

Tema 7. Cerámica blanca: porcelanas

¿Qué se entiende por cerámica blanca?

Se define como un producto cocido que puede estar esmaltado o no y que es usualmente blanco y de textura fina

Entre los productos que se incluyen en el término de cerámica blanca, hemos de incluir los de pavimento y revestimiento, la loza, la china vítrea, el gres y la porcelana

Históricamente estos productos se han distinguido por su composición y la temperatura de cocción

¿Por qué es importante la industria de cerámica blanca?

Desde un punto de vista comercial la industria de cerámica blanca constituye alrededor del 7 % del mercado mundial de productos cerámicos

En el año 1996 las ventas de estos productos alcanzaron los 8.5 billones de dólares

Definiciones tradicionales de los diferentes productos de cerámica blanca

Un producto de **porcelana** es un producto blanco vítreo que puede estar vidriado o no, fabricado mediante el procesamiento de porcelanas y utilizado en aplicaciones técnicas, denominándose las porcelanas como eléctricas, químicas, mecánicas, estructurales y térmicas

Las temperaturas de procesamiento están entre 1160 y 1500 °C

Específicamente estos productos se caracterizan por presentar porosidad abierta nula

Los productos de **china vítrea** son blancos y pueden estar vidriados o no, habiendo sido fabricados mediante el procesamiento específico de la china vítrea

Estos productos no se utilizan en aplicaciones técnicas, denominándose como cerámicas de mesa, sanitarios o decorativos

Las temperaturas de procesado están entre 1300 y 1350 °C

El **gres** es un producto cerámico vítreo o semivítreo de textura fina, hecho básicamente de arcilla no refractaria cocida

Las temperaturas de procesado están entre 1220 y 1300 °C

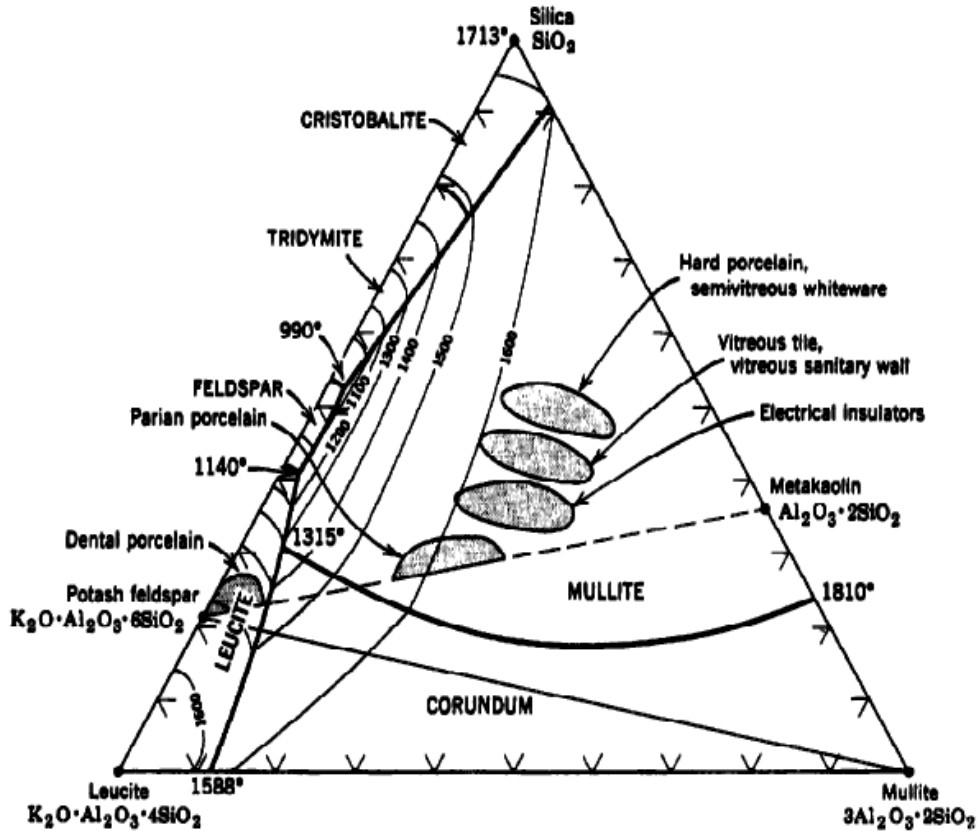
La **loza** es una cerámica blanca no vítrea, esmaltada o no

Las temperaturas de procesado están entre 1000 y 1050 °C

¡Es de destacar que en estas definiciones se incluyen en el caso de los productos de gres y loza productos blancos y de color. Además, en general los productos de gres no están esmaltados!

En este tema nos vamos a dedicar a considerar cuatro áreas relacionadas con los productos de porcelana: materias primas; procesado, incluyendo aspectos coloidales; cocción, incluyendo reacciones químicas, desarrollo de fases y evolución microestructural; y propiedades mecánicas

En cada área la discusión sobre porcelanas se refiere a mezclas triaxiales de arcilla, feldespato y material de relleno (cuarzo o alumina), no comentando aspectos específicos de los productos de loza y gres, así como los aspectos relacionados con el esmaltado y la decoración



Materias primas

Las porcelanas son productos triaxiales de cerámica blanca, conteniendo arcilla, feldespato y cuarzo.

La alumina puede sustituir al cuarzo para aumentar la resistencia mecánica del producto cocido y la nefelina sienita puede sustituir al feldespato

La composición química de las materias primas fundamentales y otras secundarias la mostramos en las tablas siguientes

Primary Raw Materials Used in the Manufacturing of Commercial Whitewares

| Raw material | Nominal composition | Common impurities |
|---------------------|--|--|
| Ball (plastic) clay | $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | Quartz, † TiO_2 , Fe_2O_3 |
| Kaolin (china) clay | $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | Montmorillonite, quartz |
| Soda feldspar | $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ | K_2O , CaO , MgO , quartz |
| Potash feldspar | $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ | Na_2O , CaO , MgO , quartz |
| Nepheline syenite | $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{SiO}_2$ | CaO , MgO , quartz |
| Alumina | Al_2O_3 | Na_2O |
| Quartz | SiO_2 | TiO_2 , Fe_2O_3 |

† Quartz impurity in ball clay may be as high as 35 wt%.

