Los compuestos de zirconio se están empleando en mayor grado que cualquier otro opacificante en la industria cerámica, de estos compuestos los más importantes son el óxido de zirconio (ZrO₂) y el silicato de zirconio (ZrSiO₄).

El óxido de zirconio se encuentra en el mercado como mineral natural llamado *Badeleyita* (ZrO₂), de estructura *monoclinica* con impurezas de titanio (del 2 al 3 %) y con diferentes granulometrias según el grado de molienda

El silicato de zirconio, de uso muy generalizado en la industria cerámica para la fabricación de fritas y vidriados opacos, ha sustituido al SnO₂ a causa del elevado precio de éste aunque en la actualidad se esté investigando en la búsqueda de su sustitución, al menos parcial, como principal opacificante.

Suele introducirse una parte en el frito y otra como adición de molienda, en fritas opacificadas con zirconio los silicatos utilizados se disuelven en el esmalte

fundido (entre 1400 y 1500 °C) recristalizando silicato de zirconio en esmaltes con alto contenido en SiO_2 .

Comercialmente se presentan de acuerdo con su distribución granulométrica, y por lo tanto de acuerdo con su poder opacificante en el vidriado, así que en el mercado es posible conseguirlos desde las llamadas arenas de zirconio, las harinas de zirconio y los micronizados, estos últimos presentan tamaños de partículas que van de las 325 hasta las 500 mallas.

La arena de zirconio normalmente no se emplea como opacificante debido a su gruesa granulometría y baja superficie específica, esta puede introducirse como aditivo en la molienda, la granulometría disminuirá, no obstante distará mucho de ser la óptima.

La arena de zirconio es mucho más barata que otros silicatos de zirconio ya que no tiene el costo añadido de la molienda, pero aun así no supone ninguna economía el usarla como fuente de zirconio en frita opacas ya que, debido a su grueso tamaño, se requiere de temperaturas y tiempos de residencia muy altos para lograr disolverla en la frita, esto redundará en un costo de operación muy alto que no justifica su empleo. Por lo general se usa preferentemente para obtener esmaltes resistentes a la abrasión pues da texturas muy rugosas.

En lo que respecta a la harina de zirconio, esta se obtiene por molienda de la arena de zirconio, por tanto los análisis químicos, serán similares, en todos los casos tendremos entre el 66 y el 66.5 % de ZrO_2 y un 32 a 34 % de SiO_2 además de pequeñas cantidades de Al_2O_3 , TiO_2 y Fe_2O_3 . Los llamados micronizados se obtienen por molienda, hasta lograr que el tamaño de partícula sea menor a las 400 mallas, estos por su elevado costo derivado de la molienda se emplean como aditivos durante la molienda.

Las funciones básicas del ZrO_2 dentro de los vidriados son las siguientes:

- Actúa como opacificante
- Aumenta la temperatura de maduración del vidriado
- Reduce el coeficiente de dilatación
- Aumenta la viscosidad en fundido
- Aumenta la resistencia mecánica
- Aumenta la resistencia al ataque químico y a la abrasión

El óxido de cerio es muy buen opacificante, aunque no se suele utilizar debido al excesivo costo que tiene, se obtiene a partir de arenas de Monacita $\{(CeY)PO_4\}$, con un contenido aproximado a un 25 % de óxido de cerio. Es insoluble en las masas fundidas de silicatos por lo que no se puede fritar y se tiene que añadir como aditivo en molienda.

Tiene tendencia a dar tonos amarillentos, esto se acentúa mas en esmaltes que tienen plomo, por lo cual se recomienda emplearla en esmaltes aplumbicos ricos en silice y alúmina. Las funciones del cerio en el vidriado son las siguientes:

- Actúa como opacificante
- Aumenta considerablemente la viscosidad en fundido del vidriado

Otros de los elementos opacificantes que tienen uso en la industria cerámica es el óxido de antimonio, el cual se puede usar en cualquiera de sus estados de oxidación (Sb_2O_3 y Sb_2O_5), son buenos opacificantes para esmaltes de baja temperatura (volatilizan a partir de los 1000 °C), el inconveniente que presenta es que es muy tóxico y esto limita su uso, también se emplea en la fabricación de fritas donde su porcentaje de aportación fluctúa del 4 al 6% de la formula. Sus principales funciones son:

- Actúa como opacificante de vidriados de baja temperatura
- Puede actuar como agente colorante en presencia de plomo

CAPITULO 4

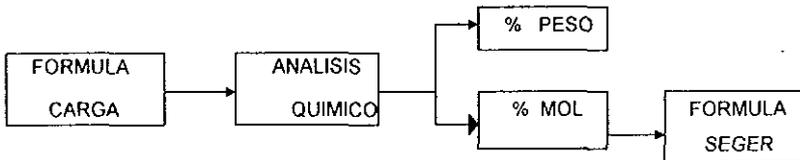
CALCULO EN FRITAS Y ESMALTES CERAMICOS

4.1 DIFERENTES FORMAS DE EXPRESAR UNA COMPOSICION

Existen diferentes formas de expresar una composición tanto de una frita como de un esmalte cerámico, ya sea con materias primas o bien en función de la composición química resultante tras la cocción, por lo tanto se puede expresar una composición mediante

- Fórmula de carga
- Análisis químico (en moles o peso)
- Fórmula Seger

En esta parte del trabajo revisaremos la forma de expresar composiciones y se mostrarán los métodos operativos que permiten pasar una composición de una expresión a otra como se muestra en el siguiente esquema.



4.1.1.FORMULA DE CARGA

Esta indica las diferentes materias primas que forman parte de la composición y en que proporción se encuentra cada una de ellas. Es útil como información para la preparación industrial de las fritas y/o esmaltes, pero aporta escasa o ninguna información acerca de sus propiedades y comportamientos

Esta fórmula usualmente se maneja en % peso ó bien indicando las cantidades de cada materia prima para conformar cada Batch. La notación es más propia para ser manejada a nivel producción, donde los operarios cargan cada materia prima tal y como se indica en la fórmula ya que con esa descripción es como se encuentran las mismas en el almacén

4.1.2.ANALISIS QUIMICO

Cuando se mezclan varias materias primas, éstas dan un producto del cual es posible conocer su composición química tomando en cuenta el % de aportación de cada una de ellas. la composición expresada en óxidos debe ser la que teóricamente se tendría después de la cocción. El análisis puede ser expresado en % peso o en % moles

Por ejemplo la siguiente formulación hipotética de una frita plumbica tendrá la composición en % peso y % moles que se indica a continuación:

Con base a la Tabla del Apéndice No. A

<u>MATERIA PRIMA</u>	<u>% PESO</u>
LITARGIRIO	50 00
FELDESPATO	15 00
SILICE	20 00
BORAX PENTAHIDRATADO	15 00
TOTAL	100 00

<u>OXIDOS</u>	<u>% PESO</u>	<u>% MOL</u>
PbO	52 08	23.69
SiO ₂	31 85	53.84
Al ₂ O ₃	3.03	3.02
Na ₂ O	4 36	7 14
K ₂ O	0 92	0 99
B ₂ O ₃	7.76	11.32
TOTAL	100 00	100.00

Este tipo de notación informa sobre su composición química por lo que es útil como herramienta de trabajo en la formulación de fritas y/o esmaltes. Si embargo a diferencia de la anterior esta no sirve para preparar el producto ya sea a nivel industrial o laboratorio

Por otra parte no proporciona ninguna información sobre las características físicas de las materias primas utilizadas, ya que no habla de ellas, así que nos podríamos encontrar dos fritas con esa misma composición química pero que dan un desarrollo diferente ya que se usaron materias primas diferentes

4.1.3.FORMULA SEGER

Este tipo de notación corresponde en realidad a una expresión química de una composición, en ella se expresan en moles los contenidos de cada óxido ordenados según su papel en el vidriado, los cuales se clasifican de la siguiente forma

- Columna de óxidos básicos (R_2O/RO)
- *Columna de óxidos anfoterós (R_2O_3)*
- Columna de óxidos ácidos (RO_2)

A fin de poder establecer comparaciones entre diferentes fórmulas SEGER y dotar a esta forma de expresión de composiciones, de operatividad, se ajustan todas las expresiones a un total de 1 mol en la columna básica, es decir la suma de moles de los óxidos básicos debe sumar 1.

En la Tabla 4.1 se indican los óxidos correspondientes a cada clasificación

TABLA 4.1
PESO MOLECULAR

BASICOS (R ₂ O,RO)		ANFOTEROS (R ₂ O ₃)		ACIDOS (RO ₂)	
Li ₂ O	29.88	Al ₂ O ₃	101.96	SiO ₂	60.09
Na ₂ O	62.00	Fe ₂ O ₃	159.70	TiO ₂	79.90
K ₂ O	94.20	Sb ₂ O ₃	291.50	ZrO ₂	123.22
MgO	40.31	Cr ₂ O ₃	152.00	SnO ₂	150.70
CaO	56.08	B ₂ O ₃	69.62		
SrO	103.62				
BaO	153.34				
PbO	223.20				
ZnO	81.37				
MnO	70.94				
CdO	128.40				
CoO	74.93				

El algoritmo para calcular la fórmula Seger a partir de la fórmula porcentual es como sigue:

1.- Calcular el valor de n_i para cada óxido

$$n_i = \frac{\% \text{ en peso del óxido } i}{PM_i}$$

DONDE:

n_i = Factor del óxido y

PM_i = Peso molecular del óxido i

- 2 - Separar los óxidos en los tres grupos que se señalan en la tabla, básicos, anfoterós y ácidos.
- 3 - La suma de los factores n_i de los óxidos básicos debe ser igual a 1, para ello se calcula un factor de corrección que es la inversa de la suma de los factores de los óxidos básicos

$$K = \frac{1}{n_1 + n_2 + \dots + n_n}$$

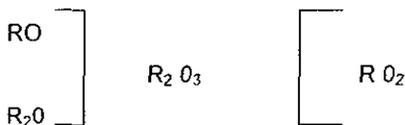
Donde

$$n_1 + n_2 + \dots + n_n = \text{Suma de los factores } n_i \text{ de los óxidos básicos}$$

- 4 - Con este nuevo factor K se calcula el coeficiente en moles (m_i) de la fórmula Seger para cada óxido (básicos, anfoterós y ácidos)

$$m_i = K n_i$$

- 5 - El resultado se presenta con los tres grupos de óxidos separados de la siguiente forma



- 6 Para convertir de fórmula Seger a fórmula porcentual, se calcula el % en peso de cada óxido de la siguiente forma:

Como ejemplo se calcula la fórmula Seger de la frita hipotética dada al inicio de este capítulo la cual queda de la siguiente manera

PbO	0.7444	Al ₂ O ₃	0.0948	SiO ₂	1.6914
Na ₂ O	0.2243	B ₂ O ₃	0.3558		
K ₂ O	0.0313				

4.2 CONVERSION DE FORMULA DE CARGA A ANALISIS QUIMICO

Se debe tener en cuenta que la fórmula de carga expresa una mezcla de materias primas que no han sufrido aún ninguna transformación debida a la cocción, en otras palabras se trata de una mezcla de sustancias "crudas" y el análisis químico de una frita o de un esmalte se refiere siempre tras la cocción.

Para efectuar la conversión se requiere de un dato que no siempre se posee como es el análisis químico de todos los componentes de la fórmula de carga, y aun disponiendo de estos datos los cálculos serían muy engorrosos ya que un análisis químico completo implicaría la presencia de sustancias contaminantes las cuales para efectos prácticos son despreciables, de esta forma en la formulación de fritas y esmaltes resulta más conveniente el uso de los datos de composiciones teóricas de cada materia prima en lugar de su análisis químico real. Si se tiene la suerte de contar con un laboratorio químico se puede realizar un tratamiento estadístico para cada una de las materias primas que ingresan a la planta y en base a esto preparar lo que se llama una tabla de factorización como la mostrada en el apéndice No. A, la cual servirá para efectuar los cálculos que involucren las materias primas ahí citadas, y permitirá generar información lo más apegado a la

realidad dejando a un lado la composición química exacta y por otro la composición teórica que indica la literatura

4.2.1.METODO DE CALCULO

Para convertir una fórmula de carga en análisis químico en % peso o mol se puede emplear el siguiente algoritmo

- 1 Usar un formato de factorización de materias primas-óxidos como la indicada en el apéndice No. B.
- 2 Se colocan en la columna de materia prima los materiales que intervienen
- 3 En las columnas de óxidos se indicarán todos los que aporten las materias primas empleadas
- 4 Determinar para cada materia prima el aporte en peso o moles de cada óxido y anotar en la columna correspondiente

Efectuar la sumatoria por renglón para cada óxido y posteriormente normalizar al 100%

El anterior algoritmo aplica tanto a fritas como esmaltes cerámicos, para estos últimos dado que se emplean fritas más carga adicional de materias primas es importante contar con la composición en óxidos de todas las fritas involucradas

4.3 CONVERSION DE ANALISIS QUIMICO A FORMULA DE CARGA

Se trata del proceso inverso al anterior, aunque se debe considerar que una fórmula de carga da lugar a un análisis químico, pero este último podrá dar diferentes fórmulas de carga dependiendo de las materias primas empleadas.

4.3.1 METODO DE CALCULO

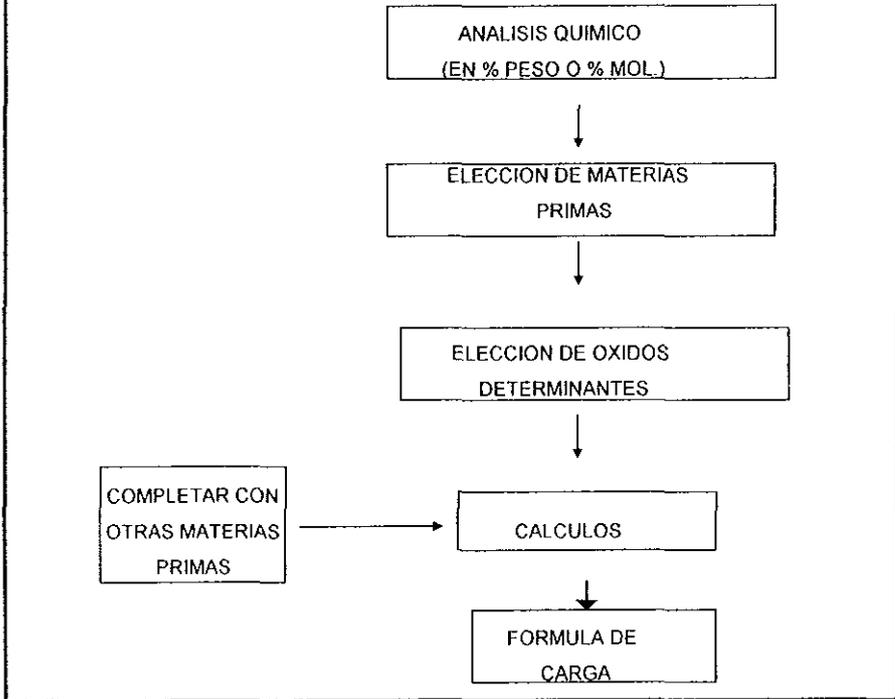
En la figura 4.1 se propone el método de cálculo a seguir para convertir un análisis químico en una fórmula de carga. La conversión puede interesar en dos casos: La formulación de una frita y/o la formulación de un esmalte fritado.

Una vez que se dispone del análisis químico se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- 1 Procurar usar la mayor cantidad de materias primas de origen mineral que aporten varios óxidos a la vez, por ejemplo emplear en primera instancia algún feldespato sódico o potásico, los cuales aportarían óxido de sodio (Na_2O), óxido de potasio (K_2O), óxido de aluminio (Al_2O_3) y bioxido de silicio (SiO_2), debe ajustarse la proporción del feldespato hasta saturar alguno de los óxidos.
- 2 Si la formulación exige el uso de óxido de boro (B_2O_3) Procurar emplear materias primas de origen mineral como por ejemplo la Colemanita o la Ulexita, ambos minerales aportan óxido de calcio (CaO) y óxido de boro (B_2O_3)
- 3 Tratar de usar la mayor cantidad de materias primas de origen mineral, lo cual estará limitado al catálogo de materias primas de que se disponga en el mercado a un precio razonable, en el apéndice No A se presenta una tabla bastante completa de las materias primas que pueden emplearse en el ramo cerámico
- 4 Favorecer el empleo de nitratos más que los carbonatos, con esto se ayudará a oxigenar la red cristalina, mejorando la apariencia y brillo de la frita y/o esmalte y por consiguiente el acabado final que pueda lograrse con estos.

- 5 Los cálculos se efectúan en el mismo formato mostrado en el apéndice No B, solo que en este caso se indican las cantidades de cada óxido que se debe saturar, al fijar alguna materia prima se debe descontar la aportación de cada óxido de la exigencia inicial, y así hasta lograr llevar a cero todos los requerimientos de los óxidos participantes.
- 6 Los cálculos pueden efectuarse en % peso o en % mol, la experiencia y los resultados demuestran que es bastante práctico desarrollar estos con los datos en % peso, si es que se dispone de una tabla como la mostrada en el apéndice No A
- 7 Las cantidades obtenidas de materias primas se suman y se normalizan al 100%, esto por ser práctico, ya que a nivel producción se podrían calcular lotes de diferentes cantidades según se requieran para la fabricación.
- 8 Cuando se diseñe un esmalte fritado es condición conocer la composición de la frita o fritas que se pretenden emplear, las cuales se introducirán al cálculo en primera instancia, y se complementará con el uso de materias primas que ajusten los requerimientos.
- 9 En la cuestión cerámica resulta de sustancial importancia implicar en la formulación de fritas y/o esmaltes la experiencia lograda en los efectos que producen cada materia prima en particular, lo cual se logra con infinidad de pruebas, inicialmente a nivel laboratorio y posteriormente a nivel producción.

