

00167

**“La cerámica en el diseño industrial,
algunas propuestas metodológicas para el desarrollo
de pastas y vidriados.”**



291423

Tesis que para obtener el grado de
Maestra en Diseño Industrial presenta:
(metodológica)
Emma del Carmen Vázquez Malagón



Posgrado en Diseño Industrial
Maestría en Diseño Industrial
Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México
México 2001





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Director de tesis:

- **Prof. Alberto Díaz de Cossío Carbajal**

Sinodales:

- **Prof. Horacio Durán Navarro**
 - **Dr. Jaime Litvak King**
 - **M.D.I. Angel Groso Sandoval**
 - **D.I. Marta Ruíz García**
-

Deseo hacer un profundo reconocimiento
a la Universidad Nacional Autónoma de México,
por la invaluable ayuda que me brindó,
a través del Programa de Apoyos para la Superación
del Personal Académico de Tiempo Completo,
para la realización y culminación del presente proyecto,
el cual, sin duda, redundará favorablemente
en mi labor académica dentro de esta institución.

Mi agradecimiento a Graciela, Gloria, Jani, Miriam, Oliva, Magali,
Edgar, Radamés, Daniel, José Antonio y todos los compañeros
del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial,
que de una o de otra manera,
estuvieron cerca de mi durante todo este período,
especialmente a Marta,
por su eterno entusiasmo para con el Taller de Cerámica del CIDI,
así como a Tania,
por su valiosa ayuda en la toma de las imágenes fotográficas.

Por último, dedico este trabajo a Rafael,
compañero mi vida y de muchos viajes.

Índice

Introducción.	i
Primera parte:	
Capítulo I	
Evolución de la cerámica	3
• Nacimiento de la cerámica	4
• Las cuatro revoluciones de la cerámica	12
• El conocimiento de los materiales y su transformación	16
• Usos de la cerámica	18
• Forma y material.	26
• La cerámica y el diseño	28
Capítulo II	
La cerámica	39
• Estructura de una pieza cerámica	40
• Clasificación de las cerámicas	44
• Temperaturas de quema	52
• Usos y aplicaciones de los materiales cerámicos	53
Capítulo III	
Cerámicas tradicionales	73
• Alfarería	73
• Loza.	74
• Gres o stoneware	76
• Porcelana	77
• Composición de las cerámicas tradicionales	78
• Clasificación de las cerámicas tradicionales	79
• Propiedades de las cerámicas tradicionales	81
• Usos y aplicaciones	85

Segunda parte:

Capítulo IV

Composición de una pasta cerámica	97
• Definición	97
• Elementos básicos en la composición de una pasta.	99
• Composición de acuerdo al tipo de pasta	100

Capítulo V

Materias primas arcillosas	103
• Origen y composición de la arcilla	103
• Clasificación de las arcillas	108
• Propiedades y características de la arcilla	111
• Tipos de arcillas	118

Capítulo VI

Materias primas no arcillosas	123
• Materias primas no arcillosas plásticas	124
• Materias primas antiplásticas.	125

Capítulo VII

Metodología para el desarrollo de pastas cerámicas	129
• Consideraciones preliminares	130
• Análisis de pastas cerámicas.	132
• Método triaxial.	138
• Método de fórmulas preestablecidas.	148
• Uso de pastas comerciales	160
• Preparación de pastas cerámicas de acuerdo al proceso de producción	161
• Corrección de defectos	164

Capítulo VIII

Vidriados cerámicos.	167
• Definición.	168
• Estado vítreo	168
• Composición del vidriado	170
• Propiedades de los vidriados.	172
• Clasificación y tipos de vidriados	185

Capítulo IX	
Materias primas para la elaboración de vidriados	189
• Óxidos formadores de vidrio	190
• Óxidos estabilizadores	191
• Óxidos fundentes	192
• Fritas	198
• Óxidos opacificantes	199
• Óxidos colorantes	202
Capítulo X	
Metodología para el desarrollo de vidriados	207
• Consideraciones preliminares.	208
• Análisis de vidriados	209
• Método triaxial.	211
• Método de Seger	218
• Preparación y aplicación de vidriados	225
• Corrección de defectos	227
Capítulo XI	
Cocción.	235
• Cambios de los materiales cerámicos durante la cocción	235
• Control de la temperatura	239
• Atmósfera del horno	242
Conclusiones	243
Apéndice	247
Glosario	263
Notas bibliográficas.	267
Bibliografía	
• Básica	275
• Complementaria	277
Referencias bibliográficas de las ilustraciones	279

Introducción

La actividad del diseño industrial está determinada por una gran cantidad de factores que se entrelazan formando una compleja red que define las características formales de un objeto, en esta red se encuentran presentes aspectos sociales, culturales, tecnológicos, políticos y económicos, y en la medida en que son privilegiados, consciente o inconscientemente, uno o varios de ellos en lugar de otros, la fisonomía del objeto puede cambiar sustancialmente transmitiendo valores que van más allá de lo meramente funcional. En tal sentido, el diseño adquiere un papel relevante en la conformación de nuestro mundo objetual, ya que la solución que puede dar a un mismo problema, tendrá una infinidad de respuestas formales.

Pero esta gran capacidad de respuesta que posee el diseño, puede verse limitada por algo casi elemental: el desconocimiento de los materiales y de las propiedades y características, que necesariamente les otorgan una fuerza expresiva a cada uno de ellos, haciéndolos diferentes y dotándolos de un lenguaje propio. Una necesidad, que ha sido resuelta bajo los mismos parámetros, pero usando diversos materiales, generará no uno, sino varios objetos con una forma específica para cada caso. El conocimiento de éstos y su entera comprensión, es por lo tanto, una parte esencial en el quehacer del diseño. Conscientes de esta fuerza y de la importancia que tienen dentro de la configuración de los objetos, el respeto a los materiales se convirtió en uno de los primeros paradigmas de los precursores del diseño industrial.¹ Aun hoy, viviendo bajo un fuerte efecto desmaterializador, producto de la informática y de la microelectrónica, "no impide que una parte considerable de la actividad del diseñador industrial siga firmemente anclada a la tarea de dar forma a objetos materialmente tangibles".²

En el caso específico de la cerámica, considero que existen dos maneras de acercarse a ella, la primera se enfoca básicamente a definir las propiedades formales de los objetos, para lo cual el diseñador requiere efectivamente conocer las características y el comportamiento del material, así como sus procesos de transformación, y al entretener estos conocimientos con los demás factores que influyen en la actividad proyectual, podrá dar una respuesta al problema a resolver. Este conocimiento constituye inicialmente uno de las condicionantes más importantes para definir la forma de un objeto durante el proceso de diseño.

En la segunda, con un grado más profundo de especialización, el diseñador no sólo determina las características formales de la pieza cerámica, sino también interviene en su elaboración, en este nivel la actividad proyectual y la producción se superponen, el conocer está íntimamente ligado al hacer; a diferencia de la primera, 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, a conocer los factores 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 mala 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 hace cerámica, casi como un acto de sobrevivencia, tendrá que preparar sus propios materiales.

Estos dos niveles de acercamiento, ambos con un alcance diferente, comparten el mismo propósito: contar, desde su perspectiva, con los elementos necesarios para poder determinar las características formales de un objeto cerámico.

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 del trabajo experimental llevado a cabo en el taller-laboratorio a largo de este tiempo, y han sido enriquecidas bibliográficamente, y justamente porque han surgido de un trabajo experimental, no tienen la menor intención de dar recetas, sino de mostrar un camino que pueda a la vez enriquecer a dichas metodologías.

Como complemento al objetivo antes expuesto, pensando que este documento está particularmente dirigido al diseñador industrial, he tratado de determinar y recopilar la información básica que pueda ser de utilidad para quien requiera diseñar objetos cerámicos, sin intervenir en el proceso de producción.

A grandes rasgos, la estructura que adopté en este trabajo, es la siguiente:

La primera parte consta de tres capítulos, en el primero de ellos, sin pretender hacer un recuento histórico, hice algunas reflexiones en torno a la importancia que ha tenido la transformación y el mejoramiento de las arcillas, gracias a lo cual se ha podido generar una gran variedad de tipos de cerámica, y para las cuales, el hombre en su quehacer creativo siempre buscó una respuesta formal que contribuyo a distinguirlas aún más. Aunque en este capítulo no hice alusión directa al trabajo elaborado en el México antiguo, simplemente por el momento histórico en el que se presentaron los hechos, quise hacer un reconocimiento de la calidad de su cerámica, incluyendo algunas imágenes que nos permiten constatarlo.

Los dos siguientes capítulos tienen como finalidad presentar un panorama de la cerámica que va de lo general a lo particular, 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.

La segunda parte está dedicada concretamente a las propuestas metodológicas para el desarrollo de pastas y vidriados, el tratamiento que se dio a ambos casos siguió la misma

estructura: primeramente una descripción que hace particular énfasis en las propiedades y la composición de cada una de las partes, información técnica acerca de las materias primas que los constituyen y finalmente la explicación de la metodología, en donde traté de aportar los conocimientos adquiridos durante el trabajo experimental.

Y finalmente, en el apéndice se incluyeron datos técnicos complementarios que hacen particular referencia al método Seger para desarrollar vidriados.

Por último, sólo quiero mencionar que gran parte de la temática que he tratado aquí, es resultado de las reflexiones surgidas de mi trabajo académico en el área de cerámica, en el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, principalmente las relativas a la actividad docente, en la que el intercambio cotidiano con los estudiantes de licenciatura ha sido siempre de suma importancia.

• **Primera parte**

Capítulo I

Evolución de la cerámica

Ante la necesidad de salvar sus propias limitaciones en un medio ambiente natural, que si bien pudo brindarle los elementos necesarios para su subsistencia, representó también un ámbito hostil, la humanidad desde su aparición se vio en la necesidad de construir herramientas y objetos que le permitieron no solamente sobrevivir, sino también edificar su propia evolución, para ello el hombre, homo faber por excelencia, tuvo que aprender a hacer uso de los materiales y a desarrollar las técnicas que le permitieron transformarlos en utensilios.

Cada material, con sus respectivas características, ofreció al hombre diferentes caminos para satisfacer sus necesidades. “Sin duda, las primeras observaciones del hombre primitivo en sus actividades cazadoras fueron la identificación de las huellas dejadas por los animales en los campos de arcillas. Identificar esos signos era vital para su alimentación y seguridad. Y en la plasticidad de los barros -esa capacidad que tiene para deformarse- quedaba impresa la huella del tigre diente de sable o el mamut, u otros animales a los que había necesidad de eludir o atacar”¹. Pasar de esta “simple” observación a la elaboración de figuras requirió de mucho tiempo y de una muy aguda atención, ya que “la arcilla en sí no tiene forma característica, según el contenido de agua presente en ella, se encuentra en la naturaleza como un sólido pulverulento, como una masa pegajosa, pero plástica, o como un líquido fangoso”,² estos estados en los que la arcilla podía encontrarse, dependían incluso hasta del clima que imperaba en la región.

Resulta maravilloso pensar en el proceso que tuvo que darse para que el hombre pudiera entender y descubrir que un material que a veces se presentaba como “pedrusco”, y otras como “lodo”, podía convertirse, si se le agregaba la suficiente cantidad de agua en el primer caso, o se secaba lo suficiente para el segundo, en una masa que permitía modelar una ilimitada cantidad de formas que en otros materiales no plásticos como el pedernal, la madera o las fibras vegetales, eran imposibles de conseguir. En este proceso, el hombre entendió también que algunas formas eran más fáciles de obtener que otras, y que inevitablemente el modelado manual y la naturaleza del material, lo llevaban a configurar piezas que tendían a la redondez.

Sin embargo, cuando el agua que había sido agregada para conseguir la plasticidad del material se evaporaba, las figurillas modeladas se contraían tornándose rígidas, pero poco resistentes a la manipulación y al contacto del agua, que las ablandaba haciéndolas perder su forma. La fragilidad que poseían las piezas sin quemar las hacía ser de poca utilidad para los grupos o comunidades nómadas que tenían que moverse de un lugar a otro llevando consigo toda clase de utensilios para su vida diaria. Estas características de la arcilla limitaron su uso, en ese momento, únicamente a la representación de imágenes humanas o animales utilizadas para rituales mágicos o religiosos.

Nacimiento de la cerámica

A pesar de haber generado el conocimiento para modelar a la arcilla en estado plástico, la aparición de la cerámica no se daría sino hasta la presencia de dos importantes factores: los inicios de la vida sedentaria, que se da con la aparición del cultivo durante el período Neolítico; y la reproducción a voluntad del fuego.

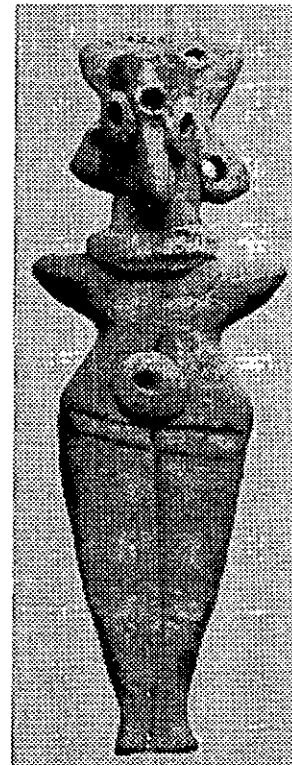


Fig. 1.1 Figura votiva.
Barro. Siria. 1,400 a.C.
Metropolitan Museum of Art,
Nueva York.



Fig. 1.2 Recipiente de barro Jomon, decorado en alto relieve. Japón. 3000-2000 a.C.



Fig. 1.3 Recipiente sajón para alimentos. Barro. Northumberland. 1700-1300 a.C. British Museum, Londres.

“No se sabe cómo se descubrió que la arcilla seca, sometida a una temperatura del rojo, aproximadamente 600°C, se volvía dura y no desintegrable por el agua. Es probable que la idea se desarrollase durante un considerable período de tiempo y existen dos teorías para explicarla. La primera, y posiblemente la más válida, es la teoría de los hogares. El fuego era una parte valiosa y vital de las primeras sociedades y culturas, proporcionando calor y luz, y ahuyentando a las fieras; también se utilizaba para cocinar los alimentos. Era cuidadosamente vigilado y mantenido, se hacían agujeros en el suelo y éstos muy bien pudieron haber sido recubiertos con arcilla. El fuego mantenido en tales hogares transformaría la arcilla en cerámica y cuando éste se retiraba finalmente de ellos, habría quedado un recipiente rudimentario.

La segunda teoría es la de que los cestos hubiesen sido recubiertos con arcilla húmeda para hacerlos impermeables y, a su debido tiempo, cuando la arcilla se hubiese secado y contraído, se hubiese formado un recipiente sencillo que podía contener fuego. Tales cestos recubiertos de arcilla podían también quemarse en el fuego, con lo que quedaba un sencillo recipiente cocido. Tal teoría presupone la existencia de la cestería. Sin embargo, en algunas culturas primitivas la cestería existía sin que existiera la cerámica, pero en otras la cerámica existía sin la cestería. Todo lo que podemos admitir es que una feliz combinación de factores sociales, técnicos y económicos dieron como resultado el descubrimiento de que la arcilla se convertía en cerámica cuando se calentaba suficientemente”.³

De acuerdo a los especialistas, la pieza más antigua hasta ahora conocida, procede de Anatolia (Turquía) y fue elaborada durante el período mesolítico en el año 6,500 a.C.. Sin embargo, se cree posible que la edad de la cerámica (arcilla cocida) podría ser de hasta 20,000 años. Estas primeras cerámicas estaban hechas de barros locales de color marrón rojizo encontrados sobre la superficie, eran piezas sin esmalte y sin decoración que fueron utilizadas como recipientes para cocinar y almacenar alimentos, y aun como urnas o ataúdes.



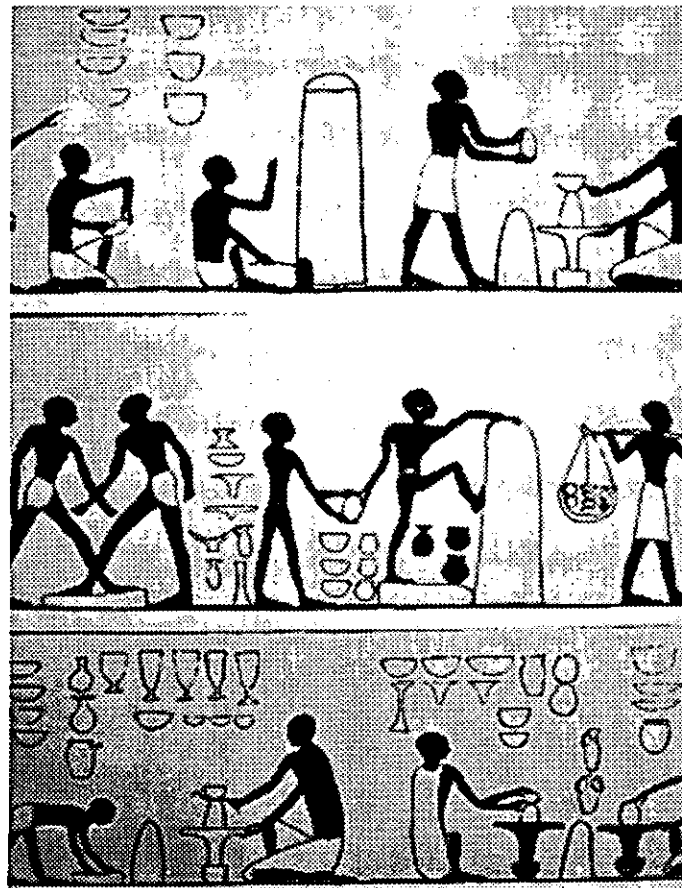
Fig. 1.4 Tazón de barro. Samarra, decorado con engobe color crema. Norte de Mesopotamia. 5,000 - 4,500 a.C.

Posteriormente hacia el año 5,000 a.C. las piezas comienzan a ser tratadas con diferentes métodos: el bruñido, que consiste en frotar la superficie con una piedra lisa con el propósito de darle brillo y hacer menos porosa la pieza, lo cual les permitía poder guardar líquidos dentro de ellas; y el más popular, que consistió en cubrir la superficie externa de las vasijas con una capa de engobe a base de arcillas de color contrastante, generalmente blanco o marrones más oscuros. “Los diseños eran más frecuentemente formas geométricas que figuras florales o humanas de tipo realista; se trata de los diseños geométricos surgidos en la cestería y el tejido y transferidos a otro medio, la superficie de la vasija”⁴, tanto la decoración con engobes como el bruñido eran técnicas que podían combinarse. Hasta este momento, los métodos de ejecución fueron a base de pellizcos, o de colocar rollos del material unos sobre otros, uniéndolos y alisándolos; o bien, en ocasiones la arcilla se utilizó para recubrir cestos o colocándola sobre piedras o formas naturales como calabazas.⁵



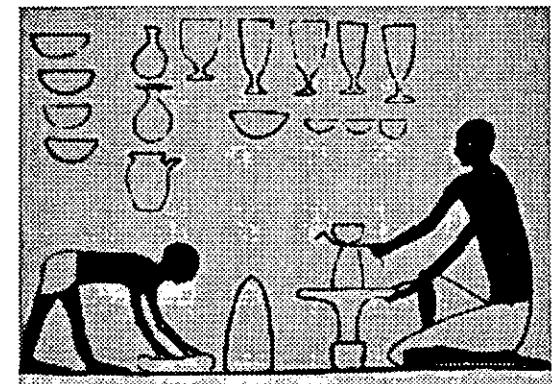
Fig. 1.5 Vaso antropomorfo. Hacilar, Turquía. Aproximadamente 5,000 a.C. Ashmolean Museum, Oxford.

Entre el 4,000-3,000 a.C., aparecen los primeros tornos que consistían básicamente de una rueda de piedra o madera, colocada sobre un pivote en el suelo que les permitía girar al ser empujados o pateados. Si bien, en estos tornos no fue posible todavía obtener piezas perfectas, para lo cual hubo que esperar que éstos fueran mejorados mediante el acoplamiento de un árbol y un volante en la base que les daba más estabilidad; lo que si es un hecho, es que el torno le confirió a la cerámica su forma más distintiva: la forma circular, la cual ya se venía dando aun en las piezas modeladas a mano.



Figs. 1.6 Producción de cerámica. Sección de una pared egipcia. Tumba 2, Beni Hasan. Aproximadamente 1900 a.C.

Los progresos obtenidos desde entonces a la fecha han sido innumerables, una visión panorámica de la historia de la cerámica es presentada en el siguiente cuadro cronológico, el cual abarca diferentes regiones del mundo. Así mismo, como complemento a éste, se presenta una lista de innovaciones logradas en el campo de los procesos de producción.



		AÑOS									
REGION	AC	6000	5000	4000	3000	2000	1000				
ORIENTE PROXIMO Y MEDIO.	Anatolia, Siria, Asia Menor.	Primera cerámica conocida	Cerámica pintada con pigmento blanco sobre cuerpo rojo			Cerámicas mostrando generalmente influencias de Creta y Mesopotamia				Cerámicas decoradas	
	Mesopotamia.		Cerámica incisa Cerámica Pintada Cerámica pintada de Samarra	Desarrollo del horno y mejora del horno Cerámica verde oliva Estilo vivamente pintado		Se hace vidrio		Uso del vidrio al Plomo	Uso general del vidrio	Generalmente se hace aun cerámica sin vidrio	
	Egipto.		Cerámica Bandanana finamente hecha, formas bien pensadas, arcillas cuidadosamente preparada	Cerámica roja bruñida con la parte alta negra (reducida por el humo)	Fayenza	Introducción del horno Cerámica Meydurum	La extensión del comercio trae cerámica extranjera y cambios estilísticos.	Desarrollo de un estilo pintado vivo	Torno más eficaz	Ocupación Romana	
	Persia.			Cerámicas pintadas de Tape Gyan, Susa, Tepe Sialk.				Desarrollo de formas y decoración para uso mural			
	Creta.					Civilización Minoica: Estilo ricamente pintado basado en decoración naturalista					
LEJANO ORIENTE.	India					Valle del Indo Muy bien hecha Decoración pintada					
	China				Periodo Neolítico: Urnas de arcilla roja, pintadas con motivos ondulatorios en rojo, negro y marrón.		Edad del bronce: El trabajo del metal influye fuertemente las formas de las vasijas Cucharos de cocina de arcilla con patas en tripede			Evolucionación con arcillas más cuidadosamente preparadas y temperaturas de cocción más altas	
	Corea				Provincia de Kansu Rio Amarillo						
	Japón				Se conoce poco de la primera cerámica, pero se admite que siguió a la de China	Se siguen métodos de trabajo a mano		Estilo Jomón: Urnas enrolladas con decoración impresa de cuerdas.			
EUROPA.	Grecia						Cultura Minoica: Cerámica Minoica, muy refinada		Periodo griego clásico	Estilo geométrico	Estilo fq negras fq rojas
	Italia						Civilización de Villanova Cerámica gris dura		Cerámica gris etrusca	Establecimiento de Roma	
	Bizancio										
	España				Pueblos de los vasos emigrados a otros lugares de Europa		Iberos: Estilo pintado influenciado por la cerámica griega importada			Cerámica hasta de estilo romano	
	Holanda.				Cuencos y urnas con decoración incisa						
	Alemania									Introducción del torno Cerámica hecha imitando formas de hierro. Decoración impresa	
AMERICA.	Gran Bretaña				Introducción de la cerámica desde el Continente: Cuencos hechos a mano para semillas, etc. Cucharos de cocina		Pueblos de los vasos Formas a mano con decoración incisa Urnas cinerarias con decoración incisa y aplicada			Edad de Hierro Introducción de la rueda sencilla. Formas imitando las del hierro Decoración incisa	
	Norte										
	Centro						Periodo arcaico Encontrados jarros y cuencos	PERIODO DE FORMACIÓN	Amplia variedad de formas principalmente de uso doméstico: cocina, alfarería y agua Decoración con engobe pintado y con reserva Superficies bruñidas. Motivos incisos		
Sur				Primera cerámica encontrada en Ecuador		Periodo arcaico	Estilos Chavin y Cupisnique Cerámica moldeada Asas en estribo Decoración incisa Región nortandina				

Tabla No.1 Cuadro cronológico de la historia de la cerámica. Período antes de Cristo.⁶

		AÑOS																					
REGION	DC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900			
ORIENTE PROXIMO Y MEDIO.	Anatolia, Siria, Asia menor.	Cerámica Isnik																					
	Mesopotamia.						Cerámica sin vidriar. Cerámica vidriada al plomo. Cerámica vidriada al estaño. Cerámica de lustres.					Pintura bajo vidriado. Cerámica de lustres.											
	Egipto.	Ocupación romana			Influencia cristiana copia								Se hacen lustres vivos			Cerámicas pintadas							
	Persia.	Grandes vasijas de almacenar, a menudo moldeadas. Vidriado alcalino turquesa vivo					Estilo pintado persa oriental. Cerámicas esgrafiadas.					Kashan Ravv			Centros			Cerámica azul y blanca. Cerámica Gombroon. Cerámica Kubacha.					
	Creta.																						
LEJANO ORIENTE.	India																						
	China	Comercio con el Imperio romano. trae el vidriado al plomo. Empleo extensivo del torno. Utilización de moldes. Siendo el bronce el más apreciado se imitaban sus formas. Perfeccionamiento de los hornos.		Periodo inestable. Interrupción del comercio. Mayor perfeccionamiento de la cocción a gran fuego.		Periodo tranquilo. El comercio con el Imperio islámico trae el vidriado al plomo. Desarrollo de una rica cerámica vidriada al plomo con decoración moteada.		Yueh. Desarrollo de cerámica verde, blanca y muchas otras a gran fuego.		Periodo clásico de la cerámica. Se hace loza y porcelana. Cerámicas T'ing y Ch'ing por. Cerámicas Chung. Celadones del Norte. Cerámica Ju. Cerámica T'zuchou. Cerámica Lung-chien. Cerámica Chien. Etc.			Chang-te Chien. Establecimiento de la factoría imperial de porcelana. Cerámica azul y blanca. Decoración de rojo cobre. Decoración con esmaltes.			El gran comercio de exportación influencia a forma y decoración. Decoración de esmaltes, "Familie verte", Cerámica Swatow. Cerámica Yihsho. Blanco de China. Porcelanas muy refinadas pero formas burdas.							
	Corea	Desarrollo de vidriados al gran fuego. Fuerte influencia china.		Cerámica de celadón. Cerámicas blancas finas.					Estilo con marcadas diferencias de los de China.			País cerrado. Desarrollo de un tipo de decoración libre, campesino, pinceladas sueltas y vaporosas.											
	Japón	Fuerte influencia china via Corea. Loza vidriada verde oliva y cerámica vidriada al plomo.																					
EUROPA.	Grecia	Ocupación romana																					
	Italia	Imperio Romano. Cerámica de brido rojo. Cerámica rustica. Cerámica vidriada al plomo.		Cerámica doméstica vidriada al plomo y sin vidriar.					Cerámicas decoradas islámicas importadas.			Cerámicas vidriadas al estaño. Estilo arcaico formal. Lustres. Renacimiento. Cerámicas esgrafiadas del norte de Italia.			Porcelana. Influencia china.								
	Bizancio	Constantinopla como capital. Influencias del este y del oeste. Cerámicas vidriadas al plomo sobre cuerpo anteado. Decoración de aplicaciones y esgrafiado sobre cuerpo rojo.																					
	España	Visigodos. Cerámicas pintadas. Decoración impresa.		Cerámica fina importada de los países islámicos.		Uso de la técnica de la cuerda seca. Cuenques pintados azul y blanco.			Desarrollo de lustres en Melaga.			Cerámica azul blanca y dorada de Manises.			Cerámica decorada bajo vidriado en Talavera de la Reina.								
	Holanda.	Barro cocido rojo.																					
	Alemania	Ocupación romana. Cerámica de brido rojo. Cerámicas rusticas. Vidriado al plomo.		Desarrollo de cerámica al gran fuego, hornos en Pingsdorf y Badorf.		Cerámica anteada con engobes rojos vitreos.		Cerámica exportada a Europa.			DESARROLLO DE VIDRIADO A LA SAL. Cerámicas marrón de Raeren y Colonia. Cerámicas blancas de Sieburg. Cerámicas coloreadas de Gerzhausen.			Baughaus influencia a la mayor parte de Europa.									
	Gran Bretaña	Ocupación romana. Cerámica rustica hecha en Castor, New Forest, Aldgate, Chichester, St. Albans. Introducción de hornos y hornos.		Urnas anglosajonas bien hechas con decoración impresa e incisa. Cuerpo negro de cocción. Cacharros de cocina.		Cerámica vidriada de Stamford. Tornos rápidos y hornos perfeccionados. Vidriado al plomo. Cerámica Sajona Normanda.		Estilo medieval. Cerámicas finamente torneadas. Vidriado al plomo en verde. Decoración incisa y engobes dorados. Especialmente en el Sureste. Cacharros domésticos.			Cerámica Tudor con vidriado verde, imitando el metal. Cerámica Oisterense. Vidriado marrón oscuro sobre cuerpo duro rojo.			Barro vidriado al estaño. Londres. Liverpool y Bristol. Barro vidriado a la sal. Decoración con engobe. Staffordshire. Loza vidriada a la sal.									
AMERICA.	Norte	Indios Pueblo del sudeste. Cerámica lisa sin decorar. Cerámica decorada de los bosques orientales.		Cerámica gris lisa en forma de calabazas y cestos. Hecha con rollos.		Cacharros de cocina. Decoración de engobe blanco.		Se hacen las vasijas más finas. Decoración con engobe blanco y negro. Muchos estilos individuales para fines decorativos.			Desarrollo del estilo decorativo policromado. Motivos geométricos y naturalistas. Vidriado utilizado para fines decorativos.			Conquista española. Cerámica rosa. Cerámica vidriada a la sal.									
	Centro	PERIODO CLASICO. Mayor desarrollo de las formas básicas y crecimiento de estilos particulares. Teotihuacana. Maya. Desarrollo del estilo policromado.		PERIODO POSTCLASICO. Destrucción de las ciudades estado pacificas. Las formas cerámicas continuan como antes. Diseños menos vistosos.		DOMINACION AZTECA. Moctezuma. Estilo mazapán. Cerámica Chokula.			Conquista española. Cerámica rosa. Cerámica vidriada a la sal.			NORTEAMERICA 1800. Firms industriales produciendo amplia variedad de cerámica funcional y decorativa, de barro cocido y porcelana de baja temperatura. 1900 Cerámica "artística", producida p ej en Newark, New Jersey. 1950 Cerámica de estudio. Fuerte influencia Japonesa. Uso libre de la arcilla para producir objetos y esculturas, p ej Vouklos. Influencia pop.											
	Sur	Mochica. cerámica finamente moldeada con decoración adicional modelada e incisa. Andes del sur. Nazca hecha en molde. amplia variedad decoración pintada. Muchos otros estilos.		Cerámica Chimú. continuidad de las anteriores. Estilo Mochica. Cerámica Chancay, formas sencillas con añadido de figuras humanas.		Incas. Variedad limitada de cerámica, pero técnicamente excelente.																	

Tabla No.1 Cuadro cronológico de la historia de la cerámica. Periodo después de Cristo.⁶

LISTA CRONOLÓGICA DE LOS PROCESOS DE LA CERÁMICA	
Proceso	Fecha en que se empleo por primera vez
- Moldeo a mano	+ 7000 a.C
- Bruñido a mano	+ 5000 a.C
- Decoración por raspado	+ 5000 a.C
- Decoración con barbotina	+ 5000 a.C
- Torneado a la rueda	3000 a.C.
- Prensado en moldes ácidos	2500 a.C.
- Torneado	2000 a.C.
- Cochura en horno descubierto	1000 a.C.
- Cochura en horno cerrado	500 a.C.
- Cochura en horno de cámara	100 d.C.
- Prensado en moldes de yeso	1500 d.C.
- Molienda de amasado	1500 d.C.
- Torneado con molde	1700 d.C.
- Horno de secado de barbotina	1720 d.C.
- Colada de barbotina	1740 d.C.
- Impresión por reporte	1750 d.C.
- Cochura en horno de túnel	1752 d.C.
- Dorado	1770 d.C.
- Extrusión en propulsor helicoidal	1780 d.C.
- Calcomanías	1800 d.C.
- Prensado de filtración	1850 d.C.
- Prensado en seco	1850 d.C.
- Molienda con guijarros	1890 d.C.
- Separación de partículas de hierro	1910 d.C.
- Extrusión por vacío	1920 d.C.
- Horno de túnel de mufla	1921 d.C.
- Decoración automática con bandas	1930 d.C.
- Torneado automático con molde	1930 d.C.
- Flotación del feldespató	1940 d.C.
- Prensado isostático	1940 d.C.
- Horno de tambor	1950 d.C.
- Máquina de moldeo por rodillo	1960 d.C.

Tabla No.2 Innovaciones en los proceso de la cerámica.⁷

Fig. 1.7 Vaso en barro pizarra de Yucatán con moldura en relieve.
Cultura Maya. Clásico: 600-900 d.C.
Museo de Mérida, Yucatán. (izq.).

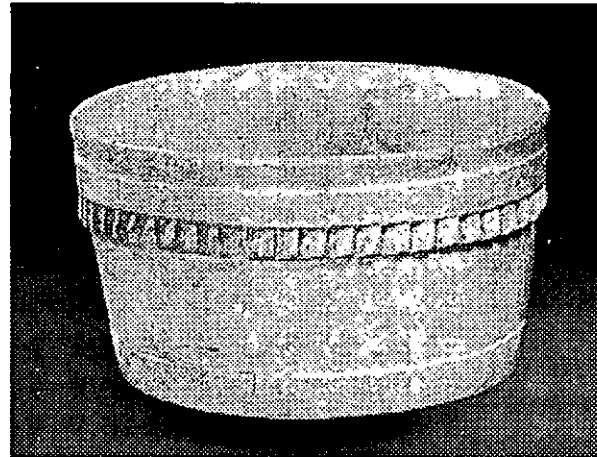


Fig. 1.8 Urna ceremonial con la figura de un sacerdote del dios del Viento. Barro.
Cultura Maya. Postclásico: 1250-1521 d.C.
Museo de Mérida, Yucatán. (der.).



Fig. 1.9 Vaso con personaje en relieve.
Barro. Cultura Maya. Clásico: 600-900 d.C.
Museo de Villahermosa, Tabasco. (izq.).



Fig. 1.10 Vaso con decoración en relieve.
Barro. Cultura Maya. Clásico: 600-800 d.C.
Museo del Indio Americano, Nueva York. (der.).



Las cuatro revoluciones de la cerámica

En su lento devenir, la cerámica, posiblemente con más de 20,000 años de antigüedad, ha presentado un sinnúmero de avances significativos; Alberto Díaz de Cossío y Francisco Álvarez en su libro "La cerámica colonial y contemporánea", destacan de ellos, tres momentos fundamentales que revolucionaron la actividad de la cerámica.

1a. Revolución. Nacimiento de la cerámica (Asia-6,500 o más a.C). La constituye la aparición misma de la cerámica, y se da cuando el hombre es capaz de buscar el endurecimiento de la arcilla por medio del fuego; siendo las fogatas, los primeros "hornos" que se usaron para este fin. Esta etapa está íntimamente ligada al hombre sedentario y agricultor que tuvo la necesidad de almacenar los productos

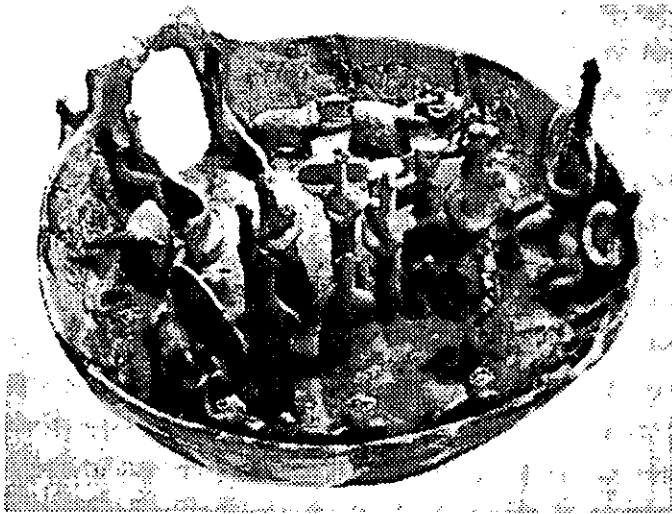


Fig. 1.11 Santuario, ceremonia religiosa. Arcilla cocida. Vounous, Chipre. Aproximadamente 2,000 a.C. Cyprus Museum, Nicosia. (izq.).

Fig. 1.12 Vasija egipcia. Arcilla roja pulida decorada en blanco. Hasta 3,500 a.C. (der.).

cosechados. Este descubrimiento le permitió además una más accesible cocción de alimentos, los cuales eran preparados en vasijas que se podían colocar directamente al fuego, dándose como consecuencia un cambio radical en los hábitos alimenticios. Tanto la opción de almacenar como la de cocer alimentos, le facilitaron al hombre la posibilidad de hacer cambios en su organización social y en sus condiciones de vida. Durante este período se desarrollaron también algunas técnicas para decorar las piezas cerámicas, como el uso de engobes u óxidos para colorear, el bruñido, y el pastillaje.



Fig. 1.13 Taza. Barro con vidriado de plomo. Asia Menor. Siglo I a.C. o d.C. Victoria and Albert Museum, Londres.



Fig. 1.14 Hipopótamo de la tumba de Senbi de Meir. Pasta egipcia autoesmaltada. Egipto, XII dinastía. 2,000-1790 a.C. Metropolitan Museum of Art, Nueva York.

2a. Revolución. Utilización de vidriados (Asia - 3,000 a.C.). La segunda etapa se presenta cuando el hombre recubre las piezas con una mezcla de plomo y sílice -materiales muy fáciles de controlar y a los cuales agregaba óxidos para obtener coloraciones- esta mezcla al ser quemada forma una capa vítrea haciendo a las piezas impermeables y dándoles además mayor dureza y resistencia al uso. Esta cerámica constituye lo que hoy conocemos como "cerámica de baja temperatura". En este período el hombre ya ha desarrollado propiamente dicho un horno, el cual funcionaba a base de leña permitiéndole alcanzar temperaturas entre 600° y 850°C; cabe mencionar que hornos de este tipo continúan usándose hasta nuestros días. La aplicación de vidriados exigió un mayor control de la temperatura y el mejoramiento de los procedimientos para la elaboración de piezas, ya que las cerámicas vidriadas requieren preferentemente de dos quemas para obtener mejores resultados (una para cocer el cuerpo y otra para la capa de vidrio o esmalte).

3a. Revolución. Cerámica de alta temperatura (Asia - aproximadamente 100 d.C.). La cerámica de alta temperatura se desarrolla en el Lejano Oriente (China, Corea y Japón), apareciendo primero el gres o stoneware y posteriormente, hacia el siglo VII d.C., la porcelana. Para este período el hombre cuenta con una tecnología lo suficientemente avanzada que le permite manejar temperaturas superiores a los 1,200°C, logrando con ello que las piezas elaboradas con pastas preparadas adecuadamente para soportar dichas temperaturas, vitrifiquen convirtiéndose en materiales muy resistentes y completamente impermeables, aun sin estar vidreados. Los esmaltes utilizados están totalmente libres de sustancias tóxicas, y tanto la pasta como la cubierta vítrea, resisten el ataque de los ácidos más comunes.

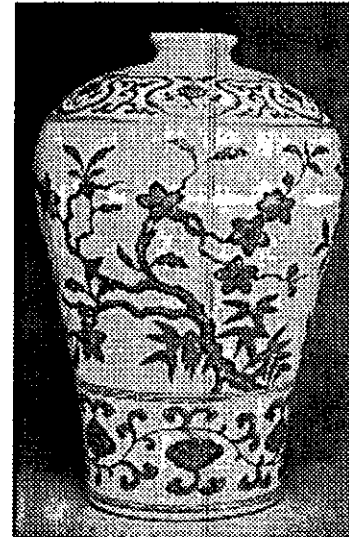
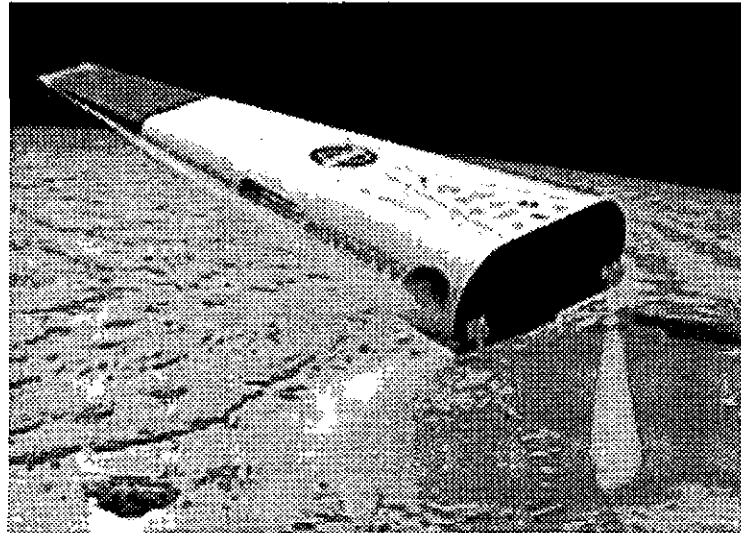


Fig. 1.15 Recipiente de gres Sue. Japón. Siglo VI. (izq.).

Fig. 1.16 Jarro de gres Henan. China. Siglo XII. (cent.).

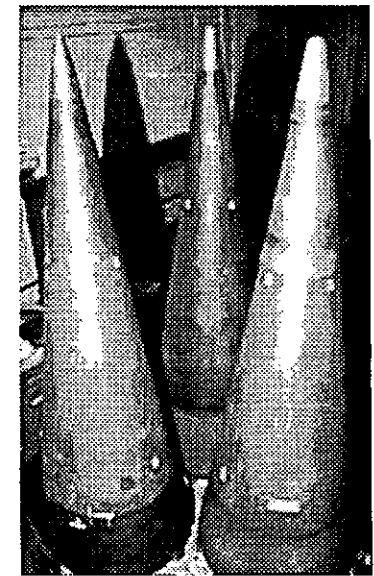
Fig. 1.17 Florero de porcelana Ming. Período Yongzheng, China. 1723-1735. (der.).

4a. Revolución. Las nuevas cerámicas. Considero que en la actualidad estaríamos viviendo una cuarta revolución en la historia de la cerámica, que la ha llevado a tener aplicaciones en áreas sustancialmente diferentes a las tradicionalmente conocidas. La aparición de las también llamadas cerámicas avanzadas o de alta tecnología se da en el siglo XX de nuestra. Estas cerámicas están constituidas por materias primas totalmente diferentes a las usadas en las cerámicas tradicionales, las cuales son el resultado de una combinación de arcilla como componente principal con otros materiales minerales, y que son endurecidas desde los 850°C, hasta los 1,200° - 1,450°C, para el caso de las cerámicas de alta temperatura. En contraposición, los nuevos materiales prácticamente han excluido el uso de arcillas por otros minerales de extrema pureza (nitruros, carburos, carbonatos, etcétera), quemados a temperaturas que oscilan entre los 1600° - 2,800°C, lo cual los convierte en materiales muy duros, que particularmente soportan condiciones extremas de corrosión y altas temperaturas; las cerámicas avanzadas han encontrado aplicación en el área de la electrónica, la fundición y la aeronáutica, entre muchas otras.



Proyecto SHARP
(Slender Hypervelocity
Aero-Thermodynamic
Research Probes)

Fig. 1.18 Nave espacial con
recubrimiento cerámico. (izq.).
Fig. 1.19 Puntas de misil. (der.).



El conocimiento de los materiales y su transformación

Es posible que la cerámica haya sido un descubrimiento fortuito producto del azar, pero es indudable que el hombre tuvo que desarrollar una gran capacidad de observación y de análisis que le permitió poder entender el comportamiento del material. Fue capaz de advertir que las arcillas eran materiales plásticos que permitían ser modelados con cierta facilidad, pero a la par de ello, pronto entendió que no siempre era factible trabajarlas tal como las encontraba en la naturaleza, por lo que tuvo entonces que desarrollar los procedimientos necesarios para una cuidadosa

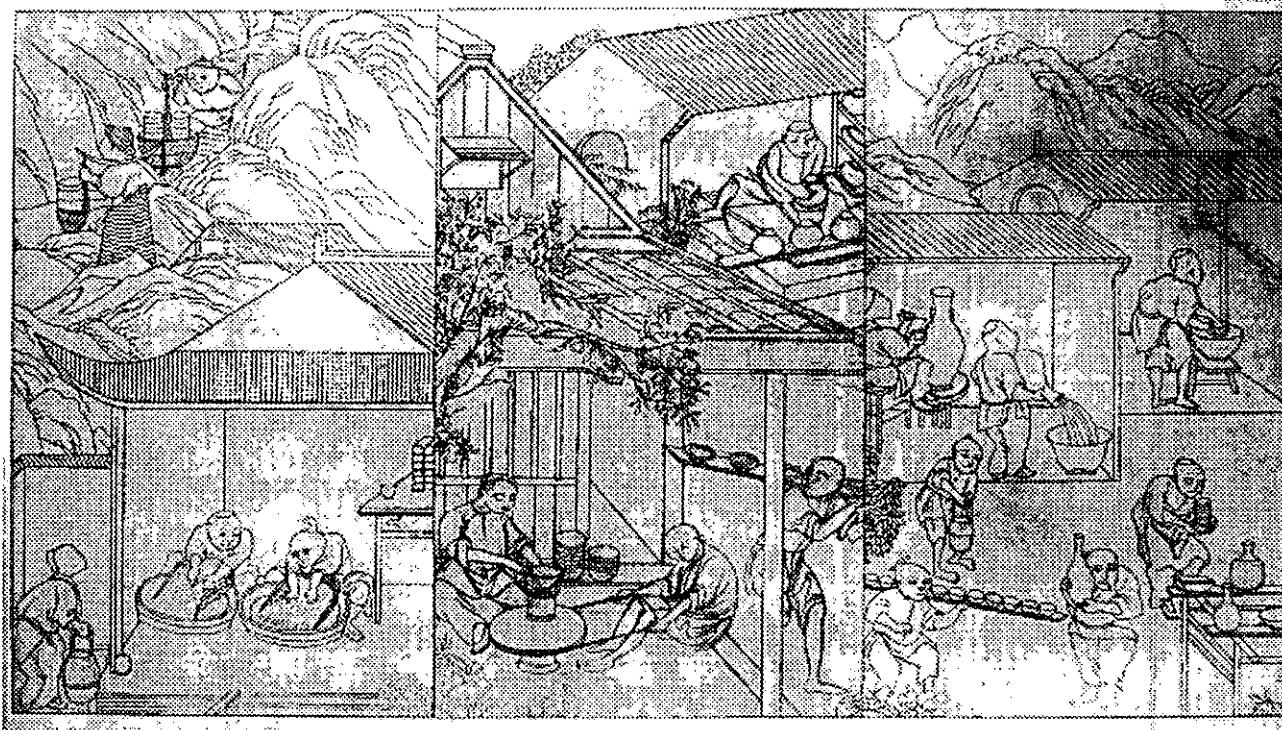


Fig. 1.20 Taller chino del siglo XVIII. Interpretación. Françoise Gilot.

preparación de las arcillas. Primero hubo que limpiarlas de todos aquellos materiales extraños e impurezas que pudieran producir agrietamientos durante el secado de la pieza, o estallamientos en el momento de la quema. Así mismo, aprendió que una pieza húmeda o con aire se estallarían inevitablemente al ser expuesta al fuego.

Descubrió también que una arcilla extremadamente plástica era imposible de ser trabajada, particularmente si se deseaba elaborar piezas de gran tamaño, por lo cual tuvo que adicionar a ésta, materiales antiplásticos como arena o conchas molidas, logrando con ello estructurar el material en el momento de modelarlo y evitando que los fuertes encogimientos durante el secado pudieran agrietar a la pieza.

El hallazgo de otras arcillas lo llevó a entender que cada una de ellas presentaba características propias, y por lo tanto tenían diferentes modos de usarse y diferentes maneras de ser mejoradas al mezclarse con otros materiales. Al mismo tiempo, generó y perfeccionó métodos de realización que le exigieron el refinamiento de las materias primas utilizadas.

La evolución de la cerámica no podía estar basada en el uso de las arcillas tal cual las encontraba en la naturaleza, era necesario depurarlas y combinarlas, inicialmente para darles forma, y posteriormente para modificar sus características después de la quema. A la par, tuvo también que generar la tecnología adecuada mediante la cual pudiera aprovechar al máximo lo que los materiales podían ofrecerle. Poco a poco el hombre fue construyendo el conocimiento necesario para “diseñar” a voluntad los materiales cerámicos que satisficieran más adecuadamente sus necesidades.

