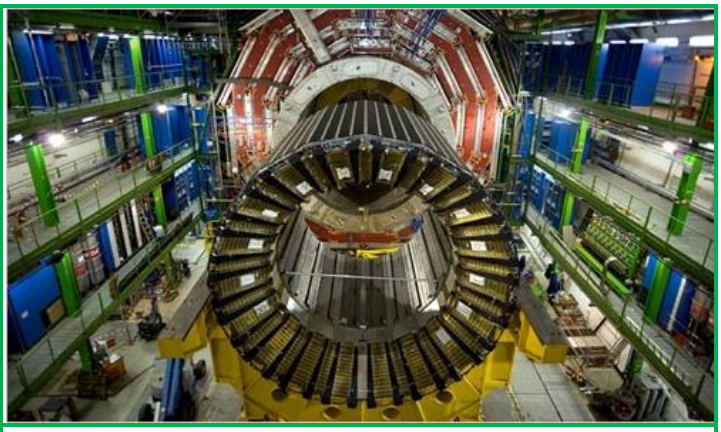
MATERIA: TECNOLOGÍA INDUSTRIAL I.

BLOQUE III. MATERIALES.

TEMA 11. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

ÍNDICE:

1. TIPOS DE MATERIALES.
2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.
3. PROPIEDADES QUÍMICAS.
   3.1. Oxidación.
   3.2. Corrosión.
4. PROPIEDADES FÍSICAS.
   4.1. Densidad y peso específico.
   4.2. Propiedades eléctricas.
   4.3. Propiedades térmicas.
   4.4. Propiedades magnéticas.
   4.5. Propiedades ópticas.
5. PROPIEDADES MECÁNICAS.
   5.1. Ensayo de tracción.
   5.2. Ensayos de dureza.
   5.3. Ensayo de resiliencia.
   5.4. Fractura.
   5.5. Fatiga.
   5.6. Fluencia.
   5.7. Fricción.
6. OTRAS PROPIEDADES: ESTÉTICAS Y ECONÓMICAS.
7. PROPIEDADES DE FABRICACIÓN.
8. SELECCIÓN DE MATERIALES.
   8.1. Ejemplos de aplicación.
9. ACTIVIDADES DE SÍNTESIS.
10. RECURSOS WEB.
11. BIBLIOGRAFÍA.

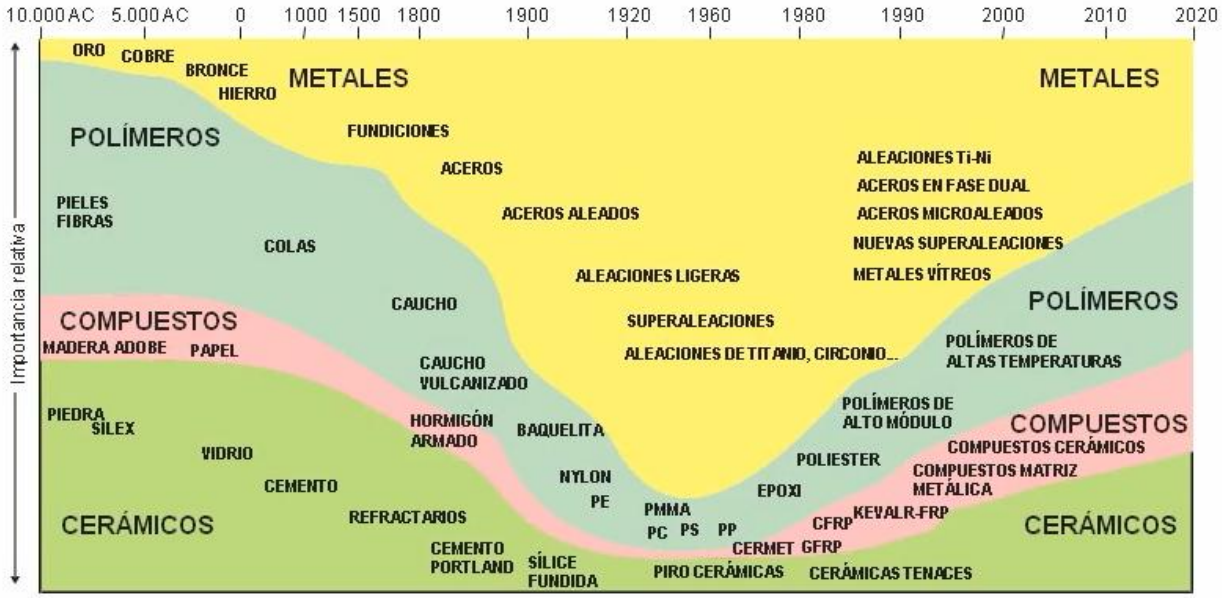


Las casas, carreteras, automóviles, aviones..., todas las estructuras y máquinas que usamos cotidianamente están construidas a partir de diferentes materiales, elegidos en cada caso por sus propiedades adecuadas para la utilización a la que van a ser destinados.

Como consecuencia del desarrollo tecnológico se produce una evolución continua en la búsqueda de nuevos materiales o de tratamientos que mejoren las propiedades de los mismos. Todo ello ha significado un considerable avance en el plano tecnológico y ha conducido a la obtención de productos de una gran calidad a precios altamente competitivos.

En este tema se estudiarán las propiedades de los materiales, que son la causa de que para cada aplicación particular sea elegido un tipo de material específico.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS MATERIALES



1. TIPOS DE MATERIALES

Los materiales son sustancias que, a causa de sus propiedades, resultan de utilidad para la fabricación de estructuras, maquinaria y otros productos.

Los materiales han marcado desde tiempos muy remotos la vida de la especie humana, hasta el punto de que su evolución se divide en períodos de tiempo que se designan con el nombre del material empleado preferentemente; así, se distinguen los siguientes períodos sucesivos:

• Edad de Piedra: las piedras se utilizaban para construir elementos rudimentarios de corte o de caza.

• Edad del Bronce: el bronce -que es una aleación de cobre y estaño- se trabajaba en estado fundido para fabricar recipientes, elementos de corte y caza más avanzados.

• Edad del Hierro: el hierro también se trabajaba fundido, aunque en este caso la complejidad del proceso aumentaba al precisar una temperatura bastante mayor. De esta forma se obtenían elementos más duros y resistentes que los de bronce.

Existen materiales de muy diversos tipos que, de forma muy general, se pueden clasificar en cuatro grandes grupos:

• **Metales y aleaciones**: hierro y acero, aluminio, cobre, níquel, titanio, etc., y sus aleaciones.

• **Polímeros**: polietileno (PE), polimetilmetacrileno (PMMA), nailon, poliestireno, poliuretano, cloruro de polivinilo (PVC), caucho, etc.

• **Cerámicos y vidrios**: alúmina (Al_2O_3), magnesia (MgO), sílice (SiO_2), vidrios, carburo de silicio (SiC), nitruro de silicio (Si_3N_4), cementos, hormigones, etc.

• **Materiales compuestos**: madera, fibra de vidrio (GFRP), fibra de carbono (CFRP), polímeros rellenos, cermets, etc.

2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades de un material determinado se pueden clasificar en cinco grupos diferentes:

- Propiedades químicas.
- Propiedades físicas.
- Propiedades mecánicas.
- Propiedades estéticas y económicas.
- Propiedades de fabricación.

Salvo las estéticas y económicas, las demás propiedades de un material dependen de su estructura interna y condicionan su comportamiento durante el proceso de fabricación, a la vez que le confieren utilidad para unas determinadas aplicaciones.

Ya que la **estructura interna de un material define sus propiedades**, si queremos modificar éstas habrá que variar de alguna manera su estructura interna; esto se consigue, en el caso de los metales, al alearlos entre sí o al someterlos a tratamientos térmicos, como se analizará más adelante.

¿Qué es una aleación?

Una aleación es una mezcla de dos o más metales, o de metales y no metales, que se entremezclan en estado fundido calentándolos por encima de su temperatura de fusión.

Para ser considerada como tal, una aleación debe cumplir dos condiciones:

• Los elementos que se mezclan deben ser totalmente miscibles en estado líquido.

• El producto obtenido debe poseer carácter metálico; es decir, su estructura interna ha de ser semejante a la de los metales.

Los metales se alean para modificar sus propiedades; por ejemplo, la dureza del hierro se eleva extraordinariamente cuando se le adiciona carbono.

Las aleaciones de hierro con un contenido en carbono entre 0,03 y 1,67% se designan con el nombre de aceros. Por su parte, el bronce es una aleación de cobre y estaño; y los latones, aleaciones de cobre y cinc.

En las aleaciones las concentraciones de los elementos se suelen expresar en tanto por ciento en masa, aunque también es frecuente el uso de concentraciones volumétricas y atómicas.

3. PROPIEDADES QUÍMICAS

Uno de los factores que limita de forma notable la vida de un material es la alteración química que puede experimentar en procesos de oxidación o corrosión. Por ello, resulta imprescindible conocer las propiedades químicas de los materiales para así poder determinar su mayor o menor tendencia a sufrir procesos de este tipo.

