

# **CAPITULO 11: MATERIALES IMPORTANTES**

- 1. METALES Y ALEACIONES**
- 2. DUREZA, MALEABILIDAD, DUCTILIDAD**
- 3. CONDUCTIVIDAD TERMICA Y ELECTRICA**
- 4. TIPOS DE ALEACIONES**
- 5. ACEROS, POLIMEROS: DEFINICION, CLASIFICACION, ESTRUCTURA y PROPIEDADES. CRISTALINIDAD**
- 6. CAUCHO, VULCANIZACION.**

# **1. METALES y ALEACIONES**



# METALES



# DEFINICION DE LOS METALES

- La *ciencia de materiales* define un **metal** como un material el cual contiene un *enlace metálico*, que genera como resultado características como buenos conductores del calor y la electricidad, poseer alta densidad, y ser sólidos a temperaturas ambiente (excepto el mercurio y el galio).
- Los *metales puros* están compuestos de átomos del mismo tipo, mientras que las *aleaciones metálicas* están compuestas de dos o más elementos químicos de los cuales al menos uno es metal.

# VENTAJAS DE LOS METALES

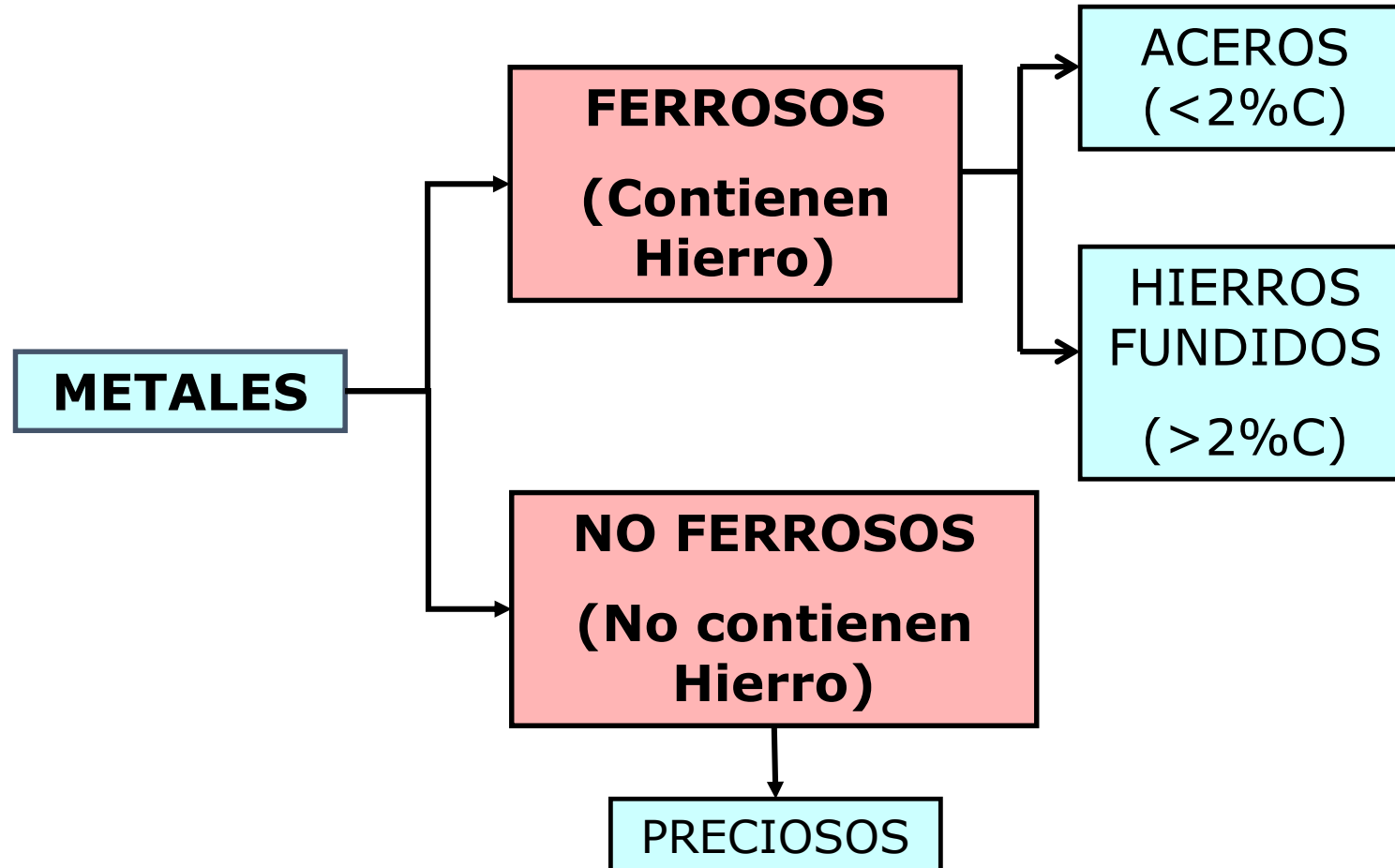
## ***ALGUNAS VENTAJAS COMPARATIVAS IMPORTANTES***

- Poseen buenas propiedades mecánicas.
- Son abundantes.
- Son reciclables y reutilizables.
- Cada metal tiene unas propiedades especiales para su utilización en ingeniería.
- Poseen buenas propiedades eléctricas y magnéticas.
- Se pueden endurecer o ablandar mediante técnicas de fabricación aún después de los acabados.
- Casi todos los procesos de fabricación son aplicables a los metales.

# CLASIFICACIÓN DE LOS METALES

- Los metales se clasifican en:
- **FERROSOS:** Son aquellos materiales que tienen al hierro como elemento principal en su composición. *(Aceros y Hierros Fundidos)*
- **NO FERROSOS:** Son aquellos materiales que NO tienen al hierro como elemento principal en su composición. *(Aluminio y sus aleaciones, Cobre y sus aleaciones, Zinc y sus aleaciones, Magnesio y sus aleaciones, Níquel y sus aleaciones...etc.)*
- **PRECIOSOS:** son aquellos que se encuentran en estado libre en la naturaleza, es decir, no se encuentran combinados con otros elementos formando compuestos. *(el oro, (Au), la plata, (Ag), el paladio, (Pd) platino, (Pt), y el rodio, (Rh).)*

# CLASIFICACIÓN DE LOS METALES



## **2. DUREZA, MALEABILIDAD y DUCTILIDAD**



# DUREZA DE LOS METALES

## ENSAYO DE MARTENS:

Martens fue el primero en desarrollar una maquina para medir dureza, se baso en el esclerómetro de Franz.

