



## **ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**



## ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

### 1. CONCEPTO DE MATERIAL

"Material" es una cosa o cuerpo tangible constituido por "materia".

La "materia" es la substancia, esencia o naturaleza de las cosas. La “química” es la ciencia de la materia. La “química” estudia las sustancias, sus propiedades y las reacciones. La “bioquímica” es la química de los seres vivos.

La materia es divisible, tiene peso y puede tomar cualquier forma. Los materiales de construcción son "cuerpos" que integran las obras en general.

### 2. FORMA Y CONSTITUCION DE LA MATERIA

Los principios de la discontinuidad de la materia fueron formulados por Demócrito (420 a.C.), quien consideraba a la materia como formada por pequeñas partículas indivisibles ("átomos" en griego) y espacios vacíos. Esta teoría constituye en la actualidad el punto de partida de teorías más avanzadas. El átomo fue considerado como la unidad indivisible o indestructible de la materia. Esta idea de Demócrito, fue combatida durante mucho tiempo: científicos y filósofos razonaban sobre una estructura continua de la materia, es decir, una divisibilidad sin límites.

En el siglo XVIII, John Dalton (1766-1844), y otros investigadores hacen resurgir la "teoría atómica" de Demócrito. Si bien se daba a la materia una constitución atómica, se suponía que sus átomos eran únicos y característicos para cada tipo de sustancia. Sin embargo, intrigaba a los científicos el hecho de que muchas sustancias químicas podían descomponerse en otras mucho más simples a las que llamaron "elementos".

Luego de los estudios de Rutherford (1871-1937), se reconoce que la menor porción de la materia, es decir el "átomo", está constituido como un sistema solar en miniatura. Posee un núcleo cuyo diámetro es del orden de  $10^{-12}$  cm formado por partículas o cargas eléctricas positivas, llamadas "protones" y partículas con carga neutra llamadas "neutrones". La masa de un protón o neutrón es del orden de  $1,67 \times 10^{-24}$  gramos (UMA: unidad atómica de masa). En el núcleo se concentra casi toda la masa del átomo.

Dada la naturaleza eléctrica del átomo, para mantener la neutralidad del mismo, se lo completa con cargas eléctricas negativas ("electrones") que orbitan alrededor del núcleo en diferentes capas u órbitas. La teoría de Rutherford fue modificada y completada por otros investigadores: Bohr, Heisenberg, etc.

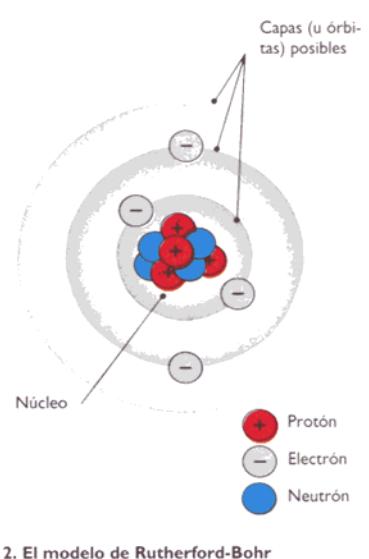
Comparando el tamaño del átomo el cual tiene un diámetro del orden de  $10^{-6}$  cm con el tamaño del núcleo, como se dijo: diámetro del orden de  $10^{-12}$  cm, se concluye que el átomo es puro espacio vacío. La figura N° 1 esquematiza lo expresado.

Para la identificación química de un determinado átomo, tan solo se considera el número de protones y neutrones que existen en el núcleo. Por ejemplo el C<sub>12</sub> (carbono 12) posee seis protones y seis neutrones en su núcleo y su masa es: masa C<sub>12</sub>=12x1,67x10<sup>-24</sup> g = 12 UMA.



El número de protones que existen en el núcleo, se conoce como el "número atómico" del elemento. Los llamados "isótopos" son átomos de un mismo elemento con un número diferente de neutrones en el núcleo.

La masa de un electrón es del orden de  $0,911 \times 10^{-27}$  g. Prácticamente no contribuye a la masa atómica del elemento. Sin embargo, cada electrón posee una carga eléctrica negativa de igual magnitud que la carga eléctrica positiva de un protón. Como se dijo, el neutrón es eléctricamente neutro. Los electrones son entidades a escala atómica que presentan un comportamiento ondulatorio y corpuscular.



2. El modelo de Rutherford-Bohr

Fig. N° 1

La agrupación de átomos de igual o distinta especie, eléctricamente neutros, constituye una "molécula". La molécula se puede separar por medios físicos. La agrupación de átomos de la misma especie, pertenecerá a un cuerpo simple o elemento químico, v.g.: hierro (Fe); carbono (C); cobre (Cu). La agrupación de átomos de diferentes especies pertenecerá a un compuesto, v.g.: carburo de hierro (CFe<sub>3</sub>); sulfato de cobre (SO<sub>4</sub>Cu).

Existen 109 elementos simples conocidos. Estos elementos originan millones (aprox 2 millones) de sustancias químicas. Las sustancias químicas no son simples mezclas, sino que son compuestos químicos. Los compuestos químicos se forman al unirse dos o más elementos en una reacción química. El "pegamento" o "fuerza" que mantiene unidos a los componentes se conoce con el nombre de "enlace químico" o "enlace atómico".

### 3. LA TABLA PERIODICA DE MENDELEIEV

El químico ruso, Demetrio Ivanovich Mendeleiev (1834 – 1907) fue el descubridor de la ley periódica de los elementos químicos en el año 1869. Con esta ley, confirmó la existencia de algunos elementos simples que no habían sido aislados, aún, químicamente en su época. En la ordenación de los elementos simples por sus pesos atómicos, Mendeleiev halló la expresión de una ley natural que aplicó para la corrección de las observaciones experimentales y para la predicción de hechos nuevos. Los "huecos" o "espacios vacíos" de la tabla, sugerían la



existencia de elementos que no se conocían. Dichos elementos fueron descubiertos con posterioridad, tales como el escandio (Sc), el galio (Ga) y el germanio (Ge).

La tabla periódica es una lista simple de todos los elementos conocidos (109 en total) ordenados por su número atómico (cantidad de protones que existen en el núcleo). Junto al nombre de cada elemento se indica su número atómico, símbolo y número de masa (UMA). Las columnas verticales de la tabla se llaman “grupos” y las filas horizontales se llaman “períodos”.

La tabla periódica distribuye los elementos destacando sus semejanzas y basándose en sus propiedades. Los elementos del mismo grupo (columna) tienen propiedades similares. Las propiedades van cambiando a lo largo de los períodos (filas). Los elementos de la izquierda son “metales”. Los de la derecha, son “no metales”. Al desplazarse por una fila (de izquierda a derecha), el número atómico aumenta. Al principio de una fila o período, los elementos tienen un electrón en su nivel externo y los elementos del final de la fila o período tienen ocho electrones. (Figura Nº 2)

Dijimos que los elementos de un grupo (columna) tienen las mismas propiedades. Las propiedades químicas de un elemento dependen del número de electrones de su nivel externo. Los elementos de cada grupo (columna), tienen el mismo número de electrones en dicho nivel.