La influencia de este proceso transformativo ha llevado a la humanidad a lograr avances no sólo en lo técnico, sino también en lo cultural, en lo social y en lo económico. “En el desarrollo de la humanidad ha resultado definitivo no sólo el que la naturaleza proporcione de manera más o menos directa un determinado material, sino también que el hombre realice el descubrimiento de los procesos para transformar los materiales”.⁸

Usos de la cerámica

El uso de la cerámica parece haber sido desarrollado de manera independiente en diferentes regiones y épocas. A pesar de la imposibilidad de precisar el momento en que las arcillas sin quemar fueron usadas por primera vez, dadas sus características efímeras, solamente se puede especular acerca de las primeras aplicaciones que ésta tuvo, tales como las marcas tribales, mortero para la construcción o refuerzo de algunas incipientes viviendas, para recubrir cestos y contenedores vegetales, o bien, en toscas vasijas oreadas al sol y utilizadas para guardar productos secos. Sin embargo, las primeras evidencias que han podido sobrevivir a nuestros días, se originaron en el terreno artístico durante el Paleolítico superior en Europa central y occidental, esta gran manifestación de carácter mágico-religioso se dio por medio de pequeñas estatuillas de animales, o bien, por figuras humanas femeninas llamadas “venus” que presentan los órganos sexuales agrandados y que fueron utilizadas en rituales propiciatorios de la fertilidad. Piezas de este tipo han sido encontradas en distintas excavaciones en varias partes del mundo, incluyendo el valle del Indo y Mesopotamia, algunas de éstas fueron elaboradas con arcilla mezclada con huesos de mamut triturados, y las más antiguas datan de 30,000 a.C.

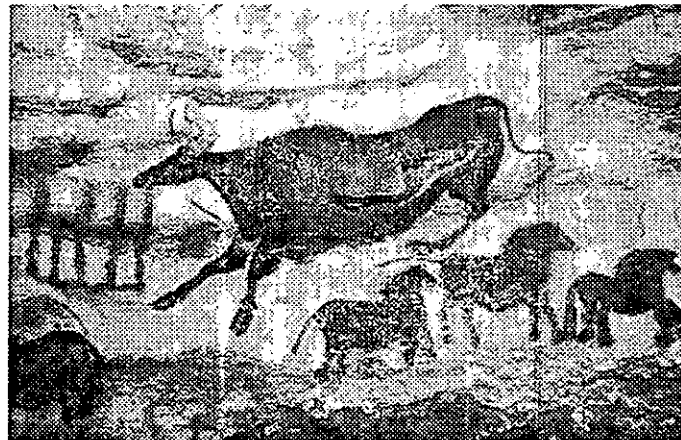
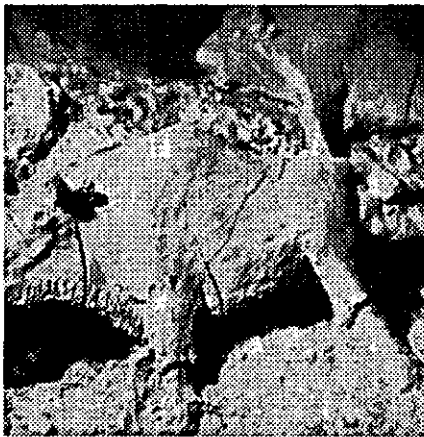


Fig. 1.21 Bisón modelado en arcilla. Tuc d'Audoubert, Ariège, Francia. Aproximadamente 15,000 .C. (izq.).

Fig. 1.22 Pintura rupestre. Cueva de Lascaux, Francia. Paleolítico. (der.).

Otros vestigios artísticos de gran importancia se presentaron en “santuarios”, como el de la pareja de bisontes, macho y hembra, modelados en barro, hallados en la cueva de Tuc d'Audoubert (Francia), y muy posiblemente en algunas pinturas rupestres, en las cuales se pudo haber hecho uso de barros superficiales mezclados con otros materiales para colorear y que gracias a la acción de la calcita lograron endurecerse.

De acuerdo a los hallazgos, se calcula que hacia el Paleolítico tardío o finales de éste, los tres principios básicos del uso de las arcillas ya habían sido descubiertos: la plasticidad, el endurecimiento por medio del fuego y la posibilidad de cambiar sus características a través de la adición de otros materiales.⁹ Pero no fue sino hasta el comienzo de la vida sedentaria, durante el Neolítico, cuando la arcilla pudo ser expuesta al fuego a voluntad, convirtiéndose en un material duro y resistente al ataque químico, gracias a lo cual, las piezas realizadas con él, han podido sobrevivir durante millares de años, convirtiéndose así en testimonios de gran valor para los estudios arqueológicos.



Fig. 1.23 Vasija neolítica.
Sussex, Inglaterra. 3,000 a.C.
Brighton Art Gallery
and Museum.

Para Orton, Tyers y Vince, el uso más importante que se le ha dado a la cerámica de la cerámica es el de contener, destacando tres categorías: la de almacenar, la de procesar (incluyendo varios métodos de cocinar) y la de transportar (para servir y comer).¹⁰ Los contenedores aparecen entre el 8,500 - 8,000 a.C. en Anatolia, sur de Turquía y 10,000 a.C. en Japón, las primeras vasijas cocidas en hogares o fogatas, eran hechas a mano en gran cantidad de formas y trabajadas con incisiones. Su decoración representaba una gran variedad de formas de plantas o animales y actividades humanas, algunas de ellas, presentaban ya un gran sentido de la composición. Eran usadas como urnas funerarias, en los quehaceres domésticos e inclusive como depósitos de basura.

“Hasta la adaptación y generalización de un utillaje cerámico se dispuso de otros tipos de recipientes igualmente prácticos: abundan los tallados en piedra, aunque debían de ser incómodos; más manejables, pero sin posibilidad de ponerlos al fuego, los habría de madera, cestería y, muy probablemente, también se aprovecharían algunos vegetales, previamente vaciados, que tienen corteza resistente. Sin embargo, conviene fijarse en las ventajas que representa la resistencia al fuego de la cerámica, ya que esto posibilitó un mayor provecho de la variedad de alimentos de que disponía la humanidad neolítica. A partir de unos mismos alimentos: caza, pesca, cereales y otros productos agrícolas, se pudieron introducir importantes variaciones en la dieta alimentaria y hablarse ya de un arte culinario propiamente dicho. Hasta entonces el pescado se comían crudo o asado, al igual que la carne, aunque ésta última debía de resultar bastante dura. Por otra parte, las semillas, tubérculos y otros frutos se consumían frescos y hervidos, aunque en este último caso no hay duda de que la cocción debía resultar muy lenta y bastante deficiente.

La cerámica ofreció la posibilidad de preparar guisos, con lo que las carnes más duras podían ablandarse a base de una larga cocción o mezclarse con otros vegetales. También les permitió la preparación de platos con abundantes líquidos que facilitaron una adecuada cocción de los cereales y legumbres. Guisos, cocidos, potajes y líquidos calientes vinieron a sumarse así, a una dieta hasta entonces muy limitada.

Pronto se enriqueció la vasija tradicional con piezas más especializadas, lo que evidencia la variación culinaria acaecida: platos hondos o tazones para guisos caldosos, platos llanos para carnes, pescados y otros alimentos sólidos, jarros y tinajas para contener y servir líquidos, copas para las bebidas, etcétera. Pero más que en la forma del cuerpo del recipiente, el artesano

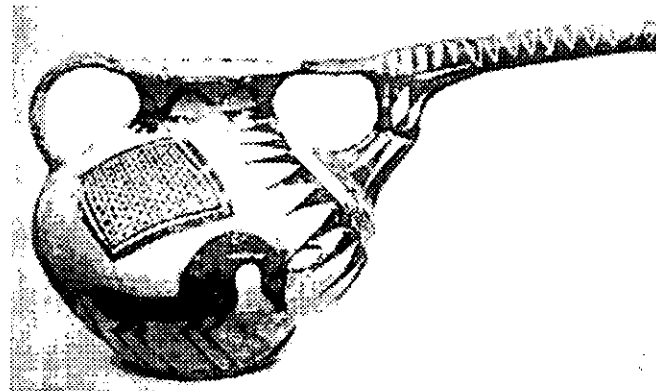


Fig. 1.24 Vasija con caño de uso ritual. Sialk, Persia. 800 a.C. British Museum, Londres.

introdujo modificaciones en los apéndices (asas, cuellos, vertederos, bases, etcétera), y dedicó especial preferencia a la decoración de las superficies, con incisiones más o menos profundas, con impresiones, por medio del usos de otros colores, que peinó y pulió.

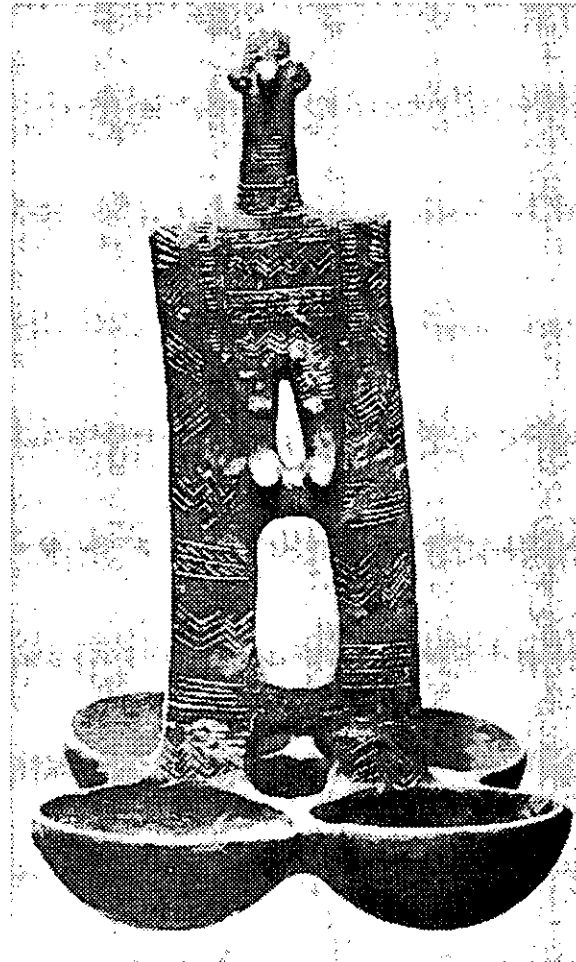


Fig. 1.25 Vasija múltiple probablemente para usos rituales. Chipre. 2,000 a.C. Museo de Chipre, Nicosia.

La cerámica común es muy probable que se preparara en la misma casa, casi siempre a cargo de mujeres, en tanto que las formas más complicadas las realizaron artesanos. En cualquier caso, no cabe duda que la cerámica propició la especialización del artesanado y que muchas de sus obras tuvieron amplia difusión, lo cual nos proporciona un testimonio más de las actividades comerciales de la época.”¹¹

Figurillas de la fertilidad o usadas con fines religiosos continuaron produciéndose con arcillas endurecidas por el fuego, y muchos otros tipos de piezas, como: modelos de casas, juguetes, herramientas varias, ejes para telares, etcétera. En algunos casos, la cerámica cruda o de baja temperatura fue marcada con inscripciones o notaciones que bien podían constituir reportes de transacciones económicas y que pueden ser ligadas al descubrimiento de la escritura. Tabletas cuneiformes del 4,000 a.C. hechas con arcilla, y que fueron quemadas accidentalmente o intencionalmente, se convirtieron en libros “permanentes” del conocimiento y de las actividades de la época.

La alfarería es vista como parte del complejo tecnológico del Neolítico, el conjunto de herramientas y contenedores para cocinar y almacenar se asocian con la manufactura y los usos y aplicaciones que propiciaron cambios en el sistema de vida, cambios en algunos casos, dramáticos. Los descubrimientos tecnológicos realizados bajo la producción de la cerámica durante este período, establecieron fundamentos en otras tecnologías como la metalurgia, los ladrillos arquitectónicos y la ingeniería.¹²

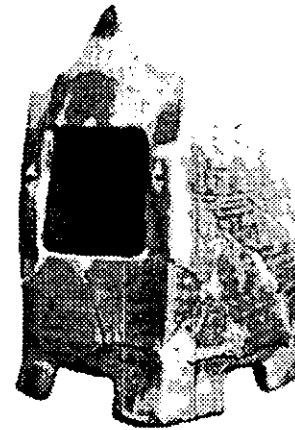
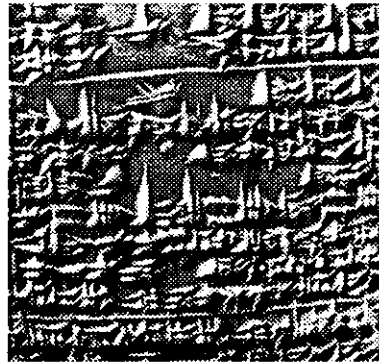
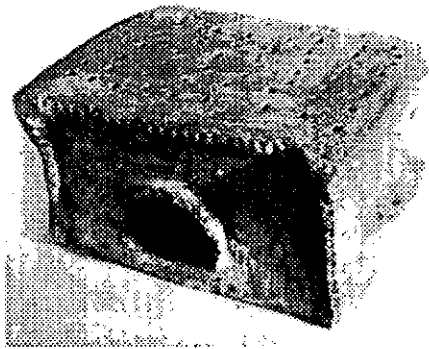


Fig. 1.26 Calentador.
Pompeya. (izq.).

Fig. 1.27 Tableta con la fórmula
de un vidriado de plomo-cobre.
Irak. 1,700 a.C. British Museum,
Londres. (cent.).

Fig. 1.28 Urna funebre en forma
de casa. Palestina. 3,500 a.C.
Museo arqueológico de Palestina,
Jerusalem. (der.).

El uso arquitectónico fue ampliamente conocido desde muy temprano en todas las áreas del cercano Oriente (7,500 a.C.), la arcilla era usada sola o mezclada con paja en adobes para la construcción de paredes de casas permanentes, o como mortero para unir bloques de piedra en paredes, pisos y techos. Los tabiques de adobe, que han sido usados durante miles de años, comenzaron a emplearse en el área de Zagros entre el 7,500 y 6,300 a.C., y eran formados en moldes y secados al sol. Aunque con una mayor antigüedad, los tabiques cocidos fueron probablemente utilizados regularmente hasta el 1,500 a.C.

En Mesopotamia (aproximadamente 4,000-3,500 a.C.), en la cabecera del golfo Pérsico, Sumer se transformó en la primera ciudad y principal centro de cerámica. En esta zona, la piedra era rara y se hicieron ladrillos para construir ciudades, se decoraron tabiques y azulejos con vidriado de plomo que se hacía blanco opaco por la adición de óxido de estaño, dichos elementos arquitectónicos se utilizaron con gran efecto en las entradas y puentes de Babilonia.

Hacia el 1,500 a.C., las tres características más importantes de la manufactura de la cerámica, del mundo antiguo y moderno, artesanal o industrial, habían sido desarrolladas en el cercano oriente: el uso del horno, el torno de alfarero y los vidriados, lo cual influiría de manera determinante en la labor del artesanado, que ahora podría cubrir de manera más eficaz la demanda de las poblaciones. Pasar de las fogatas al uso de los hornos permitió un mayor control de la temperatura y del proceso de

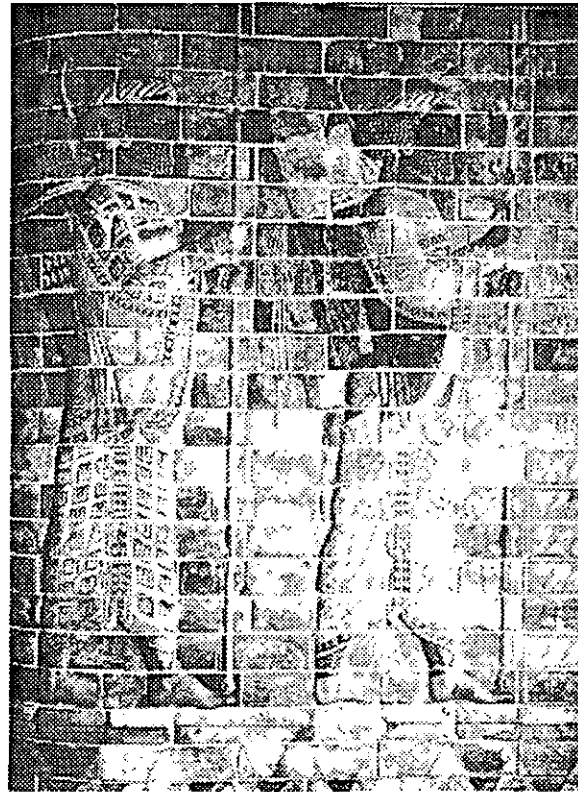


Fig. 1.29 Friso de los arqueros reales aqueménides. Palacio de Atajerjes, Susa. 405-359 a. C. Museo de Louvre, París.. (izq.).

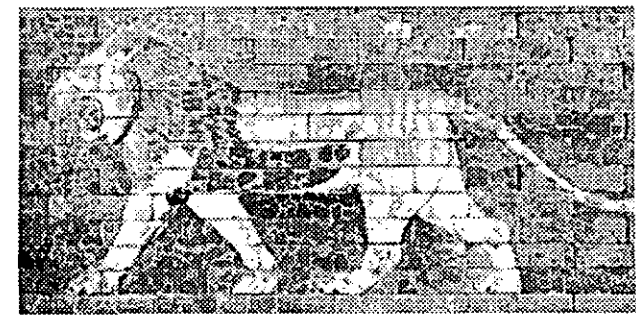


Fig. 1.30 León de ladrillo esmaltado. Babilonia. Museo de Louvre, París.. (der.).

quema, así como un mejor aprovechamiento de los energéticos, tal control de la temperatura contribuyó posteriormente a los principios de la metalurgia del bronce y la manufactura del vidrio. Varios hornos son conocidos desde 7,000 a 5,000 a.C., pero sin duda, fueron los hornos chinos los que alcanzaron un gran desarrollo, gracias a lo cual pudieron producir cerámicas de alta temperatura, obteniendo así, materiales más resistentes que permitieron una aplicación más variada de los materiales cerámicos. Los tornos de alfarero (3,500 a.C.) permitieron la producción de más y mejores piezas de usos varios. Los vidriados, y particularmente el conocimiento de como elaborarlos, datan del 4,000-3,1000 a.C. provenientes de Egipto, sin embargo, a pesar de que fueron aplicados sobre las superficies de ladrillos y azulejos con fines decorativos, sólo hasta mucho tiempo después fueron utilizados para impermeabilizar las piezas porosas, logrando de tal manera, poder almacenar productos líquidos.

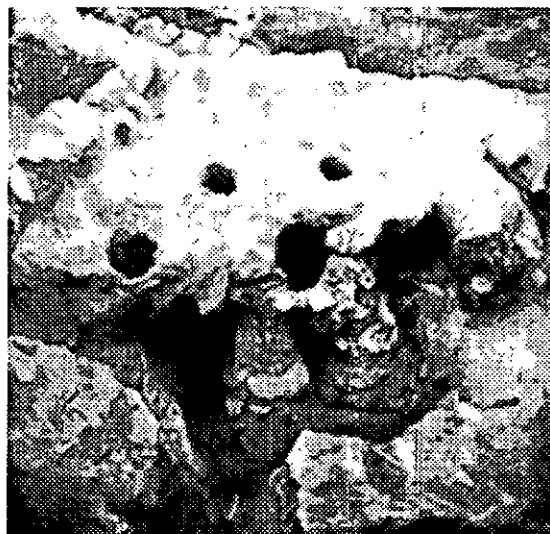
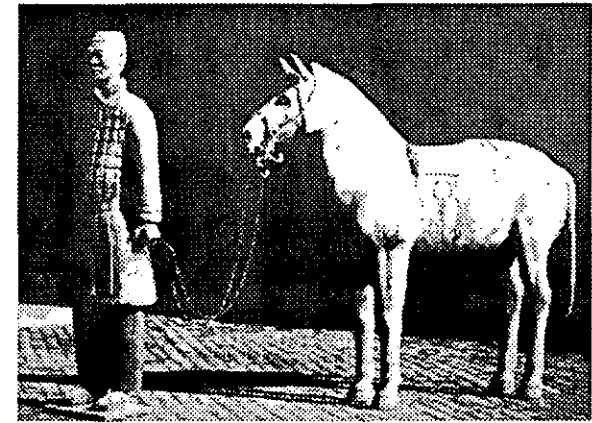
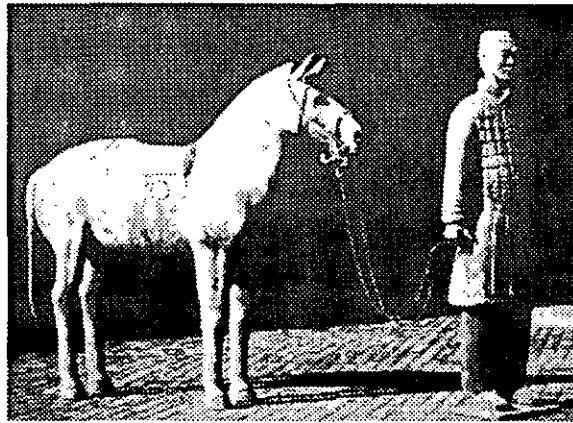


Fig. 1.31 Horno vertical.
Palestina. 2,900-2,800 a.C.

La cerámica en el lejano oriente tuvo siempre un gran progreso, llevando la aplicación de la cerámica no sólo a terrenos utilitarios, uno de los más sorprendentes que se han encontrado hasta la fecha son las 7,000 figuras de terracota de tamaño natural desenterradas cerca de Xian, antigua capital china. Estas piezas enterradas alrededor del año 200 a.C. con el primer emperador Ch'in Shih Huang-ti, son representaciones estilizadas y a la vez realistas de verdaderos guerreros, sirvientes y caballos reales. Se cree que, en este caso, al emperador le acompañarán en su tumba las efigies de barro de su séquito. ¹³. Otro ejemplo mágico-simbólico, aunque de menor magnitud, es la porcelana de celedón (960-1279) que era reconocida no sólo por su belleza, sino también por

Fig. 1.32 Guerrero con caballo,
tumba del emperador
Ch'in Shih Huang-ti.
China. 221-207 a.C.
Oficina de reliquias culturales,
Pekin.



sus supuestos poderes mágico-curativos, ya que se creía que si los medicamentos eran preparados en un recipiente de celadón, tendrían mayor poder de curación.

Si bien, en América, no se dieron los adelantos tecnológicos que en Europa y Asia, la calidad artística de sus piezas es indiscutible, gran parte de ellas elaboradas para usos ceremoniales. Su cerámica utilitaria incluía husos o herramental para hilados de fibras de algodón, plomadas para redes de pesca, pipas para fumar e instrumentos musicales como silbatos, tambores y flautas.¹⁴

A lo largo de la historia de la cerámica, ésta ha encontrado por sus características físicas y químicas, diferentes campos de aplicación; en la actualidad, otros materiales, por ser más baratos y más durables, han ido sustituyendo el uso de la cerámica en la fabricación de algunos objetos sin lograr desplazarla del todo. Hoy, la cerámica se abre campo en otras áreas, como: la ingeniería, la electrónica, los refractarios, las biocerámicas, en usos químicos, etcétera, pero sigue siendo utilizada en el mismo tipo de objetos que la vieron nacer hace varios miles de años, uno de ellos en particular, la capacidad de resistir la temperatura, sigue dándole su razón de ser en aplicaciones que han sido producto de las nuevas tecnologías.

Forma y material

De acuerdo a sus necesidades, el hombre construyó objetos para satisfacerlas, la solución formal que dio a cada uno dependió de diversos factores, uno de ellos fue sin duda el material usado. Si inicialmente los trató de construir de manera similar, poco a poco comprendió que las formas tenían que obedecer a la naturaleza del material, que presentaba características propias que lo distinguían de los demás. Las piezas cerámicas se fueron diferenciando entonces de las realizadas con madera, piedra o metal.



Fig. 1.33 Vasija. Arcilla cocida. Mortlake, Inglaterra. Neolítico. British Museum, Londres. (izq.).

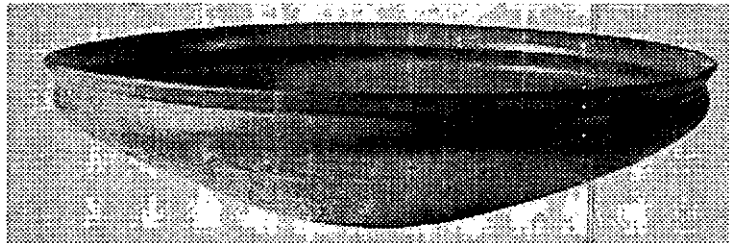


Fig. 1.34 Cuenco. Barro bruñado. Meydum, Egipto. IV-V dinastía. Aproximadamente 2,600-2,000 a.C. Colección Petrie, University College, Londres. (der.).



Fig. 1.35 Vaso con asa. Cultura megalítica. Girona. Museo Arqueológico de Barcelona. (izq.).

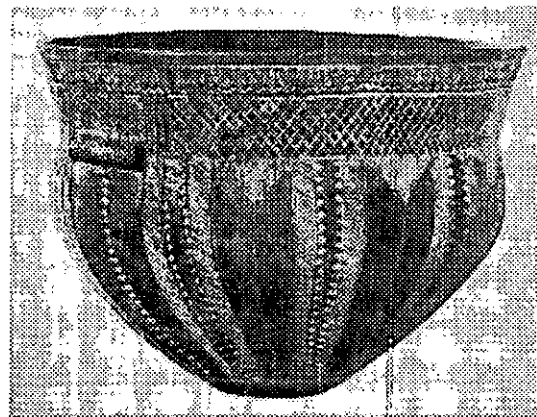


Fig. 1.36 Vasija de Skarpsalling. Aproximadamente 2,000 a.C. Museo Nacional de Copenhague. (der.).

Las primeras piezas que se elaboraron fueron toscas y con pocos detalles, ello respondía a dos condicionantes: su manufactura era aún muy elemental y el material era usado tal cual se obtenía sin pasar por ningún proceso de limpieza. A medida que se purificaron las arcillas encontradas y se perfeccionaron sus métodos de modelado, pudo entonces realizar piezas más finas y con más detalle.

Al combinar las arcillas con otros materiales, generó no solamente diferentes tipos de cerámicas, sino también concibió formas que respondieron a cada tipo. Si los barros superficiales resultaban ser frágiles aun después de la quema, elaboró piezas con paredes más gruesas que le ayudaron a salvar esta situación. Con la aparición de la porcelana, pudo reducir sustancialmente los espesores gracias a la dureza que este material poseía, logrando con ello conseguir piezas de tal delgadez que podían ser translúcidas. Mientras que el gres, pasta también de alta temperatura al igual que la porcelana, y por lo tanto muy dura, mantuvo espesores mucho menos estrechos dada la apariencia de roca que tenía.

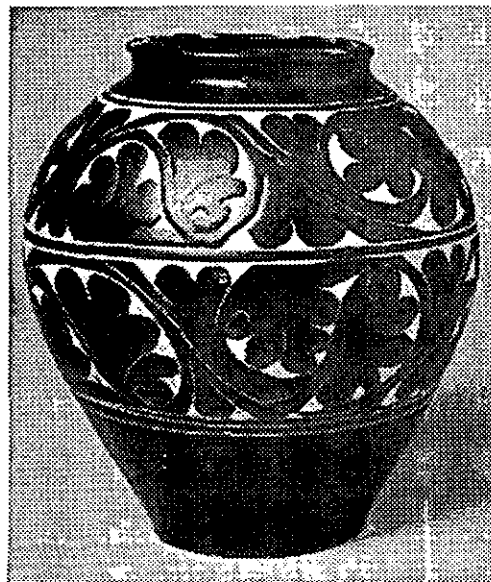


Fig. 1.37 Recipiente de gres
Cizhou. China
Siglo XII-XIII. (izq.).

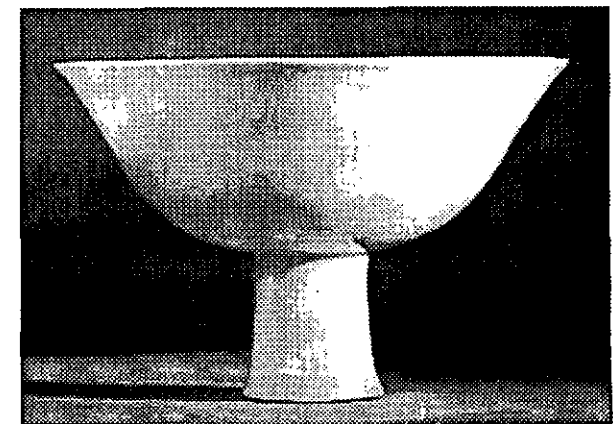


Fig. 1.38 Taza blanca con pie.
Porcelana. 1403-1424. (der.).

Las respuestas formales que se han dado para cada cerámica son innumerables, en ellas hay diferencias, pero también coincidencias, la más importante es la inclinación general a la elaboración de piezas carentes de aristas pronunciadas y líneas que tienden a la redondez, esto pudo haberse dado ya sea por el procesamiento manual de las piezas, o por la aparición del torno como instrumento básico de producción; pero esta forma que finalmente percibió el hombre del material, a través del continuo trabajo con él, hoy sabemos que en las cerámicas tradicionales resulta conveniente para prevenir tensiones en las partículas de las arcillas, que pueden provocar roturas.

Desde la pieza más sencilla hasta la más compleja, realizadas con fines prácticos, artísticos o técnicos, con sus diferencias y sus coincidencias, la transformación de las arcillas mediante la mezcla con otros materiales, ha tenido un papel evidentemente relevante en la respuesta formal que el hombre ha dado, a través del tiempo y de su cultura, a cada tipo de cerámica.

La cerámica y el diseño

Movido por sus necesidades, el hombre presentó siempre un deseo manifiesto de dar forma a aquellos utensilios que le permitían desarrollar su vida diaria, de manera incipiente y con el poco conocimiento que tenía a su mano, configuró dichos utensilios. Esta actividad requirió de un continuo acercamiento hacia los materiales que utilizaba para tal propósito.

Así, tanto la cerámica como el diseño, en su forma más elemental, fueron evolucionando conjuntamente, en ocasiones el material delimitó el camino por el cual el diseño debía seguir, pero el hombre no se limitó nunca a ello. La necesidad y el deseo de crear determinadas formas lo llevó al mejoramiento de los materiales que la naturaleza le ofrecía; las arcillas fueron transformadas mediante la adición de otros materiales, que le dieron una más amplia gama de posibilidades de uso.

Poco a poco, el hombre fue aprendiendo el oficio de artesano-ceramista, y con ello, los “secretos” para transformar la arcilla en objetos, esto demandó de él, un conocimiento que sólo podía ser adquirido mediante la práctica directa con el material; entendiendo el lenguaje de éste, sería realmente capaz de generar mejores productos. El diseño de objetos a través de la práctica artesanal permanecería durante un muy largo período, y fue gracias a ella que surgieron, entre muchos otros materiales: el gres y la porcelana en Asia, los lustres y las cerámicas blancas al estaño en los países islámicos, y se perfeccionaron además una gran cantidad de esmaltes que permitieron el uso exhaustivo de la cerámica.

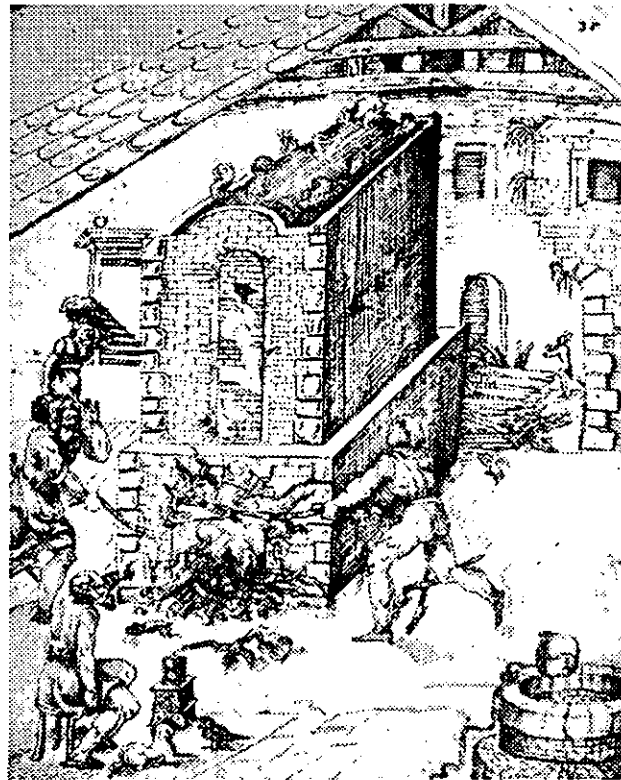


Fig. 1.39 Grabado.
Tratado de alfarería.
Cipriano Piccolpasso.
Siglo XVI. (izq.).

Fig. 1.40 Dibujo.
Li Tre Libri dell' Arte del Vasaio.
Cipriano Piccolpasso. Siglo XVI.
Victoria and Albert Museum,
Londres. (der.).



En Europa, la búsqueda incesante de otros materiales, llevó a redescubrir en el siglo XVIII de manera azarosa, la forma de elaborar porcelana (11 siglos después que en China), la cual había sido traída de Asia en el siglo XIII. El rey de Sajonia, Augusto el Fuerte, hizo encarcelar en 1704 al joven alquimista Johann Friedrich Böttger, ordenándole sacar oro de materiales más baratos. Después de fallidos intentos y ponerse bajo las órdenes del físico Count von Tschirnhaus, Böttger dio el primer paso en 1707 al mezclar un barro refractario con materiales fundentes y someterlos a altas temperaturas, logrando obtener con ello, un gres rojo que hasta ese momento había sido importado de China, Inglaterra o Deft. Este hallazgo le dio la llave para llegar a redescubrir la porcelana, la que finalmente logró desarrollar en 1708 al sustituir el barro por una arcilla de color blanco, este descubrimiento dio lugar al establecimiento de la fábrica de Meissen en 1710. La reproducción de la porcelana se daría 30 años después en Sèvres a manos de P.J. Macquer y dos años más tarde en Inglaterra con William Cookworthy. La aparición de esta cerámica permitió al continente europeo, imprimir un estilo propio en el diseño de piezas utilitarias y decorativas.

El desarrollo de la llamada pasta crema en Inglaterra, aunada a la introducción de nuevas tecnologías y distintos métodos de trabajo, llevaría a la posterior industrialización de la cerámica en Staffordshire bajo la dirección de Josiah Wedgwood, hecho considerado por algunos especialistas como el primer gran paso de la Revolución Industrial. Nacido en 1730 y aprendiz de ceramista desde los 14 años, Wedgwood abrió su propia factoría en 1759 uniendo a varios artesanos de la región, después de haber estado asociado con Thomas Whieldon con quien desarrollo importantes avances técnicos.

Wedgwood tiene particular importancia para la cerámica en Europa, ya que éste, al detectar la gran demanda de vajillas y artículos decorativos por parte de la población, se dio a la tarea de perfeccionar el torno de alfarero, construir hornos más grandes y eficientes, mejorar los procesos de moldeo por prensado y vaciado, lo cual le hizo a su vez investigar y perfeccionar sus pastas y vidriados, todos estos adelantos le llevaron a obtener en 1764 el patrocinio de la reina Charlotte, rebautizando así a sus productos como "Cerámica de la Reina".

Para el diseño, Josiah Wedgwood adquiere también un interés relevante, ya que fue uno de los primeros en establecer una relación entre esta disciplina con los centros masivos de producción. "Para Wedgwood el proceso de diseño era claro: en los artículos destinados a los niveles superiores del mercado, Wedgwood indicaba a los artistas el tipo de objeto que deseaba producir. Éstos realizaban bocetos que posteriormente eran convertidos en modelos terminados en yeso. Cuando eran aprobados, se usaban como primera pieza, para la producción en serie. Si el objeto estaba pensado para las clases bajas, entonces Wedgwood se encargaba personalmente del diseño y dejaba que dibujantes contratados ex profeso eligieran la mejor decoración, usualmente inspirándose en libros de patrones que el mismo Wedgwood ponía a su disposición".¹⁵

Desafortunadamente la visión de Wedgwood no era el común, con la Revolución Industrial, el artesanado fue absorbido por los medios fabriles y la visión integradora que éste tenía se desvaneció al generarse otro tipo de organización que dio lugar a la división del trabajo y que inevitablemente llevó a la superespecialización. El conocimiento se había fragmentado; ahora una persona preparaba el material, otra producía las piezas y otra las decoraba o las esmaltaba. Nuevos productos aparecerían en el mercado, sin embargo, habían cambiado los medios de producirlos, pero no la forma de ellos. Las nuevas industrias generaban objetos fabriles considerando solamente la solución de los aspectos técnicos, el resultado estético solía ser bastante desafortunado, se intentó entonces hacer uso de "adornos" para darle el carácter artesanal ya perdido, pero el resultado era igual de lamentable. La industria había separado el diseño y el arte de la manufactura.



Fig. 1.41 Producción industrial.
Un torneador ayudado
por un muchacho,
elabora el pie de una pieza
de Worcester Co.

En el siglo XIX consciente de “la brecha existente entre la industria y el artista o diseñador”,¹⁶ y con el propósito de dignificar los objetos producidos industrialmente, Henry Cole, funcionario civil inglés y precursor del diseño industrial, emprende junto con un grupo de seguidores, un proyecto de mejoramiento de los productos industriales, considerando a la cerámica como un medio para ello. Al respecto, Sigfried Giedion nos dice:

“Con la esperanza de llegar así a la raíz del mal, quiso formar y reformar la producción; como él decía: <Una alianza entre arte y fabricante promovería el gusto del público.> En pocos años convenció a destacados industriales de alto nivel: la famosa Coalbrookdale Iron Works, primera empresa siderúrgica en gran escala y constructora del primer puente de hierro (1775-1779); la Wedgwood Potteries, en cerámica; Hollands, en mobiliario, y Christie’s, en vidrio.

Para continuar su plan, Henry Cole necesitaba un apoyo social. La Society of Arts (su nombre completo era Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce) había patrocinado concursos desde que la fundara el pintor William Shipley en 1754, y en 1845 ofreció un premio para la “producción de un servicio de té y jarras de cerveza para uso corriente” .

El premio recayó en Felix Summerly, seudónimo artístico y literario de Henry Cole. Su servicio de té consiguió una popularidad enorme y, según me informa el secretario de la Sociedad, hoy (1948) sigue siendo fabricado por la misma firma de siempre, Minton and Company. Para el ojo moderno, este servicio no ofrece nada de particular, pero, bajo una visión histórica, conmemora el inicio de la reforma del XIX. A Henry Cole le facilitó el estímulo para unos planes nuevos y de mayor alcance.”¹⁷

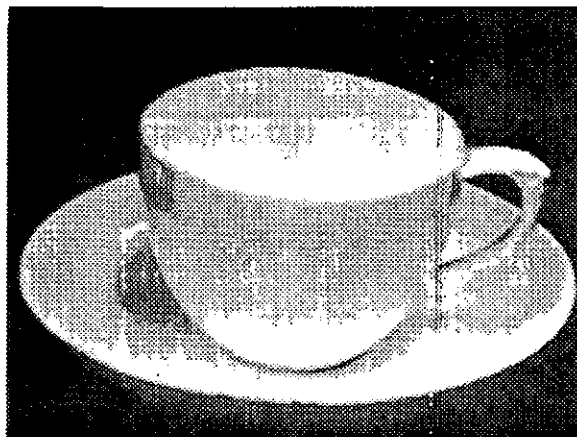


Fig. 1.42 Taza y platillo de té. Barro cocido blanco. Felix Summerly (Henry Cole), fabricado por Mintons Co. Aproximadamente 1846. Victoria and Albert Museum, Londres.

Cole organizó en 1851, bajo el patrocinio de la corona, la primera Gran Exposición Industrial en el Palacio de Cristal en Londres, en ésta quedaría constancia de los grandes avances tecnológicos de la época, pero también se pudo exhibir lo mal logrados que resultaban ser los objetos producidos industrialmente. Esta experiencia llevó posteriormente a varios grupos de intelectuales, artistas e industriales a sentar las bases para la aparición del diseño industrial. William Morris y su movimiento del "Arts and Crafts", bajo la influencia del intelectual John Ruskin, fue sin duda el más relevante de ellos. Morris reconsideró a los medios de producción artesanal, y con ellos definió los principios del diseño industrial al reconocer las posibilidades estéticas de los objetos, y "en su intento por influir directamente sobre las degradadas condiciones de vida de su país, y ofrecer unas mayores oportunidades sociales desde las cuales realizar la transformación de la sociedad, destacó también por primera vez el interés social de que el producto industrial podía ser portador".¹⁸

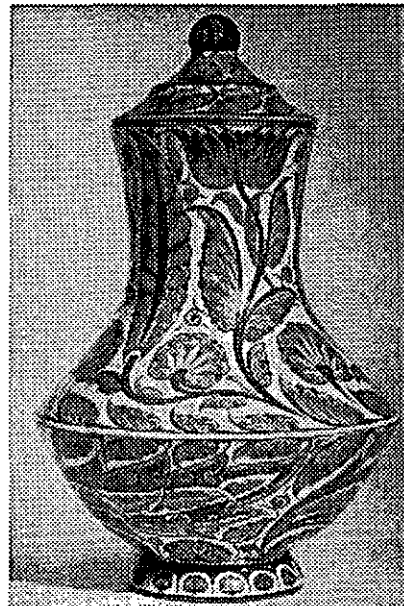


Fig. 1.43 Tarro pintado
en colores tipo persa.
William de Morgan. 1890.

El ceramista más cercano a este movimiento fue William de Morgan, quien trabajó con Morris en la búsqueda de un nuevo vocabulario de diseño en la cerámica. De Morgan tuvo mayor interés por la decoración que por la forma y realizó aportaciones a la cerámica de la época en el área de la utilización de colores de lustre y colores bajo vidriado, basándose particularmente en los lustres islámicos e hispanomoriscos, y su uso en azulejos decorativos y jarrones.

Después del movimiento de Arts and Crafts, y en la búsqueda de una identidad propia, el diseño ha presentado momentos especiales que han dejado una fuerte influencia en la cerámica, particularmente en la industrial, de ellos quiero destacar las propuestas realizadas por Henry Van de Velde (1863-1957), importante representante del Art Nouveau y claro

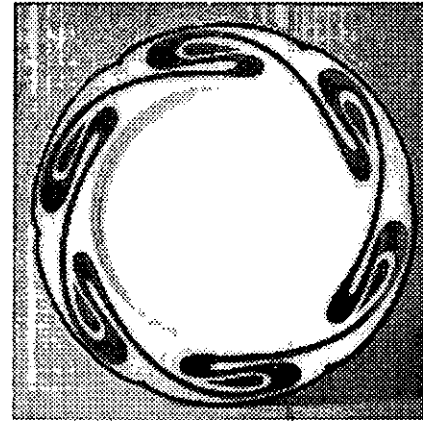
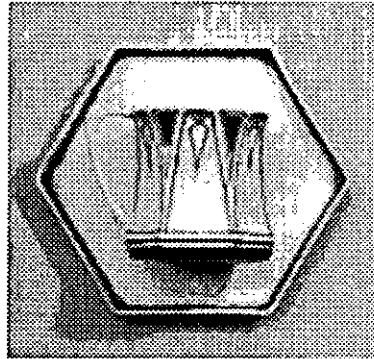
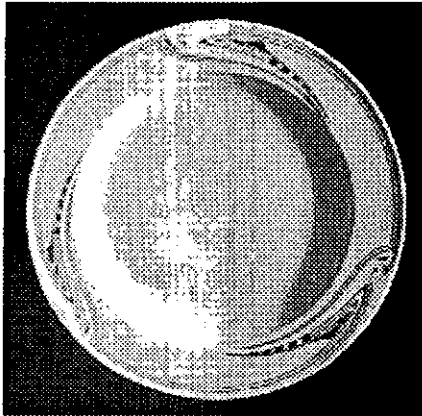


Fig. 1.44 Plato. Porcelana de Sajonia. Henry van de Velde. Col. particular, Munich. (izq.)

Fig. 1.45 Piezas de vajilla. Porcelana. Peter Behrens. Weiden, Hnos. Bauscher. Germanisches Nationalmuseum, Nuremberg. (cent.).

Fig. 1.46 Plato. Gres. Peter Behrens. Villeroy & Boch, Mettlach. Munich. 1898. Col. particular, Munich. (der.).

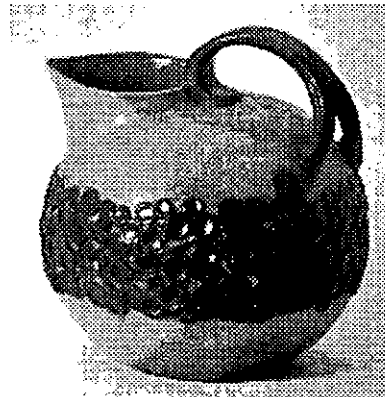
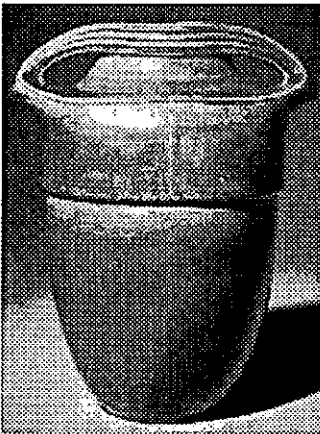


Fig. 1.47 Jarrón. Gres. Henry van de Velde. Weimar. 1902-1904. Col. particular, Munich. (izq.).

Fig. 1.48 Jarra. Gres. R. Riemerschmid. Munich. 1902. Col. particular, Munich. (cent.).

Fig. 1.49 Jarra. Gres y estaño. R. Riemerschmid. Villeroy & Boch, Mettlach. Munich. 1900. Col. particular, Munich. (der.).

precursor del diseño industrial; bajo esta misma corriente, pero con el nombre de Jugendstijl, Richard Riemerschmid (1868-1957) y Peter Behrens (1868-1940), considerado el primer diseñador industrial profesional de la historia por su labor en la AEG (Sociedad General de Electricidad) en Alemania, y quien finalmente sintetizó el sentido estético con las necesidades de la industria, logrando el racionalismo en la forma. Todos ellos, sin ser los únicos por supuesto, con una visión cada vez más cercana a lo que hoy conocemos como diseño industrial, realizaron propuestas de piezas cerámicas para diferentes firmas industriales, reflejando el espíritu de esta actividad, y al mismo tiempo, un profundo entendimiento del lenguaje propio del material.

Como culminación de todos los esfuerzos realizados anteriormente, en 1919 bajo la dirección de Walter Gropius, nace la escuela de diseño Bauhaus en Weimar, en la cual le es dado el carácter de disciplina académica al diseño industrial.¹⁹ Para la Bauhaus el trabajo con los materiales fue fundamental, por lo que la enseñanza de éstos se impartió desde el Vorkurs, curso básico dirigido por el artista suizo Johannes Itten. "El fin principal de la didáctica de Itten era la captación de las propiedades de los materiales más diversos, comprender su naturaleza y estructura, la diferencia entre uno y otro, y por lo tanto, la relación, las posibilidades de combinación de las formas. Por lo tanto, se asignaba un amplio espacio a la manipulación de las diversas materias".²⁰

La Bauhaus estableció su taller de cerámica en Dornburg (a 25 millas de Weimar), región con una fuerte tradición ceramista, contando con la participación de destacados artistas como Otto Lindig, Margarete Friedländer y Theodor Bogler. Cuando la Bauhaus fue trasladada a Dessau en 1925, el taller permaneció en Dornburg bajo la eventual dirección de Otto Lindig, quien continuaría preservando la ideología de la Bauhaus de la superioridad de la forma sobre el decorado. La influencia de la Bauhaus, no solamente alcanzó a las escuelas de diseño industrial que se fundaron posteriormente a ésta, sino que también influyó, por medio de los trabajos desarrollados en su taller, en el diseño de la cerámica del resto de Europa.

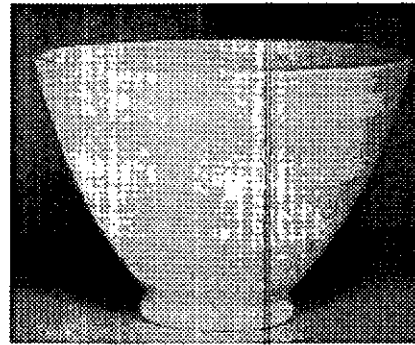
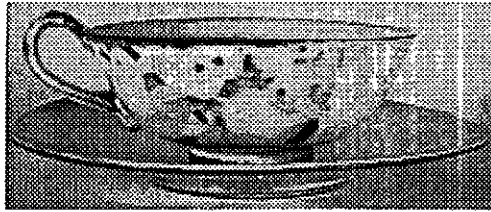
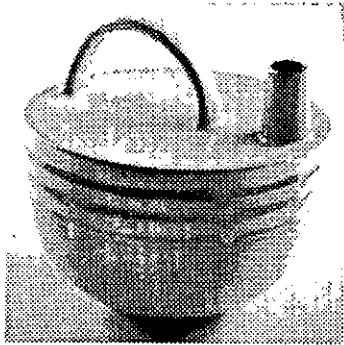


Fig. 1.50 Tetera. 1923.
Theodor Bogler. (izq.).