Secondary Raw Materials Used in the Manufacturing of Commercial Whitewares

| Raw material | Nominal composition | Common impurities |
|-----------------------------|--|--|
| Bentonite/montmorillonite | $\dagger(\text{M}^{2+})(\text{M}^{3+})_4(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ | Not applicable |
| Glass frits | Company specific | Not applicable |
| Petalite (lithium feldspar) | $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ | Na_2O , K_2O |
| Bone ash | $\ddagger\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ | Unknown |
| Talc | $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | Chrysotile, CaO |
| Whiting | CaCO_3 | MgCO_3 |
| Zircon | $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ | Not applicable |

† This unconventional form for presenting the composition was chosen for the highly variable divalent (M^{2+}) and trivalent (M^{3+}) cation levels present in montmorillonites.

‡ Bone ash is commonly used as a flux for bone china.

Un componente esencial aunque menos controlado es el agua utilizada como componente en los diferentes métodos de moldeo

En general se utiliza agua potable suministrada por la red urbana, pero es necesario controlar los contenidos de cationes tales como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+

Variabilidad de la concentración de estos cationes en algunas zonas de Estados Unidos

Typical Chemical Analysis of Several Tap Water Samples at Some Locations in the USA Showing a Broad Range of Variability †

| Tap water site | Cation concentration(ppm) | | | | |
|--------------------|---------------------------|------|-----|-----|-----|
| | Ca | Mg | Na | K | Si |
| Distilled water | BDL | BDL | BDL | ADL | BDL |
| Alfred, NY | 52.3 | 20.2 | 28 | 4 | 5 |
| Buffalo, NY | 28.7 | 9.1 | 12 | 6 | ADL |
| Syracuse, NY | 40.2 | 9.4 | 14 | ADL | BDL |
| Victor, NY | 41.5 | 12 | 21 | BDL | 1.5 |
| Columbus, OH | 7.5 | 1.6 | ADL | 4 | ADL |
| East Liverpool, OH | 28.2 | 7.3 | 21 | 2 | 1.9 |
| York, PA | 21.3 | 6.2 | 9 | 7 | 2.5 |
| Detection limit | 0.1 | 0.1 | 1. | 1. | 0.5 |

† Induction coupled plasma spectroscopy was used to obtain the results. BDL indicates that the cation level was below the detection limit (as specified); ADL indicates species concentration at the detection limit.

Incluso utilizando agua de la red pública bien controlada, los niveles (concentración) de estos iones pueden variar originando cambios importantes en la **reología de las suspensiones** y en la **plasticidad**

Arcillas

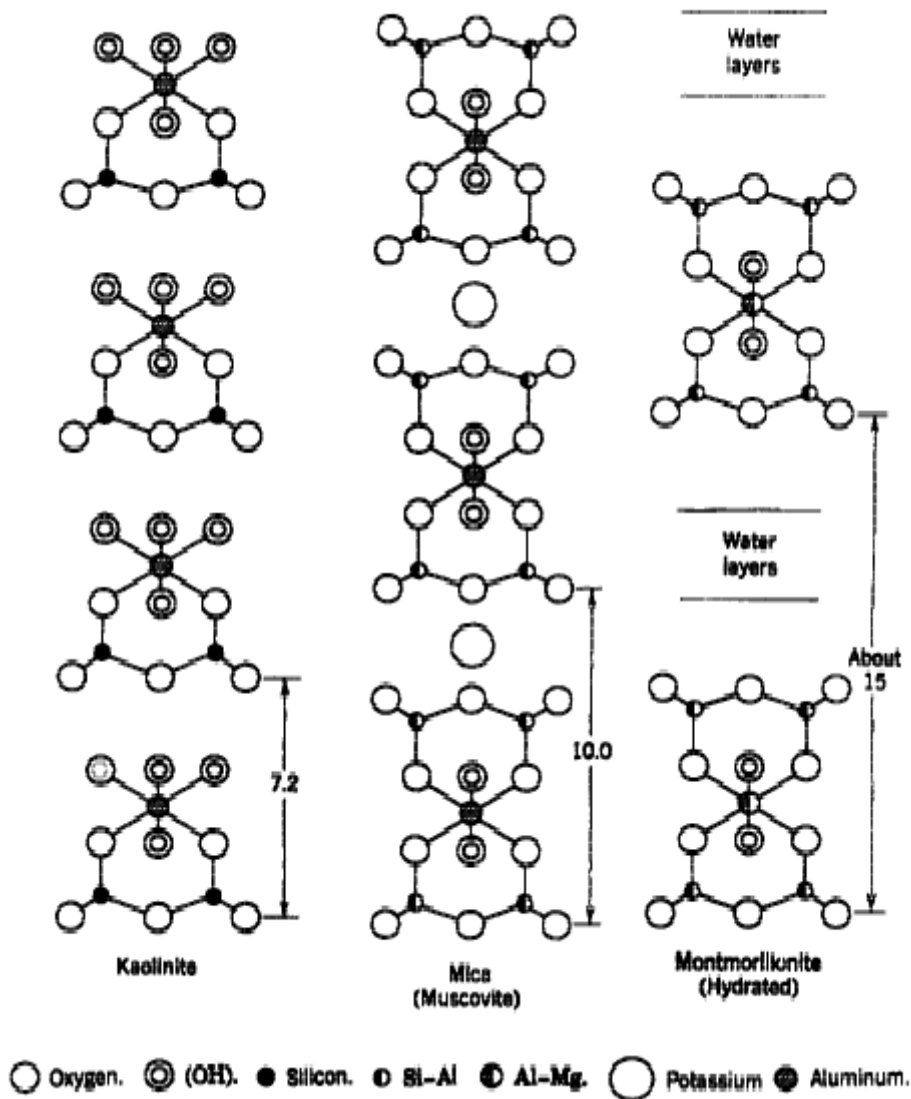
Este término se refiere a las materias primas que

aportan plasticidad y resistencia mecánica durante las etapas de moldeo en el proceso de producción, y

que contribuyen sustancialmente a la coloración del producto cocido

El mineral de arcilla más usual es la **caolinita**

es un silicato laminar compuesto de una capa de $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{-2}$ y de una capa de $[\text{Al}_2(\text{OH})_4]^{+2}$

