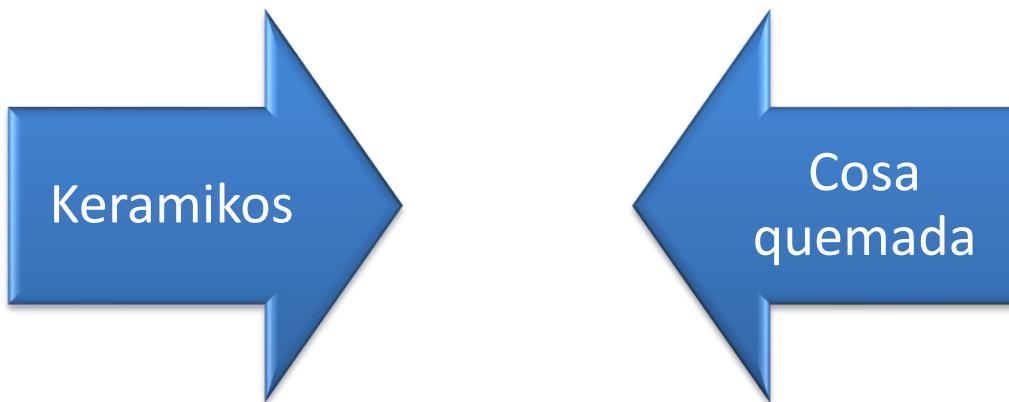


CIENCIA DE LOS MATERIALES

Materiales cerámicos

Introducción



- Materiales inorgánicos no metálicos, la mayoría compuestos formados por metales y no metales
- Óxidos, nitruros y carburos
- Enlaces de carácter totalmente iónico ó predominantemente iónicos con algún carácter covalente.

cerámica

Productos de alfarería.

Porcelana.

Refractarios.

Productos de arcilla estructural.

Abrasivos.

Esmaltes para porcelana o fritas.

Cementos.

Vidrios.

Materiales magnéticos no metálicos.

Ferroeléctricos.

Vitrocerámicos.

Superconductores.

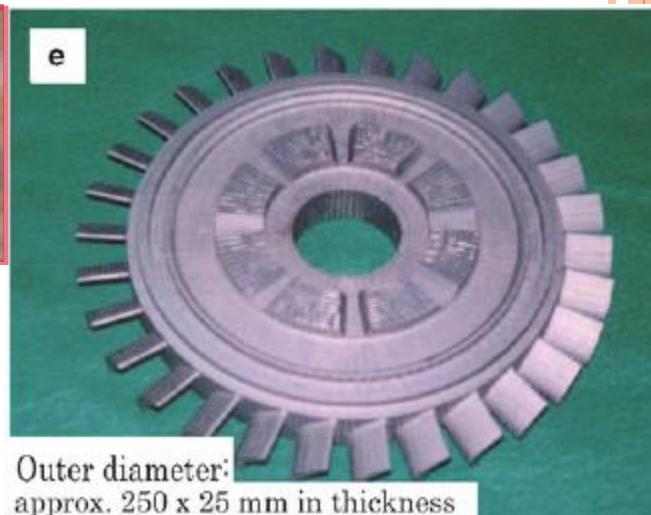
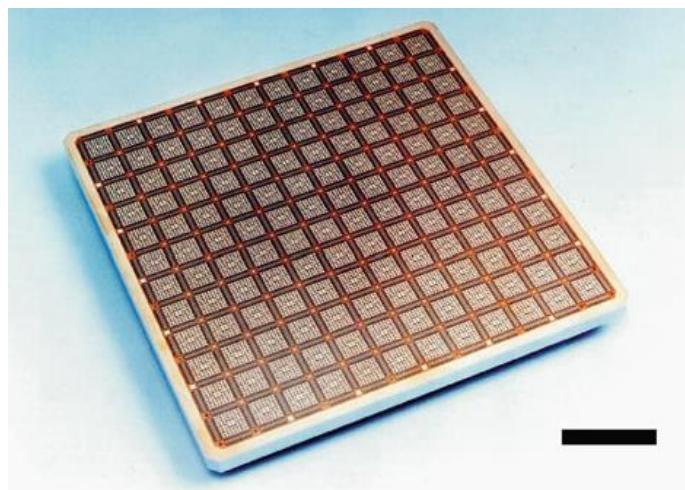
Termistores PTCR y NTCR.

Recubrimientos.

etc., etc.,

Clasificación según su aplicación

- Vidrios
 - Vidrios
 - Vitrocerámicas
- Productos de arcilla
 - Estructurales
 - Porcelanas
- Refractarios
 - Arcilla refractaria
 - Sílice
 - Básico
 - Especiales
- Abrasivos
- Cementos
- Cerámicas avanzadas



Tipos de cerámicos

- Tradicionales

Arcilla

Sílice

Feldespato

- Avanzados

Alúmina

Nitruro de Silicio

Carburo de Silicio

Circona

Tipos según su estructura

- **TIPOS:**

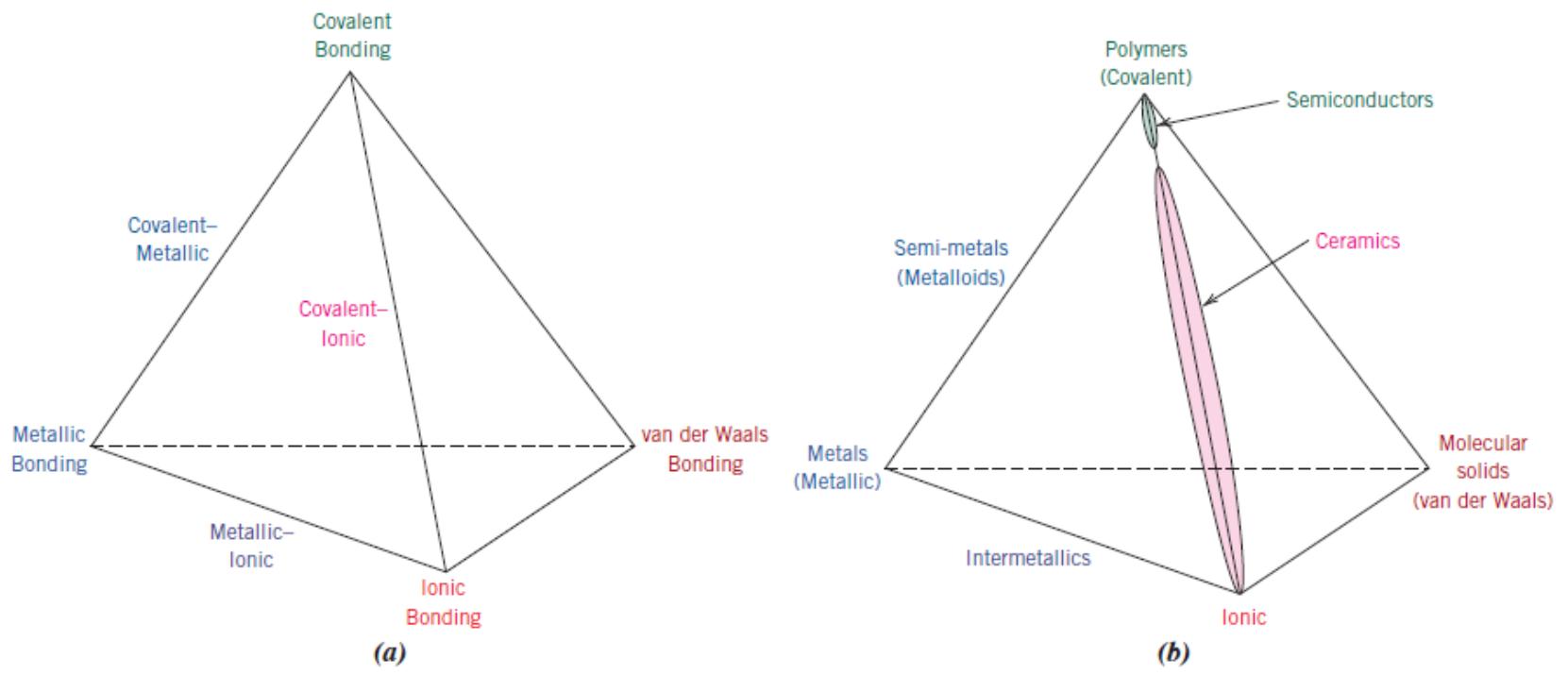
CERÁMICOS CRISTALINOS

CERÁMICOS NO CRISTALINOS

- **CERÁMICAS CRISTALINAS:** Sólidos cristalinos que incluyen los silicatos tradicionales y compuestos oxídicos y no oxídicos

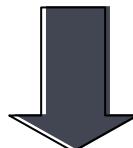
- **VIDRIOS:** Sólidos no cristalinos con composiciones comparables a la de los sólidos cristalinos. Se diferencian entre los vidrios de silicato y los no silicato

- **VITROCERÁMICAS:** Son los más sofisticados, combinando la naturaleza de los cerámicos cristalinos y no cristalinos

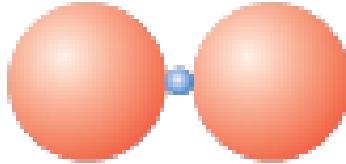
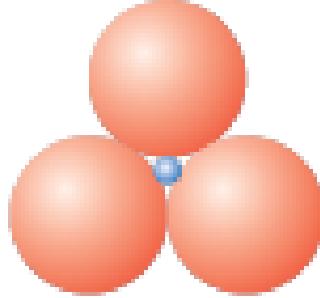
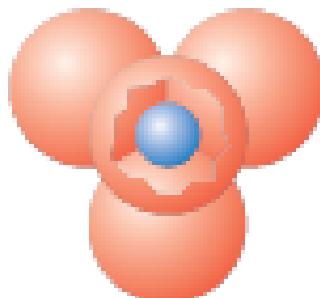
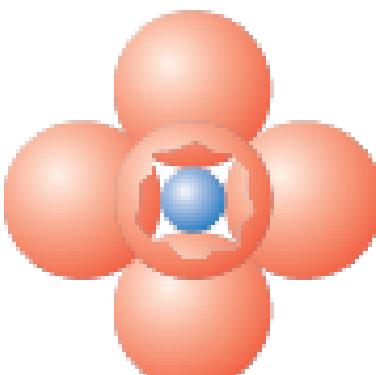
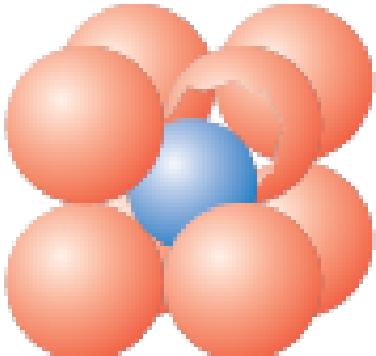


Estructuras cristalinas

Determinantes de la estructura cristalina

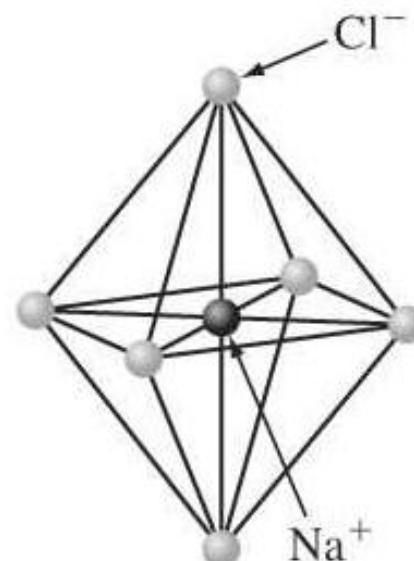
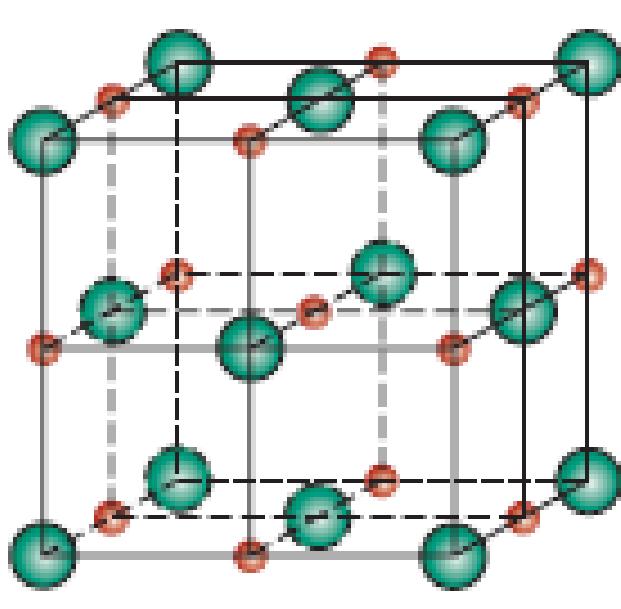
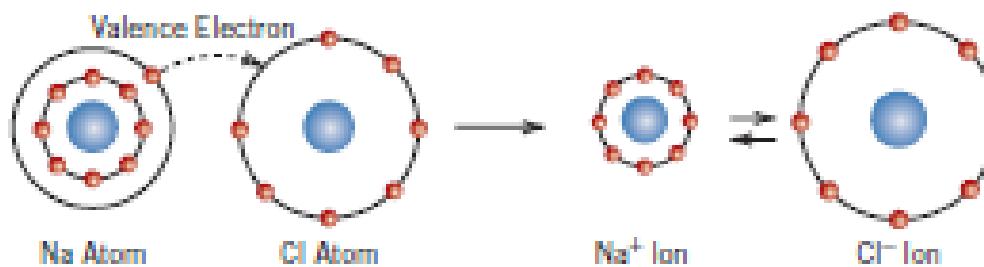


- 1. Valor de carga eléctrica de los iones componentes
- 2. Tamaños relativos de los aniones y cationes.

<i>Coordination Number</i>	<i>Cation–Anion Radius Ratio</i>	<i>Coordination Geometry</i>
2	<0.155	
3	0.155–0.225	
4	0.225–0.414	
6	0.414–0.732	
8	0.732–1.0	

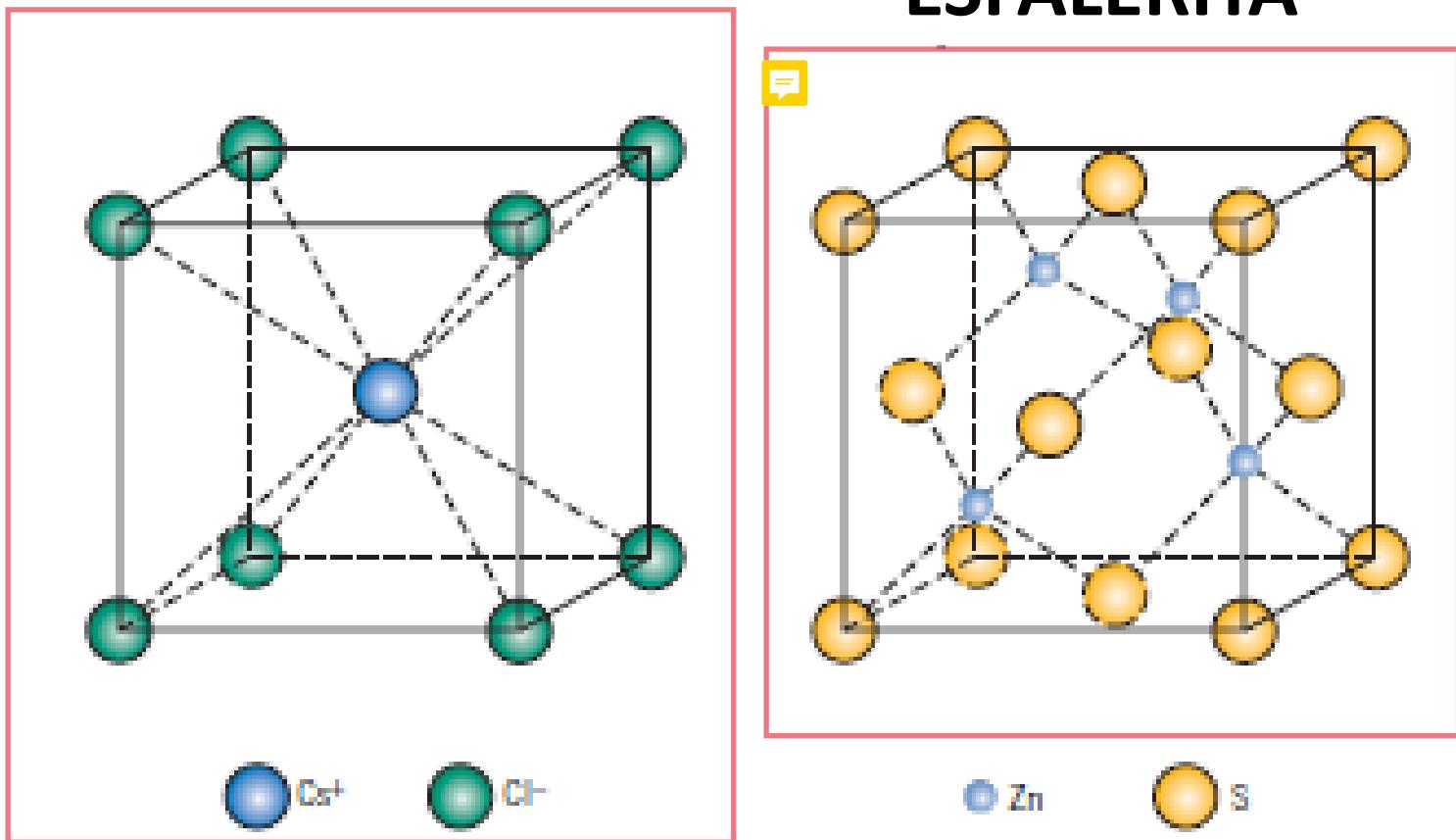
Estructura cristalina AX

• CLORURO DE SODIO (NaCl)