3.1. Oxidación

Cuando un material se combina con el oxígeno, transformándose en óxidos más o menos complejos, se dice que experimenta una reacción de oxidación. De forma esquemática, se puede representar el proceso de oxidación de la siguiente manera:

$$\text{Material} + \text{Oxígeno} \rightarrow \text{Óxido del material} \pm \text{Energía}$$

El signo + que precede a la energía indica que la reacción es exotérmica y, en consecuencia, transcurre hacia la formación del óxido. En cambio, si la reacción es endotérmica (signo – para la energía), puede deducirse que el material será de difícil oxidación.

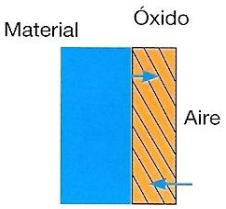
En la tabla siguiente se recogen las energías correspondientes a la oxidación de diferentes materiales a una temperatura de 273 K.

ENERGÍAS DE OXIDACIÓN DE ALGUNOS MATERIALES A 273 K

Material	Óxido	Energía ($kJ \cdot mol^{-1}$ de O_2)	Material	Óxido	Energía ($kJ \cdot mol^{-1}$ de O_2)
Berilio	BeO	+ 1182	Hierro	Fe_3O_4	+ 508
Magnesio	MgO	+ 1162	Estaño	SnO	+ 500
Aluminio	Al_2O_3	+ 1045	Níquel	NiO	+ 439
Zirconio	ZrO_2	+ 1028	Cobalto	CoO	+ 422
Titanio	TiO	+ 848	Diamante Grafito	CO_2	+ 389
Silicio	SiO_2	+ 836	Carburo de wolframio	WO_3+CO_2	+ 349
Wolframio	WO_3	+ 510	Plomo	Pb_3O_4	+ 309
Molibdeno	MoO_2	+ 534	Cobre	CuO	+ 254
Cromo	Cr_2O_3	+ 701	Fibra de vidrio (GFRP)	–	+ 200
Cinc	ZnO	+ 636	Platino	PtO_2	+ 160
Nitruro de silicio	$3SiO_2+2N_2$	+ 629	Plata	Ag_2O	+ 5
Carburo de silicio	SiO_2+CO_2	+ 580	Oro	Au_2O_3	- 80

A la vista de estas energías, se podría pensar que una sustancia se oxidaría tanto más rápidamente cuanto mayor fuese la energía liberada en el proceso; sin embargo, esto no sucede así en la realidad.

Cuando un material se encuentra situado en una atmósfera oxidante, su superficie se oxida más o menos rápidamente según la energía de la tabla anterior; el óxido que se forma se deposita en la parte exterior del material recubriéndolo por completo. Para que el proceso de oxidación continúe en esa situación el material o el oxígeno deben atravesar, por difusión, la capa de óxido, que se comporta oponiéndose tanto al movimiento de los átomos de oxígeno como a los del material. Existen capas de óxidos que presentan mayor oposición a este movimiento que otras.



En la tabla adjunta se muestra el tiempo (en horas) que debe transcurrir para que un determinado material se oxide al aire hasta una profundidad de 0,1 mm, a una temperatura 0,7 veces la de fusión.

TIEMPOS DE OXIDACIÓN DE ALGUNOS MATERIALES					
Material	**Tiempo (horas)**	**T. fusión (K)**	**Material**	**Tiempo (horas)**	**T. fusión (K)**
Au	infinito	1336	Ni	600	1726
Ag	muy largo	1234	Cu	25	1356
Al	muy largo	933	Fe	24	1809
Si_3N_4	muy largo	2173	Co	7	1765
SiC	muy largo	3110	Ti	< 6	1943
Sn	muy largo	505	WC cermet	< 5	1700
Si	$2 \cdot 10^6$	1683	Ba	< 0,5	983
Be	10^6	1557	Zr	0,2	2125
Pt	$1,8 \cdot 10^5$	2042	Ta	muy corto	3250
Mg	$> 10^5$	923	Nb	muy corto	2740
Zn	$> 10^4$	692	U	muy corto	1405
Cr	1600	2148	Mo	muy corto	2880
Na	> 1000	371	W	muy corto	3680
K	> 1000	337	–	–	–

Cuanto mayor sea la temperatura a la que se encuentra sometido un material, mayor será la velocidad a la que se produce su oxidación, pues un aumento de temperatura activa el proceso de difusión de los átomos del material y del oxígeno en la capa de óxido. Un aumento en la presión del oxígeno existente en el exterior se comporta de manera similar.

Los aceros dulces (aleaciones de hierro con bajo contenido en carbono) son materiales baratos, resistentes mecánicamente y fáciles de conformar; sin embargo, se oxidan rápidamente.

Para aumentar su resistencia a la oxidación, el acero dulce se alea con otro material (por ejemplo, con cromo, aluminio o silicio) que tenga una energía de oxidación mayor y una velocidad de oxidación menor que la suya.

En ese caso, el material añadido se oxida primero debido a su mayor energía de oxidación; pero al formarse una capa de óxido el proceso de oxidación se frena, transcurriendo a partir de entonces a una velocidad muy lenta. A este respecto, el mejor aditivo es el cromo, pues, pese a tener una energía menor y una velocidad de oxidación mayor que el aluminio o el silicio, en la aleación influye la facilidad con la que los átomos de estos elementos se mezclan con el hierro.

Aceros inoxidables.
La adición de un 18% de cromo reduce en más de 100 veces la velocidad de oxidación del acero dulce a 900 ºC. Este es el fundamento de los llamados aceros inoxidables, cuya utilización resulta preferible a la protección de materiales por medio de recubrimientos superficiales (como el cromado o el dorado); en estos casos una simple rayadura en el recubrimiento del material hace que éste se oxide fácilmente, cosa que no sucede en las aleaciones inoxidables. La obtención de aceros inoxidables constituye un ejemplo de la búsqueda incesante, por parte de los seres humanos, de materiales cada vez más resistentes y adecuados para determinadas aplicaciones.

Otras unidades de densidad.
En la práctica, la densidad se suele expresar en g/cm^3, pues empleando estas unidades las cantidades resultan más manejables. Ten en cuenta que 1 g/cm^3 equivale a 1000 kg/m^3.

3.2. Corrosión

Cuando la oxidación de un material concreto se produce en un ambiente húmedo o en presencia de otras sustancias agresivas, se denomina corrosión. Ésta es mucho más peligrosa para la vida de los materiales que la oxidación simple, pues en un medio húmedo la capa de óxido no se deposita sobre el material, sino que se disuelve y acaba por desprenderse.

La corrosión no se verifica de una manera uniforme, sino que existen determinados puntos del material donde el ataque es mayor. Esto da lugar a la formación de importantes fisuras, que pueden llegar a producir una rotura por fatiga o una fractura frágil del material, si éste se encuentra soportando una tensión de forma cíclica (cambiando de sentido o de intensidad periódicamente) o bien a baja temperatura.

4. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas se deben al ordenamiento en el espacio de los átomos de los materiales. Las más relevantes son las cinco siguientes:

- Densidad y peso específico.
- Propiedades eléctricas.
- Propiedades térmicas.
- Propiedades magnéticas.
- Propiedades ópticas.

4.1. Densidad y peso específico

Se denomina **densidad** ($d = m/V$) a la relación existente entre la masa de una determinada cantidad de material y el volumen que ocupa. Su unidad en el Sistema Internacional es el kg/m^3. La magnitud inversa de la densidad se conoce como **volumen específico**.

Por **peso específico** (P_e) se entiende la relación existente entre el peso de una determinada cantidad de material y el volumen que ocupa. Su unidad en el S.I. es el N/m^3.

Para determinadas aplicaciones, como por ejemplo en el caso de la navegación aérea, estas propiedades resultan determinantes para elegir uno u otro material.

4.2. Propiedades eléctricas

Todas las sustancias, en mayor o menor grado, son conductoras de la corriente eléctrica y también, según ciertas características de construcción y naturaleza, ofrecen una **resistencia** al paso de la corriente.

Todas estas propiedades condicionan, en muchos casos, el destino de un material en concreto. Así, por ejemplo:

• Los cables utilizados en la transmisión de energía eléctrica habrán de ofrecer una pequeña resistencia para evitar al máximo las posibles pérdidas de energía.

• En cambio, los materiales de elementos calefactores deben presentar una resistencia apreciable para que en ellos se libere, por efecto Joule, una gran cantidad de calor.

La resistencia eléctrica de un material conductor depende, entre otros factores, de su **naturaleza**; es decir, de la presencia de electrones móviles en los átomos y de su grado de movilidad ante la acción de un campo eléctrico.

Esta propiedad, específica de cada sustancia, se denomina **resistividad** (ρ); se define como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un elemento de ese material de 1 metro de longitud y de 1 m^2 de sección. Se mide en $\Omega \cdot m$.

Los metales son, en general, buenos conductores de la corriente eléctrica, pues su estructura interna es

muy ordenada y los electrones no se encuentran sujetos a un determinado átomo. En cambio, la madera, los compuestos cerámicas, los polímeros... poseen resistividades muy altas, debido a que los electrones de sus átomos carecen prácticamente de movilidad; se dice que son malos conductores de la electricidad.

De acuerdo con su resistividad, los materiales se clasifican en **conductores**, utilizados en cables de transmisión (ρ muy pequeño), y **aislantes** (ρ muy grande), según que permitan fácilmente o impidan casi por completo el paso de la corriente eléctrica a través de ellos.

