

## Materiales Amorfos

Sólidos no cristalinos, amorfos o vítreos.  
También se les describe y denomina como líquidos sobre-enfriados.

Se comenzará comparando ciertas características de los distintos estados de condensación de la materia, sin incluir el plasma. Además, en el caso del estado sólido, en esta tabla sólo se considera el caso cristalino. Así se introducirá el caso de los sólidos amorfos.

<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 temperaturas altas y baja a temperaturas bajas.	Hay orden de corto y, consecuentemente, orden de largo alcance.

### Densidad, enlaces y orden.

- 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 juegan un rol de orden limitado o prácticamente nulo.
- Los sólidos y líquidos (fases condensadas) presentan relativamente altas densidades, similares entre sí.
- Ello revela que, en ambos casos, las distancias interatómica son suficientemente pequeñas como para que los enlaces jueguen un rol relevante.

### Enlace y tipo de orden local

- 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. En el caso de un metal puro es importante la no direccionalidad del enlace y el criterio de un arreglo atómico lo más compacto posible.

### Orden en líquidos

- En un líquido 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 satisfacer enlaces.
- Al no ser perfecto el orden de corto alcance, consecuentemente, no habrá orden de largo alcance.

### Orden en cristales

- Al estar determinado el ordenamiento atómico en el corto alcance, por el enlace, también lo estará en el largo alcance.
- Los materiales cristalinos presentan orden de corto y de largo alcance.
- De esta manera, si se conoce en forma precisa el arreglo atómico en una zona del cristal, se conoce idealmente el arreglo atómico en forma exacta, en cualquier parte del material.

## Movilidad atómica en líquidos y sólidos. (Cambio de lugar atómico)

- Comparativamente y en forma dependiente de la temperatura:
- La movilidad atómica en sólidos puede ser desde nula a moderada.
- En líquidos es de moderada a elevada.
- En gases es de elevada a muy elevada.

## Líquidos

- Distancias interatómicas suficientemente cortas como para que los enlaces se manifiesten.
- Cierta orden de corto alcance.
- No hay orden de largo alcance
- Movilidad atómica moderada a elevada.

## Sólido Amorfo

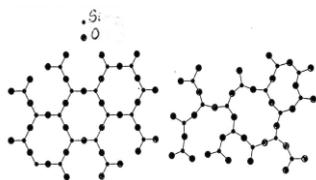
- Los sólidos amorfos tienen una estructura interna, en términos del grado de ordenamiento atómico, similar a la de un líquido.
- Esto es, presentan un cierto orden de corto alcance, pero no presentan orden de largo alcance.
- Sin embargo, por tratarse de un sólido, la viscosidad será muy alta y la movilidad atómica baja.

## Sólido Amorfo

- Así, si obtuviésemos una instantánea fotográfica (imagen congelada) del ordenamiento atómico de un sólido amorfo y de un líquido, no podríamos establecer la diferencia.
- Esto justifica que a los materiales amorfos también se les denomine **líquidos sobreenfriados**.

En efecto, una forma de facilitar la formación de un sólido amorfo es por enfriamiento suficientemente rápido desde el estado líquido, de manera de no permitir que los átomos alcancen a ordenarse.

## Representación bidimensional esquemática de la sílice, $\text{SiO}_2$ .



- Se muestran conceptualmente dos formas del sólido: a) cristalino y b) amorfo.

Por simplicidad de la representación, se consideran sólo 3 enlaces para el Si, cuya valencia es 4. El O tiene valencia 2.

## Factores que favorecen la formación de un sólido amorfo en el lugar de uno cristalino:

- Alta direccionalidad del enlace
- Alta velocidad de enfriamiento desde el estado líquido al sólido
- Baja pureza del material

## Para facilitar la obtención de un amorfo

- Es mucho más probable obtener un sólido amorfo en el caso de:
  - un material de enlace covalente (dirigido) que en el de uno de enlace metálico (no direccional).
  - presencia de varios elementos disímiles (tamaño, valencia, electronegatividad, etc.) en lugar de un elemento puro.
  - enfriamiento rápido

## Sílice: $\text{SiO}_2$ , un cerámico

- Un ejemplo clásico de material amorfo es el vidrio de ventanas, la sílice:  $\text{SiO}_2$ , un sólido covalente
- 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.
- La sílice exhibe tres estructuras cristalinas básicas: cuarzo, tridimita y cristobalita. Estas, a su vez, presentan variantes).