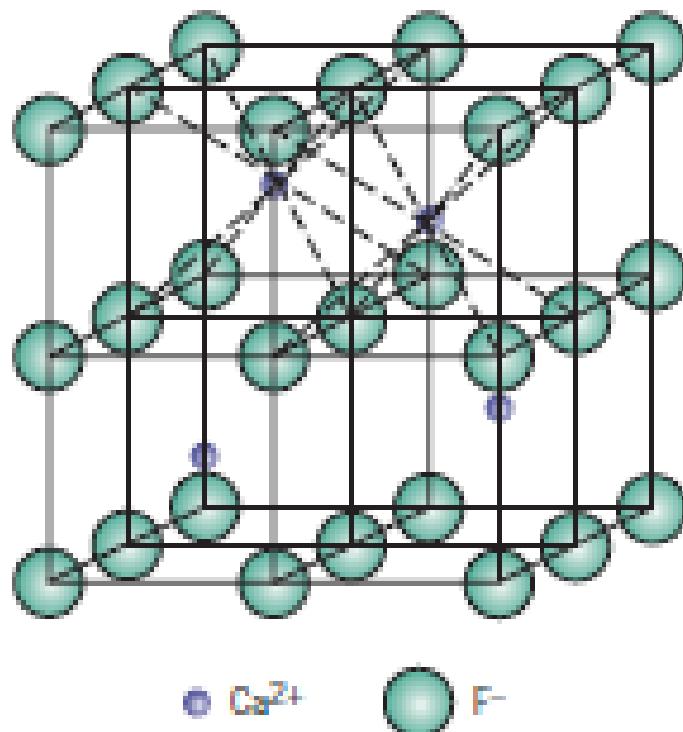
Estructura cristalina AX

- **CLORURO DE CESIO (CsCl)** **BLENDITA DE CINC (ZnS) o ESFALERITA**



Estructura cristalina A_mX_p

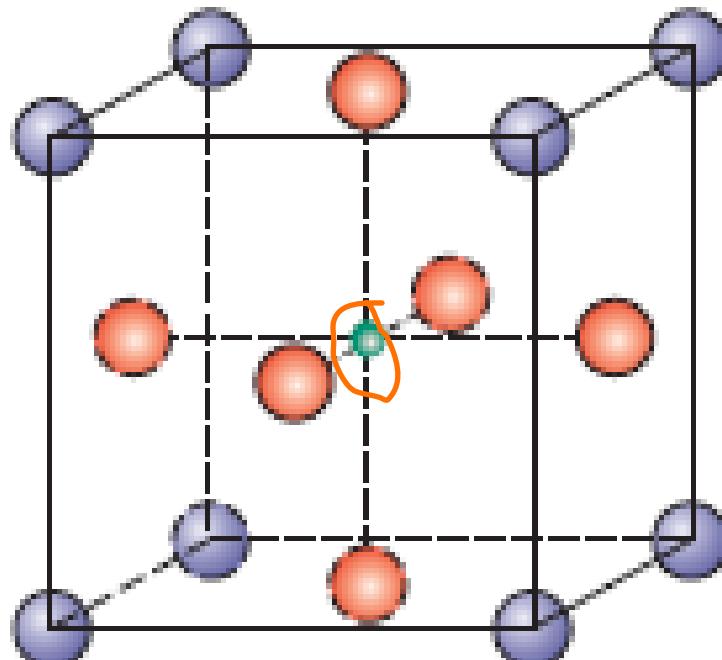
- FLORURO DE CALCIO (CaF_2) o FLUORITA



Estructura cristalina $A_M B_N X_P$

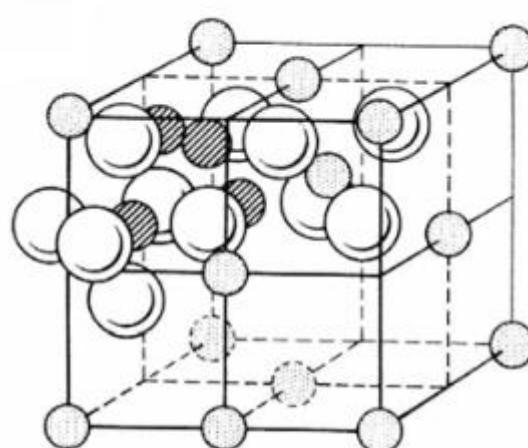
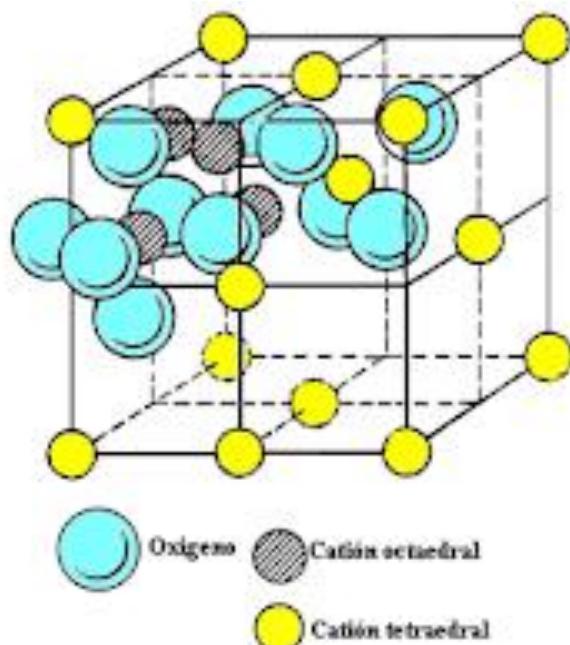
- **PEROUSKITA**

BaTiO₃

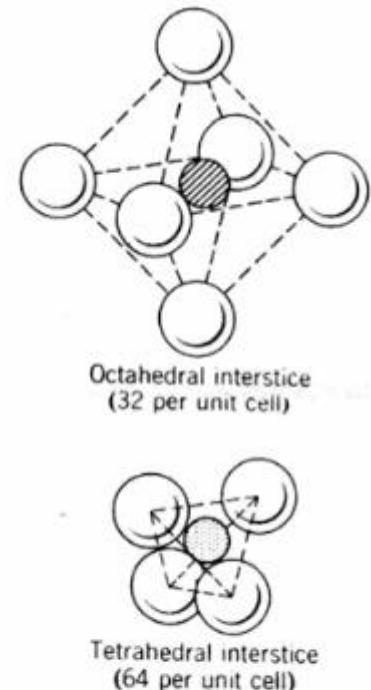


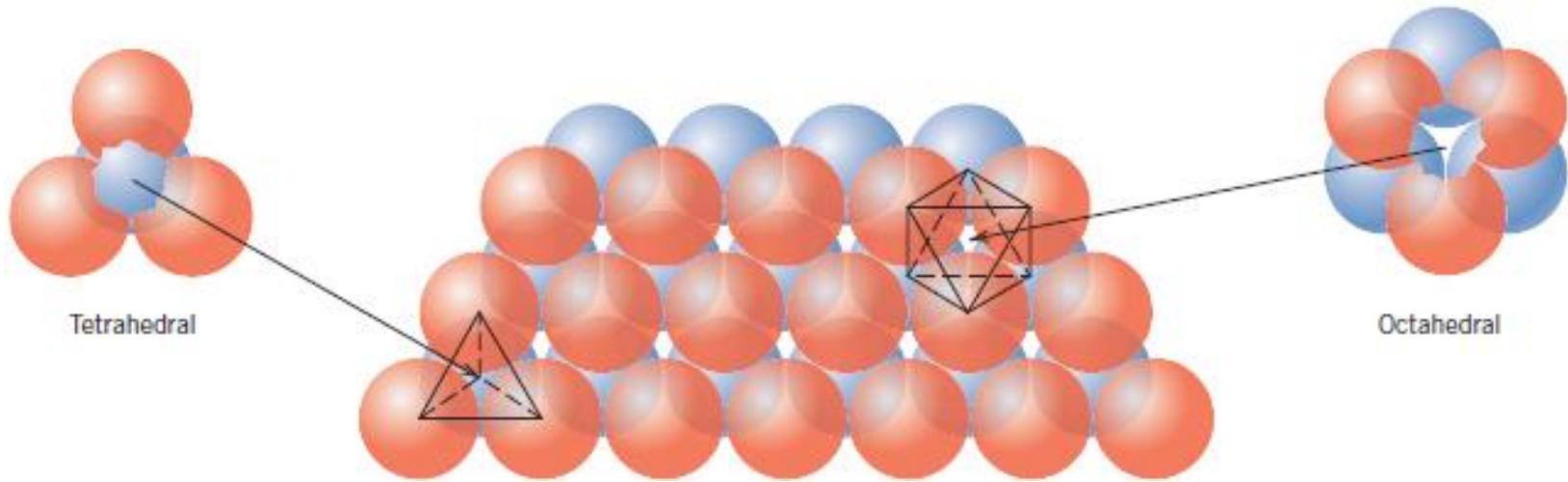
Estructura cristalina $A_M B_N X_P$

- ALUMINATO DE MAGNESIO ($MgAl_2O_4$) O ESPINELA



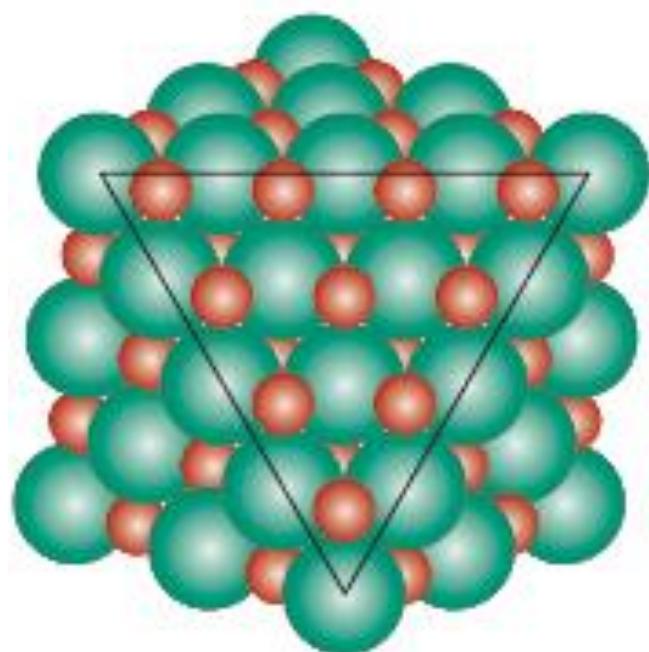
Oxygen
Cation in octahedral site
Cation in tetrahedral site





Tetrahedral

Octahedral

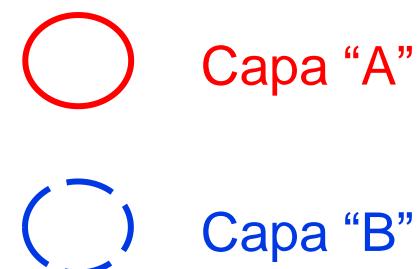
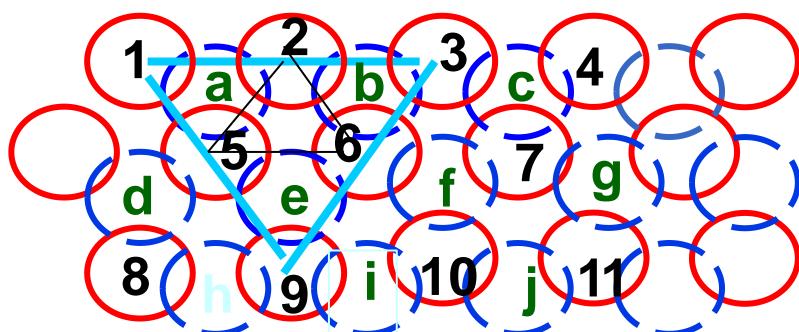


Conformación de las redes fcc y hcp



Apilamiento de capas tipo “A” sobre la “primera” buscando la máxima densidad de empaquetamiento

Colocar un átomo de la capa siguiente en la “depresión” entre 3 átomos vecinos de la capa A capa “B”



El apilamiento de la tercera capa sobre “B”

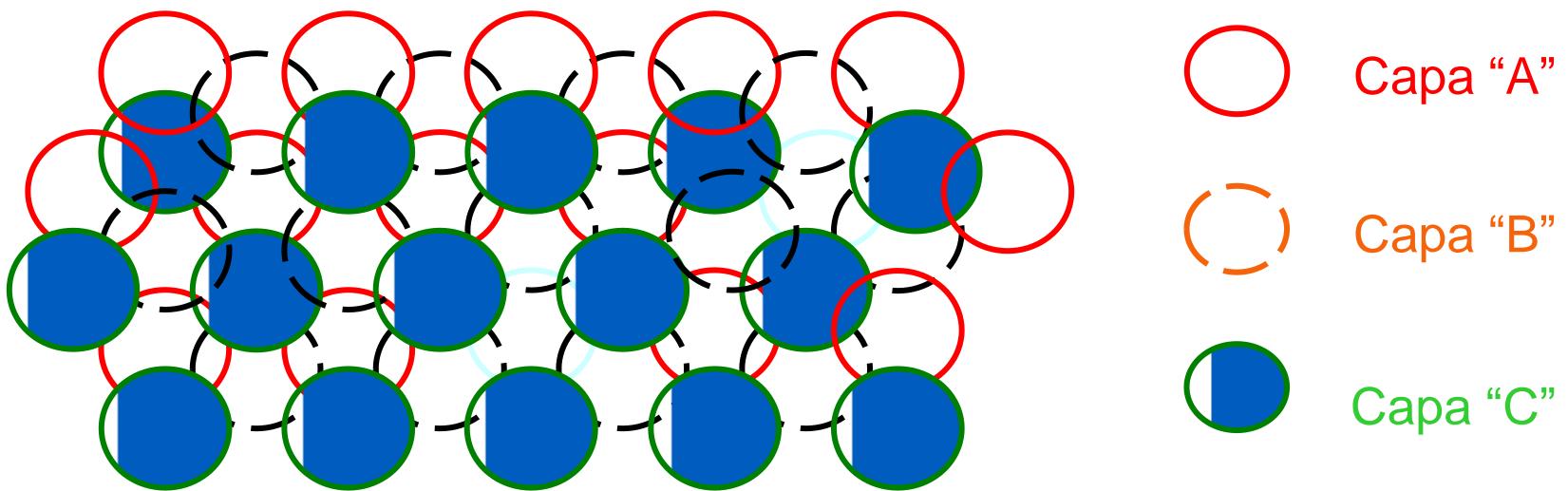
Red ccp

Red hcp

Red fcc

Colocar los átomos de la tercera capa en la “disposición triangular” de los átomos en la capa “B”

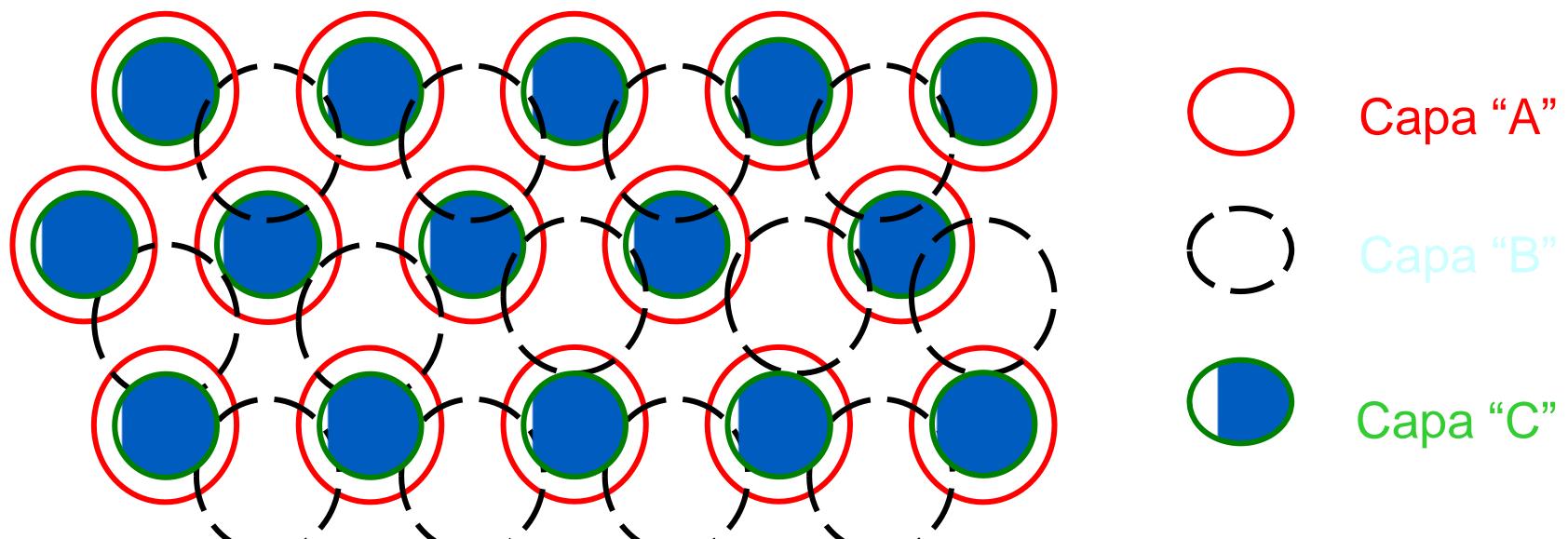
Estos átomos no están ni sobre los átomos de capa “A” ni sobre la “B”



Empaquetamiento compacto A-B-C-A
de una estructura fcc

Red hcp

Los átomos de la tercera capa se colocan directamente encima de los átomos que conforman la capa “A”



**Empaquetamiento compacto A-B-A-B
de una estructura hcp**

Localización y densidad de sitios intersticiales

Sitios entre capas de empaquetamiento compacto

Intersticios



Cavidades poliedrales que se forman entre los átomos empaquetados

Tetraédricos

NC=4

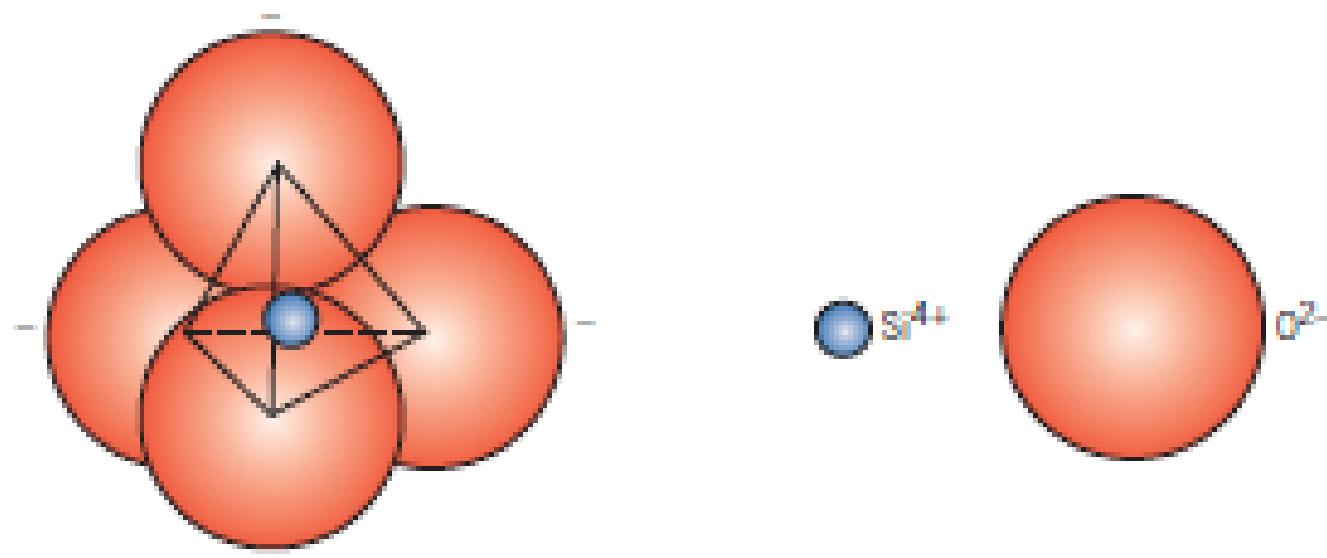
Octaédricos

NC= 6

Poliedros locales de coordinación.

