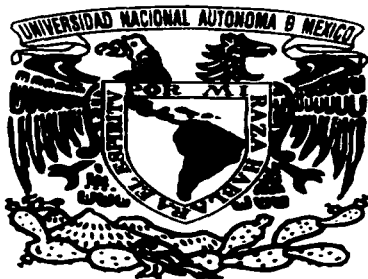


24.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



**TECNOLOGIA PARA LA
PRODUCCION DE CERAMICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA INDUSTRIAL)

P R E S E N T A
ALFONSO GARCIA-MORENO PACCHIANO

DIRECTOR
ING. CARLOS SANCHEZ MEJIA

MEXICO, D. F.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

A mis padres Carlos y Angélica, por todo su amor y apoyo que me han brindado siempre.

**A mis amigos por todos los momentos que
hemos disfrutado.**

**A todas esas personas que de alguna manera
han enriquecido mi vida.**

INDICE

	página
PROLOGO	3
1.- INTRODUCCION.	3
1.1. OBJETIVOS	
1.2. ANHELOS Y ASPIRACIONES	
1.3. ANTECEDENTES	
1.4. IMPORTANCIA DE ESTA TESIS	
1.5. ¿QUE ES LA CERAMICA?	
1.6. CONTENIDO	
2.- CLASIFICACION DE LOS PRODUCTOS CERAMICOS	7
3.- PROCESOS DE PRODUCCIÓN	
3.1. MATERIALES.	11
3.2. MOLIENDA.	26
3.3. FORMADO	55
3.4. BARNIZADO	73
3.5. QUEMA	78
3.6. DECORADO	98
4.- DIAGRAMAS DE PROCESO PARA DIFERENTES PRODUCTOS.	
4.1. AZULEJO VITRIFICADO.	104
4.2. VAJILLA PRENSADA.	113
4.3. SANITARIOS VACIADOS A ALTA PRESION.	117
5.- CONCLUSIONES.	120
6.- BIBLIOGRAFIA.	127
7.- TABLAS	129

TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION DE CERAMICA.

PROLOGO.

Este trabajo de tesis, se presenta para exponer la importancia de la industria de la cerámica en la actualidad así como para analizar los principales procesos de producción, los cuales han cambiado significativamente en los últimos años.

1. INTRODUCCION.

La intención de aprovechar y transmitir los conocimientos técnicos y conceptuales que se adquieren en una actividad laboral tal como la que tuve durante los últimos dos años en una importante planta manufacturera de artículos de cerámica, me llevó a profundizar en el estudio de la tecnología que emplean las plantas más competitivas para la producción de cerámica donde se aplican tecnologías totalmente nuevas para mí tanto por ser relativamente aplicadas recientemente como por no estar acostumbrado a escuchar prácticamente nada de este ramo industrial tan importante.

El fascinante mundo de la cerámica se revela como una ciencia, aun cuando conserva sus matices de técnica ya que está llena de trucos y artimañas que se deben de conocer, tanto como para el diseño del proceso, como para la operación día a día ya que se presentan incalculables contratiempos para los que hay que tener una solución eficaz.

1.1. OBJETIVOS DE LA TESIS.

- Describir los diferentes procesos que se utilizan en la industria de la cerámica con el fin de que este trabajo sea una fuente útil tanto para la consulta de temas específicos, como para información en general

- Informar sobre los nuevos procesos, los cuales ya se están utilizando en la industria y que por su novedad, solo se puede encontrar información en revistas especializadas y literatura de los fabricantes de las máquinas que se utilizan.
- Hacer ver y transmitir la importancia creciente de la industria de la cerámica, la cual se encuentra en un acelerado proceso de mejora continua, porque solamente los productores más competitivos podrán sobrevivir.
- Proponer una clasificación de productos cerámicos a partir de los diferentes conceptos que se manejan internacionalmente e individualmente ya que muy pocas fuentes coinciden con los mismos términos.
- Presentar los resultados de una investigación de calidad académica que muestren el compromiso de excelencia que se ha fomentado en los alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

1.2. ANHELOS Y ASPIRACIONES.

La finalización de este trabajo, significa para mi el arranque de una nueva fase en mi vida, donde con todas las facultades analíticas, intuitivas y sociales que se me han inculcado, tendré la innegable responsabilidad de representar a mi alma mater y a mi país en mi carrera profesional, donde con toda mi voluntad me esforzaré para crecer como persona, como ciudadano y como trabajador en cualquier actividad profesional que realice.

1.3. ANTECEDENTES.

La cerámica va de la mano de la historia de la humanidad. Una vez que el hombre superó la edad de piedra, el control del fuego le permitió comenzar a utilizar la cerámica. Conocemos objetos que se remontan al neolítico. Con la invención del torno en el antiguo Egipto la fabricación de la cerámica dio un paso considerable. En la actualidad estamos maravillados por la belleza y la perfección de las piezas tanto artísticas como utilitarias que hicieron las distintas civilizaciones de la antigüedad. Desde la Edad Media hasta nuestros días la cerámica se ha visto relacionada con los distintos aspectos de la vida cotidiana.

Aunque en sus principios el trabajo de la cerámica fue de alguna manera artesanal, hoy en día la producción de la cerámica industrial requiere de investigación, desarrollo, análisis y pruebas exhaustivos, aún cuando los mejores técnicos todavía requieren de ese "toque" artesanal propio de los -maestros-.

1.4. IMPORTANCIA DE ESTA TESIS.

Los conocimientos necesarios para trabajar a profundidad la cerámica son muy bastos, se requiere además de un dominio práctico de muchas ciencias, tales como la Química, Térmica, Mecánica, Hidráulica, Geología, Física, etc. Sin embargo, es importante presentar y explicar los procesos básicos de producción de la cerámica, ya que se dedica muy poco tiempo a este tema en las asignaturas de materiales y procesos.

Desde principios de los años 90's, se han presentado diversos cambios tecnológicos en todas las áreas de la producción de cerámica, que aun cuando ya se pueden ver en operación en varias plantas, todavía se encuentran en la etapa de pruebas y mejoras; se requiere informar a los técnicos e ingenieros de proceso, las ventajas competitivas de estas tecnologías.

Aun cuando se analizarán los principales procesos de producción, se le dará mayor importancia a aquellos que son poco conocidos por ser de reciente invención.

1.5. ¿ QUÉ ES LA CERÁMICA ?

La palabra "cerámica" procede del griego Keramos, que significa la arcilla del alfarero; en la actualidad, el término se aplica no sólo a la alfarería sino a todos los productos fabricados con arcilla y endurecidos mediante cocción. Por consiguiente, la cerámica engloba productos tan diversos como los ladrillos, la vajilla de porcelana, las ruedas de moler, los semiconductores de cerámica, algunos materiales utilizados en las centrales atómicas y también para la protección térmica de las bases de lanzamiento espaciales.

Los objetos cerámicos pueden ser agrupados según diversas clasificaciones. Habitualmente se los divide en dos grandes grupos determinados por la composición de la pieza sin barniz o bizcocho. El primero reúne los objetos de *cerámica gruesa*, de bizcocho espeso, granoso, a veces heterogéneo, generalmente coloreado: son, entre otros, tubos de desagüe, los revestimientos refractarios de los hornos, las tejas, diversos elementos de adobe, etc.

Las cerámicas finas se podría definir como un producto fabricado a partir de una materia cerámica cuyas partículas no sobrepasan los 0.05 mm. de grosor. La cerámica fina se divide, a su vez, en tres grupos según el grado de frito o

vitrificado del bizcocho: se distinguen así la loza (con una capacidad de absorción de agua superior al 5 %), las cerámicas semi-vitrificadas (hasta el 5 %) y las vitrificadas (hasta el 2 %).

1.6. CONTENIDO.

Los capítulos que integran esta tesis son:

- 1.- **INTRODUCCION.** Breve descripción del planteamiento realizado como punto de inicio para realizar la tesis "Nuevas tecnologías para la producción de la cerámica". Objetivos y Generalidades.
- 2.- **CLASIFICACION DE LOS PRODUCTOS CERAMICOS.** Síntesis de las diferentes clasificaciones de la cerámica relacionando los materiales utilizados y las temperaturas de cocción.
- 3.- **PROCESOS DE PRODUCCIÓN.** Métodos y técnicas utilizados en el proceso de producción de los productos cerámicos industrializados, enfocando principalmente artículos como vajillas, azulejos y muebles sanitarios. Se da mayor importancia a procesos como: secado por aspersion, prensado isostático, quema en hornos de rodillos y vaciado de alta presión por ser tecnologías aplicadas más recientemente.
- 4.- **DIAGRAMAS DE PROCESO PARA DIFERENTES PRODUCTOS.** Aun cuando los procesos son prácticamente iguales, el número y orden de procesos pueden variar de un producto a otro. Aquí se analizan procesos específicos para productos específicos para mejorar la comprensión y las características propias de cada rama de la cerámica.
- 5.- **CONCLUSIONES.** Comentarios sobre la capacidad de aceptar los cambios, la importancia de la reingeniería aplicada así como de la mejora continua para garantizar la competitividad de las industrias.

2. CLASIFICACION DE LOS PRODUCTOS CERAMICOS.

El material básico para la fabricación de los productos cerámicos es la arcilla, sustancia compuesta de silicatos que al ser mezclada con agua se puede moldear y con el calor se endurece. Al utilizar arcillas más o menos puras, los diferentes volúmenes de agua y temperaturas de cocción, permiten obtener materiales de diversas características (dureza, porosidad, coloración, etc.)

Los productos cerámicos se definen como piedras artificiales obtenidas por cocción de materias arcillosas naturales previamente moldeadas. La industria cerámica, comprende las *tabiquerías* o *ladrilleras* que producen materiales de construcción: Ladrillos, tejas, piezas de forjado, tubos etc., y la *alfarería*, que fabrica productos cerámicos finos: azulejos, lozas, porcelana, etc.

Las materias primas utilizadas son, además del agua que se emplea para el amasado: las arcillas *plásticas*, cuya forma más pura es el caolín o arcilla blanca; los *desengrasantes*, destinados a corregir las propiedades de las arcillas excesivamente grasas o puras; los *fundentes*, que aumentan la fusibilidad de las arcillas muy áridas o pobres, y los *colorantes* no plásticos.

Los productos cerámicos pueden agruparse de la siguiente forma: *porosos* como las tejas, que se caracterizan por su textura granulosa y su opacidad, por rezumar el agua y por adherirse a la lengua; *Semicompactos*, de grano fino y poco permeables, como el gres; *compactos*, impermeables como la toza; *vitrificados*, de estructura parecida al cristal, brillantes y refractarios a la luz como la porcelana.

i) Productos de tejar.

Se obtiene de arcillas ligeramente calcáreas, que se mezclan y se cuecen a una temperatura relativamente baja, de 800 a 1000 °C. Son un material ordinario, poco duro y poroso, que resiste mal los golpes. Se utiliza en forma de ladrillos macizos para la construcción de muros, o de ladrillos huecos para tabiquería. Los colores son variados y cálidos, desde el beige claro al morado rojizo. Se mancha fácilmente y no ofrece gran resistencia al desgaste; constituyen un buen aislamiento térmico y acústico y resisten la acción de los agentes atmosféricos.

ii) Ladrillo.

El ladrillo de azotea es uno de los materiales de construcción más antiguos; bien utilizado, desafía la acción del tiempo y de la intemperie. Su fabricación está completamente mecanizada y los hornos modernos pueden tratar hasta tres millones de ladrillos por ciclo, a una temperatura de 900 a 1000 °C que se eleva hasta los 1250 °C para los ladrillos barnizados. Por su grado de cocción o cochura, el ladrillo puede ser: santo, cuando por exceso de cocción ha sufrido una vitrificación, resultado quemado, retorcido y con un tono morado oscuro; escafilado, menos cocido y vitrificado, con tonos parecidos y piezas más o menos alabeadas; recocho, rojo intenso, con una cocción perfecta; pintón, con cochura escasa o deficiente y color pardusco; portero, incocido con la calidad de un simple adobe resecado.

iii) Gres.

Es un producto cerámico obtenido a partir de una pasta arcillosa especial cocida a una temperatura próxima a los 1,300 °C, para obtener una vitrificación que asegura su impermeabilidad, su resistencia a los golpes y a los agentes químicos y su gran dureza. Estas cualidades permiten emplear el gres para la fabricación de aparatos sanitarios y revestimientos de suelos y paredes.

iv) Medio Gres.

El medio gres se produce por cocción de la pasta a temperatura más reducida (1,000 °C), lo que determina una vitrificación parcial del producto, que resulta así menos duro que el gres normal y ligeramente poroso.

v) Azulejos.

Son productos cerámicos recubiertos con un esmalte vitrificado que los hace impermeables a los líquidos. Su fabricación consta de dos procesos: uno de cocción de la pasta, llamada bizcocho, y otro de esmaltado y nueva cocción para su vitrificación. Ambas operaciones se efectúan modernamente en una sola vez y según la composición de la pasta y la naturaleza del esmaltado, se obtienen diferentes tipos de azulejos. El esmaltado los hace impermeables, pero también frágiles y sensibles a los cambios de temperatura, por lo que los azulejos finos sólo se usan para revestimientos murales interiores. Existen, sin embargo, piezas especiales para exteriores, muchas veces de gran valor decorativo.

vi) Baldosas.

Son piezas cerámicas recubiertas por una pasta coloreada uniforme, llamada engobe, que se deja mate o se recubre de esmalte transparente y se vitrifica al fuego. Se utilizan como revestimientos corrientes en zonas de servicio, tales como cocinas, aseos, pasillos, huecos de escalera,

vii) Lozas.

Las lozas están formadas por un producto cerámico poroso o bizcocho y una capa vidriada o esmalte. Se fabrican con loza aparatos sanitarios, vajillas, útiles de cocina, azulejos, mayólicas, mosaicos y objetos de adorno.

viii) Porcelanas.

Las porcelanas constituyen el material cerámico más perfecto, fino y delicado, totalmente vitrificado y translúcido, blanco y compacto; no se rayan con el acero y son inatacables por los ácidos. Se fabrican a base de caolín, cuarzo, feldespato y sílice, por cocción a unos 1,400 °C. Se emplean como aislantes eléctricos; para fabricación de vajillas, jarrones y objetos de adorno, y para revestimiento de sanitarios de lujo principalmente en bañeras y lavabos así como para acabados de interiores de lujo.

ix) Muebles sanitarios.

Los sanitarios están generalmente formados por una cerámica vitrificada de color beige, y recubiertos de un esmalte coloreado uniforme. Se requiere de un acabado muy uniforme para garantizar la higiene ya que es muy fácil de limpiar e inatacable por el medio. Las principales piezas que se fabrican son la taza sanitaria, el tanque con tapa para almacenar agua, lavabos, ovalines, mingitorios y accesorios típicos de baño. Por ser piezas de gran tamaño, se necesita de un material con características plásticas altas, pero que sostenga su propio peso sin deformarse. El esmalte se aplica en verde y se utiliza un proceso de monococción a 1250 °C. En algunos casos las piezas se requeman para corregir defectos de acabado.

En la siguiente tabla podemos resumir las características más importantes de los diferentes tipos de cerámicas.

TIPO	MATERIAS PRIMAS	TEMPERATURA DE COCCIÓN °C		COLOR Y CARACTERÍSTICAS ESPECIALES.
		PRIMERA QUEMA	COCCIÓN DE BARNIZADO	
Alfarería común	Arcilla (impura)	900	1000	Marrón-rojo A veces sin barnizar
Mayólica	Arcilla (impura) arena y fundentes	900	1000-1100	Marrón pero cubierto por un barniz blanco opaco
Loza	Bolos* caolín, minerales feldespáticos Sílex u otros minerales de sílice	50 5-20 30-45	1050-1150 950-1050	Blancuzco
Gres	Arcilla (de fusión natural o arcilla + fundentes y materiales de sílice)		1100-1300 1000-1100	Gris, amarillo, etc. A veces sin cocción de barniz, efecto de barniz obtenido por introducción de sal común al final de la primera cocción.
China vitrea	Bolos + caolín Minerales feldespáticos Cuarzo	50 10-20 35-45	1100-1250 1000-1100	Blancusco-blanco Ligeramente translúcido.
Porcelana blanda	Caolín Feldespato Cuarzo	30-40 30-40 25-35	900-100 1250-1350	Blanco blancuzco
Porcelana dura	Caolín Feldespato Cuarzo	50 15-25 15-35	900-1000 1400	Blanco azulado Traslúcido
Porcelana de huesos	Caolín Piedra de Cornish Ceniza de huesos	25 25 50	1250 1100	Blanco puro Traslúcido.

*Bolos están compuestos principalmente por caolinita, pero contienen algo de montmorillonita.

3. PROCESOS DE PRODUCCION Y CALIDAD

3.1. MATERIALES.

3.1.1. DESCRIPCION DE LOS MATERIALES.

3.1.1.1. MATERIALES PLASTICOS.

Son rocas de grano fino constituidas por minerales de arcillas cuyas partículas tienen un grosor inferior a 2 mm, cuya propiedad fundamental es su plasticidad, es decir su capacidad de formar una pasta cuando se los mezcla con agua. Cuando se retuerce un trozo de materia plástica, no se producen fisuras y la forma permanece intacta después del secado y la cocción.

Sin embargo, una pasta cerámica compuesta únicamente por materiales plásticos presentaría propiedades no deseables, en particular una importante contracción, un mal secado y requeriría temperaturas de cocción elevadas. Por este motivo se añade a la pasta chamota y fundentes, materiales no plásticos.

a) CAOLIN.

El caolín fue introducido en Europa por el sacerdote jesuita francés d'Entrecolles que se había trasladado a China, en el siglo XVIII, para estudiar en los secretos de la fabricación de porcelana. El término caolín proviene del chino kao'ling que quiere decir "alta cumbre de las montañas" o monte. Al principio, era el nombre de la montaña de la que se extraía el caolín.

El caolín es una materia blanca, muy blanda y fritable. Seca al tacto, es muy plástica cuando se le añade agua. Conserva su color tras la cocción y resiste al fuego. Generalmente se produce por la atmosferización (caolinización) de rocas feldespáticas. Su componente básico es la caolinita $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. En general el caolín está manchado por restos de rocas madres no disgregadas, en particular de cuarzo, feldespato o mica. Aunque el lavado permite eliminar las partículas más gruesas, siempre permanecerán pequeños granos de arena de

cuarzo, de feldespato o de mica que habrá de tomar en consideración a la hora de elaborar una fórmula de pasta cerámica.

Para porcelana de buena calidad, el caolín debe ser tan plástico como sea posible, presentar una buena estabilidad en seco y un color blanco tras la cocción. Además debe prestarse fácilmente al moldeado y poseer un buen aglutinante. Para preparar una pasta de buena calidad y sobre todo, lo que es más importante, una pasta homogénea, se mezclan normalmente diferentes variedades de caolín y de arcilla y se añaden diversos agentes licuantes que facilitan el moldeado, por ejemplo sosa o vidrio soluble. el caolín se utiliza en la fabricación de la porcelana y entra igualmente en la composición de otras pastas cerámicas y engobes.

b) ARCILLAS Y ARCILLAS SECUNDARIAS.

Son producto de la atmosferización de rocas feldespáticas. Por medio de un largo y complejo proceso que depende esencialmente de la composición química de la roca madre y del agua, las rocas se transforman en tierras que contienen entre otros elementos argilita, componente muy fino cuyas partículas tienen un grosor inferior a 0.002 mm.

En función de la roca básica, se distinguen varios tipos de arcillas, en especial las arcillas caolínicas, illíticas y montmorilloníticas. La mayoría de las veces, las arcillas se componen de una mezcla de estos minerales, cada uno con una estructura cristalina diferente. La presencia de minerales arcillosos del tipo illítico y montmorillonítico mejora la resistencia en verde pero deteriora la capacidad de licuefacción, las pastas que contienen una proporción mayor de illitas pueden incluso revelarse como no licuables. las arcillas contienen siempre restos de la roca madre y sustancias amalgamadas durante su acarreo por el agua a lo largo de grandes distancias: granos de cuarzo, vanas de mica y también sustancias ferruginosas y orgánicas

c) ARCILLAS SECUNDARIAS

Difieren de las arcillas primarias por el hecho de que contienen solamente de 20 a 50 % de argilita, y también una gran proporción de fragmentos de rocas, de arena y de sustancias orgánicas. Contienen además una cantidad mayor de compuestos ferruginosos, lo que les da un color que puede ir del amarillo al pardo. Las arcillas secundarias no son resistentes al fuego.

d) TIERRAS REFRACTARIAS.

Soportan temperaturas muy elevadas, en general de unos 1580 °C como mínimo. Estas tierras refractarias se utilizan para el revestimiento de hornos y para otros fines técnicos. Mezclados con arcillas refractarias esquistosas se utilizan para la fabricación de la arcilla refractaria llamada chamota

e) ARCILLA PARA GRES

Estas arcillas se cuecen mediante tratamiento metalúrgico a la temperatura de cocción del gres cerámico (1200-1250°C) para que su coeficiente de saturación sea inferior al 5 % de masa. Es importante que la diferencia entre el punto de vitrificación y el punto de fusión sea al menos de 5 conos pirométricos (150 ° C) si no la pieza se deforman fácilmente y puede incluso fundirse enteramente con el calor.

f) ARCILLAS PARA LOZA

Cuecen a la temperatura de cocción de la loza, es decir a unos 1100-1350°C. Con el calor adquieren un color que puede ir del amarillo marfil al blanco puro; la pasta es porosa, con una absorción de al menos 7%. Las arcillas caolínicas altamente plásticas adicionadas con montmorilonita se conocen generalmente con el nombre de "ball clay". Su plasticidad se debe igualmente, entre otras causas, a materias orgánicas finamente dispersas que confieren a la arcilla un color oscuro que puede llegar hasta el negro.

g) ARCILLAS PARA LADRILLOS Y ARCILLAS SECUNDARIAS.

Estas arcillas cuecen a la temperatura de cocción de los ladrillos, es decir por debajo de 1100°C. El bizcocho es poroso y presenta un color rojo característico debido a los compuestos ferruginosos añadidos. Su contenido en flujo es en general muy elevado, lo que explica que sus puntos de fusión y de fritada difieran muy poco. Las arcillas para ladrillos son generalmente mucho más finas que las tierras arcillosas secundarias.

h) MARGAS.

Las margas contienen más de un 25 % de caliza finamente dispersa que actúa como un fundente extremadamente activo. Como las pastas calizas presentan una gran adherencia del vidriado al bizcocho cuando se las utiliza con

una cubierta plumifera o estannifera, se mezclan muy a menudo las margas con arcillas para baldosas, loza, etc.

i) ARCILLAS BENTONICAS

Son materiales extremadamente plásticos de origen volcánico. Su constituyente principal es la montmorillonita. Estas arcillas son tan plásticas que añadidas en un porcentaje pequeño a las pastas cerámicas, facilitan el moldeado. También mejoran la estabilidad en seco de las piezas trabajadas todavía sin cocer. Un ligero porcentaje de bentonita añadido al vidriado evitará que este se deposite en el fondo del recipiente.

3.1.1.2. MATERIALES NO PLASTICOS.

a) EL FELDESPATO.

Es un fundente muy apreciado, puesto que al contrario que la caliza aumenta la compacidad de la pasta a medida que sube la temperatura. Como cualquier polvo, el feldespato molido hace que la pasta sea más "magra" y disminuye su contracción en el secado. Por el contrario, la hace más compacta a temperatura más elevada, aumentando al mismo tiempo la contracción. Dado que las piezas cerámicas deben presentar una contracción uniforme, es importante añadir siempre una cantidad igual de feldespato. Por supuesto, esta regla se aplica a todas las materias cerámicas.

Además del feldespato se pueden utilizar otros materiales, como las pegmatitas o incluso, de uso más reciente, rocas feldespáticas molidas tales como el granito, la fonolita, etc.

b) EL CUARZO.

Se utiliza bien en forma de roca molida o bien en forma de arena (silice). El cuarzo debe ser lo más puro y de grano lo más fino posible con objeto de evitar toda coloración indeseable de la pasta. El cuarzo hace que las pastas cerámicas sean menos plásticas. La adición de una chamota de cuarzo disminuye considerablemente la contracción en el secado y en la cocción, y reduce el punto de fusión. Es aconsejable, para las cerámicas finas, utilizar cuarzo finamente molido mejor que arena.

c) LA CALIZA.

Esencialmente constituida por carbonato de calcio (calcita CaCO_3), se mezcla con las pastas cerámicas en forma de caliza molida o de tiza levigada. Durante el secado, la caliza actúa como una chamota; durante la primera fase de la cocción actúa del mismo modo, mejorando la porosidad de la pasta, pero desempeña el papel de fundente rápido durante las etapas siguientes. Si se añade carbonato cálcico en forma de caliza molida, el molido debe hacerse muy finamente; es posible también levigarlo. El calor transforma la caliza en cal viva - óxido de calcio-. Los pequeños granos de la pasta se reducen a polvo, provocando un aumento de volumen que puede dar lugar a una fragmentación. La caliza presenta puntos de fusión y de vitrificación muy próximos, de tal manera que incluso un ligero exceso de temperatura puede dar lugar a deformaciones, fusión o formación de burbujas.

d) LA CHAMOTA

Es una mezcla de arcilla cocida, esquitosa, bizcochos de cerámica o caolín cocido que se muele en diversos grados de fineza según la utilización proyectada y que se añade a la pasta para airearla. Aumenta la porosidad disminuyendo la contracción en el secado y en la cocción.

e) MATERIALES QUE CONTIENEN MAGNESIO

Entre las principales materias cerámicas que contienen magnesio hay que citar la esteatita y la magnesita. Una y otra facilitan la formación de corderita ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$), que se caracteriza por una dilatación térmica muy débil. Esta propiedad hace que las cerámicas sean extremadamente resistentes a los bruscos cambios de temperatura. Por consiguiente, las materias que contienen magnesio se utilizan sobre todo para fabricar aislantes minerales electrotécnicos y para los productos de cocción acelerada. Sin embargo, no hay que olvidar que la presencia de MgO , así como de CaO producido por la caliza, acorta el intervalo de vitrificación.

3.1.1.3. CONSTITUYENTES ORGANICOS.

En ocasiones se añaden diversas sustancias orgánicas a las pastas cerámicas ya sea para hacer la pasta cocida más porosa y, por consiguiente, más ligera (agentes aligerantes), o para mejorar la plasticidad de la tierra y disminuir su contenido de agua (agentes plastificantes).

Los agentes aligerantes comprenden la turba, el corcho en gránulos, el aserrín de madera, el almidón o el salvado, por lo general finamente molidos. Con objeto de dispersar estas materias de manera uniforme en la pasta, se recomienda mezclarlas con la tierra seca antes de añadir agua, o diluirlas en agua antes de verter ésta sobre la arcilla. Las sustancias orgánicas se consumen en la cocción, hacen que la pasta sea porosa, ligera y a veces le dan un efecto interesante.

Los plastificantes comprenden la dextrina (goma indígena), la goma arábiga, la cola, la gelatina, el aceite de parafina, diversas ceras, la metilcelulosa y los alcoholes polivinílicos, etc. Aumentan la plasticidad de las pastas "magras" o "cortas", en las que la plasticidad no puede obtenerse por adición de tierras plásticas ni por ninguna otra técnica. Los plastificantes se utilizan generalmente para hacer más plásticas las pastas de porcelana utilizadas para el modelado a mano o torneado.

