



# Materiales y materias primas

## Cerámicos

Capítulo 6

Guía didáctica

Autor | Andrés Pinto

## Autoridades

---

Presidente de la Nación  
**Dra. Cristina Fernández de Kirchner**

Ministro de Educación  
**Dr. Alberto E. Sileoni**

Secretaría de Educación  
**Prof. María Inés Abrile de Vollmer**

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica  
**Lic. María Rosa Almandoz**

Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica  
**Lic. Juan Manuel Kirschenbaum**

Director Nacional de Educación Técnico Profesional y Ocupacional  
**Ing. Roberto Díaz**

---

### **Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.**

Saavedra 789. C1229ACE.  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.  
República Argentina.  
2011

---

Director de la Colección:  
**Lic. Juan Manuel Kirschenbaum**

Coordinadora general de la Colección:  
**Claudia Crowe**

Diseño didáctico y corrección de estilo:  
**Lic. María Inés Narvaja  
Ing. Alejandra Santos**

Coordinación y producción gráfica:  
**Augusto Bastons**

Diseño gráfico:  
**María Victoria Bardini  
Augusto Bastons  
Martín Alejandro González  
Federico Timerman**

Ilustraciones:  
**Diego Gonzalo Ferreyro  
Martín Alejandro González  
Federico Timerman**

Administración:  
**Cristina Caratozzolo  
Néstor Hergenrether**

Colaboración:  
**Jorgelina Lemmi  
Psic. Soc. Cecilia L. Vázquez  
Dra. Stella Maris Quiroga**

---

“Colección Encuentro Inet”.

Director de la Colección: Juan Manuel Kirschenbaum.

Coordinadora general de la Colección: Claudia Crowe.

Queda hecho el depósito que previene la ley N° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Reproducción autorizada haciendo mención de la fuente.

Industria Argentina

---

#### ADVERTENCIA

La habilitación de las direcciones electrónicas y dominios de la web asociados, citados en este libro, debe ser considerada vigente para su acceso, a la fecha de edición de la presente publicación. Los eventuales cambios, en razón de la caducidad, transferencia de dominio, modificaciones y/o alteraciones de contenidos y su uso para otros propósitos, queda fuera de las previsiones de la presente edición -Por lo tanto, las direcciones electrónicas mencionadas en este libro, deben ser descartadas o consideradas, en este contexto-.

# Colección Materiales y materias primas

Serie producida por el Canal Encuentro junto con el Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET). A lo largo de catorce capítulos\* el ciclo desarrolla el origen, las propiedades, el contexto de descubrimiento y la utilización de diferentes materiales y materias primas, y el impacto que causaron en la vida de la humanidad durante su historia.

Aire, aluminio, hierro, azufre, polímeros, madera, cerámicos son algunos de los protagonistas de esta colección.

## DVD 1

**Capítulo 1**  
Los Materiales y la humanidad

**Capítulo 2**  
Aire

**Capítulo 3**  
Madera

## DVD 2

**Capítulo 4**  
Azufre

**Capítulo 5**  
Minerales de hierro

**Capítulo 6**  
Cerámicos

**Capítulo 7**  
Aluminio

## DVD 3

**Capítulo 8**  
Biomateriales

**Capítulo 9**  
Polímeros

**Capítulo 10**  
Materiales compuestos

## DVD 4

**Capítulo 11**  
Silicio

**Capítulo 12**  
Nanomateriales

\* La versión impresa de la colección **Materiales y materias primas** está constituida por doce capítulos. La parte 1 y 2 de las series **Los materiales y la humanidad** y **Nanomateriales** fueron unificadas respectivamente.

# Imágenes del capítulo



# Índice | Cerámicos

## Red conceptual

### 6.1. Evolución de la cerámica

- ◆ 6.1.1. Tecnologías primitivas
- ◆ 6.1.2. De la edad media a la revolución industrial
- ◆ 6.1.3. Época actual
- ◆ 6.1.4. ¿Por qué esta influencia de la temperatura?

### 6.2. Procesos cerámicos

- ◆ 6.2.1. Materias primas
  - 6.2.1.1. Materia prima mineral
  - 6.2.1.2. Materias primas más importantes en la industria cerámica
- ◆ 6.2.2. Arcillas y caolines
- ◆ 6.2.3. Minerales silíceos
- ◆ 6.2.4. Feldespatos:
  - 6.2.4.1. Composiciones químicas típicas de los feldespatos
  - 6.2.4.2. Yacimientos en la argentina
  - 6.2.4.3. Feldespato
- ◆ 6.2.5. Otras materias primas minerales

### 6.3. Procesos de conformado

- ◆ 6.3.1. Deformación plástica
- ◆ 6.3.2. Torneado y calibrado
- ◆ 6.3.3. Prensado
- ◆ 6.3.4. Extrusión
- ◆ 6.3.5. Colado
- ◆ 6.3.6. Secado
- ◆ 6.3.7. Cocción (sinterizado)
- ◆ 6.3.8. Tratamientos posteriores
- ◆ 6.3.9. Esmaltado

### 6.4. Aplicaciones

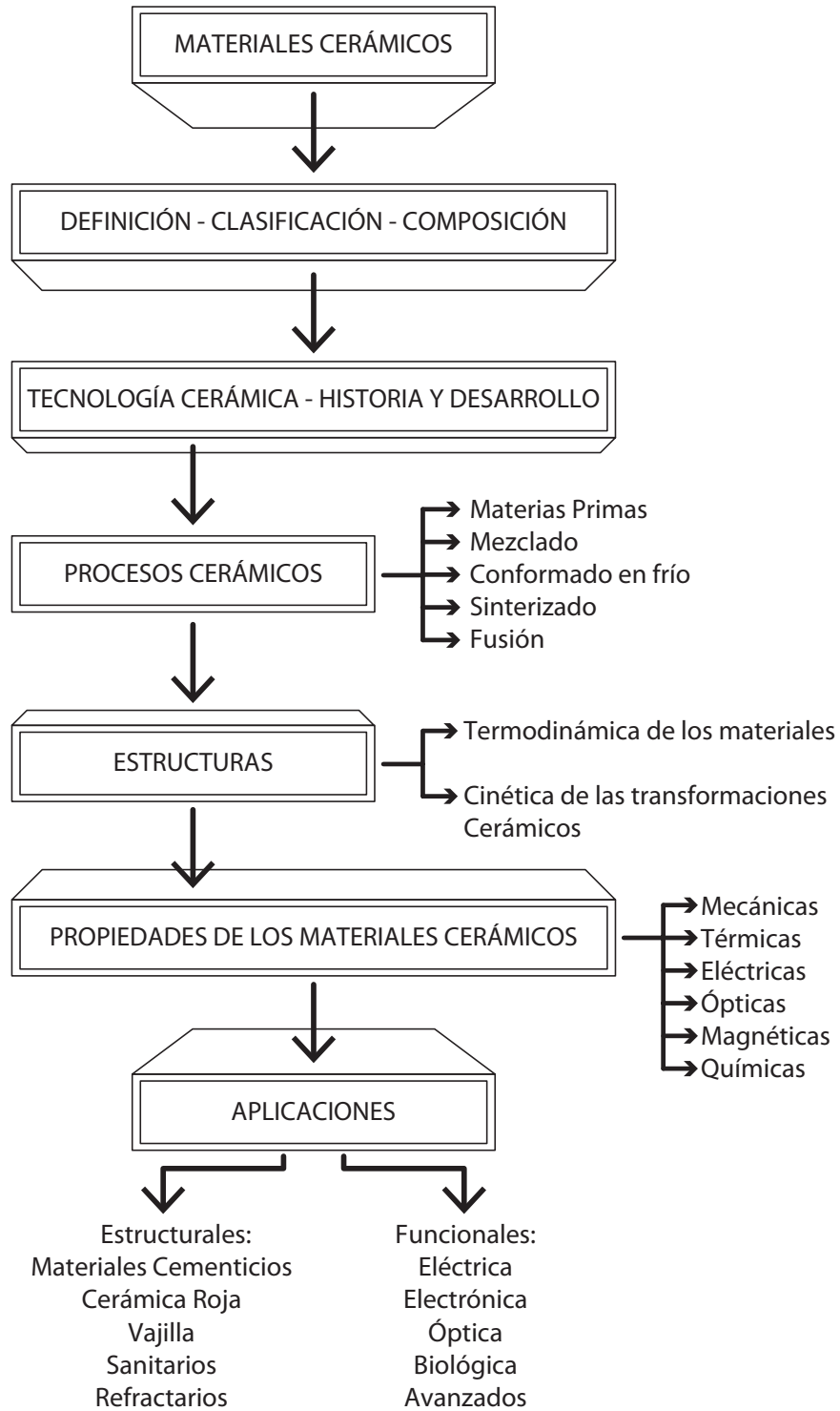
- ◆ 6.4.1. Cerámica roja
- ◆ 6.4.2. Revestimientos para pisos y paredes
- ◆ 6.4.3. Vajillas
- ◆ 6.4.4. Porcelanas