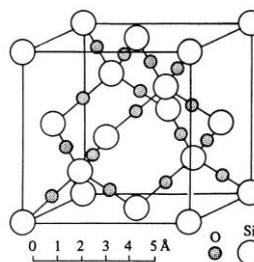
## Tipo de enlace

- En estos cristales se tiene un enlace mixto covalente- iónico.
- Ello porque participan un metaloide y un elemento no metálico, con diferente electronegatividad: O(3,5) y Si(1,8).

## Tres preguntas

- ¿Cuál es elemento más abundante en el núcleo de la tierra?
- ¿Cuáles son los elementos más abundantes en la corteza terrestre?
- ¿Cuáles son los materiales (familia) más utilizados por el Hombre? (En tonelaje).

### Celda cristalina del $\text{SiO}_2$ como cristobalita $\alpha$ .



- El Si tiene valencia 4 y puro forma diamante. El O tiene valencia 2.
- En la cristobalita  $\alpha$ , cada Si está unidos a 4 átomos de O. Cada átomo de O está entre 2 áts. de Si.
- Así, a cada átomo de Si se asocian  $4 \cdot (1/2)$  átomos de O, en conformidad con la fórmula estequiométrica  $\text{SiO}_2$ .
- Estas unidades  $\text{SiO}_2$  se pueden ordenar formando distintas estructuras cristalinas, entre las que se cuenta la cristobalita.
- Para recordar esta estructura cristalina primero considere Si puro con estructura diamante. Después intercale un O entre átomos primeros vecinos de Si,

## Vidrio industrial

- En la sílice industrial empleada para hacer vidrio, frecuentemente se agregan otros elementos, como compuestos de Na, Ca, Ba y Al. En particular, el Na mejora la fluidez y baja la temperatura de fusión del material en la fábrica.
- Fundir sílice pura requiere unos 2000 °C; su costo solo se justifica para aplicaciones especiales (p.e. en laboratorios). El vidrio corriente, solo unos 1.500 °C.
- A las moderadas velocidades de enfriamiento industriales, este material "impuro" resulta amorfo.

## Otra denominación

- Otra forma usual de denominar a los materiales amorfos (o no cristalinos) es materiales vítreos.
- Es decir, por vidrio no sólo podríamos referirnos al clásico material específico, basado en  $\text{SiO}_2$ , sino que también a toda una categoría de materiales.

## Vidrios metálicos (Glassy metals) (1/3)

- Los cationes metálicos tienen un enlace no direccional, debido a su simetría electrónica 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, por mucho tiempo se creyó que los metales siempre solidificaban como cristales.
- 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.

## Vidrios metálicos (3/3)

- Otra forma es formar aleaciones con metaloides como B y Si.
- En este caso, para obtener el estado amorfo, se aprovecha el "alto grado de impureza" del material.
- Así se obtienen materiales macizos (cms) que permiten el estudio de sus interesantes propiedades mecánicas.
- Propiedades de interés: alta resistencia a la corrosión y susceptibilidad magnética. En estudio.

## Materiales Metaestables

- Los materiales amorfos son metaestables, pues el estado cristalino corresponde al estado de equilibrio químico.
- En el estado amorfo, debido a la alta velocidad de enfriamiento, los átomos no alcanzaron a dar satisfacción a los enlaces, en términos de orientación y número de vecinos.
- Al calentar, sin fundir, un sólido amorfo puede pasar a ser cristalino.

## Vidrios metálicos (2/3)

- Para lograr estas velocidades, normalmente se requiere enfriar pequeños espesores o bien gotas. De esta manera, los metales vítreos hoy disponibles industrialmente vienen bajo forma de huinchas. Sus aplicaciones actuales se relacionan especialmente con aplicaciones magnéticas, donde se pueden superponer muchas huinchas.
- Sin embargo, en los últimos 20 años, se han fabricado aleaciones metálicas, formadas por hasta unos 8 elementos, que resultan ser amorfas a velocidades moderadas de enfriamiento (1 °C/s). Ejemplo: [Vitreloy 1](#) (41.2% Zr, 13.8% Ti, 12.5% Cu, 10% Ni, and 22.5% Be), año 1992;  $V = 1$  a  $10$  [°C/s].

## Polímeros

- Los materiales poliméricos de cadena larga 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 un trozo de material es 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.