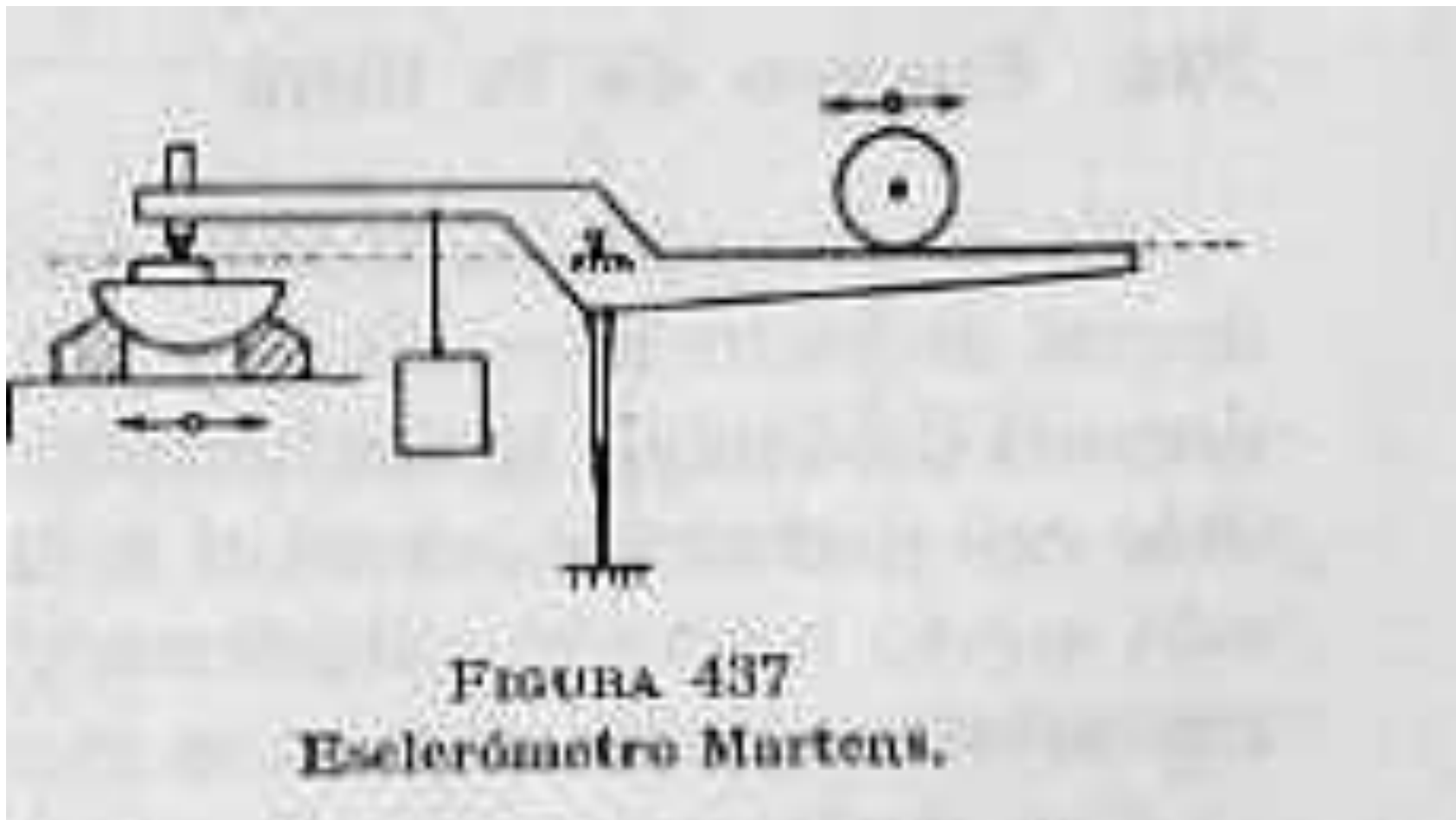
La dureza se determina en función de la oposición que un material ofrece a ser rayado por un diamante de forma piramidal con un ángulo en el vértice de 90°. El principio se basa en un brazo en el que en un extremo está el diamante y en el otro la carga, esta puede desplazarse a lo largo de una corredera .

La dureza Martens se expresa en gramos, que son los que deben actuar sobre el diamante para producir una raya sobre la probeta  
El ancho de la raya es de 0.01 mm .

Por ejemplo: Dureza Martens del Pb 16.8, Cu: 37 ,  
acero de baja aleación 73. acero duro : 145

# DUREZA DE LOS METALES

## ENSAYO DE MARTENS



# DUREZA DE LOS METALES

## ENSAYO DE DUREZA A LA LIMA

Es el procedimiento mas simple y mas extendido para apreciar la dureza de los metales.

En general se usa una lima de 8" x 1" x ¼" de espesor de rayado simple y de dureza de 60 Rc.

Para hacer el ensayo mas fácil lo mejor es compararlo con otro de dureza conocida.

Se da una serie de "golpes" de lima a la pieza a ensayar ,y se trata de determinar el "sonido "metálico" que produce.

# DUREZA DE LOS METALES

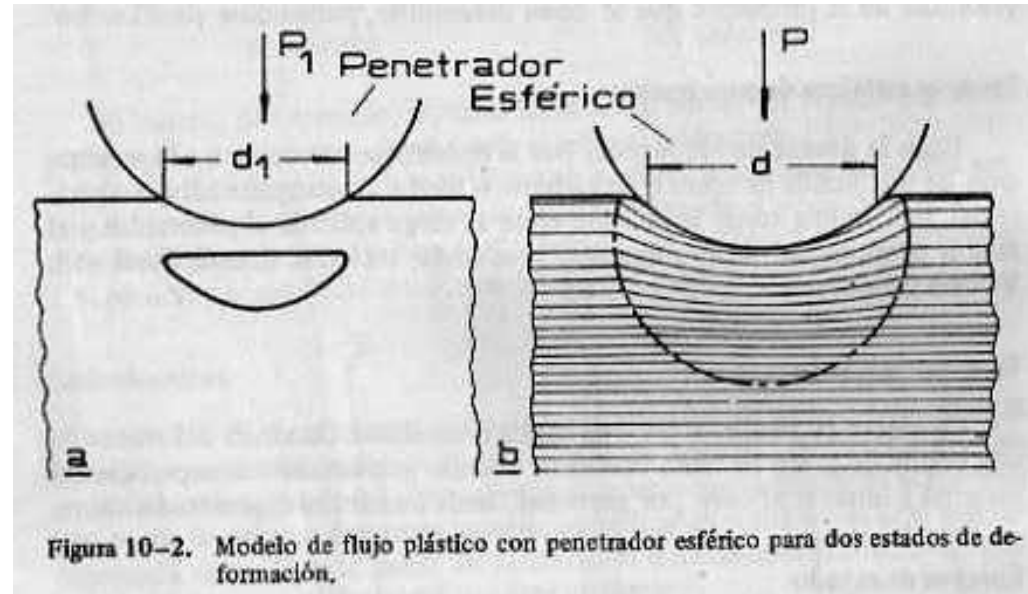
## Ensayos de Penetración

La Dureza como resistencia a la penetración.