## **6.5. Cerámicos avanzados**

- ◆ 6.5.1. Elementos estructurales
- ◆ 6.5.2. Cerámicos piezoeléctricos
- ◆ 6.5.3. Cerámicos para reactores nucleares
- ◆ 6.5.4. Elementos calefactores cerámicos

## **Bibliografía**

# Red Conceptual





## 6. Cerámicos

### 6.1. EVOLUCIÓN DE LA CERÁMICA

Para un mejor entendimiento del tema dividiremos la evolución de la cerámica en tres períodos:

- el preindustrial,
- el de la revolución industrial y
- el de la actual revolución científico-técnica.

#### 6.1.1. Tecnologías primitivas

Nada se sabe de los comienzos de la alfarería, excepto que surgió de forma independiente en varios lugares. La diferencia entre la cerámica de una cultura y de otra están dadas por el tipo de materia prima usada y por la técnicas de cocción que podían ser a fuego abierto (la más primitiva), en pozos o, más elaborada en hornos primitivos, siendo la leña el combustible universal utilizado.

La alfarería sin cocción ya se conocía en el año **7000 a. A.C.** y la modalidad cocida parece datar del año **4500 a A.C.** Poco después surgen las primeras figuras de barro cocidas, con sentido religioso o lúdico y los grandes recipientes de cerámica que se utilizaban como urnas funerarias.



Gracias a los restos de cerámicos que los arqueólogos encontraron, pudieron seguir la huella de las primitivas civilizaciones. La alfarería, tal como se encuentra en Egipto, Asia menor, Creta, Grecia y el Nuevo Mundo contaba de utensilios blandos pocos cocidos y muy frágiles. Hasta el principio de la era cristiana, en China no se dispuso de hornos para cocción a altas temperaturas que permiten la obtención de gres mucho más resistente. Este material sustituyó a la loza de barro de los países bajos, ya en el siglo XV. Un poco más tarde, este tipo de material se introdujo en Inglaterra donde se refinó empleando arcillas más puras que daban un color blanco grisáceo. Este gres como el anterior se esmaltaba con sal, técnica que parece provenir de los países bajos.



Con la evolución de las técnicas de fabricación de objetos metálicos por fusión y colado (primero cobre y bronce, luego plata, plomo y hierro), surgió la necesidad de disponer de crisoles y moldes resistentes a altas temperaturas. Primero se usaron rocas graníticas y, luego, al encontrar arcillas de alto punto de fusión (bajo contenido de álcalis), se fabricaron con estas últimas. Nacieron así los materiales cerámicos refractarios, indisolublemente ligados desde su origen a la industria metalúrgica.

### 6.1.2. De la edad media a la revolución industrial

Durante la **edad media europea**, los adelantos técnicos provinieron del mundo árabe. La expansión islámica difundió en todo el mundo la cerámica de Mesopotamia, de Egipto, de Siria de Al-Andalus (hoy España) y, principalmente, de Persia, la más desarrollada técnicamente y artísticamente. Persia fue, entre los **siglos VIII y XII**, uno de los centros cerámicos de alto nivel conectado hacia el oeste con el Cercano Oriente y con el este con India y China; con los chinos los persas mantuvieron un importante intercambio de objetos y técnicas y la porcelana china parece haber tenido imitadores en Persia.

El auge de la cerámica moderna comienza en Italia, en el **Renacimiento**; luego se expande al resto de Europa. Quizás el adelanto más importante en toda la historia de la cerámica fue la producción de porcelana propiamente dicha en China. Se trataba de un nuevo material notablemente superior a la arcilla cocida, más liviana y translúcida que producía un sonido particular al ser golpeado, sus decoraciones que utilizaban los más diversos colores y diseños eran indelebles. Este producto no apareció repentinamente sino que fue un refinamiento gradual del gres durante varios siglos.

*Unas cuantas piezas de porcelana llegaron a Europa en tiempos de Marco Polo, para envidia y desesperación del alfarero continental que aún producían objetos pocos cocidos. De ahí se comenzaron a realizar grandes esfuerzos para imitarla. Muchas casa reales ofrecían premios y regímenes de promoción (monopolios) ya que los productos fabricados en Europa (loza mayólica) no podían competir en calidad.*

La transferencia de tecnología o el robo de secretos de fabricación eran prácticamente imposibles por el celo con que los chinos protegían sus técnicas, por la distancia y por el idioma, sin olvidar que Europa no conocía una arcilla con las características similares del caolín chino. Los japoneses lograron apoderarse de los secretos de fabricación en el **siglo XVII**, estimulados por el hallazgo en su país de un yacimiento de caolín similar al chino.

La invención de la porcelana verdadera o porcelana dura tuvo lugar en Alemania unos cien años más tarde, por dos alquimistas Ehrenfried Walter von Tschirnhausen y Johannes Friedrich Böttger. Sus investigaciones fueron hechas en Meissen y financiadas por el príncipe Gran Elector de Sajonia. Partieron de un caolín descubierto en esa época cerca de Meissen, lo mezclaron con un feldspato y lo cocieron a temperatura más alta que las utilizadas habitualmente en los hornos de cerámica. De los numerosos experimentos obtuvieron un gres por vitrificación de la capa superficial al aumentar la temperatura en la etapa final de cocción. El gres dio origen a una importante industria de revestimientos, cañería para desagües, etc, que se difundió por toda Europa.

En **1709** murió Tschirnhausen, Böttger obtuvo una porcelana muy similar a la china, aunque algo más densa que se llamó “Porcelana verdadera” o “porcelana continental” o “porcelana

dura” y que se difundió no sólo para vajilla (porcelana de hotel) sino también para usos químicos y, más adelante, para aisladores eléctricos.

Böttger murió en **1719** y pese a la fábrica Meissen en mantener los secretos, estos se fueron difundiendo y se instalaron fábricas en otros países: en primer lugar en Inglaterra y Francia. En Inglaterra durante la mitad del **siglo XVIII** se inventó un nuevo material, se llamó “Bone China” “porcelana de hueso” porque los huesos (bone) de buey calcinado eran unos de los constituyentes principales.