Las materias primas auxiliares son el yeso para los moldes, el agua, combustibles, aire a presión, etc.

3.1.2. RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA.

Uno de los principales problemas del abastecimiento de materiales cerámicos es que ni las minas ni los proveedores en México pueden ofrecer las características adecuadas para la utilización directa de las materias primas. El tamaño de grano, la humedad, la pureza, presencia de contaminantes metálicos y homogeneidad son algunas de las variables que hay que controlar.

Como solución al problema de las materias primas, se desarrolla una formulación en la que se balancea el desempeño de la pasta mediante el uso de varios caolines provenientes de diferentes minas.

Una posible solución a este problema sería el importar materias primas de proveedores que pueden asegurar características químicas estables y de composición. Desgraciadamente los costos de transportación de productos de bajo costo, inciden considerablemente en la industria de la cerámica, ya que uno de los factores competitivos de esta industria es la de transformar tierra en productos terminados con un valor agregado importante. Los costos de materia prima, mano de obra y energía son los que más fuertemente inciden en el costo de fabricación.

En la República Popular de China, se pueden obtener productos a muy bajo costo pues tienen minas de materia prima de alta calidad y mano de obra muy calificada y económica debido a su estructura económica-social.

Con los análisis necesarios, en México se pueden obtener materias primas suficientemente buenas para obtener un producto acorde con las necesidades del mercado al que se va a introducir.

3.1.3. CONTROL DE LOS MATERIALES EN LA PLANTA.

Principalmente, el manejo de estos materiales es a granel, se almacenan en silos o en huchas. Se entregan con furgones de ferrocarril, trailers y camiones de volteo. También hay materiales como el Cuarzo y el yeso que se manejan en sacos de 50 Kg.

Como en la mayoría de los productos que se manejan a granel, se hace un recuento volumétrico y se multiplica por un coeficiente de densidad dependiendo del material.

Las variables principales a medir son:

- Pureza del material.
- Porcentaje de humedad.
- Compatibilidad con el proceso.
- Características de quemado

Se registra la entrada a el almacén de las diferentes materias primas, guardando muestras para análisis y como información de control.

Debido a la falta de una materia prima perfecta, se utilizan para el caso del feldespato y el caolín, mezclas de diferentes orígenes con el fin de alcanzar las características de producción más ventajosas.

Una composición común de la fórmula para la preparación de la pasta de porcelana es la siguiente:

PORCENTAJE	MATERIAL
50%	CAOLIN
27%	FELDESPATO
16 %	SILICE
7%	NO PLASTICAS

Como se puede ver, el tipo de producto de mayor volumen es el caolín. Una analogía ilustrativa sobre la función de cada uno de los componentes de una pieza de porcelana con el cuerpo humano es la siguiente:

El caolín, es como la carne, le da volumen y consistencia al cuerpo. El feldespato es como los músculos y tendones activos, le da la resistencia y la fuerza. El sílice es como los huesos, es la estructura básica y de soporte para la pieza. El barniz, compuesto principalmente de cuarzo y sílice actúa como la piel, envuelve a toda la pieza exteriormente y debe de resistir todos los contactos con el medio ambiente.

3.1.3.1. Prueba para determinar la humedad de los polvos o productos a granel.

- 1.- Se toma una muestra representativa del lote que se va a medir, es importante no tomar una muestra superficial pues la humedad tiende a disminuir en esta zona. Si se puede tomar en el momento en que se está descargando es mejor.
- 2.- Con una báscula lo suficientemente precisa para esta medición, se pesa una unidad de medida. Lo mejor es utilizar equipo diseñado para este fin, pues la charola donde se coloca el polvo a medir, debe de permitir que se esparza el material dejando una capa muy delgada. Se registra la medición.
- 3.- Se acerca una fuente de calor a la charola donde está el polvo. Dependiendo de la granulometría y la humedad promedio conocida de cada material, se deja durante un lapso suficiente para evaporar toda el agua que pueda estar en el material
- 4.- Se vuelve a hacer la lectura de peso para el mismo material. Si tenía humedad, debe de haber una diferencia, con lo cual se puede sacar un porcentaje, con la siguiente fórmula:

$$\%h = \left(1 - \frac{P_2}{P_1}\right) \cdot 100$$

Donde: P_1 es la primera lectura en la báscula y
 P_2 es la segunda lectura en la báscula.

Esta medición es importante por dos razones, la primera es para cuando se venden los materiales por peso, ya que la humedad puede ser de hasta un 15 % sin poderse comprobar a simple vista. Esto implica que se podría cobrar un 15 % más por el mismo material, lo cual podría considerarse como una pérdida.

La otro razón también es de peso, El siguiente paso del proceso, la mezcla y molienda se hace en base al peso, aquí se puede cometer el mismo error al hacerse la formulación con cantidades diferentes a la realidad por el contenido en agua de los materiales.

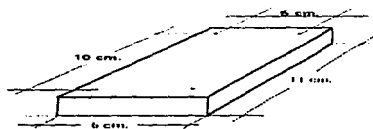
El proveedor debe de estar consciente de la existencia normal de humedad en los materiales, sobre todo en época de lluvias y debe de acordarse las tarifas en base al peso del producto y al peso que implica la humedad.

3.1.3.1.2. Pruebas de quemado para caolin.

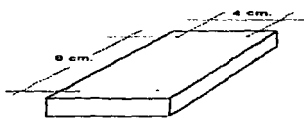
La mejor manera de identificar las propiedades de los diferentes caolines, es quemándolos bajo las condiciones normales de producción. Para esto, se hace una mezcla de feldespatos y caolín, con una composición de 40 y 60 por ciento respectivamente con la cual se hacen unas barras de control. Estas son sometidas al proceso de quemado en el horno y analizadas con procedimientos sencillos.

Las características de la barra deben de ser uniformes para poder repetir el experimento bajo las mismas condiciones para diferentes tipos de caolines. Por esta razón, se debe de utilizar un feldespatos de alta pureza y registrarlo para futuras pruebas. La función del feldespatos es importante pues se obtienen mejores ejemplares y se asemeja más la prueba al proceso de producción.

Las barras son de 11 cm. de largo, por 6 cm. de ancho y un cm. de altura, Una vez que seca la pasta se marcan cuatro puntos formando un rectángulo, con 10 cm. y 5 cm. de distancia de cada lado. Estos se utilizan para medir la contracción y deformaciones propias del material.



Barra en crudo



Barra quemada

Barras para prueba de quemado para caolín.

3.1.3.1.3. Prueba para medir la porosidad de los materiales.

Como ya vimos, los productos de cerámica pueden tener diferentes grados de porosidad o bien estar totalmente vitrificados lo que implica que la porosidad es cero.

Para determinar la porosidad tanto de una pieza terminada como de una probeta de prueba de materias primas, se utiliza el mismo experimento, el cual se lleva a cabo de la siguiente manera.

- 1.- Se limpia la pieza a analizar de polvo y grasa, ya que estos tapan los poros y evitan que el agua penetre en la pieza. En el caso de pruebas para productos terminados (prueba destructiva) a una parte de la pieza, se le quita la capa de barniz ya que esta está siempre vitrificada y reduciría el área de absorción.
- 2.- Una vez preparada la pieza, se pesa en una báscula con la sensibilidad necesaria para obtenerse datos precisos, y se registra la lectura.
- 3.- Se sumerge la pieza completa en agua potable en una tina a temperatura ambiente por 24 horas, tiempo suficiente para permitir que el agua penetre en los poros de la pieza.
- 4.- Se saca la pieza de la tina y se elimina el exceso de agua.

5.- Se vuelve a pesar en la misma báscula para poder determinar la cantidad en peso de agua que puede absorber la pieza.

En las piezas totalmente vitrificadas, no existen poros, por lo que el peso de la pieza después del experimento debe de ser el mismo. La cerámica y el barro, tienen una mayor porosidad la cual generalmente varía entre 5 y 15 por ciento.

Para determinar el porcentaje de porosidad se puede utilizar la siguiente fórmula.

$$\%P' = \left(1 - \frac{P'_2}{P'_1} \right) \times 100$$

Donde: P'_1 es la primera lectura en la báscula y

P'_2 es la segunda lectura en la báscula.

La porosidad de las materias primas quemadas, no necesariamente influye directamente en la porosidad final del producto ya que la fórmula de la pasta de producción, tiene otros materiales que al fundirse en conjunto le da otras propiedades, como los fundentes y el feldespato.

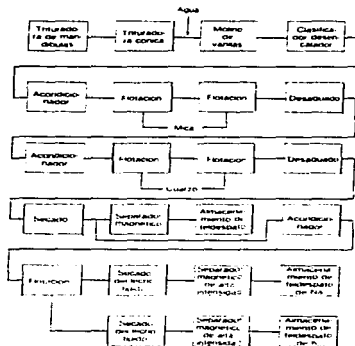
3.1.3.1.4 Extracción y purificación del caolín.

El caolín ha sido encontrado en muchos lugares de la tierra. Los yacimientos más importantes de caolín y arcilla caolinítica están concentrados en Inglaterra, Alemania, Francia, Checoslovaquia y Estados Unidos.

Los métodos de extracción y aprovechamiento varían de acuerdo con la profundidad y la extensión del depósito, así como de la profundidad de la sobrecarga. Generalmente se utilizan técnicas de minería a cielo abierto. Las pellas de caolín en bruto extraídas, conteniendo aproximadamente 75 % de arena de cuarzo y mica fina, son trituradas e introducidas en tambores rotatorios donde tiene lugar la primera separación, eliminando las fracciones de cuarzo y mica. Este proceso de separación por gravedad es muy acelerado por fuerzas centrifugas tal como en un hidrociclón; este está compuesto por una centrifuga tubular con un tambor estacionario en el cual rota la suspensión de caolín; el movimiento rotatorio es llevado a cabo con base tangencial de la suspensión bajo presión.

En los enormes depósitos de arcilla china, la sobrecarga es extraída mecánicamente, y una vez que se forma un pozo de paredes escarpadas, se

dirigen chorros potentes de agua hacia las superficies del pozo. La lechada resultante fluye hacia depósitos situados en el fondo del pozo, en los cuales se depositan los minerales gruesos extraños. Estos son periódicamente extraídos, formando los blancos depósitos cónicos característicos del paisaje de Cornualles. La lechada de arcilla se extrae con bombas centrifugas a la superficie para un posterior refinamiento. Se hace pasar a través de largos canales, donde la arena fina y las escamas de mica se depositan. la purificación es asistida y acelerada por centrifugas e hidrociclones. La suspensión final de arcilla que tan solo contiene alrededor de un 2 % de sólidos, es conducida a tanques de depósito donde es eliminada el agua sobrante. Cuando la suspensión contiene aproximadamente 10 % de sólidos, es filtrada a presión y limpiada.



Extracción de caolín, diagrama general.

3.1.3.2. Feldespato.

El nombre de feldespato es el nombre que se le da a los minerales de estructura compleja, formada por tetraedros de $(Si, Al) O_4^{2-}$, dispuestos de acuerdo con una red tridimensional, pertenecen a la clase de los silicatos.

Los términos químicos como se conocen son los siguientes

Ortosa	Silicato aluminico potásico	$\text{Si}_3\text{O}_8\text{AlK}$
Albita	Silicato aluminico sódico	$\text{Si}_3\text{O}_8\text{AlNa}$
Anortita	Silicato aluminico cálcico	$\text{Si}_3\text{O}_8\text{Al}_2\text{Ca}$

Rara vez se encuentra pura alguna de estas tres composiciones. Los feldespatos son los silicatos más abundantes. Se presentan como elemento esencial primario de muchas rocas eruptivas, como granito, sienita, etc. así como elemento acumulado mecánicamente en algunas rocas sedimentarias.

Debido a las características del material, se puede conseguir ya preprocesado con un tamaño de grano y pureza determinados, aun así, se tienen variaciones en los diferentes lotes y proveedores. Para determinar las propiedades de producción de estos compuestos, se hacen pruebas similares a las del caolín, pero para el feldespato.

3.1.3.2.1. Pruebas para determinar las características de quemado de feldespatos.

El feldespato, al quemarse, vitrifica totalmente. Por esta razón, las pruebas que se hacen sobre este material son para determinar cómo se vitrifica. Las características deseables de vitrificación son el color más blanco y una fluidez tal, en el punto de fusión que le permita mantener su forma física y su consistencia.

La prueba se lleva a cabo con un "cono de fusión". El proceso para llevar a cabo la prueba es el siguiente:

- 1.- Se homogeneiza la granulometría de la muestra haciendo pasar el feldespato molido a través de una malla del número 200. Esto nos garantiza que todas las partículas tienen una dimensión uniforme. Con el material filtrado, se mezcla con agua para hacer una pasta moldeable.
- 2.- Se prepara el cono de prueba, al cual se le da la forma con un molde de yeso. Las dimensiones del cono en crudo son de base 2 cm. y de altura también 2 cm.
- 3.- Se mete a el proceso de quemado en el horno de barniz, en el cual la temperatura es de 1,240 grados centígrados (cono 9) con todas las marcas y registros necesarios para no confundir los diferentes conos de fusión que corresponden a diferentes feldespatos.

- 4.- Las características del cono quemado, las analiza el técnico que formula las pastas. Las principales variables a analizar son color después de quemado y fluidez durante el vitrificado. Un feldespato muy fluido se identifica porque el cono pierde su forma hasta quedar con la forma de una media esfera con la punta achatada. Un feldespato con fluidez adecuada, guarda la forma del cono, aún cuando las aristas quedan un poco redondeadas.



Cono crudo



Cono quemado

Figuras del cono de fusión.

No existe una medida numérica para determinar los resultados de esta prueba pero con el criterio de los técnicos experimentados, se puede definir las mezclas adecuadas para obtener las mejores ventajas de cada uno de los diferentes materiales vírgenes.

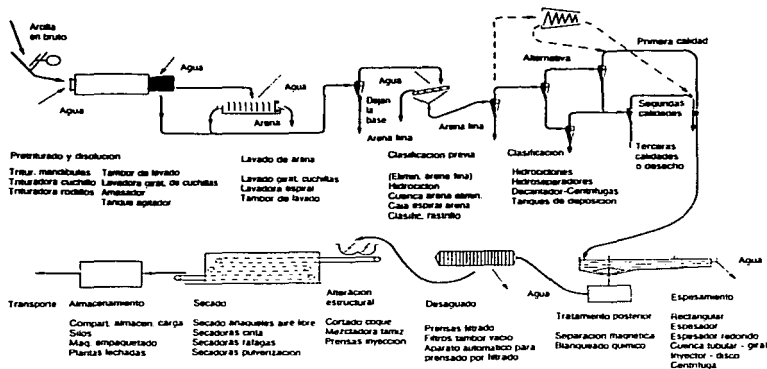
3.1.3.2.2. Extracción de minerales feldespáticos.

Los feldespatos acostumbran a ser extraídos de acuerdo con las técnicas convencionales de minería, y son suministrados a la industria alfarera en forma de terrones; las categorías de alta calidad acostumbran a ser seleccionadas manualmente. Recientemente se intenta introducir un sistema de selección automatizada que se basa sobre un reconocimiento óptico, donde se procede a fracturaciones sucesivas hasta obtener material parcialmente pulverizado el cual se reposa según diversas gamas granulométricas. A veces se introducen también separadores magnéticos que tienden a atraer con facilidad partículas metálicas que producen desgaste en la instalación. Algunas de las minas de feldespato han sido agotadas o se han vuelto incosteables por la necesidad de separar

contaminantes o moscovita presente en porcentajes tales que no permiten su utilización.

Los yacimientos más importantes están ubicados en Escandinavia, Rusia, Gran Bretaña, Italia, Alemania, Francia, Yugoslavia, Estados Unidos, México, Japón, India, Sudáfrica y Australia. La extracción se hace mediante flotación espumosa.

El primer paso de la flotación es el flotador de mica, en el cual todas las impurezas férricas son llevada a la superficie, mientras los feldespatos y el cuarzo van al fondo. Estos son pasados a un conjunto de tanques acondicionadores, donde los reactivos necesarios para su separación son adicionados. El cuarzo es entonces deprimido, mientras que el feldespato entra en flotación. En ciertas plantas son separados el feldespato potásico y el feldespato sódico, de nuevo mediante flotación. Se pretende que, mediante la flotación espumosa de pegmatita, aplicando control de calidad en serie se consigan productos finales superiores y más coherentes que el material en terrones utilizado hasta ahora.



Extracción por flotación de feldespato. Gráfico general.

3.1.4. DESARROLLO DE PROVEEDORES.

El desarrollo de proveedores para materias primas cerámicas en México, principalmente el caolín, puede llegar a ser muy complejo. Las variables que pueden existir en los estratos geológicos, la vida de la veta y la localización de vetas nuevas es un trabajo que implica investigación geológica y química.

Una vez que se localiza una veta del material adecuado, la explotación y transportación es secundaria, ya que se consume tal cual como se encuentra sin más proceso que certificar que se extrae todo de la misma veta.

Hay que estar conscientes de que pueden existir problemas para la autorización de explotar el subsuelo ya que es propiedad de la Nación y en muchas ocasiones se encuentra en zonas comunales donde los mismos habitantes pueden volverse los empresarios proveedores.

3.2. MOLIENDA Y PREPARACION DE PASTAS

3.2.1. FORMULACION.

Una vez que se han analizado las características de los materiales a utilizar, se debe determinar la formulación adecuada tanto del cuerpo cerámico como de el barniz.

La fórmula se define en porcentajes del total del peso de la pasta preparada. La mezcla es en sí, solamente, poner en una tolva, las cantidades de cada uno de los materiales que componen la fórmula cuando el peso de todos ellos es igual a la capacidad de el molino. Esta parte del proceso es por lotes y deben de identificarse para cualquier análisis posterior.

Para asegurar las condiciones de mezcla, es importante considerar los siguientes puntos:

- Humedad en las materias primas.
- Calibración de los instrumentos de medición de peso.
- Determinar la tolerancia para variación en peso
- Pérdidas de material en transporte y maniobras
- Registro e identificación de lotes para control.

Como ya se mencionó antes, la humedad puede provocar variaciones en la cuantificación de materias primas, y por lo tanto variaciones en la formulación si no se considera como una variable.

La calibración es muy importante para verificar que lo que se mide es una variable repetible bajo cualquier circunstancia.

Entre más constante sea la mezcla, se puede ir aislando la formulación como una variable

Una vez analizadas las materias primas, y aprobadas sus características para su buen funcionamiento, se hace la mezcla adecuada en una báscula móvil, la cuál se puede alimentar con los silos, con sacos y en una estación manual de carga.

Este punto es esencial dentro de la producción, pues si la mezcla no es la adecuada, las características finales del producto, se ven afectadas y puede no alcanzar el desempeño adecuado.

Una vez distribuidas las proporciones de cada material, se carga en los molinos y se agrega agua. Los molinos tienen la función de mezclar y de moler los materiales en una mezcla homogénea con tamaños de partículas determinados.

3.2.1.1. Molinos de bolas.

El molino es un cilindro de acero dispuesto en forma horizontal, montado sobre un eje que lo hace girar. Interiormente están cubiertas las paredes por una capa de unos 20 cm. de espesor de material cerámico. Esto es con la intención que conforme se va gastando el forro, el material que se desprende, es también un material cerámico que no afecta la mezcla y que aísla del hierro, el cual causa manchas color café en la cerámica. En el interior del molino, se colocan bolas de

cerámica, o piedras de río de materiales determinados, que son las que realizan el trabajo de molienda.

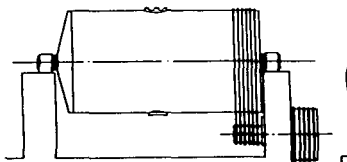


FIG 1 MOLINO ALSING

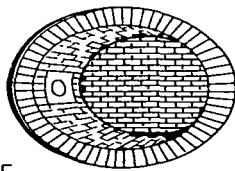


FIG 2 REVESTIMIENTO DEL MOLINO

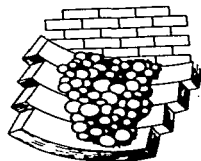


FIG 3
BOLAS PARA EL MOLINO

Detalles de un molino Alsing.

La velocidad de giro del molino, es tal, que la fuerza centrífuga que empuja a las bolas hacia las paredes, es vencida por la gravedad cuando estas se encuentran en la parte superior y caen golpeando la zona donde se encuentra la mezcla de materiales.

Dependiendo de las características de los materiales a moler, el ciclo de molienda puede durar desde 1 hasta 60 horas. En muchos casos, materiales como el sílice y el feldespato, se encuentran premolidos, por lo que pueden mezclarse con la pasta posteriormente a la molienda en tanques con mezcladoras, comúnmente llamados licuadoras.

La descarga del molino, se hace por gravedad hacia los tanques de añejamiento. La función de estos tanques, es la de ser un capacitor de material para alimentar el siguiente proceso y además, le proporciona más tiempo de añejamiento a la pasta, el cual entre más tiempo se le permita reposar, es mejor. La razón técnica de este proceso, es la de permitir que las moléculas de agua rompan la tensión superficial molecular de las tierras de la pasta y se "moje" bien. Esto le brinda mejor homogeneidad. Es necesario mantener a la pasta en movimiento para evitar la floculación.

3.2.2. MOLTURACION.

Cuando se habla de la molturación de sólidos, se entiende toda una serie de operaciones tendentes a la reducción de las dimensiones del material que van desde la premolturación hasta una pulverización.

La molturación no tiene por objeto la simple obtención de pequeñas partículas de tamaño menos grueso que de partida, sino producir un material con un determinado diámetro medio de partículas y una distribución granulométrica adecuada para el producto que se desea obtener.

En general, los objetivos finales del proceso de reducción de las dimensiones de los sólidos son variados, siendo uno de ellos el aumento de la superficie específica del material que permite mejorar la homogeneidad de las masas y completar las reacciones químicas en tiempos breves.

3.2.2.1. Propiedades de los sólidos.

Los factores y propiedades más importantes de los materiales que influyen notablemente en la eficacia de la molturación, son:

- a) **Dimensiones lineales** de las partículas del material a molturar como pueden ser el diámetro o la arista de las partículas. La arcilla se suministra en general en trozos máximos de 10 a 20 cm.
- b) **Dimensión de la superficie** externa de las partículas a molturar. El cálculo podrá ser fácil si se trata de formas esféricas o cúbicas, pero será de cualquier modo siempre posible aunque la pieza sea más compleja o irregular.
- c) **Dureza.** Es uno de los parámetros más importantes para la molturación de los materiales. básicamente se debe conocer:
 - Resistencia a la compresión
 - Resistencia al choque.
 - Resistencia a la abrasión.
- d) **Estructura del material.** Puede ser compacta o heterogénea, con planos de fractura causal o con planos de exfoliación bien determinados. Los materiales duros presentan estructura compacta, como el cuarzo, feldespato y calcáreas sedimentarias.

- e) **Peso específico.** No tiene mucha importancia para la molturación de los materiales sólidos compactos. Sin embargo, en algunas mezclas con partículas de diversas composiciones mineralógicas, asume una importancia significativa en la molturación y en los dispositivos de transporte internos, ya que pueden presentarse fenómenos de separación.
- f) **Humedad e higroscopicidad.** Ejercen un efecto importante para la eficacia de la molturación, en cuanto reducen el rendimiento de las maquinas. Con el aumento de la humedad disminuye la capacidad productiva de molturación, naturalmente en función del grano de finura logrado.
- g) **Tendencia a la aglomeración,** o a la floculación. Produce una reducción en el rendimiento de la molturación.

3.2.2.2. Molturación por vía seca y por vía húmeda.

La molturación de las materias primas componentes de las pastas cerámicas se realiza normalmente por vía seca o con una tecnología en húmedo.

En general, se puede afirmar que la molturación en húmedo viene caracterizada por una reducción muy rápida de los materiales componentes de la mezcla y por una mejor homogeneización, mientras que la molturación en seco puede ser utilizada cuando se dispone de materias primas extremadamente puras o para artículos de calidad no muy controlada.

La utilización de productos químicos defloculantes que reducen notablemente la cantidad de agua de la barbotina con las ventajas económicas que de ello derivan, permite la obtención de partículas con diámetros inferiores a 10 micras.

La elección de la tecnología de molturación depende en parte del grado de finura de las partículas, necesario para obtener un cierto producto

3.2.2.3. Teoría de la molturación húmeda discontinua mediante molinos.

Se ha mencionado que la molturación en húmedo tiene por objeto, además de reducir las dimensiones en partículas micronizadas de las partículas que forman la pasta, la perfecta homogeneización y dispersión en toda la barbotina de los diferentes componentes.

Lo más frecuente es que las pastas estén formadas por muchos componentes, añadidos con el fin de adaptar las características de la arcilla al proceso tecnológico más racional y moderno para la obtención del producto cerámico requerido. Para la molturación en húmedo se utiliza generalmente el molino Alsing.

La molturación con este tipo de molino es discontinua y su ciclo de trabajo se divide en tres etapas:

1. Carga de materia prima, agua y fluidificantes.
2. Molturación propiamente dicha.
3. Descarga de la barbotina obtenida.

Para una correcta molturación y un buen funcionamiento del molino es necesario seguir algunas reglas y conceptos básicos. A continuación se analizarán los más importantes.

a) Velocidad del molino. Un molino de diámetro D metros, girando a " n " giros por minuto tiene una velocidad periférica:

$$V' = \frac{\pi}{60} (D \cdot n) \cdot \left[\frac{m}{s} \right]$$

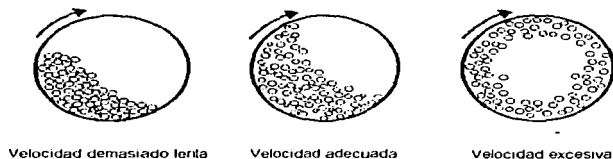
La velocidad del molino comunica a un cuerpo molturante de masa " m " adherida al tambor, una fuerza centrífuga que eleva al cuerpo " m " a un ángulo " α " sobre la horizontal de manera que la componente de la fuerza de gravedad es igual y contraria a la fuerza centrífuga.

$$F_c = m \cdot w^2 \left(\frac{D}{2} \right) = mg \cdot \text{sen } \alpha = \frac{2mv^2}{D}$$

donde: w = velocidad angular
 v = velocidad lineal

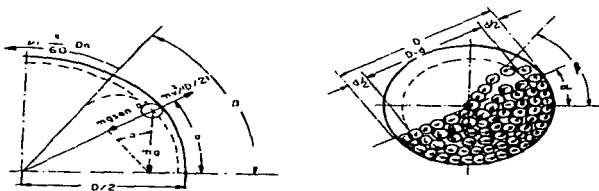
De esta igualdad se deduce que el ángulo de la elevación es independiente de la masa " m " del cuerpo molturante y depende solo de la velocidad del molino.

Superando el ángulo de elevación " α " e cuerpo molturante adherido al tambor se desprende porque la fuerza de gravedad supera la fuerza centrífuga y cae describiendo un arco en parábola. El ángulo "B" al cuál se eleva posteriormente el cuerpo molturante desde el ángulo de elevación se llama ángulo de cascada"



Trayectoria de los cuerpos molidores a diferentes velocidades

Las capas de cuerpos molidores no adheridos al tambor colocados a una distancia inferior a los citados, tendrán una velocidad periférica menor que aquellos que están en una capa más externa, así por esto se elevan menos y caen envueltos con las capas más externas. El movimiento conjunto de los cuerpos molidores en un molino resulta así compuesto de una caída en cascada y una rotación recíproca; de estos dos movimientos resulta la acción molidora.