Resistencia que un material opone a ser penetrado por otro.

La forma del penetrador, esférico, piramidal o cónico, produce una modificación total en las zonas deformadas.

Los valores de dureza medidos en diferentes condiciones de ensayo o mediante diferentes métodos difieren entre si, al provocar cambios en el volumen del material plásticamente deformado.



Para un mismo material depende fundamentalmente del ángulo de penetración

# DUREZA DE LOS METALES

**DUREZA BRINELL:** Consiste en comprimir una bolilla de acero muy duro sobre la superficie del material a ensayar, durante un tiempo  $t.$ , produciendo una marca llamada impronta, que es un calco de la esfera que penetra.

La dureza Brinell se calcula con la formula :  $H_B = P / S$

$$S = \pi \cdot D \cdot h \quad H_B = P / \pi \cdot D \cdot h \text{ (Kg. / mm}^2\text{)}$$

Y como  $S$  es la superficie de un casquete esferico la dureza Brinell se expresa.

$$H_B = \frac{2 P}{\pi \cdot D ( D - \sqrt{D^2 - d^2} )}$$

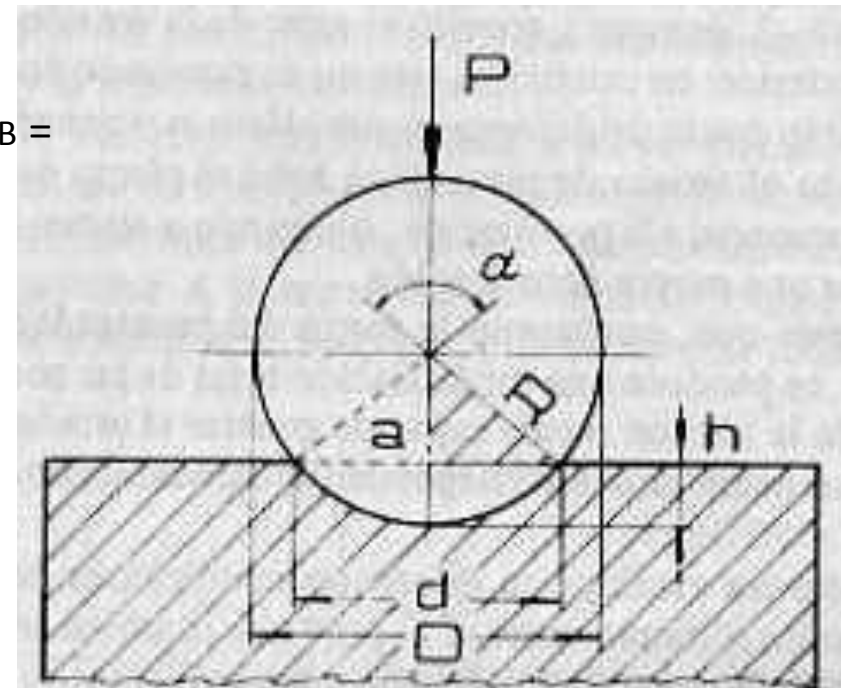


Figura 10-3. Parámetros de ensayo de dureza Brinell.

# DUREZA DE LOS MATERIALES

## DUREZA BRINELL

### Ensayo de Dureza

El ensayo se realizara en una maquina de ensayos Rockwell, con una precarga de 10 Kg. Los valores de carga serán los siguientes para un diámetro determinado:

Ø 5 mm	125 Kg	62,5 kg.
Ø 2,5 mm	187.5 Kg.	62,5Kg.
		32,5 Kg.

Los diámetros se medirán con una lupa graduada, y los valores de dureza se pueden obtener por calculo o por tablas.

Se pueden obtener tomando los valores de la escala negra y determinando el valor de la dureza por tablas.

Estudiar Guia de Trabajos Prácticos de Dureza Brinell.

# DUREZA DE LOS METALES

DUREZA ROCKWELL; Se basa en la resistencia que opone un metal a ser penetrado por otro.

El valor de la dureza se lee directamente  
En el cuadrante de la maquina .

Actuan 2 cargas: una preliminar de 10 Kg.  
La segunda, es la que produce la deformacion permanente y es de 50, 90 o 140 Kg.  
Hay 2 penetradores : uno es un cono de diamante de 120° y sirve para medir la dureza de los materiales duros.

El otro es una bolilla de acero de  $\varnothing 1/16''$ , que sirve para medir la dureza de los materiales blandos.

La lectura se hace sobre un micrometro que esta fijo en el aparato, tiene 2 escalas graduadas una negra de 100 divisiones para medir los valores realizados con el diamante, materiales duros.  
Y una roja , con 130 divisiones para medir, cuando se usa bolilla, materiales blandos.



# DUREZA DE LOS METALES

## DUREZA ROCKWELL

Considerando que la medición de la profundidad se registra en una escala de 100 divisiones, cada división mide 0,002 mm, verificamos que el máximo registro corresponderá a una profundidad de 0,2 mm.

La escala negra para materiales duros tiene 100 divisiones, pero la escala roja para materiales blandos tiene 130 divisiones, pero como cada escala tiene la misma división, la escala roja esta corrida 30 divisiones .

Alcance de la escala negra de 0 a 100 = 0,20 mm

Alcance de la escala roja de 0 a 130 = 0.26 mm



## MALEABILIDAD

La **maleabilidad** es la propiedad de adquirir una deformación mediante una compresión sin romperse.

El elemento conocido más **maleable** es el oro. También presentan esta característica otros metales como el platino, la plata, el cobre y el hierro.

Los materiales maleables son aquellos que aun siendo duros, pueden deformarse mediante descompresión sin sufrir fracturas, es decir, pueden alterar significativamente su longitud y su forma. Por ejemplo:

El oro. Este metal precioso es el material más maleable conocido por el hombre. Es posible obtener láminas de oro de una diezmilésima de milímetro de espesor. Esto le da un uso privilegiado en la joyería y otras aplicaciones comerciales, ya que permite recubrir en oro metales más económicos.

