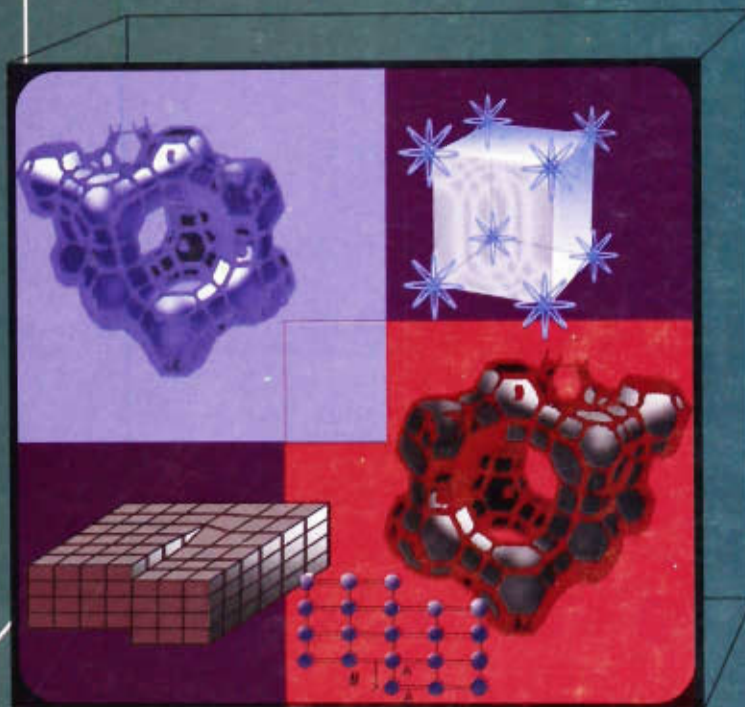


68

# BREVIARIO DE ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES



M  
403.9  
.9

Marcos May Lozano

**Materiales**

UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
METROPOLITANA   
Casa abierta al tiempo 

# BREVIARIO DE ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES

*Ojos de cielo en el cielo, ojos de tierra en la tierra.  
El viento azul es enturbiado con el café de los viejos maizales.  
El río esta corriendo y esta llevando los colores de los junglares.  
Tu azul no será cielo, tu cielo será la tierra donde viven felices los mortales*

*Marcos May*

**BREVIARIO DE ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES**

Este material fue dictaminado y aprobado para su publicación por el Consejo Editorial de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Unidad Azcapotzalco de la UAM, en su sesión del día 6 de septiembre del 2005.

# BREVIARIO DE ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES

Marcos May Lozano



2892970



División de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Departamento de Materiales

# UAM-AZCAPOTZALCO

RECTOR

Dr. Adrián Gerardo de Garay Sánchez

SECRETARIA

Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion

COORDINADORA GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO

Dra. Alicia Chacalo Hilu

COORDINADOR DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

DI Jorge Armando Morales Aceves

JEFE DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES

DCG Edgar Barbosa Álvarez Lerin

ISBN: 970-31-0566-1

© UAM-Azcapotzalco

Marcos May Lozano

Corrección:

Rosendo García Leyva

Ilustración de portada:

Consuelo Quiroz Reyes

Diseño de Portada:

Modesto Serrano Ramírez

Sección de producción  
y distribución editoriales  
Tel. 5318-9222 / 9223  
Fax 5318-9222

Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Azcapotzalco  
Av. San Pablo 180  
Col. Reynosa Tamaulipas  
Delegación Azcapotzalco  
C.P. 02200  
México. D.F.

*Breviario de estructura de los materiales*

1a. edición, 2006

Impreso en México

6.3. ELASTÓMERO (hule) .....	40
6.4. VULCANIZACIÓN .....	42
6.5. POLÍMEROS INORGÁNICOS .....	42
6.6. GRADO DE POLIMERIZACIÓN .....	42
Apéndice A .....	45
POLÍMEROS	
Apéndice B .....	53
PUENTE DE HIDRÓGENO	
MOLÉCULAS POLARES	
TABLA PERIÓDICA	

## PREFACIO

El presente breviario es un manual conciso, que les permita a los alumnos seguir las clases de su maestro, estudiar, entender e investigar los temas de su Materia Estructura de los materiales. Su contenido es un resumen o síntesis de los principales temas de la materia. Mediante este Breviario se espera que el alumno pueda estudiar y entender con mayor facilidad los temas del curso, pues se va directo al grano, tratando de no distraer al alumno con ambigüedades. Los temas se plantean con un seguimiento ordenado, tratando de ser concreto y tratando de no dejar definiciones inconclusas. En el tiempo que llevo dando esta clase me he dado cuenta de la ausencia de un manual como este y espero sinceramente les sea de utilidad a los alumnos que llevan esta asignatura.

UAM-Azcapotzalco, 2005.

La presencia de la estrella en el texto indica que el tema desarrollado es de gran interés y se ha colocado como indicación para el alumno al momento de estudiar para sus exámenes.

Se han subrayado y puesto en negritas algunas partes del texto, para realzar algunas frases en el manual.





## INTRODUCCIÓN

La historia de la humanidad ha sido dividida en diferentes épocas que están relacionadas con el material que más se usaba (la edad de piedra, bronce, etc.). Actualmente, estamos en la era de los Nuevos Materiales. El progreso ahora se basa en el desarrollo de la Microelectrónica, la Informática, la Automatización y Robotización de la Producción, en el empleo de nuevos materiales y nuevas tecnologías y la Biotecnología.

La tecnología moderna requiere de materiales con una variedad de propiedades, con un bajo costo de obtención y con una alta versatilidad. El número de materiales existentes se cree están entre 40.000 y 80.000. La introducción de los nuevos materiales en las industrias viene motivada por los siguientes factores: 1) Necesidad de economizar energía 2) Urgencia de conservar el medio ambiente 3) Conveniencia de disminuir el consumo de materiales estratégicos 4) Necesidad de aumentar su competitividad en los mercados.

Los nuevos estudios, tienden a desarrollar materiales más fiables, ligeros, resistentes y con una optimización de recursos. Entre éstas líneas está el desarrollo de: a) Aleaciones metálicas resistentes a altas temperaturas b) Metales amorfos c) Cerámicas técnicas d) Polímeros especiales e) Materiales compuestos.

El objetivo en el área de los nuevos materiales será que los desechos tengan propiedades que permitan el reciclaje o que sea fácil su degradación. Las industrias del sector metálico, plástico y cerámico, deberán entrar en un proceso de transformación y reconversión hacia el uso de materiales compuestos, si desean conservar sus espacios de mercado frente a los productos que serán ofertados desde afuera, facilitados por la inclusión del país en los bloques del comercio internacional.

En la obtención de un nuevo material, se admiten tres fases de investigación y desarrollo: Utilización de conocimientos interdisciplinarios, teóricos y experimentales, para caracterizar los nuevos materiales, tratando de controlar las propiedades de los mismos, correlacionando la estructura microscópica con la macroscópica. Conseguir métodos y técnicas de producción de nuevos materiales a nivel industrial.

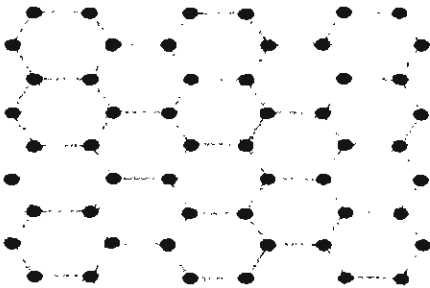
La ingeniería de Materiales tiene como objetivos: combinar propiedades de distintos materiales para generar uno nuevo (materiales compuestos) y encontrar nuevos productos en los cuales se puedan aplicar los nuevos materiales. Específicamente se busca obtener materiales para aplicaciones: magnéticas (imanes de tierras raras, imanes unidos mediante polímeros), ópticas (materiales ópticos con índice de transmisión variable), eléctricas (conductores metálicos endurecidos por envejecimiento, conductores poliméricos, materiales piezoeléctricos) y de superconductividad (superconductores a altas temperaturas).

Otros de los objetivos serán fabricar: materiales no metálicos para altas temperaturas (materiales fibrosos y cerámicas mejoradas en cuanto a durabilidad), polímeros y compuestos de matriz orgánica (mezclas poliméricas, polímeros con aditivos y compuestos orgánicos), materiales para aplicaciones especializadas: biomateriales (materiales compuestos para implantes y ligamentos ortopédicos de larga duración, materiales bioabsorbibles y histocompatibles para bioinstrumentos, tales como membranas, bolsas, agujas y jeringuillas), materiales de embalaje y envasado, multimateriales (materiales de multicapas). La información anterior permite entender la importancia de la ingeniería de materiales en el presente y futuro de la humanidad. Los gobiernos del mundo han entendido esa importancia y están gastando millones de dólares en la investigación de nuevos materiales.

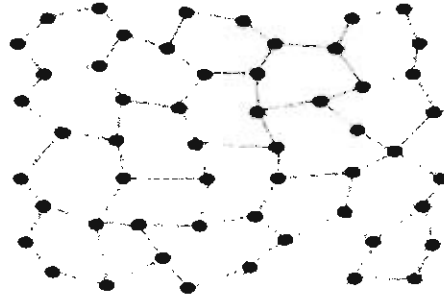


## 1. ESTRUCTURA CRISTALINA Y CRISTALOGRAFÍA (el estado cristalino)

★ **CRISTALES O MATERIAL CRISTALINO.** Un cristal se puede definir como un conjunto de átomos ordenados según un arreglo periódico en tres dimensiones. Cuerpos que poseen una geometría definida y ordenada. -Material que contiene un arreglo atómico regular y repetitivo (en tres dimensiones y que difracta a los Rayos X). Una roca y una montaña están constituidas por minerales tan cristalinos como un terrón de azúcar, la sal de cocina o el oro de un anillo.



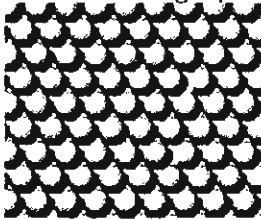
***Cristal (ordenado)***



***Vidrio (amorfo)***

★ **UNA CELDA UNITARIA.** Es la parte más pequeña de un cristal (descrita por 3 vectores  $xyz$ , y 3 ángulos  $\alpha\beta\gamma$ ), es el conjunto mínimo ordenado de átomos o iones que se repiten en el espacio.

★ **RED CRISTALINA.** Puntos que representan átomos de una estructura tridimensional. -Arreglo periódico de puntos que definen un espacio.



Red cristalina

★ **EXISTEN SOLO SIETE SISTEMAS CRISTALINOS:**

Cúbico, tetragonal, ortorrómbico, romboédrico, hexagonal, monoclinico y triclínico. La materia esta constituida principalmente por cúbica y hexagonal.

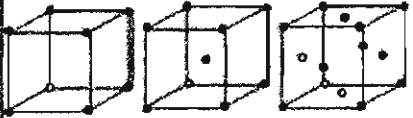

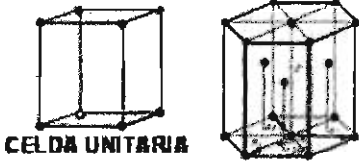
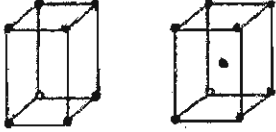
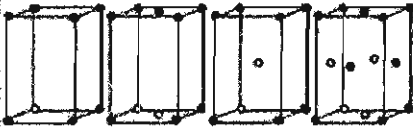
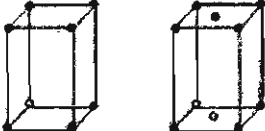

★ **ESTRUCTURA CÚBICA SIMPLE (PRIMITIVA).** Estructura cristalina con simetría cúbica, en la que los átomos o iones están en los ocho vértices (contiene un átomo por celda unitaria).

★ **CÚBICA CENTRADA EN EL CUERPO (CC).** Estructura cristalina con simetría cúbica, en la que los átomos o iones están en las esquinas de la celda unitaria, y además hay un átomo en el centro de la celda (contiene 2 átomos por celda unitaria).

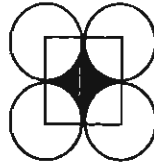
★ **CÚBICA CENTRADA EN LAS CARAS (CCC).** Estructura cristalina con simetría cúbica, en la que los átomos o iones están colocados en cada vértice, y también en el centro de cada una de las caras del cubo (contiene 3 átomos por celda unitaria).

**HEXAGONAL COMPACTA (HC).** Estructura cristalina que tiene un plano basal hexágono regular, y planos laterales rectangulares al plano basal. Los átomos o iones están en cada esquina del plano basal, y hay 3 átomos más en el plano intermedio.

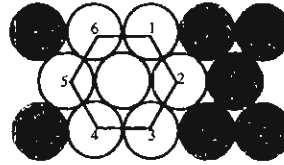
★ 1.1. EXISTEN 14 CELDAS UNITARIAS O REDES DE BRAVAIS:

Sistema	Redes	Malla	Redes de Bravais
Cúbico	Simple Centrado en cuerpo Centrado en caras	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	 <p>CUBICA (P, F, I)</p>
Trigonal	Romboédrico	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Hexagonal	Simple	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	 <p>CELDA UNITARIA</p>
Tetragonal	Simple Centrado en cuerpo	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	 <p>TETRAGONAL (P, I)</p>
Ortorrombi- co	Simple Centrado en bases Centrado en cuerpo Centrado en caras	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	 <p>ORTORRÓMBICA (P, I, F, C)</p>
Monoclini- co	Simple Centrado en bases	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	 <p>(P, C)</p>
Triclinico	Simple	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma$	

**1.2. EMPAQUETAMIENTO DE ESFERAS.** Considerando a los átomos como esferas, se puede hacer una representación de los modelos cristalinos, por ejemplo: La celda cúbica simple (no compacto) y el hexagonal (compacto), que se muestran en la siguiente figura (la figura muestra un empaquetamiento de átomos en el que se ve cómo se forma la cara de un cubo y un hexágono).



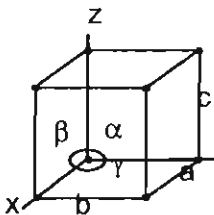
Cúbica



Hexagonal

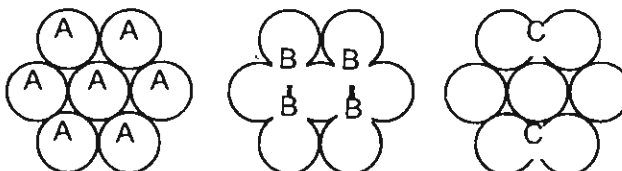
**CONSTANTES CRISTALOGRÁFICAS**

Sistema	Ejes	Ángulos de los ejes	Ejemplos
Cúbico	$a=b=c$	Todos ángulos= $90^\circ$	NaCl, Fe, KCl, Ag
Tetragonal	$a=b \neq c$	Todos ángulos= $90^\circ$	TiO <sub>2</sub> , SnO <sub>2</sub> , HgCl
Ortorrómbico	$a \neq b \neq c$	Todos ángulos= $90^\circ$	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , KNO <sub>3</sub>
Monoclínico	$a \neq b \neq c$	Dos ángulos= $90^\circ$ , un ángulo $\neq 90^\circ$	MgSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
Triclínico	$a \neq b \neq c$	Todos diferentes; ninguno igual a $90^\circ$	K <sub>2</sub> CrO <sub>7</sub> , Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Hexagonal	$a=b \neq c$	Dos ángulos= $90^\circ$ y uno de $120^\circ$	CdS, Mg, Zn, ZnO
Rómbico	$a=b \neq c$	Todos iguales, diferentes de $90^\circ$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZnCO <sub>3</sub>

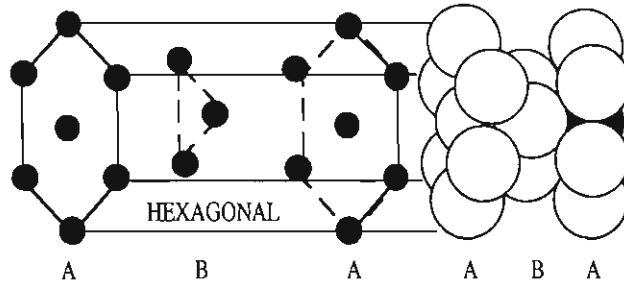


La clasificación de los sistemas cristalinos se basa en la distancia de los planos y los ángulos y los parámetros de red describen el tamaño y forma de la celda unitaria.

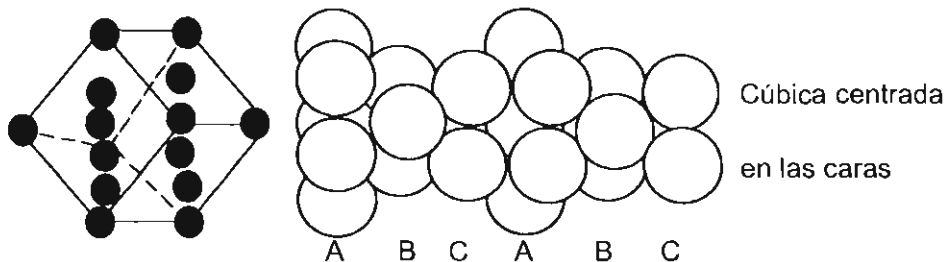
**★1.3. ESTRUCTURAS DE APILAMIENTO O EMPAQUETAMIENTO COMPACTO.** Las capas de átomos se pueden colocar en las siguientes posiciones:



★**ESTRUCTURAS HEXAGONALES.** Empaquetamiento de tipo compacto ABABAB (la primera capa de átomos se coloca en la posición A y la segunda se coloca en la posición B).



★**ESTRUCTURA CÚBICA CENTRADA EN LAS CARAS.** Empaquetamiento de tipo compacto ABCABCABC (es semejante al anterior pero la tercera capa se coloca en la posición C).

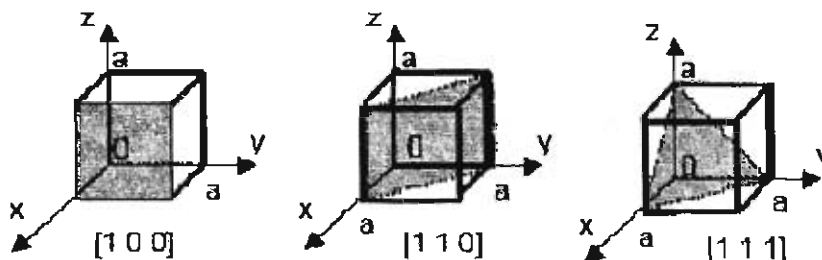


**1.4. ÍNDICES DE MILLER.** Representación abreviada para describir ciertas direcciones y planos cristalográficos en un material (h k l). Los índices de Miller de un plano se definen como los recíprocos de las interacciones fraccionales de los planos hechos con los tres ejes cristalográficos x, y, z.