Fig. 1.51 Taza y plato. 1923.
Otto Lindig. (cent.).

Fig. 1.52 Tazón. 1953.
Influencia Bauhaus.
Keith Murray para Wedgwood &
Sons, Inglaterra. (der.).

En México, el diseño industrial como disciplina académica, surge en la Universidad Iberoamericana a nivel técnico en el año de 1959, en donde es llamado a participar como profesor Horacio Durán, quien posteriormente bajo la filosofía de la Bauhaus, así como de la escuela de ULM y el instituto de Chicago, fundaría la carrera de diseño industrial dentro de la Universidad Nacional Autónoma de México en 1969. Para nuestro querido maestro, la práctica directa con los materiales tuvo también una importancia relevante, por lo que al establecer el plan de estudios, consideró la necesidad de contar con diferentes talleres de materiales, uno de ellos fue el de cerámica. Dentro de este ámbito, Alberto Díaz de Cossío, precursor de la cerámica de alta temperatura en la Ciudad de México y con una amplia experiencia en el campo del diseño artesanal, ha colaborado impartiendo cursos relacionados con esta área, en el hoy llamado Centro de Investigaciones de Diseño Industrial. Una muestra de la labor desarrollada en éste, y que ha constituido una contribución importante al desarrollo del diseño en México, han sido las tesis: "Aportaciones del diseño industrial a un taller de cerámica de alta temperatura en la zona tarahumara" de Alberto Gisholt y Enrique Villafaña, "La alfarería de los mayo de Capomos" de Cecilia Solis, o bien, el diseño de vajilla realizado para el taller de alta temperatura en Calkini por Marta Ruíz durante su servicio social.

Sin embargo, a pesar de que estos esfuerzos han sido orientados a hacer alguna aportación al diseño, es verdad que aún no se ha logrado penetrar del todo dentro de la industria cerámica, la cual además, no ha sabido o no ha querido recoger la invaluable tradición de la cerámica artesanal, la que en contraposición a ésta si ha trascendido a nivel internacional. En tal sentido, cabe reflexionar acerca de la importancia cultural que puede tener un objeto artesanal, y retomar de él los elementos que nos puedan ayudar a enriquecer la práctica del diseño industrial, actividad proyectual capaz de conjuntar ciencia, arte y tecnología para determinar las propiedades formales de los objetos,²¹ y medio de enlace entre la industria y el usuario, que combina conocimientos acerca de los materiales y los medios de producción con factores ergonómicos, funcionales, estéticos, económicos, sociales y culturales, en la resolución de las necesidades del hombre.



Fig. 1.53 Botella. Gres.
Alberto Díaz de Cossío. México.

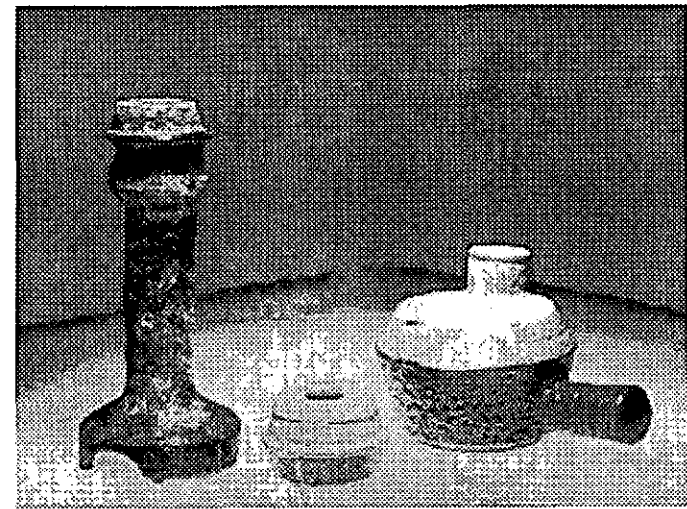


Fig. 1.54 Piezas varias. Gres.
Horacio Durán. México.

Capítulo II

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 prácticamente listos para ser usados, agregando a ellos solamente agua para poder modelarlos. Cabe aclarar que tanto la palabra cerámica del griego keramicós 'hecho de arcilla', derivado de kéramos 'arcilla';² y alfarería del árabe fahhâr 'alfarero',³ cuyo significado se refiere a la persona que se dedica a hacer vasijas de barro cocido,⁴ tienen per se la misma equivalencia, ya que el barro es también un arcilla, sin embargo, "en la actualidad algunas personas usan la palabra cerámica para referirla a los objetos elaborados con pastas industriales (blancas) y tratan de limitar lo alfarero a los objetos hechos con barros morenos o rojos".⁵

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 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 Feldespato ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ó $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) contienen como elemento común al Sílice.

Estructura de una pieza cerámica

Previamente a revisar los tipos de cerámica que existen, es importante diferenciar las partes que pueden conformar a un producto cerámico. Si realizamos un corte a una pieza, de acuerdo al diagrama siguiente, tenemos:

1. Pasta o cuerpo cerámico.
2. Vidriado o esmalte cerámico.
3. Elementos decorativos.

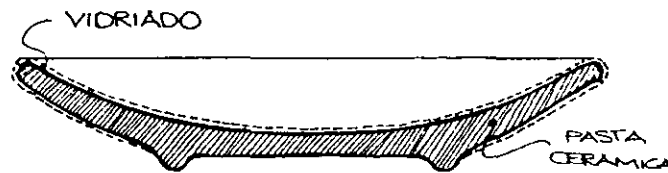
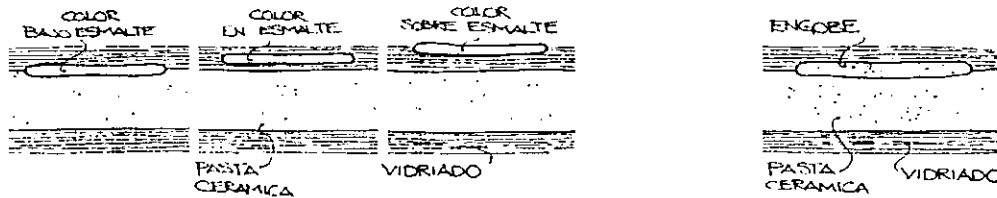


Fig. 2.1 Corte de una pieza cerámica.



Figs. 2.2 Secciones de una pieza cerámica con elementos decorativos.

- **1. Pasta o cuerpo cerámico.** Es la parte esencial y es la que constituye en sí a la cerámica, siendo el resultado de la combinación de diferentes materias primas minerales, entre ellas, la arcilla 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. Las primeras cerámicas que el hombre elaboró, fueron piezas realizadas únicamente de pasta cocida sin esmaltar, y hoy existen diversos productos con esa misma característica, como: los materiales refractarios, aislantes, de uso de ingeniería, piezas artísticas y piezas decorativas.

Fig. 2.3 HexWall™. Sistema modular para la construcción de paredes, usado en procesos químicos industriales. Blasch Precision Ceramics. USA. (izq.).

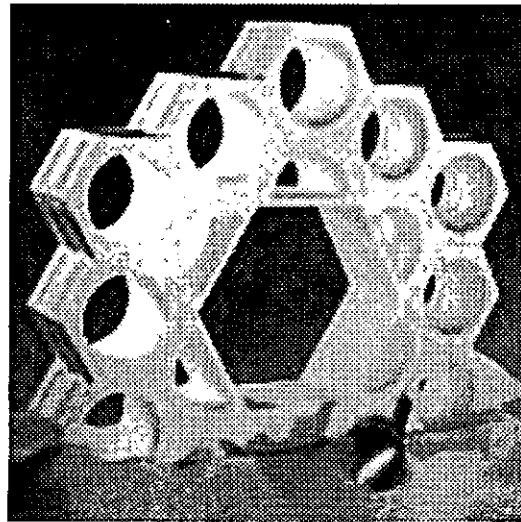
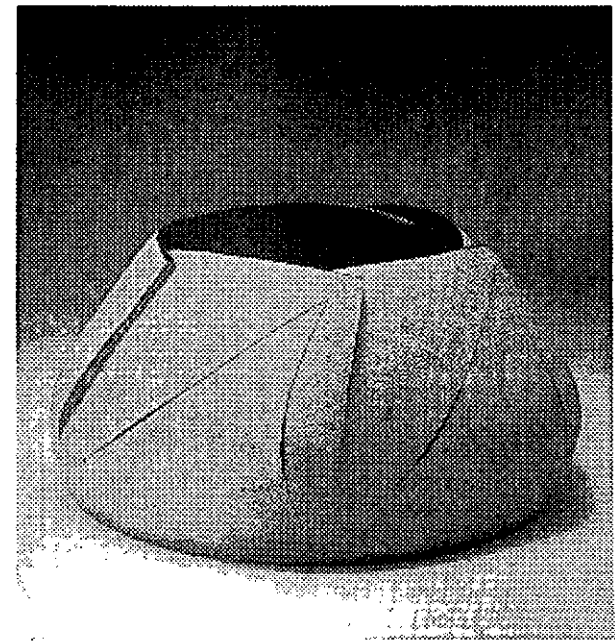


Fig. 2.4 Sin título, 1998 (vaso cortado). Barro de alta temperatura. Gustavo Pérez. (der.).



- **2. Vidriado cerámico.** 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, 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 vidriados son usados con fines prácticos (hacer a las piezas

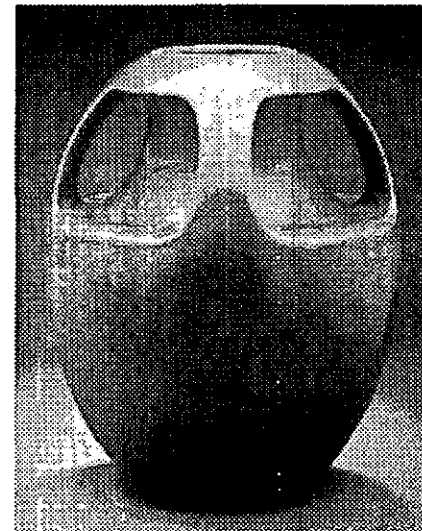
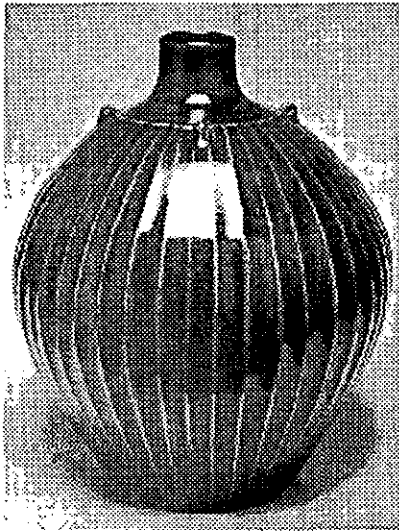


Fig. 2.5 Pieza de gres.
Bernard Leach. (izq.).

Fig. 2.6 Vajilla vidriado mate.
(cent.).

Fig. 2.7 Florero vidriado mate.
Fritz Albert para Gates Pottery,
Boston. 1910. (der.).

impermeables, inertes, más resistentes) o decorativos (hacerlas más agradable al tacto y a la vista). 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.

- **3. Elementos decorativos.** En términos funcionales, los elementos decorativos no son indispensables para las piezas cerámicas, pero como elementos de expresión sin duda poseen gran importancia, aun para la industria que requiere de ellos para poder ofrecer cierta diversidad en productos de una misma línea. Existe una gran variedad de técnicas decorativas y enumerarlas requeriría de un trabajo aparte; quiero tan sólo destacar a dos de ellas que considero son las más comunes, tanto en al área artística y artesanal como en la industrial:

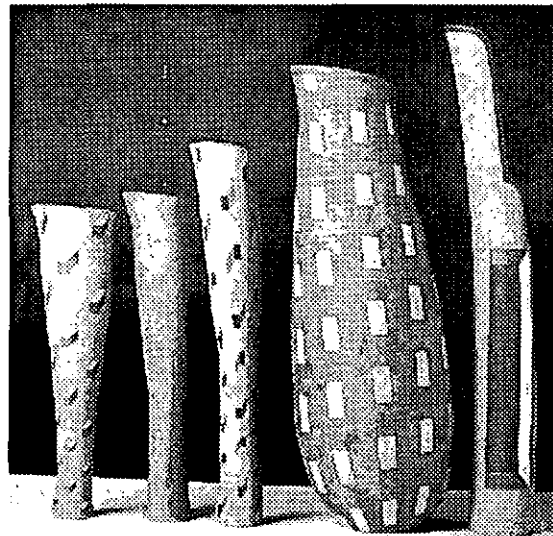


Fig. 2.8 Pieza de gres.
Decoración con engobes
de colores. (izq.).

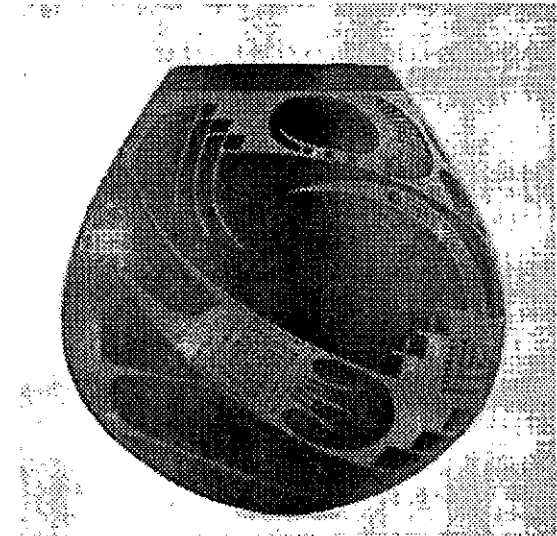


Fig. 2.9 Olla de barro rojo
bruñida y decorada con
engobe blanco.
Juan Quezada C. (der.).

A. Engobe. Es una capa delgada que puede cubrir total o parcialmente el cuerpo cerámico, su función principal es la de colorear. Los engobes están compuestos de preferencia por la misma pasta que constituye a la pieza a decorar, mezclada con óxidos colorantes y en algunos casos con adiciones de materiales fundentes; se aplican generalmente sobre pasta en dureza de cuero y mucho menos sobre la pieza en sancocho; y pueden recubrirse de esmalte si se desea, lo cual es poco común. "Las piezas más antiguas de cerámica se elaboraban con barro rojo, y se les recubría muy frecuentemente con engobes de arcilla roja más oscura, o bien, con

caolín de quema blancuzca o crema; el intenso bruñido a que frecuentemente se sometían, permitía impermeabilizarlas y al mismo tiempo otorgarles una textura lisa, casi vítrea (superficialmente). El aplastamiento y posición horizontal que toman las partículas de arcilla al ser pulidas prolongadamente con una media caña, varilla de hueso pulimentado o una piedra muy lisa, las reordena apretujadamente a la manera de las escamas de pez, lo cual hace posible la impermeabilización de la pieza".⁶

B. Colores. Su objetivo es meramente decorativo, se pueden aplicar bajo esmalte, en el esmalte (crudo) y sobre esmalte (cocido), logrando con ello diferentes efectos. Los colores son mezclas de óxidos metálicos o pigmentos con fundentes. La mayoría de las veces, son aplicados con pincel.

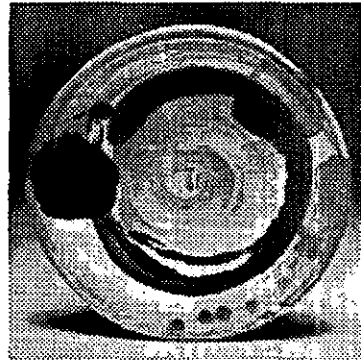


Fig. 2.10 Plato decorado con óxidos metálicos. Sandy Brown. (izq.).

Fig. 2.11 Plato Kutani. Porcelana. Japón. Siglo XVII. (der.).

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.

Félix y Sonja Singer proponen una clasificación general que se presenta en la Tabla No.3, y que comprende prácticamente a todos los tipos de cerámica, considerando la textura (de grueso a fino) y la densidad de éstos (de porosos a densos), y colocándolos de acuerdo a su composición en tres grandes grupos: pastas tradicionales, mejoradas y basadas en un solo componente.

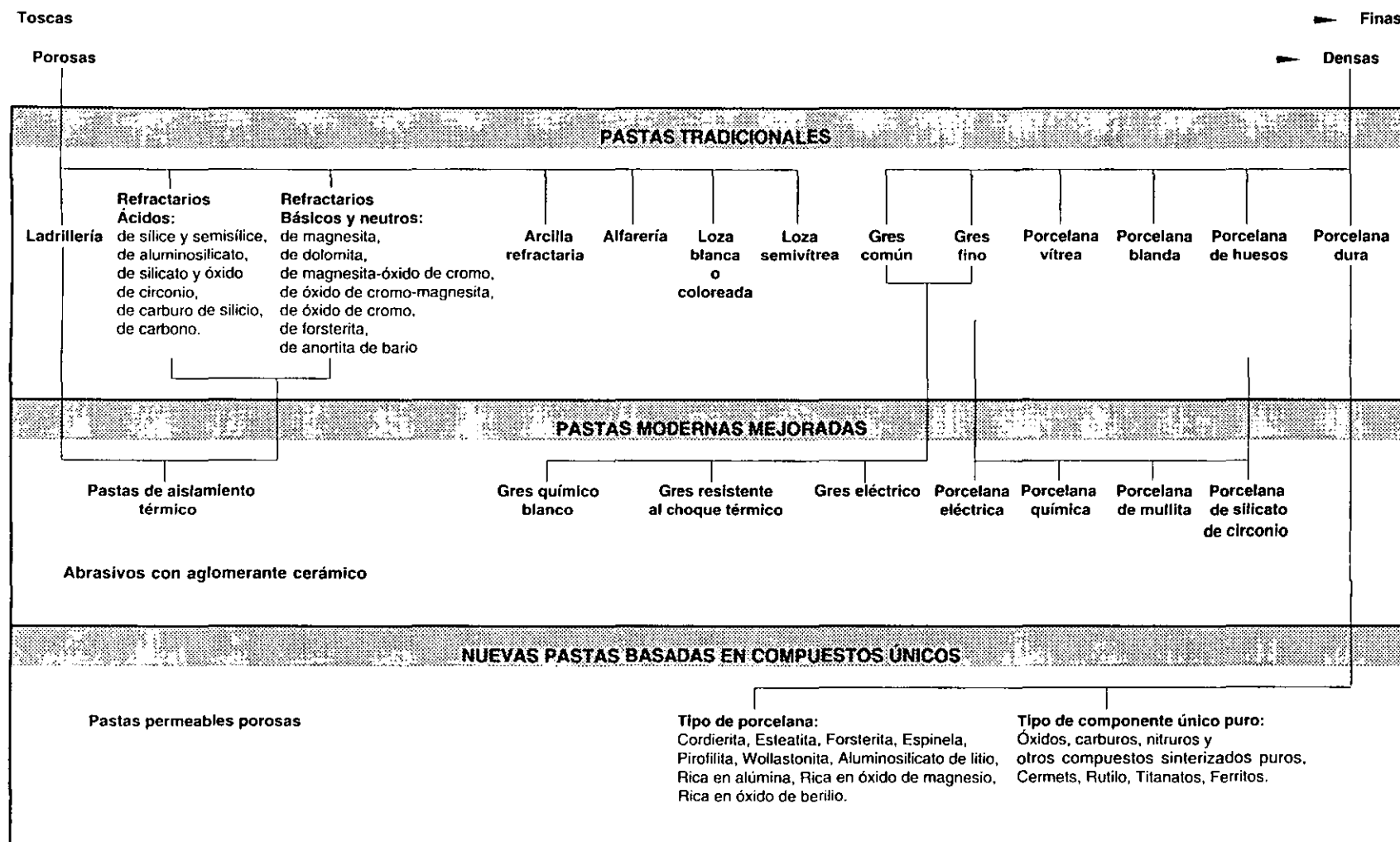


Tabla No.3 Clasificación de las pastas cerámicas.⁷

Grupo 1. Pastas tradicionales. Comprende a los cuerpos cerámicos cuyo componente principal es una arcilla o una mezcla de arcillas, la cual es combinada principalmente con sílice y feldespato; o bien, una arcilla por sí sola puede ser usada como materia prima única, lo cual es poco frecuente. Aun en las cerámicas artesanales más sencillas, las arcillas suelen estar combinadas con otros materiales, con los cuales pueden ser trabajadas más fácilmente. 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. Estas variaciones pueden ser tan sutiles, que la frontera entre una y otra puede no estar bien delimitada. Los cuerpos cerámicos pertenecientes a este grupo son:

- **Ladrillería.** Es un material poroso, tosco y de color, usado en la fabricación de ladrillos y preparado por los métodos más directos a partir de arcillas naturales.
- **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.** Pastas cuyo componente principal o único es el barro, son porosas, coloreadas y de poca resistencia mecánica. Se les 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, y 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 cerámica de alta temperatura en español, 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 vajilla de hotel.

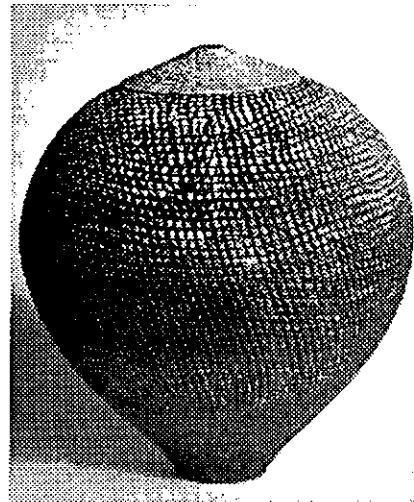


Fig. 2.12 Pieza texturizada.
Peter Consentino. (izq.).

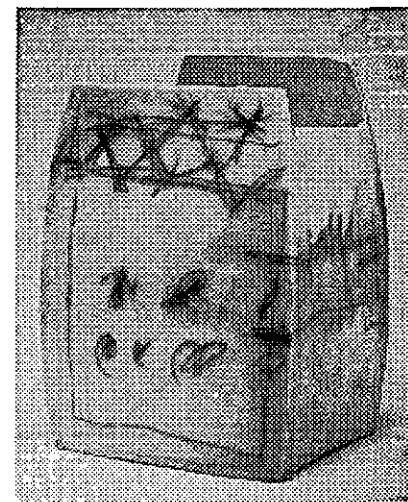


Fig. 2.13 Pieza de porcelana.
Yoshikawa Masamichi. (cent.)

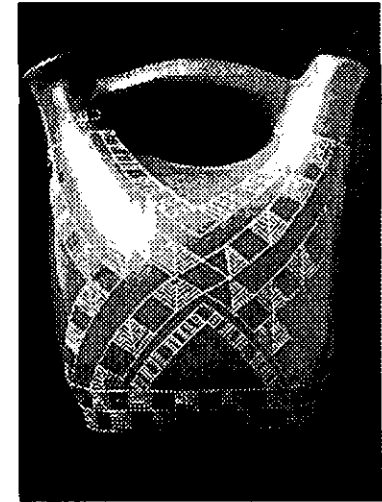


Fig. 2.14 Vasija. Barro bruñido.
Siddig El Nigoumi. (der.).

- **Porcelana blanda.** Son fundamentalmente pastas finas, de color blanco o marfil, más o menos translúcidas y muy resistentes. Su nombre se debe a que su temperatura de quema no rebasa los 1300°C. Fueron desarrolladas y fabricadas 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.

Grupo 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:

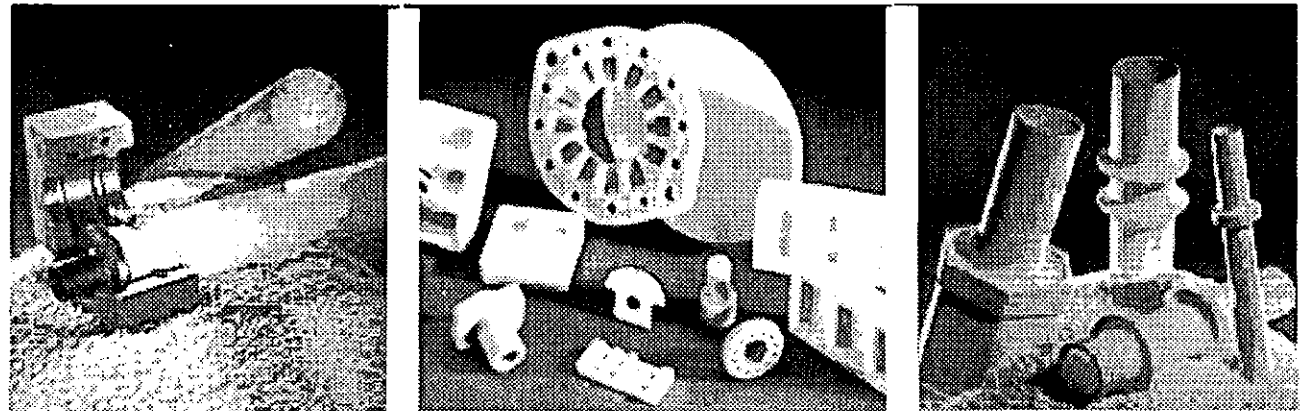
- **Pastas de aislamiento térmico.** De acuerdo a la temperatura a aislar, se fabrican a base de pastas de ladrillería o refractarios especialmente porosos. Sus usos van desde el aislamiento térmico de viviendas, hasta el de las altas temperaturas generadas en hornos de producción industrial o de laboratorio.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

Fig. 2.15 Cerámica química usada en procesos de fundición. Blasch Precision Ceramic (izq.).

Fig. 2.16 Cerámica eléctrica. CeramTec. (cent.).

Fig. 2.17 Cerámica química para procesos industriales. Blasch Precision Ceramics (der.).



- **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.

Grupo 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 toman 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.

Para una información más específica de este último grupo se recomienda consultar a Singer, Félix. y Singer Sonja.S., Cerámica industrial, volumen 1 y 3.

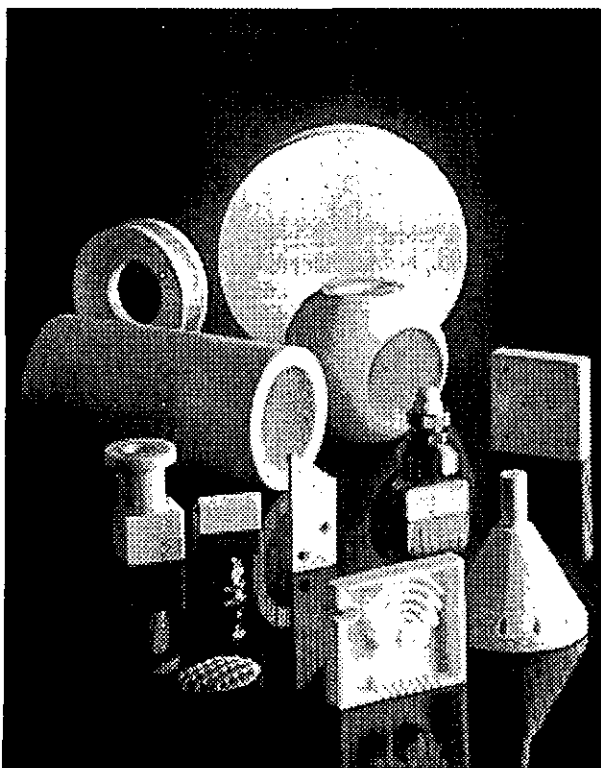
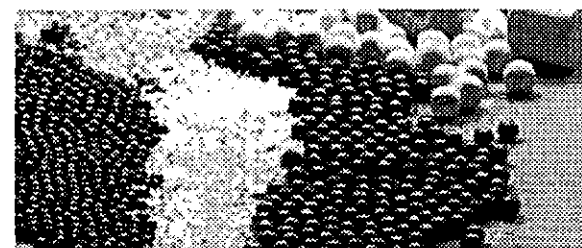
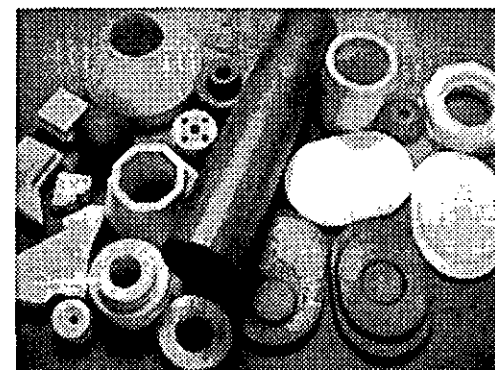


Fig. 2.18 Piezas varias.
Cerámicas de alta alúmina
y circonio. Astro Met Inc. (izq.).

Fig. 2.19 Piezas varias.
New Castle Refractories.
(der. arriba).

Fig. 2.20 Piezas para vibradores
y molinos.
Performance Ceramics.
(der. abajo).



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 pueden sinterizarse en general desde los 800° - 850°C e incluso a menos, pero aquellas que tienen una temperatura de quema superior quedarán infracocidas.

• **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 aún.

- **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 (pueden llegar a más temperatura).
 - **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.

Usos y aplicaciones de los materiales cerámicos

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 pueda dar éstos, las siguientes tablas resumen la clasificación que Félix y Sonja Singer hacen de la cerámica en siete grandes grupo, los cuales contemplan diferentes áreas de aplicación. Complementando esta información, en las tablas No. 11 y 12 se presentan algunas aplicaciones y propiedades que específicamente tienen las llamadas nuevas cerámicas.

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 vitrea. -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.

Tabla No.4 Cerámica para la construcción.⁸

Fig. 2.21 Detalle del Convento de Churubusco, Ciudad de México. (izq.).

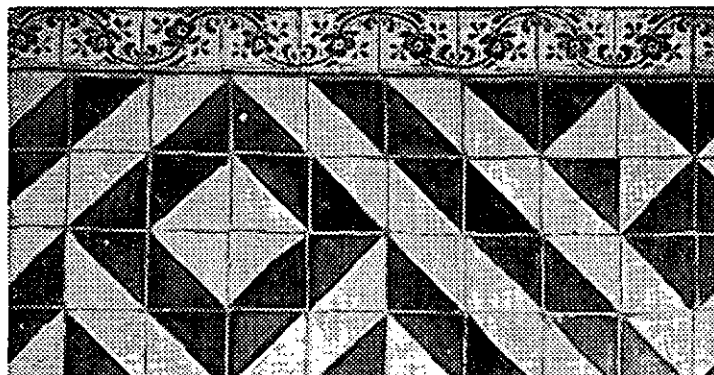


Fig. 2.22 Piezas para la construcción. Sistemas y equipamiento, Edwards & Jones Inc, USA. (der.).

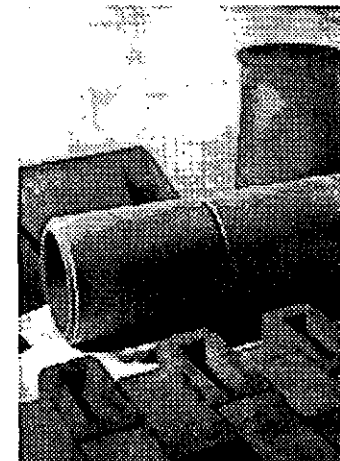


Fig. 2.23 Puente. Tabiques de barro. (izq.).

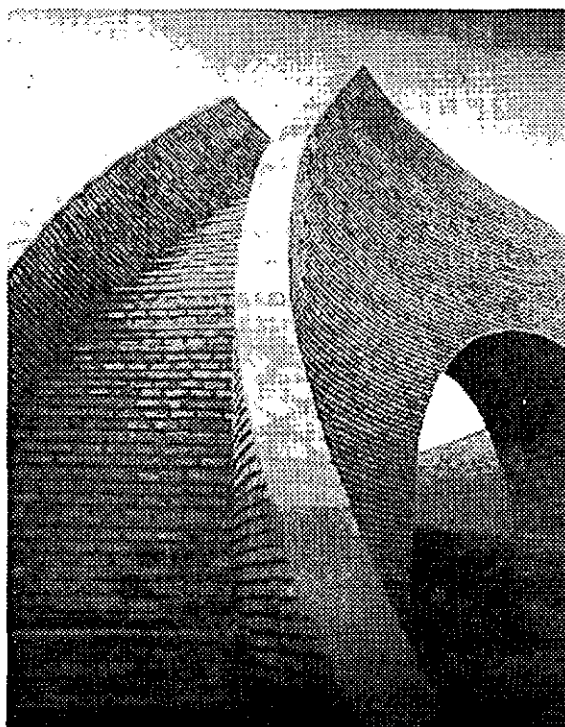
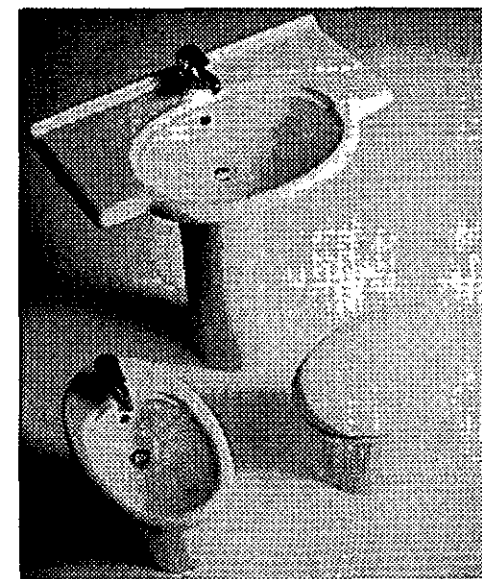


Fig. 2.24 Línea de sanitarios Aria. Nilo Gioacchini para Cerámica Catalano. (der.).



CERÁMICA PARA EL HOGAR			
Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> -Alfarería. -Loza. -Loza semivitrea. -Porcelana blanda. -Porcelana de hueso. -Porcelana dura. -Gres fino. -Gres resistente a fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> -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. 	<ul style="list-style-type: none"> -Vajilla para uso doméstico. -Vajilla fina de mesa. -Vajilla de hotel e institucional. -Artículos de cocina. -Pieza decorativa y artística. -Artículo publicitario. 	<ul style="list-style-type: none"> -Hogar. -Hotel. -Institucional. -Decorativo. -Artístico.

Tabla No.5 Cerámica para el hogar.⁹

Fig. 2.25 Juego de jarras.
Porcelana. (izq.).

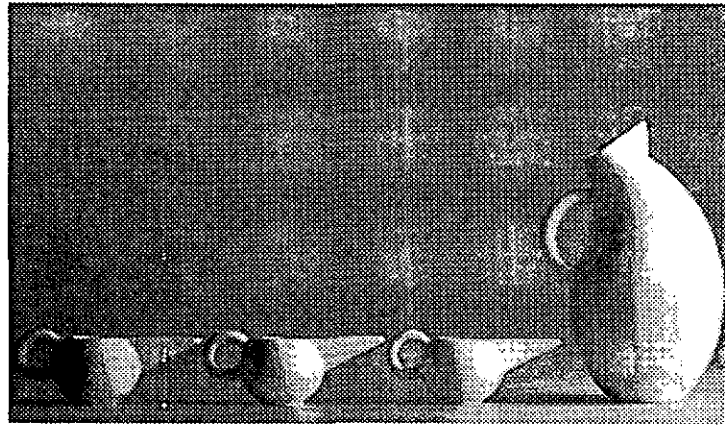


Fig. 2.26 Jarrones. Gres.
Elly y Wilhelm Kuch.
Alemania, 1984. (der.).

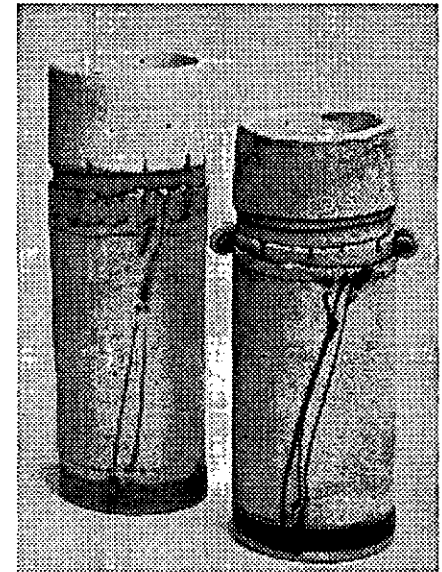


Fig. 2.27 Jarras de Sidra.
Gres. John Leach. (izq.).

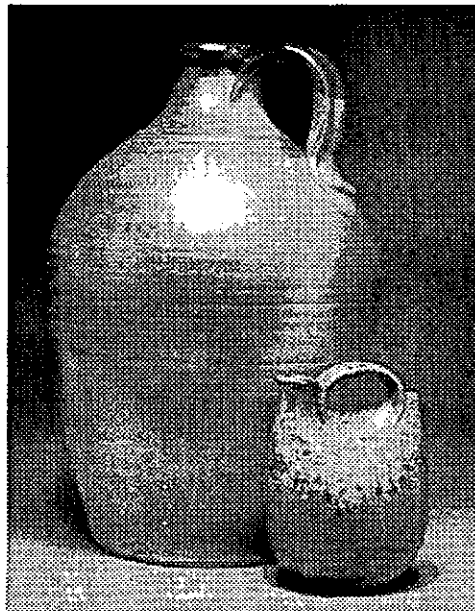


Fig.2.28 Vajilla. Porcelana.
José Gimeno para
proyecto Dom, 1992. (der.).



CERÁMICA QUÍMICA Y TÉCNICA			
Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> -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. 	<ul style="list-style-type: none"> -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 del 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. 	<ul style="list-style-type: none"> -Rodillos. -Trituradores. -Crisoles. -Vasos de precipitados. -Embudos. -Cápsulas. -Recipientes de almacenamiento. -Tuberías. -Guía para hilos y carretes. -Moldes de inmersión para guantes de goma. 	<ul style="list-style-type: none"> -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.
<ul style="list-style-type: none"> -Pastas permeables porosas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Las características anteriores pero con cuerpos porosos permeables para filtrar. 	<ul style="list-style-type: none"> -Filtros en formas varias. -Platos para germinación de semillas y procesos fotográficos. -Diafragmas electrolíticos. 	

Tabla No.6 Cerámica química y técnica.¹⁰

Fig. 2.29 Componentes herméticos usados en altas temperaturas, ultra alto vacío. CeramTec. (izq.).

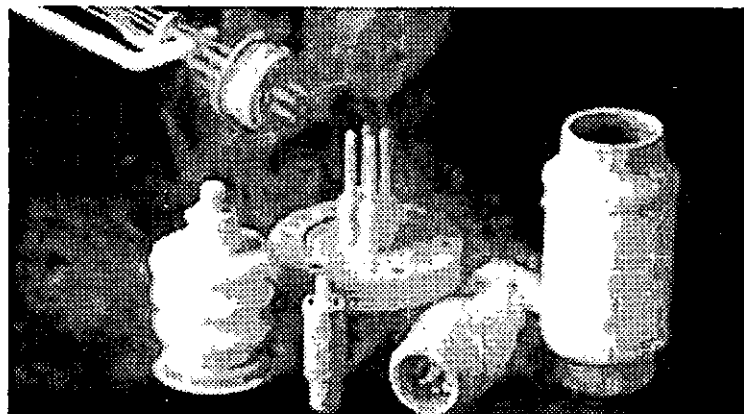


Fig. 2.30 Hex Head. Cerámica altamente refractaria para uso en la industria química. Blasch Precision Ceramic. (der.).

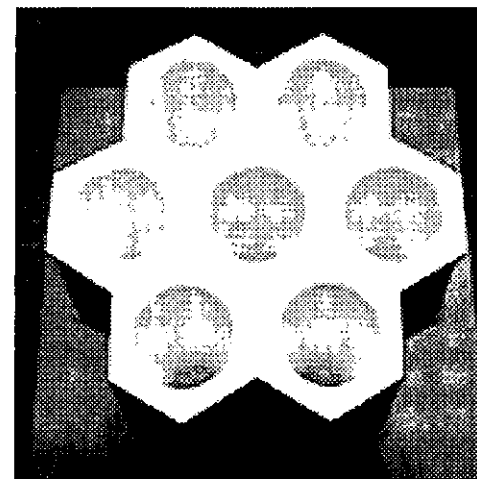


Fig. 2.31 High Performance Crucibles. Crisoles con alta resistencia al choque térmico y a la erosión. Blasch Precision Ceramic. (izq.).

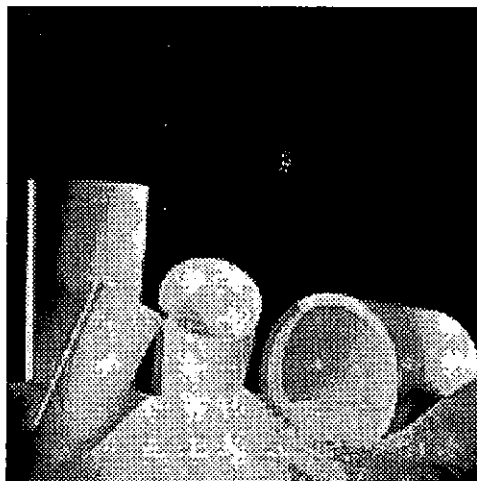
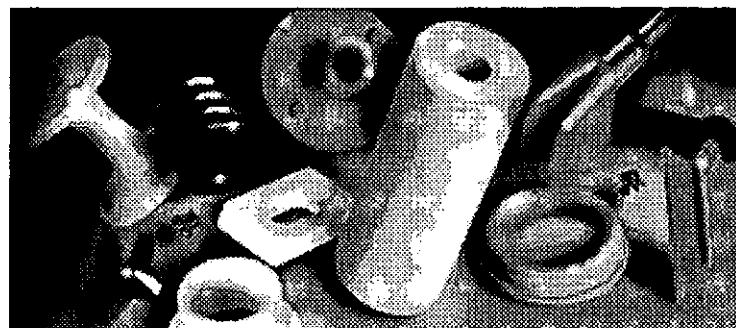


Fig. 2.32 Accesorios para la industria textil. CeramTec. (der.).



CERÁMICA ESPECIALIZADA PARA LABORATORIO E INGENIERÍA			
Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> -Gres químico blanco. -Porcelana química. -Porcelana de mullita. -Porcelana de zircón. -Refractarios de un componente. -Abrasivo aglutinado (para abrasivos). -Cordierita. -Corindón. 	<ul style="list-style-type: none"> -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. 	<ul style="list-style-type: none"> -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. -Lápices graduados. 	<ul style="list-style-type: none"> -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.
<ul style="list-style-type: none"> -Carbono (arcilla y grafito). 	<ul style="list-style-type: none"> -Capaz de marcar sobre papel. 		<ul style="list-style-type: none"> -Dibujo y escritura.

Tabla No.7 Cerámica especializada para laboratorio e ingeniería.¹¹

Fig. 2.33 Desgasificador rotativo altamente resistente a la oxidación. Blasch Precision Ceramic. (izq.).

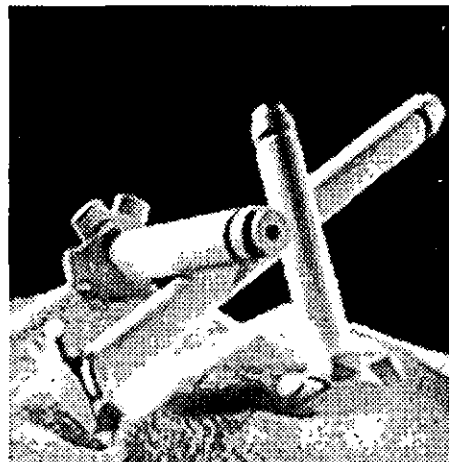


Fig. 2.34 Rotores cerámicos. (der.).

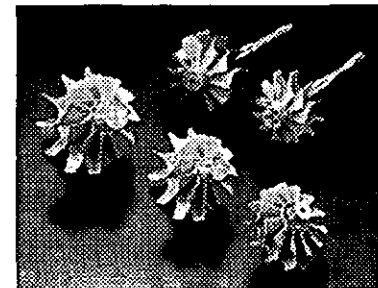


Fig. 2.35 Piezas varias para uso en la ingeniería. (izq.).



Fig. 2.36 Soportes catalíticos en forma de panel, resistentes a reacciones químicas. Blasch Precision Ceramic. (der. arriba).

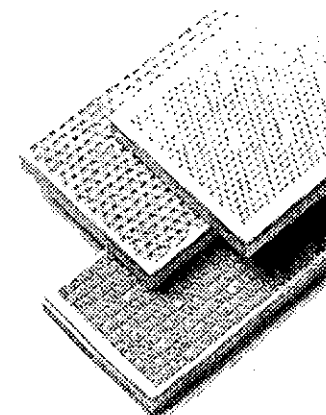
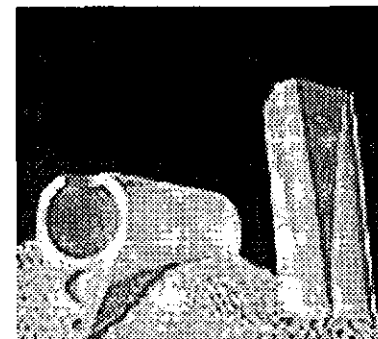


Fig. 2.37 Vasos para muestras de fundición, para análisis químicos de laboratorio. Blasch Precision Ceramic. (der. abajo).



CERÁMICA ELÉCTRICA			
Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> -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. -Refractarios de silicato de aluminio. 	<ul style="list-style-type: none"> -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. 	<ul style="list-style-type: none"> -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. 	<ul style="list-style-type: none"> -Motores de combustión. -Industria generadora y transmisora de electricidad. -Instalaciones eléctricas de hogar. -Electrodomésticos (componentes). -Imanes permanentes para instrumentos y otros usos.

Tabla No.8 Cerámica eléctrica.¹²

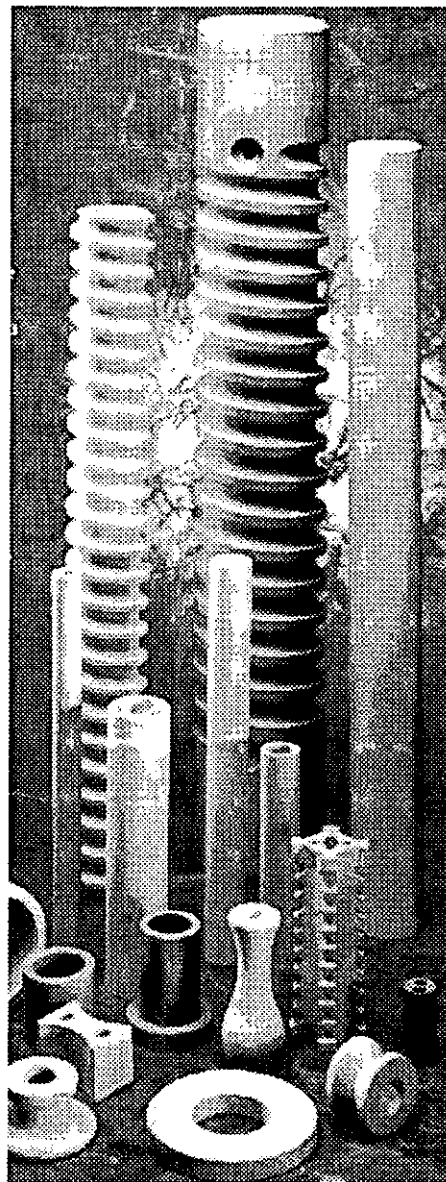
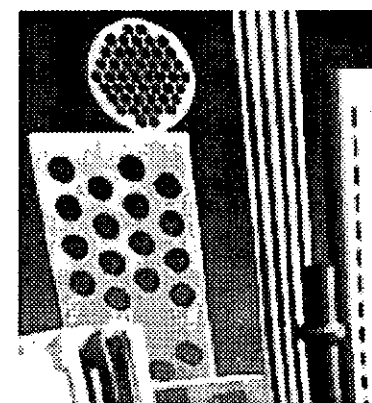
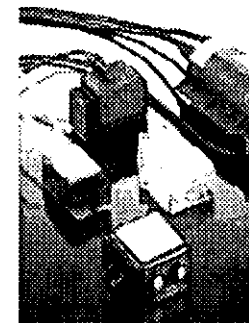


Fig. 2.38 Piezas varias para uso eléctrico. Ceram-Tek. (izq.).

Fig. 2.39 Componentes eléctricos. (der. arriba).

Fig. 2.40 Componentes eléctricos. (der. en medio).

Fig. 2.41 Accesorios para hornos eléctricos de baja temperatura. Blasch Precision Ceramic. (der. abajo).