**La plata.** Otro metal precioso, sumamente abundante en la naturaleza y de notoria maleabilidad, ductilidad, blandura, brillo y color blanco. De hecho, el nombre de la plata proviene del latín *platus*, que significa “plano” y que hacía alusión a las láminas planas del metal que es posible obtener con facilidad.

**El platino.** Este metal precioso, pesado y altamente resistente a la corrosión es muy demandado para aprovechar su maleabilidad y fabricar joyas, componentes electrónicos, catalizadores vehiculares y del petróleo, así como aparatos de neurocirugía y otras importantes aplicaciones médicas.

**El aluminio.** Quizá uno de los ejemplos más cotidianos de la maleabilidad sea el aluminio, un material muy abundante en la corteza terrestre (alrededor del 8% de la misma), no ferromagnético, buen conductor del calor y la electricidad pero sobre todo maleable en extremo. Así se fabrica el papel de aluminio presente en todas nuestras cocinas.

**El hierro.** Este metal pesado y ferromagnético tiene la propiedad de ser dúctil y maleable a la vez, pero también fácilmente oxidable. Por eso se prefiere trabajarlo en aleaciones (con carbono, silicio y otros metales), obteniendo así el acero. Éste último conserva parte de las propiedades del hierro, si bien atenuadas por sus nuevos componentes. El carbono, en especial, confiere fragilidad a la aleación.

**El cobre.** Se trata de un metal rojizo, brillante y, junto a la plata, de los mejores conductores eléctricos conocidos. Gracias a ello, y a su ductilidad y maleabilidad extremas (puede deformarse con las manos) es el material más empleado para redes de tendido eléctrico y diversos componentes eléctricos y electrónicos. Además, muchas aleaciones suyas conservan esta capacidad de deformación, como ocurre con el latón.

**El latón.** Se llama así a la aleación del cobre con el zinc, de color dorado, no ferromagnético y maleable en frío. El hecho de que no produzca chispas por impacto metálico, sea resistente a la oxidación y a la salinidad, lo convierten en un material industrial ideal para numerosísimas aplicaciones, desde componentes de barcos hasta herramientas cotidianas y envases para alimentos.

**El bronce.** Otra aleación del cobre, esta vez con el estaño, fue uno de los metales más significativos en la historia de la humanidad, tanto así que da nombre a un período prehistórico: la “Edad de bronce”. Sirvió para fabricar armas, utensilios, joyería, medallas, monedas, esculturas y un sinnúmero de aplicaciones hasta nuestros días, ya que se trata de un metal maleable, resistente a la corrosión y al roce.

**El níquel.** Es un metal de transición blanco amarillento, buen conductor del calor y de la electricidad, ferromagnético a temperatura ambiente y muy dúctil y maleable, a pesar de ser uno de los metales más densos conocidos, junto al iridio, hierro y osmio. Presenta propiedades semejantes al hierro y, junto con éste, constituye el núcleo de nuestro planeta, por lo que se trata en principio de un mineral abundante. Es, también, uno de los metales más demandados de la industria humana.

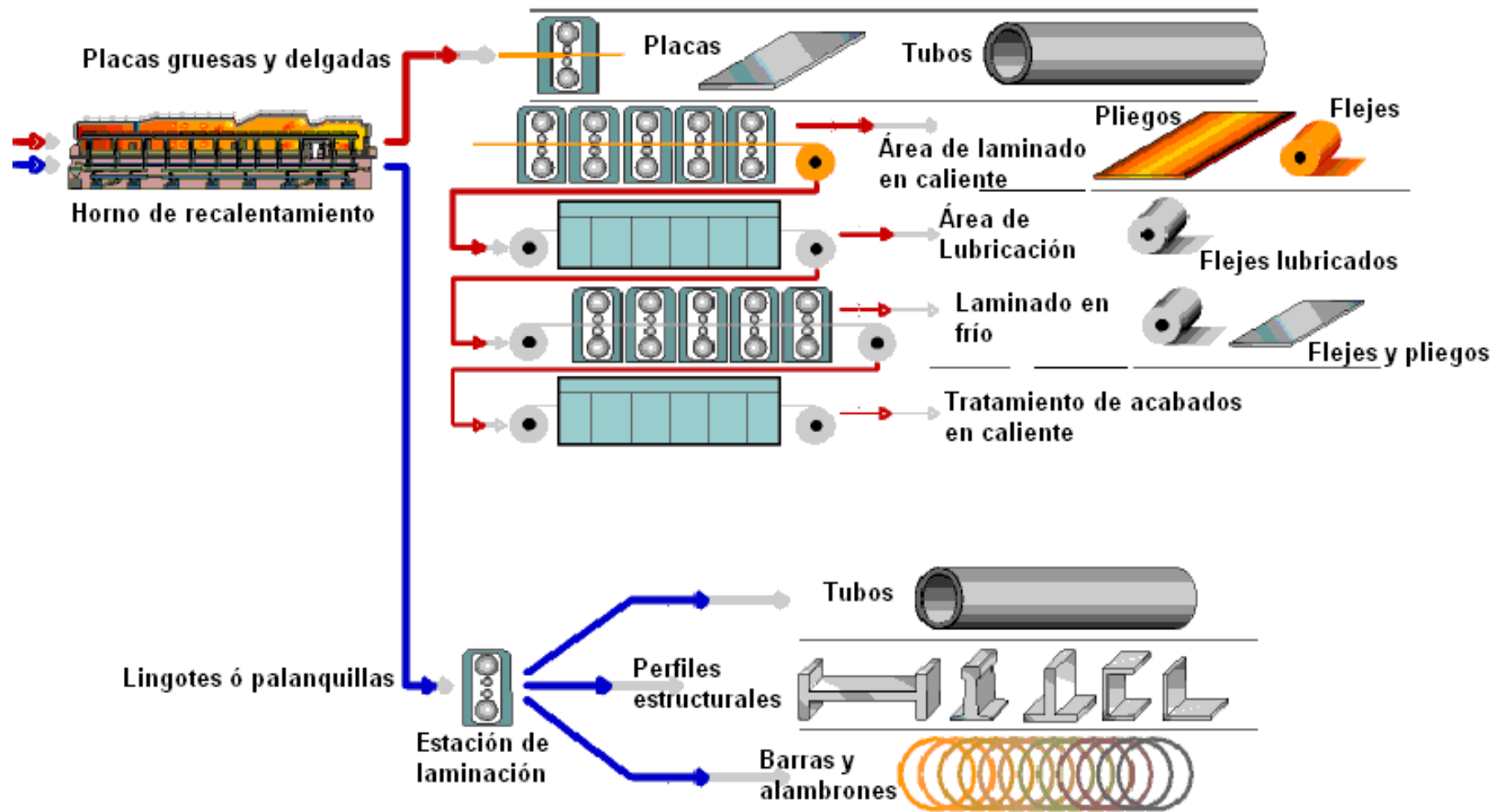
**El plomo.** Este metal pesado de color gris mate es muy particular entre los elementos metálicos conocidos debido a su enorme flexibilidad molecular. Esto motivó a su inclusión tardía en la Tabla periódica. El plomo es inelástico, maleable hasta cierto punto y desde tiempos antiguos se ha empleado para fabricar láminas destinadas a la escritura o los grabados.

