



P O L I T E C H N I K A Ś L Ą S K A

WYDZIAŁ BUDOWNICTWA

CZŁONEK EUROPEJSKIEGO STOWARZYSZENIA WYDZIAŁÓW BUDOWNICTWA

# ADVANCED CERAMIC IN STRUCTURAL ENGINEERING

Tutor:

**Dr. Ing. Marcin Górski**

Autor:

**Jorge Alonso Rodea**

El proyecto final de carrera con título “Advanced Ceramic in Structural Engineering” fue realizado en la Universidad Politechnika Śląska de septiembre de 2011 a febrero de 2012, con autor Jorge Alonso Rodea, tutor Marcin Górski, coordinador académico y cotutor en la UCIIM José Manuel Torralba.

En las siguientes páginas se procederá a la realización de un resumen en español del contenido del proyecto titulado “Advanced Ceramic in Structural Engineering”.

Se trata de un trabajo teórico acerca de los distintos tipos de materiales cerámicos avanzados, y de sus posibles aplicaciones, así como un estudio de la microestructura y de su influencia en las propiedades finales.

El contenido del proyecto se puede dividir en cuatro grandes grupos de estudio:

1. Estructura y defectos
2. Propiedades mecánicas
3. Procesado de los cerámicos
4. Cerámicos avanzados

## 1.- ESTRUCTURA Y DEFECTOS

### 1.1 ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

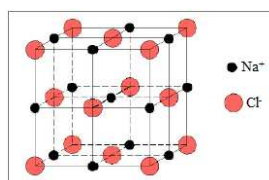
#### 1.1.1 ENLACES CERÁMICOS

Los materiales cerámicos pueden ser cristalinos, amorfos o una mezcla de ambos. Los diferentes tipos de enlaces que se pueden dar son iónico, covalente y metálico.

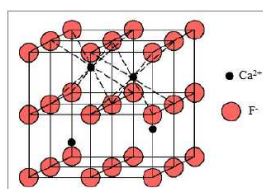
#### 1.1.2 ESTRUCTURAS CRISTALINAS

Hay muchas estructuras cristalinas, las principales son las siguientes:

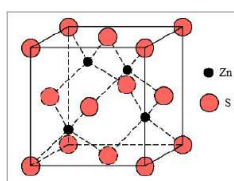
- Tipo NaCl



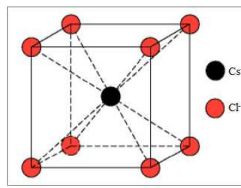
- Tipo fluorita (CaF<sub>2</sub>)



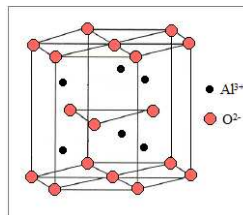
- Tipo blenda (ZnS)



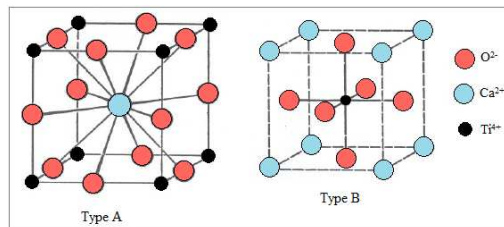
- Tipo CsCl



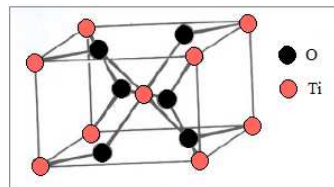
- Tipo corindón (alúmina)



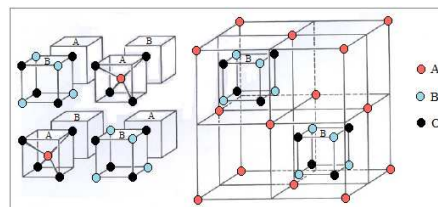
- Tipo perovskita  $ABO_3$



- Tipo rutilo ( $TiO_2$ )



- Tipo Espinela  $AB_2O_4$



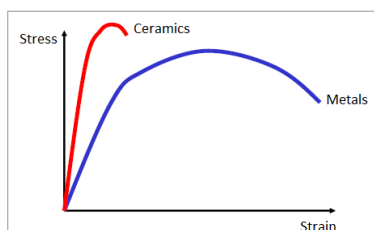
## 1.2 DEFECTOS

Hay diferentes tipos de defectos según su tamaño:

