

# SOLIDIFICACIÓN

## INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DE MATERIALES



# Bibliografía

- “Ciencia e ingeniería de materiales”  
Autor: Askeland, Donald R.
- “Introducción al a ciencia e ingeniería de los materiales”  
Autor: W. Callister.

# Estado de la Materia

Se pueden distinguir tres estados de la materia:

- Gaseoso
- Liquido
- Solido

Los átomos del metal ocupan gran parte del espacio debido a su rápido movimiento.

Este movimiento es enteramente al azar, chocan entre si y con las paredes del recipiente causando la presión del gas.

El arreglo de los átomos es completamente desordenado, suelen estar ampliamente separados por lo que se desprecia las fuerzas (F) atractivas entre los átomos.

## Estado gaseoso

## Qué sucede en el enfriamiento?

A temperaturas ( $T$ ) menores, la energía cinética de los átomos disminuye hasta tal punto que las  $F$  atractivas llegan a ser suficientemente grandes para que la mayoría de los átomos se junten formando un líquido. No todos los átomos están en el líquido y existe un continuo intercambio entre el vapor y el líquido a través de la superficie que los separa.

Conforme la  $T$  disminuye, los movimientos son menos vigorosos y las  $F$  de atracción juntan a los átomos hasta que el líquido se solidifica.

Los materiales se contraen al solidificarse, lo cual da como resultado un empaquetamiento más estrecho de átomos.

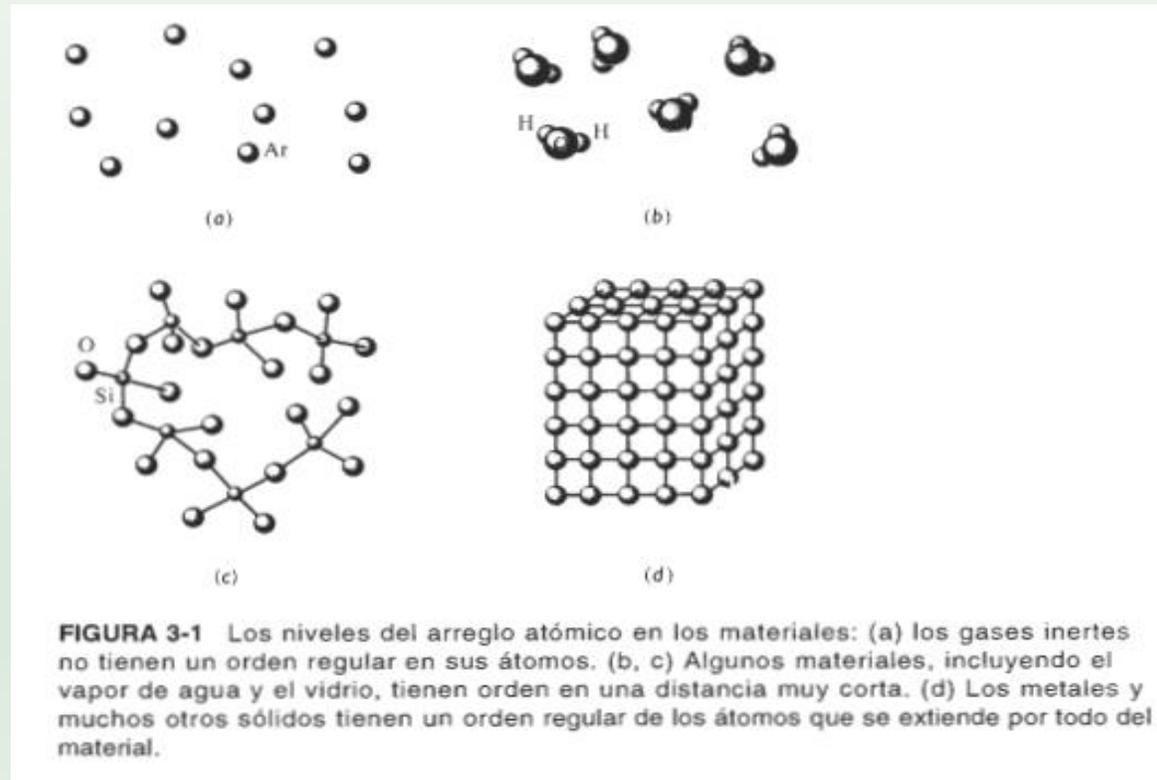
En este estado los átomos no son estacionarios, sino que vibran alrededor de puntos fijos dando lugar al ordenamiento de las estructuras cristalinas.