# *Laminación*

- Después de obtener el lingote o palanquilla durante el proceso de producción, se procede a **laminarlo**. Este consiste en dar forma a las piezas y reduciéndolas a secciones más delgadas por medio de un estirado y compresión, el cual se realiza haciendo pasar las piezas entre rodillos cilíndricos, que giran a igual velocidad y en sentido contrario.

## *PROCESOS DE LAMINACIÓN*

- Dentro del proceso de laminación existen dos tipos:
- Laminación en **caliente**.
- Laminación en **frío**.



## *Laminación en caliente.*

En este tipo de laminación los rodillos se llaman **devastadores**. La superficie es rugosa que comprimen fuertemente el material calentado a temperatura deseada, a fin de facilitar el flujo del material y reducir las fuerzas de laminación. El **laminado en caliente**, casi siempre se usa en el formado inicial o rompimiento de los lingotes vaciados ya que a temperaturas elevadas, la **maleabilidad** es generalmente **alta** permitiendo la deformación con relativa facilidad. Este proceso se utiliza en la fabricación de **barras y perfiles tipo I, H, WF, C, S.**



## *Laminado en frío*

En este proceso los rodillos utilizados son denominados de **acabado** de superficie lisa y dura, considerado como una especie de proceso primario de deformación, se aplica solamente a metales de aleaciones muy maleables y con frecuencia se usa para obtener **dureza, resistencia, ductilidad. y buen acabado** de la superficie en una aleación previamente formada por laminado en caliente.

# *Rolformación*

- Proceso por medio del cual se da forma a los perfiles de **acero ligero**, el cual consiste en pasar el material a través de rodos continuos ya sea en caliente o en frío.
- De acuerdo a lo anterior, podemos deducir que los aceros **estructurales pesados**, pueden ser fabricados a través de **fusiónabilidad, colado continuo y laminación en caliente**, mientras que los **aceros livianos o ligeros** se obtienen por **laminación en caliente y en frío**, para luego ser fabricados por rolformadoras en caliente y en frío.

## *Control de Coladas.*

Tomar muestras cuando se supone que la mezcla es homogénea, la cual es analizada en un **espectrómetro** del laboratorio para conocer los porcentajes de **fósforo, azufre, manganeso, silicio y carbono** logrando determinar con mayor aproximación su composición química. De acuerdo a los resultados se añaden **ferro-aleaciones** hasta lograr la composición deseada.

Un segundo **muestreo** durante la **colada**, ya sea al inicio o al final, para efectos de comprobación.

## DUCTILIDAD

La **ductilidad** es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse plásticamente de manera sostenible sin romperse, permitiendo obtener alambres o hilos de dicho material. A los materiales que presentan esta propiedad se les denomina *dúctiles*. Los materiales no dúctiles se califican como frágiles. Aunque los materiales dúctiles también pueden llegar a romperse bajo el esfuerzo adecuado, esta rotura sólo sucede tras producirse grandes deformaciones.

En otros términos, un material es dúctil cuando la relación entre el alargamiento longitudinal producido por una tracción y la disminución de la sección transversal es muy elevada.

En el ámbito de la metalurgia se entiende por metal dúctil aquel que sufre grandes deformaciones antes de romperse, siendo el opuesto al metal frágil, que se rompe sin apenas deformación. Nótese que la ductilidad es un fenómeno observable sólo en régimen plástico.

No debe confundirse **dúctil con blando**, ya que la ductilidad es una propiedad que como tal se manifiesta una vez que el material está soportando una fuerza considerable, suficiente para producir plastificación. Esto es, mientras la carga sea pequeña, la deformación también lo será y en general la deformación será elástica y reversible, sin embargo, alcanzado cierto punto el material cede fluye por plastificación, deformándose en mucha mayor medida de lo que lo había hecho hasta entonces pero sin llegar a romperse.

En un ensayo de tracción, los materiales dúctiles presentan una fase de fluencia caracterizada por una gran deformación sin apenas incremento de la carga. Desde un punto de vista tecnológico, al margen de consideraciones económicas, el empleo de materiales dúctiles presenta ventajas:

En la fabricación: ya que son aptos para los métodos de fabricación por deformación plástica.

En el uso: presentan deformaciones notorias antes de romperse. Por el contrario, el mayor problema que presentan los materiales frágiles es que se rompen sin previo aviso, mientras que los materiales dúctiles sufren primero una acusada deformación, conservando aún una cierta reserva de resistencia, por lo que después será necesario que la fuerza aplicada siga aumentando para que se provoque la rotura.

La ductilidad de un metal se valora de forma indirecta a través de la resiliencia. La ductilidad es la propiedad de los metales para formar alambres o hilos de diferentes grosores. Los metales se caracterizan por su elevada ductilidad, la que se explica porque los átomos de los metales se disponen de manera tal que es posible que se deslicen unos sobre otros y por eso se pueden estirar sin romperse.

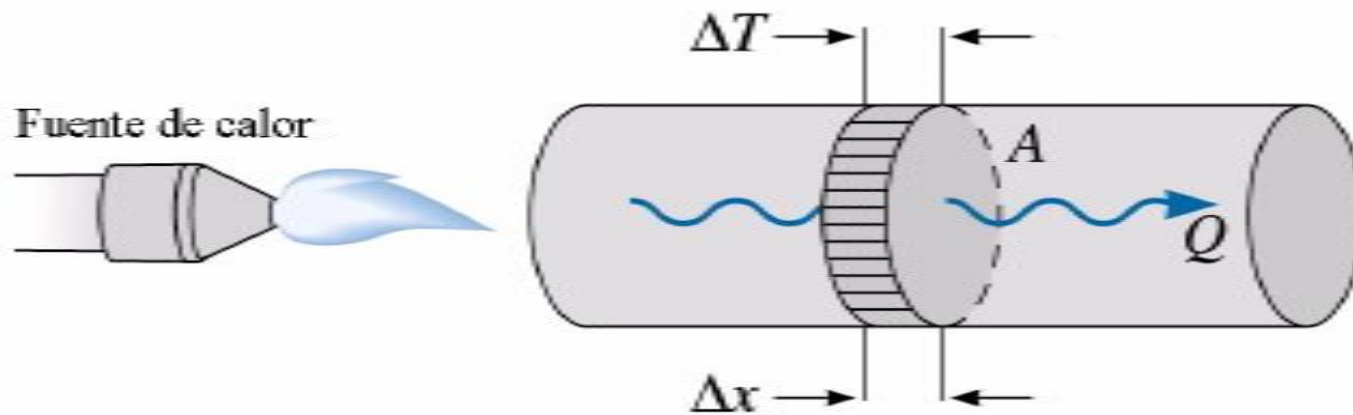
Tras una prueba de tensión, o prueba de tracción, son dos las *medidas* que nos proporcionan información acerca de la *ductilidad* de un material: el porcentaje de elongación y la reducción porcentual en el área.