FIGURA 4 1

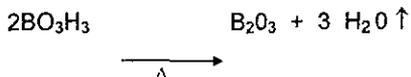


4.4 FACTOR DE FRITADO

Es bien sabido que para obtener una frita se mezclan y homogeneizan una determinada cantidad de materias prima, se procede a su fusión y posterior enfriamiento brusco. La cantidad de frita obtenida suele ser inferior a la cantidad total en peso de materias primas introducidas al horno ya que durante la fusión

tienen lugar una serie de transformaciones físico químicas las cuales usualmente llevan asociada una pérdida de masa.

Por ejemplo cuando se emplea ácido bórico (BO_3H_3) tiene lugar la siguiente transformación:



Lo cual equivale a una pérdida de masa equivalente a

$$\text{PERDIDA} = \frac{3 \cdot 18}{123.62} \cdot 100 = 43.7\%$$

Es decir por cada unidad de ácido bórico solo se fijan en la frita o esmalte 0.563 partes, esto es, el caso de emplear un ácido bórico hidratado, si se empleará alguno de mejor pureza se debe considerar esto en el balance de materia

El factor de fritado mencionado es importante ya que permite calcular la cantidad del lote a nivel producción para lograr fabricar la cantidad requerida de producto, esto nos permite hablar del rendimiento teórico que tiene cada producto (frita y/o esmalte) y a su vez asociar el rendimiento real.

Tocante al rendimiento real, para efectos prácticos en el cálculo del costo de fabricación se considera un porcentaje que puede ir del 2% al 5% por mermas en el manejo de materiales desde la recepción hasta el envasado del producto, en otras palabras:

$$\text{Rendimiento real} = \text{Rendimiento teórico} - \% \text{ Mermas}$$

Si una frita, por ejemplo tiene un rendimiento teórico del 85% y si se cuantifica que las mermas por manejo de materiales a todo lo largo del proceso es del 2%, el rendimiento real para efecto de costeo es de 83%.

4.5 REPROCESO

Una de las grandes ventajas que se tiene en la fabricación de fritas y esmaltes fritados es que se pueden reprocesar los materiales rechazados o materiales obsoletos o de lento movimiento, dicho de otra forma en este tipo de industria las cantidades de materiales que son desechados son *mínimas*, se calcula que los materiales que se desechan anualmente oscila alrededor de un 2%, y esto se debe a que cuando algún producto no cumple con los estándares de calidad o bien queda en el estatus de material obsoleto, se efectúan cálculos (llamado comúnmente factorización) para consumir estos en otros productos sin demeritar la calidad de estos últimos.

Esta constituye una labor muy importante la cual requiere de una gran experiencia para efectuar los reprocesos convenientes para lograr la absorción con una alta efectividad, los cálculos necesarios para lograr esto son muy sencillos, como lo apreciamos en los incisos anteriores, pero en la industria cerámica es de gran importancia la experiencia que se logra con el tiempo, tras formular una y otra vez hasta lograr la mejor fórmula que reúna los requisitos necesarios al propósito que se destinará

Cualquier porcentaje de producto terminado rechazado y/o obsoleto que se absorba, eleva el costo del nuevo producto, pero al mismo tiempo se requiere de menor energía calorífica para lograr la fusión de los materiales para conformar el nuevo producto terminado, esto aunado a que los materiales en calidad de rechazados son reprocesados, equilibra en forma razonable el costo que implica la absorción ó reproceso en el costo final de fabricación.

CAPITULO 5

FABRICACION DE FRITAS

5.1. CONCEPTO DE FRITA

Las fritas son compuestos vítreos insolubles en agua, que se obtienen por fusión a altas temperaturas (de 1250 °C a 1500 °C), y posterior enfriamiento rápido de mezclas controladas de diversas materias primas.

Todos los esmaltes vítreos utilizados en la fabricación industrial o artesanal de productos cerámicos tienen una parte fritada en mayor o menor proporción en su composición. La gran diversidad que se exige en los acabados finales obliga a que se usen mezclas de fritas para modificar las propiedades de una frita y así obtener un esmalte vítreo con las características deseadas, de tal forma que es posible utilizar una frita muy fundente con otra refractaria o bien fritas con diferentes coeficientes de dilatación o diferentes grados de opacidad, etc .

La utilización de mezclas de fritas ayuda a neutralizar las posibles diferencias u oscilaciones en las características de estas, aunque no es regla general la parte fritada de un esmalte, disminuye con las temperaturas de cocción, ya que disminuye la proporción de fundentes necesarios, en la tabla 5.1 se muestra la relación entre las temperaturas y proporciones usadas de fritas

TEMPERATURA °C	% DE FRITA
900	50-90
1050	40-60
1120	20-40
1200	0-30

5.2. OBJETIVO DE LA FABRICACIÓN DE LA FRITA

La introducción de materias primas fritadas a una composición de esmalte aumenta el costo de este ya que se tiene que adicionar el valor agregado del costo del proceso de fritado, sin embargo existen una serie de razones que hacen necesario su utilización en los esmaltes vítreos.

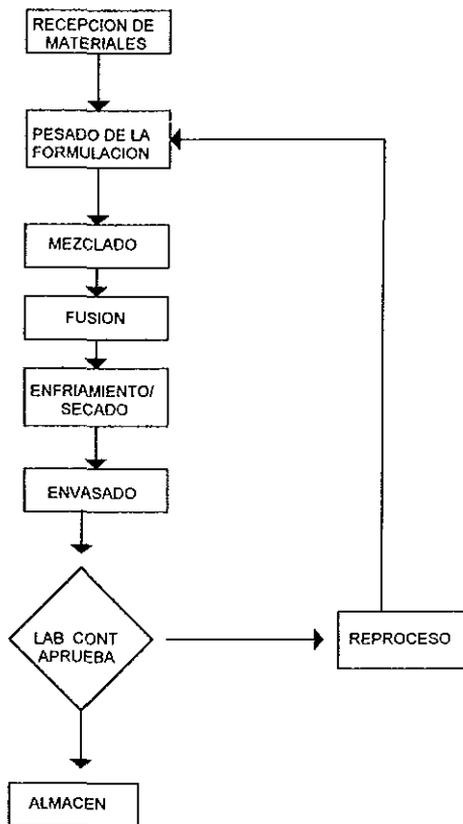
- 1 Permiten el uso de materias primas solubles en agua que se combinan en el fritado con sílice y alúmina para formar silicatos insolubles en agua y ácidos
- 2 Disminuyen la toxicidad de algunos elementos como los óxidos de plomo y de cadmio (entre otros) formando los correspondientes silicatos y aluminosilicatos con nula solubilidad en agua y ácidos
- 3 Aumentan el rango de cocción de los esmaltes vítreos
- 4 Permiten una mayor uniformidad en el vidriado formado
- 5 Reducen la aparición de defectos superficiales en el vidriado
- 6 Se obtienen, a igual composición con esmaltes crudos, menores ataques a los soportes y a los colores empleados, ya que en las fritas los procesos de descomposición térmica y de disociación ya han sido completados

5.3. PROCESO DE FABRICACION

El proceso de fritado tiene por objeto la obtención de un producto vítreo, insoluble en agua, mediante la fusión a altas temperaturas y posterior enfriamiento de mezclas homogéneas y balanceadas de diferentes materiales.

En la figura 5.1 se muestra esquemáticamente el proceso de fabricación de una frita

FIG. 5.1 FLUJOGRAMA DE FABRICACION DE FRITAS



Actualmente existen dos métodos para la fabricación de fritas en hornos refractarios, los cuales pueden ser continuos o por lote ("batch"), el primero se utiliza para fabricar grandes volúmenes de frita y el segundo para fritas de bajo volumen de demanda.

5.3.1. PROCESO CONTINUO

En las figuras 5.2 y 5.3 se muestran los diagramas de flujo de proceso de los dos métodos de fabricación de fritas en proceso continuo, se describirán las operaciones más importantes de cada uno de ellos.

5.3.1.1. RECEPCION Y ALMACENAJE DE MATERIAS PRIMAS

Las materias primas se reciben en tres diferentes formas, en sacos de papel o bien de polipropileno (usualmente de 25 ó 50 Kg), en tarimas de 1 tonelada por lote, o bien pueden ser recibidas a granel en furgones de ferrocarril o por otro lado llegar a la planta en carros pipa

Toda materia prima que se recibe en la planta queda en espera de la liberación del laboratorio de control de calidad para poder seguir su curso en el proceso de fabricación de fritas, cuando algún lote de materia prima no cumple con las especificaciones de calidad estipuladas, este es rechazado y se devuelve al proveedor. En caso de que el laboratorio otorgue el visto bueno para su uso en la planta, este queda almacenado en la planta hasta que se le requiera

Por la proporción de participación en la fabricación de las fritas, las materias primas se clasifican en componentes mayores y componentes menores.

Los componentes mayores participan dentro de la formulación con porcentajes que pueden ir desde un 15 hasta un 60 %, a esto obedece el que se les llamé así, las materias primas que mas frecuentemente caen en esta clasificación son la sílice, el feldespato sodico, el carbonato de calcio, el bórax pentahidratado y el litargirio

En tanto que los componentes menores son aquellos que participan con porcentajes bajos dentro de la formulación, siendo estos muy variables, pudiendo ir desde un 0.5 hasta un 20 %, en este caso hablamos de por lo menos unas 50 materias primas entre las que podemos citar a manera de ejemplo el óxido de zinc, el óxido de cadmio, el carbonato de bario, el óxido de magnesio, etc. En el apéndice No. A se muestra el catalogo completo de materias primas usadas en la fabricación de fritas

Los componentes mayores llegan a granel o en carros pipa y se almacenan en silos con capacidades que van de las 80 a las 120 toneladas por cada material, estos son elevados por vía neumática con ayuda de un soplador. Los componentes menores llegan en tarimas y se estiban en piso con alturas máximas de 3 ó 4 estibas de tal forma que reflejen seguridad en su acomodo físico

Cada lote de materia prima que ingresa a la planta es lotificado y fechado para efectos de rastreabilidad durante el proceso de fabricación.

5.3.1.2. PESADO DE LA FORMULACION

Para el pesado y preparación de la carga se usa un sistema computarizado que permite dar seguimiento a cada material que es cargado en la formula, en el área de pesado se cuenta con dos secciones , en la primera se adicionan las materias primas que van en mayor proporción (componentes mayores), aquí se agregan automáticamente las materias primas ya mencionadas anteriormente, sílice,

feldespato sodico, etc , estos se descargan directamente de los silos, y son cargados en tolvas metálicas móviles.

FIGURA 5.2
FABRICACION DE FRITAS POR EL METODO ROLLER QUENCH

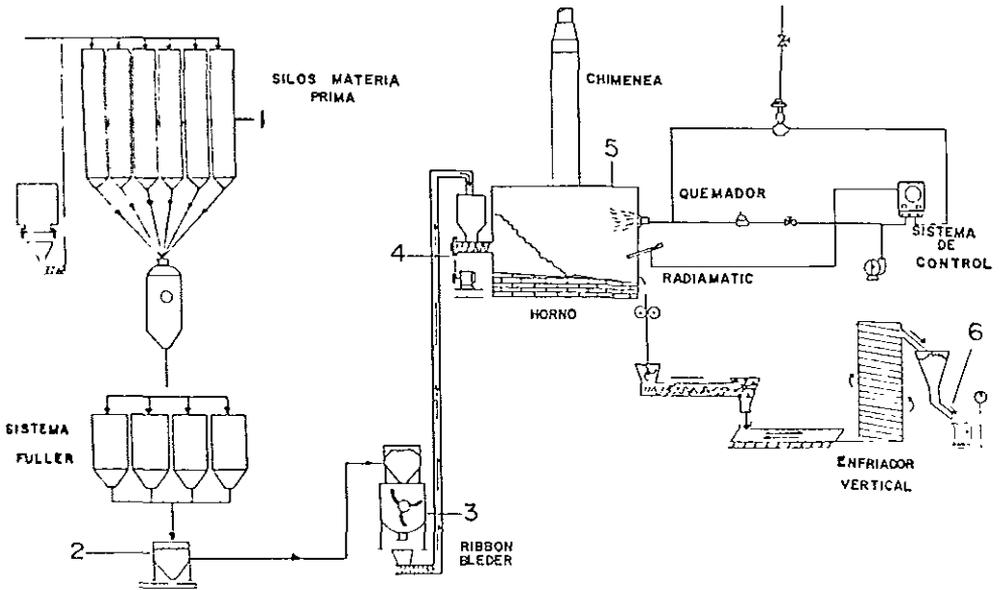
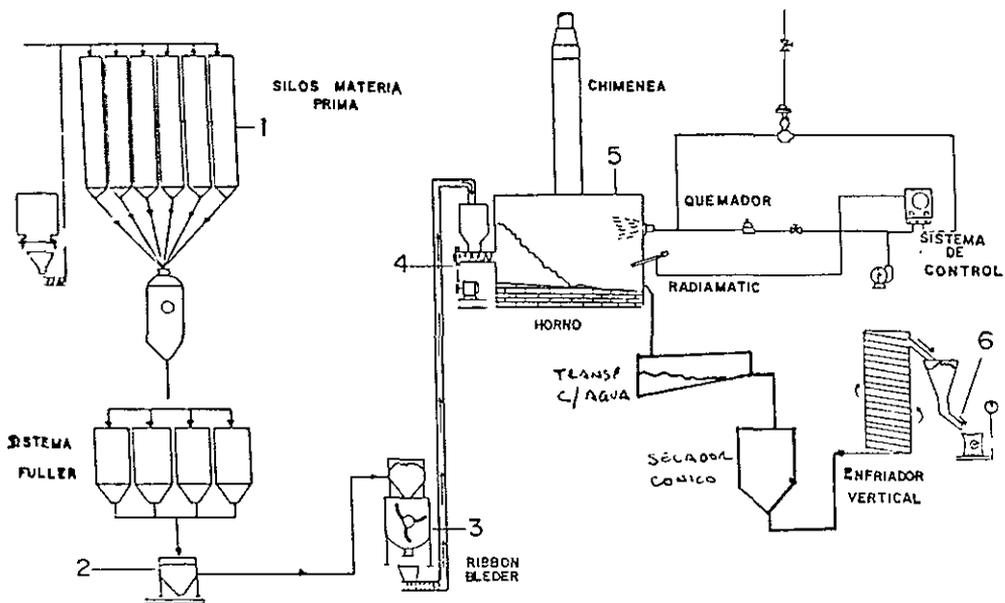


FIGURA 5.3
FABRICACION DE FRITAS POR EL METODO WATER QUENCH



En la segunda sección llamada de "menores" se agregan los componentes que participan en menor proporción dentro de la fórmula, estos se agregan en forma manual por los operadores del sistema de pesado

El sistema de pesado automático cuenta con un banco de memoria de todas las fórmulas empleadas, de esta forma le permite adicionar automáticamente en la sección de "mayores" las cantidades exactas de cada materia prima, y con la ayuda de pantallas digitales el supervisor encargado de dicha área asegura que los operadores adicione en el área de "menores" las cantidades exactas requeridas por la fórmula en turno

Al momento de iniciar la carga de materias primas, se genera la correspondiente orden de producción, en la cual se asigna un número consecutivo de mezcla, para efectos de identificación de la mezcla preparada, además indica el horno en que se procesará dicho lote.

El sistema de pesado automático cuenta con un control de inventarios mismo que contiene en su programa codificados todos los materiales que pueden ser usados en la manufactura de fritas, archiva y registra todos los movimientos que se realicen dentro del sistema asegurando con esto un control exacto de la existencia física de cualquier materia prima.

Es de suma importancia indicar que el éxito de lograr un producto de buena calidad depende hasta en un 70% de la correcta ejecución de esta operación

El peso de cada carga va en función del tipo de fritas, el cual a su vez depende de los pesos específicos de cada materia prima, usualmente los pesos de las cargas varían desde 1000 hasta 1400 Kg., por tolva

5.3.1.3. MEZCLADO (HOMOGENIZACION)

Una vez que se ha pesado la fórmula, esta queda estratificada en la tolva móvil y de ahí se manda a la línea del horno correspondiente para ser vaciada en una mezcladora de listones (ribbon blender), esta operación se ejecuta con ayuda de una grúa viajera o con ayuda de un montacargas, ya que el peso bruto de la tolva más la carga de materiales oscila entre los 1750 y 2150 Kg , la tolva se monta sobre la mezcladora y se descarga por la válvula que se encuentra en la parte inferior, es importante hacer notar que antes de vaciar el contenido de la tolva móvil, la mezcladora deberá estar funcionando ya que de lo contrario los listones pueden quedar atascados y se corre el riesgo de quemar el motor que acciona los listones.

Se ha determinado a través de la experiencia que un tiempo de mezclado de 30 minutos es suficiente para lograr una mezcla íntima de todas las materias primas, logrando con esto que los materiales refractarios queden envueltos por los materiales fundentes, esto es de primordial importancia ya que la velocidad de las reacciones que se llevarán a cabo dentro del horno, dependen directamente del grado de mezcla que se tengan entre los diferentes materiales, en otras palabras la velocidad de reacción es proporcional a las superficies de contacto y siendo más homogénea la mezcla, es mayor el número de superficies de contacto entre materiales refractarios y fundentes.

