

# TEMA 1: ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES. PROPIEDADES Y ENsayos de medida

- \*El átomo.
- \*Fuerzas y energías de interacción entre átomos.
- \*Estructura electrónica y reactividad química.
- \*Tipos de enlaces atómicos y moleculares.
- \*Estructura cristalina. Sistemas cristalinos. Alotropía.
- \*Propiedades mecánicas de los materiales.
- \*Clasificación y tipos de ensayo.
- \*Deformaciones elásticas y plásticas.
- \*Tensión y deformación.
- \*Ensamo de tracción (UNE 7-474). Ley de Hooke. Tensiones máx trabajo.
- \*Ensamo de dureza.
- \*Ensamo dinámico por choque. Ensamo de resiliencia.
- \*Ensamo de fatiga.
- \*Ensamo tecnológicos.

# El átomo

El volumen del núcleo es realmente muy pequeño en comparación al tamaño del átomo, pues tiene un radio del orden de  $10^{-12}$  cm, mientras que el del átomo es de aproximadamente  $10^{-8}$  cm, es decir, 10 000 veces mayor que aquél. Suponiendo que el átomo alcanzara el tamaño de una esfera de 10 m de radio, el núcleo sería una pequeña bola de 1 mm de radio.

La ordenación sistemática de los elementos según su configuración electrónica da origen al **Sistema Periódico de los Elementos**.

Desde el punto de vista de la **ingeniería** y del conocimiento de materiales en particular, nos interesa más el átomo en conjunto que las propiedades de su núcleo, pues, en general, el **comportamiento del átomo** en los problemas técnicos que debemos tratar reside primordialmente en los **electrones corticales** y, de éstos, en los **periféricos**.

Las **líneas espectrales** emitidas o absorbidas por un átomo y recogidas en su espectro **se deben a cambios energéticos** que tienen lugar en la corteza. De una forma intuitiva, podemos admitir en la corteza del átomo la existencia de **niveles energéticos** y podemos considerar a los electrones como entes corpusculares que pueden ocuparlos. Los **saltos electrónicos** de un nivel inferior a uno superior o viceversa se traducen en **absorciones o emisiones de energía**, respectivamente.

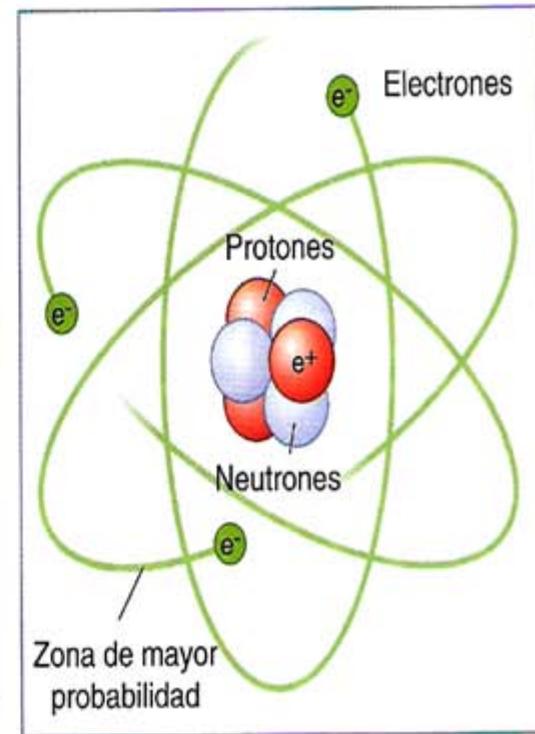


Fig. 1.1. Ejemplo de átomo: tres electrones, tres protones y tres neutrones. Obsérvese que el electrón no se encuentra en una posición definida; en realidad «vibra» en torno a una zona, y resulta más probable encontrarlo donde es más oscuro.

Capacidad	Configuración electrónica		s <sup>1</sup>	s <sup>2</sup>	d <sup>1</sup>	d <sup>2</sup>	d <sup>3</sup>	d <sup>4</sup>	d <sup>5</sup>	d <sup>6</sup>	d <sup>7</sup>	d <sup>8</sup>	d <sup>9</sup>	d <sup>10</sup>	p <sup>1</sup>	p <sup>2</sup>	p <sup>3</sup>	p <sup>4</sup>	p <sup>5</sup>	p <sup>6</sup>	
	Orbitales	Grupo Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
2	1s	1																			
8	2s2p	2	3 Li 6,94 Litio	4 Be 9,01 Berilio																	
8	3s3p	3	11 Na 22,99 Sodio	12 Mg 24,31 Magnesio																	
18	4s3d4p	4	19 K 39,10 Potasio	20 Ca 40,08 Calcio	21 Sc 44,96 Escandio	22 Ti 42,90 Titanio	23 V 50,94 Vanadio	24 Cr 52,00 Cromo	25 Mn 54,94 Manganoso	26 Fe 55,85 Hierro	27 Co 58,93 Cobalto	28 Ni 58,70 Níquel	29 Cu 63,55 Cobre	30 Zn 65,38 Cinc	31 Ga 69,72 Galio	32 Ge 72,59 Germanio	33 As 74,92 Arsénico	34 Se 78,96 Selenio	35 Br 79,90 Bromo	36 Kr 83,80 Criptón	
18	5s4d5p	5	37 Rb 85,47 Rubidio	38 Sr 87,62 Estroncio	39 Y 88,91 Itrio	40 Zr 91,22 Circonio	41 Nb 92,91 Niobio	42 Mo 95,94 Molibdeno	43 Tc [97] Tecnecio	44 Ru 101,07 Rutenio	45 Rh 102,91 Rodio	46 Pd 106,4 Paladio	47 Ag 107,87 Plata	48 Cd 112,40 Cadmio	49 In 114,82 Indio	50 Sn 118,69 Estano	51 Sb 121,75 Antimonio	52 Te 127,60 Teluro	53 I 126,90 Yodo	54 Xe 131,30 Xenón	
32	6s4f5d6p	6	55 Cs 132,91 Cesio	56 Ba 137,33 Bario	57 La 138,91 Lantano	72 Hf 178,49 Hafnio	73 Ta 180,95 Tántalo	74 W 183,85 Volframio	75 Re 186,21 Renio	76 Os 190,2 Osmio	77 Ir 192,22 Irindio	78 Pt 195,09 Platino	79 Au 196,57 Oro	80 Hg 200,59 Mercurio	81 Tl 204,37 Talio	82 Pb 207,19 Plomo	83 Bi 208,98 Bismuto	84 Po [209] Polonio	85 At [210] Astato	86 Rn [222] Radón	
32	7s5f6d7p	7	87 Fr [223] Francio	88 Ra [226] Radio	89 Ac [227] Actinio	104 Rf [261] Rutherfordio	105 Db [262] Dubnio	106 Sg [263] Seaborgio	107 Bh [264] Bohrio	108 Hs [265] Hassio	109 Mt [268] Meitnerio	110 Uun [269] Ununnilium	111 Uuu [272] Unununio	112 Uub [277] Ununbium							

Número atómico → 1  
Masa atómica\* → 1,008  
Nombre → Hidrógeno

\* Un número entre paréntesis indica el número de masa atómica del isótopo conocido de vida media más larga.

Símbolo | Negro - sólido  
Azul - líquido  
Rojo - gas  
Violeta - artificial

Metálicos  
Semimetales  
No metales  
Gases nobles

5 B 10,81 Boro	6 C 12,01 Carbono	7 N 14,01 Nitrógeno	8 O 16,00 Oxígeno	9 F 18,99 Flúor	10 Ne 20,18 Neón
13 Al 26,98 Aluminio	14 Si 28,09 Silicio	15 P 30,97 Fósforo	16 S 32,07 Azufre	17 Cl 35,45 Cloro	18 Ar 39,95 Árgon
31 Ga 69,72 Galio	32 Ge 72,59 Germanio	33 As 74,92 Arsénico	34 Se 78,96 Selenio	35 Br 79,90 Bromo	36 Kr 83,80 Criptón
50 Sn 118,69 Estano	51 Sb 121,75 Antimonio	52 Te 127,60 Teluro	53 I 126,90 Yodo	54 Xe 131,30 Xenón	
81 Tl 204,37 Talio	82 Pb 207,19 Plomo	83 Bi 208,98 Bismuto	84 Po [209] Polonio	85 At [210] Astato	86 Rn [222] Radón

Metálicos ↔ No metales

# El átomo

Sistema Periódico de los Elementos.

Configuración electrónica	f <sup>1</sup>	f <sup>2</sup>	f <sup>3</sup>	f <sup>4</sup>	f <sup>5</sup>	f <sup>6</sup>	f <sup>7</sup>	f <sup>8</sup>	f <sup>9</sup>	f <sup>10</sup>	f <sup>11</sup>	f <sup>12</sup>	f <sup>13</sup>	f <sup>14</sup>
Lantánidos 6	58 Ce 140,12 Cerio	59 Pr 140,91 Praseodimio	60 Nd 144,24 Neodimio	61 Pm [145] Promecio	62 Sm 150,35 Samario	63 Eu 151,96 Europio	64 Gd 157,25 Gadolínio	65 Tb 158,93 Terbio	66 Dy 162,50 Disprosio	67 Ho 164,93 Holmio	68 Er 167,26 Erbio	69 Tm 168,93 Tulio	70 Yb 173,04 Iterbio	71 Lu 174,97 Lutecio
Actínidos 7	90 Th 232,04 Torio	91 Pa [231] Protactinio	92 U 238,03 Uranio	93 Np [237] Neptunio	94 Pu [244] Plutonio	95 Am [243] Americio	96 Cm [247] Curio	97 Bk [247] Berquelio	98 Cf [251] Californio	99 Es [254] Einsteinio	100 Fm [257] Fermio	101 Md [258] Mendelevio	102 No [255] Nobelio	103 Lr [260] Laurencio

# Fuerzas y energías de interacción entre átomos

Entre los átomos contiguos se desarrollan dos tipos de fuerzas:

a) **Atractivas**, debidas a:

- La **naturaleza** del enlace.
- Las **atracciones electrostáticas** entre cada núcleo atómico y la nube electrónica del otro.

b) **Repulsivas**, debidas a:

- La acción electrostática entre los **núcleos** atómicos.
- Las **nubes** electrónicas entre sí.

La **energía de enlace** es la energía precisa para **separar** los átomos o moléculas que lo forman una distancia infinita, es decir, destruir el enlace.

En ambos casos, el efecto de las **fuerzas de origen magnético** es muy débil y el de las **gravitatorias**, prácticamente despreciable. Como consecuencia de las fuerzas interatómicas, los átomos adoptan una **posición de equilibrio** en función de su temperatura, fundamentalmente, y de su presión si son gases.

## Recuerda

Molécula **gramo o mol** es la masa molecular expresada en gramos. Así, a la vista del Sistema Periódico, 1 mol de Fe son 55,8 g, 1 mol de Mg son 24,3 g.

El **número de Avogadro** facilita el número de átomos o moléculas que hay en un mol de una sustancia. Este número es  $6,02 \cdot 10^{23}$  moléculas/mol.

# Fuerzas y energías de interacción entre átomos

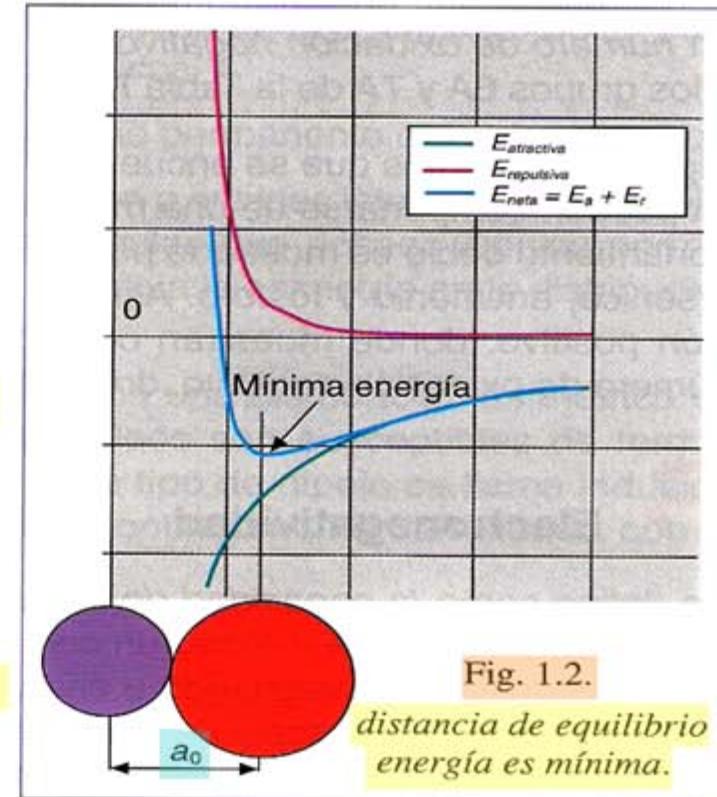
Para muchos átomos la distancia de equilibrio es de  $0,3\text{ nm}$  ( $3 \cdot 10^{-10}\text{ m} = 3\text{ \AA}$ ). Una vez conseguida dicha posición, los átomos contrarrestan los intentos de alejamiento o separación con estas fuerzas de atracción o repulsión. En las reacciones químicas no ponemos en juego «fuerzas» y sí energía (casi siempre en forma de calor).

Esta energía de enlace caracteriza el tipo de enlace atómico y, por tanto, varía de una sustancia a otra y del estado físico en que se encuentre. Las sustancias sólidas a temperatura ambiente se caracterizan por poseer energías de enlace elevadas.

Se puede considerar que la temperatura de fusión es un indicador de la energía de enlace.

En la gráfica de la Figura 1.2 se han representado las energías de atracción y repulsión de una pareja de átomos. Se ve cómo la suma de ambas curvas da origen a una nueva que presenta un punto donde la energía es mínima; precisamente a esa distancia se colocan los centros de los átomos. En ese punto se igualan las fuerzas de atracción y de repulsión.

La naturaleza de estas fuerzas y energías de enlace la comentaremos al tratar cada tipo de enlace.



# Estructura eléctrónica y reactividad química

Las propiedades químicas de los átomos de los elementos dependen principalmente de la reactividad de sus electrones más externos. Los más estables y menos reactivos de todos los elementos son los gases nobles. La configuración electrónica de las capas exteriores de los gases nobles, excepto el He, es  $s^2 p^6$ . Esta configuración de la capa más externa hace que posean una alta estabilidad química, como se pone de manifiesto al considerar la relativa inactividad de los gases nobles para reaccionar con otros átomos.

- **Anión.** Ion con carga eléctrica negativa.
- **Catión.** Ion con carga eléctrica positiva.
- **Energía de ionización.** Energía necesaria para desplazar un electrón desde su estado fundamental hasta el infinito.

# Estructura eléctrónica y reactividad química

## Elementos electropositivos y electronegativos

- Los elementos **electropositivos** son metálicos por naturaleza y ceden electrones en las reacciones químicas para producir **iones positivos** o **cationes**. El número de electrones cedidos por un átomo electropositivo en una reacción es representado por un *número de oxidación positivo*. Los elementos más electropositivos se encuentran en los **grupos 1A y 2A** de la Tabla Periódica.
- Los elementos **electronegativos** son no metálicos y aceptan electrones en las reacciones químicas para producir **iones negativos** o **aniones**. El número de electrones aceptados por un átomo electronegativo de un elemento se representa por un *número de oxidación negativo*. Los elementos más electronegativos pertenecen a los **grupos 6A y 7A** de la Tabla Periódica.
- Algunos elementos que se encuentran entre los **grupos 4A y 7A** de la Tabla Periódica pueden comportarse de una manera electropositiva o electronegativa. Este **comportamiento doble** es mostrado por elementos tales como **carbono, silicio, germanio, arsénico, antimonio y fósforo**. Así, en algunas reacciones tienen número de oxidación positivo, donde muestran comportamiento electropositivo, y en otras tienen número de oxidación negativo, donde se comportan de forma electronegativa.

# Estructura eléctrica y reactividad química

H → 2,1	B → 2,0	P → 2,1
Li → 1,0	Al → 1,5	As → 2,0
Na → 0,9	Sc → 1,3	Sb → 1,8
K → 0,8	Y → 1,3	O → 3,5
Rb → 0,8	Ti → 1,6	S → 2,5
Cs → 0,7	Zr → 1,6	Se → 2,4
Be → 1,5	C → 2,5	Te → 2,1
Mg → 1,2	Si → 1,8	F → 4,1
Ca → 1,0	Ge → 1,7	Cl → 3,0
Sr → 1,0	Sn → 1,7	Br → 2,8
Ba → 0,9	N → 3,1	I → 2,5

(El valor 2,0 representa el centro de la escala y separa los elementos metálicos, con electronegatividades menores de 2,0, de los no metálicos, con electronegatividades mayores de 2,0.)

Tabla 1.1. Electronegatividades de algunos elementos.

## Electronegatividad

Se define como *la capacidad de un átomo para atraer electrones hacia sí*. La tendencia de un átomo a mostrar un comportamiento electropositivo o electronegativo puede cuantificarse asignando a cada elemento un número de electronegatividad, que se mide en una escala desde 0 hasta 4,1. Los elementos menos electronegativos son los **metales alcalinos** con valores entre 0,9 y 1,0. Los más electronegativos son: F, O y N, con electronegatividades de 4,1; 3,5 y 3,1 respectivamente (ver Tabla 1.1). El concepto de electronegatividad ayuda a comprender el comportamiento enlazante de los elementos.

Metales	No metales
Tienen algunos electrones en niveles externos, normalmente tres o menos	Tienen cuatro o más electrones en niveles externos
Forman cationes por pérdida de electrones	Forman aniones por ganancia de electrones
Tienen bajas electronegatividades	Tienen altas electronegatividades

Tabla 1.2. Relaciones entre estructuras y propiedades químicas para metales y no metales.

El enlace entre átomos tiene lugar debido a la disminución neta de la energía potencial de los mismos en estado enlazado. Esto significa que los átomos en estado enlazado se encuentran en unas condiciones energéticas más estables que cuando están libres. En general, los enlaces químicos entre átomos pueden dividirse en dos grupos: enlaces **fuertes o primarios** y enlaces **débiles o secundarios**.

■ En los **enlaces atómicos**, intervienen grandes fuerzas interatómicas y son los enlaces iónicos, covalentes y metálicos.

**1. Enlaces iónicos.** En este tipo de enlaces se ponen en juego fuerzas interatómicas debidas a la transferencia de un electrón de un átomo a otro, con lo que se producen iones que se mantienen unidos por **fuerzas coulombianas** (atracción de iones cargados positiva y negativamente). El enlace iónico es un enlace no direccional y relativamente fuerte.

**2. Enlaces covalentes.** Corresponden a fuerzas interatómicas creadas por la **compartición de electrones** para formar un enlace con una dirección localizada.

**3. Enlaces metálicos.** Involucran fuerzas interatómicas creadas mediante la **compartición de electrones deslocalizados** para formar un enlace fuerte no direccional entre los átomos.

■ Los **enlaces moleculares** pueden ser del tipo dipolo permanente o dipolo inducido.

**1. Enlaces de dipolo permanente.** Corresponden a enlaces intermoleculares relativamente **débiles**, que se forman entre moléculas que poseen dipolos permanentes. Un dipolo en una molécula existe debido a la asimetría en la distribución de su densidad electrónica.

**2. Enlaces de dipolo inducido.** Los átomos con una distribución asimétrica de densidades electrónicas en torno a sus núcleos son susceptibles de formar entre ellos un dipolo eléctrico muy débil. Este tipo de dipolo se llama inducido debido a que la **densidad electrónica** está continuamente cambiando con el tiempo.

## Tipos de enlaces atómicos y moleculares

Enlace	Energía de enlace en kcal/mol
Iónico	145-370
Covalente	125-300
Metálico	25-200
Dipolo	Menos de 10

Tabla 1.3. Energías de unión para los cuatro enlaces.