Procedimiento para determinar los índices de Miller:

- 1) Se elige el plano.
- 2) Se determinan las intersecciones del plano con los tres ejes x, y, z; Estas interacciones pueden ser fracciones.
- 3) Se obtienen los recíprocos de las interacciones.
- 4) Se eliminan las fracciones, obteniéndose números enteros y se usa la notación (hkl).

Por ejemplo [plano (100)]: Se determinan las intersecciones para los ejes x,y,z, que serían  $1, \infty, \infty$ , respectivamente. Se sacan sus recíprocos para obtener los índices de Miller,  $1/1, 1/\infty, 1/\infty$ , que son entonces 1,0,0. Entonces para este plano los índices de Miller son (100).



## 1.5. LEY DE BRAGG

Las técnicas de Difracción de rayos X permiten la identificación y caracterización de especies cristalinas. Las técnicas de difracción permiten observar en forma indirecta detalles del orden de  $10^{-8}$  cm, esto es, en el rango atómico.

Ecuación que define la difracción de rayos X,  $n\lambda = 2d \sin \theta$

Relación que describe el ángulo en que se difracta un haz de rayos X de una longitud de onda particular en planos cristalográficos con un espaciamiento interplanar dado. Mediante esta técnica es posible determinar las dimensiones de las celdas unitarias.

$n$  = orden de difracción (siempre es un número entero).

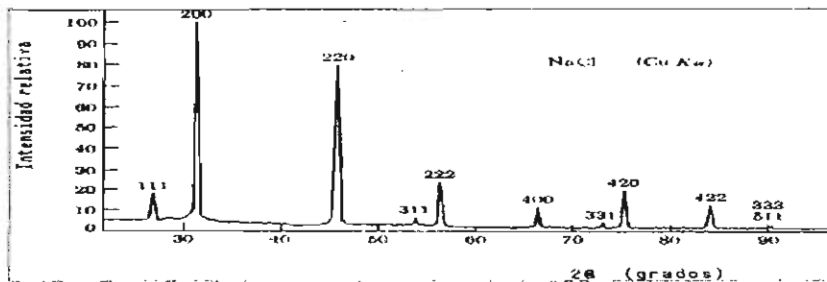
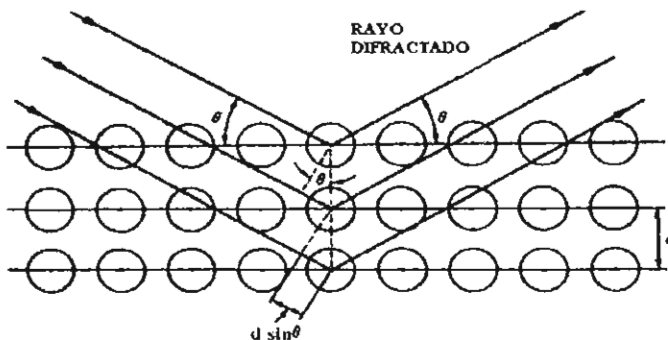
$\lambda$  = longitud de onda de la radiación.

$d$  = distancia entre planos.

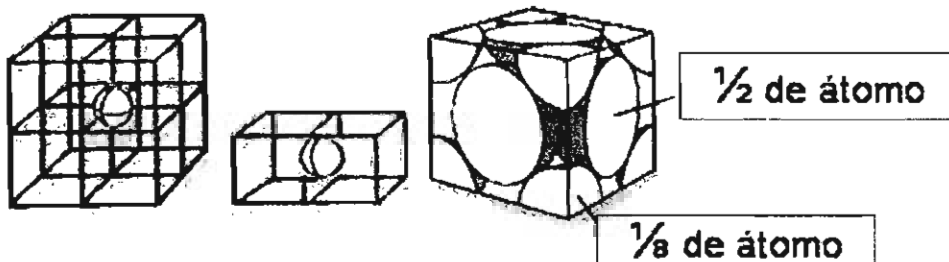
Teta ( $\theta$ ) = ángulo de difracción.

El calculo de  $d$  (distancia entre planos) es posible si se controla en el laboratorio los parámetros restantes  $n$ ,  $\theta$  y  $\lambda$ . En la siguiente figura se ve una representación de capas de átomos en los cuales los rayos X son difractados.

Ejemplo de un difractograma de rayos X de una muestra de NaCl



**1.6. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ÁTOMOS DE UNA CELDA UNITARIA.** Los átomos en la red cristalina están compartidos por las celdas unitarias y a continuación se muestra como se hace el cálculo de átomos en las celdas cúbicas:



Valor de los átomos que están en los vértices =  $1/8$  de átomo (cada átomo le pertenece a 8 celdas unitarias).

Valor de los átomos que están en el centro = 1 átomo (al encontrarse en el centro solo le pertenece a una celda).

Valor de los átomos que están en las caras =  $1/2$  de átomo (le pertenece a 2 celdas).

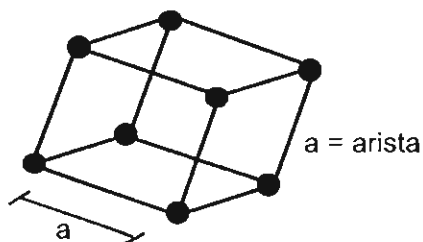
★La estructura cúbica simple o primitiva consta de un átomo ya que  $1/8 \times 8$  (8 átomos en los vértices) = 1 ÁTOMO.

★La estructura cúbica centrada en el cuerpo consta de dos átomos ya que  $(1/8 \times 8) = 1$ , más 1 (un átomo centrado) = 2 ÁTOMOS.

★La estructura cúbica centrada en las caras consta de cuatro átomos ya que  $(1/8 \times 8) = 1$  más 3 (6 átomos en las caras de  $1/2$ ) = 4 ÁTOMOS.

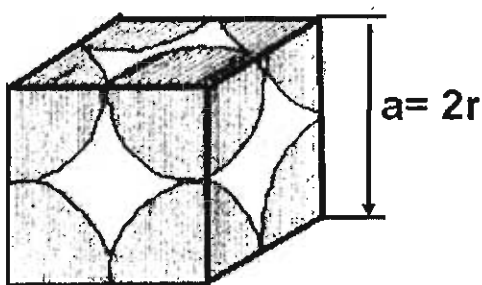
★Hexagonal consta de 12 átomos en los vértices, compartidos por 6 celdas ( $1/6 \times 12 = 2$  átomos) más 2 átomos que están en el centro de las dos caras ( $1/2 \times 2 = 1$  átomo) y 3 átomos no compartidos en el centro la estructura hexagonal ( $3 \times 1 = 3$  átomos) = 6 átomos.

### ★1.7. CÁLCULO DE LA ARISTA EN FUNCIÓN DEL RADIO ATÓMICO (arista= $a$ )



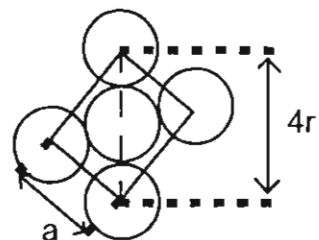
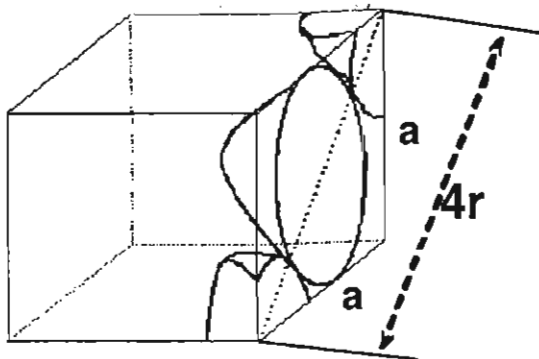
En este manual se demostrará detalladamente cómo calcular la arista en función del radio atómico, pero se recomienda investigarlo en la bibliografía. Algunos cálculos se basan en el teorema de Pitágoras (el radio atómico  $r$ , puede ser encontrado en la tabla periódica química).

★1). Cúbica primitiva:  $a=2r$  (la celda cúbica primitiva solo presenta átomos en los vértices). Se toma una cara de la celda unitaria cúbica primitiva para realizar el cálculo.

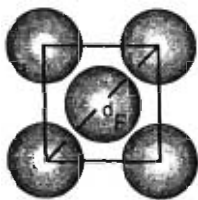




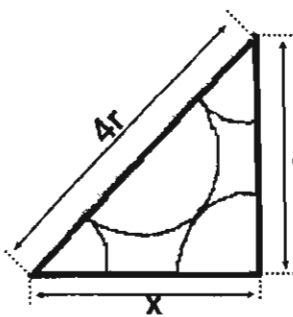
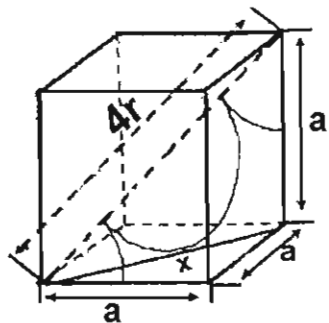
★2). Cúbica centrada en las caras:  $(4r)^2 = a^2 + a^2$ ,  $(4r)^2 = 2 a^2$ ,  $2a^2 = (4r)^2$ ,  
 $a = (4r)/\sqrt{2}$  (se utiliza el teorema de Pitágoras en un triángulo con hipotenusa igual a  $4r$  y  
 cateto opuesto y adyacente =  $a$ ).



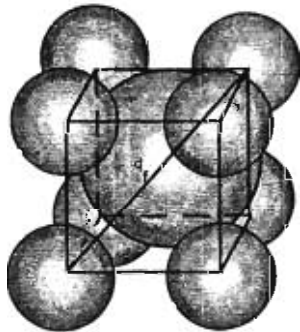
Cúbica c, en las caras



3). Cúbica centrada en el cuerpo:  $(x)^2 = a^2 + a^2$ ,  $(x)^2 = 2 a^2$  (ecuación 1).  
 $(4r)^2 = x^2 + a^2$ , (sustituyendo  $x$  de ecuación 1)  $(4r)^2 = 2a^2 + a^2$ ,  $(4r)^2 = 3 a^2$ ,  
 $a = (4r)/\sqrt{3}$  (el valor de  $x^2$  es obtenido del triángulo que se encuentra en la base del cubo).



Cúbica  
 Centrada  
 en el cuerpo



A continuación se muestra una tabla, que muestra las ecuaciones que relacionan la arista, a, con el radio atómico.

Estructura	Arista (a) en función de r	átomos por celda	Número de coordinación	Factor de empaquetamiento	Metales típicos
Cúbica simple	$a=2r$	1	6	0.52	-----
Cúbica centrada en el cuerpo	$a=(4r)/\sqrt{3}$	2	8	0.68	Fe,Na, Cr,Zr
Cúbica centrada en las caras	$a=(4r)/\sqrt{2}$	4	12	0.74	Fe,Cu, Au,Ni
Hexagonal	$a=2r,$ $c=1.6333a$	6	12	0.74	Ti,Mg, Cd,Zn

**1.8. CÁLCULO FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO (F.E).** Espacio ocupado por los átomos en una celda unitaria.

$$F.E = \frac{\text{VOLUMEN DE ÁTOMOS}}{\text{VOLUMEN DE CELDA UNITARIA}} = \frac{(n) \cdot (4/3) \pi r^3}{V. \text{ celda unitaria}}$$

Los volúmenes de las celdas unitarias pueden ser =  $a^3 = [2r]^3, [(4r)/\sqrt{3}]^3, [(4r)/\sqrt{2}]^3$ .

r= radio atómico

n puede tener los siguientes valores = 1,2, 4, átomos por celda

Sustituyendo en la fórmula anterior se tiene:

Cúbica Primitiva:

$$n= 1, V. \text{ celda unitaria} = [2r]^3 \quad F.E= 0.52 (52 \%)$$

Cúbica centrada en el cuerpo:

$$n= 2, V. \text{ celda unitaria} = [(4r)/\sqrt{3}]^3 \quad F.E= 0.68 (68 \%)$$

Cúbica centrada en las caras:

$$n= 4, V. \text{ celda unitaria} = [(4r)/\sqrt{2}]^3 \quad F.E= 0.74 (74 \%)$$

$$\text{Hexagonal: } F.E= 0.74 (74 \%)$$

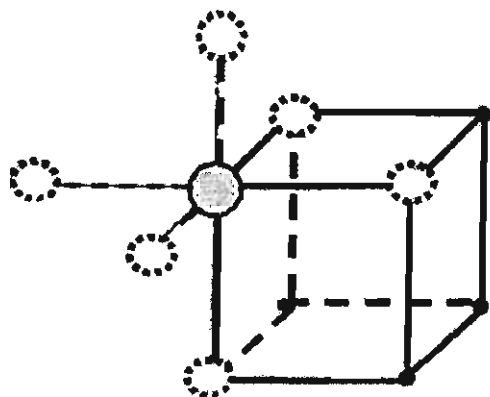
Lo anterior sugiere que la estructura hexagonal y la cúbica centrada en las caras son las que tienen un mayor espacio ocupado por átomos, o sea son más compactas.

**★1.9. NÚMERO DE COORDINACIÓN.** La cantidad de vecinos más cercanos que rodean a un átomo o a un ion. Es el número de átomos de los primeros vecinos que tienen un átomo directamente en contacto con él. Su coordinación va a depender del tamaño del átomo.

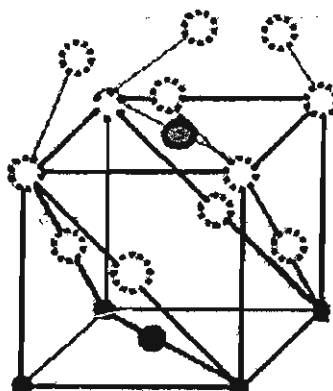
Número de coordinación de la cúbica primitiva: 6 Átomos

Número de coordinación de la cúbica centrada en el cuerpo: 8 átomos.

Número de coordinación de la cúbica centrada en el las caras y de la hexagonal: 12 átomos.



Cúbica simple (coordinación 6)



Cúbica centrada en las caras

### 1.10. POLIMORFISMO

★POLIMORFISMO O ALOTROPÍA.- Son las moléculas que tienen composiciones idénticas pero estructuras diferentes. Materiales que pueden tener más de una estructura cristalina. Ejemplo: Grafito, diamante y fullerenos formados los tres por carbón. También el Hierro, SiC, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, presentan alotropía.

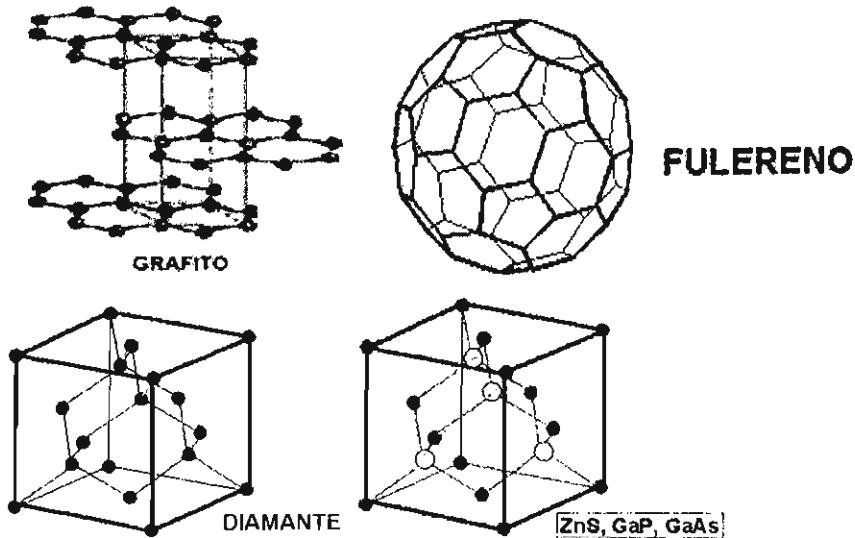
★El diamante es el material más duro que se conoce (enlaces covalentes, estructura tetraédrica), mientras que el **grafito es un material blando** debido a que presenta enlaces covalentes dentro de sus laminas y enlaces semimetálicos entre sus láminas, que permiten deslizamiento entre ellas, además los sistemas en las capas permiten la conductividad eléctrica. Debido a esta unión tan débil entre las capas atómicas del grafito, los deslizamientos de unas frente a otras ocurren sin gran esfuerzo, y de ahí su capacidad lubricante, su uso en lapiceros y su utilidad como conductor.

En el diamante, cada átomo de carbono está unido a otros cuatro en forma de una red tridimensional muy compacta (**cristales covalentes**), de ahí su extrema dureza y su carácter aislante (las estructuras ZnS, GaP y GaAs son muy semejantes a la estructura del diamante pero sus átomos se encuentran colocados en posiciones alternadas). La estructura cúbica del **ZnS** (tipo blanda) está formada por 2 tipos de átomos (la figura siguiente). Es fácil ver que los átomos "negros" marcan la estructura cúbica centrada en las caras (la figura siguiente) y que cada átomo negro tiene asociado otro "blanco". Cuando todos los átomos son iguales tenemos el caso de las estructuras del tipo diamante.

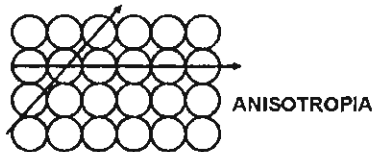
Para mayor información:

<http://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica1/aleacion.htm>

**Fullerenos.** Descubiertos hace muy pocos años, los fullerenos están formados por redes tridimensionales de átomos de carbono que forman diferentes estructuras geométricas. La más conocida es la del C<sub>60</sub> en la que 60 átomos de carbono se distribuyen formando una estructura similar a la de un balón de fútbol, razón por la que también se le conoce con el nombre de futboleno. El C<sub>70</sub> tiene forma de melón o de balón de rugby. Los nanotubos de carbono son cilindros huecos.



**ANISOTROPIA.** Propiedades de la materia en la cual determinadas propiedades físico-químicas como: temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, varían según la dirección en que son examinadas. Que tiene propiedades que varían con la dirección.



**ISOTRÓPICO:** Sus propiedades son independientes de la dirección en la que se miden.

★ 2.- CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE CELDAS UNITARIAS

**Cálculo de moles:** 1mol= 6.023x10<sup>23</sup> átomos.

Calcular la cantidad de átomos que contienen 50 g. de Fe.

(la masa atómico del Fe = 55.85 g/mol).

50 g de Fe [1mol de Fe/(55.85 g)]= 0.895255 mol de Fe.

0.895255 mol de Fe [(6.023x10<sup>23</sup> átomos de Fe)/1mol]= 5.392x 10<sup>23</sup> átomos de Fe.

