

## Materiales Amorfos

Tratemos el tema de sólidos no cristalinos, amorfos o vítreos.

Como antecedente de interés, consideremos comparativamente varias características de los distintos estados de condensación clásicos de la materia, ver Tabla 1.

**TABLA 1**

<i>Estado</i>	<i>Densidad</i>	<i>Movilidad</i>	<i>Orden</i>
<b>Vapor</b>	Mediana a muy baja	Alta a muy alta	No hay
<b>Líquido</b>	Alta	Moderada	No hay orden de largo alcance, pero sí hay cierto orden de corto alcance.
<b>Sólido cristalino</b>	Alta	Moderada a altas temperaturas, baja a bajas temperaturas	Hay orden de corto y, consecuentemente, orden de largo alcance.

Las relativamente altas densidades de sólidos y líquidos, similares además entre sí, señalan que las distancias interatómicas son suficientemente pequeñas como para que los enlaces jueguen un rol relevante. Los enlaces contribuyen a ordenar los átomos del sólido según corresponda a ese tipo de enlace. Por el contrario, en un gas, los enlaces entre moléculas (monoatómicas o poliatómicas) juegan un rol de orden limitado o prácticamente nulo.

En un cristal ideal, cada átomo tiene los vecinos que corresponden a satisfacer los enlaces en la condición de equilibrio, lo cual se manifiesta como un orden de corto alcance. Por ejemplo, en el C diamante, cada C tendrá 4 vecinos en disposición tetraédrica. Consecuentemente, al estar determinado el ordenamiento atómico en el corto alcance, también lo estará en el largo alcance. Los materiales cristalinos presentan orden de largo alcance, en términos de la posición y ordenamiento de los átomos o moléculas del cristal. De esta manera, si se conoce

en forma precisa el arreglo atómico en una zona del sólido, se conoce el arreglo atómico en forma exacta, en cualquier parte.

Por el contrario, en un sólido amorfo no hay orden de largo alcance. No obstante, normalmente sí hay un cierto orden de corto alcance; es decir, algunos primeros vecinos de un átomo cualquiera (e incluso, ocasionalmente, todos los vecinos de uno que otro átomo) estarán en las posiciones que corresponderían a un cristal. Pero, al no ser perfecto el orden de corto alcance, consecuentemente, no habrá orden de largo alcance.

Muchos materiales amorfos tienen una estructura interna, en términos del grado de ordenamiento atómico, similar a la de un líquido. Sin embargo, por tratarse de un sólido, la viscosidad será muy alta (infinita) y la movilidad atómica de moderada a nula. Como consecuencia, si obtuviésemos una instantánea fotográfica (estado congelado) del ordenamiento atómico de un sólido amorfo y de un líquido, no podríamos establecer la diferencia.

Los factores que favorecen la formación de un sólido amorfo (bastante desordenado) en el lugar de uno cristalino (ordenado) son:

- alta direccionalidad del enlace
- alta velocidad de enfriamiento desde el estado líquido al sólido
- baja pureza del material

Así, por ejemplo, es mucho más probable obtener un sólido amorfo en el caso de un material de enlace covalente que en el de uno de enlace metálico (no direccional). También será más fácil formar un cristal de un elemento puro que cuando hay combinaciones de elemento.

Un ejemplo clásico de material amorfo es el vidrio de ventanas, la sílice: SiO<sub>2</sub>. Este material presenta varias estructuras cristalinas, pero en todas ellas cada átomo de Si se relaciona con sus 4 enlaces tetraédricos con átomos de O, ver Figura 1. Además, cada Oxígeno, de valencia 2, quedará entre 2 Si. Teniendo en cuenta que cada O se asocia a 2 Si, sacamos la cuenta que a cada Si se le asocian  $4 \cdot (1/2) = 2$  átomos de O, lo cual es correcto, pues corresponde a la fórmula estequiométrica SiO<sub>2</sub>. En estos cristales se tiene un enlace mixto covalente-iónico. En el material industrial empleado para hacer vidrio, frecuentemente se

agregan otros elementos, como Na, Ba y Al. En particular, el Na mejora la fluidez y baja la temperatura de fusión del material en la fábrica. A las moderadas velocidades de enfriamiento industriales, este material resulta amorfo.