En la Tabla 1.3 se muestra el margen del valor mínimo de la energía de unión para los cuatro mecanismos de enlace más característicos

# Tipos de enlaces atómicos y moleculares

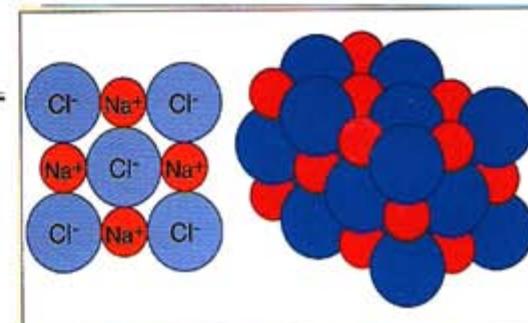
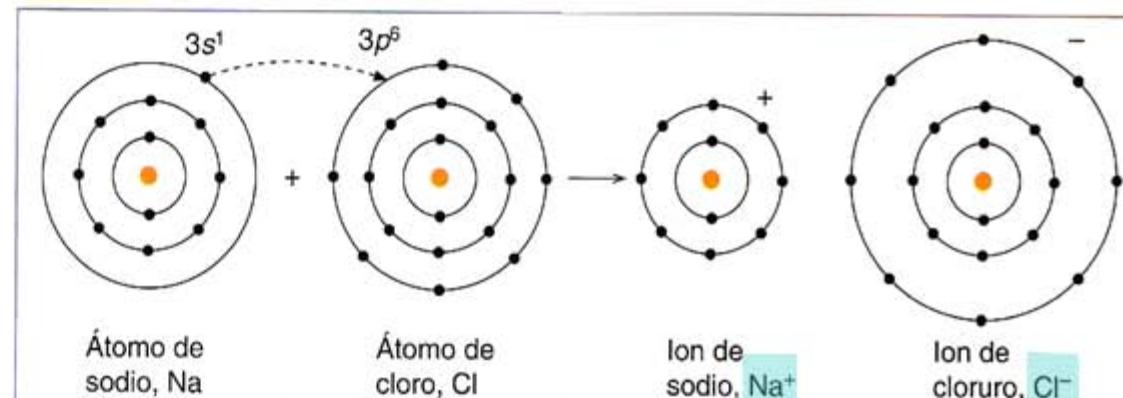
## Enlace iónico

El enlace iónico se forma entre átomos muy electropositivos (metálicos) y átomos muy electronegativos (no metálicos). En el proceso de ionización se transfieren los electrones desde los átomos de los elementos electropositivos a los átomos de los elementos electronegativos, produciendo cationes cargados positivamente y aniones cargados negativamente (Fig. 1.3). Las fuerzas de enlace son de carácter electrostático o coulombianas entre iones de carga opuesta. Los enlaces iónicos se forman entre iones opuestamente cargados, porque se produce una disminución neta de la energía potencial para los iones enlazados.

El átomo de sodio se reduce de tamaño cuando se forma el ion debido a la pérdida del electrón más exterior de su capa externa y también a causa de la reducción de la relación electrón a protón. El núcleo del ion sodio, más positivamente cargado, atrae fuertemente hacia sí la nube de carga electrónica, dando lugar a una reducción del tamaño del átomo durante la ionización. Por el contrario, durante la ionización, el átomo de cloro se expande debido a un aumento de radio.

En el proceso de la ionización el átomo se reduce de tamaño cuando forma cationes, y crece cuando forma aniones.

Las energías de este tipo de enlace suelen estar comprendidas entre 145 y 370 kcal/mol; estas altas energías de enlace se reflejan en la temperatura de fusión. Estos materiales son duros y frágiles, además de aislantes eléctricos y térmicos; sin embargo, cuando están en disolución son conductores al quedar libres los iones.



# Tipos de enlaces atómicos y moleculares

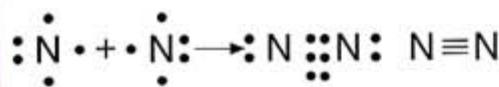
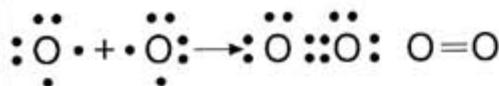
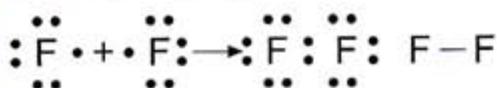


Fig. 1.5. Enlace covalente en moléculas de flúor (enlace simple), oxígeno (enlace doble) y nitrógeno (enlace triple).

Molécula de hidrógeno

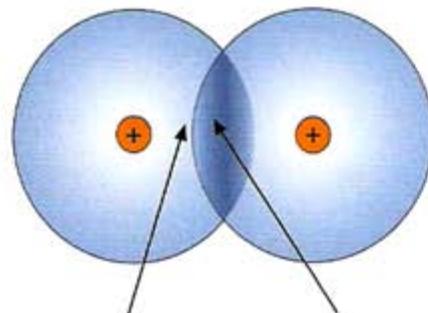


Fig. 1.6. Enlace covalente en la molécula de hidrógeno.

## Enlace covalente

El enlace covalente se forma entre átomos con pequeñas diferencias de electronegatividad. Los átomos generalmente comparten sus electrones externos *s* y *p* con otros átomos, de modo que cada átomo alcanza la configuración de gas noble (Fig. 1.5).

En un **enlace covalente sencillo**, cada uno de los dos átomos contribuye con 1 electrón a la formación del par de electrones de enlace. Las energías de los dos átomos asociados mediante el enlace covalente son menores que las de los átomos por separado (más estables). En el enlace covalente se pueden formar **enlaces múltiples** (Fig. 1.5) de pares de electrones de un átomo consigo mismo o con otros átomos.

En la Figura 1.6 se ilustra el enlace covalente sencillo que se produce entre dos átomos de hidrógeno para formar la molécula de hidrógeno. En cuanto los dos átomos de hidrógeno se aproximan para formar la molécula de hidrógeno, sus nubes de carga electrónica interaccionan y se solapan, creando una alta probabilidad de encontrar a los electrones de los dos átomos entre los dos núcleos de la molécula. En el proceso de formación de la molécula de hidrógeno la energía potencial de los átomos de hidrógeno disminuye y se libera energía. Para separar los átomos de hidrógeno en la molécula se requerirá energía, puesto que los átomos aislados se encuentran en un estado energético más alto.

Los enlaces covalentes pueden ser muy **fuertes**, como ocurre en el diamante, con una temperatura de fusión elevada ( $3\ 550\ ^\circ\text{C}$ ), pero también muy **débiles**, como en el bismuto, que funde a  $270\ ^\circ\text{C}$ . Este tipo de enlace es **característico de los polímeros**, que son una cadena de átomos de carbono enlazados entre sí por al menos uno de los cuatro enlaces disponibles, los restantes enlaces se utilizan para unirse con el mismo carbono, el hidrógeno u otros elementos.

## Enlace covalente para el carbono

En el estudio de los materiales, el carbono es muy importante, ya que es el elemento básico en la mayoría de materiales polímeros. El átomo de carbono en el nivel más bajo tiene una configuración electrónica  $1s^2 2s^2 2p^2$ . Esta ordenación electrónica indica que el carbono debería formar dos enlaces covalentes con los orbitales  $2p$  semillenos. Sin embargo, en muchos casos, el carbono forma cuatro enlaces covalentes de igual fuerza. La explicación es proporcionada por el concepto de **hibridación** sobre el enlace, mediante el cual, uno de los orbitales  $2s$  es promovido a un orbital  $2p$  y, como consecuencia, se producen *cuatro orbitales híbridos equivalentes  $sp^3$*  (Fig. 1.7).

Si bien es cierto que para que se produzca la hibridación se necesita un aporte de energía, para promocionar los electrones  $2s$  al estado  $2p$ , este aporte queda compensado por la disminución de energía que acompaña la formación de enlace.

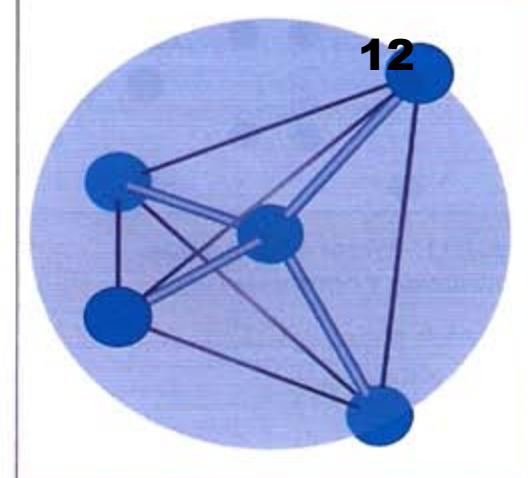


Fig. 1.8. Disposición espacial del enlace covalente del diamante. La zona en azul representa los enlaces covalentes que comparten dos electrones. El ángulo que forman los enlaces entre sí es de  $109,5^\circ$ .

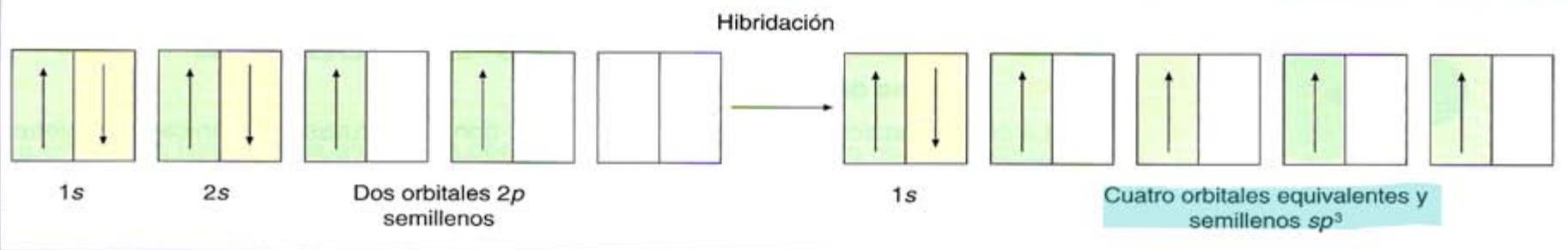


Fig. 1.7. Hibridación de los orbitales de carbono.

En la Figura 1.8 se muestra la disposición espacial del enlace del diamante. Cuatro átomos de carbono se encuentran en los vértices de un tetraedro y otro en el centro. Precisamente esta figura geométrica tiene la propiedad de que los cuatro átomos de carbono exteriores se encuentran sobre una esfera y la distancia entre ellos es la misma y la máxima posible, con lo que la configuración de energía es mínima y, por tanto, la estabilidad máxima.

**Tipos de enlaces atómicos y moleculares**

# Enlace metálico

En metales en estado sólido, los átomos se encuentran empaquetados en una ordenación sistemática o **estructura cristalina**. Los átomos están tan juntos que sus electrones externos de valencia son atraídos por los núcleos de sus átomos vecinos. Como consecuencia, los **electrones de valencia no están asociados a un núcleo único** y, por lo tanto, es posible que se extiendan entre los átomos en forma de una nube electrónica de carga de baja densidad. La Figura 1.9 muestra la disposición del enlace.

Podemos visualizar los metales sólidos como **núcleos de iones positivos** (átomos sin electrones de valencia) y **electrones de valencia dispersos en forma de nube electrónica** que cubre una gran extensión de espacio. Los electrones de valencia están débilmente enlazados a los núcleos de iones positivos y pueden moverse con relativa facilidad dentro del metal cristalino.

Las altas conductividades térmica y eléctrica que presentan los metales se basan en la teoría anteriormente expuesta. La mayoría de los metales pueden ser **deformados considerablemente sin fracturas** debido a que los átomos se pueden deslizar unos sobre otros sin distorsionar la estructura cristalina del enlace metálico.

Los átomos en un enlace metálico sólido se mantienen juntos para lograr un estado de menor energía (más estable). Para el enlace metálico no hay restricciones de pares electrónicos como en el enlace covalente, o sobre la neutralidad de la carga como en el enlace iónico.

En el enlace metálico, los electrones de valencia más externos de los átomos son compartidos por muchos átomos circundantes y, de esta manera, el enlace no resulta **direccional**. Cuando los átomos metálicos se unen compartiendo electrones de valencia para formar un sólido cristalino, la energía total de los átomos por separado se ve reducida por el propio proceso de unión.

Las **energías de enlace y los puntos de fusión** de los diferentes metales varían mucho. En general, a menor número de electrones de valencia por átomo implicados en el enlace, más metálico resulta éste. Así, en el **mercurio** con una temperatura de fusión de  $-39^{\circ}\text{C}$  la energía de enlace es 16 kcal/mol, en cambio en el wolframio o tungsteno la temperatura de fusión es de  $3\,410^{\circ}\text{C}$  y la energía de enlace 203 kcal/mol.

## Tipos de enlaces atómicos y moleculares

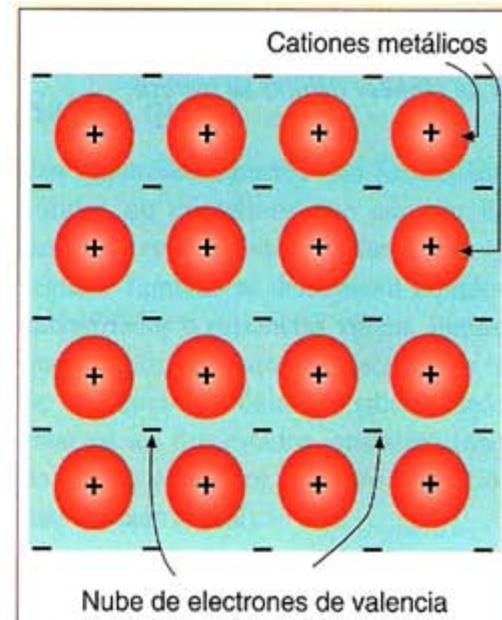


Fig. 1.9. Esquema de un enlace metálico.

# Tipos de enlaces atómicos y moleculares

14

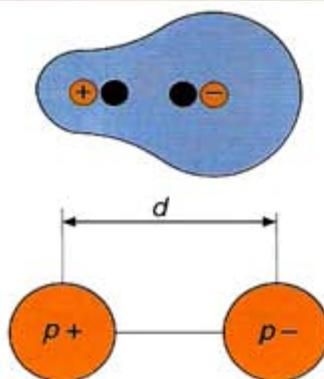


Fig. 1.10. Dipolo eléctrico.

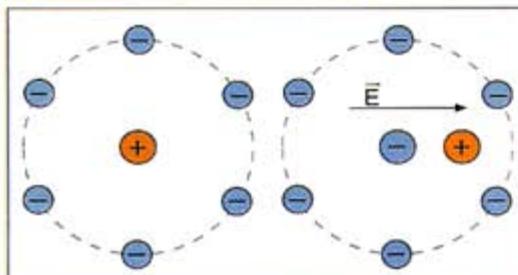


Fig. 1.11. Efecto de dispersión, movimiento y centros de carga.

## Fuerzas de Van der Waals

## Enlace secundario

La comprobación de que los gases nobles, con estructuras electrónicas completas, se puedan licuar y solidificar al descender la temperatura, hace suponer que entre sus átomos se desarrollan fuerzas especiales de atracción, puesto que no es posible considerarlos entre los enlaces estudiados hasta aquí. A estas fuerzas se les denomina de Van der Waals, y se deben a la aparición de dipolos variables que se originan en el movimiento de los electrones; su intensidad es relativamente débil. Sus energías de enlace oscilan alrededor de 2 kcal/mol para los gases nobles, llegando a poco menos de 7,5 kcal/mol en la molécula  $\text{Cl}_2$ .

Dentro de este grupo de fuerzas, que tienen su origen en las atracciones y repulsiones de los campos eléctricos y magnéticos creados por núcleos y electrones corticales, podemos considerar dos efectos fundamentales:

**1. Polarización.** Se origina cuando uno de los átomos que forma la molécula tiene más afinidad por los electrones que el otro, por lo que la molécula resultante, aunque neutra, es en cierto modo polar. La molécula se comporta en estos casos como un **dipolo eléctrico** (Fig. 1.10), cuya polaridad depende tanto de la distancia entre las cargas como del valor de éstas.

**2. Efectos de dispersión.** Tienen lugar en todas las moléculas simétricas y gases nobles como consecuencia de un movimiento de electrones, que provoca **movimientos de los centros de las cargas**. Las atracciones interatómicas son débiles pero reales (Fig. 1.11).

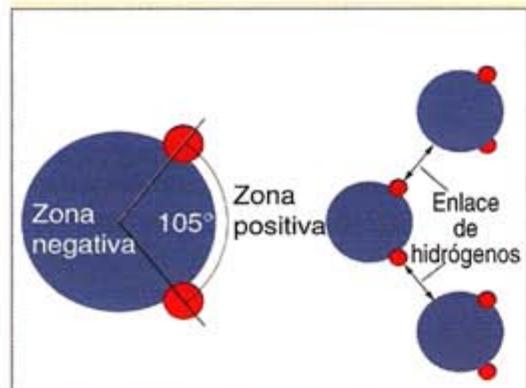


Fig. 1.12. El dipolo permanente de la molécula de agua. A la derecha, agrupación de moléculas de agua como si de «iones» débiles se tratara.

## Puentes de hidrógeno

Se producen en moléculas bipolares, como el agua. Se debe a la atracción que existe entre el núcleo del hidrógeno de una molécula y los electrones no compartidos del oxígeno, flúor o nitrógeno. Su enlace es más fuerte que el formado por las fuerzas de Van der Waals, así, en el agua se llega a una energía de enlace de 12,2 kcal/mol.

La Figura 1.12 muestra el dipolo permanente que forma la molécula de agua. Se observa que se puede comportar con otras moléculas próximas como un enlace «iónico» débil, haciendo que se atraigan las zonas de distinto signo de carga (como en el enlace iónico).

# Tipos de enlaces atómicos y moleculares

*Energías de enlace y temperaturas de fusión de algunos materiales*

Tipo de enlace	Sustancia	Energía de enlace en kcal/mol	Temperatura de fusión en °C
Iónico	LiCl	198	613
	KCl	164	776
	NaCl	153	801
	BaO	747	1923
	CaO	846	2580
	MgO	239	2800
Covalente	Si	108	1410
	C (diamante)	170	3550
Metálico	Hg	16	-39
	K	21,4	63,5
	Al	77	660
	Fe	97	1536
	Ti	113	1812
	W	203	3410
Van der Waals	Ar	1,8	-189
	Cl <sub>2</sub>	7,4	-101
Puente de hidrógeno	NH <sub>3</sub>	8,4	-78
	H <sub>2</sub> O	12,2	0

Tabla 1.4. Energías de enlace y temperaturas de fusión para algunos materiales indicando el tipo de enlace.

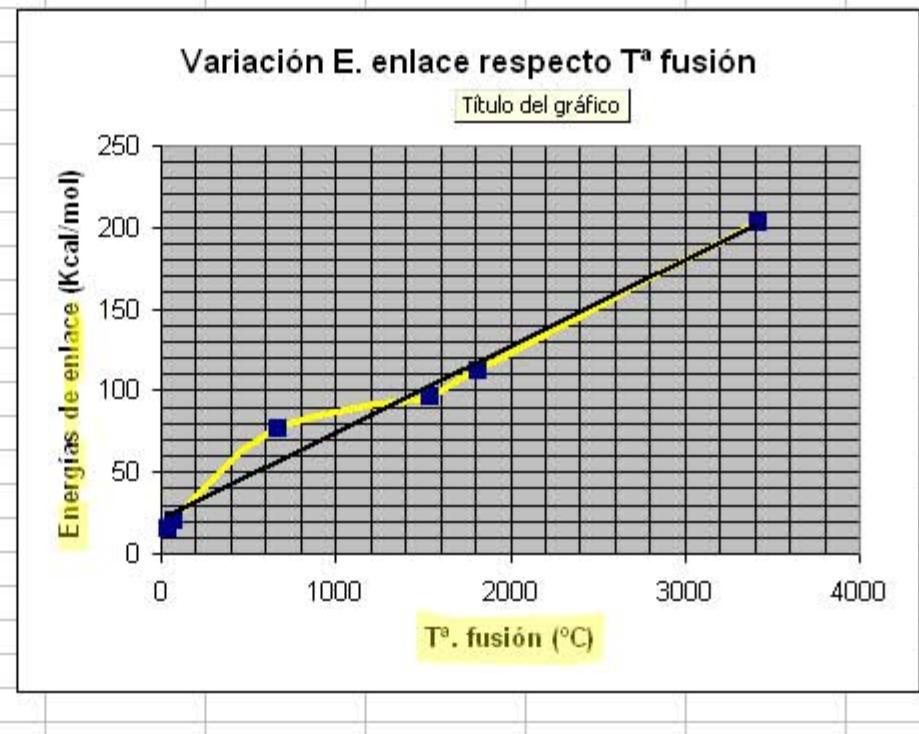
# Tipos de enlaces atómicos y moleculares

Metáles	T <sup>a</sup> fusión	Ener. Enlace		
Hg	39	16		
K	63,5	21,4		
Al	660	77		
Fe	1536	97	T <sup>a</sup> fusión	E. enlace
Ti	1812	113	Mg	650
W	3419	203	Ir	155
	1254,91667	87,9		

$$m=0,0049$$

$$b=20$$

$$y=mx+b$$



# Tipos de enlaces atómicos y moleculares

Sustancia	Energía de enlace	Temperatura de fusión en °C
Hg	16	-39
K	21,4	63,5
Al	77	660
Fe	97	1536
Ti	113	1812
W	203	3410
Mg	56,85	650
Ir	150,658	2454



# Estructura cristalina

- La estructura física de los sólidos es consecuencia de la disposición de los átomos, moléculas e iones en el espacio, así como de las fuerzas de interconexión entre ellos. Si esta distribución espacial se repite, diremos del sólido que tiene **estructura cristalina**. Los metales, aleaciones y determinados materiales cerámicos tienen estructura cristalina.
- La ordenación atómica en los sólidos cristalinos puede representarse situando los átomos en el origen de una red tridimensional, que se denomina **retículo espacial**. En este tipo de redes cristalinas cada punto que puede ser identificado como un átomo o ion tiene un entorno idéntico.