Para evitar la estratificación entre los diferentes materiales, posterior al proceso de mezclado, se establece como regla usar materias primas con granulometría similar, en este caso lo mas usual es emplear finuras de 5 % de retenido sobre malla 200, con esto se evita que durante el transporte hacia el horno de fusión, se presenten problemas de segregación de materiales.

5.3.1.4. FUSION

Concluido el tiempo de mezclado se procede a descargar la mezcladora de listones con ayuda de una válvula dosificadora, ubicada en su parte inferior, la cual a su vez esta conectada a un gusano helicoidal el cual descarga en una fosa de cangilones, la mezcla es elevada con ayuda de una banda de cangilones y se deposita por gravedad en la llamada tolva de alimentación, esta se encuentra provista de un vibrador que tiene la función de evitar que las mezclas se apelmacen", suministrando un movimiento vibratorio continuo, la descarga de esta tolva esta conectada a otro gusano sin fin, el cual se encuentra dentro de una chaqueta metálica enfriada por agua la cual tiene como finalidad dosificar los *materiales dentro del horno*

La velocidad del gusano alimentador se controla con ayuda de un motovariador de velocidad, la velocidad de alimentación o gasto masico es una de las variables que se controlan durante la fabricación de las fritas, para cada una de ellas se tienen especificadas las RPM que debe mantener el gusano alimentador, para asegurar una alimentación continua hacia el horno.

Si la alimentación hacia el horno es excesiva, los materiales tendrán menor tiempo de residencia en el horno y evitara una reacción completa obteniéndose lo que se llama una frita cruda o mal fritada, misma que no cumplirá los requisitos de calidad contra el estándar correspondiente..

Por otro lado una falta de alimentación de materiales hacia el horno causara que la frita tenga mayor tiempo de residencia, lo que implica obtener una frita "dura " ó refractaria

Los cambios físicos y químicos que tienen lugar en la fusión, son muy complejos, no definidos totalmente , pero en términos generales los cambios que se efectúan

son reacciones de ácidos y bases, reacciones de descomposición, de disociación y fusión entre otras.

La naturaleza exacta, el grado y el orden de esos cambios sin embargo dependen de variables tales como el tiempo de mezclado, la temperatura, la velocidad de alimentación, la combustión incluyendo hasta el tiro de la chimenea, de tal forma que cada variable dependerá de otra directa o indirectamente.

Por ejemplo si el pesado de materiales es incorrecto, aun efectuando cambios en la velocidad de alimentación o en la temperatura, será muy difícil mantener el producto entre los rangos de calidad establecidos, en caso de que la temperatura no sea la adecuada y tanto el pesado como mezclado hayan sido efectuados correctamente, el producto estará fuera de especificación.

En ocasiones la temperatura requerida no es lograda por una mala combustión, misma que podría elevarnos el consumo de combustible, quemándose en la mayoría de los casos en la chimenea, provocando la obstrucción de esta y afectando la calidad del producto ya que no hay tiro y la presión interna del horno se ve afectada.

Como rutina diaria se efectúa por parte del departamento de mantenimiento un chequeo a el estado de combustión de cada horno, para asegurar así una *condición oxidante en la atmósfera interna del horno y evitar así un consumo exagerado de combustible.*

5.3.1.5 ENFRIAMIENTO

Actualmente existen dos métodos para lograr el enfriamiento de la masa ó frita fundida, el primero es a través de roles metálicos enfriados por agua (roller quench) y el segundo por descarga directa en agua fría (water quench)

1.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ROLLER QUENCH

La frita ya fundida es descargada por la boquilla del horno, para este caso cae en el centro de dos rodillos metálicos que giran concéntricamente, obligando a la frita a pasar entre ellos formando una lámina con espesor variable entre 0.3 y 2.0 mm., y un ancho de lámina que es función del tipo de frita el cual puede variar desde 40 hasta 100 cm , la frita fundida cede gran parte del calor con que sale del horno al entrar en contacto con los rodillos que son enfriados internamente con agua, con esto se logra que pase del estado líquido al sólido.

Aún cuando la frita laminada cedió calor conserva una alta temperatura, por lo cual se le inyecta aire a temperatura ambiente con ayuda de un ventilador ó en ocasiones adicionalmente se le proyecta agua fría, espreandola directamente hacia la cortina de frita sólida, con esto se logra enfriar aún más la frita haciéndola quebradiza.

Así se facilita el transporte de la misma a través de una banda metálica transportadora, la cual tiene el propósito de enfriar aun más la frita y reducir el tamaño de las escamas las cuales llegan a medir en forma aproximada hasta unos 20 cm², la reducción de tamaño se logra por el movimiento de vaivén de la banda , al final de esta se ubica una rompedora de martillos la cual reduce el tamaño de las escamas hasta que quedan aproximadamente de 2 a 3 cm² de superficie, posteriormente cae a otra banda metálica transportadora que envía la frita hacia un elevador metálico helicoidal donde con ayuda de dos motores que giran concéntricamente, elevan la frita hacia la tolva ensacadora al mismo tiempo que se sigue enfriando.

La frita llega a la tolva ensacadora a una temperatura promedio de 30 a 40 °C, siendo más fácil su manejo, incluso este rango de temperatura evita que al empacar la frita no cause daño al empaque por exceso de temperatura, sea éste de papel craft o de polipropileno.

En la descarga de la tolva ensacadora se ubica un tambor magnético que tiene la función de eliminar las partículas de hierro metálico que se desprenden durante el proceso, esto debido al desgaste mecánico de las piezas metálicas y a que la frita sólida es un material muy abrasivo.

En esta etapa se separan los llamados "finos", los cuales son partículas de frita muy pequeñas que no se embolsan por razones de calidad, estos son reprocesados, es decir se refunden en la misma corrida de la frita, con lo cual prácticamente no se tienen pérdidas de material

2.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO WATER QUENCH

La característica más importante de este método de enfriamiento es que el chorro de frita fundida, la cual puede tener temperaturas entre los 1000 y 1300 °C, se descarga directamente en agua logrando con esto que la frita tenga un enfriamiento muy brusco, cediendo su calor a el agua y tornándose muy quebradiza, formando así partículas pequeñas e irregulares.

El siguiente paso consiste en retirar la frita del agua para llevarla al secador correspondiente, con la intención de eliminar toda la humedad que puedan tener los cristales irregulares de frita, a esta frita se le llama "granular" y a la que se enfría por roles en "escama".

El equipo que se emplea para enfriar la frita con agua es una especie de cuba vibratoria a la cual constantemente se le inyecta agua fría proveniente de una torre

de enfriamiento, la cuba tiene forma de un triángulo isósceles (vista en forma lateral), con el lado mas largo inclinado ligeramente hacia arriba , con esto se logra contener el agua la cual abandona la cuba por unos ductos y es enviada a la torre de enfriamiento para bajar su temperatura y retornar después de esto a la cuba de enfriamiento completándose así el ciclo

El movimiento vibratorio de la cuba ayuda a empujar los pequeños cristales irregulares de frita logrando alcanzar la salida para finalmente depositarse en una tolva metálica móvil la cual a su vez cuenta con pequeños orificios que ayudan a drenar el exceso de agua y a la vez retienen los cristales de frita húmeda.

Se ha medido la humedad residual de la frita la cual es del orden de 8 a 14 %, debido esto principalmente a la forma irregular de la frita la cual ayuda a ocluir bastante humedad

Una vez que la tolva esta llena, ésta se eleva con ayuda de una grúa hasta el cono del secador, el cual recibe el lote de frita húmeda por la parte superior, posteriormente se cierra el secador con una tapa fabricada de malla tyler 40, para evitar que las partículas finas de frita se proyecten hacia afuera al iniciar el periodo de secado

El secador es un cono metálico al cual se le inyectan gases, productos de la combustión de gas natural y aire, estos reaccionan en una cámara de combustión y se inyectan por la parte inferior del secador, obligando así que los gases busquen salida en la parte superior del cono, arrastrando la humedad residual que tiene la frita

Actualmente se tienen establecidos los tiempos de secado los cuales oscilan de 45 a 60 minutos con una temperatura promedio de 250 °C, después de esto es necesario inyectar aire frío (a temperatura ambiente) por espacio de 20 a 30 minutos. esto se hace con la finalidad de bajar la temperatura del lote de frita hasta

unos 30 a 40 °C, una vez logrado esto se descarga por la parte inferior, dicha descarga va directamente a una ensacadora, donde el producto es envasado e identificado con los datos necesarios que caracterizan al producto

5.3.1.6. ENVASADO

El envasado de la frita se ha realizado tradicionalmente en sacos de papel craft. La tendencia actual dada la situación que prevalece por reducir el consumo de productos que tengan como principal materia prima a la madera, ha permitido desarrollar nuevos empaques, entre ellos los sacos de polipropileno (llamados comúnmente de rafia) y también los de polietileno.

Usualmente el peso envasado por saco es de 50 kg. aunque en la actualidad por motivos de salud, se esta generalizando el envasado en pesos de 25 kg , ayudando con esto a que los operarios no se lastimen y por ende se incapaciten por problemas lumbares

Las principales ventajas que ofrecen los sacos de papel es que se manejan con suma facilidad en la descarga de la envasadora, así como su manejabilidad por parte de los operarios ya que no se resbalan de las manos, además por el diseño, el volumen de la frita se cubica perfectamente en el interior de la bolsa de papel ayudando con esto a que al estibar los sacos en cada tarima se logra un perfecto acomodo, lo cual redunda en dar una imagen de presentación al producto y seguridad en el manejo y almacenaje

Este tipo de empaque permite estibar hasta 4 tarimas , por lo general cada lote de frita es de una tonelada de peso, es decir que 20 sacos de 50 kg. c/u conformaran dicho lote.

Por otro lado la principal desventaja es el elevado costo que tiene dicho empaque, de tal forma que los sacos de polipropileno o polietileno resultan ser mas ventajosos por ser más económicos ya que en algunos casos llegan a ser hasta un 50 % más económicos

No obstante esta ventaja de los sacos de polipropileno y de polietileno, presentan muchos problemas para los operarios, ya que por la naturaleza del material son difíciles de maniobrar, además son susceptibles de rasgarse fácilmente por la misma frita ya que esta al ser un vidrio, presenta bordes filosos que rompen fácilmente este tipo de empaque, sobre todo cuando se deslizan unos sobre otros

Otra desventaja que presentan es que la momento de estibarse 3 o mas tarimas son inestables creando un ambiente de desconfianza a las personas que manejan dichos materiales. Por último se ha encontrado que los clientes prefieren que se les envíen las fritas en sacos de papel, argumentando que con este tipo de empaque se tienen menos problemas en el manejo así como menor pérdida de material por rotura de sacos

Existe otra modalidad de envasar la frita, llámese en escama o granular, y consiste en usar superbolsas con diferentes capacidades, mismas que varían según las necesidades de los clientes y pueden ir desde 250 hasta 1000 kg , este tipo de empaque ha demostrado que su principal ventaja es el ahorro que se logra en el costo del empaque cuando este se recicla de la planta del cliente a la planta fabricante de fritas para ser llenado y devuelto a la planta consumidora

La desventaja principal que tienen los superbolsas es que al estibarse son más inestables que los sacos de 25 o 50 kg del mismo material (polipropileno) Este no será un problema serio si la empresa fabricante o la consumidora cuentan con vastas áreas de almacenamiento . Las dimensiones más comunes para envasar una tonelada son de 37*37*37 pulgadas (largo*ancho*altura), y para media tonelada las más usuales son 37*37*22 5 pulgadas respectivamente

Una vez que las fritas se han envasado e identificado con su descripción de producto, número de lote y peso, pasan a una área de cuarentena llamada de material en proceso, donde el personal del laboratorio de control de calidad efectúa sus respectivos muestreos para caracterizar cada lote de frita.

5.3.1.7. CONTROL DE CALIDAD

Aun cuando para caracterizar la calidad de una frita se intentan medir propiedades, mediante parámetros bien definidos, en la actualidad todavía la aprobación o rechazo de un lote de frita queda sujeto a apreciaciones subjetivas que varían de persona a persona y sobre todo dependen de la experiencia que posea el evaluador.

Para que una frita sea aprobada, esta debe cubrir satisfactoriamente las siguientes propiedades:

- Fusibilidad
- Color (aparición)
- Reacción con colores bajo barniz
- Superficie (acabado)
- Brillo
- Funcionalidad
- Coeficiente de expansión

En cerámica para decidir si un producto cumple con los requisitos de calidad, se utiliza el llamado "master" o muestra festigo, el cual consiste de un lote de frita

aprobada que por las diferentes pruebas antes mencionadas y sobre todo en la prueba de funcionalidad cumple con los requerimientos para la cual fue diseñada, cada lote nuevo fabricado de frita se prueba ó "corre" a la par con un testigo, para comprobar que los lotes en evaluación tengan las mismas propiedades que la muestra testigo, en caso contrario se rechazan

a) FUSIBILIDAD

Consiste en correr el llamado flujo lamina y/o flujo cerámico, para determinar si el lote fabricado tiene el mismo grado de fusibilidad contar estándar, se conforman pastillas de polvo de frita (retenido entre mallas 60 y 40 tyler), de aproximadamente 1.5 a 2.0 gramos, dependiendo esto del tipo de frita, se colocan sobre un soporte metálico (flujo lamina) o cerámico (flujo cerámico) y se someten a la acción del calor dentro de muflas que alcanzan temperaturas que van desde los 1000 hasta 1350 °C

A los soportes se les da una ligera inclinación para evitar que las pastillas se caigan por efecto de la gravedad, para pegar estos botones a los soportes se usa una solución saturada de goma CMC (carboximetilcelulosa), misma que por efecto de la alta temperatura se oxida y desaparece en forma de bióxido de carbono, sin alterar las propiedades de los materiales evaluados.

El tiempo de permanencia dentro de la mufla para lograr que las pastillas fundan y escurran oscila para flujos lamina de 5 a 30 minutos dependiendo del tipo de frita evaluada, para los flujos cerámicos los tiempos de permanencia van desde las 2 hasta las 8 horas, el flujo lámina constituye en el proceso de fabricación de fritas la única señal de que el lote fabricado, aparentemente esta dentro de parámetros de fabricación, el flujo cerámico se emplea para efectuar la evaluación final del lote cuando este ya se termino de fabricar en la planta.

Usualmente se establecen variaciones de desplazamiento en longitud contra estándar de +/- 5 a 10 mm., cualquier lote que se encuentre fuera de el rango establecido es rechazado.

b) COLOR

Esta propiedad es muy importante ya que los clientes confían en que si los lotes de fritas enviados a su planta presentan el mismo color que el estándar negociado, es muy probable que las demás propiedades se cumplan sin ningún problema.

Por la naturaleza de fabricación de las fritas, estas son susceptibles de contaminarse y por consiguiente de variar su coloración, ya sea por materias primas contaminadas o bien por cambio de fritas en la secuencia de fabricación de las mismas en los hornos. Si el lote fabricado presenta una coloración diferente a la del estándar se rechaza.

Aquí es importante señalar que una ligera variación en la coloración no necesariamente motivara a que sea rechazada, es aquí donde empiezan a actuar los elementos subjetivos para decidir si se aprueba o rechaza, el responsable del laboratorio debe ser una persona ampliamente capacitada en este sentido, debe ser conocedor del uso final a que se destinará la fritas en cuestión para así decidir y asegurar que al enviar dicho lote al cliente no creara problemas.

Dado que las fritas se fabrican con materias primas de origen mineral (entre otras), es imprescindible negociar estas variaciones en coloración, con los clientes ya que los actuales proveedores de materias primas minerales, difícilmente pueden mantener dentro de parámetros al principal contaminante que es el hierro en cualquier forma de presentación (metálico ú oxido)

Para medir esta variable se utiliza un colorímetro, el cual mide el color en forma tridimensional, el vector "L" mide el grado de blancura ó opacidad del lote analizado y la escala de medición va desde el valor 0 0 que es igual a negro hasta el valor 100 00 que es el color blanco, otro de los vectores es el "A", el cual mide la variación del color verde al rojo, el tercer vector "B" mide la variación del color amarillo al azul

Los tres valores se usan para determinar una variación promedio contar estándar, esta se calcula con la siguiente formula:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta A^2 + \Delta B^2}$$

El colorímetro otorga esta medida automáticamente, midiendo siempre contra un estándar, los valores de ΔE fluctúan entre 0.7 y 2.0 como parámetro de aceptación, dependiendo del uso al que se destinara la frita .

c) REACCION CON COLORES BAJO BARNIZ

Esta es una prueba cualitativa que brinda importante información sobre la reactividad que tendrá la frita con los colores cerámicos, puede darse el caso de que una frita se contamine dentro del horno de fabricación sin acusar un color diferente al del estándar, pero que contenga por efecto de la contaminación algún elemento que puede ser nocivo en el uso final a que se destinara la frita en la planta del cliente

Por este motivo se aplica la prueba del color bajo barniz, para evidenciar cualquier variación (en forma cualitativa) que pueda presentar la composición de la frita, uno

de los efectos mas conocidos en cerámica es que las contaminaciones con zinc hacen variar los colores negros hacia una tonalidad café.