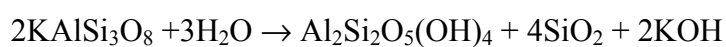


La fórmula teórica de la caolinita es $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ frecuentemente expresada como $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Formación

Se forman por descomposición de rocas feldespáticas en procesos geológicos

Un ejemplo es la reacción a partir del feldespato potásico



Si no se elimina adecuadamente el potasio durante el proceso se forman arcillas **ilíticas** (capas de silicatos 2 : 1)

Tipos

Caolines (china clays) y arcillas (ball clays)

Las diferencias mineralógicas y químicas son mínimas

Ambas son caoliníticas en naturaleza

contienen cuarzo como principal impureza, y

hierro (Fe_2O_3) y titanio (anatasa) como impurezas secundarias

Typical Chemical Analysis of a Georgia Kaolin, a Kentucky Ball Clay, and an English Kaolin

| Component | Composition (%) | | |
|--------------------------------|-----------------|--------------------|----------------|
| | Georgia kaolin | Kentucky ball clay | English kaolin |
| SiO ₂ | 45.30 | 44.70 | 46.77 |
| Al ₂ O ₃ | 38.38 | 38.30 | 37.79 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.30 | 0.60 | 0.36 |
| TiO ₂ | 1.44 | 2.40 | 0.02 |
| MgO | 0.25 | 0.10 | 0.24 |
| CaO | 0.05 | 0.10 | 0.13 |
| Na ₂ O | 0.27 | 0.10 | 0.05 |
| K ₂ O | 0.04 | 0.10 | 1.49 |
| LOI (950°C) | 13.97 | 13.60 | 12.97 |

Las ball clay usualmente contienen residuos orgánicos, por lo que son oscuras incluso negras

Los caolines contienen usualmente montmorillonitas y esmectitas

silicatos laminares 2 :1 de composición variable

¡La presencia de montmorillonitas y esmectitas puede tener un impacto importante en la reología y plasticidad del producto de porcelana !

Características físicas

La estructura laminar de las arcillas las diferencia de otros polvos cerámicos comunes

La morfología laminar de las partículas de arcilla da lugar a su alta superficie específica, de 18 a 30 m²/g

Estas características originan la plasticidad intrínseca a los sistemas agua-arcilla

Fundentes

Historicamente los feldespatos potásicos han sido los fundentes más utilizados en porcelanas

Los feldespatos potásicos raramente son puros

contienen albita (feldespato sódico) y anortita (feldespato calcico)

Actualmente, se utiliza la nefelina sienita (compuesto de los minerales nefelina, albita y microclina y con una relación alta, de 4 : 9, de alcalinos : sílice)

reduce la temperatura de cocción

aumenta los contenidos de alcalinos en la fase vítrea

Rellenos

Constituyen la fracción de tamaño de partícula más grueso en un material de porcelana y tienen varias funciones

Aumentar la resistencia al agrietamiento en el secado

Formar una estructura esqueleto durante la cocción para disminuir la deformación piropástica

El cuarzo es el relleno más utilizado

Su tamaño (63 μm) es muy importante en la evolución de la microestructura de la porcelana

No obstante, el cuarzo no disuelto es el responsable del deterioro de las propiedades mecánicas

Transición de fase desplazativa de cuarzo β → cuarzo α durante el enfriamiento

La alúmina calcinada es utilizada como sustituto del cuarzo

Mejorando las propiedades mecánicas

La velocidad de disolución de alumina es extremadamente lenta comparada con la de cuarzo

debido a la solubilidad limitada de la alúmina en el vidrio feldespático

Procesado

En este punto se incluyen las diferentes etapas incluidas en la preparación de un producto conformado seco

El procesado viene determinado por el **método de conformación (moldeo)** a utilizar

El posterior **secado** del producto moldeado (**en verde**) será necesario para todo tipo de productos previamente a la **cocción**

Dependiendo del tipo de producto a fabricar el procesado de los productos de porcelana puede ser mediante dos vías

Seca, las materias primas se mezclan directamente con agua en un mezclador

Los contenidos de agua utilizados están en el intervalo entre 18 y 21 % en peso

Es función de la superficie específica de las partículas y de los contenidos de impurezas y dispersantes (aunque no se suelen utilizar)

Húmeda, formando una suspensión de arcillas en agua, usualmente con adición de dispersantes, a la que después de envejecer durante 24 horas se le adiciona los componentes **desgrasantes** (fundentes y relleno)

La suspensión se vuelve a dejar envejecer y se ajusta la viscosidad mediante la adición de **aditivos poliméricos** y **sales solubles**

Common Polymeric Additives and Soluble Salts Used in the Whitewares Industry to Control Suspension Behavior and Processing Performance

| Additive name | Nominal composition | Role | Common use |
|--------------------|----------------------------------|-------------|-------------------------|
| Na-PMA | Na-poly(acrylic acid) | Dispersant | Slips, plastic bodies |
| Na-PMAA | Na-poly(methacrylic acid) | Dispersant | Slips, plastic bodies |
| Sodium silicate | Na ₂ SiO ₃ | Dispersant | Slips, plastic bodies |
| Sodium chloride | NaCl | Flocculant | Slips, plastic bodies |
| Calcium chloride | CaCl ₂ | Flocculant | Slips, plastic bodies |
| Magnesium chloride | MgCl ₂ | Flocculant | Slips, plastic bodies |
| Magnesium sulfate | MgSO ₄ | Flocculant | Slips, plastic bodies |
| PEG | Poly(ethylene glycol) | Plasticizer | Dry pressing (with PVA) |
| CMC/Methocel | Carboxy methyl cellulose | Binder | Improve glaze adherence |
| PVA | Poly(vinyl alcohol) | Binder | Dry pressing |

¡Las arcillas contribuyen con ~ 95 % del area superficial de la composición, consecuentemente el comportamiento coloidal de las arcillas domina la reologia de los productos de porcelana !