Además de los materiales conductores y aislantes existen otros, denominados **semiconductores**, constituidos por silicio dopado con impurezas de **tipo n** (arsénico, fósforo) o de **tipo p** (galio, boro), que son la base de todos los componentes electrónicos.

Sustancia	ρ en $\Omega \cdot m$ (a 20 °C)
Aluminio	$2{,}63 \cdot 10^{-8}$
Carbón	$3{,}500 \cdot 10^{-8}$
Cobre	$1{,}72 \cdot 10^{-8}$
Grafito	$4{,}6 \cdot 10^{-8}$
Mercurio	$94 \cdot 10^{-8}$
Plata	$1{,}47 \cdot 10^{-8}$
Plomo	$22 \cdot 10^{-8}$
Wolframio	$5{,}51 \cdot 10^{-8}$
Oro	$2{,}3 \cdot 10^{-8}$
Platino	$11 \cdot 10^{-8}$
Azufre	$1 \cdot 10^{15}$
Madera	10^{8}-10^{11}
Ámbar	$5 \cdot 10^{14}$

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

R = resistencia eléctrica (Ω)
ρ = resistividad del material ($\Omega \cdot m$)
L = longitud del conductor (m)
S = sección del conductor (m^2)

Variaciones de la resistividad

La resistividad de un determinado material no es constante, sino que depende de la temperatura, de la concentración de impurezas que contenga el material y del campo magnético existente.

La resistividad aumenta con la temperatura, de tal forma que si para una temperatura T_0 (medida en kelvin) la resistividad es ρ_0, para una temperatura T la resistividad valdrá:

$$\rho = \rho_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$$

siendo α el llamado **coeficiente de variación de la resistividad con la temperatura,** que se expresa en K^{-1} en el Sistema Internacional.

La resistividad, en general, será menor cuanto menor sea la concentración de impurezas e imperfecciones en el material.

Por otra parte, los campos magnéticos intensos provocan un leve incremento de la resistividad de los materiales. A este fenómeno se le denomina **magnetorresistencia** y se está tratando de utilizar en la medida de corrientes eléctricas.

Rigidez dieléctrica

Los malos conductores (aislantes), sometidos a altas tensiones, pueden convertirse en conductores y al saltar a su través la chispa eléctrica se perforan o se queman.

Se entiende por **rigidez dieléctrica** de un aislante la máxima tensión que puede soportar por unidad de longitud sin que en él se produzca un salto de chispa o descarga.

Ejemplos:

Aislante	Rigidez dieléctrica (kV/cm)
Mica	300-2200
Vidrio	300-1500
Papel parafinado	300-500
Aire a 20 atm	500
Aire a 1 atm	30

4.3. Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas son aquéllas que están íntimamente relacionadas con la temperatura y que, lógicamente, determinan el comportamiento del material en unas condiciones dadas.

Las propiedades térmicas que estudiaremos serán:

4.3.1. Dilatación térmica

La mayoría de los materiales aumentan de tamaño (se dilatan) al aumentar su temperatura, siempre que no se produzcan cambios de fase. El origen de la dilatación térmica reside en que al aumentar la temperatura aumentan las vibraciones de las partículas (moléculas, átomos o iones) del material, lo que da origen a una mayor separación entre ellas.

En general, el valor final de una magnitud **X** (longitud, superficie o volumen) de un material al aumentar su temperatura un cierto valor Δt viene dado por:

$$\mathbf{X = X_0 \cdot (1 + K \cdot \Delta t)}$$

siendo X_0 el valor inicial de la magnitud considerada y **K** el llamado coeficiente de dilatación.

COEFICIENTES DE DILATACIÓN DE ALGUNAS SUSTANCIAS	
Sólidos:	
Sustancia	**α (K^{-1})**
Acero	$11 \cdot 10^{-6}$
Aluminio	$23 \cdot 10^{-6}$
Cinc	$29 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$19 \cdot 10^{-6}$
Cuarzo	$0{,}4 \cdot 10^{-6}$
Estaño	$21 \cdot 10^{-6}$
Hierro	$12 \cdot 10^{-6}$
Latón	$19 \cdot 10^{-6}$
Oro	$14 \cdot 10^{-6}$
Plata	$20 \cdot 10^{-6}$
Platino	$9 \cdot 10^{-6}$
Plomo	$28 \cdot 10^{-6}$
Vidrio ordinario	$8 \cdot 10^{-6}$
Vidrio *Pyrex*	$0{,}3 \cdot 10^{-6}$
Líquidos:	
Sustancia	**γ (K^{-1})**
Alcohol etílico	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$
Glicerina	$0{,}5 \cdot 10^{-3}$
Mercurio	$0{,}18 \cdot 10^{-3}$

$$X = X_0 \cdot (1 + K \cdot \Delta t)$$

- **Para longitudes (dilatación lineal):**

$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$; (α = coeficiente de dilatación lineal).

- **Para superficies (dilatación superficial**):

$S = S_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta t)$; (β = coeficiente de dilatación superficial).

- **Para volúmenes (dilatación cúbica):**

$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta t)$; (γ = coeficiente de dilatación cúbica).

Los coeficientes de dilatación lineal, superficial y cúbica vienen relacionados por las expresiones:

$$\beta = 2\alpha$$
$$\gamma = 3\alpha$$

Los tres se miden en K^{-1}.

4.3.2. Calor específico

Se define el calor específico (**C_e**) de una sustancia como la cantidad de energía calorífica que es preciso aportar a la unidad de masa de dicha sustancia para elevar su temperatura en un grado, sin que se presenten cambios de fase. Se mide en J/kg·K en el Sistema Internacional, aunque también suele ser frecuente expresarlo en cal/g·ºC. Así, la energía calorífica, **Q**, que será necesario comunicar para que una masa **m** de una determinada sustancia pase de una temperatura T_1 a otra mayor T_2 será:

CALORES ESPECÍFICOS DE ALGUNAS SUSTANCIAS	
Sustancia	**C** [cal/(g · °C)]
Agua	1
Alcohol etílico	0,59
Glicerina	0,58
Helio	0,55
Vidrio	0,199

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T$$

$$Q = m \cdot C_e \cdot (T_2 - T_1)$$

4.3.3. Temperatura de fusión

Al calentar un sólido, el movimiento vibratorio de sus partículas se va haciendo cada vez más amplio, produciéndose la dilatación; pero si se continúa aumentando la temperatura llega un punto en el que la magnitud de las vibraciones es tal que la estructura del material no se puede mantener y se produce su fusión. La temperatura a la que esto sucede recibe el nombre de **temperatura de fusión**, la cual varía ligeramente con la presión. La temperatura de fusión a presión normal se conoce como punto de fusión. Ésta es una propiedad característica de cada sustancia y sirve en muchas ocasiones para identificarla. En casi todas las sustancias, salvo unas pocas -entre las que se encuentra el agua-, la fusión va acompañada de un aumento de volumen.

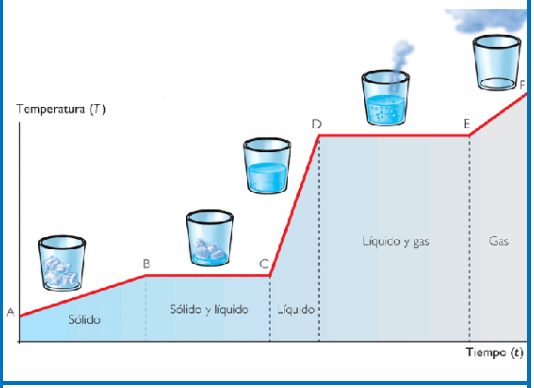
El punto de fusión de un sólido será tanto mayor cuanto mayores sean las fuerzas que mantienen unidas a sus partículas constituyentes (fuerzas de cohesión).

Según esto, los sólidos con puntos de fusión mayores serán los que presenten enlaces covalentes atómicos; le siguen los compuestos iónicos, los metálicos y, por último, los covalentes moleculares.

Si no se modifica la presión, mientras dura la fusión de una sustancia la temperatura permanece constante. Esto se debe a que toda la energía suministrada en forma de calor se invierte en romper la estructura interna del sólido. Al calor que es preciso comunicar a la unidad de masa de una sustancia que se encuentra a la temperatura de fusión para que se produzca el paso del estado sólido al líquido se denomina **calor latente de fusión**. Y al contrario, el calor que la unidad de masa de una sustancia desprende al pasar del estado líquido al sólido se denomina **calor latente de solidificación**.

Estos calores latentes de fusión y solidificación se expresaban tradicionalmente en cal/g; sin embargo, recientemente se ha acordado hacerlo en J/mol o en kJ/mol. Algunos de ellos se recogen en la tabla siguiente.

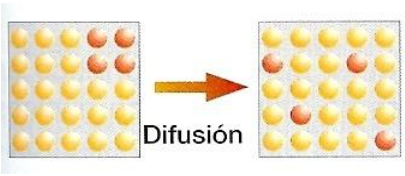
CALORES LATENTES DE FUSIÓN		
Sustancia	**Punto de fusión (ºC)**	**Calor latente de fusión (kJ/mol)**
Hidrógeno	– 259	0,125
Oxígeno	– 218	0,460
Metano	–184	0,962
Amoníaco	–178	5,98
Alcohol etílico	–114	4,81
Mercurio	–39	2,42
Tetracloruro de carbono	–24	2,68
Agua	0	5,98
Aluminio	658	10,87
Cloruro de sodio	808	28,52



Variación de la temperatura en los cambios de estado.

