

# *CONTENIDO DE UN PROGRAMA DE ESTADO SOLIDO*

- Introducción. Configuración electrónica de los átomos*
- Estructura cristalina*
- Enlace. Estructura electrónica de los sólidos*
- Métodos de síntesis y reactividad de sólidos*
- Defectos y no estequiometría*
- Diagramas de fases*
- Técnicas de caracterización: difracción de rayos X, difracción de neutrones, microscopía electrónica técnicas espectroscópicas*
- Propiedades: ópticas, eléctricas, magnéticas*
- Aplicaciones*

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## Programa teórico de la asignatura

**1. Introducción a la Química del Estado Sólido.** Conceptos básicos y definiciones. Interdisciplinariedad. Estrategias en la búsqueda de nuevos materiales.

**2. Preparación y reactividad de sólidos.** Tipos de reacciones en estado sólido. Transiciones de fase. Métodos preparativos. Obtención de sólidos policristalinos: método cerámico y métodos alternativos. Síntesis a alta presión. Obtención de láminas delgadas: procesos CVD. Obtención de monocristales. Obtención de sólidos con tamaño de partícula controlada: nanomateriales.

**3. Estructura electrónica de los sólidos.** Introducción. Modelo de bandas: conductores electrónicos, semiconductores y aislantes. Aproximaciones de enlace fuerte y electrón cuasi-libre. Correlación electrónica. Sólidos tridimensionales: relaciones entre estructura cristalina y estructura electrónica. Modelo de Goodenough.

**4. No estequiometría.** Introducción. Defectos extensos composicionales. No estequiometría: aspectos termodinámicos y cinéticos. Series homólogas. Soluciones sólidas. Intercrecimientos. Influencia de la no-estequiometría en las propiedades fisicoquímicas de los sólidos.

**5. Propiedades eléctricas de los sólidos.** Introducción. Conductividad electrónica. Estado metálico. Semiconductores. Superconductores. Propiedades dieléctricas de los sólidos aislantes: ferroeléctricos, piroeléctricos y piezoeléctricos. Conductividad iónica. Electrolitos sólidos

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

**7. Propiedades ópticas de los sólidos.** Generalidades. Color. Pigmentos. Luminiscencia.

**1.1. Asesor de Estado Sólido y Materiales**

## Bibliografía

### **A.R. West, Solid State Chemistry and its applications, Wiley, 2014**

Smart, L. E.; Moore, E. A.: *"Solid State Chemistry. An Introduction"*, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton FL, 2005.

### **U.Muller, Inorganic structural chemistry, Wiley 2nn edition 1998**

#### **COMPLEMENTARIA:**

Borg, R. J.; Dienes, G. J.: *"The Physical Chemistry of Solids"*, Academic Press, 1992.

Bruce, D. W.; O'Hare, D. (Eds.): *"Inorganic Materials"*, 2nd ed., John Wiley, 1996.

Cheetham, A. K.; Day, P. (Eds.): *"Solid State Chemistry. Compounds"*, Clarendon Press, Oxford, 1992.

Cox, P. A.: *"Transition Metal Oxides. An Introduction to their Electronic Structure and Properties"*, Oxford University Press, 1995.

Douglas, B. E.; Ho, S.-M.: *"Structure and Chemistry of Crystalline Solids"*, Springer Science, 2006.

Elliot, S. R.: *"The Physics and Chemistry of Solids"*, John Wiley and Sons, 1998.

Goodenough, J. B. (Ed.): *"Localized to Itinerant Electronic Transition in Perovskite Oxides"*, Springer-Verlag, Berlin, 2001.

Kosuge, K.: *"Chemistry of Non-stoichiometric Compounds"*, Oxford Science Publications, 1994.

Rao, C. N. R.; Gopalakrishnan, J.: *"New Directions in Solid State Chemistry"*, 2nd ed., Cambridge University Press, 1997.

Rao, C. N. R.; Raveau, B.: *"Transition Metal Oxides. Structure, Properties and Synthesis of*

**CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70**

- - -

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Además de los textos básicos y complementarios, puntualmente se podrá indicar a los

responsables de la información específica para el presente documento en virtud al

Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002,

Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Cartagena99

# Química del Estado Sólido

Sólido Ideal

+

Defectos

⇓

Sólido Real

+

Propiedades

→

Magnéticas  
Ópticas  
Configuraciones electrónicas

⇓

Materiales

↓

Estados fundamentales

+

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

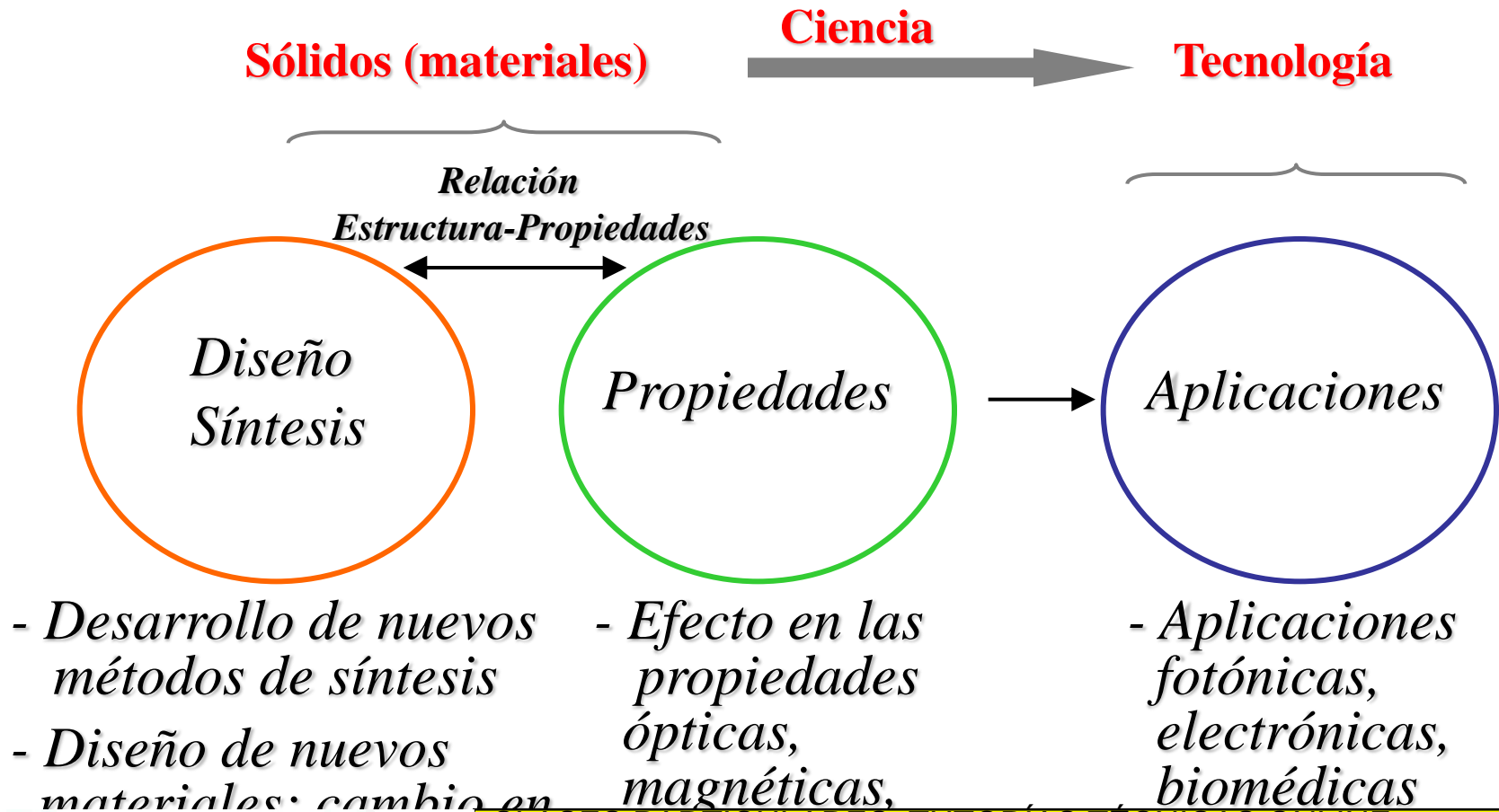
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

*Química que presentan los sólidos en cuanto tales, i.e. por ser sólidos y no líquidos o gases*