*Esta porcelana es muy translúcida y blanca, sigue siendo parte principal de la producción inglesa de vajilla. Cabe señalar que aún las mejores porcelanas europeas actuales no tienen las mismas características que las chinas de aquellas épocas, lo que pone en relieve la importancia de las materias primas utilizado.*

Otro impulso importante en el desarrollo de los materiales cerámicos, fue la creciente exigencia por parte de la industria metalúrgica y vidriera, con respecto a la resistencia de los materiales refractarios tanto a las altas temperaturas como a la acción corrosiva de los fundidos.

La revolución industrial comenzó a mediados del **siglo XVIII** y tuvo como característica más importante la mecanización de los procesos, la sustitución de los artesanos por los especialistas y la sustitución de la manufactura por la gran industria (líneas de producción). Sin embargo, se reconoce que la industria cerámica clásica avanzó mucho más lentamente que otras ramas de las industriales. Esto puede ser atribuido a la gran dependencia de las características de las materias primas, el escaso conocimiento sobre los procesos térmicos (sinterización y fusión) y las dificultades para producir en grandes series. Todos estos factores tendieron a privilegiar el secreto de fabricación. A fines del **siglo XIX** y mitad del **siglo XX** es cuando se produce la gran revolución industrial de los materiales cerámicos, debido a las importantes innovaciones llevadas a cabo en los procesos de fabricación.

*Por ejemplo: los procesos continuos de cocción a partir del desarrollo del los hornos continuos (de fuego móvil) diseñado por Hoffmann y, luego, lo hornos túneles.*

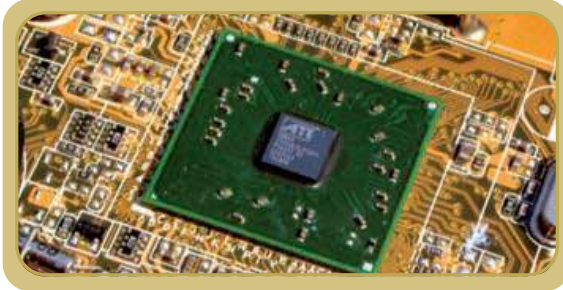
Los adelantos ingenieriles fueron acompañados por una profundización de los conocimientos y la aplicación del método científico a la producción. Un ejemplo claro de esto es el caso del químico Alemán Herman Seger (1839-1893) que inventó los conos pirométricos, sistema que permitió un control con gran exactitud de las temperaturas de los hornos en una época que no había instrumento de medición adecuada.

Con el advenimiento de la electricidad y la necesidad de materiales aislantes, se desarrollan productos a base de mica y esteatitas y, luego, las porcelanas eléctricas para aisladores de alta tensión.

### 6.1.3. Época actual

Sin lugar a dudas, estamos en una época de auge de los materiales cerámicos, con una cantidad y variedad de aplicaciones. Como consecuencia de la revolución científico técnica producida a partir de mediados del siglo XX, han aparecido una gran cantidad de procesos y productos nuevos como los cerámicos avanzados y los materiales compuestos. Los materiales

cerámicos avanzados se han convertido en la base del desarrollo de nuevas tecnologías y en insumos de alto valor estratégico para la microelectrónica, los vehículos espaciales, los nuevos sistemas de producción de energía, las biotecnologías y otros campos. Esta revolución ha llevado, también, a un mejoramiento en los procesos productivos de los materiales tradicionales.



No se puede estudiar ningún material independientemente de los procesos de fabricación, ya que sus propiedades dependen de la tecnología utilizada. Los procesos de fabricación determinan su estructura interna y las características de sus superficies, de ambos parámetros dependen sus propiedades. Por lo tanto, controlando, adecuadamente, las materias primas utilizadas y los parámetros de los procesos se obtiene materiales cerámicos con diversas propiedades.

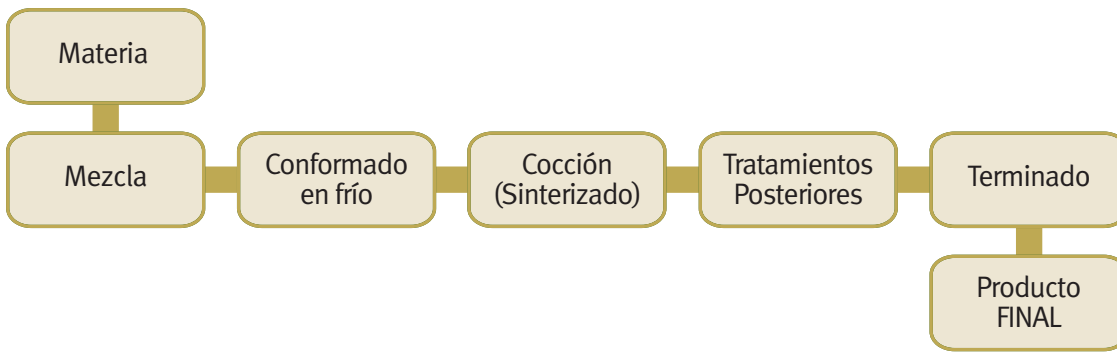
La industria cerámica no fabrica productos finales solamente, sino que producen productos intermedios que sirven de insumos a otras industrias: metalúrgica, eléctrica, electrónica, nuclear, automotriz, etc. Es decir, no hay campo que no se use algún material cerámico incluida la medicina.

En todos los casos, las etapas del proceso de fabricación que más influye sobre las propiedades son los tratamientos térmicos. El estudio de los ciclos térmicos y el diseño de los hornos juegan un papel fundamental en la tecnología cerámica.

#### 6.1.4. ¿Por qué esta influencia de la temperatura?

Porque la temperatura es el factor que regula la cinética del proceso. El control de los ciclos térmicos en tiempo real son el camino por el cual se llega a una microestructura determinada, ya sea por acercarse al equilibrio termodinámico en el caso de materiales policristalinos, como alejarse lo más posible de él en el caso de materiales no cristalinos.