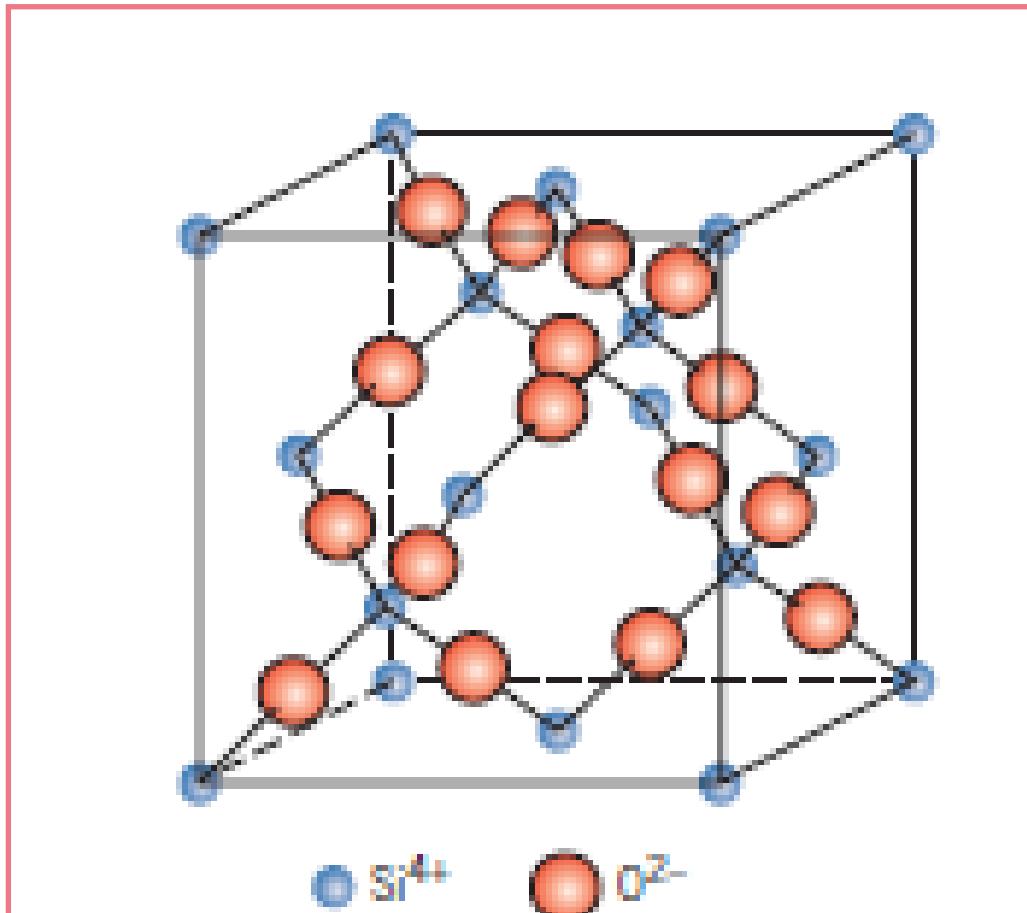
SILICATOS

Materiales compuestos principalmente por silicio y oxígeno



Tetraedro silicio- oxígeno SiO_4^{4-}

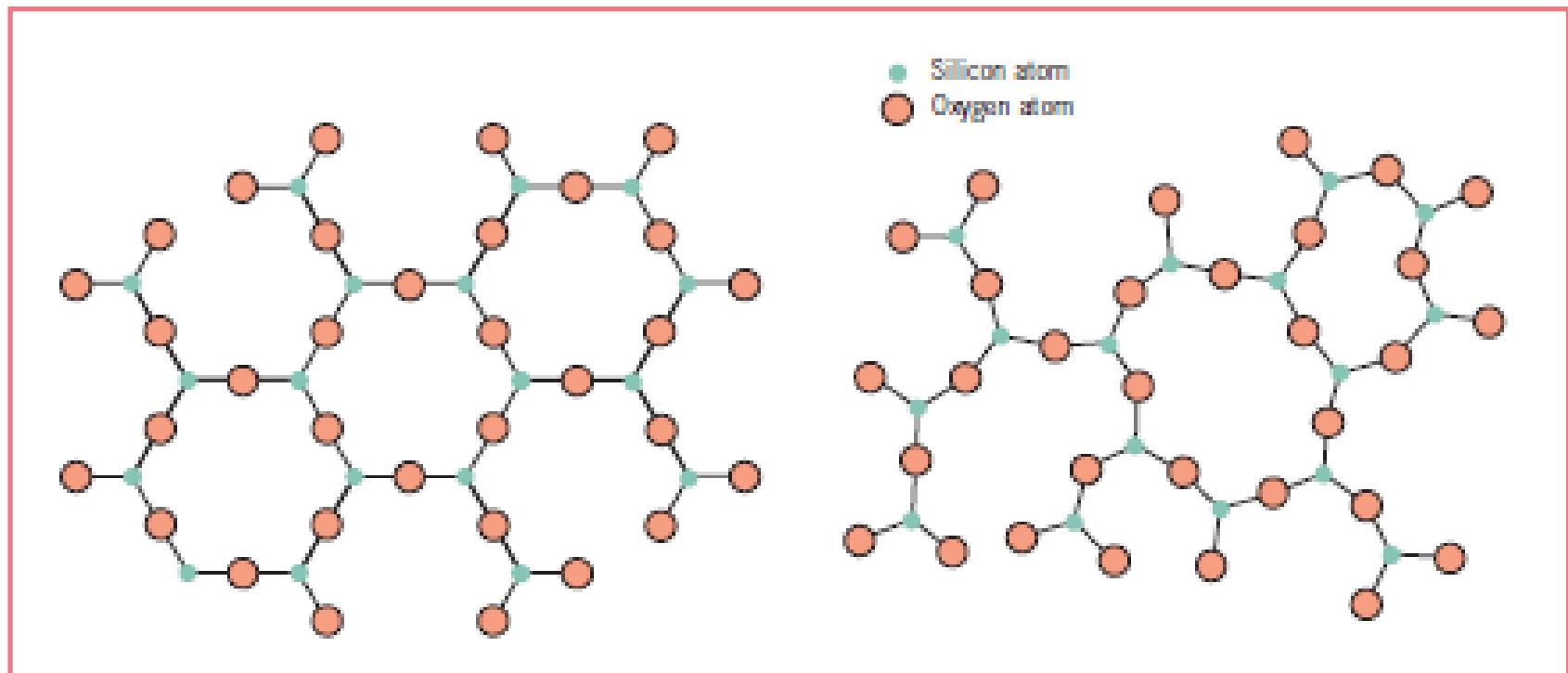
SÍLICE



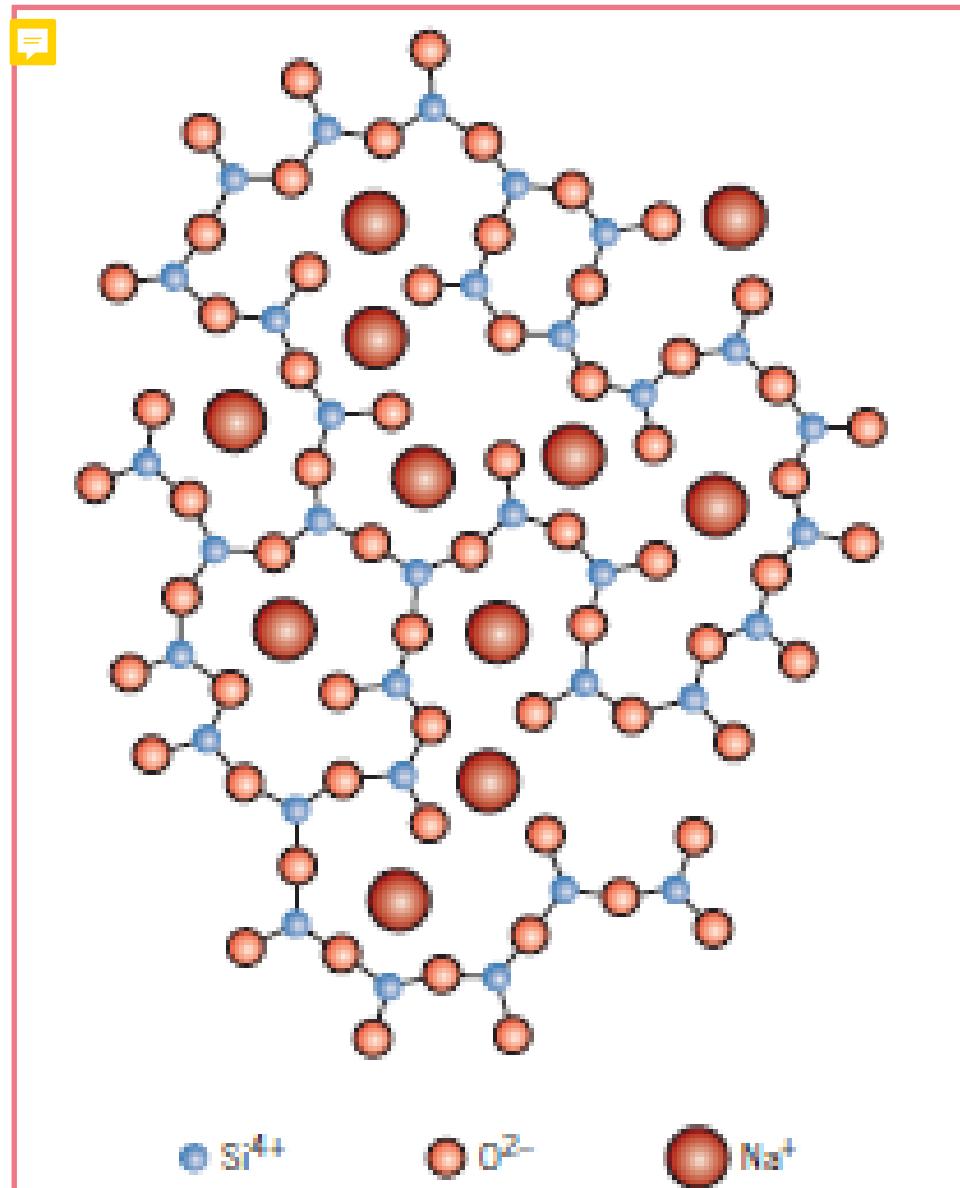
Cristobalita

Otras estructuras polimórficas: cuarzo y tridimita

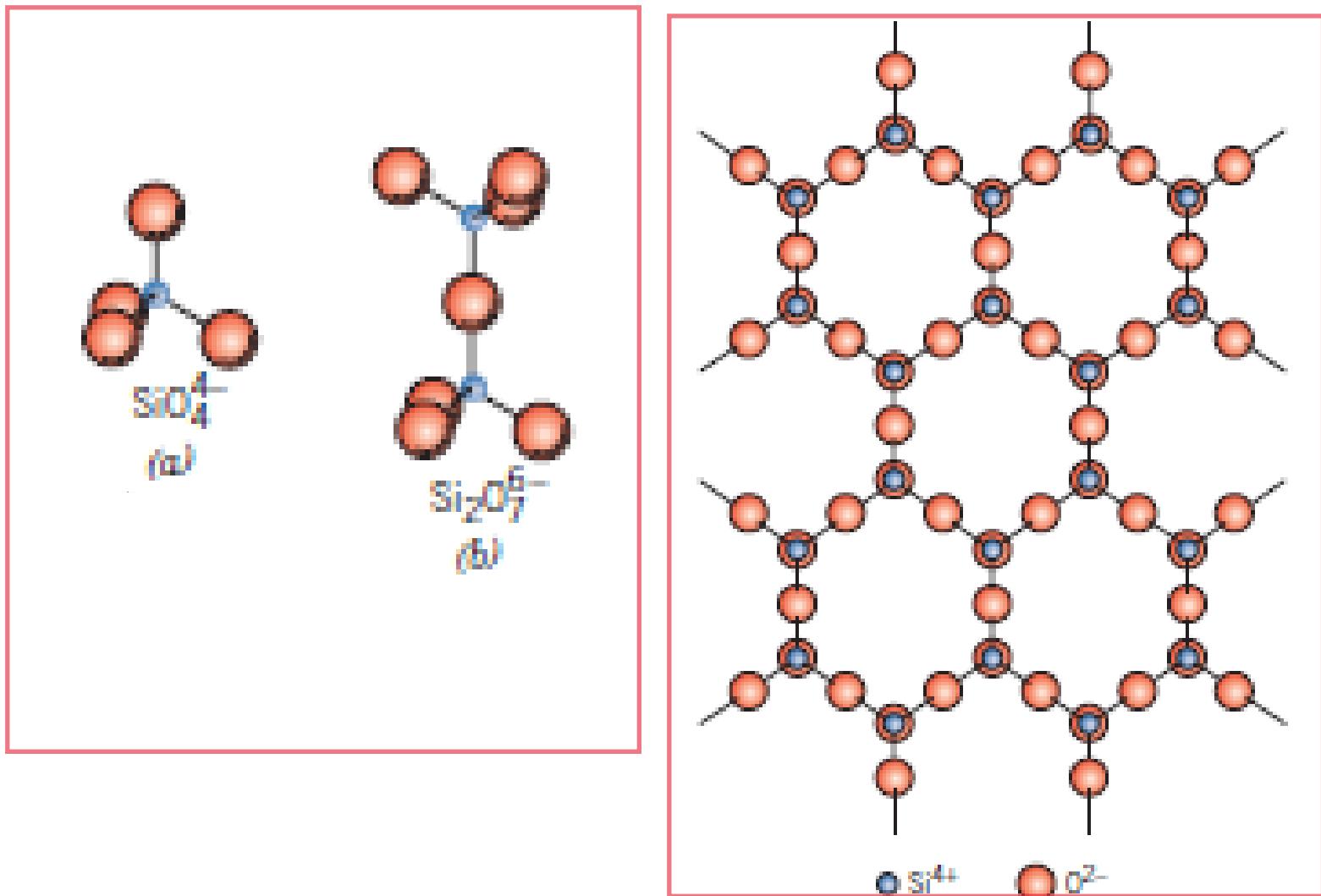
Vidrios de silice



Vidrios de silice

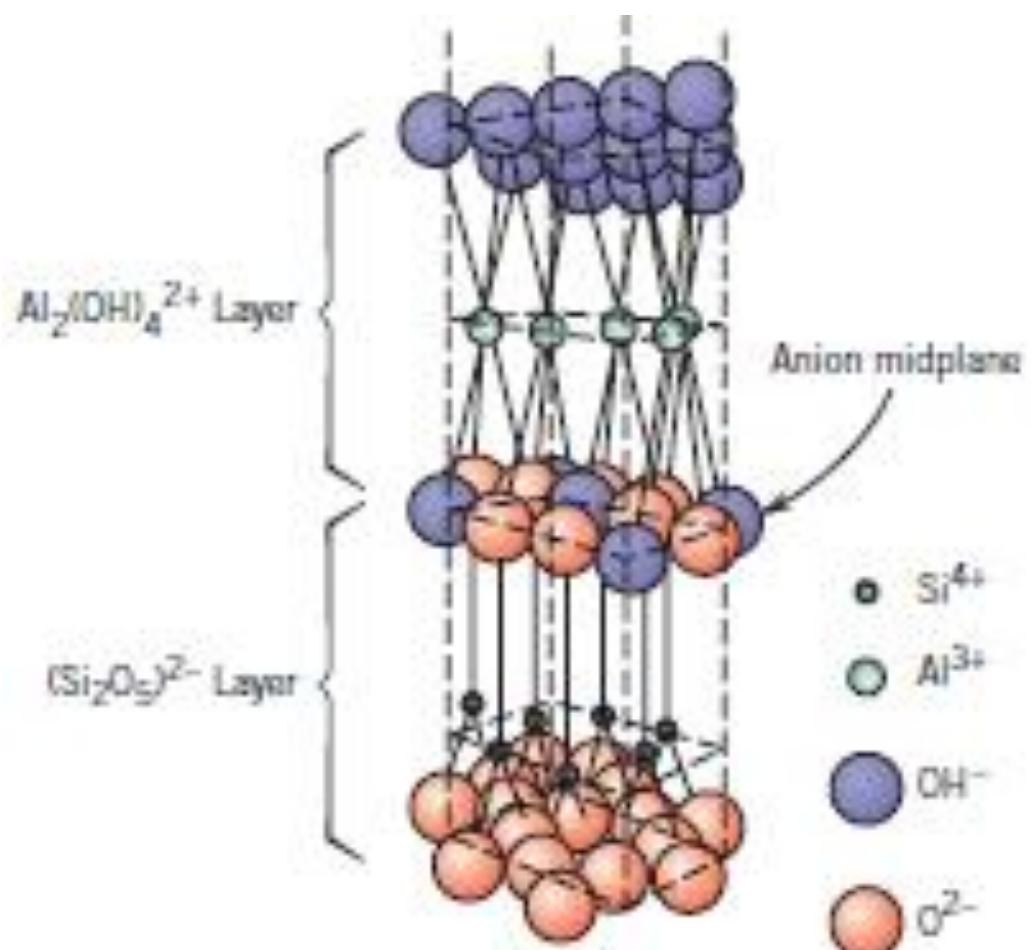
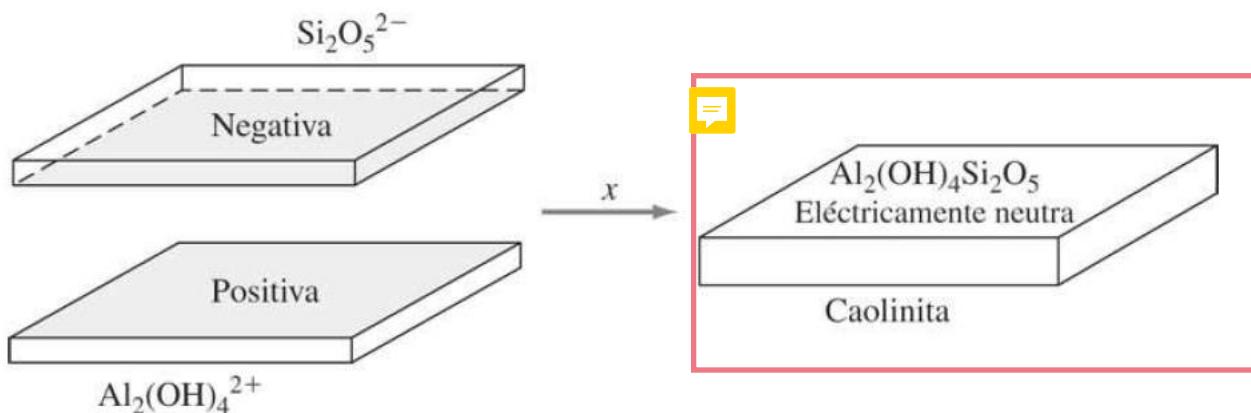


SILICATOS SIMPLES Y LAMINARES



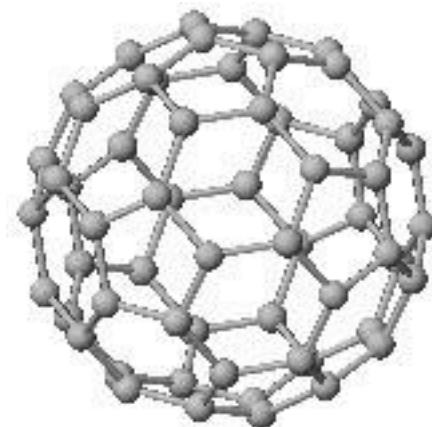
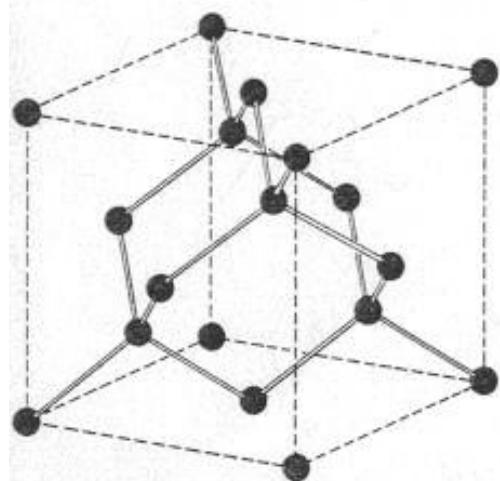
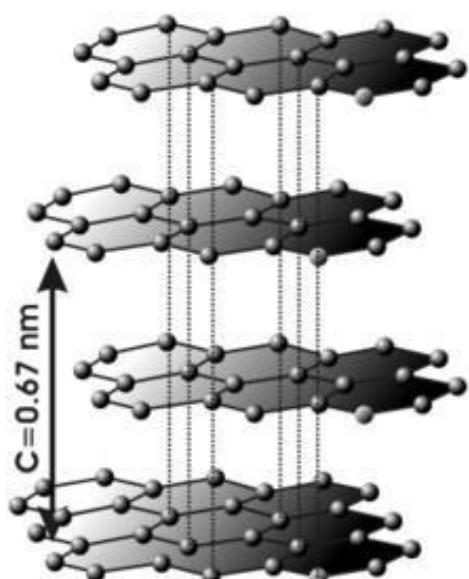
SILICATOS LAMINARES