### **3. CONDUCTIVIDAD TERMICA y ELECTRICA**

# CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducir calor.

Esta propiedad depende principalmente del material y la temperatura.





# PROPIEDADES TERMICAS DE LOS MATERIALES

Una propiedad termica es la respuesta de un material al ser calentado.

Éstas son:

- Calor
- Temperatura
- Capacidad calorica
- Calor especifico
- Dilatacion (expansion) termica
- Conductividad termica

# TEMPERATURA Y CALOR

La temperatura es una magnitud que refleja el nivel térmico de un cuerpo (su capacidad para ceder energía calorífica) y el calor es la energía que pierde o gana en ciertos procesos (es un flujo de energía entre dos cuerpos que están a diferentes temperaturas).

# TEMPERATURA DE FUSION

Es la temperatura a la cual una sustancia pasa del estado solido al estado liquido, o a la inversa. También se denomina punto o temperatura de solidificación.

# TEMPERATURA DE EBULLICION

Es la temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es igual a la presión del medio que rodea al líquido. En esas condiciones se puede formar vapor en cualquier punto del líquido.

# PUNTOS DE EBULLICION DE ALGUNOS METALES

<b>METALES</b>	<b>PUNTO DE FUSION</b>
Estaño	240°C (450°F)
Plomo	340°C (650°F)
Cinc	420°C (787°F)
Aluminio	620°-650°C (1150°-1200°F)
Bronce	880°-920°C (1620°-1680°F)
Latón	930°-980°C (1700°-1800°F)
Plata	960°C (1760°F)
Cobre	1050°C (1980°F)
Hierro fundido	1220°C (2250°F)
Metal monel	1340°C (2450°F)
Acero de alto carbono	1370°C (2500°F)
Acero medio para carbono	1430°C (2600°F)
Acero inoxidable	1430°C (2600°F)
Níquel	1450°C (2640°F)
Acero de bajo carbono	1510°C (2750°F)
Hierro forjado	1593°C (2900°F)
Tungsteno	3396°C (6170°F)

# CAPACIDAD CALORICA

Es la propiedad que indica la habilidad de un material para absorber calor de los alrededores.

Representa la cantidad de energía requerida para producir un aumento de la unidad de temperatura

La capacidad calórica viene dada por :

$$C = Q/dT$$

# CALOR ESPECIFICO

Es la cantidad de energía necesaria para aumentar en 1 °C la temperatura de 1 kg de material. Indica la mayor o menor dificultad que presenta una sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Los materiales que presenten un elevado calor específico serán buenos aislantes. Sus unidades del Sistema Internacional son  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , aunque también se suele presentar como  $\text{kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{K})$ ; siendo  $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$ .

# CALOR LATENTE Y CALOR SENSIBLE

## ***Calor latente de fusión o calor de cambio de estado:***

Es la energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado, de sólido a líquido (**fusión**) o de líquido a gaseoso (**vaporización**).

## ***Calor sensible:***

Es la energía calorífica que, aplicada a una sustancia, aumenta su temperatura.



## Problema de aplicación

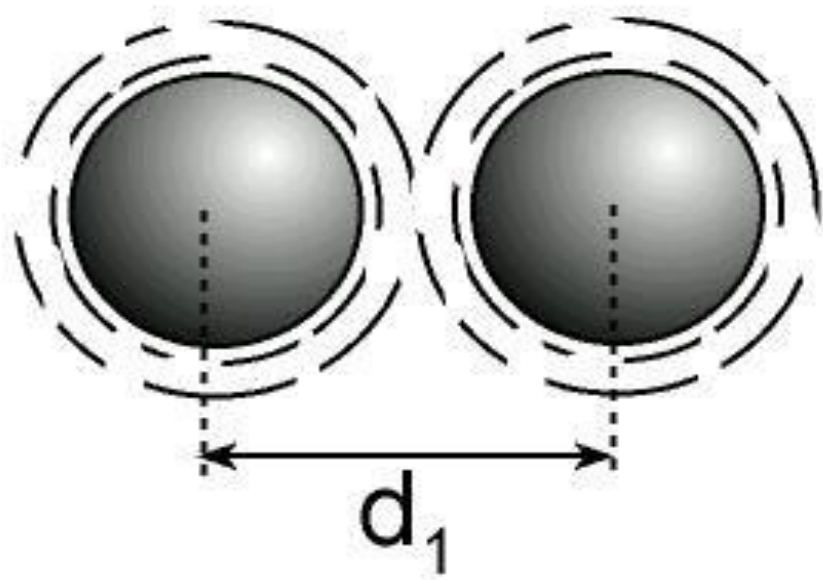
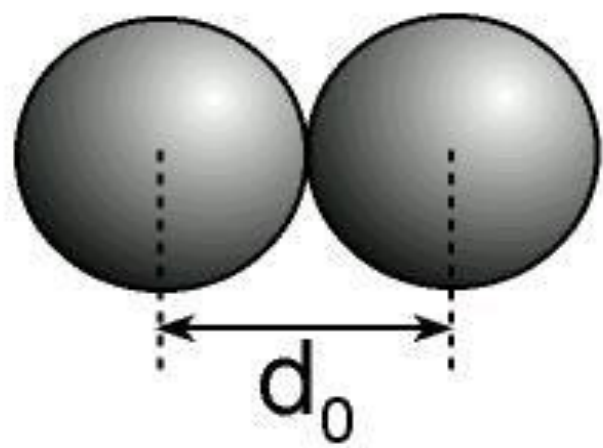
Una esfera de cobre de masa igual a 4 Kg, es llevada desde 25 ° C hasta 400 ° C.

¿Cuál es el calor sensible que esta experimenta?

R/= 577.5 KJ

# EXPANSION ( DILATACION ) TERMICA

Es el cambio de longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica que sufre un cuerpo físico debido al cambio de temperatura que se provoca en este por cualquier medio.



