



## **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 sustancia, 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  $C_{12}$  (carbono 12) posee seis protones y seis neutrones en su núcleo y su masa es: masa  $C_{12} = 12 \times 1,67 \times 10^{-24}$  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.

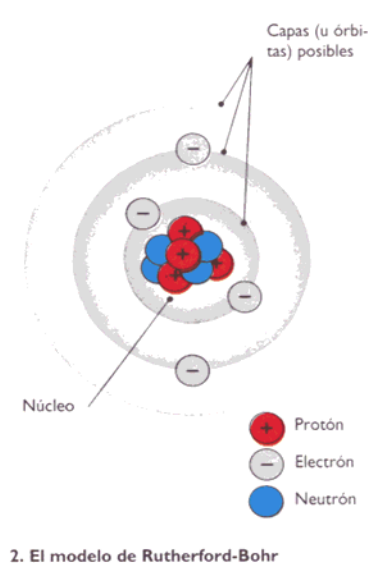


Fig. N° 1

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 ( $\text{CFe}_3$ ); sulfato de cobre ( $\text{SO}_4\text{Cu}$ ).

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 N° 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

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.

CLAVE

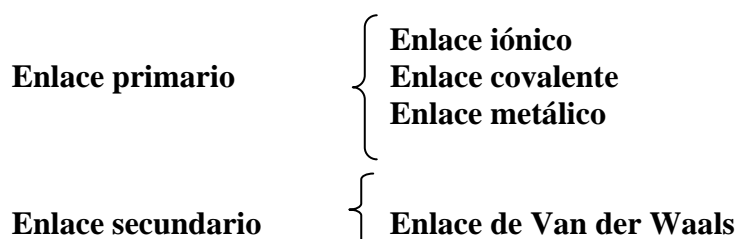
Metales alcalinos	Metales alcalinotérreos	Metales pobres
Metales de transición	Seminetales	Metales nobles
Tierras raras	No metales	Gases nobles
Tierras raras radioactivas	Hidrógeno (no pertenece a ningún grupo)	