Estructura de la arcilla caolinita



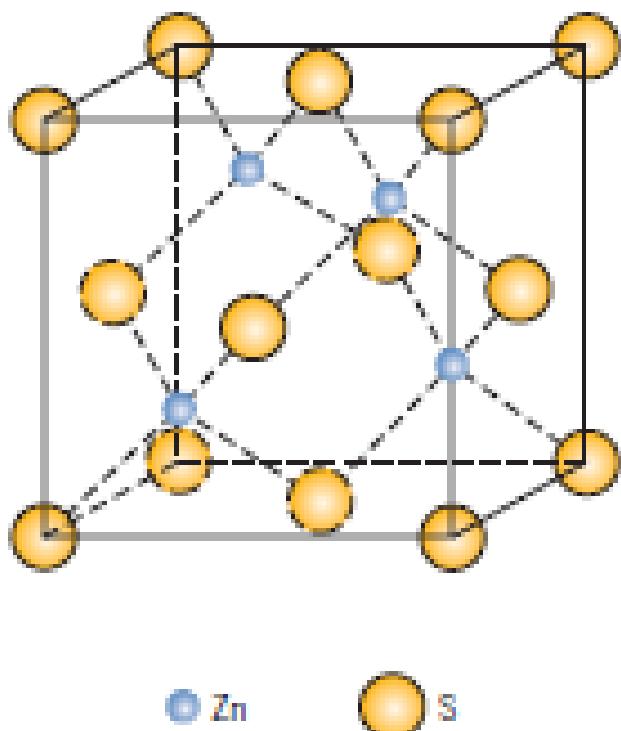
POLIMORFOS DEL CARBONO

GRAFITO Diamante Fullereno

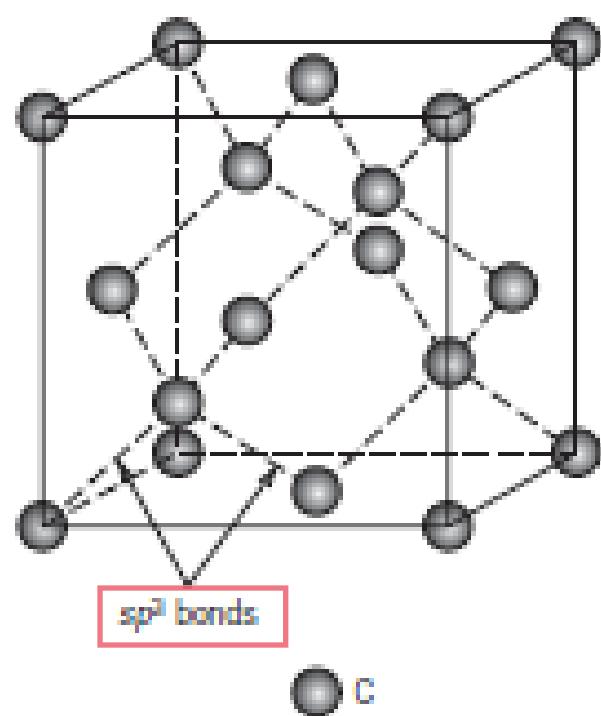


POLIMORFOS DEL CARBONO

Blenda

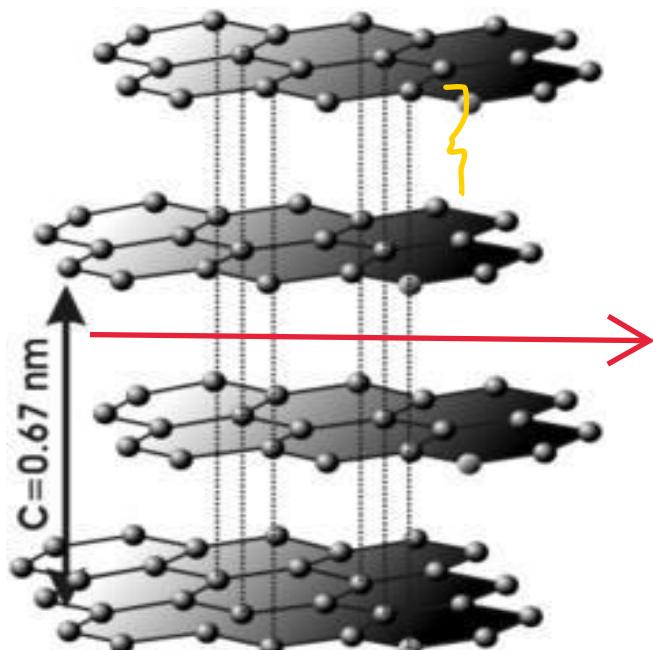


Diamante



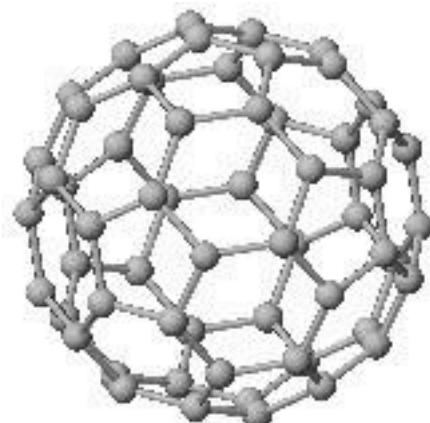
POLIMORFOS DEL CARBONO

GRAFITO

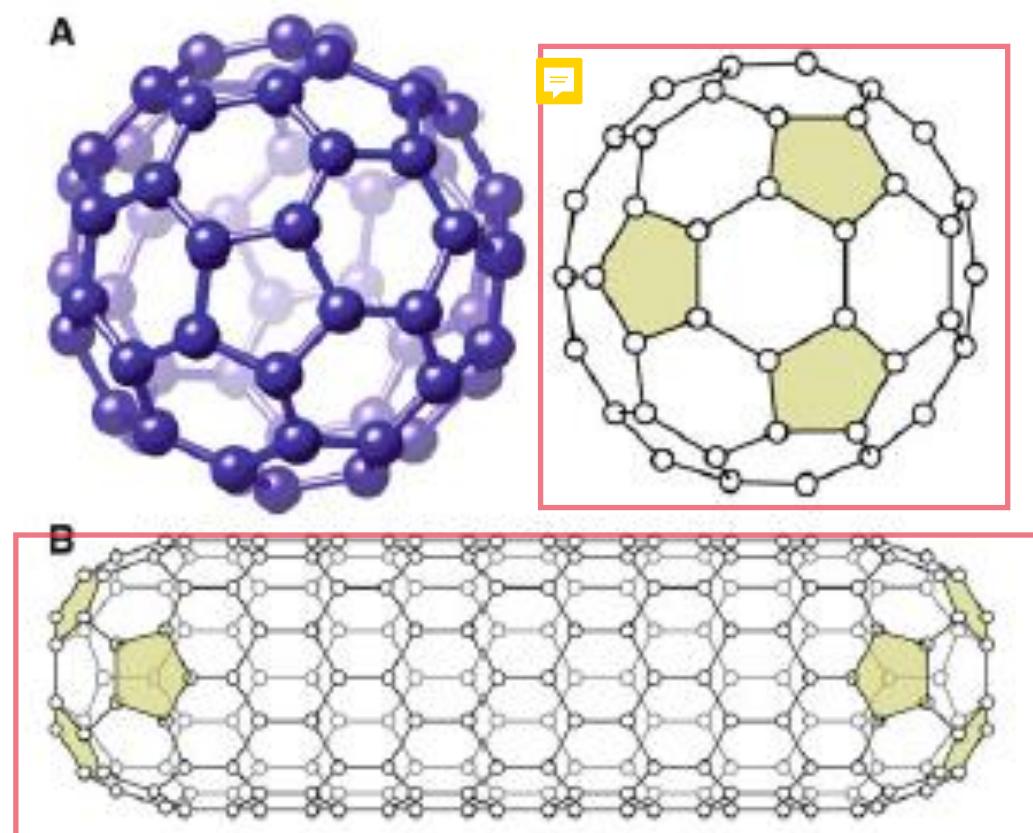


POLIMORFOS DEL CARBONO

Fullereno
(buckyballs)



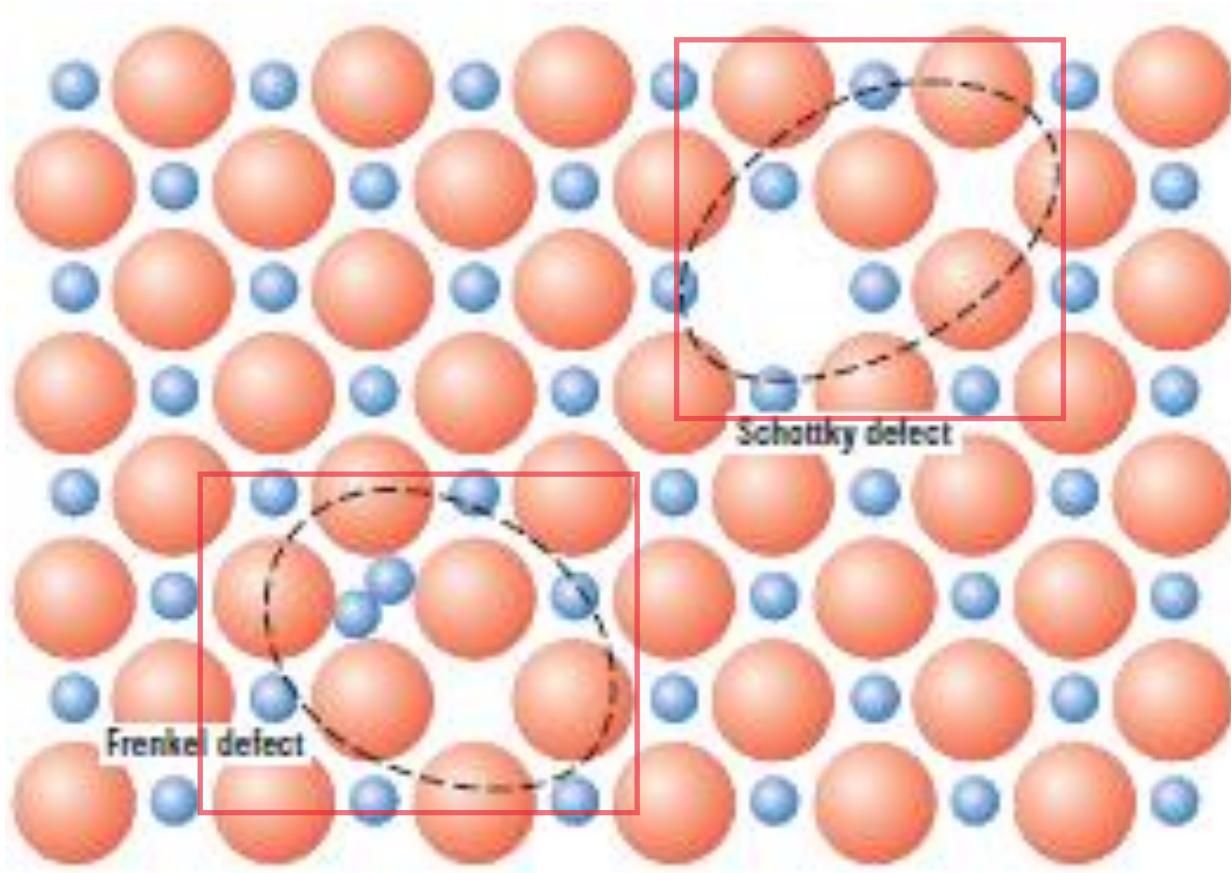
POLIMORFOS DEL CARBONO



Imperfecciones de los cerámicos

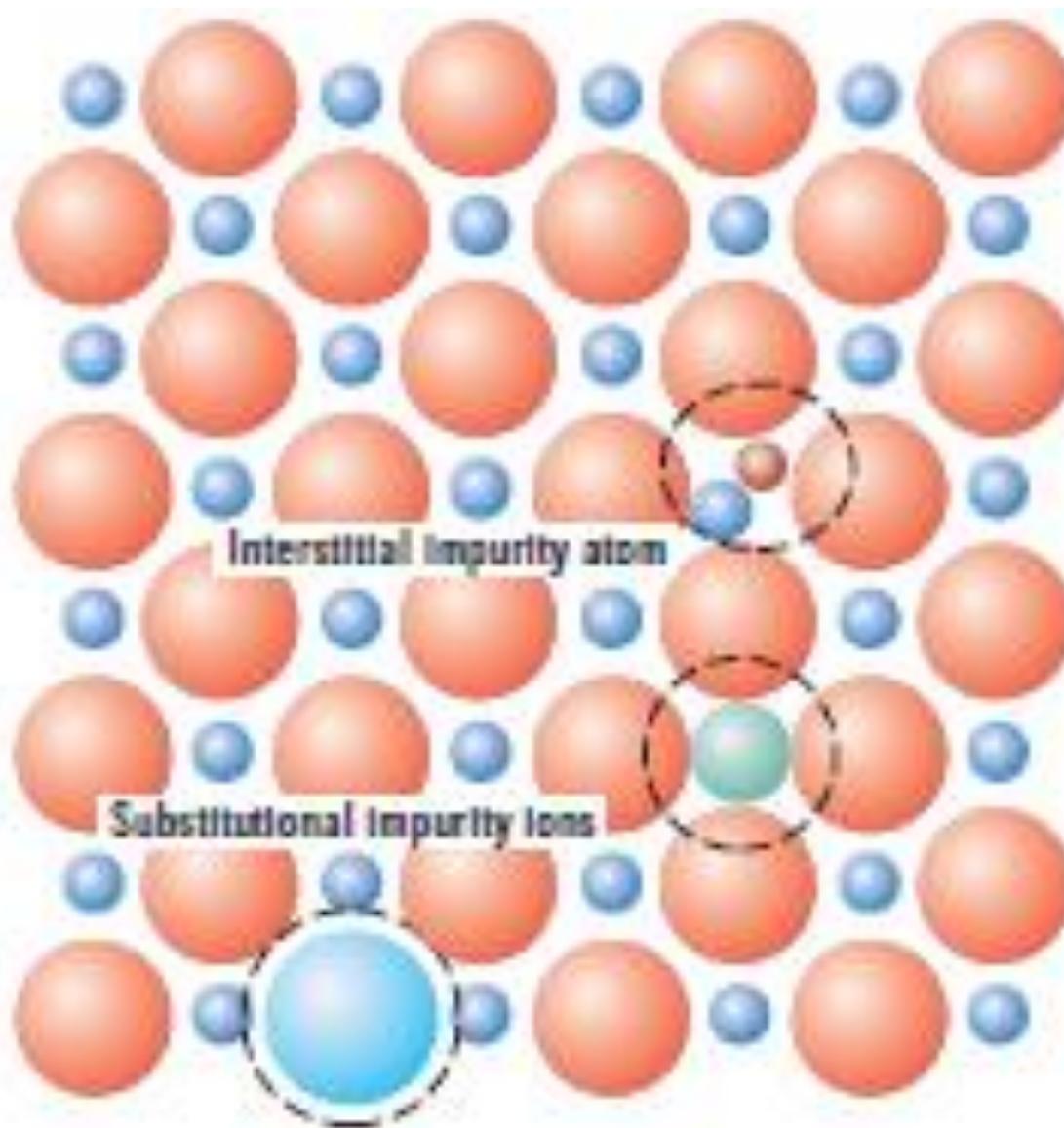
- Defectos atómicos puntuales
 - Conservan la Electroneutralidad
 - Conservan la Estequiométrica
 - Defecto Frenkel
 - Defecto Schottky
- Impurezas
 - Intersticiales
 - Sustitucionales

defectos atómicos puntuales



I

impurezas



Diagramas de Fases

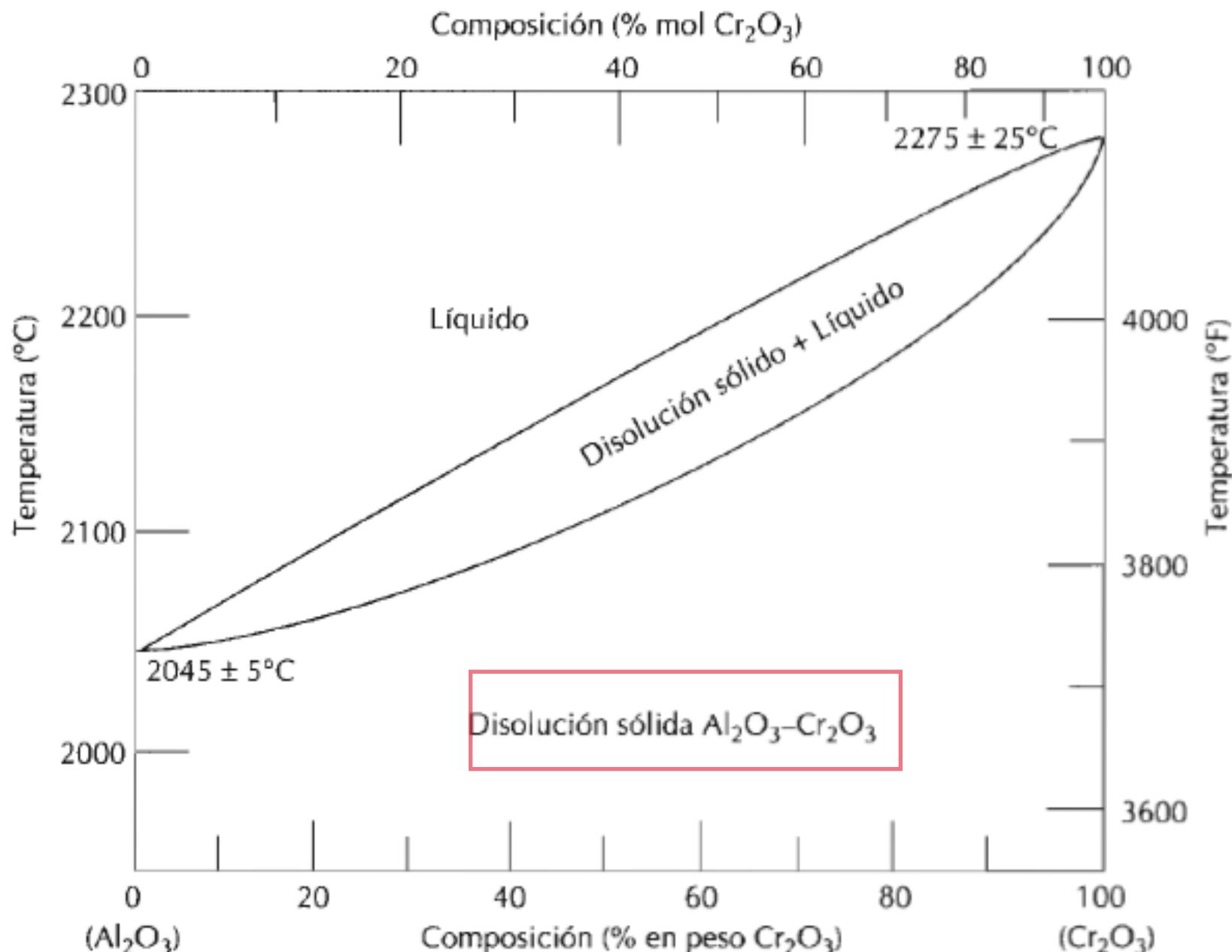
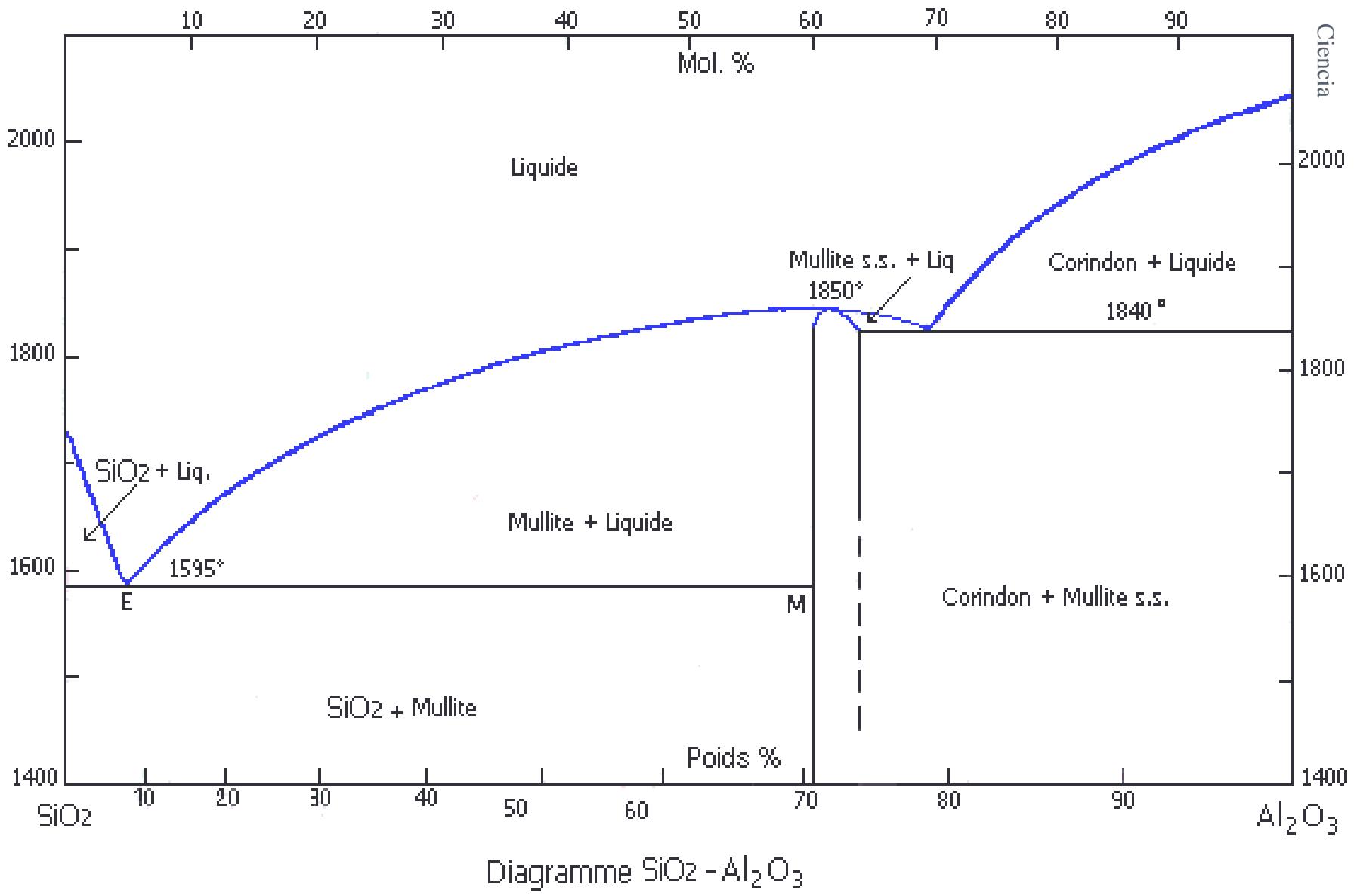


Figura 13.24 Diagrama de fases óxido de aluminio–óxido de cromo. (Adaptado de E. N. Bunting, "Phase Equilibria in the System $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ ", *Bur. Standards J. Research*, **6**, 1931, p. 948.)