**Los procesos cerámicos tradicionales (en base como se fabrican en todo el mundo) se esquematiza a continuación:**



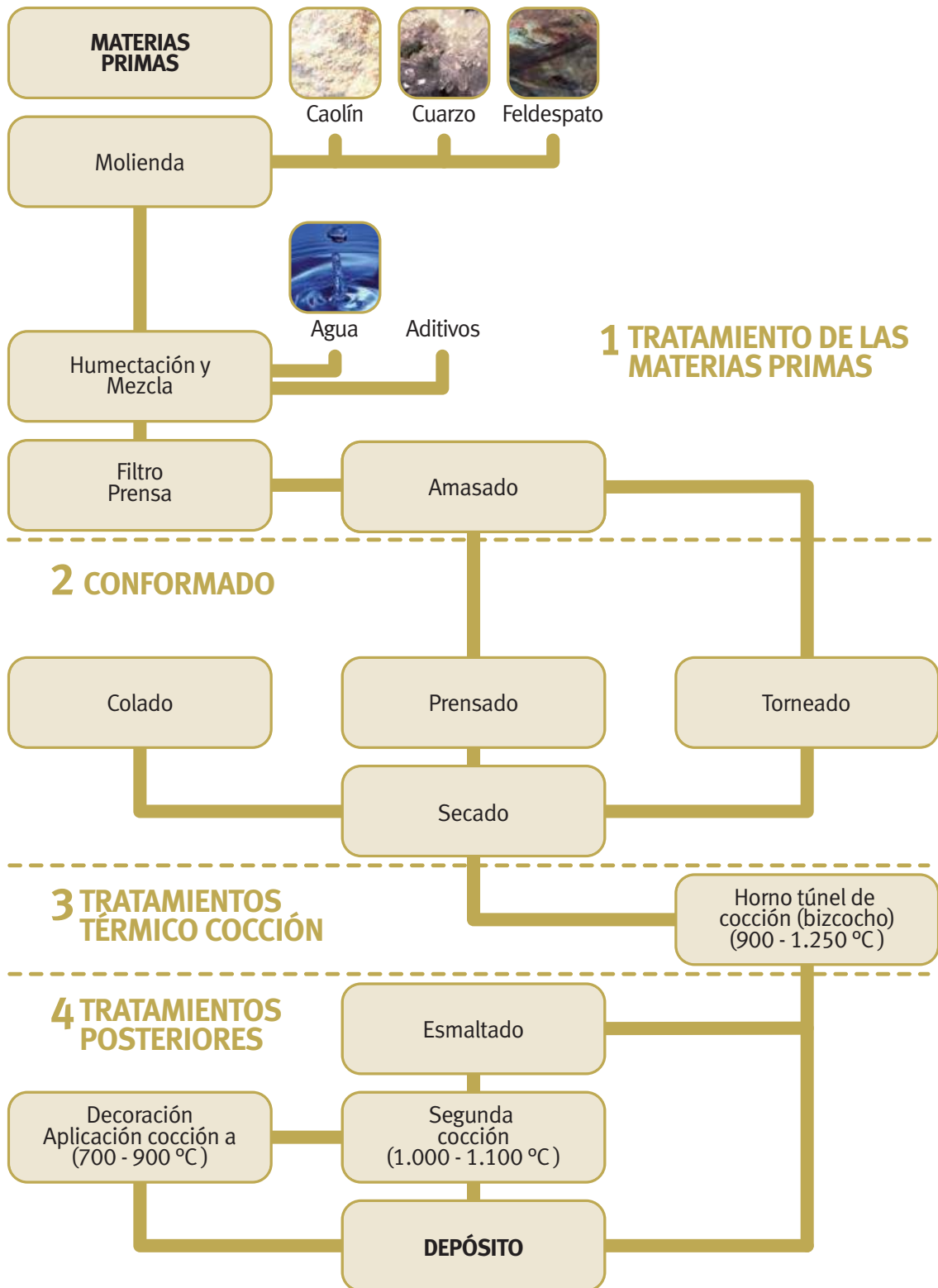
El primer paso es la mezcla de las materias primas (minerales, productos químicos, materiales reciclados) en forma de polvo con la granulometría controlada y con agregado de agua también controlada. Una vez obtenido la mezcla, se realiza el conformado en frío (ver procesos de conformado) y se obtiene la pieza crudo (material policristalino), luego se le realiza el tratamiento térmico (sinterizado) (ver procesos de conformado) adecuado siendo ésta la etapa fundamental para obtener la microestructura deseada condicionada por la composición de las materias primas.

En los siguientes esquemas se muestran los diagramas de flujo de los procesos para:

**Obtención de ladrillos de tejas:**



## Obtención de porcelana:



## 6.2. PROCESOS CERÁMICOS

La tecnología cerámica ha ido evolucionando, desde la época en que todo dependía de las materias primas disponibles en yacimientos hasta la actualidad, en que lo fundamental es el proceso cerámico, es decir el “Know How” y la metodología científica sustituye el secreto de la materia prima utilizada. Ya casi no se usan los minerales tal cual son extraídos; por lo general se los somete a tratamientos de concentración y purificación para poder establecer las especificaciones lo más precisas posible sobre la calidad que permitan caracterizar, perfectamente, la materia prima en especial con respecto a: Composición química, mineralógica (componentes principales, impurezas, etc.), distribución granulométrica, características fisico-químicas, ensayos orientativos (uso potencial), etc. Las materias primas tradicionales usadas en forma masiva, pasa a ser productos industriales básicos (comodities), en cuanto a las cerámicas avanzadas se usan materias primas nunca antes utilizadas de alta pureza.

### 6.2.1. Materias primas

La industria cerámica actual exige cuatro requisitos fundamentales de las materias primas que utilizan:

- Calidad y constancia a lo largo del tiempo.
- Especificaciones y tolerancias rigurosas con respecto a la concentración mínima de los componentes mineralógicos y químicos deseados, y a los porcentajes máximos de otros minerales no deseados.
- Cantidad suficiente y suministro ininterrumpido.
- Bajo costo para mantener los costos de producción.

Estas exigencias las establece el sistema de calidad de cada fábrica, ya que la cadena de calidad comienza desde la materia prima hasta el producto terminado.

Conviene distinguir tres tipos de materias primas:

- De origen mineral (materias primas minerales).
- Productos químicos (materias primas sintéticas).
- Materiales reciclados de origen propio o externos.

Las características del producto final van a depender de las características de la materia prima utilizada.

#### 6.2.1.1. Materia prima mineral

Desde los comienzos de la cerámica, las materias primas minerales básicas han sido y seguirán siendo los silicatos y aluminosilicatos que son las rocas más abundantes en la corteza terrestre. Las arcillas en particular, han constituido y constituyen la base de la industria cerámica, otros minerales utilizados son los feldespatos, cuarzo, carbonatos de calcio y magnesio, etc. En la siguiente tabla indican las materias primas minerales más importantes:



### 6.2.1.2. Materias primas más importantes en la industria cerámica

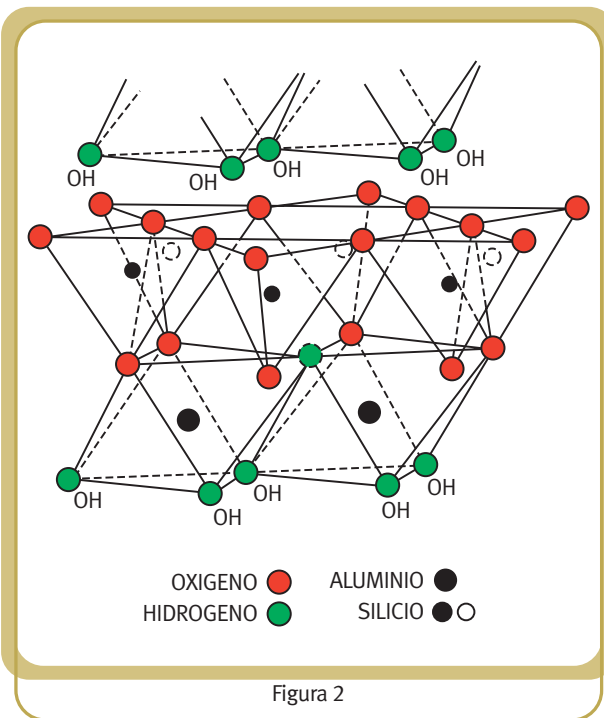
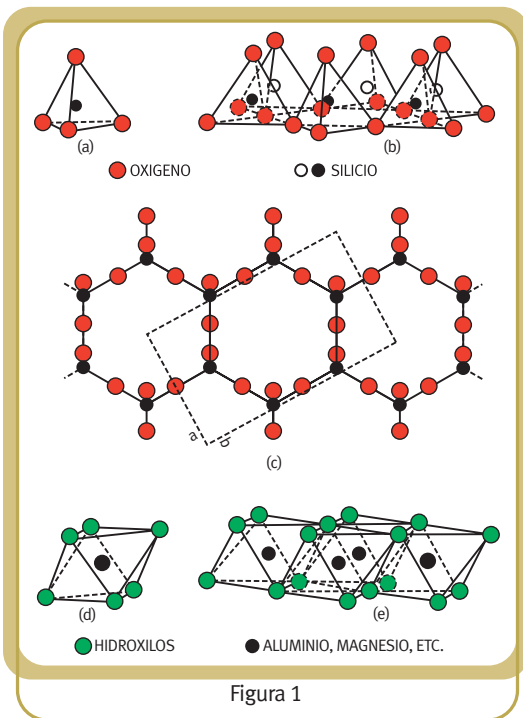
Industria	Productos más importantes	Materias primas minerales más importantes	Productos químicos más importantes
Cerámica roja	Ladrillos Bloques tejas	Arcillas	
Cerámica blanca	Vajilla, sanitarios, porcelana eléctrica	Caolín, feldespato, cuarzo, esteatitas	Fritas, pigmentos para esmaltes
Revestimientos	Pisos, azulejos	Arcillas, feldespatos, cuarzo	Fritas, pigmentos, esmaltes.
Refractarios	Ladrillos de diversa composición, crisoles, hormigones	Arcillas refractarias, magnesitas, cromitas sillimanitas, cuarzo	Carburo de silicio, alúmina calcinada, tabular