CERÁMICA REFRACTARIA			
Tipos de Pasta	Características	Productos	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> -Refractarios ácidos. -Refractarios básicos y neutros. -Refractarios de arcilla refractaria. 	<ul style="list-style-type: none"> -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. -Refractariedad bajo carga. -Aislamiento de calor. -Nulo desprendimiento de polvo. -Exactitud dimensional. -Estabilidad dimensional en caliente y frío. 	<ul style="list-style-type: none"> -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. 	<ul style="list-style-type: none"> -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
<ul style="list-style-type: none"> -Pastas de aislamiento térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> -Productos muy porosos que impiden la transmisión del calor por conducción, convección y radiación. -Existen tres grupos: <ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura baja: <ul style="list-style-type: none"> Superficie fría hasta 15°C. Superficie caliente hasta 40°C. 2. Temperatura intermedia: <ul style="list-style-type: none"> Superficie caliente hasta 900°C. 3. Temperatura alta: <ul style="list-style-type: none"> Superficie caliente hasta más de 2000°C. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ladrillos aislantes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Numerosas aplicaciones en las que se requiere un buen aislante térmico, las cuales comprenden desde viviendas a hornos y hogares de alta temperatura, como: -Aislantes térmicos de edificios. -Construcción de hornos.

Tabla No.9 Cerámica refractaria¹³

Tabla No.10 Cerámica aislante térmica.¹⁴

Fig. 2.42 Tabiques refractarios. (izq.).

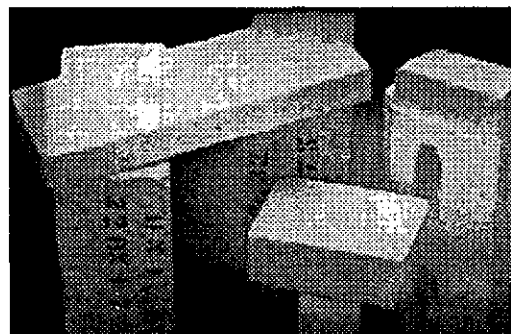


Fig. 2.43 Postes y piezas especiales refractarias. (der.).

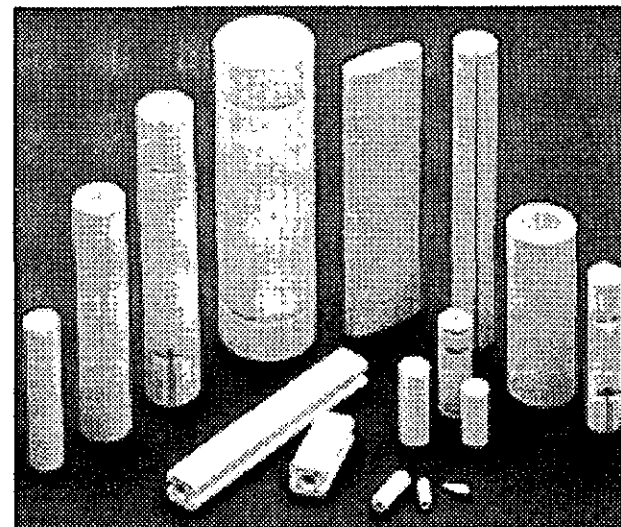


Fig. 2.44 Horno eléctrico para quema de piezas cerámicas. (izq.).

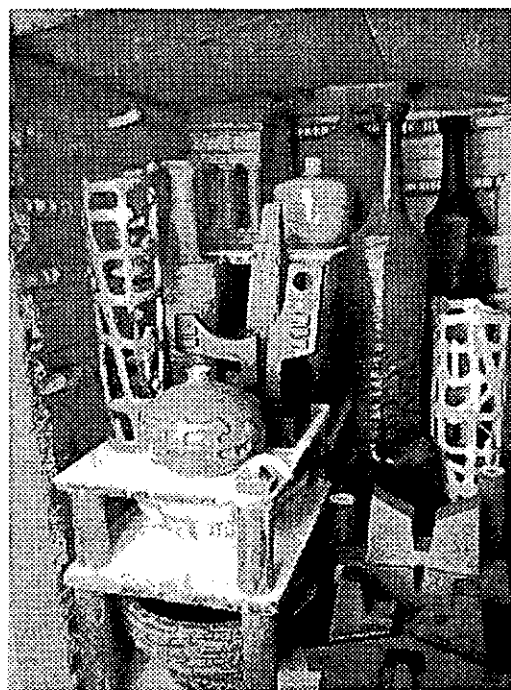
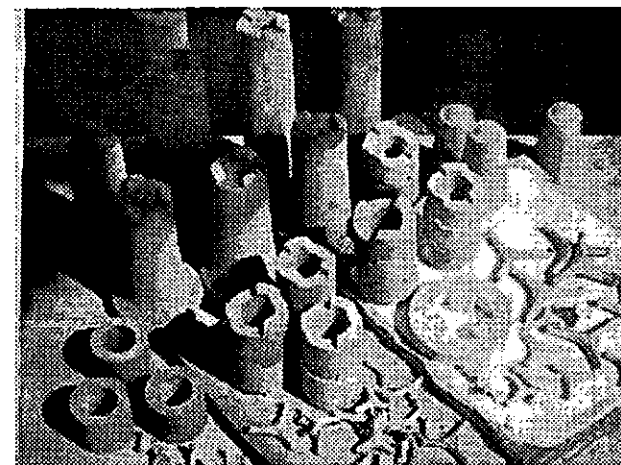


Fig. 2.45 Placas, postes y accesorios refractarios para hornos. (der.).



NUEVAS CERÁMICAS		
Funciones	Propiedades	Aplicaciones
- Térmicas	- Refractarias - Aislantes - Conductoras térmicas	- Sumideros de calor - Revestimientos de hornos de alta temperatura
- Mecánicas	- Alta resistencia - Resistente al uso - Baja expansión térmica - Lubricantes	- Herramientas - Abrasivos - Álabes de turbina - Lubricantes sólidos - Instrumentos de precisión
- Biológicas y químicas	- Compatibilidad biológica - Resistencia a la corrosión	- Huesos artificiales - Prótesis - Equipo geotérmico y químico
- Electro-magnéticas	- Aislantes eléctricos - Conductores eléctricos	- Circuitos integrados - Substratos - Sensores industriales
- Ópticas	- Condensación óptica - Fluorescencia - Traslucidez - Conductividad óptica	- Diodos láser - Diodos emisores de luz - Porcelanas traslúcidas resistentes al calor - Fibras ópticas para comunicaciones y dispositivos médico-quirúrgicos
- Nucleares	- Refractarios - Resistencia a la radiación	- Recubrimientos de contenedores de combustible - Control

Tabla No.11 Nuevas cerámicas.¹⁵

NUEVAS CERÁMICAS	
Funciones eléctricas	
Materiales	Aplicaciones
- Materiales aisladores (Al ₂ O ₃ , BeO, MgO)	- Substratos para circuitos, alambrados, resistores e interconexiones electrónicas
- Materiales ferroeléctricos (BaTiO ₃ , SrTiO ₃)	- Capacitores cerámicos
- Materiales piezoeléctricos	- Vibradores, osciladores, filtros, etc. - Transductores, humidificadores ultrasónicos, generadores piezoeléctricos de chispa, etc.
- Materiales semiconductores (BaTiO ₃ , SiC, ZnO-Bi ₂ O ₃ , V ₂ O ₅ y otros óxidos de metales de transición)	- Sensores compensadores de temperatura - Elementos calefactores, interruptores, compensadores de temperatura, etc. - Elementos sensores de calor - Sensores de infrarrojo - Eliminación de ruido - Absorbentes de variaciones de corriente, etc. - CdS sinterizado para celdas solares - SiC como calentador en hornos eléctricos, calentadores miniatura, etc. - Electrolito sólido para baterías de sodio - ZrO ₂ cerámica como sensor de oxígeno, medidor de pH
- Materiales conductores iónicos (Al ₂ O ₃ , ZrO ₂)	
Funciones magnéticas	
Materiales	Aplicaciones
- Ferritas blandas	- Cabezas para grabación magnética, sensores de temperatura, etc.
- Ferritas duras	- Imanes de ferrita, motores de potencia fraccionada, etc.
Funciones ópticas	
Materiales	Aplicaciones
- Alúmina traslúcida	- Lámparas de vapor de sodio a alta presión
- Magnesio traslúcido, mulita, etc.	- Para tubos de iluminación, lámparas especiales, materiales para ventanas en el infrarrojo
- Cerámicas traslúcidas Y ₂ O ₃ -ThO ₂	- Material láser
- Cerámicas PLZT	- Elementos de memoria luminosa, despliegues de video y sistemas de almacenaje, elementos modulares de luz, válvulas de luz, etc.

Tabla No.12 Nuevas cerámicas. Funciones.¹⁶

NUEVAS CERÁMICAS

Funciones químicas	
Materiales	Aplicaciones
- Sensores de gas (ZnO, Fe ₂ O ₃ , SnO ₂)	- Alarmas para fugas de gas, ventiladores automáticos, detectores de flúor o carbono, etc.
- Sensores de humedad (MgCr ₂ O ₄ -TiO ₂)	- Elementos de control de cocimiento en hornos de microondas, etc.
- Portadores catalíticos	- Portadores catalíticos por control de emisión
- Catalizadores orgánicos	- Portadores de enzimas, zeolitas
- Electrodo (titanatos, sulfatos y boratos)	- Procesos fotoquímicos, producción de cloro

Funciones mecánicas	
Materiales	Aplicaciones
- Herramientas de corte (Al ₂ O ₃ , TiC, TiN, otros)	- Herramienta cerámica, herramienta cermet, diamante artificial, herramienta nitrurada
- Materiales resistentes al uso (Al ₂ O ₃ , ZrO ₂)	- Sensores de presión, selladores mecánicos, tiralíneas cerámicos, cojinetes, guías de tarraja
- Materiales resistentes al calor (Al ₂ O ₃ , Si ₃ N ₄ , SiC, otros)	- Motores cerámicos, álabes de turbina, intercambiadores de calor, quemadores para soldadura, crisoles para combustión a alta frecuencia

Funciones nucleares	
Materiales	Aplicaciones
- Combustibles nucleares (UO ₂ , UO ₂ -PuO ₂)	
- Materiales para revestimiento (C, SiC, B ₄ C)	
- Materiales para blindaje (SiC, Al ₂ O ₃ , C, B ₄ C)	

Funciones térmicas	
Materiales	Aplicaciones
- Cerámicas ZrO ₂ , TiO ₂	- Radiadores infrarrojos

Funciones biológicas	
Materiales	Aplicaciones
- Implantación de cerámica de alúmina y biovidrio de hidroxiapatita	- Maxilares y raíces de dientes artificiales, huesos artificiales

Continuación Tabla No.12 Nuevas cerámicas. Funciones.¹⁶

En general, se puede afirmar que con las cerámicas tradicionales, por sí mismas se han generado objetos varios, y que el diseño industrial ha encontrado en esta área un campo muy amplio de aplicación. Mientras que en el grupo de las cerámicas mejoradas y de las nuevas cerámicas, hasta este momento se han desarrollado objetos y accesorios de uso más técnico e ingenieril. Al respecto, considero que estos nuevos materiales significan una gran alternativa para la generación de productos de diseño industrial, algunos ejemplos de ello han sido: los cuchillos y tijeras elaborados con cerámicas de circonio, cubertería de porcelana de circonio y las vitrocerámicas usadas en las cubiertas de estufas.

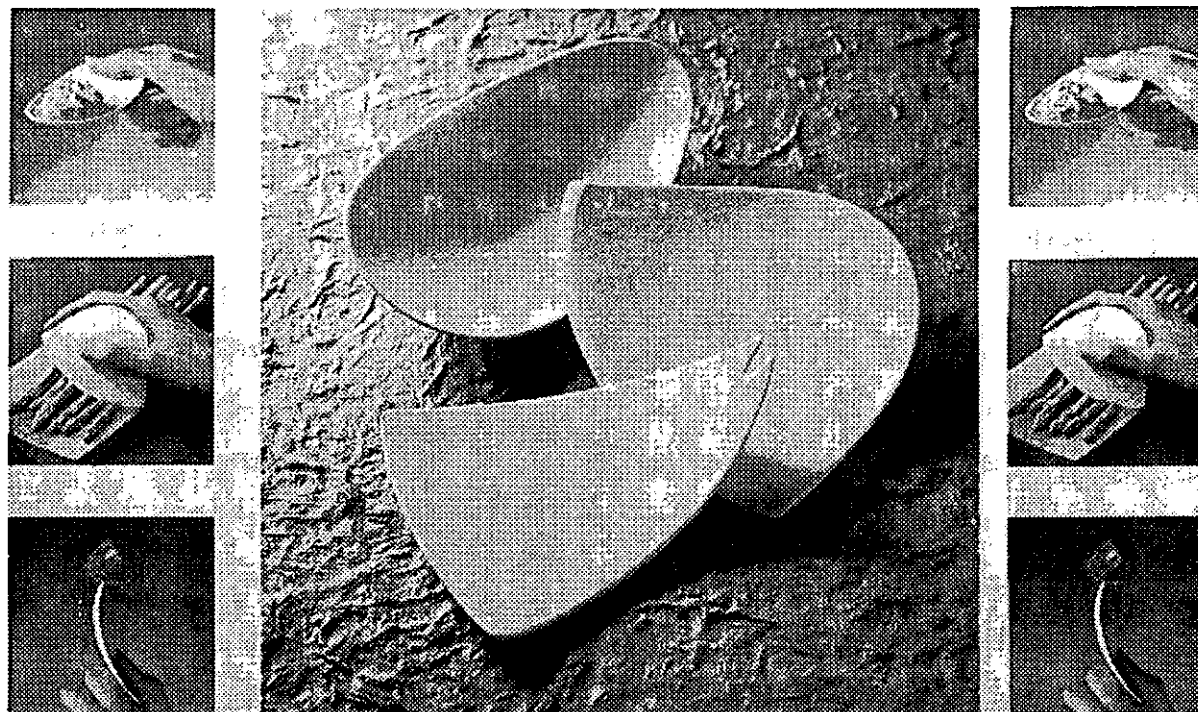


Fig. 2.46 Utensilios para comer.
Cerámica de circonio.
Diseño nórdico.
Inger Louise Bach. (der.).

Sin embargo, dadas sus características de producción: materias primas de extrema pureza, procesos de producción en la mayoría de los casos de alta tecnología y muy altas temperaturas de quema (1600° - 2800°C), estos materiales resultan ser aún de difícil acceso para la industria nacional. Cabe aclarar que actualmente, las muy pocas empresas que se encuentran produciendo en México algún tipo de estas nuevas cerámicas, son empresas transnacionales, las cuales importan en su totalidad las materias primas y la tecnología para su transformación.

Actualmente en nuestro país, este tipo de cerámica se halla en fase de experimentación, principalmente en centros de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México y del Instituto Politécnico Nacional. Considero que esto nos puede ofrecer una gran oportunidad para la formación de grupos multidisciplinarios de investigación, constituidos por ingenieros, químicos, diseñadores industriales, así como otros especialistas, que trabajen conjuntamente en el desarrollo y la generación de nuevos productos que puedan impactar en la industria cerámica.

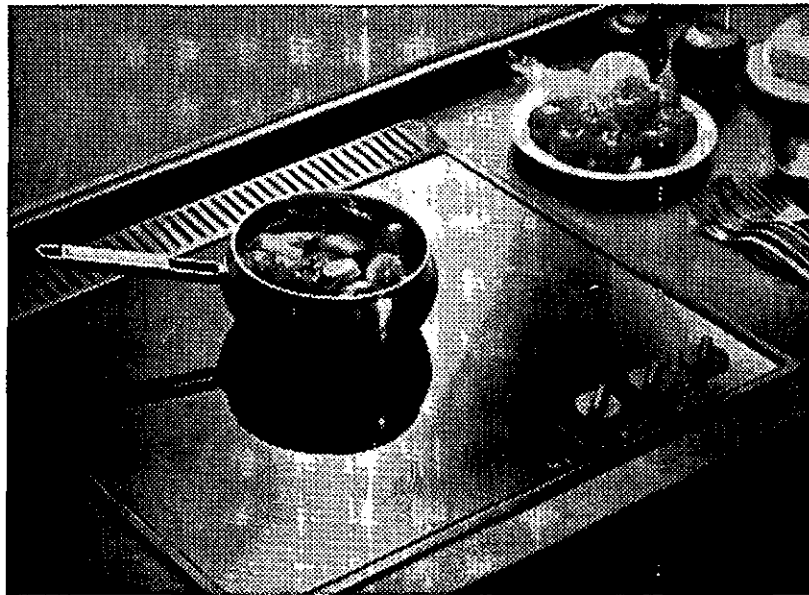


Fig. 2.47 Cubierta para estufa. Vitrocerámica. (izq.).

Pero al mismo tiempo, no podemos olvidar que existe una gran cantidad de industrias, talleres y centros artesanales que elaboran todo tipo de objetos de cerámica de la llamada tradicional, que cuenta con diferentes medios de transformación, que van desde lo artesanal, hasta el uso de alta tecnología. Estos centros representan también un espacio muy importante para el diseño industrial, el cual no ha terminado aún de incidir en esta área.

De igual manera, estimo importante destacar que una pasta cerámica no invalida a otra por muy antigua o muy moderna que ésta sea, ya que al tener características y propiedades diferentes, las aplicaciones son, por lo tanto, también diferentes unas de otras. En este sentido, el diseñador industrial debe de tener la capacidad de distinguir y apreciar la potencialidad de diseño e innovación que ofrece cada uno de los distintos tipos de cerámica existentes.

Capítulo III

Cerámicas tradicionales

En este capítulo, quiero profundizar en las características de las cuatro pastas tradicionales que considero de mayor importancia, dada su amplia difusión y su extenso uso, tanto en objetos de diseño industrial, como en objetos artísticos, técnicos y artesanales. Estas pastas constituyen además, un campo muy amplio de experimentación para el diseñador especializado en cerámica, que desea desarrollar sus propios materiales.

Alfarería

Aunque la palabra alfarería tiene el mismo significado que la de cerámica, como ya se vió anteriormente, 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. 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. 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.

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, y evitan roturas y deformaciones después de ella; sin embargo, este tipo de pasta puede ser formulada también 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 de desflocular. Después de la quema es un material poroso que requiere de 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.

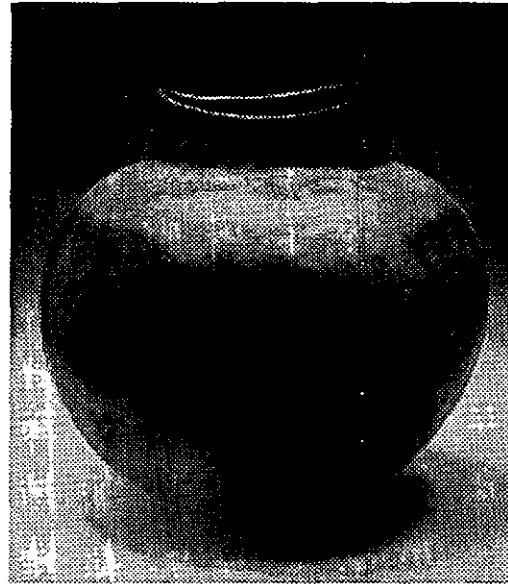


Fig. 3.1 Vasija de barro bruñido.
Jimmy Clark.

Loza

Loza 'vasija de barro fino', 1495. Significó más antiguamente 'vasija de cualquier material'. Probablemente del latín LAUTIA 'ajuar proporcionado a un huésped'. Éste, a su vez, se relaciona con LAUTUS 'suntuoso'; de ahí loza en el sentido etimológico de 'objetos domésticos de lujo', con el cual se halla en textos de hasta 1600, y del cual es probable que derivara LAUTIANUS, de donde lozano, principios del S. XIII, 'elegante', luego 'hermoso' y, finalmente, 'frondoso, lujuriente'.¹

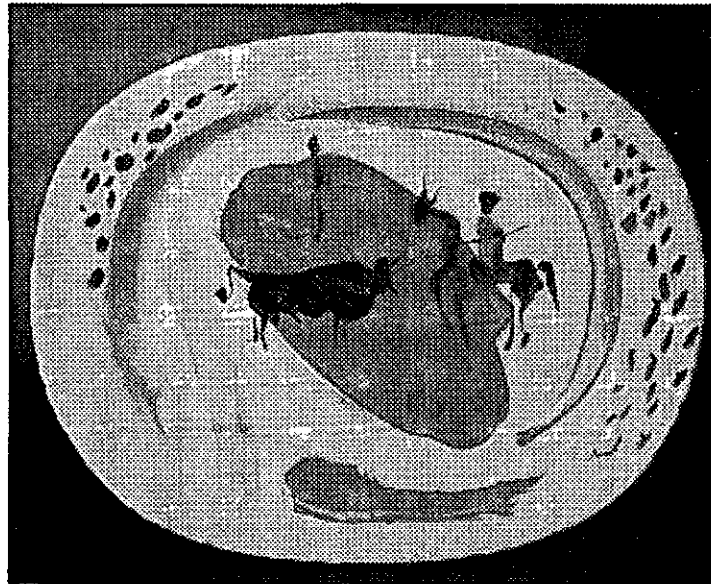


Fig. 3.2 Corrida. Loza con engobes y colores bajo vidriado transparente. Pablo Picasso. Galería Nacional, Varsovia.

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 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 óxido de 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, 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.

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,² 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';³ 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, 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 rayaduras con una punta de acero, y por lo general, sólo vitrificada parcialmente. Los esmaltes característicos de gres son muy ricos en texturas y "despiertan el sentido del tacto como ninguna otra cerámica".⁴

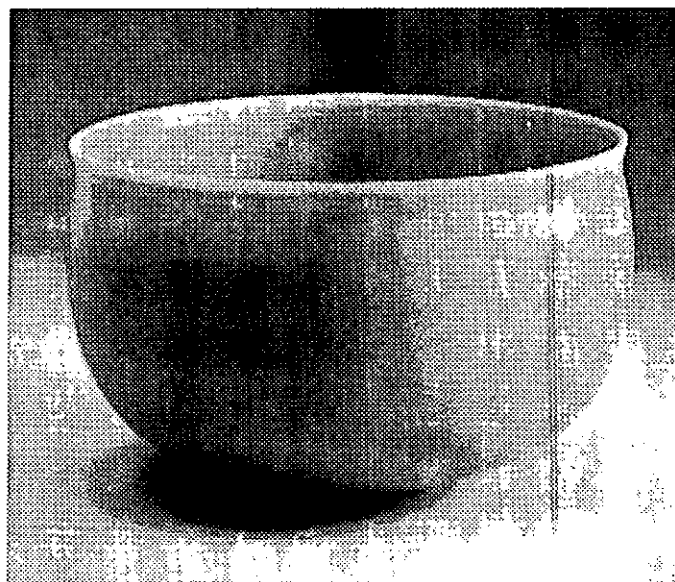


Fig. 3.3 Pieza a base de churros. Gres. Alev Ebüzziya.

Porcelana

Porcelana, 1539. Del italiano porcellana íd., S. XIV, propiamente 'cauri, molusco de concha blanca y brillante', S. XIV, aplicado a la porcelana por el parecido y por haberse creído que se hacía con esta concha, pulverizada.⁵

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, sin embargo, hoy se elaboran porcelanas con diferentes formulaciones que les permiten ser trabajadas prácticamente en cualquier proceso industrial por medio de moldes, y con cierto grado de dificultad en procesos manuales.

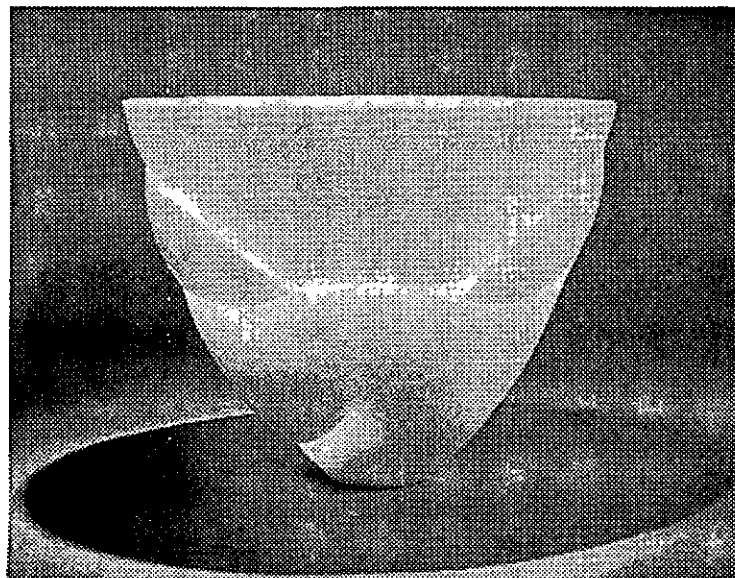


Fig. 3.4 Pieza de porcelana translúcida.

Una de las características más 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%). "En Oriente, gres y porcelana se cuecen juntos en el mismo horno, y la porcelana sólo es considerada como un refinamiento del gres y no necesariamente como un perfeccionamiento".⁶

Composición de las cerámicas tradicionales

En general las cerámicas tradicionales se encuentran formadas por los tres componentes básicos: arcilla, sílice y feldespato; y a reserva de que la preparación de estas pastas será revisada con más detalle en los capítulos subsecuentes, la función primordial de cada uno de ellos, es la siguiente:

- **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 sus dos características principales: la plasticidad y la capacidad de endurecerse después de la quema. En las pastas tradicionales, nunca se puede prescindir de este material.
- **Sílice** (SiO_2): Su función es la de disminuir la contracción y deformación en el secado y cocción de la pasta, elevar la temperatura de quema y aumentar la resistencia.
- **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.

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 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.

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:

- **Plasticidad.** Es la capacidad que tiene el material para dejarse moldear. Por su grado de plasticidad éstas pueden ser plásticas o poco plásticas.
- **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; de media temperatura: 1100°-1150°C; o de alta temperatura: 1200°-1300°C.
- **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.** Concierno 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 ésta 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
Plasticidad:	- Muy plásticas	***		***	
	- Poco plásticas		***		***
Temperatura de quema:	- Baja temperatura (1000° - 1050°C)	***	***		
	- Alta temperatura (1200° - 1300°C)			***	***
Densidad:	- Cuerpos porosos	***	***		
	- Cuerpos densos			***	***
Color:	- Pastas de color	***		***	
	- Pastas marfil, crema o blanco		***		***
Grano:	- Grueso	***		***	
	- Fino		***		***
Texturizante:	- Pueden texturizarse	***		***	
	- No se texturizan		***		***

Tabla No.13 Clasificación de las pastas tradicionales.

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, como ser rígidas, frágiles, no son afectadas por el calor, frío, fuego o agua, ni por ácidos fuertes o sustancias químicas habituales. Las propiedades más importantes para las cerámicas aquí tratadas 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 por lo tanto 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 éstas (alfarería y loza) tengan que ser más gruesas para compensar esta 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 de despostillarse, 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”.⁷
 - **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 rayadura 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 rayar 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. Destacaré 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 tensil) del material, tiene lugar un fallo por choque térmico”.⁸ 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”.⁹

- **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. Sin embargo, no podemos olvidar que nuestras humildes cazuelas de barro han sido utilizadas para este fin durante mucho tiempo. 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; o bien, 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 sí 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 vajillas 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.¹⁰

Usos y aplicaciones

A manera de conclusión, y considerando las propiedades y características antes referidas, se pueden resumir los usos y aplicaciones de la alfarería, loza, gres y cerámica en las siguientes tablas.

ALFARERÍA			
Propiedades	Aspecto físico	Procesos de producción	Productos
<ul style="list-style-type: none"> - Por su plasticidad es usada principalmente en trabajos manuales y de torno. - Muy porosas y de poca resistencia mecánica. - Resiste la llama directa. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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). 	<ul style="list-style-type: none"> - Modelado a mano. - Torno de alfarero. - Uso de moldes, sólo en procesos que requieren plasticidad. - Prácticamente imposible de ser vaciada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Piezas decorativas. - Enseres domésticos. - Ollas, cazuelas, etc. - Artículos de mesa. - Macetas y vasijas en general.

Tabla No.14. Alfarería.¹¹

Fig. 3.5 Olla de barro rosa con boca en gajos y decoración policroma.
Lydia Quezada Celado.
Cerámica de Mata Ortiz. (izq.).

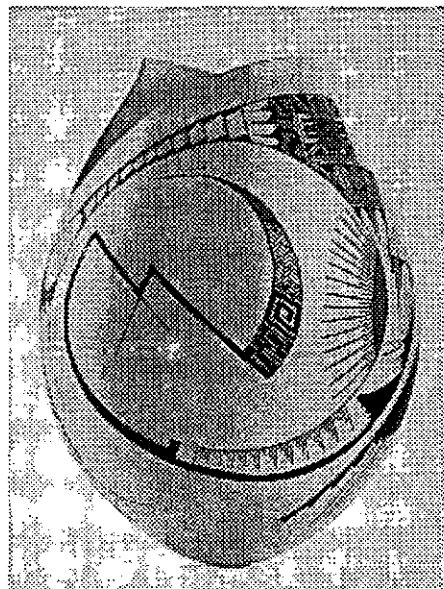


Fig. 3.6 Platos. Cerámica modelada policromada, sobre engobe rojo de Sayula bruñido.. Cerámica de Tonalá. (der.).

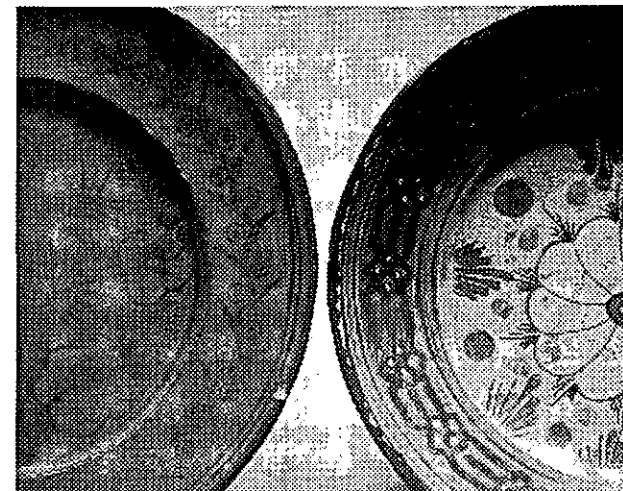


Fig. 3.7 Cazuela de relleno.
Cerámica modelada con engobe rojo y vidriado plúmbeo. Cerámica de Tonalá.
1991. Col. particular. (izq.).

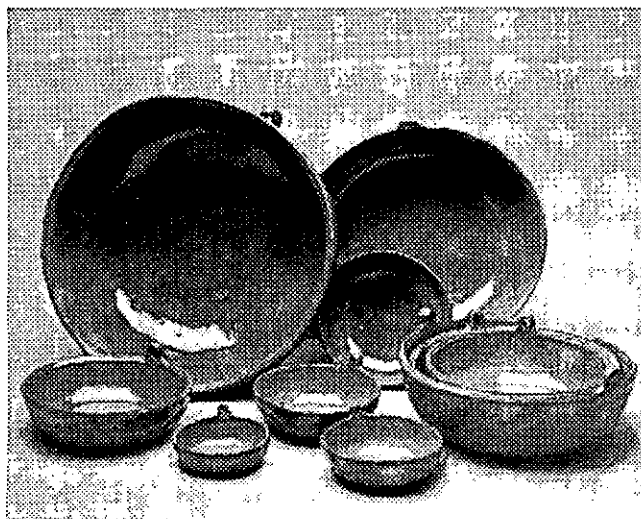
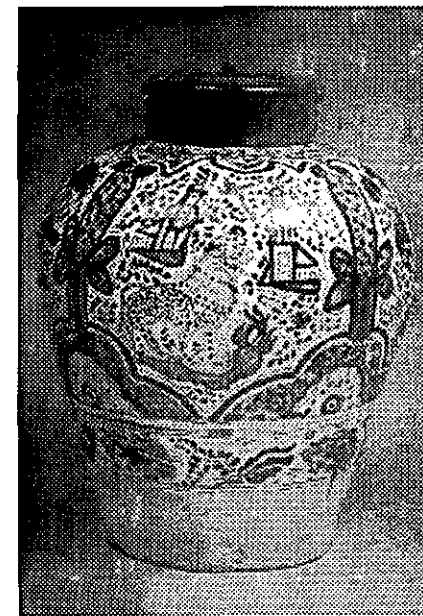


Fig. 3.8 Tibor con ornamentación punteada. Talavera de Puebla.
Fines del siglo XVII.
Col. Pérez de Salazar. (der.).



LOZA			
Propiedades	Aspecto físico	Procesos de producción	Productos
<ul style="list-style-type: none"> - Pasta de poca plasticidad. - Pasta porosa de regular resistencia. - Es algo sonora y se deja rayar por punta de acero. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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 de color blanco o de colores. - Espesor de las piezas de 4 - 6 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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. 	<ul style="list-style-type: none"> - Artículos decorativos. - Artículos de mesa. - Artículos promocionales. - Vajillas populares. - Enseres domésticos. - Macetas y vasijas en general.

Tabla No.15. Loza.¹²

Fig. 3.9 Jarros.
Sabina Teuteberg. (izq.).

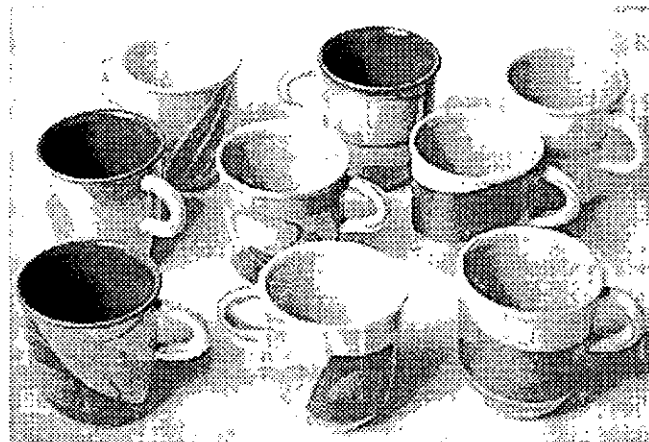


Fig. 3.10 Vajilla de loza.
Línea Iberia.
Nueva San Isidro. (der.).



Fig. 3.11 Vajilla decorada
con engobe y con esmalte
transparente.
Dorothy Hafner. (izq.).

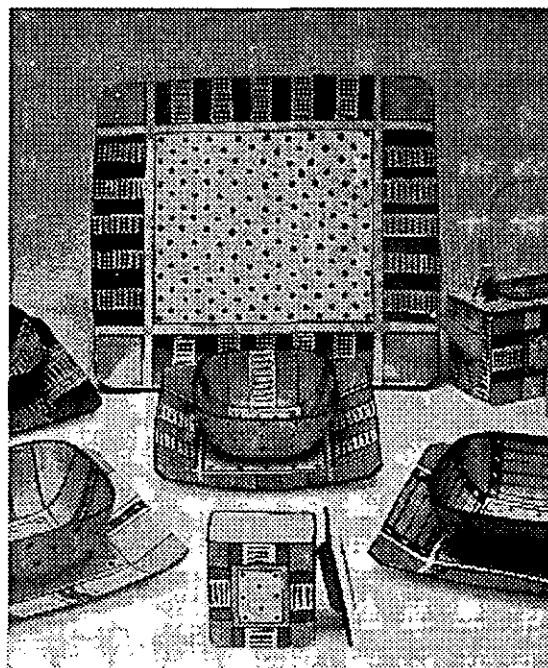
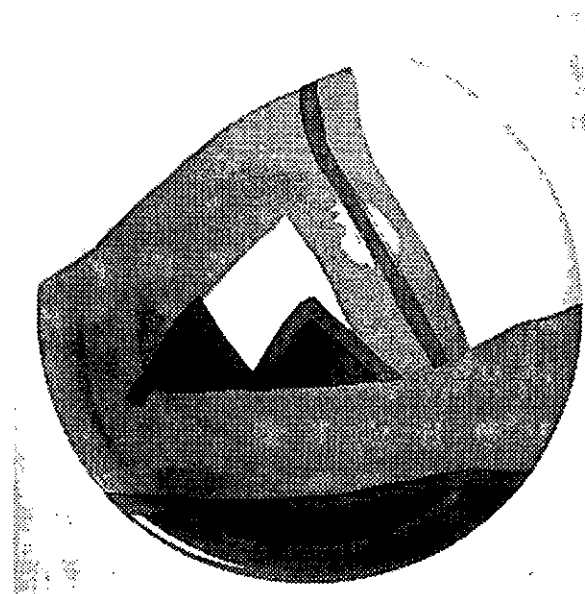


Fig. 3.12 Fuente.
Arcilla coloreada con vidriado
transparente.
Sabina Teuteberg. (der.).



GRES O STONE-WARE			
Propiedades	Aspecto físico	Procesos de producción	Productos
<ul style="list-style-type: none"> - 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 recubra, aunque es recomendable para vajillas. - No resiste el choque térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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). 	<ul style="list-style-type: none"> - 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. 	<ul style="list-style-type: none"> - Artículos decorativos. - Artículos de mesa. - Vajillas. - Enseres domésticos. - Macetas y vasijas en general. - Artículos sanitarios. - Losetas y azulejos.

Tabla No.16. Gres o Stone-ware.¹³

Fig. 3.13 Gabbiano. Sistema de cocimiento a vapor. Gres. Alessandro de Monte para Laboratorio di Pesaro. Italia. (izq.).

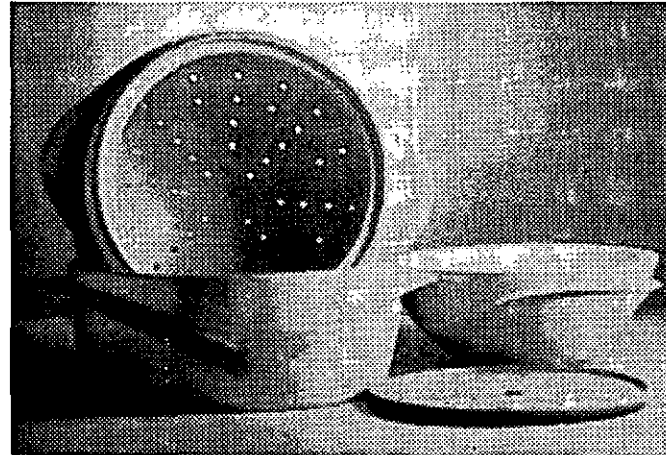


Fig. 3.14 Sin título (vaso), 1998. Barro de alta temperatura. Gustavo Pérez. (der.).

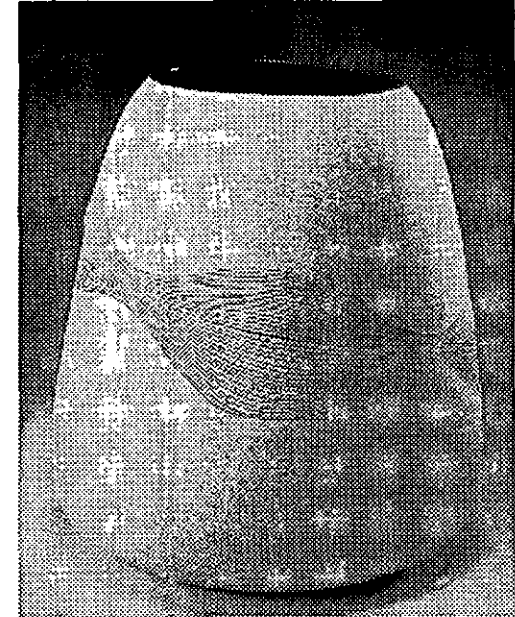
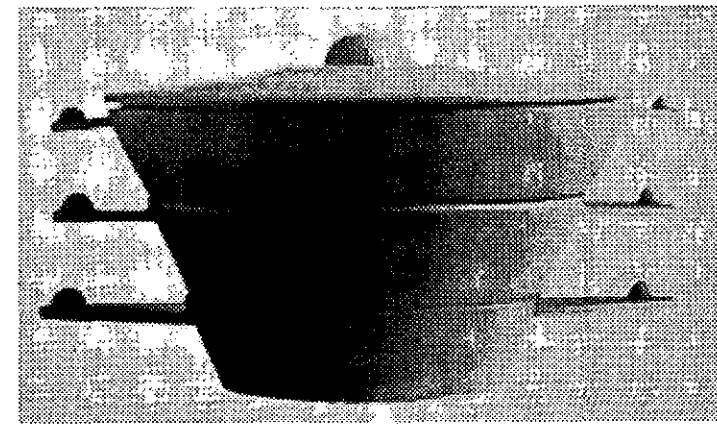


Fig. 3.15 Vajilla. Gres. Robert Sanderson. (izq.).



Fig. 3.16 Vulcano. Sistema de cocimiento a vapor. Gres. Kim Chi Ho para Laboratorio di Pesaro. Italia. (der.).



PORCELANA			
Propiedades	Aspecto físico	Procesos de producción	Productos
<ul style="list-style-type: none"> - 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 a 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. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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 es de: Vajilla uso doméstico 3-4 mm. Vajilla restaurante u hotel 5-6 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede ser trabajada con molde en todos los procesos (vaciado, tornos y prensas). - Debido a su poca plasticidad es difícil el uso en procesos de modelado manual. 	<ul style="list-style-type: none"> - Artículos decorativos. - Artículos de mesa. - Vajilla fina de uso doméstico. - Vajilla para uso de hotel y restaurante. - Artículos sanitarios.

Tabla No.17. Porcelana.¹⁴

Fig. 3.17 Basic. Vajilla de porcelana. André Ricard para Bidasoa, 1989. (izq.).

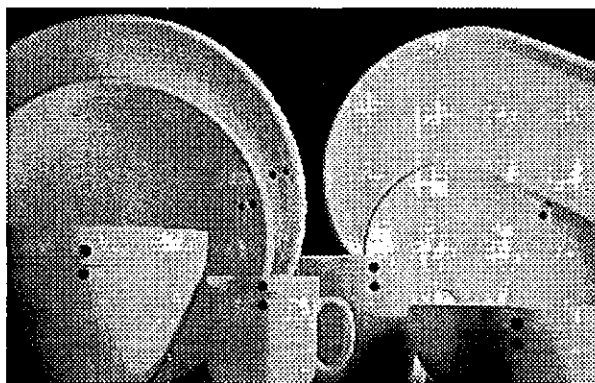


Fig. 3.18 Vasija. Porcelana. Elsa Rady. (der.).

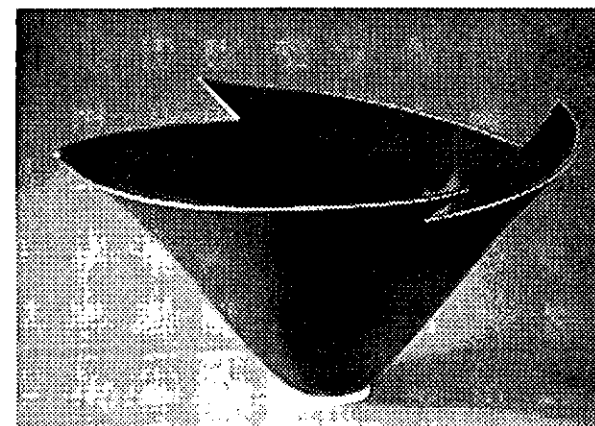
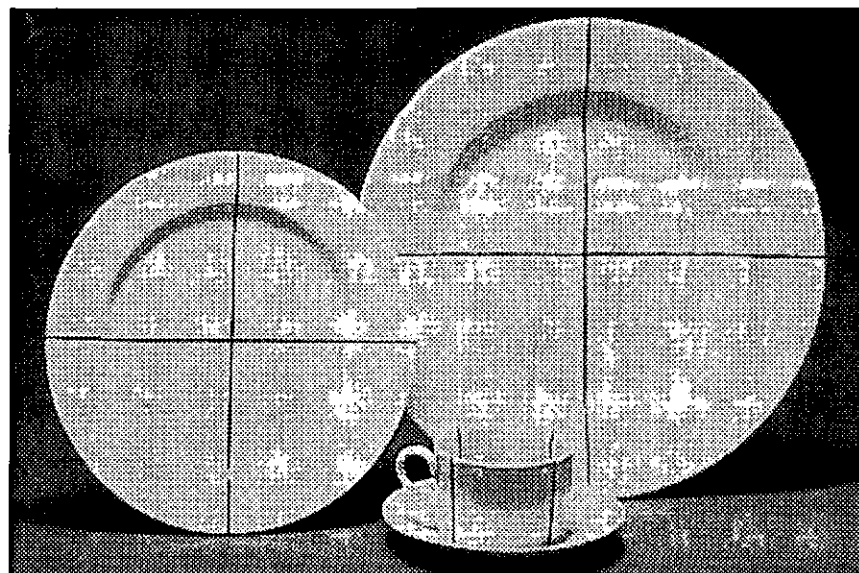


Fig. 3.19 Jarrón. Porcelana. Proyecto de Alessandro Mendini para Alessi. Decoración de Gabriel Bien-Aimé (Haití). (izq.).



Fig. 3.20 Signature. Vajilla de porcelana. Richard Meier para el proyecto. Swid Powell. (der.).



• • Segunda parte



Capítulo IV

Composición de una pasta cerámica

En los capítulos precedentes se ha hecho referencia de la evolución que la cerámica ha tenido, generando con ello una gran gama de aplicaciones en diferentes tipos de productos. Esta evolución, en gran medida se ha logrado gracias a las combinaciones hechas a partir de arcillas con otros materiales, especialmente para las cerámicas tradicionales, en las cuales se ha puesto especial énfasis en el capítulo anterior, el resultado de estas combinaciones son las denominadas pastas o cuerpos cerámicos.

Definición

Una pasta cerámica es aquella mezcla predeterminada, 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. Esta combinación se realiza con el propósito de conseguir características cerámicas bien definidas.

En la naturaleza existen arcillas que de alguna manera funcionan como “pastas naturales”, ya que éstas se encuentran mezcladas con sustancias antiplásticas, y que además por su comportamiento pueden ser trabajadas sin necesidad de agregarles otros materiales. Sin embargo, 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 ello; mientras que, las “pastas naturales”, por su origen geológico, pueden cambiar con mucha facilidad, con lo cual se tiene que recurrir irremediamente 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.

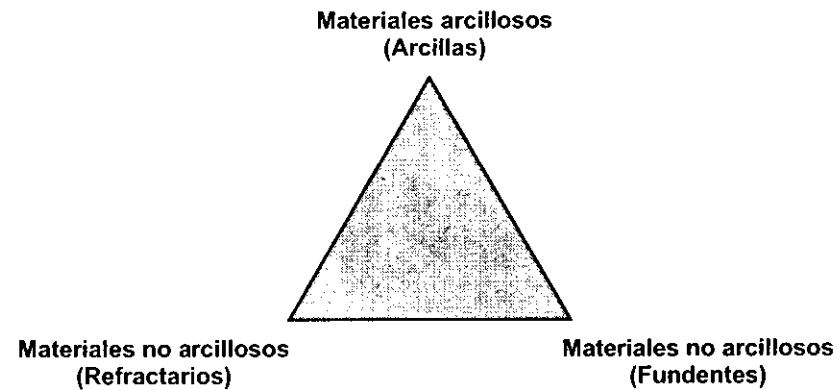
En la actualidad, y particularmente en la industria cerámica, las características que nos ofrece una arcilla sin mezclar suelen no cubrir con satisfacción las necesidades requeridas, de ahí que se ha vuelto indispensable trabajar con pastas formuladas. Aun en los centros artesanales más sencillos, se realizan combinaciones simples de los materiales.

Las razones por las que una arcilla natural deba ser “manipulada”, 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 de la siguiente manera:

- **Arcillas:**
 - En la plasticidad.
 - En la contracción que provoca agrietamientos y deformaciones.
- **Materiales no arcillosos (refractarios y fundentes):**
 - En el punto de cocción.
 - En la absorción, la cual depende de la densidad.
- **Los tres materiales (en su conjunto):**
 - Acoplamiento del vidriado.

El aumento o disminución del porcentaje de arcillas y de materiales refractarios y fundentes, ayudará a lograr una pasta con características específicas. Dos apreciaciones, al respecto, que considero importantes en cuanto a la combinación de materiales, son:

- Cada material tiene una función dominante, sin embargo, presentan muchas otras propiedades que pueden influir en otros aspectos en la composición de la pasta.
- El aumento o disminución de alguno de los materiales participantes da como resultado el cambio de porcentaje de los demás.

