



## 2.7 ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES.

### 2.7.1 ESTADO SÓLIDO (CRISTALINO).

La presencia del estado sólido en la materia que nos rodea es constante. El arreglo de sus moléculas o iones es uniforme.

En los gases y en los líquidos, las moléculas se desplazan de manera continua y aleatoria, y además giran y vibran. Debido a este movimiento no es posible que haya un arreglo ordenado de las moléculas en el estado líquido o gaseoso.

Sin embargo, en los sólidos, las moléculas, átomos o iones no pueden moverse (aunque vibran y ocasionalmente rotan). De este modo, aparece un patrón regular y representativo de átomos o moléculas en su estructura (un orden de largo rango) que es característico del estado sólido.

La mayor parte de la materia sólida muestra una disposición ordenada de átomos. La hermosa regularidad externa (macroscópica) de un cristal de sal sugiere simetría interna y que ésta incluye los iones que constituyen el sólido.

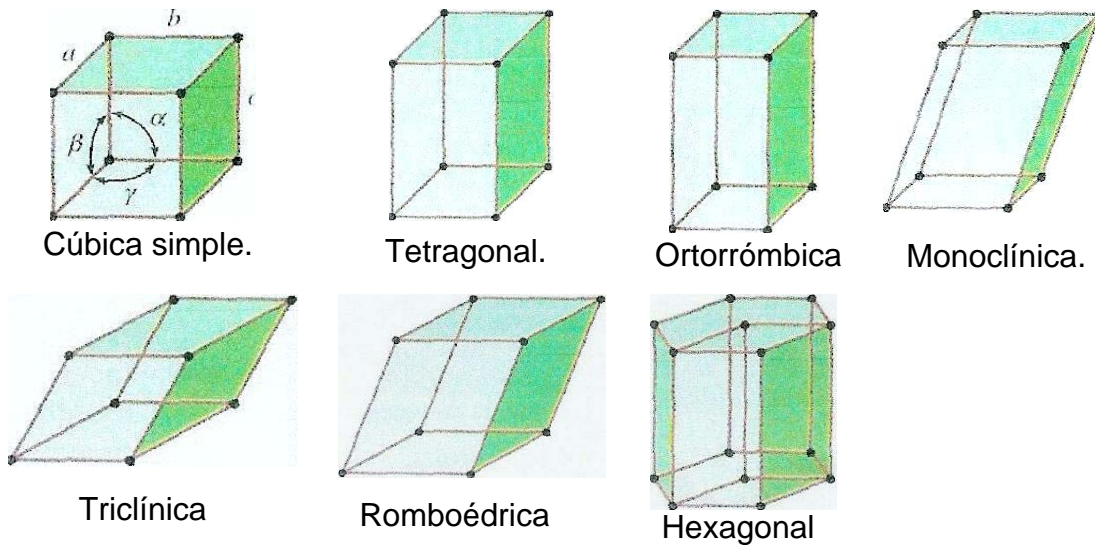
Las estructuras de los sólidos pueden describirse como redes cristalinas tridimensionales de átomos, iones o moléculas. Los sólidos sin estructura cristalina, como el vidrio, se denominan **amorfos**, debido a su estructura son más parecidos a un líquido que a un sólido.

En un sólido cristalino, la **celda unitaria** es la unidad repetitiva más pequeña que posee toda la simetría característica del arreglo atómico, iónico o molecular.

Los sólidos (redes cristalinas tridimensionales) pueden construirse ensamblando celdas unitarias tridimensionales, dando lugar a una **red del cristal**.