- Defectos puntuales:
  - Vacante: son sitios de la red que deberían de estar ocupados en un cristal perfecto, pero son vacantes.
  - Intersticial: son átomos que ocupan un sitio de la red cristalina en la cual no hay átomos habitualmente
  - Schottky: vacantes en un cristal i
  - Frenkel: movimiento de un ion de su posición normal a una posición intersticial
  - Desorden antiestructural: ocurre cuando átomos de diferente tipo intercambian posiciones.
  - Centros de color: electrones desapareados atrapados en vacantes aniónicas de la red.
- Defectos lineales: conducen a una distorsión de la red en torno a una línea
  - Dislocación en arista
  - Dislocación en hélice
  - Dislocaciones mixtas
- Defectos planares:
  - Superficie
  - Bordos de grano: interfase entre dos cristales con diferente orientación.
  - Planos de macla: separan dos partes de un grano con diferente orientación de sus planos.
  - Falta de apilamiento

## 2.- PROPIEDADES MECÁNICAS

- **Dureza:** es la medida de resistencia de un sólido a cambios permanentes de forma cuando es aplicada una fuerza. La resistencia de los materiales cerámicos es mayor que la de los metálicos debido a que los enlaces iónicos o covalentes son más fuertes que los metálicos.  
Se mide habitualmente con un test de dureza Vickers.
- **Módulo de Young:** también conocido como módulo elástico, es una medida de la rigidez de un material, es una medida que se usa para caracterizar materiales. Es muy característica la curva tensión deformación:



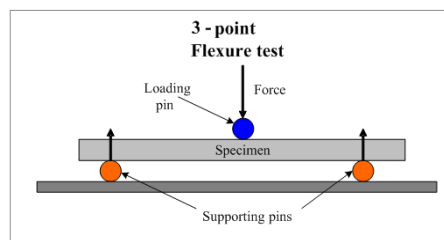
- **Resistencia a la fractura:** es un indicativo de la cantidad de tensión requerida para propagar un defecto ya existente. Para medirlo se utiliza un parámetro llamado factor de intensidad de tensiones (K), que lo habitual es que sea medido en modo I de fractura:

$$K_I = \beta\sigma\sqrt{\pi \cdot a}$$

- **Choque térmico:** es el nombre dado al agrietamiento como resultado de rápidos cambios de temperatura. Puede ser estimado con la siguiente fórmula:

$$R_s = \frac{\lambda \cdot \sigma_F}{\alpha \cdot E}$$

- **Fluencia:** es la tendencia de los materiales a deformarse lenta y permanentemente bajo la influencia de tensiones. Este comportamiento es sólo importante en aplicaciones a altas temperaturas (refractarios).
- **Resistencia a la flexión:** se define como la capacidad de un material para resistir la deformación bajo carga. Hay dos test estandarizados, el de flexión en 3 puntos, y el de flexión en 4 puntos.



- **Comportamiento al desgaste:** es la erosión de material de su posición original en la superficie del sólido debido a la acción de otra superficie. Es muy complejo de calcular, influyen muchos factores.
- **Propiedades eléctricas:** de los materiales cerámicos son características las siguientes propiedades eléctricas: propiedades aislantes, conductividad eléctrica, rigidez dieléctrica, constante dieléctrica, propiedades semiconductoras, propiedades superconductoras, propiedades piezoeléctricas y propiedades magnéticas.

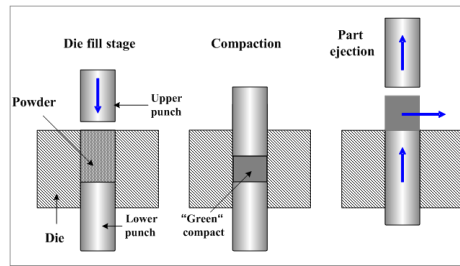
## 3.- PROCESADO DE LOS CERÁMICOS

### 3.1 EN FORMA DE POLVO

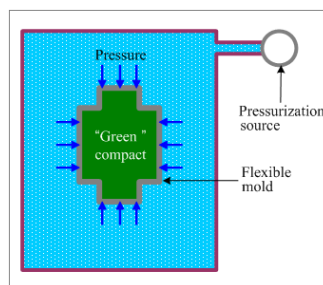
En primer lugar tienes que fabricar el polvo, darle forma mediante diferentes métodos, sinterizarlo en un horno mediante un tratamiento térmico y realizarle los procesos de acabado.