El ángulo de elevación "α" se puede expresar en función del número n de giros por minuto, siendo:

$$V = \frac{\pi}{60} (D \times n) \cdot \left[\frac{m}{s} \right]$$

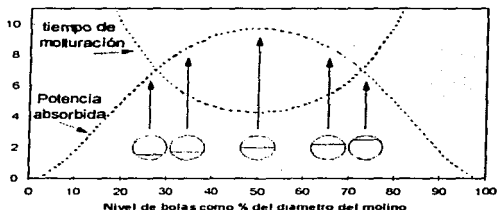
y sustituyendo en la igualdad

como: $mg \cdot \sin \alpha = 2mv^2$ tenemos que:

$$\sin \alpha = \frac{2Dn^2}{3600g} \sin \alpha = 0.000561 \cdot Dn^2$$

Si la aceleración ac es más pequeña que g como por ejemplo en el caso de un molino que tiene D = 1 m. cuya rotación es n = 10 giros por minuto, la carga se desvía un poco sobre la horizontal y los cuerpos tienden a deslizarse hacia atrás sobre el revestimiento, la acción molarante es escasa y el desgaste de los cuerpos y el revestimiento es grande.

Esta demostrado que las mejores condiciones de molaración se tienen cuando el ángulo está comprendido entre 45° y 60° porque entonces la carga cae en cascada, los cuerpos caen unos sobre otros realizando la máxima acción molarante, además el desgaste de los cuerpos y del revestimiento es mínimo. En los molinos de gran diámetro, tiene un rendimiento mayor por lo tanto, se puede reducir un poco la aceleración centrípeta en beneficio de la duración del revestimiento y cuerpo molarante.



Gráfica de eficiencia del molino. tiempo de molienda

Si la aceleración ac está cercana o igual a g , los cuerpos más cercanos al revestimiento quedan así adheridos, los cuerpos más internos caen en una segunda trayectoria parabólica, contra el revestimiento. La acción molturante puede ser grande, pero el desgaste de los cuerpos y del revestimiento es mucho más intenso.

Las condiciones ideales del molino no corresponden al tiempo de molturación mínimo, sino a una velocidad tal que la energía disipada por fricción y choque de los cuerpos molturantes sea mínima, y máxima la energía aprovechada para molturar el producto.

El sonido de la carga en movimiento dentro del molino puede ser un indicio para saber si este gira a la velocidad adecuada, como bien saben los operarios con experiencia.

b) Cuerpos Molturantes.

La rotación del molino no provoca solamente una rotación completa en cascada del cuerpo si no que provoca sobre todo una serie de rotaciones recíprocas sobre ellos mismos

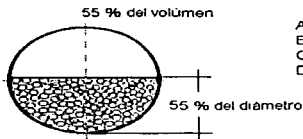
La más importante característica de los cuerpos molturantes es el peso específico o densidad. A más alto peso específico mayor será, para cuerpos molturantes de igual volumen, la energía cinética de este componente durante la rotación, lo que significa mayor acción molturante. Además durante la molturación el líquido, por efecto del empuje hidrostático, la fuerza de gravedad es proporcional a la diferencia $P_c - P_s$ entre el peso específico de los cuerpos y el peso específico del producto.

c) Carga de bolas

La carga de bolas tiene una influencia importante en el tiempo de molturación, si se aumenta progresivamente la carga de bolas en el molino, el tiempo de molturación, primeramente disminuye logrando el mínimo cuando el nivel de las bolas está cerca de la mitad del molino, para volver a aumentar nuevamente.

Recíprocamente la potencia absorbida primeramente aumente, alcanzando el máximo con el nivel de las bolas hasta la mitad del molino.

En la práctica, el tiempo de molturación mínimo se consigue con el nivel de las bolas igual al 50 a 55 % del volumen total del molino.



- | | | |
|------------------------------|---|------|
| A) Volumen aparente de bolas | = | 55 % |
| B) Volumen libre del molino | = | 44 % |
| C) Volumen real de bolas | = | 33 % |
| D) Volumen de los huecos | = | 22 % |

Carga de bolas en el molino.

Dependiendo del diámetro del molino, se utilizan tamaños diferentes de las bolas, sin embargo, no todas deben de ser del mismo tamaño, Los tamaños más comunes son entre 20 y 60 mm.

Deberán de repartirse por volumen el tamaño de las bolas de la siguiente manera:

- 45 - 50 % bolas de diámetro inferior
- 25 - 30 % bolas de diámetro medio
- 25 - 30 % bolas de diámetro superior.

d) Carga del producto.

No existen reglas generales para la carga del producto a introducir en el molino, hay más bien, una indicación para la máxima carga. El producto a molinar debe ser al menos el necesario para cubrir completamente las bolas. A una cantidad menor deberemos molinar en un tiempo mucho más pequeño con peligro de sobrecalentamiento. El límite inferior de la carga del producto es por consiguiente el valor del volumen de los vacíos que hay entre las bolas, por ejemplo, una carga de bolas del 50 % del volumen del molino el producto deberá tener al menos un 20 % del volumen, del molino, o sea unos 200 lit/ m³.

3.2.3. ACONDICIONAMIENTO DE LA PASTA.

En el proceso de la cerámica se pueden hacer formas mediante vaciado, para lo cual se utiliza la pasta líquida, tal como se encuentra después de la molienda, o bien se puede dar forma forjando, para lo cual se necesita una pasta plástica y manejable con un menor contenido de humedad, por lo que hay que quitarle agua a la pasta, proceso que se realiza con filtros prensa.

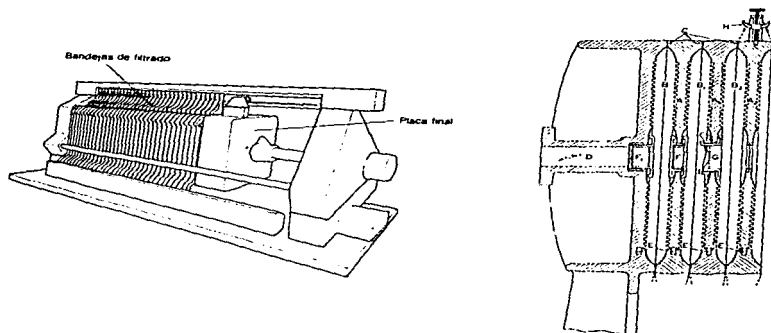
3.2.3.1. FILTROS PRENSA.

El funcionamiento del filtro prensa es el siguiente:

La pasta líquida es bombeada a presión a través de un arreglo de lonas que funcionan como filtro, ya que permiten el paso del agua y no el de la pasta. Con el fin de obtener la mayor área filtrante, el arreglo es en discos, los cuales se encuentran separados por estructuras de fierro y en un armazón que permite aplicar la presión necesaria para que no se desplacen las placas. Tanto los armazones como los paños de filtrado presentan un agujero central, de modo que el fluido de barbotina que es bombeado en las prensas puede pasar a través de toda la prensa llenando todas las cámaras.

Las bombas utilizadas son de desplazamiento positivo, de embolo y tienen como accesorio un electroimán el cual atrae cualquier partícula de fierro que se encuentre suspendida en la pasta. La bomba de presión está calibrada de tal forma que no siga saliendo agua cuando el cuerpo ha alcanzado la consistencia correcta (contenido de agua del 21-25 %)

Una vez que se extrae toda el agua necesaria, se abre la prensa para sacar los discos que se forman en los filtros prensa y llevarlos a las amasadoras, donde se les da la forma con la que se alimentan las máquinas de forjado. En la formación de las "pellas" también es importante mencionar que en la amasadora, el proceso se lleva a cabo en una cámara al vacío, para extraer cualquier burbuja que pueda causar un defecto posterior en las piezas.

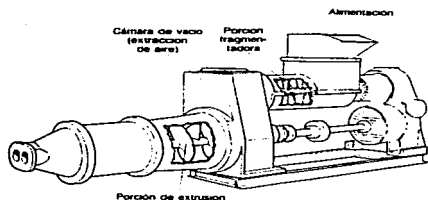


Detalles de un filtro prensa

3.2.3.1.1. Eliminación mecánica del aire.

La eliminación de aire del cuerpo, tan vital para la plasticidad, es ahora función del molino de expulsión de aire y amasado de arcilla, al cual se hace referencia generalmente como la amasadora. Es una pieza esencial del equipo, especialmente para la pasta de loza o porcelana, la cual debido a su bajo contenido en arcilla no podría ser manufacturada sin él.

El molino de amasado y expulsión de aire semeja una gigantesca máquina de moler carne, con una cámara de expulsión de aire y un expulsor de propulsión a tornillo. Las pastas filtradas son fragmentadas y mezcladas; el cuerpo mezclado pasa a través de una rejilla a la cámara de vacío, donde es consolidado y expulsado con diferentes diámetros según el tamaño requerido por el alfarero.



Molino amasador.

3.2.3.2. ACONDICIONAMIENTO DE LA PASTA (GRANULADO).

El secado es un proceso por medio del cual se extrae agua o cualquier otro líquido de una solución o de una suspensión.

Este proceso se realiza, en el ámbito industrial en una máquina denominada atomizador. Por conocidas leyes físicas, se produce mediante la evaporación de un líquido y calentándolo adecuadamente.

En el caso de los atomizadores, se pueden dividir en dos grandes grupos:

a) Atomizador de calor directo.

En los cuales, el calor necesario para calentar el líquido, a evaporar, lo aporta el aire caliente mezclado con los gases de combustión, que al entrar en contacto directo con el líquido o suspensión produce la evaporación (convección).

b) Atomizador de calor indirecto.

Aquellos en el que el calor es transmitido por conducción al material a tratar.

Aquí nos ocuparemos de los atomizadores del primer tipo aplicados preferentemente a la industria cerámica.

3.2.3.2.1. Funcionamiento del secador por pulverizado.

Es conocido que la evaporación de un líquido es directamente proporcional a la superficie a través de la cual puede producirse la evaporación.

En el secadero por pulverizado, esto se consigue subdividiendo finalmente el líquido (solución o suspensión) mediante dispositivos adecuados, fundamentalmente son de dos tipos:

- a) pulverizador de disco.
- b) pulverizador de boquilla

Una vez obtenida la pulverización del líquido, se pone en contacto con una corriente de gases calientes, los cuales, provocan una rápida evaporación del agua, y junto con el vapor formado son evacuados mediante un sistema de extracción. El material seco se recoge en forma de polvo o granulado de forma variada.

La ventaja que este secado ofrece, consiste sobretodo en la posibilidad de obtener como una operación extremadamente simple, un material con características de homogeneidad físico - química y con forma granulométrica que permite una buena fluidez.



Ejemplos de granulo atomizado



granulo vía seca.

Como ejemplo en la producción de vajilla plana, donde la operación de prensado resulta fundamental, la fase de preparación de polvos, partiendo de barbotina obtenida por mouluración vía húmeda, pasaría por las siguientes etapas:

1. preparación de la barbotina (esta etapa permanece invariable en el atomizado)
2. filtro prensa
3. secado de las tortas o de las pellas
4. molturación del material seco
5. control de la granulometría
6. control de la humedad, casi siempre necesaria, dada la variación que esta puede tener en el total de la masa y en el entorno de una porción de material.
7. envío a los silos de reposo y almacenamiento

Sin embargo, con la utilización del atomizador, el ciclo es el siguiente.

1. preparación de la barbotina
2. pulverización en el atomizador
3. recogida del producto
4. envío a los silos de reposo y almacenamiento.

Este procedimiento, permite obtener polvos con una humedad precisa y constante, con una variación no superior al ± 0.5 % del valor prefijado.

3.2.3.2.2. PREPARACION DE LA BARBOTINA.

Un tema estrechamente ligado al problema del secado por pulverización, es el de la barbotina cerámica a atomizar.

Dada la complejidad de la búsqueda de las condiciones óptimas de fluidez de la pasta cerámica, vista también bajo el aspecto económico del secado, no se puede fijar un método válido general para todas las aplicaciones.

Vamos a analizar algunos parámetros básicos como son:

- Posibilidad de defloculación de la barbotina
- Búsqueda del fluidificante o mezcla de ellos, más eficaces para deflocular la barbotina.
- Estudio de la curva de defloculación para establecer el intervalo de viscosidad óptima de la barbotina.

La serie de datos suministrados por estas determinaciones, permite la valoración de las mejores condiciones para atomizar del modo más correcto técnica y económicamente.

A continuación se describe un procedimiento práctico para obtener las informaciones necesarias. Este método se ha demostrado válido, para utilización industrial, en el supuesto de arcillas o pastas con bajo contenido de sales solubles.

a) Prueba preliminar de defloculación

Los defloculantes empleados usualmente son:

Inorgánicos	tripolifosfato sódico
	silicato sódico
	mezcla de silicato sódico y sosa cáustica(NaOH) en la proporción 3:1
	mezcla de tripolifostato sódico y silicato sódico en la proporción 2:1
Orgánicos	mezcla de silicato sódico y carbonato sódico en la proporción 3:1
	Reotán L tanato sódico

Estos electrolitos se pueden considerar como usuales, ya que son los más económicos de la gama de los productos a ser usados y ampliamente disponibles en el mercado.

Está también el hecho de que se han demostrado como los más eficaces en una amplia serie de experiencias y aplicaciones prácticas, por los que se prefieren a otros defloculantes.

b) Método de la búsqueda del agente defloculante.

La cantidad de material seco necesaria para la determinación se fija en 1,200 gr. Se disuelve todo en agua (previa molienda hasta residuo nulo en tamiz de 100 mallas /cm² o se muele en molino de bolas (húmedo) en el caso de materiales compactos.

La barbotina se seca después en estufa y a continuación el material seco se le añade agua en la proporción siguiente:
(arcilla + agua = 100)

pasta blanca porosa	30-35 % H ₂ O
Pasta blanca vitrificada	30-40 % H ₂ O

La barbotina obtenida se divide en seis partes iguales (en peso o volumen) a cada una de las cuales se le va añadiendo en proporción creciente uno de los defloculantes antes señalados, obteniendo una curva de viscosidad entre el porcentaje de defloculante para cada uno.

Comparando las curvas, vemos que tipo de defloculante se muestra más activo para el tipo de pasta que estamos estudiando.

c) Curva de defloculación de la barbotina con diferentes porcentajes de agua.

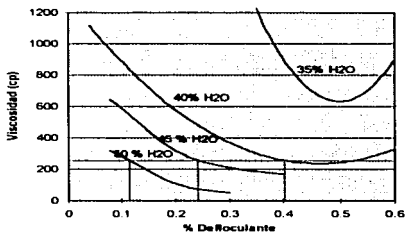
Para la determinación de la viscosidad, se usa un viscosímetro rotativo de lectura directa con dispositivo de medida de viscosidad absoluta en el campo comprendido entre 1 y 10.000 centipoises a temperatura constante de 15 °C. Conociendo el tipo de defloculante o mezcla de ellos, más apropiado, se procede a la determinación de 3 o 4 curvas de viscosidad, donde los parámetros viscosidad entre el porcentaje de defloculante, son representados sobre ejes cartesianos.

La viscosidad de la barbotina varía en función del porcentaje añadido de defloculante (manteniendo constante la proporción de agua para conseguir la viscosidad óptima de 200 - 300 cp - viscosidad)

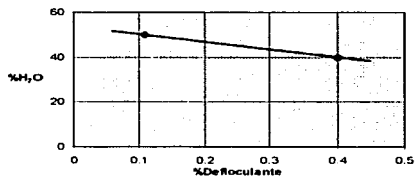
Cada curva de viscosidad, corresponde a una determinada proporción de H₂O. El porcentaje de H₂O viene establecido en función de la experiencia específica.

d) Viscosidad óptima.

El punto de intersección de cada curva con la abscisa correspondiente a la viscosidad de 250 cp, determina el valor conjunto del defloculante y el porcentaje de agua de la barbotina.



Llevando estos valores a otro sistema de ejes en los que el porcentaje de defloculante se toma sobre abscisas y el porcentaje de agua de la barbotina sobre la ordenada, se obtiene una línea de viscosidad constante.



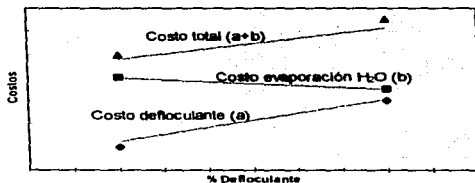
e) Determinación del costo óptimo.

La curva de viscosidad constante nos da en cada punto, la cantidad de defloculante necesaria para cada porcentaje de agua en la barbotina en las condiciones de viscosidad óptima. Conociendo el costo de evaporación de cada

litro de agua en el proceso de secado por pulverización, se puede colocar sobre la ordenada, en correspondencia con los porcentajes de agua de la barbotina, el costo relativo de la evaporación.

Dado que los polvos para prensado se secan sólo hasta dejarlos con humedad residual media del 5 %, está claro que la curva del costo de evaporación, resulta paralela a la de viscosidad constante, pero más baja que aquella en los valores de ordenadas, correspondiendo a la cantidad de agua no evaporada (5 %).

Teniendo en cuenta que el porcentaje de defloculante está referido al peso seco de la barbotina y este varía en función del porcentaje de agua; con los cálculos adecuados, se puede establecer la curva del costo del defloculante en el campo establecido por la curva a viscosidad constante.



Curva del costo de evaporación del agua, costo del defloculante y costo total.

Esta curva está construida llevando en ordenadas el costo del defloculante referido al porcentaje del mismo, indicando en abcisas. La suma del costo de evaporación y del defloculante, determina la curva del costo total.

El punto mínimo de esta curva, fija el valor más económico de la relación agua-defloculante de la barbotina a la viscosidad óptima para el atomizador.

3.2.3.2.3. EVAPORACION EN EL SECADERO DE PULVERIZACIÓN.

El proceso de evaporación es el siguiente:

a) el líquido (barbotina en el campo de la cerámica) finamente pulverizado en la cámara de secado es calentado hasta cerca de 100 °C (a la presión de 760 mm/Hg).

b) alcanzada esta temperatura, toda el agua se evapora rápidamente. Esta es una de las principales virtudes del atomizador. Como efecto secundario del proceso, se da el hecho de que la rápida evaporación hace que el producto se mantenga relativamente frío. En el campo de los productos orgánicos alimentarios, esta condición es generalmente indispensable.

c) apenas terminado el proceso de evaporación, el vapor así formado (no olvidemos que se encuentra a la presión absoluta de casi una atmósfera) es recalentado hasta la temperatura de equilibrio con los gases calientes introducidos, esto es, a la misma temperatura. Esta temperatura, en un atomizador para pastas cerámicas de buen rendimiento, oscila entre 90 y 120 °C.

d) terminado el proceso de evaporación del material atomizado, nos queda solamente los gránulos esferoidales, los cuales todavía pueden absorber calor mientras permanecen en la cámara de secado, y por lo tanto pueden perder la posible humedad residual.

e) muchos constructores, suelen dotar a los atomizadores de aparatos especiales que permiten enfriar el producto por debajo de la temperatura alcanzada al término del proceso de secado. Uno de los sistemas más usados, consiste en mantener una ligera depresión en la cámara de secado para que el aire ambiente, sea aspirado hacia dentro por la salida de los polvos.

3.2.3.2.4. BUSQUEDA DEL TIPO DE ATOMIZADOR.

Hemos visto, aunque brevemente, las ventajas que ofrece la instalación del atomizador en la línea de preparación de pastas cerámicas. Estas ventajas, han hecho que en los últimos años, muchas empresas hayan instalado atomizadores.

No hay que olvidar que en el fondo, el atomizador es bastante sencillo, basta pulverizar el material y tratarlo con aire caliente.

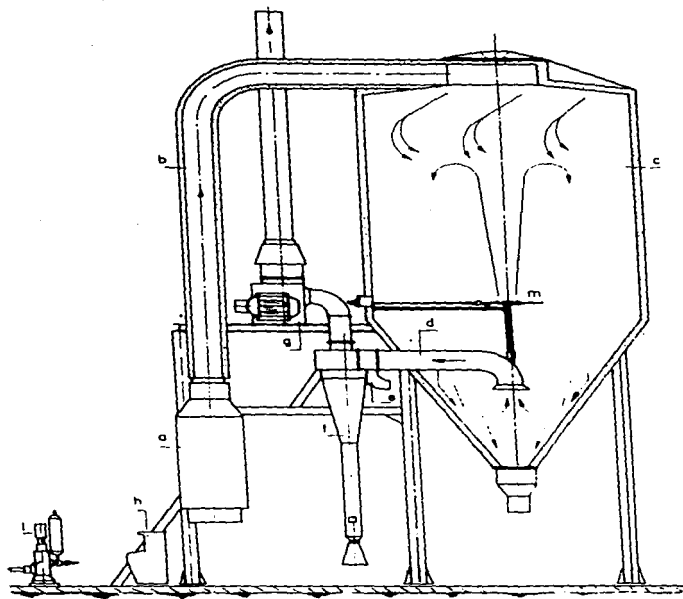
El objeto de pulverizar la barbotina, es para obtener una gran superficie externa de contacto con el aire caliente y conseguir así una rápida evaporación.

La atomización óptima debe satisfacer las siguientes exigencias:

1. dar un producto con humedad constante.
2. dar un producto con granulometría determinada y constante.
3. ser económico desde el punto de vista de la instalación.
4. ser económico de manutención.
5. emisiones a la atmósfera dentro de las normas ecológicas

Existen varios tipos de atomizador que se pueden clasificar respecto a la corriente térmica o bien a la configuración del sistema.

El más recomendado para la industria de la cerámica se muestra con sus accesorios a continuación



- a) Generador de aire caliente
- b) Conducto de entrada aire caliente
- c) Torre de secado
- d) Conducto de salida aire usado
- e) Válvula
- f) Ciclón separador de polvo
- g) Ventilador
- h) Centro de control y mando
- i) Bomba de barbotina
- j) Anillo porta boquillas.

Figura de atomizador VII-13.

3.2.3.2.5. CONSIDERACIONES PRACTICAS SOBRE EL ATOMIZADO.

Dispositivos de pulverización de la barbotina.

Los dispositivos más frecuentemente utilizados para pulverizar la barbotina son los siguientes:

- Toberas (boquillas) con pulverización a presión.
- Discos centrífugos
- Toberas (boquillas) con pulverización por aire comprimido.

En la producción cerámica, este último tipo de pulverización por aire comprimido, es raramente utilizado, mientras que el sistema de discos centrífugos encuentran su aplicación óptima en el tratamiento de pastas con alto peso específico real. Se utiliza en los casos en que sea necesario polvos muy finos.

El atomizador a disco, produce polvos con un intervalo granulométrico restringido y las partículas atomizadas tienen la tendencia a producirse muy uniformes y de diámetro relativamente pequeño, como consecuencia se obtienen polvos con un bajo peso específico aparente (máxima concentración de partículas entre 60 y 150 micras, del 60 al 70 %)

3.2.3.2.6. MANEJO DEL ATOMIZADOR DE BOQUILLAS.

Los polvos deben responder a características precisas para obtener un resultado satisfactorio en la fase siguiente de prensado.

Las características principales son humedad y granulometría.

1.- HUMEDAD.

Es importante que la humedad de los polvos sea óptima para el tipo de producto a prensar. De hecho, una humedad muy baja de los polvos provoca problemas en el prensado, como dificultad de extracción del aire contenido en los polvos (defecto de laminación y baja resistencia mecánica de la pieza) mientras

que una humedad muy alta, crea problemas de limpieza de moldes y dificultad en la etapa siguiente de secado.

El intervalo de valores de contenido de agua en los polvos (humedad) está comprendido entre el 4 y el 7 % para la generalidad de los polvos para prensado, pero para un determinado caso particular, el campo de trabajo es mucho más restringido; puede variar en 0.5 % sobre la humedad fijada como óptima.

Durante la marcha normal del atomizador, es fácil intervenir para llevar la humedad de los polvos hacia el valor deseado cuando, por cualquier motivo, esta se ha apartado del mismo. Se puede intervenir de dos modos:

- a) cuando la variación es muy grande, es preferible actuar sobre el mando del generador de calor, haciendo que la temperatura de la cámara suba o baje según que los polvos salgan húmedos o secos. Recordar que por motivos de seguridad y duración del atomizador, la temperatura máxima no debe superar los 650 °C., mientras que por motivos de producción y manejo es bueno que no descienda por debajo de 450 ° C.
- b) Cuando la variación de humedad es pequeña (0.5%) es posible intervenir sobre la presión de la bomba de la barbotina, aumentándola o disminuyéndola según que los polvos salgan secos o húmedos. Las variaciones de presión que se pueden efectuar son del orden de 2-3 atmósferas.

En los atomizadores en los cuales el generador de calor es alimentado por combustible gaseoso (metano o Gas LP) funcionan de forma satisfactoria los aparatos de regulación automática de la humedad.

Estos aparatos actúan sobre el generador en función de la temperatura del aire en la salida; así, una vez llevado al régimen el atomizador, las pequeñas variaciones de humedad en los polvos son compensadas por este aparato automático.

Existen otros aparatos de control que se basan en leer directamente la humedad de los polvos a la salida del atomizador. Mediante microprocesadores es posible actuar sobre el quemador automáticamente después de haber fijado el valor deseado de la humedad. Para la humedad de los polvos no tiene mucha importancia las características de la barbotina, cuanto se trata solamente de eliminar la cantidad justa de agua, suministrando más o menos energía térmica a la barbotina pulverizada.

Es igualmente posible obtener polvos con el 5 % de humedad partiendo de barbotina con el 30 % de agua que con el 50 % de agua.

2.- GRANULOMETRÍA.

Los parámetros de atomización que pueden tener una influencia determinante sobre la granulometría son múltiples.

- a) % de agua contenida en la barbotina
- b) viscosidad de la barbotina
- c) presión de la bomba de barbotina
- d) diámetro de orificio de la boquilla
- e) espesor y tipo de espiral de la boquilla
- f) tipo de atomizador

Aquí no consideramos la variación de la pasta como parámetro de variación granulométrica, ya que la diferencia en la materia influye más sobre la facilidad para atomizar, además de determinar las características de los puntos a) y b)

Veamos ahora punto por punto, la variación granulométrica que podemos tener según el parámetro que variemos.

Punto a)

La cantidad de agua contenida en la barbotina, nos determina la mayor o menor facilidad de pulverización de la misma en la salida de la boquilla.

En general, el aumento del porcentaje de agua favorece la pulverización de la barbotina, o sea, provoca la formación de gotitas muy pequeñas y por consiguiente el polvo atomizado se desplaza hacia las tracciones granulométricas más finas.

Punto b)

La viscosidad de la barbotina tiene una influencia similar a la del porcentaje de agua. Una viscosidad alta (sobre 2.2 - 2.3 ° E) determina granulometrías más gruesas. No obstante, en el caso de que se quiera una granulometría fina, no hay que trabajar con barbotina de viscosidad inferior a 1.5 °E

La nube de gotitas que se formaría con esta viscosidad tan baja, tendería a desplazarse de la zona óptima del atomizador anteriormente descrita, llevándose hacia las paredes o el cono, la corriente de aire descendente.

Es igualmente posible obtener polvos con el 5 % de humedad partiendo de barbotina con el 30 % de agua que con el 50 % de agua.

2.- GRANULOMETRIA.