Resumiendo, diremos que una estructura cristalina o, mejor dicho, la red espacial que la representa, se puede definir como una repetición en el espacio de **celdas unitarias**. El volumen y la orientación espacial de cada celda unitaria vienen caracterizados por las siguientes constantes: **tres vectores**,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , que convergen en un punto común o vértice y **tres ángulos**,  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  interaxiales (Fig. 1.13).

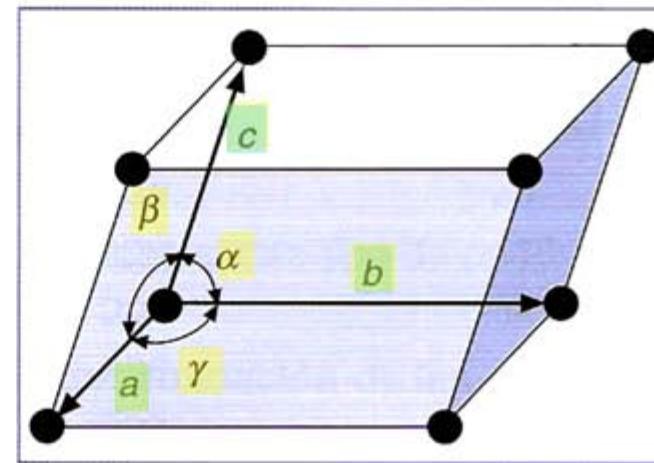


Fig. 1.13. Celda unitaria con las constantes reticulares.

• **Cristal.** Todo sólido compuesto de átomos, iones o moléculas ordenados de una determinada manera y que se repite tridimensionalmente.

• **Estructura cristalina.** Modelo regular tridimensional de átomos o iones en el espacio.

• **Celda unitaria.** Unidad repetida de retículo cristalino.

# El átomo

- **Átomo.** Es la unidad elemental básica que puede experimentar un cambio químico.
- **Molécula.** Mínima porción que conserva todas las propiedades de un material. Pueden ser monoatómicas (formadas por un átomo), diatómicas (dos átomos), e incluso polímeros (muchos átomos).
- **Número atómico.** Es el número de protones del átomo.

Desde el punto de vista de los materiales es suficiente considerar el **átomo** como una estructura eléctrica formada por la agrupación de partículas elementales. Dentro de esta agrupación diferenciaremos dos partes fundamentales:

- El **núcleo**, de carga positiva y con toda la masa atómica concentrada en él.
- La **corteza**, constituida por electrones, que consideramos exenta de masa.

Todo átomo que no esté excitado es neutro desde el punto de vista eléctrico, es decir, la carga de los electrones de la corteza es igual a la carga del núcleo.

El diámetro del núcleo es del orden de  $10^{-10}$  m. Aunque su estructura interna no es conocida con exactitud, se sabe que está formado por **protones y neutrones (nucleones)**; los primeros son los que aportan la carga y su número coincide con el **número atómico**, Z. Se ha comprobado que la densidad de la materia del núcleo es aproximadamente constante. Por tanto, el volumen de un núcleo es directamente proporcional a su número másico.

Respecto a la composición del núcleo, los átomos se denominan:

- **Isótopos:** son átomos que tienen el **mismo número de protones** y distinto de neutrones.
- **Isótonos:** son átomos que tienen el **mismo número de neutrones** y distinto de protones.
- **Isóbaros:** son átomos que tienen el **mismo número másico**.

Las **propiedades químicas** de los átomos isótopos son semejantes, pero no las de los isótonos e isóbaros.

En cristalográfica, dependiendo del módulo o valor de los vectores reticulares y de su dirección o ángulos interaxiales, nos podemos encontrar con siete sistemas cristalinos y catorce retículos espaciales diferentes, denominados **redes de Bravais**. Casi todos los metales elementales cristalizan en tres tipos de estructuras fundamentales:

- **BCC.** Cúbica centrada en el cuerpo (Fig. 1.14a). También denominada CC.
- **FCC.** Cúbica centrada en las caras (Fig. 1.14b). También denominada CCC.
- **HCP.** Hexagonal compacta (Fig. 1.14c).

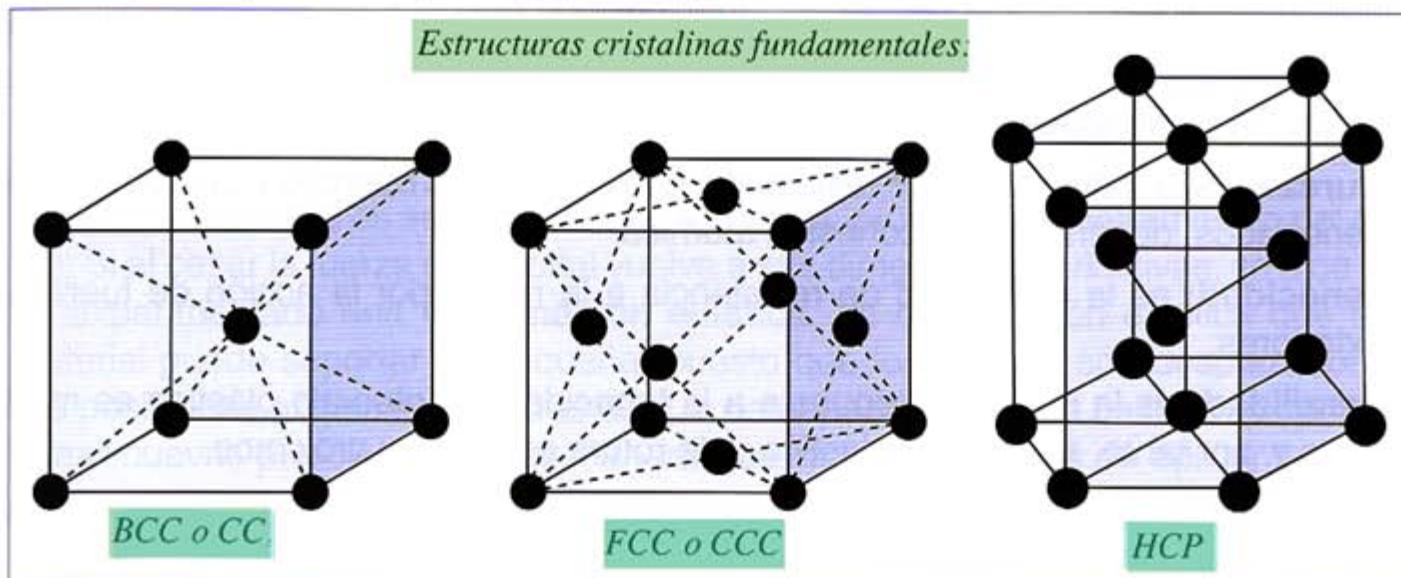


Fig. 1.14. *Estructuras cristalinas fundamentales: a) BCC o CC; b) FCC o CCC y c) HCP.*

Los materiales amorfos (sin forma) son sólidos no cristalinos que carecen de ordenamiento atómico sistemático y regular. También se denominan líquidos subenfriados o sustancias vítreas, puesto

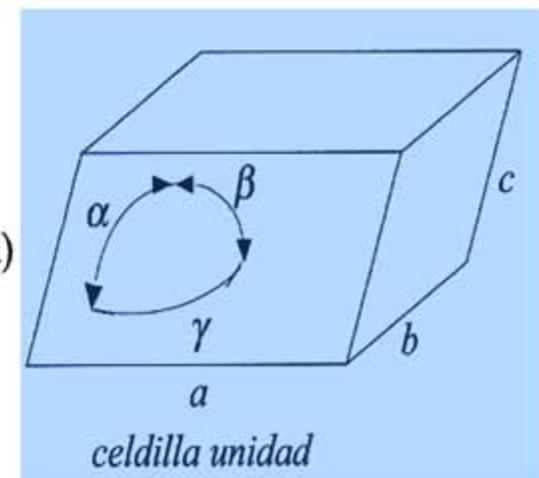
que su estructura atómica recuerda a la de un líquido. El óxido de silicio puede estar en los dos estados, cristalino (uno de ellos es el cuarzo) y amorfo (el vidrio, mal llamado cristal).

# Sistemas cristalinos

- Sistemas cristalinos.** La unidad de volumen más pequeña de un cristal que reproduce por repetición la red cristalina, se llama *celdilla unidad*. Se puede demostrar que para que una celdilla unidad por repetición pueda reproducir la red cristalina, debe pertenecer a uno de los 7 sistemas cristalinos de la tabla 7.4.

Tabla 7.4. Dimensiones de las celdillas unidad para los siete sistemas cristalinos

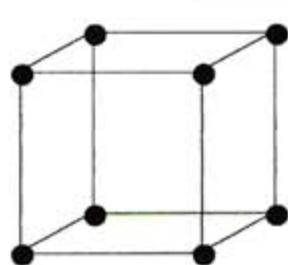
Sistema	Longitudes	Ángulos	Ejemplo
Cúbico	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	NaCl (sal de roca)
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	TiO <sub>2</sub> (rutilo)
Ortorrómbico	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O (epsomita)
Monoclínico	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ; \beta \neq 90^\circ$	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (yeso)
Triclínico	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$	SiO <sub>2</sub> (sílice)
Romboédrico	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	CaCO <sub>3</sub> (calcita)



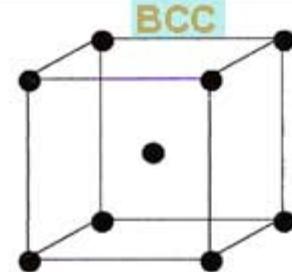
- Isomorfismo y polimorfismo.** Dos sustancias que cristalizan en el mismo tipo de red cristalina se dice que son *isomorfas*. Una sustancia presenta *polimorfismo* cuando puede cristalizar en más de un tipo de ordenamiento.

# Sistemas cristalinos

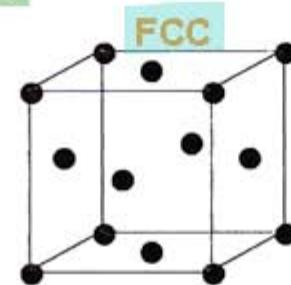
Puntos equivalentes a los vértices también pueden aparecer en otras posiciones de la celdillas unidad, produciendo 14 tipos de redes cristalinas



Cúbica simple

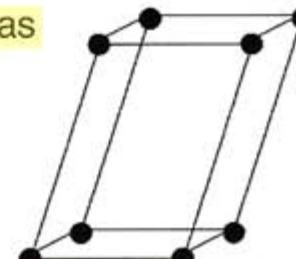


Cúbica centrada en el cuerpo

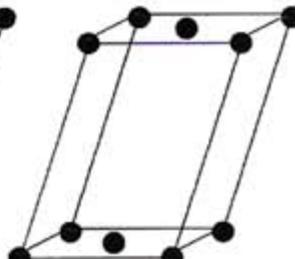


Cúbica centrada en las caras

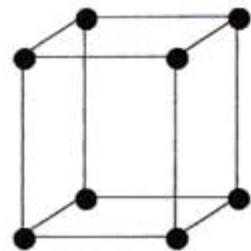
siete sistemas



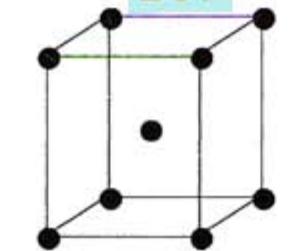
Monoclínica simple



Monoclínica centrada en las bases

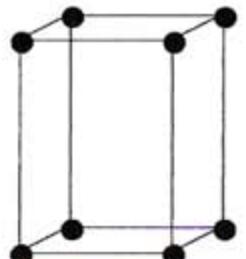


Tetragonal simple

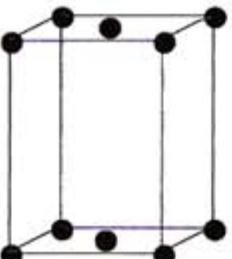


Tetragonal centrada en el cuerpo

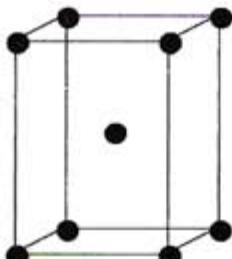
**Figura 7.2.** Los catorce tipos de redes cristalinas



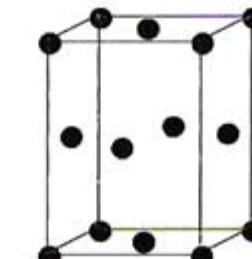
Ortorrómbica simple



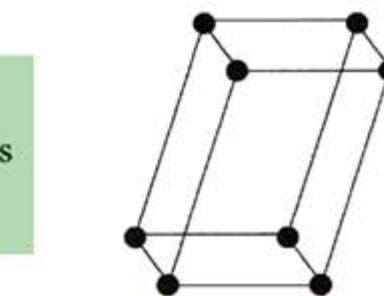
Ortorrómbica centrada en las bases



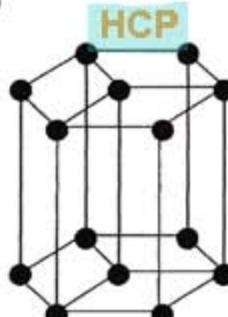
Ortorrómbica centrada en el cuerpo



Ortorrómbica centrada en las caras



Triclínica



Hexagonal

Romboédrica

# Alotropía

Dependiendo de las condiciones de presión y temperatura, un mismo elemento o compuesto químico presenta diferentes estructuras cristalinas. A estos diferentes estados los denominaremos **polimórficos** o **alotrópicos**.

Diferentes materiales metálicos, de los que comúnmente se utilizan en la industria, presentan transformaciones polimórficas a presión atmosférica y elevadas temperaturas. Por ejemplo: Fe, Co, Ti (Tabla 1.5).

Metal	Estructura cristalina a temperatura ambiente	Estructura cristalina a otras temperaturas
Ca	FCC	BCC ( $T > 447\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Co	HCP	CC ( $T > 427\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Fe	BCC	FCC ( $912 < T < 1\,394\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) BCC ( $T > 1\,394\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Na	BCC	HCP ( $T < -193\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Ti	HCP	BCC ( $T > 883\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Al	FCC	No cambia
Cr	BCC	No cambia
Cu	FCC	No cambia
Ni	FCC	No cambia

Tabla 1.5. Estados alotrópicos de diferentes metales.

## Recuerda

Algunos cristales se comportan como superconductores cuando son enfriados a temperatura próxima al cero absoluto. Ello consiste en que la resistividad eléctrica se vuelve prácticamente nula y, por tanto, no presentan resistencia alguna al paso de la corriente eléctrica. Esto tiene la gran ventaja de que los materiales superconductores pueden transportar grandes intensidades de corriente sin pérdidas por efecto Joule. Los superconductores tienen una amplia aplicación en medicina (resonancia magnética) y se consiguen enfriando con helio líquido a 4 K (-269 °C). Algunos superconductores son materiales cerámicos.

# ALGUNAS propiedades de los materiales

En líneas generales, se puede afirmar que no existe ningún material perfecto que se pueda emplear para la fabricación de cualquier producto. Cada aplicación necesita de un material que cumpla unas características determinadas. Ingenieros y diseñadores necesitan sopesar las ventajas e inconvenientes de cada uno de los materiales y elegir adecuadamente aquel que mejor se adapte a las necesidades requeridas. Para elegir adecuadamente un material es necesario conocer, entre otras, sus *propiedades*:

- sensoriales
- térmicas
- magnéticas
- químicas
- eléctricas
- ópticas
- mecánicas

# Propiedades mecánicas de los materiales

Las propiedades mecánicas de los materiales definen el comportamiento de los metales en su utilización industrial. Las más importantes son: elasticidad, plasticidad, cohesión, dureza, tenacidad, fragilidad, resistencia a la fatiga y resiliencia.

- **Elasticidad:** es la capacidad que tienen los materiales de recuperar la forma primitiva cuando cesa la carga que los deforma. Si se rebasa el límite elástico, la deformación que se produce es permanente.
- **Plasticidad:** es la capacidad que tienen los materiales de adquirir deformaciones permanentes, sin llegar a la rotura. Cuando esta deformación se presenta en forma de láminas, se denomina **maleabilidad**, y si se presenta en forma de **filamentos**, **ductilidad**.
- **Cohesión:** es la resistencia que ofrecen los átomos a separarse y depende del enlace de los átomos. Los átomos de los metales se pueden separar ligeramente, de ahí su elasticidad.
- **Dureza:** es la mayor o menor resistencia que oponen los cuerpos a ser rayados o penetrados, depende de la cohesión atómica.
- **Tenacidad:** es la capacidad de resistencia a la rotura por la acción de fuerzas exteriores.
- **Fragilidad:** es la propiedad opuesta a la tenacidad; el intervalo plástico es muy corto y, por tanto, sus límites elástico y de rotura están muy próximos.
- **Resistencia a la fatiga:** es la resistencia que ofrece un material a los esfuerzos repetitivos.
- **Resiliencia:** es la energía absorbida en una rotura por impacto.

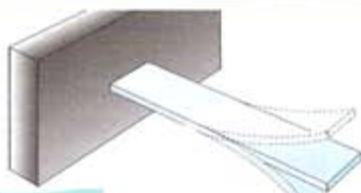
## Sabías que...

Todas las propiedades de los materiales se reducen a dos: las **propiedades físicas** y las **químicas**. Las segundas afectan a la estructura y composición del material. Las primeras son todas las demás, entre las que destacan: las propiedades mecánicas y las tecnológicas.

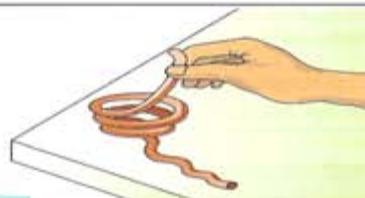
# propiedades MECÁNICAS

26

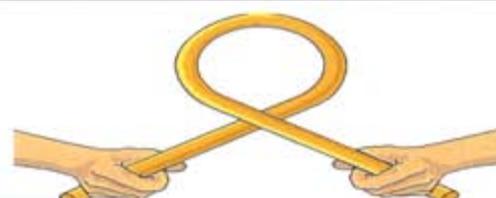
Están relacionadas con la forma en que reaccionan los materiales cuando actúan fuerzas sobre ellos.



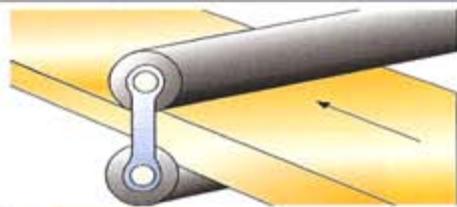
**Elasticidad.** Capacidad que tienen algunos materiales para recuperar su forma, una vez que ha desaparecido la fuerza que los deformaba.