### 2.7.2 CONCEPTO Y CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS CRISTALINOS.

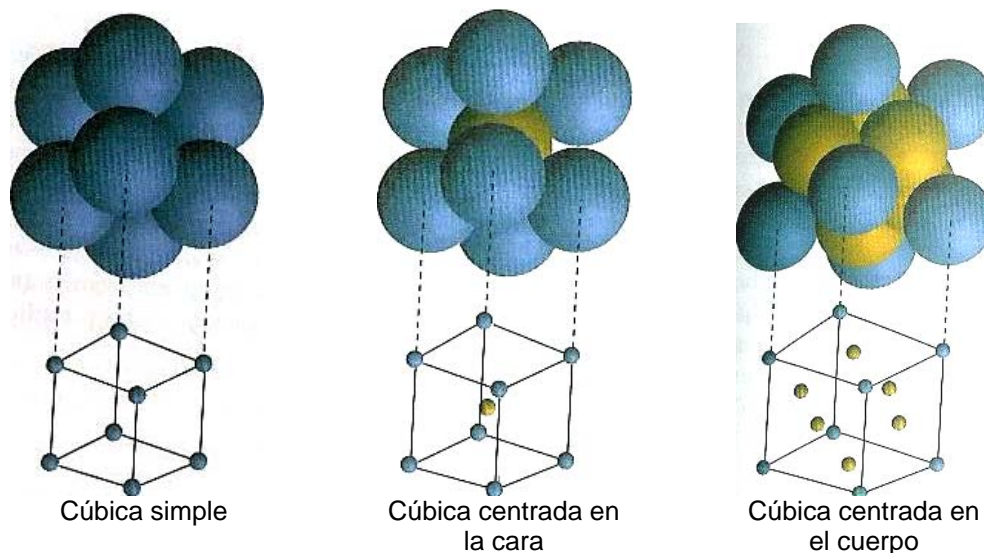
Para construir las redes cristalinas, la naturaleza emplea siete celdas unitarias tridimensionales y la ciencia que estudia a los cristales los ha clasificado en: 7 sistemas universales de cristalización y son: **sistema cúbico, tetragonal, ortorrómbico, monoclinico, triclinico, hexagonal y romboédrico**; que difieren una de otra porque sus lados, tienen distinta longitud relativa y sus aristas se encuentran en ángulos distintos (Figura 1).



**Figura 1. Tipos de celdas unitarias de los sólidos.**

El más simple de los siete tipos de redes cristalinas es la celda unitaria cúbica, que tiene aristas de igual longitud que forman ángulos de  $90^\circ$ . Examinaremos en detalle únicamente esta estructura, no sólo porque las celdas unitarias cúbicas se visualizan fácilmente, sino porque son comunes.

En las celdas cúbicas hay tres tipos de simetría de celda: primitiva o cúbica simple, cúbica centrada en el cuerpo, y cúbica centrada en las caras (Figura 2). Las tres tienen ocho átomos, moléculas o iones idénticos en los vértices de la celda unitaria cúbica. Sin embargo, los arreglos difieren una de otra.



**Figura 2. Tipos de simetría de las celdas cúbicas.**

Comparando con la estructura cúbica simple; la cúbica "centrada en el cuerpo" difiere por que tiene una partícula adicional en el centro o "cuerpo" del cubo. y con la cúbica "centrada en las caras" porque tiene una partícula del mismo tipo que los átomos de los vértices en el centro de cada una de las seis caras del cubo. Los metales asumen alguna de estas estructuras.



Cuando los cubos se empaquetan juntos para formar un cristal tridimensional metálico, el átomo de cada vértice se comparte entre ocho cubos. Debido a esto, sólo la octava parte de cada átomo de los vértices queda en realidad dentro de la celda unitaria. Además, como el cubo tiene ocho vértices y como un octavo de los átomos de cada vértice "pertenece" a una celda unitaria en particular, los átomos de los vértices aportan en total un átomo a una celda unitaria dada (Figura 3).

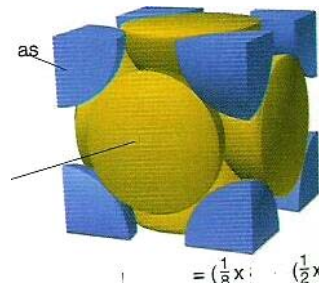
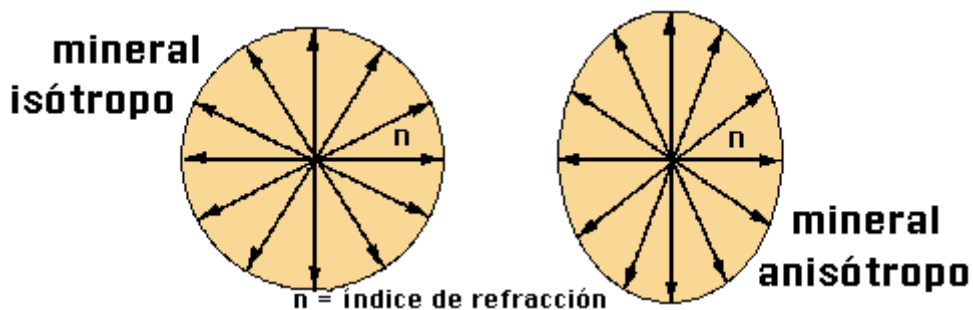