La prueba es muy sencilla y consiste en una pequeña aplicación de tres colores, los cuales cubren todo el posible rango de variaciones, los mas usuales son el negro, marrón, y amarillo, estos se colocan sobre el soporte sobre el cual se aplicaran por aspersion la frita problema así como el estándar correspondiente, después de esto se somete a quemado en una mufla hasta lograr que fundan las aplicaciones efectuadas y se forme una superficie vidriada, los soportes se retiran se dejan enfriar y se interpretan, con la consigna de que cualquier variación el alguno de los colores será motivo de rechazo.

d) SUPERFICIE (ACABADO)

Esta evaluación consiste en aplicar una suspensión en agua de la frita con ayuda de algún agente de suspensión, el cual puede ser un caolín o bentonita, la suspensión se logra moliendo a nivel laboratorio la frita y el agente de suspensión con agua en un pequeño molino de bolas cerámicas, las proporciones empleadas usualmente se indican en la tabla 5.2.

FRITA	AGENTE DE SUSPENSION (CAOLIN)
90	10
95	5
97	3
99	1 (BENTONITA)

Las finuras y tiempos de molienda de las suspensiones a nivel laboratorio están bien definidas, las finuras fluctúan de 3 a 5 % retenido sobre malla 200 Tyler y los tiempos son función directa de la cantidad por moler así como de la dureza de la frita los cuales van desde 20 hasta 40 minutos para moler 200 gramos de frita en promedio

La densidad es una variable muy importante ya que de ella depende que se agregue la misma cantidad de sólidos durante la aplicación sobre el soporte cerámico, esta variable esta definida para cada frita y oscila entre 1.6 a 1.8 gr /cm³, tanto para la muestra problema como el estándar.

Los esmaltes así obtenidos (frita + caolín) son aplicados por aspersion sobre soportes cerámicos, la cantidad que se aplica varia para una superficie de 10 cm², desde 12 a 16 gramos húmedos de la suspensión preparada, para efectos de comparación se debe aplicar igual cantidad en gramos tanto del estándar como la muestra problema

Las aplicaciones obtenidas se someten a quemado en las muflas y posterior al ciclo de maduración de la frita se retiran de las mismas y se interpretan.

El factor "subjetivo" aparece una vez más ya que para decidir la aprobación o rechazo influye el grado de conocimiento que tenga el evaluador del uso final del producto en cuestión, se busca que contra estándar presente el mismo acabado en la superficie vidriada

e) BRILLO

Importantísima propiedad en cerámica ya que los diseños finales logrados para su venta, se ven influenciados directamente por este factor.

Durante la fabricación de la frita esta propiedad se ve afectada principalmente por la temperatura de fusión y el tiempo de residencia, para cada frita están debidamente especificadas dichas variables, no obstante se llega a dar el caso de que se rechazan lotes de frita por falta o exceso de brillo, lo que por experiencia se traduce en una deficiencia durante la fusión o fritado

Esta propiedad se mide visualmente por comparación directa contra el estándar y depende para su aprobación de la experiencia del evaluador, en cerámica por lo regular se otorga una cierta variación contra estándar en las propiedades de los materiales evaluados, para el caso del brillo aun cuando existe un aparato llamado reflectometro, el cual mide indirectamente el brillo se prefiere la interpretación visual directa contra estándar.

f) PRUEBA DE FUNCIONALIDAD

Esta evaluación no se efectúa regularmente, salvo cuando alguna de las propiedades mencionadas anteriormente no es cubierta al 100 %, y se tiene el interés de ver como funciona el lote de frita dentro del sistema o esmalte tal y como será empleado por el cliente, para esto es necesario contar con la llamada fórmula de carga

Esta fórmula es bien conocida ya que previamente fue desarrollada por los técnicos especialistas en el desarrollo de esmaltes de la empresa fabricante de fritas.

La prueba consiste en correr una prueba a la par de la frita estándar y la frita problema dentro de la fórmula del esmalte cerámico, se prepara la suspensión tal y como se menciono con anterioridad, se aplica y se quema.

Esta evaluación arroja importantes parámetros para decidir si la falta de cumplimiento de alguna variable permite, aun con todo esto, enviar dicho lote al cliente, ya con la plena seguridad de que no ocasionara problemas de calidad en su uso final, lo más recomendable es negociar este envío con el cliente respectivo.

g) COEFICIENTE DE EXPANSION

Esta propiedad es de vital importancia ya que influye directamente sobre la calidad de los productos en que es usada la frita. Cuando se diseña una nueva frita se busca que tenga un coeficiente de expansión tal que permita un perfecto acople del esmalte con el soporte cerámico.

Se ha determinado a través de la experiencia que el coeficiente del esmalte debe ser 10 unidades menor que el del soporte, esto para permitir que los esfuerzos de tensión y compresión entre el soporte y la parte vidriada no provoquen los dos problemas que se conocen: el desconchado o el craquelado de la parte vidriada.

La medición de esta propiedad se realiza mediante un aparato llamado dilatometro, el cual mide las expansiones longitudinales que sufre una barra sólida del material, por efecto de la elevación gradual de la temperatura.

En la práctica resulta muy difícil medir el coeficiente de expansión para cada lote de frita fabricado, en México las planta productoras de fritas producen un volumen promedio de 1000 a 1500 toneladas mensuales, por lo cual comunmente se establece que por cada corrida de producción usualmente de 15 a 40 toneladas de frita, se efectúe un muestreo y se calcula un coeficiente de expansión promedio para el lote referido, este se declara para toda la corrida.

Para efectos del cálculo de esta propiedad cuando se esta diseñando una frita, existe un método de cálculo teórico en base a correlaciones, este de manera

indirecta mide el coeficiente de expansión en función de la composición química de la frita, de tal forma que permita saber con cierta aproximación el grado de acoplamiento que tendrá con el soporte.

5.3.1.8. REPROCESO

La mayor ventaja que tiene la industria del vidrio, consiste en que todo material fuera de especificaciones o bien material que pueda estar en calidad de obsoleto en los almacenes de producto terminado, son susceptibles de recuperarse al ser reprocesados, mediante balances de materia, en nuevas corridas de producción de fritas comerciales o bien de la misma frita rechazada.

Como apoyo al técnico encargado de efectuar los cálculos del balance de masa, para consumir los materiales fuera de especificaciones, el laboratorio químico puede efectuar análisis químicos cuantitativos para determinar la composición química exacta del material a ser refactorizado.

Con esta información adicional a los datos de interés que quedan descritos en los reportes de no conformidad levantados por el laboratorio de control de calidad, y empleando la fórmula estándar del producto a fabricar, se procede a balancear absorciones de material rechazado que puede variar desde un 10 hasta un 50 %, dentro de la nueva fórmula por fabricar.

Es importante destacar que a mayor % de absorción se incrementa el riesgo de obtener productos fuera de especificaciones, en ocasiones se da un efecto "cascada" en el que una tonelada de producto rechazado, mal balanceado puede generar (si se absorbe en un 10 %), hasta 10 toneladas de nuevo producto fuera de especificaciones.

Los análisis químicos son muy tardados ya que es necesario disolver las fritas en ácidos o bases muy fuertes, para fragmentar los componentes y posteriormente cuantificar cada uno de los elementos por separado, para dar finalmente la composición porcentual

En contraste el ritmo de producción exige que las formulaciones con absorción sean turnadas al departamento de producción lo antes posible para aprovechar todas las oportunidades de abatir al máximo el inventario de material fuera de especificaciones.

La deficiencia en la velocidad de respuesta por parte del laboratorio químico se compensa al efectuar cálculos (refactorización) tomando en cuenta las carencias que presentan los lotes rechazados, esto solo lo puede llevar a cabo un técnico que posea amplia experiencia en los efectos que causará el material reprocesado

Para asegurar que se genera una fórmula que cubrirá ampliamente las expectativas de producción, es necesario que para cada lote en calidad de rechazado se cuente con todos los datos de interés desde que se preparo la mezcla y más en retrospectiva, la calidad de las materias primas, hasta los posibles problemas suscitados durante el proceso de fabricación

Esto ayudara al técnico responsable a determinar el balance de materiales adecuados para absorber los productos rechazados, con base al algoritmo indicado en el capítulo no. 4. En ocasiones se decide enviar fórmulas con absorción directamente a producción después de haber sido calculadas, por lo general se trata de la absorción de lotes de material que teóricamente mantienen la misma composición química contra la fórmula estándar y solo presentan deficiencias en el proceso de fritado o bien alguna propiedad como la opacidad varían en magnitudes bien definidas, para este caso la experiencia ha determinado que una compensación del 6 al 10 % de silicato de zirconio compensan la falta de opacidad

Existe una herramienta adicional para cuando se tiene el suficiente tiempo de refactorizar y asegurar a nivel laboratorio que la fórmula es correcta, consiste en la elaboración de pequeñas muestras en crisoles cuyo peso no excede los 3 kg , los cuales han demostrado que son 100 % seguros, en el sentido de que cuando los resultados de elaborar el correspondiente "crisol" indican que la formula es correcta , ésta a nivel producción tiene todas las posibilidades de salir bien.

En este caso la técnica indica pesar los tres kg de la fórmula, los cuales se depositan en el crisol, el cual se elabora a base de silice-alúmina-zirconio, y se somete a un proceso de fusión a la misma temperatura a la que se fabricara la nueva frita a nivel producción y por un tiempo equivalente al tiempo de residencia en horno continuo.

Las temperaturas varían desde los 1200 hasta los 1500 °C y los tiempos de residencia fluctúan desde una hasta dos horas, una vez que se ha logrado fundir toda la mezcla, se somete a un enfriamiento en agua, y de ahí se envía a evaluarse al laboratorio contra el respectivo estándar, si los resultados son satisfactorios se envía la fórmula a producción, caso contrario es necesario reformular y repetir el ciclo

Los criterios para llevar a buen termino los reprocesos, se adquieren con base a la experiencia lograda con el tiempo y, a efectuar una infinidad de ensayos de prueba de comportamiento de los materiales cerámicos.

Todas las fórmulas generadas quedan almacenadas para cuando se necesite fabricar una vez más la misma frita y se cuente con el mismo producto rechazado, en este caso se emplean las fórmulas generadas previamente, con esto se crea una serie de información que es útil en todo momento.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO 6

FABRICACION DE ESMALTES

6.1 CONCEPTO DE ESMALTE CERAMICO

El esmalte cerámico es un producto que se forma de combinar fritas con materias primas , tales como arcillas sílice, agentes defloculantes, etc todos ellos son molidos con ayuda de molinos de bolas y la operación puede llevarse a cabo mediante molienda vía seca o molienda vía húmeda

6.2 OBJETIVO DE LA FABRICACION DE ESMALTES CERAMICOS

La fabricación de esmaltes cerámicos obedece a la necesidad básica de contar con una infinidad de opciones en la obtención de los más diversos acabados en las superficies vidriadas que se pretendan lograr, la fabricación de esmaltes cerámicos debe ser una operación controlada científicamente, los estudios realizados en los últimos años sobre la molienda de esmaltes, fijan un conjunto de reglas que deben seguirse rigurosamente para obtener esmaltes en perfectas condiciones de uso. Es muy importante que el personal de la planta de molinos conozca perfectamente estas reglas

6.3 PROCESO DE FABRICACION

En las figuras 6.1 y 6.2 se muestran los diagramas de flujo de la fabricación de esmaltes cerámicos por vía húmeda y vía seca respectivamente, cualquiera de estos métodos pueden ser empleados para fabricar un esmalte, la decisión de que método usar depende en primera instancia del uso final y acabado que deberá tener el vidriado a obtenerse y otro factor muy importante es el costo, ya que la

molienda vía húmeda con su correspondiente etapa de secado resulta en costo de fabricación mucho mayor que la molienda de vía seca

6.3.1. MOLIENDA VIA HUMEDA

6.3.1.1 RECEPCION Y ALMACENAJE DE MATERIAS PRIMAS/ APROBACION POR EL LABORATORIO QUIMICO

Las materias primas empleadas en la fabricación de esmaltes son las mismas que las usadas para fabricar las fritas, en este caso las mismas fritas se constituyen como una materia prima adicional (el proceso de fabricación fue explicado en el capítulo anterior, todas ellas siguen el mismo curso indicado en los puntos 5.3.1.1 y 5.3.1.7 para el caso de las fritas).

6.3.1.2. PESADO DE LA FORMULACION

Las fórmulas son pesadas en una área especial en la que se cuenta con una tolva metálica para contener todos los ingredientes agregados según lo indique la *formulacion*, las *cargas varían* en peso dependiendo de la capacidad del molino que será empleado para moler el lote en cuestión, estas pueden ir desde una hasta tres toneladas. Las fritas que se emplean ya están previamente pesadas y envasadas, por lo cual el operario solo se limita a separar la cantidad requerida, identificando estos materiales perfectamente para conocer en todo momento a que carga pertenece.

FIGURA 6.1

FLUJOGRAMA DE FABRICACION DE ESMALTES POR VIA HUMEDA

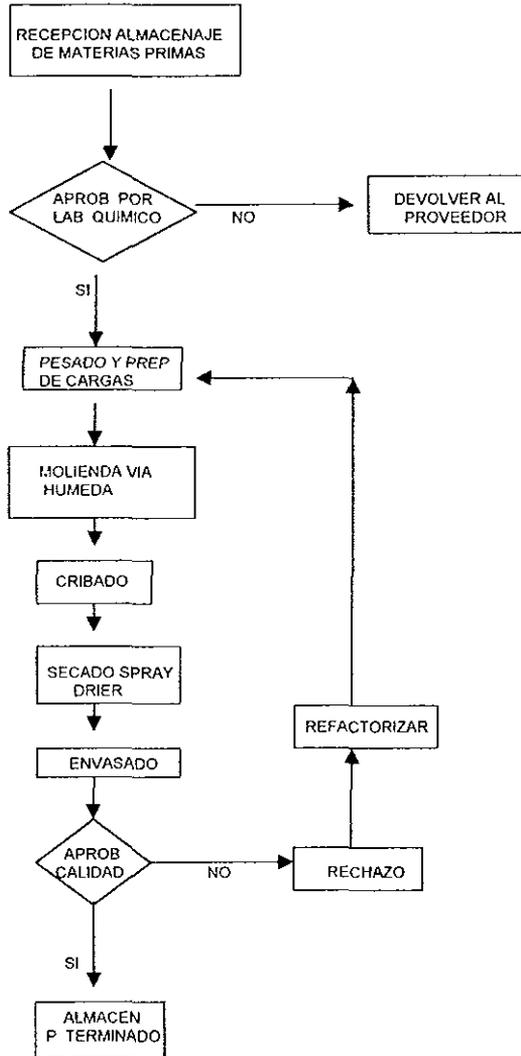
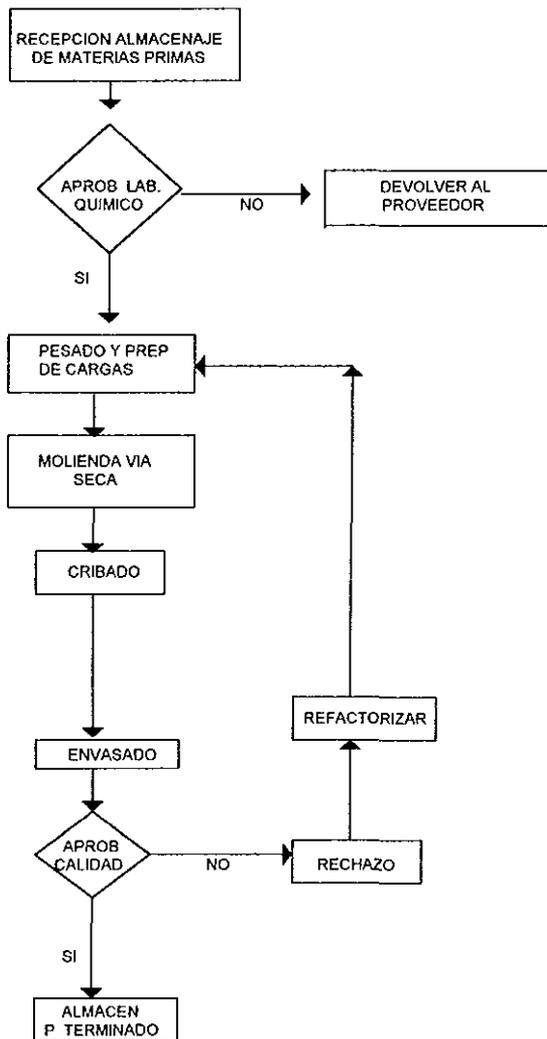


FIGURA 6.2
FLUJOGRAMA DE FABRICACION DE ESMALTES POR VIA SECA



Como en la fabricación de las fritas, un correcto pesado de la fórmula es vital para asegurar que el producto que se obtenga cumpla con los requisitos de calidad especificados, por tal motivo la báscula empleada en esta operación debe ser digital y con una exactitud de ± 0.5 kg, la practica ha demostrado que esta variación no afecta en lo mas mínimo a la calidad final del esmalte, un factor muy importante no mencionado hasta el momento es que la capacitación de los operarios es imprescindible en todas las etapas de manufactura.