Cartagena99

Aplicaciones tecnológicas

# ESTADO SÓLIDO – CIENCIA DE MATERIALES



**Cartagena99**

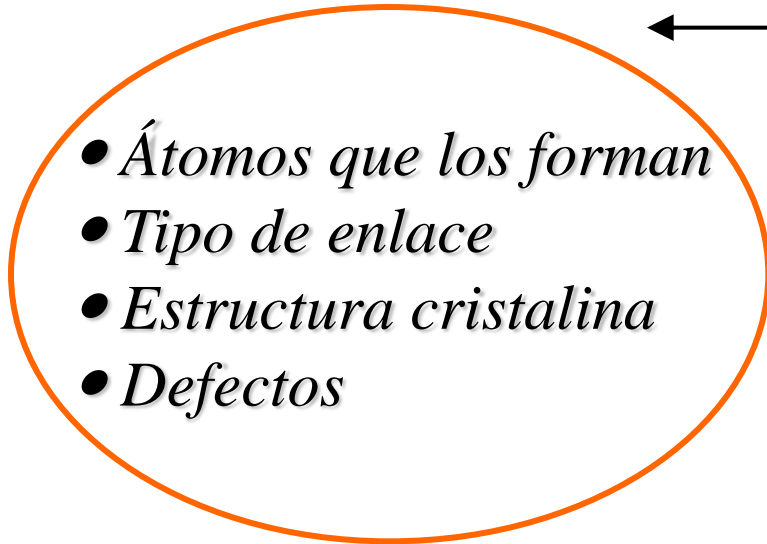
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## *Relación*

### *Estructura-Propiedades*



- *Densidad electrónica externa de los átomos → Enlace*
  - *Composición*
  - *Relación de tamaños*
- } *Estructura*

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

**Tabla I: Tipos de Sólidos de acuerdo con el enlace que presentan**

<b>ENLACE</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>EJEMPLO</b>	<b>PROPIEDADES ELÉCTRICAS</b>
<b>Van der Waals</b>	<b>Dipolos Cuadrupolos</b>	<b>He; Xe</b>	<b>Aislantes</b>
<b>Covalente molecular</b>	<b>Electrones localizados y compartidos</b>	<b>Cl<sub>2</sub>; S<sub>8</sub>; H<sub>2</sub>O (Enlace de hidrógeno)</b>	<b>Aislantes</b>
<b>Covalente-No molecular: “Molécula Gigante”</b>	<b>Electrones localizados y compartidos</b>	<b>Diamante } SiO<sub>2</sub> }</b>  <b>Si } GaAs }</b>	<b>Aislantes</b>  <b>Semiconductores</b>
<b>Metálico</b>	<b>Electrones colectivos</b>	<b>Cu; Fe; Bronce</b>	<b>Metales</b>

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



## *Estructura cristalina*

- *Conceptos básicos: celda unidad, sistemas cristalinos, planos cristalográficos, índices de Miller, espaciados-d*
- *Empaquetamientos compactos: ccp, hcp*
- *Sólidos que se pueden describir mediante estructuras compactas: metales y aleaciones*
- *Estructuras que se pueden describir a partir de empaquetamientos compactos por ocupación de huecos: sólidos iónicos, sólidos covalentes, sólidos moleculares*
- *Tipos estructurales*
- *Predicción de estructuras (razón de radios)*

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

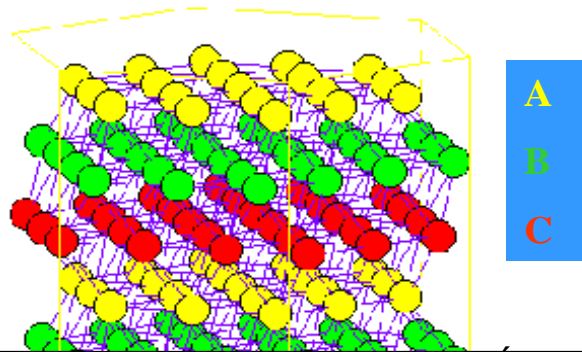
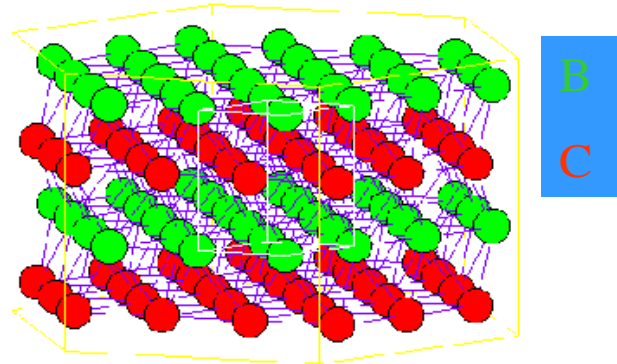
- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# MODELO EMPAQUETAMIENTO COMPACTO DE ESFERAS

## Empaquetamiento compacto de esferas



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

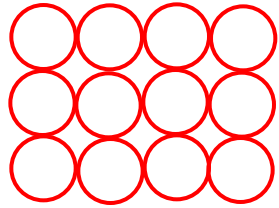
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

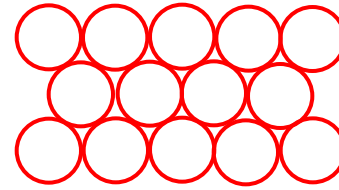
Cartagena99

# Tipos de empaquetamientos

En un plano

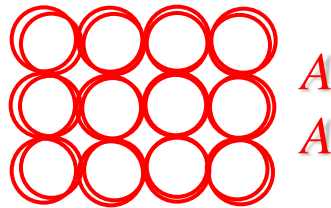


*No compacto*

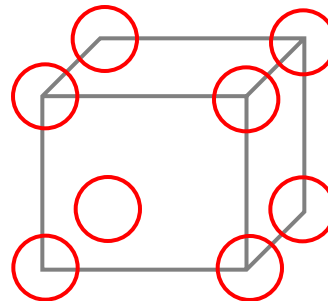


*Compacto*

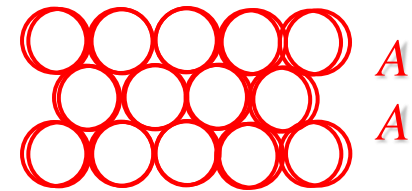
Disposición de planos: empaquetamientos no compactos



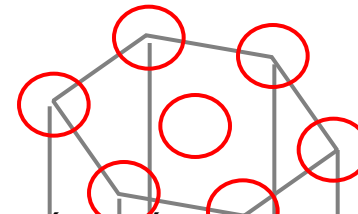
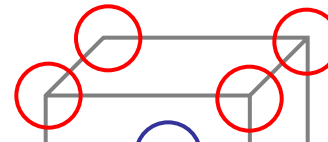
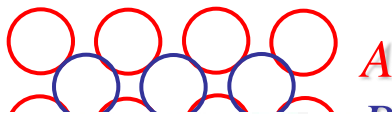
*Simetría cúbica*