Figura 3. Celda unitaria.

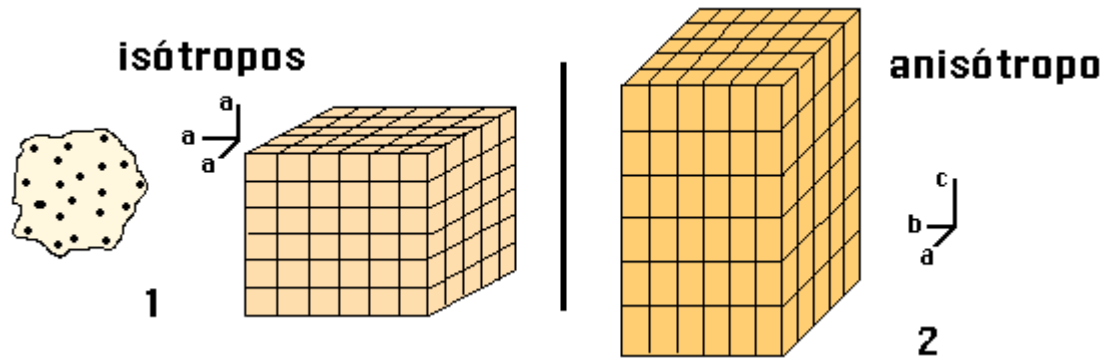
### 2.7.3 ANISOTROPÍA.

Las sustancias isotrópicas presentan siempre el mismo comportamiento independientemente de la dirección, mientras que en las anisotrópicas las propiedades varían con la dirección. En el caso de la luz, los cristales anisótropos presentan distintos valores de sus índices de refracción en función de la dirección en que vibre la luz al atravesar el cristal.



La anisotropía es una consecuencia de la estructura interna del mineral. Si carece de organización interna (minerales amorfos) o si presenta una organización muy regular son isotrópicos, los demás son anisótropos.

Los minerales que cristalizan en el Sistema Cúbico (o Regular), es decir, el de máxima simetría, con sus átomos o iones igualmente distribuidos en las tres direcciones principales del espacio, son isotrópicos. Los pertenecientes al resto de los sistemas cristalinos (hexagonal, trigonal, tetragonal, rómbico, monoclinico y triclinico) son anisótropos, las disposiciones de sus elementos constituyentes varían con la dirección y por tanto su elasticidad para las ondas luminosas también es diferente.



La forma como se ordenan las partículas en los sólidos, es determinante en sus propiedades, al tener un alto grado de orden entre sus partículas. Las propiedades del cristal dependen de la dirección, por lo que se dice que es anisotrópico. Por ejemplo las caras de un diamante cortado se producen porque el cristal se rompe más fácilmente en esa dirección que en otra.

#### 2.7.4 DEFECTOS CRISTALINOS Y CONSECUENCIAS EN PROPIEDADES MICROSCÓPICAS.

El ideal de un cristal perfectamente ordenado es alcanzado solo si crece poco a poco, bajo condiciones cuidadosamente controladas. Cuando los cristales se forman más rápido, surgen inevitables **defectos cristalinos**. Los planos de las partículas están desalineados, fuera de lugar o enteramente perdidas, o bien con partículas extrañas.

Hay muy pocos cristales perfectos, muchos tienen algún tipo de defectos en la red. Las **dislocaciones** son defectos del cristal que se presentan cuando los planos de los átomos no están alineados.