**Plasticidad.** Habilidad de un material para conservar su nueva forma una vez deformado. Es opuesto a la elasticidad.



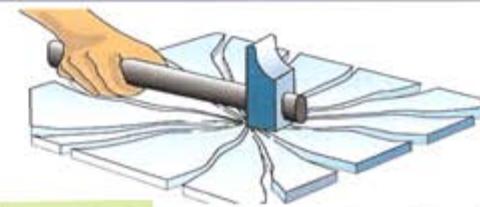
**Ductilidad.** Es la capacidad que tiene un material para estirarse en hilos (por ejemplo, cobre, oro, aluminio, etcétera).



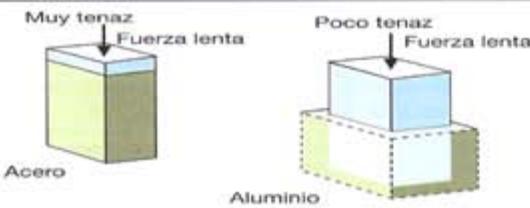
**Maleabilidad.** Aptitud de un material para extenderse en láminas sin romperse (por ejemplo, aluminio, oro, etcétera).



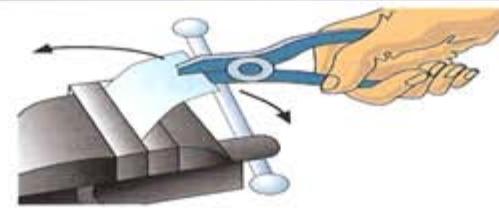
**Dureza.** Oposición que ofrece un cuerpo a dejarse rayar o penetrar por otro, o lo que es igual, la resistencia al desgaste.



**Fragilidad.** Es opuesta a la resiliencia. El material se rompe en añicos cuando una fuerza impacta sobre él.



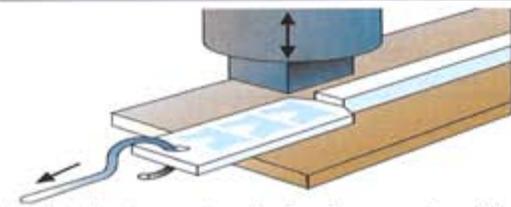
**Tenacidad.** Resistencia que opone un cuerpo a su rotura cuando está sometido a esfuerzos lentos de deformación.



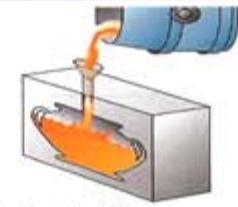
**Fatiga.** Deformación (que puede llegar a la rotura) de un material sometido a cargas variables, inferiores a la de rotura, cuando actúan un cierto tiempo o un número de veces.



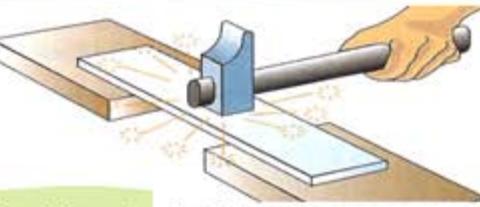
**Maquinabilidad.** Facilidad que tiene un cuerpo a dejarse cortar por arranque de viruta.



**Acritud.** Aumento de la dureza, fragilidad y resistencia en ciertos metales como consecuencia de la deformación en frío.

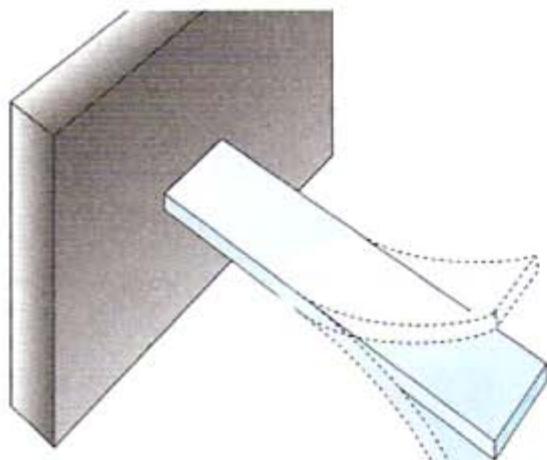


**Colabilidad.** Aptitud que tiene un material fundido para llenar un molde.

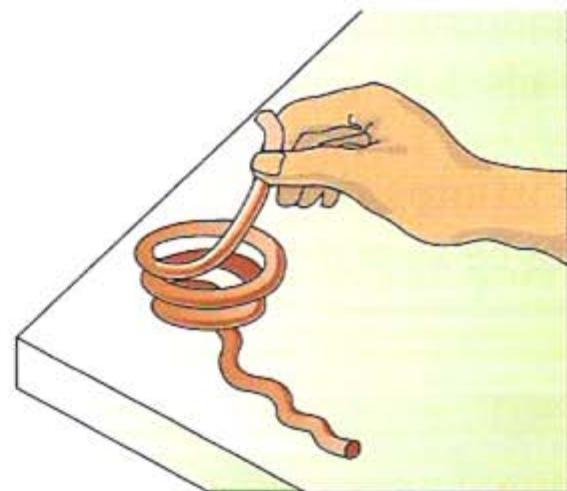


**Resiliencia.** Resistencia que opone un cuerpo a los choques o esfuerzos bruscos.

# propiedades mecánicas

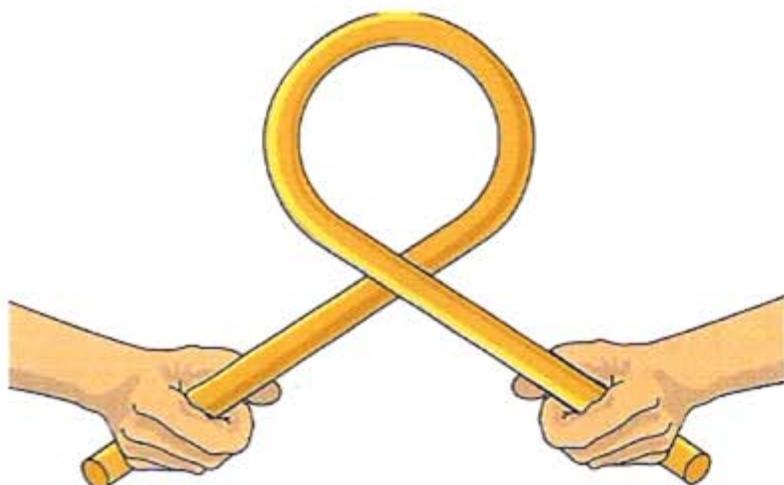


**Elasticidad.** Capacidad que tienen algunos materiales para recuperar su forma, una vez que ha desaparecido la fuerza que los deformaba.

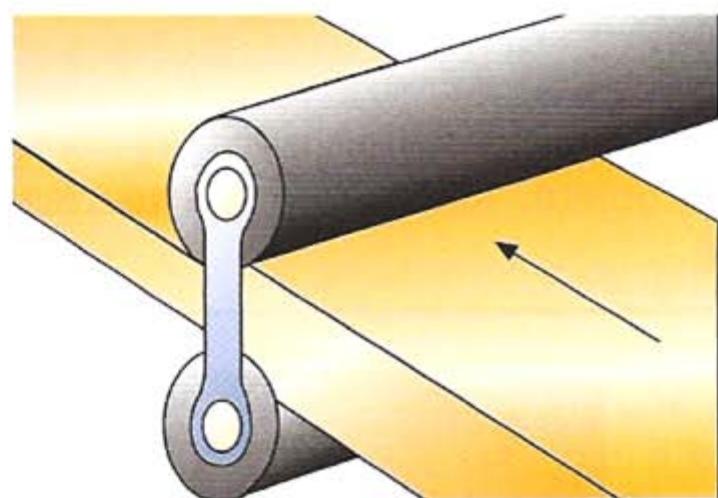


**Plasticidad.** Habilidad de un material para conservar su nueva forma una vez deformado. Es opuesto a la elasticidad.

# propiedades mecánicas

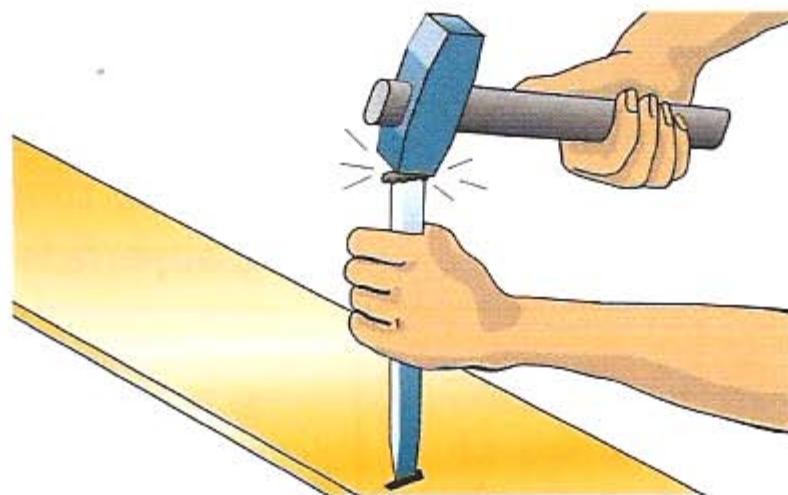


**Ductilidad.** Es la capacidad que tiene un material para estirarse en hilos (por ejemplo, cobre, oro, aluminio, etcétera).



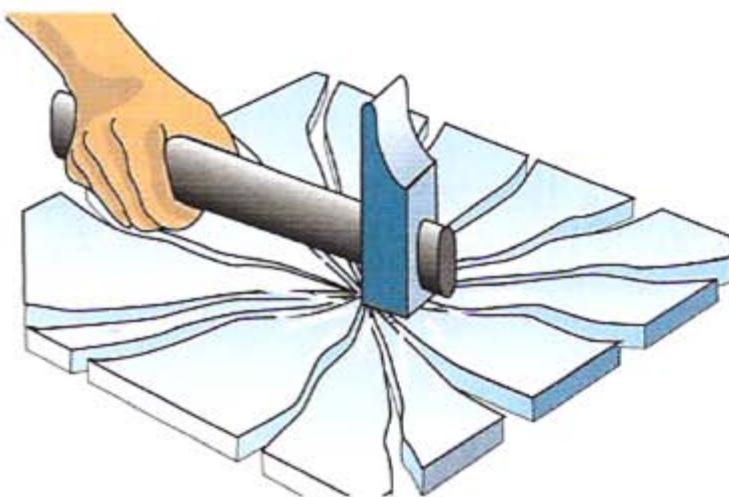
**Maleabilidad.** Aptitud de un material para extenderse en láminas sin romperse (por ejemplo, aluminio, oro, etcétera).

# propiedades mecánicas

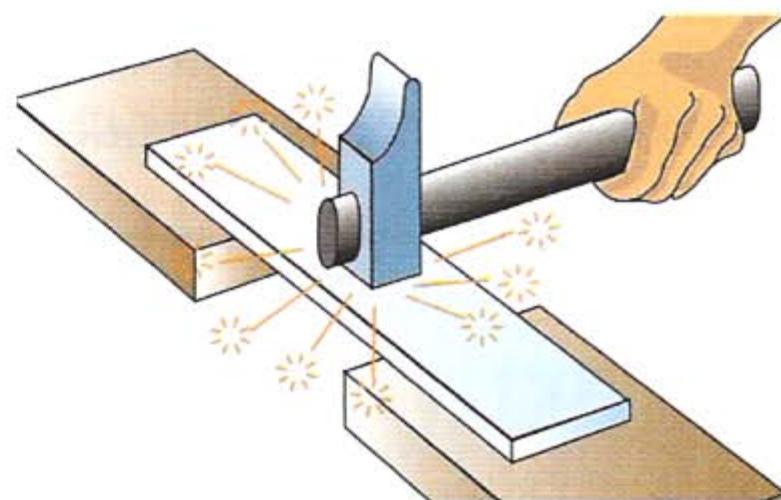


**Dureza.** Oposición que ofrece un cuerpo a dejarse rayar o penetrar por otro, o lo que es igual, la resistencia al desgaste.

# propiedades mecánicas

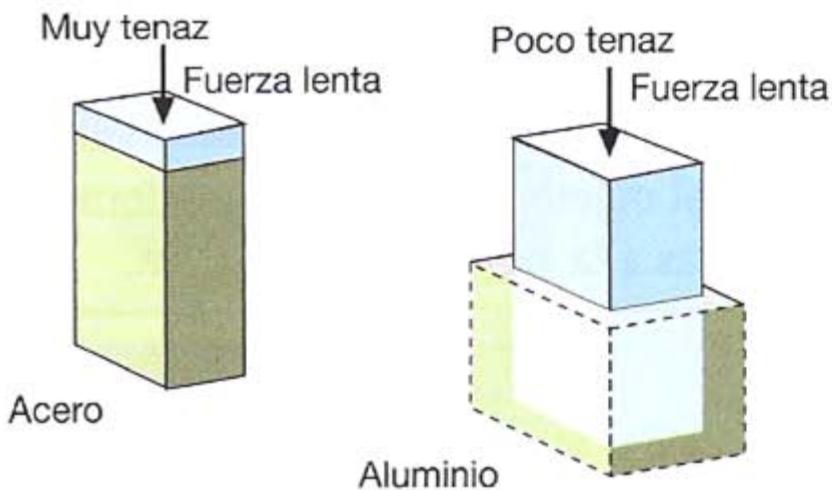


**Fragilidad.** Es opuesta a la resiliencia. El material se rompe en añicos cuando una fuerza impacta sobre él.

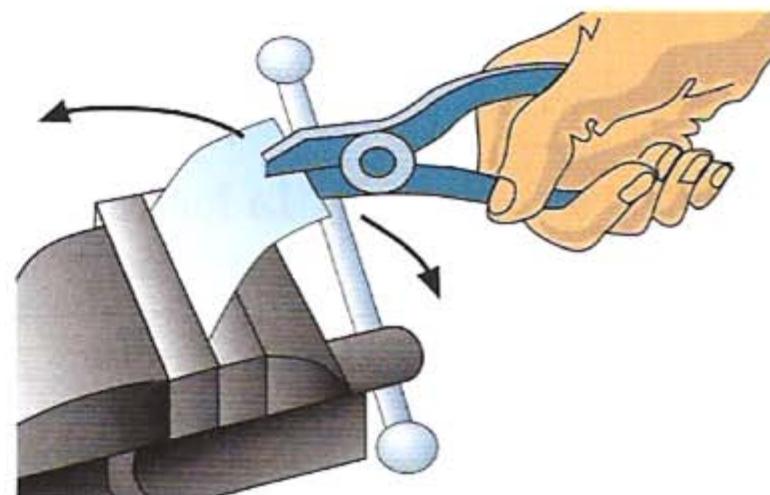


**Resiliencia.** Resistencia que opone un cuerpo a los choques o esfuerzos bruscos.

# propiedades mecánicas

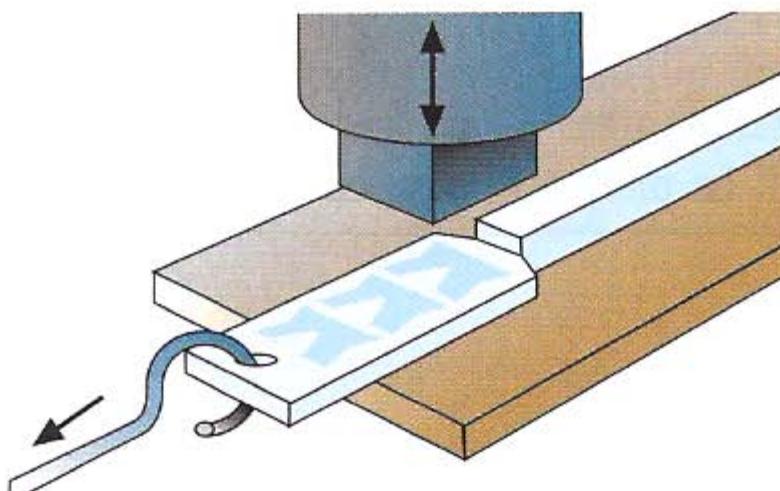


**Tenacidad.** Resistencia que opone un cuerpo a su rotura cuando está sometido a **esfuerzos lentos de deformación**.



**Fatiga.** Deformación (que puede llegar a la rotura) de un material sometido a cargas variables, inferiores a la de rotura, cuando actúan **un cierto tiempo o un número de veces**.

# propiedades mecánicas

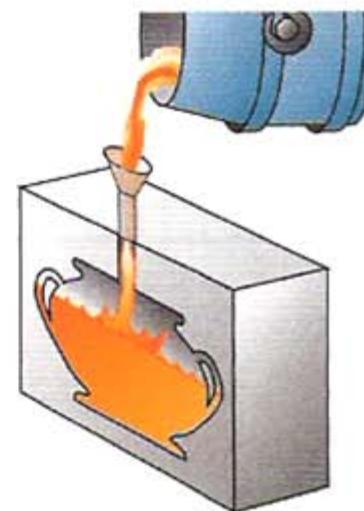


**Acritud.** Aumento de la dureza, fragilidad y resistencia en ciertos metales como consecuencia de la deformación en frío.

# propiedades mecánicas



**Maquinabilidad.** Facilidad que tiene un cuerpo a dejarse cortar por arranque de viruta.



**Colabilidad.** Aptitud que tiene un material fundido para llenar un molde.

y

## tipos de ensayos

Los ensayos industriales realizados para determinar las características técnicas de los materiales pueden clasificarse según tres criterios básicos:

a) Atendiendo a la **rigurosidad** de su ejecución se distinguen entre:

- **Ensayos técnicos de control.** Son aquellos que se realizan durante el **proceso productivo**. Se caracterizan por su rapidez y simplicidad, al mismo tiempo han de ser exactos, fieles y sensibles.
- **Ensayos científicos.** Son aquellos que se realizan para **investigar** características técnicas de nuevos materiales. Se caracterizan por su gran precisión, fidelidad y sensibilidad, pero no importa la rapidez que exige la producción.

b) Atendiendo a la **forma de realizar los ensayos** se distinguen entre:

- **Ensayos destructivos.** Los materiales sometidos a este tipo de experimentos **ven alterada su forma** y presentación inicial.
- **Ensayos no destructivos.** Los materiales sometidos a este tipo de pruebas **no ven alterada su forma** y presentación inicial.

c) Atendiendo a los **métodos empleados en la determinación de las propiedades** de los materiales se distinguen entre:

- **Ensayos químicos.** Permiten conocer la **composición química cualitativa y cuantitativa** del material, así como su comportamiento ante los agentes químicos.
- **Ensayos metalográficos.** Con la ayuda del microscopio metalográfico se estudia la **estructura interna del material**, que permite conocer los tratamientos térmicos y mecánicos que ha sufrido el mismo.
- **Ensayos físicos y físico-químicos.** Mediante éstos se determinan las **propiedades físicas** (densidad, punto de fusión, calor específico, conductividad térmica y eléctrica, etc.), así como las **imperfecciones y malformaciones tanto internas como externas**.
- **Ensayos mecánicos.** Determinan las características elásticas y de resistencia de los materiales sometidos a esfuerzos o deformaciones análogas a las que se presentan en la realidad. En este grupo se estudian: ensayos estáticos de tracción, compresión, cizalladura, flexión y torsión; ensayos de dureza; ensayos de choque o dinámicos; ensayos de fatiga y fluencia; ensayos tecnológicos de plegado, doblado, embutición, forjado, etcétera.

• **Metalografía.** Es la ciencia que tiene por objetivo el estudio de la estructura cristalina de los metales.

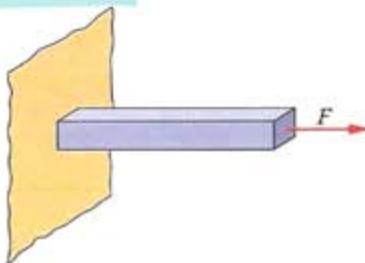
• **Análisis macroscópico.** Es el que se realiza con lupa o microscopio de hasta 15 aumentos. Permite estudiar la uniformidad de la estructura y, principalmente, los defectos de fabricación.

• **Análisis microscópico.** Es el efectuado con microscopios metalográficos desde 15 aumentos en adelante. Se estudia la constitución de los materiales, observando la superficie de una probeta previamente tratada.

