



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE DISEÑO INDUSTRIAL **CIDI**

Facultad de Arquitectura • Universidad Nacional Autónoma de México

Materiales Cerámicos.

Propiedades, Aplicaciones
y Elaboración

M.D.I. Emma del Carmen Vázquez Malagón

Colección CIDI
Investigación

1



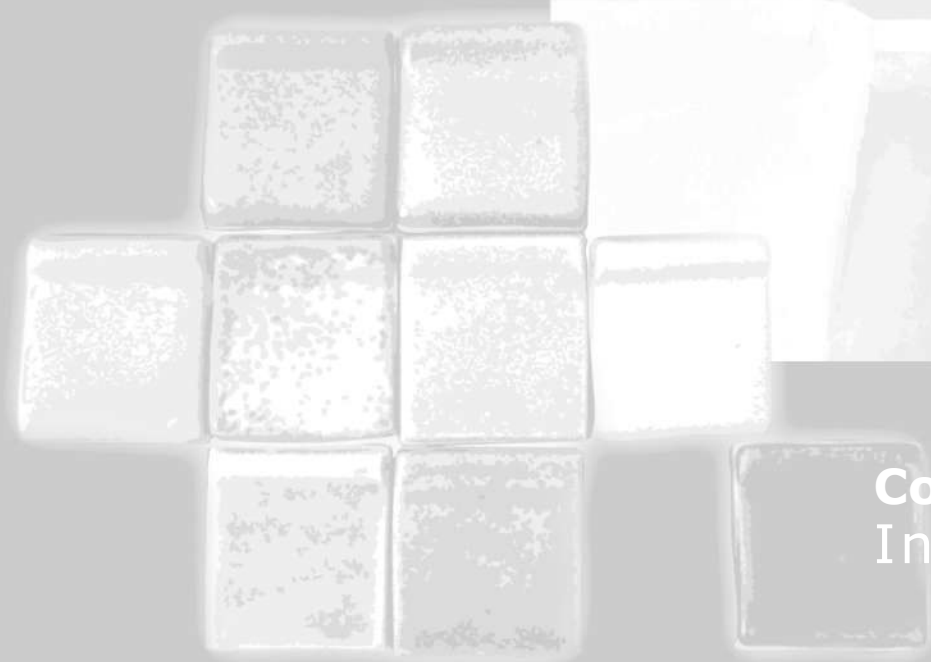
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE DISEÑO INDUSTRIAL **CIDI**

Facultad de Arquitectura • Universidad Nacional Autónoma de México

Material Cerámico.

Propiedades, Aplicaciones
y Elaboración

M.D.I. Emma del Carmen Vázquez Malagón



Colección CIDI
Investigación

1

Alumnos del CIDI, colaboradores en la elaboración de las muestras cerámicas para este documento.

Jani Galland Jiménez
Daniel Fco. García Hernández
Radamés García Montes de Oca
Miriam González Pérez
Edgar López Jiménez
Areli Maciel Regalado
Magali Noemí Peña del Olmo
Oliva Pola Ojeda
Karina Rodríguez Canedo
Berenice Sánchez González
Vanessa Sattelle Gunther
Armando Francisco Tenorio Zaliv
José Antonio Valle Pereña

Diseño editorial:

D.G. Irlanda Shelley del Río.

Fotografía:

D.I. Tania Vázquez Amezcua

DR©2005

Centro de Investigaciones de Diseño Industrial.
Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México.

Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.
ISBN 970-32-2478-4
Impreso en México / Printed in Mexico

**ORGULLOSAMENTE
UNAM**

Índice

Introducción	i
1. La cerámica	1
• Clasificación de las cerámicas.	1
• Temperaturas de quema.	7
2. Pastas cerámicas	17
• Pastas de baja temperatura (850°-1050°C)	17
• Pastas de alta temperatura (1200°-1300°C)	18
• Clasificación de las cerámicas tradicionales	19
• Propiedades de las cerámicas tradicionales	22
3. Composición de una pasta cerámica	31
• Elementos básicos en la composición de una pasta	32
4. Materias primas para pastas cerámicas	37
• Materias primas arcillosas	37
• Origen y composición de la arcilla	37
• Clasificación de las arcillas	38
• Tipos de arcillas.	39
• Materias primas no arcillosas	42
5. Vidriados cerámicos	47
• Diferencia entre vidrio y vidriado	47
• Clasificación y tipos de vidriados	48
6. Composición de un vidriado cerámico	51
• Estado vítreo	51
• Composición básica de un vidriado	51
• Propiedades de los vidriados	53
• Composición de vidriados tipo de baja y alta temperatura	66
• Elaboración de vidriados cerámicos	67
7. Materias primas para vidriados cerámicos	73
• Óxidos formadores de vidrio	74
• Óxidos estabilizadores	74
• Óxidos fundentes	75
• Óxidos opacificantes	83
• Óxidos colorantes	84
Anexo de imágenes	
• Pastas de baja temperatura y Pastas de alta temperatura. Lámina 1 y 2	A
• Materias primas arcillosas quemadas a diferentes temperaturas. Lámina 3	B

• Materias primas no arcillosas quemadas a diferentes temperaturas. Lámina 4	C
• Vidriados de baja temperatura. Lámina 5	D
• Vidriados de alta temperatura. Lámina 6	E
• Desarrollo de un vidriado base de baja temperatura a partir de la mezcla: frita-arcilla-sílice-feldespatos. Lámina 7.1	F
• Vidriado base de baja temperatura con adiciones de óxidos colorantes. Lámina 7.2	G
• Vidriado base de baja temperatura con adiciones de dos óxidos colorantes. Lámina 7.3	H
• Desarrollo de un vidriado base de alta temperatura a partir de la mezcla: feldespatos-caolín-carbonato de calcio. Lámina 8.1	I
• Vidriado base de alta temperatura con adiciones de modificadores (TiO_2 y ZnO). Lámina 8.2	J
• Vidriado base de alta temperatura con adiciones de óxidos colorantes. Lámina 8.3	K
• Materias primas fundentes quemadas a diferentes temperaturas. Lámina 9	L
• Materias primas opacificantes quemadas a diferentes temperaturas. Lámina 10	M
• Óxidos metálicos colorantes. Lámina 11	N
• Estudio comparativo de vidriados con el método Seger. Lámina 12.1	N
• Estudio comparativo de vidriados con el método Seger. Lámina 12.2	O
• Estudio comparativo de vidriados con el método Seger. Lámina 12.3	P
• Efectos de la temperatura en una pasta de baja temperatura (Barro de Oaxaca). Lámina 13	Q
• Efectos de la temperatura en vidriados de alta temperatura. Lámina 14	R
8. Sistemas para la elaboración de materiales cerámicos	89
• Método triaxial.	89
• Método de Seger.	97
9. Efectos de la temperatura en los materiales cerámicos	103
• Puntos críticos en la cocción.	103
• Control de la temperatura	106
• Efectos del exceso o falta de temperatura en los materiales cerámicos	106
• Atmósfera del horno	108
Apéndice	109
• 1. Equivalentes de temperatura de conos pirométricos Orton	109
• 2. Análisis de pastas cerámicas	110
• 3. Análisis de vidriados	114
• 4. Composición química y pesos moleculares de materias primas	117
• 5. Fórmulas límites de vidriados	118
• 6. Conversión de una fórmula de unidad molecular a porcentajes	121
• 7. Conversión de una fórmula de porcentaje a unidad molecular	124
Glosario	127
Referencias bibliográficas	129
Bibliografía	131

Introducción

El conocimiento y la comprensión de las características, propiedades y aplicaciones que poseen los materiales, es sin duda parte esencial en el quehacer del diseño industrial, ya que por medio de ellos, así como de los procesos de transformación que al entretenerse con los factores de función, ergonomía y estética, se logran configurar los objetos-producto durante la actividad proyectual. En el caso específico de la cerámica, dicho conocimiento nos permite en un primer nivel definir las propiedades formales de los objetos, es por esto que el diseñador requiere conocer las características y el comportamiento del material.

En un grado más profundo de especialización, el diseñador no sólo determina las características formales de la pieza cerámica, sino también interviene en su elaboración, aquí la actividad proyectual y la producción se superponen, el conocer está íntimamente ligado al hacer; a diferencia del nivel anterior, en donde estas dos actividades están separadas. Pero en la cerámica, el proceso para producir un objeto comienza con la elaboración del material mismo con el que se va a trabajar, éste es "construido" a partir de combinar principalmente una arcilla con otras sustancias para obtener de ella atributos específicos, los cuales pueden ser modificados al combinar dichas sustancias con otras o en otros porcentajes, es decir que en la cerámica, el material, al igual que la pieza a realizar, es también diseñado. Esta particularidad propia de la cerámica, exige por lo tanto a todo aquel que desea especializarse en esta área, conocer los elementos que han de conjugarse para obtener un material con las características adecuadas para poder producir objetos.

Es verdad que algunos materiales han sido ya confeccionados por la industria y que pueden ser adquiridos comercialmente, sin embargo, la poca variedad que existe de ellos o su calidad, nos imponen limitantes no solamente en el momento de querer producir una pieza cerámica, sino también de diseñarla. En la misma lógica que el artista prepara sus propios pigmentos con los tonos exactamente deseados para su obra, el diseñador que además de proyectar hace cerámica, casi como un acto de sobrevivencia, tendrá que preparar sus propios materiales.

Con base en las premisas mencionadas, este trabajo tiene como objetivo principal hacer algunas propuestas metodológicas que le permitan al diseñador industrial, desde la formación que

tiene, poder abordar el diseño de materiales cerámicos. Estas propuestas han surgido primordialmente de la actividad experimental llevado a cabo durante un largo tiempo en el Taller de Cerámica del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI) de la UNAM, la cual se vio formalizada en el proyecto de tesis de maestría "La cerámica en el diseño industrial, algunas propuestas metodológicas para el desarrollo de pastas y vidriados", realizado en el Posgrado de Diseño Industrial de la Facultad de Arquitectura, y que a su vez sirvió para la elaboración del manual de apoyo que formó parte del proyecto PAPIME "Muestrarios de materiales cerámicos" (Taller de Cerámica CIDI-UNAM), presentado en el Programa de Apoyo a Proyectos Institucionales para el Mejoramiento a la Enseñanza (PAPIME), de los cuales ha sido tomada la información presentada aquí.

Cabe mencionar que este texto, justamente por haber surgido de un trabajo experimental, no tiene la menor intención de dar recetas, sino de mostrar un camino que pueda a la vez enriquecer a dichas metodologías, por lo cual la estructura adoptada en este documento fue la siguiente:

Los dos primeros capítulos tienen como finalidad la de presentar un panorama que va de lo general a lo particular acerca de la cerámica, tratando de ubicar los tipos de materiales cerámicos, sus características y sus aplicaciones. Estimo que estos capítulos cubren la parte básica acerca de la cerámica, vista como un material que puede ser aplicado en objetos de diseño industrial.

En los siguientes capítulos, que constituyen la parte fundamental de este documento, se presenta información acerca de cómo se conforman las pastas y vidriados cerámicos, haciendo énfasis en la composición y las materias primas que intervienen en dicho proceso, para finalmente explicar dos de los sistemas más usados en la elaboración de materiales cerámicos.

Y finalmente, en el apéndice se incluyen datos técnicos complementarios que hacen particular referencia al análisis de pastas y vidriados, así como al método Seger para el desarrollo de éstos últimos.

1 La cerámica

Tradicionalmente se ha definido a la cerámica como el arte de fabricar objetos de arcilla cocida,¹ esta definición debe su origen a que las primeras cerámicas que trabajó y conoció el hombre, fueron materiales arcillosos que encontró en la naturaleza a los cuales sólo tuvo que agregar agua para poder modelarlos. Sin embargo, pronto descubrió que podía obtener mejores resultados, si las arcillas encontradas naturalmente eran mezcladas con otros materiales que le permitieran mejorar sus características antes o después de la quema, logrando así un paulatino perfeccionamiento en las piezas realizadas.

Hoy en día, el concepto de cerámica abarca no solamente a aquellas en las cuales, la arcilla sigue siendo el material indispensable y más importante, comprende en un sentido más amplio, a todo artículo elaborado a partir de sustancias inorgánicas, primeramente moldeadas y posteriormente endurecidas por el fuego. Esta definición se genera a partir del desarrollo de las llamadas nuevas cerámicas, las cuales han surgido como resultado de la aparición de necesidades cada vez más específicas, en donde para satisfacerlas, se han creado pastas cuya composición se encuentra exenta de sustancias arcillosas. Sin embargo, éstas se clasifican dentro del mismo campo de conocimiento, debido a que, al igual que las arcillas, requieren ser moldeadas en crudo y después ser expuestas al fuego para su endurecimiento, convirtiéndose así en materiales cerámicos.

La cerámica tradicional, a la cual nos referiremos en este documento, es también denominada como la química de los silicatos ya que las materias primas clásicas que intervienen en su composición: **Arcilla** ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), **Sílice** (SiO_2) y **Feldespatos** ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ó $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) contienen como elemento común al Sílice.

Clasificación de las cerámicas

Debido a que la cerámica en general es resultado de una combinación de sustancias minerales, los tipos de pastas o cuerpos cerámicos y las características que pueden presentar cada uno, son por lo tanto muy numerosas, de tal manera que los criterios de clasificación suelen

ser muy diversos, algunos de ellos son: por su temperatura de quema (baja, media y alta), por su densidad (porosas y densas), por su color (blancas o coloreadas) o por su uso. De acuerdo a su composición, la cerámica se puede dividir en tres grandes grupos:

1. Pastas tradicionales

Comprende a los **cuerpos cerámicos cuyo componente principal es una arcilla o una mezcla de arcillas, combinada principalmente con sílice y feldespato**; o bien, el trabajo directo con arcilla como materia prima única, lo cual es poco frecuente. Las diferentes pastas cerámicas pertenecientes a este grupo son logradas debido a la variación de los porcentajes de arcilla, sílice, feldespato y otros materiales que pudieran intervenir en la composición, y a las diferentes clases de arcillas que existen en la naturaleza, todo ello formulado para que a una determinada temperatura se obtenga un tipo de material cerámico. Estas variaciones pueden ser tan sutiles que la frontera entre una pasta y otra, puede no estar bien delimitada. Los cuerpos cerámicos pertenecientes a este grupo son:

- **Ladrillería**

Es un material poroso, tosco y de color, preparado por los métodos más directos a partir de arcillas naturales, usado en la fabricación de ladrillos.

- **Refractarios**

Materiales resistentes al calor que se emplean en aquellas partes del horno, que deben resistir una alta temperatura sin deformaciones. Pueden dividirse en productos pesados y/o de grano grueso para usos generales, y en piezas finas demandadas para usos especiales. Se clasifican de acuerdo a su refractariedad y a su naturaleza química.

- **Arcilla refractaria**

Las pastas de arcilla refractaria son moderadamente finas, porosas, blanquecinas y utilizan arcillas refractarias naturales. Su estructura permite la fabricación de piezas resistentes de gran tamaño, como baldosas para piso.

- **Alfarería**

Pasta cuyo componente principal o único es el barro, es porosa, de color y con poca resistencia mecánica. Se le conoce también como mayólica, terracota o barro (término común utilizado en México). Se usa en gran diversidad de productos de uso cotidiano.

- **Loza blanca y loza coloreada**

Pasta fina, porosa y blanca, ó pasta blanca que ha sido coloreada por medio de óxidos metálicos, respectivamente. De resistencia media, se usa para la fabricación de productos decorativos y para el hogar.

- **Loza semivítrea**

De menor absorción y mayor resistencia que la loza blanca, se utiliza principalmente para la fabricación de vajillas.

- **Gres**

Conocido también como stone-ware, seki yaki o simplemente cerámica de alta temperatura; es una pasta opaca e impermeable de color variable, gran resistencia y con un alto contenido de arcilla en su composición. Se usa en la producción de pisos, tuberías y piezas en general de no gran detalle.

- **Gres fino**

Variante del gres fabricado a partir de materias primas seleccionadas, puede trabajarse en una gran cantidad de procesos manuales e industriales, lo mismo que en piezas muy grandes. Se utiliza para la producción de vajillas de mesa, artículos varios y piezas de arte. Este material puede ser texturizado agregándole chamota o arcilla refractaria.

- **Porcelana vítrea**

Pasta blanca opaca, de alta resistencia, vitrificada y absorción de agua casi nula. Se usa en la fabricación de sanitarios y vajillas de hotel.

- **Porcelana blanda**

Es fundamentalmente una pasta fina, de color blanco o marfil, más o menos translúcida y muy resistente. Su nombre se debe a que su temperatura de quema no rebasa los 1300°C, fue desarrollada y fabricada originalmente en Europa para simular la porcelana china. Se usa en la fabricación de piezas artísticas, para el hogar y decorativas.

- **Porcelana de huesos**

Puede clasificarse también como una porcelana blanda, es una pasta de color marfil o blanco, muy resistentes al impacto. Su principal característica es su translucidez, la cual se debe al alto contenido de cenizas de hueso. Es usada particularmente en Inglaterra, en la fabricación de vajillas.

- **Porcelana dura**

Cocida a altas temperaturas (1300°-1450°C) y preparada con materiales muy seleccionados, resulta ser una pasta blanca de alta calidad, completamente vitrificada, translúcida, muy dura y resistente. Tiene los mismos usos que la porcelana blanda.

2. Pastas modernas mejoradas

Estas **pastas se derivan del grupo anterior, y gracias a la adición de otros materiales se logra un mejoramiento en sus características.** La presencia de arcilla en su composición, aunque menor que en el primer grupo, sigue siendo importante. Se les conoce también como pastas técnicas ya que el uso de éstas es más especializado, encontrando aplicación particularmente en el área de ingeniería y química. Las pastas de este grupo son:

- **Pastas de aislamiento térmico**

De acuerdo a la temperatura por aislar, se fabrican a base de pastas de ladrillería o refractarios especialmente porosos. Sus usos van desde el aislamiento térmico de viviendas, hasta el de las altas temperaturas generadas en hornos de producción industrial o de laboratorio.

- **Abrasivos con aglomerante cerámico**

Son pastas compuestas de materiales abrasivos en forma de granos (corindón natural o artificial, alúmina fundida, carburo de silicio), aglutinados por una pasta cerámica que posee alta resistencia y tenacidad.

- **Gres químico blanco**

Es un gres cuya esmerada selección de sus materias primas, lo convierte en una pasta mejorada de color blanco y vitrificada por completo, presentando absorción nula de agua.

- **Gres resistente al choque térmico**

Gres al cual se le ha adicionado preferentemente chamota de alta conductividad térmica (corindón, carburo de silicio, ferrosilicio o grafito) para el mejoramiento de su resistencia al choque térmico.

- **Gres eléctrico**

Pasta de gres adicionada con compuestos férricos y titánicos que la hacen muy resistente a la perforación. Es un excelente aislante eléctrico que permite la producción de piezas de gran tamaño.

- **Porcelana eléctrica**

Es una pasta derivada de la porcelana, absolutamente vítrea y con una alta resistencia mecánica que le permite ser usada en la fabricación de piezas que se encuentran generalmente presionadas, o bien atornilladas por otros elementos; el color de esta pasta es sacrificado en ventaja de las características anteriores. Por su tipo de uso, la porcelana eléctrica debe permitir un fácil moldeo de piezas complicadas y de exactitud dimensional. A diferencia del gres eléctrico, se usa en la fabricación de piezas pequeñas y de mucho detalle.

- **Porcelana química**

Es una porcelana rica en alúmina que por su uso requiere de una muy alta resistencia mecánica y química, y en algunos casos al choque térmico. El color blanco de la pasta puede no ser tan importante.

- **Porcelana de mullita**

La composición y procedimiento de fabricación de la porcelana se ajustan para que se desarrolle un alto contenido de mullita en la pasta cocida, con lo cual se obtienen porcelanas de mejor refractariedad, mejor resistencia al choque térmico y mayor conductividad térmica.

- **Porcelana de silicato de circonio**

Es una porcelana con un alto contenido de circonio en su composición (50%). Es de color blanco o marfil después de la quema, con muy elevada resistencia al choque térmico, muy alta resistencia mecánica y satisfactoria resistencia química.

3. Nuevas pastas basadas en compuestos únicos

Algunas de éstas se han derivado de las pastas modernas mejoradas, sin embargo, **la presencia de arcilla es mínima para los cuerpos cerámicos de tipo porcelana y prácticamente nula para las de tipo de componente único.** Estas pastas **requieren de ingredientes extremadamente puros** y de un gran control para su producción, así como de **elevadas temperaturas para su cocción.** Las pastas de este grupo son:

- **Pastas permeables porosas**

Estas se derivan de algunas de las pastas técnicas anteriores. Sus poros están conectados y son de tamaño cuidadosamente regulado y se usan en procesos de filtración.

- **Pastas de tipo porcelana**

Estas pastas se basan en un conocimiento aún más profundo de los componentes de la porcelana, cuyas materias primas han sido rigurosamente seleccionadas y a las cuales se les han agregado diferentes tipos de minerales que le confieren características varias. Estas pastas toman su nombre del material adicionado.

- **Pastas tipo de componente único**

Formadas de un solo componente de gran pureza y del cual reciben su nombre, son en general materiales cerámicos de muy alta resistencia a esfuerzos mecánicos, a la

corrosión, a las altas temperaturas, a la fricción, y dependiendo de cada una de ellas, pueden presentar propiedades especiales de conductividad o aislamiento eléctrico y de resistencia al choque térmico.

Temperaturas de quema

Las temperaturas de quema a las cuales son cocidas las pastas cerámicas varían de acuerdo a cada grupo y composición. Cabe aclarar que, **la temperatura de quema es aquella a la cual debe de ser sometida una pasta para que alcance a desarrollar todas sus propiedades**. Los cuerpos cerámicos de baja temperatura pueden sinterizarse en general desde los 800°-850°C, e incluso a menos, pero aquellos que tienen una temperatura de quema menor, quedarán infracocidos.

• Pastas tradicionales

Los cuerpos cerámicos de este grupo suelen ser clasificados de acuerdo a su temperatura de quema en:

• Pastas de baja temperatura:

850°-1050°C. (Se pueden encontrar pastas infracocidas desde 600°C).
Ladrillería, alfarería, loza blanca y loza coloreada.

• Pastas de media temperatura:

1100°-1200°C. Arcilla refractaria y loza semivítrea.

• Pastas de alta temperatura:

1200°-1300°C. Pastas de gres.
1200°-1450°C. Pastas de porcelana.

Existe también otro criterio, en el cual sólo se consideran dos niveles de temperatura:

Pastas de baja temperatura: 850°-1050°C.

Pastas de alta temperatura: 1200°-1300°C.

- **Refractarios**

Comúnmente éstos no son clasificados dentro del grupo de alta temperatura, pero se pueden encontrar materiales refractarios quemados a partir de los 1300°C y dependiendo de su uso y composición, pueden llegar a resistir hasta 2000°C o mucho más.

- **Pastas modernas mejoradas**

Generalmente sus temperaturas de quema son cercanas o ligeramente superiores al grupo correspondiente de las pastas tradicionales:

- **Pastas de aislamiento térmico**

De acuerdo a su uso varían entre 850°-2000°C, o más aún.

- **Gres mejorado**

De 1200°-1300°C en adelante.

- **Porcelana mejorada**

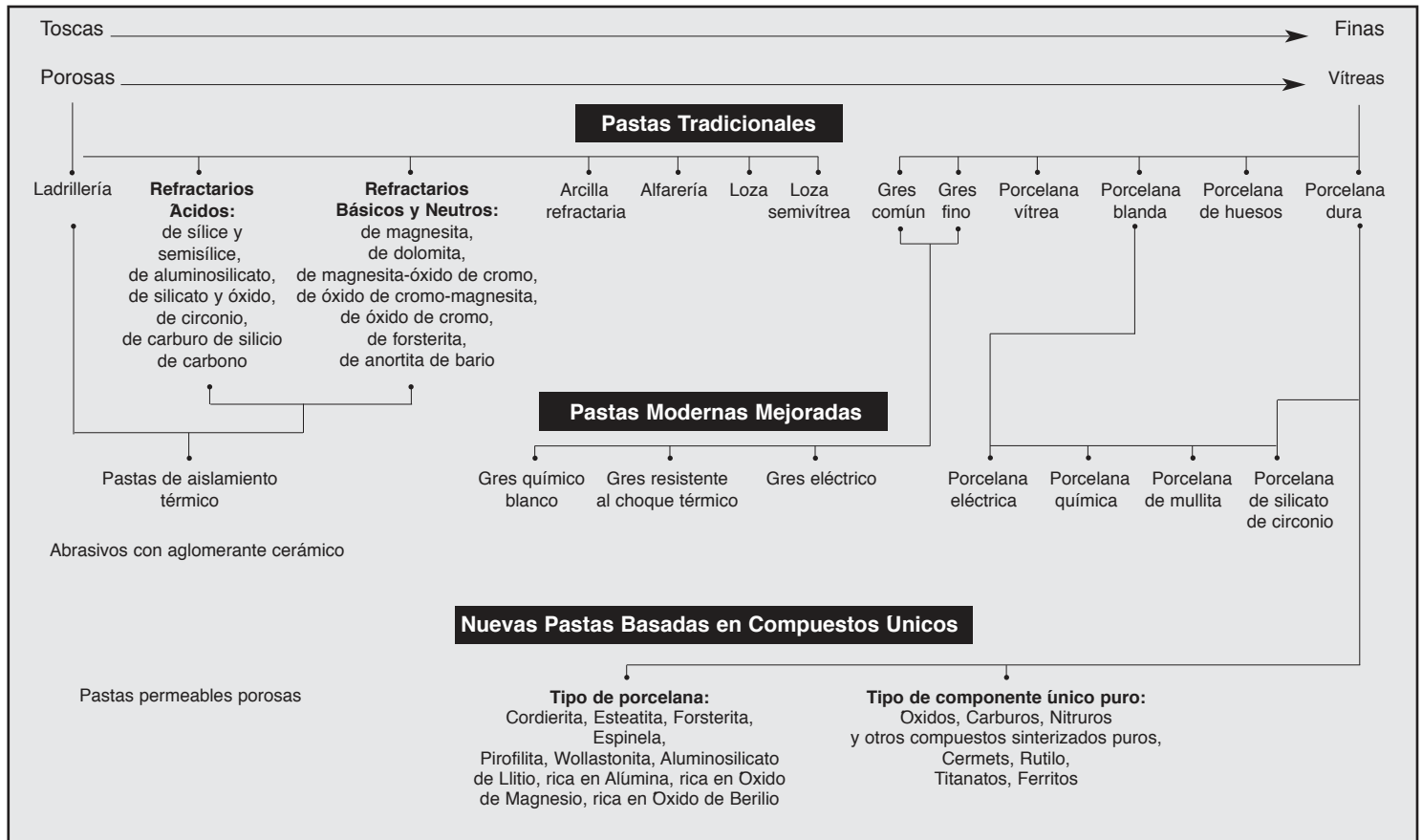
De 1300°-1500°C en adelante.

- **Nuevas pastas basadas en compuestos únicos**

Son pastas cocidas a partir de los 1600°C y pueden llegar hasta los 2800°C.

Para el campo del diseño industrial, resulta de gran importancia poder conocer los usos y características que tienen los materiales, ya que de ello depende la posible aplicación que se les puede dar a éstos, las siguientes tablas resumen la clasificación que Felix y Sonja Singer hacen de la cerámica en siete grandes grupos, los cuales contemplan diferentes áreas de aplicación.

Clasificación de las pastas cerámicas ²



Cerámica para la construcción

Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
• Ladrillería.	• Piezas porosas con o sin esmalte. • De media a mayor dureza. • Aislante térmico.	• Ladrillo común. • Ladrillo de fachada. • Ladrillo hueco. • Ladrillo técnico. • Ladrillo azul.	• Construcción. • Ingeniería Civil.
• Alfarería.	• De grano fino y textura más compacta que la de ladrillería con o sin esmalte. • Teñida o engobada. • Que se superpongan o encajen.	• Teja.	• Techado. • Protección de paredes exteriores.
• Alfarería.	• Piezas redondas, huecas, rojas, porosas.	• Tubos de chimenea. • Macetas.	• Chimeneas. • Jardinería. • Artículo decorativo.
• Gres común.	Resistencia a : • Ataque químico. • Compresión. • Descomposición, corrosión, contaminación. • Ataque de bacterias. • Erosión, condiciones húmedas y secas. • Heladas, roedores, raíces, etc.	• Tubería de drenaje. • Tubería de gres vidriado con sal.	• Drenaje.
• Gres. • Loza. • Alfarería.	• Semiporosas con o sin esmalte. • Densas y vitrificadas, con o sin esmalte. • Colores y decorados varios. • Lisas o con textura. • Antiderrapantes. • Resistencia a la abrasión y a la intemperie.	• Azulejos. • Loseta para piso.	• Revestimiento de pisos y paredes. • Decorativo.
• Porcelana vítrea. • Gres fino.	• Artículos vitrificados. • Baja absorción de agua (1%). • Alta resistencia. • Superficie lisa y esmaltada por limpieza. • Resistencia al trabajo duro. • Resistencia al ataque químico.	• Artículos sanitarios.	• Uso sanitario en general.

Cerámica para el hogar

Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
• Alfarería. • Loza. • Loza semivítrea. • Porcelana blanda. • Porcelana de hueso. • Porcelana dura. • Gres fino. • Gres resistente al fuego.	• Según el tipo de pasta pueden ser gruesas y pesadas, delgadas y finas. • La pasta puede ser porosa o de nula absorción. • Superficies lisas para vajillas y artículos de cocina para una fácil limpieza. • Superficies lisas o rugosas para pieza decorativa. • Admiten un extensa variedad de colores y tratamientos decorativos. • Los esmaltes pueden ser mates, brillantes, opacos o transparentes. • Los artículos resistentes al fuego son porosos.	• Vajilla para uso doméstico. • Vajilla fina de mesa. • Vajilla de hotel y de uso institucional. • Artículos de cocina. • Pieza decorativa y artística. • Artículo publicitario.	• Hogar. • Hotel. • Institucional. • Decorativo. • Artístico.

Cerámica química y técnica

Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
• Gres con esmalte salino. • Gres químico para ingeniería. • Gres químico blanco. • Porcelana de rutilo. • Porcelana química. • Porcelana dura. • Porcelana rica en mullita. • Refractarios de carbono.	• Porosidad muy reducida o casi nula. • Superficie esmaltada y sin rugosidades por limpieza. • Estabilidad de volumen. • Tolerancia de 2% por deformaciones en cocción. • Puede esmerilarse y tornearse para exactitud dimensional. • Resistencia a la corrosión frente a la casi totalidad de los líquidos y gases químicos con excepción de ácido fluorhídrico y álcalis cáusticos calientes. • Elevada resistencia mecánica y al choque térmico. • Fuerte, relativamente tenaz y susceptible de convertirse prácticamente en cualquier forma y en tamaños grandes.	• Rodillos. • Trituradores. • Crisoles. • Vasos de precipitados. • Embudos. • Cápsulas. • Recipientes de almacenamiento. • Tuberías. • Guía para hilos y carretes. • Moldes de inmersión para guantes de goma.	• Fabricación de sustancias químicas: ácidos colorantes explosivos pinturas amoniaco barnices, etc. • Materiales y procesos fotográficos. • Industria de la alimentación. • Industria farmacéutica. • Industria textil. • Industria metalúrgica. • Material de laboratorio. • Industria de procesos electrolíticos.
• Pastas permeables porosas.	• Las características anteriores pero con cuerpos porosos permeables para filtrar.	• Filtros en formas varias. • Platos para germinación de semillas y procesos fotográficos. • Diafragmas electrolíticos.	

Cerámica especializada para laboratorio e ingeniería

Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
• Gres químico blanco. • Porcelana química. • Porcelana de mullita. • Porcelana de zircón. • Refractarios de un componente. • Abrasivo aglutinado (para abrasivos). • Cordierita. • Corindón.	• Pueden tener porosidad muy reducida o nula. • Para muelas abrasivas pueden ser compactas o porosas. • Para uso al choque térmico, las pastas son porosas. • Resistencia mecánica (tracción, flexión y presión). • Dureza y resistencia a la abrasión extrema. • Resistencia a la corrosión. • Resistencia al desgaste. • Material duro que puede moldearse con gran exactitud dimensional. • Estabilidad de volumen. • Impermeable y capaz de sostener vacío. • Impermeabilidad a gases.	• Material de laboratorio (crisoles, morteros, embudos). • Jarras y bolas de molinos. • Revestimiento de molinos. • Paredes para hornos. • Herramientas de corte, perforación y rectificación. • Muelas abrasivas. • Matrices para estirado de alambre. • Guías para hilos. • Crisoles para fusión de metales duros. • Varillas y pantallas de control para reactores. • Toberas para motores de cohetes sin refrigeración. • Reactores nucleares. • Bujías.	• Laboratorio. • Molienda. • Ingeniería. • Partes varias de maquinaria. • Procesos químicos. • Manipulación de minerales. • Aviación. • Industria de la Energía Nuclear. • Servicio a temperatura extremadamente alta en atmósfera oxidante.
• Carbono (arcilla y grafito).	• Capaz de marcar sobre papel.	• Lápices graduados.	• Dibujo y escritura.