4.3.4. Difusión

La agitación térmica de los átomos en un sólido puede provocar desplazamientos de los mismos desde su posición de equilibrio hasta otras posiciones próximas. Este tipo de movimientos se designa con el nombre de **difusión**. Si en un sólido existe una zona perfectamente delimitada en la que únicamente se encuentren presentes átomos de impurezas, éstos con el paso del tiempo se reparten por igual en todo el volumen del sólido.



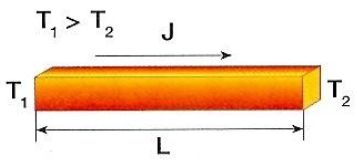
La difusión se produce más fácilmente al aumentar la temperatura, pues este hecho da lugar a un incremento de la agitación térmica de los átomos constituyentes del material.

4.3.5. Conductividad térmica

La transmisión del calor por conducción se verifica a través de los cuerpos desde los puntos de mayor a los de menor temperatura, y se debe a los choques de los átomos y de las partículas subatómicas entre sí.

La **conductividad térmica** (**K**) es un parámetro indicativo del comportamiento de cada cuerpo frente a este tipo de transmisión de calor, de tal forma que en una barra de longitud **L** de un determinado material, en cuyos extremos existan unas temperaturas $\mathbf{T_1}$ y $\mathbf{T_2}$ ($T_1 > T_2$), se cumple:

CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS DE ALGUNAS SUSTANCIAS	
Material	**K [W/ (m · K)]**
Aire (0 °C y 1atm)	0,024
Aire (25 °C y 1atm)	0,025
Aire (100 °C y 1atm)	0,031
Vapor de agua (100 °C y 1atm)	0,025
Vapor de agua (300 °C y 1atm)	0,040
Corcho	0,046
Acero a 20 °C	46,5
Acero a 300 °C	43,4
Hierro fundido	50
Cobre a 20 °C	372
Vidrio a 20 °C	1,16
Ladrillo	0,46



$$J = K \cdot \frac{T_1 - T_2}{L}$$

siendo **J** la **densidad de flujo de calor**; es decir, la energía térmica transmitida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Las unidades de la conductividad térmica **K** en el SI son W/m·K.

La conductividad térmica depende fundamentalmente de:

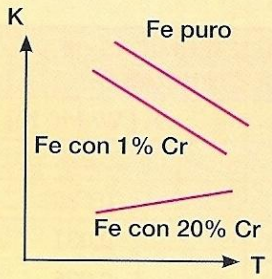
- La naturaleza de los cuerpos.
- La fase en la que se encuentran.
- La composición.
- La temperatura.

¿Sabías que...?

La distancia intermolecular influye decisivamente en los valores de la conductividad de los distintos cuerpos, de tal forma que cuanto menor sea esta distancia mayor será la conductividad. También será tanto mayor cuanto más ordenada sea la estructura interna del material. Así, los metales, cuya estructura interna es ordenada, poseen unas conductividades altas, mientras que la fibra de vidrio, por ejemplo, debido a su baja conductividad térmica, se utiliza como aislante calorífico.

En los metales puros la conductividad disminuye al aumentar la temperatura, ya que la red cristalina se dilata y las distancias intermoleculares se hacen mayores. En lo que respecta a los sólidos no metálicos, al crecer la temperatura, si se trata de sustancias amorfas aumenta el valor de K –a causa del incremento de la agitación térmica de sus átomos–, mientras que en el caso de los materiales cristalinos la conductividad térmica disminuye.

Por regla general, la conductividad térmica de los metales disminuye al alearlos, aunque la dependencia de K con respecto a la temperatura puede ser muy distinta de unos casos a otros, conforme se aprecia en la gráfica de la figura.



4.4. Propiedades magnéticas

Teniendo en cuenta su comportamiento frente a un campo magnético exterior, los materiales se pueden clasificar en tres grupos diferentes:

• **Materiales diamagnéticos**. Se oponen al campo magnético aplicado, de tal forma que en su interior el campo magnético es más débil. Son materiales diamagnéticos: bismuto, mercurio, oro, plata, cobre, sodio, hidrógeno, nitrógeno, etc.

• **Materiales paramagnéticos**. El campo magnético en su interior es algo mayor que el aplicado; ejemplos de materiales paramagnéticos son el aluminio, magnesio, platino, paladio, oxígeno, etc.

• **Materiales ferromagnéticos**. En su interior el campo magnético es mucho mayor que en el exterior. Estos materiales se utilizan como núcleos magnéticos en transformadores y bobinas en circuitos eléctricos y electrónicos; los más importantes son el hierro, el cobalto, el níquel y sus aleaciones, así como los óxidos de hierro conocidos frecuentemente como *ferritas* y utilizados en circuitos electrónicos.

4.5. Propiedades ópticas

Al incidir la luz sobre la superficie de un cuerpo, una parte de ella se refleja; parte se transmite a través del cuerpo; otra parte se difunde, es decir, sufre una reflexión no especular en múltiples direcciones y, por último, la luz restante la absorbe el cuerpo, aumentando su energía interna. El color que presenta un cuerpo se debe precisamente a la luz reflejada si el cuerpo es opaco, o a la que pasa a través de él si es transparente o translúcido.

Cuando la luz incide sobre los cuerpos, éstos se pueden comportar de tres maneras distintas:

• Los cuerpos **opacos** absorben o reflejan totalmente la luz, impidiendo que pase a su través.
• Los cuerpos **transparentes** transmiten la luz, por lo que permiten ver a través de ellos.
• Por último, el tipo de cuerpos denominados **translúcidos** dificultan la visión de los objetos a su través (se ven difusos).

ACTIVIDADES:

1. ¿Qué relación existe entre el peso específico y la densidad de un determinado material?

2. ¿Cuál es el coeficiente de variación de la resistividad con la temperatura del cobre, si este metal posee a 0 °C una resistividad de $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ω·m, y a 20°C es de $1{,}72 \cdot 10^{-8}$ Ω·m? Resultado: $\alpha = 5{,}9 \cdot 10^{-4}\ K^{-1}$.

3. ¿Cuál será la longitud a 100°C de una barra que a 0 °C mide 1 metro, si el coeficiente de dilatación lineal característico del material es $10^{-4}\ K^{-1}$? Resultado: L = 1,01 m.

4. Para elevar 10°C la temperatura de una masa de 1 kg de un determinado material es preciso comunicarle 1 kcal. Si en dicho proceso se ha producido un cambio de fase, ¿qué se puede decir acerca del calor específico de la sustancia?

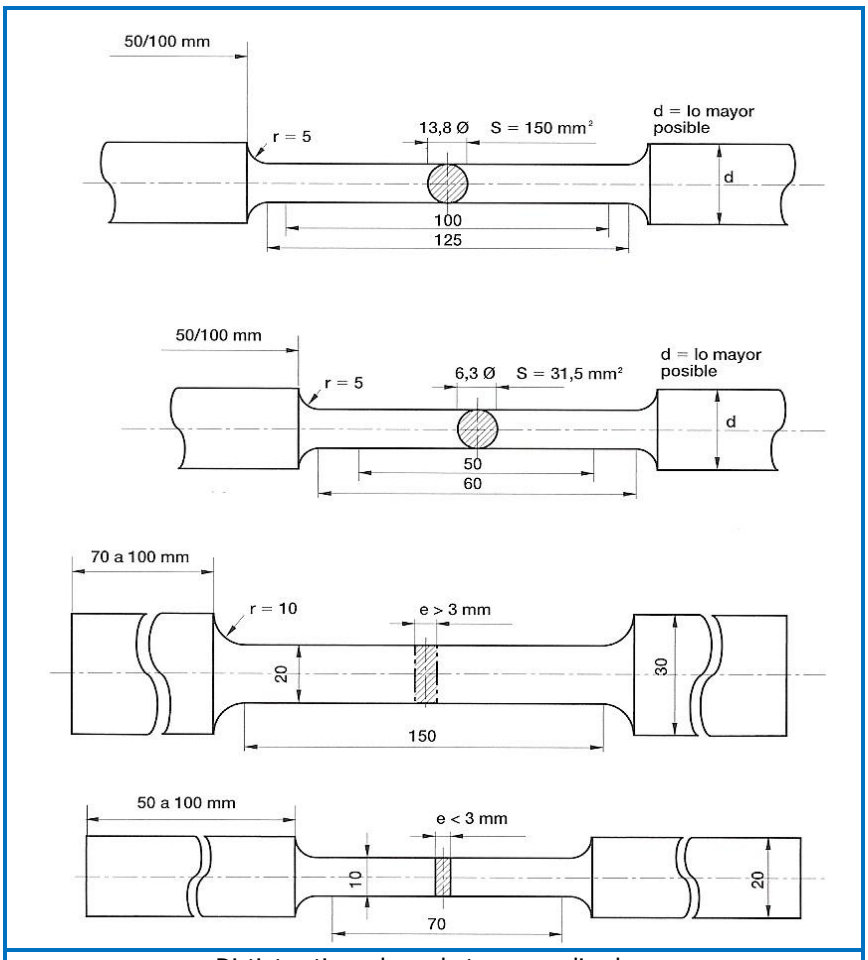
5. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas indican el comportamiento de un material cuando se encuentra sometido a fuerzas exteriores.