#### 4. ISÓTOPOS

Cada elemento tiene varias formas distintas o “isótopos”. Todos los isótopos de un elemento tienen el mismo número atómico (es decir la misma cantidad de protones), pero diferente masa atómica pues poseen diferentes cantidades de neutrones. Por ejemplo, el 99% de los átomos del elemento “carbono” son del isótopo “carbono 12” y un 1% de “carbono 13”. Ambos isótopos tienen 6 protones, pero uno tiene 6 neutrones y el otro tiene 7. En definitiva, los “isótopos” son átomos de un mismo elemento con un número diferente de neutrones en el núcleo).

#### 5.- ESCALA ATÓMICA Y ESCALA MICROSCÓPICA

Para comprender las propiedades de los materiales para ingeniería, es necesario comprender su estructura a escala atómica y a escala microscópica. Virtualmente, las propiedades principales de los materiales es el resultado directo de los mecanismos que tienen lugar a escala atómica o microscópica.

Existen tipos especiales de arquitecturas relacionadas a c/u de los tipos de escalas diminutas mencionadas. Debe tenerse en cuenta la diferencia de escala entre los niveles “atómico” y “microscópico”. La arquitectura a “escala atómica”, se refiere a la disposición estructural de los átomos en un determinado material. En cambio, la arquitectura a “escala microscópica” se refiere a la disposición estructural de las distintas fases del material. Para ser más representativos, decimos que una estructura microscópica, es posible observarla con instrumento que aumente 1000 veces el objeto. En cambio, para observar la estructura atómica de ese mismo objeto, hacen falta 10.000.000 de aumentos.



Notas de cátedra. Tecnología de los Materiales de Construcción  
ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

**CLAVE**

Metálicos	Metálicos alcalinos	Metálicos aluminotérreos	Metálicos de transición	Metálicos polares	Semimetales	No metales	Gases nobles	Hidrógeno (no pertenece a ningún grupo)														
1 H Hidrógeno	3 Li Litio 7	4 Be Bericio 9	11 Na Sodio 23	12 Mg Magnesio 24	19 K Potasio 39	20 Ca Calcio 40	21 Sc Escondio 45	22 Ti Titanio 48	23 V Vanadio 51	24 Cr Cromo 52	25 Mn Manganoso 55	26 Fe Hierro 56	27 Co Cobalto 59	28 Ni Níquel 58	29 Cu Cobre 63	30 Zn Cinc 64	31 Ga Galio 69	32 Ge Germanio 74	33 As Arsenico 75	34 Se Selenio 80	35 Br Bromo 79	36 Kr Criptón 84
13 Al Aluminio 27	14 Si Silicio 28	15 P Fósforo 31	16 S Azufre 32	17 Cl Cloruro 35	18 Ar Argón 40	19 F Flúor 19	20 Ne Néon 20	21 O Oxigeno 16	22 N Nitrogeno 14	23 N Nitrogeno 14	24 N Nitrogeno 14	25 N Nitrogeno 14	26 N Nitrogeno 14	27 N Nitrogeno 14	28 N Nitrogeno 14	29 N Nitrogeno 14	30 N Nitrogeno 14	31 N Nitrogeno 14	32 N Nitrogeno 14	33 N Nitrogeno 14	34 N Nitrogeno 14	

*El número de masa indica el número de protones y neutrones del núcleo. Los números de masa dados en esta tabla corresponden a los isótopos más comunes de cada elemento.*

**► TABLA PERIÓDICA**

El químico ruso Dimitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907) compuso la primera tabla periódica en 1869. Los huecos de la tabla de Mendeleiev sugerían la existencia de elementos que no se conocían aún. Estos elementos perdidos han sido descubiertos con posterioridad, por ejemplo, el escandio, el galio y el germanio.

57 La Lantano 139	58 Ce Cerio 140	59 Pr Praseodimio 141	60 Nd Neodimio 142	61 Pm Promecio 145	62 Sm Samario 152	63 Eu Europio 153	64 Gd Gadolinito 158	65 Tb Terbio 159	66 Dy Disprocio 164	67 Ho Holmia 168	68 Er Erbio 169	69 Tm Tulio 169	70 Yb Itetrio 174	71 Lu Lucrecio 175
89 Ac Actinio 227	90 Th Torio 232	91 Pa Protactino 231	92 U Urano 238	93 Np Neptunio 237	94 Pu Plutonio 244	95 Am Americio 243	96 Cm Curio 247	97 Bk Berquio 247	98 Cf Califatrino 251	99 Es Einstenio 254	100 Fm Fermio 257	101 Md Merkelio 258	102 No Nobelio 255	103 Lr Laurericio 256

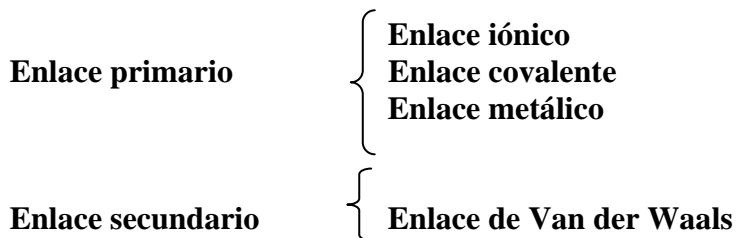
**DADA ALÚ CÍVIL LA TABLA PERIÓDICA**

Figura N° 2 – TABLA PERIODICA DE MENDELEIEV



## 6.- EL ENLACE ATOMICO

Los electrones se hallan agrupados en determinadas posiciones orbitales, más o menos fijas alrededor del núcleo. Cada radio orbital está caracterizado por un nivel de energía de enlace fija entre el electrón y su núcleo. Ahora bien, el enlace entre átomos adyacentes (eléctricamente neutros), es un proceso electrónico. Estos fuertes enlaces atómicos primarios se forman cuando los orbitales externos transfieren o comparten electrones entre los átomos. Existen enlaces secundarios que son mucho más débiles y se forman como resultado de una atracción menos intensa entre las cargas positivas y negativas pero sin que existan transferencia o compartición de electrones. Dentro de cada tipo de enlace, podemos distinguir:



Cada clase de material está asociado con un determinado tipo o tipos de enlaces atómicos. La estructura cristalina tiene una influencia determinante en las propiedades de los materiales, por ejemplo la fragilidad y la ductilidad. Precisamente, una forma antigua de clasificación de los materiales se basaba en dicha propiedad. Es decir por una parte se agrupaban los materiales frágiles y por la otra los dúctiles o maleables.

Los llamados “puntos de fusión” de los diversos materiales, permiten obtener una idea aproximada de sus energías de enlace. El punto de fusión de un sólido indica la temperatura a la que debe ser sometido el material para suministrarle la energía térmica necesaria para producir la rotura de sus enlaces cohesivos.