Los parámetros de atomización que pueden tener una influencia determinante sobre la granulometría son múltiples.

- a) % de agua contenida en la barbotina
- b) viscosidad de la barbotina
- c) presión de la bomba de barbotina
- d) diámetro de orificio de la boquilla
- e) espesor y tipo de espiral de la boquilla
- f) tipo de atomizador

Aquí no consideramos la variación de la pasta como parámetro de variación granulométrica, ya que la diferencia en la materia influye más sobre la facilidad para atomizar, además de determinar las características de los puntos a) y b)

Veamos ahora punto por punto, la variación granulométrica que podemos tener según el parámetro que varíemos.

Punto a)

La cantidad de agua contenida en la barbotina, nos determina la mayor o menor facilidad de pulverización de la misma en la salida de la boquilla.

En general, el aumento del porcentaje de agua favorece la pulverización de la barbotina, o sea, provoca la formación de gotitas muy pequeñas y por consiguiente el polvo atomizado se desplaza hacia las tracciones granulométricas más finas.

Punto b)

La viscosidad de la barbotina tiene una influencia similar a la del porcentaje de agua. Una viscosidad alta (sobre 2.2 - 2.3 ° E) determina granulometrías más gruesas. No obstante, en el caso de que se quiera una granulometría fina, no hay que trabajar con barbotina de viscosidad inferior a 1.5 °E

La nube de gotitas que se formaría con esta viscosidad tan baja, tendería a desplazarse de la zona óptima del atomizador anteriormente descrita, llevándose hacia las paredes o el cono, la corriente de aire descendente.

Punto c)

La presión de la bomba, influye sobre la pulverización o sobre la trayectoria de la partícula al salir de las boquillas.

Punto d)

Es lógico que a igual presión de barbotina, las boquillas con el orificio de mayor diámetro, den polvos con granulometría más gruesa.

Punto e)

La espiral que asegura el movimiento rotatorio de la barbotina, influye sobre la trayectoria de las partículas, sobre sus dimensiones y sobre la altura de la nube pulverizada.

A igualdad de diámetro del orificio de la boquilla, un espesor mayor de la espiral tiende a levantar y mantener unida la nube de barbotina. Esto provoca la formación de gotas más grandes y por tanto granulometrías más gruesas.

Hay que recordar que el aumento de espesor de la espiral, determina un aumento de la cantidad de barbotina que sale por la boquilla. Este aumento es aproximadamente de un 15 a 20 % por cada 2 mm. de espesor más.

Punto F)

Se ha visto experimentalmente que, a igualdad de condiciones, atomizadores con la torre de secado más grande produce granulometrías más gruesas.

Esto es quizá debido a la mayor cantidad de barbotina nebulizada introducida que tiende a reagruparse formando gotitas más gruesas en el seno de la nube y por consiguiente bolitas de atomizado de diámetro mayor.

CONCLUYENDO:

Si queremos modificar la granulometría de los polvos del atomizador, es posible intervenir sobre cada uno de los parámetros vistos anteriormente, pero en general se prefiere actuar sobre varios a la vez para tener un mayor campo de regulación.

Se actuará, por ejemplo, sobre la viscosidad y la presión de la bomba, o bien sobre el diámetro del agujero de la boquilla y el espesor del espiral, etc.

En la siguiente tabla podemos ver varios análisis granulométricos obtenidos con diferentes condiciones de atomizado.

Mallas / cm2	micras	ATM 8	ATM 20	ATM 35	ATM 50
sobre 100	600	0.9%	3.5%	3.3%	8.0%
196	425	1.0%	3.5%	13.4%	9.5%
400	300	8.3%	39.0%	14.7%	53.0%
576	250	2.7%	9.5%	44.0%	7.0%
1050	180	34.3%	25.0%	12.3%	14.0%
2500	125	37.8%	12.0%	8.9%	6.0%
pasa 2500	-	14.6%	6.0%	3.5%	2.5%

3.2.3.2.7. CALCULO DE DIMENSIONAMIENTO Y DE PRODUCCION DEL ATOMIZADOR

Se presenta muy a menudo la necesidad de conocer los datos reales de productividad requeridos del atomizador, ya sea por dimensionar la máquina en función de la necesidad efectiva de la planta, o por verificar la producción durante el funcionamiento normal.

Examinemos dos métodos típicos mediante los cuáles es posible resolver todos los problemas de cálculo cuantitativo.

1.- Conociendo la producción horaria de polvo húmedo, establecer la cantidad de agua evaporada en el atomizador.

- a) Datos conocidos:
- | | |
|--------------------------|-------------|
| cantidad de polvo húmedo | 6800 Kg./h. |
| humedad final | 6 % |
| agua en la barbotina | 38 % |

b) Cálculo

- Determinación de la cantidad de polvo seco producido:

$$6800 \times 94 = \frac{6392 \text{ Kg.}}{100}$$

Donde 94 se obtiene de 100 % de agua contenida en los polvos atomizados. Resulta entonces que la cantidad de agua contenida en los polvos húmedos y por tanto no evaporada en el atomizador es:

$$6800 - 6392 = 408 \text{ litros agua / hora}$$

- Determinación de la cantidad de agua contenida en una barbotina con el 38 % de agua sabiendo que tenemos 6392 Kg. de polvo seco.

$$\begin{array}{r} 38 \quad \text{---->} \quad 62 \\ x \quad \quad \quad \text{---->} \quad 6392 \end{array}$$

de donde $x = 3917 \text{ litros agua / hora}$

donde $38 = \% \text{ agua en la barbotina}$
 $62 = \% \text{ sólido seco contenido en la barbotina}$

- Determinación de la cantidad de agua efectivamente evaporada en el atomizador.

$$3917 - 408 = 3509$$

nota: Este cálculo sirve también para establecer la capacidad evaporadora que deben tener el atomizador para acoplarlo a una planta de determinada capacidad.

2.- Conociendo la capacidad evaporadora del atomizador, establecer la cantidad de polvo atomizado húmedo producido.

a) Datos conocidos:

capacidad evaporadora del atomizador	3500 l/h.
humedad final del atomizado	6 %
agua en la barbotina	38 %

b) Cálculo

- Determinación del % aparente de sólidos y de agua que componen la barbotina.

$$62 \quad \text{---->} \quad 0.94 = 65.957 \% \text{ (sólido seco)}$$

donde

$$0.94 = 1 - 0.06 \text{ (6 \% de agua)}$$
$$100 - 65.957 = 34.043 \% \text{ (agua)}$$

- Determinación de la producción horaria de polvo atomizado al 6 % de humedad.

$$\begin{array}{l} 34.043 \quad \text{---->} \quad 65.957 \\ 3500 \quad \text{---->} \quad x \end{array}$$

de donde

$$x = 6798 \text{ kg. } h$$

donde:

34.043 =	% de agua a evaporar
65.957 =	% aparente de sólido en la barbotina
3500 =	capacidad evaporadora del atomizador en l/h de agua.

3.3. FORMADO.

3.3.1. FORJADO.

3.3.1.1. Preparación de los moldes de yeso de Paris.

El yeso de Paris ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) producido por calcinación del mineral yeso a 160 °C, es suministrado en forma de polvo. Se mezcla con agua en la proporción de 75 - 85 partes de peso por cada 100 partes de yeso. Es importante añadir el yeso (por dispersión) al agua y no al contrario. Se permite un tiempo de empapado con mezclado a mano, para asegurar una buena dispersión del yeso en el agua, en tanto que en las máquinas de mezclado de yeso, ello es conseguido simplemente mediante un vigoroso trabajado.

En la mayoría de las alfarerías industriales, la preparación de cola de yeso es automatizada. El coeficiente de yeso / agua es guiado estrechamente; el tiempo de agitado es estrictamente controlado, y ello durante el muy corto plazo de tiempo que la colada de yeso necesite hasta que haya alcanzado la consistencia correcta para su vertido. Poco después de su vertido, fragua y se vuelve sólido y duro. Cuando el yeso ha fraguado, el agua no combinada se ha evaporado y deja poros. Cuando más alta sea la proporción de agua, mayor será la porosidad del molde, pero también será menor su resistencia y su vida útil.

La realización de un molde sigue una serie de positivos y negativos. El modelo original, pongamos el de una jarra, es realizado torneando un bloque sólido de yeso de Paris. De este se realiza un molde negativo, el cual se fragmenta en dos o más partes y como tal se le conoce bajo el nombre de molde en bloque. Partiendo de éste, se pueden realizar otros moldes de yeso, de nuevo en dos o más partes, y estas formas positivas son conocidas como cajas. Un número prácticamente ilimitado de verdaderos moldes de trabajo pueden ser formados partiendo de estas cajas. Los moldes de trabajo son, naturalmente negativos, con el fin de producir el artículo positivo de alfarería. El yeso de los moldes de bloque y cajas, ha sido reemplazado por moldes de resinas sintéticas tales como fenol formaldehído y resinas epóxicas.

La principal ventaja del yeso como material para moldes es su bajo precio. No obstante, los moldes de trabajo en yeso se desgastan rápidamente, y para artículos de alta calidad, el máximo número de utilizaciones es aproximadamente de 100. Por otra parte, han de ser secados entre usos (dado que el agua del cuerpo es absorbida por el yeso), y debido a ello requieren un gran espacio de almacenamiento.

Se han realizado esfuerzos para reemplazar el yeso por metales porosos sintetizados como el cobre, vidrio y cerámica porosa para alargar la vida de los moldes. Los moldes de resinas plásticas mezclados con chamota triturada, han demostrado ser una eficiente combinación de eficiencia y durabilidad.

3.3.1.2. Jiggering.

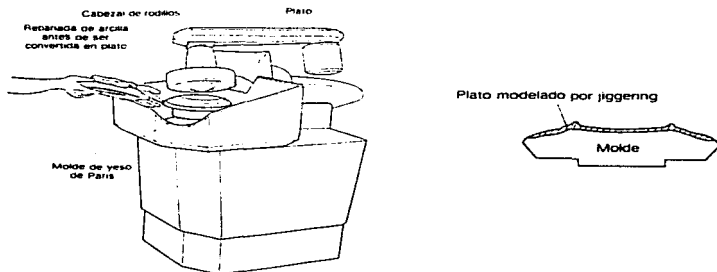
La tecnología de la alfarería está llena de expresiones pintorescas, jiggering es el nombre amigable que se le da a los métodos generales de manufactura utilizados industrialmente.

Con un proceso de forjado es como se le da la forma a una pieza de cerámica. En este proceso, se le forma con la ayuda de un molde de yeso, con la forma de uno de los lados de la pieza, y con un rol o cabeza de acero que desciende sobre el molde de yeso con una cantidad de pasta previamente acomodada, y le da la forma adecuada para cada pieza. La pasta sobrante, sale en forma de rebaba o rasura y puede ser reciclada fácilmente. Los moldes de yeso son removibles de la máquina forjadora para colocarse en los secadores.

En el caso de los platos extendidos, el plato es forjado por la parte posterior, por lo que el molde de yeso es de la parte que superior y el rol es de la parte inferior. En el caso de las tazas y tazones, el molde de yeso da la forma externa de la pieza, y el rol es más delgado y penetra dentro del molde, forjando la parte interna de la pieza.

La alimentación de la pasta, es a través de bandas accionadas por sensores y un cortador de alambre que hace caer una "rebanada" de pasta

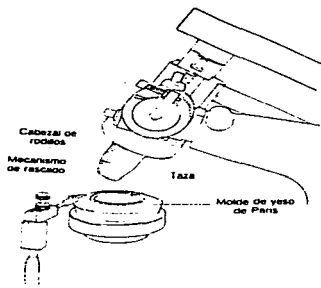
amasada sobre cada molde de yeso, los cuales se van colocando ya sea manualmente o sobre un revolver con huecos para varios moldes en la estación de trabajo o forja. Este va girando y posicionando el molde, bajo la alimentación, y luego bajo la estación de forja mientras que el instrumento estacionario (templete) moldea la otra cara. , para posteriormente, retirarlo del revolver y colocar un molde vacío.



Fabricación de platos mediante máquinas de rodillos.

Existen máquinas que utilizan una matriz calentada y rotatoria en vez del cabezal fijo. Tanto la matriz como el molde giran en este tipo de máquinas conocidas como de rodillos. El buen funcionamiento de esta máquina depende de una multitud de factores, como por ejemplo, la correcta velocidad de giro del molde, eje y cabezal giratorio, movimiento inclinado y paradas momentáneas del troquel, grado de vacío aplicado al molde, forma y permeabilidad del molde, intensidad de pulverización de agua, condiciones de la pasta tales como plasticidad, contenido de agua, etc.

La pasta debe de tener la plasticidad y la humedad suficiente para fluir sin fisurarse y la porosidad en húmedo suficiente para permitir una fácil eliminación de la humedad. Una vez forjado y secado el plato, se pulen los bordes con una esponja húmeda para dejar un acabado uniforme.



Fabricación de tazas por máquina de rodillos.

Estas máquinas pueden ser muy sencillas, donde un operador tiene que cortar las rodajas de pasta, poner los moldes de yeso en la máquina, accionar la máquina y pasar el molde con la pieza al secador, o bien, totalmente automatizadas

3.3.1.3. SECADOR EN VERDE, SECADOR EN BLANCO

La cantidad de agua que contiene la pasta después del forjado, es tal, que todavía es muy plástica. Si intentásemos separar la pasta con la forma del plato, del molde de yeso, se deformaría tanto, que sería imposible darle la forma correcta otra vez, por eso hay que quitarle más agua para poder separar la pieza de pasta del molde. Para esto se utiliza un secador que se encuentra justo junto a la máquina forjadora.

La razón principal por lo que los moldes son de yeso es porque el yeso es un material higroscópico, es decir que absorbe agua. de esta manera, la humedad que esta del lado del molde, es absorbida por este y la humedad que se encuentra del otro lado, es removida por la acción de calor y circulación de aire que ejerce el secador.

Quando se extrae agua de una pieza, esta tiende a reducir su tamaño. Si la fuerza de cohesión de la pieza no es suficiente, o bien, no se seca homogéneamente, tenderá a agrietarse como lo hacen los lechos secos de un río.

Al primer secador se le llama secador en verde, pues la pieza sigue teniendo un porcentaje de humedad y el color de la pieza es oscuro. La principal función es la de acelerar el ciclo de secado para poder desmoldar las piezas y reutilizar el molde para forjar otra pieza.

Secador en Blanco.

Una vez que se desmoldan las piezas, tienen la suficiente resistencia para apilarse en columnas de 6 a 10 piezas en el caso de los platos. Conforme van saliendo del primer secador, se acomodan en un carro del secador en blanco. El funcionamiento de este secador, es por lotes, se carga el secador, se le programa un ciclo de acuerdo con el número de piezas y la humedad que tengan. También funciona por volumen de aire, pues aunque tiene quemadores para elevar la temperatura del aire, el efecto que más pesa es el del arrastre de humedad por el aire. La función de este secador es la de eliminar cualquier porcentaje de humedad en la pasta para evitar que en el horno se deforme o inclusive explote por el sobrecalentamiento de el vapor de agua.

Si las piezas entran al horno con humedad, esta se evaporara cerca de los 400 a 600 grados ya que es humedad de composición, o sea que no es agua libre en la pieza y vuelve la atmósfera interna del horno altamente corrosiva ya que se forman compuestos de azufre. (H_2SO_4)

3.3.1.4 ACABADOS.

Según se requiera, se le puede dar un retoque al acabado con una esponja húmeda, principalmente se utiliza en los bordes donde se corta la rasura en el momento de forjar la pieza.

En esta estación, no importa que se le pase una esponja húmeda a la pieza, pues solamente penetra en la parte más externa de la pieza, y se evapora con facilidad durante la etapa de calentamiento del horno.

3.3.2. VACIADO DE BARBOTINA.

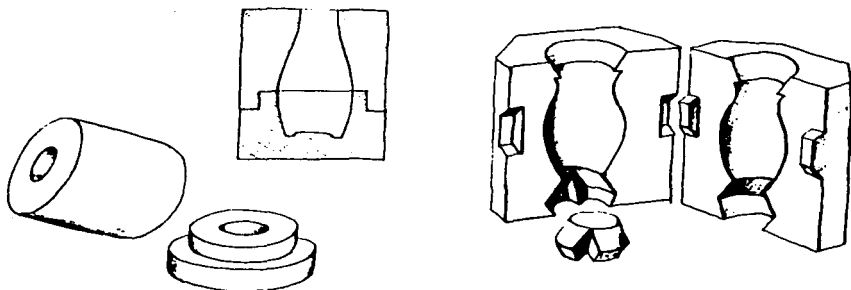
Este es otro proceso para formar piezas de cerámica. Comúnmente se le conoce como vaciado o fabricación de piezas huecas. Se utiliza la pasta líquida, que también se conoce como barbotina y está acondicionada con aditivos defloculantes.

Se utilizan moldes de yeso con la forma final que deberá de tener la pieza. Existen moldes sencillos de dos o tres piezas hasta moldes más complejos de 6 piezas o más.

Una vez preparado el molde, se vacía barbotina hasta el máximo nivel. Con la presión que ejerce la pasta, y la característica higroscópica del yeso, se va formando una pared de pasta sobre toda la superficie del molde. Dependiendo de el espesor requerido y las características de absorción del yeso, se fija un tiempo para eliminar la pasta sobrante volteando el molde. Este tiempo varía desde 5 a unos 120 minutos. Posteriormente se deja secar a temperatura ambiente o bien en un secador, para evitar la deformación de la pieza. Una vez que ya es maniobrable, se desarma el molde y se sacan las piezas. Se puede acelerar el tiempo de secado tanto de la pieza como del molde dentro de secadores, sin embargo hay que controlar la temperatura y flujo de aire para evitar grietas en la pieza.

Cuando todavía no está totalmente seca, se puede quitar con una navaja o un instrumento especial, las marcas que se forman por las uniones del molde y se redondean los bordes. Esta operación también se puede hacer cuando la pieza esta seca, pero se necesita de más tiempo.

Una vez terminada la pieza, esta lista para la primera quema. Físicamente sigue siendo una mezcla de tierras con una forma geométrica definida. Debido a la complejidad de estas piezas, el baño de barniz es generalmente a mano.



Molde de yeso para pieza hueca.

3.3.2.1. VACIADO DE PIEZAS SANITARIAS.

Las piezas sanitarias son generalmente formas caprichosas de gran tamaño. Tazas, tanques, lavabos y mingitorios son los productos más comunes a fabricarse. Debido a su forma irregular, el método más versátil es el de vaciado de barbotina en el cuál se utilizan en algunos diseños dos o más piezas en crudo para formar una sola pieza terminada.

El molde de yeso es fabricado a partir de una matriz de fibra de vidrio. Debe de cuidarse bien las superficies internas para que el acabado de la pieza sea óptimo. Durante el fraguado de los moldes, se recomienda aplicar una vibración ligera para eliminar cualquier burbuja en el yeso y asegurar la mayor vida posible para el molde.

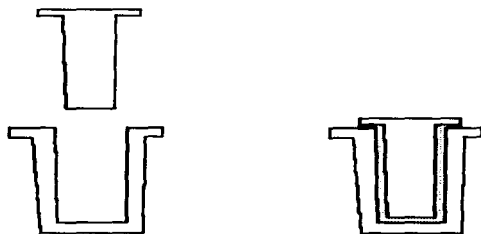
El diseño del molde debe de ser tal que pueda ser cerrado con seguros ya que la presión interna que genera la pasta daría origen a fugas de el líquido que tiene una densidad de 1.8 g/cm^3

Los moldes pueden ser pequeños como los de las tapas de los tanques, las cuales además se conectan para aprovechar la propiedad de los vasos comunicantes, por lo que se añade pasta en un molde y se llenan varios, o bien pueden ser grandes como los de las tazas que pueden llegar a pesar entre 25 y 40 Kg.

3.3.2.2. Método tradicional.

Los bancos de vaciado son el lugar donde se lleva a cabo el proceso de formación de las piezas. Son largas estructuras generalmente dispuestas por pares donde se arman los moldes de yeso y se preparan para ser llenados. Por lo general dos personas están a cargo de dos pares de bancos de vaciado. Existen diseños de moldes de pared constante, donde se vierte pasta y todos los huecos que se llenan son parte de la pieza terminada y moldes de pared variable, donde se llena un volumen mayor de pasta, y hay que calcular el tiempo en el que se forma la pared del grueso necesario y después se vacía la pasta sobrante.

Una vez preparados los moldes, se llenan uno por uno con la ayuda de un cono de alimentación que hace las veces de rebosadero y se empieza a contar el tiempo. El tiempo de vaciado puede variar dependiendo de las condiciones del molde y de la temperatura y humedad del ambiente que afectan las cualidades higroscópicas del yeso. Cuando el molde está nuevo, es tan fuerte la absorción de agua que es difícil que las primera piezas salgan bien, después se normaliza y dependiendo de la calidad del yeso después de unas 40 a 50 vaciadas, los poros de yeso se empiezan a tapar con las sales disueltas en el agua y el tiempo de solidificación se vuelve cada vez más lento por lo que hay que cambiar el molde.



Molde de yeso de pieza sanitaria.

Una vez que las paredes se han solidificado, se vacía el excedente de pasta en los moldes de pared variable y se abre el molde sin sacar la pieza para acelerar el secado. Las condiciones ambientales son muy adversas para los obreros, pues se necesita que haya humedad y calor, ya que si solo se transmite el calor, la parte exterior de la pared comienza a secarse y las partes interiores no por lo que la pieza se deformaría o se quebraría. En esta etapa se puede dejar la pieza hasta dos horas o el tiempo necesario para que la pieza sea manejable, y sacada del molde para colocarse en plataformas con la forma de la pieza al lado del banco de vaciado. Después de dejarse airear los moldes, se limpian por dentro, se acondicionan con talco para la siguiente vaciada y se vuelven a cerrar para repetir el ciclo de vaciado.

En un turno se pueden vaciar de 2 a 3 veces en cada molde, dependiendo del programa de producción y se recomienda solo trabajar un turno para permitirle al molde de yeso un secado adecuado.

La pieza una vez que esta manejable, que en algunos casos es hasta el día siguiente del que se vació, se limpia y se pulen las uniones del molde y las esquinas con una esponja para después trasladarse al secador, y garantizar que la humedad en todo el espesor de las paredes es menor al 1%.

Debido al fuerte esfuerzo físico que deben de hacer los trabajadores cuando el proceso es manual, la tendencia es utilizar bancos de vaciado automáticos o semiautomáticos donde se cuenta con ayudas mecánicas para abrir los moldes o para sacar las piezas vaciadas o para ambos. En estos casos

el proceso es el mismo y lo que hay que evaluar es el costo del obrero considerando los problemas por cansancio o la maquinaria de ayuda mecánica.

3.3.2.3. VACIADO A MEDIA PRESION.

El concepto de vaciado a presión consiste en forzar el paso del agua contenida en la barbotina a través de las paredes del molde para reducir el ciclo de vaciado. Esto se puede hacer con moldes de yeso, pero no se obtiene ningún beneficio ya que el secado del molde de yeso no se puede forzar mucho ya que a más de 65 °C se calcina y pierde sus propiedades.

Ahora se utilizan moldes de resinas plásticas con tuberías internas a través de las cuales se puede inyectar o succionar agua o aire los cuales de acomodan en prensas hidráulicas para el cierre de los moldes dispuestos en batería.

El ciclo de vaciado es el siguiente:

Los moldes secos, se cierran y acomodan en la prensa de cerrado la cual ejerce una presión de hasta 65 toneladas. Una vez listo se comienza a bombear a una presión de entre 6 y 10 bars la barbotina a una temperatura de 30 a 45 ° C para aumentar su fluidez. de inmediato se nota que los moldes empiezan a escurrir agua. El tiempo del ciclo de bombeo puede ser, dependiendo del espesor de la pieza y de la presión de 10 a 30 minutos.

Los moldes, generalmente de dos piezas ya están listos para abrirse. Por estar en una posición vertical, para abrirlos, se inyecta aire a presión en un lado del molde y en la otra pieza se hace vacío para que la pieza se separe de un lado y quede pegada al otro; de esta manera se abren los moldes. Una vez que el operario esta junto al molde, se inyecta aire a presión en la parte del molde donde esta la pieza por lo que esta se despega y se coloca en una base con la forma de la pieza.



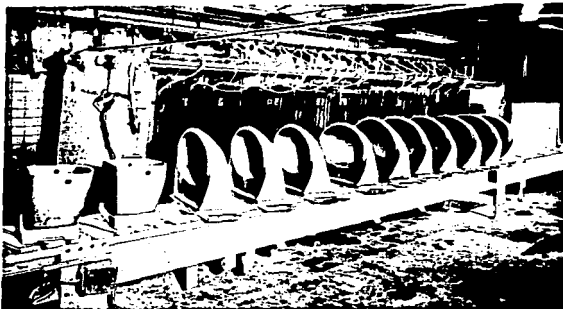
Detalle de prensa de vaciado a media presión.

Quando se inyecta aire en los moldes de resina, se ve como escurre el agua que absorbieron los poros para posteriormente quedar totalmente seco y listo para reutilizarse de inmediato. Los moldes (filtros) en resina porosa tienen características como: una larga duración, ausencia de desgaste y óptimo acabado superficial.

Se requiere de una fuente de presión hidráulica para el accionamiento del pistón de sujeción de los moldes, y un tablero electroneumático de los grupos de control de los fluidos (barbotina, aire comprimido de fraguado, aire comprimido de desmolde, vacío, vacío auxiliar y agua).

Existen algunas restricciones de diseño de la pieza pues se requiere de un ángulo de salida de la pieza del molde. Los moldes de dos piezas se pueden utilizar para prácticamente cualquier pieza menos tazas, ya que las dimensiones comerciales de los moldes para estas máquinas alcanzan hasta 1250 x 1400 mm.

La producción de tazas con esta tecnología requiere de un sistema de cerrado de moldes mucho más complejo ya que por lo menos se requieren moldes de 4 o 5 piezas.



Prensa de vaciado a alta presión.

La pieza formada, requiere de acabado y secado tal como en el método tradicional.

3.3.2.4. Secado.

En la cerámica, el secado puede ser definido como la eliminación de agua de un material granular (pasta húmeda) por evaporación. Ello supone la transferencia de calor del medio circundante al sistema de sólido-agua, así como la transferencia simultánea de vapor de agua en la dirección inversa.

La evaporación inicial tiene lugar tan solo en la superficie de la pieza, siendo el agua evaporada parcialmente reemplazada por agua que emigra del interior a la superficie. Al progresar el secado, el agua no puede ya trasladarse a la superficie y es forzada a evaporarse a través del sistema de poros de la pieza, difundiéndose el vapor resultante hacia la superficie antes de ser suprimido.

En cuerpos cerámicos, el agua reacciona física o electroquímicamente con la superficie de las partículas de arcilla. Al ser mezcladas con el agua, las partículas de arcilla se rodean de una película de agua estable de apreciable grosor. La superficie del cristal de mineral de arcilla está cargado negativamente, y atrae a alguno de los iones de agua cargados positivamente. El agua, cuyas

moléculas rodean a una partícula de arcilla, es fuertemente atraída a la superficie, y es denominada agua "ligada". El agua evaporada de la superficie de la pieza plástica es reemplazada por agua "no ligada" que emigra del interior. Consecuentemente, las partículas se acercan y por ello la pieza se contrae. Cuando las partículas de arcilla, cada una aún rodeada por su película de agua ligada, entran en contacto la una con la otra, el movimiento del agua hacia la superficie es imposible, y la contracción se detiene virtualmente. Un posterior secado provoca que el agua, mantenida en la red de poros formada por las partículas, se evapore; esta agua es reemplazada por aire que ha empezado a penetrar en la pieza por la superficie de secado.