Una vez conformada la carga esta se traslada hacia el área de molinos, el control para saber en que molino se cargara se lleva a través de la correspondiente orden de producción. Por lo regular el transporte se efectúa con ayuda de montacargas y/o grúas viajeras

6.3.1.3. MOLIENDA VIA HUMEDA

La molienda vía húmeda se lleva a cabo por molinos de bolas en proceso por lote o "batch". a continuación se detallaran las reglas que a través de la experiencia se han logrado identificar para asegurar que dicha operación de como resultado un esmalte en condiciones de usarse

a) MOLINOS DE BOLA

Los molinos de bolas constituyen el equipo aceptado normalmente para la preparación de los esmaltes cerámicos. La molienda en este tipo de molino, tiene como importancia primordial el acondicionamiento de las fritas y las adiciones de molienda, de manera tal que a una finura predeterminada se obtenga un esmalte de consistencia y peso específico adecuado a normas de uso, tan libre como sea posible de materias extrañas, contaminaciones, etc

Existen tablas que dan la capacidad del molino en función de sus medidas internas, proporcionando a la vez el número de revoluciones por minuto a que deberá girar el molino y el peso de la carga de bolas.

La capacidad de producción de los molinos, varía con las dimensiones internas del mismo, largo y diámetro, pero las variaciones debidas a un cambio en el diámetro son más sensibles a las de un cambio en el largo. Si se duplica el largo, la capacidad del molino aproximadamente se duplica también; sin embargo si el diámetro se duplica, la capacidad del molino aumenta casi 6 veces.

Los cálculos de los datos que se pueden obtener, muestran que estas proporciones son aproximadamente correctas cuando los esmaltes se muelen a la misma finura. De acuerdo con estudios hechos en molinos de laboratorio, empleando arena sílice, indican que los mejores resultados de molienda se obtienen con molinos cuyo largo es aproximadamente $2/3$ partes del diámetro. Esto ayuda también a facilitar la descarga y lavado del molino, lo que redundará en una mejor calidad del material molido al no quedar restos de frita, la cual requerirá de volver a molerse, y nos dará una granulometría incorrecta

b) NUMERO Y CAPACIDAD DE MOLINOS

El número y capacidad de los molinos necesarios para una planta determinada, depende de los requerimientos del mercado, en una planta relativamente grande donde la producción normal es elevada del orden de 350 a 400 ton/mes de productos molidos, lo conveniente es contar con molinos grandes que pueden ir desde 1 hasta 4 toneladas. En una planta pequeña y sobre todo considerando que

se cuenta con un catálogo muy variado de productos, es más razonable emplear molinos pequeños que pueden ir desde 200 a 1000 kg.

En general los esmaltes coloreados deben ser molidos en equipos diferentes que los usados para los productos llamados "blancos", esta separación es importante porque si bien es factible utilizar el molino en que se muelen blancos para moler esmaltes coloreados, la operación de lavado del mismo se lleva mucho tiempo y produce pérdida de material, elevando con esto el costo de producción si esto se realiza con frecuencia

c) REVESTIMIENTO INTERIOR DE LOS MOLINOS

El revestimiento de los molinos varía de acuerdo al tipo de esmalte a moler, generalmente se usan ladrillos de porcelana porque así se puede moler cualquier tipo de esmalte en ellos, no ocurre lo mismo con los revestimientos de granito por los peligros de contaminación, debido a la presencia de magnetita y hematita que pueden dar puntos oscuros en el acabado final. Otro de los inconvenientes de estos revestimientos con piedras naturales reside en el hecho de que por ser ladrillos cortados a mano, tiene forma irregular y hacen bastante difícil su colocación y el lavado de los mismos, la única razón para usar este tipo de revestimientos es que bajan los costos de producción con respecto a los recubrimientos de porcelana.

Las tapas de los molinos requieren una especial atención, estas van revestidas del mismo material con que se forro el molino, cuidando que una vez colocada, su superficie coincida con la del revestimiento interior, evitando la formación de un desnivel con la misma, así ese punto sufrirá un desgaste muy grande e impedirá el normal movimiento de las bolas. Debe llevar una junta de goma para evitar todo contacto entre el esmalte y el hierro de la tapa y la boca. El ajuste lateral de la misma debe ser lo más perfecto posible para evitar que en esas hendiduras quede

esmalte sin moler. Esto es muy importante cuando se muelen óxidos colorantes, donde conviene después de un cierto tiempo de molienda, parar el molino, sacar la tapa y limpiar sus bordes por si ha quedado óxido en la unión de esta con la boca del molino, lo que nos daría una diferencia de color con el esmalte patrón o una mala dispersión de la pigmentación.

Al recubrir molinos, se debe empezar por las cabecera y darles el suficiente tiempo para que el cemento asiente (fraguado) y se encoja y no recubrir mas de ½ tambor en un solo día. Los blocks deben ser escogidos de acuerdo a sus medidas para hacer hiladas del mismo tamaño. Se deben usar cementos especiales, así como endurecedores y aplicarlas de acuerdo con las instrucciones proporcionadas por el proveedor. Las juntas deben ser lo mas delgadas posible. Los cementos de fraguado rápido, deben ser dejados endurecer de 24 a 36 horas, antes de poner en funcionamiento el molino, por otro lado con los cementos normales es necesario un tiempo de fraguado de 72 horas. El exceso de cemento debe ser removido de entre los blocks antes de que este se seque ya que posteriormente es muy difícil eliminarlo y puede contaminar la primer molienda que se lleve acabo en ese molino.

d) LIMPIEZA DEL MOLINO DESPUES DE RECUBRIRLO

Antes de usar el molino después que ha sido recubierto, debe ser limpiado lavándolo con una carga de arena silica o algún esmalte recuperado con adiciones de 7 % de arcilla y 50% de agua. Es conveniente rodarlo el doble del tiempo normal de molienda después de lo cual se debe lavar cuidadosamente todo el molino. Si después de un tratamiento de esta naturaleza no queda limpio, se debe repetir la operación. Por último es necesaria una inspección visual con ayuda de una linterna debe asegurarse que las uniones entre los blocks están bien selladas, aprovechando esta operación para retirar la bola que pudiera estar rota.

e) TIPOS DE BOLAS

Los molinos revestidos de porcelana deberán usar bolas del mismo material, los forrados con piedras naturales se cargaran con piedras de cuarzo o piedras naturales que reúnan características similares a las del cuarzo, es decir piedras de forma esférica, sin ranuras, sin porosidad, alta resistencia al impacto, alto peso específico y por supuesto su desgaste no contribuya a la contaminación del esmalte

Es muy importante que después de la primer molienda , se descarguen las bolas y se revisen para retirar las rotas y reemplazarlas por otras, es conveniente que al cargar bolas nuevas en un molino, estas se golpeen entre si a medida que se van colocando , con esto se evitaran desagradables sorpresas.

f) BOLAS DE PORCELANA

La mayoría de las plantas que usan molinos de bolas emplean las que tienen un diámetro de 2 pulg. Como máximo. La selección apropiada del tamaño de bolas así como la proporción correcta, pueden contribuir substancialmente al aumento de producción de los molinos y a disminuir la temperatura generada durante la molienda

La medida de las bolas es de importancia desde varios puntos de vista, en primer lugar esta relacionada con la velocidad a la cual el molino debe operar para ser más efectivo, en segundo lugar la medida de las bolas siempre debe ser considerada en relación a la medida de la partícula que va a ser molida, una bola de ½ pulg. Es mucho más efectiva en material que se molerá a malla 100 Tyler que una bola de 2 pulg.

Solamente el 20 % del tamaño de la frita promedio es superior a las aberturas de un tamiz de 6 mallas por pulgada, para este material más grueso las bolas de diámetro mayor a 2 pulg. Son más efectivas, una vez molido este 20 % de las fritas las bolas grandes casi no influyen en la molienda y el resultado es que la energía proporcionada a las mismas se gasta en el calentamiento del molino así como en el desgaste del recubrimiento y de otras bolas, mas que en la molienda del esmalte mismo.

Pruebas recientes de molienda en molinos de 1.80*2.40 metros, con cargas de dos toneladas de frita, con bolas de porcelana con un máximo de 3 pulg., así como cargas similares variando el tamaño de bola mostró que las bolas de 2 pulg., eran más efectivas que las de 3 pulg. Otras pruebas con molinos cargados con 200 kg De frita, mostraron la siguiente relación entre el tamaño de las bolas y el tiempo de molienda.

Tamaño de las bolas (pulgadas)	tiempo (en horas)
1 ½	4
2	8
2 ½	9
3	11

Además otras pruebas en molinos de 50 kg. Mostraron que el 90 % del material fue molido suficientemente fino en tres horas como para pasar a través de una malla 200 Tyler, se requirieron 4.5 horas más para moler hasta un 99 %. Así, una tercera parte del tiempo fue requerido para moler una onceava parte de la frita, un aumento en la proporción de bolas pequeñas podría haber ayudado a disminuir el tiempo de molienda y así mismo bajar el aumento inherente de costo que implica esta relación.

La forma de las bolas en relación al rendimiento del molino, ha sido estudiado por algunos investigadores y se ha puesto de manifiesto en que a medida que las bolas son más esféricas, presentan mayor efectividad. Las bolas que son irregulares, en forma, tienden a formar cuñas y a evitar la libertad de acción, por lo tanto, aumentan el tiempo de molienda.

La variación en la densidad con relación a la efectividad de la molienda, mostró que la efectividad aumenta en aproximadamente la misma proporción que la densidad, a medida que la densidad de las bolas aumento. Hay bastantes razones para asegurar por lo tanto, que las bolas con un peso específico alto, rendirán mayor producción por hora que las bolas de porcelana de una densidad inferior. Si se usa el mismo volumen de ambas, por supuesto se requerirá más potencia en las de densidad alta para que la molienda sea efectiva.

La tersura de la superficie, también es un factor de la molienda, ya que a medida que esta es más lisa, patinan con mayor facilidad, lo cual es un factor muy importante en la molienda de bolas con porcelana

La experiencia en producción indica que la carga de bolas dentro del molino debe ocupar del 50 % al 60 % del volumen total aparente interior del molino. Los últimos experimentos indican que las bolas de 2 pulg. Son de suficiente tamaño para moler las partículas más gruesas de frita. Las bolas pequeñas presentan mayor efectividad para la molienda cuando las partículas de frita llegan a un tamaño pequeño

La proporción correcta de tamaño de bolas de un molino es variable, pero se recomiendan las siguientes relaciones en producción 50 % de bolas medianas (1 ½ pulg.), 25 % de bolas grandes (2 pulg.) y 25 % de bolas pequeñas (1 pulg.).

g) CARGA DE FRITAS

La carga de fritas varía considerablemente, aún en molinos del mismo tamaño, por ejemplo la carga de molinos de 1 20*1.50 m varía de 500 a 600 kg. Y para molinos de 1 50*1.80 m. de 1000 a 1500 kg, esto se debe en parte al hecho de que las dimensiones internas no son siempre exactamente las mismas, debido a la variación del espesor del revestimiento. La carga correcta de frita en kg. Para los esmaltes es de 1/3 el volumen del molino en litros, o sea que un molino de 400 litros se deberá cargar con aproximadamente 130 kg. De frita. De la experiencia en producción se ha encontrado que la mejor relación de molienda se obtiene cuando el volumen del material por moler sobrepasa el volumen del medio de molienda por 10 cm De altura, esto asegura que el molino no quedara sobrecargado y que además las bolas no quedan expuestas entre si mismas evitando un desgaste *mayor al normal*.

h) FINURA DE LA MOLIENDA Y CAPACIDAD DE PRODUCCION

La capacidad de molienda es proporcional a la potencia consumida, esta última es proporcional a su vez a la finura del producto deseado, a medida que se requiere un producto más fino se requiere mayor capacidad de molienda necesaria para producir un tonelaje deseado. En la práctica se ha encontrado que para moler un mismo material a 200 mallas se requiere del 30 % de potencia consumida que para cuando el mismo material se muele hasta una finura de 300 mallas.

i) RELACION DE AGUA-FRITA

En la molienda vía húmeda se emplea entre el 35 % y 50 % de agua, tomando como referencia el peso de la carga o frita por moler, en este caso se puede hacer uso de aditivos que aceleren la molienda, estos actúan trabajando sobre la consistencia de la suspensión formada por la frita y el agua, en la práctica se ha

observado que dependiendo de la frita procesada el requerimiento de agua para molienda varía considerablemente. Así mismo se ha determinado que el tiempo de molienda llega a un mínimo con un cierto contenido de agua y que el tiempo es aumentado con un aumento o disminución en el contenido de agua utilizada, esto nos indica la necesidad de controlar el contenido de agua con la mayor exactitud posible.

La relación agua-frita afecta el comportamiento del molino en varias formas, afecta las fuerzas de fricción entre las bolas y el recubrimiento y entre las bolas y el material a ser molido, la densidad de la mezcla es afectada directamente, a medida que el porcentaje de sólidos aumenta, el patinamiento y por lo tanto el rodamiento de las bolas disminuye, esto permite que las bolas puedan ser levantadas más alto en el molino, si la falta de agua es mayor, la carga puede quedar adherida a las paredes del molino produciendo una reducción brusca de la producción, por el contrario si la cantidad de agua es excesiva, las bolas no llegarán al ángulo de rompimiento y se deslizarán solamente en la parte inferior del molino retardando la molienda.

j) VELOCIDAD DE MOLIENDA

La velocidad de molienda constituye una variable muy importante para la operación correcta de un molino de bolas, ésta a través de las ecuaciones establecidas para el cálculo de molinos ha sido ampliamente estudiada y en la práctica se cuentan con tablas que indican a la velocidad que deberá girar un molino en función de las dimensiones internas del mismo y la carga de bolas, en la tabla 6.1 se muestran los datos que son usados en la operación de molinos a nivel producción.

k) OPERACIÓN DE LOS MOLINOS

Cuando se cargan los molinos, el orden de adición de los materiales, no tiene mayor importancia que la frita o parte de la misma debe ser cargada al último, el mejor procedimiento es agregar la mitad de la frita, enseguida las adiciones de molienda y por último el resto de la frita. En esta forma se distribuyen mejor los opacificantes, los óxidos colorantes, las arcillas y se previene su adherencia en la tapa, la cantidad de agua que debe ser cargada se mide con exactitud de 0.5 litros.

El uso de molinos enfriados con agua es a menudo deseable en lugares muy cálidos. por este método puede ser bajada hasta en 10 °C la temperatura del esmalte. El enfriamiento puede ser llevado a cabo por molinos con un forro exterior que permita la circulación de agua o bien por lluvias.

El ajuste de las cargas de bolas y frita, a medida que el recubrimiento se gasta, es necesario si se requiere la producción máxima del molino. La carga de bolas debe ser siempre de la misma proporción que el volumen del molino y la frita debe ser aumentada en la proporción del mismo aumento. La pérdida de las bolas de porcelana debe ser repuesta en cada molienda, agregando junto con la carga de fritas la cantidad requerida de bolas del mayor diámetro que se usan.

El número o peso de las bolas que se deben agregar por carga, debe ser determinado por el estudio de pérdida de bolas de cada molino en particular. Normalmente esto es del orden de 2.5 a 5.0 kg. De bolas por cada 500 kg. de frita molida.

La descarga de los molinos se lleva a cabo por gravedad o con ayuda de aire comprimido, este último se utiliza cuando el tiempo es un factor importante, se recomienda una presión máxima de 10 lb, es fundamental disponer de un buen filtro de aire para retener todo el aceite y otras impurezas que pueda enviar el compresor.

El esmalte se descarga a través de la válvula de salida acondicionada en la tapa, Usualmente provista de un tubo perforado de 15 a 20 cm., de largo o a través de una tapa especial con rejilla, la cual retiene las bolas

La inspección de los molinos debe ser llevada a cabo mensualmente o aproximadamente cada 50 moliendas. Las bolas se deben descargar y las más pequeñas, menores a 1 pulg., se desechan. El volumen total de las bolas se debe ajustar entonces del 50 al 55 % del volumen total del molino, con la adición de bolas de 2 ½ pulg , se deben inspeccionar también el revestimiento y si hay algún desgaste excesivo en algunas áreas determinadas, es recomendable invertir la rotación del molino para asegurar un desgaste uniforme del recubrimiento.

Se debe procurar la descarga completa de los molinos, con el fin de que todo el esmalte molido sea extraído, para prevenir un exceso de tiempo de molienda ya que cuando esto no se toma en cuenta, hay variaciones en este tiempo, ya que algunos litros de esmalte dejados en el molino pueden a veces incrementar el tiempo de molienda. Es conveniente agregar una pequeña cantidad de agua y entonces mecer el molino para ayudar a eliminar todo el material remanente. La limpieza de los molinos no es necesaria entre cargas consecutivas del mismo producto, pero cuando por alguna razón muy importante se deba moler en ese molino un esmalte de características distintas se le deberá limpiar cuidadosamente.