# COEFICIENTE DE DILATACIÓN

Describe la cantidad en la cual cada unidad de longitud de un material cambia por grado.

# TIPOS DE DILATACIÓN

- Dilatación lineal
- Dilatación superficial
- Dilatación volumétrica

# ALGUNOS COEFICIENTES DE DILATACIÓN

- [Hormigón](#)  $1,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .
- [Acero](#)  $12 \times 10^{-6}$
- [Hierro](#)  $12 \times 10^{-6}$
- [Plata](#)  $2,0 \times 10^{-5}$
- [Oro](#)  $1,5 \times 10^{-5}$
- [Invar](#)  $0,04 \times 10^{-5}$
- [Plomo](#)  $3,0 \times 10^{-5}$
- [Zinc](#)  $2,6 \times 10^{-5}$
- [Aluminio](#)  $2,4 \times 10^{-5}$
- [Latón](#)  $1,8 \times 10^{-5}$
- [Cobre](#)  $1,7 \times 10^{-5}$
- [Vidrio](#)  $0,7 \times 10^{-5}$
- [Cuarzo](#)  $0,04 \times 10^{-5}$
- [Hielo](#)  $5,1 \times 10^{-5}$

# ESFUERZO TERMICO

Esfuerzo introducido en un material debido a diferencias en la cantidad de dilatación o contracción que ocurre por el cambio de temperatura.

## Problema de aplicación

Un vidrio tiene coeficiente de dilatación de  $9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$ .

¿Qué capacidad tendrá un frasco de ese vidrio a  $25 \text{ } ^\circ \text{C}$ , si su medida a  $15 \text{ } ^\circ \text{C}$  es de  $50 \text{ cm}^3$ ?

R/=  $50.0135 \text{ cm}^3$



# FORMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

- Conducción
- Convección
- Radiación

**TRANSFERENCIA DE CALOR**

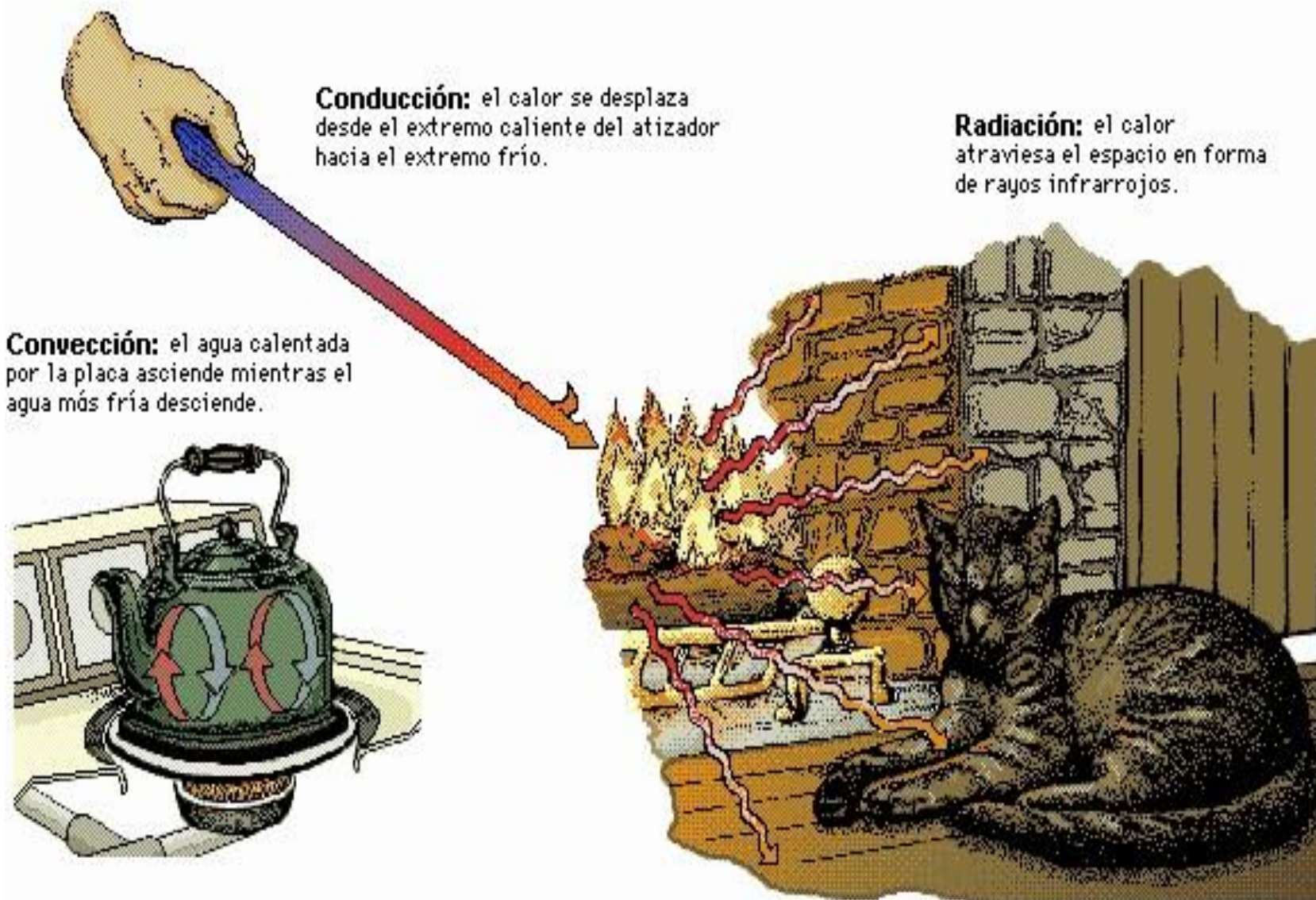


**L**A TRANSFERENCIA de **energía calorífica** puede tener lugar por radiación, convección o conducción. El calor radiante está compuesto por ondas electromagnéticas, que pueden viajar en el **vacío**. El calor del Sol viaja hasta la Tierra a través de espacio vacío por radiación. La convección está relacionada con el transporte de átomos o moléculas y tiene lugar en los **fluidos**. Por ejemplo, el aire caliente se eleva, llevándose consigo la energía calorífica. La conducción es la transferencia de energía térmica sin transporte de átomos ni moléculas. El proceso concreto es distinto en los metales, que conducen bien, que en los no metales.