5.1. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción es uno de los más importantes para la determinación de las propiedades mecánicas de cualquier material. Los datos obtenidos se pueden utilizar para comparar distintos materiales y comprobar si algunos de ellos podrán resistir los esfuerzos a los que van a ser sometidos en una determinada aplicación.

Este ensayo consiste en estirar una probeta de dimensiones normalizadas, por medio de una máquina, a una velocidad lenta y constante, obteniéndose de esta forma la **curva de tensión-alargamiento**.



Distintos tipos de probetas normalizadas.

Por **tensión** (σ) se entiende la fuerza aplicada a la probeta por unidad de sección (la unidad de tensión en el SI es el N/m^2); es decir, si la sección inicial es $\mathbf{S_0}$:

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

El **alargamiento** o **deformación unitaria** (ϵ) es el tanto por uno en que se ha incrementado la longitud de la probeta; es decir, si la longitud inicial es $\mathbf{L_0}$ y en un determinado momento del ensayo es **L**, el alargamiento o deformación unitaria valdrá:

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

En la figura, de la página siguiente, se muestra un **diagrama tensión-deformación unitaria** típico realizado en un ensayo de tracción. En él se pueden apreciar tres zonas:

• **Zona elástica**. En ella la relación tensión-deformación es lineal, cumpliéndose la ley de Hooke:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

en la que **E** es el **módulo de Young** o **módulo de elasticidad longitudinal**, que se expresa en N/m^2 en el Sistema Internacional. Si se detiene el ensayo en cualquier punto de esta zona, la probeta recupera su longitud inicial. La zona elástica se termina cuando se alcanza el **límite elástico** (σ_e).

• **Zona plástica**. En ella los alargamientos son permanentes. Si el ensayo se detiene, por ejemplo en el punto **A**, se recupera el **alargamiento elástico** (ϵ_e), quedando un **alargamiento remanente o plástico** (ϵ_p). Si se reinicia de nuevo el ensayo, la nueva curva que se obtiene coincidirá prácticamente

con la curva de descarga, y el nuevo límite elástico es mayor que el anterior. Con esta operación se consigue lo que se llama un **endurecimiento por deformación**.

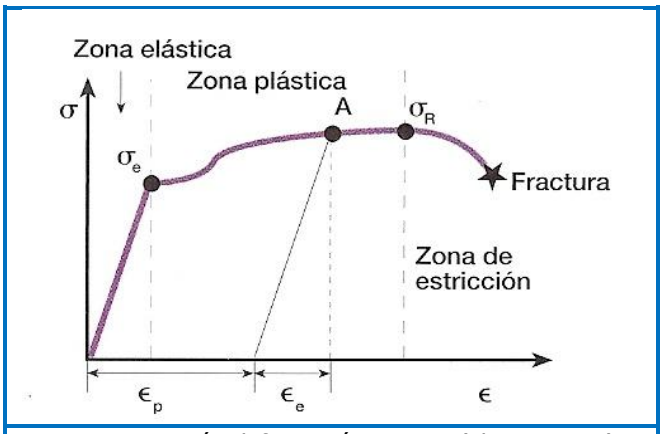


Diagrama tensión-deformación unitaria (alargamiento).

La curva en la zona plástica tiene menor pendiente que en la elástica, ya que para conseguir grandes alargamientos no es necesario un incremento de carga elevado. La fuerza máxima dividida por la sección inicial de la probeta determina la **resistencia a la tracción** (σ_R) punto en el que se termina la zona plástica.

• **Zona de estricción**. A partir de la carga de rotura, la deformación se localiza en una zona determinada de la probeta, la tensión disminuye y la probeta termina por romperse en esa zona.

En la tabla siguiente se recogen los valores de σ_R y σ_e correspondientes a algunos materiales:

VALORES DE σ_R Y σ_E CORRESPONDIENTES A ALGUNOS MATERIALES					
Material	**σ_e (MN/m²)**	**σ_R (MN/m²)**	**Material**	**σ_e (MN/m²)**	**σ_R (MN/m²)**
Diamante	50000	–	Aleaciones de Zn	160-421	200-500
Alúmina	5000	–	Hierro	50	200
Carburo de titanio	4000	–	Aleaciones de Mg	80-300	125-380
Cobalto y aleaciones	180-2000	500-2500	GFRP	–	100-300
Acero de bajo contenido en C	500-1960	680-2400	Oro	40	220
Aleaciones de níquel	200-1600	400-2000	PMMA	60-110	110
Níquel	70	1510	Nailon	49-87	100
Titanio y aleaciones	180-1320	300-1400	Poliestireno	34-70	40-70
Hierro dulce	220-1030	400-1200	Plata	55	300
Aleaciones de Cu	60-960	250-1000	Maderas comunes (II fibras)	–	35-55
Cobre	60	400	PVC	45-48	–
Aleaciones de Al	100-627	300-700	Polipropileno	19-36	33-36
Aluminio	40	200	Maderas comunes (⊥ fibras)	–	4-10

Precisando conceptos.

Las probetas son piezas de material de forma y dimensiones estándar, que se utilizan para realizar ensayos mecánicos.

No se deben confundir con unos instrumentos del mismo nombre empleados para medir volúmenes de líquidos.

5.2. Ensayos de dureza

La propiedad mecánica de la dureza no está definida claramente, de manera que no se puede medir de una forma absoluta, sino que es necesario mencionar el método utilizado para su determinación. Entre ellos, se pueden citar los siguientes:

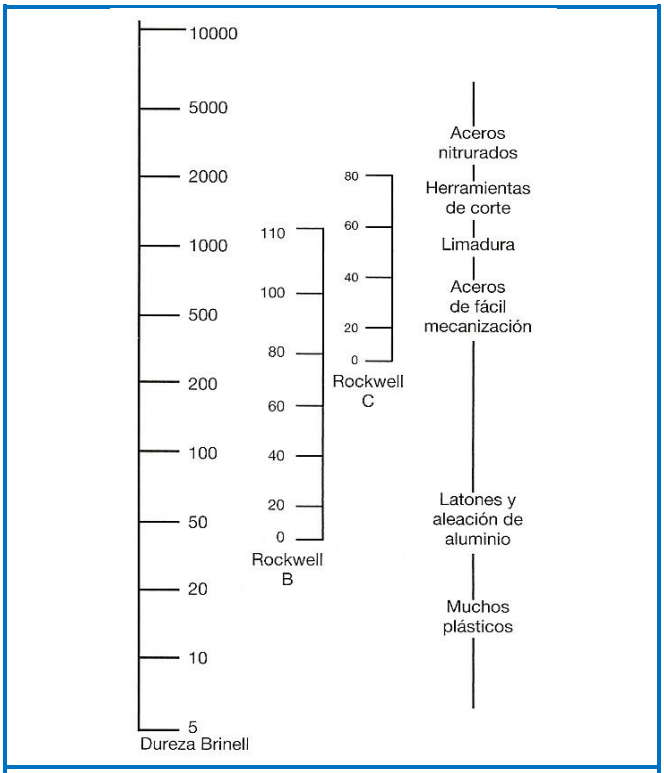
• **Dureza mineralógica clásica**. La dureza de los minerales, entendida como la resistencia que oponen a ser rayados, se puede medir mediante la llamada **escala de Mohs** (1822), que consta de 10 grados de dureza, cada uno de los cuales corresponde a un mineral determinado: talco (1), yeso (2), calcita (3), fluorita (4), apatito (5), feldespato (6), cuarzo (7), topacio (8), corindón (9) y diamante (10).

Los minerales de grados 1 y 2 pueden rayarse con la uña, mientras que los de grados 3, 4, 5 y 6 pueden serlo con un cuchillo. Todo mineral raya a los que posean un grado de dureza inferior al suyo, y es rayado por los de dureza superior. Así, por ejemplo, un mineral que sea rayado por el topacio y que a su vez raye al cuarzo posee una dureza comprendida entre 7 y 8. Este método resulta bastante impreciso por su carácter comparativo.

• **Métodos de retroceso**. Mediante estos métodos se mide la llamada dureza dinámica o elástica; para ello se calcula la energía que se consume en el choque de una pieza, que se deja caer desde una cierta altura contra el material cuya dureza se quiere determinar. Cuanto más blando sea el material, menor será la altura que alcanzará la pieza en el rebote, ya que su energía será absorbida en la deformación del material. Un material de dureza elevada apenas se deforma; en consecuencia, la altura alcanzada por la pieza en el rebote será similar a la del punto desde el que se lanzó.

• **Dureza a la penetración**. La dureza se mide como la resistencia que opone un cuerpo a ser penetrado por otro. Ésta es la base de los ensayos *Brinell, Vickers y Rockwell*, en los que se utilizan distintos tipos de penetradores que se aprietan con una fuerza determinada contra el material. La medida de la dureza se obtiene dividiendo la fuerza con la que se ha empujado el penetrador entre la superficie de la huella que éste deja en el material.