Composición de acuerdo al tipo de pasta

Refiriéndonos a los componentes y porcentajes que participan en la constitución de las pastas tradicionales de alfarería, loza, gres y porcelana, encontramos que éstos varían para cada caso en particular. Existe al respecto una bibliografía muy amplia acerca de la composición de cada pasta, de acuerdo a esta información y guiándome por el trabajo experimental realizado en el taller, he preparado la tabla siguiente, en ella se presentan las composiciones básicas y las temperaturas de quema de cada una de las pastas mencionadas, incluyendo también algunas características técnicas que los cuerpos cerámicos deben de presentar después de la quema. Considero importante aclarar que las cifras mencionadas (porcentajes de materiales, temperatura de quema y características técnicas) son generales para cada caso, y que éstas pueden variar dependiendo de las necesidades particulares de la pasta a desarrollar. Así mismo, los materiales estimados son sólo los más representativos, ya que en la composición de una pasta pueden participar algunas materias primas más.

COMPOSICIÓN DE LAS PASTAS TRADICIONALES*					
Materias primas	Función de los materiales	Aharrería	Loza	Gres o Stoneware	Porcelana
- 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% - Ca CO 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.

Tabla No.18. Composición de las pastas tradicionales.

Previamente a pasar a analizar las metodologías para el desarrollo de pastas cerámicas, es necesario revisar las características y propiedades de las materias primas arcillosas y no arcillosas; entender como funciona cada una de ellas, nos ayudará de manera fundamental para poder desarrollar y diseñar nuestras propias pastas.

Capítulo V

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, y mantenerla cuando ésta 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 diferencias inclusive en las que provienen de un mismo yacimiento. Por lo anterior, resulta conveniente hacer 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, ha tenido 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) $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6 SiO_2$
- Feldespato Sódico (Albita) $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6 SiO_2$
- Feldespato Cálxico (Anortita) $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$

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 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ y que corresponde aproximadamente a:

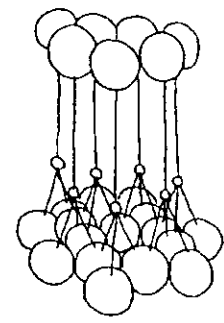
- 46% Sílice
- 40% Óxido de aluminio
- 14% Agua

Es decir, que idealmente la estructura de la caolinita está formada por dos capas: una de Sílice - $Si_2 O_5$ -, constituida de iones de silicio y oxígeno (un ión de silicio al centro de un tetraedro formado por cuatro iones de oxígeno - Figura 5.1); y otra capa de Gibbsita - $Al(OH)_3$ -, mineral de alúmina hidratada (un ión de aluminio al centro de un octaedro de hidróxilos - Figura 5.2).

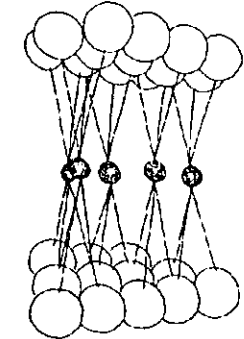
Al combinarse estas dos capas, se forma una de caolinita (Figura 5.3), la cual se encuentra en proporciones variables en todos los caolines y arcillas. Sin embargo, la caolinita es raramente tan perfecta como la red mostrada.

La caolinita no es el único material arcilloso existente, otro mineral de interés en la cerámica es la **Montmorillonita**, cuya fórmula es $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$ presentando un coeficiente doble de sílice (Figura 5.4).

Figs. 5.1 Sílice (izq.),
5.2 Gibbsita (der.).
 Perspectiva, vistas esquemáticas
 en dirección Según Hauth.

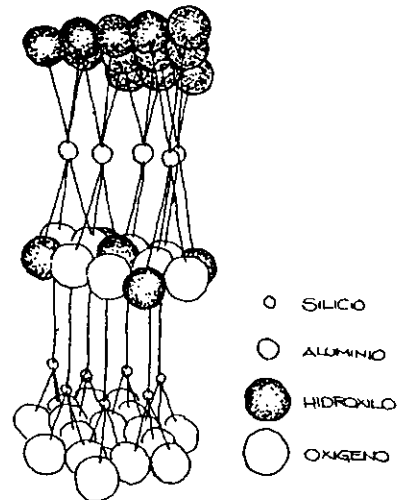


Silice - $\text{Si}_2 \text{O}_5$



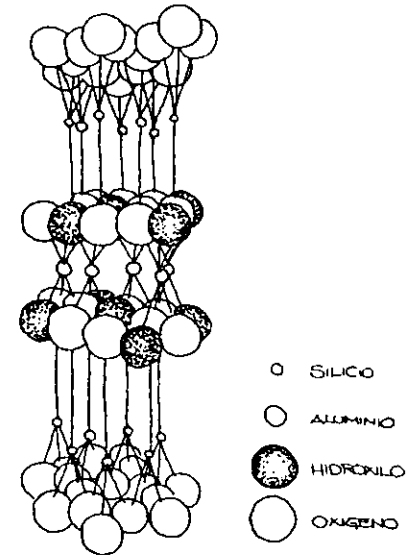
Gibbsita - $\text{Al}(\text{OH})_3$

Figs. 5.3 Caolinita (izq.),
5.4 Montmorillonita (der.).
 Perspectiva, vistas esquemáticas
 en dirección Según Hauth.



Caolinita - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

- SILICIO
- ALUMINIO
- HIDROXILO
- OXIGENO



Montmorillonita - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

- SILICIO
- ALUMINIO
- HIDROXILO
- OXIGENO

Otros minerales de arcilla y sus composiciones teóricas se presentan en la tabla siguiente:

MINERALES DE ARCILLA SEGUN GREAVES-WALKER				
Mineral	Fórmula			Al ₂ O ₃ : SiO ₂
Schroetterita	8 Al ₂ O ₃ . 3 SiO ₂ . 3 OH ₂ O			1 : 0,38
Colirita	2	1	9	1 : 0,5
Alofano	1	1	5	1 : 1
Kochita	2	3	5	1 : 1,5
Caolinita	1	2	2	1 : 2
Clayita	1	2	2	1 : 2
Nacrita	1	2	2	1 : 2
Dickita	1	2	2	1 : 2
Halloysita	1	2	2 + Aq	1 : 2
Newtonita	1	2	5	1 : 2
Anauxita	1	3	2	1 : 3
Leverrierita	1	3	3	1 : 3
Foleritav	1	3	4	1 : 3
Beidellita	1	3	5	1 : 3
Montmorillonita	1	4	1 + Aq	1 : 4
Pirofilita	1	4	1	1 : 4
Cimolita	2	9	6	1 : 3

Tabla No.19. Minerales de arcilla según Greaves-Walker ¹

Una arcilla contiene también cantidades diferentes de sílice (SiO_2) y feldespato, que representan restos inalterados de la roca madre, así como otros óxidos, de ahí que exista en la naturaleza tal diversidad de arcillas. La Tabla No.20 nos muestra las posibles variaciones en la composición química de diferentes minerales de arcilla.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS MINERALES DE ARCILLA SEGÚN ENGELHARDT			
Moléculas	Caolinita	Halloysita	Montmorillonita
SiO ₂	43,6 - 54,7 %	40,0 - 45,8 %	47,9 - 51,2 %
Al ₂ O ₃	30,0 - 40,2	33,8 - 39,2	20,0 - 27,1
Fe ₂ O ₃	0,3 - 2,0	0,0 - 0,4	0,2 - 1,4
MgO	0,0 - 1,0	0,3	2,1 - 6,6
CaO	0,03 - 1,5	0,1 - 0,8	1,0 - 3,7
K ₂ O	0,0 - 1,5	0,3	0,2 - 0,6
Na ₂ O	0,0 - 1,2	0,1 - 0,2	0,3 - 0,8
TiO ₂	0,0 - 1,4	-	-
H ₂ O	11,0 - 14,3	13,4 - 23,7	17,1 - 23,7

Tabla No.20. Composición química de los minerales de arcilla según Engelhardt.²

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 matriz de que proceden, sedimentándose por la acción posterior del agua, por lo cual suelen ser arcillas de partículas extremadamente finas, teniendo por lo tanto una gran plasticidad. Por lo general están 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 geológica según Ries³

A. Arcillas residuales. Formadas en el lugar por alteración de la roca madre debido a diversos agentes, bien de la superficie o de origen profundo.

- Arcillas formadas por envejecimiento en la superficie, implicando los procesos disolución, desintegración, o descomposición de silicatos.
 - a) Caolines de color blanco y generalmente blancos tras la cocción.
 - b) Arcillas ferruginosas, derivadas de diferentes clases de rocas.

- Arcillas residuales blancas formadas por la acción de aguas ascendentes, posiblemente de origen ígneo.
 - a) Formadas por aguas carbonatadas ascendentes.
 - b) Formadas por soluciones de sulfatos.
- Arcillas residuales formadas por la acción de soluciones de sulfatos que se filtran en dirección descendente.
- Arcillas residuales blancas formadas por reemplazamiento, debidas a la acción de aguas, a las que se supone de origen meteórico (indianita).

B. Arcillas coluviales, que representan depósitos formados por lavado de las anteriores y de carácter refractario o no refractario.

C. Arcillas transportadas.

- Depositadas en agua.
 - a) Arcillas o pizarras marinas, en depósitos que frecuentemente tienen gran extensión.
 - Arcillas grasas de calcinación blanca.
 - Arcillas refractarias o pizarras de calcinación beige.
 - Arcillas o pizarras impuras calcáreas o no calcáreas.
 - b) Arcillas lacustres depositadas en lagos o pantanos.
 - Arcillas refractarias o pizarras.
 - Arcillas o pizarras impuras de calcinación roja.
 - Arcillas calcáreas usualmente de carácter de superficie.
 - c) Arcillas de zonas de inundación, usualmente impuras y arenosas.
 - d) Arcillas estuarinas (depositadas en estuarios), casi siempre impuras y finamente laminadas.
 - e) Arcillas de delta.
- Arcillas glaciales, halladas en las morrenas, y frecuentemente pedregosas. Pueden ser de calcinación roja o beige.
- Depósitos formados por el viento (algunos loess).
- Depósitos químicos (algunas arcillas de pedernal).

Clasificación según su composición química según Seger⁴

A. Especies arcillosas, ricas en tierra arcillosa y pobres en hierro.

- Caolín.
- Arcilla refractaria.
- Arcilla de bolas (ball clay).

B. Especies arcillosas, ricas en tierra arcillosa y con un mediano contenido de hierro.

- Arcilla refractaria para gres, loza y piedras refractarias.

C. Especies arcillosas, pobres en tierra arcillosa y ricas en hierro.

- Arcilla roja.
- Arcilla de ladrillos y tejas.

D. Especies arcillosas, pobres en tierra arcillosa, y ricas en hierro y en cal.

- Arcillas rojas.
- Arcillas margosas.

Clasificación por su uso según Norton⁵

A. Arcillas de calcinación blanca (Empleadas en objetos blancos).

- Caolines:
 - a) Residuales.
 - b) Sedimentarios.
- Arcillas grasas.

B. Arcillas refractarias (con punto de fusión superior a 1600°C pero no necesariamente de calcinación blanca).

- Caolines (sedimentarios).
- Arcillas refractarias:
 - a) De pedernal.
 - b) Plásticas.

C. Arcillas de productos arcillosos pesados (de baja plasticidad pero conteniendo fundentes).

- Arcillas y pizarras para ladrillos de pavimentación.

- Arcillas y pizarras para tubos de desagüe.
- Arcillas y pizarras para ladrillos y tejas huecas.

D. Arcillas para gres (plásticas, con fundentes).

E. Arcillas para ladrillos (plásticas, con óxido de hierro).

- Arcillas de terracota (barro).
- Ladrillos de fachada y comunes.

F. Arcillas fácilmente fusibles (con más óxido de hierro).

Clasificación según su plasticidad

- **Arcillas grasas.** Son arcillas de tacto graso, debido a su partícula fina 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.

Propiedades y características de la arcilla

Las arcillas antes de ser quemadas poseen propiedades que las distinguen de los demás materiales, estas propiedades son transferidas a las pastas en su conjunto determinando su comportamiento durante los procesos de producción, en los cuales las pastas cerámicas son transformadas.

Algunas de las propiedades más importantes para la producción de la cerámica son:

A. Plasticidad. Es “la propiedad que permite que un material cambie su forma, sin rotura, al aplicar una fuerza externa, y retener dicha forma cuando la fuerza sea eliminada o reducida en cierto valor”.⁶

Esta propiedad depende del tamaño y la forma de las partículas de la arcilla. Una partícula tiene un diámetro aproximado de 0.5 micras y su espesor es de 0.05 micras (una micra es igual a una milésima parte de milímetro). Vista al microscopio electrónico, amplificada 15,000 veces, tiene forma de hojuela con los bordes curvados, muy parecida a las placas de barro en un suelo seco, contraído y agrietado; estos bordes, observados a 200,000 aumentos, parecen formados por una serie de láminas apiladas una encima de otra, dispuestas como si fueran las hojas de un libro.⁷

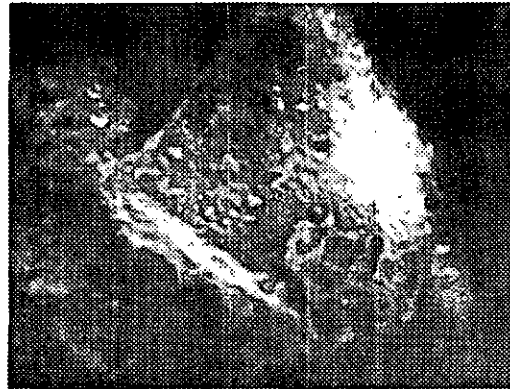


Fig. 5.5 Partícula de arcilla amplificada 15,000 veces.

Estas hojuelas tienen la capacidad extraordinaria de absorber agua, la cual funciona como lubricante. Cuando existe un exceso de humedad, las partículas corren libremente sin lograr coesionarse entre ellas, a medida que la pasta pierde humedad, las hojuelas entran en contacto resbalándose entre sí para adquirir una forma, y a la vez pegarse unas con otras haciendo que la masa en conjunto mantenga la configuración dada. Cuando la arcilla se encuentra en estado plástico, puede ser comparada a un mazo de cartas mojadas y bien saturadas de agua, la película que se encuentra entre la superficie de

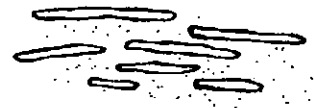


Fig. 5.6a Arcilla con exceso de humedad.

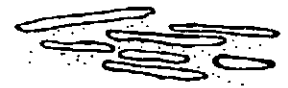


Fig. 5.6b Arcilla en estado plástico.

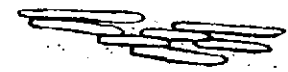


Fig. 5.6c Arcilla con poca humedad.

las cartas tiene un doble efecto: por un lado, hace que éstas resbalen y se deslicen una sobre otra, y por el otro, que se peguen entre sí; de forma similar, las partículas de la arcilla se deslizan una sobre otra para adquirir una forma determinada cuando se aplica una fuerza externa, pero se mantienen en su nueva posición al retirar la fuerza. Conforme el agua se va evaporando, las hojuelas entran en fricción ocasionando que la arcilla pierda paulatinamente su plasticidad hasta secarse totalmente, en este momento la arcilla se convierte en un cuerpo duro y extremadamente frágil.

La cantidad de agua que requiere una arcilla para encontrarse en estado plástico depende de su tamaño, las partículas de menor dimensión absorben y son envueltas por una cantidad de humedad mayor, siendo las más plásticas; mientras que las más gruesas requieren de menos líquido, pero difícilmente son tan plásticas como las hojuelas más pequeñas.

La plasticidad depende también de la disposición de las partículas de la arcilla, las de menor tamaño como las de la arcilla de bolas, presentan un acomodo que evita agrietamientos ya que su deslizamiento es muy pequeño; las partículas de las arcillas que son más grandes y gruesas, tienen que hacer un mayor recorrido provocado que la pasta se agriete con mayor facilidad. Sin embargo, algunas arcillas "gruesas", aun cuando son consideradas como no plásticas, son útiles para hacer ladrillos y otros productos pesados, tales como tejas y tubos de drenaje; en contraposición, otras arcillas como la bentonita, son demasiado pegajosas para utilizarse por si mismas y deben mezclarse con materiales menos plásticos para ser útiles.

Fig. 5.7a Partículas de arcilla grandes y gruesas con poca plasticidad.

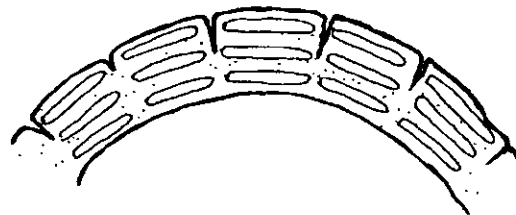
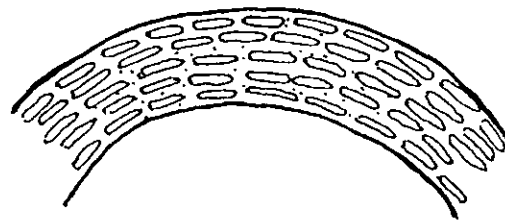


Fig. 5.7b Partículas pequeñas de arcilla con buena plasticidad.



La materia carbonosa corrientemente presente, contribuye también a la plasticidad, muchas arcillas que tienden a tener un contenido significativo de carbón son bastante plásticas. Así mismo, la materia orgánica actúa como goma o cola, incidiendo en el comportamiento de la arcilla; mientras que una pequeña cantidad de materia orgánica puede ser de ayuda en el desarrollo de la plasticidad, demasiada hará a la arcilla excesivamente pegajosa, difícil de trabajar y de contracción elevada. Las pequeñas diferencias de plasticidad son difíciles de evaluar de una manera exacta, pero puede obtenerse una idea simplemente pellizcando, enrollando o doblando una pequeña muestra.

B. Fluidéz. Es la propiedad que tiene un material de correr libremente, sin presentar obstrucciones a su paso. Esta propiedad es muy importante cuando una pasta es usada en moldes y existen dos tipos de fluidéz:

- **Fluidéz plástica.** Cuando una pasta se encuentra en estado plástico, puede correr fluidamente en un molde al aplicársele una determinada presión que varía de acuerdo a su contenido de agua: para una menor cantidad de humedad, se requiere de una mayor presión. Esta propiedad es de suma importancia para los procesos de torneado y prensado.
- **Fluidéz líquida.** El proceso de vaciado necesita de una pasta en suspensión que tenga una consistencia suave y cremosa que le permita llegar a todos los rincones del molde, esto se logra con la adición de desfloculantes a la arcilla húmeda. Un desfloculante en la cantidad adecuada altera las cargas en las moléculas de la arcilla haciendo que se disocien entre sí, este fenómeno es opuesto al de la plasticidad, en donde las partículas se atraen, en vez de repelerse.

Las cantidades necesarias de agua para la fluidéz plástica y las de agua-desfloculante para la fluidéz líquida, depende del tipo de arcilla y de la combinación que se haya realizado con ella.

Fig. 5.8 Arcilla en estado plástico. (izq.).

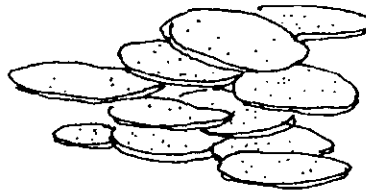
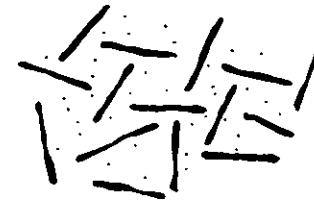
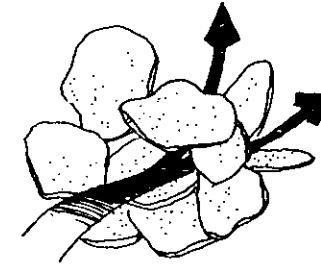
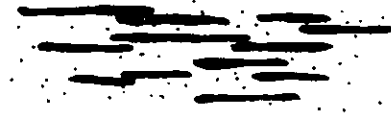


Fig. 5.9 Arcilla desfloculada en suspensión. (der.).



C. Resistencia en fresco. Es la capacidad que tiene una arcilla de mantenerse unida cuando se ha secado, esta propiedad depende de las atracciones electrostáticas entre las partículas de la arcilla, las cuales aumentan cuando se elimina la película de agua que las separa, por ello resulta de suma importancia que los materiales plásticos estén uniformemente distribuidos con el fin de mantener unidos a todos los materiales participantes. Esta propiedad es esencial para la industria cerámica.

“La resistencia en fresco de una pasta depende sensiblemente del método de moldearla, pues de éste depende la orientación de las partículas y el espesor y grado de perfección de la envoltura original de agua que las mantiene unidas. Estos factores determinan la homogeneidad de la pasta y la posibilidad de la existencia de tensiones, la experiencia ha demostrado que las piezas extruidas tiene la máxima resistencia y que ésta disminuye para las piezas torneadas y moldeadas y se hace mínima para las piezas vaciadas.

La resistencia en fresco de una pasta de arcilla aumenta cuando disminuye la presencia de humedad, el secado a la temperatura ambiente rebaja el contenido de agua hasta aproximadamente 2-3%. Un secado progresivo en estufas a temperaturas crecientes hace aumentar la resistencia en fresco muy considerablemente.

La resistencia de la arcilla seca es una propiedad importante con significado práctico directo en problemas de moldeo, manipulación y secado de los materiales, puesto que una alta resistencia permite que la arcilla soporte los choques y las tensiones de la manipulación. Gracias a ella la arcilla puede también soportar la incorporación de material no plástico".⁸

D. Contracción de secado de la arcilla. Al aire, la arcilla húmeda cede agua gradualmente al medio ambiente hasta secarse. A medida que la película de agua existente entre las partículas de arcilla se pierde por evaporación, éstas se acercan más entre sí cerrando el espacio que había sido ocupado por el agua, produciéndose así una contracción de secado. La pasta no se cerrará totalmente, ya que algunos espacios que eran ocupados por el agua serán reemplazados por poros. La contracción y el secado están casi siempre relacionados con la estructura del grano de la arcilla y por ello también con la plasticidad, las arcillas que tienen un tamaño de partículas muy fino son más plásticas, contrayéndose más por la presencia de más intersticios llenos de agua que se cierran; inversamente, las arcillas de partículas más gruesas se contraen menos. Un trozo de arcilla seca contendrá más o menos agua libre según el medio ambiente que la rodea, por tal razón el secado se completa realmente en el horno. La contracción existente en todas las piezas cerámicas durante el secado puede producir deformaciones, alabeos o agrietamientos, particularmente si ésta se produce de manera rápida e irregular.

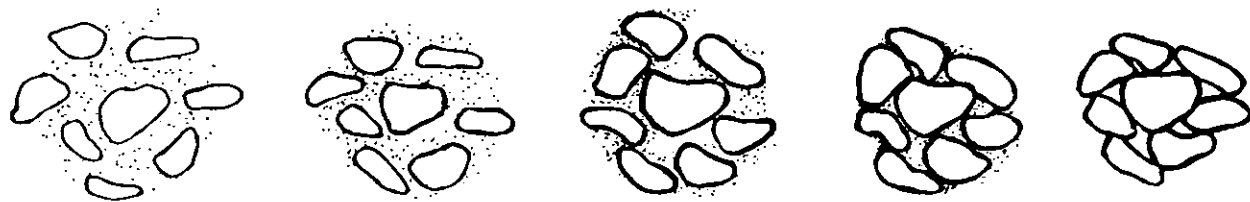


Fig. 5.10 Contracción durante el proceso de secado de una arcilla.

Fig. 5.11 Arcilla húmeda.

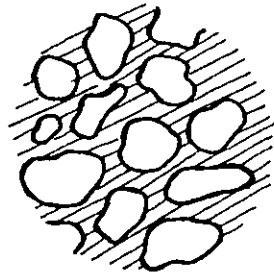


Fig. 5.12 Arcilla seca.

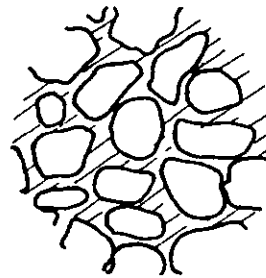
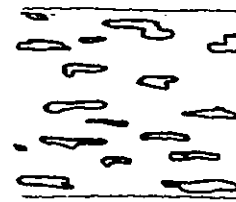


Fig. 5.13 Arcilla cocida.



E. Cocción. Durante la cocción se producen cambios físicos y químicos irreversibles, mediante los cuales, la arcilla pierde su contenido de agua química y se transforma propiamente en cerámica, adquiriendo dureza y convirtiéndose en un material inerte. Durante la cocción se presenta una última contracción en la pieza cerámica. Las temperaturas de cocción varían de acuerdo al tipo y pureza de la arcilla, generalmente las más puras tienen un punto de fusión más alto, debido a que en su composición, el contenido de fundentes es mínimo. Dada la importancia de este proceso, éste será tratado con más detalle en el capítulo correspondiente a cocción.

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 considerados 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.

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 sedimentaria 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 cochura 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 las pastas cerámicas para aumentar la blancura y subir la temperatura de quema.
- **Materias primas a la venta en México.**
 - Caolín EPK de importación.
 - Caolín Nacional PP1.
- **Presentación comercial.**
 - Se encuentra a la venta en sacos de 22 a 25 Kg, procesada para su uso directo.

Arcillas 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 pastas cerámicas es muy común, usándose en proporciones variadas.
- Aumenta la plasticidad de las pastas cerámicas en general.
- Se puede agregar entre 10 - 20% como plastificante a una pasta ya formulada.

• **Materias primas a la venta en México.**

- Arcilla nacional PPN-AN.
- Arcilla Old Mine # 4 (OM-4) de importación.

• **Presentación comercial.**

- Se encuentra a la venta en sacos de 22 a 30 Kg., procesada para su uso directo.

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 1,650° - 1750°C y madura entre 1,200° - 1300°C. Tiene una alta refractariedad que le permite soportar numerosas quemadas a altas temperaturas. Puede presentar una gran variedad de colores, el más común de ellos es el amarillo claro.

- **Aplicaciones en la cerámica.**

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

- **Materias primas a la venta en México.**

- Arcilla refractarias nacional en forma de arena o molidas.
- Barro de Zacatecas.

- **Presentación comercial.**

- Se encuentra a la venta en sacos de diversos tamaños, procesada para su uso directo.

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.

- **Aplicaciones en la cerámica.**

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

- **Materias primas a la venta en México.**

- Es una arcilla local de venta directa al público, poco comercializada.

- **Presentación comercial.**

- Generalmente se vende en grandes cantidades a granel, por lo cual no es muy fácil de adquirir, especialmente si se requieren pequeñas cantidades, por lo que puede sustituirse con una mezcla de arcilla de bolas y caolín.

Arcillas rojas

• **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.

• **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.

• **Materias primas a la venta en México.**

- Es una arcilla local de venta directa al público.

• **Presentación comercial.**

- Se vende a granel, generalmente en forma de pedruscos que tienen que ser procesados para su uso.
- También se puede encontrar preparada en estado plástico lista para su uso, a un costo mayor.

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

• **Materias primas a la venta en México.**

- Bentonita sódica.
- Bentonita cálcica (la más común).

• **Presentación comercial.**

- Se encuentra a la venta en sacos de 50 Kg, procesada para su uso directo.

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.

Capítulo VI

Materias primas no arcillosas

La imposibilidad de trabajar algunas arcillas por sí mismas, o la necesidad de mejorar las propiedades de las ya conocidas, dio lugar a la incorporación de materias primas no arcillosas en la composición de los cuerpos cerámicos. Estas materias primas 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, destacaré los más importantes y especialmente aquellos con los que se trabaja en México.

Materias primas plásticas no arcillosas

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).¹ 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 un 3% en la composición de pastas de gres para mejorar la resistencia y como estructurante.

• **Materias primas a la venta en México.**

- Talco gris (importado).

• **Presentación comercial.**

- Se encuentra a la venta en sacos de 22 Kg y a granel, procesado para su uso directo.

Materias primas antiplásticas

Sílice

• **Características.** Es el óxido más abundante de la naturaleza y constituye un ingrediente substancial para la cerámica, encontrándose presente en todos 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 1,610 y 1,763°C. Es una material refractario que aumenta el punto de fusión del 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.

• **Materias primas a la venta en México.**

- Sílice malla 200.
- Sílice malla 325 (Potencializa las propiedades del sílice malla 200).

• **Presentación comercial.**

- Se encuentra a la venta en sacos de 40 Kg y a granel, procesado para su uso directo.

Feldespato

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

- | | | |
|-----------------------|----------------------|------------------------------------|
| • Feldespato potásico | Ortoclasa, microlina | $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ |
| • Feldespato sódico | Albita | $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ |
| • Feldespato cálcico | Anortita | $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ |

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 más popular. Los feldespatos presentan diferentes puntos de fusión, comenzando a partir de los 1,080°C y continúan formando fluidos complejos hasta los 1,500°C. Su mayor fuerza fundente se presenta en altas temperaturas, mientras que en bajas no es muy significativa, por lo cual para reforzarla debe de acompañarse de otros fundentes como carbonato de calcio y especialmente talco.

En la mezcla común arcilla-feldespato-silice, el feldespato se reblandece y se vuelve vítreo o incluso líquido, mientras que la arcilla y el silice 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.²

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.

- **Materias primas a la venta en México.**

- Feldespato sódico.
- Feldespato potásico.

- **Presentación comercial.**

- Se encuentra a la venta en sacos de 40 y 50 Kg y a granel, procesado para su uso directo.

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.³

- **Aplicaciones en la cerámica.**

- Se usa principalmente en pastas para loza.
- En pastas de baja temperatura (loza), se usa 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.⁴

- **Materias primas a la venta en México.**

- Carbonato de calcio natural.

- **Presentación comercial.**

- Se encuentra a la venta en sacos de 50 Kg y a granel, procesado para su uso directo.

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 y es conocida también como grog. La chamota puede sustituirse con arcilla refractaria o barro de Zacatecas, que son más comúnmente usadas.
- **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.
- **Materias primas a la venta en México.**
 - Chamota.
- **Presentación comercial.**
 - En sacos y granel, procesado para su uso directo.

Capítulo VII

Metodología para el desarrollo de pastas cerámicas

En los capítulos antecedentes, se realizó una revisión acerca de lo que es una pasta cerámica, de los elementos básicos que la constituyen (materiales arcillosos, fundentes y refractarios), de las materias primas que pueden intervenir en su composición y algunas recomendaciones de uso. A partir de esta información, surgen las siguientes preguntas: ¿Cómo combinar las diferentes materias primas para obtener una pasta con determinadas características?, ¿Qué materiales deben de intervenir para cada caso, y en qué porcentajes?

Existen al respecto, diferentes métodos para el desarrollo de pastas cerámicas que van de lo simple a lo complejo, de ellos, se ha tratado de seleccionar a los que nos pueden proporcionar los medios para llegar a obtener buenos resultados, sin necesidad de recurrir a estudios muy complejos de laboratorio, que puedan hacerlos inaccesibles. Considero que los métodos propuestos aquí, por su sencillez, no dejan de ser eficaces y ampliamente utilizados aun en medios especializados, ofreciéndonos los elementos para poder elaborar nuestros propios materiales de manera clara y ordenada, e indicándonos las pruebas necesarias a realizar. Estos métodos han sido enriquecidos con sugerencias personales nacidas del trabajo de experimentación, camino inevitable que tenemos que seguir para llegar a entender y conocer más claramente el comportamiento de los materiales y sus posibles usos.

Consideraciones preliminares

Previo al desarrollo para la obtención de una pasta, es necesario establecer algunas consideraciones o condiciones mínimas que nos indiquen los resultados a obtener. Estas consideraciones estarán siempre regidas por el tipo de objeto a producir, y son:

- **Tipo de pasta.** Lo primero y más importante es determinar que tipo de pasta queremos desarrollar, ya que a partir de ello, se especifican las demás condiciones.
- **Temperatura de quema o madurez.** Es la temperatura en la cual el material logra desarrollar todas sus propiedades, dicha temperatura se establece de acuerdo al tipo de pasta a obtener y es también la que define la temperatura de los esmaltes.
- **Grado de plasticidad.** En términos generales, se recomienda que una pasta tradicional tenga como mínimo un 50% de materiales arcillosos y pueda alcanzar hasta un 80% como máximo. De acuerdo con el proceso de producción, se pueden seguir las siguientes indicaciones:
 - Las pastas de modelado manual o torno requieren de una buena plasticidad y por lo tanto de un alto contenido de materiales arcillosos en su composición, por lo cual deberán de tener entre 60-80% de arcillas.
 - Las pastas para vaciado no necesitan de la misma plasticidad, por lo que los porcentajes mínimos de materiales arcillosos pueden ser menores: alrededor de 40% para artículos de loza y 50% para gres y porcelana.
- **Densidad o grado de vitrificación.** Se establece con base en la capacidad que tiene el material ya quemado de absorber humedad, y refleja el grado de porosidad de la pasta cerámica. Existen rangos recomendados para cada caso.
- **Contracción.** Las pastas plásticas presentan mayor encogimiento al secado, y durante la quema las pastas vítreas naturalmente se compactan más, contrayéndose por lo tanto en mayor grado que las porosas. Para cada tipo de pasta existen rangos de

encogimiento, preferentemente hay que tratar de no llegar a los máximos establecidos, ya que una excesiva contracción puede causar deformaciones visibles y roturas en la pieza.

- **Materiales arcillosos.** Debido a las variaciones que puede presentar una arcilla en su composición y por lo tanto en su comportamiento, y considerando que es la materia prima que ocupa generalmente la mayor parte del porcentaje total de la pasta, se recomienda usar una mezcla de ellas, ya que, en caso necesario, es más fácil hacer los ajustes pertinentes en parte de los componentes arcillosos, que en el total representado por un solo tipo de arcilla. La mezcla arcilla de bola-caolín en diferentes porcentajes resulta una buena combinación, pero se puede contemplar cualquier otro tipo de arcilla.
- **Materiales fundentes y refractarios.** El mínimo recomendado es de 10% para cada caso (feldespato y sílice) y la suma de ambos, de acuerdo al tipo de pasta, no debe de rebasar de un 50% del total.
- **Color de la pasta.** Si se desea obtener una pasta de quema blanca, hay que seleccionar las materias primas con menor presencia de hierro (calcina blanca); por el contrario, si el color no es tan importante, la selección de éstas en cuanto a la blancura puede ser más libre. Para obtener pastas de colores específicos, agregar óxidos colorantes como agregados.
- **Materiales texturizantes.** Estos materiales, al igual que los óxidos colorantes, siempre se manejan como agregados, por lo que es preferible hacer primero el desarrollo de la pasta. Los texturizantes más comúnmente utilizados son las arcillas refractarias o el barro de Zacatecas.

En la Tabla No.18 del capítulo IV (página 101) se presentan los rangos recomendados para cada tipo de pasta, temperaturas de maduración, porcentajes de contracción y absorción, esta información nos puede servir como guía en el desarrollo de nuestros materiales, cabe aclarar que los datos presentados en la tabla no son reglas fijas, ya que cada quien puede determinar sus parámetros de acuerdo a sus propias necesidades, siempre y cuando exista cierta coherencia en ello.

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 desarrollados. De las técnicas existentes, algunas requieren de equipo sofisticado que generalmente sólo las grandes industrias tienen a su alcance, las que se describen a continuación, son técnicas sencillas que nos permiten conocer datos básicos acerca de 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.

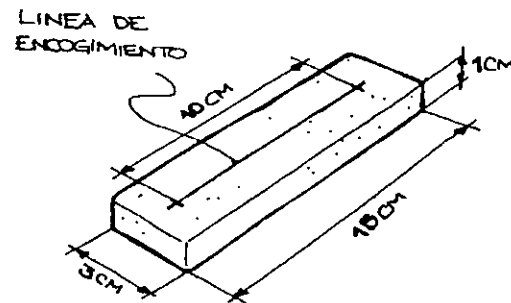
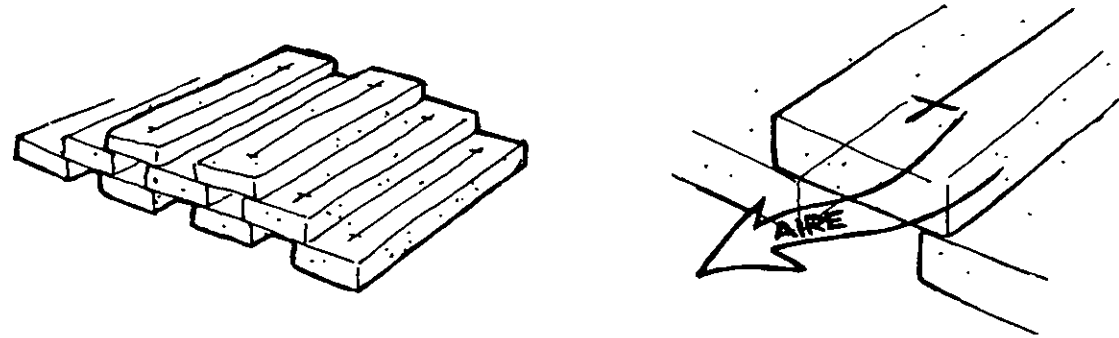


Fig. 7.1 Placa de pruebas para el análisis de pastas cerámicas.

- 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%.

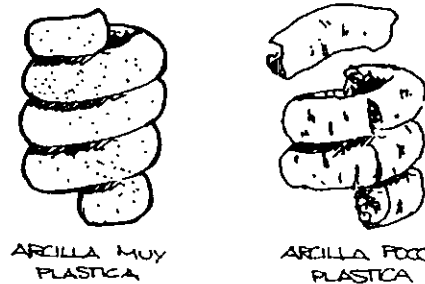
Fig. 7.2 Disposición de las placas de pruebas durante el secado, para evitar deformaciones.



- 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, como: 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.



Figs. 7.3 Pasta enrollada en forma de "cola de cochino", para medir la plasticidad de una pasta.

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

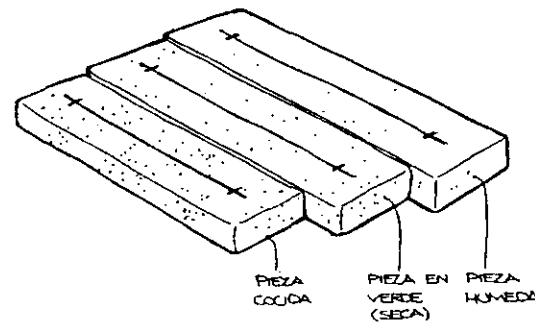


Fig. 7.4 Contracciones que sufre una pasta cerámica en diferentes estados.

- a = % de la contracción lineal.
- b = % de la contracción superficial.
- c = % de la contracción cúbica.

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

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

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

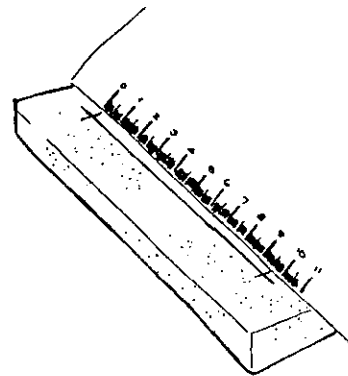


Fig. 7.5 Medición directa de la contracción de una pasta.

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:

$$\text{Porcentaje de contracción} = \left[\frac{\text{Medida inicial} - \text{Medida final}}{\text{Medida inicial}} \right] \times 100$$

D. Determinación de la absorción. La absorción es la capacidad, expresada en porcentaje, de una arcilla o una pasta cocida de absorber agua, 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 bajas temperaturas 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 el 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).

Fig. 7.6a Placa de pruebas suspendida sobre soportes refractarios (izq.)

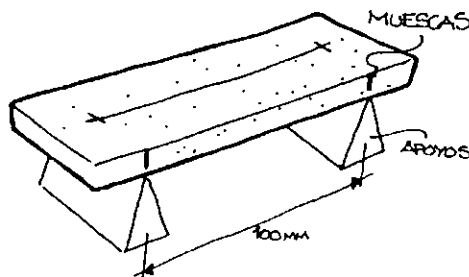
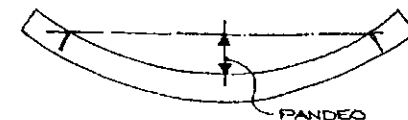


Fig. 7.6b Medición de la deformación de una pasta (der.).



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.

Método triaxial

La principal problemática a la cual nos enfrentamos cuando se desea desarrollar una pasta, es en que porcentajes mezclar cada una de las materias primas participantes, de manera que no dejemos fuera alguna posible muestra que pudiera ser importante. Evidentemente, es imposible abordar este problema por medio de ocurrencias, que sólo nos llevarían a recorrer un camino demasiado largo y tormentoso antes de llegar a una propuesta final, a no ser que la fortuna este de nuestro lado.

El método triaxial representa una buena opción para obtener las mezclas de la combinación de los componentes básicos: arcilla-sílice-feldespato, este método ha sido ampliamente utilizado y es muy común encontrarlo en libros especializados, sin embargo, la disposición que tienen los elementos en éste, puede dar lugar a una lectura un tanto compleja que nos lleven a errores de lectura.

Alberto Díaz de Cossío ha simplificado esta lectura agregando una hilera más de triángulos, de manera que la suma de porcentajes aparezca siempre completa. El método consiste en dividir un gran triángulo equilátero en un mismo número de veces cada uno de sus lados, trazando con esas divisiones los triángulos que se forman al interior. 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%.

- Si se quieren intervalos de 20%, se dividirá en $5 (+1)^*$ secciones.
- Si se quieren intervalos de 5%, se dividirá en $20 (+1)^*$ secciones.

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

A continuación, se coloca en cada uno de los vértices un material diferente, en donde cada triángulo (1, 56, 66) nos marca no una mezcla, sino el 100% de los material 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).

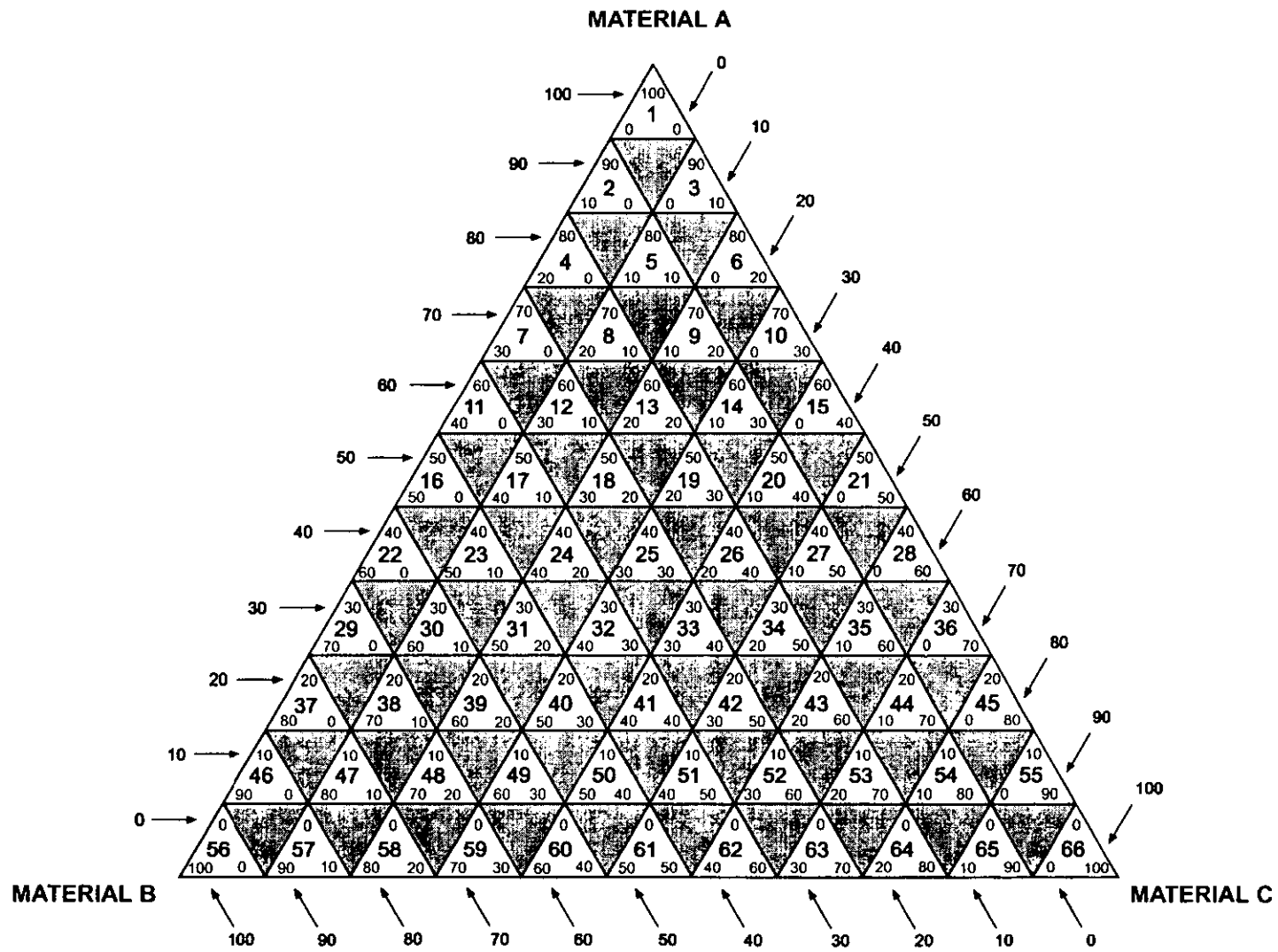
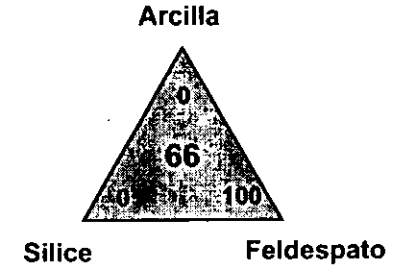
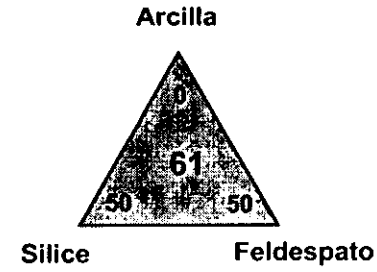
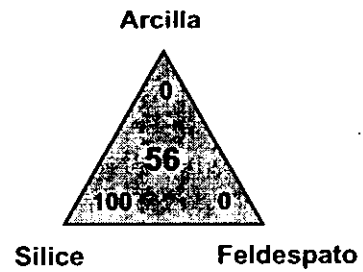
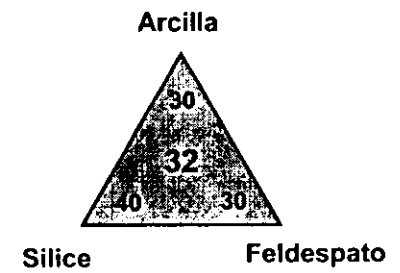
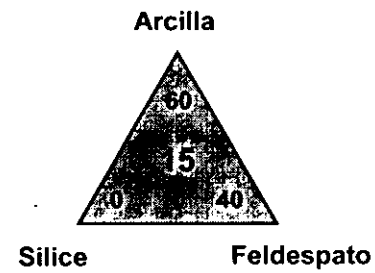
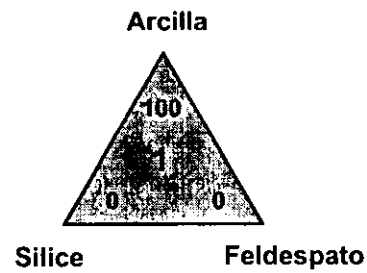


Diagrama Triaxial No.1

Si en las puntas A, B y C colocamos arcilla, sílice y feldespato respectivamente, tenemos por ejemplo, la siguiente lectura de los triángulos interiores: 1, 15, 32, 56, 61 y 66.