# Solidificación

Es el fenómeno por el cual un sólido cristalino se genera en un líquido y crece a expensas del mismo.

Casi todas las piezas metálicas están elaboradas con materiales que por lo menos en una oportunidad han sufrido la transformación Líquido-Sólido.

Durante la solidificación de materiales que cristalizan, el arreglo atómico cambia de un orden de corto alcance en un líquido a un arreglo de largo alcance en un sólido cristalino.



También la solidificación se usa como un proceso primario para producir bloques o lingotes. Estos últimos son luego procesados por trabajo mecánico o tratamiento térmico.

En la unión de materiales metálicos mediante soldadura también hay solidificación.



Las estructuras producidas durante la solidificación afectan las propiedades mecánicas e influyen sobre el tipo de procesamiento posterior. Se puede controlar la forma y el tamaño de los granos mediante solidificación.

# Mecanismos de Cristalización

La cristalización es la transición del estado líquido al sólido.

Ocurre en dos etapas:

1-Formación de núcleos.

2-Crecimiento del cristal.

En el estado líquido los átomos no tienen ningún orden definido, pero es posible que en algún instante estos estén situados de la misma manera que estarán luego en el estado sólido.

Los grupos de átomos ordenados no se mantienen en ese estado por un largo periodo de tiempo, están constantemente armándose y desarmándose . El tiempo de permanencia del grupo se ve influenciado por la T y el tamaño del grupo.

# Mecanismos de Cristalización

A medida que la T del líquido va disminuyendo:

- la cantidad de movimiento de los átomos disminuye y la vida de los grupos aumenta.
- más grupos estarán presentes al mismo tiempo.

Los átomos de un material tienen los siguientes tipos de energía:

- energía cinética: velocidad con la que se mueven los átomos. Es una función de la T.
- energía potencial: está relacionada con la distancia entre átomos, a mayor distancia entre átomos mayor será la energía potencial.

# Mecanismos de Cristalización

Considérese un metal puro en su punto de congelación (pasaje de líquido a sólido) en el que ambos estados, líquido y sólido, se encuentran a la misma  $T$ .

La energía cinética de los átomos en el líquido y en el sólido debe ser la misma. Pero como los átomos en un sólido están mucho más próximos, existe una diferencia significativa en energía potencial.

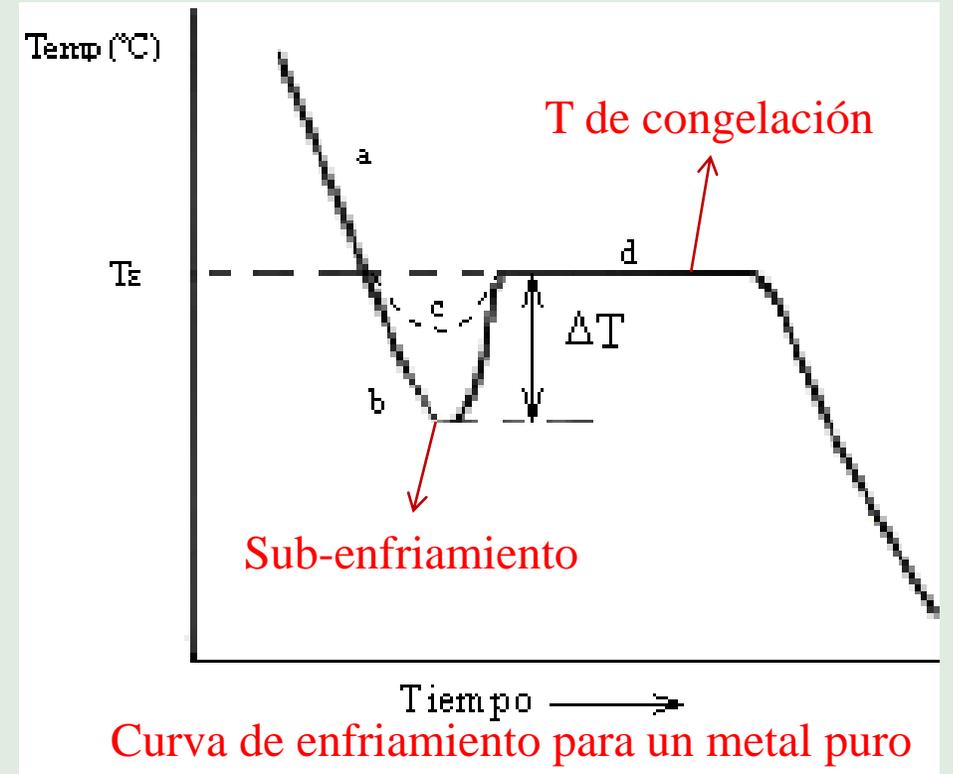
Por lo que en la solidificación ocurre una liberación de energía, esta diferencia en energía potencial entre los estados líquidos y sólidos se conoce como calor latente de fusión.