### 6.2.2. Arcillas y caolines

Las arcillas son el producto de disgregación total o parcial de las rocas ígneas por acción del agua y los agentes atmosféricos (en especial el dióxido de carbono), temperatura y presión durante largos períodos de tiempo (eras geológicas millones de años). Por esta razón el término arcilla no corresponde a una composición química o mineralógica definida; las arcillas son mezcla de diversas especies minerales, esto dependerá de la composición de la roca madre de partida. Esto hace muy complicado el estudio de las mismas y la evaluación de los yacimientos que, por el mismo motivo, presentan una elevada heterogeneidad. El término caolín, sin ser mucho más preciso, designa a una arcilla con un elevado porcentaje de caolinita (mínimo 80%) y con un bajo contenido de impurezas, especialmente, en el contenido de óxido de hierro. La composición teórica de la caolinita es: Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ): 39,56 %, óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ): 46,54 %, y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ): 13,90 % en masa. En las arcillas naturales dichos porcentajes son distintos por la presencia de otros minerales y de impurezas como ser: el óxido de titanio, calcio, magnesio, potasio, sodio y hierro. El contenido importante de éste último es característico de las arcillas rojas utilizadas en la fabricación de ladrillos y tejas.

Las arcillas (silicoaluminatos hidratados), en cuya estructura química participan principalmente Silicio (Si), Aluminio (Al), Oxígeno (O) e Hidrógeno (H), pertenecen a la familia de los filosilicatos, cuya unidad estructural básica es el tetraedro compuesto por Silicio y Oxígeno ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ) (figura: 1); dichos tetraedros se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas llamadas (capas tetraédricas) que constituyen la red fundamental de los filosilicatos.



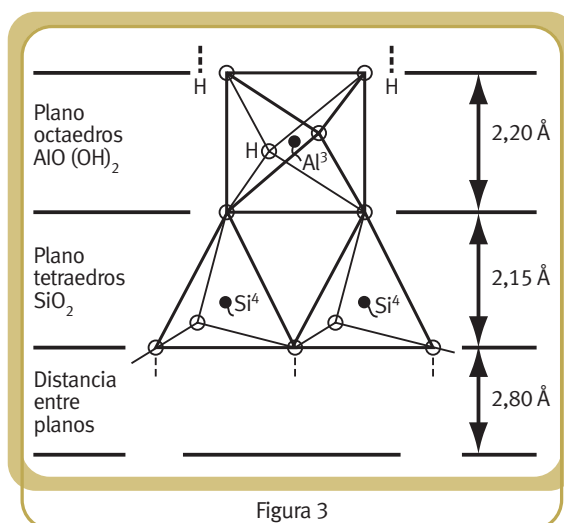


En estas redes los tetraedros se distribuyen formando hexágonos (figuras 1). El silicio tetraédrico puede estar sustituido, en parte, por  $Al^{3+}$  o  $Fe^{3+}$ , sustituciones isomórficas que dan lugar a cargas libres. Los oxígenos del cuarto vértice del tetraedro (oxígenos sin compartir u oxígenos apicales), se orientan perpendicularmente a la capa y forman parte de una capa octaédrica adyacente, formada por octaedros de grupos hidroxilos ( $OH^-$ ) que se unen compartiendo las aristas (figura 2).

En algunos filosilicatos las láminas no son eléctricamente neutras debido a las sustituciones de unos cationes por otros de distinta carga (sustituciones isomórficas).

El balance de carga se mantiene por la presencia en el espacio interlaminar o espacio existente entre dos láminas consecutivas de cationes individuales (como por ejemplo: sodio ( $Na^+$ ), potasio ( $K^+$ ), magnesio ( $Mg^{2+}$ ), calcio ( $Ca^{2+}$ )). También sucede que las capas tetraédricas y octaédricas se combinan, no en relación 1:1 sino 2:1, es decir tetra-octa-tetra.

Aunque la caolinita se encuentra dentro del grupo de las arcillas ésta, desde el punto de vista de su estructura, tiene diferencias, ya que, en vez de tener dos filas de tetraedros y una de octaedros, ella tiene una sola fila de tetraedros de sílice y una octaédrica de óxido de aluminio de allí el elevado contenido de este óxido. En la (figura 3) se observa en forma esquemática la estructura de la caolinita.



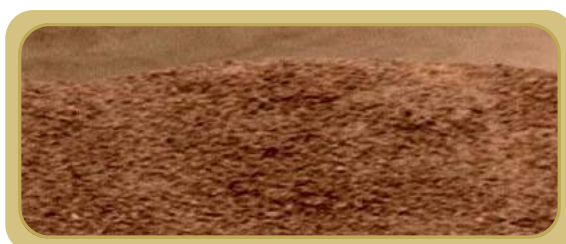
### 6.2.3. Minerales silíceos

El cuarzo es la forma cristalina de la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) más abundante en la naturaleza. El cuarzo se encuentra en depósitos solo o en mezclas con otras rocas, como micas, feldespatos o como subproductos del lavado del caolín. La industria de la cerámica utiliza al cuarzo molido. Las arenas son productos de la desintegración mecánico-geológica de rocas silíceas, su componente principal es el cuarzo y cuando supera el 95% de su composición mineralógica se llama arenas silíceas.



### 6.2.4. Feldespatos:

Los feldespatos son silicoaluminatos de sodio y/o potasio, se encuentra en las pegmatitas, son formaciones de rocas magmáticas en las que se encuentran puros o mezclados con otros minerales comúnmente cuarzo y micas. Raramente, se encuentra en la naturaleza especies mineralógicas puras por lo que su composición varía ampliamente. El sodio (Na) y el potasio (K) se sustituyen mutuamente en la microclina y la albíta respectivamente, mientras que el Na puede reemplazar parcialmente al calcio (Ca) en la anortita.



#### 6.2.4.1. Composiciones químicas típicas de los feldespatos

% de óxido	Feldespatos potásicos	Feldespatos sódicos
$\text{SiO}_2$	68,5	70,4
$\text{Al}_2\text{O}_3$	17,2	18,8
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,08	0,30
$\text{TiO}_2$	0,10	0,10
CaO	0,60	0,10
MgO	0,20	0,05
$\text{K}_2\text{O}$	9,80	2,50
$\text{Na}_2\text{O}$	3,10	7,50
Pérdida por calcinación a 1.000 °C %	0,40	0,40

En la industria cerámica interesan los feldespatos alcalinos como la ortoclasa, la microclina y la albíta. Los feldespatos cálcicos (anortita y otros) no se emplean mucho en cerámica. Los feldespatos se usan, ampliamente, en la fabricación de porcelana, lozas, esmaltes, porcelanato, etc. La presencia de álcalis hace que su punto de fusión sea mucho más bajo que el del cuarzo y alúmina, de hecho cumple con la función de fundente dentro de la mezcla.