Cerámica eléctrica

Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
• Gres (en menor proporción). • Porcelana eléctrica. • Porcelana de mullita. • Cordierita. • Esteatita. • Forsterita. • Wollastonita. • Porcelana de óxido de litio. • Porcelana rica en alúmina. • Porcelana de circonio. • Ferritas. • Rutilo. • Carbono. • Titanatos. • Refractario de silicato de aluminio.	• Pastas absolutamente vítreas para todas aquellas piezas susceptibles de absorber humedad atmosférica. • No importa su color y apariencia. • Facilidad de moldeo en formas complicadas y exactas. • Exactitud dimensional para montaje. • Buena resistencia a la presión. • Resistencia al choque térmico. • Resistencia a ser atravesado por la electricidad y alto voltaje. • No conducen energía eléctrica.	• Soportes y accesorios para cables. • Bobinas. • Carretes. • Clavijas. • Enchufes. • Soportes de lámparas. • Soportes de resistencias eléctricas en electrodomésticos. • Fusibles. • Aisladores. • Bujías de encendido. • Tubos para hornos con arrollamiento de alambre. • Piezas de precisión para equipo eléctrico. • Transformadores. • Motores. • Micrófonos. • Componentes electrónicos.	• Motores de combustión. • Industria generadora y transmisora de electricidad. • Instalaciones eléctricas de hogar. • Electrodomésticos (componentes). • Imanes permanentes para instrumentos y otros usos.

Cerámica refractaria

Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
• Refractarios ácidos. • Refractarios básicos y neutros. • Refractarios de arcilla refractaria.	• Las piezas aislantes son porosas. • Las piezas de transmisión son más compactas. • Resistencia a los esfuerzos mecánicos. • Resistencia a la destrucción por fuerzas físicas y químicas. • Resistencia a la compresión. • Resistencia a la abrasión. • Resistencia al choque térmico. • Refractario bajo carga. • Aislamiento de calor. • Nulo desprendimiento de polvo. • Exactitud dimensional. • Estabilidad dimensional en caliente y frío.	• Ladrillos y accesorios para la construcción de hornos, hornillas y estufas. • Placas, bases, y accesorios para soportar y proteger productos cerámicos. • Crisoles de fusión. • Piezas pequeñas y finas requeridas para trabajos especializados.	• En la Industria que depende de algún proceso que utiliza calor, por ejemplo: • Metalurgia • Vidrio • Gas • Cerámica, etc.

Cerámica aislante térmica

Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
• Pastas de aislamiento térmico.	• Productos muy porosos que impiden la transmisión del calor por conducción, convección y radiación. • Existen tres grupos: 1. Temperatura baja: Superficie fría hasta 15°C. Superficie caliente hasta 40°C. 2. Temperatura intermedia: Superficie caliente hasta 900°C. 3. Temperatura alta: Superficie caliente hasta más de 2000°C.	• Ladrillos aislantes.	• Numerosas aplicaciones en las que se requiere un buen aislante térmico, las cuales comprenden desde viviendas hasta hornos y hogares de alta temperatura, tales como: • Aislantes térmicos de edificios. • Construcción de hornos.

2 Pastas cerámicas

En este capítulo se profundizará en las características de cuatro tipos de pastas tradicionales que son de suma importancia, dada su amplia difusión y su extenso uso, tanto en objetos de diseño industrial como en objetos artísticos, técnicos y artesanales; las dos primeras son pastas de baja temperatura, las restantes pertenecen al grupo de cerámicas de alta temperatura.

Pastas de baja temperatura (850°-1050°C) (Anexo de imágenes. Lámina 1)

• Alfarería

Aunque la palabra alfarería, de origen árabe, tiene el mismo significado que la de cerámica, este término ha sido comúnmente utilizado para designar a todas aquellas cerámicas elaboradas a partir de arcillas con un alto contenido de hierro, del cual toman su coloración rojiza-marrón. La alfarería es la más antigua de las cerámicas y con ella se han producido desde piezas muy sencillas, hasta piezas muy refinadas como las mayólicas. Este tipo de pasta es también conocida como terracota o barro, este último término muy utilizado en México, es en sí el nombre dado a la arcilla de color rojo.

Por lo general son pastas de composición simple, formadas a veces por la combinación de diferentes barros y materiales locales que le proporcionan mayor facilidad de ser trabajadas antes de la quema, evitando roturas y deformaciones después de ella; sin embargo, este tipo de pasta puede también ser formulada con combinaciones más complejas que le permiten mejorar sus propiedades. Por su alta plasticidad es muy usada en procesos manuales y en algunos tipos de moldes que requieren de esta característica, pero en el proceso de vaciado es prácticamente imposible de utilizar por ser muy difícil para deflocular. Después de la quema es un material poroso que requiere ser esmaltado para impermeabilizarlo, o bien, en piezas decorativas es frecuentemente bruñido, posee poca resistencia mecánica pero soporta la llama directa, generalmente es de color rojizo marrón.

• **Loza**

En México, el término se refiere a la cerámica de color blanco, marfil o crema, porosa y cocida a baja temperatura (1000°-1050°C), muy usada en artículos decorativos o de mesa y en vajillas de línea popular; en Europa, sin embargo, atañe a la cerámica blanca menos porosa y cocida a media temperatura (1100°-1150°C). La loza es una pasta de muy poca plasticidad debido a su alto contenido de materiales no arcillosos (fundentes), principalmente el talco que puede ser hasta de un 40% o más, por lo cual ha sido preferentemente utilizada en el proceso de vaciado, menos en procesos con molde que requieran plasticidad (tornos industriales y prensado) y prácticamente nulo en procesos manuales. La loza puede ser coloreada agregándole óxidos metálicos, por lo que en ocasiones es usada con hierro para emular el color de las pastas de alfarería que muy difícilmente pueden ser vaciadas.

Después de la quema se obtiene una pasta porosa, generalmente de mayor resistencia que la alfarería y que requiere de esmalte para su impermeabilización, el cual suele ser transparente y sin color si la pasta es lo suficientemente blanca, pero pueden usarse también esmaltes de diferentes colores.

Pastas de alta temperatura (1200°-1300°C) (Anexo de imágenes. Lámina 2)

• **Gres o stoneware**

Del francés grès, que significa roca sedimentaria formada de granos de arena de talla relativamente igual, cementados por un material de silicio o calcáreo y utilizado en la construcción o el adoquinado,¹ de la que proviene la denominación de la pasta cerámica de igual nombre por la similitud de textura y que a su vez significa 'pasta refractaria de alfarero';² mientras que la palabra inglesa stoneware en traducción directa al español significa 'cerámica de gres'. Es resultado de una mezcla con alto contenido de arcilla combinada con materiales fundentes y estructurantes y a la cual opcionalmente se le puede agregar grog para texturizar. Debido a su alta plasticidad puede ser modelada manualmente y al mismo tiempo ser trabajada perfectamente en todos los procesos que utilicen molde tales como vaciado, prensado y torneado.

El gres es un cuerpo denso de aspecto pétreo y rústico, generalmente de color claro, desde grisáceo hasta ocre o amarillento, a veces rojizo, muy pocas veces de color blanco y más opaco que la porcelana. Es una pasta de temperatura de quema alta (1200°-1300°C), de muy baja o nula porosidad (0.0 a 1%) que la hace impermeable al agua, de elevada dureza y resistencia como para soportar las ralladuras con una punta de acero, y por lo general, sólo vitrificada parcialmente. Los esmaltes característicos de gres son muy ricos en texturas.

- **Porcelana**

Las primeras porcelanas aparecen en el sur de China durante la dinastía T'ang (618-906 d.C.), pero serán las dinastías Sing (960-1279 d.C.) y Ming (1368-1644 d.C.) las que la llevarán a su máximo refinamiento. La verdadera porcelana se hace a partir de una mezcla de arcilla blanca china (caolín) con feldespato, cocida a 1250°-1300°C. El alto contenido de caolín en su composición, la hace ser una pasta poco plástica difícil de ser usada en procesos manuales, a pesar de ello, hoy se elaboran porcelanas con diferentes formulaciones que permite que éstas sean trabajadas prácticamente en cualquier proceso industrial por medio de moldes, y con cierto grado de dificultad en procesos manuales.

Una de las características distintivas de la porcelana es su blancura y translucidez que la distingue del gres, pero para muchos conocedores no son tan importantes como su dureza, su resistencia al ataque de diferentes ácidos y su impermeabilidad (0.0 - 0.5%).

Clasificación de las cerámicas tradicionales

Estos cuatro tipos de pasta: Alfarería, Loza, Gres y Porcelana, pueden ser clasificadas de acuerdo a una gran cantidad de criterios, los más comunes suelen ser:

• **Temperatura de quema.**

Es la temperatura en la cual, los cuerpos cerámicos alcanzan a desarrollar de manera más conveniente sus propiedades. Estas pueden ser de:

Baja temperatura: 850°-1050°C

Media temperatura: 1100°-1150°C

Alta temperatura: 1200°-1300°C

• **Plasticidad**

Es la capacidad que tiene el material para dejarse moldear. Por su grado de plasticidad, pueden ser plásticas o poco plásticas.

• **Densidad**

Es la relación que existe entre el volumen total de poros y el volumen total ocupado por el material. De acuerdo a su densidad pueden ser porosas o densas.

• **Color**

Se considera el color de la pasta después de la quema, y pueden ser de color o blancas.

• **Grano**

Concierne al tamaño de grano de las partículas que conforman un cuerpo cerámico, y son los que dan la apariencia de que una pasta es fina o gruesa.

• **Texturizantes**

Se refiere a la posibilidad de agregar materiales texturizantes como grog o arcilla refractaria.

De acuerdo a estos parámetros, en la tabla siguiente se presentan conjuntamente las clasificaciones para las cuatro pastas, en ella podemos observar que aunque cada una es distinta de la otra, comparten de igual manera características similares, por lo cual podemos afirmar que no existe una clasificación única para cada pasta.

Clasificación de las pastas tradicionales

		Alfarería	Loza	Gres	Porcelana
• Temperatura de quema	• Baja temperatura (1000° - 1050°C)	****	****		
	• Alta temperatura (1200° - 1300°C)			****	****
• Plasticidad	• Muy plásticas	****		****	
	• Poco plásticas		****		****
• Densidad	• Cuerpos porosos	****	****		
	• Cuerpos densos			****	****
• Color	• Pastas de color	****		****	
	• Pastas marfil, crema o blanco		****		****
• Grano	• Grueso	****		****	
	• Fino		****		****
• Texturizante	• Pueden texturizarse	****		****	
	• No se texturizan		****		****

Propiedades de las cerámicas tradicionales

Para el diseñador industrial, el uso práctico que pueda darle a los materiales cerámicos depende particularmente de las propiedades que éstos presentan después de la quema. Una vez endurecidas por el fuego, las pastas cerámicas son inertes presentando con ello sus características finales, es decir, que este material puede seccionarse aún en partículas microscópicas, pero cada una de ellas seguirá conservando las mismas cualidades que poseían cuando formaban parte de una pieza.

En términos generales, las cerámicas tradicionales comparten propiedades comunes entre ellas, como ser rígidas, frágiles, no ser afectadas por el calor, frío, fuego o agua ni por ácidos fuertes o sustancias químicas habituales. Las propiedades aquí tratadas más importantes para las cerámicas son las siguientes:

A. Propiedades mecánicas

- **Resistencia mecánica.** Debido a que la cerámica es un material frágil (es decir que es muy pequeña la deformación que se produce antes de la rotura) presenta una baja resistencia a la flexión, a la torsión y al impacto, alcanzando su máxima debilidad cuando se encuentra bajo tensión; sin embargo, su resistencia a la compresión (aplastamiento en frío) es muy elevada: diez veces mayor que la tensil y en el gres puede ser 50 veces más resistente a la compresión que a la tensión. Existen cuatro factores que influyen en la resistencia mecánica de la cerámica:

- **Porosidad**

Las pastas más porosa son menos resistentes que las densas, de ahí que las paredes de estas pastas (alfarería y loza) tengan que ser más gruesas para compensar dicha debilidad. Sin embargo, no hay que olvidar que las pastas porosas resisten mejor el choque térmico.

- **Diseño**

Debido a su fragilidad, la cerámica es muy fácil que se despostille, se recomienda por lo tanto, tratar de evitar los cantos muy agudos, especialmente en piezas que estén sometidas a uso intensivo, como las vajillas de hotel y muebles para baño.

• **Método de modelado**

No existe una norma universal para determinar el mejoramiento de la resistencia por medio de un método de modelado en particular. “Sin embargo, es razonable asumir que los objetos realizados por torneado, (lo que implica presiones equivalentes, homogeneidad y anillos concéntricos espirales) son más resistentes que los realizados por otros métodos”.³

• **Vidriado**

El vidriado de las piezas, si éste se encuentra bien adaptado al cuerpo cerámico, habitualmente ayuda al mejoramiento de la resistencia mecánica, en especial de las piezas porosas.

• **Resistencia al desgaste o a la abrasión.** Este otro tipo de resistencia afecta particularmente a la superficie de la pieza cerámica, de ahí que esté referida más a los esmaltes que a las pastas. De acuerdo a la escala de dureza de Mohs, la mayoría de los esmaltes se encuentran entre 6 y 7, que es la misma dureza de la porcelana.

La escala de Mohs es la siguiente:

Talco	1
Yeso	2
Calcita	3
Fluorita	4
Apatito	5
Feldespato	6
Cuarzo	7
Topacio	8
Corindón	9
Diamante	10

Esta escala determina la dureza con base en la ralladura que es producida por alguno de los materiales de dicha escala, el talco es el menos duro debido a que puede ser rayado por todos los demás, y el diamante es el más duro por rayar a todos y no dejarse marcar por ninguno de ellos.

Este aspecto es particularmente relevante si se considera la fricción o desgaste que se da por el rozamiento de la cuchillería sobre los platos, o bien, durante el lavado de las piezas cerámicas. En general, los esmaltes de alta temperatura, así como las pastas, presentan una mayor dureza que los de baja temperatura.

B. Propiedades térmicas

Existen varias propiedades térmicas relacionadas con los materiales cerámicos, como: la refractariedad, la transmitancia térmica, la conductancia térmica, etcétera. Se destacan aquí solamente las propiedades que están directamente relacionadas con las cerámicas a tratar (alfarería, loza, gres y porcelana).

- **Resistencia térmica.** Es la resistencia que tiene un material de cualquier espesor al paso del calor. Al respecto, la cerámica presenta una buena resistencia térmica, siempre y cuando el calor no se transmita de manera violenta, de ser así, se estaría hablando de la propiedad descrita a continuación.

- **Resistencia al choque térmico.** Se refiere a los cambios bruscos de temperatura a la que es sometida una pieza, ya sea de calor a frío o de frío a calor; esta resistencia está determinada por la expansión térmica (expansión del material por elevación de la temperatura). “Cuando un recipiente es calentado rápida y desigualmente, la superficie se expande más rápidamente que el interior y está sujeta a un esfuerzo compresivo, mientras el interior está en tensión. Con el enfriado, ocurre lo contrario. Si en algún momento el esfuerzo que tiene lugar excede a la resistencia (en este caso, a la resistencia de tensión) del material, tiene lugar un fallo por choque térmico”.⁴ Debido a su falta de ductilidad la mayor parte de la cerámica es muy sensible a estos cambios de temperatura.

“El diseño (forma) y grosor del recipiente tienen una enorme influencia sobre la resistencia al choque térmico. Josiah Wedgwood estaba al tanto de ello cuando estableció: <Cuanto más uniforme sea el grosor, poco densos y también más redondeados sean los recipientes, mejor resisten el choque térmico>. Los cantos agudos y esquinas implican una alta concentración de tensiones, y deberían, por tanto, evitarse. La forma ideal es la de una cacerola de laboratorio de porcelana, tal como indico Wedgwood”.⁵

• **Resistencia a la llama directa.** La exposición de una pieza a la llama directa al fuego, puede ser tan violenta como el choque térmico. Existen cerámicas bastante sofisticadas como la porcelana de cordierita (porcelana mejorada), entre otras, que son utilizadas para la elaboración de recipientes para cocinar al fuego; de las cerámicas tratadas aquí, solamente el barro, con el cual se producen las tradicionales cazuelas en México, resiste la llama directa. En términos generales, se pueden seguir las mismas recomendaciones que en el caso anterior: espesores uniformes, cuerpos porosos y formas redondeadas. Por último, es conveniente puntualizar que una pasta que resiste la llama directa, no necesariamente soportará el choque térmico.

C. Propiedades químicas

• **Del cuerpo cerámico.** Debido a que la cerámica está compuesta por óxidos, no es propensa a la oxidación; es resistente a la humedad, al agua de lluvia y a sustancias químicas del suelo; así mismo, resiste el ataque de ácidos minerales fuertes como el clorhídrico, sulfúrico y nítrico, y sólo los ácidos fluorhídrico y fosfórico la afectan, al igual que los álcalis corrosivos. Estas propiedades hacen de la cerámica un material indestructible, con una resistencia química extraordinariamente alta.

• **De los vidriados.** Las características mencionadas para los cuerpos cerámicos, se presentan también en los vidriados que recubren a la pasta cerámica, a excepción de los esmaltes de plomo de baja temperatura, que al entrar en contacto con sustancias ácidas como el vinagre y jugos de cítricos por períodos más o menos prolongados son atacados liberando plomo debido a que los enlaces atómicos que éste forma son muy débiles. Existen varias opiniones sobre el uso del plomo en la cerámica, que van desde su eliminación total, dado que es un material naturalmente tóxico que produce envenenamiento, particularmente al operario que lo inhala en el momento de su preparación y aplicación, y posteriormente para el usuario, por el desprendimiento que se presenta al contacto con sustancias ácidas; hasta tratar de darle un uso más racional tomando medidas de seguridad durante su aplicación y usándolo solamente en objetos decorativos. Otra posibilidad, con cierto grado de seguridad, la ha dado el fritado de este material, el cual reduce el riesgo de intoxicación del operario, pero de igual manera, las opiniones son muy divididas en cuanto a si este procesamiento realmente lo hace insoluble o no, a las sustancias ácidas.

D. Comportamiento bajo microondas

Debido a que las microondas pasan a través de la cerámica sin afectarla, siempre y cuando ésta no contenga óxidos metálicos (colorantes) en su composición, es por lo tanto un material apropiado para la fabricación de vajijas para la cocción en microondas, bajo las cuales no están sometidas a tensiones térmicas. Los recipientes de pasta densa pueden ser colocados con tranquilidad, pero no se recomienda el uso de la cerámica porosa sin barnizar. Las piezas con filos de oro o platino, o aditamentos metálicos como asas, no deben de usarse nunca para microondas.⁶

Las tablas que se presentan a continuación, muestran propiedades y características específicas para cada uno de los cuatro tipos de pastas tradicionales que se han tratado en este capítulo.

Alfarería

Propiedades	Aspecto físico	Procesos de producción	Productos
• Por su plasticidad es usada principalmente en trabajos manuales y de torno. • Muy porosas y de poca resistencia mecánica. • Resiste la llama directa.	• Pastas de color rojizo. • Se le puede agregar grog para texturizar y estructurar. • Puede ser cubierta con esmaltes brillantes, mates o engobes. • Se puede encontrar alfarería sin esmaltar decorada con arcillas naturales coloreadas (engobes), bruñidas o sin bruñir. • Espesor de las piezas de 6-8 mm (según tamaño).	• Modelado a mano. • Torno de alfarero. • Uso de moldes, sólo en procesos que requieren plasticidad. • Prácticamente imposible de ser vaciada.	• Piezas decorativas. • Enseres domésticos. • Ollas, cazuelas, etc. • Artículos de mesa. • Macetas y vasijas en general.

Loza

Propiedades	Aspecto físico	Procesos de producción	Productos
• Pasta de poca plasticidad. • Pasta porosa de regular resistencia. • Es algo sonora y se deja rayar por punta de acero.	• De color blanquecino, marfil o ligeramente grisáceo. • Generalmente se encuentra cubierta por una capa de esmalte transparente si es lo suficientemente blanca, o con esmalte blanco o de colores. • Espesor de las piezas de 4 - 6 mm.	• Puede ser trabajada con molde en todos los procesos (vaciado, torno y prensa). • No es usada en procesos de modelado manual por su falta de plasticidad.	• Artículos decorativos. • Artículos de mesa. • Artículos promocionales. • Vajillas populares. • Enseres domésticos. • Macetas y vasijas en general.

Gres o Stone-ware

Propiedades	Aspecto físico	Procesos de producción	Productos
• Es muy plástica, por lo cual puede ser trabajada manualmente. • Pasta vitrificada, muy densa y compacta. • Es dura y resistente, no se raya con punta de acero. • Resistente a la abrasión. • Es difícilmente atacada por agentes químicos. • Es impermeable a gases y líquidos. • Por tener muy poca porosidad, no necesita forzosamente de un esmalte que la recubre, aunque es recomendable para vajillas. • No resiste el choque térmico.	• Aspecto pétreo y rústico. • De color opaco gris, marfil, gamuza o castaño. • Difiere de la porcelana en que no es translúcida. • Los esmaltes pueden ser mate o brillantes, opacos o transparentes y de color o incoloros. • Se le puede agregar grog para texturizar. • El espesor de la pieza es de 4-6 mm (según tamaño).	• Puede ser trabajada con molde en todos los procesos (vaciado, torno y prensa). • Por su plasticidad es también muy usada en modelado manual. • Torno de alfarero.	• Artículos decorativos. • Artículos de mesa. • Vajillas. • Enseres domésticos. • Macetas y vasijas en general. • Artículos sanitarios. • Losetas y azulejos.

Porcelana

Propiedades	Aspecto físico	Procesos de producción	Productos
• Es una pasta poco plástica ya que su mayor componente es el caolín. • Densa y altamente vitrificada. • Su sonido es agradable y cristalino. • Es la más resistente de las pastas tradicionales. • Impermeable a líquidos y gases. • Resiste los ácidos, a excepción del ácido fluorhídrico, por el contrario son atacadas en mayor o menor grado por las bases fuertes. • No resiste choque térmico.	• Pasta translúcida si su espesor es reducido, aunque la tipicidad de la porcelana no reside tan solo en esta característica, sino en la vitrificación, blancura y refinamiento. • Su aspecto es totalmente homogéneo. • El espesor para vajilla es de: Uso doméstico 3-4 mm. Restaurante u hotel 5-6 mm.	• Puede ser trabajada con molde en todos los procesos (vaciado, hornos y prensas). • Debido a su poca plasticidad es difícil el uso en procesos de modelado manual.	• Artículos decorativos. • Artículos de mesa. • Vajilla fina de uso doméstico. • Vajilla para uso de hotel y restaurante. • Artículos sanitarios.

3 Composición de una pasta cerámica

Una pasta o cuerpo cerámico es la parte esencial y la que constituye en sí a la cerámica, es el resultado de una mezcla compuesta básicamente por materiales arcillosos llamados también materiales plásticos, y por materiales no arcillosos o antiplásticos, los cuales pueden ser refractarios o fundentes; siendo la arcilla el elemento constitutivo más importante para las cerámicas tradicionales (las nuevas cerámicas están compuestas de otros tipos de minerales y pueden no estar mezcladas). Esta combinación se hace con el objetivo de conseguir, antes o después de la quema, características bien definidas de las cuales dependerá el uso y la aplicación que se le pueda dar. Debido a que una pasta cerámica es producto de una combinación, existen por lo tanto diferentes tipos de cerámica.

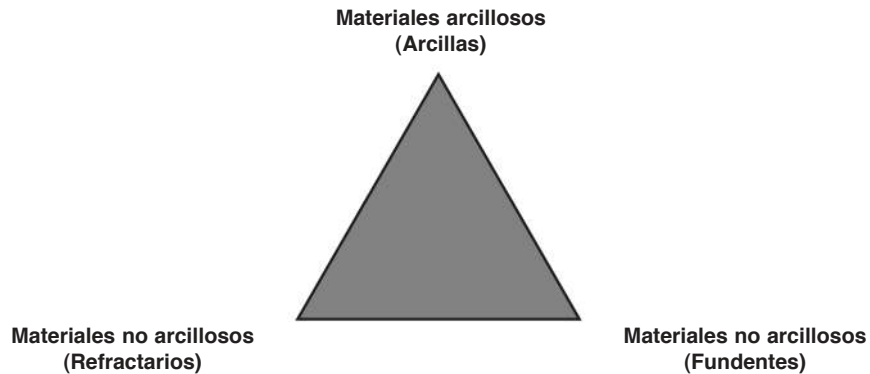
En la naturaleza hay arcillas que de alguna manera funcionan como “pastas naturales”, ya que éstas se encuentran mezcladas con sustancias antiplásticas, que dado su comportamiento pueden ser trabajadas sin necesidad de agregarles otros materiales. A pesar de ello, no hay que confundir una arcilla de este tipo con una pasta, puesto que ésta última ha sido desarrollada con un fin explícito y con características bien definidas que deben de mantenerse siempre, haciendo en todo caso, los ajustes necesarios para conservar dichas características; mientras que las “pastas naturales”, por su origen geológico, pueden cambiar con mucha facilidad, motivo por el cual se tiene que recurrir irremediablemente a la combinación con otras sustancias. Así mismo, en la naturaleza existen materiales arcillosos de gran valía como el caolín, que es una arcilla muy pura que no puede ser trabajada sin mezclarse ya que es muy poco plástica y altamente refractaria. En la actualidad, y particularmente en la industria cerámica, las características que nos ofrece una arcilla sin mezclar suelen no cubrir con satisfacción las necesidades requeridas, de ahí que se ha vuelto indispensable trabajar con pastas formuladas. Aun en los centros artesanales más sencillos, se realizan combinaciones simples de los materiales.

Las razones por las que una arcilla natural deba ser combinada, están definidas por el tipo de pasta, su temperatura de quema y los procesos de producción a utilizar. Por lo tanto, una arcilla debe de ser mezclada para:¹

- Aumentar o disminuir la plasticidad.
- Disminuir contracciones durante el secado y la quema, que pueden provocar agrietamientos o deformaciones.
- Bajar o subir la temperatura de quema.
- Aumentar o disminuir la densidad del material cerámico.
- Mejorar el acoplamiento con el vidriado.
- Cambiar el color o la textura.

Elementos básicos en la composición de una pasta

De acuerdo a la definición de pasta cerámica que comprende materiales arcillosos y



materiales no arcillosos, tenemos la composición básica siguiente:

Aun cuando estos materiales mezclados se comportan como un todo, cada uno de ellos tiene una función específica en la formación de los cuerpos cerámicos, que de acuerdo a los requerimientos anteriores, influyen específicamente de la siguiente manera:

Materiales arcillosos:

- **Arcilla ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$):** Es el elemento principal que confiere a la pasta, además de otras, sus dos características principales: la plasticidad y la capacidad de endurecerse después de la quema. Durante el secado se contrae provocando agrietamientos y deformaciones. En las pastas tradicionales nunca se puede prescindir de este material.

Materiales no arcillosos (refractarios y fundentes):

- **Sílice (SiO_2):** Su función es la de disminuir las contracciones y deformaciones en el secado y cocción de la pasta, aumentar la resistencia, y por ser un material refractario, elevar la temperatura de quema.
- **Feldespato ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ó $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$):** Actúa como fundente permitiendo reducir las temperaturas de quema.
- **Ambos materiales** influyen en el punto de cocción y en la absorción, la cual depende de la densidad de la pasta.

A partir de la combinación de estos tres elementos, las condiciones que generan diferentes pastas son:

• Tipo de arcilla.

Existe en la naturaleza una gran cantidad de clases de arcillas debido a que éstas son a su vez resultado de una mezcla de sustancias arcillosas (caolinita) con sílice, feldespato y otros óxidos en mayor o menor proporción; se considera que la más pura de las arcillas es el caolín, el cual tiene un alto porcentaje de caolinita en su composición, sin embargo, por su refractariedad y poca plasticidad, es la arcilla más difícil de trabajar sin ser combinada. Por su naturaleza podemos encontrar entonces, arcillas que pueden ser fusibles o refractarias, de quema blanca o de color, plásticas o poco plásticas, etcétera.

- **Combinación de materias primas.**

La combinación en diferentes proporciones de las materias primas participantes, en donde cada una de ellas modifica a la o las arcillas base y a los demás componentes, dan como resultado pastas de muy variadas características.

- **Temperatura de quema.**

La temperatura de quema se determina de acuerdo a las arcillas utilizadas y a la combinación de éstas con los demás materiales. De tal manera que hay pastas que no pueden resistir más allá de cierta temperatura, y que de sobrepasarse se provocarían deformaciones e incluso fusión del material, o bien, al ser expuestas a una menor temperatura, quedarían infracocidas impidiendo el desarrollo adecuado de todas sus propiedades, presentando por lo tanto, resistencias muy por debajo de lo esperado.

En la tabla siguiente se presentan las composiciones básicas y las temperaturas de los cuatro tipos de pastas ya descritas con anterioridad, incluyendo también algunas características técnicas que los cuerpos cerámicos deben de presentar después de la quema.

Composición de las pastas tradicionales

• Materias primas arcillosas	• Plasticidad y endurecimiento después de la quema	• Total o parcialmente de arcillas rojas • Mezcla de arcillas rojas	• Arcilla bola 25-30% • Caolín 10-15%	• Arcilla bola 50-60% • Caolín 20%	• Arcilla bola 25% • Caolín 25%
• Materias primas no arcillosas	• Estructurante	• Sílice 10%	• Sílice 15%	• Sílice 10-20%	• Sílice 25%
	• Fundentes	• No se requiere	• Feldespato 10% • CaCO ₃ 10% • Talco 25-40%	• Feldespato 10-30%	• Feldespato 25%
• Materiales agregados	• Texturizante	• Arcilla refractaria o grog como agregado 10-20%		• Arcilla refractaria o grog como agregado 10-20%	
	• Colorantes	• Por ser una pasta coloreada naturalmente, no se usan.	• Óxidos metálicos o pigmentos en diferentes proporciones		• Es poco común su uso, ya que la blancura es su principal característica
• Temperatura de quema		• 850°-1050°C	• 1000°-1050°C	• 1200°-1280°C	• 1240°-1300°C
• Características técnicas		• Contracción: 7-10% • Absorción: 10-20%	• Contracción: 7-10% • Absorción: 10-15%	• Contracción: 13-16% • Absorción: 0.0-1.0%	• Contracción: 12-15% • Absorción: 0.0-0.5%

* Las cifras que se presentan (porcentajes de materiales, temperaturas de quema y características técnicas) son generales para cada tipo de pasta, éstas pueden variar dependiendo de las necesidades específicas.

4 Materias primas para pastas cerámicas

Como se vio en el capítulo anterior, los dos tipos de componentes básicos con que se elabora una pasta cerámica son los materiales arcillosos, y los no arcillosos o antiplásticos. A continuación se presentan las características, así como las aplicaciones que tienen las materias primas más comúnmente usadas en cerámica.

Materias primas arcillosas

La arcilla constituye la principal materia prima en la elaboración de los cuerpos cerámicos tradicionales, debido a sus dos principales características: la **plasticidad**, que le permite adquirir una forma determinada cuando le es aplicada una fuerza externa, ocurriendo cuando la arcilla se encuentra húmeda con la cantidad adecuada de agua y mantener dicha forma cuando la fuerza ha dejado de ejercerse; y la **capacidad de cocción**, mediante la cual se convierte propiamente en cerámica, adquiriendo la dureza necesaria para su uso diario.

Por ser producto de la transformación geológica, en donde han intervenido varios factores, no existen en la naturaleza dos yacimientos que contengan exactamente la misma arcilla, presentándose inclusive diferencias en las que provienen de un mismo yacimiento. Por lo anterior, resulta conveniente hacer previamente algunas consideraciones referentes al origen de las arcillas.

Origen y composición de la arcilla

Las arcillas se han formado de la descomposición de diversas rocas feldespáticas (los minerales más abundantes de la corteza terrestre), a través del curso de millones de años. El agua, principal disolvente, ayudada por temperaturas muy elevadas, tuvo el papel más importante en la transformación de dichas rocas, produciendo un gran efecto de erosión al entrar en contacto violento con ellas. Esta trituración natural prepara la desintegración química de la roca matriz, al fraccionarla en partículas cada vez menores.

Los feldespatos más corrientes que dan origen a las arcillas son:

- Feldespato Potásico (Ortosa) $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
- Feldespato Sódico (Albita) $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
- Feldespato Cálculo (Anortita) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

Al disgregarse un feldespato como consecuencia de la erosión, las partes alcalina (K_2O y Na_2O) y calcárea (CaO), relativamente solubles en agua, son arrastradas por ésta, quedando solamente la alúmina y el sílice, una parte de las cuales se descompone a causa de reacciones químicas. El resto, sometida durante mucho tiempo a la humedad, se hidrata. El resultado de esta descomposición es el mineral caolinita, de fórmula ideal $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, que corresponde aproximadamente a: 46% Sílice, 40% Oxido de aluminio y 14% Agua.

Clasificación de las arcillas

Existen varios criterios para clasificar a los diferentes tipos de arcillas, éstos pueden ser por su origen geológico, por su composición, por sus propiedades (color, plasticidad, punto de fusión, etcétera) o bien de acuerdo a su uso. Las clasificaciones que se muestran a continuación, representan algunas de las más importantes.

• Clasificación por su origen geológico

- **Arcillas primarias o residuales.** Formadas en el mismo sitio de origen de la roca madre, ya sea a nivel superficial o en la profundidad. Por lo general sólo los caolines pertenecen a este grupo, de ahí que la mayoría de estas arcillas estén compuestas por caolinita y no contengan otro mineral arcilloso.

- **Arcillas secundarias o sedimentarias.** Estas arcillas son arrastradas y depositadas lejos de la roca madre de que proceden sedimentándose por la acción posterior del agua, lo cual hace que las partículas de este tipo de arcillas sean extremadamente finas, presentando a consecuencia de ello, una gran plasticidad. Debido a los arrastres sufridos durante su formación, por lo general se encuentran mezcladas con otros materiales, entre ellos: sílice, feldespato y óxido de hierro en mayor o menor porcentaje, esta mezcla es justamente la que produce diferentes tipos de arcillas o variaciones de la misma arcilla en un mismo yacimiento.