# Mecanismos de Cristalización

Consideremos el enfriamiento de un metal puro desde el estado líquido hasta el punto de congelación.

Como los átomos comienzan a pasar al estado sólido la energía potencial disminuye por la disminución de la distancia entre estos.

En este punto habrá una liberación de energía en forma de calor debido al calor latente de fusión haciendo que la T se eleve nuevamente.



# Formación de núcleos

Cuando la  $T$  en el metal líquido haya disminuido lo suficiente por debajo de la  $T$  de congelación (sub-enfriamiento) comenzaran a aparecer núcleos estables en diversas partes del líquido.

Estos primeros núcleos (ya solidificados) actuaran como centros de cristalización.

El crecimiento del cristal se da en tres dimensiones, pero hay ejes preferenciales a los cuales se van uniendo los átomos.

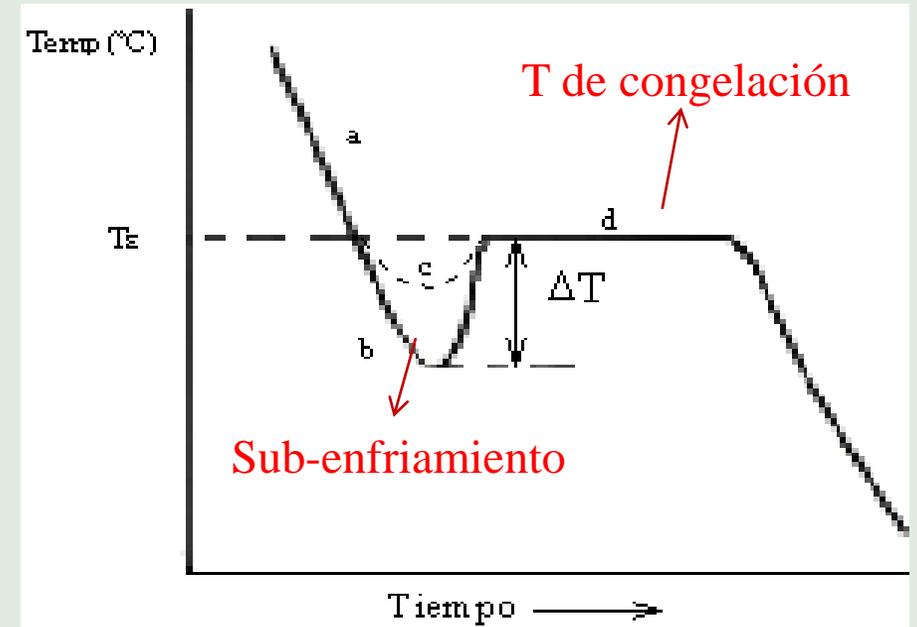
Esto dará lugar a una estructura característica con forma de árbol llamada dendrita.



**Nucleación homogénea:**

Se produce espontáneamente en presencia del líquido puro.

La misma ocurre cuando el subenfriamiento es lo suficientemente grande como para causar la formación de un núcleo estable.