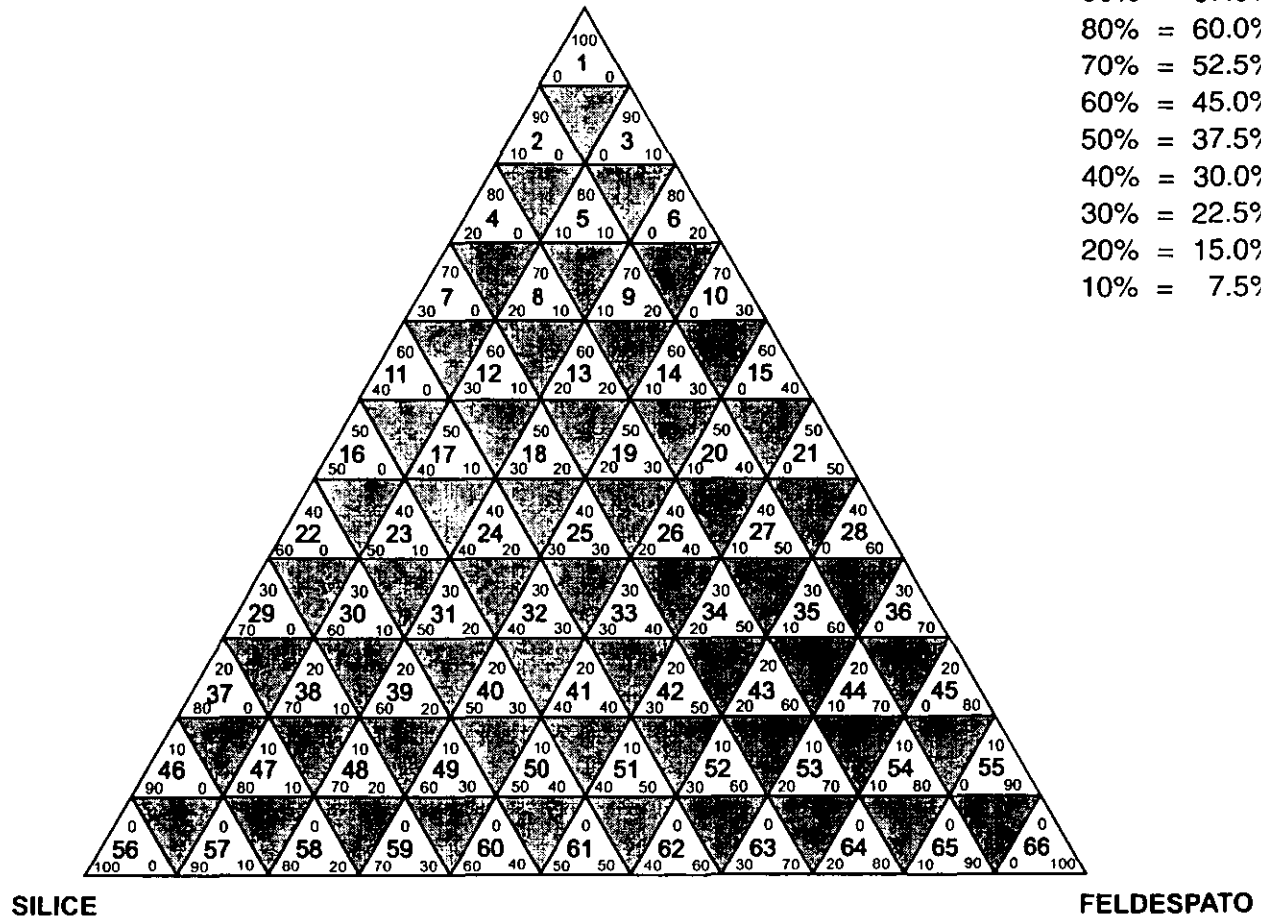
Naturalmente en este método se manejan muestras con tres materiales diferentes, sin embargo, las mejores pastas, o al menos las que son más fáciles de controlar, suelen obtenerse con combinaciones más complejas. Esperando que los ejemplos siguientes no se tomen de ninguna manera como fórmulas o reglas, quiero hacer algunas propuestas de como este método puede ser utilizado para lograr combinaciones de más de tres elementos, en todos los casos he tratado de seguir las recomendaciones existentes acerca de la composición de pastas y del uso de las materias primas (Capítulo IV pp.97-102, Capítulo V pp.103-122 y Capítulo VI pp.123-128).

- **Ejemplo No.1.** Atendiendo a la recomendación de combinar arcillas, se propone que el vértice correspondiente a los materiales arcillosos esté compuesto por dos arcillas en diferentes proporciones. Una mezcla común es la de arcilla de bola y caolín, pero se puede combinar cualquier otro tipo de arcillas, como: arcillas rojas, arcillas para gres, etcétera. Las combinaciones pueden ser:

95% - 5%	45% - 55%
90 - 10	40 - 60
85 - 15	35 - 65
80 - 20	30 - 70
75 - 25	25 - 75
70 - 30	20 - 80
65 - 35	15 - 85
60 - 40	10 - 90
55 - 45	5 - 95
50 - 50	

Es decir, que el triángulo interior No.1 estará formado por la combinación seleccionada (85-15, 80-20, 75-25, etcétera), por lo que habrá que realizar las operaciones necesarias para el cambio de porcentaje en cada triángulo correspondiente (Diagrama triaxial No.2). Tomando como ejemplo la combinación 75-25 de la mezcla arcilla de bola-caolín, tenemos:

MEZCLA DE ARCILLAS



Arcilla de bola - Caolín

- 100% = 75.0% + 25.0%
- 90% = 67.5% + 22.5%
- 80% = 60.0% + 20.0%
- 70% = 52.5% + 17.5%
- 60% = 45.0% + 15.0%
- 50% = 37.5% + 12.5%
- 40% = 30.0% + 10.0%
- 30% = 22.5% + 7.5%
- 20% = 15.0% + 5.0%
- 10% = 7.5% + 2.5%

Diagrama Triaxial No.2

- Ejemplo 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).

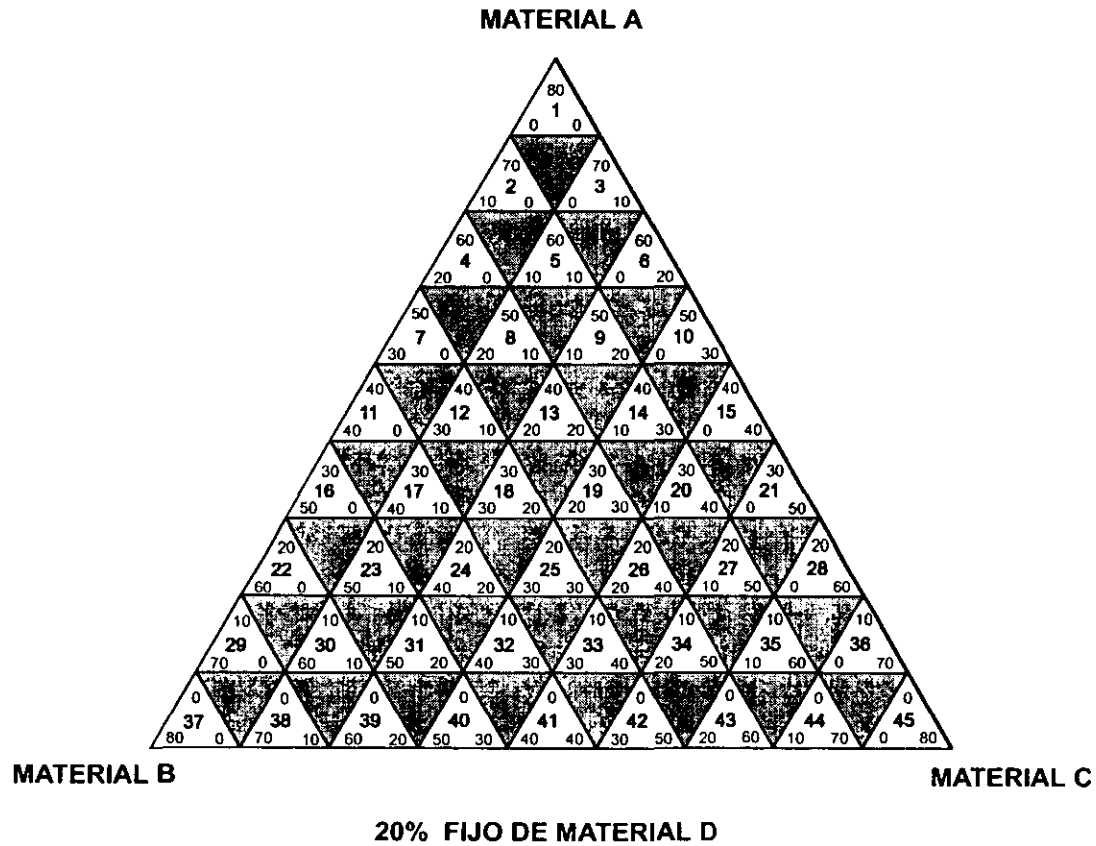


Diagrama Triaxial No.3

- Ejemplo No.3.** Una opción más compleja aún, es hacer una combinación de las dos propuestas anteriores, por ejemplo, si se desea desarrollar una pasta de loza para vaciado, de acuerdo a las recomendaciones de uso para cada material (Ver Capítulos V y VI, correspondientes a materias primas), se puede considerar un 30% de talco y un 10% de carbonato de calcio fijos, y para el vértice correspondiente a las arcillas: un 75% de Arcilla de bola y 25% de Caolín, con lo cual tenemos el siguiente diagrama. (Diagrama triaxial No.4).

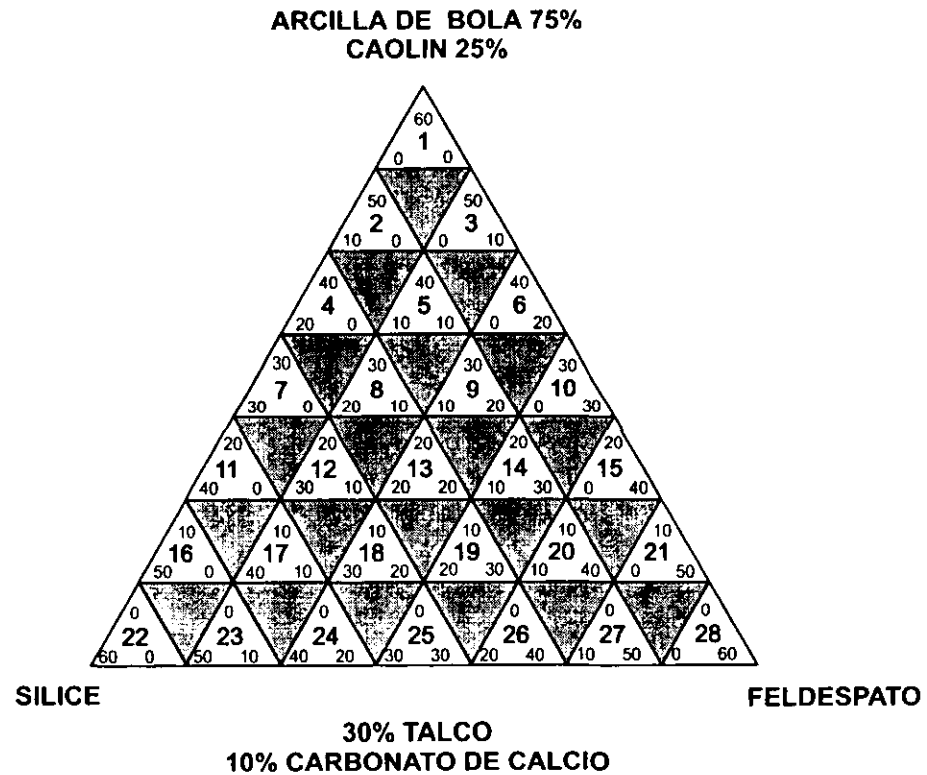


Diagrama Triaxial No.4

Los ejemplos anteriores representan tan sólo unos pocos de los muchos que cada quien puede construir, en todos los casos, la experimentación que se puede hacer con ellos, nos servirá para tener una mejor compenetración con el comportamiento de las materias primas en una pasta cerámica.

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, algunas recomendaciones son:

- 1. Eliminar todos los triángulos con combinaciones de uno y dos materiales, reduciendo de 66 a 36 mezclas. Se recomienda no cambiar el número de los triángulos para seguir teniendo la referencia del diagrama triaxial de origen (Diagrama triaxial No.5).
- 2. Si se desea elaborar una pasta plástica para trabajo manual o torno, es factible descartar todas las mezclas binarias y las que tengan menos de un 40% de materiales arcillosos, disminuyendo las pruebas de 66 a 10.
- 3. Si lo que se requiere, es desarrollar una pasta que funcione solamente para vaciado, se puede trabajar entonces con los triángulos de 40 y 50% de materias primas arcillosas, con una muestra de nueve fórmulas.

En términos generales considero que por su sencillez y versatilidad, este método representa una muy buena opción para los diseñadores industriales que desean iniciarse en el conocimiento, desarrollo y experimentación de los materiales cerámicos, resultando particularmente útil, si no se ha realizado algún trabajo previo en el área. Creo además, que la experiencia que se va adquiriendo a través del uso de éste, puede permitir en lo futuro recurrir a otros métodos más complejos.

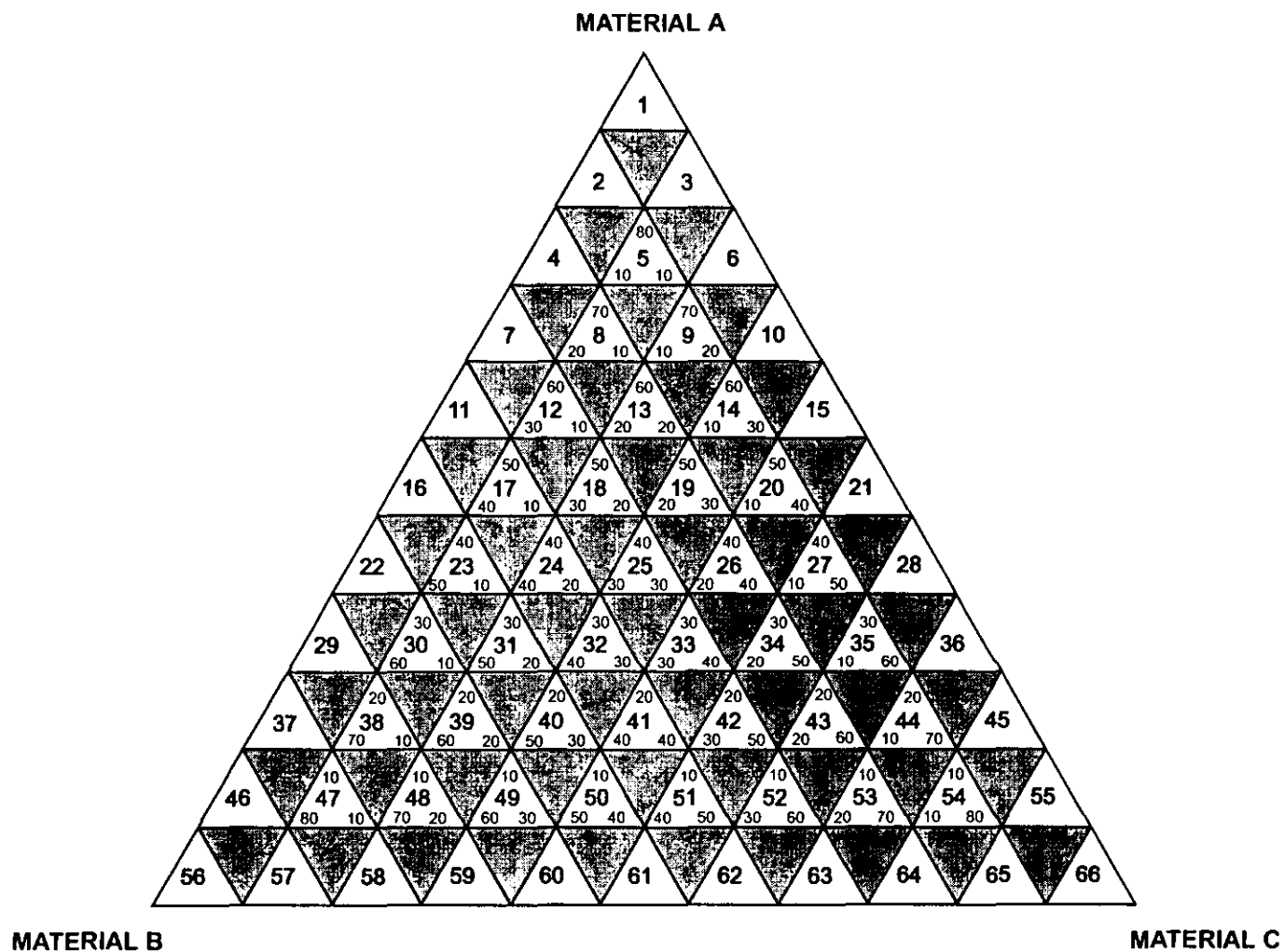


Diagrama Triaxial No.5

Método por fórmulas preestablecidas

Otro medio para desarrollar pastas cerámicas, es partir de una fórmula que ha sido establecida previamente, y que puede ser tomada de bibliografía especializada, prácticamente todos los libros de cerámica tienen al menos una fórmula para cada tipo de pasta. Sin embargo, la existencia de fórmulas no significa que éstas se ajusten a nuestras necesidades, o que se disponga de las materias primas exactas para poder reproducirlas tal cual, de ahí que se tenga que hacer el desarrollo pertinente.

Este método puede ser abordado de dos maneras diferentes, en ambos casos, el trabajo de experimentación es primordial, y el conocimiento de las características y comportamiento de las materias primas resulta de gran utilidad. A continuación se explica cada una de ellas, apoyándonos en resultados obtenidos en laboratorio, del desarrollo de una pasta de porcelana cuya fórmula base y características deseadas son:

- **Fórmula base*:**

Caolín	25%	(Caolín EPK)
Arcilla	25%	(Arcilla OM-4)
Sílice	25%	
Feldespató	25%	(Potásico)
- *Existen otras fórmulas.

- **Características técnicas:**

Absorción	0.0-0.5%
Contracción	12-15%

- **Temperatura de quema:**

Cono 9	- 1280°C.
Cono 10	- 1300°C.

A. Realizar primeramente el análisis a la fórmula base

Con el objetivo de conocer las propiedades que presenta la pasta cerámica, como primer paso se deberán de elaborar las placas de pruebas para realizar las pruebas correspondientes. Si la fórmula propuesta no cubre satisfactoriamente las necesidades requeridas, se generan entonces, otras posibles fórmulas que contemplen los ajustes para su mejoramiento.

• Resultados de laboratorio.

Los resultados obtenidos en los análisis realizados a la fórmula base fueron:

Plasticidad:	Buena		
Cono 9 - 1280°C:	Absorción	1.32%	
	Contracción	11.5%	
Cono 10 - 1300°C:	Absorción	1.32%	
	Contracción	12.0%	

• Propuestas de los ajustes a realizar:

Debido a la muy alta absorción(1.32%) y a la baja contracción(11.5-12.0%), se propone:

- 1. Aumentar el fundente (feldespato).
- 2. Disminuir la sílice.
- 3. Aumentar la arcilla de bola.
- 4. Disminuir el caolín.

Para mejorar la plasticidad:

- 1. Aumentar la arcilla.
- 2. Disminuir el caolín.

Además de las recomendaciones anteriores, se consideró que en todos los casos la suma de caolín y de arcilla de bola no debería de ser menor a un 50%, con lo cual se establecieron las siguientes mezclas:

MATERIAL	PRUEBA NÚMERO						
	1	2	3	4	5	6	7
Caolín EPK	20	25	25	15	25	25	20
Arcilla OM4	30	30	25	35	35	35	35
Sílice	25	20	20	25	15	20	20
Feldespatos	25	25	30	25	25	20	25

MATERIAL	PRUEBA NÚMERO						
	8	9	10	11	12	13	14
Caolín EPK	25	20	15	30	15	20	20
Arcilla OM4	30	30	35	35	35	35	30
Sílice	15	20	15	15	20	15	15
Feldespatos	30	30	35	20	30	30	35

Tabla No.21. Propuestas de fórmulas para el desarrollo de pastas de porcelana.

A las fórmulas propuestas, se les aplicaron los ensayos correspondientes, obteniendo los siguientes resultados:

No.	MATERIALES				PLASTICIDAD	CONO 9 (1280°C)		CONO 10 (1300°C)	
	Caolin EPK	OM 4	Sílice	Feldespató		Absorción %	Contracción %	Absorción %	Contracción %
1	20	30	25	25	Muy Buena	1,70	12,5	0,71	12,5
2	25	30	20	25	Muy Buena	2,10	13,5	1,40	12,5
3	25	25	20	30	Muy Buena	0,67	13,5	0,00	13,5
4	15	35	25	25	Regular	2,30	14,5	2,04	13,5
5	25	35	15	25	Muy Buena	1,10	15,5	0,47	16,0
6	25	35	20	20	Muy Buena	2,44	12,5	0,79	13,5
7	20	35	20	25	Regular	2,13	13,5	1,24	12,5
8	25	30	15	30	Muy Buena	1,60	14,5	0,28	15,0
9	20	30	20	30	Buena	1,36	13,5	0,88	13,0
10	15	35	15	35	Muy Buena	0,97	14,0	0,08	14,0
11	30	35	15	20	Buena	1,31	14,5	0,27	15,0
12	15	35	20	30	Buena	1,57	13,5	1,72	13,5
13	20	35	15	30	Regular	0,96	13,5	0,00	13,5
14	20	30	15	35	Buena	0,33	11,5	0,00	13,5

Tabla No.22. Resultados de análisis de comprobación.

Como podemos observar, las dos fórmulas sombreadas son las más cercanas a los parámetros definidos, tanto en cono 9 (1280°C), como en cono 10 (1300°C), de lo cual se puede concluir:

- **Prueba No. 3:** Presenta mejor plasticidad, pero su absorción en cono 9 es ligeramente mayor a lo establecido.
- **Prueba No.14:** Se encuentra dentro del rango de absorción en ambas temperaturas, pero su plasticidad es menor.

Es conveniente considerar, que no siempre es posible cubrir todos los parámetros establecidos para una pasta, y que por lo tanto, en ocasiones hay que sacrificar alguna de las características deseadas para darle preferencia a otras.

Finalmente, para decidir por cual de las dos fórmulas propuestas optar, se deberá probar la pasta en el proceso de producción en el que se elaborarán las piezas cerámicas; recordemos que para el proceso de vaciado se requiere de menos plasticidad, y en general, las pastas para modelado manual o torno necesitan tener una buena plasticidad.

B. Generar una serie de propuestas, estableciendo algunos parámetros previos a partir de la fórmula base.

En este caso, se generan primeramente las propuestas a partir de la fórmula base, para lo cual se establecerán ciertos parámetros a seguir. Las posibles fórmulas deberán de ser analizadas para conocer con exactitud sus características, y así poder seleccionar la que mejor cumpla con ellas.

• **Parámetros establecidos:**

Para generar las nuevas propuestas a partir de la fórmula base de porcelana, se propuso realizar variaciones de +5, -5, +10 y -10 unidades, y fijar un rango para cada material, estableciendo con ellos los siguientes intervalos:

Caolín EPK	35 - 30 - 25 - 20 - 15
Arcilla OM-4	35 - 30 - 25 - 20 - 15
Sílice	35 - 30 - 25 - 20 - 15
Feldespato	35 - 30 - 25 - 20 - 15

De acuerdo a estas condiciones, se uso una técnica de análisis combinatorio para obtener las posibles combinaciones de los porcentajes de materiales dentro de los rangos de variación establecidos. Las 84 combinaciones obtenidas (sin incluir la fórmula base) fueron agrupadas en 7 grupos diferentes (ver las tablas siguientes). Debido al gran número de posibilidades, se realizó una selección considerando ahora, un rango promedio establecido con base en formulaciones reportadas en bibliografía especializada:

Formulación promedio reportada:

Materiales arcillosos	50 % o más
Sílice	15 - 25 % (30 %)*
Feldespato	25 - 35 % (20 %)*

*Las cantidades que se encuentran entre paréntesis fueron propuestas por mi, como rangos extremos.

Bajo este nuevo parámetro, se eliminaron 38 formulaciones (corresponden a las fórmulas sombreadas de las tablas de grupos) y se trabajó con las 47 restantes.

GRUPO A												
MATERIAL	PRUEBA NÚMERO											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Caolín EPK	30	30	30	20	25	25	20	25	25	20	25	25
Arcilla OM4	20	25	25	30	30	30	25	20	25	25	20	25
Silice	25	20	25	25	20	25	30	30	30	25	25	20
Feldespatos	25	25	20	25	25	20	25	25	20	30	30	30

* 1 sube y 1 baja 5 unidades.

GRUPO B												
MATERIAL	PRUEBA NÚMERO											
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Caolín EPK	35	35	35	15	25	25	15	25	25	15	25	25
Arcilla OM4	15	25	25	35	35	35	25	15	25	25	15	25
Silice	25	15	25	25	15	25	35	35	35	25	25	15
Feldespatos	25	25	15	25	25	15	25	25	15	35	35	35

* 1 sube y 1 baja 10 unidades.

GRUPO C												
MATERIAL	PRUEBA NÚMERO											
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Caolín EPK	35	35	35	25	20	20	25	20	20	25	20	20
Arcilla OM4	25	20	20	35	35	35	20	25	20	20	25	20
Silice	20	25	20	20	25	20	35	35	35	20	20	25
Feldespatos	20	20	25	20	20	25	20	20	25	35	35	35

* 1 sube 10 y 2 bajan 5 unidades.

Tabla No.23. Grupos de las combinaciones propuestas para el desarrollo de pastas de porcelana.

GRUPO D'												
MATERIAL	PRUEBA NÚMERO											
	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Caolín EPK	15	15	15	25	30	30	25	30	30	25	30	30
Arcilla OM4	25	30	30	15	15	15	30	25	30	30	25	30
Sílice	30	25	30	30	25	30	15	15	15	30	30	25
Feldespató	30	30	25	30	30	25	30	30	25	15	15	15

* 2 suben 5 y 1 baja 10 unidades.

GRUPO E'						
MATERIAL	PRUEBA NÚMERO					
	50	51	52	53	54	55
Caolín EPK	30	30	30	20	20	20
Arcilla OM4	30	20	20	30	30	20
Sílice	20	30	20	30	20	30
Feldespató	20	20	30	20	30	30

* 2 suben 5 y 2 bajan 5 unidades.

GRUPO F'						
MATERIAL	PRUEBA NÚMERO					
	56	57	58	59	60	61
Caolín EPK	35	35	35	15	15	15
Arcilla OM4	35	15	15	35	35	15
Sílice	15	35	15	35	15	35
Feldespató	15	15	35	15	35	35

* 2 suben 10 y 2 bajan 10 unidades.

Cont. Tabla No.23. Grupos de las combinaciones propuestas para el desarrollo de pastas de porcelana.

GRUPO G*												
MATERIAL	PRUEBA NÚMERO											
	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
Caolín EPK	35	35	35	35	35	35	30	30	15	20	15	20
Arcilla OM4	30	30	15	20	15	20	35	35	35	35	35	35
Sílice	15	20	30	30	20	15	15	20	30	30	20	15
Feldespató	20	15	20	15	30	30	20	15	20	15	30	30

GRUPO G*												
MATERIAL	PRUEBA NÚMERO											
	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
Caolín EPK	30	30	15	20	15	20	30	30	15	20	15	20
Arcilla OM4	15	20	30	30	20	15	15	20	30	30	20	15
Sílice	35	35	35	35	35	35	20	15	20	15	30	30
Feldespató	20	15	20	15	30	30	35	35	35	35	35	35

* 1 sube 10 y 1 baja 10 unidades,
1 sube 5 y 1 baja 5 unidades.

Cont. Tabla No.23. Grupos de las combinaciones propuestas para el desarrollo de pastas de porcelana.

Una vez establecidas las posibles fórmulas de porcelana, se elaboraron las placas de pruebas para realizar las mediciones pertinentes. Los resultados obtenidos son los que se presentan en las tablas siguientes, en donde las fórmulas sombreadas corresponden a aquellas que cubrieron más adecuadamente las características deseadas.

Como podemos observar, las dos pastas desarrolladas por el procedimiento anterior, coinciden con dos de las tres obtenidas por este medio, y las consideración son las mismas: mejor vitrificación a cambio de plasticidad o mejor plasticidad a cambio de una menor vitrificación.

Cabe destacar, que por ambas métodos es posible obtener buenos resultados, el primero es más corto, pero requiere de mayor experiencia; el segundo es por supuesto más largo, pero se obtienen pastas que pueden ser utilizadas con otros propósitos. Así mismo, los intervalos que se establecieron en este desarrollo (+5,- 5, +10 y -10 unidades) pueden variar de acuerdo a nuestras necesidades; en realidad, los límites y el número de pruebas a elaborar son marcados por cada persona.

No.	MATERIALES				PLASTICIDAD	CONO 9 (1280°C)		CONO 10 (1300°C)	
	Caolín EPK	OM 4	Sílice	Feldespato		Absorción %	Contracción %	Absorción %	Contracción %
1	25	25	25	25	Buena	1,32	11,5	1,32	12,0
2	30	20	25	25	Regular	3,39	11,5	1,83	12,5
3	30	25	20	25	Regular	2,60	12,5	0,78	12,0
4	30	25	25	20	Buena	3,20	12,0	1,24	12,0
5	20	30	25	25	Muy Buena	1,70	12,5	0,71	12,5
6	25	30	20	25	Muy Buena	2,10	13,5	1,40	12,5
7	25	30	25	20	Buena	2,47	12,0	1,64	13,5
11	20	25	25	30	Regular	1,13	12,0	1,14	12,0
12	25	20	25	30	Buena	0,83	12,0	1,06	11,5
13	25	25	20	30	Muy Buena	0,67	13,5	0,00	13,5
14	35	15	25	25	Buena	2,67	12,0	1,58	12,0
15	35	25	15	25	Regular	2,77	14,0	0,00	15,0
17	15	35	25	25	Regular	2,30	14,5	2,04	13,5
18	25	35	15	25	Muy Buena	1,10	15,5	0,47	16,0
25	25	25	15	35	Regular	0,88	14,0	0,17	12,5
26	35	25	20	20	Muy Buena			1,92	13,5
27	35	20	25	20	Muy Buena	4,19	13,5	2,60	15,0
28	35	20	20	25	Buena	3,68	15,0	1,51	14,5
29	25	35	20	20	Muy Buena	2,44	12,5	0,79	13,5
30	20	35	25	20	Buena	2,23	12,5	1,47	13,0
31	20	35	20	25	Regular	2,13	13,5	1,24	12,5
35	25	20	20	35	Mala	1,60	13,5	0,58	12,0
36	20	25	30	35	Buena	0,69	11,5	0,42	13,5

Tabla No.24. Resultados de análisis de comprobación.

No.	MATERIALES				PLASTICIDAD	CONO 9 (1280°C)		CONO 10 (1300°C)	
	Caolín EPK	OM 4	Sílica	Feldespato		Absorción %	Contracción %	Absorción %	Contracción %
39	15	30	25	30	Muy Buena	1,33	11,5	0,30	11,5
42	30	15	25	30	Regular	2,83	11,5	0,88	12,0
44	25	30	15	30	Muy Buena	1,60	14,5	0,28	15,0
45	30	25	15	30	Buena	2,09	13,5	0,75	13,5
46	30	30	15	25	Buena	1,30	13,5	0,00	14,0
50	30	30	20	20	Regular	14,33	9,5	13,15	8,5
51	30	20	30	20	Regular	2,37	13,5	2,05	12,5
52	30	20	20	30	Buena	0,18	13,5	0,00	14,0
53	20	30	30	20	Buena	1,85	11,5	2,32	12,5
54	20	30	20	30	Buena	1,36	13,5	0,88	13,0
58	35	15	15	35	Regular	1,44	13,5	0,44	14,0
60	15	35	15	35	Muy Buena	0,97	14,0	0,08	14,0
62	35	30	15	20	Muy Buena	1,08	15,5	0,00	15,5
64	35	15	30	20	Buena	3,80	12,5	2,93	12,5
66	35	15	20	30	Regular	2,23	14,5	0,88	12,5
67	35	20	15	30	Buena	1,98	13,5	0,18	13,0
68	30	35	15	20	Buena	1,31	14,5	0,27	15,0
70	15	35	30	20	Buena	1,26	14,0	1,60	14,5
72	15	35	20	30	Buena	1,57	13,5	1,72	13,5
73	20	35	15	30	Regular	0,96	13,5	0,00	13,5
80	30	15	20	35	Regular	1,70	13,0	0,80	13,0
81	30	20	15	35	Mala	0,80	14,5	0,25	12,5
82	15	30	20	35	Buena	1,63	14,0	0,34	13,5
83	20	30	15	35	Buena	0,33	11,5	0,00	13,5

Cont. Tabla No.24. Resultados de análisis de comprobación.

Uso de pastas comerciales

Las pastas ya formuladas y preparadas que se encuentran en el mercado en forma comercial, podrían resultar una buena opción para la producción de piezas cerámicas, sin embargo, la variedad que se ofrece de ellas, suele ser bastante limitada (prácticamente todas son para vaciado). Algunas recomendaciones para el uso de éstas, son:

- 1. Solicitar al vendedor o fabricante, el máximo de información acerca del material adquirido.
- 2. Antes de hacer modificación alguna, es necesario conocer el comportamiento de la pasta, por lo cual habrá que realizar las pruebas correspondientes de plasticidad, contracción, absorción y sonoridad, descritas anteriormente en este mismo capítulo. Así mismo, se sugiere preparar una muestra que pueda ser probada en producción.
- 3. Si el material cerámico cubre satisfactoriamente los requerimientos deseados, no se hará ningún cambio en su formulación, pero es conveniente practicar un muestreo cada que se compre un nuevo lote, particularmente, si ha pasado mucho tiempo antes de adquirir nuevo material.
- 4. Si existe la necesidad de hacer un ajuste, las pruebas de análisis practicadas a la pasta, nos ayudarán a detectar exactamente que clase de corrección es necesaria realizar, y por lo tanto que tipo de material hay que agregar, para tal caso, se pueden seguir los métodos previamente revisados (Método triaxial y por fórmula preestablecida).

Preparación de las pastas cerámicas de acuerdo al proceso de producción

Una vez efectuados los análisis para conocer las características de las pastas desarrolladas, y hecha la selección de la o las que cubren mejor nuestras necesidades, es conveniente que antes de preparar el material en grandes volúmenes se elabore una prueba de acuerdo al proceso de producción a utilizar, no debemos dejar de lado que dicha prueba puede llevarnos también a realizar correcciones en la formulación. Considerando los procesos de producción más comunes en los que las pastas son transformadas en objetos, se proponen los siguientes procedimientos:

A. Preparación de la pasta en estado plástico

Las pastas en estado plástico son las más conocidas y son utilizadas para modelado a mano, torneado y prensado, ya sea en procesos artesanales o industriales. El procedimiento para su preparación es el siguiente:

- En un recipiente se deposita una cantidad de agua suficiente, para que las materias primas que se van a agregar queden totalmente cubiertas y puedan hidratarse de manera adecuada.
- Si la fórmula contiene bentonita, ésta es la primera en añadirse, mezclándola muy bien y dejándola en reposo durante un día para que se hidrate perfectamente, después de transcurrido este tiempo, se pueden agregar los demás ingredientes.
- Se pesa cada uno de los materiales y se van introduciendo uno a uno sin mover, espolvoreándolos sobre el agua para evitar que se formen grumos, comenzando con las arcillas por ser éstas las que absorben más humedad. Posteriormente se agregan los materiales antiplásticos, se recomienda el siguiente orden: talco, materiales fundentes y sílice.

- Se debe dejar reposar durante un día sin mover para permitir que las sales, si existen, suban a la superficie, por lo que después de ese tiempo habrá que retirar el agua superficial y mezclar perfectamente (manual o mecánicamente).
- Una vez que se ha preparado la pasta, ésta se debe de dejar reposar durante un período prolongado, no existe un límite al respecto, mientras más largo sea, el material adquirirá mayor plasticidad. Mantener las arcillas en medio húmedo es un factor determinante para que desarrollen al máximo su plasticidad, por lo que la pasta puede estar en remojo permanente, y sólo secarse cuando se vaya a utilizar.
- Se recomienda secar la pasta en recipientes o placas de yeso, y posteriormente amasar hasta que no contenga aire ni exceso de humedad, la pasta deberá tener el agua suficiente para poder ser trabajada sin que se pegue a las manos por exceso de humedad o se agriete por falta de ella.

B. Pastas para vaciado

Mediante este proceso se elaboran un sin número de piezas industrial y artesanalmente. El moldeo de piezas cerámicas por vaciado, consiste básicamente en vertir una barbotina que tenga buenas propiedades de flujo, con un contenido mínimo de agua, en moldes de yeso, en donde la doble acción de absorción y floculación por el sulfato de calcio del molde, hace que se forme paulatinamente una capa dura de pasta sobre la superficie interna del molde, copiando la forma de éste. Una vez que se tiene el espesor requerido se retira la barbotina contenida, misma que podrá ser usada en otros vaciados.

La barbotina es una pasta líquida que debe tener buena fluidez para penetrar en todas las zonas del molde, aun en las que tienen detalles finos. La cantidad de agua que se encuentra presente debe ser reducida, ya que ésta humedecerá rápidamente el molde haciendo más lento el proceso, y posteriormente la pieza sufrirá un fuerte encogimiento al secarse por pérdida de humedad, pudiendo producir roturas y falta de consistencia al desmoldar. Para lograr una barbotina poco "húmeda", es necesario el uso de sustancias desfloculantes.

Los defloculantes son electrolitos que usados en la cantidad correcta, invierten la carga eléctrica de las partículas de arcilla, con lo que éstas en lugar de atraerse se repelen incrementando la fluidez de la suspensión sin requerir de una gran concentración de agua (Ver más acerca de fluidez en el capítulo V, p.114). Sin embargo, un exceso de defloculante puede producir el efecto contrario al hacer que las partículas se precipiten en el fondo del recipiente. Los defloculantes más usados son el carbonato de sodio y particularmente el silicato de sodio, éste último puede ser usado sólo, o combinado con el carbonato.

Una recomendación muy generalizada es la de considerar un 40% de agua y alrededor del 0.5% de defloculante como promedio para la elaboración de una barbotina, no obstante, la cantidad correcta de estas sustancias depende de las características específicas de cada pasta, naturalmente las que tienen más materiales plásticos en su composición requerirán de un mayor contenido de agua y/o defloculante. Para determinar las cantidades de agua y silicato de sodio, se puede seguir el siguiente procedimiento:

- Pesar una muestra de 5 Kg de la pasta seleccionada.
- Mezclar muy bien los materiales en seco.
- Agregar agua hasta obtener una papilla con consistencia de lodo, se puede tomar como base un 40%, sin olvidar que la cantidad puede ser menor o mayor a ésta. Es de suma importancia que los materiales estén homogeneamente hidratados.
- Agregar el silicato de sodio poco a poco, mezclándolo muy bien con el resto de los materiales hasta obtener una papilla líquida de consistencia cremosa y fluida. Debe de ser medida cuidadosamente la cantidad de defloculante agregado, generalmente ésta se expresa en gramos/kilogramo de pasta seca.
- Dejar reposar la barbotina, tapándola herméticamente para evitar pérdida de agua. El reposo de la pasta es necesario, ya que una barbotina añejada obtiene mayor plasticidad, y con ello, una mejor moldeabilidad.

Se considera que una buena barbotina para vaciado alcanza su espesor dentro del molde, en un tiempo que fluctúa entre 20 y 40 minutos, se desprende fácilmente de él y tiene fuerza suficiente para conservar su forma durante el secado.

Una vez que se han establecido las cantidades de agua y desfloculante, la barbotina deberá de prepararse en el siguiente orden:

- Medir el agua.
- Agregar el desfloculante agitando de preferencia con una batidora.
- Agregar los materiales uno a uno sin dejar de batir, comenzando por las arcillas que son las que más humedad requieren y continuando con los materiales antiplásticos.
- Tamizar en malla 80, una vez que la barbotina se encuentra libre de grumos.
- Dejar reposar.

Corrección de defectos

En caso de que las pastas desarrolladas no tengan el comportamiento esperado, es necesario realizar los ajustes correspondientes, para lo cual, se proponen como guía las siguientes correcciones:

Problema:	Corrección:
- No es plástica.	- Añadir arcilla de bola.
- La cuerda o rollo se rompe fácilmente.	- Añadir arcilla de bola.
- Demasiado plástica.	- Añadir materiales antiplásticos. (Disminuir arcilla de bola).

Problema:

- Bajar la temperatura de quema.
- Alto encogimiento.
- Se deforma durante la quema.

Corrección:

- Disminuir caolín o sílice.
(Aumentar fundente).
- Añadir arcilla refractaria o grog.
(Disminuir arcilla de bola).
- Disminuir el fundente.
- Añadir sílice.
- Quemar a menor temperatura.

Nota: Después de realizar los ajustes necesarios en la formulación de la pasta, se recomienda volver a practicar los ensayos correspondientes.

Capítulo VIII Vidriados cerámicos

Dos objetivos importantes tiene la aplicación de vidriados: uno es desde el punto de vista funcional, ya que al hacer al material impermeable y mejorar sus propiedades físicas y químicas, permite ampliar los usos y aplicaciones de éste; y el otro lo constituye el lado estético, si se considera la riqueza de superficies, colores y texturas que pueden presentar los vidriados, incidiendo directamente en la apariencia de las piezas en donde han sido utilizados. Estos dos factores deben de estar siempre presentes durante el proceso de diseño por su especial relevancia, no obstante, en muchas ocasiones esta parte ha sido desatendida debido a que se ha depositado únicamente el interés en el desarrollo de la forma del producto, cayendo en el error de pensar que el vidriado es una simple cubierta, cuando en realidad es parte esencial del objeto a diseñar. Una pieza nunca llegará a estar cabalmente resuelta, si forma y vidriado no se corresponden, a pesar de que la misma haya dado una aparente solución funcional, ergonómica o técnica.

Como parte del desarrollo de materiales cerámicos, los vidriados constituyen además una de las partes más apasionantes dada la inmensa variedad que se puede obtener de ellos, un cambio mínimo de alguna de las materias primas participantes en una fórmula, la adición de determinadas sustancias o alguna modificación en las condiciones de quema, nos pueden llevar a obtener efectos especiales. Pero para llegar a lograr dichos resultados, siempre será indispensable una comprensión profunda de los materiales que conforman a un vidriado y de la experimentación que se pueda hacer con ellos. Bajo estas consideraciones, el trabajo con los vidriados, ya sea desde el diseño del objeto o del material mismo, ofrece un campo muy amplio de exploración.

Definición

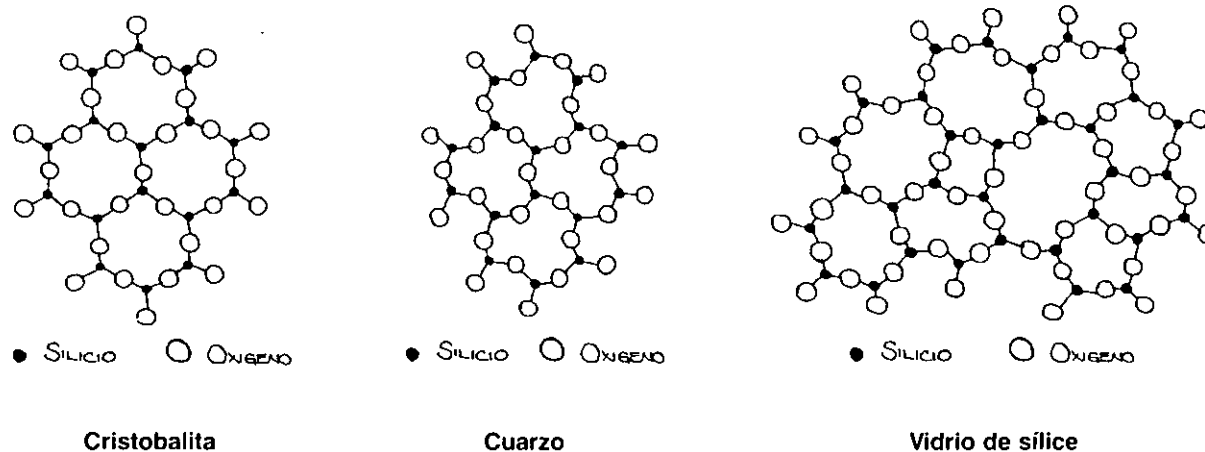
Un vidriado es una capa fina de vidrio fundido y enfriado sobre la superficie del cuerpo cerámico, constituida por óxidos en forma de polvo que son aplicados en suspensión (mezclados con agua) sobre la pasta en verde o en sancocho. Los cuerpos cerámicos son recubiertos con el propósito de impermeabilizarlos, 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, es decir, que un vidriado cumple por igual con fines prácticos y estéticos.

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.

Figs. 8.1 Representación bidimensional esquemática de las diferencias estructurales del sílice (SiO_2), según Lawrence.



- **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.

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 formarlos 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 a la mayoría de los vidriados cerámicos (800° - 900°C). A pesar de esta diferencia, el término de esmalte es utilizado aun en libros especializados de cerámica.

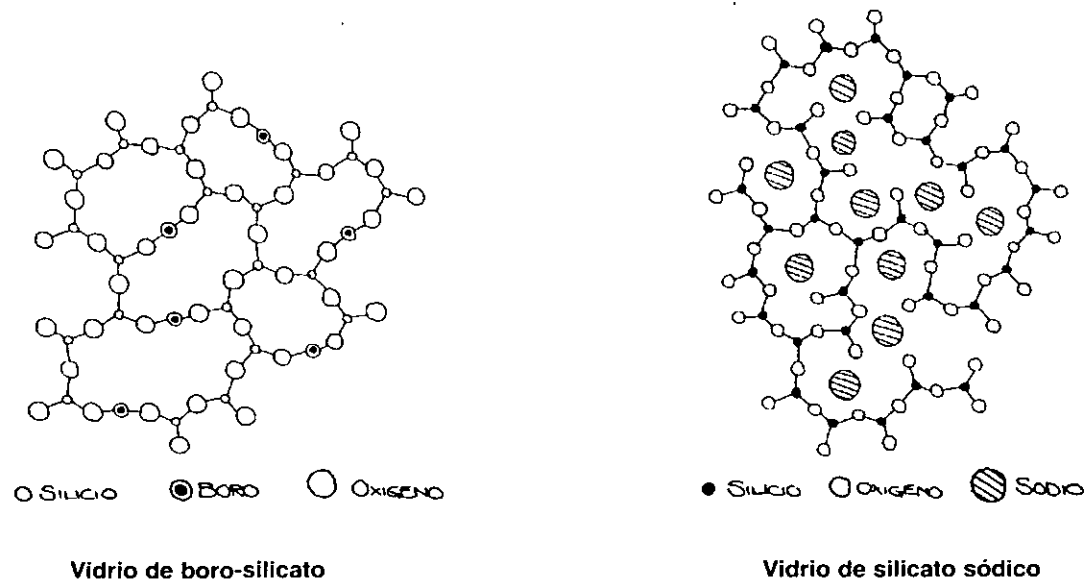
Composición del vidriado

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, estos óxidos no pueden ser usados 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° - 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° - 1200°C , se le añade 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 temperaturas, 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.

Figs. 8.2 Representación bidimensional esquemática de estructuras de vidrio, según Lawrence.



- **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 $2050^\circ C$ respectivamente, puedan formar mezclas fluidas a temperaturas inferiores (algunas mezclas eutécticas son presentadas en el Apéndice 2).

Propiedades de los vidriados

Los vidriados poseen propiedades diferentes dependiendo del estado en que se encuentren, es decir, antes, durante o después de la quema. 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.

A. Propiedades en estado crudo

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

- **En forma de polvo.** Es deseable que todos los materiales que participan en la composición de un vidriado presenten una estructura granular uniforme (generalmente malla 200) y los de mayor peso específico, como las fritas o el rutilo, deberán estar preferentemente más molidos con el propósito de lograr una mezcla uniforme que presente la misma composición en todas partes.
- **Como 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 de la cubierta 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 usarse 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 determinantemente 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, un promedio del cual se puede partir es de 20 a 30 minutos, y 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, una aproximación de la efectividad de éstos se presenta en la tabla No. 25.
- **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; y de la temperatura de quema, una sobrecocción puede provocar escurrimientos. La influencia que tienen los óxidos en el control de la viscosidad se presenta en la tabla No. 25.
- **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, la actividad de éstos para aumentar o disminuir la tensión superficial se presenta en la tabla No.25.

• **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 porcentaje.
- 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.

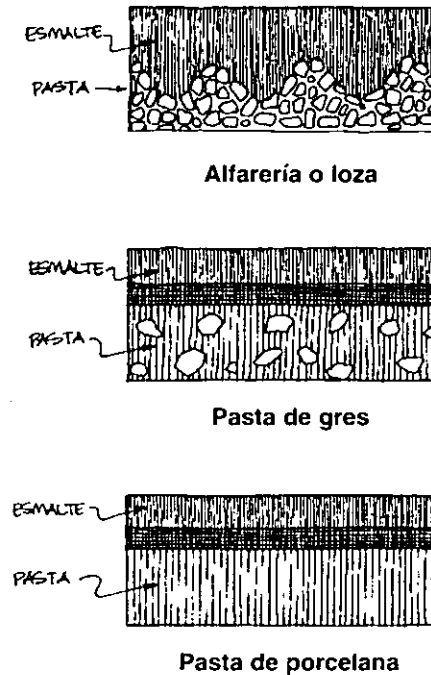
• **Reacción del vidriado fundido.** Al interior del horno se forman diferentes atmósferas dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno. En una atmósfera oxidante (con presencia de oxígeno), los compuestos de vidriado se oxidan dando lugar a colores y superficies altamente predecibles. En una atmósfera 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.