# tipos de ESFUERZOS FÍSICOS

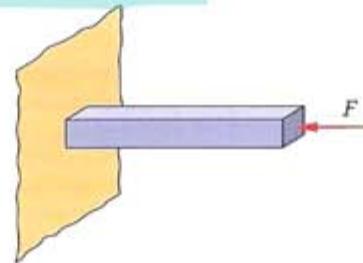
Cuando una fuerza actúa sobre un objeto, tiende a deformarlo. La deformación producida dependerá de la dirección, sentido y punto de aplicación donde esté colocada esa fuerza.

## 1. Tracción



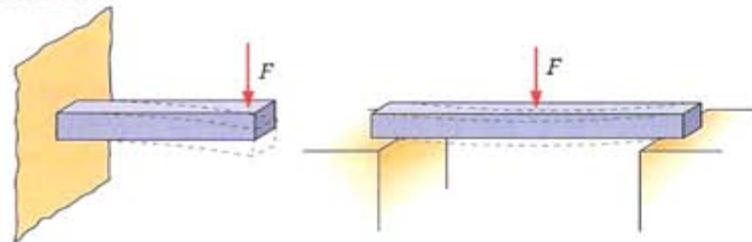
La fuerza tiende a alargar el objeto y actúa de manera perpendicular a la superficie que lo sujetó.

## 2. Compresión



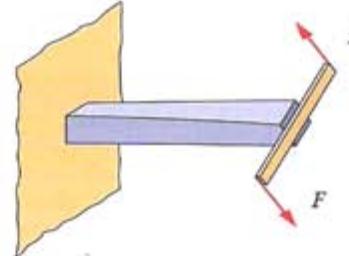
La fuerza tiende a acortar el objeto. Actúa perpendicularmente a la superficie que lo sujetó.

## 3. Flexión



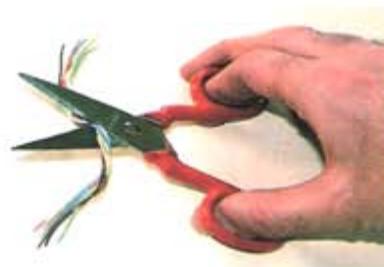
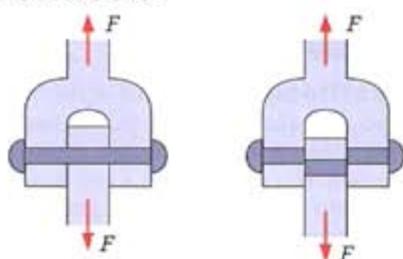
La fuerza es paralela a la superficie de fijación. Tiende a curvar el objeto.

## 4. Torsión



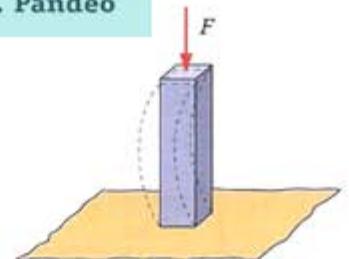
La fuerza tiende a retorcer el objeto. Las fuerzas (que forman un par o momento) son paralelas a la superficie de fijación.

## 5. Cortadura



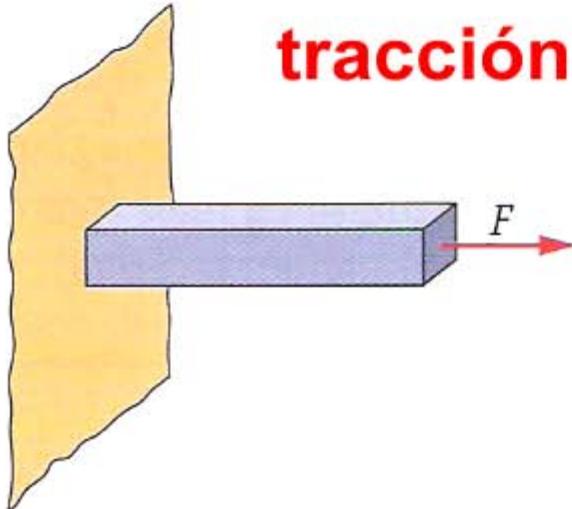
La fuerza es paralela a la superficie que se rompe y pasa por ella.

## 6. Pandeo



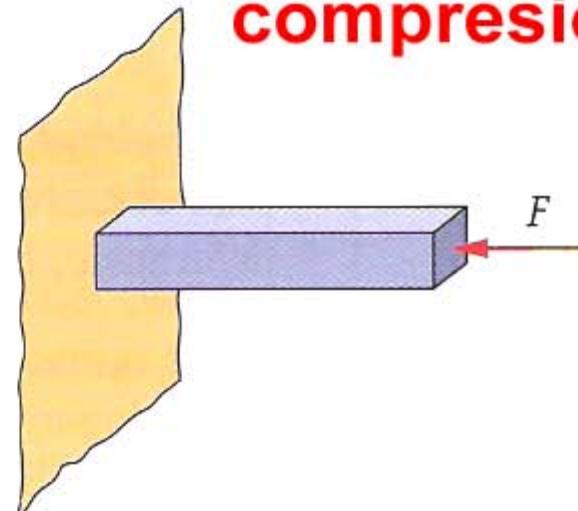
Es similar a la compresión, pero se da en objetos con poca sección y gran longitud. La pieza «se pandea».

## tracción



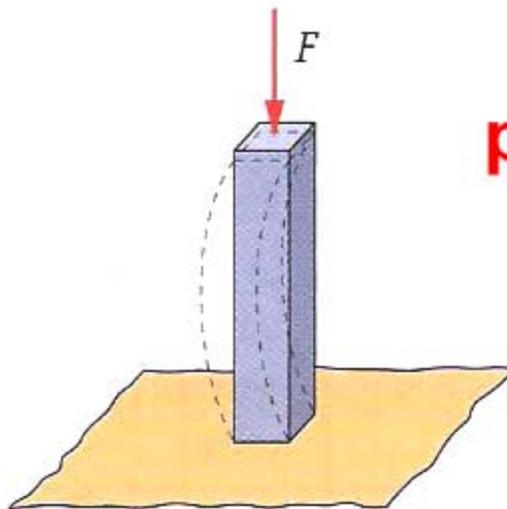
La fuerza tiende a alargar el objeto y actúa de manera perpendicular a la que lo sujeta.

## compresión



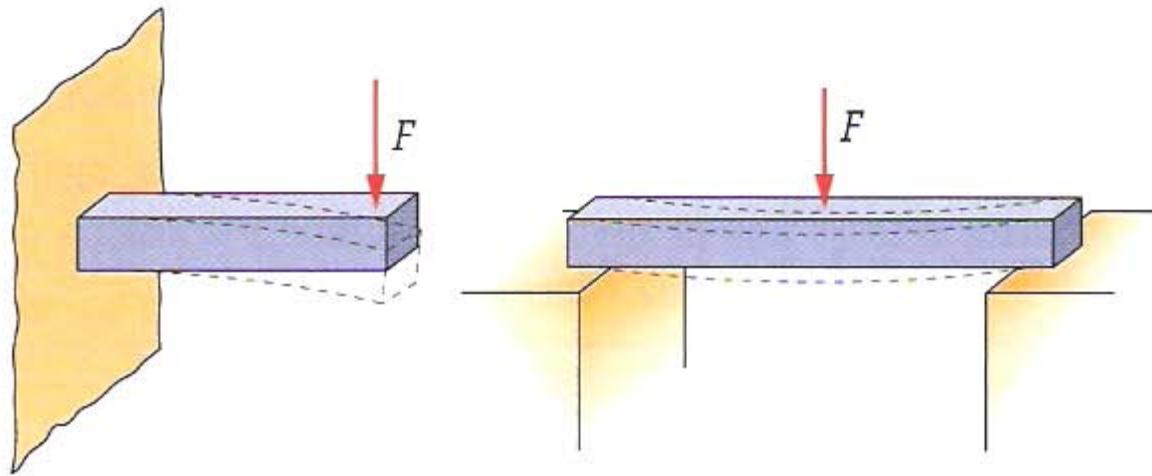
La fuerza tiende a acortar el objeto. Actúa perpendicularmente a la superficie que la sujeta.

## pandeo



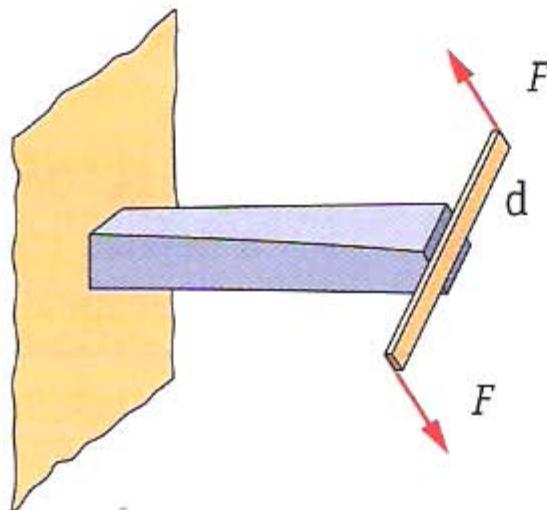
Es similar a la compresión, pero se da en objetos con poca sección y gran longitud. La pieza «se pandea».

# flexión



La fuerza es paralela a la superficie de fijación.  
Tiende a curvar el objeto.

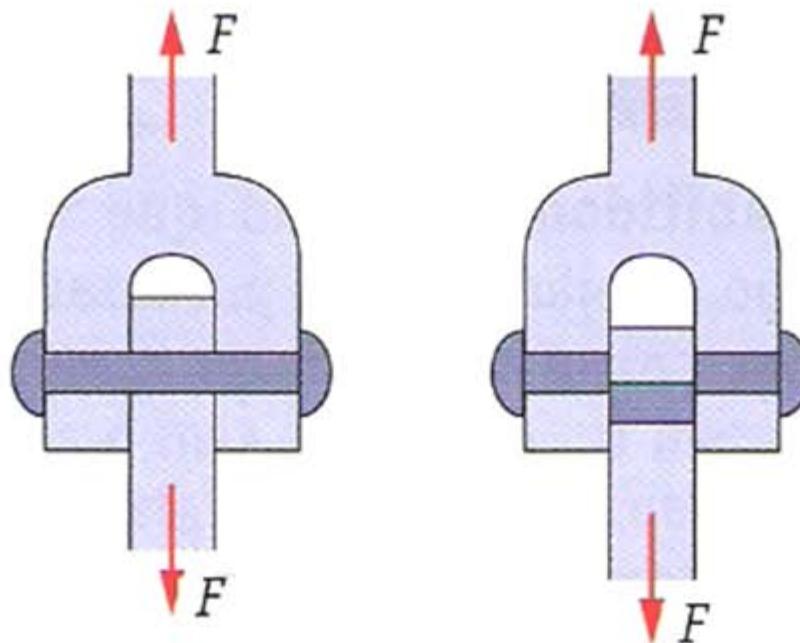
# torsión



$$M = F \cdot d$$

La fuerza tiende a retorcer el objeto. Las fuerzas (que forman un par o momento) son paralelas a la superficie de fijación.

## cortadura (o cizalla)



La fuerza es paralela a la superficie que se rompe y pasa por ella.

# Deformaciones elásticas y plásticas

Cuando un material es sometido a una tensión se produce una deformación del mismo. Si al cesar la fuerza el material vuelve a sus dimensiones primitivas, se dice que ha experimentado una deformación elástica. La deformación elástica que todo material puede soportar es pequeña, puesto que los átomos son desplazados de sus posiciones originales mientras dura la deformación, pero no hasta el extremo de tomar nuevas posiciones, de tal manera que, cuando dejamos de aplicar la fuerza de deformación, vuelven a sus posiciones originales.

Si el material se deforma hasta el extremo de no poder recuperar por completo sus medidas originales, se dice que ha experimentado una deformación plástica.

- **Deformación elástica.** Si un metal deformado mediante una fuerza vuelve a sus dimensiones originales cuando la fuerza deja de actuar, se dice que el metal está deformado elásticamente.

- **Anelasticidad.** Comportamiento elástico de los materiales dependiendo del tiempo.

# Tensión y deformación

- Tensión en ingeniería ( $\sigma$ )**. Valor del cociente que resulta de dividir la fuerza uniaxial, por el área de la sección transversal inicial ( $\sigma = F/A_0$ ).
- Deformación en ingeniería ( $\epsilon$ )**. La variación de la longitud de la muestra, dividida por la longitud original de la misma ( $\epsilon = \Delta l/l_0$ ).
- Uniaxial**. En la dirección del eje de simetría de la probeta.

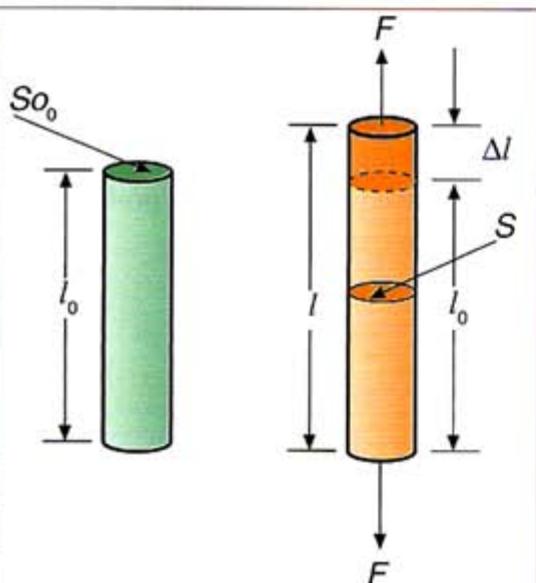


Fig. 1.15. Deformación de una varilla cilíndrica sometida a un esfuerzo de tracción  $F$ .

Consideremos una varilla cilíndrica de longitud  $l_0$  y una sección  $S_{00}$ , sometida a una tensión uniaxial  $F$  de tracción (Fig. 1.16). Definiremos **tensión**  $\sigma$  como el cociente entre la fuerza de tracción uniaxial  $F$  y la sección transversal  $S_{00}$  de la varilla.

$$\sigma = \frac{F}{S_{00}}$$

Las unidades de tensión en el Sistema Internacional son  $N/m^2$ , donde:  $1 N/m^2 = 1 \text{ Pascal}$

Cuando se aplica a una varilla una fuerza de tracción uniaxial, se provoca un alargamiento o elongación de la varilla en la dirección de la fuerza (Fig. 1.15). Este desplazamiento se llama **deformación**. Por definición, deformación en ingeniería ( $\epsilon$ ) es el cociente entre el cambio de longitud en la dirección de la fuerza y la longitud original considerada:

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$l_0$  = longitud inicial de la muestra.

$l$  = nueva longitud de la muestra después de haber sido alargada por una fuerza de tracción uniaxial.

$\Delta l$  = variación de la longitud de la muestra.

La unidad para la deformación en el Sistema Internacional es metro por metro ( $m/m$ ). De este modo, la deformación resulta una magnitud adimensional.

En la práctica industrial, es habitual convertir la deformación en un porcentaje de deformación o porcentaje de alargamiento:

$$\% \text{ deformación} = \text{deformación} \cdot 100 = \% \text{ alargamiento}$$

# ensayo de TRACCIÓN



Consiste en estirar lentamente una probeta, de longitud y sección normalizadas, del material a analizar, hasta que se rompe. A continuación se analizan los alargamientos producidos a medida que aumenta la fuerza. Tensión de rotura:  $\sigma_R = F_R / S$ .  $F_R$  = Fuerza de rotura;  $S$  = Sección de la probeta en  $\text{cm}^2$ .

## Ensayo de tracción (UNE 7-474)

Este ensayo mecánico consiste en someter a una probeta de forma y dimensiones normalizadas (Fig. 1.16), a un sistema de fuerzas exteriores (esfuerzo de tracción) en la dirección de su eje longitudinal hasta romperla.

Las probetas normalizadas están reguladas por las normas:

- UNE 7282, preparación.
- UNE 7262-73, tolerancias en su mecanizado.
- UNE 7010, recomienda:

$$S = 150 \text{ mm}^2 \quad D = 13,8 \text{ mm} \quad l_0 = 100 \text{ mm}$$

Existen dos tipos de probetas:

1. Las **probetas cilíndricas** se utilizan en ensayos con materiales forjados, fundidos, barras, redondos laminados y planchas de **espesor grueso**.
2. Las **probetas prismáticas o planas** se emplean en planchas de **espesores medios y pequeños**.

Las probetas constan de una **parte central calibrada** que se ensancha en sus extremos, llamados **cabezales**. Las **mordazas** de la máquina de tracción sujetan la probeta por los cabezales.

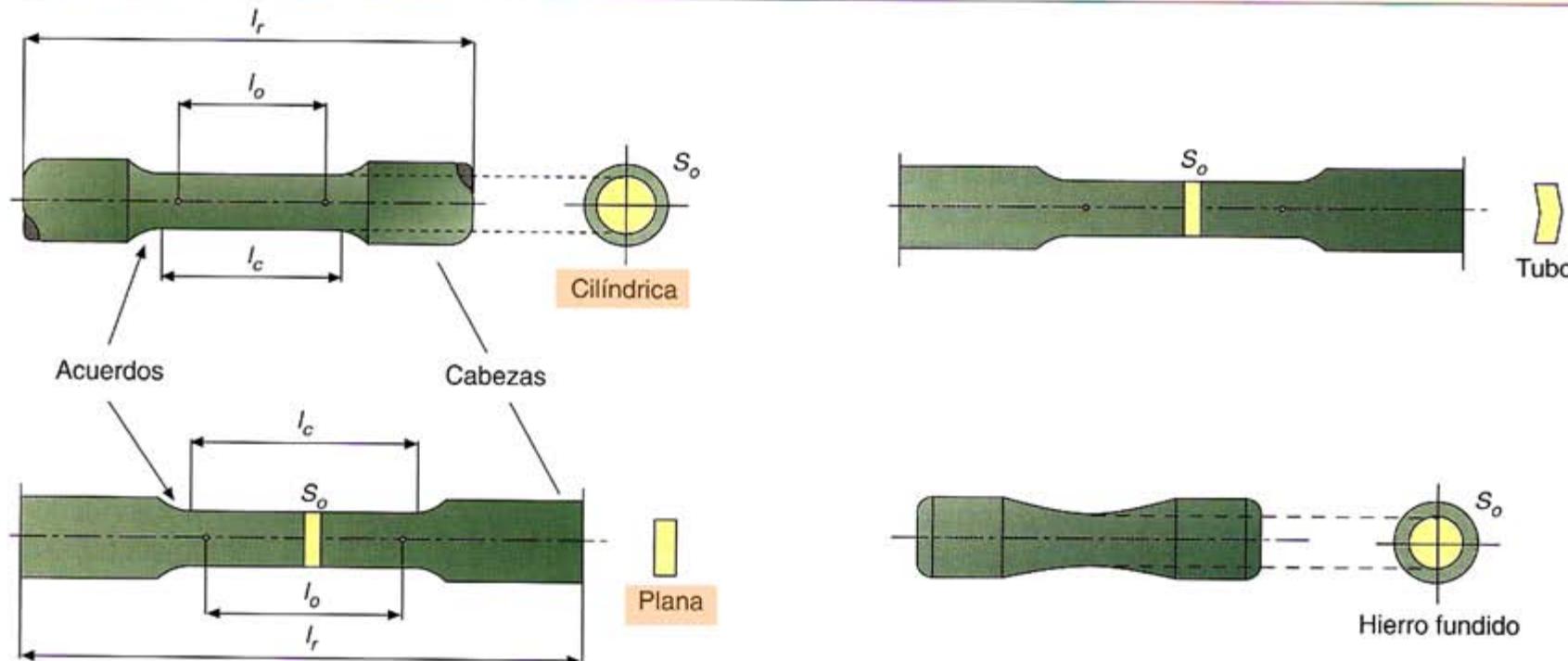


Fig. 1.16. Diferentes tipos de probetas normalizadas.

# Máquinas de tracción

Son dispositivos mecánicos o hidráulicos que someten a las probetas a un esfuerzo o tensión de tracción creciente en todas las secciones transversales. Esto provoca un desplazamiento de las mordazas que sujetan la probeta, que comienza a alargarse. La máquina detecta, cuantifica y relaciona las fuerzas aplicadas y las deformaciones (alargamientos) producidos.



Fig. 1.17. Máquina de tracción.

## Ensayo de tracción (UNE 7-474)



Fig. 1.18. Aspecto de la mordaza para sujetar las probetas.