1 H Hidrógeno 1	2 He Helio 4	3 Li Litio 7	4 Be Berilio 9	5 B Boro 11	6 C Carbono 12	7 N Nitrógeno 14	8 O Oxígeno 16	9 F Fluor 19	10 Ne Neón 20	11 Na Sodio 23	12 Mg Magnesio 24	13 Al Aluminio 27	14 Si Silicio 28	15 P Fósforo 31	16 S Azufre 32	17 Cl Cloro 35	18 Ar Argón 40	19 K Potasio 39	20 Ca Calcio 40	21 Sc Escandio 45	22 Ti Titanio 48	23 V Vanadio 51	24 Cr Cromo 52	25 Mn Manganeso 55	26 Fe Hierro 56	27 Co Cobalto 59	28 Ni Níquel 58	29 Cu Cobre 63	30 Zn Zinc 64	31 Ga Gallio 69	32 Ge Germanio 74	33 As Arsénico 75	34 Se Selenio 80	35 Br Bromo 79	36 Kr Criptón 84	37 Rb Rubidio 85	38 Sr Estroncio 88	39 Y Itrio 89	40 Zr Zirconio 90	41 Nb Níobio 93	42 Mo Molibdeno 98	43 Tc Tecnecio 97	44 Ru Rutenio 102	45 Rh Rodio 103	46 Pd Paladio 106	47 Ag Plata 107	48 Cd Cadmio 114	49 In Indio 115	50 Sn Estanho 120	51 Sb Antimonio 121	52 Te Telurio 130	53 I Yodo 127	54 Xe Xenón 132	55 Cs Cesio 133	56 Ba Bario 138	57-71 Lantano 139	72 Hf Hafnio 180	73 Ta Tantalio 181	74 W Tungsteno 184	75 Re Renio 187	76 Os Osmio 192	77 Ir Iridio 193	78 Pt Platino 195	79 Au Oro 197	80 Hg Mercurio 202	81 Tl Talio 205	82 Pb Plomo 208	83 Bi Bismuto 209	84 Po Polonio 209	85 At Astatio 210	86 Rn Radón 222	87 Fr Francio 223	88 Ra Radio 226	89-103 Actínidos 227	104 Unq Unilquadio 260	105 Unp Unipentio 262	106 Unh Unihexio 263	107 Uns Unisepio 262	108 Uno Unioctio 265	109 Une Unenecio 266	110 Dh Darmstadtio 271	111 Ds Darmstadtio 271	112 Nh Nihilio 270	113 Nh Nihilio 270	114 Nh Nihilio 270	115 Nh Nihilio 270	116 Nh Nihilio 270	117 Nh Nihilio 270	118 Nh Nihilio 270	119 Nh Nihilio 270	120 Nh Nihilio 270	121 Nh Nihilio 270	122 Nh Nihilio 270	123 Nh Nihilio 270	124 Nh Nihilio 270	125 Nh Nihilio 270	126 Nh Nihilio 270	127 Nh Nihilio 270	128 Nh Nihilio 270	129 Nh Nihilio 270	130 Nh Nihilio 270	131 Nh Nihilio 270	132 Nh Nihilio 270	133 Nh Nihilio 270	134 Nh Nihilio 270	135 Nh Nihilio 270	136 Nh Nihilio 270	137 Nh Nihilio 270	138 Nh Nihilio 270	139 Nh Nihilio 270	140 Nh Nihilio 270	141 Nh Nihilio 270	142 Nh Nihilio 270	143 Nh Nihilio 270	144 Nh Nihilio 270	145 Nh Nihilio 270	146 Nh Nihilio 270	147 Nh Nihilio 270	148 Nh Nihilio 270	149 Nh Nihilio 270	150 Nh Nihilio 270	151 Nh Nihilio 270	152 Nh Nihilio 270	153 Nh Nihilio 270	154 Nh Nihilio 270	155 Nh Nihilio 270	156 Nh Nihilio 270	157 Nh Nihilio 270	158 Nh Nihilio 270	159 Nh Nihilio 270	160 Nh Nihilio 270	161 Nh Nihilio 270	162 Nh Nihilio 270	163 Nh Nihilio 270	164 Nh Nihilio 270	165 Nh Nihilio 270	166 Nh Nihilio 270	167 Nh Nihilio 270	168 Nh Nihilio 270	169 Nh Nihilio 270	170 Nh Nihilio 270	171 Nh Nihilio 270	172 Nh Nihilio 270	173 Nh Nihilio 270	174 Nh Nihilio 270	175 Nh Nihilio 270	176 Nh Nihilio 270	177 Nh Nihilio 270	178 Nh Nihilio 270	179 Nh Nihilio 270	180 Nh Nihilio 270	181 Nh Nihilio 270	182 Nh Nihilio 270	183 Nh Nihilio 270	184 Nh Nihilio 270	185 Nh Nihilio 270	186 Nh Nihilio 270	187 Nh Nihilio 270	188 Nh Nihilio 270	189 Nh Nihilio 270	190 Nh Nihilio 270	191 Nh Nihilio 270	192 Nh Nihilio 270	193 Nh Nihilio 270	