## Métodos de conformado:

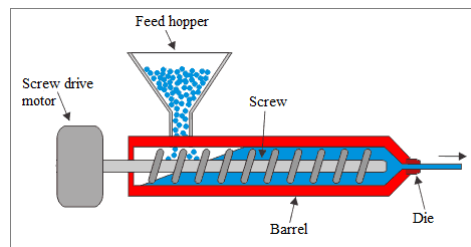
- Prensado uniaxial:



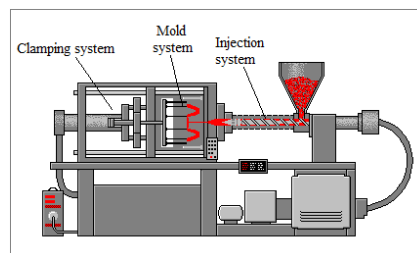
- Prensado isostático en frío (CIP)



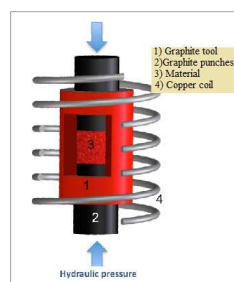
- Extrusión



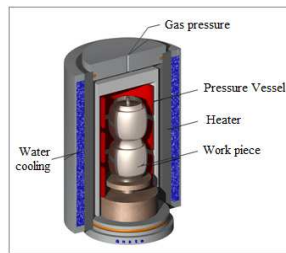
- Inyección



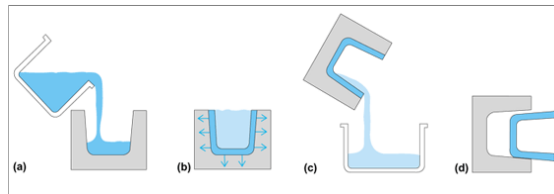
- Prensado en caliente



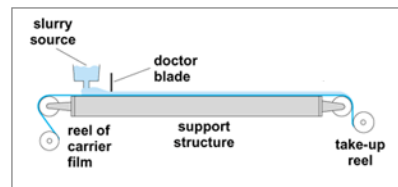
- Prensado isostático en caliente (HIP)



- Slip Casting



- Tape Casting



### 3.2 MONOCRISTALES

Se trata de un cristal único, que no tiene bordes de grano, la ausencia de estos le proporciona al monocristal unas propiedades únicas. Se obtiene principalmente por el método Czochralski.

### 3.3 PELÍCULAS DELGADAS

Es una capa de material que va de nanómetros a varias micras de espesor.

### 3.4 FIBRAS CERÁMICAS

Hay muchos tipos de fibras, las principales son las de vidrio y las de carbono.



## 4.- CERÁMICAS AVANZADAS

### 4.1 CERÁMICAS ESTRUCTURALES

#### 4.1.1 CERÁMICA OXÍDICA

##### 4.1.1.1 ALÚMINA

Óxido de Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o alúmina es uno de los óxidos cerámicos refractarios más versátiles y que tiene un rango más amplio de aplicaciones.

Posee unos enlaces iónicos muy fuertes, lo que determina sus propiedades:

- Alta resistencia mecánica (Resistencia a la flexión) y dureza
- Alta resistencia al desgaste
- Alta Resistencia a ataques químicos de ácidos fuertes y bases, incluso a altas temperaturas
- Alta rigidez
- Excelentes propiedades como aislante
- Bajo coeficiente de expansión térmica
- Buena tenacidad a la fractura
- Buena conductividad térmica
- Buena biocompatibilidad

##### 4.1.1.2 CIRCONA

La circona ( $\text{ZrO}_2$ ) es un óxido cristalino blanco de circonio. Sus propiedades son:

- Alta densidad – superior a  $6.1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
- Baja conductividad térmica – 10% de la alúmina
- Alta tenacidad a la fractura
- Muy alta resistencia a la flexión y dureza
- Alta temperatura máxima de servicio – superior a  $2400 \text{ }^\circ\text{C}$
- Coeficiente de expansión térmica similar al del hierro fundido
- Modulo de elasticidad similar al del acero
- Alta resistencia química
- Alta resistencia
- Buena resistencia al desgaste
- Bajo coeficiente de fricción
- Conductividad de los iones de oxígeno (usada para sensores de oxígeno y pilas de combustible a alta temperatura)
- Aislante eléctrico

## 4.1.2 CERÁMICA NO OXÍDICA

### 4.1.2.1 CARBUROS

Los carburos más típicos son SiC, WC, TiC y TaC. Sus principales propiedades:

- Alta dureza
- Inertes
- Alta temperatura de fusión
- Alta temperatura de descomposición
- Alta conductividad térmica
- Bajo coeficiente de expansión térmica