### 6.1.- EL ENLACE IONICO

Es el resultado de una transferencia de electrones de un átomo a otro. Un caso típico es el enlace entre el sodio (Na) y el cloro (Cl) para formar el cloruro de sodio (Na Cl). Figura N° 3.

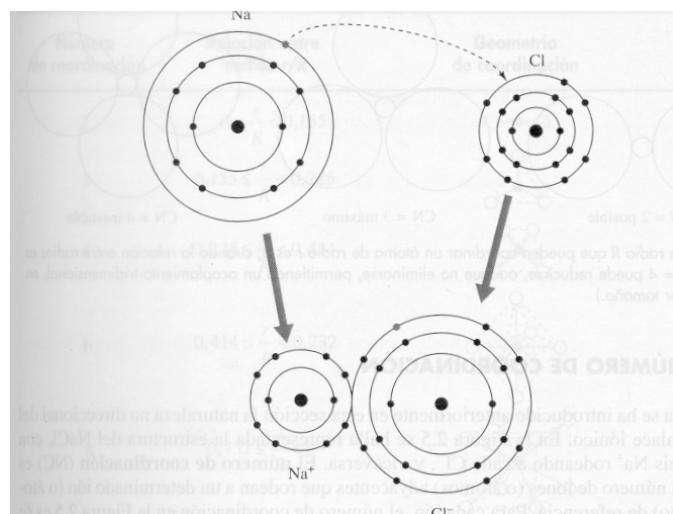


Figura N° 3 (a) y (b)



La transferencia de un electrón desde el sodio, se ve favorecida por el hecho de producir una configuración electrónica más estable. La especie resultante  $\text{Na}^+$ , tiene completamente llena su capa orbital externa. De igual manera, el cloro ( $\text{Cl}$ ) acepta con facilidad ese electrón, produciéndose una especie estable  $\text{Cl}^-$  que también tiene completa su capa orbital externa. Las especies  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  se denominan "iones", razón por la cual el enlace se conoce como "iónico". El ion positivo  $\text{Na}^+$  se llama "catión" y el negativo  $\text{Cl}^-$ , "anión". Después de la transferencia, el enlace queda como muestra la Figura N° 3 b. El nuevo compuesto es el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) o sal gema.

Se debe destacar que el enlace iónico es del tipo "no direccional". Esto significa que un catión, cargado positivamente, atrae por igual en todas direcciones a cualquier anión adyacente.

En el caso del ejemplo, los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  se van disponiendo apilados entre sí de forma sistemática para maximizar el número de iones de carga contraria que rodean a uno dado. En el  $\text{NaCl}$  hay seis iones de  $\text{Na}^+$  rodeando a cada  $\text{Cl}^-$ , así como seis  $\text{Cl}^-$  rodeando a cada  $\text{Na}^+$ .

El enlace iónico es el resultado de la "atracción culómbica" que se establece entre especies con cargas eléctricas opuestas. Esta atracción obedece a una fuerza que es inversamente proporcional a la distancia que separa a dos iones con carga opuesta. La fuerza de atracción electrostática aumenta rápidamente a medida que la distancia de separación entre los iones adyacentes, disminuye.

## 6.2. EL ENLACE COVALENTE

El nombre procede de la compartición de electrones de valencia entre dos átomos adyacentes y es del tipo "direccional". Los electrones de valencia son los situados en los orbitales electrónicos externos.

Un ejemplo típico es el enlace covalente de una molécula de gas cloro. ( $\text{Cl}_2$ ) Ver Figura N° 4.

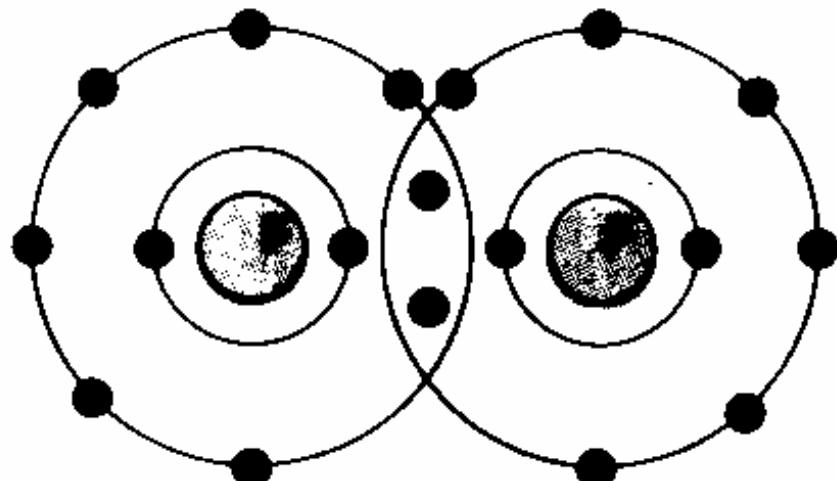


Figura N° 4- Enlace covalente. Modelo planetario



También se representa este tipo de enlace, mediante líneas de enlace. En el caso de enlace covalente en una molécula de gas cloro, sería como sigue



El enlace covalente típico, pero no exclusivo, de los polímeros, da lugar a moléculas de cadena larga que tienen la suficiente flexibilidad como para llenar un espacio tridimensional gracias a una estructura complicada en que la molécula se va enrollando sobre si misma. En los polímeros, el enlace fuerte tipo covalente, tiene lugar en una dirección. En las direcciones secundarias los enlaces son débiles. Estos enlaces secundarios débiles son la causa de las bajas resistencias y las bajas temperatura de fusión de los polímeros tradicionales. Por el contrario, el "diamante" con una dureza excepcional y un punto de fusión de 3500 °C posee enlaces covalentes entre cada par de átomos de carbono (C) adyacentes.

Las curvas de fuerza y energía del enlace covalente es parecida a la del enlace iónico, pero dada la distinta naturaleza del enlace, no es posible aplicar las mismas fórmulas de cálculo para obtenerlas

### **6.3. EL ENLACE METALICO**

En el enlace metálico existe una distribución compartida de electrones y es no direccional. Se dice que los electrones de valencia están deslocalizados, es decir que la probabilidad de que estén asociados a uno cualquiera de un gran número de átomos adyacentes, es la misma.

En los metales típicos, esta deslocalización está asociada a todo el material dando lugar a una nube o gas de electrones. Este gas móvil es la base de la alta conductividad (o conductibilidad) eléctrica de los metales.

### **6.4. EL ENLACE SECUNDARIO O DE VAN DER WAALS**

La causa principal de la cohesión en un material dado es uno o más de los tres enlaces primarios vistos.

Es posible obtener cierto enlace atómico con una energía de enlace bastante menor, sin que existan transferencias o compartición de electrones. Este tipo se denomina "enlace secundario" o "enlace de Van Der Waals". El mecanismo es algo similar al enlace iónico esto es, la atracción de cargas opuestas. La diferencia clave es que no hay transferencia de electrones. La atracción depende de las distribuciones asimétricas de carga positiva y negativa dentro de cada átomo o molécula que interviene en el enlace. Esta asimetría de carga se conoce como "dipolo".