*Celda cúbica simple*



*Simetría hexagonal*



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

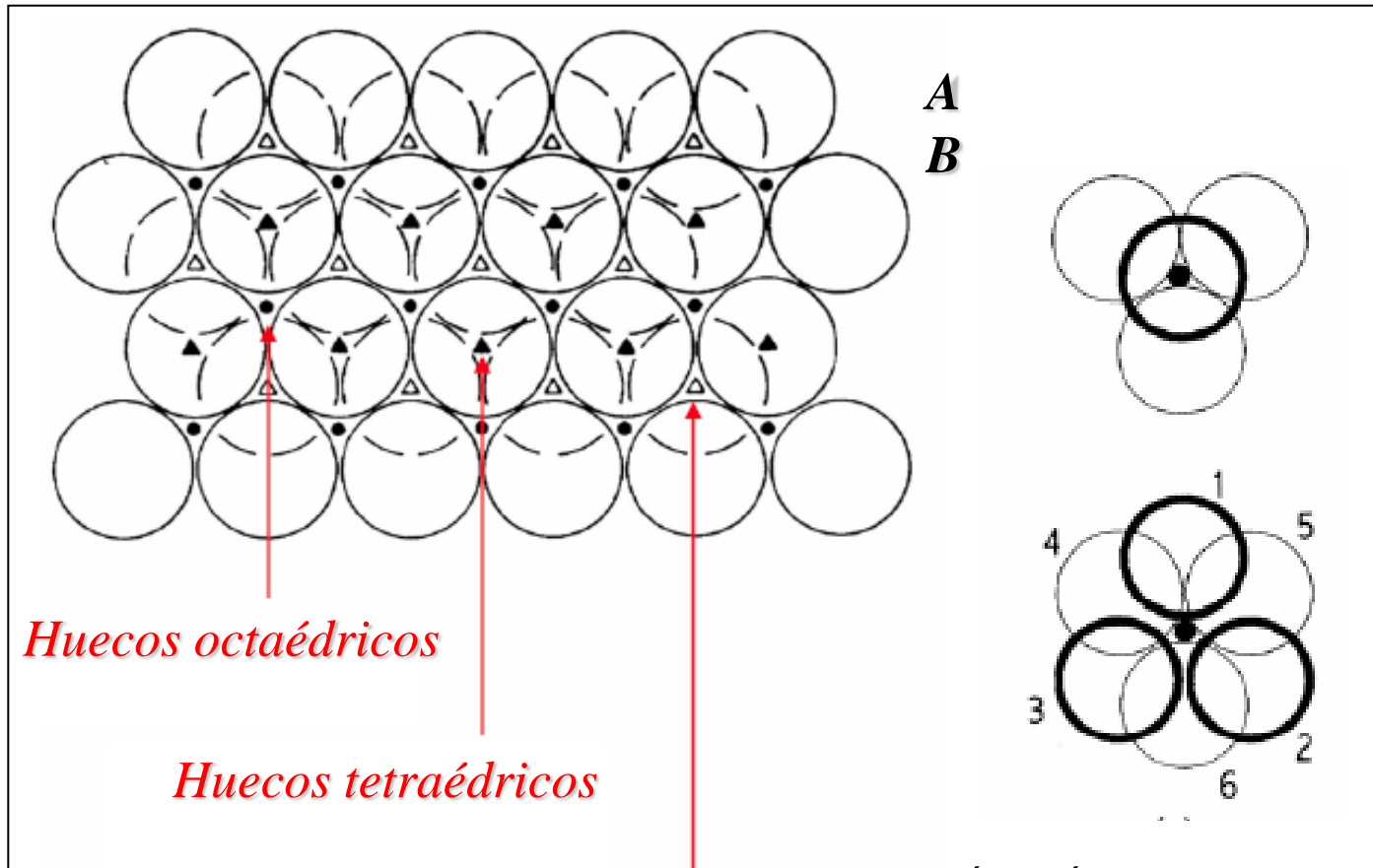
*Celda cúbica centrada*

*en el cuerpo*

Cartagena99

# *Empaquetamientos compactos*

Disposición de dos capas consecutivas



**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Sólidos que se pueden describir mediante estructuras compactas

Li •	Be •												
Na •	Mg •										Al •		
K •	Ca •	Sc •	Ti •	V •	Cr •	Mn •	Fe •	Co •	Ni •	Cu •	Zn •		
Rb •	Sr •	Y •	Zr •	Nb •	Mo •	Tc •	Ru •	Rh •	Pd •	Ag •	Cd •	In *	Sn *

- C.12 | Cúbica compacta  
Hexagonal compacta

- C.8 | Cúbica centrada en el cuerpo

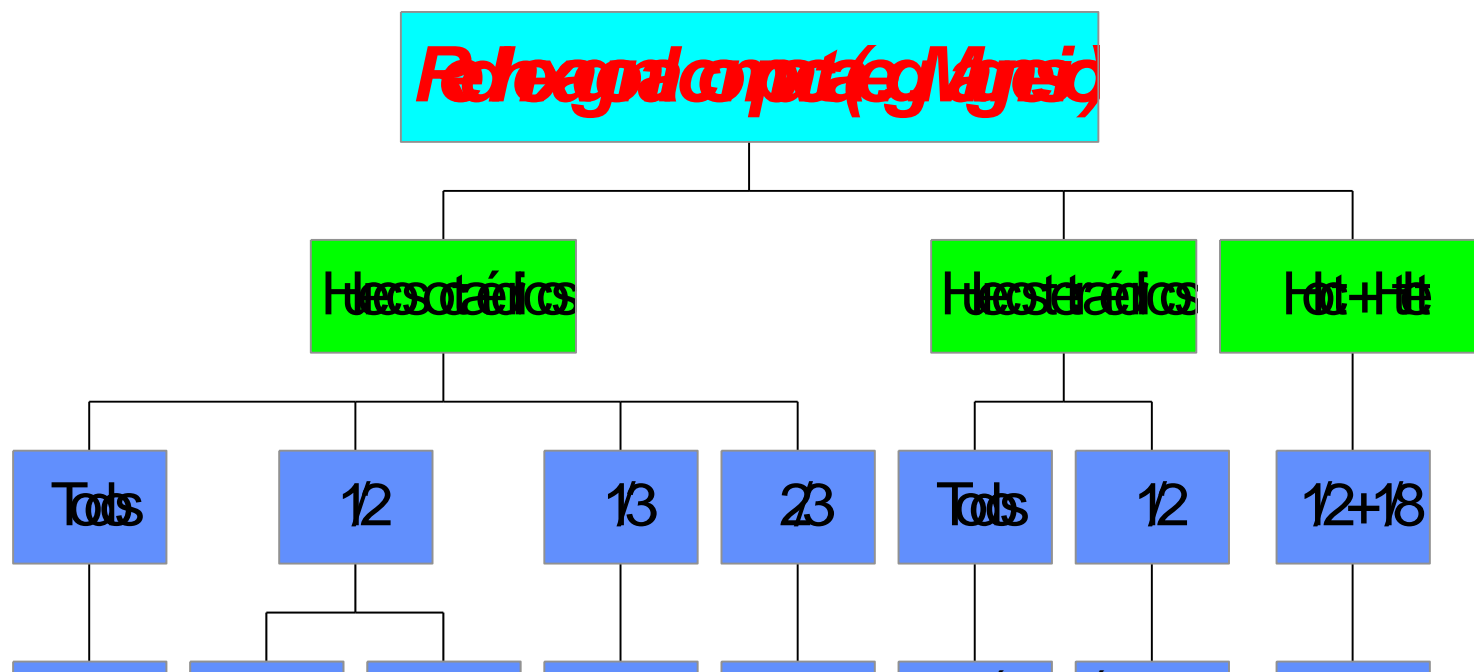
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# MODELO DE ESFERAS COMPACTAS Y OCUPACIÓN DE HUECOS