A partir de la suspensión de la composición y por eliminación del agua mediante filtros prensa se obtienen porciones de material (tortas) en estado **plástico** que se utilizan en técnicas de conformación como la **extrusión** y **calibrado**

Las porciones plásticas pueden redispersarse de nuevo en agua para utilizar las suspensiones (**barbotinas**) en el método de moldeo por **colaje**

Cocción

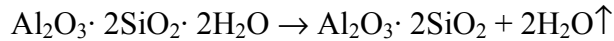
Las reacciones químicas y el desarrollo microestructural y por tanto las propiedades de la porcelana tratada térmicamente son afectadas por la temperatura, tiempo y tipo de horno en el que se realice el proceso de cocción

Cada vez más se utiliza el **proceso de cocción rapida**, lo que disminuye efectivamente el coste de producción

Reacciones en el proceso de cocción

Para una composición estandar de porcelana se pueden destacar la secuencia de reacción siguiente

1. A aproximadamente 550 °C se produce la deshidroxilación de los grupos hidroxilos que contiene la caolinita, formando metacaolinita



Este proceso es endotérmico y puede ser seguido por ATD y TG

2. A 573 °C se produce la transición de fase de cuarzo α a β

No tiene consecuencias en el ciclo de calentamiento por la relativa gran flexibilidad del entramado de partículas empaquetadas

3. Se forma sanidina, feldespatos alcalinos mezcla en el intervalo de 700 a 1000 °C

La temperatura de formación depende de la relación sodio/potasio

4. Entre 950 y 1000 °C el metacaolín transforma en una fase con estructura espinela y sílice amorfa libre

La estructura cristalina y composición de la espinela está todavía en discusión

Estudios de microanálisis recientes indican que se trata de un aluminosilicato con estructura de $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ conteniendo alrededor de 8 % en peso de SiO_2

5. La sílice amorfa liberada anteriormente, muy reactiva, facilita la formación de fundido eutéctico a 990 °C, correspondiente al eutéctico de fusión del feldespato potásico con sílice

En los diagramas ternarios $\text{K}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ y $\text{Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ se observa que las temperaturas de los correspondientes eutécticos son dependiente del tipo de feldespato, ~990 °C para el potásico y 1050 °C para el sódico

La generación de fase líquida a menor temperatura es muy favorable económicamente

6. A ~1075 °C la fase espinela transforma en mullita, denominada **mullita primaria**

La morfología de esta fase es escamosa y partículas muy pequeñas ($< 0.5 \mu\text{m}$)

Análiticamente esta mullita parece ser rica en alúmina, con composiciones próximas a la 2:1 ($2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)

7. A $\sim 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ se forma mullita en el residuo de las partículas de feldespato, obteniéndose la denominada **mullita secundaria**

La morfología de esta fase es acicular y las partículas son grandes ($> 1 \mu\text{m}$)

Análiticamente esta mullita parece ser rica en sílice, con composiciones próximas a la 3:2 ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)

¡Asimismo, comienza la disolución de cuarzo !

8. Una tercera forma de mullita surge en los bordes de los granos de alúmina, en porcelanas aluminosas, denominada **mullita terciaria**, que se forma a temperaturas superiores a $1300 \text{ }^\circ\text{C}$

Son partículas pequeñas de $50 \text{ nm} \times 10 \text{ nm} \times 10 \text{ nm}$

9. A temperaturas superiores a $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ el cuarzo transforma en cristobalita

10. Al comienzo del enfriamiento la deformación y relajación pirolástica en el vidrio impide el desarrollo de tensiones hasta temperaturas por debajo de la temperatura de transición vítrea

Por debajo de esta temperatura comienzan a desarrollarse tensiones residuales por el desajuste entre los coeficientes de expansión térmica de la fase vítrea y las fases cristalinas incluidas