**CALENTAR SOPA**  
*El calentamiento de la sopa en éste fogón halógeno ilustra los tres tipos de transferencia de calor.*

Transferencia de calor en una barra metálica  
*Si se calienta un extremo de una barra metálica, el calor viaja por conducción al otro extremo.*





**Conducción:** el calor se desplaza desde el extremo caliente del atizador hacia el extremo frío.

**Radiación:** el calor atraviesa el espacio en forma de rayos infrarrojos.

**Convección:** el agua calentada por la placa asciende mientras el agua más fría desciende.

# CONDUCCIÓN TÉRMICA

La conducción es la forma que tiene el calor de propagarse por los sólidos.



# PROPIEDADES ELECTRICAS

## Conductividad eléctrica en sólidos.

Cuando se considera un conductor metálico de longitud  $L$  (en cm), área de sección transversal  $A$  (en  $\text{cm}^2$ ), por el que pasa una corriente  $i$  — perpendicular al área  $A$ — su **resistencia** eléctrica,  $R$ , puede expresarse a través de la propiedad intrínseca del conductor conocida como **resistencia específica** o **resistividad** ( $\rho$ , en ohm-cm):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

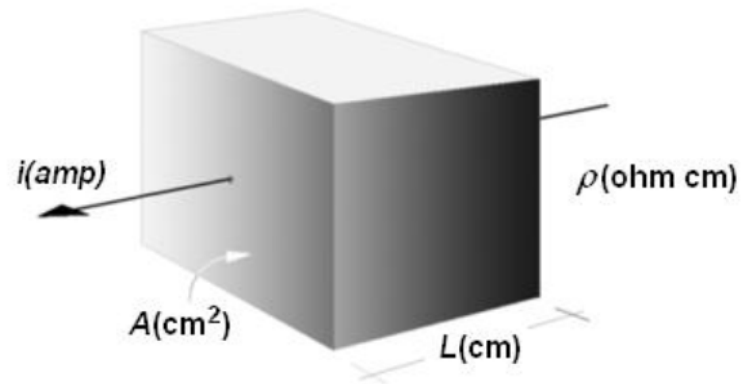


Fig. 1 Conductividad en un metal.



# PROPIEDADES ELECTRICAS

Por otra parte, al inverso de la resistencia se le denomina *conductancia* y en forma similar, al inverso de la resistividad, *conductancia específica* o *conductividad*:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \times \frac{L}{A}, \text{ ó } k_m = k \times \left( \frac{L}{A} \right) \quad (2)$$

donde:

$K_m$  = conductancia medida ( $\text{ohm}^{-1}$ )

$k$  = conductancia específica o conductividad ( $\text{ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )

La conductividad eléctrica en los metales se debe a los *electrones de conducción*; éstos surgen debido a que los *electrones de valencia* en el metal son generales y no pertenecen a un átomo en particular. En la teoría clásica (Drude-Lorentz) los electrones de conducción se consideran formando parte de un *gas electrónico* en donde cada electrón tiene 3 grados de libertad. Según la *estadística de Fermi-Dirac* dicho gas se considera un *gas cuántico degenerado*.

La conductividad en los cristales sólidos, por su parte, se debe a defectos en los cristales, por lo general el defecto Schottky y el defecto Frenkel. En el primero, la migración en muy pequeña escala de ambos tipos de iones, debido a la ausencia de éstos en algunos sitios de la red cristalina, genera el movimiento y la aparición de la conductividad (vgr., los iones cloruro y sodio en el NaCl). En el segundo caso, la dislocación de algún ion desde su posición normal en la red cristalina y hacia algún sitio intersticial, genera el movimiento de

## PROPIEDADES ELECTRICAS

iones. Este movimiento se puede dar o bien por la migración directa del ión (*salto intersticial*) o por el reemplazo de otro ion por el primero, dando por resultado la migración del segundo ión (*mecanismo intersticial*). Un ejemplo común de este tipo de defecto, lo constituye la migración de iones plata en el cloruro de plata.

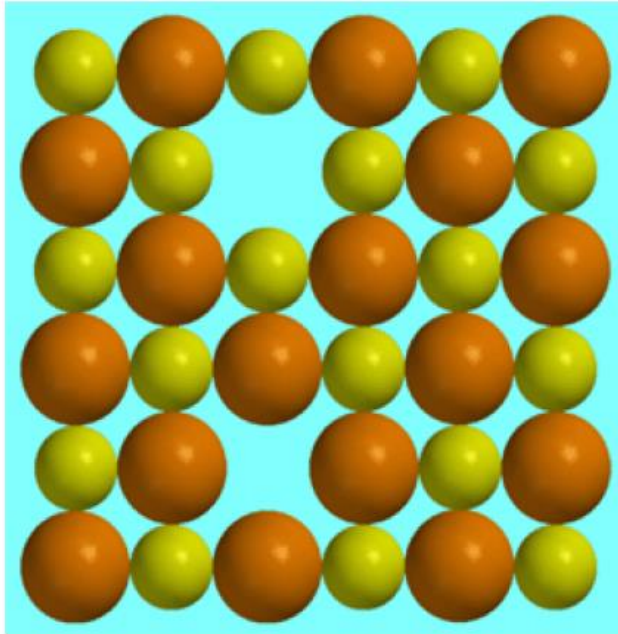


Fig. 2 Defecto Schottky. Espacios vacíos en la red (iones de cada tipo ausentes).

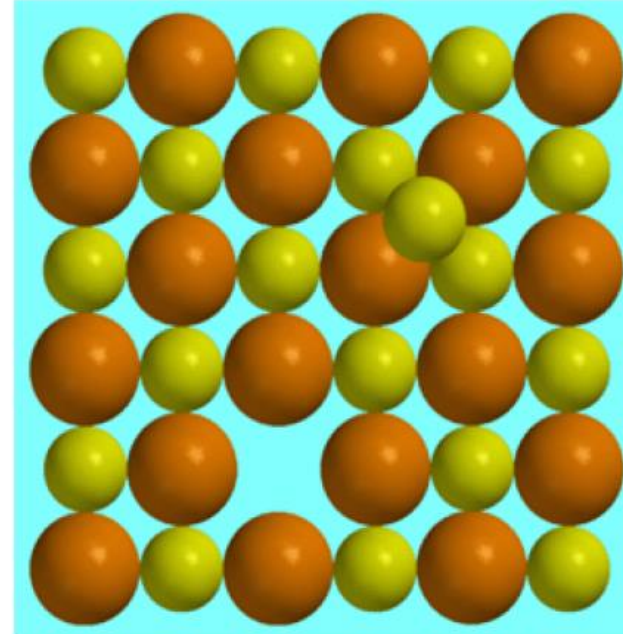


Fig. 3 Defecto Frenkel. Ion dislocado de la red, ubicado en una zona intersticial.