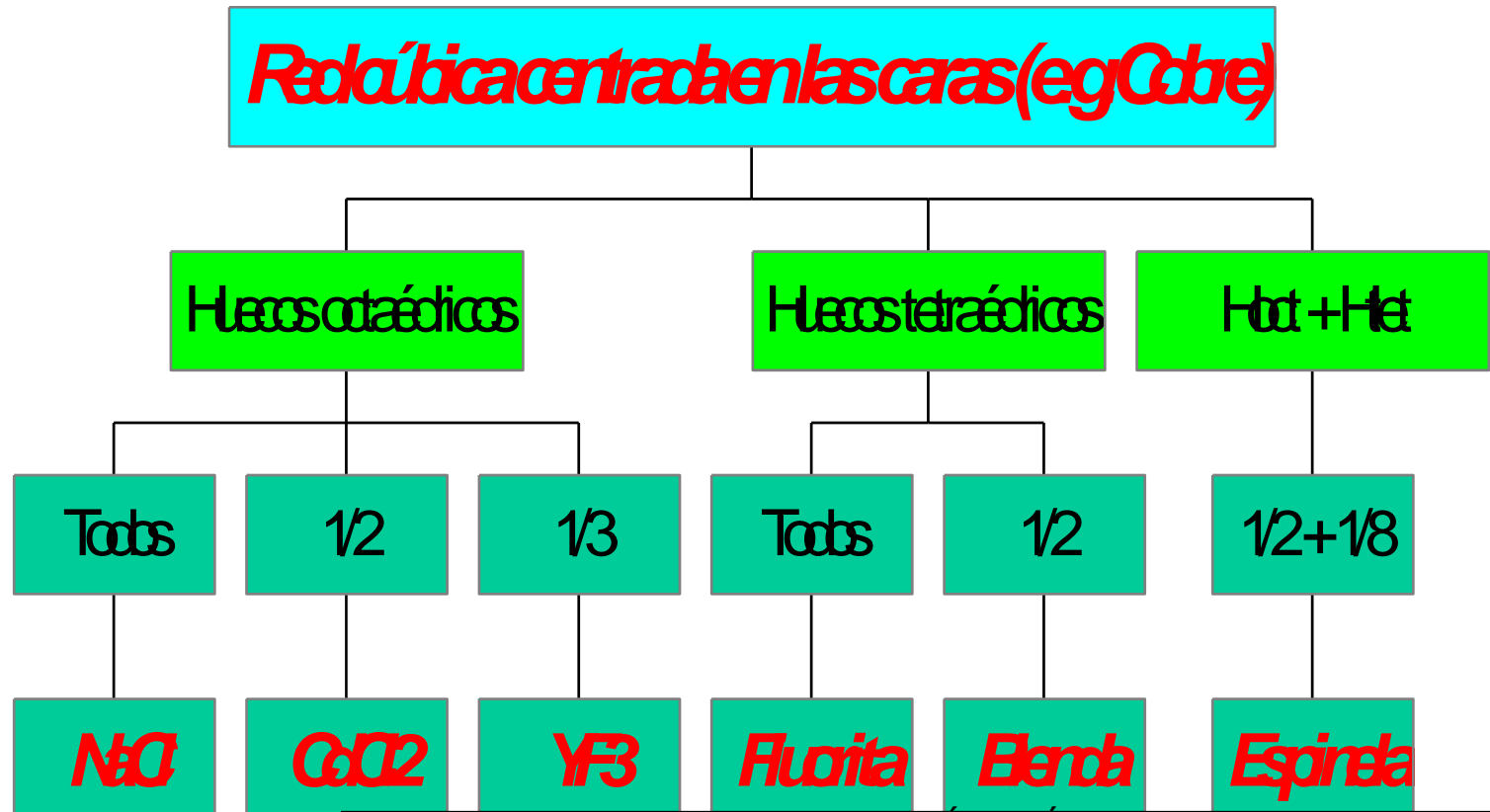
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

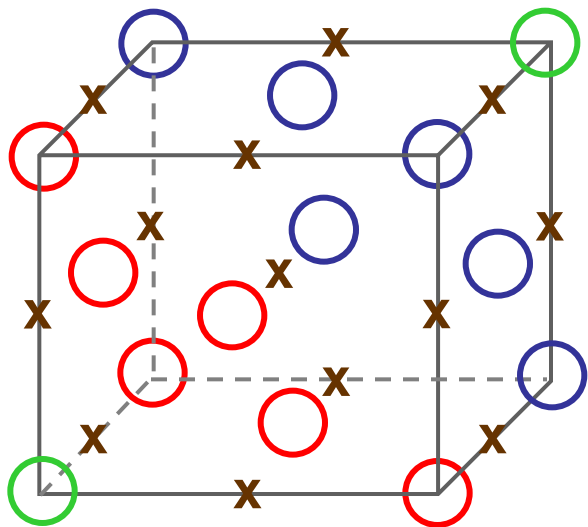
# MODELO DE ESFERAS COMPACTAS Y OCUPACIÓN DE HUECOS



Cartagena99

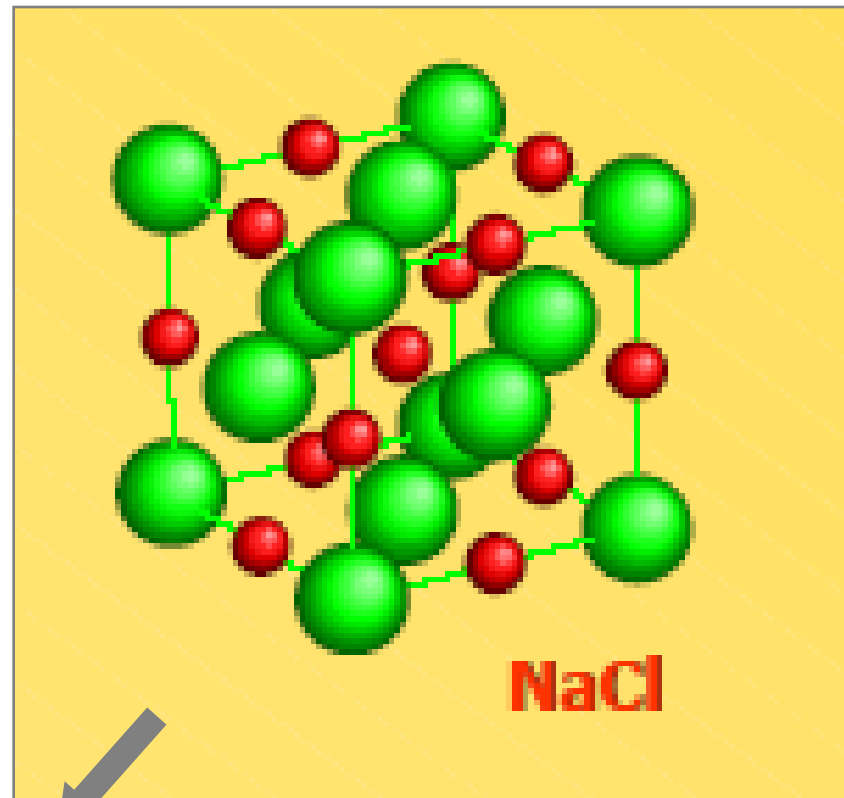
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Tipo estructural NaCl



$MX$

*Empaquetamiento cúbico compacto*  
( $x$ ) : Huecos octaédricos



- Aniones en posiciones de un ecc  
y cationes en huecos  $O_h$

$NaCl$  (1:1)

$I.C.(M^+): 6$

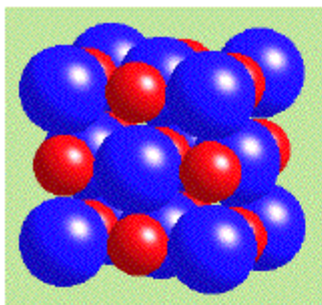
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

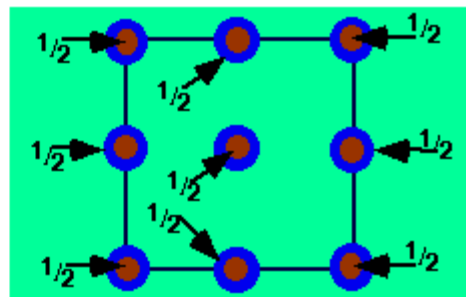
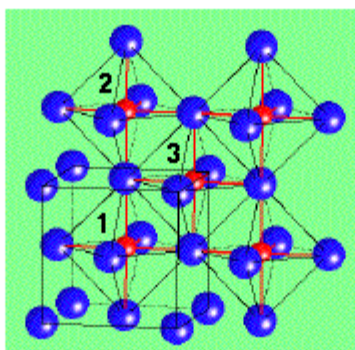
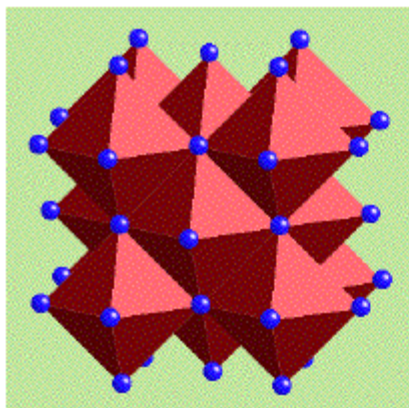
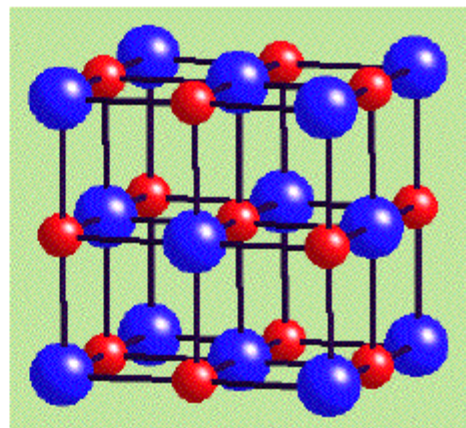
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





NaCl  
Rock Salt  
(Halite)