#### 6.2.4.2. Yacimientos en la Argentina

**Cuarzo:** Históricamente los centros de mayor producción de cuarzo y minerales asociados a las pegmatitas se localizan en las sierras de **Córdoba** y **San Luis**.

En la provincia de **San Juan** se encuentran numerosos depósitos de pegmatitas distribuidos en el basamento cristalino de las sierras de: Valle Fértil, La Huerta y Pie de Palo.

En **la Rioja** se encuentran cuerpos pegmatíticos en las sierra de Velazco y sierra Brava.

En **Catamarca** son conocidas las pegmatitas de la sierra de Ancasti.

La provincia de **Entre Ríos** es la mayor productora de arena sílicea.

La provincia de **Buenos Aires** cuenta con una explotación moderada de cuarcitas destinada fundamentalmente a la construcción.

#### 6.2.4.3. Feldespato

Los feldespatos se explotan a partir de depósitos pegmatíticos simples constituidos por cuarzo, feldespatos y micas. Los yacimientos productores se localizan en el ámbito de las Sierras Pampeanas en la región central de la Argentina fundamentalmente en las provincias de Córdoba en las zonas de San Alberto, Calamuchita, Cruz del Eje Pocho, San Javier. En San Juan están en Valle Fértil sierra de Pie de Palo y de la Huerta y San Luis se encuentran en los departamentos de San Martín, Pringles, Chacabuco, Pedernal y Junin.

#### 6.2.5. Otras materias primas minerales

La industria cerámica moderna requiere del uso de materias primas de la más variada composición. En los EEUU existen más de 400 materias primas clasificadas según su composición y características. Mencionaremos algunas materias primas que no se encuentran en los grupos anteriores, pero poseen gran importancia económica y tecnológica: Bauxita, mineral de litio, fluorita, grafito, circón, alúmina, mineral de titanio, cromita, magnesitas, etc.

## 6.3. PROCESOS DE CONFORMADO

El conformado en frío previo a la cocción, se lleva a cabo por deformación plástica de una pasta, por prensado en seco o por colado de una barbotina (suspensión de sólidos en agua). Existen una gran variedad de sistemas y equipos para llevar a cabo estos procesos.

### 6.3.1. Deformación plástica

Es el primer método utilizado por el hombre para dar forma a una pasta formada por arcillas y agua manualmente o con la ayuda de herramientas sencillas (tonos, moldes, etc.).



### 6.3.2. Torneado y calibrado

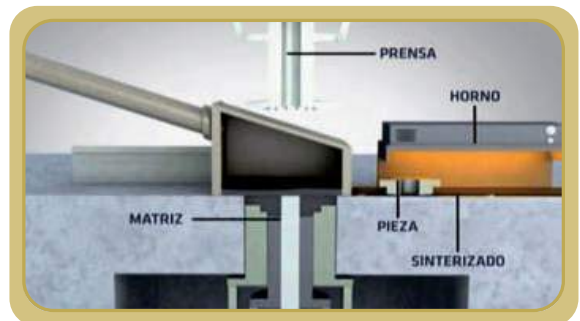
El torneado mecánico es la operación habitual para la fabricación de platos (estos también se realizan por prensado), aisladores eléctricos y, en general, para fabricar objetos de simetría axial. El calibrado es la operación complementaria: mientras se hace girar la pasta colocada en un molde, se aplica por su parte externa o interna una plantilla metálica denominada calibre (también se la llama “patrón” o “schablón” palabra de origen alemán), conformada según el diseño o perfil requerido. A veces se utiliza un molde superior que gira con respecto al inferior. Los moldes pueden ser de yeso o metálicos.



### 6.3.3. Prensado

Hay una gran variedad de técnicas y equipos. Según el contenido de agua, la presión aplicada, la dirección de aplicación de la presión uniaxial o isostática, temperatura del molde 800 a 1.000 °C, aplicando vacío, vibración previa o simultánea.

En el prensado en seco (menos del 4 % de agua) se aplican presiones del orden de los 1.000 Mpa y se requiere un tamaño de partículas relativamente pequeñas. Este sistema tiene un gran efecto sobre la cocción ya que a mayor presión aplicada mayor compactación y mayor densidad del producto final, lo que disminuye el tiempo de cocción.



### 6.3.4. Extrusión

El proceso consiste en extruir la pasta a través de una matriz. Se logran distintos perfiles y secciones cambiando las boquillas de la extrusora.

Cuando va saliendo la pasta a través de la boquilla (se lo llama chorizo) se la corta mediante un hilo de acero (cuerda de guitarra) en trozos adecuados. La condición es que el “chorizo” tenga la sección y perfil constante. Mediante este proceso se obtienen: Ladrillos macizos y huecos, tejas, bloques, tubos, cañerías, perfiles.



### 6.3.5. Colado

El sistema de colado de una barbotina es de aplicación industrial relativamente reciente (comienzos del siglo XX). Se aplica masivamente en la fabricación de artículos sanitarios, vajilla, objetos artísticos, en general a productos huecos y de forma complicada de cualquier tamaño.

El punto calve es la preparación de la barbotina, suspendiendo la mezcla de materias primas con agua y agregando aditivos necesarios para estabilizar la suspensión. Una vez preparada, se la vierte dentro de un molde de yeso cuya cara interna es la cara externa del objeto a fabricar. El yeso, al ser poroso, absorbe el agua y las partículas sólidas quedan formando una capa dentro del molde, dependiendo del tiempo que esté en contacto la barbotina con el molde será el espesor del objeto. Luego, una vez obtenido el espesor deseado, se vuelca el molde y se saca el excedente de la barbotina. Se lo deja un tiempo (5 a 10 minutos) para que escurra bien, se abre el molde y se obtiene la pieza.

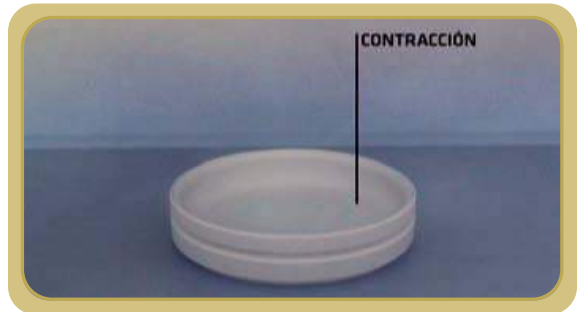
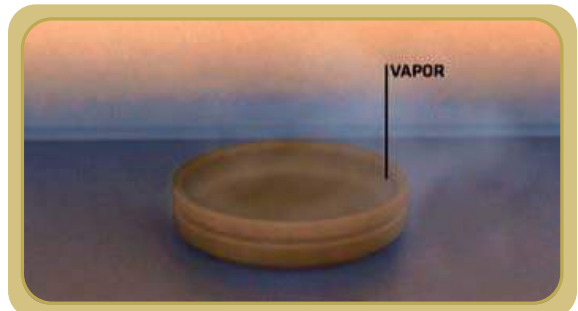


### 6.3.6. Secado

Una vez obtenidas las piezas, salvo en el prensado en seco, en todos los demás procesos hay que eliminar el contenido de agua antes de realizar la cocción. Pues de otra manera ésta sería expulsada en forma muy violenta produciendo rajaduras y la rotura de los mismos. Durante el proceso de secado el calentamiento de las piezas se debe de realizar



en forma lenta mediante circulación de aire caliente, se produce el pasaje del agua que está en la superficie del estado líquido al vapor y la subsiguiente migración del agua que está en el interior a la superficie. A medida que se va eliminando el agua se va produciendo la contracción ya que va disminuyendo la distancia entre las partículas. Esta contracción puede ser del orden del 2 al 20 % dependiendo del proceso de fabricación. Las temperaturas de secado están en el orden de los 95 a 98 °C no mayor ya que si el agua entra en ebullición dentro de las piezas las pueden dañar. Si el secado es muy rápido pueden aparecer fisuras, por lo tanto, la velocidad de secado hay que establecerla de antemano y va a depender del tamaño y la forma de las piezas.