Otro método de eliminar el agua, junto a la evaporación, es la deshumidificación: el vapor de agua es suprimido del aire en una cámara de secado, por condensado de éste sobre la superficie fría de una bomba térmica, el aire, mucho más seco, pasa entonces a través de la sección del condensador y gana algo del calor latente de vaporización, aportado por el refrigerante en condensación. El aire caliente así obtenido es entonces utilizado para secar los objetos antes de retornar de nuevo a la sección de evaporación de la bomba térmica.

3.3.3. PRENSADO.

Existe otro método para dar forma a las piezas, este método solamente se puede utilizar para las piezas extendidas como los platos, platosones y azulejos. Toda esta tecnología fue desarrollada para evitar los procesos de secado en verde y secado en blanco, ya que las mermas que se generan en estos procesos son elevadas por el manejo y forma de secado, así como la maquinaria como los secadores y sistemas de manejo de piezas necesarios son muy voluminosos y complejos.

El proceso de prensado isostático consiste en dar forma a las piezas a partir de pasta granulada prácticamente seca en moldes de acero con membranas de uretano los cuales se utilizan en prensas isostáticas. El resultado es obtener piezas secas con una uniformidad dimensional muy uniforme y sin problemas de contracción y roturas durante el secado.

Antes de tratar en particular el prensado de las piezas de vajilla plana, puede ser útil hacer una breve premisa sobre el concepto de prensado, y dar una rápida mirada a los sistemas de formación más difundidos.

3.3.3.1. Concepto de prensado

En el prensado se suceden contemporáneamente tres operaciones:

- Formación de la pasta; en el sentido de dar a la materia prima, inicialmente sin forma propia, una geometría bien definida y preestabilidad.
- Compactación de la pasta; en el sentido de dar consistencia a la materia para resistir en crudo y en cocción todas las exigencias mecánicas, químico-físicas a que el material está expuesto.
- Compactación; en el sentido de limitar los vacíos existentes entre las partículas de pasta (mezcla). La eliminación total de dichos vacíos es prácticamente imposible de alcanzar y llevaría a la pasta a su peso específico real.

3.3.3.2. Ventajas del Prensado

Respecto a los otros sistemas de formación como forjado en húmedo, el vaciado, el prensado en húmedo, etc., el prensado en seco presenta las siguientes ventajas.

- Alta resistencia mecánica en crudo: debida a presiones específicas de 250-500 Kg./cm² sobre el material.
- Alta productividad: con el prensado se alcanzan grandes producciones horarias con empleo mínimo de mano de obra, además por la facilidad de automatizar las fases de acabado y transporte de las piezas.
- Facilidad de secado: Es muy evidente, sobre todo en el caso de prensado en seco y semi-seco al eliminarse prácticamente el proceso de secado.
- Facilidad de obtener en el producto acabado, dimensiones y formas exactas.
- Mínimas deformaciones en las operaciones sucesivas al prensado, como el secado, esmaltado y cocción.
- Reducción de contracción: a causa de la reducción de los vacíos con la aproximación de las partículas de la pasta (mezcla), se limitan las contracciones que pueden ocurrir en el secado y en la cocción.

Debido a que en otros procesos de fabricación de piezas cerámicas como los azulejos, revestimiento y pavimento se utilizan, se describirán algunos

conceptos aplicables solamente a estos productos así como los que se utilizan para la fabricación de cerámica.

Sistemas de prensado en función del contenido de agua en la pasta (mezcla)

El polvo seco para el prensado, viene uniformemente humidificado, para conferir plasticidad y facilitar la cohesión de las varias partículas de dicha composición. Según los porcentajes de agua en la pasta (mezcla), la formación será:

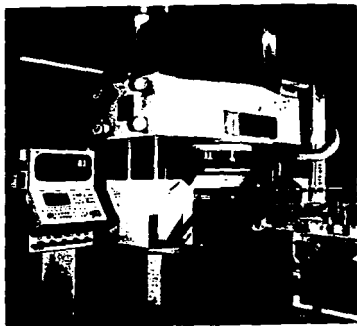
- Prensado plástico: La mezcla tiene un porcentaje de agua del 20-25 %. Se utilizan moldes de yeso cementado sobre matrices de escayola.
- Prensado semi-plástico: La mezcla tiene un porcentaje de agua del 15-20 %. Se utilizan moldes metálicos con superficies muy pulidas.
- Prensado semi seco: Los polvos tienen una humedad del 10-15 %.
- Prensado en seco: El polvo representa una humedad del 0-10 %. La composición viene utilizada bajo forma de polvo incoherente de diversa forma, con partículas más o menos finas, teniendo más o menos buen deslizamiento según el tipo de preparación.

3.3.3.3. Tipos de prensas

Hechas las necesarias premisas, procedemos ahora a hablar del prensado en seco. Dependiendo del producto a fabricarse, se puede escoger el tipo de prensa. Pueden haber tres tipos de prensas según el principio que utilicen en la formación del producto:

- Prensas mecánicas
- Prensas hidráulicas
- Prensas isostáticas.

Las prensas mecánicas propiamente dichas, trabajan sobre el polvo de manera veloz y violenta, mediante la acción dinámica, o sea mediante un golpe instantáneo. En el caso de la prensa hidráulica, la acción del prensado viene efectuado mediante transformación de energía hidráulica en fuerza de deformación. Debido a las limitantes geométricas en los moldes de estos dos tipos de prensas, son principalmente utilizadas para azulejos.



Prensa para la fabricación de azulejos.

3.3.3.3.1. Prensas Isostáticas.

En las prensas isostáticas, el material no es comprimido entre órganos mecánicos rígidos, sino directamente de una presión hidráulica, que actúa sobre la pasta a través de una pieza elástica (inserto de goma). El material está expuesto en cada punto de la superficie a la misma presión.

Se tiene una fase de carga de polvo dentro de un molde elástico, a través de una apertura que está sucesivamente tapada con un elemento elástico.

El molde está inmerso en un líquido contenido dentro de un depósito, el cual se pone en presión. En la fase de formación, sobre el exterior del molde se ejercita una presión hidráulica, la cual a través de las paredes del molde mismo se transmite a su vez al polvo que contiene. Se tiene una contracción del molde y del polvo que contiene para obtener una determinada forma geométrica. Posteriormente a la formación del producto, el depósito que aloja el molde, se despresuriza, el molde se abre y sale fuera el producto acabado.

Es por lo tanto el tipo de prensado más perfecto que se puede ejercitar sobre una pasta. Las presiones que se pueden alcanzar son elevadísimas, hasta 1300 Kg./cm²., mientras que en las prensas mecánicas e hidráulicas se alcanzan

presiones máximas de 500 Kg./cm². Este tipo de máquina también se usa en la manufactura de porcelana en la industria eléctrica y química (aislantes eléctricos) y en general para productos de forma tubular o redonda (esferas para molinos de bolas)

3.3.3.3.2. Prensa isostática para vajilla plana.

El prensado seco o semi-seco es el más avanzado de todos los métodos de moldeado de alfarería. La idea de producir platos de uso doméstico por prensado en seco no es nueva. Se realizaron ensayos en este sentido en la década de los veintes; técnicos austríacos investigaron el problema en 1957. La fabricación de platos a escala industrial se realiza por primera vez a mediados de los años setentas.

Las baldosas y azulejos han sido prensadas en seco durante muchos años con matrices de metal llenadas con gránulos secados por pulverización y parecía razonable asumir que por el mismo proceso podrían ser moldeados los platos. Utilizando un molde simple como con las baldosas, la presión aplicada durante la operación de prensado es la misma en toda su superficie; consecuentemente, se consigue una densidad uniforme. No obstante, con artículos curvos, tales como platos, las matrices ordinarias son incapaces de producir una compresión uniforme. Así pues, existen distintas densidades en diferentes puntos del plato. Ello a su vez, conduce a distorsiones durante la cocción.

En el modelado plástico existe un desplazamiento de partículas una sobre la otra. Esta propiedad de "fluir plástico" es responsable de una marcada densidad uniforme en la pieza moldeada. Las partículas secas no se deslizan, o como mínimo son incapaces de hacerlo lo suficiente como para equilibrar diferencias de densidad, aun con la ayuda de lubricantes. Para garantizar una buena adhesión de las partículas granuladas, se adiciona la barbotina con alcohol polivinílico lo cual le da una mejor cohesión al granulado.

Se constato que debía aplicarse una presión equivalente sobre toda la pieza si debía eliminarse los efectos perjudiciales de una compactación desigual. Ello se consigue mediante el prensado seco isostático. El principio básico del prensado isostático (significando presión uniforme) es sencillo: una presión hidráulica uniforme, aplicada a través de un medio líquido a un instrumento flexible (como una bolsa), conteniendo el polvo a ser prensado, motiva que este polvo en la herramienta sea compactado uniformemente.

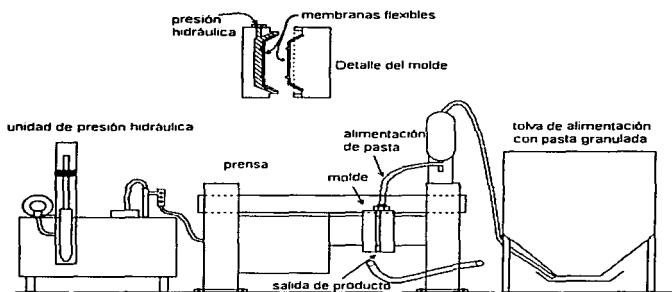
Las prensas disponibles en el mercado actualmente, tienen la cara del plato formada por una matriz superior rígida, el envés por una membrana elástica. La técnica real es similar al prensado con ambas partes ejerciendo presión hidráulica ya que se obtienen los mismos resultados y los moldes son menos complejos.

La mayoría de las prensas, forman los platos en posición vertical. Ello tiene la ventaja de que se puede alimentar el material por la parte superior y al abrirse el molde, la pieza cae por gravedad y se vuelve a cerrar el molde para comenzar otro ciclo de prensado.

El ciclo de estas máquinas está compuesto de varias operaciones consumidoras de tiempo tales como el llenado de las matrices, cerrado de estas, fijado del cabezal prensor, prensado real, liberación del esfuerzo, además de varios pasos para la separación del artículo prensado. Por lo general, se le dan los acabados al plato en el momento en que es expulsado de la prensa.

El prensado isostático tiene las siguientes ventajas sobre la fabricación de rodillos:

1. Posibilita la fabricación de formas distintas a platos circulares y tazones.
2. No requiere de moldes de yeso, matrices y membranas flexibles, aunque los moldes son más caro inicialmente, duran más que los moldes de yeso, lo que reduce costos a largo plazo.
3. Ocupa menos espacio en la empresa y no se requiere almacén de moldes.
4. No se producen sobras, no hay desperdicio de pasta.
5. No se requiere el proceso de secado posterior al formado, ahorro de combustible.
6. No está sujeta a defectos procedentes del secado ya que no tiene lugar contracción antes de la cocción.
7. No da lugar a fallas como marcas centrales, presentes en platos realizados en máquinas de rodillos, debido a la orientación de las partículas, que se evidencia por la contracción en grosor de dichos objetos, siendo esta casi el doble que la contracción del diámetro, mientras que las contracciones de diámetro y grosor en piezas prensadas son idénticas.
8. Permite un mayor control en el tamaño y ofrece así al diseñador un mayor campo de acción en vistas a diseños más fielmente aplicados.
9. Conduce a una automatización conjunta mayor que la fabricación mediante rodillos.



Presna isostática para producción de vajilla plana.

3.4. BAÑO BARNIZ

El revestimiento cerámico está constituido por finísimas capas vidriosas que recubren la superficie de la pieza; su aplicación se obtiene esparciendo sobre el bizcocho, o bien sobre crudo y seco, la suspensión acuosa obtenida por molidura con agua de la frita y los componentes crudos que la acompañan. Es de mucha utilidad en esta fase preliminar, recurrir, para la definición de frita y esmalte, tomada del libro de Emiliani.

3.4.1. Barniz:

Son revestimientos transparentes típicos de la cerámica vidriada y las alfarerías. Un tipo particular de frita, denominada "cristalina" es aquella que en la fabricación de la cerámica mayólica viene aplicada como una ligera película encima de la decoración sobre esmalte y que le confiere un mayor brillo.

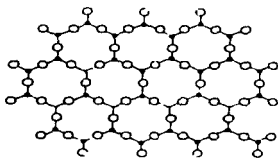
3.4.2. Esmalte

Tal término es atribuido a todo revestimiento vidrioso dotado de una densa opacidad. Característico de esto es el esmalte denominado mayólica, que viene aplicado, en un espesor más grueso, en el bizcocho de cerámica al fin de dar al producto terminado un aspecto blanco y brillante. La opacificación se obtiene introduciendo en la composición de frita un agente opacificante (Silicato de circonio, óxido de estaño, óxido de titanio.)

Todas las masas vidriosas resultan de la fusión de los siguientes tipos de componentes:

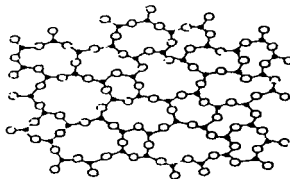
Vitrificantes	SiO ₂	B ₂ O ₃				
Fundentes	Na ₂ O	KO ₂	PbO	B ₂ O ₃	Li ₂ O	
Estabilizantes	CaO	BaO	MgO	PbO	Al ₂ O ₃	ZnO
Opacificantes	ZrO ₂	SnO ₂	TiO ₂			
Desvitrificantes	ZnO	CaO	BaO	MgO	TiO ₂	

La característica física fundamental de los vidrios es la isotropía, mientras es conocido que los cuerpos sólidos de estructura cristalina son anisótropos. Esto hizo suponer en un principio que los vidrios eran sustancias amorfas; pero en unos estudios recientes de Zachariasen y de Warren se ha podido establecer que la coordinación tetraédrica característica del silicio es mantenida también en el vidrio.



estructura cristalina




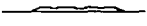
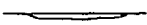


Cristalización de el barniz.



estructura vidriosa

FRITAS BASE

Con el término frita se quiere indicar, en la práctica industrial una mezcla vítrea fundida enfriada bruscamente en agua. La frita viene utilizada como base en los vidrios y en los esmaltes a baja temperatura por hacer insolubles los componentes. En el mercado se puede encontrar muchas variedades de fritas con características distintas de fusibilidad, de brillo, de opacificación y matización.

Fritas brillantes transparentes viscosas	
Fritas brillantes opacificadas viscosas	
Fritas brillantes transp. media fusibilidad	
Fundentes	
Fundentes reactivos	
Fritas mates de CaO	
Fritas mates de ZnO	

Características de fusibilidad de los principales tipos de fritas.

3.4.3. Maquinas de aplicación de esmalte.

3.4.3.1. Bañadoras por aspersión.

El aerógrafo es un elemento que consiste en la pulverización o nebulizaciones del esmalte sobre la pieza con el auxilio de aire comprimido.

Casi todos los aerógrafos utilizan para el funcionamiento dos tipos de aire; el primer tipo está constituido por el aire de pulverización o el aire primario inyectado manualmente respecto al agujero de salida del color, el segundo tipo es el aire de formación del abanico o aire secundario que sirve para variar el cono de pulverización.

Se pueden tener diferentes arreglos dependiendo de los productos que se necesiten barnizar.

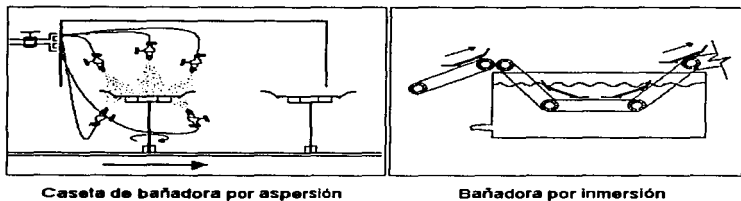
a) Sanitarios. Generalmente por ser piezas en monococción deben de ser bañadas por aspersión para ya que un exceso de humedad podría desbaratar la pieza en verde. Debido a la complejidad de la pieza es necesario bañar la parte del sifón, con barniz líquido, y en un siguiente proceso se baña con pistola a mano. Este método ha sido automatizado con arreglos de uno o dos robots, y un carrusel que transporta las piezas y permite que giren para alcanzar toda el área de la pieza.

b) Vajilla. Se utiliza una bañadora que cuenta con una caseta donde con el uso de varias cabezas aspersoras se genera una nube uniforme de barniz y mediante un sistema transportador se hacen pasar las piezas dentro de la caseta. Pueden estar acondicionados con mecanismos que hacen girar a cada una de las piezas mientras son alimentadas continuamente. Este proceso se utiliza principalmente con piezas en monococción o bien piezas de bicocción con poca porosidad. En algunos casos se aplica calor a las piezas para que el barniz tenga una mejor adherencia.

c) Pisos y azulejos. El proceso es muy similar al de las vajillas pero más sencillo ya que solo se requiere de barnizar la parte superior, lo cual reduce y simplifica el arreglo de cabezas en el sistema.

3.4.3.2. Bañadoras por inmersión.

Este método se utiliza tanto con la ayuda de máquinas con altas capacidades o de una forma manual para volúmenes pequeños o piezas muy complejas.



Tipo de bañadoras para vajiilla.

3.5. LA COCCION

La cocción es la fase central del proceso cerámico, caracterizada por un conjunto, bastante complejo, de transformaciones físicas y reacciones que es necesario conocer para poder gestionar y controlar este proceso.

Para adquirir el conocimiento del conjunto de transformaciones físico-químicas que se producen en el cuerpo cerámico expuesto a cocción, nos servimos de instrumentos de laboratorio que nos permiten seguir una serie de análisis que son la base de partida para definir los parámetros de la cocción de cada material cerámico.

3.5.1. FASES DE QUEMADO.

Es oportuno dar una indicación de aquellos fenómenos más importantes que se producen en un cuerpo cerámico durante la cocción, teniendo en cuenta que diversos productos, pueden tener características de comportamiento diferente, y a veces contradictorio. En general, se puede decir que en las diferentes fases de la cocción se producen los siguientes fenómenos:

- Próximo a los 100°C se produce la eliminación del agua higroscópica de la humedad residual, después de un mal secado, o absorbida en el barnizado o del ambiente.
- Próximo a los 200°C se produce la eliminación del agua ceolítica, cuyas moléculas están ligadas por absorción en la estructura cristalina.
- Entre los 350°C y 650°C se produce la combustión de la materia orgánica, que en diversa cantidad puede estar contenida en la arcilla, y, disociación de sulfatos y sulfuros con liberación de anhídridos sulfurados.
- Entre los 450°C y 650°C eliminación del agua de constitución y consiguiente destrucción del retículo cristalino.
- A 573°C transformación alotrópica del cuarzo alfa y beta determinando un brusco aumento de volumen.
- Entre 800°C y 950°C descarbonatación de la cal y de la dolomita con liberación del CO₂.
- A partir de 700°C formación de nuevas fases cristalinas constituidas de silicatos y silico-aluminatos complejos.

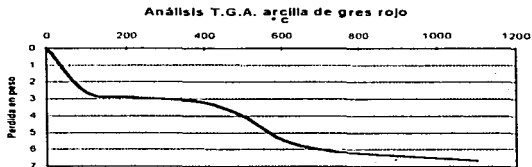
3.5.2. Análisis térmico y estudio del comportamiento del material en la cocción.

Las reacciones y transformaciones que suceden durante la cocción, están acompañadas por emisiones o absorciones de calor, variaciones en el peso y en las dimensiones del cuerpo cerámico; estas variaciones se ponen en evidencia mediante análisis que serán brevemente descritos, teniendo en cuenta que estos exámenes dan un cuadro del comportamiento de diferentes materiales a diversas temperaturas, elemento esencial para poder dimensionar y controlar los hornos que las deberán producir.

3.5.2.1. Análisis termoponderal.

Se realiza mediante una balanza especial de precisión que permite trazar un diagrama de la pérdida de peso que sufre una muestra mientras se calienta en un pequeño horno eléctrico con gradiente térmico prefijado, de esta manera para cada temperatura de la muestra se tiene la pérdida relativa en peso y se pueden deducir las reacciones que ocurren en la pieza.

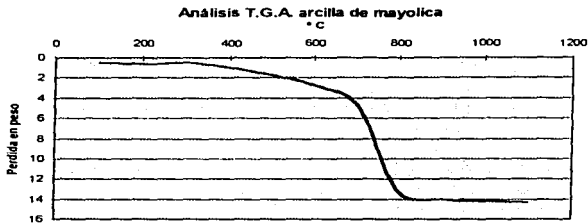
En la siguiente gráfica se puede observar una curva termoponderal relativa a una arcilla illítica (gres rojo). Se pueden apreciar dos rápidas variaciones, una entre los 100 y los 150 °C y otra entre los 500 y 600 °C relativa a la pérdida de agua higroscópica en la primera, y al agua de constitución en la segunda.



La pérdida de peso total corresponde a la pérdida al fuego que es un dato aportado en cada análisis químico de arcillas. En la siguiente figura, el análisis

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

termoponderal de una arcilla mayólica, se puede apreciar una brusca inclinación en torno a los 800 °C, debida a la descomposición de carbonatos y dolomitas con liberación de CO₂



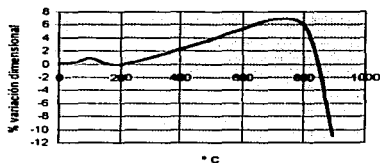
3.5.2.2. Análisis dilatométrico.

Sometiendo a calentamiento probetas de arcilla y controlando las variaciones dimensionales, se obtienen curvas dilatométricas que permiten prever, con una buena aproximación, cuales son los puntos críticos que hay que tener en cuenta en el planteamiento del diagrama de cocción.

La siguiente gráfica muestra una curva dilatométrica de una arcilla illítica. La pendiente de la curva queda bastante constante hasta 800°C, excepto por dos tramos correspondientes a 100°C-200°C y de los 500°C-600°C, influenciados por una cierta contracción, debida a la eliminación del agua, que sobreponiéndose a la dilatación térmica la compensa. de los 850°C a los 950°C, se observa un trazo casi vertical, debido a una compensación casi total entre la contracción y la dilatación térmica. Esta contracción es debida a la formación de una fase vítrea que llena el poro del cuerpo cerámico, compactándolo, variando según los materiales: para un producto gresificado la contracción varía del 5 al 7%. Teniendo en consideración al

material gresificado es necesario introducir un nuevo elemento, el intervalo de gresificación, que es el intervalo de temperatura entre el inicio de la vitrificación y el inicio de la fusión y por consiguiente de la deformación.

Análisis dilatométrico arcilla de gres rojo



La temperatura óptima de cocción deberá hallarse en el punto intermedio de dicho intervalo en el cual la curva dilatométrica tiene una inclinación mínima, lo que significa que por una diferencia de algún grado, las dimensiones de la pieza no cambian. En la práctica un material con buen intervalo de gresificación permite producir artículos sin calibres aún también en presencia de pequeñas variaciones de temperatura del horno de cocción. En estrecha conexión con la contracción está la porosidad del cuerpo cerámico, que, disminuye al aumentar la contracción. La porosidad es medida en base a la cantidad de agua absorbida por la pieza después de la cocción y varía según el diverso tipo de material: para la cerámica, varía del 10% al 18 %; para una cerámica vitrificada o stoneware, va del 0.5% al 3 %, para una porcelana o producto similar, es normalmente inferior a 0.1%.

El análisis dilatométrico, pone en evidencia la presencia en una pasta de sílice libre (cuarzo): la curva del cuarzo muestra en torno a los 573°C una brusca modificación de la forma cristalina del cuarzo, que pasa del cuarzo alfa a al cuarzo beta B. Este fenómeno corresponde a un típico punto crítico, en el diagrama de cocción, poniendo en peligro la integridad de la pieza, tanto en fase de calentamiento como de enfriamiento.

3.5.2.3. Análisis térmico diferencial.

Cada cuerpo cerámico durante la cocción, a consecuencia de las reacciones que tienen lugar en la masa (perdida de agua, combustión de la sustancia orgánica, transformación alotrópica del cuarzo, oxidación de sulfuros, descomposición de carbonatos, presenta fenómenos de absorción de calor (endotérmicos) o de cesión de calor (exotérmicos), que son observables a través

del análisis diferencial, con la utilización de un aparato constituido por un horno de gradiente muy preciso, en el cual se introducen un inerte y una probeta del material en examen y por medio de un termopar sensible, son registradas las diferencias de temperaturas entre uno y otro, que corresponde a la reacción endo o exotérmica de la probeta misma.

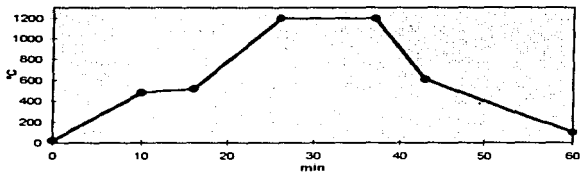
3.5.3. DIAGRAMA DE COCCION.

Para cada material a quemar, se determina una curva (Temperatura/tiempo) que, teniendo en cuenta los puntos críticos típicos del material, fija el ciclo y el gradiente térmico en cada fase de la cocción para asegurar un buen resultado. Analicemos por ejemplo, alguna curva de cocción relativa a diversos tipos artículos.

3.5.3.1. Monococción de porcelana, Ejemplo de quemado.

Como se puede ver en la siguiente gráfica, representando un diagrama de cocción, sobre el eje de las abscisas, están indicadas las distancias en metros o en minutos, desde la entrada a la salida del horno, mientras en el eje de las ordenadas está indicada la temperatura en grados centígrados. En algunos casos, en vez de indicar la distancia, se hace referencia a la duración expresada en minutos o en horas, de la cocción (ciclo de quemado). La curva muestra un inicio bastante rápido hasta 500°C, con un gradiente térmico de 50°C/min., para luego suavizarse en torno a los 500°C-600°C pasando a un gradiente de 10°C/min. para llegar a la combustión completa de una cierta cantidad de sustancias orgánicas y por tanto la evacuación de todo el gas que se ha formado en la pieza, antes de que el esmalte aplicado empieza a fundir, formando una barrera a los eventuales gases todavía presentes. Es evidente que si esta fase no es suficientemente larga, la superficie de esmalte puede ser dañada por la formación de pequeñas burbujas, debidas a la tardía expulsión del gas formado en la pieza.

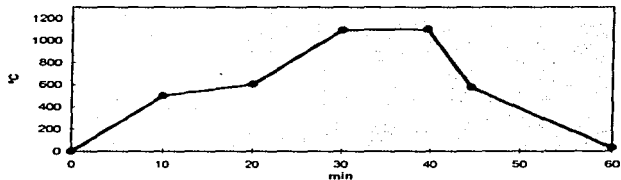
Curva de cocción para monococción blanca



Después de esta fase se puede notar una nueva subida, prácticamente con gradiente de $60^{\circ}\text{C}/\text{min}$, hasta llegar a un tramo prácticamente horizontal con gradiente = 0, correspondiente a la temperatura máxima de cocción, que es mantenida por un cierto tiempo a fin de conseguir la homogeneidad de temperatura en cada zona de la pieza. Sigue aquí, una fase de enfriamiento rápido, normalmente forzado, utilizando aire frío, dirigido directamente sobre el material, en cuanto que esta elevada la temperatura no hay riesgo de tensión, pero es muy delicado en torno a los 600°C y precisamente a los 573°C , temperatura de transformación del cuarzo. En este punto en efecto, el gradiente está atenuado para evitar la tensión que se crearía en la pieza si ahora el enfriamiento fuese demasiado rápido.