Los **defectos de puntos** son ocasionados por la ausencia o mala colocación de iones. Un tipo de defecto se origina por el desplazamiento de un catión de su posición correcta (creando un vacío) hacia un lugar entre puntos normales de la red.

La **presencia de impurezas** frecuentemente explica los defectos cristalinos, un ion magnesio  $Mg^{2+}$  puede sustituir en la red del cloruro de sodio  $NaCl$  a un ion sodio  $Na^+$ , esto implica que haya otra posición vacía porque la carga del ion magnesio es el doble que la del sodio.

Aunque los defectos cristalinos suelen debilitar una sustancia, a veces se introducen intencionalmente para crear materiales con propiedades mejoradas, como el incremento en la fuerza o dureza o para aumentar su conductividad.

#### 2.7.5 CORRELACIONES PROPIEDADES - ESTRUCTURA - ENLACE QUÍMICO.

Las propiedades físicas de los sólidos cristalinos son muy diversas. Algunos de ellos son duros, como los diamantes, y otros son suaves, como el sodio. Algunos tienen puntos de fusión altos, como el hierro, y otros se pueden fundir con el calor de la mano, como el hielo. Algunos conducen la energía térmica y



la electricidad, como el cobre, mientras que otros son aislantes, como el asbesto.

Las propiedades físicas de los sólidos dependen de la naturaleza de las partículas que los forman, y de las fuerzas de atracción entre ellas. Los cristales se pueden dividir en cuatro clases principales, con base en sus unidades y en las fuerzas de atracción que las mantienen unidas: moleculares, iónicos, red covalente y metálicos.

### **Cristales moleculares.**

En un cristal molecular, *las unidades son moléculas*. Por ejemplo, en un cristal de metano, las unidades son moléculas  $\text{CH}_4$ . En un cristal de aluminio, las unidades son átomos de aluminio. Las unidades de los cristales moleculares no polares, como los anteriores, se mantienen unidas solo mediante fuerzas de London. Si las moléculas son polares, las atracciones entre dipolos y también las fuerzas de London, mantienen juntas a las unidades del cristal. Las moléculas del Cloruro de hidrógeno sólido (punto de fusión  $-114.8\text{ }^\circ\text{C}$ ) se mantienen unidas por fuerzas de London y por atracciones dipolo-dipolo.

Los cristales moleculares son suaves y tienen puntos de fusión bajos. Ni el sólido ni el líquido es buen conductor de la electricidad o de la energía térmica.

### **Cristales iónicos.**

En un cristal iónico, las unidades son iones. Un ejemplo característico es el cloruro de sodio. La atracción entre los iones con cargas opuestas es fuerte y los puntos de fusión de los cristales iónicos son altos, por lo general mayores que  $300\text{ }^\circ\text{C}$ .

### **Cristales de red covalente.**

En un cristal de red covalente, las unidades se mantienen fijas por enlaces covalentes. El carbono (diamante), es el ejemplo clásico, en un diamante cada carbono está unido mediante enlaces covalentes con otros cuatro carbonos, colocados en los cuatro vértices de un tetraedro, cada cristal es una sola molécula gigante, lo que le da su dureza, para partirlo hay que romper sus enlaces covalentes, por lo que sus puntos de fusión son muy altos; ya fundidos no conducen la corriente eléctrica.

El carbono (grafito) es otro ejemplo típico de covalente, que difiere con el diamante por la forma como se enlazan sus átomos. Las distintas formas del mismo elemento que difieren en el enlazamiento de sus átomos se llaman **alótropos**, o forma alotrópica. Así el diamante y el grafito son alótropos. Los alótropos difieren en propiedades físicas y químicas.

### **Cristales metálicos.**

La forma como se unen los metales es por el enlace metálico, el modelo que se utiliza para comprender mejor la propiedades de los metales es la teoría de bandas; llamada así porque establece que los electrones se mueven libremente a través de las bandas, que se forman por solapamientos de los orbitales moleculares, lo que explica por que son tan buenos conductores de la



electricidad y el calor en sus estados sólidos y líquidos (Otras propiedades de los cristales en la tabla).