• Clasificación según su plasticidad

- **Arcillas grasas.** Son arcillas de tacto graso y debido a sus partículas finas son muy plásticas, por lo cual absorben una gran cantidad de agua para poder ser trabajadas, ocasionando un fuerte encogimiento al secarse.

- **Arcillas magras.** No son de grano tan fino como las anteriores, por lo que su plasticidad es menor, así como su encogimiento.

Tipos de arcillas

Como hemos visto anteriormente, dado su origen geológico, existe una gran variedad de arcillas de diversas composiciones que pueden clasificarse de acuerdo a diferentes criterios. Sin embargo, a pesar de esta gran variedad, existen algunos tipos de arcillas que son consideradas como materias primas básicas en la composición de una pasta. Las arcillas que se describen a continuación, constituyen las más importantes en la elaboración de los cuerpos cerámicos tradicionales. (Anexo de imágenes. Lámina 3).

Caolín

• Características.

Es la más pura de las arcillas y su composición se aproxima mucho a la fórmula ideal de la caolinita $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Por ser una arcilla primaria o residual que prácticamente no se alejó de la roca madre, presenta partículas gruesas que la hacen poco plástica. Debido a su contenido de alúmina es altamente refractaria, presentando un punto de fusión de 1770°C y endureciéndose a 1480°C sin ser mezclada. Muy pocas veces se utiliza sola en un cuerpo cerámico, debido a su poca plasticidad y alta refractariedad. Por estar prácticamente exenta de hierro, su color tras la cocción es blanco, lo cual la hace ser una arcilla muy apreciada.

• Aplicaciones en la cerámica:

- Es el componente más importante de la porcelana.
- Se usa en los cuerpos cerámicos para aumentar la blancura y subir la temperatura de quema.

Arcilla de bola (ball clay)

• Características.

Es una arcilla grasa de origen secundario (sedimentaria), con un alto contenido de caolinita mezclada con otros minerales como sílice libre y feldespato. Su grano es muy fino, por lo que presenta una excelente plasticidad y alta resistencia en fresco, no obstante es difícil de usarse por sí misma debido a su excesiva contracción. Es una arcilla muy refractaria con un punto de fusión de 1480°C y una maduración entre 1100° y 1200°C . Debido a la presencia de materiales orgánicos, antes de la quema presenta un color gris oscuro, pero después de la cocción es de un color claro cercano al blanco.

- **Aplicaciones en la cerámica:**

- Su presencia en casi todas los cuerpos cerámicos es muy común, usándose en proporciones variadas.
- Aumenta la plasticidad de las pastas en general.
- Se puede agregar entre 10-20% como plastificante a una pasta ya formulada.

Arcilla refractaria

- **Características.**

Es una arcilla mezclada con óxidos metálicos y sílice puro, lo que la hace tener un grano grueso y duro, de aspecto arenoso aun después de ser triturada. Parece mucho menos pura, sin embargo, contiene un gran porcentaje de caolinita. Su plasticidad puede variar, pero generalmente es poca. Su punto de fusión se encuentra entre 1650°-1750°C y madura entre 1200°-1300°C. Tiene una alta refractariedad que le permite soportar numerosas quemaduras a altas temperaturas. Puede presentar una gran variedad de colores, el más común de ellos es el amarillo claro. En México, las materias primas a la venta son: arcillas refractarias nacionales en forma de arena o molida a diferente mallas y el barro de Zacatecas.

- **Aplicaciones en la cerámica:**

- Se utiliza principalmente en la fabricación de ladrillos refractarios y otras piezas para hornos, muflas, crisoles, calderas, etcétera.
- Es usada en general como aditivo para estructurar esculturas y piezas de gran tamaño.
- Por ser de grano grueso se usa como texturizante, agregando a las pastas entre 10-20%.

Arcilla de gres

- **Características.**

Es una arcilla de tipo refractaria o semirefractaria pero se diferencia de ésta por su capacidad de gresificación y su plasticidad. Es de grano medio y se encuentra mezclada con fundentes y un porcentaje variado de hierro. Posee una muy buena plasticidad que le permite ser modelada manualmente y al torno y también ser moldeada. Por su contenido de fundentes puede alcanzar su gresificación a

temperaturas relativamente bajas, entre 1100° y 1280°C, presentando un intervalo de fusión muy amplio entre la temperatura en que se impermeabiliza y en la que se funde. El color después de la cocción puede ir de beige al rojo castaño en atmósfera oxidante, y de gris a castaño oscuro en atmósfera reductora. En México, es una arcilla local de venta directa al público poco comercializada.

• **Aplicaciones en la cerámica:**

- Es usada en la producción de cuerpos densos de Gres.

Arcilla roja

• **Características.**

Es una arcilla secundaria que geológicamente ha tenido un gran desplazamiento, contaminándose durante este proceso con impurezas minerales y un alto contenido de hierro (5-10%). Su plasticidad puede variar, pero generalmente es buena. Por el alto contenido de óxido de hierro y otras impurezas minerales, su temperatura de endurecimiento se encuentra entre los 800° y 1100°C, dando siempre como resultado un material poroso que nunca llega a vitrificar. En crudo, esta misma presencia de hierro le da un color rojo-marrón que al ser quemado puede variar desde el rojo tostado-marrón en atmósfera oxidante, o negro en atmósfera reductora. En México, las arcillas rojas son conocidas por lo general, como barro.

• **Aplicaciones en la cerámica:**

- Es una arcilla muy común, con la cual se han elaborado la mayoría de los objetos cerámicos.
- Puede ser usada por sí misma como pasta sin necesitar de otros agregados, o mezclada con otros materiales en la elaboración de productos de alfarería.
- Las más gruesas constituyen la primera materia para ladrillos, baldosas, tubos de drenaje, tejas y otros productos pesados.

Bentonita

• **Características.**

Derivada de cenizas volcánicas, la bentonita está compuesta por montmorillonita (el más desordenado de los materiales arcillosos) y un alto contenido de hierro. Es

extremadamente plástica por lo que no puede usarse como materia única. Absorbe grandes cantidades de agua provocando que se hinche hasta cuatro o cinco veces su volumen en seco, lo que produce contracciones severas durante el secado si se usa en grandes proporciones. Su contenido de hierro y de fundentes la hace tener un punto de fusión bajo. Forma un cuerpo marrón oscuro después de la quema.

• **Aplicaciones en la cerámica:**

- Se utiliza en pequeñas cantidades como elemento plastificante en pastas cerámicas de color (3-5%).
- Puede usarse también hasta un 2% en la composición de porcelanas para mejorar su plasticidad y resistencia en fresco, cuidando siempre el color de la pasta después de la quema.

Nota: Las materias primas a la venta en México presentadas en este documento, son las más utilizadas, pero existen muchas otras más, tanto nacionales como de importación. Dada la naturaleza de las arcillas, sus características pueden variar de un lote a otro, por lo que se recomienda realizar algunas pruebas previas antes de su uso.

Materias primas no arcillosas (Anexo de imágenes. Lámina 4)

La imposibilidad de trabajar algunas arcillas por sí mismas, o la necesidad de mejorar sus propiedades, da lugar a la incorporación de materias primas no arcillosas en la composición de los cuerpos cerámicos. Estas materias primas, como ya se mencionó anteriormente, son usadas principalmente para los siguientes propósitos:

- Reducir la plasticidad de las arcillas, disminuyendo con ello el tiempo de secado y las deformaciones o agrietamientos que se pueden presentar por una elevada contracción.
- Mejorar o modificar las propiedades de los cuerpos cerámicos después de la quema.

Se pueden encontrar varios materiales básicos y algunos secundarios que ayudan a alcanzar estos objetivos, de ellos, los más importantes, y especialmente aquellos con los que se trabaja en México, son los siguientes:

Sílice

• Características.

Es el óxido más abundante de la naturaleza y constituye un ingrediente substancial para la cerámica, encontrándose presente en todas las pastas y vidriados, ya sea en forma libre o como parte de los minerales más importantes, como la arcilla, el feldespato, el talco, etcétera. El sílice libre se obtiene en forma de polvo a partir del pedernal y del cuarzo molidos y calcinados; su fórmula es SiO_2 y funde entre 1610° y 1763°C . Es un material refractario que aumenta el punto de fusión de los cuerpos cerámicos. Presenta un comportamiento muy especial durante la quema, ya que sufre una serie de inversiones a temperaturas diferentes, dando lugar a expansiones de la pasta y produciendo con ello tensiones que pueden provocar cuarteaduras y rajaduras, estas tensiones pueden evitarse realizando el proceso de calentamiento y enfriamiento lentamente. Cuando se calienta en presencia de feldespato, funde formando un vidrio a temperatura mucho más baja, ya que el sílice tiende a disolverse en este último. Reduce la plasticidad en las pastas disminuyendo considerablemente la contracción y deformación en el secado y la cocción.

• Aplicaciones en la cerámica:

- Se usa como material desengrasante.
- Aumenta la temperatura de quema de las pastas en general.
- En pastas porosas de baja temperatura actúa como relleno.
- En pastas densas de alta temperatura ayuda a la formación de vidrio y al mejoramiento de la resistencia mecánica.

Feldespato

• Características.

Es el fundente más importante en la cerámica. Las fórmulas ideales, aunque casi nunca conseguidas en la naturaleza son:

Feldespato potásico	Orthoclase, microcline	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
Feldespato sódico	Albite	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
Feldespato cálcico	Anorthite	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

En México, los feldespatos son en realidad una mezcla de sódico y potásico en diferentes proporciones, llamándole potásico al que tiene un mayor porcentaje de potasio, y sódico al que presenta más sodio y comúnmente impurezas de hierro que lo hacen más fundente y con un color tostado después de la quema; el más común y más barato es el sódico, lo que lo hace ser más popular. Los feldespatos presentan diferentes puntos de fusión, comenzando a partir de los 1080°C y continúan formando fluidos complejos hasta los 1500°C. Su mayor fuerza fundente se presenta en altas temperaturas, mientras que en bajas no es muy significativa, por lo que para reforzarla debe de acompañarse de otros fundentes como carbonato de calcio y especialmente talco.

En la mezcla común arcilla-feldespato-sílice, el feldespato se reblandece y se vuelve vítreo o incluso líquido, mientras que la arcilla y el sílice permanecen como partículas sólidas. El feldespato líquido moja las partículas sólidas y la tensión superficial gradualmente las mantiene unidas, mientras que el feldespato se distribuye a través de los poros. El feldespato fundido disuelve también una parte de los sólidos y reacciona químicamente, con lo cual las fases diferentes del producto cocido resultante, difieren de las materias primas.¹

Una vez fundido tiene alta viscosidad, ayudando a incrementar la resistencia de las porcelanas y el corrimiento de los vidriados durante la cocción. Suele recomendarse el uso de feldespato potásico en cuerpos de porcelana para aumentar su sonoridad y translucidez. Como todas las materias reducidas a polvo, el feldespato molido hace que las pastas sean más “magras”, es decir, menos plásticas, disminuyendo al mismo tiempo su contracción en el secado. Por el contrario, al hacerla más compacta durante la cocción, aumenta la contracción.

• **Aplicaciones en la cerámica:**

- Como material desengrasante.
- Como fundente para aumentar la densidad de las pastas y disminuir la temperatura de quema.

Carbonato de calcio

• Características.

Se encuentra casi en estado puro en la piedra caliza y la tiza que se preparan en forma de blanco de España, su fórmula es CaCO_3 . Actúa como fundente en pastas y vidriados. En general reacciona con la arcilla, sílice y feldespato para dar una masa vítrea, la cual tiene mayor resistencia y menor porosidad, pero también sufre una mayor contracción. El carbonato de calcio presenta puntos de fusión y de vitrificación muy cercanos, de tal forma que un ligero exceso de temperatura puede dar lugar a deformación, fusión o formación de burbujas. Este material también favorece el esmaltado y añade blancura al cuerpo arcillosos.

Las pastas de baja temperatura con un alto contenido de carbonato de calcio no deben ser sometidas a la humedad, lluvia o nieve, aun después de horneadas, pues parte del óxido de calcio se rehidrata y se rehincha, provocando el defecto de cuarteo tardío, el que puede producirse incluso mucho tiempo después.²

• Aplicaciones en la cerámica:

- Se usa principalmente en pastas para loza.
- En pastas de baja temperatura (loza), es usado como fundente enérgico sin rebasar de un 10-14%, ya que la pieza quemada puede rajarse o agrietarse por excesiva dilatación y contracción térmica, o presentar cuarteos tardíos.³

Talco

• Características.

Es un silicato de magnesio hidratado, con una composición que varía entre $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y $4\text{MgO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ según la fuente, asociado con impurezas que introducen alúmina, hierro, cal, álcalis y más agua. Aunque de naturaleza no plástica, su estructura laminar (exfoliación en hojas) perteneciente al grupo de minerales arcillosos de la montmorillonita, le proporciona cierta plasticidad que le permite ser moldeado por presión en estado húmedo sin plastificantes, de ahí que se le puede considerar como una materia prima plástica no arcillosa. Existen diferentes minerales; el material laminado y muy blando se denomina talco, el más sólido y relativamente puro es la esteatita y la variedad impura se le conoce como piedra de jabón (soapstone).⁴ En bajas temperaturas actúa como fundente. Tiene una expansión térmica muy baja y por

lo tanto una alta resistencia al choque térmico. No es un material abrasivo, por lo que no afecta el período de vida de los moldes.

• **Aplicaciones en la cerámica:**

- Como constituyente principal (70-90%) en pastas adecuadas para la fabricación de aisladores eléctricos.
- En pastas de loza para vaciado, hasta un 45%.
- En pastas de baja temperatura para disminuir el punto de fusión, reducir la porosidad y aumentar la resistencia del cuerpo.
- En pastas porosas para evitar cuarteos tardíos producidos por expansión por absorción de humedad, particularmente si hay carbonato de calcio presente en la composición.
- Mejora la resistencia al ataque de ácidos.
- Puede agregarse hasta un 3% en la composición de pastas de gres para mejorar la resistencia y como estructurante.

Grog o Chamota

• **Características.**

Es una arcilla refractaria que después de una fuerte cochura es triturada en granos de diferentes tamaños más o menos finos. Es inerte a las temperaturas de trabajo de la cerámica. La chamota puede sustituirse con arcilla refractaria o barro de Zacatecas, que son más comunes.

• **Aplicaciones en la cerámica:**

- Se agrega a los cuerpos cerámicos para dar textura, dar mayor “cuerpo” a piezas modeladas y torneadas a mano.
- Reduce la contracción tanto de secado como de quema.
- Aumenta la resistencia durante la cocción.

5 Vidriados cerámicos

Se le conoce ampliamente como esmalte o barniz, aunque la denominación más adecuada es la de vidriado. Al igual que las pastas cerámicas, es también resultado de una combinación de minerales constituida por óxidos en forma de polvo, que son aplicados en suspensión (mezclados con agua) sobre la pasta en verde o en sancocho, pero a diferencia de las anteriores, éstos son llevados hasta el punto de fusión transformándose en una capa de vidrio que al enfriarse cubre la superficie del cuerpo cerámico.

Los cuerpos cerámicos son recubiertos con el propósito de impermeabilizarlos, particularmente si éstos son porosos, hacerlos más resistentes al ataque químico y mejorar su resistencia mecánica; así mismo, de hacerlos más agradables a la vista y al tacto, si se considera la riqueza de superficies, colores y texturas que éstos pueden presentar, incidiendo directamente en la apariencia de las piezas en donde han sido utilizados. Es decir, que un vidriado cumple por igual con fines prácticos y estéticos.

El vidriado no constituye en sí la parte cerámica, pero para algunos productos, particularmente los que se encuentran en contacto con alimentos o líquidos, su presencia resulta imprescindible. Los esmaltes son formulados especialmente para el tipo de pasta sobre la cual se van a utilizar y pueden ser de color o incoloros, mates o brillantes, opacos o transparentes, y lisos o moteados.

Diferencia entre vidrio y vidriado

Aunque un vidriado cerámico es en sí un vidrio, existen algunas diferencias en su composición y en la forma de transformarlos que los distinguen a uno del otro, básicamente estas diferencias son:

- Antes de pasar a ser un objeto, el vidrio debe de ser primero transformado en una masa fundida que necesita tener una gran fluidez para poder ser procesado, los productos obtenidos de él, suelen ser homogéneos, libres de burbujas y transparentes.

El procesamiento de un vidriado se presenta de manera inversa, ya que las sustancias que han de formarlo son mezcladas sin fundir y adheridas a la superficie de la pieza para ser transformadas posteriormente en vidrio, obteniendo su forma, color y superficie en el sitio mismo de su aplicación, este proceso requiere que el vidriado presente, no una gran fluidez como el vidrio, sino una alta viscosidad para que el material se fije y no escurra durante la cocción, por lo que la presencia de alúmina (Al_2O_3) siempre será mayor a la que se puede encontrar en un vidrio.

- Si el primero puede generar objetos por sí mismo, un vidriado estará siempre en relación con la pasta a cubrir, éste por lo tanto no puede existir sin un cuerpo cerámico, y las reacciones que surgen durante la quema entre pasta y vidriado, hacen que la composición de este último pueda presentar pequeñas variaciones entre la zona de contacto, la parte intermedia y el exterior; contrastando con la homogeneidad del vidrio.

Así mismo, cabe aclarar que los esmaltes, como frecuentemente son llamados los vidriados, son estrictamente hablando, sustancias vítreas muy semejantes a éstos, pero que son aplicadas sobre superficies metálicas para protegerlas principalmente de ataques químicos y para darles color, presentando temperaturas de fusión inferiores (800°C - 900°C) a la mayoría de los vidriados cerámicos. A pesar de esta diferencia, el término de esmalte es utilizado aún en libros especializados de cerámica.

Clasificación y tipos de vidriados

Al igual que en las pastas cerámicas, existe una gran cantidad de criterios para clasificar a los vidriados, las características y propiedades que son consideradas para cada clasificación suelen entremezclarse entre un grupo y otro debido a la riqueza de variantes que puede presentar un vidriado, cualquiera de ellos es válido debido a que no existe una nomenclatura generalmente reconocida, de tal manera que la clasificación puede ser de acuerdo a:

- **Temperatura de madurez.** Esta clasificación se basa en las temperaturas de quema de las pastas cerámicas, y al igual que ellas, el vidriado debe desarrollar todas sus propiedades cuando llegue a dicho punto. Puede ser de baja temperatura (850°C - 1050°C) (**Anexo de imágenes. Lámina 5**), de media (1100°C - 1150°C) o de alta (1200°C - 1300°C) (**Anexo de imágenes. Lámina 6**).

- **Soporte en el cual se aplica el vidriado.** Se refiere al tipo de pasta en donde la cubierta será sobrepuesta, teniendo por lo tanto, vidriados para alfarería, loza, gres o porcelana.
- **Fundente principal.** Son vidriados básicamente de baja temperatura y toman su nombre de los fundentes principales que les otorgan sus propiedades típicas. Estos son: vidriados alcalinos (Na_2O , K_2O , Li_2O), vidriados plúmbicos (PbO) y vidriados de boro (B_2O_3).
- **Composición.** Toman el nombre de la materia prima o componente dominante, por que de ellas se derivan casi siempre sus propiedades. Siendo los más importantes los de arcilla, feldespato, cenizas, mates de dolomita, mates de cal, etcétera.
- **Formación o preparación.** Se basan en el método utilizado para su elaboración y pueden ser: crudos, fritados, de sal, o de reducción.
- **Aspecto.** Se clasifican en: brillante u opacos, mates o transparentes, craquelados, con cristales, moteados, opalescentes, lustres, etcétera.
- **Color.** En este caso, los vidriados pueden tomar el nombre directo de su color, no obstante, algunos de ellos son tan especiales en su preparación que suelen tener denominaciones particulares, como: Sangre de buey, Celadón, Temmoku.

6 Composición de un vidriado cerámico

La composición de un vidriado presenta sin duda, una mayor complejidad que la de los cuerpos cerámicos dada la cantidad de elementos que participan en su composición, es por ello conveniente, hacer algunas precisiones antes de pasar a mencionar como se puede elaborar un vidriado base, y a partir de él, generar una amplia gama de esmaltes.

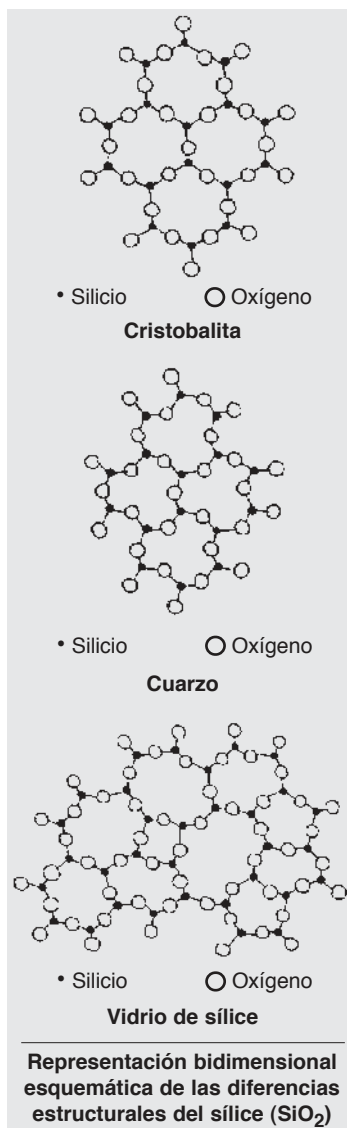
Estado vítreo

En la naturaleza, los cuerpos sólidos tienen una estructura cristalina fuertemente cohesionada, que forma una red molecular dispuesta en secuencias regulares que se repiten tridimensionalmente. Cuando un sólido al fundirse se convierte en líquido, pierde su estructura cristalina, pero sigue conservando la fuerza de enlace entre sus átomos que perderá sólo si éste pasa al estado gaseoso. Al enfriarse lentamente, el cuerpo líquido se solidifica formando de nuevo una red cristalina rígidamente ordenada.

El vidrio presenta un estado excepcional intermedio entre líquido y sólido, cuya red tridimensional no es regular ni simétrica como la cristalina. Cuando los óxidos que forman vidrio son fundidos, se convierten en un líquido transparente que pierde su estructura ordenada regularmente al igual que los demás sólidos, sin embargo, cuando este líquido es enfriado rápidamente, se solidifica sin recuperar su estructura original, permaneciendo en estado amorfo o vítreo y presentando una red molecular desordenada, aunque no totalmente al azar.¹ En estado vítreo, el material actúa como un sólido, pero conserva algunas características de líquido (su estructura con enlaces atómicos desordenados), por lo cual el vidrio es considerado como un líquido super-enfriado o congelado.

Composición básica de un vidriado

Existe en la naturaleza cierto número de elementos, algunos óxidos y unos cuantos compuestos más, que al enfriarse de su estado líquido forman red vítrea. Los de mayor interés para la cerámica son la sílice (SiO_4), que es el formador más importante del vidrio común, y el óxido bórico (BO_3), ambos originan estructuras en malla, en parte abiertas y en parte cerradas, en cuyos huecos o vacíos pueden tener cabida otros átomos o iones.² Sin embargo, estas



sustancias no pueden ser usadas sin mezclarse, ya que el óxido bórico es soluble al agua, y la sílice que puede formar al mejor de los vidrios con propiedades insuperables de dureza, resistencia química y resistencia al choque térmico, posee un punto de fusión tan alto (1720°C) que usarla como cubierta en las pastas tradicionales, cuyas temperaturas de quema se encuentran entre los 850°C - 1300°C , es prácticamente imposible, y transformarla bajo estas condiciones en objetos útiles, resultaría extremadamente difícil y costoso. A pesar de ello, la sílice es la base de todos los vidriados cerámicos y el boro se puede encontrar en varios de ellos.

Para poder bajar el punto de fusión de la sílice a unos 800°C - 1200°C , se le añade a éste, óxidos modificadores (fundentes), como los óxidos alcalinos: Li_2O , Na_2O y K_2O ; los óxidos alcalino-térreos: BaO , MgO , CaO y SrO ; y los óxidos metálicos: PbO (también forma red vítrea) y ZnO . Los elementos de gran radio iónico, tales como Na, K, Pb o Ba, que forman parte de algunos de los óxidos fundentes, amplían la red vítrea al introducirse en los huecos o vacíos de la estructura de la sílice, aligerándola y haciéndola menos densa, además de romper enlaces, por lo que bajan el punto de fusión y la viscosidad del vidrio.³ Pero esta mezcla simple de sílice y óxidos fundentes que forman vidrio a menos temperatura, no presenta aún características deseables por ser soluble, sensible al ataque químico o muy blanda.

Un tercer elemento que funciona como estabilizador es entonces agregado, la alúmina (Al_2O_3), la que además de ayudar a mejorar las características del vidrio, utilizada en pequeñas cantidades regula la viscosidad cuando éste se encuentra fundido, evitando que pueda escurrir por las paredes de la pieza cerámica. Con la mezcla adecuada de estos tres elementos: sílice, alúmina y uno o varios de los óxidos fundentes se obtiene generalmente un vidrio incoloro.

Vidrio con opacidad o con color

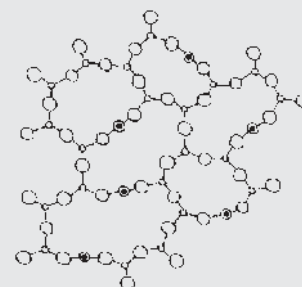
Otros óxidos pueden ser agregados a la composición base de un vidriado incoloro para cambiar su apariencia, como son los óxidos que producen vidrio con opacidad blanca: ZrO_2 , SnO_2 , TiO_2 y Sb_2O_3 ; y los que producen vidrio con color: Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , CoO , CuO , MnO , NiO . Estos óxidos, sin que ese sea su objetivo, funcionan también en mayor o menor grado como refractarios (Cr_2O_3 , SnO_2 , ZrO_2 , NiO , Sb_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3) o como fundentes (MnO , CuO , CoO , FeO).

Punto eutéctico

Un fenómeno de particular importancia para poder finalmente obtener vidriados a temperaturas accesibles, es el llamado punto eutéctico. En lo individual, cada óxido presenta un punto de fusión determinado, pero cuando dos óxidos o más se mezclan en ciertas proporciones específicas, su punto de fusión decrece considerablemente dando lugar a una reacción eutéctica. Esta reacción permite que óxidos altamente refractarios como la sílice y la alúmina, con puntos de fusión de 1720° y 2050°C respectivamente, puedan formar mezclas fluidas a temperaturas inferiores.

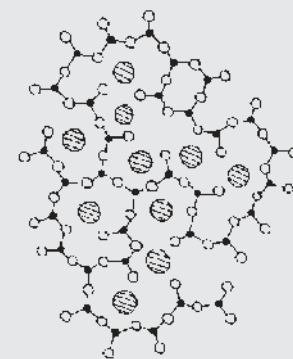
Propiedades de los vidriados

Los vidriados poseen diferentes propiedades dependiendo del estado en que se encuentren, es decir, antes, durante o después de la quema, y éstas dependen en gran medida de su composición. El conocimiento de estas propiedades resulta de suma importancia, ya que pueden ser modificadas para su mejoramiento a través de la elección de las materias primas adecuadas, de su aplicación y de las condiciones de quema o enfriamiento.



• Silicio ● Boro ○ Oxígeno

Vidrio de boro-silicato



• Silicio ● Boro ○ Oxígeno

Vidrio de silicato sódico

Representación bidimensional esquemática de estructuras de vidrio.

A. Propiedades en estado crudo

Estas propiedades influyen particularmente en la manera de preparar los vidriados para ser aplicados sobre el cuerpo cerámico.

• Suspensión acuosa.

Los minerales en polvo cuando se han mezclado con agua deben de permanecer siempre en suspensión y sin disolverse, asegurando así que la aplicación de la cubierta será homogénea. Materiales hinchables como las arcillas, caolín o bentonita ayudan a lograr una mejor viscosidad propiciando la suspensión de las partículas.

• Contracción por secado.

Los vidriados en estado acuoso siempre son aplicados sobre la pasta cruda seca o en sancocho, en ambos casos la superficie a cubrir ha sufrido los encogimientos correspondientes. Si el vidriado tiene una gran cantidad de arcillas o partículas extremadamente molidas, tenderá a encogerse produciendo agrietamientos; la contracción por secado disminuye por lo tanto, cuanto mayor es la cantidad de sustancias no plásticas en la composición del vidriado.

• Adherencia.

La adherencia correcta de las partículas, a la superficie de la pieza, depende de varios factores:

- **Del cuerpo cerámico.** Este debe de presentar un grado de porosidad adecuado que permita a las partículas en suspensión adherirse a él, si los poros se encuentran muy cerrados o han sido obstruidos por polvo o grasa debido a un exceso de manipulación, el recubrimiento se torna más difícil, presentándose además defectos en el vidriado después de la quema.

- **Del vidriado.** Materias primas arcillosas en la mezcla ayudan a una mejor adherencia, sin embargo, no hay que olvidar que el exceso de éstas puede producir contracciones durante el secado; hasta un 10% de arcilla o caolín resulta adecuado.

- **De agentes externos.** Existen adhesivos orgánicos que pueden ser agregados para mejorar la adherencia del vidriado a la superficie, como: azúcar, dextrina, almidón, goma CMC, goma arábica, etcétera. Este tipo de agentes debe de ser usado con precaución, ya que un exceso puede causar efectos indeseables.

- **Resistencia del vidriado a ser manipulado.**

La capa de vidriado crudo adherida a la superficie del cuerpo cerámico, presenta una resistencia a la manipulación muy pequeña, que si bien puede ser mejorada por medio de adhesivos muy diluidos, siempre será mínima, de ahí que las piezas deban de manipularse lo menos posible y con el mayor de los cuidados.

B. Propiedades de los vidriados fundidos

Durante la cocción, los vidriados presentan una serie de reacciones que influyen determinadamente en su calidad, su aspecto y sus posibilidades de uso.

- **Comportamiento de la fusión e intervalo de la temperatura de fusión.**

Durante el proceso de fusión, los óxidos que componen al vidriado se transforman en un cuerpo líquido, la fusión se inicia con el reblandecimiento de los óxidos fundentes que gradualmente se van convirtiendo en un fluido de más a menos viscoso, éste al rodear a las partículas de los óxidos más refractarios, se combina con ellas disolviéndolas poco a poco hasta formar una masa homogénea de mayor fluidez, esta transformación tiene la propiedad de no fundir en un punto exacto, sino dentro de un intervalo que puede variar de magnitud. Es deseable que un vidriado posea un intervalo de fusión muy amplio, ya que ello le permite lograr una mejor homogeneidad y una correcta liberación de los gases que se forman durante este proceso. La fusión e intervalo de la temperatura de fusión dependen de:

- **Tamaño de grano y mezcla.** Cuanto más molido es el grano y mejor mezclados se encuentran los componentes de un vidriado, sus partículas tendrán un mayor contacto entre ellas, provocando una reacción eutéctica que las lleva a vitrificar y a fundir a una menor temperatura. En oposición, cuando el grano es mayor, el contacto de las partículas se reduce haciendo más lenta y difícil la fusión del vidriado.

- **Velocidad de calentamiento.** Un vidriado comienza a transformarse aproximadamente hacia los 500°-600°C, si al sobrepasar este intervalo su calentamiento es lento, el vidriado fundirá a una temperatura menor, ya que las masas líquidas de fundentes podrán actuar especialmente sobre las partículas más difíciles. Si por el contrario, el calentamiento es rápido, la temperatura final en la que se alcanza la fusión total de los componentes será más elevada.

• **Temperatura de cocción.** La temperatura de cocción de un vidriado debe de ajustarse siempre a aquella en la que la pasta cerámica logra desarrollar integralmente sus características. Cuando se ha llegado a la temperatura deseada, es conveniente mantenerla durante un tiempo determinado, a fin de que las reacciones que liberan gases puedan transcurrir por completo y la capa de vidriado no quede con burbujas.⁴ El tiempo de maduración varía de acuerdo al tipo de vidriado, en general puede partirse de un tiempo entre 20 a 30 minutos, aunque éste puede cambiar para cada vidriado.

• **Composición del vidriado.** Esta es la que determina fundamentalmente la temperatura a la que funde un vidriado, por regla general debe de presentar la cantidad necesaria de óxidos formadores de vidrio (SiO_2), estabilizadores (Al_2O_3) y fundentes, actuando estos últimos con mayor efectividad cuando se encuentran combinados, por lo que una mezcla compleja de óxidos en las proporciones adecuadas puede disminuir casi con seguridad el punto de fusión y ampliar el intervalo de maduración de un vidriado. Cada óxido tiene una influencia particular sobre el aumento o disminución de la temperatura.

• **Viscosidad del vidriado.**

Una buena viscosidad a temperatura de maduración, es aquella en la que el vidriado fundido puede extenderse uniformemente sobre la superficie de la pieza y al mismo tiempo permanecer sin escurrir en las paredes verticales o inclinadas, permitiendo la eliminación total de las burbujas de los gases que se forman en el seno del vidriado durante el proceso de cocción. Un vidriado demasiado viscoso no deja que las burbujas escapen, y uno poco viscoso se escurrirá. Esta propiedad depende de la composición química del vidriado, siendo la alúmina (Al_2O_3), el material más importante para controlarla. Así mismo, una sobrecocción puede provocar escurrimientos.