Otra forma usual de denominar a los materiales amorfos es materiales vítreos. La figura 2 representa en forma esquemática (en dos dimensiones, en lugar de en tres), el  $\text{SiO}_2$  en: a) estado cristalino y b) estado amorfo. Nótese que en este esquema conceptual 2D se ha omitido uno de los enlaces del Si.

Los metales tienen enlace con una simetría muy próxima a la esférica. De manera que los metales puros, enfriados a altas velocidades industriales usuales (p.e.,  $10^3$  °C/s), resultan ser cristalinos. Así, hasta hace unos 30 años se creyó que los metales siempre daban sólidos cristalinos. Sin embargo, cuando los metales puros o sus aleaciones habituales son enfriados, por métodos modernos, a altas velocidades ( $10^4$  a  $10^6$  °C/s), se logra tener materiales amorfos. Para lograr estas velocidades, normalmente se requiere enfriar pequeños espesores. De esta manera, los metales vítreos hoy disponibles industrialmente vienen bajo forma de huinchas, y sus aplicaciones actuales se relacionan con propiedades magnéticas. Sin embargo, muy recientemente se han fabricado aleaciones metálicas, formadas por hasta unos 8 elementos, que resultan ser amorfas a velocidades moderadas de enfriamiento (1 °C/s). En este caso, para obtener el estado amorfo, se aprovecha el "alto grado de impureza" del material. Así se obtienen materiales macizos que permiten el estudio de sus interesantes propiedades mecánicas.

Los materiales poliméricos son ejemplos importantes de materiales parcialmente amorfos (o parcialmente cristalinos). En efecto, aquí hay una gran tendencia a que las cadenas no queden ordenadas totalmente, de hecho frecuentemente sólo lo están en mínima parte. A diferencia de las otras familias materiales, donde el material es habitualmente ya sea totalmente cristalino o totalmente amorfo, en el caso de los polímeros tiene sentido el concepto de grado (porcentaje) de cristalinidad. Mientras más cristalino es un polímero, más denso es él; en la práctica industrial de los polímeros se hace más bien alusión a la densidad, que al porcentaje de cristalinidad.

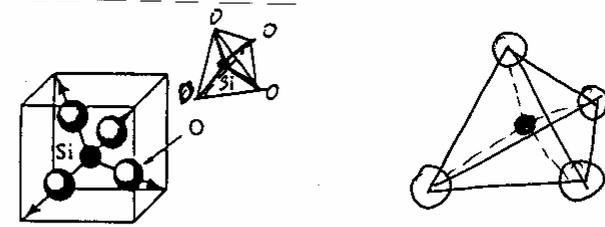


Figura 1. Representación de los 4 enlaces covalentes del Si unidos a 4 átomos de O, en los cristales de  $\text{SiO}_2$ . (Esto no es una celda). Cada átomo de O está entre 2 átomos de Si. Así, a cada átomo de Si se asocian  $4 \cdot (1/2)$  átomos de O, en conformidad con la fórmula estequiométrica  $\text{SiO}_2$ . El  $\text{SiO}_2$  presenta varias estructuras cristalinas distintas, pero en todas ellas se cumple lo anterior.

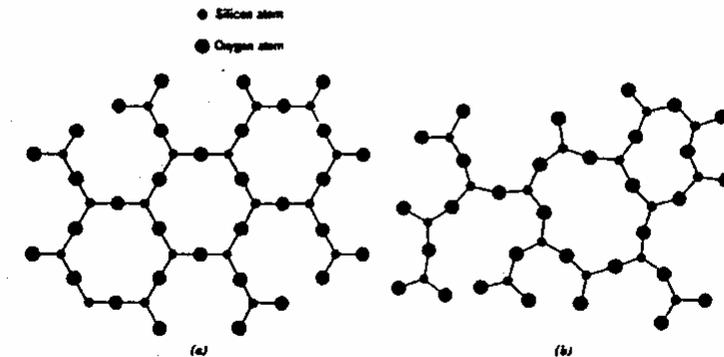


Figura 2. Representación bidimensional esquemática de la sílice,  $\text{SiO}_2$ , un material de enlace mixto covalente-iónico. (Nótese que, por simplicidad de la representación, se consideran sólo 3 enlaces para el Si, cuya valencia es 4). Se muestran esquemáticamente dos formas del sólido: a) cristalino y b) amorfo.