**Densidad** = masa /volumen

Los **materiales "ligeros"** como **el aluminio y el magnesio** tienen baja densidad (inferior a 3), mientras que los materiales como **plomo y mercurio** presentan mayor densidad (mayor de 10). El cálculo de la densidad de una celda unitaria esta relacionado con la densidad macroscópica de los materiales.

Densidad en celdas unitarias cúbicas (el conocer las siguientes formulas y sus componentes es fundamental para poder resolver los problemas siguientes).

★	Formula de densidad	Primitiva	Centrada en el cuerpo	Centrada en las caras
Densidad	$D = \frac{(n)(P)(B)}{V}$	$\frac{(P)(B)}{(2r)^3}$	$\frac{2(P)(B)}{[(4r)/\sqrt{3}]^3}$	$\frac{4(P)(B)}{[(4r)/\sqrt{2}]^3}$

D= densidad, n= número de átomos, P= Masa atómica, g/mol, B= (1 mol)/ 6.023x10<sup>23</sup> átomos, V= a<sup>3</sup>, a= arista (Volumen, puede ser calculada en función del radio, r).

★Ejemplo:

El aluminio cristaliza en una estructura cúbica centrada en las caras. Si el átomo de aluminio tiene un radio de 1.43 Å (ångstroms). Calcular la longitud de la arista de la celda unitaria. Dato: Masa atómica = 26.98 g/mol.

Fórmula de la estructura cúbica centrada en las caras,  $a = (4r)/\sqrt{2}$ .

Arista =  $a = (4 \times 1.43)/\sqrt{2} = 4.044 \text{ Å}$ .

★Ejemplo:

Calcular la densidad teórica del cobre sabiendo que su celda unitaria es cúbica centrada en las caras (ccc). Se sabe que el radio atómico del Cu es igual a 0.1278 nm.

RESPUESTA:  $1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$ ,  $1 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ cm}$ ,  $1 \text{ nm} = 10 \text{ Å}$ ,  $1 \text{ mol} = 6.023 \times 10^{23}$  átomos, Masa atómica del Cu = 63.5 g/mol (de tabla periódica).

$a = (4r)/\sqrt{2} = 0.361 \text{ nm} = 3.61 \text{ Å} = 3.61 \times 10^{-8} \text{ cm}$ .

$$D = \frac{(n)(P)(B)}{V} = \frac{(n)(PM)}{a^3} = \frac{(4)(63.5)}{(3.61)^3 \times (10^{-8})^3} = 8.98 \text{ g/cm}^3$$

Ejemplos para resolver:

1. "El titanio cristaliza en una estructura cúbica simple" y presenta un radio atómico igual a 1.47 Å. Determinar cuál es su densidad.
- 2 Determinar qué metal tiene las siguientes propiedades: Cúbica centrada en el cuerpo (cc), con una arista  $a = 0.286 \text{ nm} = 2.86 \times 10^{-8} \text{ cm}$ , y su densidad es de  $7.88 \text{ g/cm}^3$ .  
 $1 \text{ mol} = 6.023 \times 10^{23}$  átomos.
3. El elemento Paladio (Pd) tiene como parámetro de red:  $a = 3.89 \text{ Å}$  y una densidad igual a  $12.02 \text{ gr/cm}^3$ . Calcular y determinar si el paladio es: cúbico centrado en las caras, centrado en el cuerpo o primitiva.
4. El cobre tiene un estructura cristalina cúbica centrada en las caras y tiene un volumen de celda unidad igual a  $4.70 \times 10^{-29} \text{ m}^3$ , calcular el valor del radio atómico en ångstroms.

### 3. TIPOS DE CRISTALES

Las propiedades físicas y químicas de los elementos y de sus compuestos dependen de los enlaces químicos que mantienen unidos los átomos. Los cristales pueden ser clasificados en:

- a) Covalentes
- b) Iónicos
- c) Metálicos
- d) Moleculares

Para mayor información buscar: [www.oei.org.co/fpciencia/art08.htm#4](http://www.oei.org.co/fpciencia/art08.htm#4)

#### 3.1. CRISTAL COVALENTE

ENLACE COVALENTE. Los átomos de los elementos alcanzan una estructura electrónica completa (regla del octeto) al compartir uno o más electrones con átomos adyacentes, en el que cada átomo aporta un electrón para cada enlace. Los enlaces covalentes son difíciles de romper, no conducen la electricidad (no electrones libres). Los compuestos orgánicos comúnmente presentan enlaces covalentes. Presentan principalmente estructuras tetraédricas. Los compuestos con enlace covalente están formados generalmente por moléculas discretas, los enlaces son direccionales y existen fuerzas de enlace covalente entre los átomos de esa molécula y otra. En el sólido solamente actúan fuerzas de carácter débil entre una molécula y otra, las cuales son llamadas fuerzas de Van Der Waals.

**Propiedades físicas y mecánicas.** La energía calorífica requerida para fundir o evaporar un compuesto covalente es comúnmente baja (con excepción de los cristales), debido

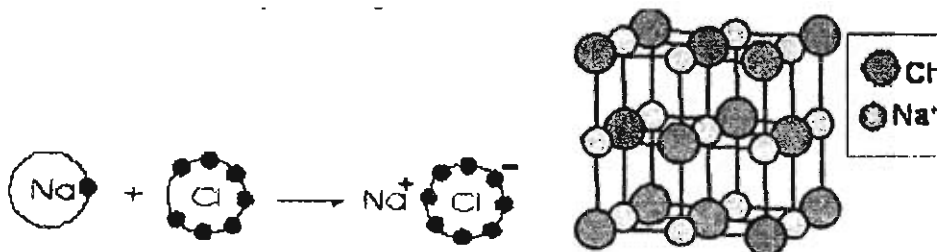
a su naturaleza y **carácter débil de las fuerzas de Van Der Waals**. Por lo tanto, los compuestos que presentan enlaces covalentes son por lo general gases, líquidos. Por lo contrario, entre los átomos de un **crystal covalente** la energía necesaria para que los átomos sean capaces de separarse entre sí debe ser muy alta y por lo mismo los puntos de **fusión** (temperatura a la cual un sólido cambia a líquido) **y ebullición** solo se alcanzan a muy **altas temperaturas**. La falta de libertad que dan los átomos a sus electrones impiden la existencia de electrones deslocalizados que puedan moverse a través del cristal por lo que su conductividad es nula. En algunos casos como el silicio se presenta una conductividad parcial y este sólido presenta **estructuras covalentes infinitas** en tres dimensiones en lugar de moléculas discretas, en estos casos operan fuerzas de enlace fuertes en todas direcciones; algunos ejemplos son el **diamante y la sílice** ( $\text{SiO}_2$ ), son compuestos covalentes pero muy duros y tienen altos puntos de fusión ( $\text{SiO}_2$  pf=1700°C, el C pf= 3570°C, el Si pf= 1410°C, el Ge pf= 937°C; el SiC pf= por encima de los 2700°C). El  $\text{SiO}_2$  es un sólido muy duro y de elevado punto de fusión, esto lo explica su estructura de red tridimensional en la que los átomos de silicio ocupan el centro de tetraedros estando los de oxígeno en los vértices (siendo cada átomo de oxígeno común a dos tetraedros), unidos estos átomos por enlaces covalentes conformando toda una red. En cuanto a la solubilidad: los compuestos covalentes que no sean polares sólo se disolverán en disolventes orgánicos no polares, o sea, disolventes de baja constante dieléctrica como el benceno y el tetracloruro de carbono.

### ★3.2. CRISTAL IÓNICO

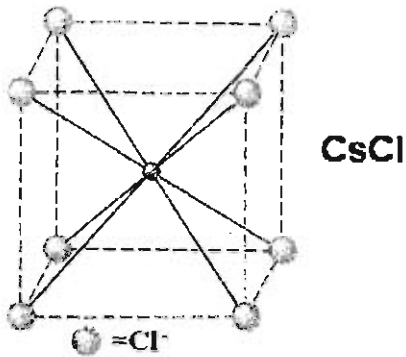
Es un enlace muy fuerte, es un enlace primario en el que intervienen átomos que tienen una diferencia importante de electronegatividad. El cloruro de sodio NaCl (sal de cocina), es el ejemplo clásico de un cristal iónico. Los cristales iónicos son duros, quebradizos, **no conducen la electricidad** (no tienen electrones libres), tienen puntos de fusión elevados (punto de fusión es igual a la temperatura del paso del estado sólido a líquido). En un **crystal iónico**, los iones están atrapados en sitios fijos en la red cristalina, estos no pueden migrar y por lo tanto no pueden conducir la corriente eléctrica. La fusión de compuestos iónicos implica necesariamente el rompimiento de la red cristalina, esto requiere una considerable energía de tal manera que los puntos de fusión y de ebullición son generalmente altos, y los compuestos son muy duros.

Electronegatividad: Capacidad de los átomos para atraer o retener electrones, o tendencia de un elemento para ganar o atraer electrones.

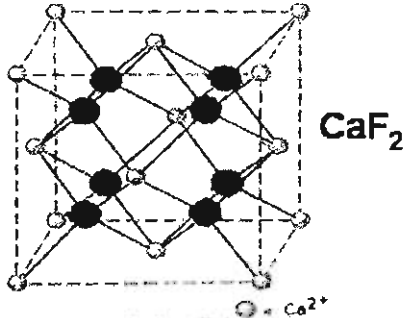
★3.2.1. **CLORURO DE SODIO, NaCl**. Formado por una estructura cúbica centrada en las caras (CCC), cada cloro está rodeado octaédricamente por 6 iones de sodio. Cuando el sodio elemental reacciona con el cloro elemental, un electrón del sodio se transfiere al cloro. El resultado es un ión sodio ( $\text{Na}^+$ ) y un ión cloro ( $\text{Cl}^-$ ). Compuestos con estructuras semejantes: MgO, CaO, NiO, FeO, MnO.



**Cloruro de Cesio, CsCl**. Cada cátion está rodeado por ocho aniones y viceversa, su estructura es cúbica simple. Compuestos con estructuras semejantes: CsBr, TlCl, LiMg.



**Fluorita CaF<sub>2</sub> (MX<sub>2</sub>).** Compuesto binario en el que los iones Ca tienen la estructura centrada en las caras estando los iones F en todos los ocho sitios de coordinación 4. Es decir la fluorita es cúbica centrada en las caras.

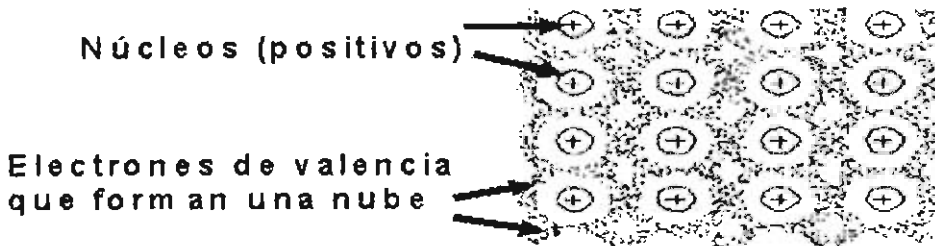


Propiedades físicas de los cristales iónicos. Los cristales iónicos están constituidos por **iones positivos e iones negativos** arreglados para formar un sólido cristalino. En estado sólido se maximizan las fuerzas de atracción y se minimizan las fuerzas de repulsión entre cargas iguales, lo que significa que en estos cristales, a lo largo de cualquier dirección, los iones positivos se alternan con los iones negativos.

Conducción eléctrica de iones y sales fundidas. La conducción eléctrica se puede llevar en cristales iónicos si son fundidos (mediante partículas llamadas iones). Estas pueden ser negativas o positivas según como hayan ganado o perdido más electrones. En el caso del cloruro de sodio, cuando se disuelve en agua le es posible la conducción eléctrica, debido a la disociación de iones Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup>. Los iones son radicales simples o compuestos que se disocian de las sustancias al disolverse estas y da a las disoluciones el carácter de conductividad eléctrica.

### ★3.3. CRISTAL METÁLICO

Cada átomo en un metal contribuye con sus electrones de valencia para formar una nube electrónica que se mueve libremente entre los iones positivos del metal, es un enlace que permite la conducción de electricidad.



Propiedades de los metales: a) Alta conductividad térmica y eléctrica, los electrones pueden moverse con libertad por la nube electrónica. b) Son dúctiles (factibles de hilar) y

**maleables** (factibles de hacer láminas). **c)** Los puntos de fusión son moderadamente altos, la estabilidad de la red positiva circundada por la nube de electrones es alta. **d)** Son difícilmente solubles en cualquier disolvente, por el mismo motivo que justifica el punto anterior.

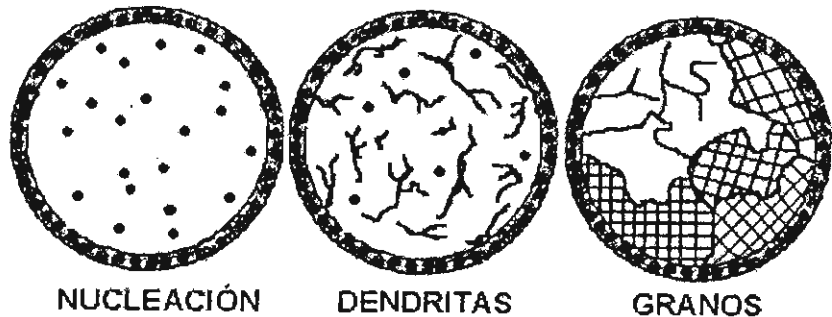
★**3.3.1. NUCLEACIÓN Y DENDRITAS.** Los metales se solidifican al enfriarse, formando la nucleación y posteriormente se forman las ramificaciones llamadas dendritas y finalmente se forman los granos.

**NUCLEACIÓN.** Es el proceso de formación de núcleos (en general son pequeños).

**DENDRITA.** Estructura arbórea en un metal solidificado; se forma durante la solidificación.

**GRANO.** Porción de un material con una sola orientación cristalográfica, los materiales presentan varios cristales con varias orientaciones.

**LÍMITE DEL GRANO.** Es la línea de transición o frontera cuando se unen 2 cristales de orientaciones arbitrarias.



**TEMPLADO:** Proceso de calentamiento que elimina los granos pequeños.

#### **Conductividad**

★**METALES.** La conductividad disminuye con el aumento de temperatura.

★**SEMICONDUCTORES.** La conductividad aumenta con el aumento de temperatura.

**DÚCTIL.** Metales con capacidad de doblarse y no fracturarse.

**DUREZA.** Capacidad de un material a resistir la penetración.

#### ★**3.3.2. DEFECTOS O IMPERFECCIONES QUE PRESENTAN LOS MATERIALES (IMPERFECCIONES DE LA RED ESPACIAL).**

Los defectos cambian, en mayor o menor medida, las propiedades del cristal y su importancia en los aspectos electrónicos de los semiconductores es diferente. Los defectos asociados a las impurezas son necesarios e imprescindibles cuando pueden ser controlados, porque son defectos que generalmente demuestran una actividad eléctrica, capturando o emitiendo electrones.

★**PUNTUALES.** Adimensional. Ocurre en un punto exacto en el sólido, es un "error" en el material donde interviene un solo átomo, ion, sitio de red o posición intersticial.

★**INTERSTICIALES.** Región entre los átomos, definida al menos por cuatro átomos o iones. Los intersticios en los cristales suelen ser tetraédrico u octaédricos. Hueco entre átomos o iones de un cristal, en el que se puede colocar otro átomo más pequeño.

**LINEALES.** Unidimensionales.

**SUPERFICIALES.** Bidimensionales (relacionados con una superficie).

**DE VOLUMEN.** Tridimensionales.

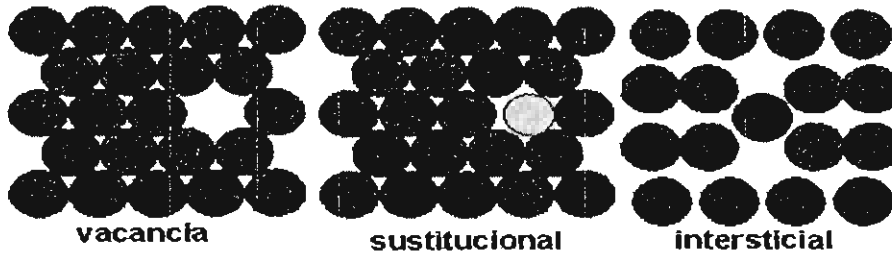


### 3.3.3. DEFECTOS PUNTUALES

★VACANCIA. Deficiencia de un ión o un átomo en algún punto de la red.

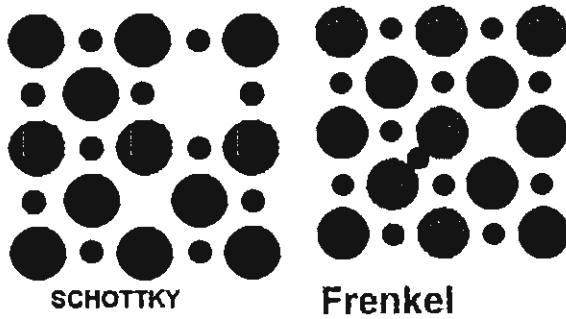
★INTERSTICIAL. En los espacios intersticiales se coloca un átomo más pequeño.

★SUSTITUCIONAL. Átomo de similar tamaño, sustituye a un átomo que ya se tenía.



★DEFECTO DE SCHOTTKY. Vacancias de un par de iones, (las vacancias deben de ser de carga contraria, catión-anión). Se debe mantener la neutralidad eléctrica.

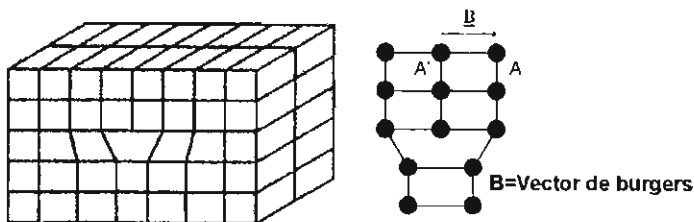
★DEFECTO DE FRENKEL. Par de defectos puntuales que se producen cuando un ion se mueve a un sitio intersticial, dejando atrás una vacancia.



### 3.3.4. DISLOCACIONES LINEALES

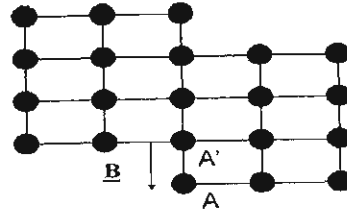
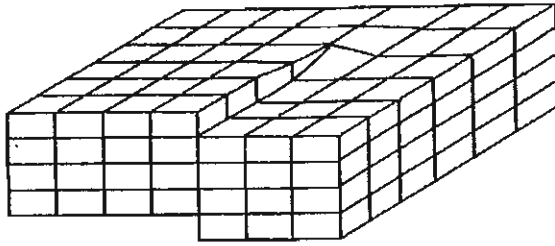
Existen dos tipos y son: dislocación de borde y la dislocación de tornillo.