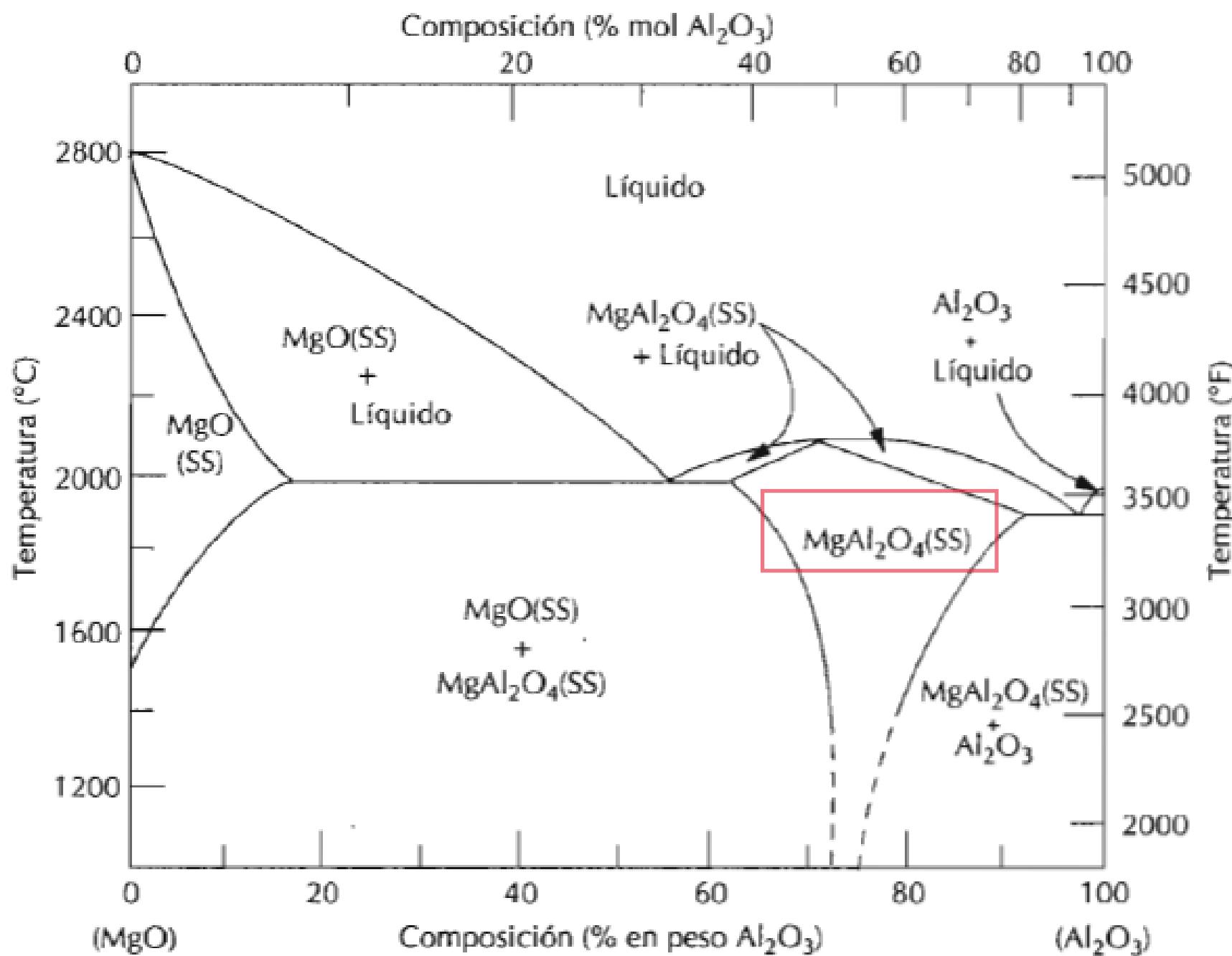
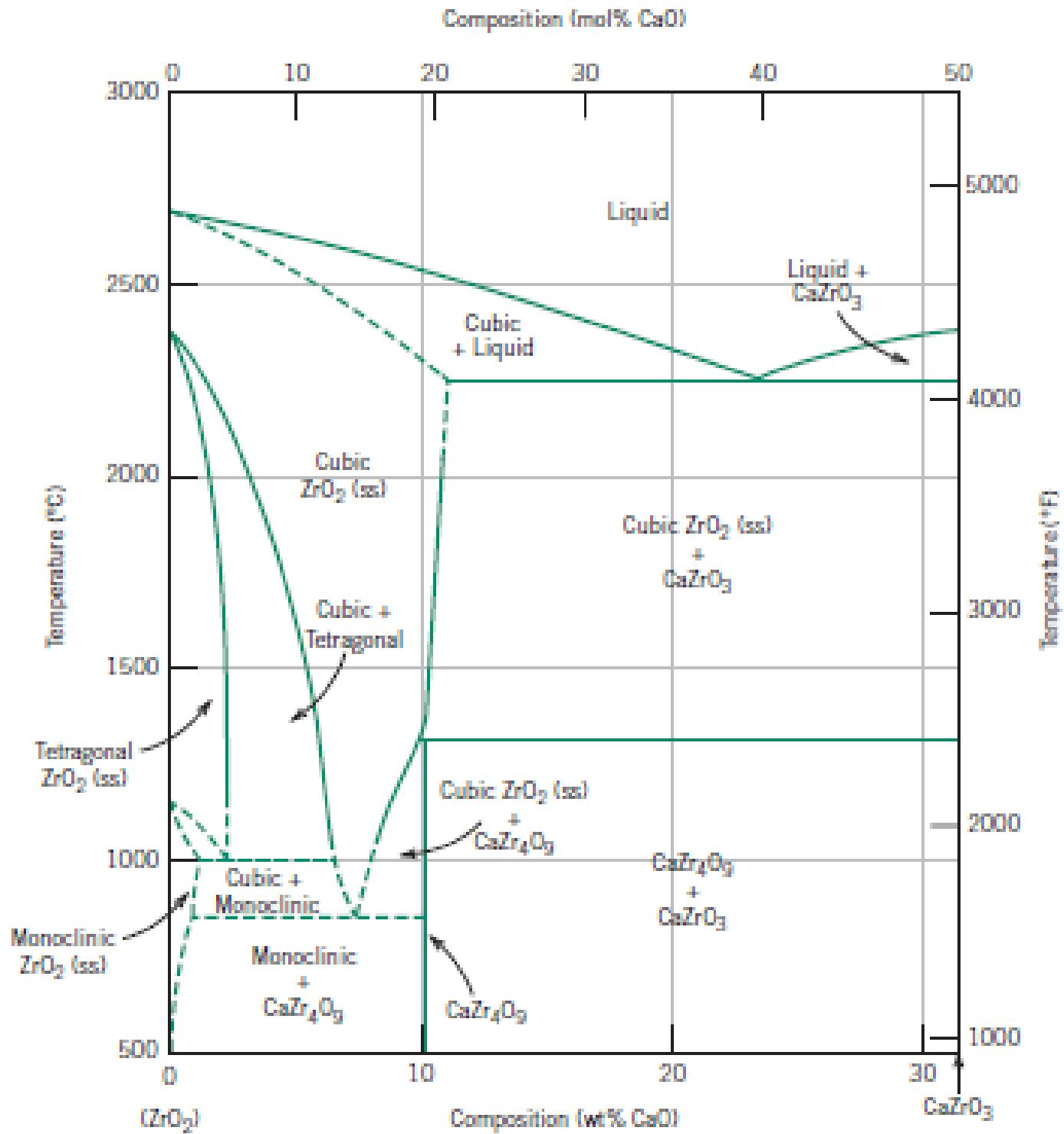


Figura 13.25 Diagrama de fases óxido de magnesio-óxido de aluminio; SS indica disolución sólida. (Adaptado de A. M. Alper, R. N. McNally, P. H. Ribbe, y R. C. Doman, "The System MgO-MgAl₂O₄", *J. Am. Ceram. Soc.*, **45**, 1962, p. 264; y D. M. Roy, R. Roy, y E. F. Osborn, "The System MgO-Al₂O₃-H₂O and Influence of Carbonate and Nitrate Ions on the Phase Equilibria", *Am. J. Sci.*, **251**, 1953, p. 341.)



PROPIEDADES DE LOS CERÁMICOS

MECÁNICAS



TÉRMICAS



ÓPTICAS



ELÉCTRICAS



MAGNÉTICAS



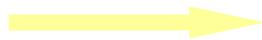
PROPIEDADES MECÁNICAS



FRACTURA FRÁGIL-

Tracción: hasta 172 MPa

Compresión: 5 a 10 veces
más alta.



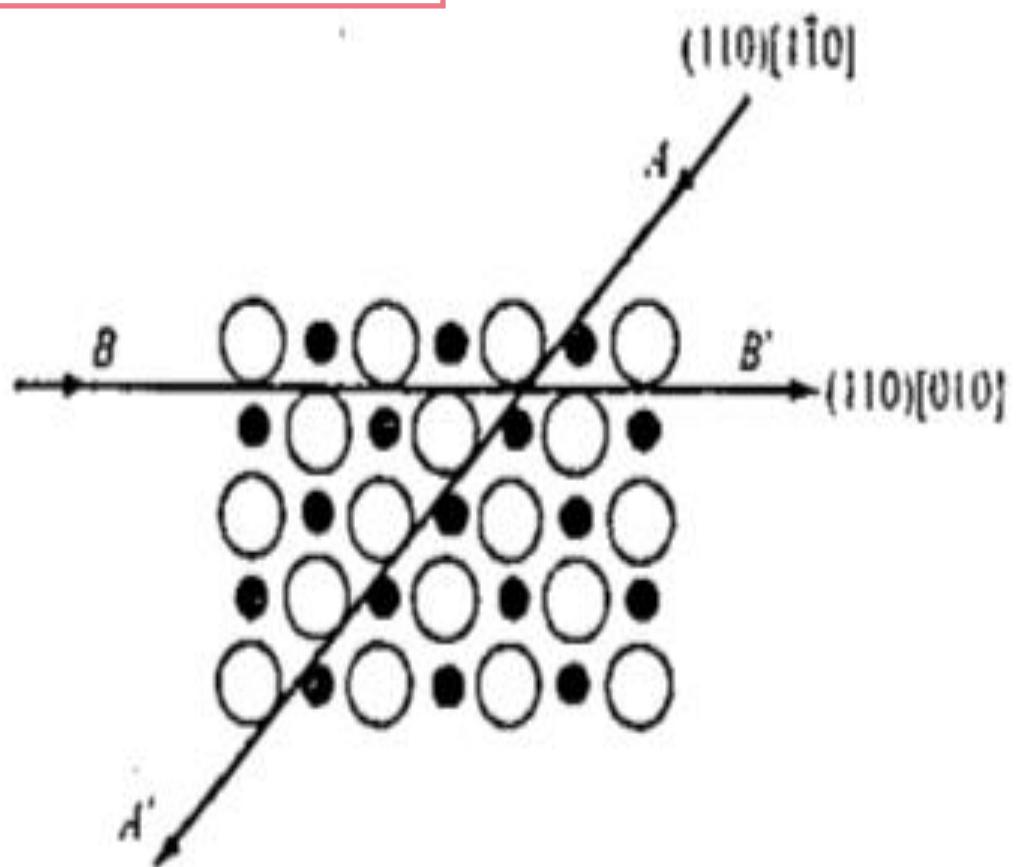
A TEMPERATURA AMBIENTE LAS CERÁMICAS SE ROMPEN ANTES DE QUE OCURRA CUALQUIER DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN RESPUESTA A CUALQUIER CARGA DE TRACCIÓN – Duros y poca resistencia impacto (uniones iónico-covalentes)

Material	Densidad g/cm ³	Resistencia a la compresión		Resistencia a la tensión		Resistencia a la flexión		Tenacidad a la fractura	
		MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa/m	ksi/m
Al ₂ O ₃ (99 %)	3,85	2585	375	207	30	345	50	4,	3,63
Si ₃ N ₄ (presionado en caliente)	3,19	3450	500	690	100	6,6	5,99
Si ₃ N ₄ (reacción de aglomeración)	2,8	770	112	255	37	3,6	3,27
SiC (sintetizado)	3,1	3860	560	170	25	550	80	4	3,63
ZrO ₃ , 9 % MgO (parcialmente estabilizado)	5,5	1860	270	690	100	8+	7,26+

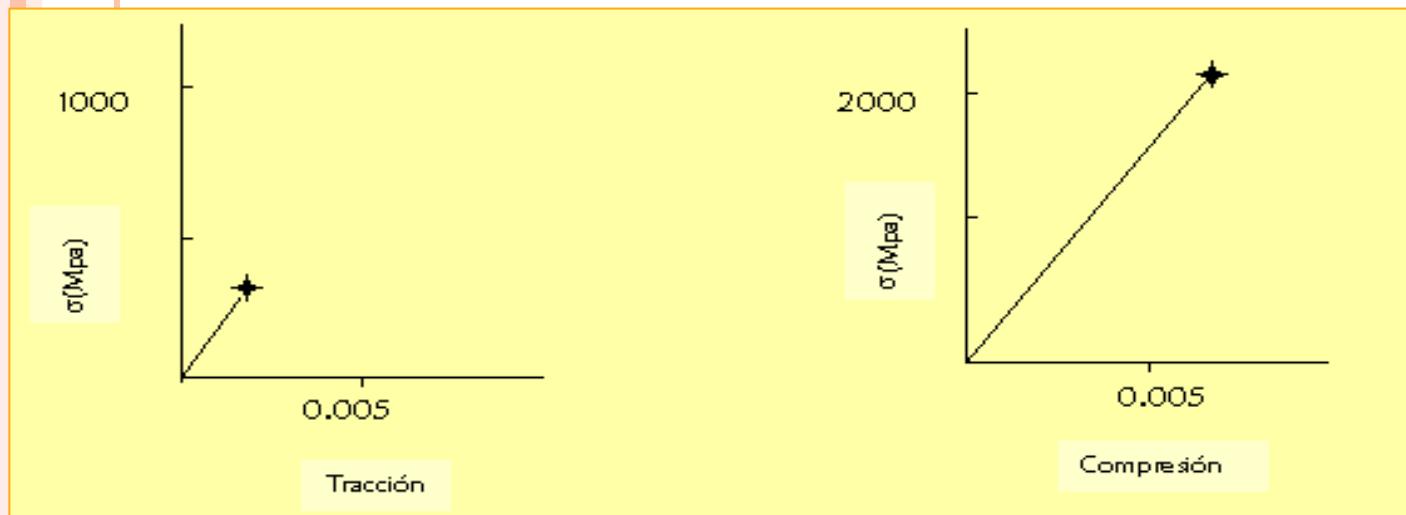
Mecanismos de Deformación

Cerámicos con enlaces covalentes

Cerámicos con enlaces iónicos
monocristalinos vs policristalinos



EXISTE UNA GRAN DIFERENCIA ENTRE LA RESISTENCIA A LA FRACTURA POR CARGA DE TRACCIÓN O DE COMPRESIÓN



ESTO SE DEBE A QUE LOS PEQUEÑOS DEFECTOS DEL MATERIAL ASÍ COMO LOS POROS INTERNOS ACTÚAN COMO CONCENTRADORES DE TENSIÓN, AMPLIFICANDO SU MAGNITUD. LOS POROS DISMINUYEN EL AREA TRANSVERSAL.

- El **módulo de elasticidad** alcanza valores bastante altos del orden de **311 GPa** en el caso del Carburo de Titanio (TiC).
- El valor del módulo de elasticidad depende de la temperatura, disminuyendo de forma no lineal al aumentar ésta.
- Deformaciones plásticas:
 - En las cerámicas no cristalinas (o vidriosas), la deformación se produce por **flujo viscoso**, de la misma manera que se deforman los líquidos.