## 2.7.6 - 2.7.8 ESTADO VÍTREO Y ESTRUCTURA AMORFA.

El vidrio es una sustancia amorfa porque no es ni un sólido ni un líquido, sino que se halla en un estado intermedio, **estado vítreo** en el que las unidades moleculares, aunque están dispuestas de forma desordenada, tienen suficiente cohesión para presentar rigidez mecánica. El vidrio se enfría hasta solidificarse sin que se produzca cristalización; el calentamiento puede devolverle su forma líquida. Suele ser transparente, pero también puede ser traslúcido u opaco. Su color varía según los ingredientes empleados en su fabricación.

Al calentarlo se ablanda a una amplia gama de temperaturas, propiedad útil para los artesanos, que pueden crear productos hermosos y funcionales para la recreación de diversas aplicaciones. También conocemos una propiedad del vidrio que resulta bastante molesta: al romperse deja pedazos punzantes de formas dispares.

El estado vítreo se le clasifica dentro de los **sólidos amorfos** al no tener una estructura regular. Las estructuras irregulares de los vidrios son intermedias entre los líquidos que fluyen muy libremente y los sólidos cristalinos. En muchos aspectos se parecen a los líquidos porque fluyen, sin embargo, a diferencia de ellos, las fuerzas de atracción de sus moléculas son suficientemente altas para restringir su movimiento.

## 2.7.9 PROCESO DE CRISTALIZACIÓN Y VITRIFICACIÓN VS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, MODIFICADORES DE RED.

En el interior del manto terrestre, a gran profundidad, las condiciones de presión y temperatura son tales que las rocas están fundidas formando un material fluido que denominamos magma. El magma puede enfriarse al acercarse a la superficie y solidificarse constituyendo rocas de tipo ígneo. Si el enfriamiento es muy rápido, como sucede en el caso de la lava que sale al exterior en los procesos volcánicos, no da tiempo en el proceso de solidificación que los átomos de los minerales se organicen formando **cristales**; pero si el enfriamiento es más lento y tiene lugar en el interior de la corteza, los átomos tienen tiempo para constituir estructuras ordenadas que es lo que denominamos cristales. Esto sucede, por ejemplo, en el caso del granito, formado por enfriamiento lento de ciertos tipos de magma que dan como resultado una roca en la que podemos ver los diferentes minerales componentes individualizados y cristalizados.



**Tabla: Estructuras y propiedades de diversos tipos de sustancias sólidas.**

<b>Tipos</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Unidad estructural</b>	<b>Fuerzas que retienen juntas a las unidades</b>	<b>Propiedades típicas.</b>
Iónico	NaCl, K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CaCl <sub>2</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Iones positivos y negativos, no se observan moléculas discretas.	Iónicas; atracciones entre iones con carga positiva y negativa	Duros; quebradizos; punto de fusión alto; mala conductividad eléctrica como sólidos y buena como líquidos; a menudo solubles en agua.
Metálico	Hierro, plata, cobre, otros metales y aleaciones	Átomos metálicos (iones metálicos positivos con electrones deslocalizados)	Metálicas; atracción electrostática entre iones metálicos y electrones	Maleables; dúctiles; buena conductividad eléctrica como sólidos y líquidos; buena conductividad de calor; amplio rango de dureza y puntos de fusión.
Molecular	H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , I <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CH <sub>3</sub> OH, CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> H	Moléculas	Fuerzas de dispersión, fuerzas dipolo-dipolo, puentes de hidrogeno	Puntos de fusión y ebullición de bajos a moderados; blandos; mala conductividad eléctrica como sólidos y líquidos
De red cristalina	Grafito, diamante, cuarzo, feldespato, mica.	átomos retenidos en redes infinitas de tipo bidimensional o tridimensional	Covalente; enlaces direccionales de par electrónico	Amplio rango de dureza y puntos de fusión (enlace tridimensional) > enlace bidimensional); mala conductividad eléctrica, con algunas excepciones
Amorfos.	Vidrio, polietileno nylon	Redes con enlace covalente y sin regularidad a largo rango	Covalente; enlaces direccionales de par electrónico	No cristalinos; amplio rango de temperatura de fusión; mala conductividad eléctrica, con algunas excepciones