Empaquetamiento ccc de aniones  
 Todos los huecos octaédricos ocupados  
 Todos los huecos tetraédricos vacíos

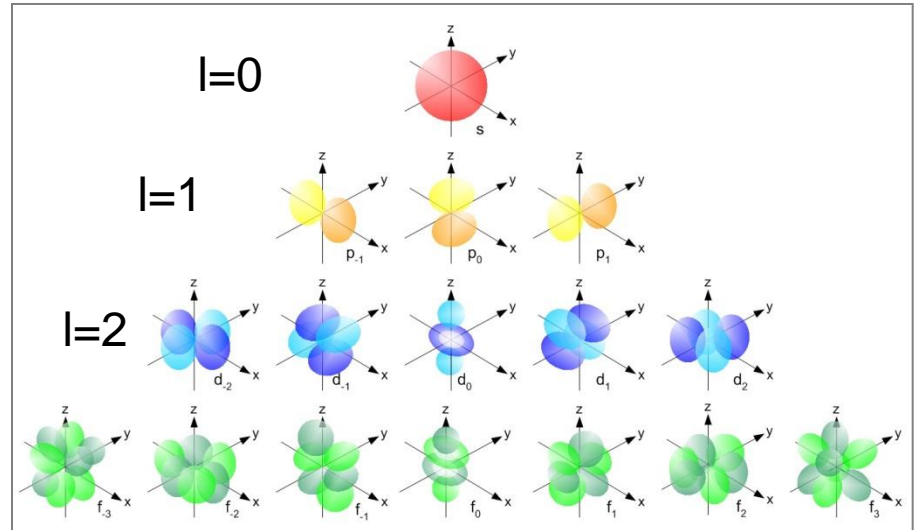
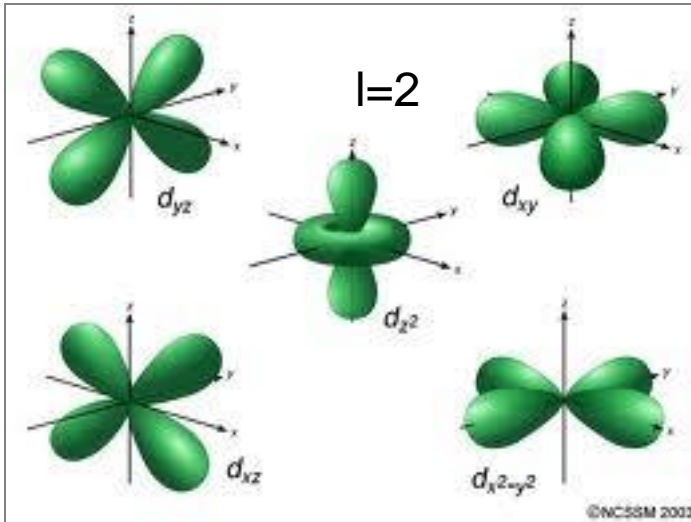
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

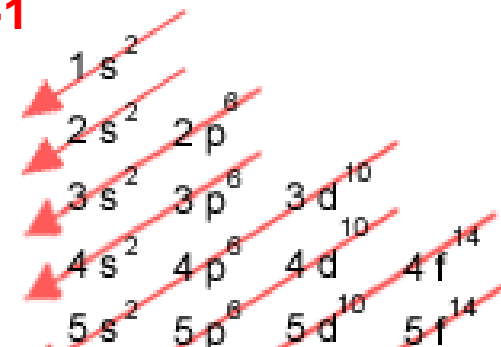
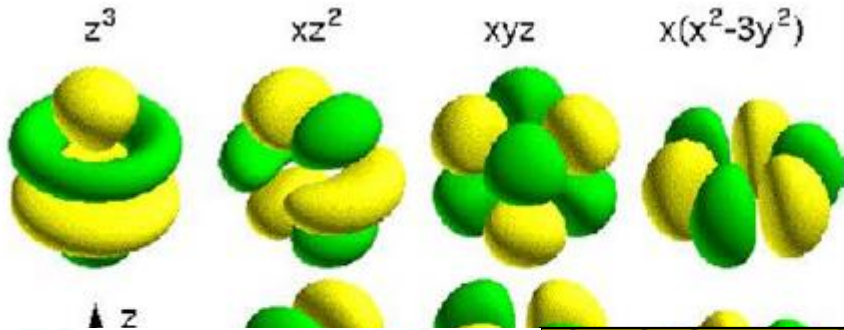
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# FORMA DE LOS ORBITALES Y CONFIGURACION ELECTRONICA



Multiplicidad =  $2l+1$



$l=3$   
f-orbitals

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

## DETERMINACION ESTADO FUNDAMENTAL

¿Cómo se calculan S, L y J? **REGLAS DE HUND**

1. Dibujar un conjunto de cajas correspondientes a los orbitales disponibles: 7 para lantánido y 5 en metales de transición.
2. Numerar cada caja con un valor de  $m_l$ , mayor izda menor a la dcha. Para lantanidos 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3. En metales de transición 2, 1, 0, -1, -2.
3. Rellenar las cajas con electrones de izda a derecha. Cuando todas contengan 1 electron empezar de nuevo por la izda.
4. Sumar los  $m_s$  de cada electron,  $+1/2$  or  $-1/2$ . Esta suma da S.
5. Sumar los  $m_l$  de cada electrón da L.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Se habla más de la química

# TEORIA CUANTICA : DETERMINACIÓN DEL ESTADO FUNDAMENTAL

Desarrollo de la teoría cuántica para justificar los momentos magnéticos de los iones de elementos de transición d y f.

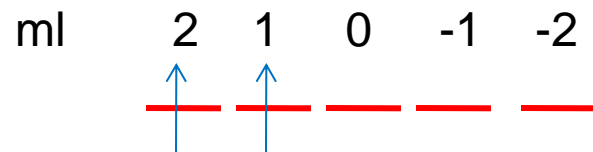
Estado fundamental es el estado de mínima energía. A partir de los valores de los números cuánticos asociados al estado fundamental es posible determinar los momentos magnéticos asociados a cada ión .

Reglas de Hund para la determinación de los n<sup>o</sup>s cuánticos del estado fundamental.

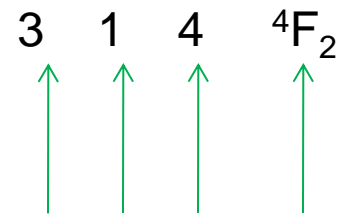
1<sup>a</sup> Los n<sup>o</sup>s cuánticos L y S adoptan los valores máximos posibles

2<sup>a</sup> El n<sup>o</sup> cuántico J ( L+S) es el resultante de la suma L-S cuando se tiene menos de media capa llena y L+S cuando es mayor.

Ejemplo: cálculo de EF para el V<sup>3+</sup> (3d<sup>2</sup>)



Sm<sup>3+</sup> 4f<sup>5</sup>



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

S P D F G H I

## EJEMPLOS

Determine la configuración electrónica y los valores S, J, L para el estado fundamental del  $\text{Mn}^{3+}$  (Z=25)

-Determine la configuración electrónica y los valores S, J, L para el estado fundamental del  $\text{Nd}^{3+}$  (Z=60)

Determine la configuración electrónica y los valores S, J, L para el estado fundamental del  $\text{Yb}^{3+}$  (Z=71)

Determine la configuración electrónica y los valores S, J, L para el estado fundamental del  $\text{Ni}^{2+}$  (Z=60)

-Determine configuración electrónica y los valores S, J, L para el estado fundamental del  $\text{Cd}^{3+}$  (Z=64)