BAJA TENACIDAD



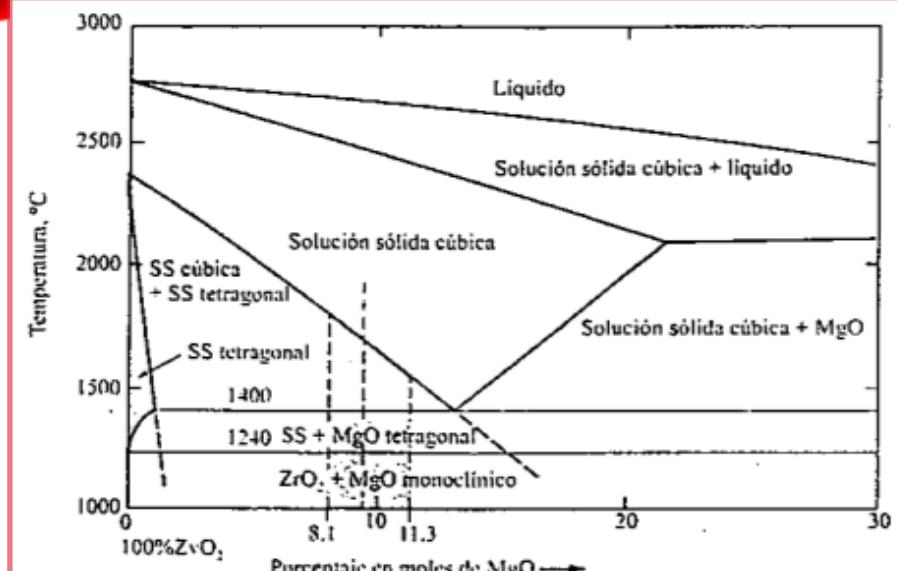
POCA CAPACIDAD PARA
ABSORBER ENERGÍA ANTES
DE LA FRACTURA

$$K_{1C} = Y \cdot \sigma_f \cdot \sqrt{\pi a}$$

MÉTODO PARA
AUMENTAR LA
TENACIDAD DE LOS
CERÁMICOS



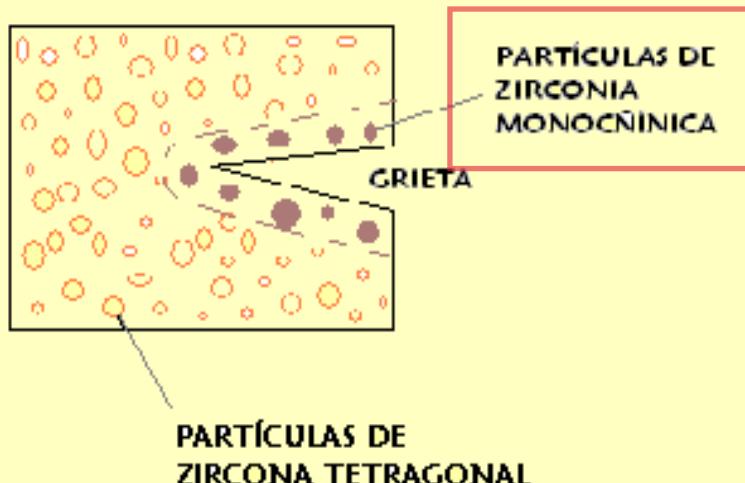
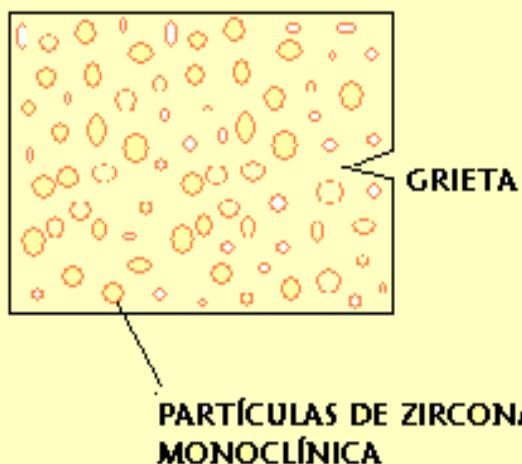
POR TRANSFORMACIÓN
DE FASE: Zirconia
Parcialmente Estabilizada
(PSZ)



POR TRANSFORMACIÓN DE FASE: SE USA LA ZIRCONIA PARCIALMENTE ESTABILIZADA (PSZ), con 9%moles OMg.

Sinteriz. a 1800°C y enfri. rápido: estructura cúbica

Recalentando a 1400°C, luego de un tiempo: ppdos. finos estruct. tetragonal, por tensiones en grieta pasa a monoclinica.



**LA TENACIDAD DE LA PSZ INCREMENTADA POR
LA TRANSFORMACIÓN DE FASE ES COMPETITIVA
FRENTE A ALEACIONES METÁLICAS DE TENACIDAD
MODERADA**

FATIGA ESTÁTICA



PÉRDIDA DE RESISTENCIA DE LA CERÁMICA PRODUCIDA POR EL DAÑO MICROESTRUCTURAL

- A diferencia de los metales, está involucrado un mecanismo químico en lugar ~~de~~ mecánico



Por el tipo enlaces iónico-coov. La fisura nuclea y crece en áreas endurecidas con poca o ninguna plasticidad



A temperatura ambiente, fisuras estables bajo tensiones compresión, en láminas de alúmina policristalina

Tabla 13.5 Dureza Knoop aproximada (carga = 100g) de siete materiales cerámicos

<i>Material</i>	<i>Dureza Knoop aproximada</i>
Diamante (carbono)	7000
Carburo de boro (B_4C)	2800
Carburo de silicio (SiC)	2500
Carburo de tungsteno (WC)	2100
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	2100
Cuarzo (SiO_2)	800
Vidrio	550

DUREZA



ES UNA MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE UN MATERIAL A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA LOCALIZADA

LOS CERÁMICOS SON LOS MATERIALES MÁS DUROS QUE SE CONOCEN

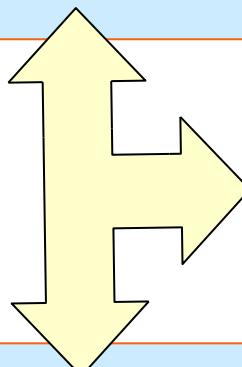
• Se usan como materiales **abrasivos**, para cortar, afilar y pulir otros materiales de menor dureza

Ejemplos: Carburo de silicio, Carburo de Tungsteno, Óxido de Aluminio y Arena de Sílice

Como revestimiento: lija con partículas de Carburo de silicio, óx. de Al y Zr, unidas con resina orgánica y caucho

Adheridas a muelas de desbaste

Como granos sueltos (nitruro de boro cúbico)



•

PROPIEDADES TÉRMICAS



- LA MAYORÍA DE LOS CERÁMICOS TIENEN **BAJAS CONDUCTIVIDADES** TÉRMICAS DEBIDO A LOS FUERTES ENLACES IÓNICOS E IÓNICOS-COVALENTES → BUENOS AISLANTES TÉRMICOS
- POR SU ALTA RESISTENCIA AL CALOR SON USADOS COMO **REFRACTARIOS** → MATERIALES QUE RESISTEN LA ACCIÓN DE AMBIENTES CALIENTES, TANTO LÍQUIDOS COMO GASEOSOS



SE USAN EN LAS
INDUSTRIAS
METALÚRGICA,
QUÍMICA,
CERÁMICA Y DEL
VIDRIO PARA:



Ladrillos y morteros

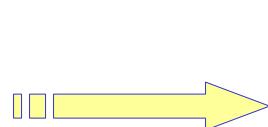


Recubrimientos de
hornos



Aislantes térmicos

Refractarios industriales



Mezclas de compuestos cerámicos

Propiedades:

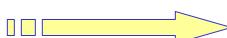


Densidad: 2.1-3.3 g/cm³

Baja porosidad-más densos: resist.
corrosión, a la penetrac. de líquidos y
gases.

Alta porosidad-menos densos: refractarios
aislantes

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA



CAPACIDAD DEL MATERIAL QUE PERMITE QUE EL CALOR FLUYA POR ÉL

Es una propiedad muy importante desde el punto de vista del diseño y las aplicaciones



PARA AISLAMIENTOS TÉRMICOS

CERÁMICAS CON BAJA CONDUCTIVIDADES

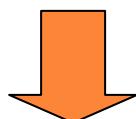
PARA RESISTENCIA AL CHOQUE TÉRMICO → CERÁMICAS CON ALTAS CONDUCTIVIDADES

- Bajas conductividades térmicas (enlaces iónico covalentes)
- Buenos Aislantes Térmicos
- Alta resistencia al calentamiento

REFRACTARIOS



REFRACTARIOS CERÁMICOS



- Capacidad de soportar altas temperaturas sin fundir o descomponerse
- Capacidad de permanecer inertes sin reaccionar cuando son expuestos a medios agresivos
- Capacidad de producir aislamiento térmico

↳ **Refractarios Ácidos**

↳ **Refractarios Básicos**

↳ **Refractarios Especiales**

REFRACTARIOS ÁCIDOS



SiO_2 (sílice) y Al_2O_3 (alúmina)

★ Refractarios de sílice

- ◆ alta refractariedad
- ◆ alta resistencia mecánica
- ◆ rigidez

★ Refractarios de arcillas-25-45% alúmina-poca resist.mecánica

★ Refractarios de alta alúmina: contienen del 50 al 99% de alúmina y tienen temperaturas de fusión mayores

REFRACTARIOS BÁSICOS



MgO (magnesia) y CaO (cal)

Compuestos
mayoritariamente por

- Altas densidades
- Altas temperaturas de fusión
- Buena resistencia al ataque químico por escorias básicas y óxidos.
- 92-95% de MgO

REFRACTARIOS ESPECIALES



Compuestos
mayoritariamente
por

Alúmina, sílice, magnesia,
óx.berilio, circona

- Alta pureza
- Poca porosidad
- Para resistencias eléctricas:
carburo de silicio
- Muy refractarios: carbono y grafito

- **¿QUÉ PUEDE OCURRIR CUANDO SOMETEMOS A UNA CERÁMICA A ALTAS TEMPERATURAS?**

CERÁMICOS CRISTALINOS



CHOQUE TÉRMICO

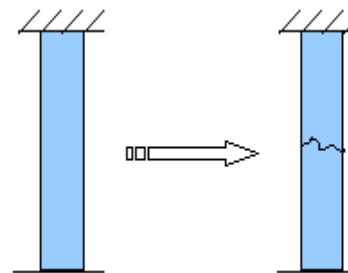
FRACTURA PARCIAL O TOTAL DEL MATERIAL DEBIDO A UN CAMBIO BRUSCO DE TEMPERATURA

¿Cuando se produce?

SI SE IMPIDE LA EXPANSIÓN UNIFORME DEL MATERIAL COMO CONSECUENCIA DEL CAMBIO DE TEMPERATURA, PUEDE PRODUCIRSE UN FALLO TENSIONAL



Restricción a la expansión térmica



Rotura debido a una compresión excesiva

LOS CAMBIOS BRUSCOS DE TEMPERATURA PRODUCEN GRADIENTES DE TEMPERATURAS TÉRMICAS QUE ORIGINAN TENSIONES INTERNAS POR SER FINITA LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA



Debido a la presencia inevitable de defectos las tensiones residuales pueden conducir a la fractura

PROPIEDADES ÓPTICAS



- ÍNDICES DE REFRACCIÓN VARÍAN ENTRE 1.5 Y 2.5

Velocidad de la luz considerablemente menor en el sólido que el aire

- **REFLECTIVIDAD**: FRACCIÓN DE LUZ REFLEJADA EN UNA ENTRECARA. A MEDIDA QUE AUMENTA EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN ➡ AUMENTA LA CANTIDAD DE LUZ REFLEJADA ➡ SE REDUCE LA ENTRADA DE LUZ EN EL MATERIAL

- Recubrimientos con esmaltes vítreos: se desea alta reflectividad que da lugar a un alto brillo superficial
- Para las **lentes oftalmológicas** este efecto produce una pérdida de luz indeseable.

PROPIEDADES ELÉCTRICAS



Distinguimos los tres posibles tipos:

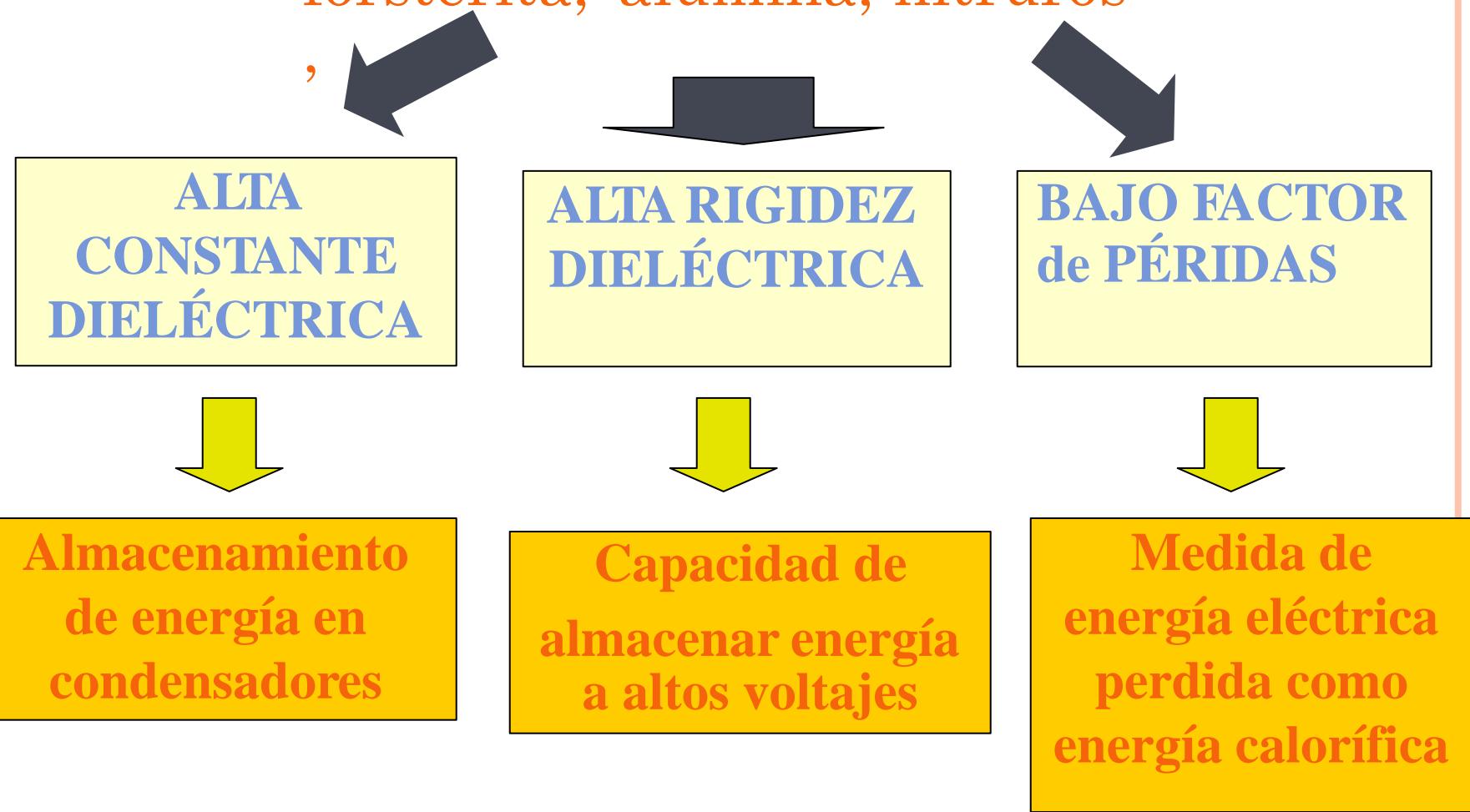
AISLANTES o
DIELÉCTRICOS (la
mayoría)

SEMICONDUCTORES

CONDUCTORES

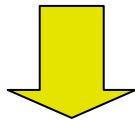
AISLANTES

Principales: Porcelana eléctrica,
forsterita, alúmina, nitruros

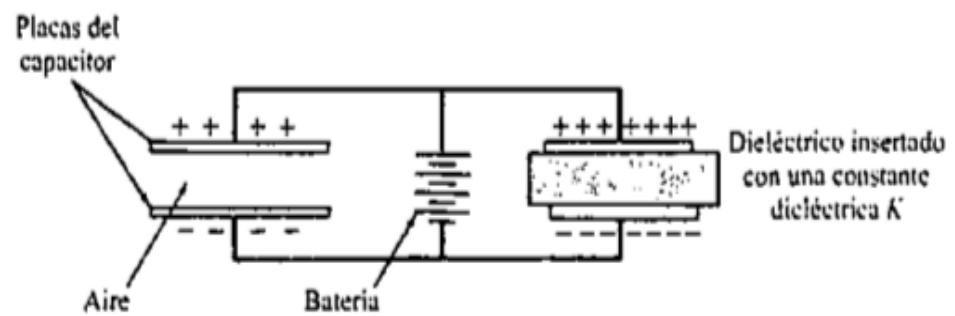
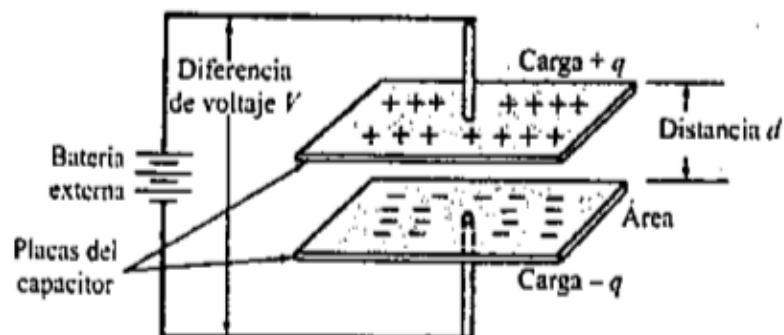
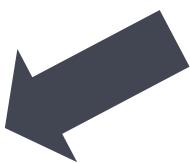


AISLANTES

ALTA
CONSTANTE
DIELÉCTRICA



Almacenamiento
de energía en
condensadores



$$C = \frac{Q}{V}$$

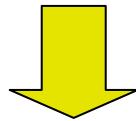
$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$C = \frac{k \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d}$$

AISLANTES



**ALTA RIGIDEZ
DIELÉCTRICA**

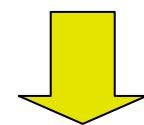


**Capacidad de
almacenar energía
a altos voltajes**

AISLANTES

Material	Resistividad por volumen $\Omega \cdot m$	Rigidez dieléctrica		Constante dieléctrica, κ		Factor de pérdidas	
		V/mil	kV/mm	60 Hz	10^6	60 Hz	10^6 Hz
Aislantes de porcelana eléctrica	$10^{11} - 10^{13}$	55-300	2-12	6	...	0,06	
Aislantes de esteatita	$> 10^{12}$	145-280	6-11	6	6	0,008-0,090	0,007-0,025
Aislantes de fosterita	$> 10^{12}$	250	9,8	...	6	...	0,001-0,002
Aislantes de alúmina	$> 10^{12}$	250	9,8	...	9	...	0,0008-0,009
Vidrios soda-cálcico	7,2	...	0,009
Sílice fundida	...	8	3,8	...	0,00004

BAJO FACTOR
de PÉRDIDAS



Medida de
energía eléctrica
perdida como
energía calorífica

SEMICONDUCTORES

- Aplicación: Termistor o Resistencia Sensitiva Térmica.
Ej.: óxidos sinterizados de Mn, Ni, Fe, Co y Cu
- Ejemplo: Magnetita Fe_3O_4 que posee la estructura de espinela inversa

CERÁMICOS FERROELÉCTRICOS

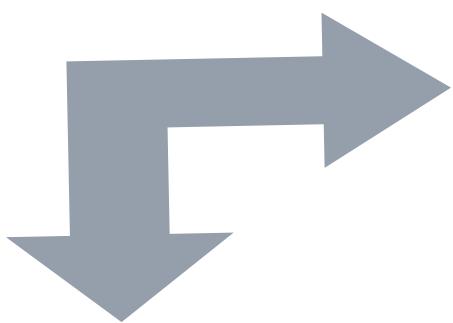
$T < T_c$ →

Polarización espontánea en ausencia de campo eléctrico aplicado. Momento dipolar resultante de alineación dipolos, cargas + en un extremo y - en el otro.