★DISLOCACIÓN DE BORDE. Dislocación que se forma por inserción de un semi plano adicional de átomos en una región cristalina.



DISLOCACIÓN DE TORNILLO.- Una dislocación que se puede formar haciendo un corte en un cristal y desplazando la mitad superior de la región cortada, en relación con la inferior, en una dirección paralela al corte. El vector de Burgers de una dislocación en tornillo es paralelo a la línea de dislocación.

Circuito de Burger.- Circuito que se traza en torno a una dislocación, que normalmente se cerraría, si no hubiera una dislocación dentro del circuito.



### 3.3.5. ALEACIONES

★**ALEACIÓN.** Es la unión homogénea e íntima de 2 o más metales, o un metal con un no metal que se fusiona simultáneamente y presenta propiedades físicas distintas a las de sus componentes. Las aleaciones están constituidas por elementos metálicos en estado elemental, por ejemplo Fe, Al, Cu, Pb. Pueden contener algunos elementos no metálicos por ejemplo P, C, Si, S, As.

Acero. Es una aleación de hierro y carbono que contiene otros elementos de aleación, los cuales le confieren propiedades mecánicas específicas para su utilización en la industria metalmeccánica. Mayor información en:

<http://www.arqhys.com/arquitectura/elacero.html>

Aceros inoxidables: Aleación ferrosa que contiene por lo menos 12% de cromo y en ocasiones se agrega níquel.

Aceros para herramientas.- Acero al carbón de alta dureza, tenacidad o resistencia a elevadas temperaturas. Al adicionar metales como 18% W, 4 % Cr, 1% V, las ventajas son dobles.

Acero galvanizado. Acero con recubrimiento de zinc, para evitar la corrosión.

★**LATÓN:** Aleación con base en el cobre, las cuales normalmente contienen zinc.

★**MONEL:** Aleación de níquel y 30% de cobre.

★**BRONCE:** Aleación de cobre y un metal determinado, tal como bronce estaño, bronce aluminio, bronce silicio.

INCONEL: Aleación de níquel con 15% de cromo

★**ALEACIONES INTERSTICIALES.** El carbón en hierro (acero).

★**ALEACIONES SUSTITUCIONALES.** LATÓN: cobre-zinc, MONEL: cobre-níquel

Generalidades sobre varios tipos de aleaciones:

Bronce estaño. Con un bronce de 5-10% de estaño se tiene un producto de máxima dureza. El bronce que contiene entre 17-20% de estaño tiene alta calidad de sonido, usado para la elaboración de campanas, y con más de 27%, propiedades de pulido y reflexión. Actualmente los bronces son usados en la fabricación de bujes, cojinetes y descansos, entre otras piezas de maquinaria pesada.

El latón. Es blando, fácil de torneear, grabar y fundir. Los más comunes contienen 30-45% de zinc, y se aplican en todo tipo de objetos domésticos: tornillos, tuercas, candados, ceniceros y candelabros.

Monel.- Debido a su buena conductividad térmica y resistencia a la corrosión se utiliza frecuentemente en intercambiadores de calor.

Inconel.- El níquel y el cromo actúan conjuntamente para resistir la oxidación, carburización y otras formas de deterioro a altas temperaturas. Al agregarle aluminio, titanio y niobio aumentan su resistencia. Por otra parte si se le agrega cobalto, cobre, molibdeno o tungsteno mejora su resistencia mecánica o resiste la corrosión. Se usan en recipientes para tratamiento térmico, turbinas, aviación, plantas nucleares generadoras de energía, etcétera.

**3.3.6. CÁLCULO DEL NÚMERO DE COORDINACIÓN EN MATERIALES SÓLIDOS:** El número de coordinación (NC) es el número de los primeros vecinos que tiene un átomo.

$NC = r/R =$  el radio del átomo más pequeño/radio del átomo más grande.

De  $0 < r/R \leq 0.155$  es de  $NC=2$  (lineal),

De  $0.155 < r/R \leq 0.225$  es de  $NC=3$  (plana triangular),

De  $0.225 < r/R \leq 0.414$  es de  $NC=4$  (tetraédrica),

De  $0.414 < r/R \leq 0.732$  es de  $NC=6$  (octaédrica),

De  $0.732 < r/R \leq 1$  es de  $NC=8$  (cúbica).

Los datos  $r$  y  $R$  pueden ser encontrados en la tabla periódica como radios iónicos.

**Ejemplo:** Calcular el número de coordinación (NC) del NaCl

$Cl^- = 1.81$  (radio iónico),  $Na^+ = 1.02$  (radio iónico) ángstrom.

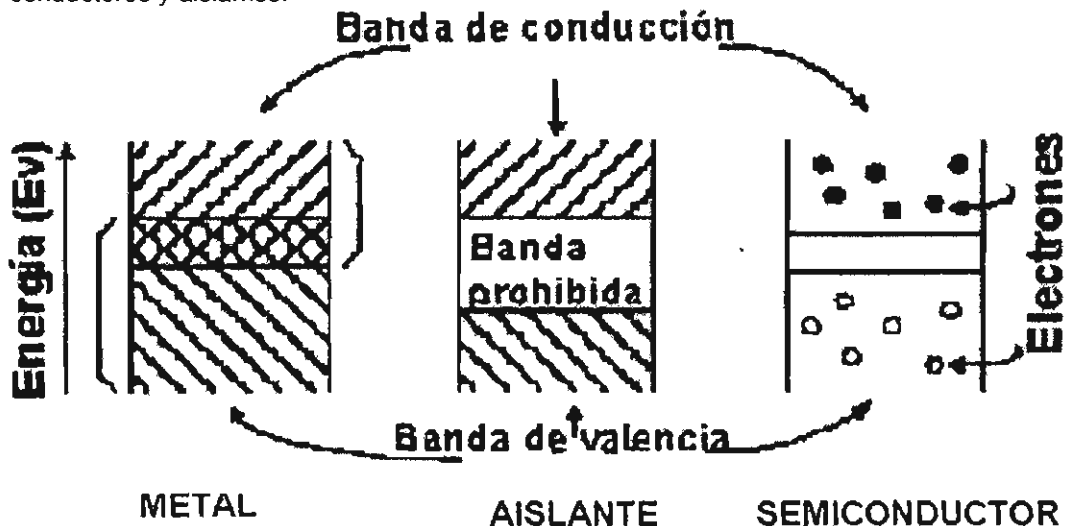
$NC = r/R = 1.02/1.81 = 0.56$  el resultado corresponde al número de coordinación 6 (octaédrico).

### ★3.3.7. BANDAS DE ENERGÍA

★Banda de valencia. Banda electrónica que esta parcialmente llena

★Banda de conducción. Banda de niveles permitidos de mayor energía

Bandas prohibida. Entre la banda de conducción y de valencia, presente en los semi-conductores y aislantes.



★Metal. Su banda de conducción se traslapa con la banda de valencia.

★Aislante. Un electrón de la banda de valencia requiere mucha energía para saltar a la banda de conducción.

★Semiconductores. Los **elementos del grupo 14 (IVA)** de la tabla periódica (C, Si, Ge, Sn) tienen dos electrones externos en su capa p, y valencia de 4. Se espera que estos elementos tengan una alta conductividad debido a que **la banda p no está llena**. Sin embargo, tal comportamiento no ocurre. Estos elementos están enlazados de manera covalente; en consecuencia, los electrones de las bandas exteriores s y p están rígidamente unidos a los átomos. Las restricciones provocadas por el enlace covalente producen un cambio complejo en la estructura de las bandas, produciéndose una hibridación. Los niveles 2s y 2p de los átomos de carbono en el **diamante** pueden contener hasta ocho electrones, pero sólo hay cuatro electrones de valencia disponibles. Cuando se juntan N átomos de carbono para formar un **diamante** sólido, los niveles 2s y 2p interactúan y producen dos bandas que no se traslapan. Cada una de las bandas híbridas puede contener 4N electrones. Puesto que hay sólo 4 electrones disponibles, la banda inferior o de valencia se llena completamente mientras que la superior o de conducción se encuentra vacía. Una brecha o banda de

energía separa los electrones de la banda de conducción. Son pocos los electrones que poseen la energía suficiente para rebasar la zona prohibida hacia la banda de conducción. En consecuencia, el diamante es un excelente aislante eléctrico. Un comportamiento similar se observa en casi todos los materiales enlazados de modo covalente y de modo iónico. Aunque el **germanio**, el **silicio** y el **estaño** tienen la misma estructura cristalina y de bandas que el diamante, la brecha de energía es menor. De hecho, la banda de energía en el estaño es tan pequeña que normalmente se comporta como un metal. La banda o brecha es algo mayor en el silicio y en el germanio, estos elementos se comportan como semiconductores.

### 3.3.8. TIPOS DE SEMICONDUCTORES

En los semiconductores existe una fracción útil de electrones de valencia que pueden brincar la brecha energética o banda prohibida. El electrón es un portador negativo en la banda de conducción, mientras que el hoyo electrónico dejado por el electrón es un portador positivo en la banda de valencia.

#### ★3.3.8.1. SEMICONDUCTORES INTRÍNECOS

Son semiconductores intrínsecos aquellos cristales que **permanecen puros**. La diferencia entre los semiconductores y aislantes radica en el tamaño de las brechas energéticas. **Su conductividad está determinada por sus propiedades conductoras inherentes**. Se da la conductividad eléctrica entre semiconductores puros, como, Si, Ge o Ga, As. Estos semiconductores dependen de las brechas energéticas de los elementos puros. Ejemplos: Ge, Si, Al, etcétera.

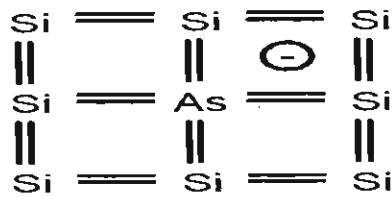
★3.3.8.2. **SEMICONDUCTORES EXTRÍNECOS**. Estos dependen de las impurezas (dopante) que contenga el sólido. Las impurezas alteran las características semiconductoras de los materiales introduciendo electrones extras u hoyos extras. Estos pueden ser **extrínsecos tipo "n" o "p"**.

Dopante: Impureza que se agrega voluntariamente a un semiconductor extrínseco.

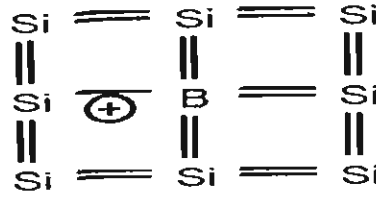
Impureza: Toda especie que difiere de la especie anfitriona, o disolvente.

3.3.8.3. **SEMICONDUCTORES DE TIPO "N"**. Cuando en un cristal de silicio con 4 electrones de valencia por átomo, se introducen algunos átomos de antimonio, arsénico o bismuto, que poseen 5 electrones de valencia, se producen enlaces covalentes incompletos dando lugar a cargas negativas libres en el cristal. El silicio que contiene este tipo de impurezas presenta exceso de electrones ( $n = \text{exceso de cargas negativas}$ ). Estos electrones en exceso requieren una menor energía adicional para pasar a la banda de conducción, debido a que no son parte de los enlaces covalentes de la estructura. El electrón adicional de los elementos del grupo 5, residen en un nivel superior a la banda prohibida del Si.

3.3.8.4. **SEMICONDUCTORES TIPO "P"**. Si al silicio en estado puro se le introducen impurezas que, como el indio, el aluminio, el galio o el boro (de valencia 3), sólo dispongan de tres electrones de valencia, el enlace covalente será otra vez incompleto, quedando en el cristal huecos positivos sin rellenar por un electrón. Cuando estos elementos son incorporados al silicio como impurezas, aparecen los hoyos ( $p = \text{exceso de cargas positivas}$ ). El aluminio al tener valencia 3 dentro de la red del Silicio produce vacancias de electrones (vacancia es iguala carga positiva). En este caso la conducción se lleva a cabo por el movimiento de vacancias o huecos, la carga positiva (vacancias) se mueve hacia el electrodo negativo. El movimiento de los huecos positivos lleva en realidad a el movimiento de los electrones en dirección opuesta.



Tipo n



Tipo p

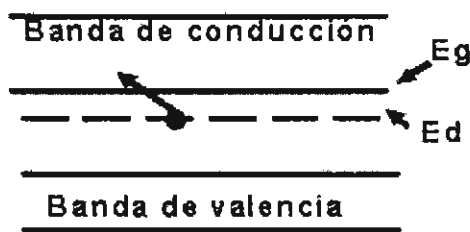


Tipo n

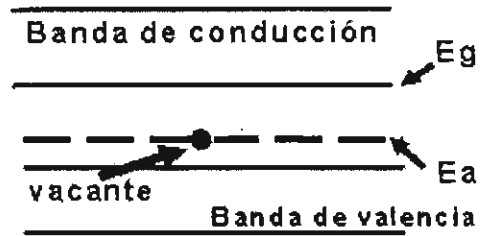


Tipo p

Sus bandas de conducción:



Tipo n



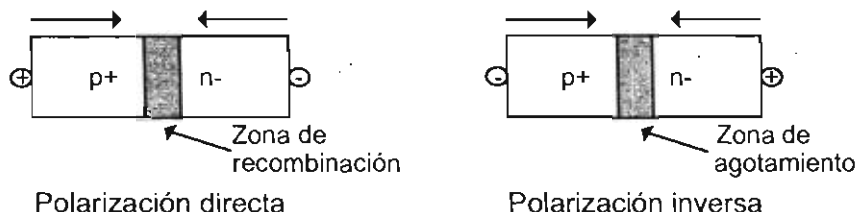
Tipo p

En la figura anterior  $E_g$  = parte inferior de la banda de conducción y  $E_a$  = nivel aceptor (con deficiencia de electrones).

En el tipo "n" el electrón extra del dopante produce un nivel donador ( $E_d$ ) cerca de la banda de conducción. Como consecuencia la barrera de energía es menor ( $E_g - E_d$ ). La conducción se lleva a cabo en la banda de conducción.

En el tipo "p" los huecos (vacantes) que se encuentran en  $E_a$  (nivel aceptor) pueden aceptar un electrón de la banda de valencia. El electrón que salta a  $E_a$  no puede conducir carga, mientras que el hueco que se queda atrás en la banda de valencia es portador de carga.

**Diodos.** Es posible producir dispositivos electrónicos con una combinación de semiconductores extrínsecos. Como ejemplos de estos son los **diodos emisores de luz** (LED) que se utilizan para relojes de pared, calculadoras, etc. Los LED son dispositivos de **unión p-n** que generalmente dan el espectro visible (a menudo rojo). El voltaje aplicado al diodo en la dirección de polarización directa hace que la unión se recombinen huecos y electrones y emitan fotones. Los GaAs, GaP, GaAsP son materiales típicos para los LED. El movimiento combinado de electrones hacia la izquierda y huecos hacia la derecha (figura siguiente) da como resultado el paso de corriente, a este estado se le llama **polarización directa**. Cuando los electrones del lado n se mueven hacia la derecha y los huecos del lado p hacia la izquierda se llama **polarización inversa**. La magnitud de la polarización inversa es mucho menor que la polarización directa, por lo que la **unión n-p** permite el paso de bastante corriente solo en una dirección.



★**FOTOCOCONDUCCIÓN.** Cuando los fotones ( $E=h\nu$ ) son absorbido por la materia, los electrones de valencia obtienen la suficiente energía para pasar a la banda de conducción, permitiendo la conducción de electrones en el material.

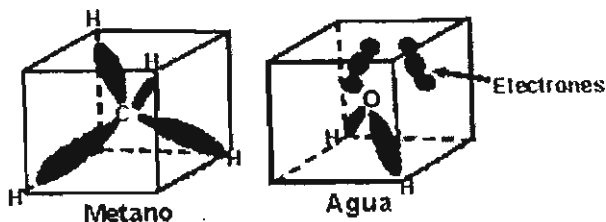
**LUMINISCENCIA.** Cuando los electrones en la banda de conducción regresan a la banda de valencia, liberan energía en forma de fotón.

**SUPERCONDUCTIVIDAD.** Estado de la materia en el que no hay resistencia al movimiento de portadores de carga eléctrica.

### ★3.4. CRISTAL MOLECULAR

En los llamados materiales orgánicos formados por moléculas, en donde la unión entre las moléculas dentro del cristal, es mucho más débil (cristales moleculares). Son generalmente materiales más blandos e inestables que los cristales inorgánicos. Está compuesta por moléculas mantenidas en sus posiciones reticulares (en cristales) separadas por las fuerzas de van der Waals, enlace de hidrógeno o ambos. La formación de dipolos está limitada por las orientaciones de las moléculas. Ejemplos de cristales moleculares: el yodo, el azúcar, el hielo, el  $\text{CO}_2$ , el benceno, el ácido acético, etcétera.

**Enlace de van der Waals.** Enlace secundario en el que el dipolo temporal (no es permanente) induce otro dipolo en un átomo adyacente. Un dipolo temporal es aquel que no es permanente en la molécula.



#### PROPIEDADES:

Bajos puntos de fusión y ebullición, blandos, con enlaces intermoleculares covalentes, son malos conductores de la electricidad y el calor.

Las sustancias moleculares pueden ser polares o no polares:

Polares:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ .

No polares:  $\text{O}_2$ ,  $\text{F}_2$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{H}_2$  y  $\text{Cl}_2$ .

★**3.4.1. MOLÉCULAS CON DIPOLO PERMANENTE (polares).** Presentan una carga desigual permanente alrededor de uno o más enlaces de dicha molécula (estas moléculas presentan un momento polar permanente). Se presenta principalmente en moléculas heteroatómicas asimétricas como el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ). Las moléculas con dipolo inducido son aquellas moléculas que no presentan un momento dipolar permanente, si no que este es inducido por moléculas adyacentes (factores externos al sistema). Un enlace entre una molécula puede ser polar o no polar, dependiendo de la diferencia de electronegatividad existente entre los átomos, pero una molécula puede ser polar o no polar, dependiendo de la distribución simétrica o no de los átomos que la integran. Para mayor información ver el apéndice B (al final del manual).

★3.4.2. **ENLACE PUENTE DE HIDRÓGENO.** Una clase de enlace secundario en la que un átomo de hidrógeno es compartido por 2 átomos muy electronegativos, como N, O, F o Cl. Está presente en moléculas que tengan F, O, N, Cl unidos a un H el cual servirá de puente. El protón expuesto al final de un enlace C-H, O-H, N-H, no está lo suficientemente protegido en la molécula, por lo que esta carga positiva es atraída por los electrones de externos de una molécula adyacente. El ejemplo típico es el del agua, que se muestra a continuación:



#### 4. CERÁMICOS

★Sólidos inorgánicos formados por elementos metálicos y no metálicos, resisten altas temperaturas y de fácil fractura. Los métodos de manufactura son diversos, uno de ellos consiste en mezclar el polvo formador del cerámico y se le agrega un aglomerante, se moldea y se calcina.