## **7. ESTRUCTURA CRISTALINA**

Para la mayoría de los materiales, los átomos de los mismos están dispuestos de una manera regular y repetitiva. Esto se conoce con el nombre de "estructura cristalina" (estructura a escala atómica). Existen siete sistemas cristalinos y catorce redes cristalinas. Cada una de las miles de estructuras cristalinas encontradas en materiales naturales y sintéticos puede



reducirse a estos pocos sistemas y redes. Los siete sistemas cristalinos son: sistema cúbico; tetragonal; ortorrómbico; romboédrico; hexagonal; monoclínico y triclínico.

Las catorce redes cristalinas son: cúbica simple; cúbica centrada en el cuerpo; cúbica centrada en las caras; tetragonal simple; tetragonal centrada; ortorrómbica simple; ortorrómbica centrada en el cuerpo; ortorrómbica centrada en las bases; ortorrómbica centrada en las caras; romboédrica; hexagonal; monoclinica simple; monoclinica centrada en las bases; triclinica.

En una estructura cristalina, se debe saber distinguir las posiciones atómicas, las direcciones cristalinas y los planos cristalinos. La principal característica de una estructura cristalina es que es regular y repetitiva. Cuantificar la repetitividad exige decidir que unidad estructural es la que se repite. Por lo general se escoge la estructura más sencilla como unidad estructural representativa, denominada “celda unidad”. La longitud de las aristas de la celda unidad y los ángulos entre los ejes cristalográficos se denominan “constantes de red” (Figura N° 5)

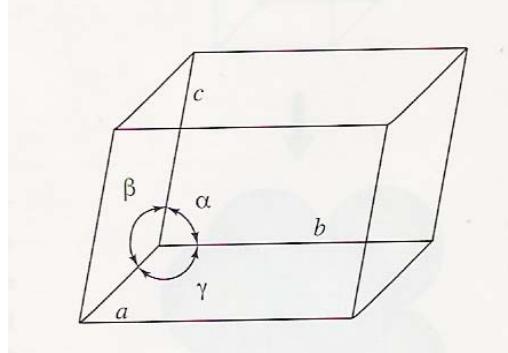


Figura N° 5 – Geometría de una celda unidad general

La característica clave de la celda unidad es que contiene una descripción completa de la estructura como un todo, ya que la estructura completa puede ser generada mediante el agrupamiento repetido de celdas unidad adosadas cara a cara en el espacio tridimensional. Como se dijo, sólo existen siete “celdas unidad” únicas que pueden agruparse de manera que llenen completamente el espacio tridimensional. Estos son los siete sistemas cristalinos que se definen y muestran en la Figura N° 6.

La agrupación de los átomos, vista como esferas rígidas y hecha de una manera general, dentro de una celda unidad, se hace considerando puntos reticulares dispuestos periódicamente en el espacio tridimensional. Como ya se dijo, nuevamente existe un número limitado de posibilidades, conocidas como las catorce redes de Bravais (1811- 1863) que se muestran en la Figura N° 8. El agrupamiento periódico de celdas unidad de la figura N° 5, genera puntos de red, agrupaciones de puntos con idénticos contornos en el espacio tridimensional. Estas redes son esqueletos sobre los que se construyen las estructuras cristalinas, situando átomos en los puntos reticulares o cerca de ellos. La figura N° 7 muestra la posibilidad más simple, en la que se sitúa cada átomo en cada punto reticular. Algunas estructuras metálicas simples son de este tipo, como se verá más adelante. Sin embargo, se sabe que existen un gran número de estructuras cristalinas reales y la mayoría de ellas resultan tener más de un átomo asociado a cada punto reticular.



Notas de cátedra. Tecnología de los Materiales de Construcción  
ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Sistema	Longitudes y ángulos*	Geometría de la celda unidad
Cúbico	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Ortorrombico	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Romboédrico	$a = b = c, \alpha = \beta \neq \gamma = 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Monoclínico	$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Triclínico	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

Figura N° 6 – Los siete sistemas cristalinos

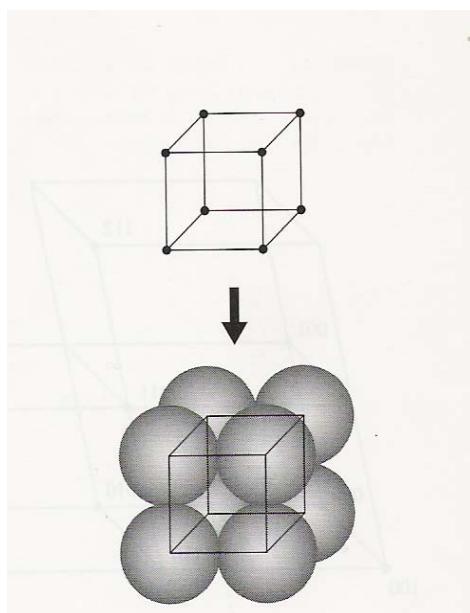


Figura N° 7 – Cristal cúbico simple

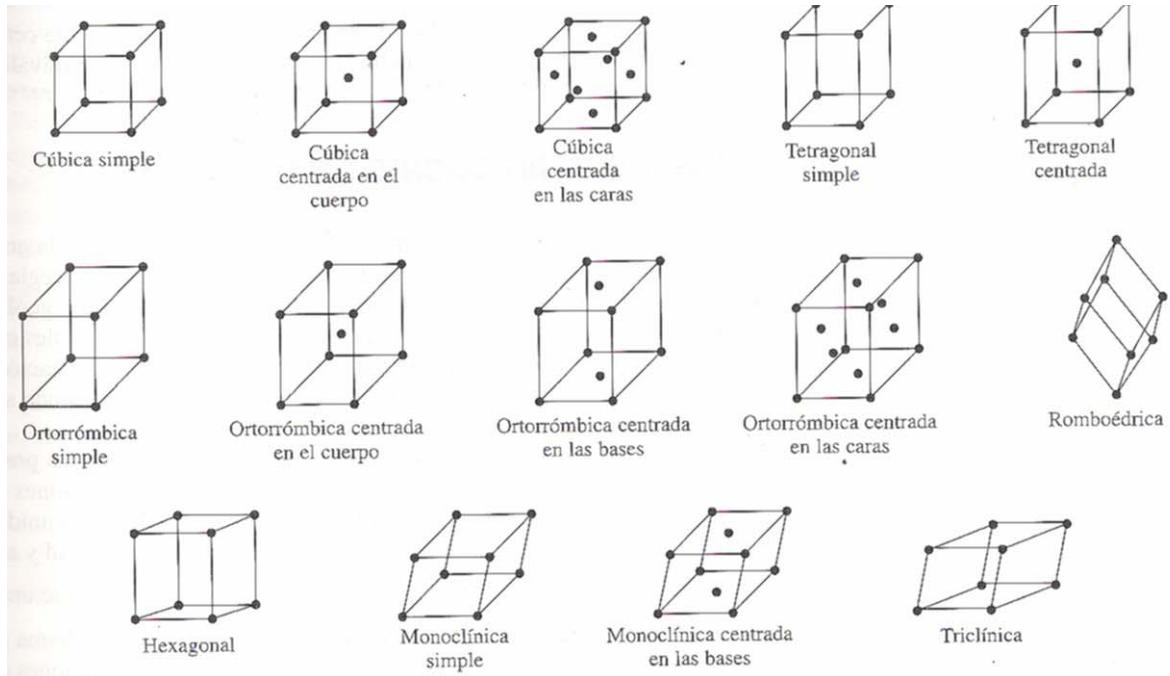


Figura N° 8 – Las Catorce Redes Cristalinas de Bravais

Se han establecido reglas para estudiar la disposición de la red. De esta manera es posible definir parámetros tales como: posiciones de la red; direcciones reticulares; planos reticulares; etc.