Titanato de Bario (BaTiO_3)

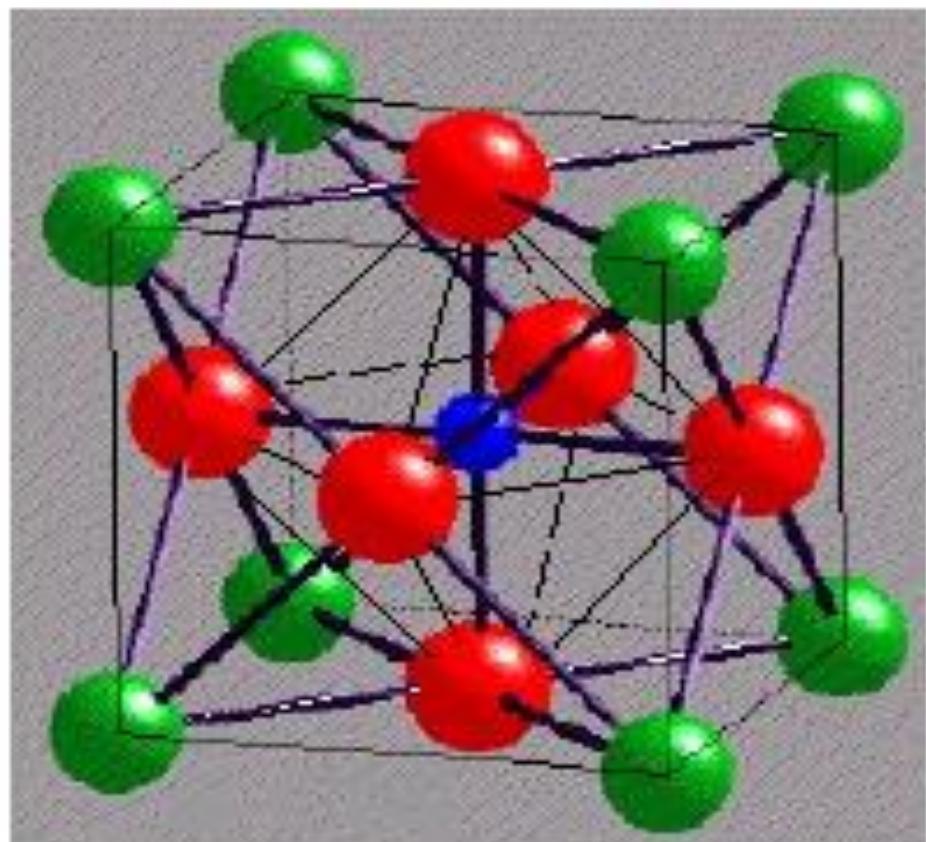
$T_c = 120^\circ\text{C}$

$T > T_c$



**ESTRUCTURA
CÚBICA
REGULAR
SIMÉTRICA DE
PEROVSKITA**

Ba Ti O

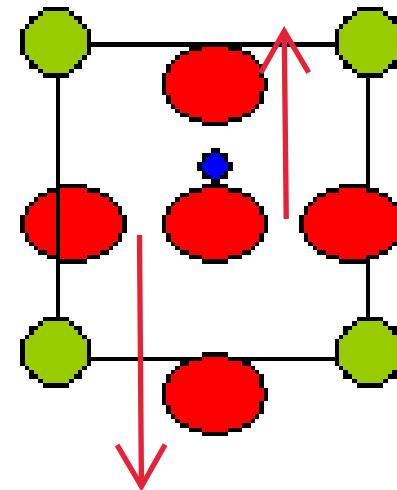
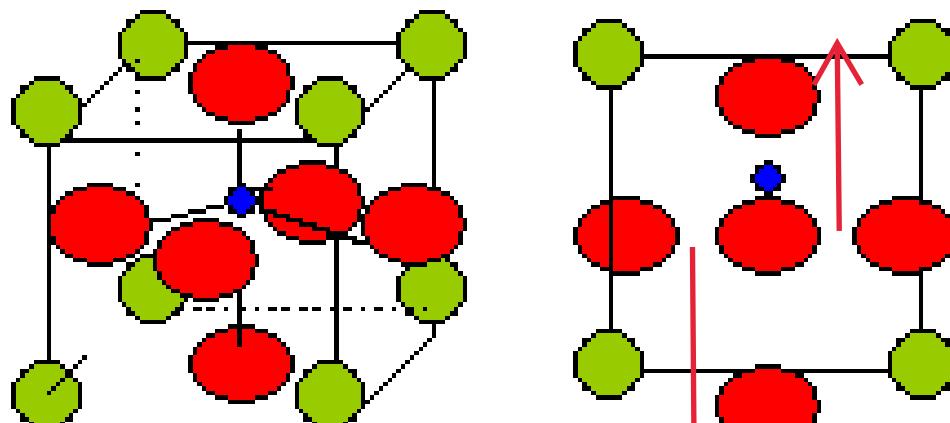


$T < T_C$



Temperatura de
Curie

ESTRUCTURA
TETRAGONAL

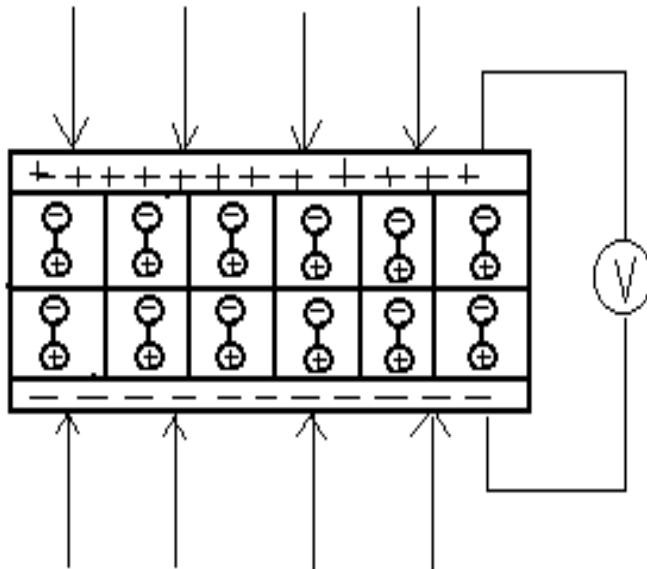


BaTiO_3

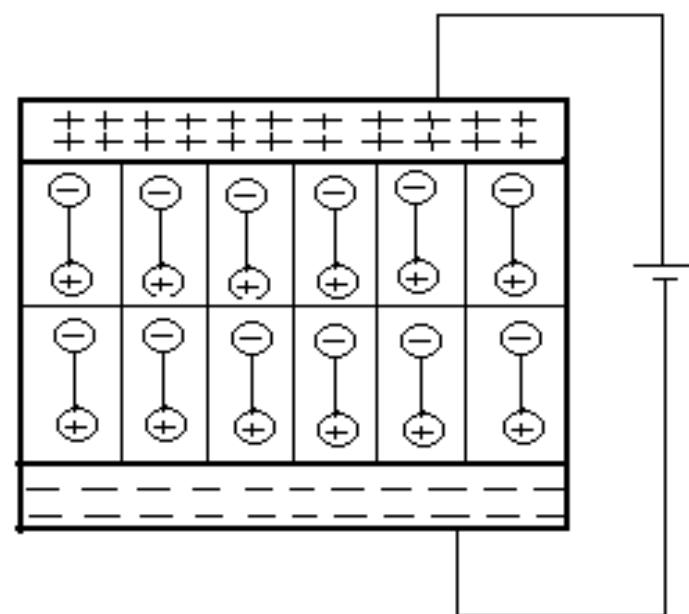
CERÁMICOS PIEZOELECTRICOS

Energía mecánica

Energía eléctrica



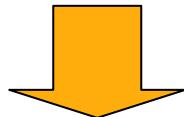
Esfuerzos compresión
reducen el mom. dipolar-
cambia la densidad de carga
en extremos y cambia la dif.
potencial por cambio de
dipolos eléctricos



Voltaje aplicado-cambio
dimensional- se alarga-
por cambio momentos
dipolares con mayor
densidad carga en
extremos

BaTiO₃ es un cerámico piezoeléctrico

Pero en la actualidad hay otros cerámicos con mejores propiedades piezoeléctricas



CERÁMICAS PZT

Basadas en PbZrO₃ y PbTiO₃

PROPIEDADES Y APLICACIONES MAGNÉTICAS

Dos grandes grupos de cerámicos magnéticos

**Tradicionales
(baja conductividad)**

**Nuevos óxidos cerámicos
(superconductividad)**

Aplicaciones de ferritas duras:

Imanes permanentes para creación de campos magnéticos

Sistemas de grabación

Pequeños motores DC

Altavoces de radio

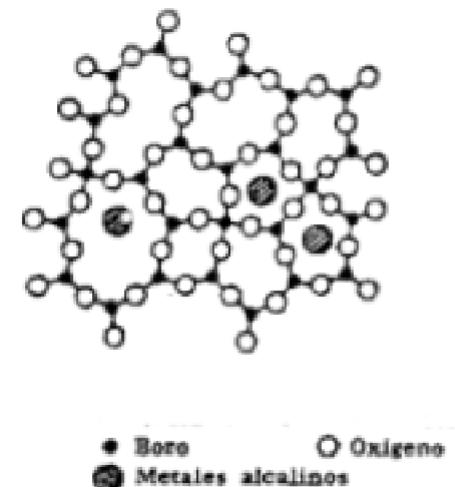
Cerraduras magnéticas

Cintas de grabación

Discos duro y flexible en ordenadores

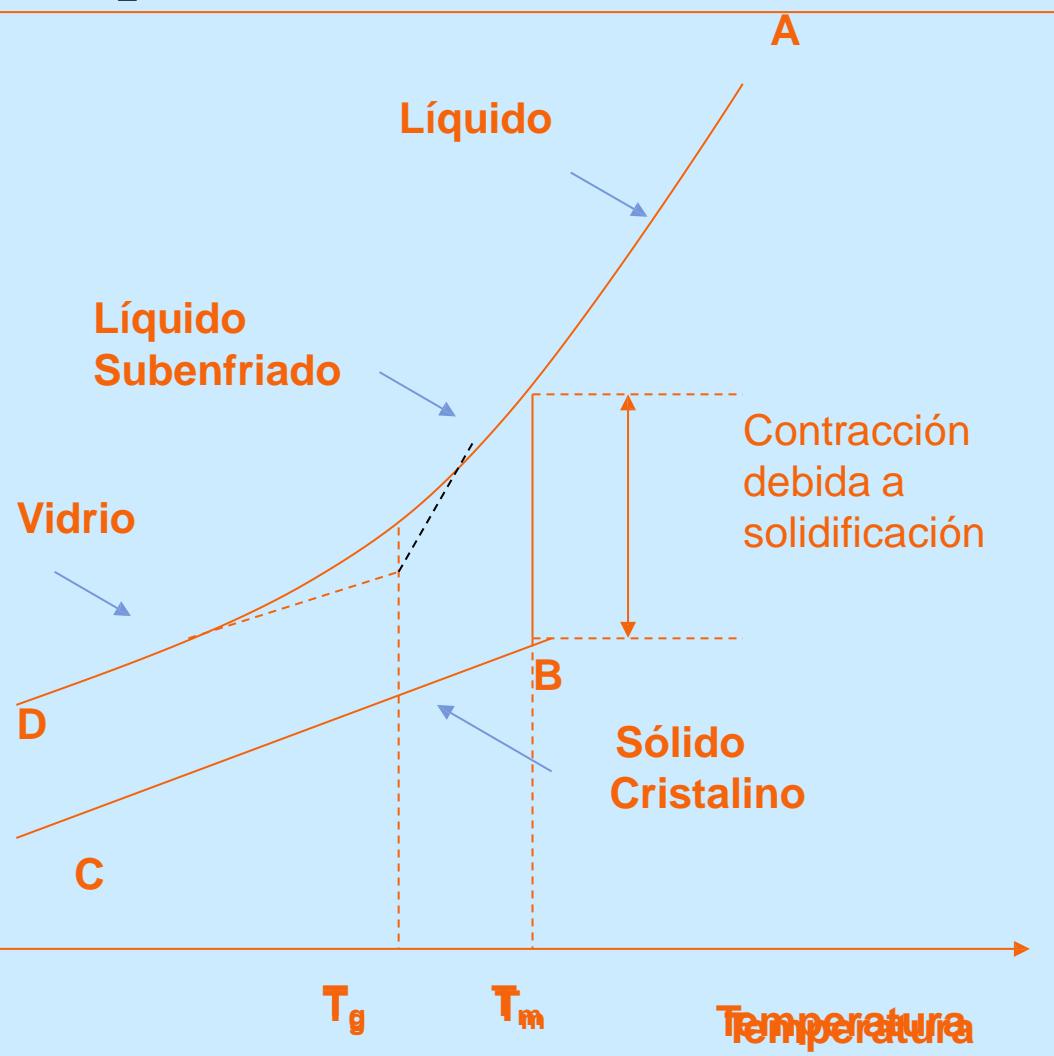
VIDRIOS

- Producto Inorgánicos de fusión que se ha enfriado hasta condición rígida, sin cristalización.
- Óxidos Formadores de vidrios: óxido de silicio y óxido de boro
- Óxidos Modificadores de vidrios
- Óxidos Intermediarios de los Vidrios



Temperatura de Transición Vítreo T_g

Volumen Específico



TIPOS DE VIDRIOS SEGÚN SU COMPOSICIÓN

- Vidrios sodo-cálcicos
- Vidrios de Boro silicato
- Vidrios de Plomo.

SINTERIZACIÓN

- Proceso que permite que las partículas se **unan por difusión (altas temperaturas)** para que el producto adquiera su propiedades definitivas. A menudo durante la sinterización, ocurre una vitrificación o difusión. Los fundentes o impurezas producen una fase líquida en la superficie de los granos. El líquido ayuda a eliminar la porosidad y cambia a vidrio después del enfriamiento. La presencia de la fase vítrea sirve como pegamento.

VITRIFICACIÓN

- Algunos de los productos cerámicos tales como la porcelana, productos arcillosos estructurales y algunos componentes electrónicos contienen una fase vítrea.
- Durante el tratamiento a elevadas temperaturas de este tipo de materiales tiene lugar un proceso de vitrificación, por medio del cual la fase vítrea se licua y rellena los poros del material.



APLICACIONES DE CERÁMICAS AVANZADAS

CARBUTO Y EL NITRURO DE SILICIO

- Debido a su gran resistencia térmica y su resistencia a la oxidación a temperaturas elevadas, se lo utiliza como componente estructural en motores, turbinas, toberas, etc, también se los utiliza como abrasivos.



MATERIAL COMPUESTO: CARBURO DE BORO CON UN METAL

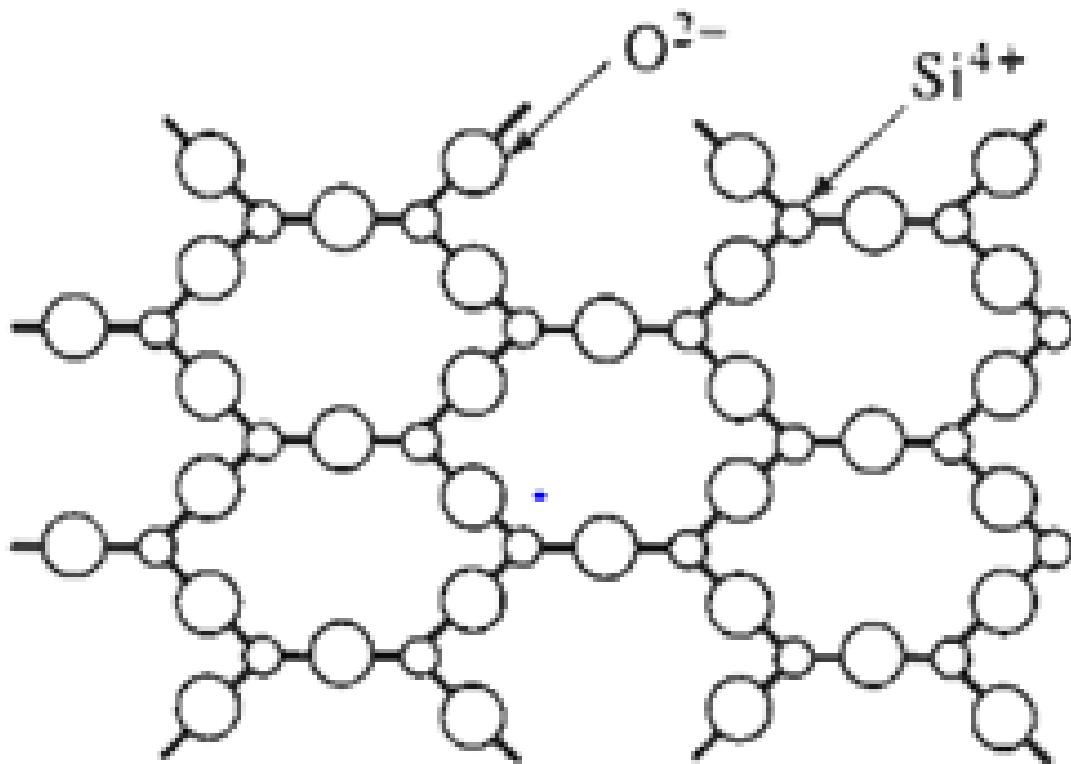
- Se lo utiliza para discos y ruedas abrasivas en el mecanizado



VIDRIOS

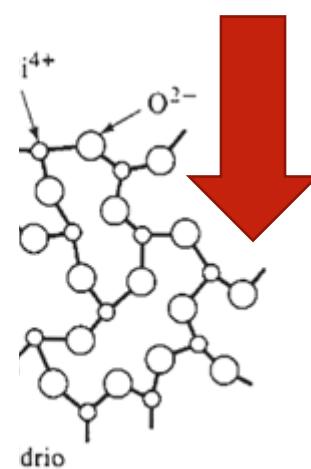
1. productos inorgánicos de fusión que se han enfriado hasta condición rígida , sin cristalización.





Cristalina

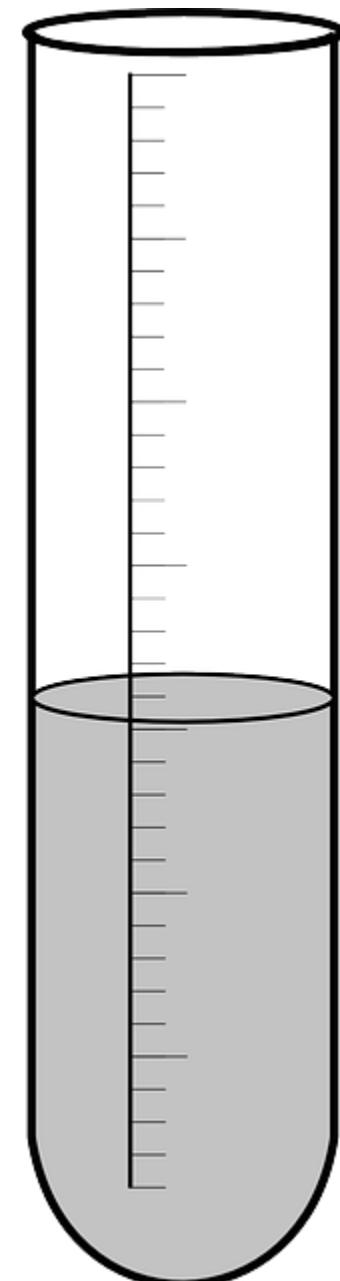
amorfos



drio

PROPIEDADES

1. dureza
2. aceptable
resistencia
mecánica
3. excelente
resistencia a la
corrosión
4. propiedades
aislantes
5. alta resistencia
química



Sus propiedades los hacen indispensables para muchas aplicaciones de ingeniería tales como construcción y vidriado de vehículos