**Materia prima:** La principal materia prima es sacada de la corteza terrestre. Los Silicatos, silicio-aluminatos y aluminatos, son los principales compuestos utilizados (Oxígeno, Silicio y Aluminio). Los enlaces pueden ser iónicos y covalentes al mismo tiempo (ENLACES MIXTOS) por lo que serán químicamente muy estables. Presentan altos puntos de fusión, gran dureza, y mala conducción del calor y conducción ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , Diamante, cuarzo, etcétera). La excepción en dureza son el talco y el yeso que son muy blandos debido a que presentan estructuras lineales y de capas que permiten el desplazamiento y buena plasticidad. **CRISTALES MIXTOS.** Materiales que presentan una combinación de enlaces, principalmente iónico y covalente.

##### 4.1. USOS DE CERÁMICOS

Ladrillos, tabiques, cementos, vidrios y concretos. Se puede fabricar cerámicos magnéticos, electrónicos, energéticos y refractarios.

Los cerámicos pueden estar formados también de óxidos puros, carburos, nitruros, boruros y grafito.

**REFRACTARIOS:** Materiales cerámicos capaces de resistir altas temperaturas.

##### 4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SILICATOS (cerámicos):

**ORTOSILICATOS:** Unidad estructural fundamental tetraédrica  $\text{SiO}_2$ .

**PIROSILICATOS:** Pares de tetraedros de silicatos que comparten un oxígeno.

**METASILICATOS:** Cadenas de silicatos o silicatos lineales.

**SOROSILICATOS:** Silicatos en forma de anillo.

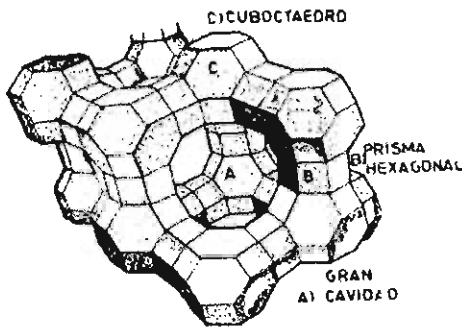
**FILOSILICATOS:** Silicatos laminares o bidimensionales.

Las arcillas pertenecen a los silicatos en capas, dentro de las arcillas se tiene a la caolinita, montmorillonita, que pueden contener cationes como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Ca}^{++}$ , entre sus capas.

**TECTOSILICATOS.** Silicatos reticulares o que forman una red tridimensional. Ejemplos: la cristobalita, el cuarzo (arena de mar), los feldspatos y las zeolitas.

★**Zeolitas.** Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos, que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 angstroms. Están formadas por tetraedros de  $\text{SiO}_4$  y  $\text{AlO}_4$ , existen varios tipos de zeolitas. Las Zeolitas tienen propiedades de adsorber o retener moléculas cuyas dimensiones coinciden con las cavidades o poros que existen en la estructura, son selectivas respecto al tamaño y forma de las moléculas. Son utilizados como

catalizadores y para atrapar metales pesados de aguas residuales entre otras aplicaciones. Propiedades de adsorción: los grandes canales centrales de entrada y las cavidades de las zeolitas se llenan de moléculas de agua que forman las esferas de hidratación alrededor de dos cationes cambiabiles. Si el agua es eliminada y las moléculas tienen diámetros seccionales suficientemente pequeños para que éstas pasen a través de los canales de entrada entonces son fácilmente adsorbidos en los canales deshidratados y cavidades centrales. Las moléculas demasiado grandes no pasan dentro de las cavidades centrales y se excluyen dando origen a la propiedad de tamiz molecular, una propiedad de las zeolitas. Por ejemplo, la siguiente figura que representa una Faujasita, la cavidad más grande presenta un diámetro de 12.5 Angstroms.



**MATERIALES CERÁMICOS NO SILÍCICOS.** MgO, CaO, BaTiO<sub>3</sub>, alúmina.

★**Alúmina** (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Debido a su alto punto de fusión, la alúmina se usa extensamente como refractario, en mezclas cerámicas o en estado puro. También se usa en la fabricación de materiales cortantes debido a su alta dureza y como catalizador. El corindón es usado en la fabricación de discos de esmeril y para la preparación de circuitos impresos.

**Semiconductores cerámicos.** Los cerámicos aislantes pueden convertirse en semiconductores si contienen elementos de transición multivalente. La resistividad puede ser manipulada por este medio.

**CERÁMICOS FERROMAGNÉTICOS.** Clase de materiales magnéticos en la que los dipolos magnéticos adyacentes se alinean en forma espontánea entre sí, para crear un campo magnético interno fuerte. Estos materiales muestran una respuesta importante a los campos magnéticos externos. Ejemplos, MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M= metal, como Mg, Ni, Mn, Zn).

**FERROELÉCTRICO:** Material que presenta polarización espontánea bajo un campo eléctrico aplicado.

#### ★4.3. CEMENTO

Es un material aglomerante formado por una variedad de materiales no metálicos e inorgánicos, al mezclarse con agua pueden moldearse y después fragua formándose una masa compacta.

★**MATERIA PRIMA:** Arcilla y calizas.

Arcilla. 2 SiO<sub>2</sub>•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>•Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>•2H<sub>2</sub>O (barro, pizarra o esquito).

Caliza. Rocas compuestas principalmente de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) y contiene otros minerales como dolomita, cuarzo y arcillas.



El cemento más utilizado es el cemento Pórtland, del cual hablaremos en esta sección.

Constituyente del cemento Pórtland	Símbolo	% en peso
SILICATO DE DICALCIO ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ )	$\text{C}_2\text{S}$	28
SILICATO DE TRICALCIO ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ )	$\text{C}_3\text{S}$	46
ALUMINIO TRICALCIO ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ )	$\text{C}_3\text{A}$	11
FERROALUMINATO TETRACÁLCICO ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	$\text{C}_4\text{AF}$	8
YESO ( $\text{CaSO}_4$ )	-----	3
MAGNESIA ( $\text{MgO}$ )	-----	3
ÓXIDO DE CALCIO ( $\text{CaO}$ ) (Cal)	c	0.5
ÓXIDO DE SODIO ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	-----	0.5

#### **Función de los componentes del cemento**

SILICATO DE TRICALCIO. Endurecimiento rápido en los primeros siete días

SILICATO DE DICALCIO. Dureza después de una semana, resistencia a largo plazo.

ALUMINIO TRICALCIO. Fijación rápida, se hidrata rápidamente.

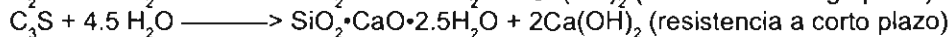
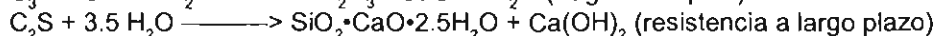
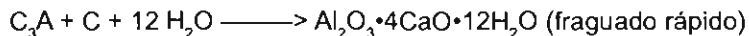
FERROALUMINATO TETRACÁLCICO. Facilita la fundición.

YESO. Retarda la velocidad de fraguado del  $\text{C}_3\text{A}$  para asegurar la resistencia total.

$\text{MgO}$ . Produce hidróxidos al contacto con el agua.

LA CAL ( $\text{CaO}$ ). Retraza un poco la fijación en el cemento ya hidratado.

#### **REACCIONES DE FRAGUADO:**



#### **Etapas de elaboración del cemento**

1. Se obtiene la arcilla y la caliza.

2. Molienda.

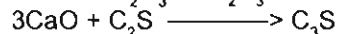
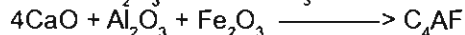
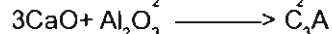
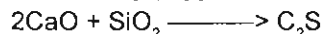
3. Homogeneización.

4. Obtención del clinker:

-Secado entre  $100 - 110^\circ\text{C}$

-descomposición de  $700$  a  $800^\circ\text{C}$

-sinterización de  $1400$  a  $1500^\circ\text{C}$



5. Mezcla del clinkler con yeso.

6. Molienda fina.

7. Empacado.

Clinker. Material obtenido después del tratamiento térmico.

2892970

#### **Concreto**

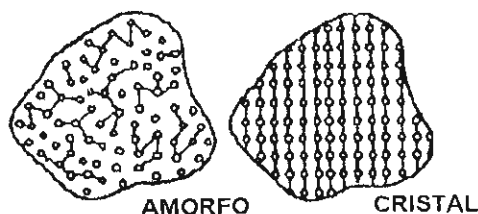
Material pétreo artificial heterogéneo obtenido por la mezcla del cemento, agua, grava y arena. Resistente, capaz de soportar grandes esfuerzos, no conductor del calor ni la electricidad, resistente químicamente y al desgaste.

## 5. VIDRIO

La materia prima con que se fabrica el vidrio es el **silice**, el mineral más abundante en la tierra. De color blanco lechoso, se encuentra en varios tipos de rocas, incluido el granito. El vidrio es un **producto inorgánico de fusión que se ha enfriado hasta un estado rígido**. Líquido tan viscoso **que ha perdido su capacidad de fluir**. Los vidrios se pueden considerar como **líquidos sobre enfriados**. La sílice pura tiene un punto de fusión tan alto que el fuego común no basta para convertirlo en vidrio; los primeros "fabricantes de vidrio" debieron de encender el fuego en arena impregnada con sosa (compuestos de sodio) liberada al evaporarse el agua del mar. Actualmente se combinan cal y sosa con la sílice para producir el vidrio usado en botellas, ventanas y vasos. Suelen ser transparentes, pero también pueden ser traslúcidos u opacos. Su **color** varía según los ingredientes empleados en su fabricación. También se encuentra en la naturaleza, por ejemplo en la obsidiana, un material volcánico. Tienen la capacidad de **transmitir la luz visible** y en algunas zonas de ultravioleta e infrarrojo. El vidrio es un mal conductor del calor y la electricidad, por lo que resulta práctico para el aislamiento térmico y eléctrico.

Los **fundentes alcalinos, por lo general carbonato de sodio (sosa) o potasio**, disminuyen el punto de fusión y la viscosidad de la sílice. Otros ingredientes, como el plomo o el bórax, proporcionan al vidrio determinadas propiedades físicas. El vidrio ordinario es:  $7\text{SiO}_2 : 1\text{CaCO}_3 : 1\text{NaCO}_3$ , reblandeciendo  $500\text{-}600^\circ\text{C}$ . El vidrio pirex:  $(\text{SiO}_2, \text{B}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O})$  reblandece a  $800^\circ\text{C}$ . La estructura **del vidrio es ordenada a corto alcance**, pero desordenada a largo alcance. No tiene una temperatura de fusión definida debido a que es una estructura amorfa.

★**SÓLIDO AMORFO**. Material que carece de orden de largo alcance. El arreglo atómico en cualquier sección dada de un material amorfo lucirá diferente de otro arreglo atómico de una sección a otra del material. Los materiales amorfos son hules y vidrios. Puede presentar orden a corto alcance.



**SÓLIDO CRISTALINO**. En un material cristalino los átomos están dispuestos en un arreglo ordenado tridimensionalmente.

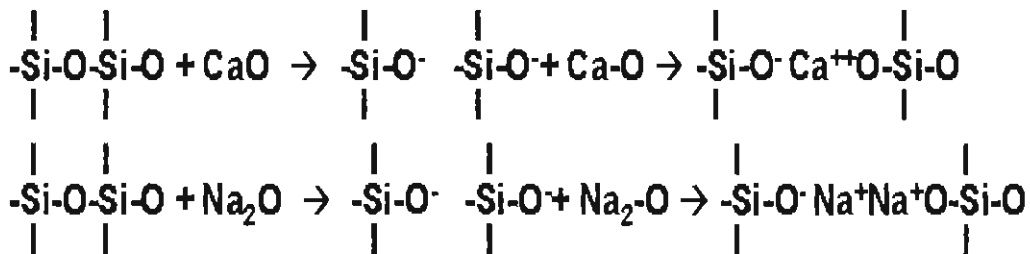
### 5.1. MATERIA PRIMA

★La sílice pura ( $\text{SiO}_2$ ) tiene **alto punto de fusión** (lo que conlleva un alto costo de fabricación del vidrio), por lo que la sílice pura es modificada por la **adición de varios óxidos**, que **permiten bajar el punto de fusión** y viscosidad, haciéndolo económico a nivel industrial. Si a la sílice se le agregan cantidades adecuadas de óxido de calcio y óxido de sodio (modificadores de red), se obtiene un vidrio con bajo punto de fusión e **insoluble en agua**.

Formadores de vidrio: Óxidos de sílice.

★**Modificadores de red:** Rompen la estructura reticular y finalmente hacen que el vidrio se desvitrifique, es decir, se cristalice. Los **modificadores** como  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ , etcétera **rompen algunos enlaces**, abriendo la red vítrea a través del oxígeno, entonces los **cationes del metal se alojan en la red**. Son especies incapaces de formar

tres enlaces o más con sus vecinos. Los modificadores de red rompen la red tridimensional, reduciendo la densidad del vidrio, decreciendo la temperatura de transición vítrea.



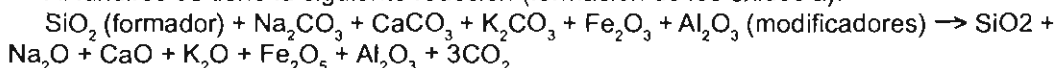
★**Modificadores intermediarios.** Son capaces de reforzar la malla vítrea, pueden eliminar características indeseables. No forman por si mismos el vidrio, pero se incorporan a la estructura de la red (óxidos de aluminio y plomo).

Otros modificadores: El Fe, Co, Au, etc. le confieren diversos colores al vidrio.

MATERIAS PRIMAS (Nivel industrial)

- \* Arena de cuarzo o sílice (SiO<sub>2</sub>).
- \* Cal (carbonato cálcico).
- \* Sosa (carbonato de sodio).
- \* Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (pequeñas cantidades).
- \* Potasa (carbonato de potasio) (pequeñas cantidades).
- \* Desechos de vidrio (pequeñas cantidades).

Al fundirse se tiene la siguiente reacción (formación de los oxidos a):



★Características que aportan al vidrio:

**Sílice.** mayor resistencia y mayor temperatura de trabajo.

**Cal (CaO).** menor solubilidad mayor tendencia a cristalización (desvitrificación).

**Sosa.** menor viscosidad y menor temperatura de fusión.

**Alúmina.** evita la cristalización (desvitrificación).

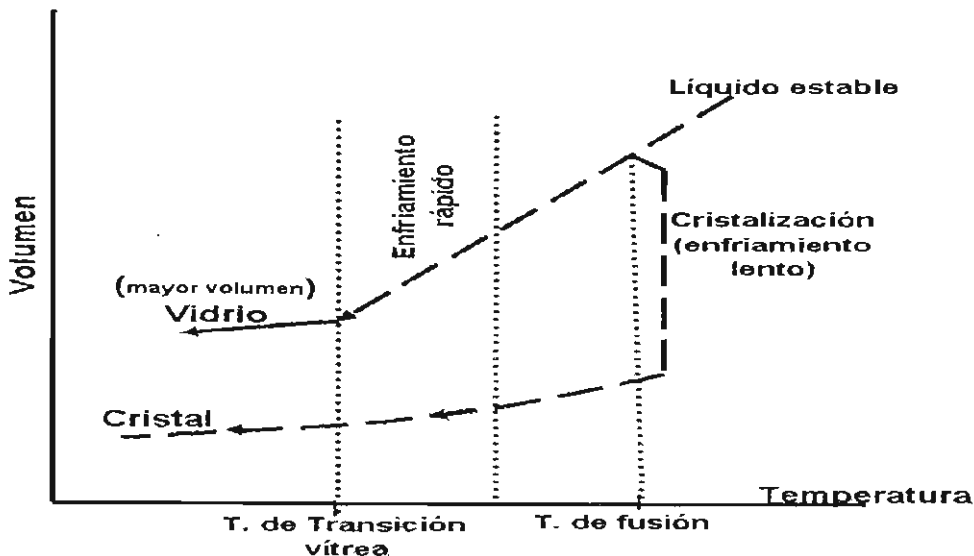
**Potasa.** disminuye la temperatura de fusión.

★**DESVITRIFICACIÓN.** Formación de un producto cristalino a partir de un material vítreo, por lo general a alta temperatura.

Moldeado: Los principales métodos empleados para moldear el vidrio son el colado, el soplado, el prensado, el estirado y el laminado.

## ★5.2. FORMACIÓN DE UNA ESTRUCTURA VÍTREA

El calentamiento de un metal a alta temperatura conlleva a la fusión del sólido (se vuelve líquido). Al dejar enfriar ese material líquido (ver siguiente gráfica), el metal puede volver a su estructura sólida anterior, pero si se enfría rápidamente los átomos no tendrán el suficiente tiempo para acomodarse (material amorfo), obteniéndose mayor de volumen. En la gráfica siguiente se puede ver que existe diferencia de volumen entre un material vítreo (vidrio) y un cristalino.



### 5.3. TIPOS DE VIDRIOS

★**Vidrio soluble o vidrio sodocálcico.** Es un vidrio con elevado contenido en sodio que se disuelve en agua para formar un líquido viscoso que se denomina vidrio soluble y se emplea como barniz o como sellador.

★**Vidrio al plomo.** El vidrio empleado para "cristalerías de mesa", se obtiene mediante la combinación del silicato de potasio con óxido de plomo. El vidrio al plomo es pesado y refracta más la luz (alto índice de refracción), por lo que resulta apropiado para lentes o prismas. Como el plomo absorbe la radiación de alta energía, se utiliza para proteger al personal de las instalaciones nucleares.

★**Vidrio de borosilicato (pirex).** Contiene bórax entre sus ingredientes ( $B_2O_3$ ), junto con sílice y álcali. Es utilizado por su durabilidad y resistencia a los ataques químicos y las altas temperaturas, por lo que se usa mucho en utensilios de cocina y aparatos de laboratorio.

**Vidrios de colores.** Las impurezas en las materias primas afectan al color del vidrio. Los efectos de pequeñas cantidades de **hierro y cobre** que producen tonos verdes y pardos. El color resultante puede ser utilizado como protección de la luz en envases de: vino, coca-cola y sustancias químicas.

**Vidrio óptico.** Éste se diferencia de los demás vidrios por su forma de desviar (refractar) la luz. Se fabrica con vidrio óptico la mayoría de las lentes que se utilizan en anteojos, microscopios, telescopios, cámaras y otros instrumentos ópticos. Las materias primas deben tener una **gran pureza**, y evitar que se introduzcan imperfecciones en el proceso de fabricación.