Como sabemos, el comportamiento de los diferentes materiales, ante solicitudes de esfuerzos mecánicos está estrechamente vinculado a su estructura cristalográfica. Que un determinado material tenga un comportamiento frágil o dúctil está vinculado directamente con su estructura cristalina. En efecto: la ductilidad depende de la facilidad con que se produce la deformación mecánica a escala atómica. Esta deformación a su vez está relacionada con los planos y direcciones de alta densidad atómica que existen en la estructura cristalina. Por ejemplo, en el caso del aluminio (Al) existen doce combinaciones plano/dirección, en cambio, en el caso del magnesio, sólo existen tres combinaciones. Es decir, que el aluminio tiene cuatro veces más de posibilidades o caminos disponibles para deformarse. En cambio, en el caso del magnesio, el material tiene menos posibilidades de deformarse resultando un comportamiento frágil.

## 8. ESTADOS DE LA MATERIA

Dijimos más arriba que la agrupación de átomos de igual o distinta especie, eléctricamente neutros, constituye una "molécula". Todas las moléculas de una sustancia son idénticas (tienen igual masa, igual estructura, igual propiedades mecánicas, igual propiedades eléctricas).



Un modelo sencillo de representar una molécula puede ser una esfera rígida capaz de moverse, chocar con otras moléculas o con una pared y de ejercer fuerzas de atracción y repulsión sobre moléculas vecinas. Estas fuerzas que mantienen unidas las moléculas de un líquido o de un sólido, son en parte (al menos) de origen eléctrico. Otra propiedad de las moléculas es el "movimiento molecular". Veamos:

En los **sólidos**, las moléculas realizan un movimiento vibratorio alrededor de "centros" más o menos fijos. Este movimiento es débil y los centros permanecen fijos en posiciones espaciadas regularmente, formando un retículo tridimensional que se denomina "cristal". Las fuerzas de cohesión son totalmente predominantes.

En los **líquidos**, las distancias intermoleculares son sólo muy poco mayores que en un sólido. Las moléculas realizan movimientos vibratorios de mayor energía alrededor de centros que pueden moverse libremente pero cuyas distancias mutuas se mantienen casi constantes.

Las moléculas de un **gas** son las que poseen mayor energía cinética y están muy alejadas unas de otras pues frente a esa energía cinética, las fuerzas de atracción se hacen nulas.

## 9. CLASES DE MATERIALES ESTRUCTURALES

Una clasificación moderna de los materiales estructurales está basada en los diferentes tipos de enlaces atómicos. Así se distinguen cinco categorías, a saber:

- 1) **METALES**
- 2) **CERAMICOS Y VIDRIOS**
- 3) **POLIMEROS**
- 4) **MATERIALES COMPUESTOS**
- 5) **SEMICONDUCTORES**

### 9.1. METALES

Las propiedades o características de este material, consideradas como de índole metálica son: es resistente; es de fácil conformación; es dúctil; la superficie recién cortada o fracturada posee brillo metálico característico; es conductor de la corriente eléctrica.

El material metálico típico es el acero estructural. Sin embargo existen muchos materiales metálicos de uso cotidiano en ingeniería como se verá más adelante.

Resulta ilustrativo examinar el comportamiento metálico de los elementos químicos conocidos. En la figura N° 9, se muestra la Tabla Periódica en donde se han sombreado los elementos inherentemente metálicos. Se trata de una familia bastante amplia de elementos que son la base de las diversas aleaciones ingenieriles.



IA															O																										
1	H	II A															2																								
3	Li	4	Be															He																							
11	Na	12	Mg															Ar																							
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Ni	28	Zn	29	Cu	30	Ga	31	Ge	32	As	33	Se	34	Br	35	Kr								
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe						
55	Cs	56	Ba	57	La	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn						
87	Fr	88	Ra	89	Ac																																				
58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu														
90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lw														

Figura N° 9 – Tabla Periódica con elementos inherentemente metálicos sombreados

Una aleación metálica es un material compuesto por dos o más elementos de los cuales uno de ellos o más es de naturaleza metálica. Las aleaciones para ingeniería incluyen los hierros, los aceros, las aleaciones de aluminio (Al); las de magnesio (Mg); las de titanio (Ti); las de níquel (Ni); las de cinc (Zn); las de cobre (Cu) y los latones de cobre – cinc (Cu-Zn) y los broncees de cobre - estaño (Cu-Sn).

La mayoría de los metales elementales poseen a temperatura ambiente, una de las tres estructuras cristalinas siguientes: a) Cúbica centrada en el cuerpo; b) Cúbica centrada en las caras y c) Hexagonal compacta.

Poseen estructura “cúbica centrada en el cuerpo”, el hierro  $\alpha$  ( $Fe\alpha$ : forma estable a temperatura ambiente); el vanadio (V); el cromo (Cr); el molibdeno (Mo); el tungsteno o wolframio (W). Las aleaciones que tienen como constituyente predominante uno de estos metales, tenderán a poseer también esa estructura. Aunque la presencia de elementos de aleación disminuye la perfección cristalina.

Poseen estructura cúbica centrada en las caras, el aluminio (Al); el níquel (Ni); el cobre (Cu); la plata (Ag); el platino (Pt) y el oro (Au).

Poseen estructura exagonal compacta, el berilo (Be), el magnesio (Mg); el titanio  $\alpha$  ( $Ti\alpha$ ); el cinc (Zn) y el circonio (Zr).

Aunque la mayoría de los metales elementales se encuadran en algunas de las tres estructuras vistas, algunos presentan estructuras menos comunes, tal como el uranio  $\alpha$  ( $U\alpha$ ) que cristaliza en el sistema ortorrómbico centrado en las bases.



## 9.2. CERAMICOS Y VIDRIOS

El aluminio (Al) es un metal común pero el óxido de aluminio compuesto de aluminio y oxígeno ( $Al_2 O_3$ ) es característico de una familia completamente distinta de materiales, esto son los materiales cerámicos.