INFLUENCIA DE LOS ÓXIDOS EN LAS PROPIEDADES DE LOS VIDRIADOS FUNDIDOS	
<p>Disminuye la temperatura de fusión al aumentar su proporción</p> <p>←</p> <p>Li₂O K₂O Na₂O B₂O₃ PbO MnO CuO CoO FeO SrO BaO ZnO CaO TiO₂ Sb₂O₃ Fe₂O₃ NiO ZrO₂ SnO₂ Cr₂O₃ MgO SiO₂ Al₂O₃</p>	<p>Aumenta la temperatura de fusión al aumentar su proporción</p> <p>→</p>
<p>Disminuye la viscosidad al aumentar su proporción</p> <p>←</p> <p>Li₂O B₂O₃ Na₂O K₂O PbO MnO CoO BaO SrO ZnO</p>	<p>Aumenta la viscosidad al aumentar su proporción</p> <p>→</p> <p>MgO CaO TiO₂ Fe₂O₃ NiO SnO₂ Cr₂O₃ SiO₂ ZrO₂ Al₂O₃</p>
<p>Disminuye la tensión superficial al aumentar su proporción</p> <p>←</p> <p>PbO B₂O₃ K₂O Na₂O Li₂O TiO₂ SiO₂ Fe₂O₃ SrO BaO</p>	<p>Aumenta la tensión superficial al aumentar su proporción</p> <p>→</p> <p>NiO Cr₂O₃ SnO₂ CaO ZnO ZrO₂ Al₂O₃ MgO</p>

Tabla No.25. Influencia de los óxidos en las propiedades de los vidriados fundidos.⁵

• **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". Ésta 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 y esto se ve favorecido en particular por la presencia de alúmina, aunque sea en pequeñas cantidades.⁶



Figs. 8.3 Formación de la capa intermedia o interfase en diferentes cuerpos cerámicos.

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, y 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, y 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. 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; si por el contrario, el coeficiente de expansión es más pequeño que el de la pasta, la capa de



Diferencia de tamaño al enfriarse



Diferencia de tamaño al enfriarse



Compensación de tensiones por formación de fisuras o grietas capilares



Compensación de tensiones por desconchado de la capa del vidriado

Efecto de la diferencia de dilatación térmica:

Figs. 8.4 El coeficiente de expansión del vidriado es más grande. (izq.).



Compensación de tensiones por ahuecamiento del lado vidriado



Compensación de tensiones por ahuecamiento del lado vidriado

Figs. 8.5 El coeficiente de expansión del vidriado es más pequeño. (der.).

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 una pasta delgada, 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. La influencia aproximada de los diferentes óxidos sobre el coeficiente de expansión se presenta en la tabla No.26

• **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 desvitrificación, usando materias primas bien molidas para que fundan fácilmente y con la aplicación de una capa todo lo delgada que sea posible.

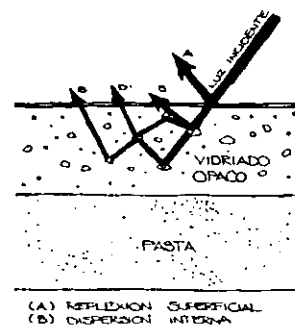
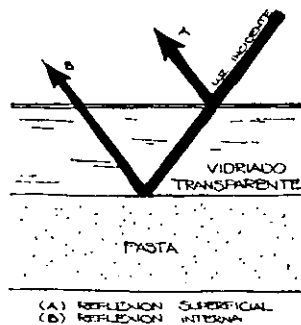


Fig. 8.6 Reflexión de la luz en un vidriado transparente de color. (izq.).

Fig. 8.7 Luz reflejada en un vidriado opaco. (der.).

- **Vidriado opaco.** En oposición a los vidriados transparentes, esta propiedad es originada por impurezas que no pueden reconocerse como tal, 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 (altamente tóxico); por segregación de numerosos cristales diminutos durante el enfriamiento, debidos a 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 arañazo 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. Ésta 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 resistencia 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 solamente en objetos decorativos, con estremada precaución por ser tóxico.

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).
- Al ataque por bases.

INFLUENCIA DE LOS ÓXIDOS EN LAS PROPIEDADES DEL VIDRIADO DESPUÉS DE LA QUEMA	
Disminuye el coeficiente de dilatación térmica al aumentar su proporción	Aumenta el coeficiente de dilatación térmica al aumentar su proporción
<p>B₂O₃ SiO₂ (MgO) ZnO P₂O₅ SnO₂ ZrO₂ MnO CuO (BaO) PbO Sb₂O₃ Al₂O₃ Fe₂O₃ NiO TiO₂ CoO (BaO) CaO Cr₂O₃ SrO K₂O Na₂O (Li₂O)</p>	
Disminuye la dureza al aumentar su proporción	Aumenta la dureza al aumentar su proporción
<p>Na₂O K₂O Li₂O PbO ZnO B₂O₃ BaO SrO TiO₂ CaO SnO₂ SiO₂ Al₂O₃ ZrO₂ MgO</p>	

Tabla No.26. Influencia de los óxidos en las propiedades de los vidriados después de la quema.⁹

Clasificación y tipos de vidriados

Al igual que en las pastas cerámicas, existe una gran cantidad de puntos de vista para clasificar a los vidriados, 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 está con base en las temperaturas de quema de las pastas cerámicas, y al igual que ellas, el vidriado debe de desarrollar todas sus propiedades cuando llegue a dicho punto. Puede ser de baja temperatura (850° - 1050°C), de media (1100° - 1150°C) o de alta (1200° - 1300°C).
- **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).
- **Según su 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.
- **Formación o preparación.** Se basan en el método utilizado para su elaboración, y pueden ser: crudos, fritos, de sal, o de reducción.
- **Por su aspecto.** Se clasifican en: brillante u opacos, mates o transparentes, craquelados, con cristales, moteados, opalescentes, lustres, etcétera.
- **Por su 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.

Como se puede observar, las características y propiedades que han sido consideradas para cada clasificación, suelen entremezclarse entre un grupo y otro debido a la riqueza de variantes que puede presentar un vidriado. De estas posibilidades, quiero ahondar particularmente en dos de ellas, ya que constituyen vidriados básicos que tienen una aplicación directa sobre los cuerpos cerámicos anteriormente estudiados. Considero además, que a partir del trabajo experimental que se pueda hacer con éstos, será más fácil poder acceder al desarrollo de vidriados más complejos o con atributos más específicos.

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 tóxicos; 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 considera las variantes existentes de arcilla. Para obtener vidriados más elaborados, es posible hacerlo con la combinación base de frita-arcilla-sílice, o bien, algo un poco más complejo aún, es la de frita-arcilla-sílice-feldespato. Los vidriados obtenidos de las combinaciones anteriores, pueden ser matificados 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 feldespato para gres y porcelana

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 si 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 materiales comunes y disponibles en todas partes. 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 picadura. 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 característico en este tipo de vidriados, teniendo más bien una apariencia térrea.



Capítulo IX

Materias primas para la elaboración de vidriados

Como se vió en el capítulo anterior, un vidriado en su forma básica está constituido por tres tipos de óxidos: los formadores de vidrio, los estabilizadores y los fundentes. Bajo este parámetro, los óxidos presentan propiedades comunes de acuerdo al grupo al que pertenecen, pero en lo específico, cada uno posee atributos particulares que establecen la manera en que deberán de ser usados, teniendo por lo tanto, óxidos que son más útiles o menos útiles dependiendo del tipo de vidriado que se desea desarrollar.

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 CaO ; 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 obtenidas fácilmente de la naturaleza, que se encuentran combinadas con otros elementos o que contienen más de un óxido. 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 si 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 situación 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 o insolubles.

Las materias primas siguientes 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 de su estado líquido 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

Óxidos cuya principal función es 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 arcillas 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.

A. Óxidos fundentes metálicos:

Óxido de plomo. PbO

• **Propiedades:**

- Se usa en baja temperatura y menos en media temperatura.
- 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 con base en 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.

Óxido de Zinc. ZnO

- **Propiedades:**

- Poderoso fundente en altas temperaturas ($1200^{\circ}C$).
- Se usa en porcentajes de 3-5% para baja temperatura y no más de 12% en alta, en grandes cantidad 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 como mateador.
- 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:**

- Óxido de cinc. ZnO . Elaborado artificialmente, es insoluble. Se usa particularmente en vidriados de gres.

B. Óxidos alcalinos:

Óxido 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 feldespató de litio poco usado por ser caro y menos eficaz que el carbonato de litio. En caso de craquelado puede sustituir al feldespató.

Óxido de sodio. Na_2O

Óxido de potasio. K_2O

• 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:

- Feldespató 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 vidriados, 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, mejorando las características del vidriado.

- **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 alcalino-térreos:

Óxido 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 aun 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 creta. Es muy usado en vidriados de alta temperatura.
- **Materias primas secundarias:**
 - Fosfato tricálcico o ceniza de hueso. $Ca_3(PO_4)_2$. Se utiliza para actuar sobre los colores, especialmente sobre los óxidos de hierro.³

Óxido 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 buen un 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. $BaCO_3$. Elaborado artificialmente, es insoluble pero debe manejarse con extrema precaución por ser muy venenoso.

Óxido de magnesio. MgO

- **Propiedades:**
 - En pequeñas cantidades disminuye la temperatura de fusión, en grandes la aumenta.
 - Aumenta fuertemente la tensión superficial.

- En pequeñas cantidades disminuye el coeficiente de expansión térmica y usados en grandes cantidades lo aumenta.
- En pequeñas cantidades aumenta el brillo del vidriado.
- 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. MgCO_3 . Es insoluble.
- **Materias primas secundarias:**
 - Dolomita. $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Es considerado como fuente de magnesio más que de calcio. Produce efectos moteados. Puede producir burbujas por desprendimiento de CO_2 en vidriados de muy baja temperatura, a los 900°C finaliza el proceso.
 - Talco. $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Es más común como fundente en pastas de baja temperatura.

D. Óxido neutro:

Óxido 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. $2\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Única 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. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Su uso es limitado por ser hidrosoluble.
- Bórax cristalino decahidratado. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Es hidrosoluble.
- Bórax calcinado. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Es hidrosoluble.

Fritas

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 material primas fundentes usadas particularmente en baja temperatura, como el bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), 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 junto con el agua al ser absorbidas por la pieza, presentando una fusión irregular 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, que su poder fundente es pequeño a bajas temperaturas; y el único B_2O_3 insoluble se halla disponible sólo en la colemanita, 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 principalmente, 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, lo ayuda a mejorar su 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; y 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.

Óxidos opacificantes

Generalmente son adicionados como agregados a la fórmula base del vidriado, y 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.⁴ Al igual que los demás óxidos, se pueden adquirir en condiciones adecuadas para su uso directo.

Compuestos de estaño

- SnO_2 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

- ZrO_2 Óxido de circonio.
- ZrSiO_4 Silicato de circonio.

• Propiedades:

- Con 10-15% da blanco, pero se puede usar en porcentajes mucho mayores.
- Tiene una elevada viscosidad.
- Por su alta viscosidad con MnO , CoO , Sb_2O_3 o hierro presenta a menudo una fuerte formación de burbujas.
- La presencia de ZnO , BaO , MgO , SnO_2 y alto contenido de SiO_2 favorecen su efectividad.
- Debido a que el ZrO_2 tiene una actividad más fuerte y es mucho más caro, se prefiere el silicato que da mejores opacidades.
- Suele solidificar en forma brillante.
- Se puede matear 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, a excepción de 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 usados 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 optar por 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.

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 amarillea. 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.
- Co_3O_4 Óxido negro de cobalto.
- CoCO_3 Carbonato de cobalto.
- **Propiedades:**
 - Es el colorante más fuerte.
 - Con 0.25-0.5% da azul tenue, con 0.5 -1% azul medio y con 2-4% azul noche.
 - En muy bajos porcentajes (0.1%) se puede conseguir 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.
 - Es bueno a todas temperaturas, 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).
- Cu_2O Óxido de cobre rojo.
- **Propiedades:**
 - De 1-6% da verdes, con más del 6% da un color negruzco metálico.
 - Da verde hierba con plomo y turquesa con álcalis sin cinc, aturquesado con boro.
 - En atmósfera reductora da rojo.
 - Tiene efecto fundente.

Compuestos de Manganeso.

- MnO_2 Dióxido de manganeso (es el más usado).
- MnCO_3 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.
- En base plúmbica da morados, violáceos o pardos en porcentajes de 1-2% y negro opacos con 10-15%.
- Sino está bien mezclado aparecen motas.
- Se recomienda calcinarlo para evitar burbujas.

Compuestos de cromo

- Cr_2O_3 Óxido 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 estaño y plomo da rosas.
- Con estaño da tintes rosados.
- Es muy refractario.

Compuestos de níquel

- NiO Óxido de níquel (es el más usado).
- Ni_2O_3 Óxido 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 use de él, dando una gran cantidad de colores: azules, violetas, púrpuras, etc.
- 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 fritos conjuntamente para estabilizarlos, ofreciendo una gama más amplia de tonos y fiabilidad. Cada fabricante tiene sus colores y formulaciones, por lo que se recomienda hacer pruebas hasta encontrar los porcentajes adecuados.

Capítulo X Metodología para el desarrollo de vidriados

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. Bajo estas circunstancias, considero que es más conveniente como punto de partida, tratar de abordar a aquellos vidriados que son más simples en cuanto a su desarrollo, y a la cantidad de elementos que participan en él.

Con este propósito, me referiré en particular al método triaxial, el cual fue revisado en la parte correspondiente al desarrollo de pastas cerámicas. Creo que este es un método muy accesible que nos permite, además de obtener buenos resultados, introducirnos poco a poco en el conocimiento de cada materia prima, e ir realizando los ensayos que nos permitirán adquirir la experiencia necesaria para poder entonces trabajar con otros medios, tal es el caso de método Seger, del cual haré algunos comentarios introductorios, ya que éste es un sistema ampliamente usado y reconocido, pero que sin embargo, dada su complejidad, requiere de un conocimiento más profundo de las materias primas; estimo por lo tanto, que éste sería el paso subsecuente del método triaxial. Cabe aclarar que ambos métodos ofrecen la posibilidad de desarrollar vidriados de calidad y de aspecto variado, y que por ambas vías pueden presentarse fracasos, no olvidemos que el desarrollo de materiales cerámicos, es ante todo un trabajo que requiere de la experimentación.

Consideraciones preliminares

Al igual que en la elaboración de pastas cerámicas, es necesario establecer ciertas consideraciones previas acerca del tipo de vidriado que se desea obtener. De hecho, algunas de ellas estarán ya determinadas por las características propias de la pasta que conforma el objeto a vidriar. Estas pueden ser:

- **Temperatura y condiciones de quema.** La temperatura de quema o madurez se define con base en el tipo de pasta que se desea cubrir, y como regla general, al alcanzar dicha temperatura, tanto la pasta como el vidriado deberán de haber desarrollado todas sus propiedades. Generalmente, la madurez de un vidriado se obtiene si al llegar a la temperatura final, ésta se mantiene durante un tiempo determinado en el cual serán eliminadas las burbujas y gases formados en el seno del vidriado durante su fusión. El tiempo puede variar para cada vidriado por lo que habrá que realizar las pruebas necesarias para conocerlo, en algunos casos 30 minutos pueden ser suficientes. El éxito de un buen vidriado depende en gran medida del control que se pueda tener durante el proceso, evitar quemas rápidas que produzcan una fusión violenta contribuye en gran medida a obtener buenos resultados. Así mismo, el tipo de atmósfera que prevalece en el horno (oxidación o reducción), puede proporcionar a un mismo material características diferentes.
- **Materias primas.** Siempre se debe preferir las materias primas más accesibles, en cuanto a precio y disponibilidad, sobre aquellas que no lo son. No olvidar que es deseable trabajar con sustancias insolubles y no tóxicas; para sustituir a las primeras, las fritas de baja temperatura resultan las más adecuadas, y en el caso de los materiales tóxicos, sino es viable sustituirlos, habrá que manejarlos con sumo cuidado. Todos las materias primas deben de estar finamente molidas para su fusión homogénea.
- **Óxidos colorantes y opacificantes.** En la elaboración de vidriados que contengan opacificantes o colorantes, es preferible considerar a estas sustancias como agregados a una fórmula-base. Hacerlo así, facilita grandemente su desarrollo.

- **Superficie del cuerpo cerámico.** La apariencia final de los vidriados depende también de las características de color y textura que presente la superficie del cuerpo cerámico a cubrir.

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 complejo. Evidentemente, la forma de verificar el comportamiento de un vidriado es aplicándolo sobre el cuerpo cerámico en la 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 x 4 cm 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 o cromo 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.

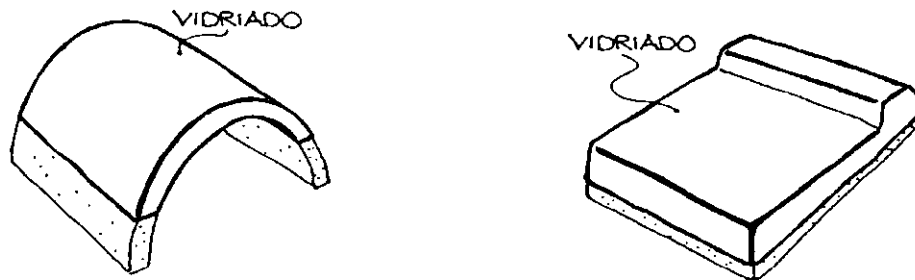


Fig. 10.1 Diferentes tipos de placas de pruebas para el análisis de vidriados.

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.

Método triaxial

Debido a que la construcción y modo de emplear este método ha sido ya revisado en el capítulo VII. Metodología para el desarrollo de pastas cerámicas (pp. 138-147), me concretaré solamente a hacer algunas sugerencias acerca de las disposiciones que es posible hacer de las diferentes materias primas de acuerdo al tipo de vidriado a realizar, en este sentido, no quisiera predeterminedar de antemano los puntos en los cuales se pudieran obtener ciertos resultados, debido a la gran cantidad de variantes que tienen que ser consideradas durante este proceso, como son: temperatura de quema, materias primas utilizadas, cuerpo cerámico a cubrir, cualidades de la capa y de la superficie del vidriado que se desean obtener, si es para uso artístico o funcional, etcétera, para cada caso habrá con seguridad un vidriado específico. Así mismo, recordar que la intención de este documento no radica en dar fórmulas, sino indicar algunos posibles caminos para que cada persona pueda, mediante la experimentación, llegar a obtener sus propios materiales.

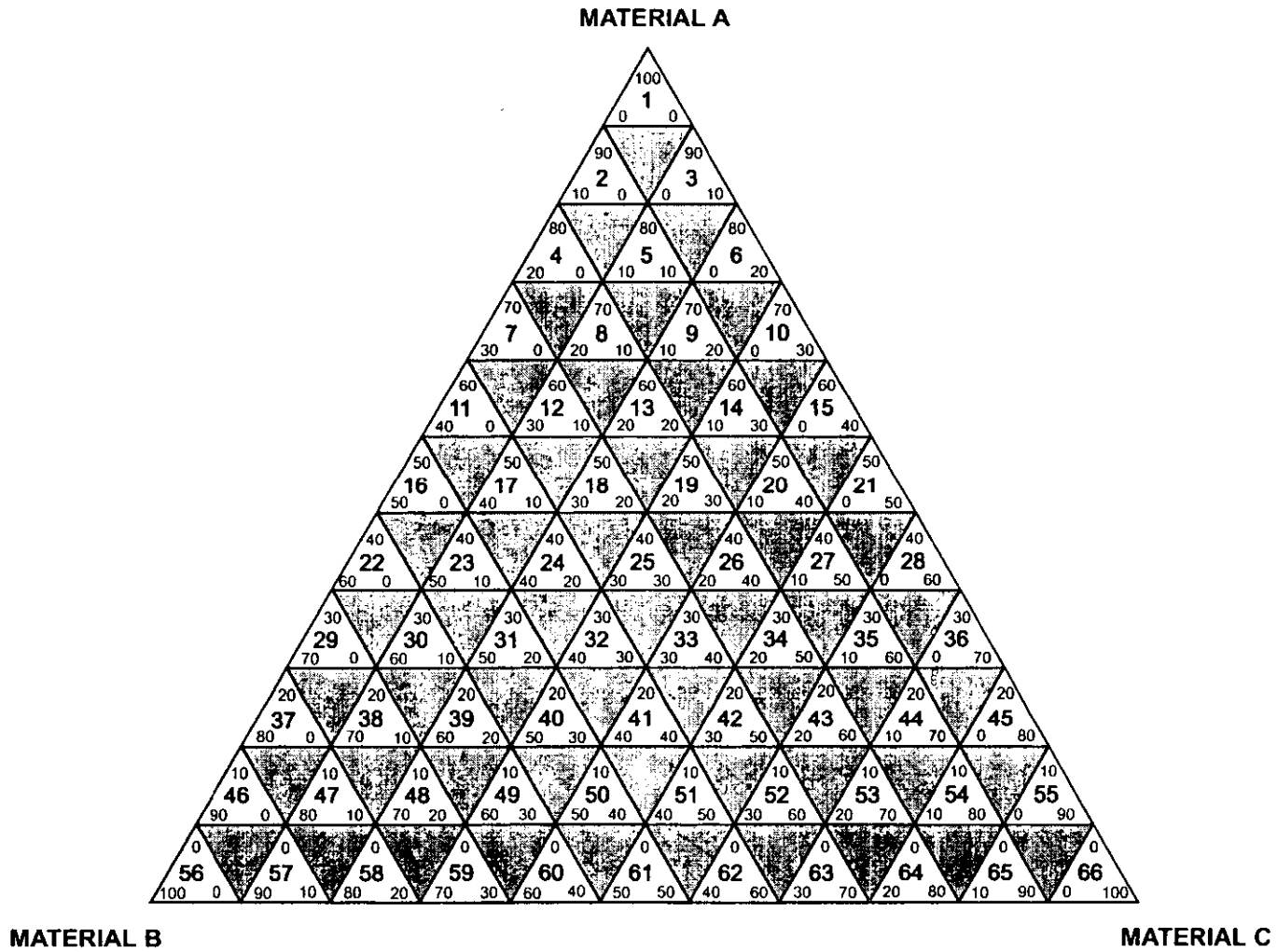


Diagrama Triaxial

Como primer paso, partiremos del desarrollo de un vidriado que en su origen puede ser mate o brillante, basándonos en los dos tipos descritos en el capítulo VIII (pp. 186-187), y posteriormente se darán algunas orientaciones para el uso de opacificantes y óxidos colorantes.

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, y 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: frita-arcilla-sílice.** Colocar un material en cada una de las puntas del triángulo y elaborar las mezclas obtenidas. Recordemos que los triángulos exteriores del triaxial pueden ser eliminados.
- **Opción 2. Mezcla: frita-arcilla-sílice-feldespató.** Este desarrollo puede llevarse a cabo por dos vías:
 - 1. Elaborar el triaxial de la mezcla frita-arcilla-sílice, y de éste seleccionar el o los vidriados que tengan las mejores características, a los cuales habrá de agregarse feldespató en porcentajes de 10 a 20%.
 - 2. Establecer un porcentaje fijo para el feldespató, en este caso 10 y 20%, y construir el triaxial frita-arcilla-sílice con el porcentaje faltante para completar un total de 100%. En este caso el feldespató no se está manejando como un agregado sino como una parte del 100% total. Un ejemplo de una construcción con el 20% de material fijo se puede consultar en la página 144.

• **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.*
- **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.

* A pesar de que una frita esta hecha especialmente para hacer insolubles a sustancias como el plomo, existe cierta polémica al respecto de que si los vidriados de fritas plúmbicas son realmente insolubles y pueden resistir el ataque de ácidos una vez que están endurecidos.

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, y de acuerdo a su descripción es resultado de la mezcla feldespato-sílice-calcio, la cual se propone dentro de los siguientes desarrollos triaxiales:

- **Opción 1. Mezcla: feldespato-sílice-calcio.** Colocar un material en cada una de las puntas del triángulo. Con esta mezcla se pueden obtener vidriados brillantes.
- **Opción 2. Mezcla: feldespato-caolín-calcio.** Una variación de la anterior, es la modificación propuesta por Alberto Díaz de Cossío, que sustituye a la sílice por el caolín, el cual tiene un alto contenido de SiO₂. Se obtienen básicamente vidriados mate.
- **Opción 3. Mezcla: feldespato-sílice-caolín-calcio.** Derivada de las dos anteriores, es la mezcla en donde el sílice y el caolín pueden estar combinados en diferentes proporciones (90-10, 80-20, 70-30, etcétera). Un ejemplo de este tipo de triaxial puede verse en la página 143.
- **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.
 - **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).

C. Adición de opacificantes

Los óxidos opacificantes son usados como agregados, que se adicionan en diferentes porcentajes a las fórmulas base. A cualquier vidriado desarrollado por los métodos anteriores, se le puede agregar alguno de los siguientes óxidos, aun 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. Considerar que es un óxido de alto precio.
- **Óxido de circonio** (5-10% o más). Se usa más en forma de Silicato de circonio ($ZrSiO_4$).
- **Óxido de titanio** (2-10%). Puede usarse tanto en alta temperatura como en baja, pero es particularmente bueno con cinc en vidriados de alta temperatura.
- **Óxido de antimonio** (4-10%). Se usa poco por ser tóxico y solamente en bajas temperaturas debido que a los 1000°C comienza a volatilizarse.

D. 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. Los óxidos colorantes pueden también ser combinados entre ellos mismos, logrando de tal manera ofrecer gamas muy variadas de color. 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 (si se requiere de más detalles al respecto consultar el capítulo anterior).

- **Óxido de hierro 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.
- **Óxido 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.
- **Óxido de cobre** (1-6%). Produce colores verde, 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.
- **Óxido de cromo** (0.5-2%). Produce verdes, con cinc pasa de verde a rosa o coral, con estaño da rosas. Es muy refractario.
- **Óxido 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.

Como podemos observar, este sistema en su conjunto constituye un medio ilimitado para el desarrollo de vidriados, los cuales pueden llegar a presentar muy diversas características, a medida que se van enriqueciendo con cada uno de los elementos que participan en su composición.

Método de Seger

Con el propósito de poder hacer comparaciones entre esmaltes diferentes, el Profesor Hermann Seger (1839-1894), establece un instrumento para representar la composición de un vidriado en forma molecular, clasificando a los óxidos en tres grupos de acuerdo con 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 + R₂O = 1 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.

Debido a que cada óxido posee propiedades y puntos de fusión específicos que los hacen presentar una respuesta particular de acuerdo a las condiciones de cocción, las cantidades y su participación está definida por el tipo de vidriado y la temperatura de quema. Con base en esta temperatura, las tablas No.27, 28 y 29 muestran la actividad y cantidades aproximadas de los óxidos y sustancias fundentes, así como de la sílice y la alúmina en la composición de un vidriado.

ACCIÓN DE LOS ÓXIDOS FUNDENTES DE ACUERDO A LA TEMPERATURA DE QUEMA											
	Cono 013-010 850° - 900°C	Cono 010-08 900° - 940°C	Cono 04-05 940° - 1020°C	Cono 05-04 1020° - 1060°C	Cono 04-03 1060° - 1100°C	Cono 03-01 1100° - 1140°C	Cono 01-4 1140° - 1180°C	Cono 4-6 1180° - 1230°C	Cono 6-9 1230° - 1280°C	Cono 9-11 1280° - 1320°C	Cono 11-14 1320° - 1410°C
Óxido de plomo y fritas de plomo	[Barra horizontal que cubre los conos 013-010 a 01-4]										
Óxido de boro y fritas de boro	[Barra horizontal que cubre los conos 013-010 a 11-14]										
Óxido de litio	[Barra horizontal que cubre los conos 013-010 a 09-11]										
Óxidos de sodio y de potasio	[Barra horizontal que cubre los conos 013-010 a 01-4]										
Fritas alcalinas	[Barra horizontal que cubre los conos 013-010 a 04-03]										
Fritas de álcali-plomo-boro	[Barra horizontal que cubre los conos 013-010 a 09-11]										
Boratos cálcicos	[Barra horizontal que cubre los conos 04-05 a 11-14]										
Óxido de bario	[Barra horizontal que cubre los conos 04-05 a 11-14]										
Óxido de estroncio	[Barra horizontal que cubre los conos 04-05 a 11-14]										
Óxido de cinc	[Barra horizontal que cubre los conos 013-010 a 11-14]										
Óxido de calcio	[Barra horizontal que cubre los conos 013-010 a 11-14]										
Óxido de magnesio	[Barra horizontal que cubre los conos 04-05 a 11-14]										
Feldespatos	[Barra horizontal que cubre los conos 04-05 a 11-14]										
Nefelina-sienita	[Barra horizontal que cubre los conos 04-05 a 11-14]										

Tabla No.27. Zona de cocción aproximada de los fundentes .¹

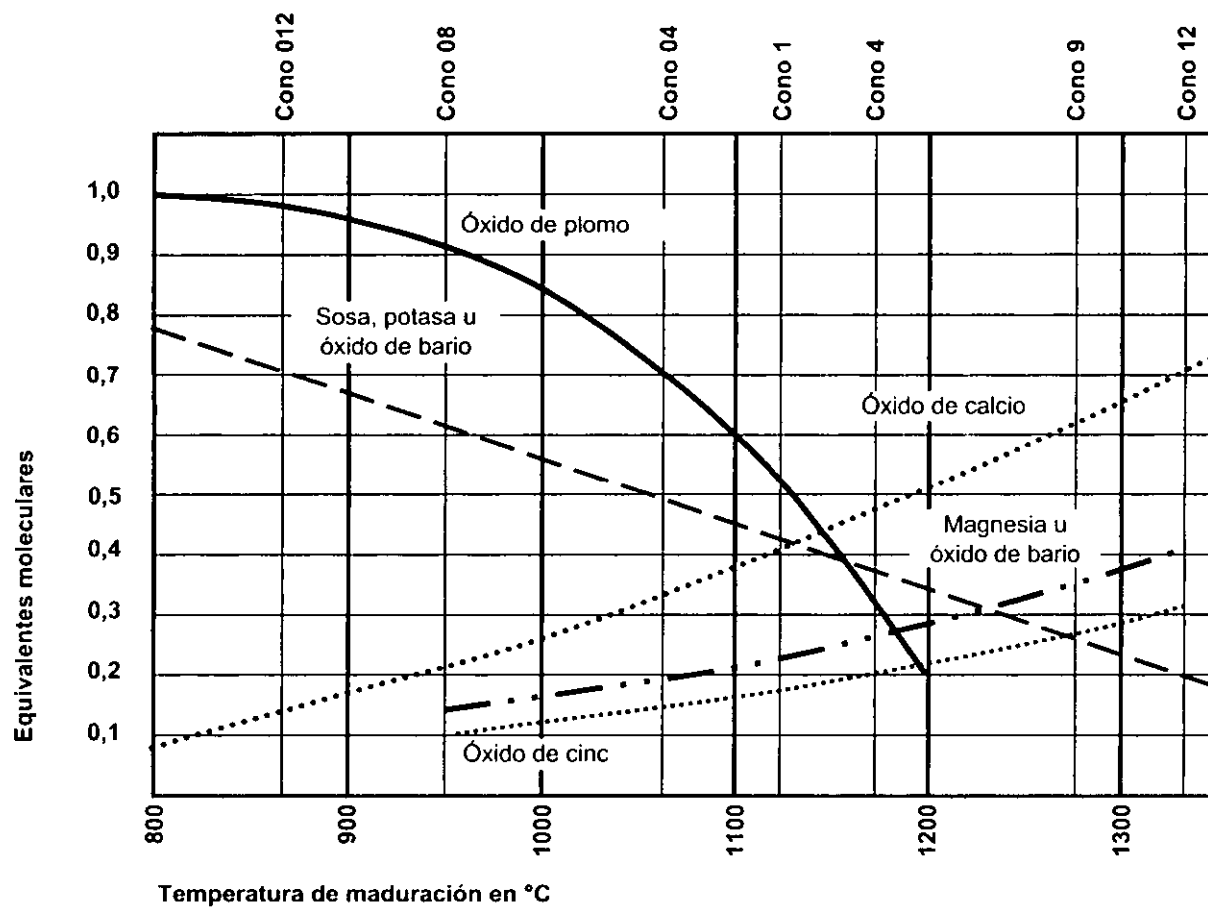


Tabla No.28. Cantidades aproximadas de óxidos fundentes en los vidriados.²

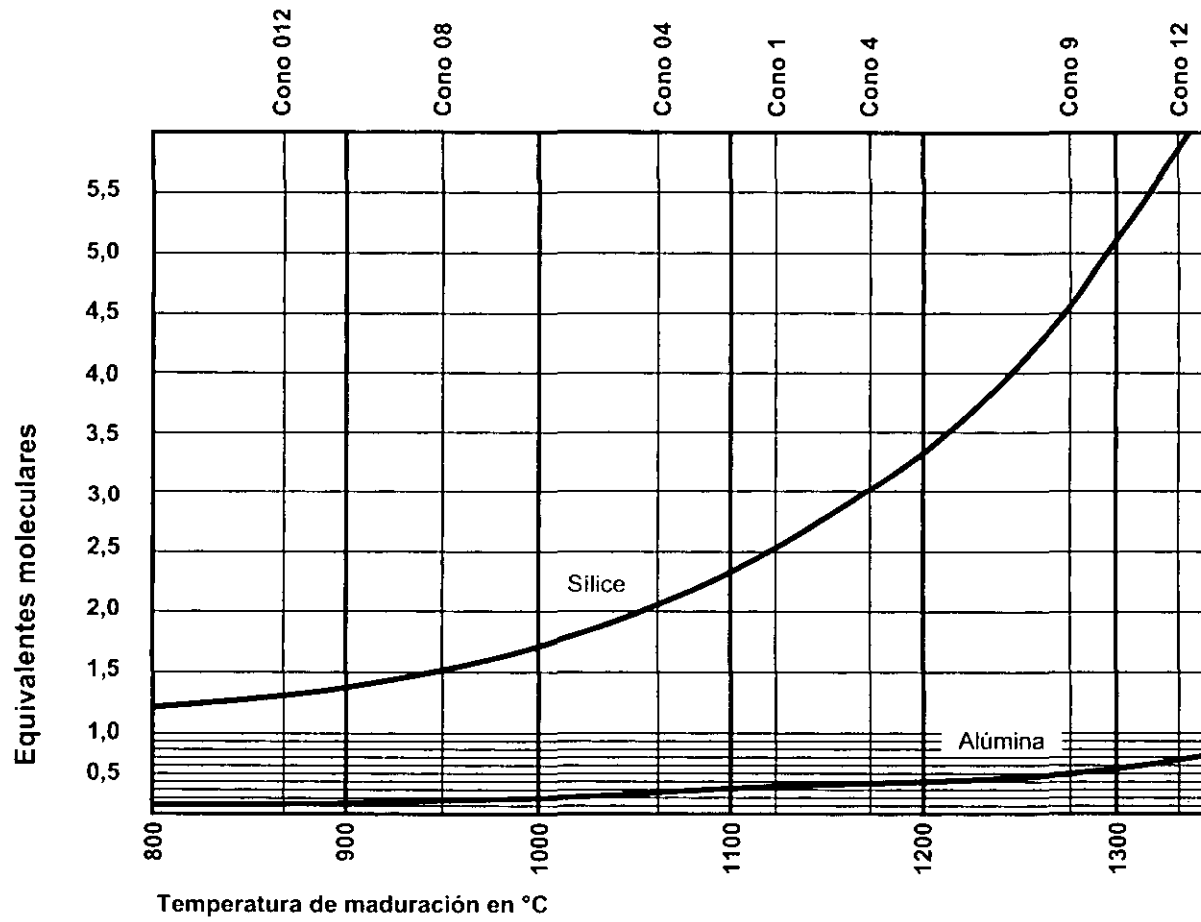


Tabla No.29. Cantidades aproximadas de sílice y alúmina en los vidriados.³

De acuerdo a los datos proporcionados por las tablas anteriores, aunque éstos solamente sean aproximados, podemos percibir con claridad la diferencia de actividad que cada uno de los fundentes tiene, presentando algunos mayor eficacia a baja temperatura y decayendo a medida que ésta se incrementa, otros sólo comienzan a funcionar a temperatura media y su acción va en aumento conforme ésta sube, mientras que los óxidos de sodio y potasio son útiles en una gama más amplia de temperaturas. La reacción al calor de cada óxido fundente hace por lo tanto, que su presencia aumente o disminuya conforme la temperatura de quema crece. En tanto que las cantidades de sílice y alúmina presentan un comportamiento más constante: a mayor temperatura, mayor cantidad de ellos.

En su momento, Seger incluyó a muchos otros óxidos más dentro de los tres grupos, de los cuales hoy en día, algunos han caído en desuso por su toxicidad y otros son muy poco usados debido a sus altos costos. Así mismo, los óxidos colorantes y opacificantes, también comprendidos por Seger, han sido considerados en la práctica como agregados dado sus contenidos mínimos de participación, simplificando enormemente el cálculo y desarrollo de los vidriados. Esta representación es hoy muy reconocida, y se puede encontrar una amplia bibliografía que expresa la composición de los vidriados en su forma molecular. Con base en este sistema, se han establecido fórmulas límites para diferentes tipos de vidriados y temperaturas de quema (Ver apéndice 4).

Procedimiento para desarrollar un vidriado con el método Seger

Los datos que se presentan a continuación, son solamente 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. La cantidad total en moles de fundentes siempre debe de sumar uno.

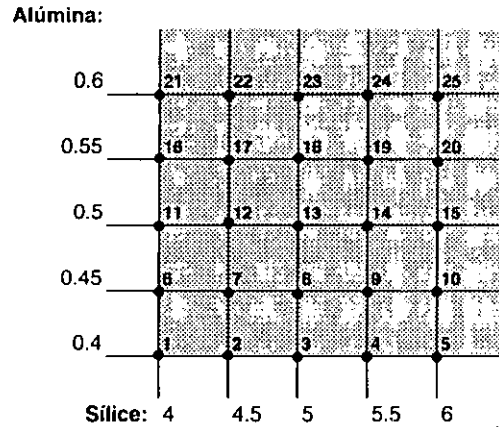
- 2. Seleccionar las materias primas que pueden aportar los óxidos que requiere la fórmula, y realizar las operaciones necesarios para determinar las cantidades de las materias primas en porcentajes. Los cálculos para pasar las fórmulas moleculares a porcentajes y de porcentajes a moles, pueden ser consultados en los apéndices 5 y 6.
- 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, éstos 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 éstos 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_2O_3
		5.0	SiO_2
0.05	MgO		
0.10	BaO		
<hr/>			
Suma	1.00	Mol	

Diagrama binario para determinar los nuevos contenidos de Al_2O_3 y SiO_2 :



Intervalos de Al_2O_3 y SiO_2 para calcular los nuevos vidriados:

- 0.20 KNaO
- 0.65 CaO 0.6-0.4 Al_2O_3 4.0-6.0 SiO_2
- 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 sino se puede disponer de las que hayan sido propuestas de origen, y 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.

Preparación y aplicación de vidriados

A. Preparación.

La preparación de vidriados presenta sin duda una menor complejidad que la de las pastas cerámicas, ya que independientemente del método utilizado para cubrir la pieza, los vidriados siempre son aplicados en forma de suspensión. Para ello, solamente hay que mezclar cuidadosamente todos los materiales con suficiente agua para formar una papilla cremosa de buena fluidez, este procedimiento se puede llevar a cabo manualmente o por medio de algún medio mecánico, como el molino de bolas que es usado muy específicamente en la industria cerámica. La cantidad de agua a agregar, dependerá de la composición del vidriado y de la porosidad que presente el cuerpo a cubrir, por lo que para poder determinarla con exactitud es necesario realizar una serie de pruebas para encontrar el punto adecuado. Los materiales deben de ser mezclados hasta que todos los grumos desaparezcan y posteriormente ser tamizados, es conveniente reposar la mezcla para dejar salir el aire que pudiera estar contenido. Algunas indicaciones para la preparación de un vidriado, son:

- Todas las partículas deberán de presentar uniformidad en su tamaño. Los materiales molidos a malla 200 funcionan adecuadamente.
- Para evitar que los materiales de mayor peso específico como las fritas o el rutilo se asienten en el fondo del recipiente, deberán de agregarse de preferencia más molidos.
- Materiales como la arcilla, caolín o bentonita ayudan a lograr una mejor viscosidad propiciando la suspensión de las partículas. Si éstas son utilizadas como agregados se debe considerar que pueden variar la formulación, así como producir contracción en el vidriado crudo.
- Adhesivos orgánicos como: azúcar, dextrina, almidón, goma CMC, goma arábica, etcétera, pueden ser agregados en pequeñas cantidades para mejorar la adherencia del vidriado a la superficie.

B. Aplicación del vidriado.

Existen diferentes técnicas para vidriar una pieza cerámica, estas técnicas pueden ser manuales o mecanizadas, pero todas tienen el mismo objetivo: aplicar una cubierta homogénea de espesor uniforme sobre un cuerpo cerámico que debe de ser lo suficientemente poroso para permitir que la suspensión se adhiera a su superficie, evitando con ello que se puedan producir defectos en el vidriado final.

Una pieza se encuentra con la porosidad adecuada para ser vidriada, cuando estando cruda se ha secado completamente, sin embargo, debido a su fragilidad puede no soportar la manipulación propia del proceso, ya sea por sus dimensiones, por el medio de producción en que fue elaborada -recordemos que dependiendo del proceso, ésta puede ser sensiblemente más débil, como es el caso de las piezas de vaciado- o bien, por que el método que va a ser utilizado no tiene las condiciones de delicadeza requeridas.

Someter a la pieza a una quema previa llamada sancocho o bizcocho, le da la dureza y resistencia necesaria para soportar la manipulación a la que se encuentra expuesta durante el proceso. Esta quema debe de realizarse de manera tal, que el cuerpo cerámico sinterise sin que sus poros se cierren, en la mayoría de los casos este nivel se alcanza entre 800-900°C, salvo en algunos tipos de cerámica como la loza europea, que se cueze primeramente hasta llegar a su temperatura final y posteriormente el vidriado es quemado a una menor temperatura. Durante el sancocho, la pieza no solamente adquiere suficiente dureza para ser manipulada, también elimina los gases que se producen durante la combustión de las sustancias orgánicas que pueden llegar a dañar la calidad de los vidriados.

Los siguientes métodos son los más usados para la aplicación del vidriado, tanto en los medios de producción artesanales como en los industriales, y su elección depende primordialmente de la forma, tamaño y cantidad de las piezas a cubrir, así como de los efectos que se deseen lograr:

- **Vidriado por inmersión.** La pieza es sumergida dentro del vidriado hasta que se forma el espesor requerido, lo cual dependerá de la densidad de éste y de la porosidad de la

pieza. El tiempo necesario suele ser apenas de unos cuantos segundos. Esta técnica se usa para vidriar preferentemente cantidades más o menos grandes, y para piezas de tamaño medio y pequeño.

- **Vidriado por bañado.** La pieza es “bañada” por medio de un recipiente que contiene al vidriado, el procedimiento es especialmente indicado para piezas de gran tamaño.
- **Vidriado por aspersión.** El vidriado es aplicado mediante un atomizador, mientras la pieza se hace girar en una torneta. Este método es usado para esmaltar piezas abiertas y de medio a gran tamaño, quedando restringido para piezas cerradas en donde difícilmente el material llegaría al interior.

Corrección de defectos

La corrección de defectos en los vidriados puede llegar a presentar un alto grado de complejidad, ya que algunos de ellos pueden no originarse en el vidriado mismo, sino en el cuerpo que recubren, por lo que en muchos casos se tienen dos alternativas para atacar el problema. Aparentemente es más fácil modificar a la pasta, pero si se dispone de otros vidriados que se adaptan bien a ella, cambiarla podría implicar el desajuste de dichos vidriados. Los defectos pueden además ocasionarse durante la preparación, aplicación, fusión o endurecimiento de la cubierta.

Los siguientes constituyen algunos de los defectos que pueden aparecer con más frecuencia, en su descripción se hace referencia a las posibles causas que los provocan y se dan indicaciones generales para su corrección. Para complementar esta información, es conveniente revisar las propiedades de los óxidos que participan en la composición del vidriado (ver capítulo anterior), con el objetivo de tener una idea más global acerca de los defectos a corregir.

A. Defectos de Preparación:⁴

Los componentes se sedimentan

- **Causas:** Existen materias de alto peso específico, gran cantidad de fritas, gran cantidad de compuestos alcalinos, partículas de gran tamaño, falta de molienda, demasiada agua o pocos componentes plásticos.
- **Correcciones:**
 - Usar materias primas más molidas. Moler los materiales de mayor peso específico.
 - Adicionar de 5-10% de arcilla grasa o caolín, de 0.5-3% de bentonita y de 0.5-2% de adhesivo celulósico (CMC - carboximetilcelulosa).

Los componentes se sedimentan en forma de piedra con el reposo

- **Causas:** Existe gran cantidad de compuestos alcalinos, pocos componentes plásticos o mezcla puramente feldespática.
- **Correcciones:**
 - Usar una mayor cantidad de agua.
 - Moler lo menos posible.
 - Añadir materiales plásticos.
 - Agregar adhesivo celulósico (CMC - carboximetilcelulosa).

La preparación es poco viscosa

- **Causas:** Existe demasiada cantidad de agua o los compuestos alcalinos tienen efecto desfloculante.
- **Correcciones:**
 - Decantar y retirar el excedente de agua.
 - Agregar más cantidad de materiales en polvo.

La preparación se espesa con el reposo.

- **Causas:** Existe poca cantidad de agua, gran cantidad de óxido de cinc o demasiados materiales hinchables.
- **Correcciones:**
 - Reducir la cantidad de sustancias hinchables (arcilla y caolín).

B. Defectos de aplicación:⁵

La cubierta es delgada

- **Causas:** Existe demasiada cantidad de agua o poca absorción de la pieza.
- **Correcciones:**
 - Aumentar la cantidad de materiales sólidos.
 - Sancochar la pieza a menor temperatura o pulirla menos.

La cubierta es gruesa e irregular

- **Causas:** Existen demasiadas sustancias sólidas, pocas sustancias arcillosas o hinchables, o la pieza es demasiado absorbente.
- **Correcciones:**
 - Aumentar la cantidad agua.
 - Sancochar la pieza a mayor temperatura o humedecerla antes de aplicar el vidriado.
 - Añadir arcilla o caolín.

La cubierta se agrieta y se desprende al secar

- **Causas:** El vidriado se contrae por exceso de materiales arcillosos, está demasiado molido, la capa es muy gruesa o aplicación de una capa encima de otra.
- **Correcciones:**
 - Disminuir la cantidad de sustancias arcillosas o calcinar parte de ellas.
 - Reducir la molienda.
 - Aumentar la cantidad de agua.
 - Aplicar sobre la pasta en dureza de cuero.
 - La capa superior ha de ser más magra que la superior.

La cubierta no se adhiere a la pieza

- **Causas:** La superficie tiene grasa o polvo, aplicación demasiado rápida, pieza poco porosa o vidriado muy molido.
- **Correcciones:**
 - Limpiar la superficie de la pieza.
 - Vidriar lentamente.

- Sancochar la pieza a menor temperatura.
- Pulir menos la superficie de la pieza.
- Mezclar el vidriado con adhesivos celulósicos.
- Disminuir la molienda.

C. Defectos del vidriado fundido:⁶

El vidriado se escurre

- **Causas:** Aplicación demasiado gruesa, exceso de temperatura de cocción, exceso del tiempo de maduración, exceso de fundentes o falta de SiO_2 y Al_2O_3 .
- **Corrección:**
 - Reducir el espesor del vidriado.
 - Reducir la temperatura de cocción.
 - Reducir el tiempo de maduración.
 - Cambiar la composición del vidriado.

El vidriado se encuentra infracocido

- **Causas:** Baja temperatura de cocción, falta de tiempo de maduración, exceso de SiO_2 y Al_2O_3 , falta de fundentes, insuficiencia de formadores de vidrio SiO_2 ó B_2O_3 o mala molienda de la mezcla.
- **Corrección:**
 - Aumentar la temperatura de cocción.
 - Mantener más el tiempo de maduración.
 - Cambiar la composición del vidriado.
 - Aumentar fundentes en forma de frita.
 - Moler suficientemente el vidriado antes de aplicar.

La superficie es irregular y presenta agujeros y burbujas

- **Causas:** Demasiada viscosidad y tensión superficial del vidriado, baja temperatura de cocción, falta de tiempo de maduración, exceso de SiO_2 y Al_2O_3 o falta de fundentes.

• Corrección:

- Aumentar la temperatura de cocción.
- Mantener más el tiempo de maduración.
- Cambiar la composición del vidriado.
- Aumentar fundentes.
- Disminuir el contenido de SiO_2 y Al_2O_3 .