**Vidrio fotosensible.** El vidrio fotocromático se oscurece cuando se expone a la luz, pero puede recuperar su claridad original. Este se debe a la acción de la luz sobre el cloruro de plata o bromuro de plata distribuidos por todo el vidrio. Es muy utilizado en lentes y en electrónica.

**Vidrio plano.** Se utiliza en ventanas y placas, los vidrios inastillables se fabrican con una lámina de plástico entre dos de vidrio.

El **vidrio o "cristal blindado"**. Está compuesto por varias capas de vidrio que van intercaladas en una o varias capas de materiales sintéticos, generalmente poli carbonatos o polivinil butiral con los que se obtiene una mayor resistencia de proyectiles dependiendo de su resistencia al proyectil. El **vidrio laminado** está compuesto por dos capas de vidrio y una intermedia de plástico. Aun cuando la capa de plástico puede ser muy delgada, es resistente. Los impactos quizá estrellen el vidrio, pero quedará adherido al plástico y no formará astillas, por lo que es adecuado para parabrisas de automóvil.

El **vidrio de alta resistencia** se produce por endurecimiento (**templándolo**) o por laminación. Para templar el vidrio, se calienta hasta casi alcanzar su temperatura de fusión, y luego se enfría súbitamente con chorros de aire. Esto hace que la superficie del vidrio se enfríe y contraiga antes que su interior. La superficie se comprime hacia adentro. Esta compresión debe lograrse antes de que el vidrio endurecido se rompa. Así, el vidrio templado es más resistente a la flexión. De ocurrir ésta, se parte en pequeños fragmentos.

**★Características de los vidrios:**

Rigidez. Gran resistencia al alargamiento.

Fragilidad. Poca resistencia a fracturarse.

Dureza. Gran resistencia al ser rayado.

Transparencia. Deja pasar la luz sin distorsionarla.

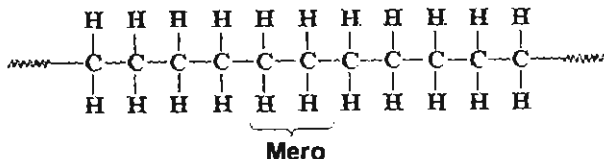
Conductividad. No permite conductividad térmica o eléctrica (no electrones libres).

Resistencia química. No reacciona fácilmente con otras sustancias.

Índice de refracción. Es el cociente de la velocidad de la luz en aire y la velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula (los vidrios con alto índice de refracción tienen gran utilidad para la fabricación de fibras ópticas, lentes y para equipos de protección).

**6. POLÍMEROS**

★Polímeros. Son macromoléculas o moléculas gigantes formadas por unidades monoméricas o monómeros que se repiten varias veces. Las moléculas simples que son enlazadas de forma covalente de cadenas largas se llaman monómeros (de las palabras griegas *mono*, que significa uno, y *mero*, que significa pieza). Los polímeros pueden ser definidos químicamente como moléculas relativamente grandes, de pesos moleculares del orden de 1.000 a 1.000.000 g/mol, en cuya estructura se encuentran unidades químicas sencillas repetidas (meros).



Para ver la historia de los polímeros ir a las páginas:

<http://www.tecnomaq.com.mx/plasticos.html>

<http://members.tripod.com/fotografia/textos/polimeros.html>

## 6.1. CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

1) Por su tipo:

★**Homopolímeros.** El homopolímero está formado por un solo tipo de monómero, A-A-A-A-A.

★**Copolímeros.** El copolímero está formado por 2 ó más monómeros distintos, A-B-B-A-A-A-B- ó A-B-A-B-A-B (diferentes monómeros).

Estas combinaciones de monómeros se realizan para modificar las propiedades de los polímeros y lograr nuevas aplicaciones. Lo que se busca es que cada monómero imparta una de sus propiedades al material final; así, por ejemplo, en el ABS (acrylonitrile butadiene styrene), el acrilonitrilo aporta su resistencia química, el butadieno su flexibilidad y el estireno imparte al material la rigidez que requiera la aplicación particular.

2) Por su grado de polimerización:

★**Oligómeros.** Pocos monómeros (menos de 100 monómeros).

**Polímeros.** Más de 100 monómeros.

3) Por su naturaleza:

Naturales y artificiales.

4) Por su origen:

Vegetales, animales y minerales.

5) Por su estructura:

Lineales. En una sola dirección.

Ramificado. Con cierto grado de entrecruzamiento.

Reticulado. Da lugar a una red reticulada.

6) Por sus usos:

Fibras. Polímeros lineales.

Elastómeros. Lineales, ligeramente entrecruzados.

7) POR SUS PROPIEDADES:

★**Termoplásticos.** Cadenas lineales, con cierta movilidad. Polímero formado por moléculas de cadena larga, que con frecuencia se componen de una columna vertebral con enlaces covalentes y varios grupos laterales. Estas moléculas se pueden calentar en forma repetida para formar un fluido (se pueden volver a moldear). Cadenas lineales con cierta movilidad.

★**Termofijos (termoestable).** Con alto grado de entrecruzamientos que mantiene rígidas las cadenas, no se logra la movilidad. La temperatura puede destruir el polímero.



8) POR SUS MÉTODOS DE OBTENCIÓN (método de preparación)

★**a) DE ADICIÓN.** La masa molecular de los monómeros es idéntica a la masa molecular del polímero. No se forman productos secundarios.

Masa Molecular de los Monómero  $\longrightarrow$  Masa molecular del polímero

La polimerización por adición se puede llevar a cabo de 2 maneras:

**Vía radical libre.** En la que se requiere un iniciador. Ejemplo, Obtención de polietileno:  
 $\text{HOOH (peróxido de hidrógeno)} \longrightarrow \text{HO}\cdot + \text{HO}\cdot \quad (\text{I}=\text{HO}\cdot)$   
 $\text{I} + \text{CH}_2=\text{CH}_2 \text{ (Iniciación)} \longrightarrow \text{I-CH}_2\text{-CH}_2\cdot + \text{CH}_2=\text{CH}_2 \longrightarrow \text{I-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\cdot$   
 (Propagación)  $\longrightarrow \text{I-(CH}_2)_4\cdot + \text{I-(CH}_2)_4\cdot \longrightarrow \text{I-(CH}_2)_8\text{-I (Terminación)}.$

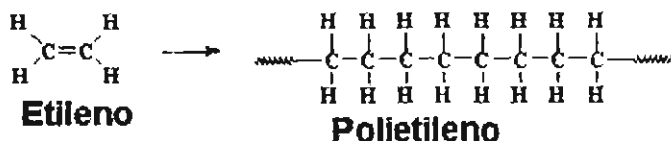
**Vía Mecanismo polar.** En esta reacción una especie presenta una deficiencia de electrones, por lo que una especie pierde un doblete de electrones y la otra la retiene.

b) **DE CONDENSACIÓN.** La masa molecular del polímero es ligeramente menor que el de las unidades monoméricas, debido a la obtención de un subproducto de baja masa molecular (generalmente agua, metanol o ácido clorhídrico). En la reacción participan por lo menos dos tipos distintos de monómeros.

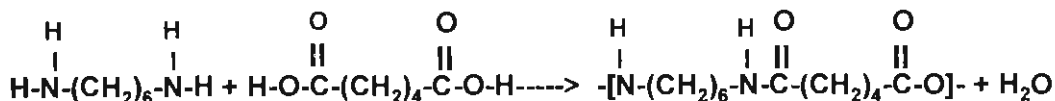
Masa Molecular de los Monómeros  $\longrightarrow$  Masa molecular del polímero + subproducto

**Ejemplos métodos de condensación:**

Obtención de Poliamidas: Reacción entre monómeros con grupos funcionales ácido y grupos amino. (Nylon 66).



Obtención de Poliésteres: Reacción entre monómeros con grupos funcionales ácido y grupos de alcohol.



Ejemplos de polímeros de condensación y sus subproductos: a) Formación de poliésteres, poliamidas, poliéteres, polianhidros, por **eliminación de agua o alcoholes** b) Formación de polihidrocarburos, por **eliminación de halógenos o haluros de hidrógeno**. c) Formación de polisulfuros o poli-polisulfuros, por **eliminación de cloruro de sodio**.

## ★6.2. FIBRAS

De cadena lineal muy larga, se caracteriza por su flexibilidad, finura y una elevada relación entre su longitud y su grosor.

**Fibras naturales:**

Algodón. Obtenida de una planta, es celulosa pura.

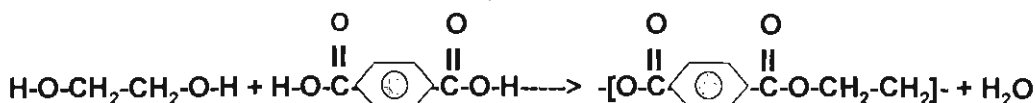
Lana. Pelo de reses ovinas, formada por queratina.

Seda. Capullo de gusano de seda, formada por la macromolécula sericina.

**Fibras artificiales:**

Poliamidas poliéster (Nylon 66).

Acrílico. resistente al agua no necesita planchar.







★ POLIADICIÓN (ver apéndice A)

Adición	Monómero	Unidad monómera (Polímero)	Usos
polietileno	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$ etileno	$[\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$	Bolsas, botellas
polipropileno	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ propileno	$[\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}]_n$	Lamillas, tubos, recipientes
poliestireno	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\   \\ (\text{C}_6\text{H}_5) \end{array}$ estireno	$[\text{CH}_2-\underset{(\text{C}_6\text{H}_5)}{\text{CH}}]_n$	Manguera, <sup>o</sup> Juguetes
Policloruro de vinilo (PVC)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\   \\ \text{Cl} \end{array}$ Cloruro de vinilo	$[\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}]_n$	Tubos, pisos, mangueras.
Politetrafluoroetileno (TEFLON)	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$ tetrafluoruro de etileno	$[\text{CF}_2-\text{CF}_2]_n$	Recubrimientos, empaques, sellos.
Poliacrilonitrilo (orlon, acrilan, creslan) <sup>≡</sup>	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\   \\ \text{C}\equiv\text{N} \end{array}$ Metilmetracrilato	$[\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}}]_n$	Fibras, pinturas, lentes.

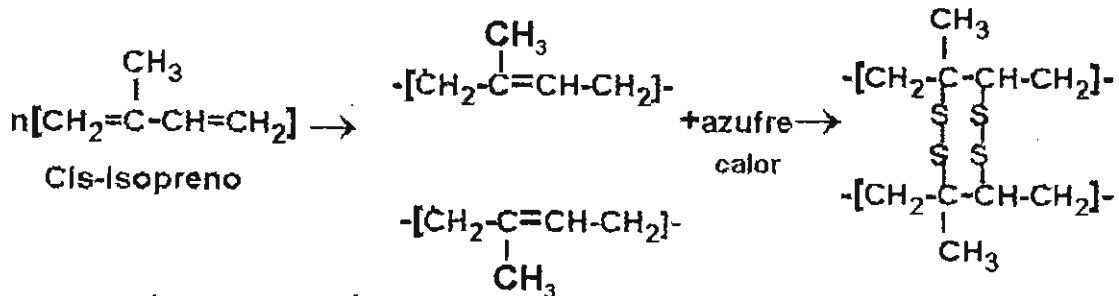
★ POLICONDENSACIÓN

Condensación	Unidad monómera (Polímero)	Usos
Nylon 66	$-\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \quad \text{O} \\   \quad \quad   \quad    \quad \quad    \\ \text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}-\text{O} \end{array} \right]_n$	Alfombras, cuerdas.
Poliéster	$-\left[ \begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\    \quad \quad \quad    \\ \text{O}-\text{C} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C} \text{---} \text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2 \end{array} \right]_n$	Películas, fibras y prendas de vestir.
Kevlar (PPTA)	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \quad \text{O} \\   \quad \quad   \quad    \quad \quad    \\ \text{N} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{N}-\text{C} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C} \end{array} \right]_n$	Fibras, chalecos antibalas, raquetas.
Epóxicos	$-\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{O}-\text{R}-\text{O}-\text{C}-\text{C}-\text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{OH} \end{array} \right]_n$	Adhesivos.

#### ★6.4. VULCANIZACIÓN

Charles Goodyear mezcló accidentalmente látex (caucho) + Azufre en una estufa caliente, observando que el material obtenido **ya no era pegajoso**, que seguía siendo flexible y que era resistente a las sustancias que disolvían el látex.

El vulcanizado **inhibe la tendencia del caucho a reblandecer con el calor**. El calor del vulcanizado abre los dobles enlaces atrapando el azufre, formando múltiples enlaces cruzados de azufre. El vulcanizado es comúnmente utilizado en las llantas de carro. Bajo contenido de azufre dejan al caucho blando y flexible. Si se incremento el contenido de azufre, se limita el desenroscado de cadena y el caucho se hace más duro, más rígido y más frágil. Típicamente, se agrega del 0.5 al 5% de azufre para formar en los elastómeros los enlaces cruzados.



#### 6.5. POLÍMEROS INORGÁNICOS

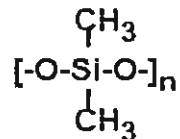
Naturales: Asbesto. Cadenas dobles de silicato  $[\text{SiO}_4\text{O}_{11}]^6$ .

Fibras de carbonato. Fibras de grafito.

Artificiales: Fibras de vidrio. Fibras de sílice en forma de fibras.

Silicones. Cadenas de silicio con ramificaciones orgánicas.

Silicón:



★Propiedades de los polímeros:

Conductividad. Pueden conducir si se les agrega grafito.

Estabilidad. El calor excesivo puede degradarlos.

Degradación. Al quemarlos en presencia de aire.

Oxidación. Se vuelven más duros y menos flexibles. La oxidación lleva al fenómeno de envejecimiento del polietileno así como los hules comunes que sufren una pérdida de flexibilidad con el tiempo, debido a que se forman enlaces cruzados por efecto de los átomos de oxígeno (vulcanización), bajo la acción catalítica del sol.

★**Escisión**. La luz Ultravioleta (luz del sol) puede romper los enlaces, modificando las propiedades del polímero.

#### ★6.6. GRADO DE POLIMERIZACIÓN

Cantidad de monómeros enlazados que forman un polímero; es igual al peso molecular del polímero y se divide entre el peso molecular del monómero.

**G.P. = Peso molecular del polímero**

**Peso molecular del mero (unidad de repetición)**

En el caso de de los polímeros que contienen un solo tipo de monómeros, el peso molecular de la unidad de repetición es el mismo monómero. Si el polímero contiene más de un tipo de monómero, el peso molecular de la unidad de repetición será la suma de los pesos moleculares de los monómeros, menos el peso molecular del subproducto.

★Ejemplo: Una muestra de polietileno tiene una masa molecular de 25000 g/mol. Cuál es el grado de polimerización de la molécula promedio del polietileno,  $[C_2H_4]_n$ .

Cálculo de Peso molecular del mero del **etileno**:

Carbón= 2(Masa atómica carbón)=  $2 \times 12.01 = 24$  gr/mol.

Hidrógeno= 4(Masa atómica Hidrógeno)=  $4 \times 1.008 = 4$  gr/mol.

Masa atómica del carbón + Masa atómica Hidrógeno: 28 gr/mol.

$$\text{G.P. (grado de polimerización)} = \frac{25000 \text{ g/mol}}{28 \text{ g/mol}} = 892.85$$

Ejemplos para resolver:

1. Calcular el grado de polimerización del teflón si su peso molecular es igual a 250000 g/mol.

2. Calcular el grado de polimerización del nylon 66 (tomar en cuenta que es un polímero de condensación) si tiene un peso molecular de 240000 g/mol.

3. Calcular la cantidad de meros en una muestra comercial de polipropileno  $-(C_3H_6)-$ , cuyo peso molecular es de 150 000 g/mol.

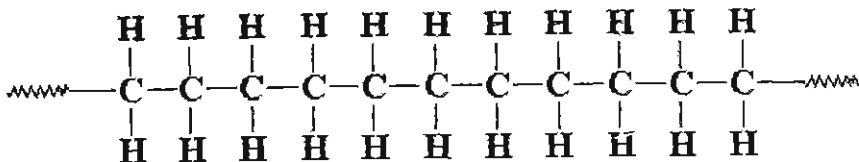
4. Un polímero desconocido presenta un peso molecular de 25,000 g/mol y se sabe que su grado de polimerización es de 891. ¿De que polímero se trata? Se sospecha que puede ser TEFLON  $-(CF_2-CF_2)_n$ , Cloruro de vinilo  $-(CH_2-CHCl)_n$ , o Polietileno  $-(CH_2-CH_2)_n$ .



## Apéndice A

### Polietileno

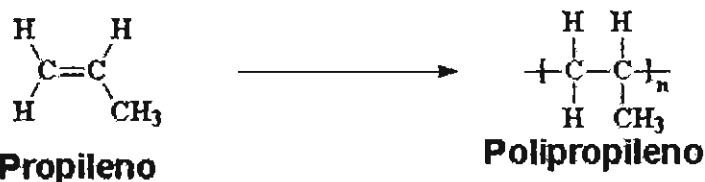
Éste es el polímero que hace las bolsas de almacén, los frascos de champú, los juguetes de los niños y chalecos a prueba de balas. Es un material muy versátil y tiene una estructura muy simple.



Cuando algunos de los carbonos (en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos) tienen asociadas largas cadenas de polietileno. Esto se llama polietileno ramificado, o de baja densidad, o LDPE (low density polyethylene). Cuando no hay ramificación, se llama polietileno lineal, o HDPE (high density polyethylene). El polietileno lineal es más fuerte que el polietileno ramificado. El polietileno se recalienta a aproximadamente 100°C, lo que significa que los platos de polietileno se deformarían en el lavaplatos.

### Polipropileno

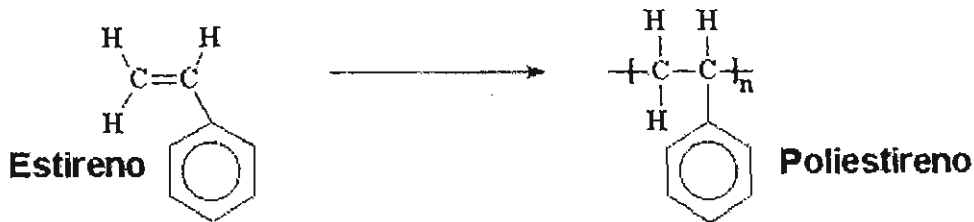
El polipropileno cumple una doble tarea, como plástico y como fibra. Como plástico se utiliza para hacer cosas como envases para alimentos capaces de ser lavados en un lavaplatos. Esto es posible porque no funde por debajo de 160°C. Como fibra, el polipropileno se utiliza para hacer alfombras de interior y exterior (a diferencia del nylon, no absorbe el agua). Estructuralmente uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo.