Se vaciara del molino la carga de bolas y se lavaran cuidadosamente aprovechando para descartar aquellas que presenten fisuras donde pueden quedar restos de la molienda. Se lavara el molino hasta no encontrar ninguna partícula de frita del esmalte anterior. Si la diferencia entre los productos no es muy notable, se podrá enjuagar con abundante agua varias veces dando en cada caso 6 o 7 vueltas al molino. Es importante evitar en todo lo posible hacer girar el molino sin carga porque los golpes de las bolas directamente sobre el revestimiento reducen

TABLA 6.1
CARGAS Y OPERACIÓN DE MOLINOS DE BOLAS

DIAMETRO (CM)	LARGO (CM)	VOLUMEN (L)	VELOCIDAD R P M.	CARGA DE FRITA (KG)	CARGA DE BOLAS (KG)
22 8	38 0	15	70	7	12
30 5	40 6	29	67	12	24
30 5	45 6	33	67	14	27
38 0	53 2	61	60	23	50
45 6	63 8	104	54	34	80
53 2	53 2	120	50	46	95
53 2	84	188	50	68	144
68 8	84	308	44	114	250
68 8	99 8	356	44	136	290
73 8	56	246	43	90	195
73 8	86 5	368	43	136	290
79	110	533	42	180	430
94 2	110	758	37	272	610
100 2	112	908	35	317	725
110	110	1025	33	362	815
110	140	1310	33	460	1020
125	94 2	1140	29	407	920
125	110	1315	29	460	1020
125	125	1515	29	545	1220
125	140	1700	29	590	1360
140	86 5	1422	26	500	1150
140	110	1750	26	630	1360
140	171	2610	26	910	2050
145	171	2800	25	1000	2220
171	140	3175	21	1140	2550
171	171	3860	21	1360	3100
171	202	4560	21	1640	3630
171	231	5270	21	1820	4160
171	294	6670	21	2450	5430
206	231	7800	19	2730	6100
231	231	9700	18	3400	7700
231	294	12350	18	4330	9750
231	354	14800	18	5000	11750

su vida. Se calcula que 5 minutos de uso de un molino sin carga efectúan un desgaste del revestimiento equivalente a cinco días de trabajo normal.

6.3.1.4. CRIBADO

Antes de enviar los esmaltes a la etapa de secado es necesario que estos se pasen a través de cribas o tamices, los cuales tienen la finalidad de retener todas las partículas gruesas que no llegan a ser reducidas de tamaño dentro del molino. Las mallas que comúnmente se emplean son las mallas 80 y 100 tyler, de esta forma la suspensión quedará libre de partículas gruesas que podrían causar problemas en la operación del equipo de secado por atomización.

En este caso se hace uso de tamices vibratorios ya que por la naturaleza misma del material molido, tiende a obstruir el paso entre las mallas dificultando la operación, la vibración ayuda a que el esmalte pase con mayor rapidez y evita pérdidas del mismo. Las costras retenidas sobre las mallas son de un porcentaje muy pequeño por lo cual estas regularmente se desechan, ya que su reproceso resulta más costoso.

6.3.1.5 SECADO (SECADO POR ATOMIZACION)

Hasta hace algunos años el secado se efectuaba en secadores de charolas, pero esto provocaba que el material seco se compactaba en una masa sólida, misma que al ser retirada de las charolas se debía someter a un proceso de desintegración a través de un equipo llamado micropulverizador, la gran desventaja de este proceso radicaba en la baja productividad ya que durante el micronizado el producto se contaminaba con hierro metálico el cual en estas circunstancias era muy difícil de retirar. La tecnología actual empleada en el secado de esmaltes hace uso del secado por atomización.

El secado por atomización es un proceso en una sola etapa, que convierte una alimentación líquida en polvo. Dichas alimentaciones pueden ser lo más variado que se pueda pensar por ejemplo pulpas, soluciones, pastas y suspensiones, este último constituye el caso de la industria cerámica. La principal ventaja de este proceso es que los productos presentan una buena uniformidad en la consistencia del polvo, una vez fijadas las condiciones de operación estas se reproducen con suma regularidad durante todo el proceso.

El secado por atomización es el proceso de mayor aceptación para la formación de partículas. Se emplea para la producción en continuo de sólidos secos en forma de polvo, granulado o aglomerado, partiendo de productos líquidos, para el caso de la industria cerámica se trata de suspensiones. Mediante este proceso de secado se obtienen esmaltes que cumplen con las más estrictas especificaciones finales de granulometría, contenido de humedad residual, densidad y forma.

El proceso consiste en la atomización de un líquido en una nube de gotitas las cuales entran en contacto con aire caliente en el interior de una cámara de secado. La nube de líquido atomizado es producida mediante un atomizador rotativo o atomizador por boquilla. La evaporación de la humedad contenida en las gotitas y la formación de las partículas secas tienen lugar bajo condiciones controladas de temperatura y caudal del aire de secado. Las condiciones de operación se seleccionan de acuerdo a las características que deba cubrir el producto final deseado.

En el proceso de secado por atomización podemos apreciar tres etapas básicas que conforman el proceso de secado por aspersión, la primera consiste en la atomización de la suspensión del esmalte con la ayuda de una bomba adecuada al propósito de manejo de suspensiones de materiales abrasivos, la suspensión ingresa a la cámara de secado a través de una boquilla de aspersión, en la cámara se efectúa la etapa de contacto de las pequeñas gotitas de producto húmedo con el aire caliente que entra a contracorriente, aquí se efectúan todas las

transferencias de calor implicado en dicho proceso, la tercera etapa consiste en recuperar el producto final y desechar el aire que lleva la humedad superficial que tenía el esmalte molido.

El producto seco es recuperado a través de un ciclón el cual se obtiene por la parte inferior del mismo en tanto que el aire caliente que lleva la humedad eliminada del esmalte sale por la parte superior del mismo.

6.3.1.6 ENVASADO

La siguiente etapa es envasar el producto, en este caso es necesario usar solamente sacos de papel ya que dada la consistencia pulverulenta del producto no es factible poder usar sacos de polipropileno a menos que estos tengan un laminado interior para evitar la fuga de material, o bien pueden usarse sacos de polietileno, pero se corre el riesgo de que las estibas se deslicen unas sobre otras. El volumen que ocupan los materiales molidos son mayores que una cantidad equivalente de frita, por lo cual usualmente estos se empacan en cantidades que oscilan entre 35 y 40 kg. de peso.

Las etapas posteriores de evaluación por parte del laboratorio de control de calidad con su correspondiente aprobación y envío al almacén o rechazo y correspondiente reproceso es similar al descrito para las fritas en el capítulo anterior, siempre controlando contra el respectivo estándar.

6.3.2. MOLIENDA VIA SECA

En este apartado consideraremos los factores más importantes inherentes a la molienda vía seca de esmaltes cerámicos, referente a las etapas de recepción de materias primas, liberación por parte del laboratorio químico, pesado de la fórmula,

envasado. evaluación por parte del laboratorio de control de calidad y reprocesos correspondientes son iguales a los procesos ya descritos.

6.3.2.1. MOLIENDA SECA

La molienda vía seca de esmaltes es mucho más difícil que la que se efectúa en vía húmeda. las granulometrías obtenidas por vía seca no son tan uniformes como las logradas por vía húmeda, así mismo las finuras mayores a las 300 mallas Tyler , requieren de un gran consumo de energía y en ocasiones la calidad del esmalte se ve afectada cuando se pretende lograr esto en un proceso por lotes. En este caso la opción alterna es usar los molinos continuos (Hardinge), ya que estos están provistos por un sistema de separación de materiales finos y gruesos, los primeros se envían directamente a envasado en tanto que los gruesos se recirculan al molino hasta que logren la finura deseada.

Desafortunadamente en ocasiones no se dispone de los recursos necesarios para invertir en un arreglo de circuito cerrado de molienda, por lo cual es necesario fabricar los esmaltes en un proceso "batch". Ya se comentó con anterioridad que un mismo esmalte fabricado por vía seca difiere de la calidad que se obtiene al fabricar el mismo por vía húmeda, y esto obedece a que la molienda seca es más agresiva que la húmeda, donde el agua ayuda a distribuir de manera más uniforme los impactos entre las bolas y el material por molerse.

Los esmaltes fabricados por vía seca se contaminan debido al desgaste del recubrimiento interior del molino y de las bolas mismas, provocando con esto que el esmalte sea más refractario por la alúmina extraída del medio de molienda. Los esmaltes al ser diseñados deben considerar esta variable importantísima ya que los diseños se conciben inicialmente a nivel laboratorio y se comprueban a nivel industrial mediante pruebas que por lo regular, se efectúan en vía húmeda, si esto no se toma en cuenta, entonces al momento de fabricar la misma formulación en vía seca se incurrirá en un grave error, ya que hasta que no se ajuste la fórmula considerando la contaminación inherente por alúmina (material muy refractario), no

se lograra obtener el producto deseado, lo recomendable seria usar en todo momento la molienda via húmeda, misma que involucra todas las variables que se tienen a nivel laboratorio

Para la molienda vía seca aplican las mismas consideraciones ya mencionadas en la descripción de la molienda vía húmeda, referentes al tipo de recubrimiento, medio de molienda, distribución de bolas, un elemento no mencionado hasta el momento es el uso de aditivos para acelerar la molienda, el cual muchas veces por la exigencia en la calidad de los esmaltes no es recomendable, ya que los más usados hasta el momento son de origen orgánico, los cuales si no se controlan adecuadamente provocan defectos en el producto final en las plantas de los clientes. El de mayor uso es un alcohol llamado polietilenglicol, el cual dentro de la molienda seca tiene la función de mantener una cierta presión interna que obliga a las partículas de frita a separarse con mayor facilidad, ayudando con esto a mejorar los tiempos de molienda, en la práctica se ha calculado que al usar un aditivo se logran mejoras de un 10 a 20% en los tiempos de molienda.

6.3.1.5. CRIBADO

Una vez que se logra obtener la finura deseada por molienda vía seca, es necesario descargar el molino, los molinos de bolas tipo "batch", cuentan con una chaqueta de acero exterior que recubre la totalidad del molino, esta actúa como contenedor recibiendo el material que sale del molino cuando este gira con una rejilla especial que no permite la salida de las bolas del interior mismo, en cada giro del molino este proyecta el esmalte molido hacia afuera chocando contra la chaqueta y cayendo por gravedad en un contenedor o tolva metálica.

Este procedimiento de descarga remuele el material al momento del giro del molino, por lo cual en la práctica se determinan los tiempos de molienda efectiva en el cual se pretende acercarse al limite máximo de la finura que debe tener el

esmalte en turno, para que el tiempo adicional de descarga del molino, en el cual se remuele el material, no se exceda la finura del límite inferior especificado, es obvio que la distribución de tamaño de partícula del material descargado al inicio y el que se descarga al final son diferentes por lo cual se recomienda efectuar una mezcla previa de todo el lote descargado del molino, para lo cual puede usarse una mezcladora de listones, la cual con un tiempo de operación de 10 a 15 minutos ayudara a homogeneizar la mezcla, uniformando la distribución del tamaño de partícula, en la practica esto no se efectúa regularmente, ya que en la planta del cliente usualmente se cargan lotes enteros, mismos que al ser molidos en su proceso logran la homogeneización adecuada para dar una consistencia uniforme al esmalte.

Para eliminar las partículas gruesas de frita que no lograron ser molidas durante el proceso, el esmalte en seco debe ser tamizado o cribado a través de un equipo llamado zaranda (screener), el cual puede tener diferentes arreglos de mallas tyler, según se requiera para cada esmalte

En el caso de esmaltes molidos a 200 mallas, usualmente se usa una arreglo de mallas 40/80, en donde la malla 40 tiene el cometido de detener las partículas gruesas no molidas así como las bolas muy pequeñas que han logrado pasar a través de la rejilla de descarga del molino, la segunda malla 80 detiene las partículas gruesas que no logran pasar a través de esta malla con la finalidad de que no influyan demasiado en la distribución de tamaño de partícula final.

El producto que logra pasar a través de la ultima malla es envasado directamente en su correspondiente empaque, lo común en estos casos es usar bolsas de papel craft, con pesos que varían de 35 a 40 kg por bulto.

Las etapas de aprobación por parte del laboratorio de control así como cuando aplica la etapa de reproceso, son similares a las ya mencionadas anteriormente

CAPITULO 7

PROPIEDADES DEL ESMALTE CERAMICO

7.1 PROPIEDADES DEL VIDRIADO ENFRIADO

En este apartado se estudiarán todas aquellas propiedades del vidriado ya acabado susceptibles de ser medidas. Podemos dividir las propiedades de los vidriados en cuatro grupos, mecánicas, térmicas, ópticas y químicas, en la tabla 7.1 se muestran las propiedades que se revisaran en forma breve

TABLA 7.1 PROPIEDADES DEL VIDRIADO ENFRIADO	
GRUPO	PROPIEDADES
Mecánicas	Elasticidad Resistencia a la tensión Resistencia a la compresión Resistencia a la flexión Dureza (Rayado, indentación, abrasión) Impacto
Térmicas	Conductividad térmica Resistencia al choque térmico Dilatación térmica
Ópticas	Brillo Opacidad Color Matización
Químicas	Resistencia a la acción del agua Resistencia a los ácidos Resistencia a los álcalis

7.2 PROPIEDADES MECANICAS

Se entiende por propiedades mecánicas de un vidriado, su comportamiento frente a distintos tipos de esfuerzos mecánicos como la tracción, compresión, flexión, impacto, penetración, etc.

7.2.1. ELASTICIDAD

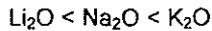
Existen dos tipos de cuerpos según su comportamiento ante la acción de fuerzas externas cuerpo elástico y cuerpo plástico. El primero es aquel que recupera su forma original al cesar la fuerza deformante aplicada sobre él, en tanto que el *cuerpo plástico no recupera su forma inicial al cesar la acción deformante que actúa sobre el y mantiene finalmente la deformación producida*

Esta propiedad se mide con base al modulo de elasticidad, el cual es un factor de proporcionalidad que caracteriza las propiedades elásticas del material, este se define como el cociente entre la fuerza aplicada por unidad de superficie y la deformación específica que experimenta el cuerpo, cuando la magnitud deformada es la longitud , este módulo recibe el nombre de Módulo de Young.

La elasticidad de los vidriados depende de varios factores como son:

- Composición química
- Presencia de burbujas de gas
- Condiciones de cocción
- Presencia de opacificantes
- Espesor de la capa de esmalte
- Temperatura
- Condiciones ambientales

El alargamiento producido al someter un vidriado a una fuerza deformante depende de la fuerza de los enlaces, por lo que los materiales más rígidos (enlaces fuertes) presentarán un mayor módulo de elasticidad. Así los óxidos alcalinos introducidos en el vidriado disminuyen el módulo de elasticidad en este sentido:



Los alcalinoterreos, la alúmina y boro aumentan el módulo de elasticidad.

La presencia de opacificantes, cristales o cualquier heterogeneidad en el vidriado disminuye así mismo la elasticidad.

El módulo de elasticidad disminuye de forma exponencial con el aumento de la porosidad, y por tanto con el aumento de burbujas en el esmalte.

Las estructuras vítreas enfriadas muy rápidamente presentan un módulo de elasticidad menor que las sometidas a un enfriamiento lento debido a que tiene una *estructura congelada de mayor volumen*.

El módulo de elasticidad disminuye con el aumento de temperatura debido al progresivo debilitamiento de los enlaces reticulares al aumentar la intensidad de sus vibraciones térmicas.

7.2.2 RESISTENCIA A LA TENSION

Esta propiedad se define como la carga de ruptura de una varilla de vidriado de 1 mm² de sección cuando es sometida a fuerzas de tensión, la presencia de burbujas de gas ocluido o de opacificantes reducen la resistencia a la tensión.

Los siguientes factores influyen también en la resistencia a la tensión

- Tiempo de carga (a mayor tiempo de carga menor resistencia a la tensión)
- Temperatura, la resistencia a la tensión tiene un comportamiento variable con la temperatura
- Humedad ambiente, en ambiente seco se alcanzan valores superiores a los alcanzados en ambiente húmedo.

7.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESION

Se define como la carga de ruptura de un cubo de 1 mm de lado sometido a aplastamiento, los vidriados tienen mayor resistencia a la compresión que a la tensión (sobre 10 veces mayor la resistencia a la compresión), será preferible obtener condiciones en las cuales el esmalte esté ligeramente en compresión, influyen los mismos factores que se indicaron en el apartado anterior (composición química, tiempo de carga, etc.)

7.2.4 RESISTENCIA A LA FLEXION

Se define como la fuerza de flexión que puede soportar una muestra de vidriado de una sección determinada sin romperse, esta propiedad depende de la composición química y de factores relacionados con el tratamiento preliminar del vidriado

La presencia de óxidos alcalinos aumenta la resistencia a la flexión. Los óxidos alcalinoterreos, PbO , ZnO , y B_2O_3 la aumentan también al incrementar su porcentaje, hasta llegar a un máximo (en el caso de boro sobre el 15 %) y después la disminuyen si se sigue aumentando su proporción.

La alúmina disminuye la resistencia a la flexión, mientras que los óxidos de estaño, cerio y antimonio tienen un efecto favorable.

La resistencia a la flexión de un vidriado depende también del espesor de éste y de las tensiones presentes.

7.2.5 Dureza

En términos generales se define dureza como la resistencia que opone un cuerpo a ser penetrado por otro. En base a esta definición de carácter general, se pueden distinguir tres tipos de dureza de interés en el estudio de los vidriados, resistencia al rayado, indentación y resistencia a la abrasión

En la resistencia al rayado se compara la dureza de la muestra con los valores estándar de durezas en la escala de Mohs, en la tabla 7.2, se muestran los valores establecidos.