El óxido de aluminio ( $Al_2 O_3$ ) tiene dos ventajas sobre el aluminio puro: es químicamente más estable en una gran variedad de ambientes agresivos en que el aluminio metálico puro se oxidaría; y en segundo lugar, el óxido de aluminio tiene una alta temperatura de fusión ( $2020^{\circ}C$  frente a  $660^{\circ}C$  del aluminio metálico) lo cual hace del cerámico un material refractario es decir muy resistente a las altas temperaturas (otra propiedad importante). Por eso se emplea el óxido de aluminio en la construcción de hornos industriales.

La propiedad más desfavorable de los cerámicos es su fragilidad. Este comportamiento frágil del material, lo elimina para el empleo en muchas aplicaciones estructurales. Sin embargo, los recientes desarrollos tecnológicos de los cerámicos están haciendo aumentar la utilización de los mismos en aplicaciones estructurales, no por eliminación de su inherente fragilidad, sino por el incremento de su resistencia mecánica a la fractura.

El óxido de aluminio ( $Al_2 O_3$ ) es un cerámico tradicional junto con otros tales como: óxido de magnesio ( $O Mg$ ); sílice ( $Si O_2$ ) (base de la familia de los silicatos) que incluye las arcillas y materiales arcillosos.

La mayoría de los cerámicos son compuestos químicos constituidos por al menos un elemento metálico y uno de los cinco elementos no metálicos: carbono (C); nitrógeno (N); oxígeno (O); fósforo (P) y azufre (S). La figura N° 10, muestra la enorme variedad de materiales cerámicos posibles de producir combinando metales con los cinco elementos no metálicos mencionados (en color más oscuro).

Muchos cerámicos incluyen compuestos con más de dos elementos al igual que los metales. Los cerámicos y los metales tienen una característica estructural similar a escala atómica: son cristalinos, es decir que los átomos que los constituyen están dispuestos y unidos según una distribución regular y repetitiva. Una diferencia entre los materiales cerámicos y metálicos es que los primeros, gracias a técnicas de procesado bastante simples, pueden fabricarse en forma "no cristalina", es decir con sus átomos dispuestos en forma irregular y aleatoria. Estos tipos de sólidos se denominan "vidrios".

La mayoría de los vidrios comunes son silicatos. Los vidrios de ventana comunes están compuestos por aproximadamente un 72% de sílice ( $SiO_2$ ), siendo el resto, principalmente óxido de sodio ( $Na_2O$ ) y óxido de calcio ( $CaO$ ).

Al igual que los cerámicos cristalinos, los vidrios son frágiles y su principal importancia en ingeniería radica en dos propiedades: a) permiten el paso de la luz y b) poseen inercia química, es decir son resistentes al ataque de compuestos químicos como ser los ácidos. En la figura N° 11 se ilustra un esquema comparativo de las estructuras a escala atómica de un cerámico cristalino con un cerámico no cristalino (vidrio). Los círculos blancos representan un átomo no metálico y los negros, un átomo metálico.



IA												II A		III A IV A V A VI A VII A						
1 H	2 He											3 Li	4 Be							
5 B	6 C	7 N	8 O	9 F																
11 Na	12 Mg	VIII										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl				
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br				
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I				
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At				
87 Fr	88 Ra	89 Ac																		
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu							
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw							

Figura N° 10 – Tabla Periódica en donde se indican los compuestos cerámicos formados por la combinación de uno o más elementos metálicos (sombreado claro) con uno o más elementos no metálicos (sombreado oscuro)

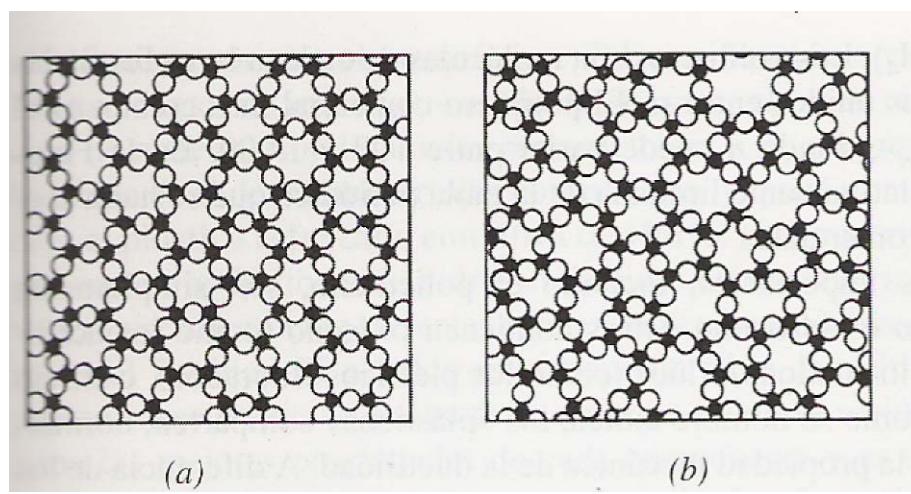


Figura N° 11: Estructuras a escala atómica. a) Cerámico tipo cristalina; b) Vidrios, tipo no cristalina

La gran variedad de composiciones químicas de los cerámicos, se refleja en sus estructuras cristalinas. No es posible dar una lista exhaustiva de las estructuras cristalinas cerámicas. Algunas de las más importantes se describen a continuación.



Cerámicos compuestos por un elemento metálico y un “no metálico” (v.g. cloruro de sodio: NaCl) poseen una estructura tipo doble cúbica centrada en las caras. Algunos óxidos cerámicos con la misma estructura son: MgO; CaO; FeO y el NiO.

El compuesto cerámico más importante es la sílice (SiO<sub>2</sub>). Este compuesto es muy abundante en la corteza terrestre. Aisladamente o en combinación con otros óxidos cerámicos (formando silicatos), representan una gran fracción de los materiales cerámicos utilizados en la ingeniería.

La estructura de la sílice no es simple. Existen muchas estructuras de la sílice, bajo diferentes condiciones de presión y temperatura. La característica general de todas las estructuras de sílice es la misma: una red de tetraedros conectados de forma continua.

Algunos de los cerámicos más importantes (v.g. sílice – SiO<sub>2</sub>), presentan un enlace fuerte del tipo iónico y covalente de forma simultánea.

### 9.3. POLIMEROS

Tienen gran impacto en la vida cotidiana. Su nombre alternativo genérico es el de "plásticos". La palabra "plásticos" describe la gran conformabilidad de muchos polímeros durante su fabricación. Constituyen una rama especial de la química orgánica. Se obtienen así extraordinaria variedad de productos baratos y funcionales.

El "monómero" en un polímero es una molécula individual de hidrocarburo como p.ejm. etileno (C<sub>2</sub> H<sub>4</sub>). Los polímeros son moléculas de cadena larga formadas por muchos monómeros unidos entre sí. El polímero comercial más común es el polietileno – (-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)<sub>n</sub> – en donde “n” puede variar entre 100 y 1000.