# Ensayo de tracción

## Análisis de un diagrama de tracción

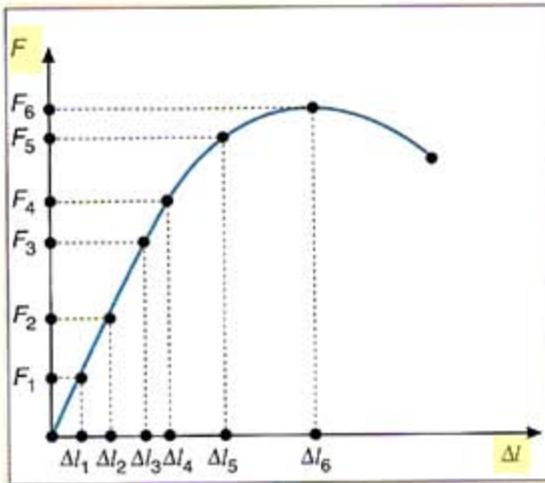


Fig. 1.19

Los resultados obtenidos en la realización de un ensayo de tracción se representan en una gráfica en la que se reflejan los valores de las deformaciones (alargamientos) producidas ( $\Delta l$ ) en el eje de abscisas y las fuerzas de tracción aplicadas ( $F$ ) en el eje de ordenadas (Fig. 1.19).

Cada material presenta una gráfica de tracción característica con las siguientes particularidades:

- Una **primera zona** donde las deformaciones son **proporcionales** a las tensiones de tracción que las producen.
- Una **segunda zona** donde, a pequeñas variaciones de tensiones aplicadas, se generan grandes deformaciones.

■ Esta información, aun siendo útil, no es suficiente desde el punto de vista práctico. En consecuencia, se hace necesario un cambio de escala en abscisas y ordenadas, de tal manera que obtengamos una curva que relate las **tensiones** de una sección transversal con las **deformaciones relativas a la longitud inicial**, llamadas **alargamientos unitarios** (Fig. 1.20). Eje de abscisas:  $\epsilon = \Delta l / l_0$

Eje de ordenadas:  $\sigma = F / S_0$

teniendo en cuenta que:

$\epsilon$  = Alargamiento unitario (adimensional).

$\Delta l = l - l_0$  = Incremento de longitud.

$\sigma$  = Tensión en una sección transversal cuando se aplica una fuerza  $F$ .

$S_0$  = Sección inicial de la probeta.

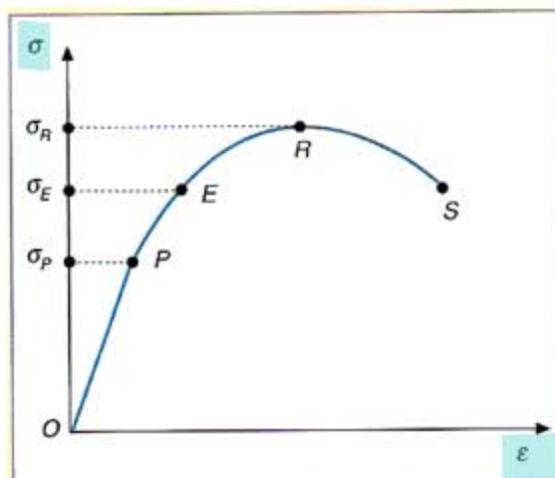


Fig. 1.20. Diagrama de tracción  $\epsilon - \sigma$ .

La representación gráfica de los nuevos valores obtenidos para abscisas ( $\epsilon$ ) y ordenadas ( $\sigma$ ) se asemeja a la de la Figura 1.20.

# Ensayo de tracción

## Análisis de un diagrama tracción

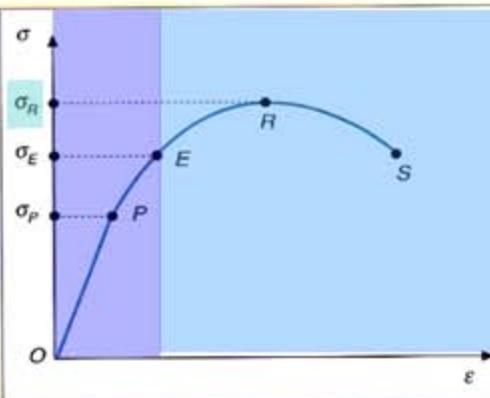


Fig. 1.20. Diagrama de tracción  $\varepsilon - \sigma$ .

- Límite elástico.** Máxima tensión aplicable sin que se produzcan deformaciones permanentes en el material.
- Tensión de rotura (UTS).** Máxima tensión observable en un diagrama tensión-deformación.
- Fluencia.** Valor de la tensión aplicada a partir de la cual comienza la deformación plástica, en un diagrama de tracción.

Al estudiar este diagrama, podemos distinguir dos zonas fundamentales:

46

- Zona elástica (OE).** Se caracteriza porque al cesar las tensiones aplicadas, los materiales recuperan su longitud original  $l_0$ .

- Zona plástica (ES).** Se ha rebasado la tensión del límite elástico  $\sigma_E$ , de tal forma que aunque dejemos de aplicar tensiones de tracción, el material ya no recupera su longitud original, es decir, su longitud será algo mayor que  $l_0$ . Diremos que el material ha sufrido deformaciones permanentes.

- Dentro de la **zona elástica** se distinguen otras dos zonas:

- Zona de proporcionalidad (OP).** Se trata de una recta, por tanto, existe una proporcionalidad entre las tensiones aplicadas y los alargamientos unitarios. Matemáticamente se cumple:  
$$\sigma = \text{cte } \varepsilon$$

Es la zona donde **deben trabajar los materiales**.

- Zona no proporcional (PE).** El material se comporta de forma elástica, pero las **deformaciones y tensiones no están relacionadas linealmente**. No es una zona aconsejable para trabajar los materiales, ya que no se puede controlar la relación deformación-tensión aplicada, aunque el material sea elástico.

- Dentro de la **zona plástica** se distinguen otras dos zonas:

- Zona límite de rotura (ER).** Zona de comportamiento muy similar a la anterior, donde a **pequeñas variaciones de tensión se producen grandes alargamientos**. La diferencia con la anterior es que los materiales no tienen comportamiento elástico, ya que se trata de la zona plástica donde las deformaciones son permanentes. El límite de esta zona es el punto **R**, llamado **límite de rotura**, y a la tensión aplicada en dicho punto se la denomina **tensión de rotura**. A partir de este punto el material se considera roto, aunque no se haya producido la fractura visual.

- Zona de rotura (RS).** Superado el punto **R**, aunque se mantenga constante o baje ligeramente la tensión aplicada, el **material sigue alargándose progresivamente hasta que se produce la rotura física total en el punto S**.

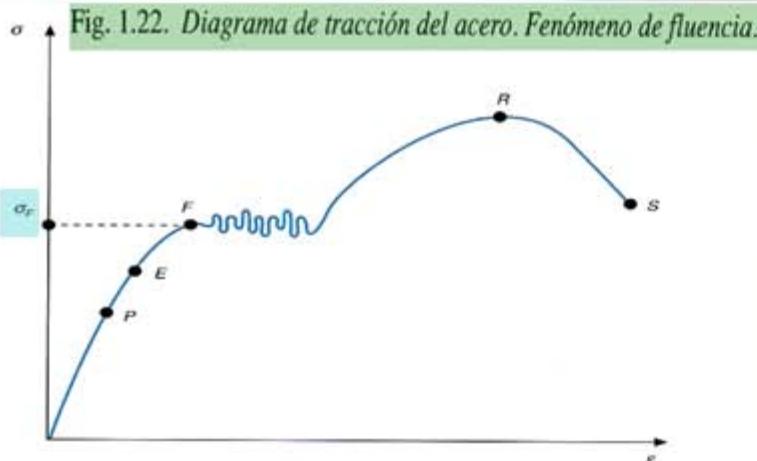
# Ensayo de tracción

## Análisis de un diagrama de tracción

Este comportamiento de los materiales se puede generalizar (Fig. 1.21). No obstante, existen algunas excepciones entre las que se encuentra el acero, cuya gráfica del ensayo de tracción presenta una característica peculiar, que es la existencia de una zona localizada por encima del límite elástico, donde se produce un alargamiento muy rápido sin que varíe la tensión aplicada. Este fenómeno se conoce como **fluencia**, ya que el material fluye sin causa aparente. El punto donde comienza dicho fenómeno se llama **límite de fluencia** ( $F$ ) (Fig. 1.22), y la tensión aplicada en dicho punto **tensión de fluencia**.

De la observación y estudio de los diagramas de tracción, se extrae como consecuencia que los puntos  **$P$**  y  **$E$**  son de difícil localización, lo que implica la imposibilidad de cuantificar sus tensiones correspondientes. En cambio, los puntos  **$F$**  y  **$R$**  quedan fácilmente localizados en los diagramas procedentes de las máquinas de ensayos.

Las normas UNE tienen en cuenta las informaciones extraídas de los ensayos de tracción para la designación normalizada de los aceros. En el grupo de **aceros de designación numérica F-6 XXX y de designación simbólica A XX**, las dos cifras que acompañan a la A nos informan de la resistencia mínima a la tracción expresada en  $\text{kp/mm}^2$ .



- **Módulo de elasticidad ( $E$ )**. Resultado de dividir la tensión por la deformación unitaria, dentro de la región elástica de un diagrama esfuerzo-deformación ( $E = \sigma/\varepsilon$ ).

- **Elongación**. Alargamiento total expresado en porcentaje de una probeta durante un ensayo de tracción.

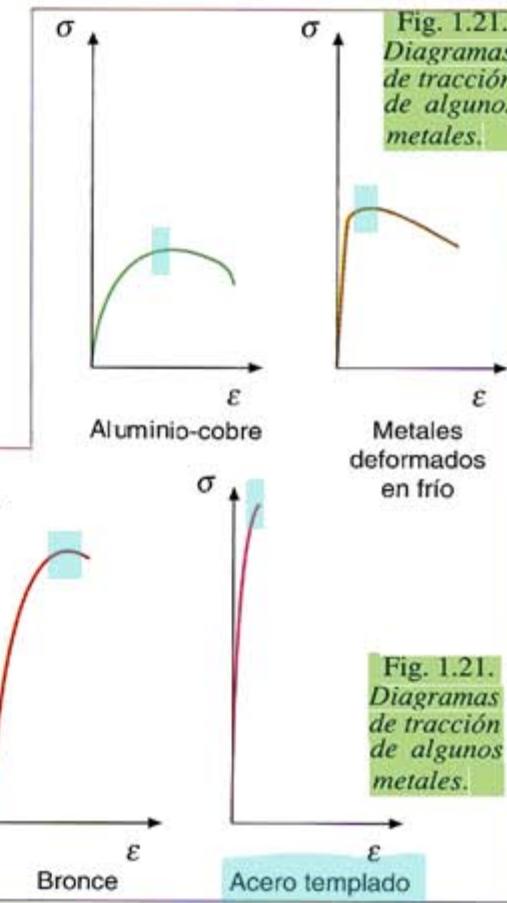


Fig. 1.21.  
Diagramas de tracción de algunos metales.

Fig. 1.21.  
Diagramas de tracción de algunos metales.

- **Rigidez**. Medida cualitativa de la deformación elástica producida en un material. Un material rígido tiene un alto módulo elástico.

# tipos de aceros: ACEROS ALEADOS

## (aceros especiales)

Son aquellos aceros que, además de los elementos hierro y carbono, contienen algún otro en proporciones superiores a las indicadas en la Tabla 9.1.

En la actualidad, casi la totalidad de los aceros que se utilizan son aceros aleados, pues los elementos de aleación mejoran considerablemente sus propiedades. Existen varias formas de clasificar los aceros aleados. Una de las más utilizadas es la denominada **designación convencional numérica**, en la que se clasifican los aceros según su aplicación. Según esta designación, cada acero se indica mediante la letra mayúscula F, seguida de un guión y de cuatro cifras:

- La primera cifra indica aplicaciones generales de los aceros, tal y como se indica en la Tabla 9.3.
- La segunda cifra señala características del acero. Así, por ejemplo, F-3200 es un acero inoxidable para válvulas de motores de explosión.
- Las dos últimas cifras tienen un valor clasificadorio y se van colocando a medida que se van descubriendo los distintos aceros.

Designación	Aplicación general del acero
F-1000	Aceros finos de construcción general.
F-2000	Aceros para usos especiales.
F-3000	Aceros inoxidables.
F-4000	Aceros de emergencia.
F-5000	Aceros para herramientas.
F-6000 y F-7000	Aceros de uso general.
F-8000	Aceros para moldeo.

Designación convencional numérica de los aceros.

Elemento	Contenido %
Aluminio	0,10
Bismuto	0,10
Boro	0,0008
Circonio	0,10
Cobalto	0,10
Cobre	0,40
Cromo	0,30
Manganoso	1,60
Molibdeno	0,08
Niobio	0,05
Níquel	0,30
Plomo	0,40
Selenio	0,10
Silicio	0,60
Teluro	0,10
Titanio	0,05
Vanadio	0,10
Volframio	0,10
Lantánidos	0,05
Otros (excepto P, C, N y O)	0,05

Contenido mínimo para aceros aleados.

# Ley de Hooke



Las tensiones aplicadas sobre un elemento resistente son directamente proporcionales a las deformaciones producidas, dentro del comportamiento elástico de los materiales (Fig. 1.23).

La **Ley de Hooke** tiene un carácter general, pero se aplica preferentemente al ensayo de tracción, por ser el más representativo de todos ellos.

Las deformaciones producidas en un elemento resistente son proporcionales a las tensiones que las producen.

Matemáticamente, se puede enunciar mediante la ecuación:

$$\text{tensión/deformación} = \text{constante} = \operatorname{tg} \alpha$$

# Ley de Hooke

- Tensión de seguridad o de trabajo.** Cociente que resulta de dividir la tensión de fluencia por el factor de seguridad ( $n$ ).  $n$  puede tomar valores comprendidos entre 1,2 y 4,0.

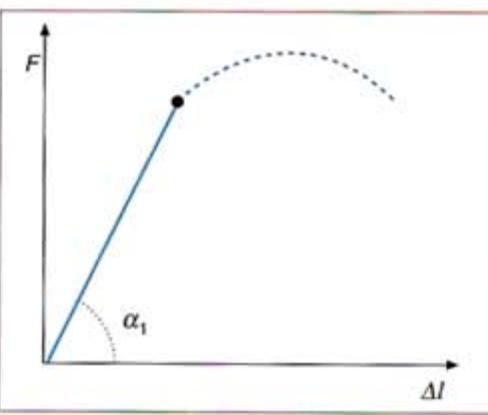


Fig. 1.24. Diagrama  $F - \Delta l$ .

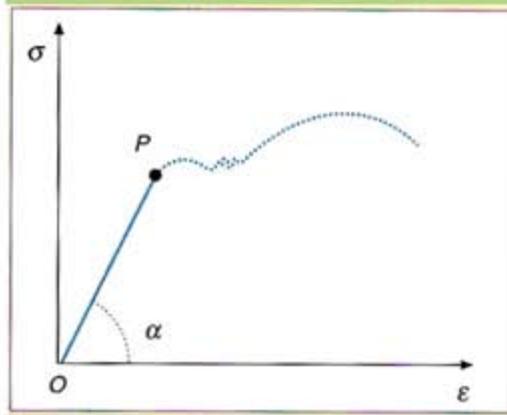


Fig. 1.25. Diagrama  $\sigma - \epsilon$ .

## Aplicación de la Ley de Hooke al ensayo de tracción

Ya conocemos que en la representación gráfica de un ensayo de tracción existe la llamada **zona de proporcionalidad ( $OP$ )**, que abarca desde el origen de coordenadas hasta el límite de proporcionalidad y se representa por una **recta**.

- En este caso, las fuerzas aplicadas se refieren a las fuerzas de tracción ( $F$ ) y a las deformaciones producidas en los alargamientos ( $\Delta l$ ), de tal forma que se cumple (Fig. 1.24):

$$F/\Delta l = \text{constante} \Rightarrow \tan \alpha_1 = \text{constante}$$

- Si se aplica en el diagrama  $\sigma - \epsilon$ , se obtiene (Fig. 1.25):  $\sigma/\epsilon = \text{constante} = E$

En esta representación, el valor de la  $\tan \alpha$  se conoce como **módulo elástico o módulo de Young ( $E$ )**, que representa la pendiente de la curva tensión-deformación en la región elástica.

Es un parámetro característico de cada material, y se mide en  $\text{kp/cm}^2$ ,  $\text{kp/mm}^2$  o  $\text{N/m}^2$  como  $\sigma$ , ya que  $\epsilon$  es adimensional.

De esta forma podemos definir la **Ley de Hooke** en la tracción como:

Los alargamientos unitarios (deformaciones) son proporcionales a las tensiones que los producen, siendo la constante de proporcionalidad el módulo elástico.

Matemáticamente resulta:  $E = \sigma/\epsilon$

Sustituyendo:  $\sigma = F/S_0$  y  $\epsilon = \Delta l/l_0$  en la anterior se tiene:  $E = \frac{F l_0}{S_0 \Delta l}$

que es la **ecuación fundamental de la tracción**, que sólo es aplicable en la zona de proporcionalidad, ya que una vez rebasado dicho límite el comportamiento no es lineal.

Cuando en una oficina técnica se plantea el diseño de una pieza o elemento simple de una estructura, debemos tener presente el diagrama de las fuerzas que actúan sobre dicha pieza o elemento, para que el ingeniero no la sobredimensione o la haga trabajar en zonas de deformaciones plásticas. Además, pueden aparecer otros tipos de tensiones que podemos llamar *imprevistas*. Para solucionar este tipo de problemas, la normativa establece una tensión máxima de trabajo ( $\sigma_t$ ), que definiremos como el límite de carga al que podemos someter una pieza o elemento simple de estructura. Cuantitativamente, el valor de esta tensión es inferior a la tensión correspondiente al límite de proporcionalidad (Fig. 1.26).

Desde el punto de vista de la seguridad, se puede decir:

1. Que el elemento resistente no padece deformaciones plásticas.
2. Que cumple la Ley de Hooke.
3. Que permite un margen de seguridad que asume la posibilidad de la aparición de fuerzas imprevistas.

La forma de determinar la tensión máxima de trabajo dentro de un diagrama de tracción consiste en hacer referencia a los puntos críticos citados anteriormente, como son los límites de fluencia ( $\sigma_f$ ) y límite de rotura ( $\sigma_r$ ), y se obtiene dividiendo las tensiones de fluencia o de rotura por un número  $n$  que llamaremos coeficiente de seguridad:

$$\sigma_t = \sigma_f/n \quad \sigma_t = \sigma_r/n$$

La elección de una u otra ecuación depende de la utilización final de la pieza o elemento simple y de la normativa legal técnica vigente en cada país.

# Tensiones máximas de trabajo

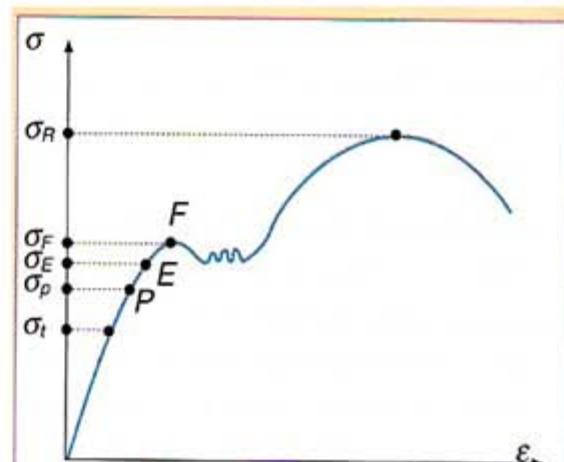


Fig. 1.26. Diagrama de tracción. Tensión máxima de trabajo.