### 6.3.7. Cocción (sinterizado)

El proceso de cocción (sinterizado) se lo aplica a todo proceso que consiste en consolidar y material pulverulento seco sin alcanzar la temperatura de fusión.

Es el proceso de consolidación más común en la industria cerámica. Cuanto mayor es la temperatura de cocción mayor será la cantidad de liga vítrea formada que une a los granos cristalinos.



A temperatura de sinterizado se forma una gran cantidad de líquido (30 a 40 % en volumen) debido a las impurezas que existen en las distintas materias primas que forman eutécticos de bajo punto de fusión o bien por los productos de las reacciones químicas que van teniendo lugar. Este líquido cuando se enfría se transforma en vidrio (fase vítrea) que une a las partículas sólidas. Esta liga vítrea tiene varios efectos:



- Mojado de las partículas y su posterior disolución.
- Disminución o eliminación de la porosidad.
- Incremento en la cinética del proceso.
- Consolidación del material por efectos de la tensión superficial.
- Incremento en la densidad.



### 6.3.8. Tratamientos posteriores

En la industria cerámica de vajilla, sanitarios y revestimientos se realiza el esmaltado y el decorado y para el caso de la cerámica eléctrica, sólo se produce el esmaltado.

### 6.3.9. Esmaltado

El esmaltado se realiza con fines protectivos o decorativos. Lo habitual es aplicar el esmalte por: rociado, atomizado, inmersión, serigrafía, calcomanías sobre el objeto ya cocido (bizcocho) y volverlo a pasar por otro horno con un ciclo térmico adecuado para fundir el esmalte y lograr su adhesión y por enfriamiento controlando su consolidación. Este proceso se realiza en vajilla, revestimientos, sanitarios, aisladores etc. En algunos casos se han desarrollado procesos de monococción, en los que las características de bizcocho y esmalte por un lado, y el diseño y ciclo térmico del horno por otro, permiten realizar la cocción y el esmaltado en una sola operación con la consiguiente economía energética. Los esmaltes se fabrican por fusión de distintos materias primas porque algunas de ellas son solubles en agua y, al fundirlas, se insolubilizan, se enfrían rápidamente en agua para obtener un material desmenuzado y friable (frita) que luego se lo muele muy finamente.



El esmaltado consiste en una fina capa vítrea (entre 0,15 a 0,5 mm de espesor) formado sobre el cuerpo cerámico (después que una suspensión de ciertas materias primas se apliquen sobre el mismo y posterior cocción a temperatura adecuada para que pueda fluir). Dos aspectos importantes hacen que los esmaltes sean especiales respecto al bizcocho:

- No están destinados a ninguna operación de moldeo.
- Su composición química es mucho más crítica.

Ya que un pequeño cambio en la preparación del esmalte y en su composición afectan el color, textura y brillo, afectando la calidad del producto final.

## 6.4. APLICACIONES

### 6.4.1. Cerámica roja

Estos materiales se cocinan en hornos túnel u hornos periódicos a una temperatura entre 900 a 1.000 °C. El nombre viene debido a que se utilizan arcillas rojas por su alto contenido en óxido de hierro. Los productos más importantes son: Ladrillos, ladrillos huecos, tejas, revestimientos como ser baldosas, azulejos y mayólicas con superficies esmaltadas para pisos y paredes.



### 6.4.2. Revestimientos para pisos y paredes

En las últimas décadas han tenido un notable desarrollo los pisos y revestimientos cerámicos par ser usados en baños y cocinas.

Estos productos se obtienen por prensado en seco, luego se los calcina en horno túnel, una vez obtenida la baldosa cocida se la decora y esmalta y se la vuelve a pasar el horno túnel para consolidar el esmalte y realzar los colores del mismo. A este proceso se lo llama bicocción ya que se cuece dos veces par obtener el producto final.

Dentro de esta categoría se encuentran los “porcelanatos”, producto que se obtienen calcinándolos a mayor temperatura que los cerámicos convencionales generando en su interior mayor cantidad de fase vítrea, estos se pueden usar esmaltados o sin esmaltar.



### 6.4.3. Vajillas

Los productos de vajilla cerámica incluyen platos, tazas, fuentes, ollas, vasos, copas jarras, recipientes de todo tipo con o sin tapas y también objetos de adorno. Se los agrupa en cerámica roja y blanca y en líneas generales se los puede clasificar en los siguientes grupos:

- Vajilla de mesa.
- Vajilla de cocina.
- Artículos para decoración y adornos.





Debe tenerse en cuenta el hecho que según las normas sanitarias, todo material cerámico en contacto con alimentos en cualquier condición no debe ser poroso, es decir, debe ser esmaltado o vitrificado.

#### 6.4.4. Porcelanas

Las porcelanas, por tener una gran cantidad de fase vítrea, no presentan porosidad ni absorción de agua, son translúcidas y, por lo general, blancas. La clasificación de las porcelanas se ven en el siguiente cuadro:

Denominación	Características principales
Porcelanas duras: tipo “Continental”, “de hotel” y “químicas”	Proceso de bicocción entre 1.350-1.400 °C, alta resistencia mecánica y química
Porcelanas blandas	Cocción entre 1.150-1.250 °C
Porcelana de hueso	Cocción entre 1.150-1.250 °C, son de color blanco, muy translúcidos

## 6.5. CERÁMICOS AVANZADOS

Las propiedades físicas y químicas de los cerámicos avanzados se obtienen porque se usan materias primas muy puras, con un control riguroso de su composición, con un estricto control del proceso de fabricación y del sinterizado a elevada temperatura (1.600-1.900 °C). A los cerámicos obtenidos de este modo se los llama **Cerámicos Avanzados**.

Estos cerámicos son compuestos oxidados y no-oxidados de elementos metálicos y no metálicos incluyendo al carbón. Por lo tanto, hay muchas clases de cerámicos con funciones en muchos campos.

A partir de la década del 70, comienzan a ponerse en uso ciertos materiales cerámicos los cuales tenían muy buenas propiedades estructurales, eléctricas, térmicas, químicas, con un alto grado de resistencia al desgaste y muy buenas propiedades a la deformación en caliente.

Estos materiales los podemos clasificar en:

Óxidos	No-óxidicos
<b>Alúmina:</b> $Al_2O_3$	<b>Carburos:</b> Carburo de silicio, de titanio, de zirconio, de hafnio, etc.
<b>Circona:</b> $ZrO_2$	<b>Nitruros:</b> Nitruros de silicio, de aluminio, titanio, zirconio, etc.
	<b>Sulfuros:</b> Sulfuros de cadmio, cinc, disulfuro de molibdeno, etc.
	<b>Siliciuros:</b> Siliciuros de molibdeno, talio, tungsteno, etc.
	<b>Boruros:</b> Boruros de titanio, lantano, circonio, etc.

Las características principales de estos materiales (oxidados y no oxidados) son:

Son livianos, resistencia a la deformación aún a altas temperaturas, resistencia al desgaste y a la corrosión. Esto se debe al grado de enlace covalente de sus uniones.

El procesamiento de estos materiales es parecido al procesado de los cerámicos tradicionales pero con diferencias importantes. Se parte de polvos muy finos, es decir, el 50% de la partículas están por debajo del medio micrón, esto facilita el sinterizado que se produce en estado sólido o con fase líquida pero muy bien controlada en cantidad y calidad a temperaturas muy elevadas a partir de los 1.500 °C, obteniéndose una densidad del producto final casi a la densidad teórica, debido a la eliminación de la porosidad.