Dureza	Mineral	Se raya
1	Talco	Fácilmente con la uña
2	Yeso	Con la uña
3	Calcita	Con moneda de cobre
4	Fluorita	Fácilmente con lamina de acero
5	Apatito	Difícil con lamina de acero
6	Feldespató	Con lima metálica
7	Cuarzo	Difícil con lima metálica
8	Topacio	Raya el vidrio de ventana
9	Corindón	Raya el vidrio de ventana
10	Diamante	Raya el vidrio de ventana

Los vidriados cerámicos utilizados en fabricación de pisos y recubrimientos están normalmente comprendidos entre las durezas 5 y 7 (apatito y cuarzo)

Se han estudiado los efectos de algunos componentes de los vidriados en la resistencia al rayado de estos, se pueden puntualizar como sigue:

- Los óxidos de sodio y potasio reducen la resistencia al rayado
- Sustituyendo el SiO_2 por B_2O_3 aumentamos la resistencia al rayado hasta llegar a un 15 % de óxido de boro ya que a partir de este valor la dureza disminuye
- La adición de opacificantes aumenta la resistencia al rayado

Obviamente este método para determinar la dureza de los esmaltes no es confiable dado que no considera la diferente presión a que puede aplicarse el rayado por parte de cada evaluador.

Referente a la propiedad llamada indentación, al aplicar una carga en un solo punto de un vidriado se origina una penetración en el sistema vítreo, su medida expresada mediante la relación carga/superficie de contacto da un estimado del grado de cohesión reticular (rigidez) de la estructura vítrea y esta relacionada con su composición, temperatura e historia térmica (tipo de enfriamiento).

La abrasión es el cambio en la superficie del vidriado (ya sea pérdida de peso y/o de aspecto como pueden ser brillo, textura, etc.) ocasionado por algún tipo de ataque mecánico que produce arrastre de partículas

Es una propiedad de gran importancia en vidriados destinados a la fabricación de pisos, *ya que determina su aplicabilidad para un uso determinado.*

Depende de la composición del esmalte de forma que a través de la experiencia se puede afirmar que las fritas opacificadas darán una alta resistencia a la abrasión, fritas transparentes y mates darán resistencias medias y la fritas plumbicas bajas

resistencias a la abrasión. En general los esmaltes de zirconio y de titanio dan altas resistencias.

Un aumento en la proporción de SiO_2 tiende también a aumentar la resistencia a la abrasión, mientras que el uso de carbonatos de calcio y bario tienden a disminuirla

El método mas utilizado para la medida de la abrasión es el propuesto por el "Porcelain Enamel Institute" (PEI) consistente en medir la pérdida de peso de probetas después de someterse a la acción de una carga abrasiva consistente en bolas de acero de diferentes diámetros y corindon, regularmente se someten a diferentes niveles de revoluciones en un aparato normalizado (las revoluciones varían desde 1000 a 6000)

Existen una serie de normas europeas que proponen para la medida de la abrasión un método consistente en estimar bajo unas determinadas condiciones de iluminación, la pérdida de aspecto de diferentes probetas con las mismas cargas abrasivas a diferentes revoluciones (EN-154)

Conviene destacar que la pérdida de peso y de aspecto de una probeta sujeta a la acción abrasiva, no tiene porque guardar una relación directa, así esmaltes con una gran porosidad cerrada presentarán una gran pérdida de aspecto al ser abrasionadas, aunque la pérdida de peso que experimenten sea pequeña.

7.2.6 RESISTENCIA AL IMPACTO

Se define como la energía mecánica necesaria para dañar la superficie de un vidriado después el impacto, puede determinarse mediante la caída de bola, este método consiste en dejar caer una bola de acero de masa conocida desde diferentes alturas hasta que se produce la rotura del vidriado

La resistencia al impacto expresa el valor máximo de la energía mecánica que puede absorber un vidriado sin romperse, depende de las tensiones internas del vidriado de forma que a mayores tensiones, menor resistencia al impacto, los vidriados en compresión presentan mayor resistencia al impacto que los que se encuentran en tensión

7.3 PROPIEDADES TERMICAS

En esta sección se resumen las propiedades que tienen que ver con los cambios de temperatura, mismos que son muy importantes ya que en lugares donde se usen los recubrimientos vítreos y se den cambios de temperatura bruscos, requieren que estos sean capaces de resistirlos sin alterar su calidad original.

La medida consiste en el rayado de una superficie de esmalte con un trozo del mineral correspondiente, la muestra tendrá una dureza un punto inferior a la del mineral que lo raya al menos

7.3.1 CONDUCTIVIDAD TERMICA

Esta propiedad depende de la composición del vidriado y de su porosidad, de forma que a mayor porosidad menor conductividad térmica del vidriado. Tiene influencia en la resistencia al choque térmico del vidriado, una baja conductividad térmica conduce a una baja resistencia al choque

La conductividad del vidriado puede ser determinada aproximadamente mediante la ley de aditividad

7.3.2 RESISTENCIA AL CHOQUE TERMICO

Es la medida de la resistencia de un vidriado frente a las tensiones originadas por cambios bruscos de temperatura. Los vidriados tienen una baja conductividad

térmica, por lo que al enfriarse rápidamente no pueden disipar el calor uniformemente por lo que se establecen diferencias de temperaturas entre la parte más superficial del vidriado, que se enfría más rápidamente y las partes internas.

Estas diferencias de temperatura dan lugar a diferencias de contracción y por lo tanto a la aparición de tensiones internas. Si estas tensiones sobrepasan el límite de elasticidad del esmalte se produce rotura. La resistencia al choque térmico de un vidriado depende fundamentalmente de su espesor, conductividad térmica y coeficiente de dilatación

7.3.3 DILATACION TERMICA

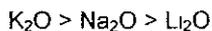
Se entiende por dilatación térmica de un vidriado la variación dimensional producida al aumentar la temperatura. Esta variación de dimensiones tiene su origen en la vibración térmica molecular del material.

Para caracterizar esta propiedad es necesario definir el coeficiente de dilatación lineal, el cual se define como el alargamiento experimentado por unidad de longitud del material al elevarse la temperatura un grado, las unidades se expresan en $^{\circ}\text{C}^{-1}$

Los coeficientes de dilatación varían con la temperatura y están influenciados también por las condiciones previas de elaboración de la probeta como técnica de elaboración de la misma o bien por el tipo de enfriamiento de ésta.

Se puede comprobar que a diferentes tipos de enfriamiento para un mismo vidriado se obtienen diferentes curvas dilatométricas, por lo que es importante en el estudio de los diferentes materiales cerámicos adaptarse en lo posible a las condiciones de *cocción industriales*.

La dilatación térmica de los vidriados esta en función de su composición química, por ejemplo los óxidos alcalinos aumentan extraordinariamente el coeficiente de dilatación en el siguiente orden:



En tanto que los óxidos alcalinoterreos tienen un efecto intermedio y variable, el BaO y el SrO dan coeficientes de dilatación altos, el CaO y el PbO lo dan medio-alto y el MgO y el ZnO bajos:



Los opacificantes disminuyen el coeficiente de dilatación en el siguiente orden:



El SiO₂ en estado vítreo disminuye el coeficiente de dilatación, en cambio como sílice cristalina lo aumenta, la alúmina disminuye el coeficiente de dilatación, el boro disminuye el coeficiente de dilatación, tiene una especial importancia ya que es el único elemento que actúa como fúndente y al mismo tiempo rebaja la dilatación térmica del vidriado cuando es empleado en bajas proporciones.

7.4 PROPIEDADES OPTICAS

Se estudian en este apartado las siguientes propiedades ópticas brillo, opacidad, color y matización. Todas estas propiedades físicas de los vidriados afectan a su resultado estético y están determinadas en cada caso, como se verá, por una serie de variables relacionadas con el proceso de fabricación y con la composición química

7.4.1 BRILLO

Un vidriado será mas brillante cuanto mayor sea la proporción de luz reflejada con respecto a la luz incidente sobre su superficie. El estado de la superficie juega un papel de suma importancia en el brillo. Superficies lisas darán vidriados brillantes mientras que una superficie rugosa o accidentada favorecerá la pérdida de brillo y la matización

7.4.2 OPACIDAD

La opacidad de un vidriado será provocada por la dispersión de la luz en un medio heterogéneo uniformemente distribuido. Se llama fase dispersa a las partículas cristalinas en suspensión.

Si se considera un vidriado constituido al 100 % de fase vítrea y homogénea éste será transparente. Un haz luminoso lo atravesará linealmente y será posible, por tanto, ver la superficie del soporte.

Si introducimos en este vidriado pequeñísimos cristales con un índice de refracción muy diferente al del vidrio, la luz cambiara de velocidad, y por tanto de dirección al incidir en cada cristal, en este caso será imposible ver el soporte, los pequeños cristales introducidos están opacificando al vidriado.

Si no hubiera ninguna diferencia entre la velocidad de la luz a través del vidrio y a través de los cristales no habría opacificación, por tanto esta depende de la diferencia entre las velocidades de propagación de la luz entre los distintos medios que componen el esmalte.

7.4.3 COLOR

El color de un vidriado es el resultado de la absorción de parte de la radiación visible que incide en él, y la reflexión solamente de determinadas longitudes de onda lo que da lugar a los distintos colores que vemos

El rojo parece rojo porque el vidriado absorbe todas las longitudes de onda de la radiación incidente menos la correspondiente al color rojo, que es el que vemos.

Un objeto negro absorbe todas las longitudes de onda mientras que un objeto blanco refleja todas las longitudes de onda del espectro visible.

Existen dos mecanismos fundamentales para la coloración de vidriados, el primero es la inclusión o mezcla en la estructura del vidriado de partículas individuales de tamaño microscópico de pigmentos calcinados, el segundo es el desarrollo del color en la misma red del silicato, como una parte integral de dicha red, aunque no de la estructura fundamental del silicato

7.4.4 MATIZACION

Así como las superficies brillantes son las que reflejan la mayor parte de la luz incidente, se define una superficie mate como aquella que provoca una débil reflexión de ésta. Conviene aclarar que una superficie mate, puede ser al mismo tiempo opaco (matización debida al crecimiento de cristales) o transparente (matización debida al bajo índice de refracción del vidriado)

Es posible lograr superficies mates mediante una adecuada composición del vidriado. Se pueden distinguir tres tipos de vidriados mates, según la composición de los cristales mates de calcio, originados por la recristalización de silicato de calcio, los mates de zinc, originados por la recristalización de silicato de zinc y por último los mates de alúmina, originados por la adición de alúmina durante la molienda la cual permanece infundida.

7.5 PROPIEDADES QUIMICAS

En este apartado se resumen las propiedades de los vidriados enfriados que tiene que ver con su comportamiento frente a los ataques químicos provocados por agua, ácidos y bases.

Para el caso de los esmaltes cerámicos existen normalizados una amplia serie de controles y ensayos para determinar la resistencia de los mismos a los agentes químicos con los que pueda entrar en contacto (ácidos, agua, detergentes, sustancias colorantes, etc) y cuyo resultado determina la calidad del producto y en consecuencia, su aptitud para el uso.

7.5.1 RESISTENCIA A LA ACCION DEL AGUA

El agua da lugar a la hidrólisis de silicatos al actuar sobre la red vítrea pasando a *disolución hidratos solubles*. La resistencia a la acción del agua depende de la composición del vidriado, del tiempo del ataque y de la temperatura.

Referente a la influencia de la composición, podemos decir que la adición de óxidos alcalinoterreos aumenta la resistencia al ataque del agua, su acción depende de la forma en que hayan sido introducidos a la red vítrea (silicatos, aluminatos etc).

La adición de óxidos de metales tri y tetravalentes tienen también, en general un efecto favorable.

El B_2O_3 aumenta también la resistencia al agua, sin embargo su efecto depende de la composición del vidriado y de la propia concentración del óxido, recordar que para concentraciones de B_2O_3 superiores al 13 % ("anomalía del boro), se invierte su *efecto disminuyendo la resistencia a la acción del agua*. La adición de alcalinos reduce la resistencia a la acción del agua

Con respecto a la influencia del tiempo de ataque, el resultado de la acción del agua en vidriados cerámicos es una función del tiempo, de forma tal que aumenta al incrementarse éste. La temperatura ejerce una influencia similar.

7.5.2 RESISTENCIA A LOS ACIDOS

El mecanismo de ataque es similar al del agua, el cual podemos ilustrar con la siguiente ecuación:



Los ácidos tienen iones H^+ fácilmente disponibles y muy móviles que pueden intercambiar lugares con los iones alcalinos existentes en los huecos del retículo, convirtiéndolo gradualmente en sílice hidratada.

Los factores que influyen en el ataque ácido son: la composición del vidriado, pH del medio, tiempo de ataque y la temperatura.

Referente a el primer factor, que es la composición del vidriado se ha determinado a través de la experiencia las siguientes reglas básicas:

- Los alcalinos disminuyen la resistencia a los ácidos, se mejora ésta por la sustitución de Na por K o por Li.
- Los óxidos de metales divalentes aumentan también la resistencia a los ácidos, sobre todo del ZnO .
- El B_2O_3 tiene su comportamiento habitual, es decir, a medida que aumentamos su porcentaje aumenta la resistencia hasta llegar a una concentración crítica (sobre el 13 a 15 %) en el que se invierte su acción. Algo parecido ocurre con la alúmina.
- El TiO_2 y el ZrO_2 aumentan también la resistencia a los ácidos.

- El PbO disminuye la resistencia frente a los ácidos

El pH mide la concentración de iones H^+ y por lo tanto afecta a la velocidad de reacción del ataque ácido, a pH bajos la velocidad de reacción será mayor puesto que aumenta la concentración de iones H^+

La temperatura y el tiempo de reacción influyen de tal forma que al incrementarse estas variables se aumenta la probabilidad de ataque al vidrio.

7.5.3 RESISTENCIA A LOS ALCALIS

El ataque básico se produce sobre el retículo formando compuestos solubles, se puede ejemplificar con la siguiente ecuación:



Influyen los mismos factores expuestos al hablar del ataque ácido y en el caso de la influencia de tiempo de ataque y temperatura los mismos razonamientos siguen siendo válidos.

El ataque básico será mayor a medida de que aumente el pH del medio, en general la adición de alúmina es muy beneficiosa para aumentar la resistencia al ataque básico.

CONCLUSIONES

1. Aun cuando la actividad de los ceramistas se ve como una actividad artesanal, en trasfondo se realizan un sinnúmero de actividades con fundamentos científicos e ingenieriles que dan vida a este sector.
2. Los materiales cerámicos cobran cada vez mayor importancia en el quehacer científico e industrial, desde aplicaciones biológicas, eléctricas, estructurales hasta de ornamento.
3. A pesar de que en la cartera de materias primas empleadas actualmente en la industria cerámica se cuenta con gran número de ellas, se requiere mayor investigación para sustituir las actuales por otras más económicas que a la vez mantengan la calidad vigente
4. Se requiere dar mayor énfasis a la sustitución de materias primas tóxicas como el plomo y cadmio
5. Aun cuando los balances de materia que se efectúan para calcular las fritas y los esmaltes cerámicos, son sencillos, la persona encargada de ejecutarlos debe contar con gran experiencia para realizar los cambios en fórmulas que sean bastantes provechosas
6. La tecnología actual de fabricación de fritas se ha mantenido por largo tiempo, durante dicho proceso se desperdicia una considerable cantidad de energía, por lo cual se impone mejorar dicho paquete de tecnología para mejorar el proceso o bien aprovechar de alguna manera esa gran cantidad de energía que se desperdicia

7. De una correcta operación de molienda vía seca o húmeda en la fabricación de esmaltes cerámicos, depende en gran medida la calidad de las mismas, por lo cual debe controlarse bajo las más estrictas normas técnicas de trabajo

8. Los recubrimientos vítreos han demostrado con mucho la gran utilidad que brindan al género humano, por lo cual difícilmente se logrará sustituir estos por algún otro material que aporte las características mencionadas a lo largo del reporte

RECOMENDACIONES

- 1 Se requiere formar profesionales que egresen como ingenieros ceramistas, tal y como actualmente se forman en países como Estados Unidos, España e Italia, ya que las personas que actualmente se desempeñan en este ramo a nivel nacional, carecen de una sólida preparación en esta materia, la experiencia se adquiere con el trabajo directo en las plantas cerámicas.
- 2 La operación más crítica en la fabricación de una frita radica en el proceso de fusión, por lo cual se requiere canalizar esfuerzos para diseñar hornos que permitan fundir los materiales en forma eficiente, logrando sobre todo ahorrar la energía que actualmente se pierde en la operación de un horno de fritas, esta se calcula en un 40 a 45 % de la energía suministrada. En estos momentos ya se han realizado propuestas de hornos que prácticamente no contaminan pero son en estos momentos muy poco rentables.
- 3 Se requiere incrementar los recursos para efectuar trabajo de investigación para sustituir el uso del óxido de plomo, ya que como es bien conocido este provoca graves problemas de salud a la población, actualmente en países como Estados Unidos esta estrictamente prohibido utilizar esmaltes cerámicos a base de plomo, que se destinan a contener alimentos, esta es una medida que actualmente no se ha intentado ni siquiera implantar en México, donde la gran mayoría de la loza que usamos para contener los alimentos se fabrica con algún esmalte que tenga plomo y en el peor de los casos se llega a usar la llamada greta (óxido de plomo puro) mezclada con un poco de boro y sílice

- 4 Se debe incrementar el uso de equipo de molienda vía seca, para evitar que el agua que se emplea en la molienda vía húmeda arrastre materiales tóxicos, los cuales van a parar a los desagües municipales, incrementando con esto el problema de contaminación del medio ambiente, se debe promover el uso de plantas de tratamiento de agua para que esta sea reciclada en la planta.