194 Nh Nihilio 270	195 Nh Nihilio 270	196 Nh Nihilio 270	197 Nh Nihilio 270	198 Nh Nihilio 270	199 Nh Nihilio 270	200 Nh Nihilio 270	201 Nh Nihilio 270	202 Nh Nihilio 270	203 Nh Nihilio 270	204 Nh Nihilio 270	205 Nh Nihilio 270	206 Nh Nihilio 270	207 Nh Nihilio 270	208 Nh Nihilio 270	209 Nh Nihilio 270	210 Nh Nihilio 270	211 Nh Nihilio 270	212 Nh Nihilio 270	213 Nh Nihilio 270	214 Nh Nihilio 270	215 Nh Nihilio 270	216 Nh Nihilio 270	217 Nh Nihilio 270	218 Nh Nihilio 270	219 Nh Nihilio 270	220 Nh Nihilio 270	221 Nh Nihilio 270	222 Nh Nihilio 270	223 Nh Nihilio 270	224 Nh Nihilio 270	225 Nh Nihilio 270	226 Nh Nihilio 270	227 Nh Nihilio 270	228 Nh Nihilio 270	229 Nh Nihilio 270	230 Nh Nihilio 270	231 Nh Nihilio 270	232 Nh Nihilio 270	233 Nh Nihilio 270	234 Nh Nihilio 270	235 Nh Nihilio 270	236 Nh Nihilio 270	237 Nh Nihilio 270	238 Nh Nihilio 270	239 Nh Nihilio 270	240 Nh Nihilio 270	241 Nh Nihilio 270	242 Nh Nihilio 270	243 Nh Nihilio 270	244 Nh Nihilio 270	245 Nh Nihilio 270	246 Nh Nihilio 270	247 Nh Nihilio 270	248 Nh Nihilio 270	249 Nh Nihilio 270	250 Nh Nihilio 270	251 Nh Nihilio 270	252 Nh Nihilio 270	253 Nh Nihilio 270	254 Nh Nihilio 270	255 Nh Nihilio 270	256 Nh Nihilio 270	257 Nh Nihilio 270	258 Nh Nihilio 270	259 Nh Nihilio 270	260 Nh Nihilio 270	261 Nh Nihilio 270	262 Nh Nihilio 270	263 Nh Nihilio 270	264 Nh Nihilio 270	265 Nh Nihilio 270	266 Nh Nihilio 270	267 Nh Nihilio 270	268 Nh Nihilio 270	269 Nh Nihilio 270	270 Nh Nihilio 270	271 Nh Nihilio 270	272 Nh Nihilio 270	273 Nh Nihilio 270	274 Nh Nihilio 270	275 Nh Nihilio 270	276 Nh Nihilio 270	277 Nh Nihilio 270	278 Nh Nihilio 270	279 Nh Nihilio 270	280 Nh Nihilio 270	281 Nh Nihilio 270	282 Nh Nihilio 270	283 Nh Nihilio 270	284 Nh Nihilio 270	285 Nh Nihilio 270	286 Nh Nihilio 270	287 Nh Nihilio 270	288 Nh Nihilio 270	289 Nh Nihilio 270	290 Nh Nihilio 270	291 Nh Nihilio 270	292 Nh Nihilio 270	293 Nh Nihilio 270	294 Nh Nihilio 270	295 Nh Nihilio 270	296 Nh Nihilio 270	297 Nh Nihilio 270	298 Nh Nihilio 270	299 Nh Nihilio 270	300 Nh Nihilio 270	301 Nh Nihilio 270	302 Nh Nihilio 270	303 Nh Nihilio 270	304 Nh Nihilio 270	305 Nh Nihilio 270	306 Nh Nihilio 270	307 Nh Nihilio 270	308 Nh Nihilio 270	309 Nh Nihilio 270	310 Nh Nihilio 270	311 Nh Nihilio 270	312 Nh Nihilio 270	313 Nh Nihilio 270	314 Nh Nihilio 270	315 Nh Nihilio 270	316 Nh Nihilio 270	317 Nh Nihilio 270	318 Nh Nihilio 270	319 Nh Nihilio 270	320 Nh Nihilio 270	321 Nh Nihilio 270	322 Nh Nihilio 270	323 Nh Nihilio 270	324 Nh Nihilio 270	325 Nh Nihilio 270	326 Nh Nihilio 270	327 Nh Nihilio 270	328 Nh Nihilio 270	329 Nh Nihilio 270	330 Nh Nihilio 270	331 Nh Nihilio 270	332 Nh Nihilio 270	333 Nh Nihilio 270	334 Nh Nihilio 270	335 Nh Nihilio 270	336 Nh Nihilio 270	337 Nh Nihilio 270	338 Nh Nihilio 270	339 Nh Nihilio 270	340 Nh Nihilio 270	341 Nh Nihilio 270	342 Nh Nihilio 270	343 Nh Nihilio 270	344 Nh Nihilio 270	345 Nh Nihilio 270	346 Nh Nihilio 270	347 Nh Nihilio 270	348 Nh Nihilio 270	349 Nh Nihilio 270	350 Nh