• **Tensión superficial de vidriado fundido.**

Es la fuerza que hace que el vidriado, cuando se encuentra en estado líquido, pueda contraerse en forma de esfera. El mercurio a temperatura ambiente tiene una alta tensión superficial que lo hace formar “bolitas” en casi toda su superficie, en contraposición, el aceite con una baja tensión superficial, se extiende muy fácilmente en las superficies. En los vidriados, una tensión superficial baja favorece la eliminación de

burbujas, cráteres y picaduras, haciendo su superficie más lisa y brillante. Una tensión superficial alta, aunada a una viscosidad también alta, da lugar a la formación de gotas o islas, defecto conocido como “arrugado”, el cual puede ser aprovechado con fines decorativos como el llamado efecto de piel de serpiente. Una pasta con polvo o grasa no deja que la cubierta se extienda correctamente, a pesar de que la aplicación haya sido homogénea, facilitando la formación de gotas, escurrimiento o desprendimiento de ésta durante la fusión; así mismo, una aplicación demasiado gruesa, grietas en el vidriado crudo y una alta tensión superficial al iniciarse la fusión, favorecen este defecto. La tensión superficial puede controlarse con el aumento de temperatura y con la mayor o menor presencia de algunos óxidos.

• **Volatilización de componentes del vidriado.**

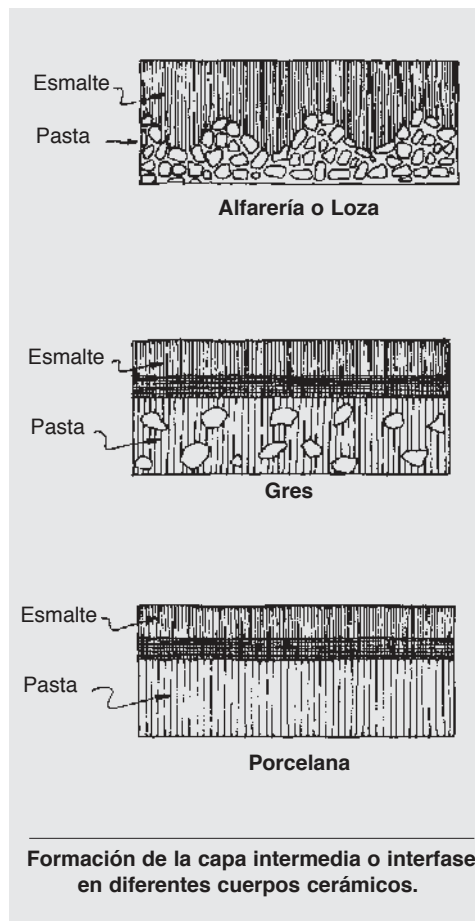
Durante la cocción, algunos componentes del vidriado tienden a volatilizarse causando los siguientes efectos:

- Formación de burbujas en el vidriado por desprendimiento de CO_2 y H_2O .
- Fusión deficiente del vidriado por vaporización de los óxidos fundentes PbO , Na_2O , K_2O o B_2O_3 , que al volatilizarse disminuyen su concentración.
- Coloraciones indeseables y manchas en piezas contiguas, particularmente en los cuerpos cerámicos porosos que fácilmente reabsorben los óxidos colorantes.
- Formación de una capa vítrea en la superficie de productos refractarios y resistencias eléctricas de los hornos, produciendo su deterioro. Para proteger a los elementos refractarios de este efecto, se recomienda recubrirlos con una capa de sílice y caolín (50-50%) o con alúmina pura (Al_2O_3), mezclados con agua y aplicados con brocha.
- Los óxidos: PbO , CuO , Na_2O , K_2O , B_2O_3 , Cr_2O_3 y CdO son especialmente volátiles; y los óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO y MgO la restringen.
- La volatilización está en relación con las altas temperaturas de quema y la velocidad de corriente en la atmósfera del horno.

• **Reacción del vidriado fundido.**

Al interior del horno, se forman diferentes atmósferas dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno. En una atmósfera oxidante (con presencia de oxígeno), los

compuestos del vidriado se oxidan dando lugar a colores y superficies altamente predecibles. En una atmósfera reductora (con deficiencia de oxígeno), los componentes combustibles (H, CO gaseoso, etcétera) tratan de tomar oxígeno del vidriado, produciendo en éste, efectos especiales o virajes en el color que sólo en dicha atmósfera se pueden lograr.



• Formación de la capa intermedia o interfase.

Durante la cocción se produce una reacción entre la pasta y el vidriado, este último al fundirse, dada su alta actividad, tiende a disolver la superficie del cuerpo cerámico formando una zona intermedia entre ambos llamada interfase, esta capa es parcialmente vidriado y parcialmente pasta, y permite que la cubierta se adhiera firmemente al cuerpo evitando peligros de agrietamiento y desconchado al endurecerse. Su formación es más propicia en altas temperaturas, ya que no sólo se activan los componentes del vidriado, sino también los de la pasta que tienden a formar una cierta cantidad de vidrio fundido, de ahí que la división entre cuerpo y cubierta sea difusa en el gres y prácticamente inexistente en la porcelana; en bajas temperaturas, la línea de separación entre la pasta y el vidriado está bien definida, debido a que prácticamente no hay formación de interfase. El polvo sobre la superficie del cuerpo cerámico o las sales solubles que pueden aflorar de la pasta durante su secado o sancocho, impiden una buena reacción, por lo que al no lograr adherirse adecuadamente, el vidriado presentará defectos de “arrugado” o desconchamiento en bordes. Un período prolongado de cocción, manteniendo la temperatura de maduración, así como altas temperaturas, favorecen la formación de la capa intermedia.

• **Desvitrificación.**

La desvitrificación es el paso de un estado vítreo a uno cristalino, dando lugar a vidriados de aspecto “helado”. Esta se puede presentar cuando un vidriado tiene un enfriamiento más prolongado de lo necesario, cuando hay deficiencia de sílice o alúmina, o cuando existe exceso de opacificantes u óxidos metálicos colorantes. En general, la complejidad de la mezcla asegura un producto vítreo, esto se ve favorecido en particular por la presencia de alúmina, aunque sea en pequeñas cantidades.⁵

Influencia de los óxidos en las propiedades de los vidriados fundidos ⁵

Disminuye la temperatura de fusión al aumentar su proporción												Incrementa la temperatura de fusión al aumentar su proporción											
←												→											
Li ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O	B ₂ O ₃	PbO	MnO	CuO	CoO	FeO	SrO	BaO	ZnO	CaO	TiO ₂	Sb ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	NiO	ZrO ₂	SnO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	

Disminuye la viscosidad al aumentar su proporción										Incrementa la viscosidad al aumentar su proporción									
←										→									
Li ₂ O	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	PbO	MnO	CoO	BaO	SrO	ZnO	MgO	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	NiO	SnO ₂	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	ZrO ₂	Al ₂ O ₃

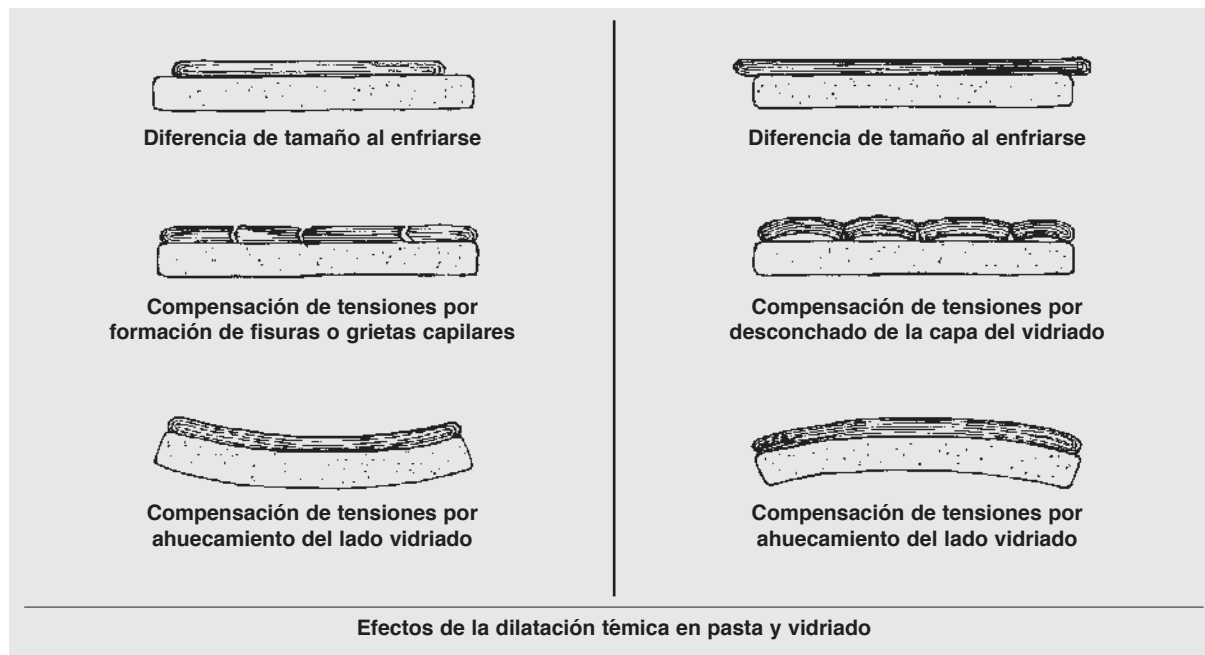
Disminuye la tensión superficial al aumentar su proporción										Incrementa la tensión superficial al aumentar su proporción									
←										→									
PbO	B ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Li ₂ O	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	SrO	BaO	NiO	Cr ₂ O ₃	SnO ₂	CaO	ZnO	ZrO ₂	Al ₂ O ₃	MgO		

C. Propiedades del vidriado después de la quema

Las propiedades que presenta un vidriado al término del proceso de quema, son las que finalmente determinan los posibles usos que éste puede tener desde el punto de vista del diseño industrial constituyen también los parámetros más importantes para decidir con que tipo de vidriado será cubierto un objeto cerámico.

• Dilatación térmica.

Durante la cocción, pasta y vidriado se dilatan con el calor, al enfriarse, ambos se contraen tanto como se hayan dilatado, si sus coeficientes de expansión térmica (expansión por unidad de longitud y por grado centígrado) difieren notablemente, se desarrollarán tensiones entre ambos que pueden producir roturas en uno de ellos (generalmente en el vidriado) o incluso en los dos, presentándose los siguientes defectos:



• **Cuarteado o craquelado.** Si el coeficiente de expansión del vidriado es mayor que el de la pasta, éste se contraerá más, pero al no poder hacerlo libremente por estar adherido a la superficie del cuerpo cerámico, se originarán tensiones de tracción que al sobrepasar el límite de la resistencia del vidriado, lo romperán formando grietas finas irregulares conocidas como cuarteado o craquelado.

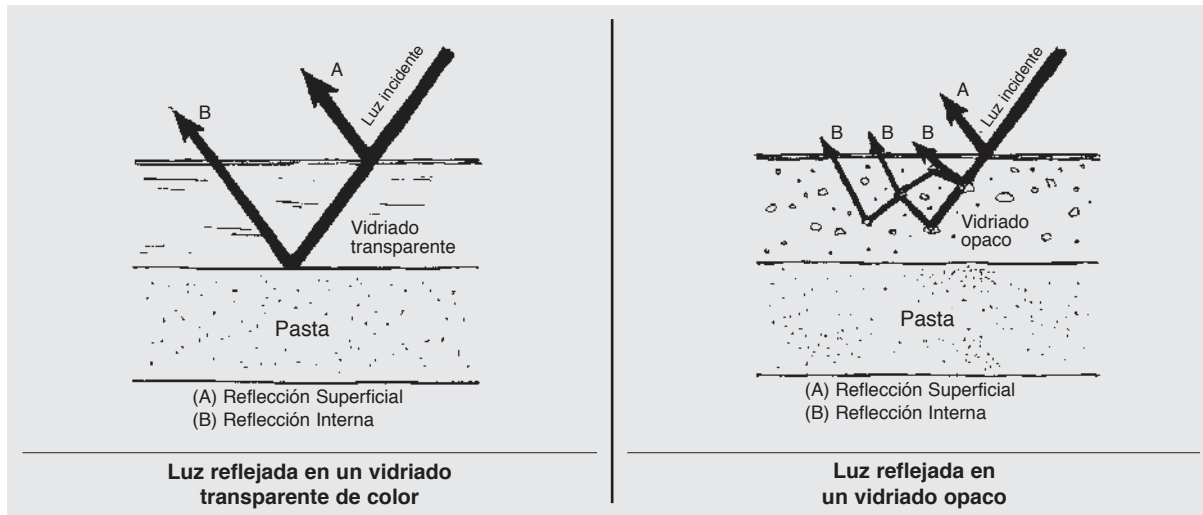
• **Desconchado.** Si por el contrario, el coeficiente de expansión es más pequeño que el de la pasta, la capa de vidriado al enfriarse estará más grande, quedando sometida a tensiones de compresión, mientras que la pasta, y particularmente la zona intermedia, se encontrarán bajo tracción, si la tracción es muy grande, el vidriado puede saltar en fragmentos produciendo el defecto de desconchado (también conocido como descascarillado o saltado) e incluso puede llegar a romper la pasta.

Si la capa de vidriado se aplica sólo en una cara de un cuerpo cerámico delgado, ésta podrá ceder a las tensiones deformándose; en tal caso, la cara vidriada se volverá, o bien cóncava o convexa, a pesar de lo cual no se alcanza un equilibrio absoluto de las tensiones.⁷ Una buena interfase ayuda a evitar este tipo de defectos, así como la presencia de algunos óxidos.

• **Conformación de la capa de vidriado.**

Un vidriado puede presentar dos propiedades diferentes dependiendo de su conformación interna, teniendo las siguientes posibilidades:

• **Vidriado transparente.** Un vidriado tiene esta propiedad, cuando su seno se encuentra libre de burbujas, restos de materias primas sin fundir o segregaciones cristalinas desprendidas durante el enfriamiento. Otros factores que pueden evitar u obstruir la transparencia, son las grietas capilares o la presencia de demasiado color, así mismo, como cualquier irregularidad que se encuentre en la superficie, por lo que también resulta necesario lograr una cubierta lisa y brillante si realmente se quiere una total transparencia. Un vidriado que posea esta propiedad se puede obtener cuando existe una buena fluidez durante la cocción, dando suficiente tiempo de maduración para liberar todas las burbujas, evitando enfriamientos lentos que propician la desvitricación, usando materias primas bien molidas para que fundan fácilmente y con la aplicación de una capa todo lo delgada que sea posible.



• **Vidriado opaco.** En oposición a los vidriados transparentes, esta propiedad es originada por impurezas que no pueden reconocerse como tales, burbujas atrapadas en su seno o por una infracocción que no permite completar la fusión de todos los minerales. Los vidriados opacos tienen la capacidad de cubrir el color de la pasta y se pueden lograr por adición de los óxidos opacificantes ZrO_2 , SnO , TiO_2 y SbO (éste último es altamente tóxico), por segregación de numerosos cristales diminutos durante el enfriamiento producidos por un exceso de sílice o saturación de algunos óxidos colorantes (FeO y CuO) y que pueden contrarrestarse con la presencia de alúmina, o por formación gaseosa.

• **Conformación de la superficie de la capa del vidriado.**

Esta es una propiedad que se presenta solamente en la superficie y no dentro de la capa del vidriado, aunque ambas tienen una relación muy estrecha.

• **Vidriado brillante.** Un vidriado es brillante, si no se encuentra presente ningún defecto en la superficie del cuerpo cerámico y no aparecen rugosidades en la de él, es

decir, que para que la superficie tenga esta propiedad, debe de ser lisa. Una superficie brillante se consigue cuando el vidriado ha sido bien fundido, no tiene burbujas atrapadas, y su viscosidad y tensión superficial son bajas permitiendo que el material fluya fácilmente. Una atmósfera oxidante favorece también la brillantez y desde el punto de vista de la composición, una cantidad adecuada de SiO_2 , B_2O_3 o PbO , suficiente Al_2O_3 (casi siempre 1/10 parte del contenido de sílice) y CaO (casi siempre 0,1-0,2 mol), o pequeñas cantidades de MgO , ZnO , BaO y óxidos alcalinos (no exceder de 0,05-0,1 mol), favorecen la formación de una superficie tersa. Vidriados con esta característica son ideales para vajillas y sanitarios debido a que son muy higiénicos, de fácil limpieza y no acumulan suciedad y gérmenes en hendiduras u hoyos. Generalmente, la fractura de una pasta comienza en un araño o grieta en la superficie, de tal modo que cuanto más lisa es la superficie de una pieza cerámica, tanto más resistente es a la rotura.⁸

• **Vidriado mate.** Una superficie incapaz de reflejar la luz debido a su rugosidad, falta de brillo y tersura, es una superficie mate. Esta se puede producir por falta de fusión en el total de la mezcla (infracocción), enfriamiento lento, alta viscosidad, ataques químicos o mecánicos (esmerilado). Por la parte de la composición, la puede producir un aumento de Al_2O_3 , CaO , MgO , el exceso de BaO , un incremento de sílice hasta el punto en que produzca desvitrificación en el enfriamiento, la adición de TiO_2 , arcilla o caolín. Debido a la fricción que se produce por el rozamiento de cubiertos u objetos metálicos, no se recomienda su aplicación en vajillas o piezas similares.

• **Vidriado de color.**

El método más común para obtener vidriados de color, es mediante la adición de óxidos metálicos colorantes. Sin embargo, esta propiedad es influida también por la composición del vidriado, su espesor, la atmósfera del horno, la temperatura de quema -en altas temperaturas los colores son menos estables y en bajas temperatura se consigue una gama de color más amplia- y el color del soporte cerámico en los vidriados transparentes. La coloración de un vidriado se produce mediante tres mecanismos:

• **Coloración por disolución o por iones.** Los compuestos colorantes se disuelven totalmente en la masa fundida en forma de iones o se integran como tales dentro de los cristales, dando lugar a vidriados generalmente transparentes.

• **Coloración por pigmentos.** Diferentes sustancias se hallan finamente dispersas o suspendidas en el vidriado en forma de partículas colorantes, obteniéndose vidriados opacos.

• **Coloración coloidal.** En esta coloración se encuentran ausentes los compuestos colorantes. Se debe a la presencia de partículas coloidales submicroscópicas suspendidas en el vidriado, que de acuerdo a su tamaño, sólo absorben luz de determinadas longitudes de onda, dando una apariencia de color.

• **Resistencia mecánica.**

El vidriado desempeña un papel primordial para mejorar la resistencia en las piezas cerámicas, teniendo más los de alta temperatura que presentan una buena adaptabilidad al cuerpo cerámico. Los vidriados gozan de las siguientes propiedades:

• **Resistencia a la compresión.** Es relativamente alta, siempre y cuando la capa no tenga grietas provocadas por tensiones, ni burbujas y se encuentre totalmente fundida. El desarrollo de una buena interfase y un alto contenido de sílice la favorecen, y el Na_2O , K_2O , y PbO la disminuyen.

• **Resistencia a la tracción.** Al igual que los materiales cerámicos en su conjunto, la resistencia a la tracción es bastante pequeña debido a su falta de ductibilidad y elasticidad; pero una capa delgada y regular, con una superficie sin defectos y enfriada lentamente sin desvitrificar, puede ayudar a contrarrestar esta carencia.

• **Dureza de rayado.** La dureza de los vidriados suele encontrarse entre 4 y 6 en la escala de Mohs, para una capa brillante y lisa. Un aumento en el contenido de SiO_2 y por consecuencia en la temperatura de cocción, ayuda a elevar la dureza al rayado. Resultando también útil, un incremento en: ZnO , SrO , BaO , MgO , Al_2O_3 .

• **Dureza al pulido - Resistencia a la abrasión.** Un vidriado brillante, liso, sin grietas y sin burbujas en su seno, puede presentar una mayor dureza a la abrasión. Se estima que un alto contenido de MgO , Al_2O_3 y SiO_2 y mayores temperaturas de quema, favorecen esta resistencia.

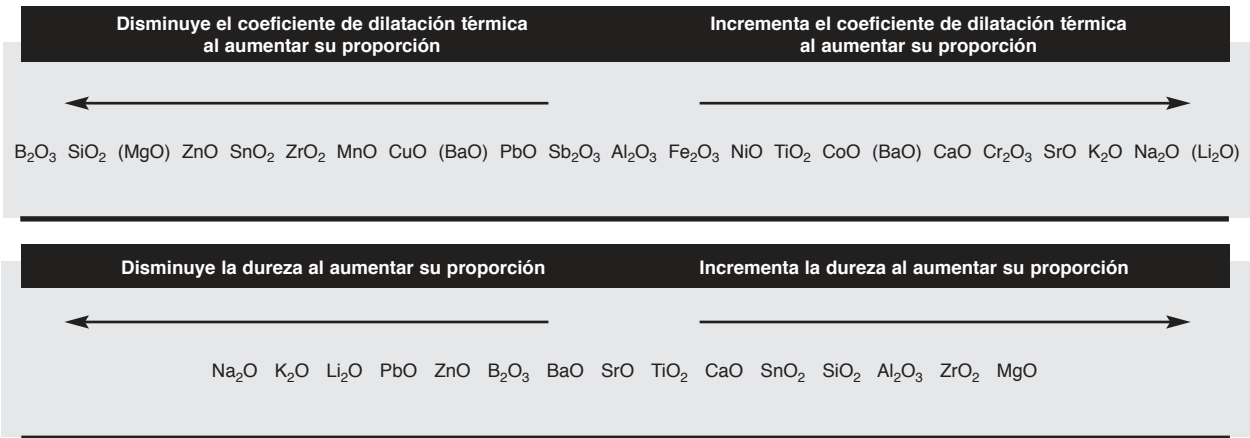
• **Resistencia química.**

La exposición a agentes químicos que puede tener una pieza decorativa, una vajilla, baldosas para piso, sanitarios o piezas de porcelana para uso en laboratorio varían

enormemente, de ahí que la resistencia de la cubierta dependa grandemente del uso que vaya a tener. Un vidriado es más resistente cuando su composición es más compleja y su temperatura de quema es elevada; así mismo, un alto contenido de SiO_2 , Al_2O_3 y ZrO_2 , un enfriamiento después de la cocción lo más lento posible sin que se desvitrifique y la ausencia de tensiones en el vidriado, permiten aumentar su resistencia química. El problema central se presenta en los vidriados de baja temperatura con presencia de plomo, debido a que éste es fácilmente disuelto por ácidos comunes como el vinagre o jugos de cítricos, para tal caso se recomienda evitar su uso, sustituirlo por fritas que lo hacen insoluble, o aplicarlo con extremada precaución por ser tóxico solamente en objetos decorativos. En general, los vidriados presentan buena resistencia a:

- La humedad, el agua, el vapor de agua y las influencias atmosféricas.
- Al ataque por ácidos (excepto el PbO) y al ataque por bases.

Influencia de los óxidos en las propiedades de los vidriados después de la quema ⁹



Composición de vidriados tipo de baja y alta temperatura

De la gran variedad de tipos de esmaltes existentes, los que se presentan a continuación, constituyen vidriados básicos que tienen una aplicación directa sobre los cuerpos cerámicos anteriormente estudiados.

Vidriados con fritas de baja temperatura (850°-1050°C)

Este es un tipo de vidriado en cuya composición es usada una frita para poder adicionar ciertos óxidos fundentes, que por sus características son difíciles de obtener de otra fuente, ya sea porque son solubles en la forma en la que pueden reaccionar a bajas temperaturas, porque son escasos y por lo tanto muy caros, o porque son tóxico, tal es el caso de los óxidos alcalinos (Na_2O , K_2O , Li_2O), del óxido de plomo (PbO) y del boro (B_2O_3).

A pesar de que la frita es en sí un vidriado y que puede ser usada como tal directamente sobre el cuerpo cerámico, casi siempre es necesario mezclarla con arcilla para poder mantenerla en suspensión debido a que su peso específico es muy alto. Esta combinación simple de frita-arcilla puede generar diferentes posibilidades de vidriados, si se consideran las variantes existentes de arcilla. Para obtener vidriados más elaborados, puede utilizarse la combinación base de frita-arcilla-sílice, o bien, una combinación más compleja aún, es la de frita-arcilla-sílice-feldespatos. Los vidriados obtenidos de las combinaciones anteriores, pueden convertirse en superficie mate con agregados de carbonato de calcio, carbonato de bario u óxido de cinc y/o colorearlos con los óxidos correspondientes.

En general, los vidriados de este tipo suelen ser brillantes y de colores vivos. Por estar madurados a bajas temperaturas no son tan resistentes y duros y es común que tiendan a craquelarse.

Vidriados de feldespatos de alta temperatura (1200°-1300°C)

El componente principal de este tipo de vidriado es el feldespato, que constituye el fundente más importante en altas temperaturas, este mineral es considerado como una frita natural ya que por sí solo puede dar un vidriado blanco a temperatura de 1250°-1300°C, debido a que contiene los tres elementos principales para formar un vidrio (sílice, alúmina y álcalis). Mezclado con calcio se reduce su punto de fusión, produciendo fácilmente cubiertas mate.

Los vidriados de feldespato se cuecen desde el cono 6 al 9 (1220°-1280°C) o más, y son resultado de combinaciones sencillas de feldespato, sílice y calcio, todos ellos, materiales comunes y fácilmente disponibles. Mezclado con otros óxidos como el bario, magnesio o cinc así como con óxidos colorantes, se puede obtener una infinidad de matices, texturas y colores. Son altamente viscosos, poseen un intervalo de fusión muy amplio y suelen ser muy confiables debido a que difícilmente presentan defectos por tensiones, sin embargo, pueden presentar picado y porosidad superficial no fácil de controlar debido a su alta viscosidad. Adiciones de TiO_2 ayudan a evitar grietas capilares. La porcelana puede tener la misma fórmula con agregados de feldespato (aproximadamente 20%) y de CaCO_3 (aproximadamente 10%). Generalmente son semiopacos, mate sedosos y con una superficie no reflectante, con ligeras picaduras. Los que contienen cantidades considerables de óxido de calcio pueden ser transparentes, con tendencia a la brillantez y presentar una superficie densa, lisa y dura. Los colores brillantes no son característicos en este tipo de vidriados, teniendo más bien una apariencia terrosa.

Elaboración de vidriados cerámicos

El desarrollo de vidriados presenta sin duda una mayor complejidad que el de una pasta cerámica, ya que existe una gran cantidad de variantes a controlar, así como materias primas que pueden participar en su composición aportando a éste, características específicas. A continuación, se presentan los pasos básicos a seguir en la elaboración de un vidriado.

A. Vidriados incoloros

Generalmente, cuando se va a desarrollar un vidriado, se da comienzo por la elaboración de una fórmula base mediante la cual se va a obtener un vidriado incoloro, que puede ser mate o brillante y/o transparente u opaco, y a partir de él, se irán agregando una serie de sustancias que nos permiten modificar las características logradas inicialmente. El sistema referido para la obtención de vidriados incoloros, en los casos siguientes, es el sistema triaxial, el cual es explicado en la sección correspondiente a “Sistemas para la elaboración de pastas y vidriados cerámicos”.

a. Desarrollo de vidriados con fritas de baja temperatura

Cono 013 (850°C) - Cono 05 (1050°C)

El componente principal de este tipo de vidriado es una frita que puede ser alcalina, de plomo, de boro, etcétera, debido a que es un material difícil de mantener en suspensión, se trata siempre de combinar con sustancias arcillosas. A partir de esta mezcla binaria se puede empezar a generar una gran cantidad de posibilidades de vidriados muy sencillos, estableciendo variantes entre el tipo de frita (bórica, alcalina, de plomo, etcétera), el tipo de arcilla a mezclar (caolín, arcilla bola, arcilla roja), las proporciones de cada uno de ellos (95-5, 90-10, 85-15, 80-20, 75-25, etcétera) y las temperaturas de quema. Para realizar mezclas más complejas, se proponen las siguientes posibilidades:

• Opción 1.

Mezcla triaxial: frita-arcilla-sílice. Colocar un material en cada una de las puntas del triángulo y elaborar las mezclas obtenidas (Los triángulos exteriores del triaxial pueden ser eliminados).

• Opción 2.

Mezcla: frita-arcilla-sílice-feldespatos. Se recomienda establecer un porcentaje fijo para el feldespatos, en este caso 10 y 20%, y construir el triaxial frita-arcilla-sílice con el porcentaje faltante para completar un total de 100%. (Anexo de imágenes. Lámina 7.1).

• Opción 3.

Modificaciones con agregados de óxido de cinc, carbonato de calcio, carbonato de bario y carbonato de magnesio. De los desarrollos anteriores se puede tomar una o varias muestras que presenten buenas características y agregar las sustancias propuestas para su modificación en los siguientes porcentajes:

- **Óxido de cinc (3-5%).** Favorece opacidades. No se recomienda usar con fritas plúmbicas ya que favorece la solubilidad del plomo en los vidriados endurecidos (A pesar de que una frita está hecha especialmente para hacer insolubles a sustancias como el plomo, existe cierta polémica al respecto de que sí los vidriados de fritas plúmbicas son realmente insolubles y pueden resistir el ataque de ácidos una vez que están endurecidos).
- **Carbonato de calcio (3-10%).** Favorece opacidades. Excelente para fritas plúmbicas porque reduce la insolubilidad.

- **Carbonato de bario (3-10%).** Favorece las superficies mate semitransparentes. En pequeñas cantidades contribuye a la formación de superficies brillantes y en grandes produce efectos mate sedosos. Usar con extrema precaución ya que es venenoso.
- **Carbonato de magnesio (3-10%).** Presenta el mismo efecto que el carbonato de bario.

Estas son algunas posibilidades de mezclas para el sistema triaxial que se pueden multiplicar a gran escala, si consideramos que las siguientes variantes generan sistemas triaxiales diferentes y por lo tanto, una infinidad de vidriados más:

- **Temperatura de quema:** Del cono pirométrico 013 al 05 (9 temperaturas).
- **Fritas:** De plomo, plomo-boro, álcali-plomo-boro, álcali-boro o alcalinas (5 fritas).
- **Arcillas:** Caolín, arcilla de bola, arcilla roja o la mezcla de éstas en diferentes proporciones (3 tipos de arcillas más todas sus posibles mezclas).
- **Feldespatos:** Sódico o potásico. Se puede intentar también con espodúmeno que es un feldespato de litio o con sienita nefelina que es un feldespatoide que contiene sodio y potasio. (De 2 a 4 tipos de feldespatos).

b. Desarrollo de vidriados de feldespato para gres y porcelana

Cono 6 (1220°C) - Cono10 (1300°C)

Como su nombre lo indica, el componente principal de este tipo de vidriado es el feldespato, de acuerdo a su descripción es resultado de la mezcla feldespato-sílice-carbonato de calcio, la cual se propone dentro de los siguientes desarrollos triaxiales:

- **Opción 1.**
Mezcla triaxial: feldespato-sílice-carbonato de calcio. Colocar un material en cada una de las puntas del triángulo. Con esta mezcla se pueden obtener vidriados brillantes.
- **Opción 2.**
Mezcla triaxial: feldespato-caolín-carbonato de calcio. Una variación de la anterior, es la que sustituye a la sílice por el caolín, el cual tiene un alto contenido de SiO_2 . Se obtienen básicamente vidriados mate. (Anexo de imágenes. Lámina 8.1).
- **Opción 3.**
Mezcla: feldespato-sílice-caolín-carbonato de calcio. Derivada de las dos anteriores, es la mezcla en donde el sílice y el caolín pueden estar combinados en diferentes proporciones.

• **Opción 4.**

Modificaciones con agregados de óxido de cinc, carbonato de bario y carbonato de magnesio. Al igual que en los vidriados de frita, estos óxidos son usados como modificadores que se agregan a un vidriado obtenido de los triaxiales anteriores.

- **Óxido de cinc (5-10%).** Favorece opacidades. Se usa especialmente para vidriados de gres. (Anexo de imágenes. Lámina 8.2).
- **Carbonato de bario (5-10%).** Favorece las superficies mate semitransparentes. En pequeñas cantidades se obtienen superficies brillantes y en grandes produce efectos mate sedosos. Usar con extrema precaución ya que es venenoso.
- **Carbonato de magnesio (5-10%).** Produce el mismo efecto que el carbonato de bario.

Variantes para las opciones anteriores:

- **Temperatura de quema:** Del Cono pirométrico 6 al 10 (5 temperaturas).
- **Sustituir al caolín por una arcilla:** Puede ser arcilla de bola o arcilla roja o la mezcla de éstas en diferentes proporciones (2 tipos de arcillas y el caolín más todas sus posibles mezclas).
- **Feldespatos:** Sódico o potásico. Se puede intentar también con sienita nefelina. (De 2 a 3 tipos de feldespatos).

B. Adición de opacificantes

Los óxidos opacificantes son usados como agregado que se adicionan en diferentes porcentajes a las fórmulas base, para obtener opacidades blancas. A cualquier vidriado de baja (Anexo de imágenes. Lámina 7.2) o de alta temperatura (Anexo de imágenes. Lámina 8.2), desarrollado por los métodos anteriores, se le puede agregar alguno de los siguientes óxidos, inclusive en aquellos que ya han sido modificados por el óxido de cinc, carbonato de calcio, carbonato de bario y/o carbonato de magnesio.

• **Óxido de estaño (5-10%).**

Ideal en casi todos los vidriados a excepción de los alcalinos. Conserva cierto brillo superficial. Debe considerarse que es un óxido de alto precio.

- **Oxido de circonio (5-10% o más).**

Se usa más en forma de silicato de circonio (ZrSiO_4).

- **Oxido de titanio (2-10%).**

Puede usarse tanto en alta temperatura como en baja, pero es particularmente bueno con cinc en vidriados de alta temperatura. (Anexo de imágenes. Lámina 8.2).

- **Oxido de antimonio (4-10%).**

Se usa poco por ser tóxico y solamente en bajas temperaturas debido que a los 1000°C comienza a volatilizar.