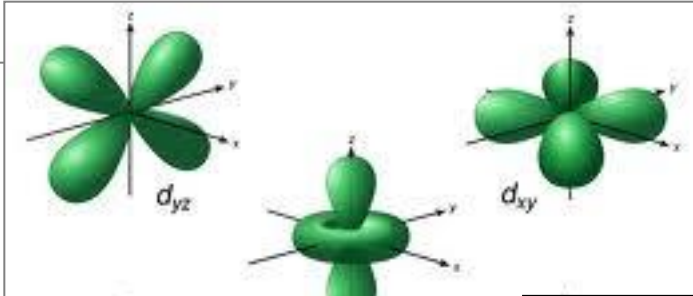
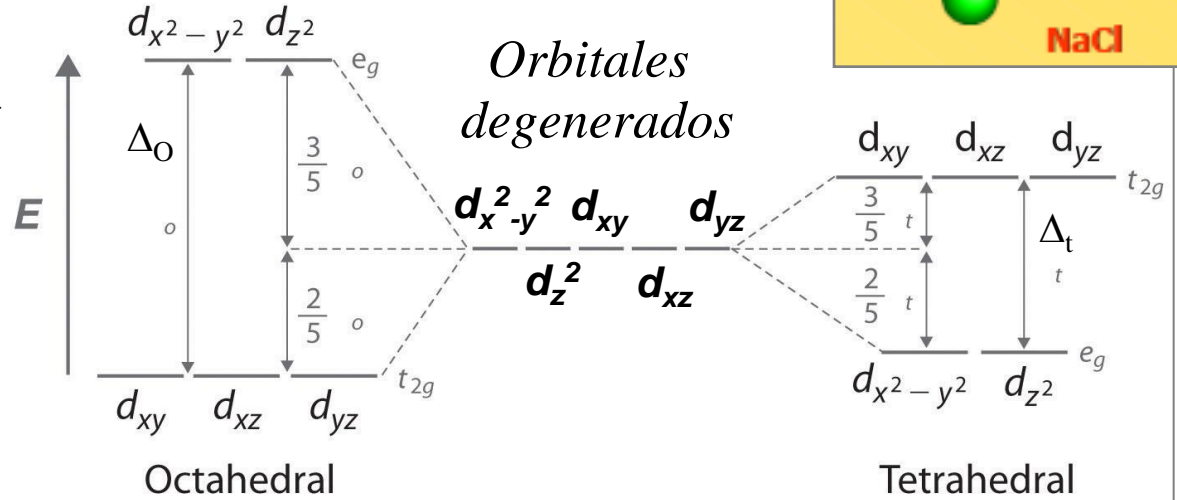
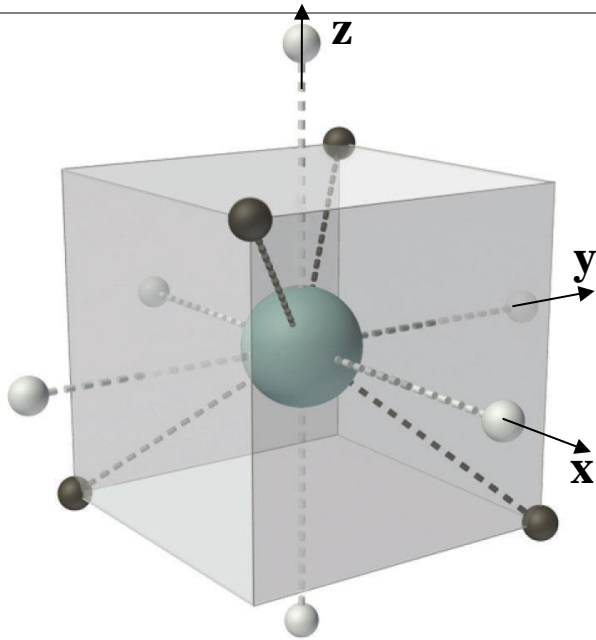
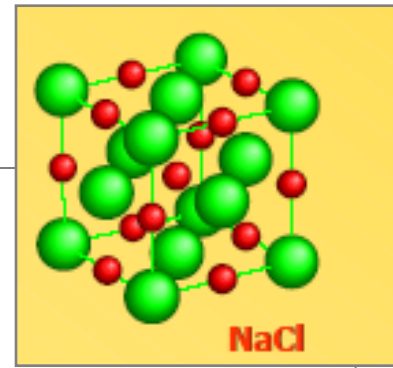
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Campo del cristal: efecto sobre los orbitales d



**- En campo Oh los orbitales  $t_{2g}$  se estabilizan frente a los  $e_g$  dirigidos hacia los aniones**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

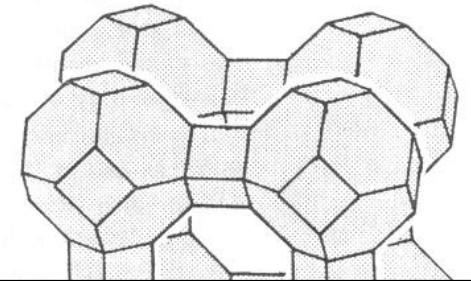
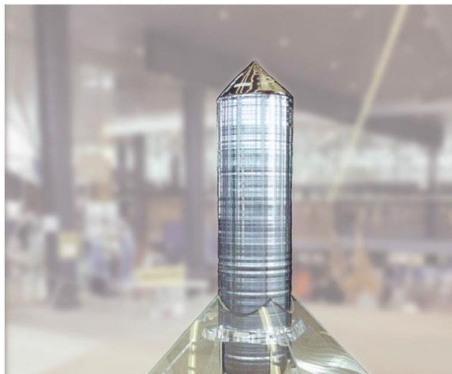
©NCSSM 2003



# ESTRATEGIA EN LA BUSQUEDA DE NUEVOS MATERIALES

**Material: A useful solid with a high added-value**  
**e.g.: Silicon, YSZ, GaN, KDP, Zeolites...**

Giant Crystals of KDP( C&E News, February, 21<sup>st</sup>, 2000)



**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

zeolite A



# ESTRATEGIA EN LA BÚSQUEDA DE MATERIALES

I.- Síntesis de nuevas composiciones

II.- Cambios de estructura a composición constante

III.- Cambios de composición manteniendo la estructura

IV.- Materiales Compuestos (“Composites”)

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# A STRATEGY IN THE SEARCH FOR MATERIALS

## I.- SYNTHESIS OF NEW FORMULATIONS

### Temperature driven

### Chemical reaction for spinel formation



### Pressure driven

### Clathrate formation in the methane-water system

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# A STRATEGY IN THE SEARCH FOR MATERIALS

## II.- STRUCTURAL CHANGES AT CONSTANT COMPOSITION

### Phase Transitions

**Temperature driven**

**Pressure driven**

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Phase Transitions

Ionic Conductor  $\longleftrightarrow$  Semiconductor

$\alpha$ -AgI  $\leftarrow$   $\beta$ -AgI

Temperature driven

$\alpha$ -AgI

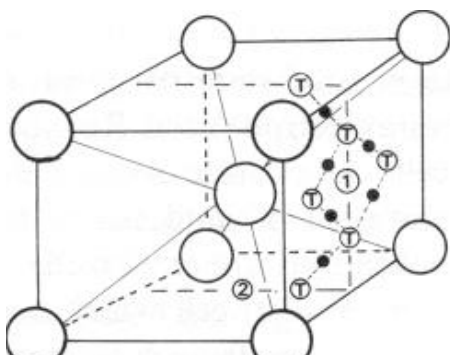
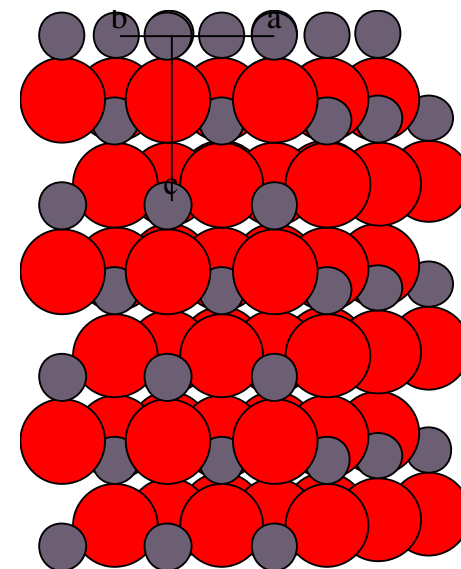


Figure 9-2 The body-centred cubic structure showing some of the distorted octahedral sites (1 and 2); tetrahedral sites,  $\text{T}$ ; and trigonal sites ( $\bullet$ )