Los elementos que se hayan asociado a los polímeros son pocos: hidrógeno (H); carbono (C); nitrógeno (N); oxígeno (O); fluor (F); silicio (Si). En la figura N° 12 se observan los elementos de la Tabla Periódica que se hallan asociados a los polímeros.

Los polímeros se forman como sigue:

Polietileno: compuesto de carbono e hidrógeno.

Acrílicos: contienen oxígeno.

Nylon: contienen nitrógeno.

Plásticos fluorados: contienen flúor.

Siliconas: contienen silicio.

Comparado con los metales, los polímeros son dúctiles (propiedad compartida); tienen baja densidad; menor resistencia mecánica y menor temperatura de fusión. Comparado con los cerámicos y vidrios, los polímeros poseen mayor reactividad química.

A pesar de sus limitaciones son materiales muy útiles, versátiles y económicos. La tecnología a logrado plásticos resistentes y suficientemente rígidos como para reemplazar a los metales en algunos casos (v.g. paneles de carrocerías de automóviles)



IA																O																			
1	H	II A															2																		
3	Li	4	Be															He																	
11	Na	12	Mg															Ne																	
VIII																																			
19	K	20	Ca	21	Sg	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
55	Cs	56	Ba	57	La	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn
87	Fr	88	Ra	89	Ac																														
58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu								
90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lw								

Figura N° 12. Tabla Periódica. Elementos asociados con los polímeros (sombreados)

Los polímeros tienen un enlace atómico típico “covalente y secundario” de manera simultánea. Este carácter mixto se refiere a la existencia de enlaces de diferentes naturalezas en el mismo material. El enlace secundario, de naturaleza débil, en los polímeros es el responsable de que el material pierda su estructura rígida por encima de los 120 °C, aproximadamente.

#### 9.4. MATERIALES COMPUUESTOS

Se trata de materiales que son combinaciones de materiales individuales pertenecientes a las categorías de: metales; cerámicos y polímeros. Los constituyentes de los materiales compuestos conservan su identidad química. Uno de los mejores ejemplos de materiales compuestos lo constituye Plástico reforzado con fibras de vidrio: una serie de fibras de vidrio embebidas en una matriz polimérica. Reúne lo mejor de sus dos componentes y resulta un producto superior a cualquiera de sus dos componentes por separado.

Virtualmente todos los elementos de la Tabla Periódica se pueden combinar para formar materiales compuestos, salvo los gases nobles (columna O)

Los materiales compuestos poseen enlaces atómicos característicos de sus materiales constituyentes.

Ejemplos de otros materiales compuestos:

Madera: típico material natural compuesto por fibras de celulosa embebidas en una matriz de lignina.

Hormigón: material compuesto granular en donde la arena y grava refuerzan una matriz compleja de cemento de silicatos.

El campo de los materiales compuestos incluye algunos de los materiales más avanzados que se utilizan en ingeniería.



## 9.5. SEMICONDUCTORES

Son materiales relativamente "invisibles" pero de alto impacto social. Un grupo pequeño de elementos y compuestos tienen una importante propiedad eléctrica: la "semiconducción", esto es: no son ni buenos conductores de la electricidad ni son buenos dieléctricos. No entran dentro de las cuatro categorías vistas basadas en el enlace atómico.

Los tres elementos semiconductores son: silice (Si); germanio (Ge) y estaño (Sn). También existen algunos compuestos semiconductores: sulfuro de cadmio (Cd S) y arseniuro de galio (Ga As). El Cd S se emplea en células solares de bajo costo para transformar energía solar en energía eléctrica. El Ga As se emplea como rectificador para altas temperaturas y en la fabricación de cristales laser.

A medida de que se han ido desarrollando técnicas para producir variaciones en la pureza química en zonas muy pequeñas, se han podido producir complicados circuitos electrónicos en superficies diminutas. Estos microcircuitos son la base de la actual revolución en la tecnología.

Los elementos sombreados en la tabla periódica de la figura Nº 13, forman elementos semiconductores. Los distintos compuestos obtenidos a partir de estos elementos muestran similitudes con muchos compuestos cerámicos. Con adiciones apropiadas, alguno cerámicos pueden presentar un comportamiento semiconductor como por ejemplo el óxido de zinc (ZnO) que se emplea como fósforo en las pantallas de televisores en color.

El tipo de enlace atómico de los semiconductores es de manera predominante de naturaleza covalente, aunque algunos compuestos semiconductores tienen un enlace de fuerte carácter iónico.

IA		TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS														O																																											
1	H	II A																2	He																																								
3	Li	4	Be															5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																														
11	Na	12	Mg	III B		IV B		V B		VI B		VII B		VIII		I B		II B		13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																												
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr																								
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Pd	46	Ag	47	Cd	48	In	49	Sn	50	Sb	51	Te	52	I	53	Xe	54		55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	Fr	Ra	Ac
58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw				

Figura Nº 13 – Tabla Periódica. Se han sombreado más oscuros los elementos semiconductores y en un tono más claro, los elementos que forman compuestos semiconductores



---

## 10. CLASIFICACION DE LOS MATERIALES DESDE EL PUNTO DE VISTA INGENIERIL

Otra forma de clasificación de los materiales desde el punto de vista ingenieril, es por su género. De esta forma se tienen:

- ❖ Pétreos naturales (rocas naturales)
- ❖ Pétreos artificiales (cerámicos y vítreos)
- ❖ Aglomerantes (cementos, cales, asfaltos, etc.)
- ❖ Aglomerados (bloques, baldosas, hormigón, etc.)
- ❖ Metálicos (hierro, plomo, aluminio, etc.)
- ❖ Orgánicos (maderas, corchos, etc.)
- ❖ Plásticos (polietileno, poliestireno, epoxi, etc.)
- ❖ Sintéticos (pinturas, barnices, etc.)

En las obras de ingeniería civil se emplean casi todos los materiales descritos en esta última lista.

## 11. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

El conocimiento de las propiedades de los materiales, permite seleccionar los mismos para un uso determinado. Luego, una vez decidido cual es el material a emplear, es necesario dimensionar los diferentes elementos estructurales y nuevamente debemos conocer las propiedades del mismo que hacen a su comportamiento mecánico.

En términos generales, las propiedades de los materiales se pueden agrupar como sigue, haciendo notar que este listado no es limitativo.

**Propiedades mecánicas:** resistencia; fragilidad; ductilidad; maleabilidad; tenacidad; resiliencia

**Propiedades físicas:** forma; textura; densidad; peso unitario; porosidad; humedad; finura; color; etc.

**Propiedades eléctricas:** conductividad eléctrica;

**Propiedades térmicas:** conductividad del calor

**Propiedades ópticas:** fluorescencia; luminiscencia; refracción; etc.

**Propiedades químicas:** composición; estructura;

Explicamos a continuación algunos conceptos sobre las propiedades mencionadas.