C. Adición de óxidos colorantes

Al igual que los opacificantes, los óxidos colorantes siempre son agregados a una fórmula base que puede haber sido modificada o no con la adición de óxido de cinc, carbonato de calcio, carbonato de bario y/o carbonato de magnesio o con los opacificantes mencionados anteriormente. Debido a que estos óxidos poseen una capacidad diferente para colorear, y en mayor o menor grado pueden bajar el punto de fusión de los vidriados por ser fundentes algunos de ellos, los porcentajes recomendados varían para cada caso. (Anexo de imágenes. Lámina 7.2 y 8.3). Los óxidos colorantes pueden también ser combinados entre ellos mismos, logrando de tal manera ofrecer gamas muy variadas de color. (Anexo de imágenes. Lámina 7.3). Los datos que se presentan a continuación son una guía general para su uso, no hay que olvidar que dependiendo de la composición del vidriado su respuesta puede cambiar.

- **Oxido de fierro rojo (1-15%).**

Produce colores ámbar-marrón. Se puede agregar de 1-1.5% para dar tonos cálidos a otros colores. En grandes cantidades actúa como fundente.

- **Oxido de cobalto (0.25-2%).**

Da tonos azules. Es el colorante más fuerte y estable. Combinado con otros óxidos en 0.25-0.5% enfría los tonos. Usado en exceso puede ser fundente.

- **Oxido de cobre (1-6%).**

Produce colores verdes, con más del 6% da un color negruzco metálico. En atmósfera reductora da rojo. Tiene efecto fundente.

- **Dióxido de manganeso (1-8%).**

Da colores pardo-marrón rojizo.

- **Oxido de cromo (0.5-2%).**

Produce verdes, con cinc pasa de verde a rosa o coral, con estaño da rosas. Es muy refractario.

- **Oxido de níquel (0.5-2%).**

Generalmente produce grises, pero puede dar azules, violetas, púrpuras, etcétera, dependiendo de la composición del vidriado y su concentración. Es refractario. Usar con sumo cuidado porque es tóxico.

Las características de las sustancias opacificantes y colorantes, así como de las materias primas que conforman a un vidriado cerámico, serán vistas con más detalle en el siguiente capítulo.

7 Materias primas para vidriados cerámicos

Como se vio anteriormente, un vidriado en su forma básica está constituido por tres tipos de óxidos: los formadores de vidrio, los estabilizadores y los fundentes. Los óxidos son aportados por medio de minerales que pueden presentarse en forma de compuestos como la sílice (SiO_2), mediante la cual se obtiene el óxido requerido directamente; en sustancias más complejas como el carbonato de calcio (CaCO_3), que durante el proceso de quema se convierte en $\text{CaO} + \text{CO}_2$; o bien, a partir de compuestos que contribuyen con más de un óxido en la composición del vidriado, como son el caolín ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o el feldespato ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ó $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$).

Con la salvedad de ciertos minerales, los óxidos puros son difíciles de agregar directamente debido a que son escasos y caros, prefiriéndose el uso de fuentes más complejas que se encuentran combinadas con otros elementos o que contienen más de un óxido y que son obtenidas fácilmente de la naturaleza. Cabe aclarar que algunos de estos minerales que son fundamentales para la formación de vidriados, como es la sílice, la arcilla y el feldespato, lo son también para las pastas cerámicas, con la diferencia de que en éstas, no todos los componentes llegan a la fusión, lo que sí sucede en los vidriados.

Una condición importante acerca de las materias primas, es que éstas deberán de ser preferentemente no tóxicas e insolubles, la primera circunstancia es por razones obvias de salud, por lo que es recomendable evitar su uso, o en todo caso, tomar las precauciones pertinentes para su manejo. La segunda condición se debe a que, cuando un mineral se disuelve, sus componentes se adhieren al cuerpo cerámico concentrándose irregularmente, de tal manera que no se puede lograr una composición homogénea en la superficie, tan necesaria para la obtención de un vidriado con buenas características. A pesar de ello, suele no ser extraño encontrar fórmulas con la presencia de ciertas sustancias tóxicas y solubles.

Las materias primas que se presentan a continuación, son las más importantes y las más comunes para la conformación de vidriados, todas se pueden adquirir y son distribuidas comercialmente en condiciones adecuadas de molienda (malla 200), y con cierta confiabilidad en su comportamiento; algunas de ellas se usan con poca frecuencia por ser raras y de alto costo, o bien, por ser tóxicas y solubles.

Óxidos formadores de vidrio

Son óxidos que al enfriarse, después de haber sido fundidos, forman red vítrea.

Sílice. SiO_2

• Propiedades:

Es un óxido ácido. Aumenta la temperatura de quema y el intervalo de fusión. Aumenta la viscosidad del vidriado. Disminuye la dilatación térmica. Influye poco en los colores. Aumenta la opacidad en vidriados ricos en B_2O_3 y ZnO . Aumenta la resistencia a la compresión. Mejora la resistencia química, especialmente a los ácidos.

• Materias primas principales:

- **Sílice. SiO_2 .** Es insoluble y químicamente inerte. Puede ser usada en forma de pedernal o cuarzo. Es abundante y accesible.

• Materias primas secundarias:

- Caolín. $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.*
- Feldespato sódico. $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$.**
- Feldespato potásico. $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$.**
- Espodúmeno. $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$.**
- Nefelina-sienita. $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$.**

* Su aporte de sílice no es suficiente para formar red vítrea.

** Se les considera como fundentes.

Óxidos estabilizadores

Oxidos cuya principal función es la de estabilizar y regular la viscosidad cuando el vidriado se encuentra fundido.

Alúmina. Al_2O_3

• Propiedades:

Es un óxido neutro. Aumenta mucho la temperatura de quema y amplía el intervalo de sinterización-fusión. Aumenta la viscosidad y la tensión superficial. Contrarresta las desvitrificaciones y la cristalización. Altera los colores y perjudica la coloración clara de numerosos óxidos. Favorece los vidriados de color negro. Disminuye la solubilidad del PbO , ZnO y de los álcalis en el vidriado cocido. Aumenta la resistencia química.

Aumenta la dureza y resistencia a la abrasión. Disminuye la sedimentación del vidriado en suspensión si se usa como arcilla grasa o caolín, y mejora la adherencia del vidrio crudo.

• **Materias primas principales:**

• **Caolín o arcilla.** $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Habitualmente, toda la alúmina que es necesaria para la formación de un vidriado es obtenida del caolín o de la arcilla y del feldespato en menor medida. Se prefiere el caolín por ser el más puro y estar libre de hierro para evitar cualquier coloración, pero puede usarse otro tipo de arcilla bajo el entendido de que los vidriados pueden resultar de tono tostado y con un punto de fusión menor. Ayuda a mantener en suspensión las materias primas del vidriado crudo. Si contiene más de un 12%, debe calcinarse al menos la mitad para evitar grietas por encogimiento (hornear a 1000°C el polvo seco).¹

• **Materias primas secundarias:**

- Alúmina. Al_2O_3 .*
- Hidróxido de Aluminio. $\text{Al}(\text{OH})_3$.*
- Feldespato sódico. $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$.**
- Feldespato potásico. $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$.**
- Espodúmeno. $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$.**
- Nefelina-sienita. $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$.**

*Se usa en casos extremos, pero es poco habitual por su costo.

** Aunque aportan alúmina a la composición del vidriado, se les considera más como fundentes.

Óxidos fundentes

Son los óxidos que bajan el punto de fusión y la viscosidad del vidriado. Existen tres grandes grupos: metálicos, alcalinos, alcalinos-térreos y neutros. (Anexo de imágenes. Lámina 9).

A. Óxidos fundentes metálicos

Oxido de plomo. PbO

• **Propiedades:**

Se usa en baja temperatura y menos en media. Disminuye fuertemente la temperatura de fusión. Disminuye la viscosidad y la tensión superficial. Proporciona una fusión lisa

y libre de burbujas del vidriado. Se vaporiza fácilmente. Aumenta la elasticidad del vidriado. Proporciona colores claros y brillantes. Con frecuencia produce coloraciones amarillentas en vidriados transparentes. Disminuye el coeficiente de dilatación. Disminuye la resistencia química y mecánica.

• **Materias primas principales:**

• **Fritas a base de óxido de plomo.** Son materias primas producidas industrialmente que hacen al plomo no tóxico e insoluble. Preferir su uso sobre cualquier otro componente de plomo.

• **Minio. Pb_3O_4 .** Es soluble y muy venenoso, a pesar de ello, ha sido uno de los compuestos de plomo más usado como fundente a través de la historia. No es aconsejable usarlo pero en ocasiones puede ser insustituible, particularmente si se requiere de un vidriado muy especial. Puede ser sustituido por frita de plomo.

• **Materias primas secundarias:**

• Litargirio. PbO . Es muy venenoso.

Oxido de Zinc. ZnO

• **Propiedades:**

Poderoso fundente en altas temperaturas (1200°C en adelante). Se usa en porcentajes de 3-5% para baja temperatura y no más de 12% en alta, en grandes cantidades se vuelve refractario. Aumenta el intervalo de fusión. Disminuye la viscosidad. Aumenta claramente la tensión superficial. Aumenta la elasticidad del vidriado. Disminuye el coeficiente de dilatación evitando grietas. Favorece opacidades, segregaciones y cristalizaciones. Se usa para hacer los vidriados mate. Con 10% de cinc y 10% de titanio se obtiene una buena opacificación semimate con leve brillo de superficie y textura. Altera los colores. Aumenta la solubilidad del plomo del vidriado solidificado. Aumenta la dureza y durabilidad del vidriado.

• **Materias primas principales:**

• **Oxido de cinc. ZnO .** Elaborado artificialmente, es insoluble. Se usa particularmente en vidriados de gres.

B. Óxidos fundentes alcalinos

Oxido de litio. Li_2O

- **Propiedades:**

Disminuye fuertemente la temperatura de fusión. Disminuye mucho la viscosidad. Aumenta el coeficiente de dilatación en vidriados transparentes y lo disminuye con frecuencia en los vidriados mates. Aumenta el brillo y la tersura superficial aun en pequeñas cantidades. En general favorece los colores. Disminuye la resistencia química y mecánica, pero no tanto como los otros álcalis.

- **Materias primas principales:**

- **Carbonato de litio. Li_2CO_3 .** Fuente más usada de Li_2O . Se elabora artificialmente a partir de minerales de litio. Se consiguen vidriados con colores brillantes sin necesidad de fritas. Es un fundente muy útil para bajas temperaturas ya que los otros álcalis son solubles, pero es poco usado por ser extremadamente caro.

- **Materias primas secundarias:**

- **Espodúmeno. $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$.** Es un feldespato de litio poco usado por ser caro y menos eficaz que el carbonato de litio. En caso de craquelado puede sustituir al feldespato.

Oxido de sodio. Na_2O

Oxido de potasio. K_2O (Anexo de imágenes. Lámina 4).

- **Propiedades para ambos óxidos:**

Disminuyen mucho la temperatura de fusión. Reducen el intervalo de fusión. Disminuyen mucho y repentinamente la viscosidad del vidrio fundido. Aumentan fuertemente el coeficiente de dilatación térmica. Disminuyen la resistencia química, particularmente hacia los ácidos. Disminuyen la dureza y la resistencia a la abrasión.

- **Materias primas principales para el sodio:**

- **Feldespato sódico. $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$.** Es fuente importante de los álcalis en forma insoluble, pero sólo es útil en altas temperaturas porque comienza a reaccionar a los 1190°C , antes es refractario, y funde hacia los 1250°C formando vidrio por sí mismo. Es una de las materias primas más importantes en vidriados para gres y porcelana. En la composición de esmaltes se le prefiere sobre el potásico. Es muy común y por lo tanto barato. Los vidriados con alto contenido de feldespato tienen tendencia a craquelarse

por la cantidad de sodio. Por su contenido de Al_2O_3 y SiO_2 pueden tener al mismo tiempo un efecto fundente y aumentar la viscosidad, ampliar el intervalo de fusión y proporcionar una mejor resistencia química.²

- **Fritas alcalinas.** Aportan los álcalis en forma insoluble y son usados en baja temperatura.

- **Materias primas principales para el potasio:**

- **Feldespato potásico.** $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$. Sus características son muy similares al sódico porque químicamente son muy parecidos, pero no deben de sustituirse. Es más usado en pastas cerámicas que en vidriados.

- **Fritas alcalinas.** Son insolubles y se usan como fundentes en baja temperatura.

- **Materias primas secundarias para el sodio y el potasio:**

- Nefelina-sienita. $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$. Se usa más en vidriados de media temperatura.

C. Óxidos fundentes alcalino-térreos

Oxido de Calcio. CaO

- **Propiedades:**

Es fundente ideal para temperaturas superiores a los 1040°C . En altas temperaturas disminuye la viscosidad. Favorece la formación de la capa intermedia. Aumenta la tensión superficial de los vidriados fundidos. Disminuye el coeficiente de expansión térmica. Aumenta el brillo y la tersura superficial inclusive en pequeñas cantidades. En grandes cantidades produce buen efecto mate. Favorece esmaltes mates y cristalinos. Altera poco los colores. Aumenta la resistencia química. Aumenta la dureza al rayado y la resistencia superficial, con frecuencia se emplea con B_2O_3 para este fin. Reduce la insolubilidad del plomo.

- **Materias primas principales:**

- **Carbonato de calcio.** CaCO_3 . Se conoce también como carbonato de calcio. Es muy usado en vidriados de alta temperatura.

- **Materias primas secundarias:**

- Fosfato tricálcico o ceniza de hueso. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Se utiliza para actuar sobre los colores, especialmente sobre los óxidos de hierro.³

Oxido de bario. BaO

- **Propiedades:**

A partir de 1120°C puede usarse en lugar del plomo. Disminuye el intervalo de fusión. Disminuye rápidamente la viscosidad del vidriado. Aumenta el coeficiente de expansión térmica. Aumenta fuertemente la tensión superficial. En pequeñas cantidades aumenta el brillo y la transparencia superficial del vidriado. En grandes cantidades produce un buen efecto mate sedoso. Produce superficies mate semitransparentes. Mejora la resistencia química en pequeñas cantidades y en grandes la disminuye. Aumenta la dureza superficial del vidriado. Altera poco los colores, y en vidriados mates de cinc hace posible el rojo de níquel.

- **Materias primas principales:**

- **Carbonato de bario. BaCO₃.** Elaborado artificialmente, es insoluble pero debe manejarse con extrema precaución por ser muy venenoso.

Oxido de magnesio. MgO

- **Propiedades:**

En pequeñas cantidades disminuye la temperatura de fusión, en grandes la incrementa. Aumenta fuertemente la tensión superficial. En pequeñas cantidades disminuye el coeficiente de expansión térmica y usado en grandes cantidades lo aumenta. En pequeñas cantidades aumenta el brillo del vidriado y en cantidades mayores tiene un efecto mate. Puede alterar algunos colores. Aumenta la dureza y resistencia a la abrasión del vidriado. Mejora mucho la resistencia química.

- **Materias primas principales:**

- **Carbonato de magnesio. MgCO₃.** Es insoluble.

- **Materias primas secundarias:**

- Dolomita. CaCO₃·MgCO₃. Es considerado como fuente de magnesio más que de calcio. Produce efectos moteados. Puede producir burbujas por desprendimiento de CO₂ en vidriados de muy baja temperatura, a los 900°C finaliza el proceso.
 - Talco. 3MgO·4SiO₂·H₂O. Es más común como fundente en pastas de baja temperatura.

D. Óxido fundente neutro

Oxido bórico. B_2O_3

• Propiedades:

Disminuye fuertemente la temperatura de fusión, siendo tan activo como el plomo. Amplía el intervalo de fusión. Puede sustituir una parte de SiO_2 como formador de vidrio. Disminuye mucho la viscosidad y la tensión superficial. Disminuye el coeficiente de dilatación evitando craquelados. No favorece los colores claros y brillantes. Aumenta el brillo y lisura de la superficie. En grandes cantidades favorece los vidriados mate. Opacifica y produce el denominado “velo de boro” en vidriados ricos de CaO , ZnO y SiO_2 . En pequeñas cantidades (hasta 12%) aumenta la resistencia química, la dureza al rayado y la elasticidad del vidriado.

• Materias primas principales:

- **Colemanita.** $2CaO \cdot B_2O_3 \cdot 5H_2O$. Unica fuente natural de B_2O_3 en forma insoluble. Es un borato de calcio hidratado usado preferentemente en baja o media temperatura. En México es caro y raro, es usado más ampliamente en Estados Unidos y Europa. Se puede sustituir por una frita de boro.

- **Fritas de boro.** Son insolubles y pueden sustituir a la colemanita.

• Materias primas secundarias:

- Bórax cristalino pentahidratado. $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$. Su uso es limitado por ser hidrosoluble.

- Bórax cristalino decahidratado. $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$. Es hidrosoluble.

- Bórax calcinado. $Na_2B_4O_7$. Es hidrosoluble.

E. Frita (Fundente para baja temperatura)

Una frita es un vidriado generalmente producido por medios industriales, que ha sido previamente fundido a temperaturas más o menos elevadas, ha sido enfriado bruscamente en agua fría para estrellarlo facilitando su molienda y ha sido molido finamente (malla 200). La finalidad principal de fritar un vidriado, es volver insoluble ciertas materias primas fundentes usadas particularmente en baja temperatura como el bórax ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$), el carbonato de

potasio (K_2CO_3) y el carbonato de sodio (Na_2CO_3), que son solubles y cuya aplicación en crudo es poco confiable, debido a que al ser disueltas por el agua, los elementos que antes formaban el compuesto, ahora libres, se concentran de manera irregular al ser absorbidas junto con el agua por la pieza, presentando una fusión desigual y alterando así la homogeneidad necesaria para obtener un vidriado.

Existen en la naturaleza algunas fuentes insolubles de K_2O , Na_2O y B_2O_3 , pero el sodio y potasio presentes en el feldespato están asociados a tal cantidad de alúmina y sílice, cuyo poder fundente es pequeño a bajas temperaturas y el único B_2O_3 insoluble se halla disponible sólo en la coleanita, que es una materia prima poco accesible y cara, especialmente en nuestro país. Así mismo, materiales que son tóxicos en crudo, como los compuestos de plomo una vez que se han fundido y combinado con otros minerales se vuelven no venenosos.

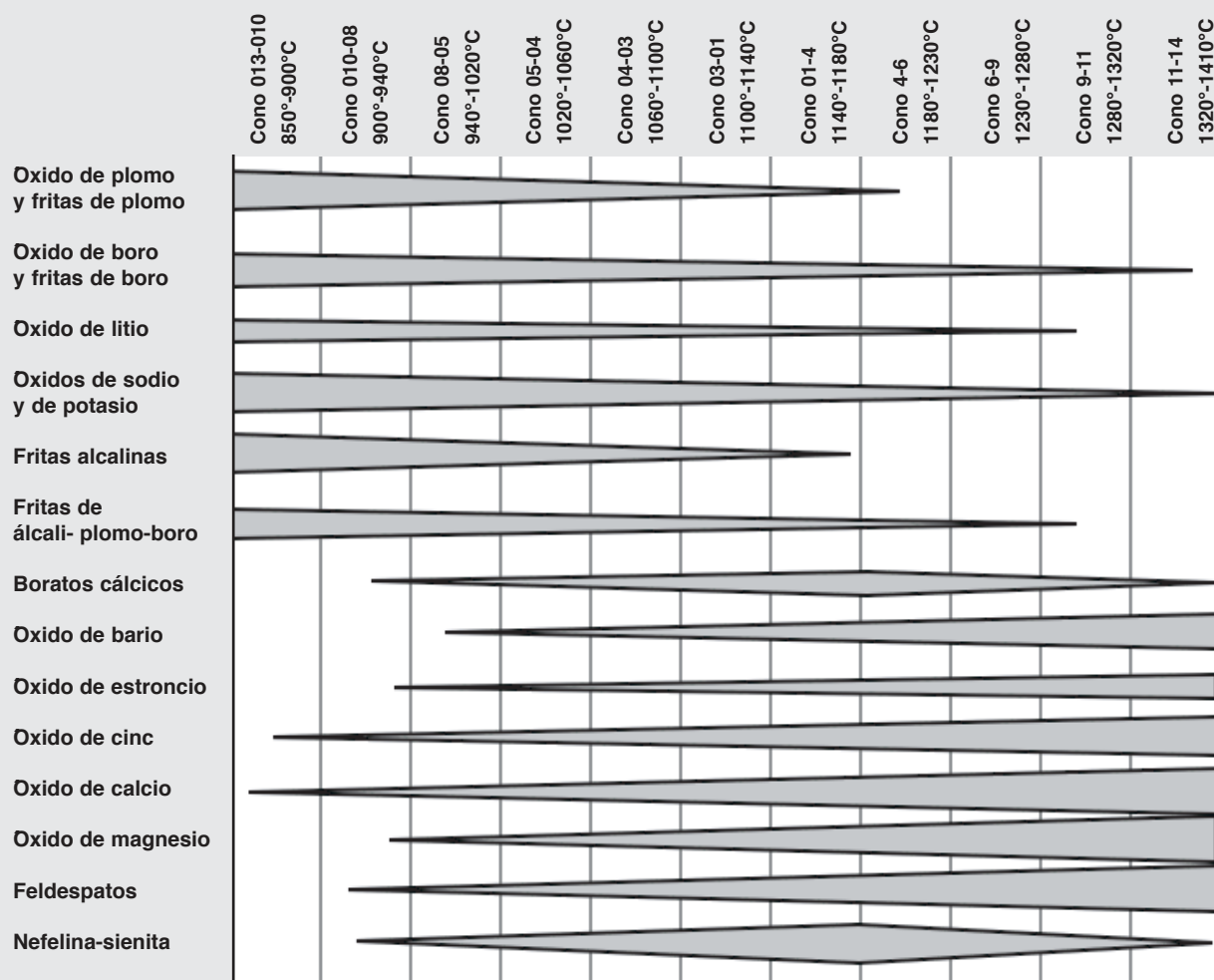
Una ventaja de las fritas, es que presentan una fusión más suave debido a que algunos materiales volátiles han sido eliminados durante la primera fusión, teniendo por lo tanto, un vidriado final que no pasa a través de la marcada ebullición y expulsión de gases por las que si pasa uno crudo, eliminando con esto, picaduras y porosidad capilar.

A pesar de que una frita puede tener por sí sola buenas características para cubrir un cuerpo cerámico, su aplicación directa no es aconsejable debido a que son muy difíciles de mantener en suspensión, agregar de 10 a 20% de caolín o arcilla mejora notablemente este inconveniente. La mezcla frita-caolín o frita-arcilla es un vidriado fácil de preparar, además de que al introducir SiO_2 y Al_2O_3 en la composición, ayuda a mejorar la resistencia química y mecánica.

Las frita pueden solidificar en forma transparente, brillante, opaca, blanca o en superficie mate, aceptando bien la adición de óxidos colorantes, pueden ser de plomo, plomo-boro, álcali-plomo-boro, álcali-boro o alcalinas. Los esmaltes fritados son muy usados en la industria cerámica por presentar un vidriado muy homogéneo, y tener menor temperatura de maduración que los vidriados preparados con materias primas crudas.

Acción de los óxidos fundentes de acuerdo a la temperatura de quema ⁴

Zona de cocción aproximada para cada materia prima



Óxidos opacificantes

Generalmente son adicionados como agregados a la fórmula base del vidriado, su función principal es la de opacificar. Las materias primas opacificantes se distribuyen muy finamente por el vidriado fundido sin disolverse en el mismo, o se disuelven en él a elevadas temperaturas, precipitándose durante el enfriamiento en forma de cristales extremadamente finos, de modo que los vidriados aparecen opacos, con opacidad blanca sin que por ello la superficie tenga que volverse mate.⁵ Al igual que los demás óxidos, se pueden adquirir en condiciones adecuadas para su uso directo. (Anexo de imágenes. Lámina 10).

Compuestos de estaño

- **SnO₂ Óxido de estaño**

• Propiedades:

Se usa en cantidades de 4-10%. En exceso puede causar superficies irregulares con minúsculos agujeros. Es un opacificante ideal en casi todos los vidriados a excepción de los alcalinos. Eleva la temperatura de quema y el intervalo de fusión. Aumenta la viscosidad del vidriado fundido y evita el cuarteado. Se usa en tintes rosados de cromo-estaño. Con plomo es ligeramente amarillo. Da un efecto opacificante especial porque conserva cierto brillo superficial. Refuerza la dureza de la superficie y la resistencia química. Conviene calcinarlo cuando es usado con plomo. Por su alto precio se sustituye por el de circonio.

Compuestos de circonio

- **ZrO₂ Óxido de circonio**
- **ZrSiO₄ Silicato de circonio**

• Propiedades:

Debido a que el ZrO₂ tiene una actividad más fuerte y es mucho más caro, se prefiere el silicato que da mejores opacidades, con 10-15% da blanco, pero se puede usar en porcentajes mucho mayores. Tiene una elevada viscosidad. Por su alta viscosidad con MnO, CoO, Sb₂O₃ o hierro presenta a menudo una fuerte formación de burbujas. La presencia de ZnO, BaO, MgO, SnO₂ y alto contenido de SiO₂ favorecen su efectividad. Suele solidificar en forma brillante. Se puede tornar mate con compuestos de magnesio. Son estables químicamente y de gran dureza. Sustituye al estaño por su precio.

Compuestos de titanio

• TiO_2 Óxido de titanio

• Propiedades:

Puede usarse en cantidades de 2-10%. Produce opacidad blanca en vidriados ricos en álcalis, libres de plomo y de óxido de hierro, pero con un elevado contenido de SiO_2 . En vidriados con plomo y boro produce una ligera coloración amarilla. El ZnO , SnO_2 y CaO lo favorecen. La opacidad blanca depende de la composición, de la viscosidad y de la velocidad de enfriamiento. A menudo no tiene aspecto homogéneo. Opacificante que permite blancos granulosos, se refuerza con cinc. Produce buenas texturas de superficie. Modifica los colores beneficiando a algunos de ellos. Puede usarse tanto en alta temperatura como en baja.

Compuestos de antimonio

• $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{Sb}_2\text{O}_5$ Óxido de antimonio

• Propiedades:

Poco usado por ser tóxico. Se usa de 4-10% según la composición del vidriado. Produce opacidad blanca, excepto en vidriados ricos en plomo cocidos hasta los 1040°C , en los que da coloración amarilla. Sólo ofrece ventajas en vidriados alcalinos, dando un color blanco opaco de superficie brillante y tersa. Se usa solamente en bajas temperaturas ya que a los 1000°C comienza a volatilizar.

Óxidos colorantes

Los vidriados cerámicos de color se obtienen con la adición de compuestos de metales pesados que son agregados en forma de óxidos o carbonatos, por ser éstos insolubles. Otros compuestos de metales que también pueden colorear a los vidriados son los cloruros, sulfatos, sales y nitratos, pero su uso es muy limitado por ser hidrosolubles, por lo que solamente se recomienda su aplicación para casos muy especiales, como los sulfatos que son utilizados para lograr determinados efectos como emitir gases, dar lustres o baño de color sobre o bajo vidriado.

Los carbonatos son generalmente más baratos, pero debido a que son menos concentrados que los óxidos, tienen que usarse en porcentajes mayores para alcanzar los mismos resultados, en todo caso es conveniente realizar los cálculos para seleccionar la mejor opción. Tanto los óxidos como los carbonatos, se pueden adquirir comercialmente con facilidad y en condiciones adecuadas para su uso directo, algunos de ellos sin embargo, son de alto costo, como el cobalto y en menor grado el níquel.

Los efectos de los óxidos pueden variar considerablemente dependiendo del tipo de fundente que predomina en la composición del vidriado, de la presencia de otros óxidos colorantes u opacificantes, así como de las condiciones de quema y del color de la cubierta en donde son aplicados; y por ser fundentes (MnO , CuO , CoO , FeO) o refractarios (Cr_2O_3 , NiO , Fe_2O_3), pueden cambiar la temperatura de maduración. Debido a estas variantes, las descripciones siguientes sólo se refieren a características generales, por lo que para tener un conocimiento más profundo de los efectos colorantes que pueden ofrecer dichos óxidos, es indispensable experimentar con ellos. (Anexo de imágenes. Lámina 11).

Compuestos de hierro

- Fe_2O_3 Óxido de hierro rojo (es el más usado)
- FeO Hierro negro
- FeTiO_2 Rutilo

• Propiedades:

Se puede agregar desde un 1% hasta un 15%, dando colores ámbar (2-4 %), rojo marrón (5-8%) y marrón oscuro en oxidación o temmoku en reducción (8-15%), de 0.5-2.0% da verde Celadón en reducción. Los álcalis intensifican su tono rojo, el calcio lo aclara y amarillenta, el cinc lo hace más marrón. Se puede agregar de 1-1.5% para dar tonos cálidos a otros colores. En grandes cantidades actúa como fundente. El rutilo da colores rosa, ante y marrón en oxidación en vidriados que pueden ser moteados o cristalinos.

Compuestos de cobalto

- **CoO** Óxido de cobalto
- **Co₂O₄** Óxido negro de cobalto
- **CoCO₃** Carbonato de cobalto

• Propiedades:

Es el colorante más fuerte. Con 0.25-0.5% da azul tenue, con 0.5-2% azul medio y con 2-4% azul noche. En muy bajos porcentajes (0.1%) se pueden lograr grises muy claros. Combinado con otros óxidos en 0.3-0.5% enfría los tonos. Con titanio da azules texturizados. El cinc lo intensifica y el magnesio lo hace púrpura. Con fundente plúmbico da azul, con alcalinos da azul violáceo chillón y el bórico le da un tono rojizo. Presenta buenas características a cualquier temperatura, pero usado en exceso puede ser fundente. El carbonato de cobalto es menos concentrado, por lo que hay que usarlo en cantidades mayores, pero en ocasiones puede disolver mejor.

Compuestos de cobre

- **CuO** Óxido de cobre negro (es el más usado)
- **Cu₂O** Óxido de cobre rojo

• Propiedades:

De 1-6% da verdes, con más del 6% da un color negruzco metálico. Da verde hierba con plomo, turquesa con álcalis sin cinc y aturquesado con boro. En atmósfera reductora da rojo. Tiene efecto fundente.

Compuestos de manganeso

- **MnO₂** Dióxido de manganeso (es el más usado)
- **MnCO₃** Carbonato de manganeso

• Propiedades:

Se usa de 1-8%. En altas temperaturas es fundente. Se necesita mayor cantidad a bajas temperaturas que en altas. Su color normal es marrón rojizo. Con óxido bórico y elevado contenido de sodio da púrpura. Con base plúmbica da morados, violáceos o pardos con porcentajes de 1-2% y negro opacos con 10-15%. Si no se encuentra bien mezclado aparecen motas. Se recomienda calcinarlo para evitar burbujas.

Compuestos de cromo

- Cr_2O_3 **Oxido de cromo**

• Propiedades:

De 0.2-2% es suficiente. No cambia con la oxidación ni reducción, ni en baja o alta temperatura, pero con cinc pasa de verde a rosa o coral. Con plomo presenta tinte amarillo y con álcalis es más oscuros. Con plomo da rosas. Con estaño da tintes rosados. Es muy refractario.

Compuestos de níquel

- NiO **Oxido de níquel (es el más usado)**
- Ni_2O_3 **Oxido de níquel**

• Propiedades:

Se usa entre 0.5-2%. Por sí solo genera grises no muy atractivos, por lo que es mejor combinarlo. Puede variar mucho de acuerdo a la composición del vidriado y porcentaje que se haga uso de él, dando una gran cantidad de colores: azules, violetas, púrpuras, etcétera. Es refractario. Se debe de usar con sumo cuidado, ya que todos los compuestos son venenosos.

Pigmentos comerciales

Los pigmentos constituyen una opción más para colorear a los vidriados. Están elaborados con óxidos metálicos combinados con otras sustancias (caolín, sílice, feldespato, etcétera) que han sido calcinados, fundidos o fritados conjuntamente para estabilizarlos, ofreciendo una gama más amplia de tonos y fiabilidad, sin embargo, no hay que dejar de considerar, que los costos son mayores que los que representan el uso de los óxidos metálicos. Cada fabricante tiene sus colores y formulaciones, por lo que se recomienda hacer pruebas hasta encontrar los porcentajes adecuados.