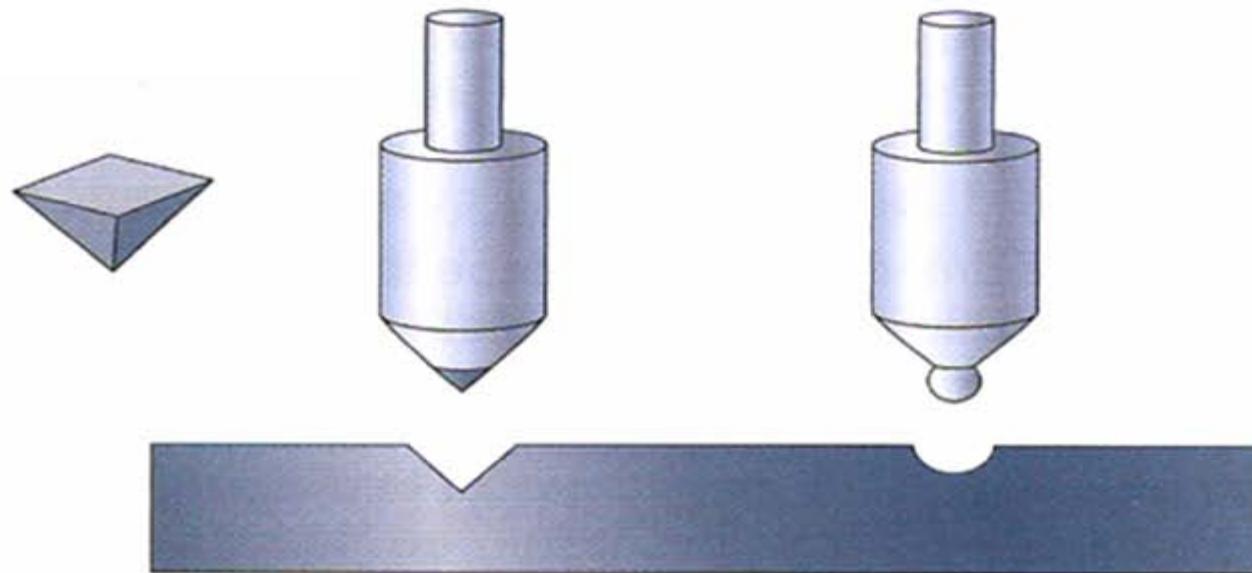
# Tensiones máximas de trabajo 52

En la Tabla 1.6 se resumen las características más importantes de algunos materiales, donde se incluyen las tensiones máximas de trabajo.

Materiales	Módulo de elasticidad $E$ (kp/mm <sup>2</sup> )	Tensión de rotura $\sigma_R$ (kp/mm <sup>2</sup> )	Tensión del límite elástico $\sigma_E$ (kp/mm <sup>2</sup> )	Tensión máx. de trabajo para elementos de máquinas $\sigma_t$ (kp/mm <sup>2</sup> )
Hierro soldado	$2 \cdot 10^4$	30 : 36	16 : 20	9
Hierro homogéneo	$2 \cdot 10^4$	35 : 45	8 : 24	9 : 12
Acero	$2,2 \cdot 10^4$	40 : 60	25 : 35	12 : 15
Aceros especiales	-	90 : 180	60 : 120	15 : 30
Alambre de acero	$2,4 \cdot 10^4$	75 : 200	40 : 50	18 : 30
Fundición	$1 \cdot 10^4$	10 : 15	6	3
Cobre en alambre	$1,3 \cdot 10^4$	40 : 60	5	4 : 6
Aluminio en chapa	$0,7 \cdot 10^4$	10 : 12	-	-
Bronce en lingotes	$0,7 \cdot 10^4$	15 : 25	6 : 10	2 : 3
Madera dura	$0,12 \cdot 10^4$	8 : 9	2,5	0,6
Cuerda de cáñamo	$0,015 \cdot 10^4$	6 : 8	1	0,6 : 1

Tabla 1.6. Tensiones máximas de trabajo para algunos materiales.

# ensayo de DUREZA



Consiste básicamente en ejercer una determinada fuerza con un diamante o bola de acero sobre la pieza a analizar y ver las medidas de la huella dejada.

Luego se aplica una fórmula y se calcula el grado de dureza. Las escalas más importantes son **Brinell** y **Rockwell**.

# Ensayos de dureza

- **Dureza.** Medida de la resistencia de un material a una deformación plástica localizada.
- Los **índices de dureza** se usan principalmente como base de comparación para los materiales, especificaciones de fabricación, tratamiento térmico, control de calidad y relación con otras propiedades y comportamiento de los materiales. La dureza se relaciona de modo muy estrecho con la resistencia al desgaste.

La **dureza** es *la resistencia que ofrece un material a ser rayado o penetrado por otro*. La propiedad mecánica que se determina a través de los ensayos de dureza es la **cohesión**.

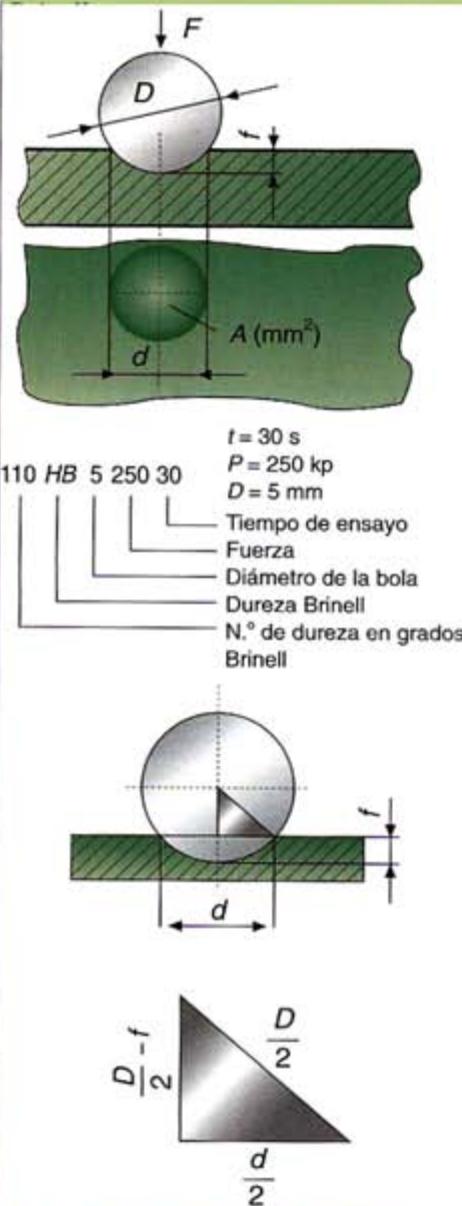
Entre las técnicas cuantitativas para determinar la dureza de los materiales se encuentran los **ensayos de penetración**. Se basan en un pequeño penetrador que es forzado sobre la superficie del material a ensayar en condiciones controladas de carga y velocidad de aplicación de la misma. En estos ensayos **se mide la profundidad o tamaño de la huella resultante**. Las durezas así medidas tienen solamente un significado relativo (no absoluto), y es necesario tener precaución al comparar las durezas obtenidas por técnicas distintas.

# Ensayos de dureza

55

## Ensayo Brinell (UNE 7-422-85)

Fig. 1.27. Esquema del ensayo Brinell.



Consiste en comprimir una bola de acero templado, de un diámetro determinado, contra el material a ensayar, por medio de una carga ( $F$ ) y durante un tiempo determinado. En la Figura 1.27 se muestra gráficamente el ensayo Brinell.

- Medimos el diámetro de la huella y calculamos la dureza del material, en función de la carga aplicada y el área del casquete de la huella, según la ecuación:

$$HB = \frac{F}{S}$$

donde:

$HB$  = Dureza en grados Brinell;  $F$  = Carga aplicada (kg);  $S$  = Área del casquete ( $\text{mm}^2$ ).

La superficie del casquete de la huella es:  $S = \pi D f$

donde:  $D$  = diámetro de la bola (mm);  $f$  = profundidad de la huella (mm).

- Determinación de  $f$ . Partimos de la relación entre el diámetro de la bola  $D$  y el diámetro de la huella  $d$ :

$$(D/2)^2 - (d/2)^2 = (D/2 - f)^2$$

$$\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} = \frac{D^2}{4} - \frac{2Df}{2} + f^2$$

simplificando, se obtiene la ecuación de segundo grado:

$$f^2 - Df + \frac{d^2}{4} = 0$$

resolviéndola:

$$f = \frac{D \pm \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

- De las dos posibles soluciones, se escoge:

donde:  $D$  = Diámetro de la bola (mm).

$d$  = Diámetro de la huella.

$$f = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

- Sustituyendo en la fórmula de la superficie, resulta:

$$S = \frac{\pi D}{2} \cdot \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)$$

y sustituyendo  $S$  en la ecuación de la dureza:

$$HB = \frac{F}{\frac{\pi D}{2} \cdot \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

# Ensayos de dureza

## Ensayo Brinell (UNE 7-422-85)

Generalmente, no se calcula la dureza Brinell aplicando la fórmula sino por medio de **tablas**, donde conocido el diámetro de la huella, se encuentra directamente el valor de la dureza. **Tabla 1.7.**

Este ensayo tiene sus limitaciones. Aunque se obtienen resultados fiables en materiales de perfil grueso, donde las huellas obtenidas son nítidas y de contornos delimitados, si se aplica a materiales de espesores inferiores a 6 mm, con una bola de 10 mm de diámetro, se deforma el material y los resultados que se obtienen son erróneos. Para solucionar este problema, se puede disminuir la carga de tal forma que las huellas sean menos profundas, disminuyendo también el diámetro de la bola, para que el diámetro de la huella quede comprendido entre:  $D/4 < d < D/2$

Si se considera el valor medio entre los dos diámetros indicados, se tiene que  $d = 0,375 \cdot D$ .

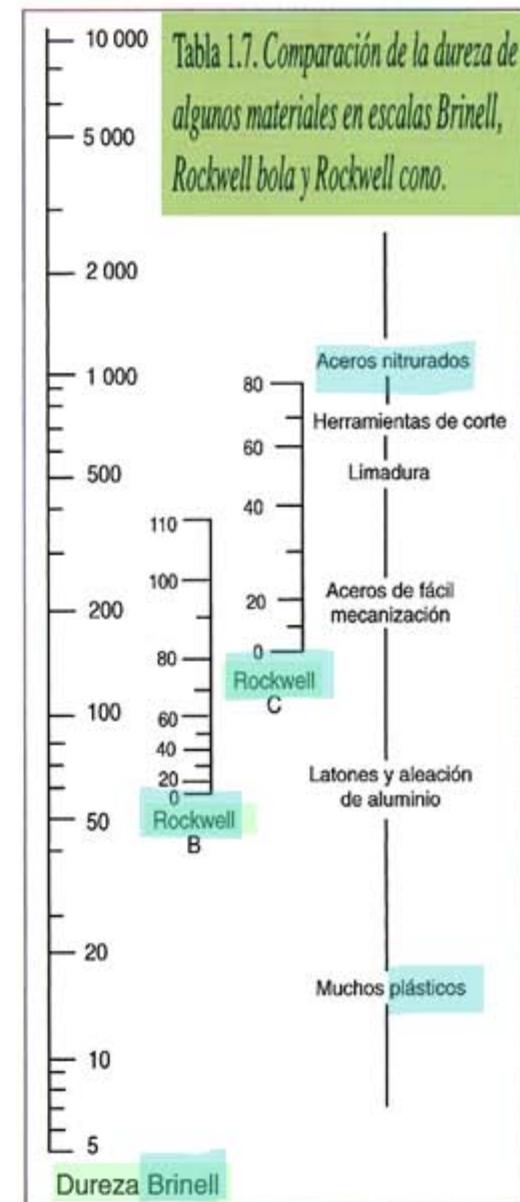
En cuanto a las cargas, éstas tienen que ser proporcionales al cuadrado del diámetro, para que las huellas obtenidas sean semejantes y los resultados comparables. Es decir:  $P = K D^2$

La constante de proporcionalidad K depende de la clase de material a ensayar, siendo mayor para materiales duros y menor para los blandos (**Tabla 1.8.**)

Respecto a los tiempos de aplicación de cargas durante el ensayo, varían entre 30 segundos para los aceros y 3 minutos para los materiales más blandos.

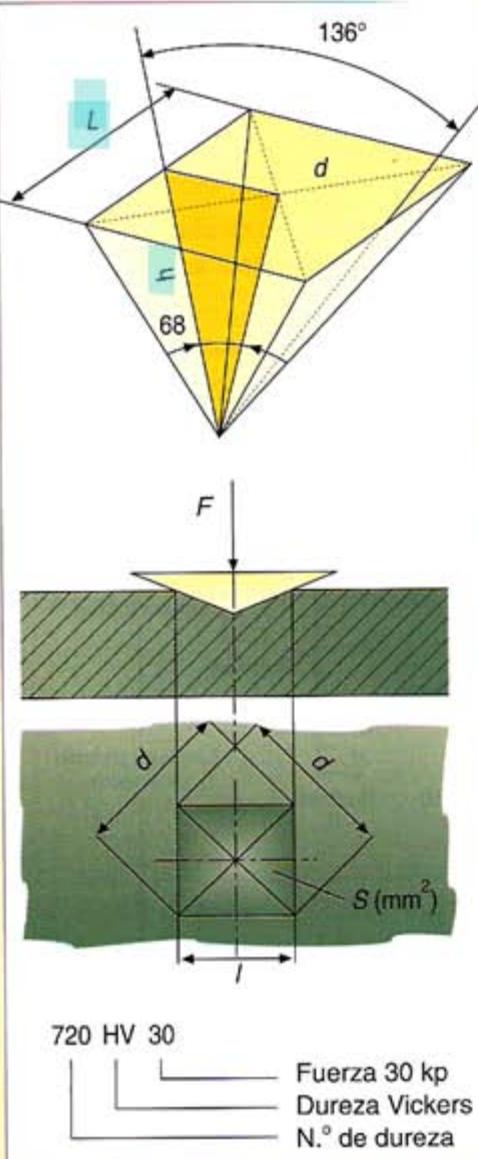
Materiales	K
Hierro y aceros	30
Cu, bronce y latón	10
Aleaciones ligeras	5
Sn-Pb	1,5

Tabla 1.8. Constantes de proporcionalidad, para la determinación de cargas a aplicar en el ensayo de Brinell.



# Ensayos de dureza

Fig. 1.28. Esquema del ensayo de Vickers



## Ensayo Vickers (UNE 7-423-84)

Para este ensayo el penetrador que se utiliza es una pirámide regular de base cuadrada, cuyas caras laterales forman un ángulo de 136° (Fig. 1.28). Se recomienda utilizar este ensayo para durezas superiores a 500 HB.

Presenta ventajas respecto al ensayo anterior, porque se puede utilizar tanto para materiales duros como blandos, y además los espesores de las piezas pueden ser muy pequeños (hasta 0,05 mm).

Las cargas que se utilizan son muy pequeñas, de 1 a 120 kg, aunque lo normal es emplear 30 kg. El grado de dureza Vickers ( $HV$ ) se obtiene de modo similar al Brinell:  $HV = F/S$   $HV$  = Dureza en grados Vickers.

$F$  = Carga aplicada sobre el penetrador (pirámide) (kg).

$S$  = Superficie lateral de la huella ( $\text{mm}^2$ ).

■ Cálculo de la superficie lateral:  $S = 4 \cdot \frac{l \cdot h}{2}$  como:  $\text{sen } 68^\circ = \frac{l/2}{h}$

entonces:  $h = \frac{l}{2 \cdot \text{sen } 68^\circ}$

de donde se obtiene:  $S = \frac{4 \cdot l \cdot l}{2 \cdot 2 \cdot \text{sen } 68^\circ} = \frac{l^2}{\text{sen } 68^\circ}$

■ Por otra parte:  $d^2 = l^2 + l^2 = 2 \cdot l^2 \rightarrow l^2 = \frac{d^2}{2}$

sustituyendo:  $S = \frac{d^2}{2 \cdot \text{sen } 68^\circ} = \frac{d^2}{2 \cdot 0,9271} = \frac{d^2}{1,8543}$

sustituyendo en la fórmula del grado de dureza Vickers:  $HV = 1,8543 \frac{F}{d^2}$

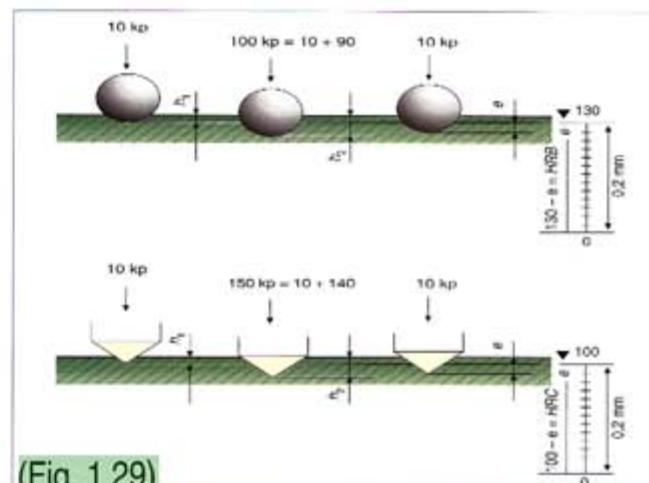
# Ensayos de dureza

## Ensayo Rockwell (UNE 7-424-89)

El método Brinell no permite medir la dureza de los aceros templados porque se deforman las bolas. Para evitar este hecho se utiliza la máquina Rockwell, que se basa también en la resistencia que oponen los materiales a ser penetrados. No obstante, a diferencia de los anteriores, se determina la dureza en función de la profundidad de la huella (Fig. 1.29).

Es un ensayo muy rápido y fácil de realizar, pero menos preciso que los anteriores. Es válido para materiales blandos y duros.

El penetrador consiste en una bola para materiales blandos, obteniéndose el grado de dureza Rockwell bola (HRB); o bien, un cono de diamante de  $120^\circ$  para materiales duros, del que resulta el grado de dureza Rockwell cono (HRC).



(Fig. 1.29)

La dureza Rockwell no se expresa directamente en unidades de penetración, sino por el valor diferencia respecto a dos números de referencia:

- Dureza Rockwell  $HRB = 130 - e$
- Dureza Rockwell  $HRC = 100 - e$

La amplitud de la escala de medida de las máquinas es de 0,2 mm, y cada unidad  $e$  equivale a 0,002 mm = 2 micras. La lectura se realiza directamente sobre el comparador ampliando (1:5) el recorrido del penetrador.

La justificación de expresar la dureza de esta forma se basa en que los materiales blandos tienen menos dureza que los duros, cosa que no ocurre si la dureza se mide directamente en unidades  $e$ .

### Normas para la realización del ensayo Rockwell (UNE 7-424-89)

- Se aplica una carga de 10 kg al penetrador (cono o bola), hasta conseguir una pequeña huella, se mide su profundidad  $h_1$ , que se toma como referencia, colocando el comparador de la máquina a cero.
- Se aumentan las cargas en 90 kg para el penetrador de bola y 140 kg para el de cono, se mantiene la carga un tiempo comprendido entre 3 y 6 segundos, y se mide la profundidad producida  $h_2$ .
- Se retiran las cargas adicionales. El penetrador se recuperará y ascenderá hasta la posición  $h_1 + e$ . El valor de  $e$  no es 0, ya que las deformaciones que se producen en el material son plásticas y elásticas, y al dejar de aplicar las cargas adicionales permanecen únicamente las deformaciones permanentes o plásticas, cuyo valor es  $e$ .