Nihilio 270	351 Nh Nihilio 270	352 Nh Nihilio 270	353 Nh Nihilio 270	354 Nh Nihilio 270	355 Nh Nihilio 270	356 Nh Nihilio 270	357 Nh Nihilio 270	358 Nh Nihilio 270	359 Nh Nihilio 270	360 Nh Nihilio 270	361 Nh Nihilio 270	362 Nh Nihilio 270	363 Nh Nihilio 270	364 Nh Nihilio 270	365 Nh Nihilio 270	366 Nh Nihilio 270	367 Nh Nihilio 270	368 Nh Nihilio 270	369 Nh Nihilio 270	370 Nh Nihilio 270	371 Nh Nihilio 270	372 Nh Nihilio 270	373 Nh Nihilio 270	374 Nh Nihilio 270	375 Nh Nihilio 270	376 Nh Nihilio 270	377 Nh Nihilio 270	378 Nh Nihilio 270	379 Nh Nihilio 270	380 Nh Nihilio 270	381 Nh Nihilio 270	382 Nh Nihilio 270	383 Nh Nihilio 270	384 Nh Nihilio 270	385 Nh Nihilio 270	386 Nh Nihilio 270	387 Nh Nihilio 270	388 Nh Nihilio 270	389 Nh Nihilio 270	390 Nh Nihilio 270	391 Nh Nihilio 270	392 Nh Nihilio 270	393 Nh Nihilio 270	394 Nh Nihilio 270	395 Nh Nihilio 270	396 Nh Nihilio 270	397 Nh Nihilio 270	398 Nh Nihilio 270	399 Nh Nihilio 270	400 Nh Nihilio 270	401 Nh Nihilio 270	402 Nh Nihilio 270	403 Nh Nihilio 270	404 Nh Nihilio 270	405 Nh Nihilio 270	406 Nh Nihilio 270	407 Nh Nihilio 270	408 Nh Nihilio 270	409 Nh Nihilio 270	410 Nh Nihilio 270	411 Nh Nihilio 270	412 Nh Nihilio 270	413 Nh Nihilio 270	414 Nh Nihilio 270	415 Nh Nihilio 270	416 Nh Nihilio 270	417 Nh Nihilio 270	418 Nh Nihilio 270	419 Nh Nihilio 270	420 Nh Nihilio 270	421 Nh Nihilio 270	422 Nh Nihilio 270	423 Nh Nihilio 270	424 Nh Nihilio 270	425 Nh Nihilio 270	426 Nh Nihilio 270	427 Nh Nihilio 270	428 Nh Nihilio 270	429 Nh Nihilio 270	430 Nh Nihilio 270	431 Nh Nihilio 270	432 Nh Nihilio 270	433 Nh Nihilio 270	434 Nh Nihilio 270	435 Nh Nihilio 270	436 Nh Nihilio 270	437 Nh Nihilio 270	438 Nh Nihilio 270	439 Nh Nihilio 270	440 Nh Nihilio 270	441 Nh Nihilio 270	442 Nh Nihilio 270	443 Nh Nihilio 270	444 Nh Nihilio 270	445 Nh Nihilio 270	446 Nh Nihilio 270	447 Nh Nihilio 270	448 Nh Nihilio 270	449 Nh Nihilio 270	450 Nh Nihilio 270	451 Nh Nihilio 270	452 Nh Nihilio 270	453 Nh Nihilio 270	454 Nh Nihilio 270	455 Nh Nihilio 270	456 Nh Nihilio 270	457 Nh Nihilio 270	458 Nh Nihilio 270	459 Nh Nihilio 270	460 Nh Nihilio 270	461 Nh Nihilio 270	462 Nh Nihilio 270	463 Nh Nihilio 270	464 Nh Nihilio 270	465 Nh Nihilio 270	466 Nh Nihilio 270	467 Nh Nihilio 270	468 Nh Nihilio 270	469 Nh Nihilio 270	470 Nh Nihilio 270	471 Nh Nihilio 270	472 Nh Nihilio 270	473 Nh Nihilio 270	474 Nh Nihilio 270	475 Nh Nihilio 270	476 Nh Nihilio 270	477 Nh Nihilio 270	478 Nh Nihilio 270	479 Nh Nihilio 270	480 Nh Nihilio 270	481 Nh Nihilio 270	482 Nh Nihilio 270	483 Nh Nihilio 270	484 Nh Nihilio 270	485 Nh Nihilio 270	486 Nh Nihilio 270	487 Nh Nihilio 270	488 Nh Nihilio 270	489 Nh Nihilio 270	490 Nh Nihilio 270	491 Nh Nihilio 270	492 Nh Nihilio 270	493 Nh Nihilio 270	494 Nh Nihilio 270	495 Nh Nihilio 270	496 Nh Nihilio 270	497 Nh Nihilio 270	498 Nh Nihilio 270	499 Nh Nihilio 270	500 Nh Nihilio 270	501 Nh Nihilio 270	502 Nh Nihilio 270	503 Nh Nihilio 270	504 Nh Nihilio 270	505 Nh Nihilio 270	506 Nh Nihilio 270	