Anexo de imágenes



Pastas de baja temperatura
Lámina 1



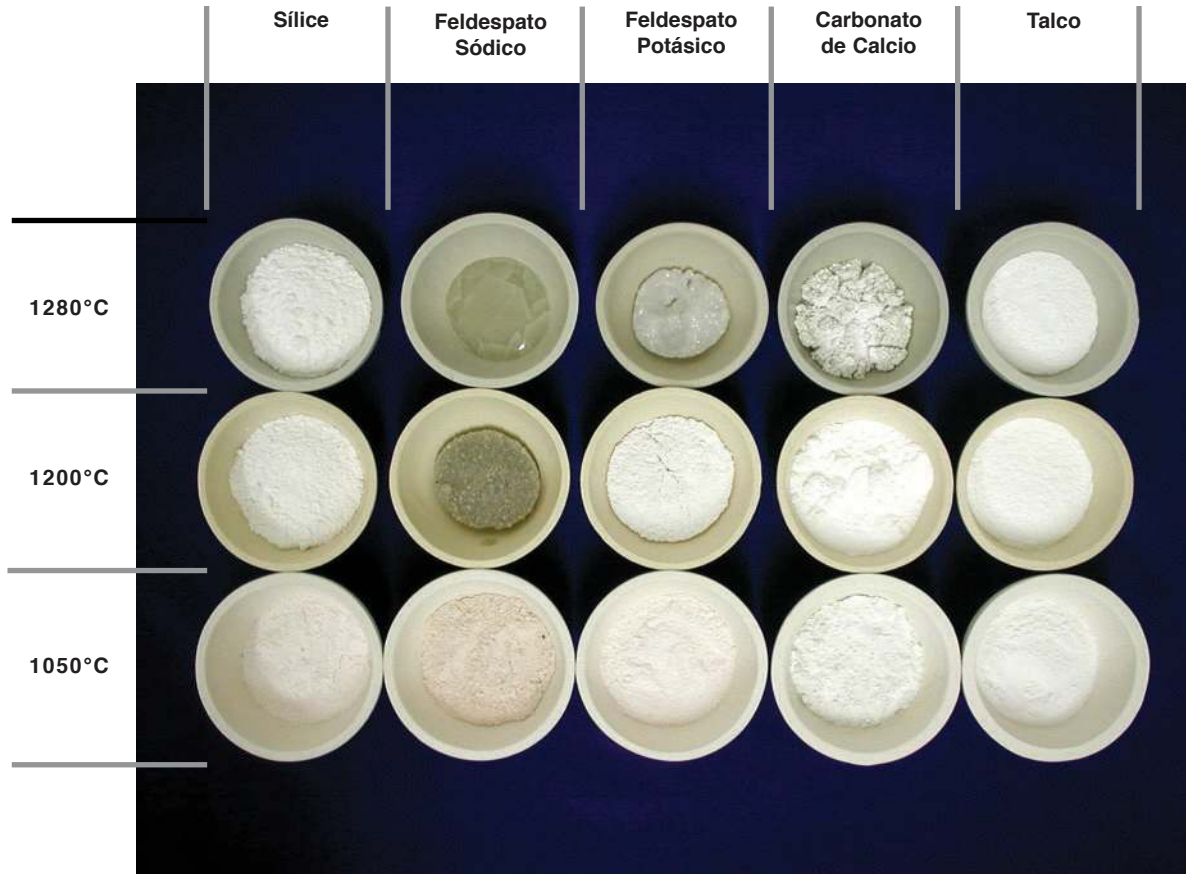
Pastas de alta temperatura
Lámina 2



Materias primas arcillosas quemadas a diferentes temperaturas

Lámina 3

ANEXO de Imágenes



Materias primas no arcillosas quemadas a diferentes temperaturas

Lámina 4



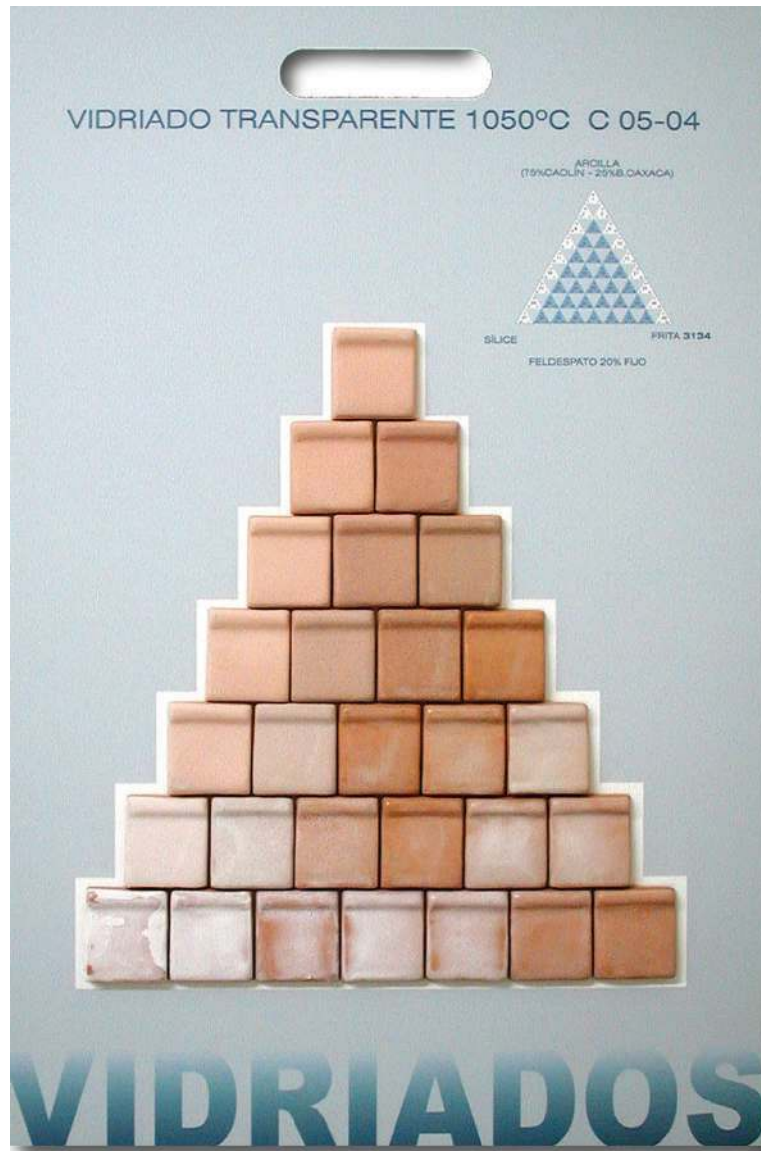
Vidriados de baja temperatura

Lámina 5



Vidriados de alta temperatura

Lámina 6



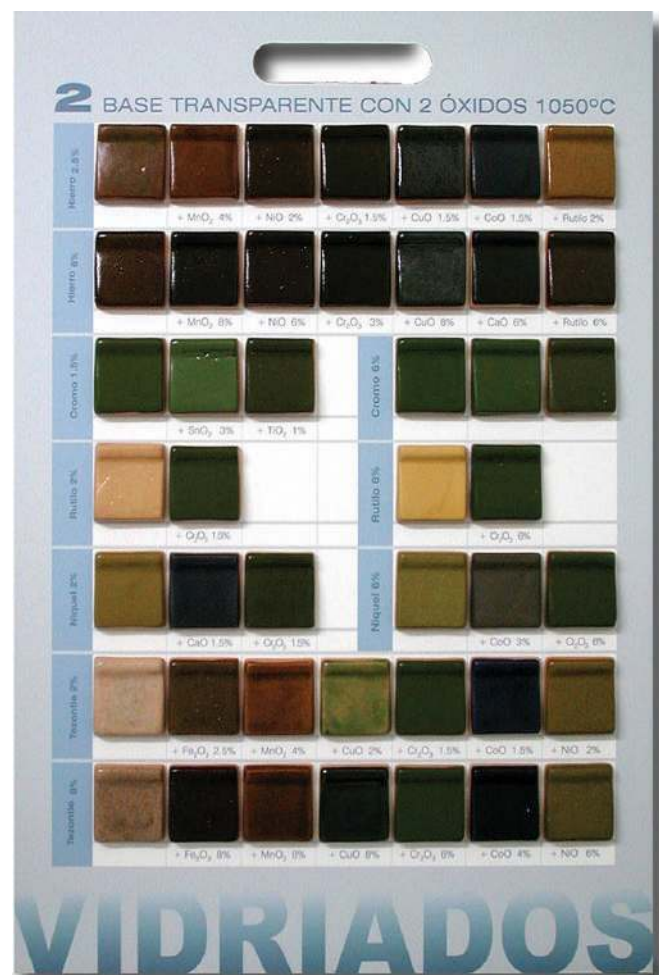
Desarrollo de un vidriado base de baja temperatura a partir de la mezcla:
frita-arcilla-sílice-feldespatos

Lámina 7.1



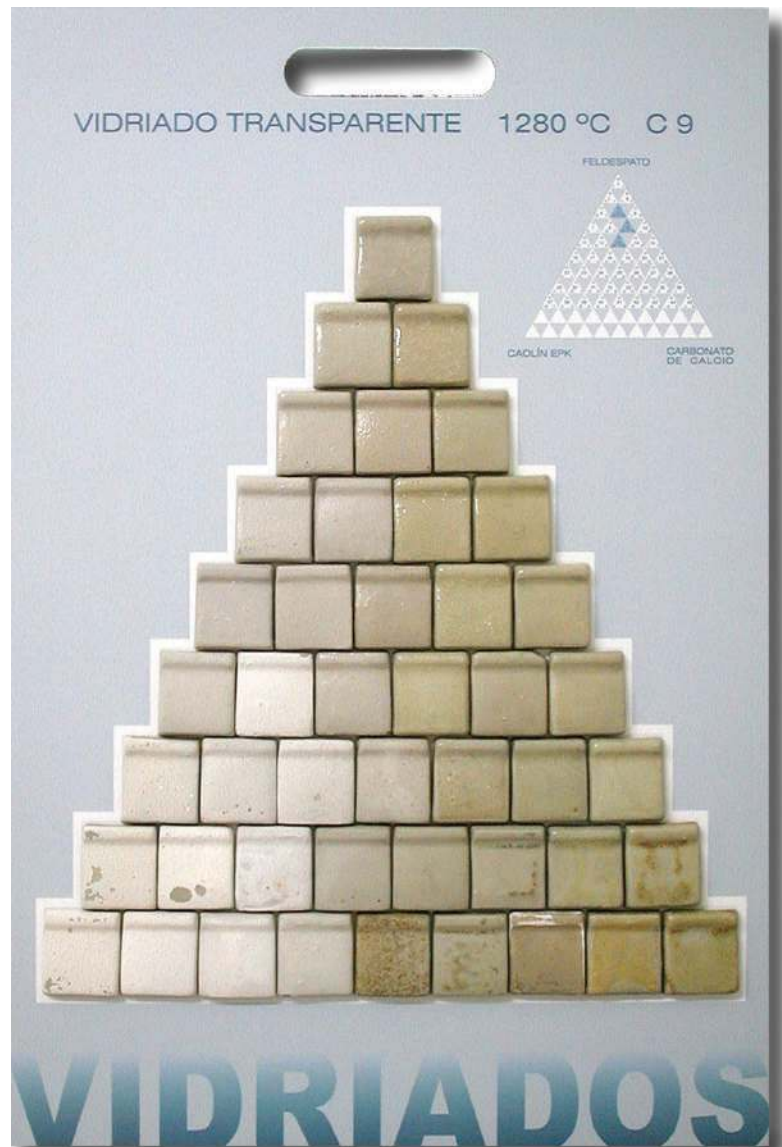
Vidriado base de baja temperatura con adiciones de óxidos colorantes

Lámina 7.2



Vidriado base de baja temperatura con adiciones de dos óxidos colorantes

Lámina 7.3



Desarrollo de un vidriado base de alta temperatura a partir de la mezcla:
feldespato-caolín-carbonato de calcio

Lámina 8.1





Vidriado base de alta temperatura con adiciones de modificadores (TiO₂ y ZnO)

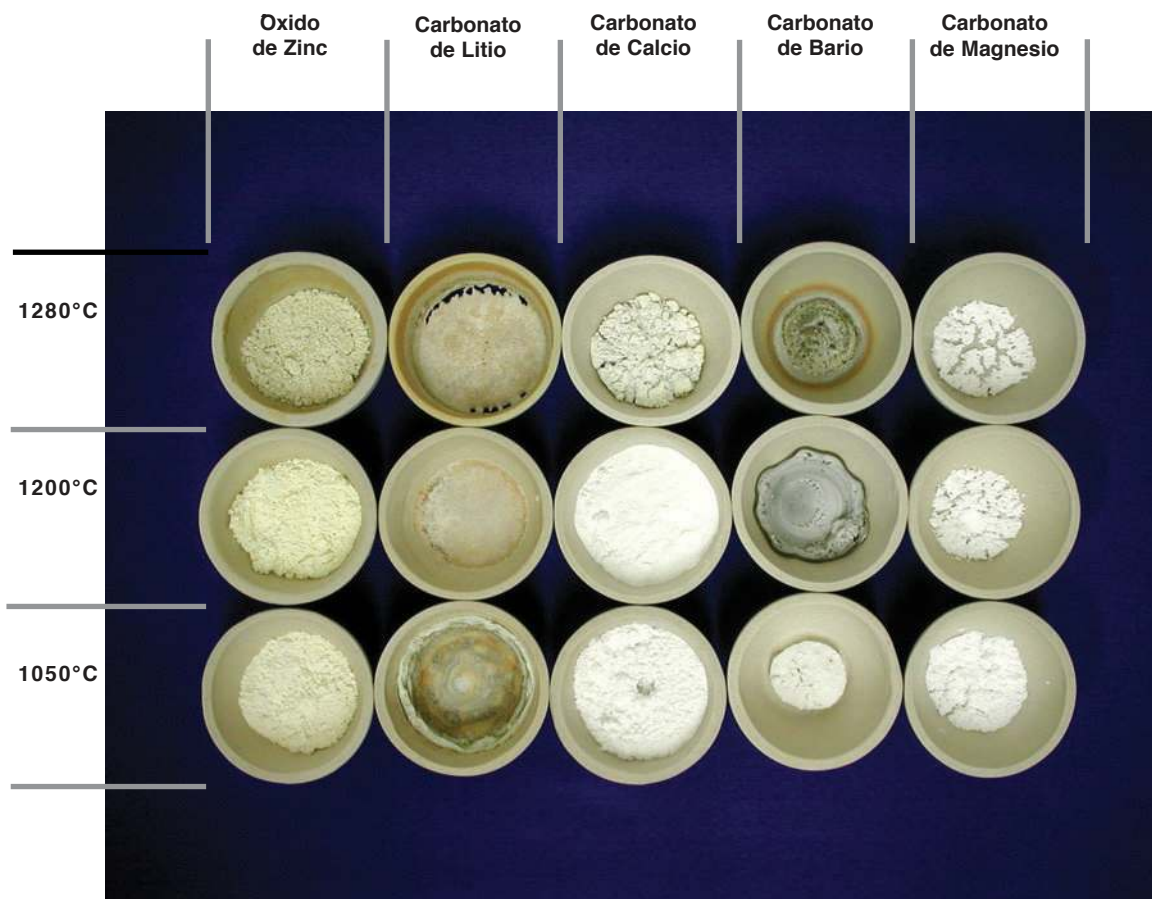
Lámina 8.2



Vidriado base de alta temperatura con adiciones de óxidos colorantes

Lámina 8.3

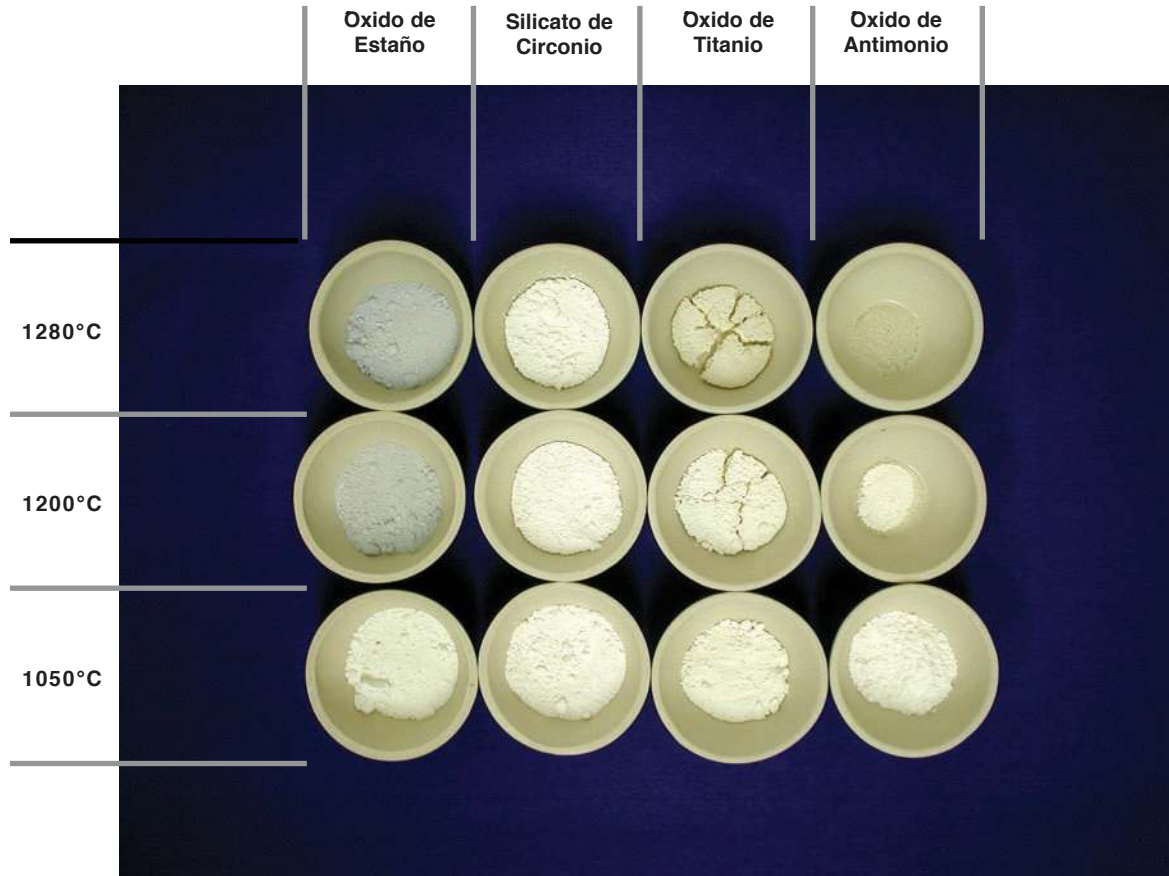
ANEXO de Imágenes



Materias primas fundentes quemadas a diferentes temperaturas

Lámina 9

ANEXO de Imágenes



Materias primas opacificantes quemadas a diferentes temperaturas

Lámina 10



Oxidos metálicos colorantes

Lámina 11



Estudio comparativo de vidriados con el método Seger

Lámina 12.1



Estudio comparativo de vidriados con el método Seger

Lámina 12.2



Estudio comparativo de vidriados con el método Seger

Lámina 12.3



Efectos de la temperatura en una pasta de baja temperatura (Barro de Oaxaca)

Lámina 13



Efectos de la temperatura en vidriados de alta temperatura
Lámina 14

8 Sistemas para la elaboración de materiales cerámicos

Como hemos visto anteriormente, los materiales cerámicos, pastas y vidriados, son resultado de una mezcla de materias primas, de ahí que el problema principal al que nos enfrentamos cuando se desea desarrollar una pasta o un vidriado, es en qué proporciones mezclar cada una de las materias primas participantes, de manera que no dejemos fuera alguna posible muestra que pudiera ser importante.

Los métodos que se presentan a continuación, representan sistemas que nos ayudan básicamente a elaborar mezclas de manera ordenada y sistemática. Cada uno de ellos posee particularidades que los hacen más aptos para ser usados en un caso u otro según se menciona a continuación, para todas las opciones, finalmente, sólo la experimentación con ellos nos permitirán detectar sus posibilidades y limitaciones.

Método triaxial

Este método resulta bastante útil, tanto en el desarrollo de pastas como en el de vidriados cerámicos, ya que representa una buena opción para obtener las mezclas de la combinación de tres elementos, que como hemos visto en los capítulos anteriores, corresponden al número de componentes básicos que conforman a los materiales cerámicos.

El método consiste en dividir cada uno de los lados de un gran triángulo equilátero, en un mismo número de partes, trazando con esas divisiones los triángulos que se forman al interior de éste. El número de divisiones depende del grado de complejidad que se requiera, ya que esto nos marcará el intervalo del porcentaje a usarse de cada material en nuestras mezclas. El más común consiste en dividir los lados del triángulo en $10 (+1)^*$ partes, obteniendo así 66 muestras con intervalos de 10%. Pero si se requieren intervalos de 20%, se dividirá en $5 (+1)^*$ secciones; o bien, para porcentajes de 5%, se dividirá en $20 (+1)^*$ secciones.

*** Nota:** El +1 es para completar los triángulos necesarios para que todas las mezclas aparezcan en el triaxial, haciendo más clara su lectura.

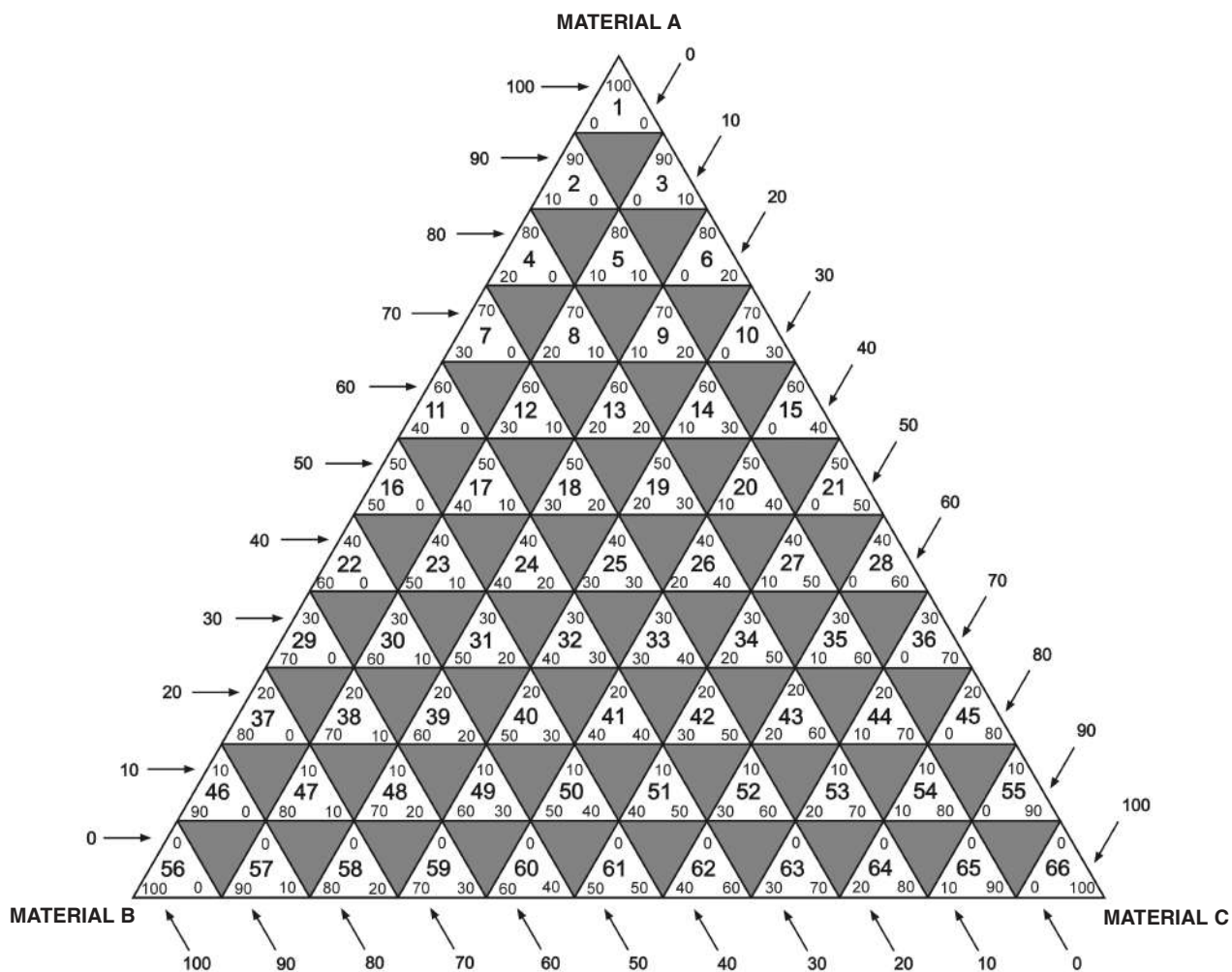


Diagrama triaxial No.1

A continuación, se coloca en el vértice externo de los triángulos de las puntas del triaxial, un material diferente, en donde cada triángulo (1, 56, 66) nos marca no una mezcla, sino el 100% de los materiales seleccionados, los vértices siguientes en la misma dirección corresponderán a 90%, los siguientes a 80% y así sucesivamente hasta llegar a los triángulos de las bases que tendrán el 0%. Todos los triángulos interiores deben de sumar 100% y mostrarán las proporciones a usar de cada uno de los materiales en la dirección o posición en la que se han colocado inicialmente. (Diagrama triaxial No.1).

Naturalmente, en este método se manejan muestras con tres materias primas diferentes, sin embargo, la mayoría de los materiales cerámicos suelen obtenerse con combinaciones más complejas. Algunas propuestas para poder ampliar la cantidad de sustancias participantes y con ello, enriquecer las aplicaciones de este sistema, son las siguientes:

- **Propuesta No.1.** Colocar en uno de los vértices del triángulo, no uno, sino una mezcla de materiales en diferentes proporciones (90-10%, 85-15%, 70-30%, 50-50%, etcétera) que compartan la cantidad en el triángulo correspondiente. Dicha variante puede encontrar particular aplicación en la elaboración de pastas cerámicas, en donde esta mezcla puede estar formada por dos arcillas, una combinación común es la de arcilla de bola y caolín, pero se puede mezclar cualquier otro tipo de arcillas, como: arcillas rojas, arcillas para gres, etcétera. (Diagrama triaxial No.2).

- **Propuesta No.2.** Es posible también, determinar un porcentaje fijo de un material y restar dicha cantidad al 100%, generando un nuevo triaxial con el porcentaje restante. Por ejemplo, si se establece un 20% fijo, tenemos una diferencia de 80%, el nuevo diagrama sumará entonces 80% en cada uno de los triángulos interiores, a los que habrá que sumar posteriormente, el 20% del material seleccionado para tener un total del 100% final. (Diagrama triaxial No.3).

MEZCLA DE ARCILLAS

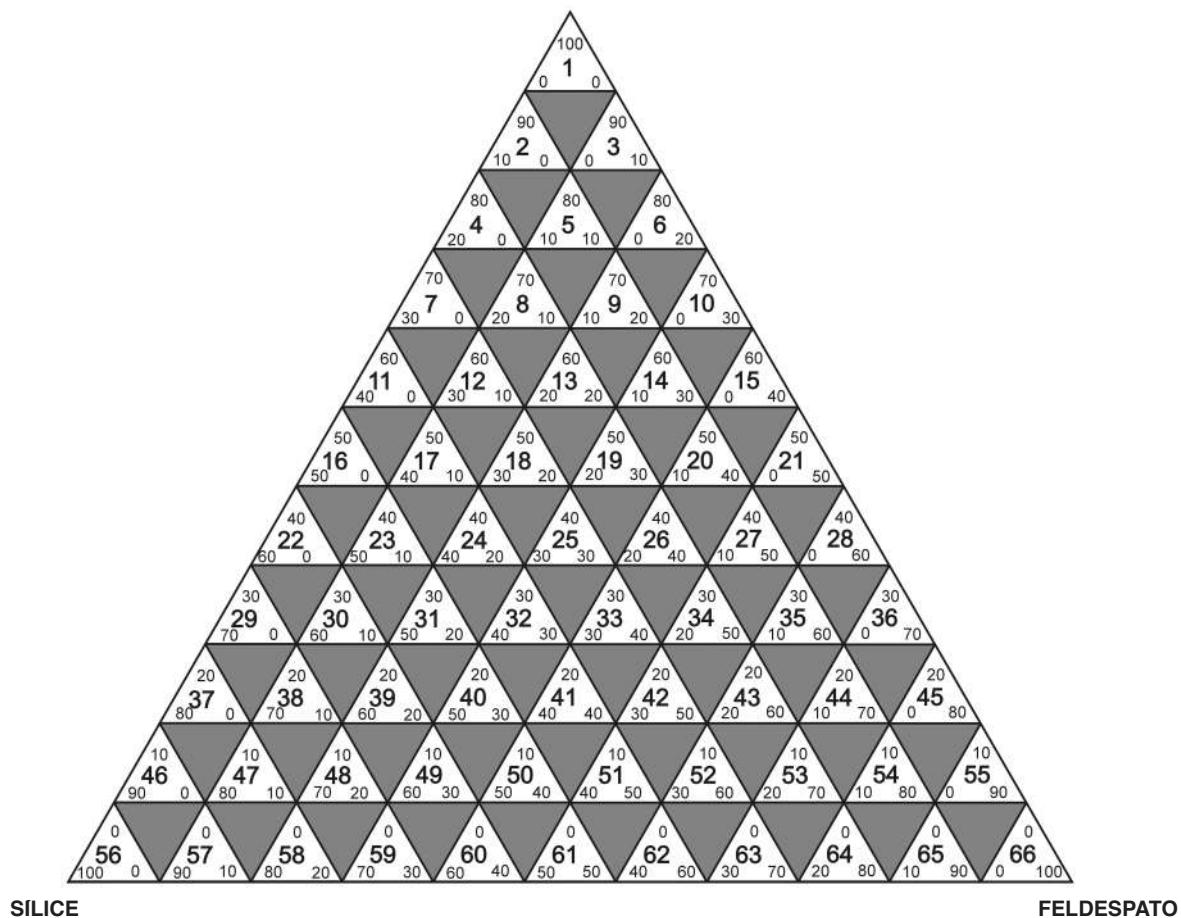


Diagrama triaxial No.2

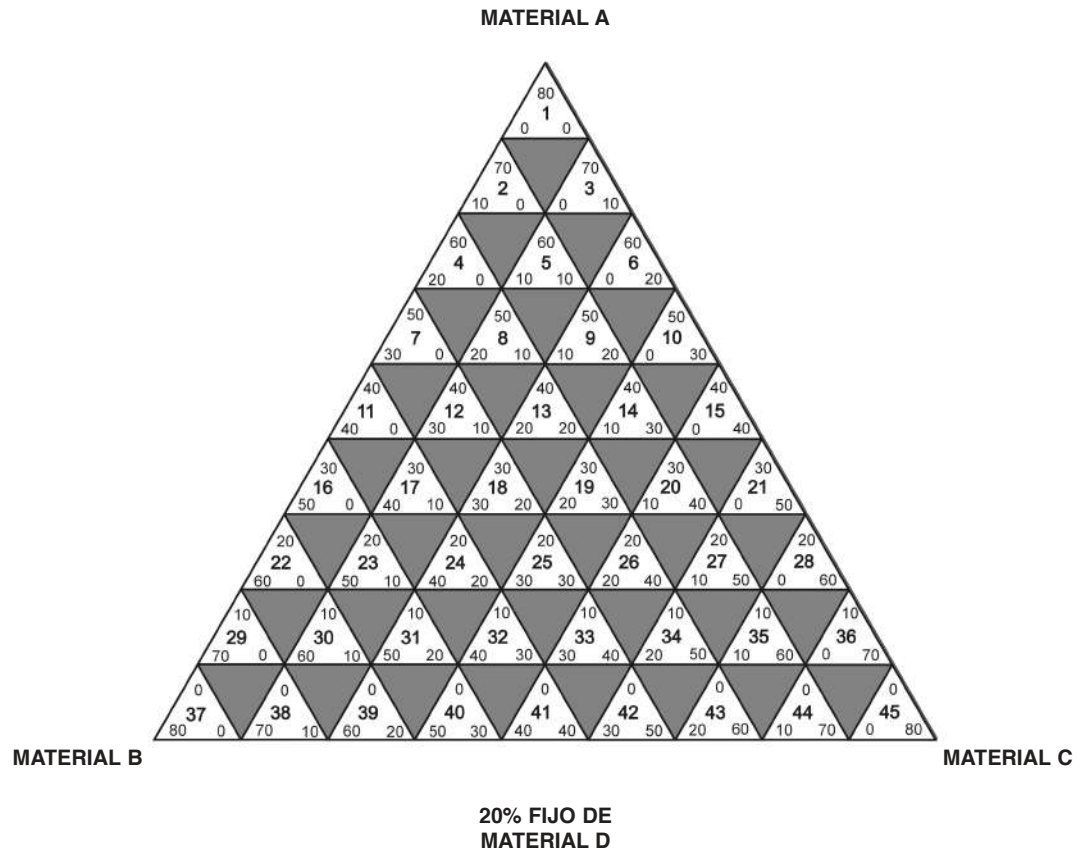


Diagrama triaxial No.3

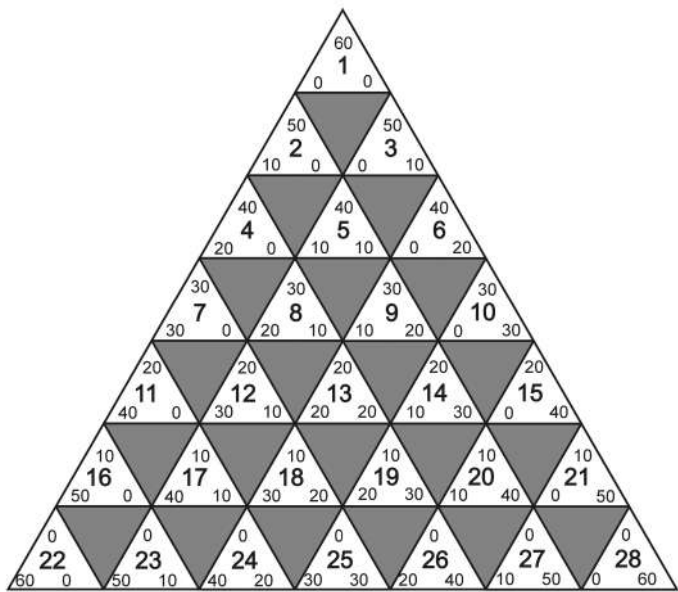
• **Propuesta No.3.** Una opción más compleja aún, es hacer una combinación de las dos propuestas anteriores. Por ejemplo, para la elaboración de una pasta de baja temperatura, se puede considerar un material fijo de 30% de talco y otro más con un 10% de carbonato de calcio de la mezcla total, por lo cual se deberá de construir un triaxial con el 60% restante, en el cual, en uno de sus vértices se puede estimar a su vez, una mezcla de arcilla de bola (75%) y (25%) y en los vértices restantes colocar el sílice y el feldespato. (Diagrama triaxial No.4).