Después la curva muestra una inclinación casi constante hasta la salida del horno, donde la temperatura del material varía de 50°C a 100°C .

Curva de cocción para monococción roja



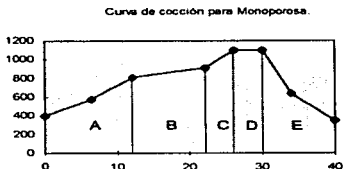
3.5.3.2. Monococción de cerámica porosa.

La necesidad de tener un producto, después de la cocción, con una contracción nula o muy limitada, y con resistencia mecánica, ha hecho necesaria la introducción de los alcalinos térreos (CaMg) aunque es sabido que estos crean problemas respecto al esmalte, debido al desprendimiento del CO_2 . Las condiciones ideales de cocción se tienen cuando es posible expulsar completamente el anhídrido carbónico a una temperatura que el esmalte está todavía permeable al gas o conserva todavía una viscosidad tal que no puede ser deformado por la presión. Se debe buscar el intervalo mínimo de temperatura en el que se de una expulsión suave y completa del anhídrido carbónico en un tiempo compatible con las exigencias productiva.

Es necesario además, tener presente, que no son posibles drásticas intervenciones sobre el esmalte dado que su composición está impuesta por la temperatura de inicio de fusión y de la baja viscosidad que debe alcanzar en la zona de máxima temperatura. Se ha puesto en evidencia con el análisis termogravimétrico de laboratorio de muestras de pastas, imponiendo un gradiente térmico de $100^\circ\text{C}/\text{min.}$, que la eliminación del anhídrido carbónico empieza cerca de 700°C y continua hasta 870°C con una velocidad máxima de desprendimiento más allá de 820°C . Además de este desarrollo del CO_2 del carbonato, es necesario tener presente otros gases que se han formado durante la cocción rápida de la pieza cerámica.

La diferencia de temperatura que se establece entre el exterior y el interior de la pieza durante el calentamiento no es fácilmente medible, pero con la velocidad de calentamiento impuesta y la escasa conducibilidad térmica de los materiales empleados es verdaderamente muy considerable y es tal que la reacción endotérmica de eliminación de agua del material arcilloso se inicia rápidamente antes del proceso de eliminación del CO_2 . Industrialmente, se ha visto, que los defectos derivado de la eliminación de estos gases (CO_2 y vapor de agua), desaparecen totalmente con la permanencia de cerca de 7-10 min. a temperatura de 800 a 900°C .

Todo lo anterior ha sugerido la construcción de un diagrama de cocción a zonas típicas para la porosa, que aplicado industrialmente, da óptimos resultados.



El diagrama resulta estar dividido en cinco zonas:

Zona A. Aumento muy rápido de la temperatura en la fase de precalentamiento. Se alcanzan los 800°C en 12 min. a la entrada en el horno de la pieza.

Zona B. Estacionamiento del material a temperatura comprendida entre los 800 y 900°C por un tiempo de 7 a 10 min. para hacer que la temperatura sea uniforme en cada punto de la pieza y se permita, por tanto la completa expulsión del gas anteriormente mencionado.

Zona C. Último rápido aumento de la temperatura hasta llegar a la máxima temperatura de cocción. Esta operación se realiza en cerca de 4 min.

Zona D. Permanencia de la misma temperatura por un tiempo de cerca de 4 min.

Zona E. Enfriamiento rápido y natural del material hasta alcanzar la salida del horno en aproximadamente 10 minutos. Es importante decir que el calentamiento del material en las zonas A, B y parte de la C, suele hacerse a través de los quemadores situados debajo del plano de los rodillos, de modo que crea una cierta diferencia de temperatura, entre la parte alta y baja del horno, de manera que mantiene frío y permeable el esmalte durante la fase de salida de los gases.

Sucesivamente en las zonas C y D, la temperatura viene uniformada a través de los quemadores superiores. El sistema de cocción adoptado requiere regulación muy sofisticada, pero realizable, en cuanto que los hornos pueden ser equipados con computadoras y microprocesadores que permiten el control y la regulación del horno en las varias zonas, realizando constantemente la curva prefijada.

3.5.3.3. EXPLICACION SOBRE EL DIAGRAMA DE COCCION.

El diagrama de cocción teórico, basado en la experiencia sobre diferente comportamiento de materiales cerámicos, nunca se comporta como la realidad.

La curva de cocción real, se traza tomando la temperatura de las distintas zonas del aparato registrador conectado a los termopares colocados a lo largo de la pared del horno o sobre la bóveda. Es evidente que el diagrama estará más detallado cuando más termopares sean instalados, teniendo en cuenta que la temperatura que estamos registrando es la de los gases producto de la combustión y no la del producto que estamos cociendo, es claro que estas temperaturas no coinciden nunca ya que existe un retraso en la temperatura del material respecto a la temperatura del horno mismo.

Esto necesitamos tenerlo en cuenta en la regulación del horno especialmente cuando el ciclo de cocción es extremadamente corto.

3.5.4. Tipos de hornos utilizados industrialmente.

3.5.4.1. HORNO TUNEL.

El primer horno de túnel o continuo fue construido en 1751. Los hornos de túnel industriales empezaron a ser usados en la década de los veinte para bajas temperaturas, como por ejemplo en la decoración (750 a 800 °C). Fue tan sólo desde la Segunda Guerra Mundial que fueron más ampliamente introducidos para la cocción de bizcocho y barnizado, sirviendo como fuente de energía la electricidad, pero aún más a menudo combustibles gaseosos o líquidos.

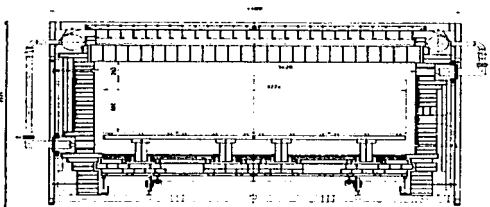
Los hornos túnel, al igual que los hornos de cocción intermitente, se construyen generalmente en el lugar de utilización cuando son de ladrillo refractario o bien existen hornos túnel empaquetables constituido por secciones denominadas módulos. Estas consisten en partes prefabricadas, construidas en la planta del constructor de hornos, siendo transportados a las fabricas de cerámica donde se ensamblan. Tales hornos prefabricados, que son del tipo moderno de peso ligero, son ideales para empresas sin trabajadores especializados en la construcción de hornos.

Los mayores alcances tecnológicos en hornos túnel se dan con los aislantes de baja masa térmica, generalmente construidos con ladrillos

refractarios ligeros y fibras cerámicas utilizadas en la industria aeroespacial que prácticamente no absorben calor y el control de quemadores automáticos por computadora que permite incluso el prendido y apagado del horno según la carga de trabajo disponible. Esto es impensable en un horno túnel tradicional ya que se requiere de mucho tiempo para prenderlo y apagarlo por las contracciones térmicas y el equilibrio en la inercia de la masa térmica

En estos hornos, las piezas son colocadas sobre carros que corren sobre rieles a lo largo del túnel. La mayoría de los hornos túnel son rectos, pero también pueden ser circulares; en este caso existe una sección abierta entre los extremos de salida y entrada, donde los objetos que han sido cocidos son retirados de las vagonetas, haciendo espacio para que las piezas frescas sean colocadas.

La temperatura permanece constante en cualquier punto abierto del horno túnel. El calor no es por ello desaprovechado en repetir el calentamiento de la estructura del horno, tal como ocurre en los hornos de cocción intermitente. No obstante, se utiliza una cantidad considerable de calor en calentar los carros del horno cada vez que pasan por el horno. Las mejoras en el diseño de los hornos del túnel van dirigidas a reducir la masa de las vagonetas del horno y la estructura de soporte. Ello también permite una colocación directa de las piezas más rápida.



Estructura de un horno túnel

3.5.4.1.1. Horno de trineo.

En este tipo de hornos utilizados por primera vez en Alemania occidental, las piezas son transportadas en planchas especiales, conocidas como trineos, generalmente sobre rieles de acero con lubricantes de grafito para que deslicen. Es particularmente apropiado para la cocción de decoración en barniz de porcelana dura a temperatura de hasta 1400 ° C. El arreglo básico es del tipo de los hornos túnel.

3.5.4.2. HORNO INTERMITENTE.

Los objetos son colocados en los hornos intermitentes cuando éstos están fríos, siendo a continuación calentados bajo un programa de tiempo / temperatura predeterminado de acuerdo a una curva de quemado hasta alcanzar un máximo de temperatura. Esta temperatura es generalmente mantenida durante cierto periodo de tiempo. Pasado este periodo, se interrumpe la fuente de calor y se permite que los objetos se enfríen de forma natural o forzada en el horno hasta que está lo suficientemente frío como para ser vaciado.

3.5.4.3. HORNO DE RODILLOS.

3.5.4.3.1. Descripción del horno.

Estructura

El horno de rodillos se compone de una estructura metálica modular portante, de la mampostería suelo-paredes-bóveda de ejecución mixta refractaria-aislante y fibra cerámica. Todo el conjunto está caracterizado por tener una masa extremadamente reducida, de un elevado poder aislante y óptima resistencia al choque térmico. Todo esto reduce al mínimo la inercia térmica del horno que actúa en favor tanto de la rapidez de respuesta a las modificaciones de la curva

de cocción, como de la rapidez de calentamiento/enfriamiento del horno. Tales factores permiten una gestión verdaderamente flexible de la instalación.

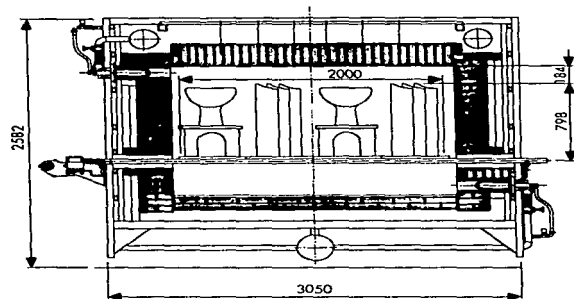
Movimiento.

El avance en monoestrato del material a cocer está mandado por una unidad motorizada de rodillos compuesta por tubos de acero y/o tubos cerámicos con características optimadas para todas las temperaturas previstas de trabajo.

El sistema de tracción de los rodillos está fraccionado en varios tramos, motorizados por motovariadores independientes para conseguir el rendimiento óptimo del ciclo de cocción. De tal forma es posible recuperar de hecho los espacios entre fila y fila creados tanto por la contracción del material en cocción como del aumento de diámetro de los rodillos por dilatación térmica.

Obviamente, cuando se corre el riesgo de que se amontonen las piezas de distintas filas sucesivas es posible distanciar las filas entre sí. Tal solución ofrece una posibilidad suplementaria para un perfecto avance de la carga.

En la realización más sofisticada los motovariadores servocomandados, pueden ser conducidos por una computadora de control del horno.



Estructura de un horno de rodillos

3.5.5. Sistema de combustión.

Todos los hornos de alta tecnología cuentan con quemadores de gas y aire soplado, de alta velocidad de llama y emisión de los productos de combustión directamente en el canal de cocción. Los quemadores están alojados en las paredes y para los hornos de rodillos sobre y bajo el plano de los rodillos.

Pueden también existir arreglos particulares con quemadores a queroseno, diesel y gas pobre. Los quemadores, todos de pequeña potencia, están repartidos en baterías de cuatro, seis, ocho unidades separadamente sobre y bajo el plano de los rodillos. Cada batería está alimentada por una única tubería de gas derivada del colector común.

Cada batería es independiente en cuanto al dispositivo de regulación de gas tanto en manual como en automático, encendido electrónico mediante electrodos insertados en la cámara de combustión del quemador y dispositivo de regulación automática de la temperatura para la fracción del canal de cocción necesario. Esta regulación es realizada mediante un sistema caña pirométrica, y un autorregulador modular servoasistido que manda la alimentación de gas al quemador.

Como ya se ha comentado para la tracción, también para el control de temperatura se puede utilizar la computadora del horno. De esta forma montando los diafragmas calibrados para la alimentación tanto de gas como de aire, cada quemador recibe la cantidad según las necesidades de la sección donde está montado.

3.5.5.1. Composición del horno.

En el esquema general del horno se prevé un primer tramo definido como prehorno con aislamiento en fibra cerámica, dadas las bajas temperaturas de ejercicio (200-400°C).

Exento de quemadores, está calentado por los productos de combustión aspirados de la zona de precalentamiento- cocción mediante el ventilador de evacuación de humos. En los hornos de rodillos las tomas de aspirador son regulables tanto sobre como bajo el plano de rodillos, así como al principio o al final del prehorno.

La función específica del prehorno es el secado completo del material en crudo, eliminando la humedad residual después del ciclo de secado. Con el fin de evitar roturas del material a cocer por una evaporación del agua demasiado violenta debida a las altas temperaturas que pueden haber ya en la primera zona de precalentamiento.

El **prehorno permite** además un racional intercambio térmico entre el material a cocer y los humos, antes de estos sean evacuados del horno, propiciando un sensible aumento del rendimiento térmico de la instalación lo cual mejora el consumo energético.

El segundo tramo, denominado como zona de precalentamiento, está caracterizado por un tipo de aislamiento adaptado a las ya relativamente altas temperaturas. Para tal fin se utiliza un sistema mixto de refractario aislante y fibra cerámica. Refiriéndose a la curva de temperaturas, se considera como zona de precalentamiento la fracción inicial de la curva hasta los 900°C aproximadamente. Con una apropiada regulación del horno, en esta zona se interviene para resolver algunos problemas característicos de la cocción del producto cerámico, como la eliminación del agua de constitución, transformación del cuarzo, combustión de las sustancias orgánicas y descomposición de los carbonatos. Para disponer del margen de regulación lo más amplio posible, porque de la total o parcial evacuación de los gases producidos en las reacciones químico físicas depende gran parte de los buenos resultados de la cocción, la instalación de combustión en la zona de precalentamiento está constituida de una manera particular.

En los hornos de rodillos esta tiene quemadores posicionados debajo del plano de rodillos e inyectores de aire sobre el plano de rodillos, para retardar la fusión del esmalte aplicado en la pieza cerámica y de esta forma prolongar el tiempo de permeabilidad de las piezas a los gases.

El tercer tramo, denominado zona de cocción, está caracterizado por un tipo de aislamiento en refractario y fibra cerámica, específicas para altas temperaturas de trabajo.

Refiriéndonos a la curva de temperaturas se considera como zona de cocción la fracción del diagrama comprendido entre los 900°C y el inicio del enfriamiento.

El posicionamiento de los quemadores, con notable fraccionamiento en pequeñas baterías de quemadores, permite la realización de curvas de cocción muy elaboradas. Tal maniobrabilidad del horno en la zona de cocción es fundamental, considerando que preferentemente en esta fase se resuelven, con la apropiada regulación, problemas como:

- defectos de uniformidad e inconsistencia dimensional,
- desuniformidad y deshomogeneidad en el grado de gresificación y
- tonalidad de los esmaltes.

El cuarto tramo definido como zona de enfriamiento rápido está caracterizado por un tipo de aislamiento similar al de la zona de cocción, pero reducido en el espesor. Refiriéndose a la curva de temperatura se considera como zona de enfriamiento rápido la fracción comprendida entre la temperatura de cocción y los 600°C.

De longitud limitada (generalmente 4 metros) está compuesta de dos partes, de las cuales la primera, denominada enfriamiento indirecto, está provista de un intercambiador de calor posicionado bajo la bóveda del horno que, alimentado por el ventilador de aire de combustión, procede, además del enfriamiento de la zona del horno en el cual está instalado, al calentamiento del aire de combustión para los quemadores.

A continuación del intercambiador trabaja un segundo sistema de enfriamiento directo, realizado mediante el soplado de aire a temperatura ambiente directamente sobre y bajo el material de producción a través de tubos agujereados de acero pasantes a la sección del horno. La alimentación del aire a este sistema está modulada por un conjunto de válvula de entrada, servomotor, autoregulador de temperatura pilotado por una caña pirométrica introducida en el ambiente del horno.

El quinto tramo, definido como zona de enfriamiento natural posee un aislamiento mixto refractario fibra cerámica de espesor sensiblemente inferior respecto a la zona precedente por lo cual también toda la estructura portante del aislamiento esta dimensionada diferentemente.

Refiriéndose a la curva de temperatura se considera zona de enfriamiento natural la fracción del diagrama comprendida entre los 650 o 600 y 500 o 450°C.

La misión de tal tramo es la consecución de un gradiente lo suficientemente bajo de disminución de la temperatura para que el proceso de transformación del cuarzo se produzca de manera que no provoque roturas del material.

El tipo de aislamiento, bastante pesado, con empleo de materiales refractarios, está empleado precisamente para que teniendo una masa notable mayor que la de la fibra cerámica normal, ejerce una acción de pulmón térmico. Esto es normalmente suficiente para mantener el ambiente a temperaturas próximas a las de funcionamiento normal, aunque se produzcan cambios de densidad en la alimentación del material, evitando así dañar al material que pasa después de la variación.

El sexto tramo, definido como zona de enfriamiento final, prevé un aislamiento ligero de fibra cerámica adaptado a la temperatura más bien baja en dicha zona. Refiriéndonos a la curva de temperaturas, se considera zona de enfriamiento final al tramo con temperaturas por debajo de los 500°C. La misión de este tramo es el enfriamiento rápido del material para que llegue a la salida del horno a una temperatura lo suficientemente baja para hacerlo manejable.

Están provistos de un sistema de enfriamiento directo, realizado mediante soplado de aire ambiente directamente sobre y bajo el material en producción a través de tubos agujerados pasantes a la sección del horno.

A fin de evitar la introducción de tal volumen en la zona de enfriamiento natural y que no saiga aire caliente por los laterales del horno, se ha previsto un sistema de extracción del aire calentado a través de una capa sobre la bóveda y conectada a un ventilador.

Una adecuada regulación de tal sistema, soplado aspiración permite conducir hacia la salida del horno el volumen de aire introducido en el enfriamiento rápido, que, calentado por el intercambio térmico del material en producción, permite optimizar en la zona de enfriamiento natural, el gradiente de disminución de la temperatura para eliminar eventuales problemas causados por la transformación del cuarzo.

3.5.6. COMBUSTIBLES.

Los combustibles que se utilizan en los hornos industriales de alta eficiencia son por lo general de tipo gaseoso.

La característica más esencial para definir los distintos tipos de gas es el poder calorífico, que indica la cantidad de calor en Kcal, que un m^3 de gas (o un kg. si es líquido) es capaz de suministrar con su completa combustión.

Se da a continuación una breve descripción de los principales combustibles utilizados normalmente.

a) El denominado metano es un gas natural que posee como elemento carburante metano y etano con componentes inertes como anhídrido carbónico (CO_2) y nitrógeno.

Su poder calorífico varía entre 7500 y 9000 Kcal/ Nm^3 . Se distribuye en gasoductos a alta presión (alrededor de 50 atm) que se reduce posteriormente en estaciones de descompresión para su distribución por el interior de la fábrica. La presión de utilización varía mucho según los países; normalmente las presiones oscilan entre 500-1000 mm H_2O a 1 o 1.5 atm.

b) El gas líquido o GLP se distribuye en fase líquida mediante camiones cisterna, se almacena en tanques a presión en la misma zona de utilización y se distribuye en redes ya en fase gaseosa. En las zonas que son frías es necesario el uso de calentadores que permiten la gasificación, cubriendo los tubos distribuidores para mantener una temperatura de seguridad previniendo fenómenos de reliquefacción del gas que causaría graves inconvenientes a los aparatos de combustión. El poder calorífico del gas líquido varía según los porcentajes de butano y propano que lo compongan.

Se puede indicar que para una composición media, corresponden cerca de 22,000 Kcal/ Nm^3 , aproximadamente tres veces el poder calorífico del metano.

nota. Esta notable diferencia de poder calorífico entre el metano y el GLP puede inducir a pensar que las instalaciones de combustión que utilizan uno u otro combustible deben ser substancialmente diferentes, pero en realidad generalmente solo cambian los agujeros de los diafragmas de los quemadores y, obviamente la regulación de los distintos aparatos.

c) Actualmente se están ensayando instalaciones de combustión para gas pobre (poder calorífico 1000 Kcal/Nm³) para aplicarlas en hornos para cocción rápida en aquellos países donde no está disponible el metano o GLP.

d) Vale la pena recordar que existen algunos hornos que están utilizando combustibles líquidos (diesel y queroseno) con resultados bastante satisfactorios cuando se utilizan quemadores especiales que vaporizan tales combustibles líquidos.

e) A título informativo recordemos que existen hornos calentados eléctricamente por resistencias. Las resistencias empleadas son aleaciones metálicas:

- Níquel-cromo para temperaturas de trabajo del horno hasta 1050°C.
- Níquel-cromo-aluminio-cobalto (KANTAL) para temperaturas hasta de 1250°C.

Este sistema de calentamiento garantiza una buena homogeneidad de temperatura pero con un costo tal que solo puede ser empleado cuando no existe la alternativa de emplear combustibles gaseosos o líquidos.

3.5.7. INSTALACION DE COMBUSTION DE LOS HORNOS.

En los hornos de alta eficiencia, se emplean quemadores de alta velocidad que desarrollan la llama en el interior de un bloque refractario para después lanzar los productos de la combustión al interior del canal de cocción a una velocidad de 70-80 m/seg. Este flujo veloz produce en el horno una gran turbulencia que garantiza un mayor intercambio térmico entre los humos y el material de cocción y una mayor uniformidad de temperatura.

En general, en este tipo de hornos se instalan quemadores dotados de encendido automático (por medio de un transformador o una bujía) y control de llama. El control de llama es un dispositivo de seguridad que ve la llama encendida y de el consenso a la introducción de gas a través de una válvula montada sobre cada quemador.

Es mejor que cada quemador, no tenga una gran potencia térmica; la mejor situación es poder disponer de un gran número de quemadores con un consumo reducido.

Este bajo consumo permite evitar peligrosas concentraciones de llama, siempre dañinas para el material en cocción. Para una buena regulación del horno, es necesario que los quemadores utilizados tengan una gran flexibilidad de funcionamiento, de manera que el campo de regulación debe resultar lo más amplio posible; un buen quemador de este tipo debe poder funcionar con un exceso de aire variable entre el 15 % y el 10 % respecto al valor estequiométrico.

Con pensar en las variaciones del combustible suministrado por un autorregulador en el caso de las variaciones en la carga del horno o de paro accidental para darse cuenta de la importancia de tener a disposición quemadores flexibles para poder garantizar un funcionamiento regular en condiciones extremas.

Los quemadores descritos son parte de la instalación de combustible que comprende:

- Red de distribución del combustible.
- Tuberías del aire de combustión.
- Dispositivos de regulación.

La red de distribución del combustible generalmente gaseoso, está compuesta por una tubería principal, sobre la cual se monta normalmente una válvula de seguridad de contrapeso o magnética que interrumpe el flujo de gas en caso de emergencia (paro del motor de la chimenea o del aire de combustión, falta de consenso de los varios reostatos y de preostatos, alarmas de temperatura, etc.). A continuación hay montado un reductor-regulador de presión, debido a que normalmente se utilizan presiones muy inferiores a las previstas en la instalación de distribución general. Por lo general en este punto de la tubería se intercala un dispositivo para la medida del consumo que puede ser un contador volumétrico o bien un indicador de presión (placas perforadas, tubo de venturi, etc.)

A través de un transductor es posible hacer llegar la señal a un instrumento registrador normalmente instalado en el área de control del horno, que indica y memoriza el consumo del horno. Después de esta serie de aparatos, de la tubería principal derivan varios anillos, cada uno de ellos alimenta un cierto número de quemadores.

Sobre cada anillo está emplazada una válvula modular motorizada, mandada por un autorregulador que recibe un impulso continuo de una caña pirométrica.

En una buena instalación de un horno de rodillos, los anillos para la alimentación de los quemadores bajo el plano de rodillos están separados de los que alimentan a los quemadores instalados sobre el plano de rodillos.

El aire de combustión es distribuido por tuberías alimentadas por uno o más ventiladores que utilizan aire ambiente y/o precalentado. Normalmente hay previsto un ventilador de reserva en caso de paro del ventilador principal. Estos ventiladores, están conectados a la tubería con la correspondiente embocadura flexible y, a continuación, está prevista una o más válvulas de compuerta para la regulación del volumen de aire y de la presión.

Sobre la tubería está instalado un prestató regulable que, en el caso de que la presión en el interior descienda por debajo de un límite establecido, manda cerrar la válvula de seguridad del gas que interrumpe el flujo del combustible.

Las tuberías del aire normalmente están instaladas en la parte alta del horno para la alimentación de los quemadores.

No es raro ver otras tuberías porque, en estos últimos años se ha estado poniendo a punto distintos sistemas de recuperación de calor de la zona de enfriamiento del horno que permiten utilizar aire de combustión con temperaturas variables de 100 a 200°C, con puntos máximos cerca de los 300°C, utilizando, parcialmente, aire extraído directamente de la zona de enfriamiento rápido del horno. En este último caso es necesario verificar que el aire utilizado tenga un aceptable contenido de oxígeno y que no contenga gases agresivos que puedan dañar las tuberías o los propios quemadores.

3.6 DECORADO

La decoración más notable se consigue mediante color, tanto las pastas como los barnices pueden colorearse. No obstante, en la cerámica fabricada industrialmente, el color se utiliza en general en forma de dibujos decorativos. Estos son aplicados bien sobre el sancocho (bajo-barniz) o bien sobre la pieza terminada en blanco y barnizada (sobre-barniz). Esta última requiere de una quema adicional.

3.6.1. Colores cerámicos.

Los colores de cerámica son casi invariablemente proporcionados por ciertos óxidos metálicos. Los óxidos metálicos rara vez se utilizan solos, pero sí mezclados con un relleno (alta temperatura) o un fundente, generalmente óxidos, (baja temperatura).

Los tintes finales obtenidos, dispuestos para ser aplicados, no son necesariamente óxidos. La mayoría de los colores cerámicos son silicatos, pero existen también aluminatos, fosfatos, etc. Varios colores cerámicos tienen una estructura de espinela. Las redes normales de este tipo se adaptan a la fórmula general AB_2O_4 , donde A equivale a un catión divalente y B a uno trivalente, siendo cada átomo de A coordinado por cuatro átomos de oxígeno, mientras que cada átomo de B está coordinado a seis átomos de oxígeno. Las espinelas son los más estables de todos los colores cerámicos, por lo menos en cuerpos. Debido a su estabilidad no tiene lugar un cambio radical de color cuando son diluidos con material de relleno o fundente.

Se requieren temperaturas del orden de los 1800 °C para la formación de espinelas por sinterizado. Los mineralizadores, tales como el óxido bórico, ayudan a reducir la temperatura necesaria para estas reacciones sólido-sólido. Algunos colores cerámicos son formados en presencia de una fase líquida. Los colores cerámicos son principalmente utilizados en forma de tintes pulverizados, que en fase fría son inertes.