El polipropileno que utilizamos, es en su mayor parte isotáctico. Esto significa que todos los grupos metilos de la cadena están del mismo lado. Este polímero es un buen elastómero. Esto es porque los bloques isotácticos forman cristales. Pero dado que los bloques isotácticos están unidos a los bloques atácticos, cada pequeño agrupamiento de polipropileno cristalino isotáctico quedaría fuertemente enlazado por hebras del dúctil y gomoso polipropileno atáctico.

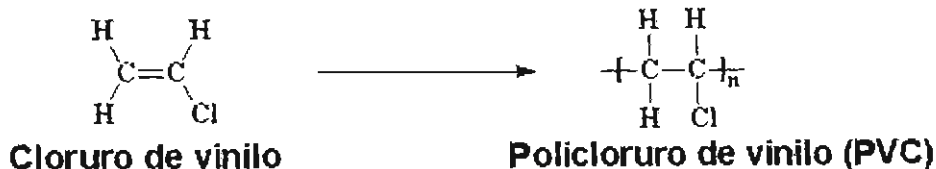
### Poliestireno

La cubierta exterior esta hecha de poliestireno, así como las maquetas de autos y aviones. El poliestireno también se presenta en forma de espuma para envoltorio. Las tazas hechas de plástico transparente están hechas de poliestireno. También una gran cantidad de partes del interior de un auto. Es usado en juguetes y en secadores de cabello y computadoras. Es una cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono.



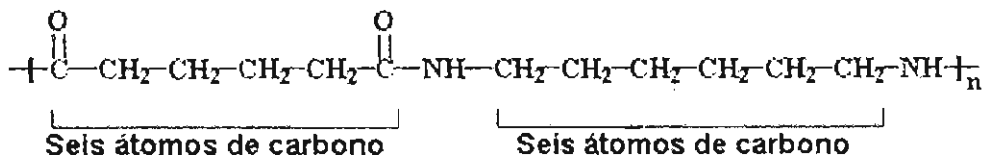
### PVC

El poli cloruro de vinilo es el plástico que se conoce como PVC. La mayoría de las instalaciones de plomería de las casas es de PVC. El PVC es útil porque resiste: fuego y agua. Debido a su resistencia al agua, se lo utiliza para hacer impermeables para la lluvia y cortinas para baño. También tiene resistencia a la llama (porque contiene cloro). Cuando se quema el PVC, los átomos de cloro son liberados, inhibiendo la combustión.

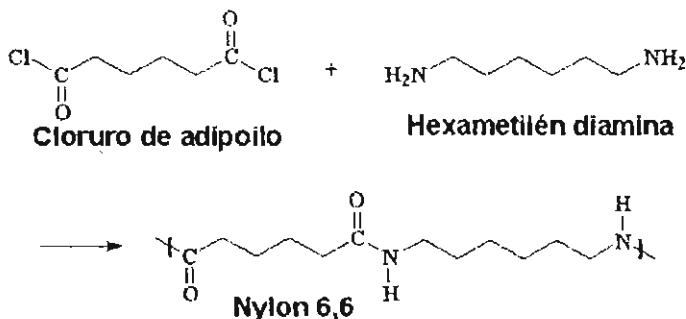


### Nylon

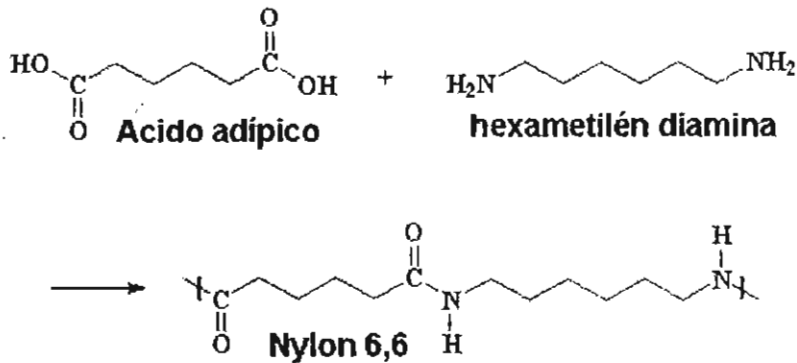
Los nylons son usados como fibras. Se utiliza para fabricación de ropa. En la Segunda Guerra Mundial el nylon fue necesario para hacer material de guerra, como cuerdas y paracaídas. Los nylons también se llaman poliamidas, debido a los característicos grupos amida en la cadena principal. Estos grupos amida son muy polares y pueden unirse entre sí mediante enlaces por puente de hidrógeno.



El nylon se llama nylon 6.6, porque cada unidad repetitiva de la cadena polimérica, tiene dos extensiones de átomos de carbono, cada una con una longitud de seis átomos de carbono. Otros tipos de nylon pueden tener diversos números de átomos de carbono en estas extensiones. Los nylons se pueden sintetizar a partir de las diaminas y los cloruros de diácido (en el laboratorio). El nylon 6.6 se hace con los monómeros cloruro del adipoilo y hexametilén diamina.

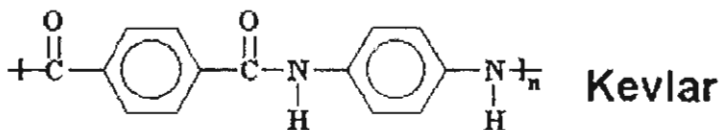


Pero en una planta industrial de nylon, se lo fabrica generalmente haciendo reaccionar el ácido adípico con la hexametilén diamina.

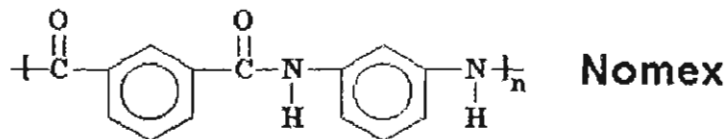


### Nomex y Kevlar

Las aramidas pertenecen a una familia de nylons, incluyendo el Nomex y el Kevlar. El Kevlar se utiliza para hacer chalecos a prueba de balas y neumáticos de bicicleta resistentes a las pinchaduras. Las mezclas de Kevlar y de Nomex se utilizan para hacer ropas anti-llama (ropa de los bomberos). El Kevlar es una poliamida, en la cual todos los grupos amida están separados por grupos para-fenileno, es decir, los grupos amida se unen al anillo fenilo en posiciones opuestas entre sí.

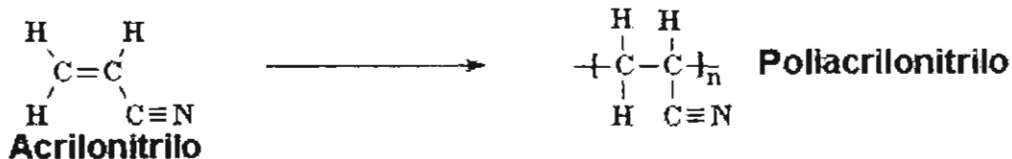


El Nomex, por otra parte, posee grupos meta-fenileno:



### Poliacrilonitrilo

El poliacrilonitrilo es de la familia de los acrilatos poliméricos. Se hace a partir del monómero acrilonitrilo, por medio de una polimerización vinílica por radicales libres.

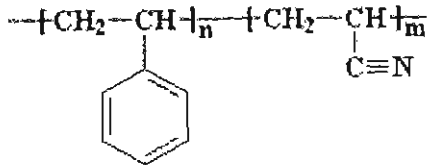


El poliacrilonitrilo se utiliza para hacer la fibra de carbono. Pero los copolímeros que contienen principalmente poliacrilonitrilo, se utilizan como fibras para hacer tejidos, como medias, suéteres y carpas. La palabra "acrílico", denota que la prenda está hecha con algún

copolímero de poliacrilonitrilo. Generalmente son copolímeros de acrilonitrilo y metil acrilato, o acrilonitrilo y metil metacrilato.

El poli(estireno-co-acrilonitrilo) (**SAN**) y el poli(acrilonitrilo-co-butadieno-co-estireno) (**ABS**), se utilizan como plásticos.

El **SAN** (estireno y acrilonitrilo polímero lineal) es un simple copolímero al azar de estireno y acrilonitrilo. Pero el **ABS** esta hecho por medio de la polimerización de estireno y acrilonitrilo en presencia de polibutadieno. El polibutadieno tiene enlaces dobles carbono-carbono en su estructura, los que pueden también polimerizar. Así que terminamos con una cadena de polibutadieno, conteniendo cadenas de SAN injertados en el, tal como usted ve abajo.

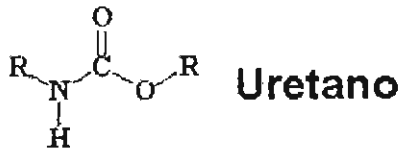


**SAN**

El **ABS** es muy fuerte y liviano. Es lo suficientemente fuerte como para ser utilizado en la fabricación de piezas para automóviles. El empleo de plásticos como ABS hace más livianos a los autos, así que utilizan menos combustible y por lo tanto contaminan menos. El **ABS** es un plástico más fuerte que el poliestireno dado a los grupos nitrilo en sus unidades de acrilonitrilo. Los grupos nitrilo son muy polares, así que se atraen mutuamente. Esto permite que las cargas opuestas de los grupos nitrilo puedan estabilizarse. Esta fuerte atracción sostiene firmemente las cadenas de ABS, haciendo el material más fuerte. También el polibutadieno, con su apariencia de caucho, hace al ABS más resistente que el poliestireno.

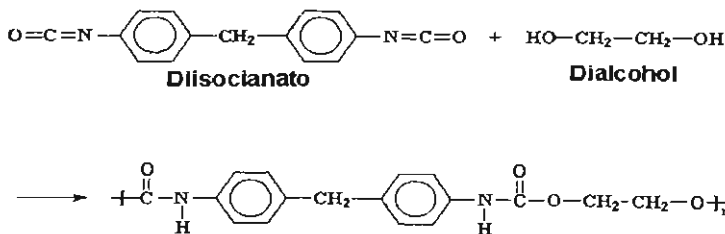
### Poliuretanos

Los poliuretanos son los polímeros mejor conocidos para hacer espumas. Pueden ser elastómeros, pueden ser pinturas, pueden ser fibras y pueden ser adhesivos. Por supuesto, los poliuretanos se llaman así porque en su cadena principal contienen enlaces uretano.



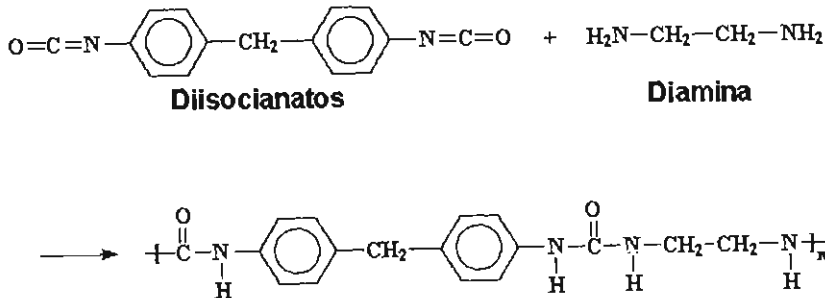
La figura muestra un poliuretano simple, pero un poliuretano puede ser cualquier polímero que contenga un enlace uretano en su cadena principal.

Los poliuretanos se sintetizan haciendo reaccionar diisocianatos con dialcoholes.





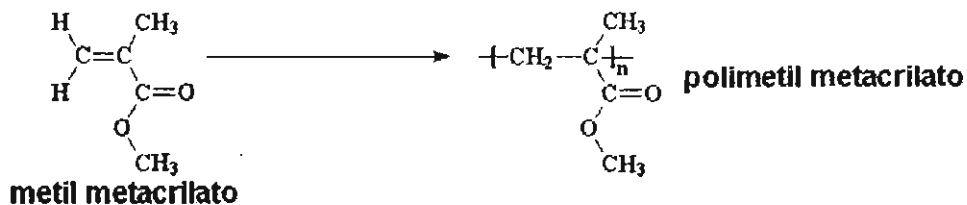
A veces, el dialcohol se sustituye por una diamina y el polímero que obtenemos es una poliurea, porque contiene más bien un enlace urea, en lugar de un enlace uretano. Pero generalmente se les llama poliuretanos.



### Poli metil metacrilato

El poli (metil metacrilato) llamado PMMA, usado como material irrompible en reemplazo del cristal (es un plástico claro). Se hace ventanas con PMMA y se les llama Plexiglás o Lucite. Se utiliza para hacer las superficies de las bañeras, piletas de cocina y las tinas de baño y duchas de una sola pieza. La ventaja con respecto al vidrio es que es más transparente, las ventanas de PMMA se pueden hacerse gruesas y siguen siendo perfectamente transparentes. Esto hace del PMMA un buen material para fabricar grandes acuarios, cuyas ventanas deben contener la alta presión de litros de agua. Las pinturas de "latex" acrílico contienen a menudo una suspensión de PMMA en agua. Cuando se disuelve un poco de PMMA en el aceite lubricante o fluido, éstos no se vuelven viscosos con el frío y el motor de un carro puede funcionar hasta a  $-100^\circ\text{C}$ .

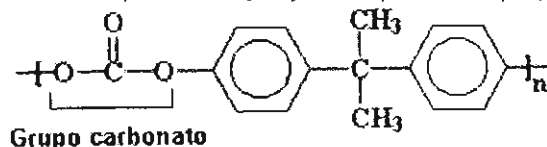
El PMMA es formado por polimerización vinílica de radicales libres a partir del monómero metil metacrilato.



Otro polímero usado como sustituto irrompible del vidrio es el policarbonato. Pero el PMMA es más barato.

### Policarbonato

El policarbonato, o específicamente policarbonato de bisfenol A, es un plástico claro usado para hacer ventanas inastillables, lentes livianas para anteojos y otros (el difenol-propano es mejor conocido como Bisfenol A).



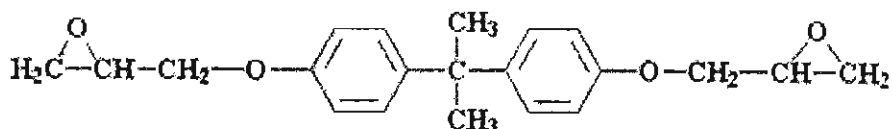
El policarbonato toma su nombre de los grupos carbonato en su cadena principal. Lo llamamos policarbonato de bisfenol A, porque se elabora a partir de bisfenol A y fosgeno ( $\text{COCl}_2$ ). Esto comienza con la reacción del bisfenol A con hidróxido de sodio para dar la sal



sódica del bisfenol A. El policarbonato que se utiliza para hacer lentes ultra-livianas. No sólo es mucho más liviano que el cristal, sino que tiene un índice de refracción mucho más alto. Eso significa que la luz se refracta más que en el cristal, así que mis cristales ya no necesitan ser tan gruesos.

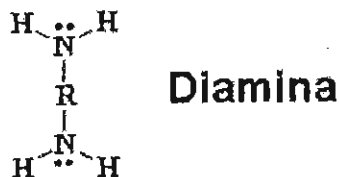
### Resinas epoxi

El primer componente del epoxi es un polímero de bajo peso molecular con grupos epoxi en cada extremo. Las resinas epoxi han producido excelentes pegamentos, siendo éstos unos de los pocos que se pueden utilizar en los metales. Pero también se los utiliza como recubrimientos protectores, como materiales en objetos tales como tableros electrónicos y para emparchar agujeros en pavimentos de cemento. Los epóxidos también se utilizan para hacer compósitos.

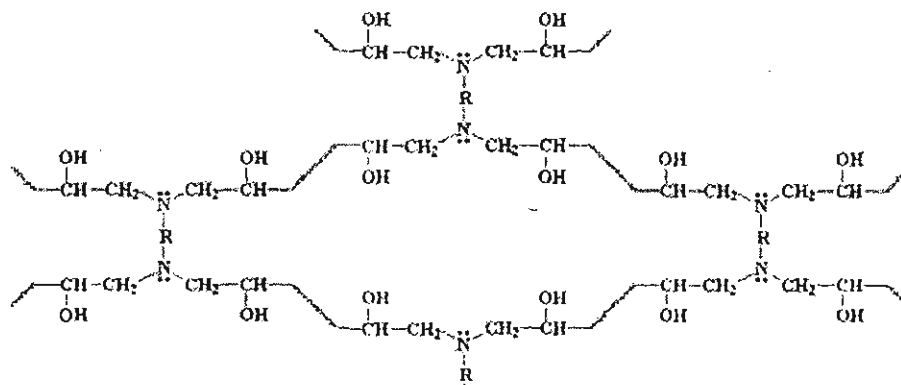


**Molécula con dos grupos epoxi en sus extremos**

Quando se mezclan ambas partes, el diepoxi y la diamina, éstos hacen algo divertido. Reaccionan y se unen entre sí, de manera tal que se enlazan todas las moléculas del diepoxi y de la diamina:



Se forma una red entrecruzada:

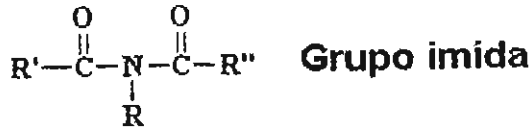


Es decir que todas las moléculas de diamina y de epoxi se han convertido en un polímero, el resultado es una sustancia rígida que puede ser muy resistente, pero no procesable. No puede ser moldeada, ni siquiera fundida. Esta es la razón por la cual las dos sustancias no vienen mezcladas.

## Poliimidas

Las poliimidas es grupo de polimeros fuertes y resistentes al calor y a los agentes químicos. Se utilizan para los defensas y el chasis de los autos. También son usadas en la construcción de vajilla para hornos de microondas (transparencia a la radiación de microondas) y para envoltorio de alimentos.

Una poliimida es un polímero que contiene un grupo imida:

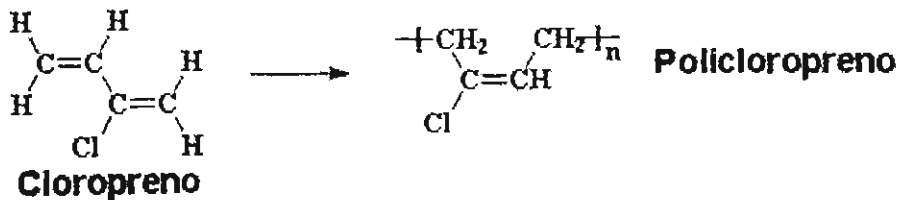


Cuando una poliimida aromática se incendia, lo cual es difícil de suceder, se forma una capa carbonosa que sofoca la llama, bloqueándole el combustible para quemarse. Luego esta capa se remueve y todo queda como si nunca se hubiera producido un incendio.

## Policloropreno

El policloropreno se vende bajo el nombre comercial Neopreno. Es resistente al aceite. Fue el primer elastómero sintético que tuvo éxito a nivel comercial. El cloropreno tiene dos enlaces dobles (dieno). El polycloropreno tiene características similares a las de otros polímeros como el poliisopreno y el polibutadieno.