La dureza es una propiedad de gran importancia práctica, ya que está relacionada con el comportamiento del material frente a la abrasión o al desgaste, así como con la facilidad con que puede mecanizarse; por ejemplo, un material utilizado para moler mineral en una cantera debe ser muy duro para que apenas sufra desgaste en su trabajo.



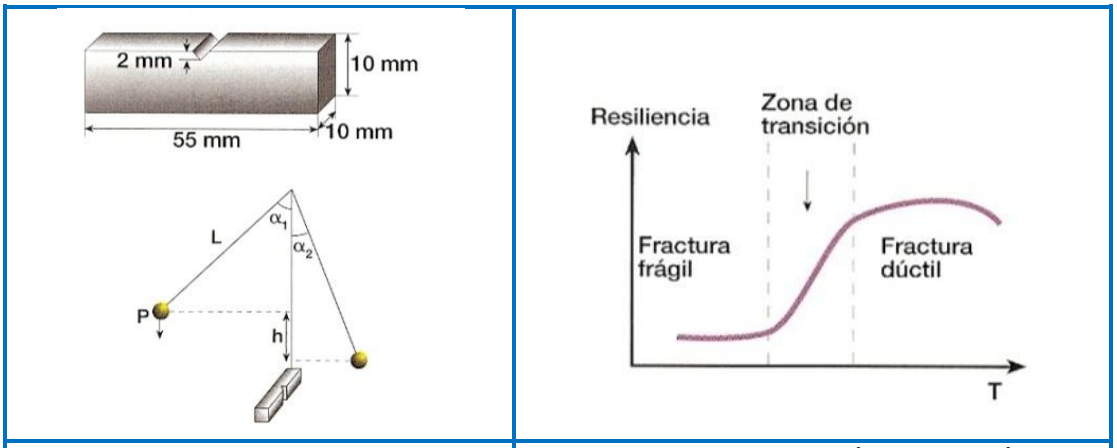
Comparación de varias escalas de dureza: Brinell-Rockwell.

5.3. Ensayo de resiliencia

El ensayo de resiliencia mide la tenacidad de los materiales.

La tenacidad (propiedad inversa a la fragilidad) se define como la capacidad que tiene un material para almacenar energía, en forma de deformación plástica, antes de romperse.

El método más habitual de llevar a cabo la medida de la tenacidad de un material es por medio del ***ensayo Charpy***.



Ensayo Charpy.	Tipos de roturas: rotura frágil y rotura dúctil.

Se dispone de una probeta de sección cuadrada (10 x 10 mm) y de 55 mm de longitud en cuya parte central se ha realizado una entalla de 2 mm de profundidad en forma de U o de V. El ensayo consiste en lanzar una bola sujeta a un hilo desde una cierta altura contra la probeta por el lado opuesto a la entalla. La resiliencia KCU o KCV (según como sea la entalla) se calcula dividiendo la energía consumida por el material en la rotura (diferencia de energías potenciales gravitatorias en las posiciones inicial y final de la bola) entre la sección de la probeta en la zona de entalla (80 mm^2). De esta forma se tienen las expresiones:

$$\mathbf{W = P \cdot h = P \cdot L \cdot (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)} \;\; ; \;\; \mathbf{KCV = \frac{W}{S_0}}$$

En el Sistema Internacional la resiliencia se expresa en J/m^2.

Los péndulos Charpy están normalizados, disponen de una energía en la posición inicial de 300 J y en el momento del impacto con la probeta se mueven a una velocidad de 5 m/s.

Un material tenaz o de alta resiliencia se deforma plásticamente de manera importante antes de romperse, mientras que los materiales de baja resiliencia son frágiles y apenas experimentan deformación alguna antes de la rotura.

En muchos metales existe un intervalo de temperaturas, conocido como **zona de transición**, en el que se produce una disminución considerable de la resiliencia al disminuir la temperatura. Esto da origen, conforme se describe a continuación, a dos tipos diferentes de roturas para un mismo material: la rotura frágil y la dúctil.

5.4. Fractura

La fractura de un sólido se puede definir como su separación en dos o más partes como consecuencia de los efectos de una tensión. Existen dos tipos diferentes de fractura:

• **Fractura dúctil**, en la que se produce una importante deformación plástica en la zona de rotura. Debido a la irregularidad de esta deformación plástica, se originan superficies de fractura mates.

• **Fractura frágil**, o fractura de clivaje, en la que el material se separa según un plano y sin que apenas

se produzca deformación plástica. Este tipo de fractura, que es típica de materiales cerámicos, vidrio y metales muy duros, origina superficies brillantes.

La aparición de la fractura frágil se debe a las fisuras de diminuto tamaño existentes en un elemento del material, que pueden estar presentes desde su fabricación. Así sucede, por ejemplo, en las uniones de puentes, barcos, etc., que no se pueden construir de una sola pieza; o también pueden generarse a lo largo de la vida del elemento, como consecuencia de un proceso de fatiga o de un desgaste.

Precauciones ante la fractura

La fractura frágil ocurre preferentemente a temperaturas bajas, de forma repentina y sin previo aviso, por lo que se deben arbitrar todos los medios posibles para evitarla; mientras que la rotura dúctil resulta más fácilmente previsible, puesto que va acompañada de deformación plástica.

Tenacidad a la fractura

En las proximidades de las fisuras existentes en los materiales las tensiones soportadas son mayores de las que cabría esperar; es decir, las fisuras actúan como concentradores de tensiones. Por ejemplo, la tensión a la que se encuentra sometida la zona que rodea a una grieta en una chapa es proporcional al valor:

$$K = \sigma \sqrt{\pi \cdot a} \cdot f()$$

siendo **a** la mitad del tamaño de la grieta, σ la tensión aplicada al material y **f ()** una función dependiente de la geometría de la pieza. Al valor **K** se le denomina **factor de intensidad de tensiones**, y se mide en $N \cdot m^{-3/2}$ en el Sistema Internacional. La tensión en la zona próxima a una fisura es, por lo tanto, proporcional:

- A la tensión aplicada al elemento.
- Y al tamaño de la fisura; cuanto mayor sea la fisura mayor será la tensión localizada a su alrededor, pues se debe soportar la tensión total (σ) con una sección menor.

Cuando el factor de intensidad de tensiones alcanza un determinado límite –denominado tenacidad de fractura (K_c)– bien sea del tamaño de la grieta o bien de la tensión impuesta al elemento, se produce la rotura frágil.

5.5. Fatiga

Por fatiga se entiende la situación en la que se encuentran algunas piezas de motores, puentes, ejes, etc., sometidas a cargas cíclicas de valor inferior al crítico de rotura del material. Los ciclos de carga pueden ser muy diferentes, aunque los datos que más interesan son los de la amplitud del ciclo:

$$\Delta\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{máx}} - \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{mín}}$$

y la tensión media:

$$\boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{m}} = (\boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{máx}} + \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{mín}})/\mathbf{2}$$

Existen dos tipos de fatiga:

• **Fatiga en elementos sin defectos** como, por ejemplo, la que tiene lugar en bielas, ejes, etc. El comportamiento de estos elementos frente a la fatiga presenta dos etapas: la de nucleación de fisuras y la de crecimiento de estas fisuras hasta alcanzar un tamaño crítico que producirá la rotura frágil.

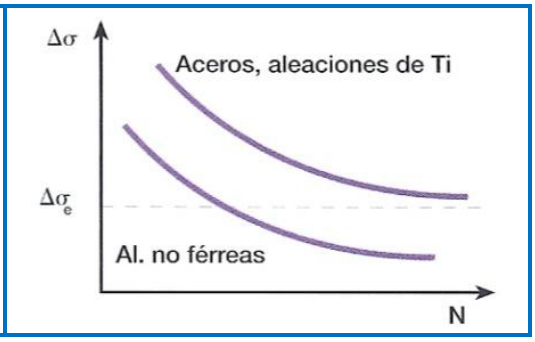
• **Fatiga en elementos con defectos** como, por ejemplo, la que se produce en puentes, barcos, aviones, etc., en los que, al haber uniones entre piezas, se originan las lógicas fisuras. En este caso no existe fase de nucleación de fisuras y la duración del elemento está limitada por la velocidad de crecimiento de la fisura; por este motivo, es preciso realizar análisis no destructivos periódicos (líquidos penetrantes, ultrasonidos, gammagrafías...).

Cuando una pieza se encuentra sometida a un proceso de fatiga, las grietas de tamaño diminuto existentes en el material van creciendo progresivamente hasta que en un momento dado el tamaño de la grieta mayor es lo suficientemente grande como para que se produzca la rotura del elemento.

En la figura se representan los resultados de un ensayo de fatiga, que ponen de manifiesto el número **N** de ciclos de amplitud $\Delta\boldsymbol{\sigma}$ (solo se tiene en cuenta la parte del ciclo de carga que produce tracción; la compresión no origina fatiga) que se deben producir para que sobrevenga la rotura; se puede comprobar que este número es tanto menor cuanto mayor sea la amplitud del ciclo de carga. En los aceros y en las aleaciones de titanio existe un valor de $\Delta\boldsymbol{\sigma}$ por debajo del cual no se produce rotura por fatiga; a este valor se le denomina **límite de fatiga** ($\Delta\boldsymbol{\sigma}_e$) y suele ser entre 0,4 y 0,5 veces la resistencia a la tracción del material; por el contrario, las aleaciones no férreas carecen de este límite. En componentes no agrietados la fatiga de alto número de ciclos, es decir, la que no produce deformaciones plásticas en el material, se rige por la ecuación:

$$\Delta\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{N}^{\mathbf{a}} = \mathbf{b}$$

a y **b** son constantes características del material



5.6. Fluencia

Los elementos sometidos a altas temperaturas, como turbinas, calderas, reactores, etc., experimentan deformaciones plásticas importantes, a pesar de que a temperatura ambiente y sometidos a la misma carga apenas se deformarían elásticamente.