Cierto número de metales óxidos colorantes son tan sólo estables dentro de una determinada gama de temperaturas. El tono de color es influenciado por los factores siguientes:

1. Temperatura de cocción.
2. Atmósfera de cocción.
3. Temperatura de calcinación y fineza del color.
4. Tipo de material de relleno o fundente utilizado.
5. El compuesto usado para introducir el respectivo óxido de metal.
6. El tipo de aplicación, es decir de si es utilizado para teñir el cuerpo o el barniz (y en tal caso la composición del cuerpo o barniz o de si es aplicado bajo barniz o sobre barniz.)

3.6.3. Métodos de decoración.

La forma más común de decoración con color sobre cerámica blanca es por dibujos:

- a) sobre el cuerpo (sancocho) o bajo barniz y
- b) sobre la superficie del barniz o sobre barniz.

La cocción de decoración sobre barniz a baja temperatura (700 a 820 °C) hace que los colores se suavicen y se unan al barniz. Distintos colores en la misma pieza pueden requerir diferentes temperaturas de cocción; ello implica que algunas piezas deban ser sometidas a más de una cocción decorativa.

Se utilizan medios orgánicos para la aplicación de colores cerámicos en decoración bajo y sobre barniz. Entre los tradicionales se encuentran el aceite de linaza, trementina, resinas, bálsamo de Canadá, gomas, alquitranes, etc. Dado que estos materiales pueden variar, han sido ya ampliamente reemplazados por medios sintéticos, principalmente resinas sintetizadas, tales como formaldehídos, alquidos, poliestireno, vinilacrílico, resinas, estearatos, etc.

3.6.3.1. Impresión directa por serigrafía.

La decoración serigráfica, constituye actualmente el procedimiento más utilizado. El éxito de este sistema, relativamente reciente en cerámica respecto a otro tipo de industrias, está relacionado con la posibilidad de decorar objetos rígidos planos mediante deposición de tinta a través de una malla. Su aplicación en la decoración de piezas ha permitido obtener industrialmente grandes tiradas

de piezas iguales, con velocidad de trabajo suficientemente elevada. La tinta se transfiere mediante presión de una espátula desde la pantalla al soporte, a través de una malla que reproduce la imagen deseada.

Considerando de cerca la operación de decoración serigráfica, los elementos que intervienen directamente en la dinámica de la estampación y tienen mayor influencia en la reproducción del decorado son:

- cuadro de estampación (pantalla serigráfica)
- empastado serigráfico
- soporte a decorar
- máquina serigráfica.

Los pasos para preparar una pantalla serigráfica son todos importantes:

Tensado, desengrasado de la tela, emulsionado, exposición, revelado y endurecimiento y acabado.

En los casos cuando por la geometría de la pieza no permite un contacto uniforme de la tela sobre la pieza, se puede imprimir sobre una membrana de hule, un tampón de silicona o bien sobre papel para que se acople mejor a la forma de la pieza. En este caso se requiere que el medio se adhiera bien a la pieza de transferencia y luego a la pieza de cerámica.

3.6.3.3. Calcomanía.

Conocido también como litografiado, es el método más utilizado para la decoración de vajilla principalmente cuando se utilizan varios colores ya que el registro de colores que se logra sobre papel es mucho más exacto que directamente sobre la pieza.

Los diseños son procesados para separar los colores como en la litografía convencional, posteriormente se imprimen con tintas cerámicas sobre un papel especial llamado papel transmisor de deslizamiento en agua, ya que al humedecerlo, se separa la impresión del papel para aplicarse sobre la pieza tal como una calcomanía pero sin papel.

Para evitar que pierda su forma, se añade una capa cobertora plástica que tiene una cierta flexibilidad y capacidad de estiramiento por lo que puede ser aplicada a superficies que no sean planas y a objetos, en especial grandes piezas de vajilla.

Es importante asegurarse de que no quede atrapado aire bajo el transfer. El proceso de transfer deslizante ha desbancado al antiguo método litográfico, que implicaba el barnizado, dado que es mucho más rápido y requiere de menos habilidad.

3.6.3.5. Pintado a mano.

Los colores que forman los dibujos son aplicados mediante pincel. Aunque la técnica difiere a la de la pintura al óleo sobre lienzo. Para franjas y líneas, la pieza es centrada en un torno horizontal, que el decorador hace girar lentamente con una mano, mientras el pincel, en la otra mano, toca el plato girando formando el decorado.

Se puede aplicar sobre o bajo barniz aunque se requiere de diferentes medios ya que bajo barniz el color se absorbe a la pieza y sobre barniz, fácilmente se oscurece o resbala.









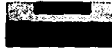


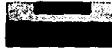

Pinceles utilizados para pintar a mano.

3.6.4. Cocción de decoración.

La decoración normal sobre barniz es cocida tan sólo a 750 a 820 °C.

La aplicación de decoración al barniz cocido, puede ser seguida por cocción rápida a temperaturas lo suficientemente altas para que los colores se sumerjan en el barniz ablandado. Este método relativamente nuevo, conocido como decoración "en barniz", se puede entender fácilmente en la figura siguiente, donde se compara con los procesos tradicionales de decoración sobre y bajo barniz, mostrando las diferencias entre porcelana dura y porcelana de huesos,

vajilla de hotel vitrificada y objetos de loza. El propósito de la cocción rápida de decoración en barniz es reducir costos de cocción lograr una gran paleta de colores y garantizar la permanencia del color.

Temperatura de cocción de decoración	Bajo barniz	En barniz	Sobre barniz	
a) Porcelana dura	1400 °C	1250 °C	820 °C	
b) Porcelana de hueso	1100 °C	900 °C	750 °C	
Posición de la capa de decoración antes de la cocción de decoración				
después de la cocción de decoración				
a) Porcelana dura				
b) Porcelana de hueso				
		Color	Barniz	Cuerpo.

Comparación de la decoración bajo barniz, en barniz y sobre barniz.

Es poco probable que las escalas de 60-90 minutos de la cocción rápida de decoración, tales como las utilizadas para porcelana dura, sean utilizadas para loza. Para compensar la corta duración de la cocción la temperatura máxima debe de incrementarse. El alto punto máximo de temperatura da lugar a una imperfección en la loza porosa, originados por la expulsión del vapor de agua previamente absorbido.

La cocción rápida de decoración sobre loza fina y otros cuerpos vítreos, ha demostrado ser muy eficaz. Se requiere de una atmósfera fuertemente oxidante en las primeras fases de la cocción rápida de decoración en barniz con el fin de quemar las resinas. Los polímeros de butilmetacrilato, utilizados generalmente en transferentes cerámicos, tienen excelentes propiedades de quemado.

Cuando la temperatura es lo suficientemente alta para que los fundentes fundan, los pigmentos son embebidos en la capa vítrea formada. Los iones, altamente móviles, de álcali, alcalinoterreos y también óxidos de boro, plomo y zinc de la capa vítrea, se difunden en el barniz. En porcelanas duras, el intercambio de iones produce colores de muy alta resistencia.

Un problema es la reacción drástica del cuerpo al choque térmico derivado del brusco calentamiento y enfriamiento de la cocción rápida para decoración. Los artículos de porcelana dura de paredes gruesas tienden a mostrar roturas tras velocidades excesivamente altas de cocción; el prolongar el tiempo de cocción elimina este defecto. Investigando posibles cambios en las propiedades del cuerpo originadas por la cocción rápida, se encontró que se conseguía una cierta mejora en la resistencia mecánica de la porcelana dura; ello podría ser el resultado de una acción de templadura, tal como la observada con el vidrio templado.

En lo referente a la loza de resistencia al choque térmico inferior a la porcelana dura, tal como la porcelana de huesos, se experimentaron con la cocción rápida de decoración dificultades no insuperables. Cuando tenía lugar rotura, se podía corregir con un ajuste relativamente pequeño en el tiempo de cocción.

4. ANALISIS DEL PROCESO PARA DIFERENTES PRODUCTOS.

Con la intención de dejar muy claro, los diferentes métodos de producción para diferentes artículos, aun cuando las operaciones son prácticamente las mismas, se estudian a continuación, los diagramas de proceso de los siguientes artículos:

4.1. AZULEJO VITRIFICADO POR MONOCOCCION PARA PISO.

La cerámica fue utilizada en forma de laminas planas como piso en épocas tan arcaicas que no se puede precisar una fecha específica. Por otra parte, el uso de azulejos pintados y barnizados data de el siglo XI D.C.

El desarrollo de la industria cerámica en Italia se da a principios de los 50's gracias a la introducción del "cottoforte" en el mercado. Este típico producto italiano se obtenía por la tradicional técnica de la bicocción, cuyas características permitían, y lo siguen haciendo, utilizarse para pisos.

Así, los azulejos por monococción, no fueron utilizados en niveles industriales hasta los 60's y fue hasta a mediados de los 70's cuando alcanzo una buena difusión y éxito

No se puede negar que la introducción del proceso de quema rápida por monococción en hornos de rodillos de un estrato ha traído cambios dramáticos en las técnicas productivas con el tiempo. Tales innovaciones se reflejan en la tecnología, las plantas y en particular los hornos.

De hecho, se han analizado y probado nuevos modelos teóricos de quemado aun cuando ya se habían desarrollado teóricamente por Korach. De acuerdo a estos conceptos, el consumo específico de los hornos monoestratos era menor que el de los hornos convencionales. Por esta razón, la monococción rápida ganó importancia para los industriales cuando la crisis energética se desató en los 70's.

Además del punto energético, el incremento en el uso de azulejos vitrificados se da por más razones tales como la capacidad de producir grandes piezas, la automatización de las plantas y sobre todo el reconocimiento y uso como productos para pisos, una alternativa a los tradicionales productos de cerámica disponibles contando con características técnicas inferiores.

4.1.1. Características técnicas y estéticas.

La preferencia en el uso de azulejos por monococción como pisos debido a su alta tecnología ya se menciono. La clara definición del producto explica sus características del producto conocido en el argot cerámico como "gres" que significa que el cuerpo es compacto como regla aun cuando existen varios niveles de porosidad tales como la absorción de agua, dato que se requiere para una clasificación más específica del producto donde existen normas que controlan los límites para cada rango de productos.

En conjunto con la porosidad, se utilizan otras características que pueden ayudar a clasificar estos productos tales como:

- El valor del módulo de rotura de el producto quemado: 300 a 500 Kg /cm².
- El valor de contracción después de quemado: 5 a 7 %.

El conjunto de todas estas características expuestas indica claramente que el uso de estos materiales, aunque dependiendo del tipo de esmalte utilizado está dirigido a pavimentos o pisos por la alta capacidad que tienen de soportar el desgaste y la resistencia mecánica tan elevada.

Es necesario mencionar las características del esmalte el cual, considerando el proceso de cocción, se entiende que es parte integral del producto final. Ciertamente la diversificación de tipos de barniz , en la breve historia de la monococción vitrificada ha tenido diferentes etapas y evoluciones.

De hecho, los primeros barnices fueron tomados de los tradicionales métodos de producción, los cuales han sido reemplazados por productos innovadores muy apreciados por sus cualidades técnicas.

La ultima generación de barnices clasificados técnicamente como gránulos, materiales sinterizados y elementos devitrificados son aplicados con distintas técnicas ya sea en seco o en húmedo.

La característica de resistencia al desgaste de estos barnices son tan altas que están cerca o igual a productos con mayor tecnología o mejores materiales tales como el gres porcelanizado y otros materiales naturales pero mucho más caros. Tal resistencia puede ser atribuida a la homogeneidad de la capa aplicada así como a la naturaleza de los componentes del barniz.

4.1.2. Características de la materia prima.

Antes de analizar la naturaleza de las materias primas, es importante mencionar los tipos de azulejos por monococción disponibles en el mercado, los

cuales pueden ser clasificados comercialmente en azulejos rojos y azulejos blancos.

En ambos casos las materias primas pueden ser clasificadas en dos grandes grupos:

- materiales arcillosos
- materiales magros (feldespatos, cuarzo pegmatita, etc.).

En el caso de el cuerpo rojo se pueden relacionar el grupo de los materiales arcillosos de naturaleza illítico-clorítica o illítico-caolinitica.

Para el cuerpo blanco, la naturaleza de la arcilla se asocia al tipo de ball-clay o china-clay, respectivamente de naturaleza illítico-caolinitica o caolinitica.

El segundo tipo de minerales tiene características fundentes y/o inertes e incluyen rocas feldespáticas, feldespato, arcilla feldespática y cuarzo. Es evidente que la relación de cantidades entre las arcillas fundentes y el cuarzo, depende en la naturaleza mineral intrínseca de la arcilla, de la granulometría y del tipo y características de los fundentes usados.

Para analizar las propiedades prácticas específicas de los materiales utilizados en los azulejos podemos decir lo siguiente:

Ball-clay.

El ball-clay, así como la arcilla roja vitrificable, usados para los tipos blanco y rojo respectivamente, son responsables por las características de los productos en crudo, tales como plasticidad y el módulo de resistencia mecánica en verde y en blanco.

Caolin.

La importancia del caolin no es de gran importancia en los productos sin quemar. Fundamentalmente se utiliza por el alto nivel de alúmina necesario para controlar la vitrificación.

Feldespatos.

El feldespato, los minerales feldespatoideos y la arena feldespática pueden ser considerados los elementos fundentes, que contribuyen a hacer el material denso y compacto, gracias a sus fundentes vitrificantes.

Cuarzo.

Finalmente el cuarzo puede ser considerado el elemento de equilibrio entre los agentes fundentes, ya que ajusta la viscosidad y afecta la contracción durante el quemado.

Es importante mencionar las diferencias macroscópicas que existen entre los cuerpos blancos y rojos.

Gracias a la naturaleza intrínseca de los materiales utilizados, el cuerpo blanco puede soportar ciclos de quemado más cortos que los que al quemarse dan un color rojizo. Esta ventaja puede reflejarse en costos más competitivos por lo que este mercado está creciendo.

4.1.3. Parámetros del proceso.

En la definición de las características del proceso de un material, es muy importante valorar la interdependencia que existe entre los aspectos químicos y físicos y parámetros tales como:

Granulometría del material.

Después de quemar los residuos de barbotina usualmente entre el 4 al 7 % (63 micrones - malla 230), los valores residuales para composiciones definidas reflejan el tamaño de partícula que puede garantizar la formación de fundentes vitrificables durante el quemado en tales cantidades que pueda ser de utilidad para la densificación del cuerpo cerámico.

Prensado.

El principal objetivo es obtener los mayores valores de densidad del producto crudo, dependiendo de el problema de corazón negro o de fisuras. Las presiones adoptadas normalmente van de los 250 a los 350 Kg. / cm².

Quemado.

En esta fase las condiciones energéticas deben ser desarrolladas para generar las reacciones de fusión y vitrificación permitiendo que se alcancen los objetivos definidos de contracción y absorción.

De acuerdo a investigaciones de proceso realizadas en laboratorio, ha sido posible estimar la interdependencia entre los parámetros de proceso mencionados y registrar las oscilaciones de los valores relevantes de porosidad y contracción en el producto terminado y el modulo de rotura.

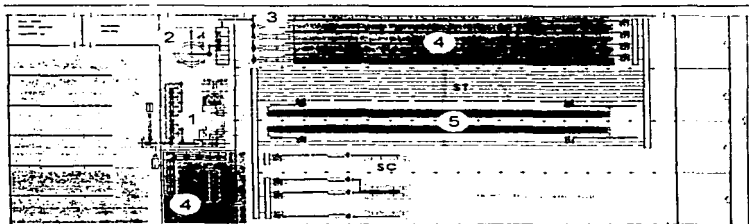
4.1.4. Ingeniería de producción.

Entre los años 60's a 70's, da adopción de la monococción rápida y los hornos monoestratos de rodillos ha significado una nueva distribución general de planta. De hecho, los tiempos de quemado se han reducido a valores comparables con las otras fases del proceso incluso utilizándose hornos de rodillos de varios niveles o estratos. Todo esto ha permitido la automatización de las fábricas de azulejos cerámicos y por consecuencia se han reducido los gastos industriales.

Se entiende por si solo que el cambio de los procesos tradicionales a los más innovadores de monococción rápida, ha tomado tiempo. Se ha pasado por etapas tales como ciclos lentos de monococción y otros tipos de producción para perfeccionarse. En esta transición, los sistemas de manejo y almacenaje de los materiales y productos han mejorado significativamente adoptando y seleccionando la experiencia disponible en las diferentes plantas. En particular el mayor interés ha sido puesto sobre la producción de maquinaria confiable para correr y organizar los ciclos operativos en programas más rápidos.

4.1.5. Distribución de planta.

Aquí se puede ver un ejemplo de una distribución de planta con molienda continua en húmedo la cual puede ser considerada una alternativa para los sistemas tradicionales de molienda por lotes. La descripción de las diferentes fases se pueden apreciar en el diagrama.



Distribución de planta general para la producción de azulejo por monococción

- | | |
|-------------------|---|
| 1.- área naranja | Dosificación y preparación de pasta. |
| 2.- área azul | molinda continua, tanque de almacenamiento de barbotina, secador por aspersión, almacenamiento de polvos. |
| 3.- área amarilla | Prensado y secado. |
| 4.- área rosa | preparación de barniz y línea de barnizado. |
| área ST | almacén de producto quemado y crudo. |
| 5.- área roja | hornos monoestratos de rodillos. |
| área SC | clasificación y paletización. |

La utilización de control numérico y microprocesadores ha permitido la automatización de el control y administración de cada etapa de producción de azulejos.

El uso de molienda en húmedo y secadores por aspersión de gránulos ha permitido el uso de cuerpos mezclados ya que se pueden utilizar pastas coloreadas y mezclar antes del prensado dando efectos muy gratos.

Diagrama de flujo de la producción de materiales vitrificados y semivitrificados en monococción.

Aquí se puede ver un diagrama de bloques de las etapas de producción para azulejo vitrificado con este tipo de tecnología. Se puede notar que se utilizan dos posibilidades de almacenar el material después de barnizado y quemado o se puede proceder como un sistema continuo de producción hasta la fase de clasificación.

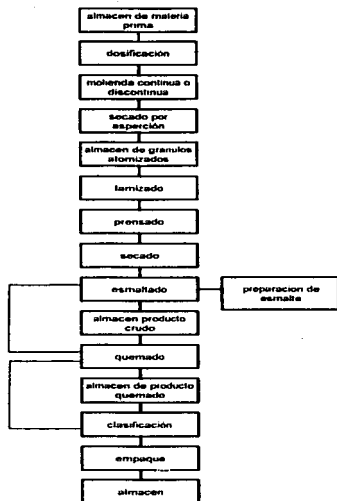


Diagrama de bloques

4.1.6. Detalles del proceso.

De acuerdo a lo acordado en el punto anterior, debe de tenerse claro que la tendencia de utilizar plantas con molinenda en húmedo y secado por aspersión depende de la naturaleza de la composición del cuerpo. Aquí analizaremos una planta con estas características sin considerar otros procesos tales como mezclado en seco y regranulación de polvos, los cuales son posibles pero los resultados técnicos y estéticos son por mucho inferiores.

Dosificación.

La dosificación o formulación puede realizarse con las básculas móviles tradicionales que trabajan por medios mecánicos y con manivelas. Existen sistemas más complejos que utilizan células de carga en línea con los silos de almacenamiento los cuales tienen programado y predeterminados las cargas de materias primas por medios de sistemas electrónicos.

Molienda y mezcla.

Esta operación puede ser llevada a cabo con los tradicionales molinos continuos o bien, como se definió en la distribución para este caso, con sistemas de molienda continuos. Las ventajas que se obtienen con este tipo de molienda es una mayor uniformidad en las características de la barbotina, una mejor organización del departamento de molienda y aprovechamiento del espacio junto con un considerable ahorro de energía debido al menor porcentaje de agua requerido para la fluidificación de la barbotina.

Secado por aspersión.

En esta fase del proceso, no se requieren de condiciones operativas particulares con relación a las otras tecnologías y estándares utilizados.

De cualquier modo, es posible mencionar la diferencia de costos por energía relevantes entre las barbotinas de cuerpos rojos y blancos. Debido a la naturaleza intrínseca de las arcillas, en la mayoría de los casos se requiere de mayores porcentajes de evaporación de agua en las pastas rojas y por lo tanto un costo por energía mayor.

Para la distribución del tamaño de las partículas o granulometría de los productos secados por aspersión, una alta concentración de partículas (70 - 80%) deben de estar en el rango de 250 a 400 micras. El peso específico de estos polvos generalmente varía de 1000 a 1015 gr./lit.

Prensado.

Esta fase es de gran importancia para la tecnología de producción de los materiales vitrificados. Como una regla, la mayor compacidad es obtenida en los productos crudos sin tener problemas de corazón negro o fisurado. La presión generalmente utilizada va de los 250 a los 350 Kg./cm².

Secado.

El secado de azulejos puede ser llevado a cabo por medio de secadores verticales u horizontales (estos últimos generalmente utilizados para tamaños pequeños. En los métodos tradicionales, el ciclo de secado tardaba de 35 a 70 minutos mientras con los últimos desarrollos se logra con una mayor velocidad

reduciendo los ciclos de 8 a 15 minutos dependiendo de la naturaleza de las pastas y de las dimensiones de la pieza.

Barniz.

Los barnices utilizados para estos productos pueden ser tradicionales o especiales (gránulos, materiales sinterizados, etc.) Los tradicionales son mezclas de materias primas y fritas que son aplicados por medio de un tradicional disco o campana de barnizado, etc. después de un tamiz.

Las nuevas técnicas, en vez, son conglomerados de fritas y vidrio, incluso coloreado; donde su estado final esta compuesto de gránulos de diferentes tamaños y son aplicados por medio de sistemas secos y húmedos mezclados. En ambos casos, antes de barnizar, se aplica un engobe para reducir los defectos, si es que existe alguna marca de los soportes o mecanismos de sujeción.

Quemado.

Es sin duda el aspecto más innovador dentro del proceso de monococción. El objetivo de este análisis no es profundizar en los aspectos técnicos de esta fase ya que se mencionan en el capítulo 3.

Generalmente los ciclos y temperaturas de cocción utilizados varían entre los 45 y 60 minutos y los 1150 a 1200 °C, dependiendo en la naturaleza del producto.

Generalmente, las masas cuyos colores son rojos después del quemado requieren ciclos más largos debido a la mayor sensibilidad del defecto de corazón negro. Tal característica puede ser atribuida a la naturaleza más plástica de los cuerpos o el exceso de material orgánico.

La flexibilidad en la determinación y predisposición de la curva de quemado en los hornos de alta tecnología junto con la estabilización de las condiciones de quemado, es garantizada por un sofisticado sistema de control computarizado, que verifica el control de la temperatura preestablecida dentro de límites muy precisos. Además, un microprocesador y un programa específico permiten conocer los datos de producción y condiciones de quemado en tiempo real.

Clasificación.

También en este departamento se pueden automatizar todas las operaciones, incluso el empaque y la sucesiva palletización. Con sensores de control numérico se controla la homogeneidad y la constancia dimensional de los azulejos y los encamina a diferentes salidas con características de calidad diferentes. El uso de la inteligencia artificial y de medios ópticos para recabar información están en prueba y ya prometen una clara aplicación dentro de la clasificación de productos.

La intervención manual en las plantas con mayor automatización está limitada al análisis de los azulejos para determinar los atributos de calidad y definir los productos de acuerdo a las salidas de la máquina clasificadora.

4.2. VAJILLA PLANA PRENSADA.

Las nuevas técnicas de producción de vajilla se derivan de la eficiencia con la que se produce azulejo prensado en seco. Al querer transferir la tecnología se encontraron muchos problemas al prensar las formas caprichosas de los platos, las cuales aún siendo formas geométricas, son más complejas que las formas planas de los azulejos.

Como ya se mencionó, la solución de prensado, se da aplicando presión hidráulica directamente a través de membranas flexibles, por esta razón se denomina isostático. Este tipo de fabricación solamente está disponible para piezas planas como platos, platones y platos ovalados donde se obtienen ventajas importantes contra los procesos de forjado húmedo para este tipo de piezas.

Existen muchos procesos diferentes para la producción de vajilla, puede ser con monococción, barnizando la pieza cruda, pero el porcentaje de mermas es muy alto por el difícil manejo y fragilidad que presentan las piezas. Otra clasificación de diferencias en el proceso de producción son las temperaturas de la primera y segunda quema; cuando la primera quema o quema de sancocho o bizcocho es a baja temperatura (800 a 1100 °C), el cuerpo queda relativamente frágil y con una porosidad alta (10 a 25 %), esto permite la aplicación de barniz por inmersión, ya que al absorber agua la pieza, se forma una capa uniforme de barniz la cual seca al tacto muy rápido y es un proceso muy rápido, la segunda quema o quema de barniz debe de ser a alta temperatura (1150 a 1400 °C) lo que significa una contracción mayor y la posibilidad de utilizar barnices duros con alto contenido de sílice, los cuales tienen poco fundente. Las piezas deben de ser muy estables pues no se pueden hornear y es fácil que se deformen durante la vitrificación.

El otro proceso se lleva a cabo con la primera quema a alta temperatura (1100 a 1250 °C) donde se obtiene la máxima vitrificación del cuerpo con la ventaja de que se pueden apilar los productos o bien colocarse en hormas con la forma final de los platos. Esto se utiliza generalmente con piezas grandes. El barniz en este proceso no puede aplicarse por inmersión ya que el cuerpo no absorbe más agua por lo que se aplica por vaporización, proceso en el cual se puede o no calentar las piezas para que el barniz se adhiera mejor. En la segunda

quema (900 a 1100 °C) se desarrolla el barniz y el cuerpo no se ve afectado por no alcanzarse la temperatura de fusión del cuerpo. El barniz contiene generalmente frita por lo que es más fluido y tiene un aspecto más brillante pero con una menor dureza.

Aun cuando se puede utilizar indistintamente cualquier tipo de horno, se utiliza el horno de rodillos de uno o varios estratos para plantas más automatizadas aunque se debe de utilizar con placas refractarias ya que los platos no pueden ir directamente sobre los rodillos como los azulejos. Todavía existe una preferencia por los hornos túnel en el proceso de producción de vajillas.

4.2.1. Características técnicas y estéticas.

El producto de mayor aceptación tanto como por su estética como por sus características técnicas es el de cuerpo blanco y barniz transparente. Existen productos con el cuerpo de color, generalmente entre rojo y color crema a los que se les aplica un esmalte con opacificantes y color blanco, lo que le resta dureza al esmalte. Esto se puede notar generalmente en el pie del plato ya que debe de estar limpio de barniz para evitar que se pegue a los refractarios donde se cargan en el horno.

Los productos que se utilizan institucionalmente como en hoteles y restaurantes, requieren de módulos de resistencia mecánica elevados, así como de una adecuada relación entre el cuerpo y el barniz para soportar los fuertes cambios de temperatura de los equipos lavavajillas, salamandras, hornos y del uso diario que pueden producir que el barniz se craquele.

Existen formas y tamaños variados, con relieves, con o sin ala, etc. los cuales se prefieren unos a otros de acuerdo a el gusto y las necesidades del usuario.

4.2.2. Características de la materia prima.

Básicamente, para este tipo de productos, las características y los materiales utilizados son los mismos que para los azulejos vitrificados. Donde radica la mayor diferencia es que en la vajilla el color es un factor importante ya que queda totalmente a la vista y en los azulejos se cubre con el esmalte generalmente.