507 Nh Nihilio 270	508 Nh Nihilio 270	509 Nh Nihilio 270	510 Nh Nihilio 270	511 Nh Nihilio 270	512 Nh Nihilio 270	513 Nh Nihilio 270	514 Nh Nihilio 270	515 Nh Nihilio 270	516 Nh Nihilio 270	517 Nh Nihilio 270	518 Nh Nihilio 270	519 Nh Nihilio 270	520 Nh Nihilio 270	521 Nh Nihilio 270	522 Nh Nihilio 270	523 Nh Nihilio 270	524 Nh Nihilio 270	525 Nh Nihilio 270	526 Nh Nihilio 270	527 Nh Nihilio 270	528 Nh Nihilio 270	529 Nh Nihilio 270	530 Nh Nihilio 270	531 Nh Nihilio 270	532 Nh Nihilio 270	533 Nh Nihilio 270	534 Nh Nihilio 270	535 Nh Nihilio 270	536 Nh Nihilio 270	537 Nh Nihilio 270	538 Nh Nihilio 270	539 Nh Nihilio 270	540 Nh Nihilio 270	541 Nh Nihilio 270	542 Nh Nihilio 270	543 Nh Nihilio 270	544 Nh Nihilio 270	545 Nh Nihilio 270	546 Nh Nihilio 270	547 Nh Nihilio 270	548 Nh Nihilio 270	549 Nh Nihilio 270	550 Nh Nihilio 270	551 Nh Nihilio 270	552 Nh Nihilio 270	553 Nh Nihilio 270	554 Nh Nihilio 270	555 Nh Nihilio 270	556 Nh Nihilio 270	557 Nh Nihilio 270	558 Nh Nihilio 270	559 Nh Nihilio 270	560 Nh Nihilio 270	561 Nh Nihilio 270	562 Nh Nihilio 270	563 Nh Nihilio 270	564 Nh Nihilio 270	565 Nh Nihilio 270	566 Nh Nihilio 270	567 Nh Nihilio 270	568 Nh Nihilio 270	569 Nh Nihilio 270	570 Nh Nihilio 270	571 Nh Nihilio 270	572 Nh Nihilio 270	573 Nh Nihilio 270	574 Nh Nihilio 270	575 Nh Nihilio 270	576 Nh Nihilio 270	577 Nh Nihilio 270	578 Nh Nihilio 270	579 Nh Nihilio 270	580 Nh Nihilio 270	581 Nh Nihilio 270	582 Nh Nihilio 270	583 Nh Nihilio 270	584 Nh Nihilio 270	585 Nh Nihilio 270	586 Nh Nihilio 270	587 Nh Nihilio 270	588 Nh Nihilio 270	589 Nh Nihilio 270	590 Nh Nihilio 270	591 Nh Nihilio 270	592 Nh Nihilio 270	593 Nh Nihilio 270	594 Nh Nihilio 270	595 Nh Nihilio 270	596 Nh Nihilio 270	597 Nh Nihilio 270	598 Nh Nihilio 270	599 Nh Nihilio 270	600 Nh Nihilio 270	601 Nh Nihilio 270	602 Nh Nihilio 270	603 Nh Nihilio 270	604 Nh Nihilio 270	605 Nh Nihilio 270	606 Nh Nihilio 270	607 Nh Nihilio 270	608 Nh Nihilio 270	609 Nh Nihilio 270	610 Nh N
--------------------------	-----------------------	-----------------------	-------------------------	----------------------	-------------------------	---------------------------	-------------------------	-----------------------	------------------------	-------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------	-----------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------	------------------------	----------------------------	--------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	--------------------------	----------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------------	------------------------------	----------------------------	------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	----------------------------	------------------------	-----------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	--------------------------	----------------------------	--------------------------	----------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------