El policloropreno se obtiene a partir del monómero cloropreno, de la siguiente manera:



Para mayor información ver <http://www.psrc.usm.edu/spanish/np.htm>

NOMBRE	DATOS	USOS
 PET Polietilén Tereftalato	<p><b>Se produce a partir del Ácido tereftálico y Etilenglicol, por poli-condensación; existiendo dos tipos: grado textil y grado botella se debe postcondensar, existiendo diversos colores para estos usos.</b></p> <p>Se caracteriza por sus propiedades de resistencia mecánica, transparencia y barrera a gases. Presenta mayor barrera al oxígeno y al bióxido de carbono que la mayoría de los oros plásticos.</p>	<p>Envases para bebidas con gas, aceites vegetales comestibles, aguas, licores, películas transparentes, cintas de video, películas radiográficas, fibras láminas, piezas de ingeniería, etcétera</p>
 PEAD (HDPE) Polietileno de alta densidad	<p><b>El polietileno de alta densidad es un termoplástico fabricado a partir del etileno.</b> La importancia de los polietilenos de alta densidad es debida a su alto consumo y a su gran diversidad de aplicaciones.</p>	<p>Adecuado en la fabricación de películas y/o o bolsas tipo camiseta, envases para alimentos, empaques que estén en contacto con alimentos, envases de pared delgada, fabricación de cajas de refresco, cubetas de uso industrial, vajillas, juguetes, etcétera.</p>
 PVC Policloruro de Vinilo	<p><b>Se produce a partir de dos materias primas naturales. gas 43% y sal común 57%.</b> El PVC es un polímero termoplástico, que por si sólo es el más inestable de todos, pero con aditivos es el más versátil, debido a que puede ser transformado por 12 procesos en una infinidad de productos útiles.</p>	<p>Conectores y recubrimientos de cable; Garrafones cisternas, tuberías y linacos de agua; Equipo industrial y médico; Piscinas prefabricadas; Perfiles para ventana; Tarjetas de crédito; Credenciales; películas para envolver carne, alfombras, etcétera</p>
 PEBD (LDPE) Polietileno de baja densidad	<p>El polietileno pertenece al grupo de polímeros denominados Poliolefinas. Estas provienen de hidrocarburos simples, compuestos por átomos de carbono e hidrógeno. El polietileno de baja densidad.</p>	<p>El mayor uso de polietileno de baja densidad es en el sector de Envase y Empaque, destacando su utilización en bolsas, laminaciones, películas encogible y estirable, tapas para botellas, aislante para cables, tubería, etcétera.</p>
 PP Polipropileno	<p><b>El PP es un plástico que se obtiene por polimerización del propileno. El PP es un plástico con elevado Punto de fusión, excelente resistencia química y de más baja densidad.</b> Es un homopolímero translúcido. Se desarrollaron el Polipropileno Random Clarificado que combina las propiedades del Polipropileno Homopolímero con una excelente transparencia.</p>	<p>Película laminada para empacadoras, (Película Cast, Película biorientada) material para empacar prendas de vestir como camisas y medias, se utiliza para jeringas e instrumentos de laboratorio, rafia, etcétera.</p>
 PS Poliestireno	<p>Material termoplástico, se distingue por su elevada transparencia y brillo. Ocupan el quinto lugar de consumo después del Polietileno, Polipropileno, Polietilén Tereftalato y Policloruro de Vinilo.</p>	<p>Estuches para cosméticos; Envases y cubiertos desechables; Envases de pared delgada; Vasos; Empaques de pasteles y dulces; Carcasas de electrodomésticos; Empaque de verdura y fruta fresca; Decorado de plumas y estuches.</p>

## Apéndice B

**Fuerzas intermoleculares.** Las interacciones entre moléculas neutras son casi siempre resultado de las fuerzas de van der Waals, las atracciones electrostáticas dipolo-dipolo y los puentes de hidrógeno. En el caso de los hidrocarburos, solo las interacciones de van der Waals son importantes. En los líquidos las fuerzas de atracción determinan el punto de ebullición. En general las sustancias polares presentan mayor punto de ebullición que las moléculas no polares con masas moleculares semejantes.

★**Masa molecular.** El aumento de la masa molecular involucra un aumento en el punto de ebullición.

Nombre	Punto ebullición, °C	Punto fusión, °C	Densidad g/ml, 20°C
<b>Metano</b> (1 carbono)	-161.7	-182.5	-----
<b>Etano</b> (2 carbonos)	-88.6	-183.3	-----
<b>Hexano</b> (6 carbonos)	68.7	-95.3	0.66
<b>Decano</b> (10 carbonos)	174.0	-29.7	0.73

**Longitud de las moléculas:** Con el aumento del tamaño de las moléculas aumentan las fuerzas de atracción. Las fuerzas de atracción de van der Waals dependen del área aproximada de contacto entre las moléculas, cuanto más grande es el área, mayor serán las fuerzas de atracción.

### ★ENLACES PUENTE DE HIDRÓGENO

Los enlaces puente de hidrógeno son interacciones polares, con una intensidad cercana al 5-10% del enlace covalente. Este tipo de enlaces son los causantes de que el **agua sea un líquido a temperatura ambiente en lugar de un gas**. Se estableció que en muchas moléculas donde existe un hidrógeno unido a un elemento fuertemente electronegativo se establece una unión entre el H de una molécula y el elemento negativo de la otra. Este tipo de enlace puede estar presente en moléculas que tengan **F, O, N, Cl unidos a un H** el cual servirá de puente. La existencia del puente de hidrógeno lleva al aumento del punto de ebullición, un ejemplo más común es el del agua que debiendo tener una temperatura de ebullición inferior a -100 °C lo tiene a +100 °C en condiciones normales de presión o sea una atmósfera. El enlace por **puente de hidrógeno aumenta el calor de vaporización** de las sustancias que tienen este enlace porque hay que vencer las fuerzas intermoleculares y posteriormente aportar la energía para la libre rotación de las moléculas gaseosas. El enlace por puente de hidrógeno controla la orientación de las moléculas en el hielo lo que da lugar a una estructura muy abierta de tipo cristalino y esto hace que el hielo flote.

En el caso del **NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O y el HF**, se esperaría que tuvieran el mismo punto de ebullición debido a que sus masas moleculares son muy semejantes. Basándose en las diferencias de **electronegatividad** entre el enlace del hidrógeno y el N, O y F, se tendría que F>O>N, entonces el punto de ebullición del HF sería el mayor. Sin embargo, el agua tiene un punto de ebullición mucho mayor de lo esperado, esto se debe a que **el agua tiene la capacidad de formar 4 puentes de hidrógeno**, mientras que el HF solo puede formar un puente de hidrógeno por molécula.

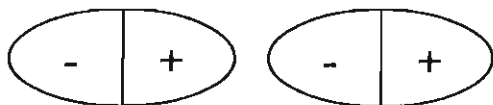
### ★MOLECULAS POLARES, NO POLARES Y EL MOMENTO DIPOLAR

★**Momento dipolo.** El momento dipolo ( $\mu$ ) es el producto de la carga Q y la distancia r entre las cargas (es una medida cuantitativa de la polaridad):

$$\mu = Q \times r$$

Se expresa en unidades debye (D), el factor de conversión es  $1D = 3.33 \times 10^{-30} \text{ C m}$ .  
Donde C es coulomb y m es metro.

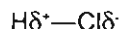
**Molécula polar.** Posee un momento dipolo.



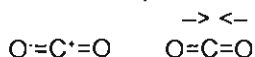
**Molécula no polar.** No posee un momento dipolo

★Las moléculas pueden tener enlaces intramoleculares (enlaces fuertes covalentes) e interacciones intermoleculares entre moléculas (atracciones débiles). Existen moléculas polares y no polares. La polaridad de una molécula está definida por 2 factores: **1)** la polaridad de los enlaces en la molécula (esta relacionado con la electronegatividad) y **2)** la geometría de la molécula (el momento dipolar de las moléculas formadas por tres o más elementos resta determinada por su polaridad y su geometría). Un **enlace dipolo** es una fuerza que tiene dirección y magnitud (como un vector). La magnitud está relacionada con la electronegatividad entre los elementos de la molécula, mientras que la dirección está relacionada con la orientación de los elementos de la molécula. La polaridad de un enlace se caracteriza por la separación de cargas eléctricas.

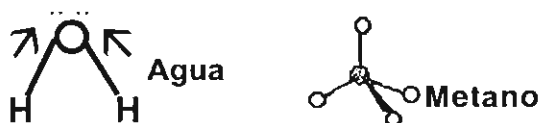
★Las moléculas diatómicas que contienen átomos diferentes (por ejemplo: HCl, HF, CO, y NO) tienen un momento dipolo y se dice que son moléculas polares. Las moléculas diatómicas que contienen átomos del mismo elemento (por ejemplo: H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y F<sub>2</sub>) se les considera **moléculas no polares** y no presentan momento dipolo. Por ejemplo, podemos representar el HCl indicando las cargas parciales δ<sup>+</sup> y δ<sup>-</sup>, en los átomos (en este caso el momento dipolar está relacionado con la polaridad de los enlaces en la molécula, el Cl queda cargado negativamente debido a que es más electronegativo).



★En el caso de la molécula de dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, existe una ausencia de un momento dipolar debido a su geometría molecular. Cada enlace carbono-oxígeno existe una polaridad, si se representa el momento dipolar mediante una flecha. Cada enlace dipolo, es una cantidad vectorial; es decir, tiene magnitud y dirección. Como los dos enlaces dipolo son de igual magnitud pero direcciones contrarias se cancelan entre sí, por lo que debido a esto resulta un momento dipolar neto igual a cero para la molécula.



En comparación la molécula de agua, los enlaces dipolo apuntan a la dirección de los átomos del hidrógeno hacia el oxígeno más electronegativo. En este caso, los dos enlaces no apuntan hacia o en contra uno del otro. Por lo tanto, estos se suman para dar un momento dipolar neto que no es cero para la molécula (momento dipolar = 1.94 D). Si la molécula del agua fuera lineal el momento dipolar sería cero. El caso del amoníaco, NH<sub>3</sub>, es muy semejante al caso del agua.



La estructura del metano tiene una geometría tetraédrica y sus ángulos de enlace son de 109.5°. Sus cuatro enlaces dipolo son de igual magnitud y apuntan a la dirección hacia el elemento más electronegativo, por lo que se cancelan entre sí.

★Electronegatividad. fuerza o capacidad de atracción de los electrones por un átomo. Mayor electronegatividad es igual a mayor atracción de electrones.

★Molécula	Geometría	Momento dipolo (D)
HF	Lineal	1.92
HCl	Lineal	1.08
FBr	Lineal	0.78
HI	Lineal	0.38
H <sub>2</sub> O	Angular	1.87
H <sub>2</sub> S	Angular	1.10
NH <sub>3</sub>	Piramidal	1.46
SO <sub>4</sub>	Angular	1.60
CH <sub>4</sub>	Tetraédrica	0.1
CHCl <sub>3</sub>	Tetraédrica	0.0
CCl <sub>4</sub>	Lineal	0.12
CO	Lineal	0.0
CS <sub>2</sub>	Lineal	0.0
NF <sub>3</sub>	Piramidal	0.24
H <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , Br <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , I <sub>2</sub> , CH <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , CBr <sub>4</sub>	-----	0.0

En la tabla anterior cuanto mayor es el momento dipolar (D), mayor es la polaridad de las moléculas, por lo que la molécula más polar en la tabla es el HF.

### INTERACCIONES MOLECULARES

**Dipolo permanente - dipolo permanente.** Cuando 2 ó más moléculas con dipolo permanente (moléculas polares, con momento dipolar mayor a cero) se acercan, éstas se alinean orientando sus extremos positivos hacia el extremo negativo de las moléculas adyacentes, existe una atracción electrostática entre dipolos.

**Dipolo permanente - dipolo inducido.** Cuando una molécula polar se acerca a una molécula no polar, la molécula polar puede inducir un dipolo en la molécula no polar. La atracción electrostática es menor que en la anterior.

**Dipolo inducido - dipolo inducido.** Cuando en moléculas con momento dipolar igual a cero  $\mu=0$  (ejemplo el CH<sub>4</sub>). Ocurre de pronto una polarización instantánea, debido a oscilaciones de la nube electrónica alrededor de los núcleos atómicos, la nube electrónica se distribuye más de un lado de la molécula que de otro. El dipolo instantáneo induce la polarización de las moléculas adyacentes produciendo las fuerzas de dispersión de London (fuerzas de atracción débiles entre moléculas, que resultan de pequeños dipolos instantáneos). El conjunto de formas de atracción entre moléculas adyacentes se llama fuerzas de Van der Waals (asociadas con energías entre 0.4 y 40 kJ/mol). Su acción sólo resulta importante para explicar interacciones entre moléculas y átomos con orbitales saturados, donde no es probable la unión covalente adicional).

Elemento	Símbolo	Número atómico	Peso atómico	Elemento	Símbolo	Número atómico	Peso atómico
Actinio	Ac	89	227.0	Lutecio	Lu	71	175.0
Aluminio	Al	13	26.98	Magnesio	Mg	12	24.30
Americio	Am	95	(243)	Manganeso	Mn	25	54.94
Argón	Ar	18	39.95	Mendelevio	Md	101	(258)
Arsénico	As	33	74.92	Molibdeno	Mo	42	95.94
Astato	At	85	(210)	Neodimio	Nd	60	144.2
Azufre	S	16	32.06	Neón	Ne	10	20.18
Bario	Ba	56	137.3	Neptuno	Np	93	237.0
Berilio	Be	4	9.012	Níquel	Ni	28	58.69
Berkelio	Bk	97	(247)	Niobio	Nb	41	92.91
Bismuto	Bi	83	209.0	Nitrógeno	N	7	14.00
Boro	B	5	10.80	Nobelio	No	102	(259)
Bromo	Br	35	79.90	Oro	Au	79	197.0
Cadmio	Cd	48	112.4	Osmio	Os	76	190.2
Calcio	Ca	20	40.08	Oxígeno	O	8	16.00
Californio	Cf	98	(251)	Paladio	Pd	46	106.4
Carbono	C	6	12.01	Plata	Ag	47	107.9
Cerio	Ce	58	140.1	Platino	Pt	78	195.1
Cesio	Cs	55	132.9	Plomo	Pb	82	207.2
Cloro	Cl	17	35.45	Plutonio	Pu	94	(244)
Cobalto	Co	27	58.93	Polonio	Po	84	(209)
Cobre	Cu	29	63.55	Potasio	K	19	39.10
Cromo	Cr	24	52.00	Praseodimio	Pr	59	140.9
Curio	Cm	96	(247)	Prometio	Pm	61	(145)
Disproσιο	Dy	66	162.5	Protoactinio	Pa	91	231.0
Einsteinio	Es	99	(252)	Radio	Ra	88	226.0
Erbio	Er	68	167.3	Radón	Rn	86	(222)
Escandio	Sc	21	44.96	Renio	Re	75	186.2
Estaño	Sn	50	118.7	Rodio	Rh	45	102.9
Estroncio	Sr	38	87.62	Rubidio	Rb	37	85.47
Europio	Eu	63	152.0	Rutenio	Ru	44	101.1
Fermio	Fm	100	(257)	Samario	Sm	62	150.4
Flúor	F	9	19.00	Selenio	Se	34	78.96
Fósforo	P	15	30.97	Silicio	Si	14	28.09
Francio	Fr	87	(223)	Sodio	Na	11	23.00
Gadolinio	Gd	64	157.2	Talio	Tl	81	204.4
Galio	Ga	31	69.72	Tántalo	Ta	73	180.9
Germanio	Ge	32	72.59	Tecnecio	Tc	43	(98)
Hafnio	Hf	72	178.5	Telurio	Te	52	127.6
Helio	He	2	4.003	Terbio	Tb	65	158.9
Hidrógeno	H	1	1.008	Titanio	Ti	22	47.88
Hierro	Fe	26	55.85	Torio	To	90	232.0
Holmio	Ho	67	164.9	Tulio	Tm	69	168.9
Indio	In	49	114.8	Tungsteno	W	74	183.9
Iridio	Ir	77	192.2	Uranio	U	92	238.0
Iterbio	Yt	30	173.0	Vanadio	V	23	50.94
Itrio	Y	39	88.91	Xenón	Xe	54	131.3
Kriptón	Kr	36	83.80	Yodo	I	53	126.9
Lantano	La	57	138.9	Zinc	Zn	30	65.38
Laurencio	Lr	103	(260)	Zirconio	Zr	40	91.22
Litio	Li	3	6.941				







## BIBLIOGRAFÍA

- A. G. Guy; Fundamentos de Ciencia de Materiales; Mac Graw Hill.
- D. D. Ebbing, *Química General*, Mac Graw Hill.
- Donald R. Askeland, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Internacional Thomson Editores.
- James F. Shackelford; Ciencia de Materiales para Ingenieros; Pearson Educación.
- J. B. Pierce, *Química de la materia*, Publicaciones Culturales S. A.
- J. C. Anderson, K.D. Leaver, J.M. Alexander, R.D. Rawlings, *Ciencia de los Materiales*, Limusa.
- Jere H. Brophy, Robert M. Rose, John Wulff, *Ciencia II de los Materiales, Propiedades Termodinámicas*, Limusa.
- L. J. Malone, *Introducción a la Química*, Limusa Wiley.
- Ma. Isabel Raygoza M, *Manual: Estructura de los Materiales*, UAM-Azcapotzalco.
- Pat L. Mangonon, *Ciencia de Materiales, Selección y diseño*, Prentice Hall.
- Raymond Chang, *Química*, Mac Graw Hill.
- Richard A. Flinn, Paul K. Trojan, *Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones*, Mac Graw Hill.
- Shaffer, Saxena, Antolovich, Sanders, Warner, *Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería*, CECSA.
- Van Vlack, *Materiales Para Ingeniería*, CECSA.
- William F. Smith, *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Mac Graw Hill.



BREVIARIO DE ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES La edición estuvo a cargo de la Sección de Producción y Distribución Editoriales  
Se terminó de imprimir en el mes de abril del año 2006 en los talleres de la Sección de Impresión y Reproducción de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco  
Se imprimieron 250 ejemplares más sobrantes para reposición.

ISBN: 970-31-0566-1



978-97031-05663

BREVIARIO ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES  
MAY LOZANO \* SECCION DE IMPRESION

53753



\$ 10.00

\$ 10.00





ISBN: 970-31-0566-1

UNIVERSIDAD  
AUTONOMA  
METROPOLITANA  
Casa abierta al tiempo



División de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Departamento de Materiales  
Coordinación de Extensión Universitaria  
Sección de Producción y Distribución Editoriales