El color esta definido por las arcillas caoliniticas, de las cuales pueden utilizarse más de una si no se tiene una con las características óptimas. Algunas dan resistencia en crudo, otras dan resistencia en la pieza quemada, unas dan un color gris, mientras que otras un color azul y otras un color blanco.

Por esta razón se debe de balancear la cantidad de cada una de las arcillas caoliniticas para las cuales se deben de hacer pruebas de quemado ya que la apariencia antes y después del quemado puede ser muy engañosa.

4.2.3. Parámetros del proceso.

Además de los parámetros que se controlan en los azulejos vitrificados se debe de controlar:

Espesor y viscosidad del barniz.

Se requiere controlar la cantidad de barniz que se aplica a cada pieza para garantizar una aplicación uniforme y un buen acabado exterior.

Homogeneidad de temperaturas en el horno.

Dentro del horno túnel, es común que hayan diferencias de temperatura entre los diferentes pisos del carro del horno, por esta razón, los porcentajes de porosidad pueden variar hasta en un 5 % por lo que es importante verificar continuamente que las características estén dentro de un rango aceptable.

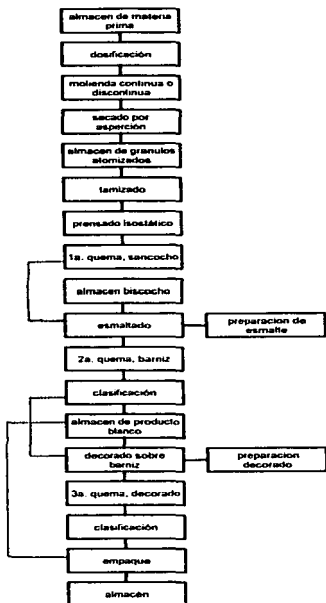
4.2.4. Ingeniería de producción.

El prensado isostático elimina la necesidad de los grandes secadores lo que reduce significativamente el área de fabricación así como el manejo de las piezas en crudo ya que las prensas se pueden colocar al lado del área de carga de los carros del horno modificando la distribución de planta tradicional.

El decorado sobre barniz por otro lado, reduce el tiempo de proceso para productos decorados ya que si se mantiene un capacitor de productos en el almacén de blancos solo se requiere seguir los pasos de decorado, por otro lado, el producto en blanco no se afecta con el tiempo, cosa que si pasa cuando se almacena el sancocho para la decoración bajo barniz.

Diagrama de flujo de la producción de materiales vitrificados y semivitrificados en monococción.

Aquí se puede ver un diagrama de bloques de las etapas de producción para vajilla plana vitrificada con este tipo de tecnología. Se puede notar que se utilizan dos posibilidades de almacenar el material después del prensado y después del barnizado y quemado o se puede proceder como un sistema continuo de producción hasta la fase de clasificación. También existe la variación de producirse productos en blanco (generalmente son más del 50 % de la producción) o terminar el proceso con la etapa de decorado.



4.3. SANITARIOS VACIADOS A ALTA PRESION.

Los muebles sanitarios son piezas muy complicadas por su gran tamaño y peso, ya que presentan contracción como todas las piezas y son manejadas una buena parte del proceso en crudo, por lo que se requiere de una formulación que le de una buena estabilidad física durante las etapas de secado en verde, secado en blanco y barnizado.

El nuevo proceso de vaciado a presión, reduce el número de estaciones de trabajo significativamente ya que con el método tradicional solamente se pueden hacer dos vaciadas por turno por estación y con este nuevo método se logran varias vaciadas por hora en la misma área, y permite una mayor automatización a mejores costos ya que las distancias de transportación de los productos se reducen considerablemente.

4.3.1. Características técnicas y estéticas.

Existen normas de higiene y funcionamiento en todos los países donde se especifican las características dimensionales y del cuerpo. Deben de ser piezas vitrificadas con barniz impermeable para garantizar una higiene óptima. Debido a que se aplica esmalte de color a la pieza, no es importante el color del cuerpo del mueble. La uniformidad dimensional también es importante por lo que se debe calcular correctamente el porcentaje de contracción de cada pieza, principalmente en las uniones del mueble con las tuberías de alimentación y descarga.

4.3.2. Características de la materia prima.

Como en todas las piezas cerámicas, se requiere de un equilibrio entre materiales fundentes, materiales plásticos, materiales no plásticos y materiales orgánicos.

El uso de barros con contenidos orgánicos sirven para mejorar las condiciones de resistencia de la pieza cruda. Esto requiere de un buen control de los materiales y de la cocción ya que se generan vapores durante la cocción que pueden afectar el acabado del barniz.

4.3.3. Parámetros del proceso.

Las partes con diferencias características a las ya mencionadas son el secado y el barnizado, el secado se lleva a cabo en secadores intermitentes o secadores continuos de túnel, donde por medio de aire caliente, en algunos casos producto de los hornos se extrae la humedad de las piezas hasta garantizar un

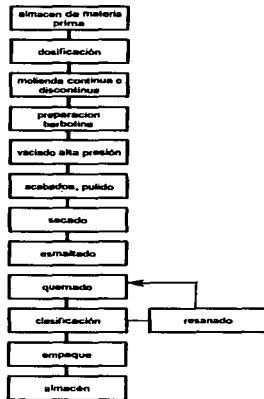
contenido de agua menor al 2 %. Se debe de controlar la humedad dentro del secador ya que si el secado es muy agresivo, puede haber diferencias de humedad en la pared de la pieza que se vuelven defectos de acabado o fisuras. Para este fin se utilizan humidificadores o se acostumbra reciclar el aire ya que esta cargado con la misma humedad que pierden las piezas.

El barniz se aplica por aspersión manualmente o con la ayuda de un robot ya que al ser una actividad que requiere de mucho esfuerzo físico, los obreros cansados no realizan el trabajo de la mejor manera, por esta razón se han implementado estaciones de barnizado para robots. En muchos casos para agilizar la operación, se colocan dos estaciones de barnizado en serie, donde en la primera se enfoca a las áreas complicadas y en la segunda al acabado final de la pieza con movimientos parejos para dar uniformidad al acabado. En este caso pueden alternarse un obrero y un robot.

Las piezas con sifón, deben de barnizarse en dos etapas, en la primera, se barniza con barniz líquido la parte interna del sifón y posteriormente se barniza con el método normal el resto de la pieza.

Diagrama de flujo de la producción de muebles sanitarios.

Aquí se puede ver un diagrama de bloques de las etapas de producción para muebles sanitarios con este tipo de tecnología. Se puede ver la posibilidad de una requema para corregir defectos menores.



4.3.6. Detalles del proceso.

Debido al contenido de materia orgánica en la pasta, es normal que entre un 10 al 20 % de la producción tenga burbujas en el barniz. Ya que este es un defecto menor, y si el funcionamiento es bueno, es costeable reparar la pieza y volverla a quemar. Para esto, se perfora con un esmeril o taladro el defecto y se aplica esmalte del mismo color con frit, lo que le da un punto de fusión menor para quemarlo a una temperatura más baja y evitar que se deforme o cambien sus dimensiones. El ciclo de quemado es un poco diferente al del quemado normal ya que al estar la pieza vitrificada es más sensible a un choque térmico por lo que hay que subir y bajar la temperatura en un tiempo mayor. En caso de tener otro defecto después de la primera requema, se puede volver a resanar y quemar cuantas veces sea necesario o costeable.

5. CONCLUSIONES.

5.1. Productos.

La industria de la cerámica de artículos de consumo, como lo son las vajillas, los muebles sanitarios y los pisos y recubrimientos, tienen suficientes años de historia para considerarse productos de uso diario donde encontrar innovaciones significativas nos parecería difícil. Los cambios están dirigidos más que al uso de los productos, a fabricar productos de mejor calidad con mejores características y comodidades. Con la economía actual globalizada, resulta más fácil el acceso a tecnología y maquinaria para todos. Los clásicos fabricantes de productos de la más alta calidad, principalmente ubicados en Europa y Japón, están diversificando sus fuentes de producción a países en Asia y Latinoamérica. Las diferencias de calidad entre los diferentes niveles de precio tienden a emparejarse ya que los métodos más eficientes de producción propios de los artículos económicos garantizan una buena homogeneidad en el producto.

Los decorados, la variedad en piezas de accesorio y los medios de distribución y servicio, serán los que permitan diferenciar los niveles de precio en los diferentes tipos de productos cerámicos.

Cabe mencionar la importancia histórica y la lealtad a las tradiciones que se han mantenido en los países productores de cerámica. Inicialmente, el tipo de producto que se fabricaba en cada región estaba condicionado a las materias primas y principalmente a los combustibles disponibles. Por esta razón en países como Francia, Alemania y China con recursos madereros y carboníferos fuertes se desarrolló la porcelana ya que se requieren temperaturas de 1200 a 1400 °C por otro lado, en países con menos recursos de combustible como los países meridionales como Italia, España, México, etc. se desarrolló el barro y la mayólica ya que se puede cocer a partir de 750 °C. Hoy en día la especialización de productos no ha cambiado mucho.

5.2. Seguridad.

La industria de la cerámica fue un fuerte agresor del medio ambiente y de la salud. Los antiguos hornos de botella, encendidos con carbón, madera, e incluso basura producían una contaminación atmosférica considerable. Por otro lado, la normalización de las condiciones de trabajo en las plantas de cerámica se han reducido a casi cero los casos de contaminación en los obreros por plomo, sílice y asbesto común en las plantas antiguas y responsables de enfermedades como la silicosis, la pneumoconiosis y cáncer.

Por otro lado, todavía se combate en la seguridad del usuario regulando el contenidos de metales pesados solubles, los cuales son tóxicos, en la superficie de las piezas, tanto en el barniz donde se utilizan compuestos de plomo por sus propiedades de fundición a temperaturas bajas y su alto brillo como en los decorados donde el cadmio es un importante contaminante pero necesario para alcanzar ciertos tonos de rojo, morado y amarillo.

Con una legislación adecuada y un seguimiento a la calidad de los productos por los organismos competentes serán suficiente para sancionar a los productores y garantizar a los usuarios que los productos son inocuos.

La reducción en la expulsión de gases contaminantes a la atmósfera se verá reducida conforme se utilicen medios más eficientes de producción, como lo son el sinterizado en seco o prensado isostático, para el cual se requiere de menor energía en el secado; los materiales de baja masa térmica como aislantes y conservadores de energía en los hornos, los quemadores de alta velocidad, los cuales son más eficientes y garantizan una mejor homogeneidad de temperaturas dentro del horno los cuales ya están disponibles.

El desarrollo futuro está enfocado a fórmulas tanto del cuerpo como del barniz que puedan vitrificarse a menos de 1000 °C. Esto será posible, cuando se domine el método de moldeado por prensado en seco para formas planas y para artículos más complejos ya que no se requiere de plasticidad. Esto eliminaría la arcilla de la fórmula y podrían aumentar los materiales fundentes reduciéndose así a más de la mitad los requisitos energéticos.

5.3. Materiales.

Ya que se ha demostrado que la cantidad de materiales utilizados en la industria de la cerámica son un recurso ilimitado, los esfuerzos se deberán enfocar a perfeccionar los métodos de extracción y purificación ya que los depósitos más puros se agotarán o bien no están disponibles en algunas áreas. Incluso del gas natural, que es el combustible más adecuado para la cocción de cerámica, están garantizadas las reservas para muchos años, si bien, la reducción en el consumo de energía es uno de los principales retos del ramo.

La importancia en el control de los materiales, se acentúa cada vez más ya que con la creciente automatización de todos los procesos se pierde el factor de corrección del operario ya que las máquinas no pueden decidir como lo hacía el alfarero si se agrega más agua a la pasta para aumentar su plasticidad, o si se cambia la curva y tiempo de quemado por usarse materiales con diferentes propiedades, variables usuales aún en nuestros días.

Actualmente la monococción para artículos de consumo, se utiliza poco, por necesitar mano de obra altamente calificada y generar porcentajes de mermas elevados. El manejo de materiales como las piezas crudas, requiere de mucho cuidado en operaciones como aplicación de barniz, decorado y carga al horno ya que son muy frágiles y requieren de mucho cuidado. Sin embargo, el ahorro en energía, espacio y tiempo presentan a la monococción como una solución interesante para reducir costos una vez que estén bien afinados los detalles de transportación, decoración y control de materiales.

5.4. Automatización.

El proceso de producción, siempre estará en un cambio continuo para hacer más eficiente cada una de sus partes aún cuando los procesos físico-químicos involucrados no cambien;

Uno de los objetivos primordiales es hacer de la producción de cerámica un proceso continuo y automatizado, para lo cual se ya se ha logrado automatizar la preparación de la pasta con silos, básculas y transportadores automáticos, mediante molienda continua y el atomizado sucesivo; o bien la producción de

pasta líquida para almacenarse en tanques de añejamiento con flujo continuo o por lotes sin afectar el proceso continuo.

El uso de hornos de rodillos ha sido uno de los mayores avances para la automatización, ya que fácilmente puede alimentarse por medio de bandas y mecanismos sencillos, ya que también se pueden poner con líneas móviles el secador, el baño barniz por inmersión o con robots e incluso la clasificación y el empaque.

Uno de los procesos que ha sido más difícil de automatizar ha sido el de el acabado de las piezas, como el pegado de asas en las tazas y el limpiado de las uniones de los moldes en las piezas vaciadas.

El concebir una planta donde todo el trabajo este realizado por sistemas automáticos y donde únicamente tengan cabida supervisores, técnicos y personal administrativo pondría muy alto los alcances de la tecnología, sin embargo, dispara interrogantes sociales relativas al empleo y al compromiso del sector productivo de promover una repartición de riqueza ya que solamente mediante la producción se genera este valor.

5.5. Sistemas de Calidad.

Debido a la gran cantidad de variables que afectan la producción de la cerámica, es fundamental integrar sistemas de calidad y normalización en los procesos así como la ideología de mejora continua tanto en el personal involucrado en el proceso como para los que perfeccionan y diseñan nuevos métodos de producción.

De cualquier manera, hay que comprender los diferentes niveles de productos, ya que incrementar los costos en el control de productos de bajo precio puede sacarlos del competido mercado además de no necesitarse diferentes características de las que tenemos en el mismo nivel de productos de hoy en día.

En las cerámicas de alta tecnología y en los productos de precios altos se requiere de un control exhaustivo para garantizar las propiedades de confiabilidad necesarias en estos productos.

Parte de la filosofía práctica de la producción de cerámica es la de aceptar un porcentaje determinado de productos con defectos, ya sean de acabado, estructurales o por contaminación del material, principalmente producto del quemado. Estos defectos pueden significar desde un 5 a un 25 por ciento del total de la producción y no necesariamente son pérdidas ya que muchos fabricantes los venden al costo como segundas o en lotes especiales. Una vez que sea más económico controlar las variables "normales" del proceso para evitar estos defectos se evitarán; sin embargo hasta ahora, controlarlos es más costoso que desechar la mercancía defectuosa.

5.6. México como productor de cerámica

México tiene ventajas competitivas importantes para desarrollar la industria de la cerámica dentro de los niveles de las empresas de clase mundial, tanto para el mercado interno que es muy grande como para el mercado de exportación.

Aún cuando las materias primas locales no se encuentran puras en la naturaleza, se encuentran materiales de buena calidad aún cuando se requiere de una mezcla noble que no se altere con los cambios propios de materiales naturales. Esto se da principalmente en el caolín por lo que se puede diseñar una fórmula donde se utilicen varios caolines de diferentes minas para reducir y controlar mejor las fallas o cambios en el suministro del material, mientras se logra un desarrollo de proveedores óptimo.

Para otros materiales como el feldespato, el sílice y el cuarzo existen proveedores de productos controlados químicamente por lo que es muy estable. Algunos barros naturales con características especiales de plasticidad se pueden importar ya que no se encuentran de proveedores nacionales.

Si analizamos el mercado interno, podemos ver que es muy basto. Aún cuando el poder de compra, es muy bajo para más del 50 por ciento de la población, bajo para un 30 por ciento de la población y el resto repartido en niveles de poder de compra entre medio y alto, se requieren de productos de consumo básico como platos y muebles sanitarios para los cuales existen un déficit en ciertos sectores del mercado. Además, si consideramos el crecimiento de población pronosticado, dentro de 20 años, tendremos unos 20 millones más de paisanos para los cuales habrá que continuar importando productos de bajo

precio para satisfacer las necesidades del mercado o desarrollar la industria específica tanto en productos de cerámica como en muchos más.

5.5. La cerámica del futuro.

La cerámica puede llegar a cambiar radicalmente la industria del futuro, con sus características de dureza, resistencia a la abrasión y al desgaste, resistencia térmica, bajo coeficiente de dilatación, acabado superficial, resistencia a la corrosión y bajo peso puede ser utilizada en varias aplicaciones y permitir la aplicación de tecnologías sin precedente.

- Superconductores.

Los superconductores son materiales que no ofrecen resistencia a la corriente eléctrica lo que les permite tener cualidades de levitación cuando se colocan cerca de un campo magnético o bien transmitir energía eléctrica sin pérdidas. Inicialmente se logró obtener materiales con estas características a temperaturas cercanas al cero absoluto (-273 °C) lo cual no es práctico, sin embargo, se ha logrado acercarse esta temperatura a casi 0 °C mediante la sinterización de materiales cerámicos mezclados con metales conductores, lo cual nos acerca mucho a alcanzar la utilización real de las ventajas de esta propiedad de los materiales. Los científicos aseguran que el papel de los materiales cerámicos de alta tecnología juegan un papel fundamental en la investigación de este tema.

- Transformación de energía.

La transformación a energía mecánica mediante motores y turbinas requiere de mecanismos expuestos a altas temperaturas. Incluso, se alcanzan mayores índices de eficiencia a temperaturas más elevadas donde muchos metales no pueden trabajar. Se han desarrollado ya prototipos de cerámica de monoblocks para motores de combustión interna, donde las actuales limitantes para una producción costeable son la estabilidad de la pieza y los requerimientos de maquinado para insertar las piezas móviles. Con la tecnología disponible actualmente esto no es posible, sin embargo, el desarrollo para nuevas tecnologías seguramente diseñará un método adecuado para aprovechar las características más sobresalientes de cada material.

Debido a la fragilidad al impacto de la cerámica, solo se ha concebido esta tecnología para plantas estacionarias o transportes como barcos y aviones donde no se exponen las piezas a impactos considerables.

Las fibras cerámicas, ampliamente utilizadas en la industria aeroespacial serán los aislantes térmicos más utilizados para aplicaciones específicas donde las altas temperaturas sean necesarias para operar.

- **Materiales compuestos.**

Existen aplicaciones para las cuales es difícil encontrar un material lo suficientemente duro y tenaz, por lo que se han desarrollado materiales compuestos como el concreto, la fibra de vidrio y los metales fortalecidos con cerámica.

Existen arreglos de cobalto y carburos con un 15 hasta un 90 por ciento de material cerámico. El carburo de tungsteno se utiliza desde hace mucho tiempo para herramientas de corte de metales y matrices de trefilería. La extrema dureza y resistencia al desgaste de los cerámicos los ha hecho también aplicables a la fabricación de cojinetes.

Los productos cerámicos tanto por su utilidad como por su belleza tendrán una demanda permanente mientras el hombre mantenga una sociedad civilizada.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- **Ceramic World Review.**
Produzione e consumo mondiale di piastrelle di ceramica.
Braziano Sezzi, 20/1996, Italy.

- **Ceramic World Review.**
Lo stato dell'arte nella produzione dei sanitari.
G.P. Bertolotti, R. Grassi, U. Volpati., 20/1996, Italy.

- **Global Ceramic Review.**
SITI News Update on Sanitaryware Production.
G.P. Bertolotti, R. Grassi, U. Volpati., No. 3/1996, England.

- **Ceramic Industry.**
Materials Handbook for Refractories, Traditional and Advanced Ceramics.
Volume 144 No.1 Business News Publishing Co. U.S.A.

- **Introducción a la tecnología de la cerámica.**
Paul Rado. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1990.

- **Pottery Making. A complete guide.**
John Dickerson, The Viking Press, Inc, New York, 1974.

- **El libro de la decoración.**
Selecciones del Reader's Digest. España, 1975.

- **Tecnología de la fabricación de azulejos.**
Editado por SACMI IMOLA, Volumen no comercial, 1986.

- **World Ceramics, an Illustrated History.**
Edited by Robert J. Charleston, The Hamlyn Publishing Group Limited.
Yugoslavia, 1990.

- Diccionario Enciclopédico Hispano Americano.
W.M.Jackson, Inc., C.H. Simonds Co., Estados Unidos de Norte América.

- Técnicas de la Cerámica.
Pravoslav Rada, Editorial Libsa, Madrid, 1990.

- Folletos técnicos de las siguientes compañías.

SACMI IMOLA, Via selice Provinciale 17/A, 113-40026, Imola Italy.

EUROTECH, Via Ghiarola Nuova 22, 41042 Fiorano, Italy.

RIEDHAMMER, Klingenhofstrasse 72, 90411, Nuremberg, Germany.

MORI s.p.a., Via Salfusito 81, 41100 Modena, Italy.

HEIMSOTH, Schützenallee 41, D-31134 Hildesheim, Germany.






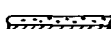

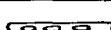
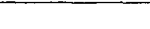
- Entrevistas con técnicos y personal de:
Fábrica de Loza El Anfora S.A. de C.V.
Calle Anfora 71, 15320, México D.F., México.

GUIA DE ACCIONES PARA EL AHORRO ENERGETICO POR PROCESOS Y EQUIPOS

TIPO DE ACCIONES	EQUIPO	Procesos			Procesos				
		Monococción.			Bicocción				
		Atomizador	Secadero	Horno	Secadero	Túnel	Mufla	Canales	Monostrato
1. Mejoras de mantenimiento y modos de operación.	Motivación	General			General				
	Mantenimiento	General			General				
	Optimización del modo de operación.	Contenido en sólidos Temperatura de entrada de gases de secado Disminución del consumo de energía eléctrica en las balsas de barbotina	Optimización de la recirculación del aire de secado	Utilización de composiciones más fundentes y composiciones más nobles a defectos Determinación de la curva "producción-consumo" Aumento de producción Reducción del espesor de las piezas	Optimización del funcionamiento del secadero	Utilización de pastas que no provoquen "mancha central" Disminución de las entradas de "aire falso" Disminución de la relación carga total / carga útil	Disminución de las entradas de "aire falso" Disminución de la relación carga total / carga útil Aumento de producción		Aumento de producción
2. Instalaciones de recuperación.		Emissiones gaseosas del horno al atomizador Recuperación de atomizado y de rasura de material crudo	Recuperación de aire caliente al secadero Recuperación de los humos del horno al secadero por medio de un intercambiador de calor	Aire de enfriamiento a los quemadores Secadero de vagonetas a la entrada del horno		Homogeneización de la temperatura en el precalentamiento Aire de enfriamiento a los quemadores Aislamiento de las paredes del horno	Homogeneización de la temperatura en el precalentamiento Aire de enfriamiento a los quemadores	Homogeneización de la temperatura en el precalentamiento Aire de enfriamiento a los quemadores	Aire de enfriamiento a los quemadores.
3. Sustitución de combustibles, equipos y procesos.		Cambio de diesel a gas natural Sistemas de cogeneración	Cambio de GLP por gas natural	Cambio de GLP por gas natural Cambio del horno en caso de horno túnel u horno con soporte de placa refractaria.		Cambio de diesel a gas natural Cambio de horno túnel por monoestrato	Cambio de diesel a gas natural Cambio del horno por monoestrato	Cambio de diesel a gas natural Cambio del horno por monoestrato	Cambio de GLP por gas natural.
		Cambio de proceso vía húmeda a vía seca			Cambio de proceso por monococción porosa.				

TABLA RESUMIDA DE LOS DEFECTOS CERAMICOS.

DEFECTO	CAUSA	CORRECCIONES
Esmaltes atacables por los ácidos	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando el esmalte tiene una relación de acidez superior a 3 (formula Seger). 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la relación de elementos Ácidos como: • SiO_2 . ZrO_2 . B_2O_3
Esmaltes atacables por las bases	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando el esmalte tiene una relación de acidez inferior a 1.5 (formula Seger) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la relación de elementos básicos como: • PbO . Alcalis . ZnO
Pinchados	<ul style="list-style-type: none"> • Fritas elaboradas de modo imperfecto. • Composición del vidrio muy alcalina. • Presencia de CO_2 . SO_3 en el soporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Engobar el soporte. • Usar fritas bien fundentes
Tendencia de la barbotina de esmalte a depositarse.	<ul style="list-style-type: none"> • Fritas ricas en álcalis y plomo (solución básica) • Exceso de materias primas con granulometría y peso específico elevado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Introducir ácidos para llevar la barbotina de esmalte a pH neutro. • Aumentar los agentes de suspensión: caolín, bentonita.
Secado dificultoso del esmalte en la pieza.	<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de materias plásticas o de granulometría muy fina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir las materias plásticas y sustituir las materias muy finas con otras más gruesas.
Escasa adherencia en crudo al soporte.	<ul style="list-style-type: none"> • Esmalte poco plástico 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la plasticidad con adición de caolín o sustituyéndolo por otro más plástico. • Molturar mas el esmalte.
Retiro del esmalte durante la cocción.	<ul style="list-style-type: none"> • Alta tensión superficial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir SiO_2-Al_2O_3-CaO-MgO. • Aumentar los fundentes Na_2O-K_2O Li_2O-PbO-B_2O_3 • Molturar menos el esmalte. • Disminuir el espesor de esmalte.
Escasa resistencia a la abrasión según normas visuales.	<ul style="list-style-type: none"> • Esmalte con coloración superficial. • Esmalte con coloración oscura. • Esmalte con superficie brillante o granulosa 	<ul style="list-style-type: none"> • Uniformar la coloración en todo el espesor del vidrio. • Evitar la coloración oscura y esmaltes con superficie brillante o granulosa. • Hacer la superficie con coloración desuniforme y variante.
Escasa resistencia a la abrasión según normas por pérdida de peso.	<ul style="list-style-type: none"> • Esmalte tierno o con superficie granulosa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Endurecer los esmaltes con Al_2O_3. • Evitar la superficie granulosa.

	Varios tipos de puntas	
	DEFECTOS SUPERFICIALES.	
CRATER		Defecto de bizcocho. Varía según la fusibilidad del vidrio.
PUNTA DE AGUJA		Contaminación del bizcocho. Frita mal fundida
DEPRESION		Punta de aguja muy ancha.
BURBUJA SUPERFICIAL		Impureza del combustible.
GRUMOS		Contaminación externa después del esmaltado.
PUNTOS NEGROS		Contaminación contenida en el esmalte.
MANCHAS NEGRAS		Contaminación contenida en el esmalte.
BURBUJAS OCLUIDAS SUPERFICIALES.		Impureza del combustible pero sin salir.
CORAZON NEGRO		Incompleta combustión de los residuos orgánicos.

Ficha de control para la formulación de pastas y barnices.

LLEGADA: _____			FICHA: _____		FICHA DE COMPOSICION: ESMALTE ____ PASTA ____		TIPO: _____
FECHA: _____				Pesada	Operario I turno: _____ Operario II turno: _____ Operario III turno: _____		
Matenas Primas	Composición %	Peso Seco Kg	Humedad %	Mat. Prim. Humeda Kg.	Horas molido Previstas	Rech. Prev.	Observaciones.
Total	100						