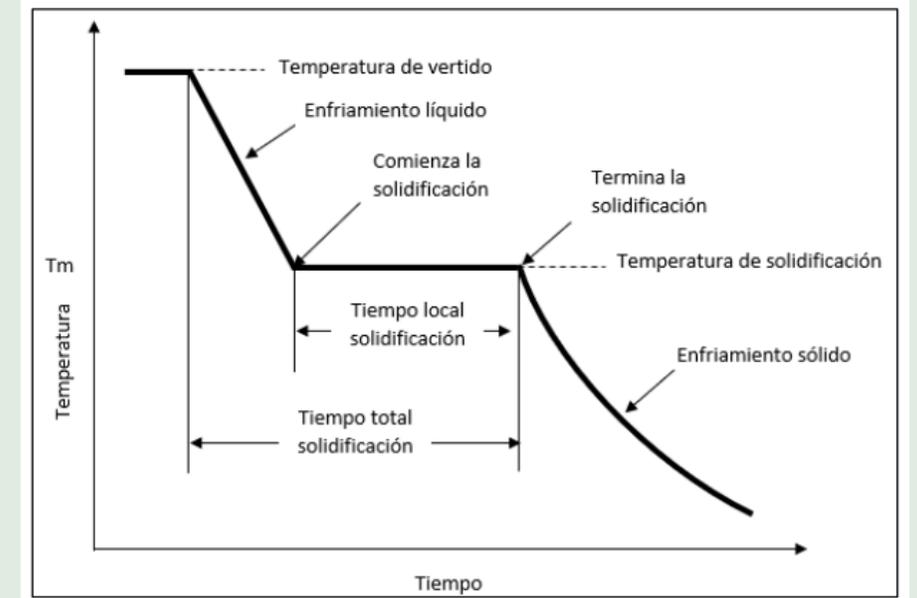


**Nucleación heterogénea:**

Es la formación de núcleos sobre superficies preexistentes.

Sólo unos pocos átomos deben agruparse para formar una partícula sólida estable.

Se requiere menos subenfriamiento para alcanzar el tamaño crítico, la nucleación ocurre más fácilmente.



### Velocidad de nucleación:

Es el número de núcleos formados por unidad de tiempo, depende de la temperatura. En la nucleación heterogénea, la velocidad de nucleación depende de la concentración de agente nucleante introducido.

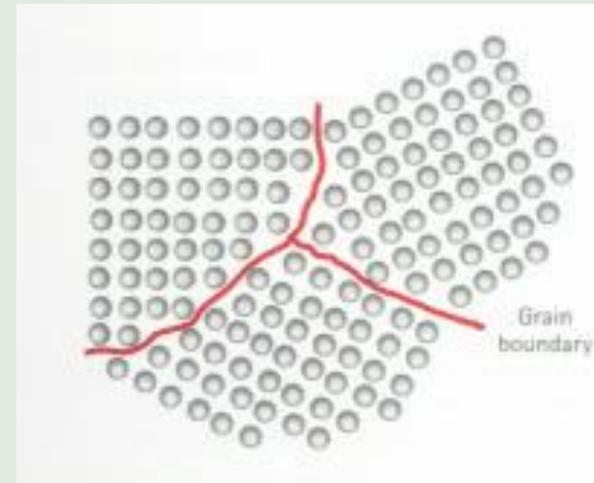
### Tamaño de grano:

Está determinado por la relación entre la velocidad de enfriamiento y la velocidad de nucleación.

Con enfriamiento rápido se forma gran número de núcleos por lo que se obtiene un tamaño de grano fino.

Con enfriamiento lento sólo se forman algunos núcleos que crecen consumiendo el líquido antes que se formen más núcleos, por lo que se obtiene un tamaño de grano grueso.

Cuanto mayor es la superficie de límite de grano más efectivo es el bloqueo del deslizamiento, lo que mejora la resistencia mecánica.



# Crecimiento del cristal

La naturaleza del crecimiento del núcleo sólido depende de la forma que es extraído el calor del material fundido.

En el proceso de solidificación se deben extraer dos tipos de calor: el calor específico del líquido y el calor latente de fusión.

Primero se extrae el calor específico del líquido y luego el calor latente de fusión.

Crecimiento planar:

Se da cuando el calor latente de fusión es extraído por conducción desde la interfase sólido-líquido a través del sólido.

La temperatura del líquido es mayor que la de solidificación.

La temperatura del sólido es menor o igual a la temperatura de solidificación.

Crecimiento dendrítico:

Ocurre cuando el calor latente de fusión es extraído por conducción a través del líquido subenfriado, aumentando la temperatura de este último a la temperatura de solidificación. La temperatura del líquido en la interfaz sólido - líquido es menor que la temperatura de solidificación.