Las dos propuestas anteriores pueden ser utilizadas para elaborar mezclas complejas, tanto para pastas cerámicas, como para vidriados.

Los ejemplos anteriores representan tan sólo algunos de los muchos que cada quien puede construir, en todos los casos, la experimentación que se puede hacer con ellos, resultará de suma importancia para una mayor compenetración con este método.

Retomando nuestro diagrama inicial de 66 triángulos, en una primera instancia como medio eficaz de aprendizaje, resulta conveniente realizar la totalidad de las muestras, ya que el manejo de cada materia prima en lo individual, así como las mezclas obtenidas en diferentes porcentajes, nos pueden dar una dimensión más real de las propiedades de cada material antes y después de la quema, del comportamiento de un material plástico y uno antiplástico, etcétera. Después de esa primera experiencia, el número de mezclas a realizar puede reducirse sustancialmente al eliminar todas las combinaciones en donde no se encuentre la totalidad de los materiales participantes, es decir, los triángulos correspondientes a los lados externos del diagrama triaxial, reduciendo así, de 66 a 36 mezclas. Se recomienda no cambiar el número de los triángulos, con el fin de mantener la referencia del diagrama triaxial de origen. (Diagrama triaxial No.5).

ARCILLA DE BOLA 75%
CAOLIN 25%



SILICE

FELDESPATO

MATERIALES FIJOS:
TALCO 30%
CARBONATO DE CALCIO 10%

Diagrama triaxial No.4

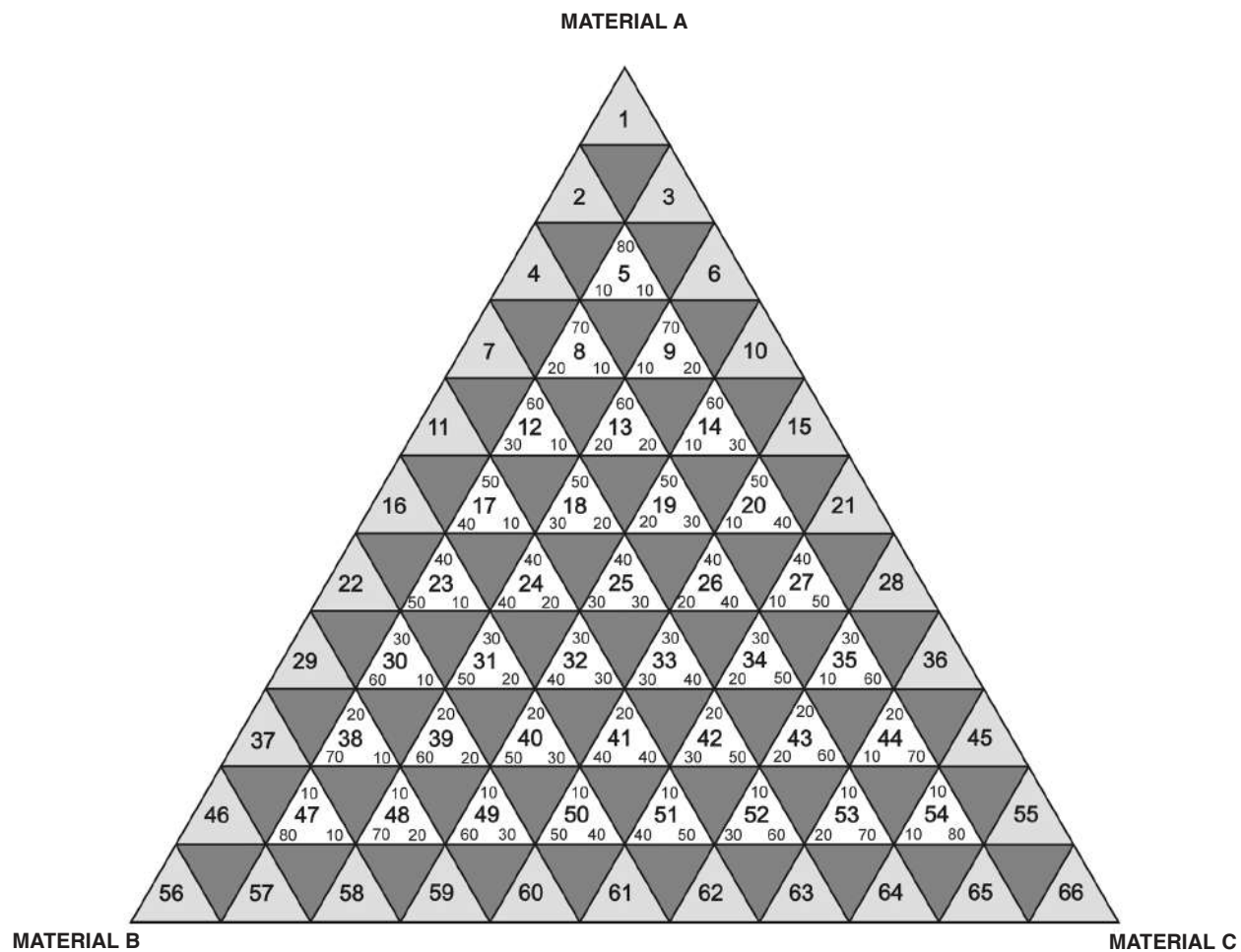


Diagrama triaxial No.5

Método de Seger (Desarrollo de vidriados cerámicos)

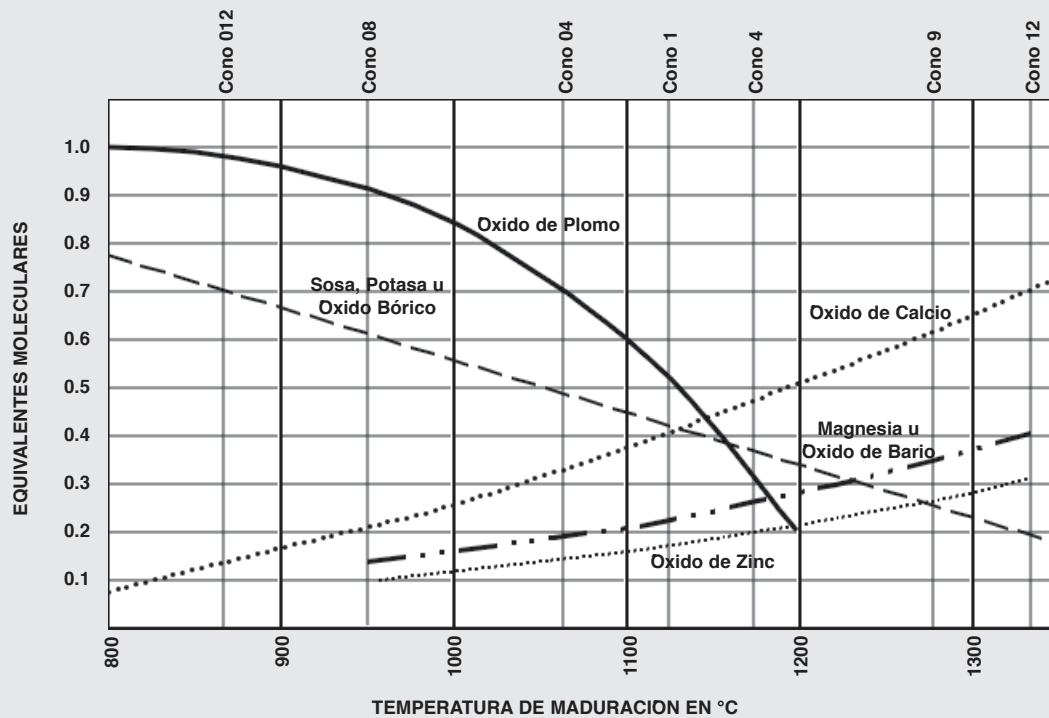
Este es un sistema ampliamente usado y reconocido, pero que sin embargo, dada su complejidad, requiere de un conocimiento más profundo de las materias primas para un entendimiento cabal de él. Sirve particularmente para el ajuste de vidriados, o bien, para poder sustituir materias primas de las cuales no se puede disponer en una fórmula de vidriado que ha sido previamente establecida.

Este método fue desarrollado por el Profesor Hermann Seger (1839-1894) con el propósito de poder hacer comparaciones entre esmaltes diferentes, mediante el cual establece un instrumento para representar la composición de un vidriado en forma molecular, clasificando a los óxidos en tres grupos de acuerdo a su valencia y la función que tienen dentro del vidriado. Los grupos propuestos son:

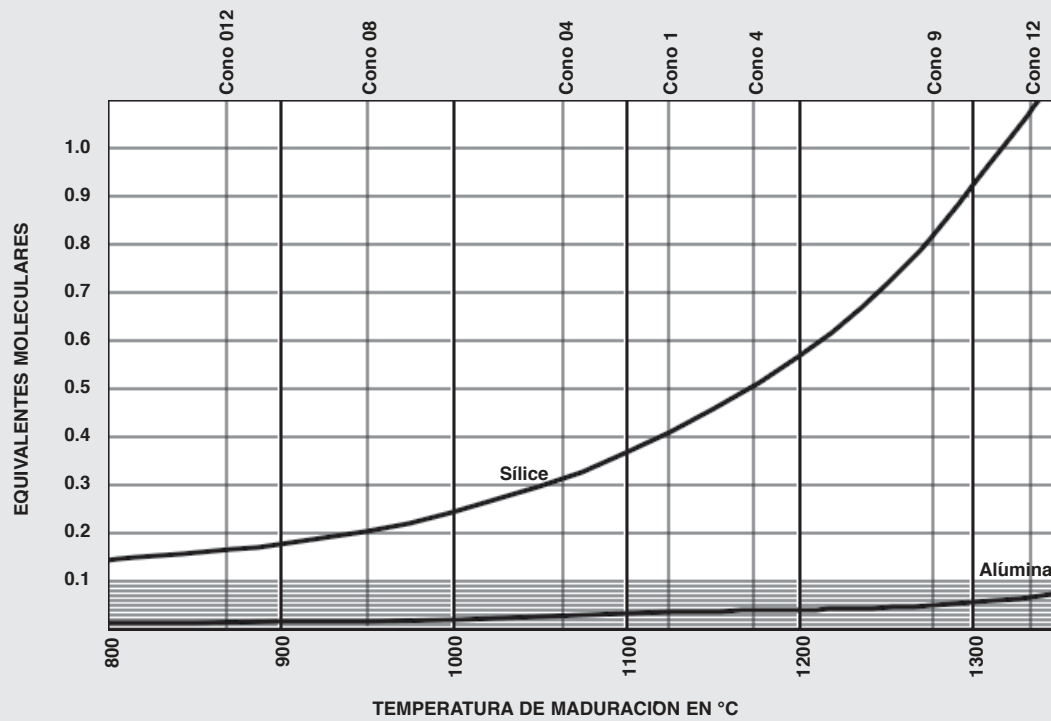
- **Grupo RO + R₂O.** Formado por los óxidos fundentes o modificadores de la red vítrea, la totalidad de éstos debe sumar siempre uno en la composición de un vidriado. ($RO + R_2O = 1 \text{ Mol}$).
- **Grupo R₂O₃.** Integrado por los óxidos reguladores: alúmina (Al₂O₃) y óxido de boro (B₂O₃), este último se incluye en el grupo por su valencia, aunque tiene múltiples funciones (la de fundente, la de estabilizador y la de formador de vidrio).
- **Grupo RO₂.** Constituido por el óxido formador de vidrio SiO₂.

De acuerdo a la fórmula Seger se tiene la siguiente disposición de los óxidos:

- **RO + R₂O.** Óxidos básicos (fundentes): Óxidos alcalinos: Li₂O, Na₂O, K₂O. Óxidos alcalino-térreos: MgO, CaO, SrO, BaO. Óxidos metálicos: ZnO, PbO.
- **R₂O₃.** Óxidos neutros (estabilizadores): Al₂O₃, B₂O₃.
- **RO₂.** Óxidos ácidos (formadores de red vítrea): SiO₂.



Cantidades aproximadas de óxidos fundentes en vidriados, según Seger 1



Cantidades aproximadas de sílice y alúmina en vidriados, según Seger ²

Procedimiento para desarrollar un vidriado con el método Seger

Los datos que se presentan a continuación, son sólo una guía que nos permite conocer el funcionamiento y las posibilidades del método Seger para desarrollar vidriados. Este sistema consiste a grandes rasgos en:

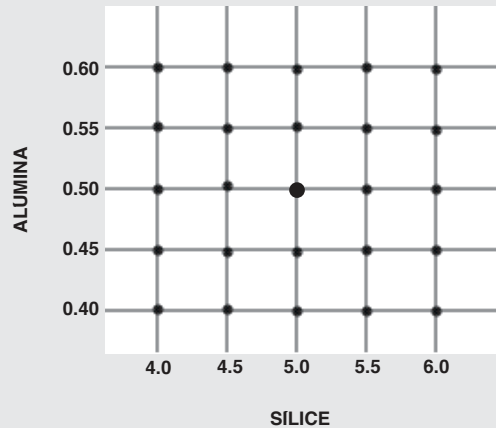
1. Elegir el tipo de vidriado deseado, estableciendo los contenidos de los óxidos en moles con base en los intervalos presentados en las fórmulas límites (Ver apéndice 5). La cantidad total en moles de fundentes siempre debe de sumar uno.
2. Seleccionar las materias primas que pueden aportar los óxidos que requiere la fórmula (Ver apéndice 4), y realizar las operaciones necesarios para determinar las cantidades de las materias primas en porcentajes. Los cálculos para pasar las fórmulas moleculares a porcentajes y de porcentajes a moles, pueden ser consultados en los apéndices 6 y 7, respectivamente.
3. Llevar a cabo las pruebas necesarias para conocer las características del vidriado, y de acuerdo a los resultados obtenidos hacer las correcciones pertinentes de ser necesario.
4. Para determinar dichas correcciones, se proponen nuevos contenidos molares en la sílice y la alúmina únicamente, para lo cual se hace uso del plano cartesiano con el propósito de representar mezclas binarias. La sílice (SiO_2) es colocada en el eje "x" y la alúmina (Al_2O_3) se encuentra en el eje "y", para cada caso se definen rangos de variación de acuerdo a la cantidad de pruebas deseadas, estos rangos se establecen con base en los propuestos por las fórmulas límites. Cada punto de cruce del plano cartesiano marca los contenidos de sílice y alúmina generando una nueva fórmula molecular, en donde el cambio de proporciones de estos óxidos en relación con la de los fundentes, propicia en automático variaciones en los segundos.
5. Los óxidos opacificantes y colorantes son manejados en forma de agregados a la fórmula-base obtenida.

El ejemplo siguiente nos muestra el posible desarrollo de un vidriado para gres, con una temperatura de quema de 1240°C:

Fórmula establecida a partir de las fórmulas límites:

0.20	KNaO		
0.65	CaO	0.5	Al ₂ O ₃
0.05	MgO	5.0	SiO ₂
0.10	BaO		
Suma	1.00	Mol	

Diagrama binario para determinar los nuevos contenidos de Al₂O₃ y SiO₂:



Intervalos de Al_2O_3 y SiO_2 para calcular los nuevos vidriados:

0.20	KNaO		
0.65	CaO	0.6 - 0.4	4.0 - 6.0
0.05	MgO		
0.10	BaO		

Una de las ventajas que ofrece este método, es la posibilidad de elegir las materias primas con las cuales se va a trabajar, o en todo caso, la opción de sustituirlas por otras, particularmente si no se puede disponer de las que hayan sido propuestas de origen. Son justamente estas posibilidades de selección de materias primas, las que permiten generar vidriados con un carácter personal. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las fórmulas de las materias primas que son usadas para realizar los cálculos están basadas en fórmulas ideales, las que prácticamente son imposibles de encontrar, en tal sentido debemos de ser conscientes que este método lo que nos ofrece son aproximaciones que tienen cierto grado de certidumbre en el desarrollo de un vidriado y que el trabajo experimental que se tiene que llevar a cabo durante todo el proceso no puede ser sustituido en ningún sistema. (Anexo de imágenes. Láminas 12.1, 12.2 y 12.3)

9 Efectos de la temperatura en los materiales cerámicos

La cocción constituye el factor culminante mediante el cual se da la transformación permanente de pastas y vidriados crudos en un material útil para la producción de objetos. En este proceso se generan profundos cambios en la composición de los materiales, es durante esta etapa cuando la arcilla se transforma en cerámica, produciéndose en ella cambios físicos y químicos irreversibles que la convierten en un material duro e inerte, este proceso es fundamental para que los materiales cerámicos puedan desarrollar todas sus propiedades. De ahí la importancia de conocer algunas particularidades, de las cuales puede llegar a depender en gran medida la obtención de los mejores resultados.

Puntos críticos en la cocción

A continuación, se presentan las temperaturas críticas por las cuales atraviesan, tanto los cuerpos cerámicos, como los vidriados, estos puntos son aquellos en los que hay que tener un especial cuidado durante la quema de los materiales, ya que en ellos se presentan justamente los cambios físicos y químicos antes mencionados.

Cocción de la pasta:

- **100°- 250°C. Evaporación del agua.** La primera modificación se presenta cuando la arcilla termina de secarse dentro del horno, al evaporarse el agua que haya podido absorber del medio ambiente, o el agua de plasticidad que pudiera aún estar contenida en una pieza aparentemente seca. Si el calentamiento se realiza aceleradamente, el vapor de agua al no poder liberarse paulatinamente causa estallidos que producen roturas, de igual manera, bolsas de aire contenidas en una pasta mal amasada se hacen evidentes al explotar.

- **220°- 225°C. Inversión de la cristobalita.** La cristobalita alfa en caso de haber sido agregada al cuerpo cerámico, se convierte en cristobalita beta produciendo una expansión lineal del 1%.

• **573°C. Inversión del cuarzo.** Todas las arcillas contienen una cantidad apreciable de cuarzo (SiO_2), éste puede estar en la naturaleza asociado con la arcilla como un mineral o puede ser añadido en la formulación. El cuarzo cristalino tiene un cierto número de configuraciones diferentes según su temperatura, cuando ésta aumenta, los cristales de cuarzo se redondean por sí mismos en una forma ligeramente distinta, esas redistribuciones van acompañadas de un ligero cambio de volumen (1% aproximadamente). Así cuando se alcanzan los 573°C, los cristales de cuarzo sufren una transformación conocida como cambio de cuarzo alfa a cuarzo beta. Este proceso es reversible, de ahí que al enfriarse pase de beta a alfa y vuelva a tomar su forma cristalina y tamaño original. Si estos cambios se producen violentamente, las piezas pueden agrietarse.¹

• **600°- 800°C. Sinterización.** Es el estado intermedio en la cocción en la que la fase líquida todavía no ha comenzado, pero las reacciones del estado sólido han fundido parte del material dando lugar a un descenso de la porosidad y un aumento en la resistencia, es decir, que los puntos de contacto entre las partículas de la arcilla o masa cerámica se han fundido entre sí, (originando un tejido más resistente) y las partículas han comenzado a adoptar una forma más esférica.

• **1200°- 1400°C. Vitrificación.** Es el endurecimiento, compactación y finalmente transformación parcial de la arcilla en vidrio. Las arcillas o cuerpos cerámicos vitrifican a distintas temperaturas según su composición, una arcilla roja puede endurecerse y compactarse, pero no llegar a la vitrificación a los 1000°C, fundiéndose aproximadamente a 1250°C; mientras que un caolín puro puede ser bastante poroso a 1250°C, vitrificar hacia los 1300°C y fundir por encima de los 1800°C. Durante la vitrificación se produce más contracción debido a la disminución de tamaño de las partículas, a medida que se aproxima la fusión.² Si la cocción se excede de calor, el material se funde completamente en forma líquida convirtiéndose en vidrio después de enfriarse.

• **573°C. Inversión del cuarzo.** Durante el enfriamiento, el cuarzo beta se invierte formando cuarzo alfa y se contrae instantáneamente 1%.

• **220°- 225°C. Inversión de la cristobalita.** La cristobalita beta, en caso de estar presente, se transforma en cristobalita alfa produciendo una expansión. La cristobalita es una forma cristalina de la sílice con una inversión mayor que la del cuarzo (3% de expansión lineal frente al 1%) que tiene lugar a una temperatura más baja. El cuarzo beta se convierte lentamente en cristobalita a partir de los 1050°C, la conversión continúa hasta los 1550°C y por ello es muy difícil que llegue a ser completa en un cuerpo cerámico,³ a menos que ésta haya sido agregada en forma sintetizada a la composición.

Cocción del vidriado

- **573°C. Inversión del cuarzo.** El cuarzo alfa se convierte en cuarzo beta.
- **800°C. Sinterización.** Debido a la fusión de algunos componentes, el vidriado se aglomera sobre la cerámica en un recubrimiento tenaz.
- **1000°- 1300°C. Fase líquida.** A medida que avanza la fusión, el vidriado se hace más líquido pasando por una etapa de ebullición o burbujeo, si el enfriamiento se produce inmediatamente después de haber alcanzado la fase líquida, las burbujas pueden quedar atrapadas en su seno. Para que el vidriado pueda formar una capa lisa sobre la pasta, es necesario mantener la temperatura el tiempo suficiente para que las burbujas desaparezcan.
- **800°C. Solidificación.** Comienzan a solidificarse los vidriados.
- **650°- 600°C. Solidificación.** Se solidifican los vidriados de gres y porcelana.
- **573°C. Inversión del cuarzo.** El cuarzo beta se invierte formando cuarzo alfa.
- **500°- 400°C. Solidificación.** Se solidifican los vidriados de alfarería y loza.

Control de la temperatura

Debido a las inversiones que sufre la sílice, existen varios momentos en los que se da un cambio de volumen repentinamente, esto nos explica por que, tanto el aumento de la temperatura, como el enfriamiento, deben de ser controlados, no solamente en cuanto a la duración de la quema, sino también en relación a su uniformidad, si una pieza se calienta más de un lado que del otro, por ejemplo, pueden presentarse cambios desiguales en su volumen produciéndose entonces rajaduras.

A pesar de que existen algunas curvas de cocción típicas, resulta difícil dar cifras exactas de los ciclos de quema, ya que éstos pueden ser tan específicos como lo requiera cada tipo de pasta o vidriado. En general, el calor debe incrementarse muy lentamente durante el arranque y hasta los 600°C, temperatura en la cual, el agua se habrá evaporado y las inversiones de la sílice se habrán dado ya; un aumento promedio de 100°-150°C por hora, dependiendo del grosor y tamaño de las piezas, ofrece un margen de seguridad bastante confiable, en todo caso, siempre se cuidará que las piezas que sean introducidas al horno se encuentren lo más secas posible, poniendo particular atención en las temperaturas en las que se presentan las inversiones de la sílice, así como de dar el suficiente tiempo de maduración a los vidriados.

A partir de que el horno es apagado, la temperatura comienza a descender bruscamente, de ahí que se tenga que dejar prendido durante la maduración de los vidriados, pero conforme pasa el tiempo, el descenso será cada vez más lento. No es recomendable tratar de acelerar este proceso abriendo las puertas, ya que sólo producirá que las piezas, e inclusive el horno, se agrieten. Hasta después de haber bajado de los 200°C, es cuando el horno podrá abrirse.

Efectos del exceso o falta de temperatura en los materiales cerámicos

Recordemos que tanto las pastas cerámicas como los vidriados, son formulados para que a un determinado rango de temperatura alcancen plenamente sus características y propiedades, este rango depende en gran medida a su vez, de la composición de dichos materiales cerámicos. De no llevarse a cabo adecuadamente este proceso, los materiales presentarán los siguientes defectos:

Pastas cerámicas

A pesar de que no se hace tanto énfasis en ello, las pastas cerámicas, al igual que los vidriados, poseen un rango de temperatura en el cual pueden ser quemados desarrollando adecuadamente sus propiedades finales, si este requisito no es cumplido, se tendrán los siguientes defectos:

- **Infracocción.** En este caso, los cuerpos cerámicos, sean de baja o de alta temperatura, quedarán extremadamente frágiles y porosos, ya que los materiales fundentes no logran llevar a cabo su actividad de amalgamamiento en las otras materias primas, principalmente en el sílice y las arcillas o caolín.
- **Sobrecocción.** Por el contrario, un exceso de temperatura provoca en los cuerpos cerámicos un reblandecimiento que produce deformaciones o desplome total de las piezas sobrecocidas, este efecto se debe a que materias primas que normalmente no funden, sino solamente sinterizan (sílice y arcillas o caolín), se empiezan a transformar en sustancias líquidas ayudadas por el efecto de los materiales fundentes. Así, al acercarse o entrar todos los componentes en estado líquido, la estructura propia de la pieza se pierde. (Anexo de imágenes. Lámina 13).

Vidriados

Los vidriados en general son muy sensibles a la temperatura, y se pueden encontrar efectos interesantes en ellos (Anexo de imágenes. Lámina 14), siempre y cuando ésta no se salga del intervalo de fusión en el cual pueden quemarse, fuera de este rango, las características de los vidriados serán las siguientes:

- **Infracocción.** Los vidriados cuando son cocidos por abajo de su rango de quema, se presentan faltos de brillo, opacos, de apariencia terrosa en algunos casos, con poca adherencia a la pasta cerámica con una muy reducida resistencia al rayado y al ataque químico, esto se debe a que los materias primas en su conjunto no funden adecuadamente.
- **Sobrecocción.** Cuando la temperatura excede el rango de quema de un vidriado, los defectos que se pueden encontrar son básicamente: escurrimiento, burbujeo, ampollas, e incluso, en caso extremo, un desplome de la misma pieza.

Atmósfera del horno

Durante la cocción, se crea al interior del horno una atmósfera determinada que depende básicamente de la presencia o ausencia de oxígeno. Los diferentes tipos de atmósfera que se pueden generar, son:

- **Atmósfera de oxidación.** Se da en presencia de oxígeno y proporciona una atmósfera clara y brillante. El adecuado suministro de éste durante la cocción, permite a los componentes de las pastas y vidriados mantener sus niveles moleculares de oxígeno, debido a que los óxidos contenidos en ellos permanecen intactos, los resultados son por lo tanto, constantes y previsibles, es por ello que este tipo de quema sea preferida en la industria cerámica. Una atmósfera oxidante es típica de los hornos eléctricos, ya que no existe combustión, y en los hornos de gas se logra regulando el acceso del oxígeno a su interior.

- **Atmósfera de reducción.** Al quemarse los materiales combustibles como gas, madera o petróleo, se desprende carbono que al combinarse con el oxígeno produce óxido carbónico y calor ($C + O_2 = CO_2 + \text{calor}$), cuando el carbono del material que se quema excede al oxígeno disponible en la atmósfera, se produce una combustión incompleta formándose carbono y monóxido de carbono, éstos por ser muy activos buscan combinarse con la fuente de oxígeno disponible en pastas y vidriados. La disminución de oxígeno en los materiales cerámicos afecta particularmente a los óxidos metálicos, y por consiguiente a los colores que producen algunos de ellos. Una atmósfera de reducción se logra al reducir la cantidad de oxígeno dentro del horno, cerrando todos los accesos de aire; es propia de todo horno que use materiales combustibles como fuente de energía.

Apéndice

1 Equivalentes de temperatura de conos pirométricos

Conos estándar Orton

Cono grande estándar No.	Aumento de temperatura por hora			Cono grande estándar No.	Aumento de temperatura por hora		
	60°C	100°C	150°C		60°C	100°C	150°C
Cono 022	585		600	Cono 06	991	995	999
Cono 021	602		614	Cono 05	1031	1036	1046
Cono 020	625		635	Cono 04	1050	1055	1060
Cono 019	668		683	Cono 03	1086	1092	1101
Cono 018	696		717	Cono 02	1101	1110	1120
Cono 017	727		747	Cono 01	1117	1127	1137
Cono 016	764		792	Cono 1	1136	1145	1154
Cono 015	790		804	Cono 2	1142	1150	1162
Cono 014	834		838	Cono 3	1152	1160	1163
Cono 013	869		852	Cono 4	1168	1176	1186
Cono 012	866		884	Cono 5	1177	1186	1198
Cono 011	886		894	Cono 6	1201	1210	1222
Cono 010	887		904	Cono 7	1215	1227	1240
Cono 09	915		923	Cono 8	1236	1248	1264
Cono 08	945	950	955	Cono 9	1260	1270	1280
Cono 07	945	978	955	Cono 10	1285	1294	1305

2 Análisis de pastas cerámicas

Ya sea para poder realizar una selección adecuada de las muestras generadas, o bien, para corregir defectos de pastas, siempre será necesario elaborar una serie de ensayos de comprobación que nos permitan conocer con exactitud las características de los materiales elaborados. Los siguientes son procedimientos de algunas de las pruebas que se realizan con más frecuencia, que nos ayudan a determinar características técnicas de suma importancia en las pastas cerámicas.

A. Preparación de placas de pruebas

Para la comprobación de los materiales es indispensable realizar una serie de placas, también llamadas probetas, de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Pesar los materiales de acuerdo a la fórmula correspondiente.
2. Mezclar los materiales en seco.
3. Hidratar la mezcla perfectamente y amasar en placa de yeso hasta obtener una pasta que no se pegue a las manos y esté libre de aire.
4. Elaborar las placas de pruebas de acuerdo a las dimensiones establecidas, se recomiendan las siguientes medidas: 15 x 3 x 1 cm (el espesor puede ser de 6-7 mm para pastas de porcelana). Las placas pueden modelarse manualmente auxiliándose de rodillos, o por medio de moldes de yeso.
5. Marcar la línea de encogimiento una vez que la placa esté terminada, trazando una línea recta atravesada por dos líneas perpendiculares equidistantes una de otra 100 mm, esta línea sirve para medir la contracción de secado o de quema de la pasta. Los 100 mm se determinaron de tal manera que la diferencia de mediciones nos proporcione directamente el porcentaje de contracción; por ejemplo, si la línea mide 87 mm el encogimiento por diferencia será del 13%.
6. Secar las probetas colocándolas sobre una placa de yeso de manera que los pandeos naturales que se pueden presentar durante el secado traten de evitarse, por lo cual se recomienda poner una placa sobre otra, acomodándolas para que pueda fluir el aire entre ellas.

7. Pulir las probetas si se desea. Para no correr el riesgo de deformarlas, es mejor hacer este procedimiento cuando se encuentran libres de humedad.
8. Quemar a la temperatura establecida, introduciendo las placas al horno solamente hasta que se hayan secado totalmente.

B. Comprobación de la plasticidad

No resulta fácil hacer una medición exacta de la plasticidad y siempre su mejor comprobación será la manipulación directa del material, (pellizcarlo, amasarlo, estirarlo, etcétera.) Existe una prueba muy simple que consiste en hacer un churro de pasta y enrollarlo tratando de simular una “cola de cochino”, si el material resiste bien, se considera que es plástico; si por el contrario, éste se quiebra, es significado de poca plasticidad.

C. Determinación de la contracción

Todas las arcillas o pastas cerámicas sufren encogimientos a lo largo del proceso en que son transformadas en objetos, presentándose dos tipos de contracción:

• Contracción de secado

Se le conoce también como contracción en verde, y considerando el encogimiento total, generalmente la pasta sufre un mayor porcentaje de contracción de húmeda a seca, que de seca a cocida. El encogimiento de secado depende básicamente de los siguientes factores:

- **Cantidad de agua de trabajo contenida en la pasta.** Al humedecer la pasta para ser trabajada, las partículas de ésta se rodean de una capa de agua que al secarse se evapora haciendo que tales partículas se acerquen entre sí, provocando en el material una contracción.
- **Plasticidad del material.** Si la arcilla es más plástica, su contracción será mayor por tener partículas más finas que absorben más humedad; por el contrario, una arcilla poco plástica o una pasta con un alto contenido de materiales antiplásticos encogerá menos, ya que éstos absorben menor cantidad de humedad.

• Contracción de quema

Es el encogimiento que se da durante la cocción y depende de la capacidad de la arcilla o pasta para vitrificarse. Las pastas de baja temperatura son materiales naturalmente

porosos, por lo cual su contracción es menor, mientras que las de alta temperatura, con alto grado de vitrificación, presentan mayor encogimiento.

La contracción se expresa generalmente en porcentajes y puede medirse en forma lineal, superficial o cúbica. Las tres contracciones se relacionan matemáticamente en fórmulas determinadas por la contracción lineal de la siguiente manera:¹

a = % de la contracción lineal.

b = % de la contracción superficial.

c = % de la contracción cúbica.

$$b = 2a - (a^2/100)$$

$$c = 3a - (3a^2/100) + (a^3/100^2)$$

$$a = 100 - 10 \sqrt[3]{1000 - 10c}$$

Recordemos que la contracción lineal se puede obtener directamente de la línea de encogimiento de la probeta, siempre y cuando ésta haya sido trazada en estado plástico con una dimensión de 100 mm, en caso de disponer de una línea de otro tamaño, aplicar la fórmula:

$$\text{Porcentaje de contracción} = [(Medida\ inicial - Medida\ final) / Medida\ inicial] \times 100$$

D. Determinación de la absorción

La absorción es la capacidad de absorber agua expresada en porcentaje, de una arcilla o una pasta cocida, y es lo que determina su grado de porosidad. Los poros se forman durante el secado de la pieza cruda al evaporarse el agua de trabajo, lo que da entrada al aire que rellena cámaras vacías (poros) y capilares. Al hornearse y evaporarse el agua de composición o agua química entre los 470° y los 800°C, por transformación del cristal de arcilla, nuevos poros aparecen en la estructura misma de la pieza. La porosidad máxima se alcanza entre los 850°-900°C para comenzar a disminuir a partir de esta temperatura, en la que la pasta se va volviendo gradualmente más vitrificada, es decir, se cierra el poro, se vuelve más compacta y vítrea hasta llegar a la

temperatura final. Ciertos tipos de pastas son necesariamente porosas (las de baja temperatura de cocción); otras son poco o nada porosas (las de alta temperatura como la porcelana). Existen poros abiertos y poros cerrados. Los abiertos se hallan en comunicación con la superficie o entre sí por medio de capilares, y por lo tanto, pueden rellenarse de agua al sumergir la pieza en agua. Por el contrario, los poros cerrados al estar ocluidos en sí mismos, no siempre se podrán rellenar con agua.²

Procedimiento para determinar el porcentaje de absorción:

1. Pesar con exactitud cada una de las placas de pruebas cocidas, anotando su peso.
2. Dejarlas sumergidas en agua durante 2 días o hervirlas durante dos horas. Si se desea ser aún más estricto, se pueden practicar los dos procedimientos a la vez, primero remojar durante dos días y después hervir.
3. Sacar del agua y secar el líquido superficial de las piezas con un trapo ligeramente húmedo.
4. Pesar inmediatamente cada una de las probetas.
5. Aplicar la siguiente fórmula para obtener el porcentaje deseado:

$$\text{Porcentaje de absorción} = [(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}) / \text{Peso seco}] \times 100$$

E. Determinación de la deformabilidad

La deformabilidad es la propiedad de una arcilla de deformarse a temperaturas elevadas. Esta deformación se hace patente en el momento en que el material no puede seguir conservando su forma debido a la presencia de compuestos fundidos dentro de su estructura, lo cual indica que el punto de fusión se encuentra cercano (aproximadamente 150°C como mínimo). Por razones obvias, resulta muy importante determinar la temperatura máxima a la que puede ser sometida una pasta cerámica, con el propósito de nunca llevar a ese límite al material con el cual se esté trabajando.