Algunas de las aplicaciones de estos productos son:

Grupo funcional	Óxidicos			No-óxidicos		
	Función	Material	Aplicación	Función	Material	Aplicación
<b>Eléctrica y electrónica</b>	Aisladores	$Al_2O_3$ , BeO	Sustratos	Aisladores	C, SiC	Sustratos
	Dielectricos	$BaTiO_3$	Capacitores	Conducción eléctrica	SiC, $MoSi_2$	Resistencias eléctricas

Grupo funcional	Óxicos			No-óxicos		
	Función	Material	Aplicación	Función	Material	Aplicación
Eléctrica y electrónica	Piezo-eléctricos	$Pb(Zr_{12}Ti_{12})O_3$	Osciladores	Semiconductor	SiC	Varistor
	Magnetismo	$Zn_{1-2}Mn_2Fe_3O_4$	Memorias, núcleos magnéticos	Emisión de electrones	LaB <sub>6</sub>	Cañón de emisión de electrones
	Semi conductores	ZnO-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , BaTiO <sub>3</sub>	Varistores			
	Conducción iónica	$\beta-Al_2O_3$	Baterías de NaS			
Mecánica	Resistencia al desgaste	$Al_2O_3, ZrO_2$	Material de pulido, elementos de molienda	Resistencia al desgaste	B <sub>4</sub> C	Material resistente al desgaste, elementos de molienda
	Maquinabilidad			Maquinabilidad	C-BN, TiC, WC, TiN	Herramientas de corte
				Alta resistencia	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , SiC	Alabes de turbina
Térmica	Resistencia al calor	$Al_2O_3$	Refractarios	Resistencia al calor	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , SiC, BN, C	Refractarios
	Aislante del calor	$ZrO_2, Al_2O_3$	Mantas cerámicas			
	Conducción del calor	BeO	Sustratos	Conducción del calor	C, SiC	Sustratos
Nuclear	Materiales para reactor nuclear	UO <sub>2</sub> , BeO	Moderador del combustible nuclear	Materiales para reactor nuclear	UC, C, SiC, B <sub>4</sub> C	Revestimiento combustible nuclear, Moderador del combustible nuclear
Bioquímica	Material dental, prótesis	$Al_2O_3, Ca_5(F,Cl)P_3O_{12}$	Dientes, huesos artificiales	Material dental, prótesis	TiB <sub>2</sub> , Si <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Cámara de evaporación, Anticorrosivos

### 6.5.1. Elementos estructurales

En los años recientes, el nitruro de silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) se le empezó a prestar atención como material para ser usado a altas temperaturas. Este material se desarrolló por primera vez en Inglaterra en la década del 60. Las propiedades más salientes que lo caracterizan son las siguientes: liviano, muy resistente a altas temperaturas y con muy alta resistencia mecánica.

Por tal motivo se lo utiliza como material en partes de motores de explosión interna como ser los alabes de la turbina del turbo compresor de los automóviles o 4x4, como cabeza de pistón, cilindros, etc.

También, por tener muy buenas propiedades mecánicas, se lo utiliza como molino para poder moler nitruro de silicio sin contaminarse.

### 6.5.2. Cerámicos piezoeléctricos

Los cerámicos piezoeléctricos no necesitan baterías para producir una chispa eléctrica y poder encender un quemador, una hornalla, un motor de combustión interna o, simplemente, un encendedor. Cuando a éste cerámico se le aplica una fuerza, genera una chispa de alto voltaje. Estos cerámicos están compuestos por circonato, titanato de plomo  $Pb(Ti-Zr)O_3$ ; también pueden ser de bario, en el cual la propiedad piezoeléctrica es generada a través de un proceso de polarización. En general, se utilizan piezas cilíndricas de 10 mm de diámetro por unos 15 mm de longitud, cuando a ésta se le aplica un esfuerzo de impacto genera una tensión de alto voltaje entre los dos polos del piezoeléctrico. Estos cerámicos que se usan corrientemente como generadores de chispa, mecánicamente son muy fuertes y, raramente, se rompen aún cuando se lo someta a esfuerzos de impacto muy fuertes.

### 6.5.3. Cerámicos para reactores nucleares

El funcionamiento de los reactores nucleares para producir electricidad se ha hecho posible gracias al desarrollo de los elementos combustibles basados en óxido de uranio ( $UO_2$ ). Este óxido tiene una estructura de fluorita cuyo empaquetamiento es cúbico centrado en las caras, lo que crea huecos en el centro de la celda. Esto facilita la ubicación en dichos huecos de los productos de fisión sin que la estructura se deforme mucho. Luego de los tratamientos de purificación y enriquecimiento, con el polvo de óxido de uranio se hacen pastillas que, luego, se sinterizan a alta temperatura con las que se rellenan los tubos de una aleación de zirconio formando los “elementos combustibles” que luego se los introducen en el reactor. A estos elementos combustibles también se los llama “zircaloy”. Un aspecto importante del proceso de sinterizado es el control de la presión parcial de oxígeno, pues de ello dependerá que el  $UO_2$  contenga más o menos oxígeno que el estequiométrico, lo cual tiene influencia en el rendimiento de las reacciones de fisión.



### 6.5.4. Elementos calefactores cerámicos

Hay elementos calefactores cerámicos como ser carburo de silicio ( $SiC$ ), siliciuro de molibdeno ( $MoSi_2$ ), lantano.cromita y circona, todos estos tienen alta temperatura de fusión: 2.400, 2.030, 2.490 y 2.690 °C respectivamente. Esta temperatura indicaría cual sería la máxima temperatura de uso. Sin embargo, que tengan una alta temperatura de fusión no es el único requisito necesario para ser usados como elementos calefactores.

Necesitan que tengan una apropiada resistividad (es la resistencia por unidad de longitud; además es una característica del material y varía en función de la temperatura cuya unidad es  $\Omega \cdot m$ ) para convertir la electricidad en calor. Si a una sustancia con una cierta resistencia se le aplica un voltaje, es conocido que la energía generada, que es proporcional al cuadrado de la corriente que circula por la sustancia, se convierte en calor (efecto Joule). Cualquiera de los elementos calefactores mencionados anteriormente disminuye su resistividad a medida que aumentamos la temperatura. Así funciona un elemento calefactor.

## Bibliografía

---

- INDUSTRIAL CERAMICS. Felix Singer y S.S Singer  
Chapman & Hall Ltd. London.
- LOS MATERIALES CERÁMICOS - Eduardo Mari  
Librería y editorial Alsina.
- PHYSICAL CERAMICS FOR ENGINEERS Lawrence H. Van Vlack  
Addison-Wesley Publishing Company.
- REFRACTARIOS L.H. Norton  
Editorial Blume - Barcelona
- INTRODUCTION TO CERAMICS W.D Kingery, D.R. Uhlmann.  
John Wiley & Sons, New York - 2ª edición.
- CERAMIC MICROSTRUCTURES r. Fulrath y J. Pask  
Robert E. Krieger Publishing Company .- New York
- INTRODUCTION TO PHASE EQUILIBRIA IN CERAMIC SYSTEMS Hummel  
MarcelDekker, Inc. New York
- REFRACTORIES PRODUCTION AND PROPERTIES J.H. Chester
- HIGHT TEMPERATURE OXIDES Alper.
- LOS VIDRIOS Eduardo Mari
- EL VIDRIO, Construcción, fabricación, propiedades José María Fernández Navarro