Cuando una protuberancia se forma en la interfaz, empieza a crecer favorecida por la presencia de líquido más frío. Esta protuberancia se llama dendrita.

El crecimiento dendrítico continúa hasta que el líquido subenfriado alcanza la temperatura de solidificación. Cualquier líquido restante solidificará mediante el mecanismo de crecimiento planar.

# Defectos en la solidificación

Contracción:

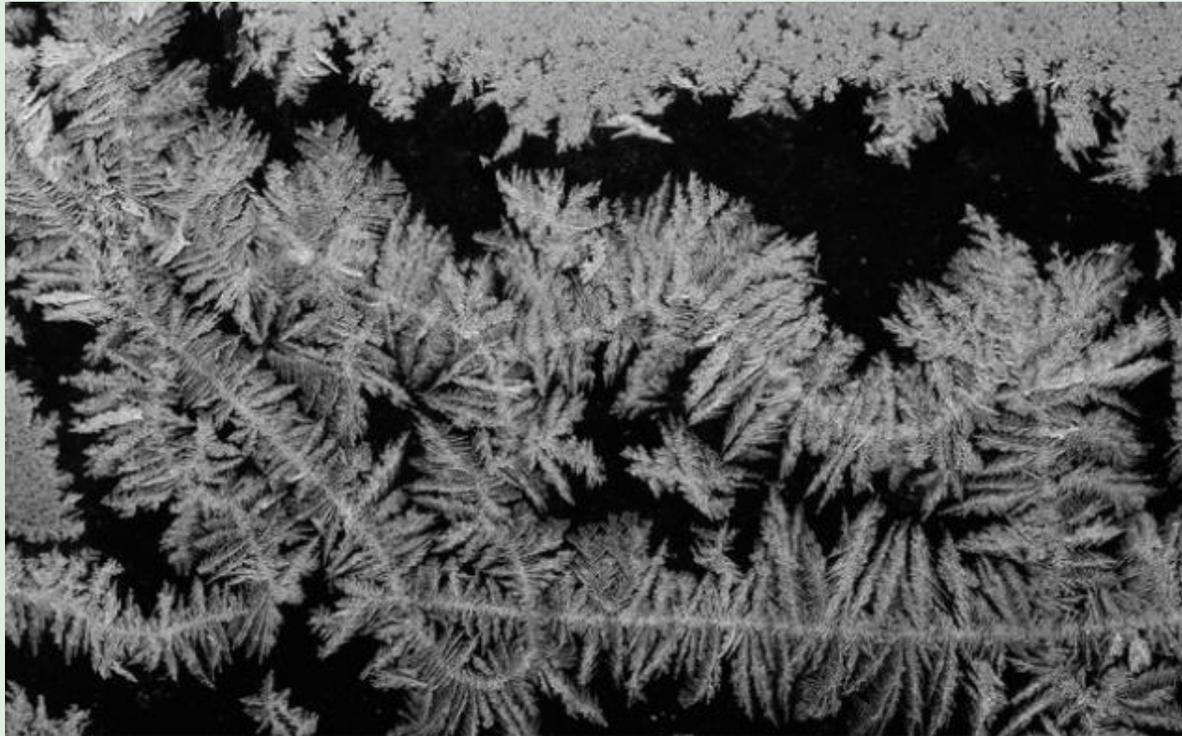
La mayoría de los materiales son más densos en estado sólido que en estado líquido.

Por lo general, la mayor parte de la contracción produce cavidades, si la solidificación se inicia en todas las superficies de la pieza, o rechupes, si una de las superficies se solidifica más lentamente que las demás.



## Contracción interdendrítica:

Consiste en la formación de poros debido a contracciones volumétricas entre las dendritas. Las altas velocidades de enfriamiento pueden reducir los problemas de la contracción intradendrítica. Las dendritas pueden reducirse en su longitud, permitiendo que el líquido fluya a través de la red dendrítica hacia la interfase del frente de solidificación.



### Porosidad gaseosa:

Muchos metales disuelven gran cantidad de gas cuando son fundidos.

Cuando el metal solidifica solo una pequeña fracción de ese gas es retenido, ya que la solubilidad es mucho más baja.

El exceso de gas que no puede ser incorporado en el metal sólido forma burbujas que quedan atrapadas en el metal sólido.