Procedimiento para determinar la deformación:

1. Marcar dos muescas a 10 cm de distancia en el costado de la placa de pruebas (la línea de encogimiento puede servir de guía).
2. Someter a cocción dichas placas, sostenidas en sus extremos sobre dos soportes que coincidan con las muescas realizadas.

3. Una vez cocidas, apoyar una regla en las muescas que se encuentran marcadas en nuestra placa de pruebas y medir la perpendicular desde el punto más alejado; si la deformación no es excesiva, se considera que la temperatura es la correcta, de lo contrario hay que reformular o disminuir la temperatura de quema (no hay rangos recomendados y las más de las veces se determina por sentido común).

F. Sonoridad

La sonoridad es un indicio seguro de la buena o mala cocción de un material. Si al golpear una pieza con otra el sonido es hueco o sordo, significa que la pieza no está bien cocida, es decir que la temperatura se ha quedado por abajo del nivel adecuado. Por el contrario, un sonido tintineante nos indica que nuestra arcilla ha tenido una buena quema. Esta prueba es bastante subjetiva y depende primordialmente de la experiencia que se tenga al respecto.

3 Análisis de vidriados

Durante el desarrollo de materiales cerámicos, la elaboración de ensayos de comprobación son fundamentales. En el caso de los vidriados, tales pruebas son generalmente más sencillas que las realizadas a las pastas, a pesar de que la composición de éstos pueda ser más compleja. Evidentemente, la forma de verificar el comportamiento de un vidriado es aplicándolo sobre el cuerpo cerámico en el que se va trabajar, y quemar a la temperatura correspondiente, a partir de ello, las pruebas que se realicen pueden variar dependiendo de los medios de que se disponga. Algunos ensayos que nos pueden ayudar a conocer la adaptabilidad y el comportamiento del vidriado sobre la pasta son:

A. Preparación de las placas de pruebas

Para llevar a cabo los ensayos pertinentes, es necesario elaborar las probetas que serán vidriadas con las mezclas a quemar, éstas pueden ser modeladas manualmente o en moldes de yeso, y su tamaño y forma pueden variar. Sin necesidad de que sean de gran tamaño, basta con pequeñas placas con una medida aproximada de 4 cm por lado, que dispongan de una pendiente que permita detectar si el vidriado se desliza, o con piezas curvas que hacen aún más evidente los posibles escurrimientos. Para definir el tamaño y la forma de las probetas, hay que tener en cuenta que durante las primeras fases del desarrollo de un vidriado se genera una gran cantidad de muestras, y que en este sentido, es más fácil y más económico trabajar con piezas pequeñas. En cambio, para los ensayos finales, es mejor disponer de piezas mucho más grandes y con superficies verticales y curvas.

La aplicación del vidriado se hace conforme al siguiente procedimiento:

1. Pesar los materiales de acuerdo a los porcentajes requeridos para cada muestra.
2. Mezclarlos perfectamente en un mortero, agregando poco a poco agua hasta obtener un líquido ligeramente cremoso y homogéneo.
3. Vidriar por inmersión las placas de pruebas con un espesor promedio aproximado de 0.7 a 1.5 mm, previamente rotuladas con óxido de hierro disuelto en agua aplicado con pincel. El espesor puede ser verificado con una punta de alfiler y se recomienda que las placas estén previamente sancochadas, ya que es más fácil su manejo.
4. Dejar que las piezas sequen perfectamente y quemar a la temperatura establecida.

B. Determinación del intervalo de fusión

Para poder tener una idea aproximada acerca de la amplitud del intervalo de fusión del vidriado, es necesario llevar a cabo algunas quemas adicionales a la determinada. En este caso se realizarán dos quemas complementarias, una a más temperatura y la otra a menos, los intervalos están dados por los conos que hay disponibles, por ejemplo: si se desea quemar a cono 8 (1260°C), las otras quemas serán a cono 7 (1240°C) y a cono 9 (1280°C), para esta temperatura el intervalo es de 20°C, pero dependiendo del cono usado, éste puede variar, en todo caso se usa el cono inmediato hacia arriba y hacia abajo. Si el horno dispone de un pirómetro que mida directamente la temperatura del

horno, los intervalos podrán ser predeterminados por uno mismo. Mediante este procedimiento es posible además, encontrar vidriados de otras temperaturas.

C. Inspección visual

Una simple inspección visual nos puede ayudar a determinar las condiciones del vidriado, ya que existen defectos y características que es posible detectar a simple vista.

D. Detección de grietas

Algunos defectos pueden no ser tan evidentes, como es el caso de grietas capilares extremadamente finas que son difíciles de localizar. Una manera de hacerlo, es recurriendo a las siguientes pruebas:

- Pintar con un plumón sobre la superficie de la pieza, si hay presencia de grietas, éstas se harán perceptibles al ser marcadas.
- Depositar una cantidad de tinta sobre la superficie, la cual al pasar a través del vidriado cuarteado, resaltará dicho defecto.

E. Comprobación de la dureza de la superficie

De acuerdo a la escala de Mohs, un material es más duro o menos duro, si raya o se deja rayar por otro material. Bajo este criterio, un rayado constante con punta de acero, material con el cual están hechos los cuchillos, sobre la superficie del vidriado, nos puede dar una idea de su resistencia al desgaste.

Las pruebas descritas son generalmente aplicadas inmediato a la quema, sin embargo, algunos defectos pueden aparecer hasta mucho tiempo después de que la pieza ha sido terminada, conviene por lo tanto, hacer un seguimiento del comportamiento del vidriado durante un período más o menos prolongado.

4 Composición química y pesos moleculares de materias primas

Materias primas

Nombre	Fórmula química ideal	Peso molecular
• Alúmina	Al_2O_3	101.96
• Arcilla de bolas (Ball Clay OM-4)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3.14\text{SiO}_2$	290.60
• Bario, Carbonato de	BaCO_3	197.36
• Bentonita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	504.20
• Bórax (Anhidro)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$	201.24
• Calcio, Carbonato de	CaCO_3	100.10
• Caolín (EPK)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	258.10
• Cinc, Óxido de	ZnO	81.37
• Colemanita (Borato Gerstley)	$2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	411.02
• Dolomita	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	184.42
• Espodúmeno	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	372.08
• Litio, Carbonato de	Li_2CO_3	73.88
• Litio, Feldespato de (Petalita)	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$	612.32
• Magnesio, Carbonato de	MgCO_3	84.32
• Plomo amarillo (Litargiro)	PbO	223.19
• Plomo Rojo (Minio)	Pb_3O_4	685.63
• Plomo, Carbonato de	$2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$	775.60
• Plomo, Silicato de (Blanco de plomo)	$\text{PbO} \cdot 2\text{SiO}_2$	343.32
• Potasio, Feldespato de (Ortoclase)	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	556.52
• Sienita nefelina	$\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	1048.28
• Sílice (Sílica, cuarzo, pedernal)	SiO_2	60.06
• Sodio, Feldespato de (Albita)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	524.50
• Sodio-Potasio, Feldespato de (Anortoclase)	$\text{KNaO} \cdot 1.15\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7.42\text{SiO}_2$	642.00
• Talco	$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	379.17
• Titanio, Dióxido de	TiO_2	79.90

5 Fórmulas límites de vidriados

Las fórmulas límites indican los óxidos que participan en la composición de un vidriado y las cantidades límites en moles -inferior y superior- de cada uno de ellos. Debemos recordar, que de acuerdo al método de Seger, la suma total de los óxidos fundentes siempre es uno, por lo que en el momento de establecer las cantidades para cada óxido, éstas tendrán que ajustarse a dicha norma. Las siguientes son una selección de las fórmulas límites existentes, cada una de ellas, con excepción de las dos primeras, puede generar una cantidad impresionante de posibilidades.

Fórmula límite		Temperatura de quema	
Vidriados con plomo:			
1,00 PbO		2,00 SiO ₂	700°-800°C*
1,00 PbO	0,1 Al ₂ O ₃	1,00 SiO ₂	900°C*
0,70-1,00 PbO 0,00-0,30 K ₂ O 0,00-0,30 Na ₂ O 0,00-0,10 ZnO 0,00-0,20 CaO Suma = 1 Mol	0,05-0,20 Al ₂ O ₃	1,00-1,50 SiO ₂	850°-950°C**
0,70-1,00 PbO 0,00-0,30 K ₂ O 0,00-0,30 Na ₂ O 0,00-0,20 ZnO 0,00-0,30 CaO Suma = 1 Mol	0,10-0,25 Al ₂ O ₃	1,50-2,00 SiO ₂	950°-1060°C**

Vidriados alcalinos:

0,40-0,90 K_2O			
0,40-0,90 Na_2O			
0,05-0,30 CaO	0,05-0,25 Al_2O_3	1,50-2,50 SiO_2	980°-1040°C**
0,05-0,20 MgO			
0,00-0,10 ZnO			
0,00-0,30 PbO			
Suma = 1 Mol			

0,00-0,70 Na_VO			
0,00-0,60 K_2O			
0,00-0,30 Li_2O	0,15-0,60 Al_2O_3	1,50-4,50 SiO_2	1000°-1180°C**
0,10-0,50 CaO	0,30-1,60 B_2O_3		
0,00-0,10 MgO			
0,00-0,10 ZnO			
0,00-0,10 BaO			
Suma = 1 Mol			

Vidriados transparente para loza:

0,00-0,40 Na_2O/K_2O			
0,10-0,60 CaO			
0,00-0,60 MgO			
0,00-0,40 BaO	0,20-0,50 Al_2O_3	2,00-5,50 SiO_2	1040°-1140°C**
0,00-0,40 SrO			
0,10-0,40 ZnO			
0,00-0,80 PbO			
Suma = 1 Mol			

Vidriados sin plomo:

0,20-0,40 K_2O			
0,20-0,40 Na_2O	0,20-0,40 Al_2O_3	2,00-4,00 SiO_2	1160°-1200°C**
0,20-0,60 CaO	0,20-0,50 B_2O_3		
0,20-0,30 BaO			
0,00-0,20 ZnO			
Suma = 1 Mol			

Vidriados para gres:

0,10-0,30 K_2O/Na_2O			
0,10-0,70 CaO			
0,00-0,30 MgO	0,30-0,80 Al_2O_3	2,50-7,50 SiO_2	1230°-1300°C**
0,00-0,60 BaO			
0,00-0,10 ZnO			
Suma = 1 Mol			

Vidriados transparentes para porcelana:

0,10-0,30 K_2O			
0,00-0,30 Na_2O			
0,40-0,70 CaO			
0,20-0,40 MgO	0,40-1,60 Al_2O_3	4,00-14,00 SiO_2	1250°-1460°C**
0,00-0,10 ZnO			
0,00-0,10 BaO			
0,00-0,10 SrO			
Suma = 1 Mol			

* Fórmulas tomadas de: Rado, Paul. Introducción a la tecnología de la cerámica. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1990. p.162.

** Fórmulas tomadas de: Matthes, Wolf E. Vidriados cerámicos. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1990. pp.44-46.

6 Conversión de una fórmula de unidad molecular a porcentajes

Para convertir un vidrioado expresado en fórmula de unidad molecular a una fórmula en porcentajes, se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar las materias primas fuentes de los óxidos requeridos por la fórmula dada, prefiriendo a las que tengan un mayor contenido de óxidos, que generalmente suelen ser las más baratas y accesibles.
2. Anotar en una tabla el nombre de las materias primas seleccionadas, escribiendo contiguo a cada una de ellas sus fórmulas y pesos moleculares. En el ejemplo que se muestra, las materias primas se encuentran en la tabla central a mano izquierda, y abajo de ellas, sus fórmulas moleculares y el peso molecular entre paréntesis.
3. Colocar los óxido junto con la cantidad correspondiente de moles pedidos por la fórmula en la parte superior derecha de la tabla, tratando de respetar el orden que ya tienen.
4. Trasladar directamente la cantidad en moles de los óxidos mencionados anteriormente a las casillas del interior de la tabla que coinciden con las sustancias que sólo aportan dicho óxido, con excepción de la sílice (SiO_2), debido a que existen otras materias primas que también la proporcionan (feldespato y caolín), por lo tanto ésta será la última en calcularse. En la tabla de ejemplo, la fórmula pide 0.65 mol de óxido de calcio (CaO) que es aportado únicamente por el carbonato de calcio (CaCO_3), dicha cantidad se ha anotado en la casilla localizada en el entrecruzamiento renglón-columna de ambas sustancias. Como esta sustancia (CaCO_3) sólo tiene una molécula (CaO) en su composición, esa misma cantidad puede ser anotada a mano derecha de las fórmulas moleculares de las materias primas, esta cifra corresponde a la unidad mol que va a aportar cada materia prima. En caso de que existiera más de una molécula, se tendría entonces que dividir la cantidad citada, en este caso 0.65 entre el número de moléculas existentes, y esta nueva cantidad anotarla en la casilla sombreada. Este es el mismo caso para MgCO_3 y BaCO_3 .

Apéndice

Fórmula molecular:

0.20 KNaO
0.65 CaO 0.5 Al₂O₃ 5.0 SiO₂
0.05 MgO
0.10 BaO

Suma de fundentes = 1.00

		0.20 KNaO	0.65 CaO	0.05 MgO	0.10 BaO	0.50 Al ₂ O ₃	5.00 SiO ₂
Feldespato Sódico-Potásico KNaO · 1.15Al ₂ O ₃ · 7.42 SiO ₂ (642)	0.20	0.20		0.23	1.48	(1.15x0.2)	(7.42x0.2)
Carbonato de Calcio 0,65 CaCO ₃ (100.1)	0.65		0.65				
Carbonato de Magnesio MgCO ₃ (84.32)	0.05			0.05			
Carbonato de Bario BaCO ₃ (197.36)	0.10				0.10		
Caolín EPK Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O (258.2)	0.27					0.27 (2x0.27)	0.54
Sílice SiO ₂ (60.06)	2.98						2.98

Fórmula en porcentajes:

Feldespato Sódico-Potásico (642 x 0.2)	128.40	÷ 466.12 x 100 =	28
Carbonato de Calcio (100.1 x 0.65)	65.07	÷ 466.12 x 100 =	14
Carbonato de Magnesio (84.32 x 0.05)	4.22	÷ 466.12 x 100 =	1
Carbonato de Bario (197.36 x 0.1)	19.74	÷ 466.12 x 100 =	4
Caolín EPK (258.2 x 0.27)	69.71	÷ 466.12 x 100 =	15
Sílice (60.06 x 2.98)	178.98	÷ 466.12 x 100 =	38
	<u>466,12</u>		<u>100 %</u>

5. El feldespato es el único mineral que aporta 0.20 mol de KNaO, por lo que la cantidad mol es anotada directamente en la casilla correspondiente, ya que sólo existe una molécula contenida en el feldespato. Esta cantidad mol (0.20) se anota en la casilla sombreada y es la que sirve de base para calcular los moles aportados de los otros óxidos, para lo cual se multiplica 0.20 por la cantidad de moléculas de cada óxido contenidas en el feldespato: $1.15 \text{ Al}_2\text{O}_3 \times 0.20 = 0.23$ y $7.42 \text{ SiO}_2 \times 0.20 = 1.48$ (El KNaO ya ha sido considerado, por lo que no se requiere hacer la operación). Los resultados se anotan en cada casilla.

6. El único material que queda para completar la cantidad mol total de Al_2O_3 que pide la fórmula, es el caolín, y la cantidad mol se obtiene por la diferencia de 0.5 (alúmina requerida por la fórmula) y 0.23 (alúmina aportada por el feldespato). El 0.27 que resulta de dicha diferencia se coloca en su casilla y en la parte sombreada, para que a su vez se multiplique por las 2 moléculas de SiO_2 del Caolín ($2 \times 0.27 = 0.54$). El 0.54 pasa a la casilla correspondiente.

7. Para finalmente totalizar la cantidad mol requerida de la SiO_2 , se restan a 5 mol, las aportaciones del feldespato y el caolín ($5 - 1.48 - 0.54 = 2.98$). El 2.98 pasa a su casilla y a la casilla sombreada.

8. Los siguientes pasos se localizan en la parte inferior de nuestro ejemplo, y consisten en multiplicar las cantidades mol que se requiere de cada una de las materias primas, por su peso molecular. Por ejemplo: el feldespato tiene un peso molecular de 642, que al multiplicarse por 0.2 da una cantidad de 128.4. Las cifras obtenidas para cada caso se colocan a continuación.

9. Estos nuevos datos son sumados para poder hacer la conversión a porcentajes de 100. Por ejemplo, para el feldespato, se divide $128.4 \div 466.12$ (total de la suma) y el resultado se multiplica por 100, obteniéndose un 28% de dicho material. Hacer lo mismo para cada materia prima.

7 Conversión de una fórmula de porcentajes a unidad molecular

Para convertir una fórmula en porcentajes de un vidriado a su fórmula de unidad molecular, seguir los siguientes pasos:

1. Dividir los porcentajes de cada una de las materias primas participantes entre su peso molecular, las cantidades obtenidas corresponden a las partes moleculares de cada materia prima.
2. Anotar en la primera columna de una tabla, las fórmulas moleculares de cada materia prima y a continuación las partes moleculares que se obtuvieron en el paso uno.
3. La cantidad de partes moleculares se multiplica por cada uno de los óxido que son aportados por cada materia prima, y la cifra obtenida se coloca en la casilla correspondiente al interior de la tabla. Por ejemplo: El feldespató sódico potásico $\text{KNaO} \cdot 1.15\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7.42\text{SiO}_2$ multiplicado por 0.04 (parte molecular), corresponde a: 0.04 KNaO , 0.046 Al_2O_3 y 0.297 SiO_2 .
4. Al concluir las operaciones y dispuestas las cifras en sus casillas, se suman los óxidos de cada columna para obtener las cantidades mol de los óxidos.
5. De acuerdo al método Seger, la cantidad mol de óxidos fundentes debe sumar uno, para lo cual, las partes mol de dichos óxidos que se encuentran sombreados en la tabla, deberán sumarse y con la cantidad obtenida igualar a uno, dividiendo el total de partes mol de cada óxido entre dicha cantidad. Estas operaciones se encuentran en la parte inferior del ejemplo mostrado.
6. Acomodar los óxidos con base en la disposición dada por Seger, y verificar que efectivamente los óxidos fundentes sumen uno.

Materias primas de la fórmula:	%		Peso molecular		Partes moleculares
Feldespato Sódico-Potásico	28	÷	642.00	=	0.04
Carbonato de Calcio	14	÷	100.10	=	0.14
Carbonato de Magnesio	1	÷	84.32	=	0.01
Carbonato de Bario	4	÷	197.36	=	0.02
Caolín EPK	15	÷	258.20	=	0.06
Sílice	38	÷	60.06	=	0.63

Fórmulas moleculares:	Partes moleculares:	KNaO	CaO	MgO	BaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
KNaO · 1.15Al ₂ O ₃ · 7.42 SiO ₂	0.04	0.04				0.046 (1.15x0.04)	0.297 (7.42x0.04)
CaCO ₃	0.14		0.14				
MgCO ₃	0.01		0.01				
BaCO ₃	0.02				0.02		
Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O	0.06					0.06	0.12 (2x0.06)
SiO ₂	0.63						0.63
Totales:		0.04	0.14	0.01	0.02	0.106	1.047
Suma de fundentes:		0.21					

$(0.04 \div 0.21 = 0.20)$
 $(0.14 \div 0.21 = 0.65)$
 $(0.10 \div 0.21 = 0.05)$
 $(0.20 \div 0.21 = 0.10)$
 $(0.106 \div 0.21 = 0.5)$
 $(1.047 \div 0.21 = 5.0)$

Fórmula molecular:
 0.20 KNaO
 0.65 CaO 0.5 Al₂O₃ 5.0 SiO₂
 0.05 MgO
 0.10 BaO
1.00 (suma de fundentes)

Glosario

- **Adaptabilidad.** Relación existente entre la expansión térmica de un vidriado y del cuerpo cerámico, que permite que se adapten el uno al otro.
- **Agua química.** Agua combinada molecularmente en la arcilla que desaparece entre 450° y 700°C.
- **Aspersión.** Aplicación del vidriado por medio de una pistola de aire y un compresor.
- **Barbotina.** Pasta a la cual se le han agregado defloculantes para darle una consistencia líquida cremosa, capaz de fluir por un molde de yeso para vaciado.
- **Bruñido.** Proceso de pulir una pieza cerámica cuando ésta se encuentra en dureza de cuero con objetos duros y lisos (piedras de río o cucharas), para obtener una superficie brillante y tapar el poro.
- **Calcinación.** Tratamiento mediante el cual, un mineral cerámico o una mezcla se cuece a una temperatura inferior a la de su punto de fusión.
- **Caolinita.** Mineral ideal de la arcilla, cuya fórmula es $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
- **Cocción.** Proceso mediante el cual se expone a la arcilla y a los vidriados, a un calentamiento controlado dentro de un horno.
- **Conductancia térmica.** Es la velocidad de transmisión del calor, a través de un material de un espesor dado.
- **Cono pirométrico.** Pieza en forma de pirámide alta de diferentes tamaños, fabricada con mezclas de materiales cerámicos calibrados para doblarse y fundirse a una temperatura determinada, con el propósito de indicar el momento en que se ha alcanzado el grado de calor deseado.
- **Contracción.** Encogimiento que sufren las pastas cerámicas durante el proceso de secado y de cocción.
- **Craquelado.** Agrietamiento. Red de fracturas en un vidriado causada por diferencias de los coeficientes de dilatación térmica, entre el cuerpo cerámico y el vidriado.
- **Cristobalita.** Forma cristalina de la sílice con una inversión mayor que la del cuarzo (3% de expansión lineal frente al 1%), que tiene lugar a una temperatura de 220°C al pasar de alfa a beta. Puede ser obtenida en una forma sintetizada.
- **Cuerpo cerámico.** Mezcla de arcillas y otros minerales apropiada para los distintos procedimientos de manufactura, y con características y propiedades específicas de acuerdo a su composición.
- **Defloculante.** Sustancia que actúa químicamente sobre las pastas de vaciado, haciendo que éstas adquieran un estado líquido con muy poca agua, y que las partículas se separen y queden en suspensión. El silicato sódico y el carbonato sódico son los más usados.
- **Desconchado.** Desprendimiento en escamas del vidriado.
- **Dureza de cuero.** Estado de la arcilla parcialmente endurecida, pero que aún conserva cierta humedad.
- **Engobe.** Arcilla o pasta líquida coloreada que se aplica a un cuerpo cerámico generalmente en dureza de cuero para cambiar de color, textura e impermeabilizar ligeramente.
- **Estado plástico.** Consistencia en la cual, una pasta puede ser modelada sin agrietarse.

- **Eutética. Punto Eutético.** Mezcla de dos o más sustancias en proporciones específicas, que presentan un punto de fusión más bajo que el de cada uno de sus componentes en lo individual.
- **Floculación.** Fenómeno en el cual las partículas de la arcilla se adhieren entre sí.
- **Fundente.** Sustancia que permite reducir la temperatura de quema de una pasta o vidriado.
- **Frita.** Vidriado que ha sido fundido previamente para hacerlo insoluble.
- **Gresificación.** Capacidad de una pasta de convertirse en gres.
- **Grog.** Arcilla bizcochada, triturada en granos de diferentes tamaños más o menos finos, que se agrega a las pastas cerámicas para dar textura, estructurarlas y reducir la contracción de secado y cocción.
- **Inmersión.** Proceso mediante el cual, se aplica una capa de vidriado sobre una pieza cerámica, sumergiéndola dentro de un recipiente y sacándola rápidamente.
- **Inversión del cuarzo.** Cambio de volumen en los cristales de la sílice durante el calentamiento, que tiene lugar instantáneamente a 573°C con una expansión lineal de 0.45-1%. Al enfriar, los cristales regresan a su estado original con la consiguiente contracción. Las formas cristalinas se conocen como cuarzo alfa (por debajo de los 573°C) y cuarzo beta (por arriba de los 573°C).
- **Materiales antiplásticos.** Materiales que no tienen plasticidad.
- **Materiales plásticos.** Sustancias arcillosas que poseen plasticidad.
- **Mullita.** Compuesto de alúmina y sílice ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), que es resultado de la disociación de la caolinita a temperaturas altas.
- **Pasta cerámica.** Mezcla adecuada de arcilla y materiales no plásticos.
- **Pasta en verde.** Estado en el que la pasta ha perdido el agua de plasticidad.
- **Pigmentos.** Óxidos metálicos estabilizados mediante la adición de otros minerales, que se usan para colorear pastas y vidriados.
- **Refractario.** Material muy resistente al calor y capaz de soportar repetidamente las altas temperaturas.
- **Sancocho.** Bizcocho. Cocción preliminar para endurecer las piezas antes de ser vidriadas.
- **Sinterización.** Proceso térmico en el que los productos cerámicos funden lo suficiente para formar una masa sólida, sin vitrificar completamente.
- **Temperatura de maduración.** Temperatura en la cual, un vidriado alcanza a desarrollar adecuadamente sus propiedades.
- **Terracota.** Barro. Arcilla plástica porosa de color rojizo después de la quema.
- **Transmitancia térmica.** Es la cantidad de calor que puede fluir a través de un muro, de un lado a otro.
- **Viscosidad.** Propiedad del vidriado que impide que éste resbale sobre la superficie de la pieza.
- **Vitrificar.** Adquirir la naturaleza de un vidrio o formar fundidos vítreos, dentro del material que fluye en los poros del cuerpo cerámico, permitiendo a las partículas compactarse.

Referencias bibliográficas

1 La cerámica

1. Molinar, María. Diccionario de uso de el español. Editorial Gredos, S.A, España, 1998, Segunda edición. p.586.

2 Singer, Felix. y Singer Sonja.S. Cerámica industrial, volumen 1. Ediciones URMO, S.A., Bilbao, 1979. pp.460-461.

2 Pastas cerámicas

1 Petit Larousse illustré. Librairie Larousse. Paris, 1980. p.487.

2 Corominas, Joan. Breve diccionario etimológico de la lengua española. Editorial Gredos, S.A, España, 1998, Segunda edición. p. 303.

3 Rado, Paul. Introducción a la tecnología de la cerámica. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1990. p.244.

4 Ibid., p. 251.

5 Ibid., p.252.

6 Ibid., p.254.

3 Composición de una pasta cerámica

1 Rhodes, Daniel. Arcilla y vidriado para el ceramista. Ediciones CEAC, S.A., Barcelona, 1990. p.33.

4 Materias primas para pastas cerámicas

1 Singer, Felix. y Singer Sonja.S, op. cit. p.128.

2 Fernández Chiti, Jorge. Diccionario de cerámica, tomo 1. Ediciones Condorhuasi, Buenos Aires, 1985. p.113.

3 Ibid., p.114.

4 Singer, Felix. y Singer Sonja.S, op. cit. p. 111.

6 Composición de un vidriado cerámico

1 Rado, Paul, op. cit. p.152.

2 Matthes, Wolf E. Vidriados cerámicos. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1990. p.20.

3 Ibid., p. 20.

4 Ibid., p.51.

5 Singer,Felix. y Singer Sonja.S,
op. cit. pp. 637-638.

6 Matthes, Wolf E, op. cit. pp. 52-54.

7 Ibid., p.38.

8 Singer,Felix. y Singer Sonja, S,
op. cit. p. 641.

9 Matthes, Wolf E, op. cit. pp. 60 y 64.

7 Materias primas para vidriados cerámicos

1 Rhodes, Daniel, op. cit. p.106.

2 Matthes, Wolf E, op. cit. p. 77.

3 Ibid., p. 79.

4 Ibid., p. 42.

5 Ibid., p. 88.

8 Sistemas para la elaboración de materiales cerámicos

1 Rhodes, Daniel, op. cit. p. 162.

2 Ibid., p.163.

9 Efectos de la temperatura en los materiales cerámicos

1 Rhodes, Daniel, op. cit. p.27.

2 Ibid., p.29.

3 Fournier, Robert. Diccionario
ilustrado de alfarería práctica. Ediciones
Omega,S.A., Barcelona, 1981. p.98.

Apéndice

1 Singer,Felix. y Singer Sonja,S,
op. cit. pp. 388-390.

2 Fernández Chiti, Jorge,
op. cit. tomo 3, pp.89-90.

Bibliografía

Bibliografía básica

- **Chavarria, Joaquim.** La cerámica. Parramón Ediciones,S.A., Barcelona, 1996.
- **Clark, Kenneth.** Manual del alfarero. Hermann Blume, Madrid, 1984.
- **Colbeck, John.** Materiales para el ceramista. Ediciones CEAC,S.A., Barcelona, 1989.
- **Constant, Christine y Ogden, Steve.** La paleta del ceramista.
Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 1997.
- **Cooper, Emmanuel.** Manual de barnices cerámicos. Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1982.
- ———. Recetas de barnices para ceramistas. Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1988.
- **Fernández Chiti,Jorge.** El libro del ceramista. Ediciones Condorhuasi, Buenos Aires, 1994.
- ———. Manual de esmaltes cerámicos, tomo 1, 2 y 3.
Editorial Condorhuasi, Buenos Aires, 1988.
- **Hamilton, David.** Gres y porcelana. Ediciones CEAC,S.A., Barcelona, 1989.
- **Lynggaard, Finn.** Tratado de cerámica. Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1983.
- **Matthes, Wolf E.** Vidriados cerámicos. Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1990.
- **Norton, F.H.** Cerámica fina, tecnología y aplicaciones.
Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1988.
- **Peterson, Susan.** Artesanía y arte del barro. Blume, Barcelona, 1997.
- **Rado, Paul.** An introduction to the technology of pottery.
The Institute of Ceramics, Pergamon Prees, Great Britain, 1988.
- **Rhodes, Daniel.** Arcilla y vidriado para el ceramista. Ediciones CEAC,S.A., Barcelona, 1990.
- **Singer,Felix. y Singer Sonja.S.** Cerámica industrial, volumen 1, 2 y 3,
de la Enciclopedia de la química industrial, tomo 9, 10 y 11.
Ediciones URMO,.S.A., Bilbao, 1979.

- **Vázquez Malagón, Emma.** Manual para diseño de piezas en cerámica. Tesis de licenciatura, UNAM, México, D.F., 1997.
- ———. La cerámica en el diseño industrial, algunas propuestas metodológicas para el desarrollo de pastas y vidriados. Tesis de maestría, UNAM, México, D.F., 2001.
- **Vittel, Claude.** Cerámica (Pastas y vidriados). Paraninfo, S.A., Madrid, 1978.

Bibliografía complementaria

- **Birks, Tony.** Guía completa del ceramista. Blume, Barcelona, 1995.
- **Casson, Michael.** Alfarería artesana. Ediciones CEAC, S.A., Barcelona, 1986.
- **Leach, Bernard.** Manual del ceramista. Editorial Blume, Barcelona, 1981.
- **Llorens Artigas, José.** Formulario y prácticas de cerámica. Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 1972.
- **Manners, Errol.** Ceramics Source Book. Chartwell Books, Inc., New Jersey, 1990.

Diccionarios especializados

- **Fernández Chiti, Jorge.** Diccionario de cerámica, tomo 1, 2 y 3. Ediciones Condorhuasi, Buenos Aires, 1985.
- **Fournier, Robert.** Diccionario ilustrado de alfarería práctica. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1981.
- **Hamer, Frank y Janet.** The Potter's Dictionary of material and techniques. A & C Black, London, 1993.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Dr. Juan Ramón de la Fuente
Rector

FACULTAD DE ARQUITECTURA

Arq. Jorge Tamés y Batta
Director

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE DISEÑO INDUSTRIAL

Arq. Arturo Treviño Arizmendi
Coordinador General

D.I. Jorge A. Vadillo López
Coordinador Académico

D.I. José Luis Alegría Formoso
Coordinador de Proyectos y Enlace

D.I. Héctor López Aguado Aguilar
Coordinador de Extensión



Materiales Cerámicos.

Propiedades, Aplicaciones y Elaboración

Terminó de imprimirse en la Ciudad de México durante el mes de agosto del 2005, se imprimieron en offset 300 ejemplares, sobre papel couché mate de 135gr. y 250gr. para interiores y cubierta respectivamente.