6 Oct. + 6 tet + 12 Trig = 24

$\beta$ -AgI



Wurtzite

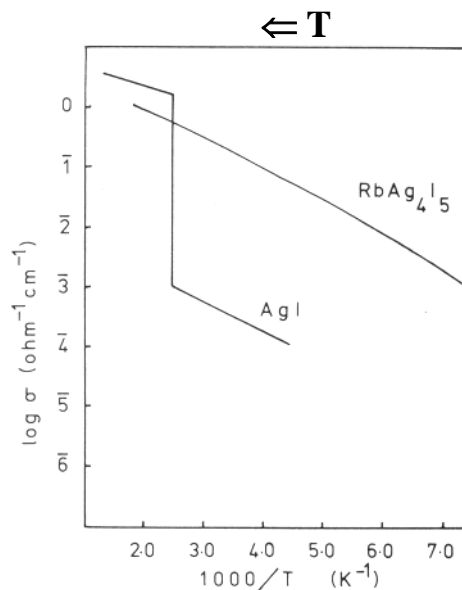


Fig. 13.16 Conductivity of  $\text{Ag}^+$  in AgI and  $\text{RbAg}_4\text{I}_5$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Adams (1974) ; West (1998)

# Phase Transitions

## Pressure induced Electronic Transitions

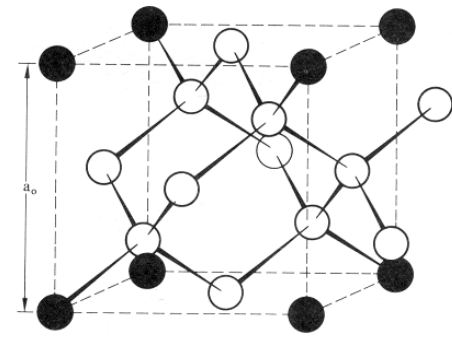
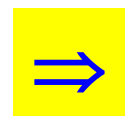
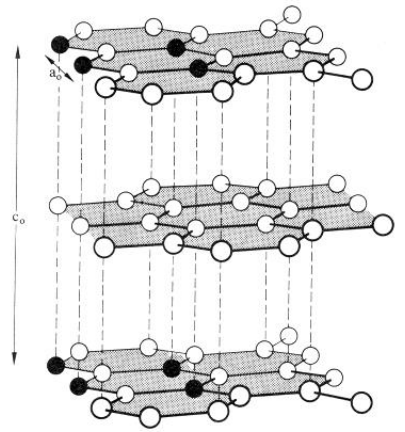
## P & T driven

### With Structural Change

a) Graphite  
"Metal"

⇒  
(P + T)

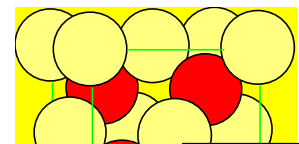
Diamond  
Insulator



b) <sup>iv</sup>Si (diamond structure)  
Insulator (semiconductor)

⇒  
(P + T)

<sup>vi</sup>Si (white Sn structure)  
Metal & Superconductor



Cartagena99

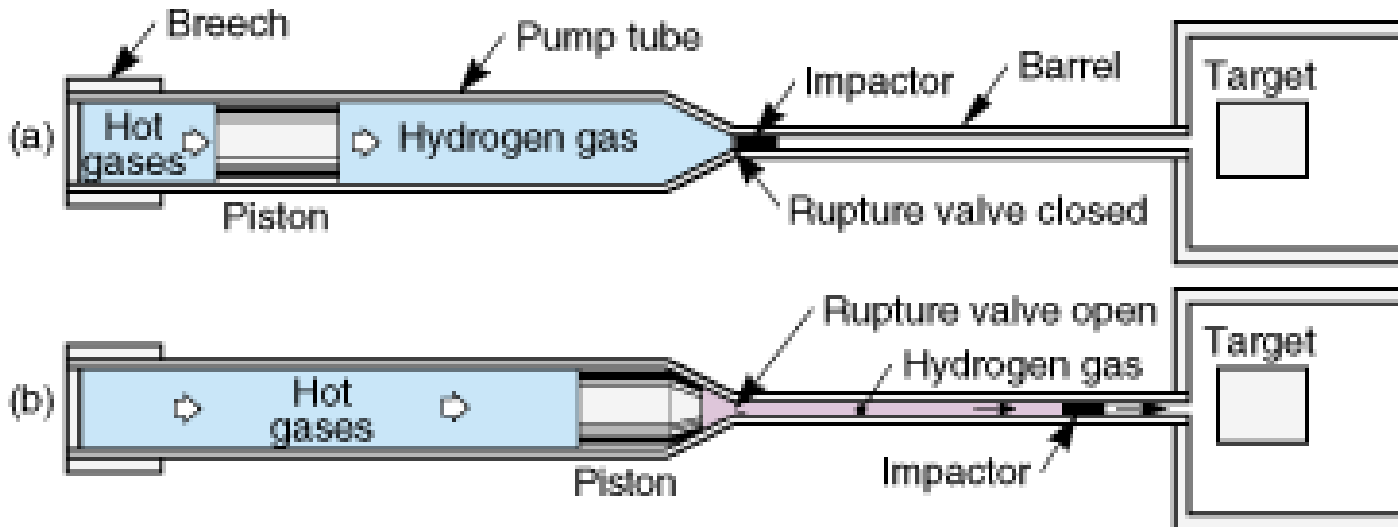
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Phase Transitions

## Metallic hydrogen

# Pressure driven



(a) In the first stage of the gas gun (blue shading), hot-burning gases from gunpowder drive a piston, which in turn compresses hydrogen gas. (b) In the second stage (pink shading), the high-pressure gas eventually ruptures a second-stage valve, accelerating the impactor down the barrel toward its target.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Phase Transitions

## Metallic Hydrogen

# Pressure driven

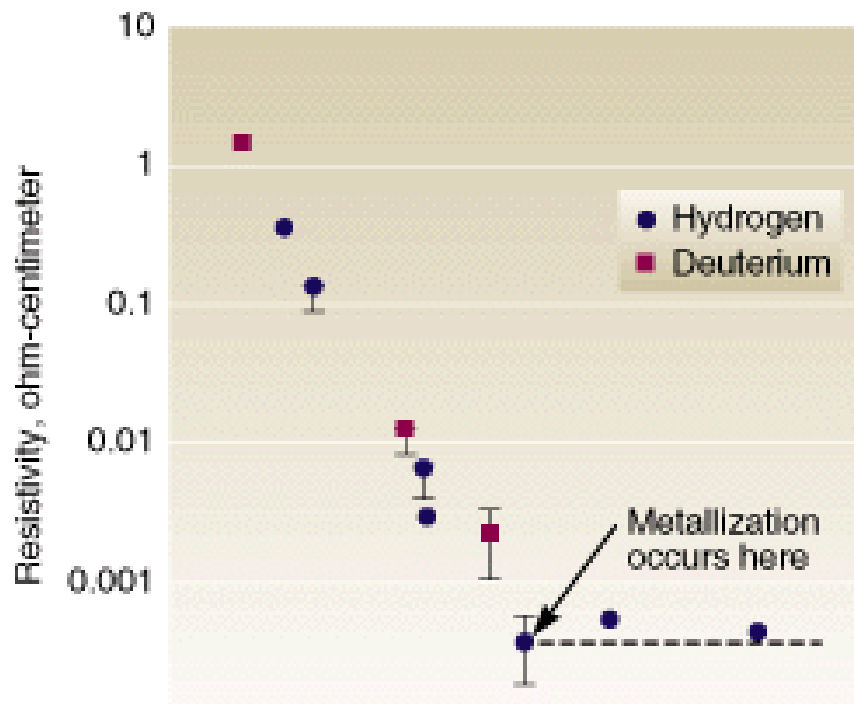


Figure 2. As shock compression increases pressure, liquid molecular hydrogen's electrical resistivity falls dramatically, a decrease of almost four orders of magnitude from 0.9 to 1.4 megabars before plateauing between 1.4 and 1.8 megabars where resistivity ( and conversely, conductivity) is essentially constant at a value typical of that of a liquid metal. Our experiments used molecular hydrogen and deuterium, which have

# Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# CAMBIO DE COMPOSICION MANTENIENDO LA ESTRUCTURA

## ISOESTRUCTURAL OXIDES :

## Some counter-Examples

### Rutile Type( $\text{MO}_2$ )

$\text{TiO}_2$  Diamagnetic & insulator: colorless (Transparent)