MECÁNICA DE SOLIDIFICACIÓN

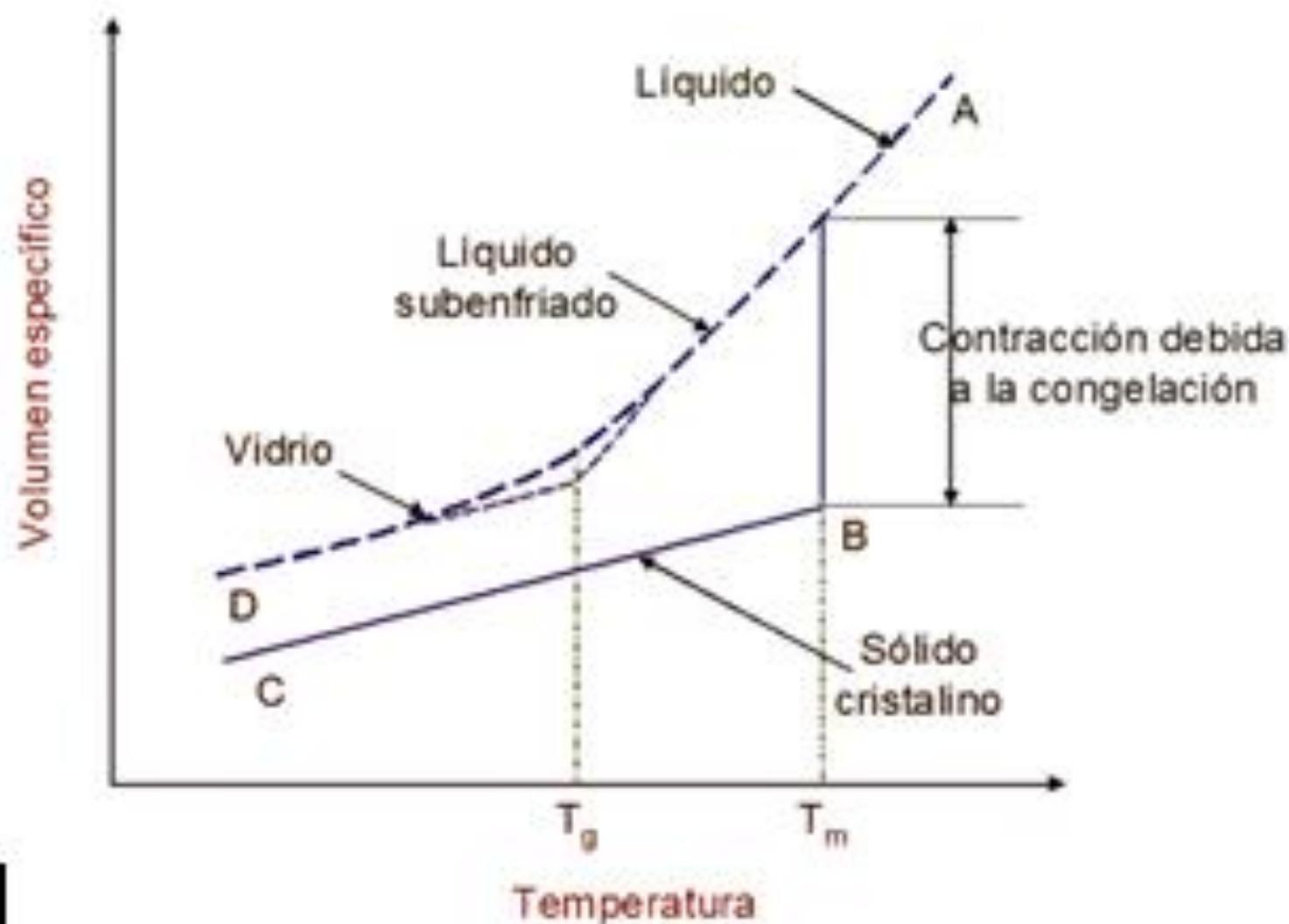
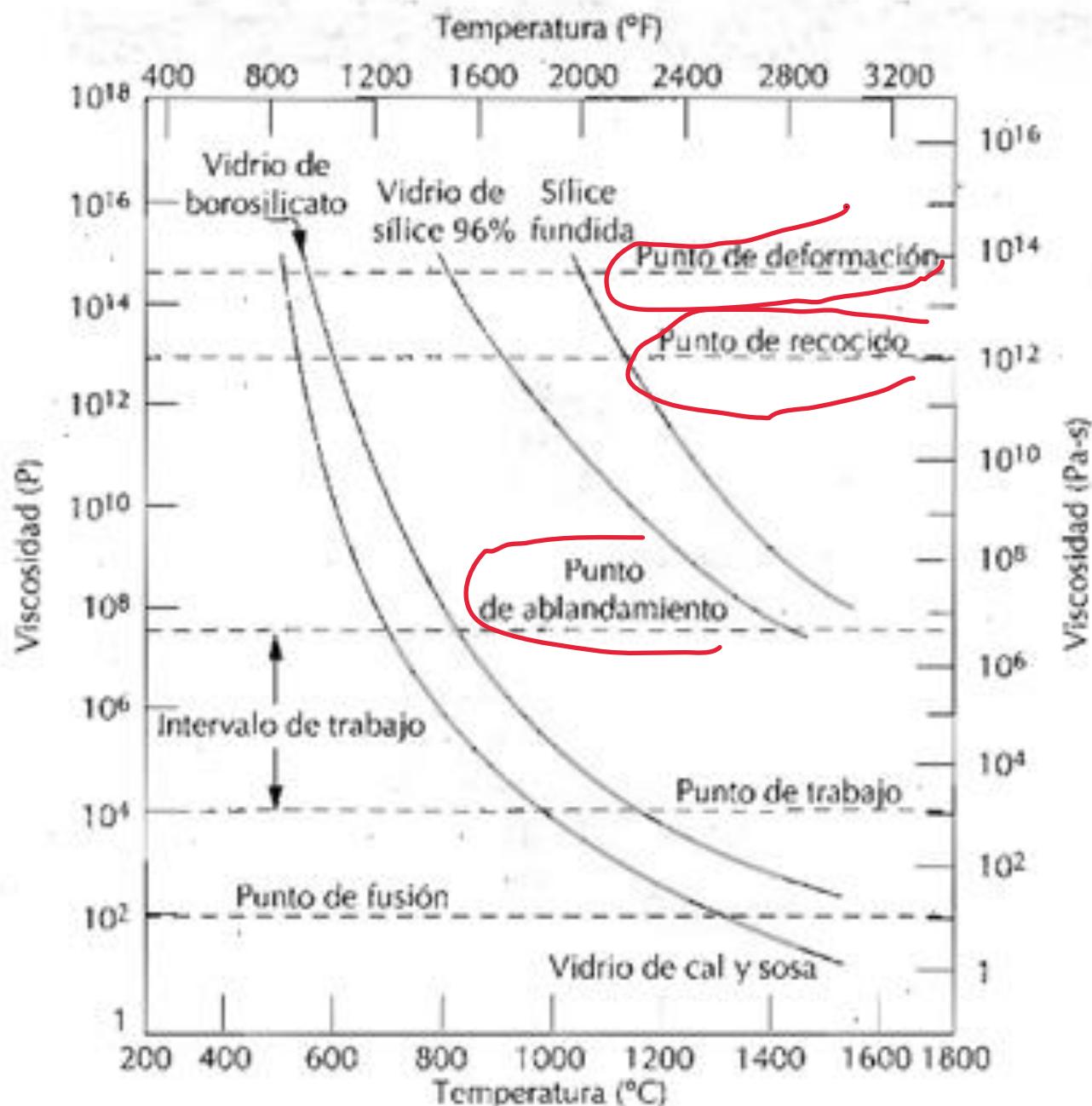
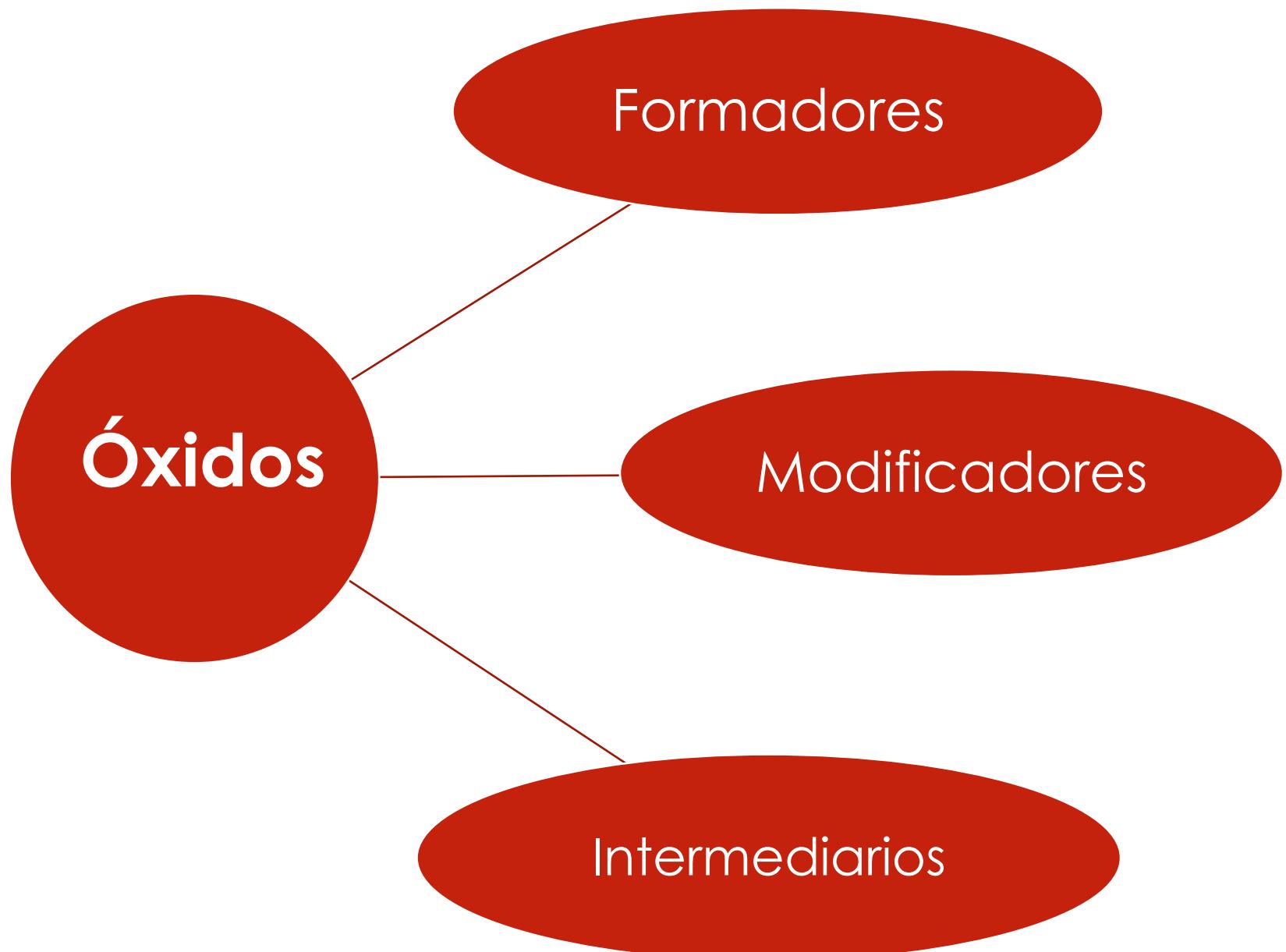


DIAGRAMA DE VISCOSIDAD-TEMPERATURA





DEPENDIENDO DE LOS AGREGADOS



Vidrios sodio-cálcicos

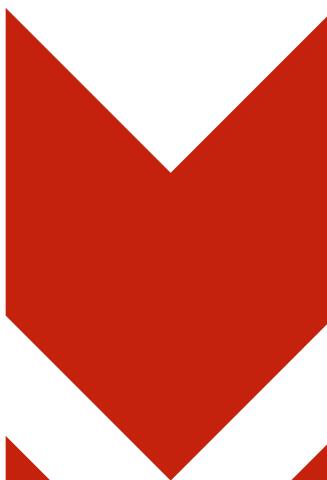


Vidrios de borosilicato (Pirex)

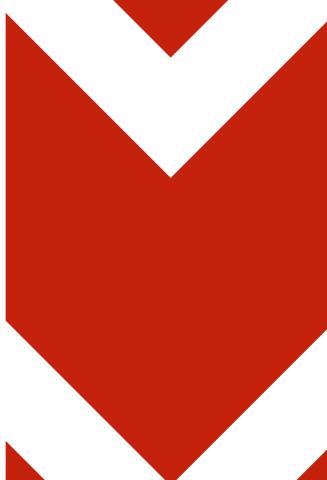


Vidrios al plomo

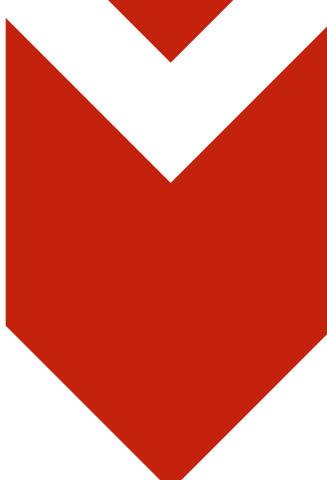
TRATAMIENTOS TÉRMICOS



- Recocido



- Temple



- Cocción

VIDRIOS TEMPLADOS

El proceso de templado incrementa su resistencia mecánica y térmica convirtiendo al vidrio templado en un vidrio de seguridad.



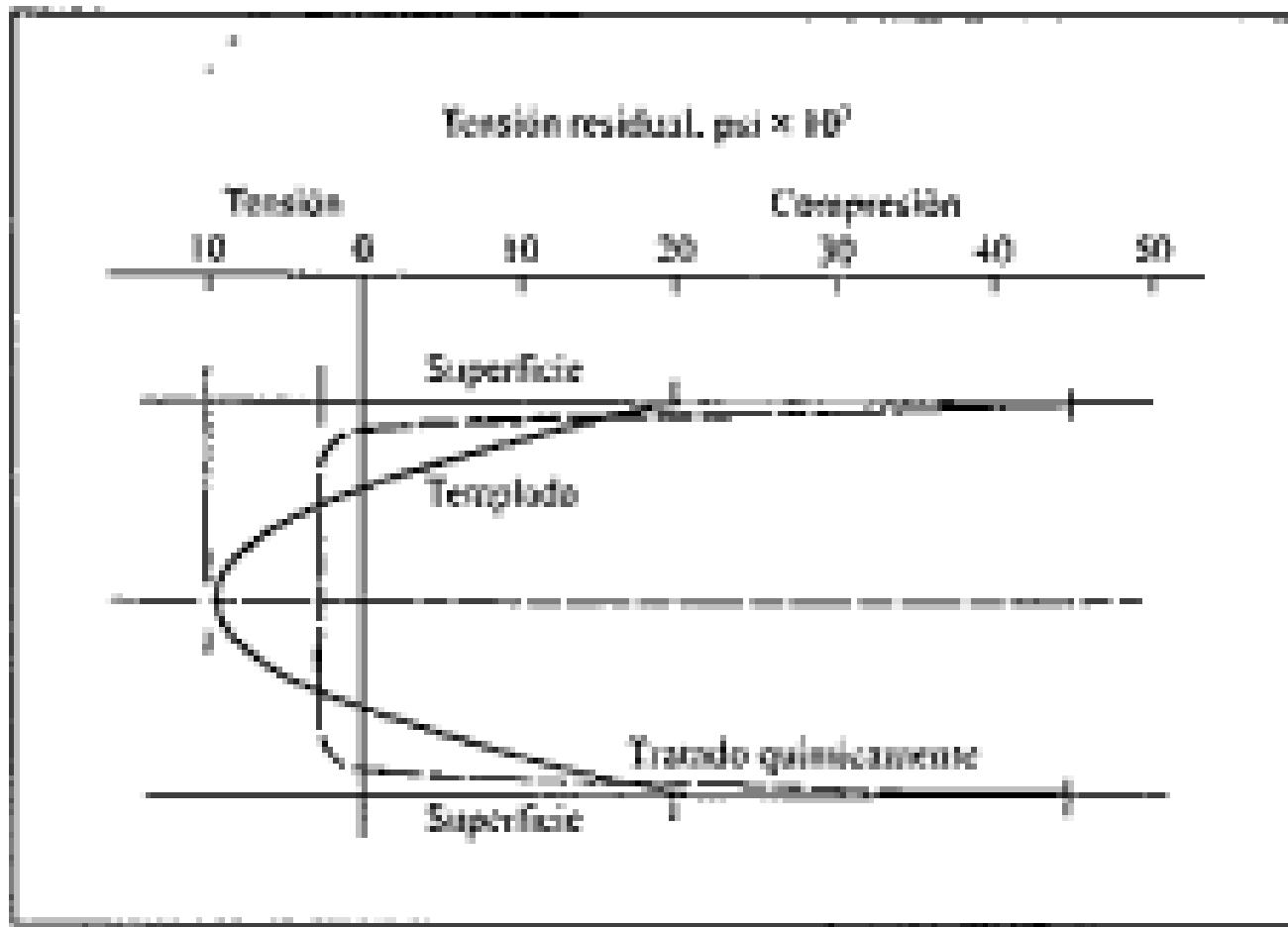
En caso de rotura del paño, se rompe también el equilibrio de tensiones al que fue sometido durante el proceso de temple, produciendo una liberación de energía que propaga el quiebre rápidamente por todo el paño.

CRISTAL TEMPLADO

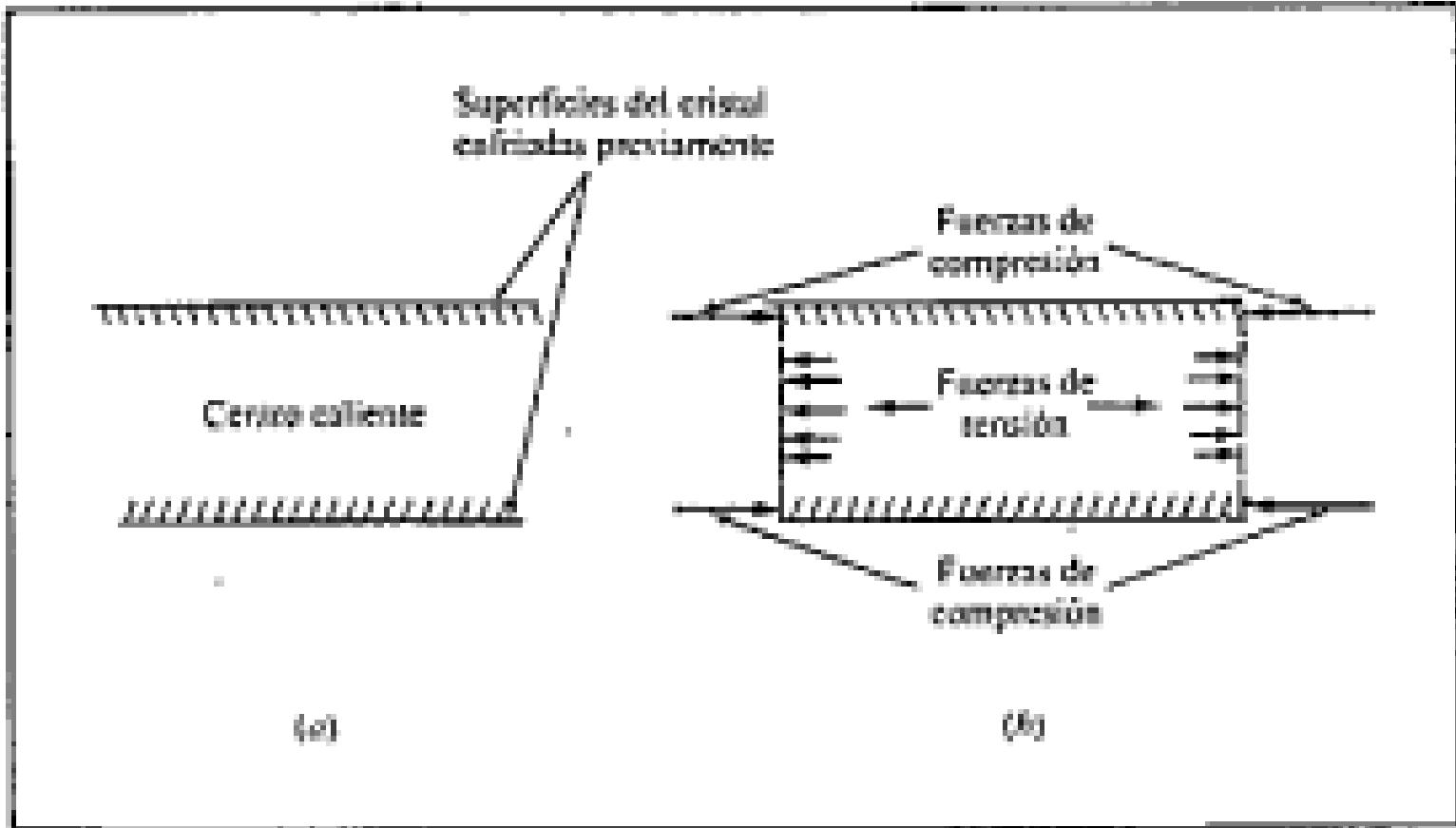


CRISTAL RECOCIDO Ó FLOTADO





Distribución de las fuerzas residuales a través de las secciones de vidrio templado térmicamente y reforzado químicamente



Sección transversal de un vidrio templado.
A)después de que la superficie se ha enfriado desde altas T hasta cerca de la T de reblandecimiento del vidrio. B) después de que el centro se haya enfriado