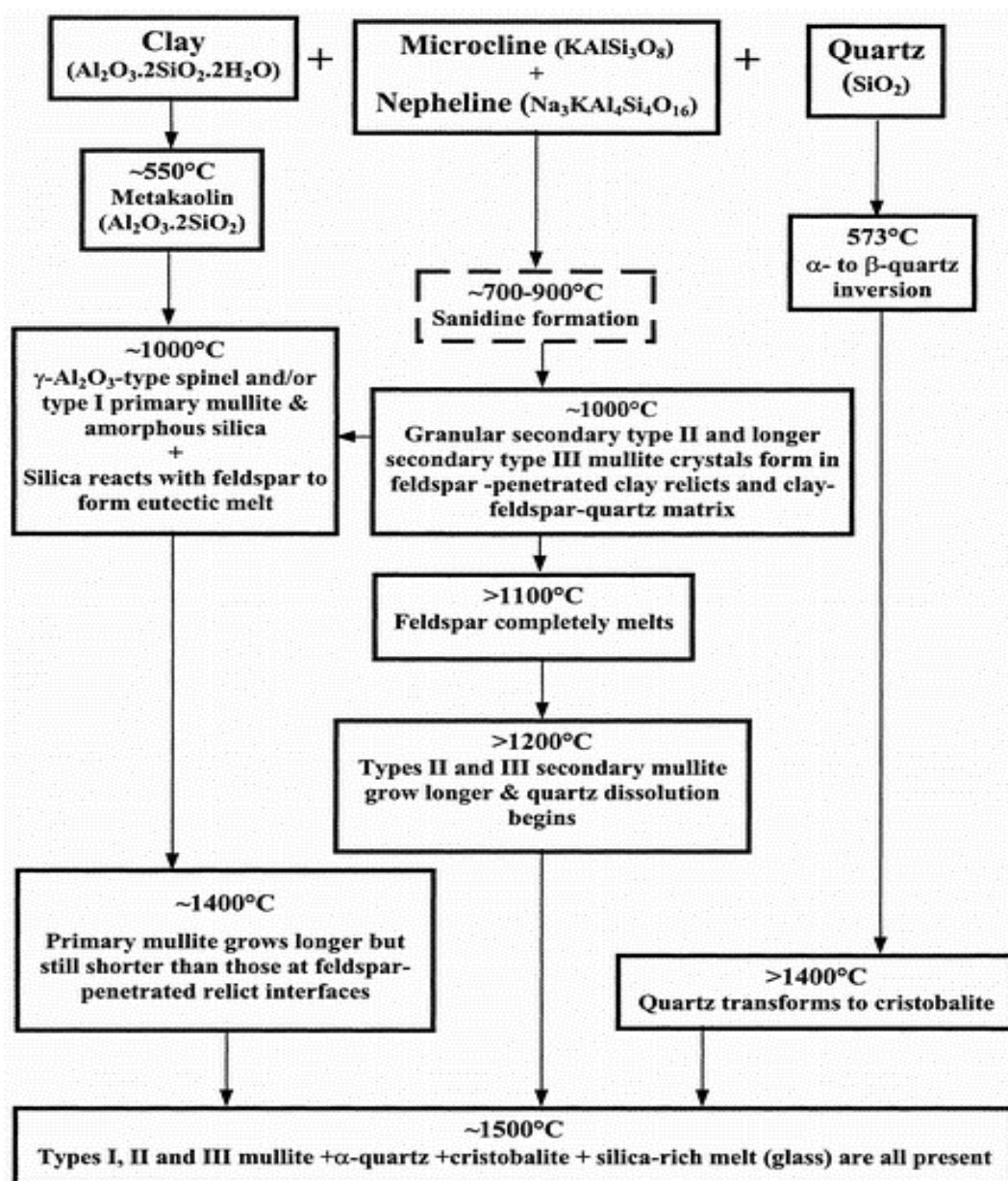
A $573 \text{ }^\circ\text{C}$ se produce la inversión del cuarzo β a α resultando una contracción del 2 % en el volumen de la partícula

Lo que puede producir tensiones suficientes para generar grietas entre la fase vítrea y los granos de cuarzo

Incluso entre 225 y 250 °C se puede producir la transformación de cristobalita β a α , con un incremento de volumen del 5 %

Se requiere una energía de activación alta en dicha transición

Diagrama explicativo de los cambios experimentados en el procesado térmico de la porcelana



Microestructuras generadas en porcelanas a distintas temperaturas durante el procesamiento térmico

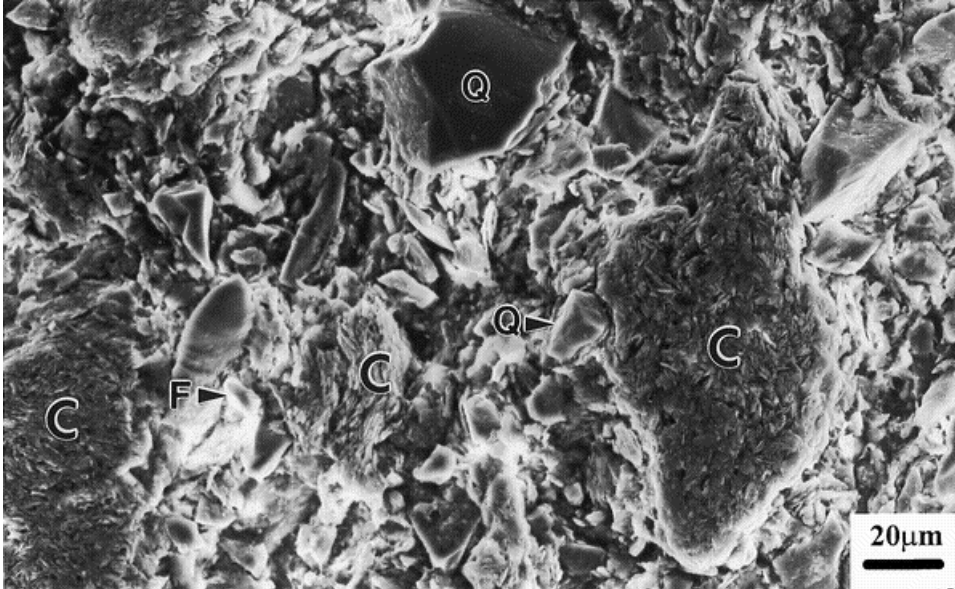
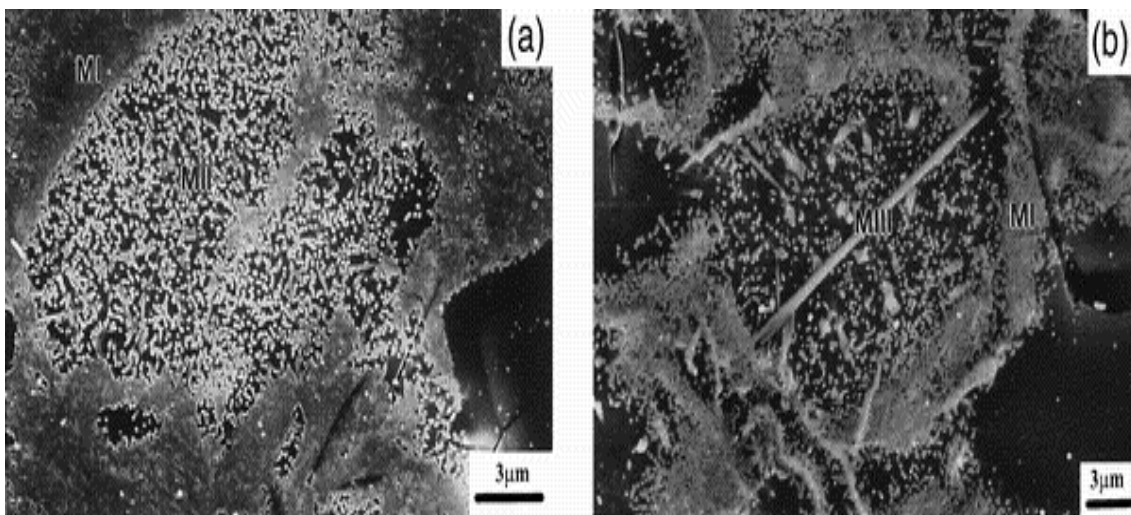