Mientras que a temperatura ambiente la deformación producida en un elemento sometido a una determinada carga es instantánea, a altas temperaturas esta deformación depende tanto del tiempo de actuación de la fuerza como de la temperatura a la que el elemento se encuentra sometido.

Se define como fluencia la lenta y continua deformación plástica que sufre un material a alta temperatura bajo la acción de una carga constante.

La deformación por fluencia que experimenta un material es tanto mayor cuanto mayor sea la temperatura, o la carga aplicada, o el tiempo que dicha carga ha estado actuando.

La temperatura a la que se producen los fenómenos de fluencia está relacionada con la temperatura de fusión, de tal forma que los efectos de la fluencia comienzan a ser importantes a partir de 0,4 veces la temperatura de fusión expresada en grados kelvin. Así, por ejemplo, los metales de bajo punto de fusión (estaño, plomo, etc.) sufren fluencia a temperatura ambiente, mientras que los metales refractarios (wolframio, molibdeno, tántalo) y muchos materiales cerámicas (SiC, MgO, Al_2O_3, etc.) no experimentan fluencia hasta temperaturas superiores a los 700 ºC.

5.7. Fricción

Cuando dos piezas de un mismo material -o de materiales diferentes- se encuentran en contacto, para que comiencen a deslizarse entre sí será preciso aplicar una fuerza:

$$\mathbf{F} = \boldsymbol{\mu}_{\mathbf{e}} \cdot \mathbf{N}$$

siendo **N** la fuerza normal existente entre las dos piezas, y $\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{e}}$ el coeficiente de rozamiento estático entre ambos materiales.

Una vez comenzado el deslizamiento, la fuerza necesaria para que continúe es: $\mathbf{F} = \boldsymbol{\mu}_{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{N}$

En este caso, el coeficiente de rozamiento es el dinámico $\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{d}}$ que es menor que el estático.

En muchas ocasiones (cojinetes, esquíes, etc.) es necesario que el coeficiente de rozamiento existente entre los materiales sea el menor posible, aunque existen otras aplicaciones en las que se requiere que este coeficiente sea alto como, por ejemplo, en el caso de los neumáticos de automóviles o en las suelas de los zapatos.

COEFICIENTES DE ROZAMIENTO ESTÁTICO DE ALGUNOS MATERIALES	
Material	μ_e
Metales perfectamente limpios en el vacío	>5
Metales limpios en aire	0,8-2
Metales limpios en aire seco	0,5-1,5
Acero en cojinetes metálicos secos (plomo o bronce)	0,1-0,5
Acero-cerámicos (zafiro, diamante)	0,1-0,5
Cerámicos-cerámicos	0,05-0,5
Polímeros-polímeros	0,05-1
Metales y cerámicos-polímeros	0,04-0,5
Lubricación límite de metales	0,05-0,2
Lubricación de alta temperatura	0,05-0,2
Lubricación hidrodinámica	0,001-0,005

ACTIVIDADES:

1. ¿Cuál será la deformación unitaria que presenta un material en su límite elástico, si éste es $\boldsymbol{\sigma}_e$ = 1 MPa y su módulo de Young, E = 1 GPa? Resultado: $\boldsymbol{\epsilon}$ = O, 1%

2. Calcula la altura que alcanza la bola en un ensayo Charpy, si la resiliencia del material utilizado es KCV = $7{,}5 \cdot 10^5 J/m^2$, la probeta tiene unas dimensiones de 10 mm x 10 mm x 55 mm con una entalla de 2 mm en su zona central, la bola posee una energía de 300 J antes de ser lanzada y en el momento del impacto tiene una velocidad de 5 m/s (g = 10 m/s^2). Resultado: h_{rebote} = 1 m

3. Si en un componente no agrietado la fatiga sigue la siguiente ley: $\Delta\sigma \cdot N = 5000$, estando $\Delta\sigma$ expresado en MPa, calcula el número de ciclos que se producen antes de la rotura de la pieza si la tensión que soporta está comprendida entre 10 MPa (tracción $\sigma_{máx}$ = 10 MPa) y -5 MPa (compresión $\sigma_{mín}$= 0 MPa). ¿Cuál debe ser la amplitud del ciclo de carga para que el elemento pueda soportar 1000 ciclos?
Resultado: N = 500 ciclos; $\Delta\sigma$ = 5 MPa

6. OTRAS PROPIEDADES ESTÉTICAS Y ECONÓMICAS

Para que un material sea utilizable en una determinada aplicación, además de poseer unas adecuadas propiedades físicas, químicas y mecánicas, debe tener ciertas **propiedades estéticas** que agraden a sus usuarios.

Así, por ejemplo, en el caso de prendas de vestir resulta fundamental que el material sea agradable al tacto y posea un color atractivo. Otras propiedades estéticas, como el brillo, el olor o la textura, adquieren especial importancia en el caso de maderas vistosas utilizadas en la fabricación de muebles.

Para la elección de un material también resultan importantes sus **condiciones económicas**; es decir, su precio, el coste del transporte desde el lugar de fabricación hasta el de consumo y la disponibilidad del material en el momento en que se necesite.

Para usos estructurales se utilizan frecuentemente la madera, el hormigón y el acero estructural. Aunque por sus propiedades mecánicas adecuadas, se podrían emplear aleaciones de níquel o de titanio, el precio elevado de estos materiales obliga a descartarlos.

En la actualidad la investigación para la obtención de nuevos materiales se centra fundamentalmente en los metales utilizados en ingeniería media y ligera, así como en materiales especiales, en los que juega un papel destacado la competencia entre distintos tipos. Tal es el caso de los **biomateriales**, materiales farmacológicamente inertes que pueden implantarse en el interior de un sistema vivo para reemplazar o restaurar alguna función permaneciendo en contacto permanente o intermitente con fluidos corporales, o

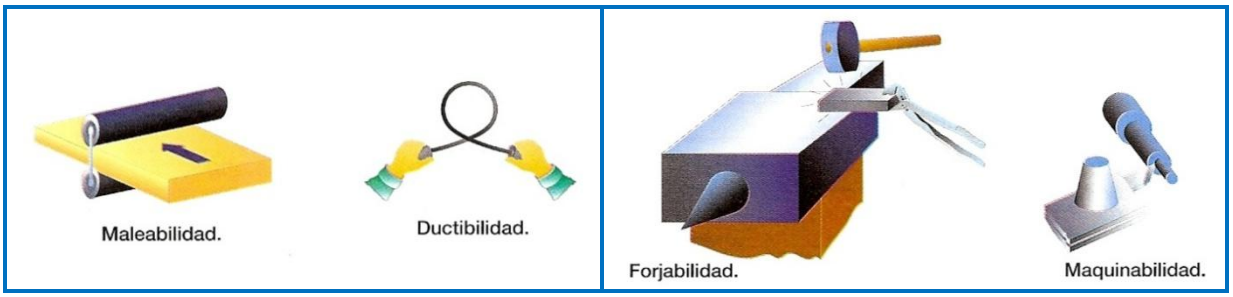
los **nanomateriales**, cuyas características estructurales tienen una dimensión de entre 1 y 100 nanómetros.

7. PROPIEDADES DE FABRICACIÓN

Las propiedades de fabricación informan acerca de la posibilidad de someter un material a una determinada operación industrial.

Entre estas propiedades, se pueden mencionar las siguientes:

• Maleabilidad: indica si un material se puede estirar en láminas sin romperse.
• Ductilidad: señala si se puede estirar en forma de hilos.
• Forjabilidad: da idea de la capacidad que posee un material para ser forjado.
• Maquinabilidad: indica si se pueden aplicar procesos de arranque de viruta al material.
• Y otras propiedades, que se refieren a la capacidad para someter al material a procesos de extrusión, soldadura, etc.

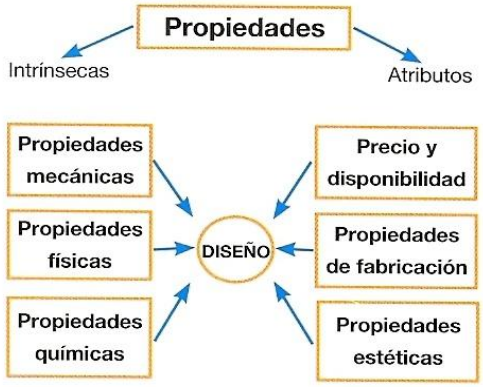


8. SELECCIÓN DE MATERIALES

Todo lo expuesto en este Tema condiciona la elección de uno o de varios materiales cuando se trata de diseñar o construir un determinado instrumento para una finalidad concreta.

Recordemos las características que deben tenerse en cuenta y que figuran resumidas en el cuadro adjunto.