El vidriado forma islas o gotas y se separa de los bordes

• **Causas:** Tensión superficial y viscosidad alta, mala adherencia del vidriado crudo a la superficie, alta contracción de secado del vidriado crudo, la pieza en frío capta agua por condensación, calentamiento demasiado rápido o aplicación de la cubierta sobre una pieza cruda.

• Corrección:

- Aumentar la temperatura de quema.
- Corregir la adherencia del vidriado.
- No aplicar sobre piezas crudas.
- Dejar que las piezas sequen bien antes de entrar al horno.
- Disminuir la tensión superficial disminuyendo Al_2O_3 , MgO y ZnO o aumentando PbO , B_2O_3 , SiO_2 .
- Sancochar la pieza a temperaturas más altas.
- Hacer más lento el calentamiento.

Formación de burbujas

• **Causas:** Desarrollo de gases de las materias primas, muy alta viscosidad, cubierta demasiado gruesa, temperatura alta, falta de tiempo de maduración o calentamiento y enfriamiento demasiado rápido.

• Corrección:

- Revisar las materias primas que desprendan gases, o que puedan tener impurezas, tanto del vidriado como de la pasta.
- Regular la viscosidad del vidriado.
- Bajar o subir la temperatura de quema, con un calentamiento lento y mantener la temperatura de maduración.
- Aplicar una capa delgada del vidriado.

D. Defectos formados durante el enfriamiento del vidriado:⁷

Grietas capilares o craquelado

• **Causas del vidriado:** Coeficiente de dilatación alto, demasiados óxidos alcalinos, poca cantidad de SiO_2 , B_2O_3 ó ZnO , capa intermedia mal conformada, cubierta demasiado gruesa o enfriamiento rápido.

• **Corrección:**

- Aumentar de la cantidad de SiO_2 o disminuir la de los fundentes.
- Aumentar el contenido de B_2O_3 , si lo hay, a expensas de la sílice.
- Aplicar la cubierta más delgada.
- Hacer una cocción lenta, prolongando el tiempo de maduración y enfriar lentamente.

• **Causas de la pasta:** Coeficiente de dilatación bajo.

• **Corrección:**

- Reducir el contenido de arcilla plástica y aumentar la sílice.
- Sustituir parcialmente el caolín por arcilla grasa plástica.
- Reducir del contenido del feldespato.
- Moler más finamente los materiales que contengan sílice.
- Cocer la pasta a mayor temperatura.

Desconchado o descascarillado

• **Causas del vidriado:** Coeficiente de dilatación bajo, pocos óxidos alcalinos o demasiada cantidad de SiO_2 .

• **Corrección:**

- Reducir el contenido de SiO_2 o aumentar la de los fundentes.
- Cocer a menor temperatura.
- Cocer y enfriar más rápidamente.

• **Causas de la pasta:** Coeficiente de dilatación alto.

• **Corrección:**

- Aumentar el material plástico y disminuir simultánea el contenido de SiO_2 .
- Sustituir de la arcilla plástica por caolín.
- Aumentar el contenido de feldespato.

Nota: La adición de sílice a una pasta para aumentar su coeficiente de dilatación y al mismo tiempo, su adición a un vidriado para reducirlo, se debe a que en la pasta, la sílice es cristalina ya que no alcanza a fundirse, presentando por lo tanto un elevado coeficiente de dilatación térmica, mayor incluso que el resto de la pasta; mientras que en el vidriado es amorfa, y presenta un bajo coeficiente de expansión.

Efecto de cascara de huevo

• **Causas:** Poca temperatura de cocción (vidriado muy viscoso), elevada temperatura de cocción (reacción muy fuerte del vidriado con la pasta), tensión superficial y viscosidad muy altas, desprendimiento de componentes volátiles del cuerpo cerámico, cubierta muy gruesa o cocción rápida e insuficiente tiempo de maduración.

• **Corrección:**

- Disminuir la tensión superficial y la viscosidad.
- Determinar la temperatura correcta de cocción.
- Quemar lentamente y dar más tiempo de maduración.
- Sancochar la pieza a mayor temperatura.
- Aplicar la cubierta más delgada.

Superficie mate que debe ser brillante

• **Causas:** Vaporización de fundentes, demasiado vapor de agua en la atmósfera, vidriado crudo poco homogéneo, cristalización por enfriamiento lento, temperatura baja, cubierta demasiado gruesa o demasiado delgada.

• **Corrección:**

- Utilizar menos compuestos de plomo o de boro.
- Añadir 3% de ZnO.
- Quemar hasta que las piezas hayan secado totalmente.
- Aplicar la cubierta en un correcto espesor y que ésta sea homogénea.
- Aumentar la temperatura de quema.

Superficie brillante que debe ser mate

- **Causas:** Enfriamiento rápido, temperatura elevada, cubierta demasiado gruesa o demasiado delgada.
- **Corrección:**
 - Enfriar lentamente.
 - Aplicar la cubierta en un correcto espesor y que ésta sea homogénea.
 - Disminuir la temperatura de quema.

Decoloración del vidriado

- **Causas:** Presencia de impurezas en el vidriado y la pasta, mezcla no homogénea, insuficiencia de sustancias colorantes, presencia de sustancias volátiles, mala aplicación o demasiada temperatura.
- **Corrección:**
 - Tener cuidado con impurezas en las materias primas.
 - Controlar la molienda y la suspensión del vidriado crudo.
 - Controlar constante el espesor del vidriado.
 - Agregar más sustancias colorantes.
 - Disminuir la temperatura de quema.

Capítulo XI Cocción

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. De ahí la importancia de conocer algunas particularidades, de las cuales puede llegar depender en gran medida, la obtención de los mejores resultados durante el desarrollo de pastas y vidriados cerámicos.

Cambios de los materiales cerámicos durante la cocción

Durante la cocción se generan profundos cambios en la composición de los materiales, es durante esta etapa cuando la arcilla se transforma propiamente dicho 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; el siguiente diagrama muestra los principales cambios que se producen durante la cocción.

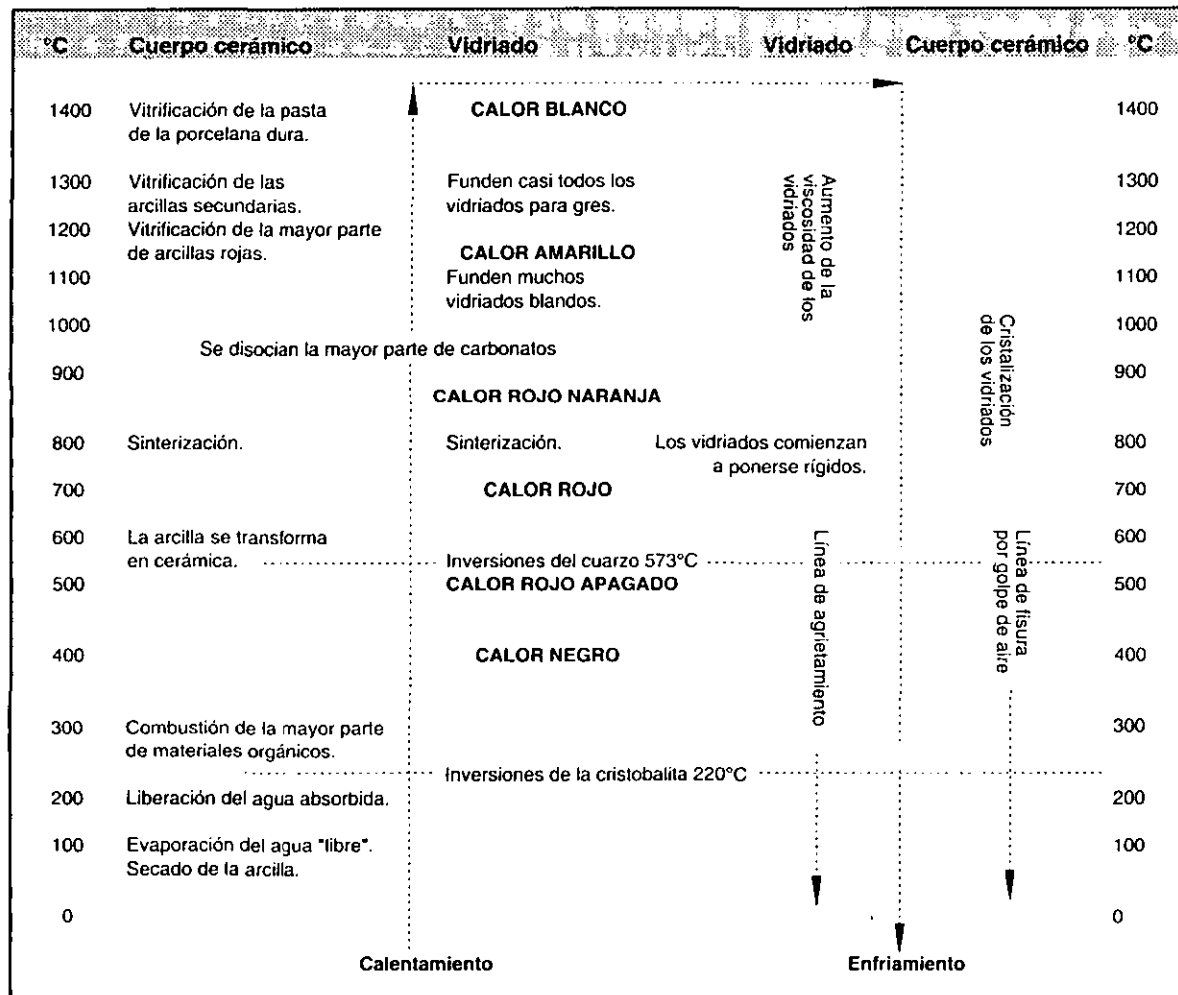


Tabla No.30. Proceso de cocción de cuerpos cerámicos y vidriados.¹

Puntos críticos en la 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 una 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.²
- **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 a 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.³ 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%) y 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,⁴ a menos que ésta haya sido agregada en forma sintetizada a la composición.

Puntos críticos en la 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° a 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° a 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°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.

La forma de medir la temperatura para poder realizar una cocción controlada, es a través del uso de:

- **Pirómetro.** Es un instrumento que por medio de un termopar puede medir la temperatura al interior del horno. Actualmente existen pirómetros electrónicos con sistema de lectura digital.
- **Color interior del horno.** Esta lectura se hace por medio de la interpretación del color de la cocción, pero requiere de una observación muy aguada y de mucha experiencia para hacerlo. Algunos de las equivalencias entre temperatura y color aparecen en el diagrama de cocción antes referido.
- **Cono pirométrico.** Este medio es el más utilizado, ya sea para medir la temperatura o para llevar un control más exacto de ella, aun en hornos que disponen de un pirómetro. Un cono pirométrico esta elaborado con materiales cerámicos calibrados para que a determinada temperatura comiencen a fundir, su forma es de pirámide triangular alargada con una ligera inclinación de 8°. Los conos son colocados sobre un soporte que los mantiene parados, de manera que al llegar a la temperatura indicada, la punta se doblará al comenzar a fundir hacia el lado de la inclinación, cuando la punta toque la placa, el horno deberá de apagarse. La exactitud de los conos pirométricos consiste en que no sólo permite conocer la temperatura del horno, sino también la relación temperatura-tiempo, es decir que de acuerdo a la velocidad de la quema, será la temperatura en la que

el cono doble. Este sistema es tan aceptado, que en los medios especializados, la temperatura se expresa generalmente por el número de cono a que se quema. Las equivalencias de los conos Orton de origen norteamericano (los conos Seger son europeos), se presentan en la tabla siguiente.

CONOS PIROMÉTRICOS 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	973	978	984	Cono 10	1285	1294	1305

Tabla No.31. Equivalentes de temperatura de los conos pirométricos estándar Orton.

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.

- **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, y es propia de todo horno que use materiales combustibles como fuente de energía.

Conclusiones

Dada la importancia que tiene la preparación de los materiales dentro del quehacer de la cerámica, y de las limitaciones que puede tener un diseñador que desea desempeñarse en esta actividad al no saber como desarrollar sus propias pastas y vidriados, no solamente por la magnitud que esto representa desde el punto de vista de la producción, sino particularmente desde la óptica del proceso mismo de diseño, el cual se puede ver afectado directamente por la disposición o carencia de ciertas cualidades en los materiales, he tratado de presentar algunas metodologías que permitan al interesado "diseñar" sus propios materiales, con las características específicas que satisfagan más cercanamente los requerimientos surgidos a partir de su trabajo proyectual.

Al respecto, se puede cuestionar si el desarrollo de materiales cerámicos es o no diseño, para contribuir al debate, yo establezco que el proceso que se sigue en la obtención de nuevas pastas y vidriados, es similar al de diseñar objetos, ya que en ambos se tienen que conjuntar los elementos y acomodarlos de manera que se pueda dar solución a una determinada necesidad, para ello, hay que establecer una metodología que nos lleve a evaluar los factores que intervienen en el proceso, a preponderar alguno o varios de ellos, a tomar decisiones y a hacer los ajustes que se requieran, en este sentido, el desarrollo de materiales es diseñar en otro ámbito.

Con base en lo anterior, traté de abordar aquellos métodos que puedan conducir al establecimiento de sistemas de experimentación propios, de ahí que no se dieran fórmulas, sino que sólo se haya tratado de indicar el camino para que mediante la práctica, cada quien pueda realizar sus propios materiales y, por medio de ellos, imprimir un sello personal que se reflejará consecuentemente en los objetos diseñados. Cabe resaltar, que el trabajo experimental en este tipo de desarrollo es fundamental e insustituible, y que las propuestas hechas aquí surgen precisamente de la actividad llevada a cabo en el taller-laboratorio durante este tiempo.

De los métodos tratados aquí, el método triaxial es ante todo un sistema experimental de iniciación, por el que no solamente se pueden obtener materiales con buenas características para ser usados en la producción de piezas, sino algo que creo es aun más importante, se puede llegar a conocer el comportamiento de las materias primas que participan en la composición de una pasta o un vidriado cerámico de manera clara y accesible. Este conocimiento nos permitirá también, establecer sistemas con más elementos, mediante los cuales podremos obtener una más amplia variedad de materiales.

Los otros métodos, el de fórmulas preestablecidas para el desarrollo de pastas y el método Seger para vidriados, por su complejidad se convierten evidentemente en el paso subsecuente del método triaxial, ya que requieren justamente de la experiencia y el conocimiento que podemos ir adquiriendo con este último. Sin embargo, me he referido a ellos, aunque haya sido de una manera muy básica, porque son métodos importantes para el desarrollo de materiales cerámicos. Cabe entonces al diseñador, decidir en que momento abordar la problemática por esta vía.

Así mismo, el trabajo experimental que se haga con cualquiera de los métodos, nos llevará inevitablemente al aprendizaje de las bases químicas que son inherentes a la cerámica, reforzando así el carácter multidisciplinario del diseño industrial. Con ello, no se pretende de ninguna manera desvalorar o hacer a un lado el trabajo de los químicos, ya que nuestro quehacer es diferente y nuestros objetivos lo son más aún, nuestra actividad no concluye con la obtención del material mismo, la belleza de un vidriado y una pasta radica en la posibilidad de convertirse en un producto. "Un diseñador se desarrolla en un medio donde la creatividad y la generación de formas útiles es la esencia del trabajo cotidiano".¹ Creo que el conocimiento que se adquiriera al respecto, no es

para sustituir al profesional de esa área, sino por el contrario, abre el acceso a un trabajo interdisciplinario con una consciencia más clara de él.

Es importante resaltar que todo el trabajo de experimentación que se pueda realizar en torno al desarrollo de los materiales cerámicos y el conocimiento que de él se pueda obtener, no solamente nos lleva a una mejor comprensión acerca de las materias primas que lo conforman, sino a algo primordial para el diseñador, lo lleva también a entender con mayor profundidad su propio lenguaje, mediante el cual se establece un diálogo entre forma y material, generándose así una respuesta específica para cada tipo de pasta.

Si bien, el desarrollo de materiales cerámicos puede ser algo apasionante, considero que la actividad del diseño no debe quedarse solamente en él y la consecuente elaboración de piezas cerámicas; un objeto, cualquiera que éste sea, nunca podrá estar bien resuelto, sino se han considerado a los demás factores en su conjunto. Diseñar, finalmente, es mucho más que darle forma a un objeto, es entretejer todos los elementos del entorno.



••• **Apéndice**

Apéndice 1
Temperaturas de fusión de óxidos
que participan en la composición de un vidriado

TEMPERATURAS DE FUSIÓN					
Óxidos:		°C	Óxidos:		°C
Óxido de Boro	B ₂ O ₃	450	Óxido de cinc	ZnO	1810
Óxido de vanadio	V ₂ O ₅	685	Óxido de titanio	TiO ₂	1850
Óxido de potasio	K ₂ O	700	Óxido de estaño	SnO ₂	1900
Óxido de plomo	PbO	880	Óxido de bario	BaO	1923
Óxido de sodio	Na ₂ O	920	Óxido de níquel	NiO	1960
Óxido de cobre	CuO	1148	Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	2050
Óxido ferroso	FeO	1420	Óxido de cromo	Cr ₂ O ₃	2000
Óxido férrico	Fe ₂ O ₃	1565	Óxido de estroncio	SrO	2430
Cuarzo	SiO ₂	1600	Óxido de berilio	BeO	2530
Cristobalita	SiO ₂	1713	Óxido de calcio	CaO	2560
Óxido de manganeso	MnO	1650	Óxido de circonio	ZrO ₂	2690
Óxido de litio	Li ₂ O	1727	Óxido de magnesio	MgO	2800
Óxido de cobalto	CoO	1805			

Apéndice 2 Puntos eutécticos de sistemas binarios y ternarios

PUNTOS EUTÉCTICOS DE SISTEMAS BINARIOS							
Sistema	Composición %		°C	Sistema	Composición %		°C
PbO-B ₂ O ₃	B ₂ O ₃	12	493	Li ₂ O-B ₂ O ₃	B ₂ O ₃	53	650
	PbO	88			Li ₂ O	47	
PbO-SiO ₂	SiO ₂	8	710	Li ₂ O-SiO ₂	SiO ₂	55	1024
	PbO	92			Li ₂ O	45	
Na ₂ O-B ₂ O ₃	SiO ₂	16	715	K ₂ O-B ₂ O ₃	B ₂ O ₃	63	770
	PbO	84			K ₂ O	37	
Na ₂ O-SiO ₂	SiO ₂	73	722	K ₂ O-SiO ₂	SiO ₂	67	750
	Na ₂ O	27			K ₂ O	33	
Na ₂ O-SiO ₂	SiO ₂	75	780	ZnO-B ₂ O ₃	B ₂ O ₃	35	961
	Na ₂ O	25			ZnO	65	
MgO-B ₂ O ₃	SiO ₂	62	830	CaO-B ₂ O ₃	B ₂ O ₃	73	980
	Na ₂ O	38			CaO	27	
MgO-SiO ₂	B ₂ O ₃	64	1142	CaO-SiO ₂	SiO ₂	62	1436
	MgO	36			CaO	38	
MgO-SiO ₂	SiO ₂	62	1543	BaO-B ₂ O ₃	B ₂ O ₃	59	869
	MgO	38			BaO	41	
MgO-SiO ₂	SiO ₂	96	1595	BaO-SiO ₂	SiO ₂	54	1380
	MgO	4			BaO	46	

PUNTOS EUTÉCTICOS DE SISTEMAS TERNARIO							
Sistema	Composición	%	°C	Sistema	Composición	%	°C
Li ₂ O-K ₂ O-SiO ₂	SiO ₂	59,4	750	CaO-B ₂ O ₃ -SiO ₂	SiO ₂	30,0	977
	K ₂ O	29,3			B ₂ O ₃	32,0	
	Li ₂ O	11,3			CaO	38,0	
Li ₂ O-Na ₂ O-SiO ₂	SiO ₂	74,0	680	CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	SiO ₂	62,0	1170
	Na ₂ O	12,0			Al ₂ O ₃	14,0	
	Li ₂ O	5,0			CaO	24,0	
Li ₂ O-Na ₂ O-B ₂ O ₃	B ₂ O ₃	61,5	670	K ₂ O-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	SiO ₂	79,6	985
	Na ₂ O	23,5			Al ₂ O ₃	10,9	
	Li ₂ O	15,0			K ₂ O	9,5	
Na ₂ O-B ₂ O ₃ -SiO ₂	SiO ₂	45,0	530	K ₂ O-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	SiO ₂	66,0	695
	B ₂ O ₃	30,0			Al ₂ O ₃	4,0	
	Na ₂ O	25,0			K ₂ O	30,0	
Na ₂ O-PbO-SiO ₂	SiO ₂	40,3	570	K ₂ O-PbO-SiO ₂	SiO ₂	31,0	676
	PbO	25,2			PbO	60,0	
	Na ₂ O	34,5			K ₂ O	10,0	
Na ₂ O-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	SiO ₂	62,0	732	MgO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	SiO ₂	63,0	1355
	Al ₂ O ₃	12,0			Al ₂ O ₃	16,0	
	Na ₂ O	26,0			MgO	21,0	
PbO-B ₂ O ₃ -SiO ₂	SiO ₂	4,0	484				
	B ₂ O ₃	30,0					
	PbO	84,0					

Apéndice 3

Composición química y pesos moleculares de las materias primas más usuales en los vidriados

MATERIAS PRIMAS		
Nombre	Formula química ideal	Peso molecular
Alúmina	Al ₂ O ₃	101.96
Arcilla de bolas (Ball Clay OM-4)	Al ₂ O ₃ . 3.14SiO ₂	290.6
Bario, Carbonato de	BaCO ₃	197.36
Bentonita	Al ₂ O ₃ . 4SiO ₂ . 9H ₂ O	504.2
Bórax (Anhidro)	Na ₂ O . 2B ₂ O ₃	201.24
Calcio, Carbonato de	CaCO ₃	100.1
Caolín (EPK)	Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O	258.1
Cinc, Óxido de	ZnO	81.37
Colemanita (Borato Gerstley)	2CaO . 3B ₂ O ₃ . 5H ₂ O	411.02
Dolomita	CaCO ₃ . MgCO ₃	184.42
Espodúmeno	Li ₂ O . Al ₂ O ₃ . 4SiO ₂	372.08
Litio, Carbonato de	Li ₂ CO ₃	73.88
Litio, Feldespato de (Petalita)	Li ₂ O . Al ₂ O ₃ . 8SiO ₂	612.32
Magnesio, Carbonato de	MgCO ₃	84.32
Plomo amarillo (Litargirio)	PbO	223.19
Plomo Rojo (Minio)	Pb ₃ O ₄	685.63
Plomo, Carbonato de	2PbCO ₃ . Pb(OH) ₂	775.6
Plomo, Silicato de (Blanco de plomo)	PbO . 2SiO ₂	343.32
Potasio, Feldespato de (Ortoclasa)	K ₂ O . Al ₂ O ₃ . 6SiO ₂	556.52
Sienita nefelina	K ₂ O . 3Na ₂ O . 4Al ₂ O ₃ . 6SiO ₂	1048.28
Sílice (Silica, cuarzo, pedernal)	SiO ₂	60.06
Sodio, Feldespato de (Albita)	Na ₂ O . Al ₂ O ₃ . 6SiO ₂	524.5
Sodio-Potasio, Feldespato de (Anortoclasa)	KNaO . 1.15Al ₂ O ₃ . 7.42SiO ₂	
Talco	3MgO . 4SiO ₂ . H ₂ O	379.17
Titanio, Dióxido de	TiO ₂	79.9

Apéndice 4
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.

Formula 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	0,05-0,20 Al ₂ O ₃	1,00-1,50 SiO ₂	850°-950°C**
<u>Suma = 1 Mol</u>			

0,70-1,00 PbO			
0,00-0,30 K ₂ O			
0,00-0,30 Na ₂ O	0,10-0,25 Al ₂ O ₃	1,50-2,00 SiO ₂	950°-1060°C**
0,00-0,20 ZnO			
0,00-0,30 CaO			
<u>Suma = 1 Mol</u>			

Vidriados alcalinos:

0,40-0,90 K ₂ O			
0,40-0,90 Na ₂ O			
0,05-0,30 CaO	0,05-0,25 Al ₂ O 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			
<u>Suma = 1 Mol</u>			

0,00-0,70 Na ₂ O			
0,00-0,60 K ₂ O			
0,00-0,30 Li ₂ O	0,15-0,60 Al ₂ O ₃	1,50-4,50 SiO ₂	1000°-1180°C**
0,10-0,50 CaO	0,30-1,60 B ₂ O ₃		
0,00-0,10 MgO			
0,00-0,10 ZnO			
0,00-0,10 BaO			
<u>Suma = 1 Mol</u>			

Vidriados transparente para loza:0,00-0,40 Na₂O/K₂O

0,10-0,60 CaO

0,00-0,60 MgO

0,00-0,40 BaO 0,20-0,50 Al₂O₃ 2,00-5,50 SiO₂

0,00-0,40 SrO

0,10-0,40 ZnO

0,00-0,80 PbO

Suma = 1 Mol

1040°-1140°C****Vidriados sin plomo:**0,20-0,40 K₂O0,20-0,40 Na₂O 0,20-0,40 Al₂O₃ 2,00-4,00 SiO₂0,20-0,60 CaO 0,20-0,50 B₂O₃

0,20-0,30 BaO

0,00-0,20 ZnO

Suma = 1 Mol

1160°-1200°C****Vidriados para gres:**0,10-0,30 K₂O/Na₂O

0,10-0,70 CaO

0,00-0,30 MgO 0,30-0,80 Al₂O₃ 2,50-7,50 SiO₂

0,00-0,60 BaO

0,00-0,10 ZnO

Suma = 1 Mol

1230°-1300°C**

Vidriados transparentes para porcelana:

0,10-0,30 K₂O

0,00-0,30 Na₂O

0,40-0,70 CaO

0,20-0,40 MgO

0,40-1,60Al₂O₃

4,00-14,00 SiO₂

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.

Apéndice 5

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 en la

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

		0.2	0.65	0.05	0.1	0.5	5
		KNaO	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2
Feldespató Sódico-Potásico KNaO . 1.15Al2O3 . 7.42 SiO2 (642)	0.2	0.2				0.23	1.48
						(1.15 x 0.2)	(7.42 x 0.2)
Carbonato de Calcio CaCO3 (100.1)	0.65		0.65				
Carbonato de Magnesio MgCO3 (84.32)	0.05			0.05			
Carbonato de Bario BaCO3 (197.36)	0.1				0.1		
Caolín EPK Al2O3 . 2SiO2 . 2H2O (258.2)	0.27					0.27	0.54
							(2 x 0.27)
Sílice SiO2 (60.06)	2.98						2.98

Fórmula en porcentajes:

Feldespató Sódico-Potásico (642 x 0.2)	128.4	÷	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
	466.12					100 %

columna que se encuentra sombreada, a mano derecha de las fórmulas moleculares de las materias primas, esta cantidad corresponde a la unidad mol que va a aportar cada materia prima. En caso de que existiera más 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 .

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 resultado 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 5mol, 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 requieren de cada una de las materias primas (cifras sombreadas), 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.

Apéndice 6 Conversión de una fórmula en 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 anterior.
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 feldespato 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
Feldespató Sódico-Potásico	28	+	642	=	0.04
Carbonato de Calcio	14	+	100.1	=	0.14
Carbonato de Magnesio	1	+	84.32	=	0.01
Carbonato de Bario	4	+	197.36	=	0.02
Caolín EPK	15	+	258.2	=	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	0.297
						(1.15 x 0.04)	(7.42 x 0.04)
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
							(2 x 0.06)
SiO ₂	0.63						0.63
Totales:		0.04	0.14	0.01	0.02	0.106	1.047
Suma de fundentes:		0.21					

KNaO (0.04 ÷ 0.21 = 0.20)

CaO (0.14 ÷ 0.21 = 0.65)

MgO (0.10 ÷ 0.21 = 0.05)

BaO (0.20 ÷ 0.21 = 0.10)

Al₂O₃ (0.106 ÷ 0.21 = 0.5)

SiO₂ (1.047 ÷ 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 ha agregado desfloculantes 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 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Cocción. Proceso mediante el cual se expone la arcilla y 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%) y 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.

Desconchado. Desprendimiento en escamas del vidriado.

Desfloculante. 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.

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.

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, 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 se 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 altas temperaturas.

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. Oxidos 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. Cochura 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 vitrificación completa.

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 fluyen en los poros del cuerpo cerámico permitiendo a las partículas compactarse.



Notas bibliográficas

Introducción

- 1 Rodríguez Morales, Luis. *El diseño preindustrial una visión histórica*. Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México, 1995. p.155.
- 2 Maldonado, Tomás. *El diseño industrial reconsiderado*, Colección GG diseño, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1993. p.73.

Capítulo I Evolución de la cerámica

- 1 Díaz de Cossío, Alberto y Álvarez, Francisco Javier. *La cerámica colonial y contemporánea*. Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías, México, D.F., 1982. p. 9.
- 2 Cooper, Emmanuel. *Historia de la Cerámica*. Ediciones CEAC, S.A., Barcelona, 1987. p. 12.
- 3 *Ibid.*, pp.13-14.
- 4 Shapiro, Harry. *Hombre, Cultura y Sociedad*. Fondo de Cultura Económica, México, 1993. p. 336.
- 5 Cooper, Emmanuel, *op. cit.* p. 15.
- 6 *Ibid.*, pp. 8-9.
- 7 Norton, F.H. *Cerámica Fina. Tecnología y Aplicaciones*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1988. p.18.
- 8 Aguilar Sahagún, Guillermo. *El hombre y los materiales*. Fondo de Cultura Económica, México, 1997. p. 38.
- 9 Rice, Prudence M. *Pottery analysis, a sourcebook*. The University of Chicago Press, U.S.A., 1987. p. 8.

- 10 Orton, C., Tyers, P. y Vince, A. *Pottery in archaeology*. Cambridge University Press, Great Britain, 1994. p. 217.
- 11 Pericot, L. y Martín, R. *La prehistoria*. Salvat Editores, Colección grandes temas, Barcelona, 1973. pp. 132-133.
- 12 Rice, Prudence M., *op. cit.* p. 9.
- 13 Peterson, Susan. *Artesanía y arte del barro*. Blume, Barcelona, 1997. p.243.
- 14 Rice, Prudence M., *op. cit.* pp. 21-22.
- 15 Rodríguez Morales, Luis, *op. cit.* pp. 60-61.
- 16 Salinas Flores, Oscar. *Historia del diseño industrial*. Editorial Trillas, México, 1992. p. 58.
- 17 Giedion, Sigfried. *La mecanización toma el mando*. Editorial Gustavo Gili, Colección Tecnología y Sociedad, Barcelona, 1978. P.359.
- 18 Mañé, Juan (coordinación editorial). *El diseño industrial*. Salvat Editores, Colección grandes temas, Barcelona, 1973. p.44.
- 19 Rodríguez Morales, Luis, *op. cit.* p.154.
- 20 De Micheli, Mario et al. *Bauhaus*. Alberto Corazón, editor, Madrid, 1971. p.95.
- 21 Bonsiepe, Gui. *Las siete columnas del diseño*. UAM- Azcapotzalco, México, 1993. p. 2.42.

Capítulo II La cerámica

- 1 Molinar, María. *Diccionario de uso del español*. Editorial Gredos, S.A, España, 1998, Segunda edición. p.586.
- 2 Corominas, Joan. *Breve diccionario etimológico de la lengua española*. Editorial Gredos, S.A, España, 1998, Segunda edición. p.145.
- 3 Molinar, María, *op. cit.* p.126.

- 4 *Ibid.*, p.126
- 5 Díaz de Cossío, Alberto y Álvarez, Francisco Javier, *op. cit.* p. 10.
- 6 Fernández Chiti, Jorge. *Diccionario de cerámica*, tomo 2. Ediciones Condorhuasi, Buenos Aires, 1985. p. 16.
- 7 Singer, Felix. y Singer Sonja.S. *Cerámica industrial*, volumen 1. Ediciones URMO, S.A., Bilbao, 1979. pp.460 - 461.
- 8 Vázquez Malagón, Emma. *Manual para diseño de piezas en cerámica*. Tesis de licenciatura, UNAM, México, D.F., 1997. p. 4.
- 9 *Ibid.*, p. 5.
- 10 *Ibid.*, p. 6.
- 11 *Ibid.*, p. 7.
- 12 *Ibid.*, p. 8.
- 13 *Ibid.*, p. 9.
- 14 *Ibid.*, p. 10.
- 15 Aguilar Sahagún, Guillermo, *op. cit.* p. 109.
- 16 *Ibid.*, pp. 111-114.

Capítulo III Cerámicas tradicionales

- 1 Corominas, Joan, *op. cit.* p. 366.
- 2 Petit Larousse illustré. *Librairie Larousse*. Paris, 1980. p.487.
- 3 Corominas, Joan, *op. cit.* p. 303.

- 4 Leach, Bernard. *Manual del ceramista*. Editorial Blume, Barcelona, 1981. p.59.
- 5 Corominas, Joan, *op. cit.* p. 469.
- 6 Leach, Bernard, *op. cit.* p. 59.
- 7 Rado, Paul. *Introducción a la tecnología de la cerámica*. Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1990. p.244.
- 8 Rado, Paul, *op. cit.* p. 251.
- 9 *Ibid.*, p.252.
- 10 *Ibid.*, p.254.
- 11 Vázquez Malagón, Emma, *op. cit.* p. 50.
- 12 *Ibid.*, p.51.
- 13 *Ibid.*, p.52.
- 14 *Ibid.*, p.53.

Capítulo IV

Composición de una pasta cerámica

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

Capítulo V

Materias primas arcillosas

- 1 Singer,Felix. y Singer Sonja.S, *op. cit.* p. 36.
- 2 *Ibid.*, p.38 .

- 3 *Ibid.*, pp.40-41.
- 4 Hald, Peder. *Técnica de la cerámica*. Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1986. p.87.
- 5 Singer,Felix. y Singer Sonja.S, *op. cit.* p. 41-42.
- 6 Rado, Paul, *op. cit.* p. 7.
- 7 Domínguez, José Manuel y Schifter, Issac. *Las arcillas: el barro noble*. Fondo de Cultura Económica, La ciencia para todos/109, México, 1995. p.16.
- 8 Singer,Felix. y Singer Sonja.S, *op. cit.* pp. 94-95.

Capítulo VI **Materias primas no arcillosas**

- 1 Singer,Felix. y Singer Sonja.S, *op. cit.* p. 111.
- 2 *Ibid.*, p.128.
- 3 Fernández Chiti,Jorge. *Diccionario de cerámica*, tomo 1. Ediciones Condorhuasi, Buenos Aires, 1985. p.113.
- 4 *Ibid.*, p.114.

Capítulo VII **Metodología para el desarrollo de pastas cerámicas**

- 1 Singer,Felix. y Singer Sonja.S, *op. cit.* pp. 388-390.
- 2 Fernández Chiti,Jorge. *Diccionario de cerámica*, tomo 3. Ediciones Condorhuasi, Buenos Aires, 1985. pp.89-90.

Capítulo VIII Vidriados cerámicos

- 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 Matthes, Wolf E., *op. cit.* p. 51.
- 5 *Ibid.*, pp.52-54.
- 6 Singer,Felix. y Singer Sonja.S, *op. cit.* pp. 637-638.
- 7 Matthes, Wolf E, *op. cit.* p.38.
- 8 Singer,Felix. y Singer Sonja.S, *op. cit.* p. 641.
- 9 Matthes, Wolf E, *op. cit.* pp. 60 y 64.

Capítulo IX Materias primas para la elaboración de vidriados

- 1 Rhodes, Daniel. *Arcilla y vidriado para el ceramista*. Ediciones CEAC,S.A., Barcelona, 1990. p.106.
- 2 Matthes, Wolf E, *op. cit.* p. 77.
- 3 *Ibid.*, p. 79.
- 4 *Ibid.*, p. 88.

Capítulo X Metodología para el desarrollo de vidriados

- 1 *Ibid.*, p. 42.

- 2 Rhodes, Daniel, *op. cit.* p. 162.
- 3 *Ibid.*, p.163.
- 4 Matthes, Wolf E, *op. cit.* pp. 132-133.
- 5 *Ibid.*, pp. 133-134.
- 6 *Ibid.*, pp. 135-136.
- 7 *Ibid.*, pp. 137-138.

Capítulo XI Cocción

- 1 Fournier, Robert. *Diccionario ilustrado de alfarería práctica.* Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1981. p.79.
- 2 Rhodes, Daniel, *op. cit.* p.27.
- 3 *Ibid.*, p.29.
- 4 Fournier, Robert, *op. cit.* p.98.

Conclusiones

- 1 Salinas Flores, Oscar. *Tecnología y Diseño en el México Prehispánico.* Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1995. p.xiv

Bibliografía básica

Bataller Cucurella, Carlos. *Vidriados crudos de baja temperatura sin plomo.* Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1987.

Bruguera, Jordi. *Manual práctico de cerámica.* Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1986.

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.

Hald, Peder. *Técnica de la cerámica.* Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1986.

Hamilton, David. *Alfarería y cerámica.* Ediciones CEAC,S.A., Barcelona, 1992.

———. *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.

Nelson, Glenn C. *Cerámica, manual para el alfarero.* Cía. Editorial Continental,S.A., México,D.F., 1980.

———. *Ceramics a potter's handbook.* Holt, Rinehart and Winston, Inc., U.S.A., 1984.

Norton, F.H. *Cerámica fina, tecnología y aplicaciones.* Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1988.

Peterson, Susan. *Artesanía y arte del barro.* Blume, Barcelona, 1997.

Rada, Pravoslav. *Las técnicas de la cerámica, El arte y la práctica.*
Colección Técnicas del Arte. Editorial LIBSA, Madrid, 1990.

Rado, Paul. *An introduction to the technology of pottery.*
The Institute of Ceramics, Pergamon Prees, Great Britain, 1988.

———. *Introducción a la tecnología de la cerámica.* Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1990.

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

Singer,Félix. 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.

Vittel, Claude. *Cerámica (Pastas y vidriados).* Paraninfo, S.A., Madrid, 1978.

Bibliografía complementaria

- Aguilar Sahagún, Guillermo.** *El hombre y los materiales.* Fondo de Cultura Económica, La ciencia para todos/69, México, 1997.
- Birks, Tony.** *Guía completa del ceramista.* Blume, Barcelona, 1995.
- Bonsiepe, Gui.** *Las siete columnas del diseño.* UAM- Azcapotzalco, México, 1993.
- Casson, Michael.** *Alfarería artesana.* Ediciones CEAC,S.A., Barcelona, 1986.
- Cooper, Emmanuel.** *Historia de la cerámica.* Ediciones CEAC,S.A., Barcelona, 1987.
- Cosentino, Peter.** *Enciclopedia de técnicas de cerámica.* Editorial Diana, S.A. de C.V., México,D.F., 1991.
- . *Alfarería creativa.* Hermann Blume, Madrid, 1988.
- Costales, F. y Olson, D.** *Cerámica para escuelas y pequeñas industrias.* Cía. Editorial Continental,S.A., México,D.F., 1966.
- De Micheli, Mario et al.** *Bauhaus.* Alberto Corazón, editor, Madrid, 1971.
- Díaz de Cossío, Alberto y Álvarez, Francisco Javier.** *La cerámica colonial y contemporánea.* Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías, México, D.F., 1982.
- Domínguez, José Manuel y Schifter, Issac.** *Las arcillas: el barro noble.* Fondo de Cultura Económica, La ciencia para todos/109, México, 1995.
- Giedion, Sigfried.** *La mecanización toma el mando.* Editorial Gustavo Gili, Colección Tecnología y Sociedad, Barcelona, 1978.
- Harvey, David.** *Cerámica creativa.* Ediciones CEAC,S.A., Barcelona, 1994.
- 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.

Mañé, Juan (coordinación editorial). *El diseño industrial.*
Salvat Editores, Colección grandes temas, Barcelona, 1973.

Morley-Fletcher, Hugo. *Técnicas de los grandes maestros de la alfarería y cerámica.*
Tursen, S.A./Hermann Blume Ediciones, Madrid, 1996.

Orton, C., Tyers, P. y Vince, A. *Pottery in archaeology.* Cambridge University Press, Great Britain, 1994.

Pericot, L. y Martín, R. *La prehistoria.* Salvat Editores, Colección grandes temas, Barcelona, 1973.

Rice, Prudence M. *Pottery analysis, a sourcebook.* The University of Chicago Press, U.S.A., 1987.

Rodríguez Morales, Luis. *El diseño preindustrial una visión histórica.*
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México, 1995.

Salinas Flores, Oscar. *Historia del diseño industrial.* Editorial Trillas, México, 1992.

Shapiro, Harry. *Hombre, Cultura y Sociedad.* Fondo de Cultura Económica, México, 1993.

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.

Referencias bibliográficas de ilustraciones

- Birks, Tony.** *Guía completa del ceramista.* Blume, Barcelona, 1995.
Fig.3.3 (p.74), Fig.2.45 (p.176).
- Charleston, Robert J. (editor).** *World Ceramics.* The Hamlyn Publishing Group Limited, Londres, 1968.
Fig.1.3 (p.27), Fig.1.6 (p.11), Fig.1.11 (p.15), Fig.1.13 (p.40), Fig.1.23 (p.27), Fig.1.25 (p.26),
Fig.1.27 (p.12), Fig.1.28 (p.15), Fig.1.31 (p.12), Fig.1.34 (p.23), Fig.1.40 (p.137).
- Chavarría, Joaquim.** *La cerámica.* Parramón Ediciones, S.A., Barcelona, 1996.
Fig.1.35 (p.9), Fig.2.44 (p.68).
- Clark, Kenneth.** *Manual del alfarero.* Hermann Blume, Madrid, 1984.
Fig.2.14 (p.129).
- Cooper, Emmanuel.** *Historia de la cerámica.* Ediciones CEAC, S.A., Barcelona, 1987.
Fig.1.5 (p.17), Fig.1.24 (p.20), Fig.1.26 (p.12), Fig.1.42 (p.165).
- Cosentino, Peter.** *Enciclopedia de técnicas de cerámica.* Editorial Diana, S.A. de C.V., México,D.F., 1991.
Fig.2.10 (p.26), Fig.2.12 (p.28), Fig.2.27 (p.25), Fig.3.9 (p.118), Fig.3.12 (p.136).
- Domínguez, José Manuel y Schifter, Issac.** *Las arcillas: el barro noble.*
Fondo de Cultura Económica, La ciencia para todos/109, México, 1995.
Fig.5.5 (p.15).
- Fernández Torregrosa, Amancio (Coord. editorial).** *Historia del arte, Tomo 1.*
Salvat Mexicana de Ediciones, S. A. de C.V., México, 1979.
Fig.1.29 (p.215), Fig.1.30 (p.199).
- Hald, Peder.** *Técnica de la cerámica.* Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1986.
Fig.1.36 (p.81).
- Hamer, Frank y Janet.** *The Potter's Dictionary of material and techniques.* A & C Black, London, 1993.
Fig.5.6 (p.63), Fig.5.7 (p.64), Fig.5.8 (p.134), Fig.5.9 (p.135), Fig.5.10 (p.108).

- Hamilton, David.** *Alfarería y cerámica.* Ediciones CEAC, S.A., Barcelona, 1992.
Fig.1.12 (p.12), Fig.8.3 (p.128).
- Matthes, Wolf E.** *Vidriados cerámicos.* Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1990.
Fig.1.12 (p.12).
- Manners, Errol.** *Ceramics Source Book.* Chartwell Books, Inc., New Jersey, 1990.
Fig.1.2 (p.68), Fig.1.4 (p.18), Fig.1.15 (p.69), Fig.1.176 (p.46), Fig.1.17 (p.13), Fig.1.37 (p.47),
Fig.1.43 (p.152), Fig.1.47 (p.164), Fig.1.50 (p.167), Fig.1.51 (p.167), Fig.1.52 (p.166), Fig.2.7 (p.162),
Fig.2.11 (p.78).
- Matthes, Wolf E.** *Vidriados cerámicos.* Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1990.
Figs.8.1 (p.22), Figs.8.2 (p.22), Fig.8.4 (p.38), Fig.8.5 (p.38).
- Morley-Fletcher, Hugo.** *Técnicas de los grandes maestros de la alfarería y cerámica.*
Tursen, S.A./Hermann Blume Ediciones, Madrid, 1996.
Fig.1.38 (p.158), Fig.1.39 (p.18), Fig.1.41 (p.20), Fig.2.5 (p.156).
- Nelson, Glenn C.** *Ceramics a potter's handbook.* Holt, Rinehart and Winston, Inc., U.S.A., 1984.
Fig.1.1 (p.19), Fig.1.14 (p.40), Fig.1.21 (p.18), Fig.1.33 (p.20), Fig.1.32 (p.27).
- Norton, F.H.** *Cerámica fina, tecnología y aplicaciones.* Ediciones Omega,S.A., Barcelona, 1988.
Fig.8.6 (p.205), Fig.8.7 (p.206).
- Pérez, Gustavo.** *Cerámica.* Museo de Arte Moderno, 1999. (Catálogo de exposición).
Fig. 2.4 (p.32), Fig. 3.14 (p.21).
- Pericot, L. y Martín, R.** *La prehistoria..* Salvat Editores, Colección grandes temas, Barcelona, 1973.
Fig.1.22 (p.59).
- Peterson, Susan.** *Artesanía y arte del barro.* Blume, Barcelona, 1997.
Fig.1.20 (p.13), Fig.3.1 (p.228), Fig.3.11(p.112), Fig.3.18(p.159).
- Piña Chán, Román (coordinador).** *Cuarenta siglos de arte mexicano, Arte ptehispanico Vol.2.*
Editorial Herrero, S.A., México, 1981.
Fig.1.7 (p.217), Fig.1.8 (p.257), Fig.1.9 (p.225), Fig.1.10 (p.212).
- Rada, Pravoslav.** *Las técnicas de la cerámica, El arte y la práctica.*
Colección Técnicas del Arte. Editorial LIBSA, Madrid, 1990.
Fig.2.26 (p.156), Fig.3.2 (p.117).

Rado, Paul. *Introducción a la tecnología de la cerámica.* Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1990.
Fig.5.1 (p.9), Fig.5.2 (p.9), Fig.5.3 (p.10), Fig.5.4 (p.11).

Sembach, Klaus-Jürgen. *Modernismo.* Editorial Benedikt Taschen, Alemania, 1993.
Fig.1.44 (p.128), Fig.1.45 (p.157), Fig.1.46 (p.26), Fig.1.48 (p.106), Fig.1.49 (p.86).

Revistas y catálogos

Ardi. Editorial Formentera/Grupo Zeta, Barcelona, España, Julio/Agosto 1992, No.28.
Fig.3.19 (p.89).

Ardi. Editorial Formentera/Grupo Zeta, Barcelona, España, Septiembre/Octubre, 1993, Volumen 6, No.35.
Fig.2.28 (p.116), Fig.3.17 (p.116), Fig.3.20 (p.116).

Artes de México. *Cerámica de Tonala.* Artes de México y del Mundo S.A. de C.V., No.14, 1991.
Fig.3.6 (p.69), Fig.3.7 (p.55).

Artes de México. *Azulejos.* Artes de México y del Mundo S.A. de C.V., No.24, 1994.
Fig.2.21 (p.59).

Artes de México. *La talavera de Puebla.* Artes de México y del Mundo S.A. de C.V., No.3, 1995.
Fig.3.8 (p.29).

Artes de México. *Cerámica de Mata Ortiz.* Artes de México y del Mundo S.A. de C.V., No.45, 1999.
Fig.2.9 (p.54), Fig.3.5 (p.60).

Ceramic Industry. Business News Publishing Co, USA, November 1999, Volume 49, Issue Number12.
Fig.2.19 (p.58).

Ceramic Review. Ceramic Review Publishing Ltd. Craft Potters Association of Great Britain,
January/February 2000. Issue Number181.
Fig.2.13 (p.28), Fig.3.15 (p.31).

Design from Scandinavia. World Pictures, Denmark, 1996, No.19.
Fig.2.46.

Interni. Elemond S.p.A., Italia, Aprile 1999, No.489.
Fig.3.13 (p.36), Fig.3.16 (p.36).

Interni annual. *Annual Bagno 1994-1995.* Elemond S.p.A., 1994, Volume 5.
Fig.2.24 (p.78).

Edwards & Jones Inc, Sistemas y equipamiento para la industria cerámica, USA. (Catálogo de venta).
Fig.2.22.

Páginas Web

<http://astromet.com>
Fig.2.18.

<http://blaschceramics.com>
Fig.2.3, Fig.2.15, Fig.2.17, Fig.2.30, Fig.2.31, Fig.2.33, Fig.2.36, Fig.2.37, Fig.2.41.

<http://ceramtec.com>
Fig.2.16, Fig.2.29, Fig.2.32.

<http://ceramtek.com>
Fig.2.38.

<http://performanceceramics.com>
Fig.2.20.

<http://space.com>
Fig.1.18, Fig. 1.19.