Imagen de microscopía electrónica de barrido de porcelana sometida a 700 °C durante 3 horas (Q es grano de cuarzo, C es resto de arcilla y F grano de feldespato)



a) Imagen de microscopía electrónica de barrido de porcelana sometida a 1300 °C durante 3 horas mostrando mullita escamosa (MI) y mullita granular (MII) formados en residuos de arcilla pura y restos de aglomerados de arcillas penetrados por feldespato, respectivamente ; b) Imagen de microscopía electrónica de barrido de lamisma muestra mostrando cristales de mullita elongados (~ 20 μm) de MIII formados en la matriz conteniendo granos mezclados de arcilla-feldespato

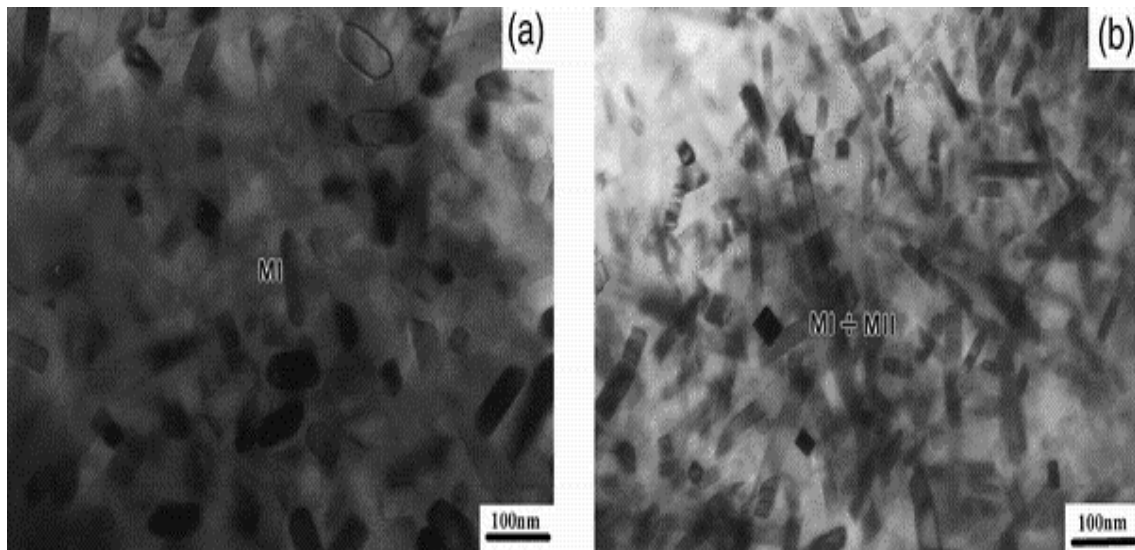


Imagen de campo oscuro mediante microscopía electrónica de transmisión de porcelana sometida a 1300 °C durante 3 horas, a) restos de arcilla pura cristales de mullita primaria, y b) restos de arcillas penetradas por feldespato conteniendo cristales de mullita secundaria largos junto con cristales de mullita primaria cuboidales