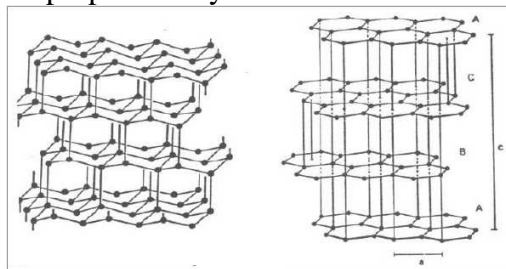
### 4.1.2.2 NITRUROS

El más importante es el nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). En el presente juega un papel dominante entre los nitruros. Proporciona una combinación de excelentes propiedades no alcanzadas por otros cerámicos, éstas son:

- Alta tenacidad
- Alta resistencia, incluso a altas temperaturas
- Excelente resistencia al choque térmico
- Notable resistencia al desgaste
- Bajo coeficiente de expansión térmica
- Medio coeficiente de conductividad térmica
- Buena resistencia química

### 4.1.2.3 DIAMANTE Y GRAFITO

El carbono tiene dos formas cristalinas naturales alotrópicas, el grafito y el diamante. Cada uno tiene sus propias propiedades y estructura cristalina.



#### GRAFITO:

Es un material generalmente entre grisáceo y negro, opaco y tiene un inconfundible brillo negro. Es flexible pero no elástico, tiene una alta conductividad térmica y eléctrica, es altamente refractario y químicamente inerte.

Sus aplicaciones son:

- Materiales refractarios
- Industria nuclear
- Industria química
- Aplicaciones eléctricas
- Aplicaciones mecánicas
- Lubricante

### **DIAMANTE:**

El diamante tiene una impresionante combinación de propiedades químicas, físicas y mecánicas:

- El material más duro conocido
- Bajo coeficiente de fricción
- Alta conductividad térmica
- Alta resistividad eléctrica
- Bajo coeficiente de expansión térmica
- Alta resistencia
- Amplia transparencia óptica desde el ultravioleta al infrarrojo
- Resistencia a la corrosión química
- Compatible biológicamente

## **4.2 CERÁMICA FUNCIONAL**

### **4.2.1 CONDUCTORES IÓNICOS**

Los conductores iónicos, también conocidos como electrolitos sólidos y conductores supersónicos, son materiales que actúan como conductores iónicos de estado sólido y son usados principalmente en pilas de combustible de estado sólido. Como electrolitos sólidos conducen debido al movimiento de iones a través de los huecos, o posiciones cristalográficas vacías en su estructura de red cristalina. El electrolito sólido más comúnmente utilizado es zirconia estabilizada con itrio. Uno de los componentes de la estructura, el catión o el anión, está libre para moverse a lo largo de la estructura, actuando como portador de la carga.

### **4.2.2 SUPERCONDUCTORES**



Los superconductores son una clase de compuestos que conducen la electricidad sin resistencia y son impermeables al flujo magnético por debajo de una temperatura crítica. Como resultado de esto, son omnipresentes en aplicaciones tan diversas como escáneres de resonancia magnética y trenes Maglev.

Las características de los superconductores son:

- Resistencia cero: los superconductores pierden toda la resistencia al flujo de la corriente eléctrica directa y casi toda la resistencia alterna cuando se enfrían por debajo de una temperatura crítica, que es diferente para cada material superconductor.
- Perfecto conductor de electricidad: un superconductor es un conductor perfecto de la electricidad; conduce la corriente directa con 100% de eficiencia porque la energía no se disipa por calentamiento. Una vez inducida en un circuito superconductor, la corriente puede fluir sin pérdidas para siempre. También conducen la corriente alterna, pero con una ligera disipación de energía. Los superconductores son un diamagnético perfecto.

### 4.2.3 FERRITAS

Las ferritas son compuestos químicos que consisten en materiales cerámicos con óxido de Fe (III) ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) como su componente principal. Muchos de ellos son materiales magnéticos y se utilizan para hacer imanes permanentes, núcleos de ferrita para transformadores, así como en otras aplicaciones.

### 4.2.4 PIEZOELÉCTRICOS

Un material piezoeléctrico es aquel que produce una carga eléctrica cuando se le aplica una tensión mecánica. También se produce el efecto inverso, una deformación mecánica se produce cuando se aplica un campo eléctrico. La respuesta eléctrica a la estimulación mecánica se llama efecto piezoeléctrico directo, y la respuesta mecánica a la estimulación eléctrica se llama efecto piezoeléctrico inverso.