## 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.

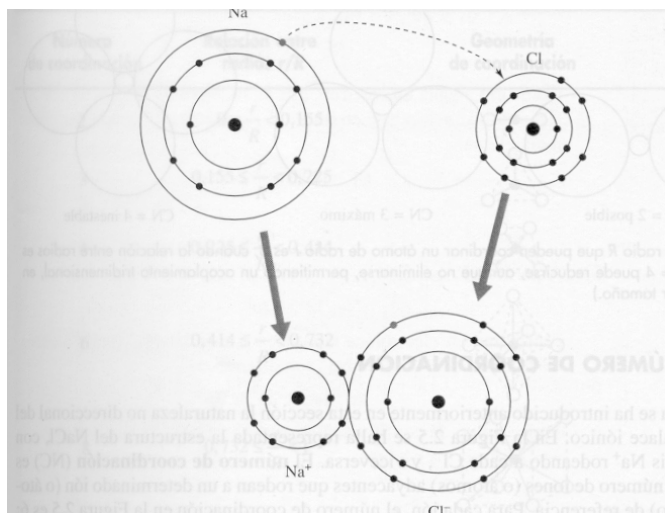


Figura N° 3 (a) y (b)





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.

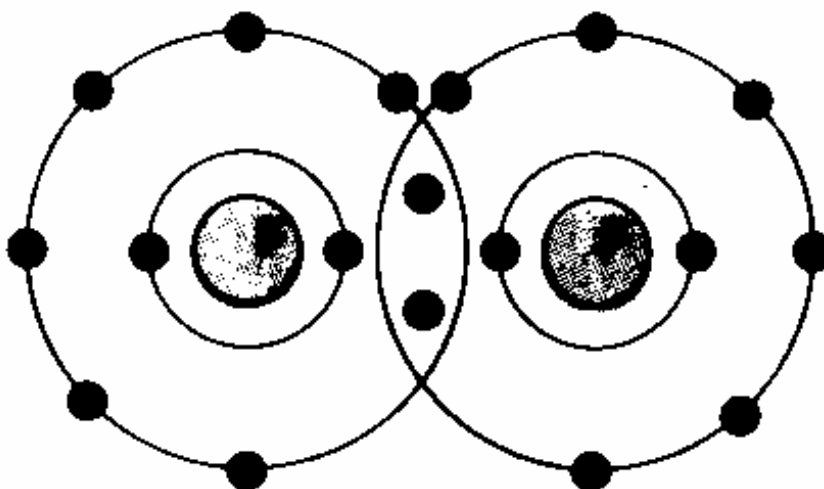


Figura N° 4- Enlace covalente. Modelo planetario



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 sí 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 METÁLICO**

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; monoclinico 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; triclínica.

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)

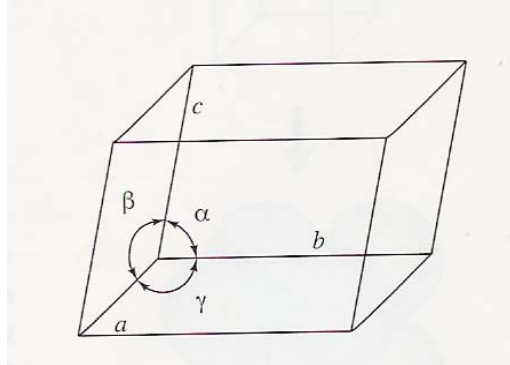


Figura N° 5 – Geometría de una celda unidad general

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 rellenen 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.