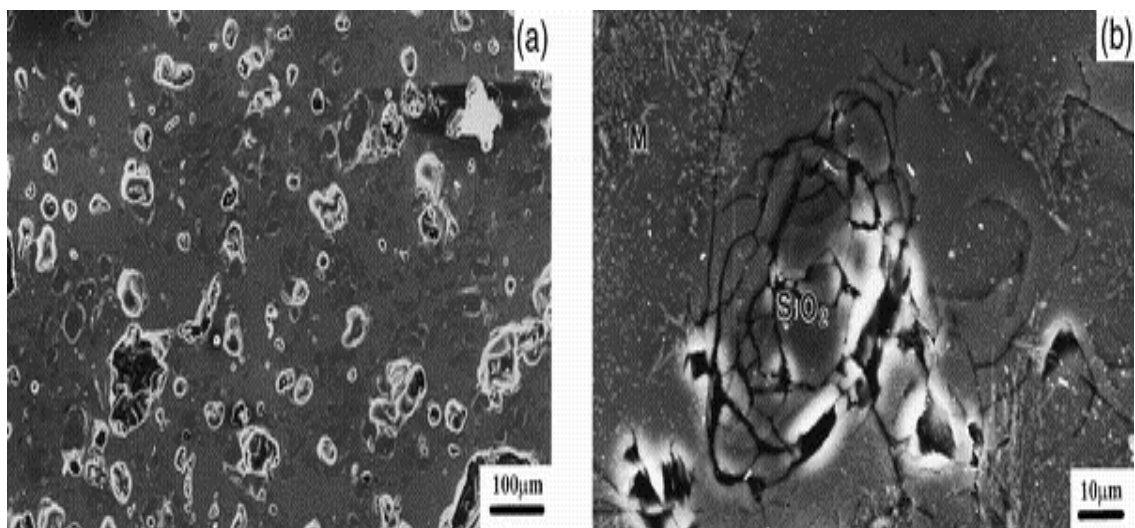
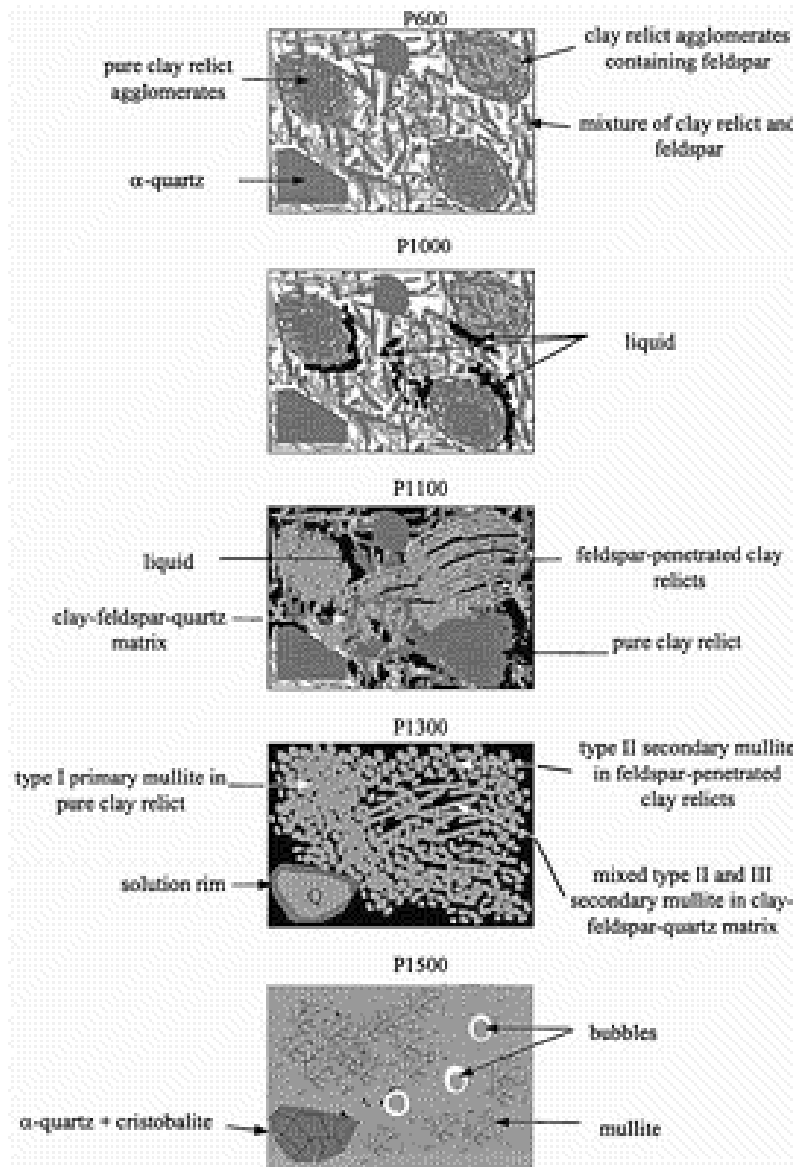


Imagen de microscopia electrónica de barrido de a) muestra de porcelana a 1400 °C/3 horas atacadas mostrando burbujas, y b) a 1500 °C/3horas mostrando agujas de mullita M en el vidrio de silicato potásico. Es de notar que el agrietamiento de los granos de cuarzo indican transformación parcial de cuarzo en cristobalita

Ilustración esquemática de la evolución microestructural sugerida en porcelanas triaxiales



Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de la preclana se han explicado mediante tres teorías

Hipótesis de la mullita

Se basa en la idea que la resistencia de la porcelana es muy dependiente del entramado de finas agujas de mullita entrecruzadas

Ciertos resultados indican que al aumentar el contenido de mullita aumenta la resistencia

Ya que al aumentar la temperatura de cocción las agujas de mullita crecen y el entrecruzamiento no es tan eficiente resulta una disminución de la resistencia

¡La temperatura debe ser, por tanto, la adecuada para generar el contenido mayor de agujas de mullita de tamaño óptimo !

Hipótesis del reforzamiento de la matriz

Se basa en la idea del reforzamiento de la matriz

La diferencia entre los coeficientes de expansión térmica entre la matriz (fase vítrea) y de las partículas dispersas (cuarzo o alúmina) o fases cristalinas formadas en el proceso de cocción (mullita o cristobalita) produce fuertes tensiones de compresión en la matriz

En el caso de la porcelana las fases cristalinas contraen más que la matriz produciéndose grietas alrededor de las partículas

Se ha demostrado que el tamaño de partícula es crucial para el desarrollo de grietas en porcelanas

Para cristales de cuarzo grandes, tamaños de 50 a 150 μm , se observan fracturas periféricas continuas en o cerca de los límites de grano y fracturas de la matriz interconectadas

Para tamaños de entre 25 y 50 μm se detectan fracturas periféricas menos severas y escasas fracturas de matriz

En el caso de granos menores de 10 μm solo fracturas periféricas ocasionales con total ausencia de fracturas de matriz

La máxima resistencia se ha obtenido para partículas de cuarzo de 25 μm

Hipótesis de endurecimiento-dispersión

Esta hipótesis propone que las partículas dispersas, como la alúmina limitan el tamaño de las grietas conduciendo a un aumento de resistencia

Consideraciones generales sobre la resistencia

El tamaño intrínseco de grieta es quizás el factor predominante en la resistencia de la porcelana y depende en gran medida de la microestructura

El caso más simple son los poros esféricos en una matriz densa constituida por la fase vítrea

¡Los factores que controlan la resistencia en cerámicas policristalinas polifásicas, como las porcelanas, son : los coeficientes de expansión térmica de las fases ; las propiedades elásticas de las fases ; la fracción en volumen de las diferentes fases ; el tamaño de partícula de las fases cristalinas y las transformaciones de fase !