CLASES DE PROPIEDADES	
Químicas	– Resistencia a la oxidación – Resistencia a la corrosión
Físicas	– Densidad y peso específico – Propiedades eléctricas – Propiedades térmicas – Propiedades magnéticas – Propiedades ópticas
Mecánicas	– Módulo de elasticidad longitudinal – Límite elástico – Resistencia a la tracción – Dureza – Resiliencia (tenacidad) – Tenacidad a la fractura – Resistencia a la fatiga – Resistencia a la fluencia – Coeficiente de fricción
Económicas	Precio y disponibilidad
Estéticas	Aspecto, textura, tacto, color, olor
De fabricación	Facilidad de fabricación



En la tabla de abajo se muestran, de una forma general, las propiedades de los cuatro grupos de materiales: metales, cerámicos, polímeros y materiales compuestos.

PROPIEDADES MÁS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES		
Material	**Buenas propiedades**	**Malas propiedades**
Metales	Alto módulo de elasticidad longitudinal ($E \approx 100$ GPa). Muy dúctiles. Tenacidad alta.	Bajo límite elástico ($\sigma_e \approx 1$ MPa) → alear. Baja dureza → alear. Baja resistencia a la fatiga ($\Delta\sigma_e \approx 0{,}5 \cdot \sigma_e$). Baja resistencia a la corrosión.
Cerámicos	Alto módulo de elasticidad longitudinal ($E \approx 200$ GPa). Alto límite elástico ($\sigma_e > 3$ GPa). Resistentes a la corrosión. Densidad moderada.	Muy baja tenacidad a la fractura.
Polímeros	Dúctiles y fáciles de conformar. Resistentes a la corrosión. Baja densidad.	Bajo módulo de elasticidad longitudinal ($E \approx 2$ GPa). Moderado límite elástico ($\sigma_e \approx 2$-100 MPa). Moderada tenacidad a la fractura.
Compuestos	Alto módulo de elasticidad longitudinal ($E > 50$ GPa). Alto límite elástico ($\sigma_e > 200$ MPa). Resistentes a la fatiga. Resistentes a la corrosión. Baja densidad.	Alto coste. Difíciles de mecanizar. Poco resistentes a la fluencia.

No existe ningún material perfecto que sea utilizable para cualquier aplicación. Por este motivo, cuando se va a elegir un material con una finalidad determinada, es preciso sopesar sus cualidades y defectos y actuar en consecuencia.

8.1. Ejemplos de aplicación

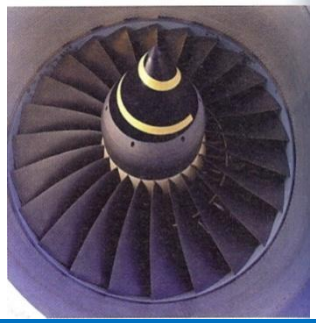
Álabes de una turbina de un reactor en un avión

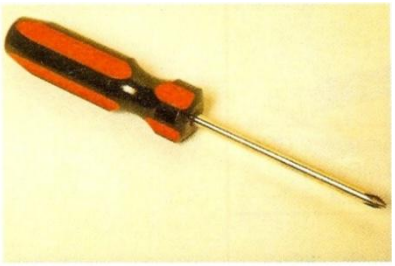
El material constituyente de los álabes de una turbina debe poseer un módulo y un límite elástico altos (**E** y $\boldsymbol{\sigma_e}$), y ha de ser resistente a la fatiga y al desgaste superficial. Debido a las altas temperaturas existentes dentro de los reactores, ha de tener una resistencia a la fluencia elevada, así como a la corrosión. Por último, y por razones obvias, la densidad del material utilizado debe ser baja. Un material que cumple todas estas especificaciones es una aleación de titanio.

Bujía

El electrodo de una bujía debe ser resistente a la fatiga térmica, al desgaste que se produce por erosión de la chispa, y a la oxidación y corrosión. Con esta finalidad se utilizan aleaciones de wolframio.

El aislamiento alrededor del electrodo central debe poseer unas buenas propiedades como aislante eléctrico, y también debe ser resistente a la fatiga térmica, a la oxidación y a la corrosión. Con este propósito se suele utilizar la alúmina, que es un material cerámico.





Destornillador con mango

La hoja del destornillador debe poseer un módulo elástico (**E**) alto, para que no experimente deformación cuando se intenta apretar un tornillo. Por el mismo motivo debe tener un límite elástico elevado, pues de lo contrario se deformaría plásticamente. También es preciso que posea una dureza alta para que no sea

mellada por el tornillo. Por último, también debe ser resistente a la fractura frágil; es decir, debe tener una alta tenacidad a la fractura. Un ejemplo representativo de una pieza con muy pequeña resistencia a la fractura frágil es un formón de un carpintero, en el que la rotura se produce sin deformación. Por todas estas razones, para la hoja se elige un acero con alto contenido en carbono.

El mango del destornillador, al poseer mayor sección que la hoja para soportar los esfuerzos, resulta menos crítico en cuanto a los valores de su módulo y límite elásticos, aunque siempre deben estar por encima de un determinado límite. El mango ha de poseer una textura, tacto y aspecto agradables y un precio razonable. Por estos motivos, para su construcción suelen elegirse materiales como la madera o algunos polímeros o plásticos; a este respecto, los polímeros están desbancando a la madera a causa de su facilidad de fabricación.

ACTIVIDAD:

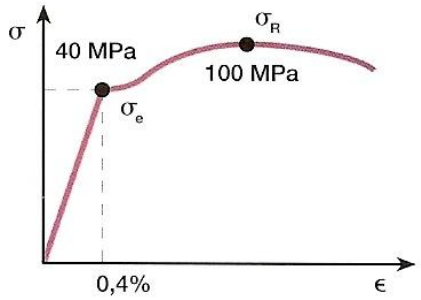
1. Siguiendo unos criterios similares, deduce qué cualidades ha de reunir y qué materiales se han de emplear en la fabricación de una llave inglesa, una biela, etc.

9. ACTIVIDADES DE SÍNTESIS

1. ¿Existe alguna relación entre el coeficiente de dilatación lineal de un material expresado en K^{-1} y expresado en $ºC^{-1}$?
2. Si para elevar 10 ºC la temperatura de 1 kg de una sustancia sólida [C_e= 100 cal/(kg·ºC)], que se encuentra a la temperatura de fusión, es preciso comunicar 2 kcal, ¿cuál será el calor latente de fusión de la sustancia? Resultado: Calor latente de fusión = 1 kcal/kg
3. Razona si las siguientes afirmaciones son ciertas o falsas.
   a) La carga de rotura de un material frágil es siempre menor que la de un material tenaz.
   b) En la fatiga no se pueden producir deformaaciones plásticas.
   c) La fatiga conduce a una pieza a una rotura frágil.
   d) La fluencia da lugar a una rotura frágil.
4. Atendiendo a las energías de oxidación, ¿puedes decir si el oro se oxidará o no al aire?
5. ¿Por qué crees que la alúmina, Al_20_3, no se oxida?
6. Sabiendo que el óxido que se produce en la oxidación del wolframio es volátil y que la energía de oxidación de este metal es positiva, ¿qué podrías decir acerca de su velocidad de oxidación?
7. Si una aleación está constituida por dos metales, A y B (de densidades respectivas, d_A y d_B), que intervienen en las proporciones en masa de M_A y M_B, respectivamente, demuestra que las proporciones en volumen de los dos metales en la aleación son:

$$V_A = \frac{100}{1 + \frac{M_B}{M_A} \cdot \frac{d_A}{d_B}} \%; \quad V_B = \frac{100}{1 + \frac{M_A}{M_B} \cdot \frac{d_B}{d_A}} \%$$

8. Dada la curva de tracción de la figura, calcula el módulo de Young del material. Resultado: E = 10 GPa



9. Si en el material anterior la tensión se mantiene siempre por debajo de 100 MPa, ¿se evitará en todo momento la rotura?
10. ¿Qué dureza mineralógica tiene un material que raya a la fluorita y es rayado por el apatito?
11. ¿Un material tiene a cualquier temperatura la misma curva de tracción?

12. ¿Cuándo crees que se producirá antes la rotura en un proceso de fatiga: cuando la temperatura es muy baja o cuando es moderada? ¿Por qué?
13. Si una pieza sometida a un proceso de fluencia a alta temperatura se enfría, ¿recuperará su longitud inicial?
14. Si dos piezas, una de estaño y otra de aluminio, se encuentran a 50 ºC, ¿sufrirán fluencia?
15. Una barra cilíndrica de acero, con un límite elástico de 5000 kp/cm^2, es sometida a una fuerza de tracción de 8500 kp. Sabiendo que la longitud de la barra es de 400 mm, y su módulo de elasticidad de $2{,}1 \cdot 10^6$ kp/cm^2, calcula el diámetro, de la barra para que el alargamiento total no supere las 50 centésimas de milímetro. Resultado: D= 2,03 cm
16. La bola utilizada en un ensayo Charpy tiene una masa de 20 kg y se deja caer desde 1,5 m de altura sobre una probeta de un determinado material cuya sección en la zona de entalla es de 80 mm^2. Después de romperse la probeta, la bola se eleva hasta una altura de 90 cm. ¿Cuál es el resultado del ensayo? Resultado: KCV = $1{,}5 \cdot 10^6$ J/m^2