APENDICE A

MATERIAS PRIMAS Y SU COMPOSICION EN FUNDIDO

MATERIAL	COEF. DE EXPANSION (*10 ⁻³)	RENDIMIENTO TOTAL	COMPOSICION EN FUNDIDO
Acido borico	0 06	0.562	0 562 B2O3
Amblygonita		0 960	0 344 Al2O3 + 0.475 P2O5 + 0 078 Li2O
Antimoniato de sodio	4 64	1 000	0 162 Na2O + 0 838 Sb2O5
Arcilla Old mine 4		0 836	0 285 Al2O3 + 0 551 SiO2
Arena de zirconio		0 999	0 652 ZrO2 + 0 340 SiO2
Biox de manganeso elec		0 908	0 908 MnO2
Bioxido de manganeso		0 845	0.236 SiO2 + MnO2 0 502 + 0 107 Fe2O3
Bórax deshidratado	3 15	1 000	0 308 Na2O + 0 692 B2O3
Bórax hidratado	1 66	0 700	0.210 Na2O + 0 490 B2O3
Boro silicato de sodio	3 02	1 000	0 247 Na2O + 0 069 B2O3 + 0 684 SiO2
Caolin	2 36	0 838	0 377 Al2O3 + 0 461 SiO2
Carbonato de bario	2 33	0 770	0 770 BaO
Carbonato de cadmio		0.728	0 728 CdO
Carbonato de calcio		0 567	0 546 CaO + 0 009 MgO
Carbonato de estroncio		0 704	0 679 SrO
Carbonato de lantano		0 480	0 480 La2O3
Carbonato de litio	4 50	0 399	0 399 Li2O
Carbonato de magnesio	0 05	0 417	0 417 MgO
Carbonato de manganeso	1 66	0 756	0 756 MnO2
Carbonato de niquel		0 516	0 516 NiO
Carbonato de plata		0 840	0 840 Ag2O
Cianita	3 45	1 000	0 630 Al2O3 + 0 370 SiO2
Carbonato de potasio	5 78	0 675	0 675 K2O
Criolita	7 40	1 000	0 443 Na2O + 0 240 Al2O3 + 0 543 F
Dioxido de manganeso	2 20	0 933	0 864 MnO2 + 0.047 SiO2 + 0 022 R2O3
Dioxido de titanio	4.10	1 000	1 000 TiO2
Dolomita			0 322 CaO + 0 200 MgO + 0 0204 SiO2
Espodumene	2 45	1 000	0 670 SiO2 + 0 250 Al2O3 + 0 060 Li2O
feldespatu potasico		1 000	Na2O 0 041 + 0 095 K2O + 0 183 Al2O3 + 0 670 SiO2
Feldespatu sodico	2 60	1 000	0 065 Na2O + 0 058 K2O + 0 190 Al2O3 + 0 681 SiO2
Fluorita	2 50	0 988	0 700 CaO + 0 468 F + 0 017 SiO2
Fluoruro de aluminio	4 40	1 000	0 607 Al2O3 + 0.678 F
Fluoruro de sodio	7 40	1 000	0 74 Na2O + 0 452 F
Fluosilicato de potasio		1 000	0 424 K2O + 0 271 SiO2 + 0.515 F
Fluosilicato de sodio	5 00	1 000	0 330 Na2O + 0 317 SiO2 + 0 605 F
Fosfato de aluminio	2 58	1 000	0 193 Al2O3 + 0 807 P2O5
Fosfato de amonio	1 23	0 617	0 617 P2O5
Fosfato de calcio	2 30	0 716	0 321 CaO + 0 395 P2O5
Fosfato de potasio		1 000	0 565 K2O + 0 420 P2O5
Fosfato de sodio	4 43	1 000	0 304 Na2O + 0 696 P2O5
Fosfato doble de calcio	2 44	0 739	0 326 CaO + 0 413 P2O5
Fosfato trisodico	2 82	0 432	0 245 Na2O + 0 187 P2O5
Hidrato de cerio		0 859	0 747 CeO2

MATERIAL	COEF. DE EXPANSION (*10 ⁻³)	RENDIMIENTO TOTAL	COMPOSICION EN FUNDIDO
Hidróxido de aluminio	3 23	0 655	0 655 AL2O3
Lepidolita	2 70	1 000	0.526 SiO2 + 0 26 Al2O3 + 0 119 K2O + 0.119 K2O + 0 057 F
Litargiro	4 20	1 000	1.000 PbO
Magnesita		0 975	0.955 MgO + 0 002 SiO2
Metavanadato de amonio		0 776	0 776 V2O5
Mineral Co-Mn		0.950	0.630 MnO2 + 0 270 Co2O3
Minio		0.948	0 948 PbO
Nepheline syenite	3 11	1.000	0 610 SiO2 + 0 245 Al2O3 +0 101 Na2O + 0 051 K2O
Nitrato de amonio		0 000	0 575 NO2
Nitrato de plomo	2 83	0 674	0 674 PbO
Nitrato de potasio	3 96	0 465	0 465 K2O + 0.535 NO2
Nitrato de sodio	3.65	0 365	0.365 Na2O + 0 635 NO2
Oxido de aluminio	5 00	1 000	0.990 Al2O3
Oxido de antimonio	4 00	1 000	1.000 Sb2O5
Oxido de cadmio		1.000	0 995 CdO
Oxido de cerio		1 000	0.900 CeO2
Oxido de cobalto	4 10	1.000	1.000 Co2O3
Oxido de cobre		1 000	1 000 CuO
Oxido de cobre		1.000	1.000 CuO
Oxido de cromo		1 000	0 990 Cr2O3
Oxido de hierro	4 00	1 000	1.000 Fe2O3
Oxido de hierro		0 968	0 968 Fe2O3
Oxido de níquel	4.00	0 987	0 987 NiO
Oxido de plomo	4.10	0 977	0 977 PbO
Oxido de zinc	2 10	1 000	0 996 ZnO
Petalita		0 988	0 775 SiO2 + 0 164 Al2O3 + 0.046 Li2O
Pirrolita	1 63	0 940	0.775 SiO2 + 0 205 Al2O3
Pirofosfato trisodico		1.000	0 465 Na2O + 0 187 P2O5
Rasorita deshidratada	4.76	1 000	0 284 Na2O + 0 628 B2O3 + 0 045 SiO2 + 0.012 Al2O3 + 0 017 CaO
Rasorita Hidratada	3.33	0 699	0 199 Na2O + 0 477 B2O3 + 0 0324 SiO2 +0.008 Al2O3 + 0 012 CaO
Rutilo		1 000	0 96 TiO2 + 0.02 SiO2
Silicato de calcio y zirconio		1 000	0 502 ZrO2 + 0 259 SiO2 + 0 196 CaO
Silicato de plomo	3 66	1.000	0 840 PbO + 0 160 SiO2
Silicato de sodio	2 96	0.992	0 235 Na2O + 0 757 SiO2
Silicato de zirconio	1 62	1.000	0.640 ZrO2 + 0.360 SiO2
Silíce	0.80	1 000	0.997 SiO2
Soda Ash	5.85	0 581	0.581 Na2O
Sulfato de bario	1.97	1 000	0 658 BaO + 0.342 SO3
Sulfato de cobre		0.640	0 498 CuO
Sulfato de sodio	4 36	1 000	0.436 Na2O
Talco	0 539	0 946	0.310 MgO + 0.596 SiO2 + 0 018 Al2O3
Trióxido de bismuto		0.993	0.993 Bi2O3
Trióxido de molibdeno		1.000	0.92 MoO3 + 0.08 SiO2
Tripolifosfato de sodio		1 000	0.576 P2O5 + 0 418 Na2O
Wallastonita		0 979	0.463 CaO + 0.511 SiO2

GLOSARIO

Cerámica El arte y la ciencia de fabricar objetos con materias primas fundamentalmente de índole inorgánica, molidas y mezcladas homogéneamente, objetos preformados o moldeados en estado más o menos plástico y a los que la cocción acaba dándoles las cualidades definitivas.

Ciclo de cocción Trayectoria que sigue la evolución de la temperatura durante el proceso de cocción

Cocción Acción de someter a un material a un proceso de calentamiento progresivo hasta desarrollar en él las fases cristalinas y/o vítreas necesarias para dotarle de las propiedades adecuadas.

Contracción Reducción de las dimensiones o retraimiento que sufre un objeto cerámico durante los procesos de secado y de cocción, principalmente se considera en forma lineal y se expresa en %.

Craquelado Formación de fisuras o finas grietas en la superficie esmaltada, causada porque el coeficiente de dilatación térmica del esmalte es netamente superior al del soporte

Cristal Cuerpo, generalmente sólido, cuyos átomos se hayan dispuestos según un modelo bien definido.

Desconchado Es el defecto inverso al craquelado, se debe a que el coeficiente de dilatación de la pasta o soporte es más elevado que el del esmalte.

Desvitrificar Cambio del estado vítreo al cristalino, puede ocurrir como un defecto o por proceso controlado para producir una cerámica desvitrificada

Esmalte Se denomina así a la composición vítrea, transparente u opaca, dispuesta para cocer a cualquier temperatura, también se emplea el término esmalte en orfebrería y en la industria para designar a la capa opaca aplicada sobre metales y que se cuecen en unos minutos en hornos especiales a unos 750°C

Factor de fritado Se refiere al % de participación de los óxidos que se fijan al vidriado después de la cocción.

Factorización Balance de materiales que se efectúa para calcular la fórmula de carga a partir de un requerimiento específico de óxidos

Fórmula de carga Es la relación de las cantidades de materias primas a pesar para la preparación de una cantidad determinada de frita o esmalte

Fórmula Seger Es un tipo de formulación usada en cerámica, en la que las composiciones químicas de las materias primas y de los productos obtenidos a partir de ellas se representan por una fórmula de óxidos ordenados en óxidos básicos, anfóteros y ácidos, también se le conoce como fórmula empírica

Frita Una composición cerámica que ha sido fundida, congelada para formar un vidrio y granulada o laminada. Las fritas constituyen una parte importante de las cargas usadas en la composición de esmaltes, la finalidad de esta prefusión es insolubilizar los componentes solubles o tóxicos combinándolos con la sílice u otros óxidos

Frita granulada Frita en forma de granos pequeños o bolitas obtenidos al enfriar el fundido en agua fría.

Frita laminada Frita en forma de escamas, fragmentos de láminas obtenidas al enfriar el fundido pasándolo entre rodillos refrigerados.

Fúndente Una sustancia que disminuye el punto de fusión de un material en el que están presentes materiales refractarios tales como las arcillas, el término también se utiliza para vidrios de bajo punto de fusión que son añadidos a colores cerámicos para fundirlos sobre la pieza a la que están decorando.

Fusión Es un proceso térmico por el que un sólido se convierte en un líquido. El punto de fusión es la temperatura a la que ambas fases se hallan en equilibrio.

Horno Continuo Horno en que la carga entra por un extremo, se mueve continuamente a través del mismo y se descarga por el extremo opuesto.

Horno Rotatorio Un horno de forma cilíndrica alargada, generalmente inclinado, que gira lentamente alrededor de su eje, se calienta por una serie de quemadores situados axialmente en su extremo más bajo. La descarga del mismo se efectúa por una boquilla ubicada en el cuerpo del cilindro.

Intervalo de Maduración del Esmalte Espacio de tiempo que se le da a un esmalte para que madure, que se desarrolle bien sobre una superficie cerámica.

Maduración Mantenimiento de la temperatura máxima de cocción para obtener un grado deseado de reacción química.

Matización Acción dirigida a que un esmalte que da superficies brillantes se transforme en otro que tenga aspecto mate, no brillante.

Opacificante Un material que se añade a la carga para obtener un vidrio opalino, o para volver opaco a un esmalte. El vidrio se suele opacificar con Sn, Zr o Ti.

Pinhole Término inglés, ampliamente usado en cerámica para indicar perforaciones en la capa de vidriado, se refiere a un defecto del esmalte.

Refractario Material que tiene punto de fusión alto

Reología Ciencia de la deformación y flujo de los materiales, por ejemplo el estudio de la viscosidad de un vidrio o un esmalte en fundido, o de la plasticidad de una arcilla

Reproceso En el ambiente cerámico este termino se emplea para reutilizar todo material que no cumple los requisitos de calidad, es una de las grandes ventajas de trabajar con materiales cerámicos

Roller Quench Se refiere al método de enfriar la frita fundida mediante dos rodillos metálicos enfriados internamente por agua, que giran concéntricamente, los cuales logran remover una gran cantidad de calor que posee la frita fundida, se forma una lámina que da como producto la frita laminada ó en escama.

Tensión Esfuerzo al que se halla sometida la capa de un esmalte sobre la superficie de una pieza cerámica, como consecuencia de la diferencia excesiva de los coeficientes de dilatación térmica del soporte y del esmalte

Vidriado Es el término general que suele utilizarse para designar la película vítrea que se desarrolla sobre la superficie de las piezas cerámicas

Vidrio Es el cuerpo sólido, homogéneo e isótropo, que se forma al enfriar rápidamente un cuerpo en estado líquido y posterior transformación en sólido, mientras la viscosidad aumenta de modo continuo.

Water Quench Se refiere al método de enfriar la frita fundida mediante una cuba de agua fría, la cual absorbe gran cantidad del contenido calorífico que tiene esta al salir del horno de fusión. Mediante esta técnica se obtiene la frita llamada "granular".

BIBLIOGRAFIA

- F Singer y S.S. Singer. "CERAMICA INDUSTRIAL" VOL 1. Enciclopedia de la Química Industrial Tomo 9 Ediciones Urmo. Bilbao, 1979.
- H Salmang "LOS FUNDAMENTOS FISICOS Y QUIMICOS DE LA CERAMICA"
Ed Reverté
- J E Enrique Navarro; A. Blasco Fuentes, M Monzó Fuster, J. L Amorós Albaro. "TABLAS CERAMICAS". Instituto de Química Técnica (Tecnología Cerámica) Valencia, 1984.
- J E Enrique Navarro, J L Amorós Albaro. "MATERIAS PRIMAS PARA LA FABRICACION DE PAVIMENTOS Y REVESTIMENTOS CERAMICOS"
Técnica Cerámica No. 98 Pags 119 a 130.
- Claudio Guillen "MATERIAS PRIMAS CERAMICAS, COMPOSICIONES QUIMICAS Y MINERALOGICAS". Técnica Cerámica No. 125 Pags. 1576 a 1588.
- F Singer; W. L. German. "VIDRIADOS CERAMICOS". De. La productora de Bórax y A.Q.S.A. Barcelona, 1970.
- F Negre "DETERMINACION DE LA DUREZA DE ESMALTES DE PAVIMENTOS CERAMICOS PO REL METODO DE INDENTACION" Técnica Cerámica No. 178 Pags. 599 a 606
- J E. Enrique Navarro. "RESISTENCIA A LA ABRASION DE SUPERFICIES ESMALTADAS". Técnica Cerámica No. 158 Pags. 505 a 509.

J L Amorós "ACUERDO ESMALTE-SOPORTE (II). EXPANSION TERMICA DE SOPORTES Y ESMALTES CERAMICOS". Técnica Cerámica No 179 Pags. 644 a 657

J L Amorós Albaro "VIDRIADOS PARA PAVIMENTOS Y REVESTIMENTOS CERAMICOS. EVOLUCION Y PERSPECTIVAS (I)" Técnica Cerámica No. 206 Pags 570 a 584

J L Amorós Albaro. "VIDRIADOS PARA PAVIMENTOS Y REVESTIMENTOS CERAMICOS EVOLUCION Y PERSPECTIVA (II)" Técnica Cerámica No 207 Pags 679 a 693.

ATC SACMI "TECNOLOGIA DE LA FABRICACION DE AZULEJOS". Impiva Castellón, 1990.

J E Enrique Navarro. "TECNOLOGIA CERAMICA" Vol V. Esmaltes Cerámicos. I Q T Valencia, 1985

B Burzacchini. "EVOLUCION TECNOLOGICA EN EL DESARROLLO Y APLICACIÓN DE ESMALTES PARA REVESTIMIENTOS CERAMICOS". Cerámica y Cristal No. 112 Pags 24 a 29.

D De Clerk, A Patarcity "MATERIALES RESISTENTES A LA CORROSION PARA PLANTAS DE PROCESO. guía". Chem Engr., Vol 93, No. 22, Nov. 24, 1986, Pag 56 a 58

A G Pincus, D H. Davies "BATCHING IN THE GLASS INDUSTRY". Books for Industry and The Glass Industry Magazine New York, 1977.

A I Andrews. "ENAMELS", The Twin City Printing Co Publishers, Illinois, 1970

Ferro Corp. , "GENERAL BALL MILL GRINDING PRACTICES", Cleveland Ohio,
Pags 1 a 10, 1970

P O. Abbe "HANDBOOK OF BALL AND PEBBLE MILL OPERATION", Paul O
Abbe Inc., Little Falls, N. J., 1973.

K Masters "APPLYING SPRAY DRIER TO CERAMICS". American Ceramic
Society Bulletin, Vol. 73, 1994. Pags, 63 to 72.

M Mann "FACTORES QUE AFECTAN LAS TAZAS DE MOLIENDA PARA
MOLINOS SECOS DE BOLAS". Ferro Corp., Cleveland Ohio, 1970

T Docktor, P Weymouth; T. Barson "PROPER TECHNIQUES FOR THE BALL
MILLING OF CERAMIC GLAZES". American Ceramic Society Bulletin, Vol. 73,
1994. Pags. 54 to 58.

A Campoy. "EL ESMALTE: UN DISOLVENTE BASICO Y REDUCTOR EN
ESTADO FUNDIDO" Boletín Informativo, Fero Enamel Española S A Enero,
1989