Palabras clave y conceptos

Cerámica Blanca (Whitewares) : Existe una rama de la Cerámica, que frecuentemente se ha denominado “Cerámica blanca” y que fundamentalmente comprendía la vajilla de mesa y la cerámica artística, pero que en la actualidad abarca otras muchas formas de la cerámica y que tiende a denominarse “Cerámica Fina”. Norton la define como la producida con pasta (soporte) cerámica de textura fina y controlada y que puede ser vidriada o no.

Porcelana : Producto de pasta blanca, denso, generalmente de composición triaxial, vitrificado, homogéneo y translúido.

Loza : Son artículos de porosidad media o alta, que pueden ir recubiertos de una capa de vidriado.

Cerámica porosa : Son productos cuya porosidad abierta es media o alta.

Cerámica densa : Son productos con porosidad abierta nula.

Tipos de porcelana : Según la temperatura de cocción las porcelanas se pueden clasificar en duras (1300 ° a 1600 °C), semiduras (1250 ° a 1280 °C) y tiernas (1150° a 1250 °C). Circunstanacialmente, las porcelanas se designan por su utilización, en : porcelana de mesa, sanitaria, química, electrotérmica, artística, etc.

Tipos de loza : En función de la composición y temperatura de procesado se distinguen tres tipos de loza. Loza calcárea, de baja temperatura, de composición media 50 % de arcilla, 35 % de sílice y 15 % de creta. Loza feldespatico-calcárea (mixta), de temperatura media, con composición media 50 % de arcilla, 40 % de sílice, 7.5 % de creta y 2.5 % de feldespato. Loza feldespatica, de alta temperatura, de composición media 50 % de arcilla, 45 % de sílice y 5 % de feldespato.

Procesamiento industrial de materiales de Cerámica Blanca : En productos de cerámica blanca procesados mediante monococción, la etapas del procesado industrial

son las siguientes : mezclado y molturación de materias primas, conformación, secado, decoración y cocción.

Materias primas en Cerámica Blanca : Además de las materias primas denominadas grasas o plásticas, esto es arcillas y caolines, son necesarias las denominadas desgrasantes o no plásticas, esto es sílice y fundentes. Como fundentes se utilizan básicamente los feldespatos, y en algún tipo de loza carbonatos, tales como creta y/o dolomita.

Arcillas : Son productos de meteorización de rocas ígneas, por lo que frecuentemente se habla de mineral o sustancia arcillosa. Las propiedades fundamentales de las arcillas están relacionadas con su manipulación y trabajabilidad (plasticidad, resistencia en seco, desgaste a la abrasión, etc.), con el comportamiento en el secado (contracción, deformación, facilidad de secado, etc.) y con el comportamiento en la cocción (contracción, deformación, margen de cocción, etc.)

Caolines : Son desde un punto de vista geológico arcillas jóvenes, en los que la caolinitización está teniendo lugar todavía.

Sílice : La sílice libre es el segundo componente importante en un material cerámico tradicional. Los principales materiales silíceos naturales usados en la industria cerámica son : cuarzo, rocas silíceas, sílice amorfa, etc. La función de la sílice depende del tipo de producto. Así, mientras en los materiales porosos (lozas) actúa de relleno, en los densos (porcelana) ayuda a la formación de vidrio e incluso puede mejorar la resistencia mecánica.

Feldespatos : Los feldespatos y materiales feldespáticos son los fundentes más valiosos usados en pastas (soportes) y esmaltes cerámicos, particularmente en la fabricación de lozas, greses y porcelanas. Los feldespatos no tienen un punto de fusión definido, la

ortosa $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6 SiO_2$, que es el más utilizado, empieza a fundir a los 1160 °C, siendo completa la fusión a 1290 °C.

Métodos de conformación o moldeo en Cerámica blanca : La porcelana y en general los productos de Cerámica blanca pueden ser moldeados mediante cualquiera de las técnicas utilizadas en la producción de productos cerámicos: colaje, extrusión, calibrado y prensado.

Secado : Antes de tratar térmicamente los productos cerámicos es necesario eliminar el agua necesaria en el proceso de moldeo mediante la operación de secado.

Decoración : Es el conjunto de operaciones mediante el que se aplica el esmalte y/o motivos decorativos en el soporte cerámico

Tratamiento térmico o cocción : Procesado térmico controlado generalmente de monococción, en el que el soporte desarrolla la microestructura adecuada al tipo de producto y el esmalte se desarrolla como recubrimiento vítreo impermeable.

Secuencia de reacción en un producto de porcelana : Las reacciones que tienen lugar (en el soporte) durante el proceso de cocción de porcelana, y en general de los diferentes productos de Cerámica Blanca, dependen de la composición y temperatura. Estos procesos se han estudiado mediante técnicas de difracción de rayos X y microscopías electrónicas de barrido y transmisión, en los diferentes modos: imagen, análisis y difracción de electrones. Básicamente, en el tratamiento térmico de estos productos se pueden considerar tres etapas. Así, a bajas temperaturas las diferentes materias primas sufren reacciones particulares que no se ven afectadas por la presencia de otros componentes, a temperaturas medias los fundentes comienzan a generar fases líquidas, y finalmente las fases líquidas generadas reaccionan a alta temperatura con las formas cristalinas de las materias primas presentes y con las fases cristalinas formadas en los procesos previos.

En el caso de la porcelana, desde una mezcla de partida de caolinita, feldespato potásico y cuarzo pasamos, a temperaturas entre 1300° y 1500 °C, a un producto denso formado por fases cristalinas y vítreas. La fase cristalina principal es mullita, pudiendo estar también presentes otras como cuarzo, cristobalita y en las porcelanas denominadas aluminosas corindón.

Es de notar que todos los procesos anteriores pueden seguirse en los diagramas de fase, concretamente en el caso de la porcelana en el diagrama ternario $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$.