$\text{CrO}_2$  Ferromagnetic & metálic: black

### Tipo Espinela ( $\text{AB}_2\text{X}_4$ )

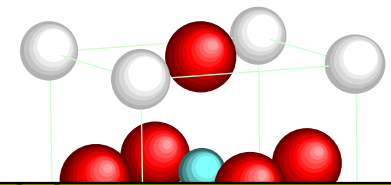
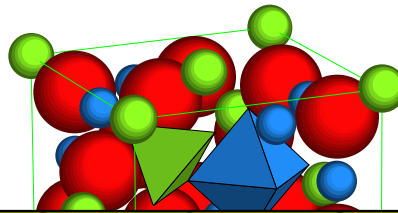
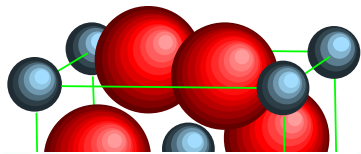
$\text{MgAl}_2\text{O}_4$ : Diamagnetic & insulator: colorless (Transparent)

$\text{FeFe}_2\text{O}_4$  : Ferrimagnetic & metálic: black

### Tipo Perovskita ( $\text{ABX}_3$ )

$\text{BaTiO}_3$ : Diamagnetic & insulator, ferroelectric, colourless

$\text{M}_x\text{WO}_3$ : Metallic, Pauli paramagnet



Cartagena99

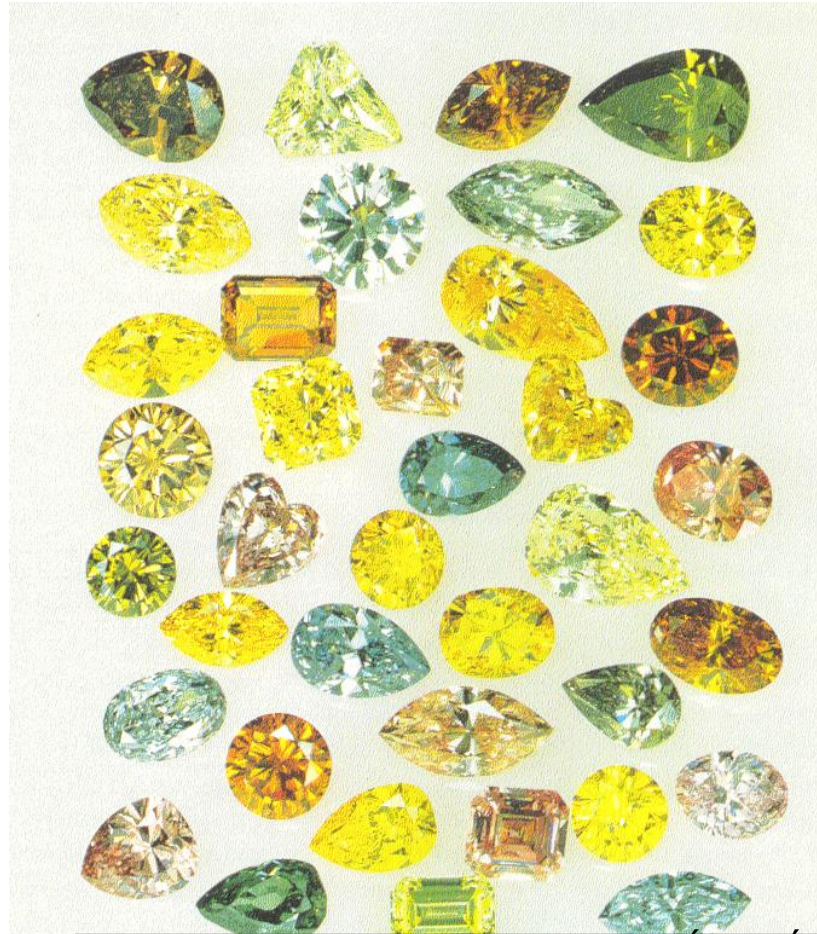
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

2nd Paradigm: Structure / properties / composition relations;

### III.- COMPOSITIONAL CHANGES IN A COMMON STRUCTURE



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

### III.- CAMBIOS DE COMPOSICIÓN MANTENIENDO LA ESTRUCTURA

III. A) Cambio de **TODOS** los átomos de un tipo

MANTENIENDO el número de sitios: **FAMILIAS.**

Rutilos,  $\text{MO}_2$ ; Perovskitas,  $\text{ABX}_3$ ; III-V; II-VI, etc.

III. B) Cambio de **ALGUNOS** átomos de un tipo, **MANTENIENDO** el número de sitios: **SOLUCIÓN SÓLIDA VERDADERA.**



III. C) Cambio de **ALGUNOS** átomos de un tipo, **CAMBIANDO** el número de sitios: **SOLUCIÓN SÓLIDA ANÓMALA.** Fluorita: m



III. D) Cambio de **ALGUNOS** átomos de un tipo, **CAMBIANDO** el

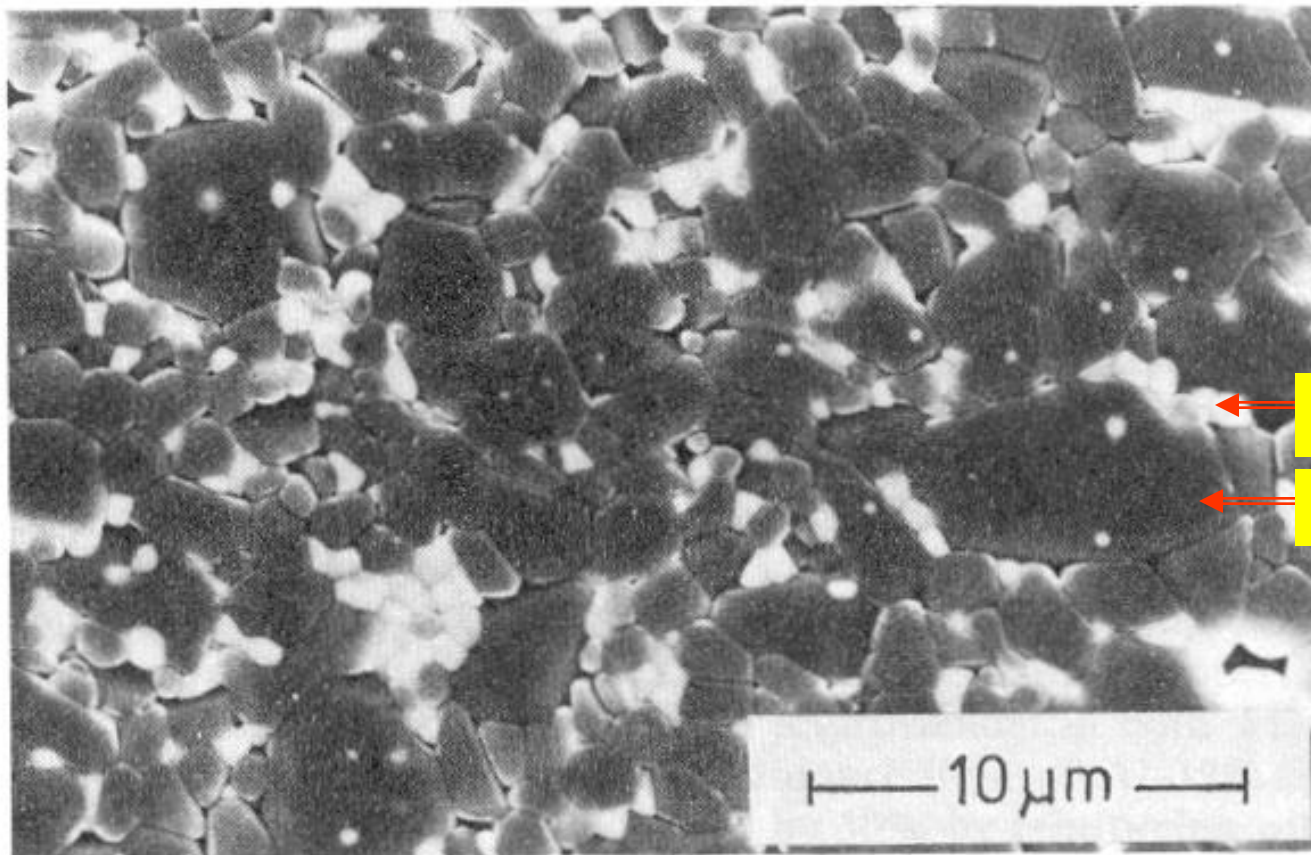
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Hipo/Hiper estequiométrico  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6-7}$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

J.C. Anderson et al. "Materials Science, C & Hall (1991)