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

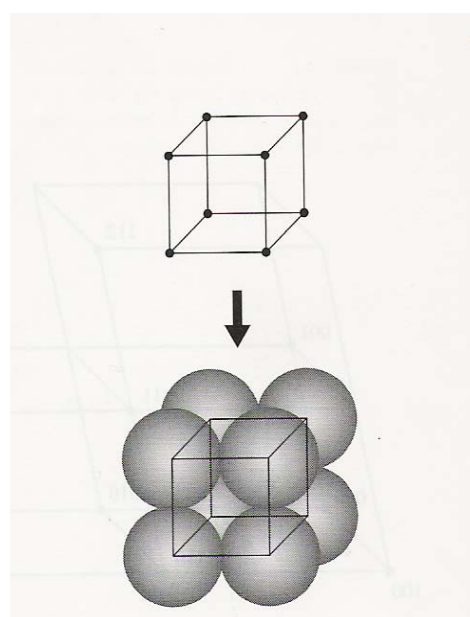


Figura N° 7 – Cristal cúbico simple

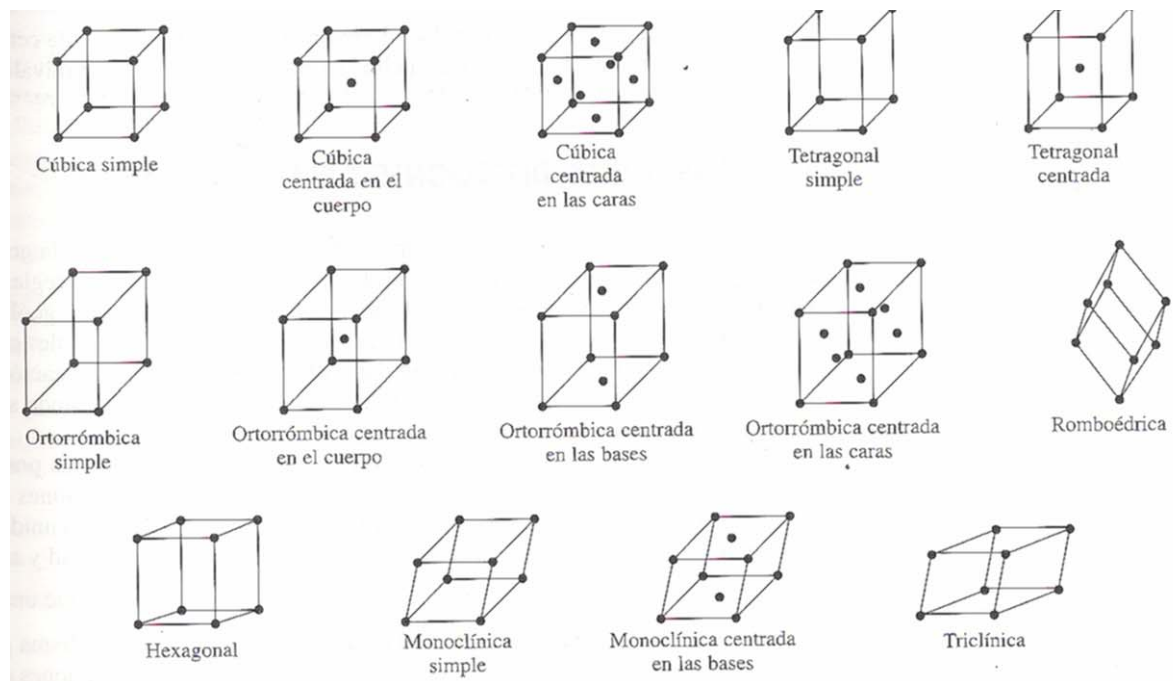


Figura N° 8 – Las Catorce Redes Cristalinas de Bravais

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 solicitaciones 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																		2					
H	II A																	III A	IV A	V A	VI A	VII A	He
3	4																	5	6	7	8	9	10
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
11	12																	13	14	15	16	17	18
Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII				I B	II B	Al	Si	P	S	Cl	Ar					
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36						
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86						
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
87	88	89																					
Fr	Ra	Ac																					

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	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 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 bronce 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, tendrán 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 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) es característico de una familia completamente distinta de materiales, esto son los materiales cerámicos.

El óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 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 ( $2020^\circ\text{C}$  frente a  $660^\circ\text{C}$  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 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) es un cerámico tradicional junto con otros tales como: óxido de magnesio ( $\text{O Mg}$ ); sílice ( $\text{Si O}_2$ ) (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 procesamiento bastantes 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 ( $\text{SiO}_2$ ), siendo el resto, principalmente óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ).

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.



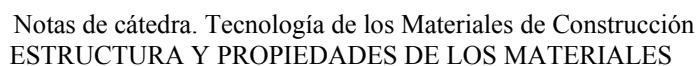
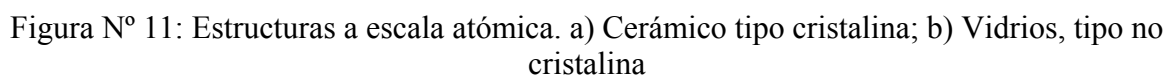


Figura N° 10 – Tabla Periódica en donde se indican los compuestos cerámicos formados por la combinación de uno o más elementos metálicos (sombreado claro) con uno o más elementos no metálicos (sombreado oscuro)



---

15





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)



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

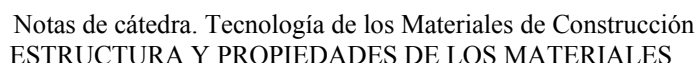
## 9.4. MATERIALES COMPUESTOS

Virtualmente todos los elementos de la Tabla Periódica se pueden combinar para formar materiales compuestos, salvo los gases nobles (columna 0)

Ejemplos de otros materiales compuestos:

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.



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.

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.

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.

Figura N° 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 sollicitaciones (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 sollicitación (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).

Ensayo de Fatiga Cargas repetidas y dinámicas	{ Flexión rotativa Torsión rotativa Tracción y compresión Impactos repetidos
Ensayo de Creep Cargas estáticas constantes en el tiempo	{ Tracción Compresión

## 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 sollicitación 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 ha 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