**Resistencia mecánica:** facultad de soportar cargas o esfuerzos exteriores sin romperse. Los esfuerzos exteriores típicos son: tracción; compresión; corte; flexión; torsión; impacto; punzonado.

**Fragilidad:** cuando se rompen en su período elástico o con muy poca deformación plástica. Rotura brusca.



Ductilidad: Presenta gran deformación plástica originada por esfuerzos de tracción. El material se alarga o estira. Desde el punto de vista tecnológico es la propiedad de poder ser transformado en alambres o hilos (trefilado).

Maleabilidad: Presenta gran deformación plástica originada por esfuerzos de compresión. Desde el punto de vista tecnológico es la propiedad de dejarse extender hasta adoptar la forma de chapas, planchuelas etc.

Tenacidad: Propiedad de absorber energía. Trabajo absorbido por el material en su proceso de deformación hasta la rotura. La tenacidad será más alta cuando mayor sea su resistencia y capacidad de deformación plástica.

Resiliencia: Propiedad que hace que el material se comporte como un resorte. Cuando la carga aplicada no excede el período elástico del material, la energía acumulada es devuelta por el mismo al cesar la fuerza.

Conductividad eléctrica: Un material la posee cuando no ofrece dificultad o resistencia al paso de la corriente eléctrica.

Conductividad térmica: Un material la posee cuando no ofrece dificultad o resistencia al paso del calor.

## 12. ENSAYOS DE LOS MATERIALES

Con el objeto de conocer el comportamiento de los materiales frente a las solicitudes (esfuerzos) externos a los que se verán sometidos durante su uso, se realizan diversos ensayos sobre los mismos, procurando que estos ensayos se realicen en condiciones análogas a las reales.

Los ensayos se diseñan teniendo en cuenta aspectos como:

- ❖ Tipo de solicitud (tracción; compresión; flexión; torsión; corte; punzonado; etc)
- ❖ Tipo de carga (estática o dinámica)
- ❖ Tiempo de aplicación de la carga
- ❖ Velocidad de aplicación de la carga (lenta; súbita o repentina; etc)
- ❖ Repetibilidad de la carga ( Constante; cíclica; etc)

Atendiendo a estas variables, existen diferentes tipos de ensayos mecánicos que se describen a continuación.

### 12.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS FÍSICOS - MECÁNICOS

#### a) Ensayos estáticos

Se caracterizan por que la carga se aplica de manera lenta y progresiva, hasta que la rotura del material sobreviene en el lapso de pocos minutos.

Los principales ensayos de este tipo son:

- Compresión



- Tracción
- Flexión
- Torsión
- Corte

**b) Ensayos dinámicos o de choque**

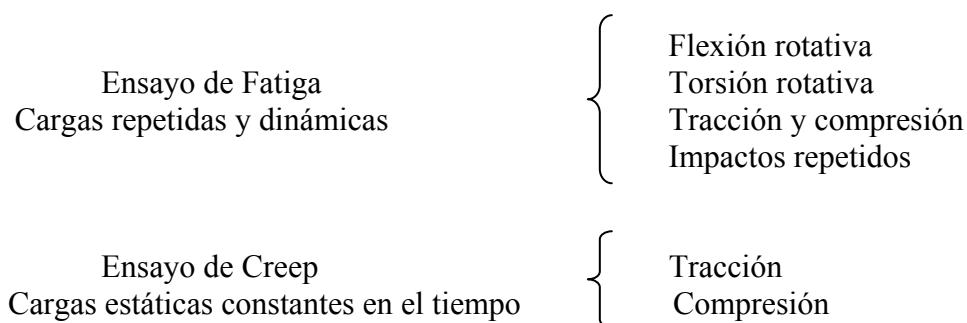
En este caso, las cargas se aplican de manera instantánea (impacto) y la rotura del material también es instantánea.

Los principales ensayos de este tipo son:

- Flexión
- Tracción
- Torsión

**c) Ensayos de duración**

En este tipo, las cargas pueden ser de naturaleza dinámica o estática, pero el tiempo de aplicación de las mismas es prolongado (días, semanas o meses).



## 12.2. OTROS ENSAYOS FÍSICOS O MECÁNICOS

También se realizan otros ensayos físicos o mecánicos para conocer ciertas propiedades importantes de los materiales.

Estos ensayos son:

- Dureza
- Peso específico
- Contenido de humedad porcentual
- Tiempo de fraguado
- Distribución granulométrica
- Etc.



### 13. ENSAYOS TÍPICOS SEGÚN EL MATERIAL

Cada tipo o clase de material es sometido con frecuencia a determinados ensayos típicos, vinculados fundamentalmente a la forma de trabajar de los mismos, o lo que es lo mismo, al tipo de solicitud al que está expuesto.

Por lo general, los ensayos se realizan sobre probetas que son “muestras” representativas extraídas o tomadas del stock o acopio. En pocos casos los ensayos se realizan sobre el elemento estructural componente de la obra.

Los principales materiales de uso en las obras de ingeniería se someten a los ensayos que se describen a continuación:

- Acero: Ensayo de tracción sobre probetas o sobre trozos de barras comerciales
- Hormigón: Ensayo de compresión sobre probetas moldeadas o probetas caladas (menos frecuente)
- Maderas: Ensayos de flexión; % de humedad
- Agregados pétreos: granulometría; peso específico; % de humedad; otros
- Cemento pórtland: tiempo de fraguado; finura; resistencia a compresión sobre probetas moldeadas

### 14.- SELECCION DEL MATERIAL MÁS ADECUADO

Conocidos los materiales disponibles y sus propiedades principales, se plantea la pregunta: ¿qué material es más adecuado para una determinada aplicación?

De hecho, es necesario tomar dos decisiones fundamentales por separado. La primera tiene que ver con el tipo general de material a emplear, por ejemplo: un metal; un plástico; un cerámico; un material compuesto. La segunda decisión se refiere al material específico dentro de la categoría general seleccionada. Por ejemplo si la elección general fue el metal, la segunda decisión se refiere al tipo de metal: aleación de hierro; aleación de aluminio; etc.

Los materiales estructurales vistos tienen distinto grado de competencia que ayudan a decidir la selección, por ejemplo la resistencia mecánica frente a determinados tipos de esfuerzos puede ser un poderoso factor de decisión. En otros casos, puede prevalecer el “peso” del material; en otros, a igualdad de propiedades mecánicas, el “costo” es un fuerte factor de decisión.

La práctica constructiva a consagrado el uso de ciertos materiales para las diferentes construcciones. En el caso de la ingeniería civil, en nuestro País, el material compuesto “hormigón armado” es el típico para emplear en la construcción de las estructuras de edificios, puentes, etc.

Córdoba, Marzo de 2008

*Ingeniero Civil Ricardo R. Rissi*

### 15.- BIBLIOGRAFÍA:

1) INTRODUCCION A LA CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIEROS

James E. Shackelford y Alfredo Guemes

2) LABORATORIO DE ENSAYOS INDUSTRIALES

González Arias – Palazón