# Ensayos de dureza

## Ensayo Rockwell (UNE 7-424-89) 59

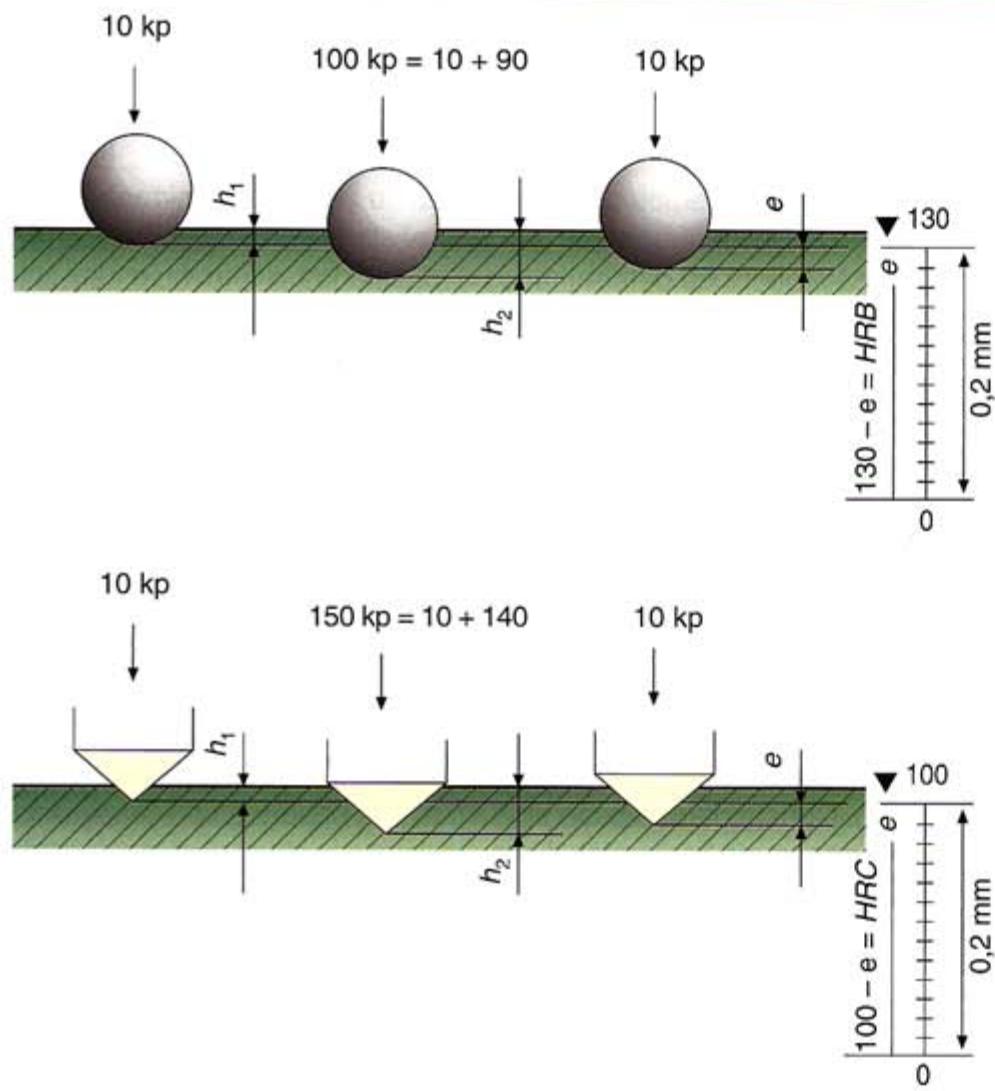


Fig. 1.29. Esquemas gráficos del ensayo Rockwell con penetradores de bola y de cono de diamante.

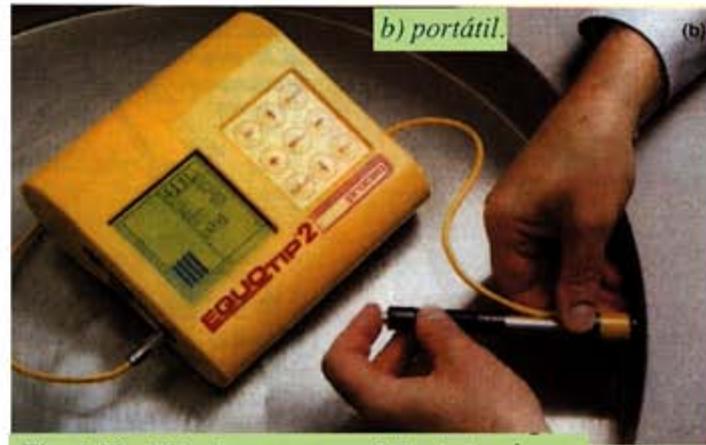
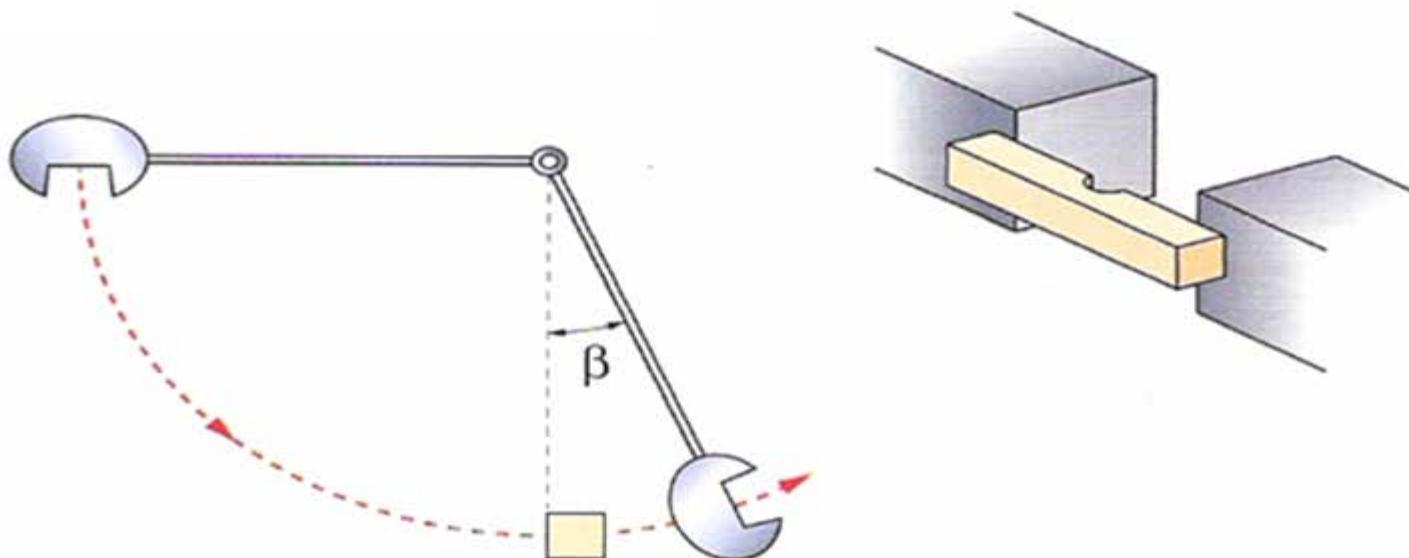


Fig. 1.30. Máquinas para medida de la dureza:



# ensayo de RESILIENCIA



Consiste en determinar la energía necesaria para romper una probeta normalizada del material a analizar, mediante un impacto. Se usa un péndulo (Péndulo de Charpy) que lleva una velocidad de entre 5 y 7 m/s. Para calcular esta energía se anota la altura a la que se suelta. Ésta será una energía potencial. Después de haber roto la probeta, la energía sobrante hará ascender el péndulo un ángulo  $\beta$ .

# Ensayo dinámico por choque.

## Ensayo de resiliencia

### UNE 7-475-92

Resiliencia es la energía consumida en la rotura de la probeta, y valora de forma aproximada la tenacidad, que es la capacidad de resistencia al choque.



Fig. 1.31

La finalidad del ensayo dinámico por choque es la determinación de la energía absorbida por una probeta de determinadas dimensiones, al provocar su ruptura de un solo golpe. Este ensayo es muy importante para conocer el comportamiento del material destinado a la fabricación de ciertas piezas y órganos de máquinas, ya que han de estar sometidos a esfuerzos dinámicos.

La norma UNE 7-475-92 es la que rige el ensayo de flexión por choque sobre *probeta Charpy*.

Las probetas para el ensayo se encuentran normalizadas, y suelen tener 55 mm de longitud y una sección cuadrada de 10 mm de lado. En el punto medio de su longitud está entallada. La entrada puede ser de dos tipos, en forma de V o en forma de U.

La máquina más utilizada en el ensayo de **resiliencia** es el péndulo de Charpy (véase Fig. 1.31). Consta de una base rígida con dos soportes verticales, unidos en la parte superior por un eje horizontal; dicho eje lleva acoplado un brazo giratorio, en cuyo extremo va situado un martillo en forma de disco, el cual golpea la probeta y produce la rotura. La resiliencia se obtiene como:

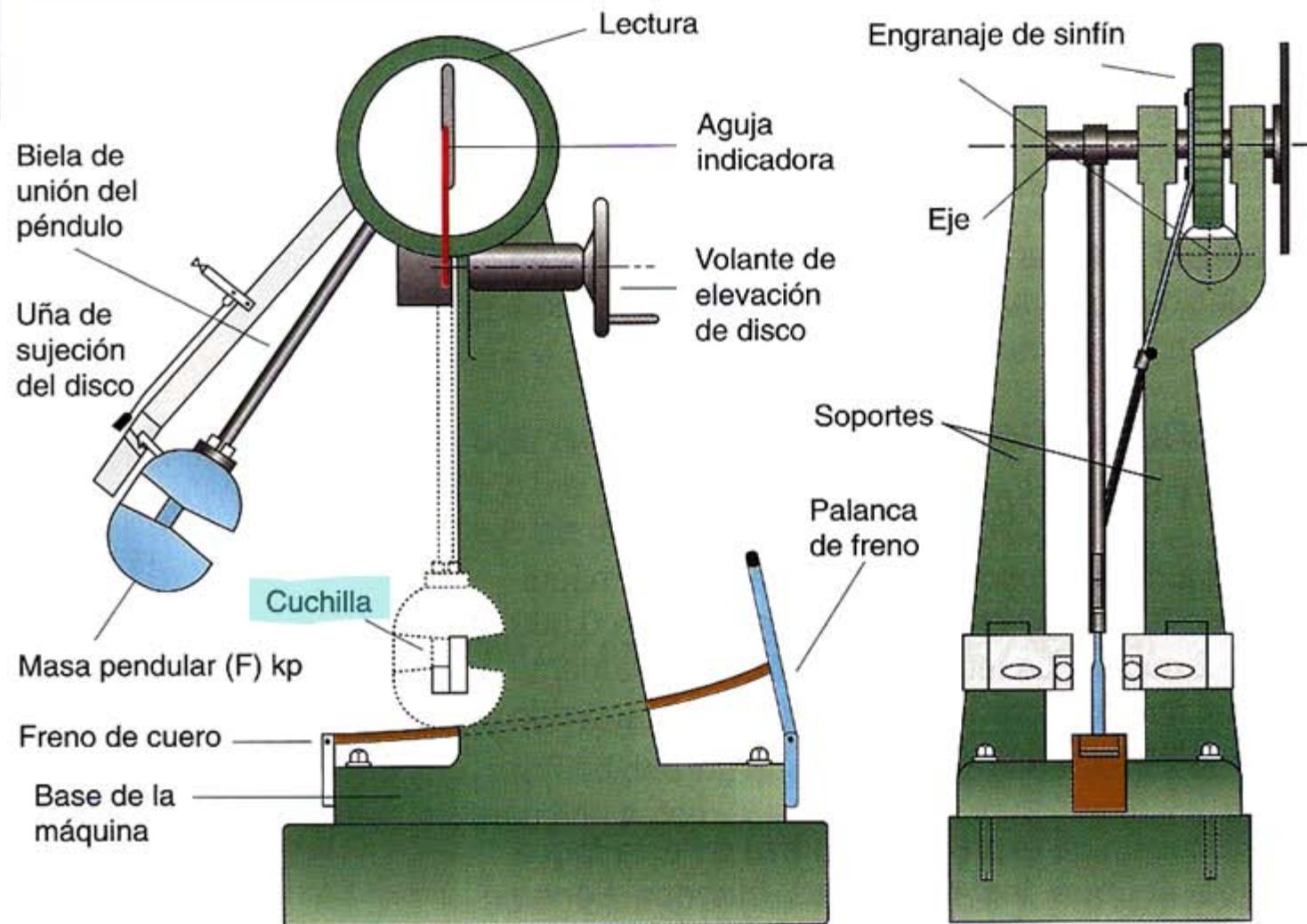
$$\rho = E_p / S$$

donde:  $E_p$  = Energía absorbida en la rotura;  $S$  = Sección de la probeta.

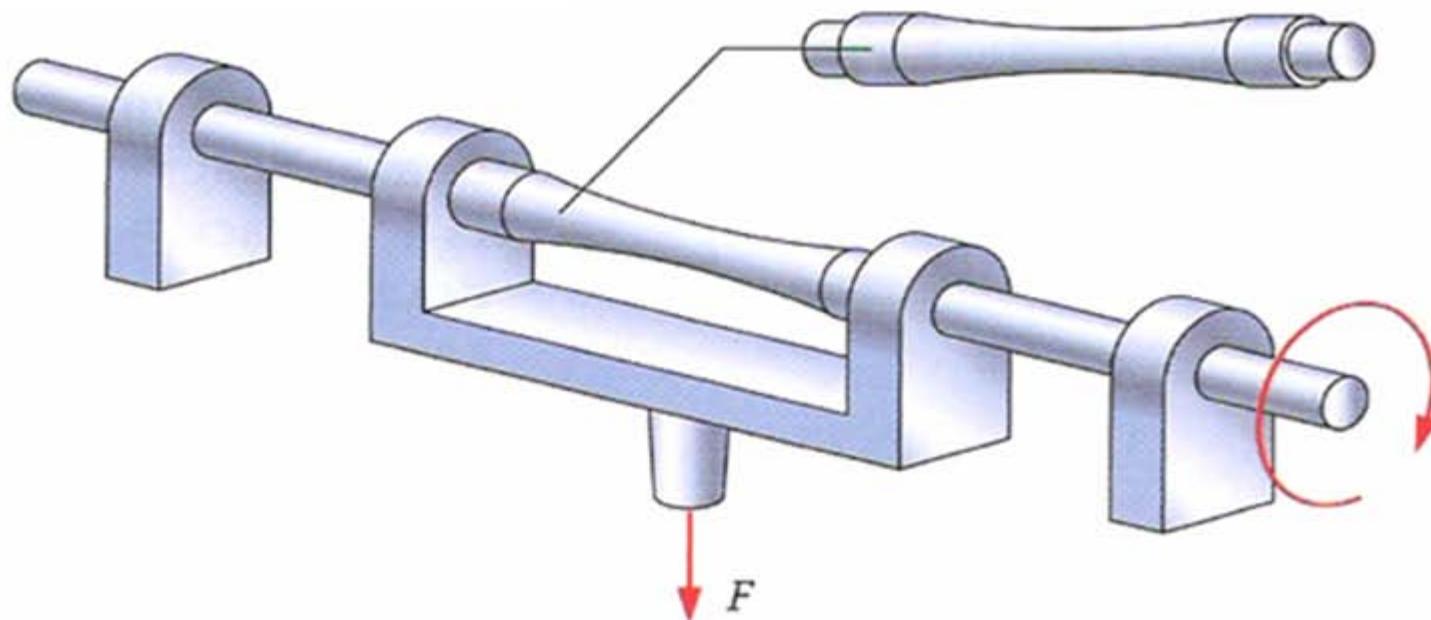
La resiliencia se expresa en julios/cm<sup>2</sup>.

# Ensayo dinámico por choque.<sup>62</sup> Ensayo de resiliencia

Fig. 1.31. Esquema de un péndulo Charpy.



# ensayo de FATIGA



Consiste en hacer girar rápidamente una probeta normalizada del material a analizar, al mismo tiempo que se deforma (flexión) debido a la fuerza  $F$ .

Al número de revoluciones que ha girado antes de romperse se le llama **límite de fatiga**.

Cuando determinadas piezas están sometidas a esfuerzos variables en magnitud y sentido que se repiten con cierta frecuencia, se pueden romper con cargas inferiores a las de rotura, incluso cuando se trabaja por debajo del límite elástico, siempre que las cargas actúen durante un tiempo suficiente. A este fenómeno se le conoce con el nombre de **fatiga**.

Leyes fundamentales de la fatiga:

1. Las piezas metálicas pueden romperse bajo esfuerzos unitarios inferiores a su carga de rotura, e incluso a su límite elástico, si el esfuerzo se repite un número suficiente de veces.
2. Para que la rotura no tenga lugar, con independencia del número de ciclos, es necesario que la diferencia entre la carga máxima y la mínima sea inferior a un determinado valor, llamado **límite de fatiga**.

Los ensayos de fatiga más habituales son los de **flexión rotativa** y **torsión**.

Las roturas de las piezas por fatiga presentan dos zonas bien definidas, una de **grano fino mate** y distribución ondular que parece surgir de un punto defectuoso, y otra de **grano grueso brillante** que indica la rotura final.

En el proceso de fatiga se distinguen tres fases esenciales: una de **incubación** a partir de la fisura interna, otra de **maduración progresiva** y la última, instantánea, es la **rotura efectiva**.

## Ensayos de fatiga

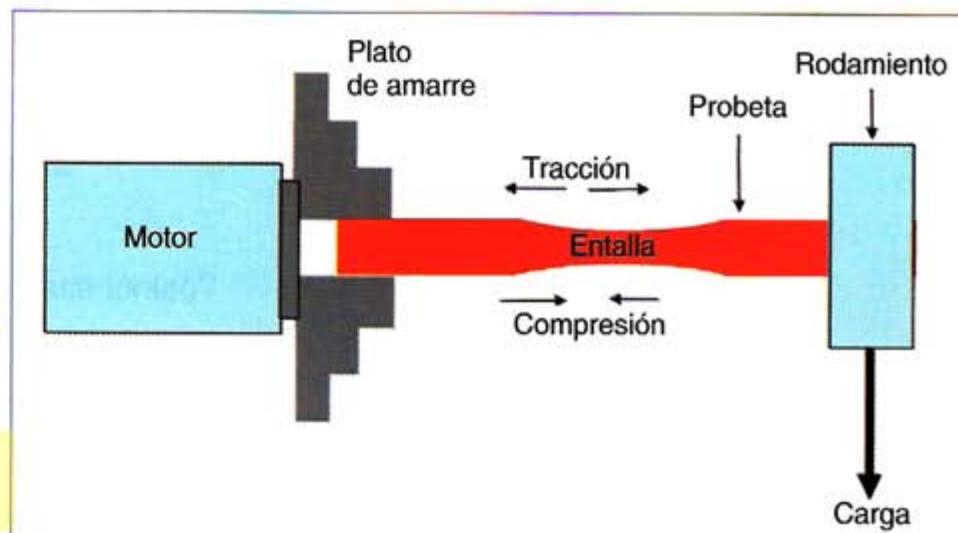


Fig. 1.32. Dispositivo para el ensayo de fatiga de una pieza en voladizo. Regulando la frecuencia de giro del motor se controla la frecuencia de los esfuerzos, que cambiarán alternativamente de tracción a compresión y viceversa.

# Ensayos tecnológicos

Este grupo de ensayos se diferencian fundamentalmente del resto en el hecho de que, con ellos, no se pretenden obtener valores cuantitativos en cálculos numéricos, sino que únicamente sirven para **estudiar el comportamiento del material ante un fin al que se destina**. En consecuencia, el ensayo reproduce, a escala conveniente, las condiciones prácticas en las que se encontrará el material

## Ensayo de plegado

A continuación se muestran dos ejemplos de ensayos tecnológicos. **Ensayo de embutición**

## Ensayo de plegado

Sirve para estudiar las **características de plasticidad de los materiales metálicos**. Para ello, **se doblan las probetas** en condiciones normalizadas, y se observa si aparecen grietas en la parte exterior de la curva, donde los esfuerzos de tracción son elevados.

El ensayo se puede realizar **en frío y en caliente** según condiciones normalizadas. Las probetas son prismáticas, de sección rectangular, pulidas, y la cara de tracción tiene las aristas redondeadas. El ensayo se puede llevar a cabo de tal forma que las caras de la probeta queden como se muestra en la **Figura 1.33**.

Fig. 1.33. *Ensayo de plegado. a) en contacto; b) paralelas a una distancia determinada; c) formando un ángulo.*



## Ensayo de embutición

Es uno de los más importantes para las planchas, pues es conveniente conocer el grado de embutido.

El ensayo consiste en presionar un vástago sobre la chapa hasta que se produce la primera grieta. Se comprueba el grado de embutición midiendo la penetración en milímetros del punzón o vástago hasta la aparición de la primera grieta.

- Límite de fatiga es la máxima tensión a la que se puede someter un material sin romperse, independientemente del número de veces que se repita la acción que provoca la tensión.
- Las grietas y defectos en las piezas debidas al proceso de fabricación, así como un diseño no adecuado (esquinas sin redondear, cambios bruscos de espesor, etc.) favorecen la aparición de tensiones concentradas, que, en esas zonas, pueden ser mucho mayores que las de roturas; esto hace que la tensión real de rotura del conjunto sea inferior a la del material.
- Poniendo a rozar un acero con la piedra de esmeril se producen chispas. Comparando el color y brillo de éstas con las de materiales patrón es posible conocer, de forma aproximada, el tipo de acero de que se trata.

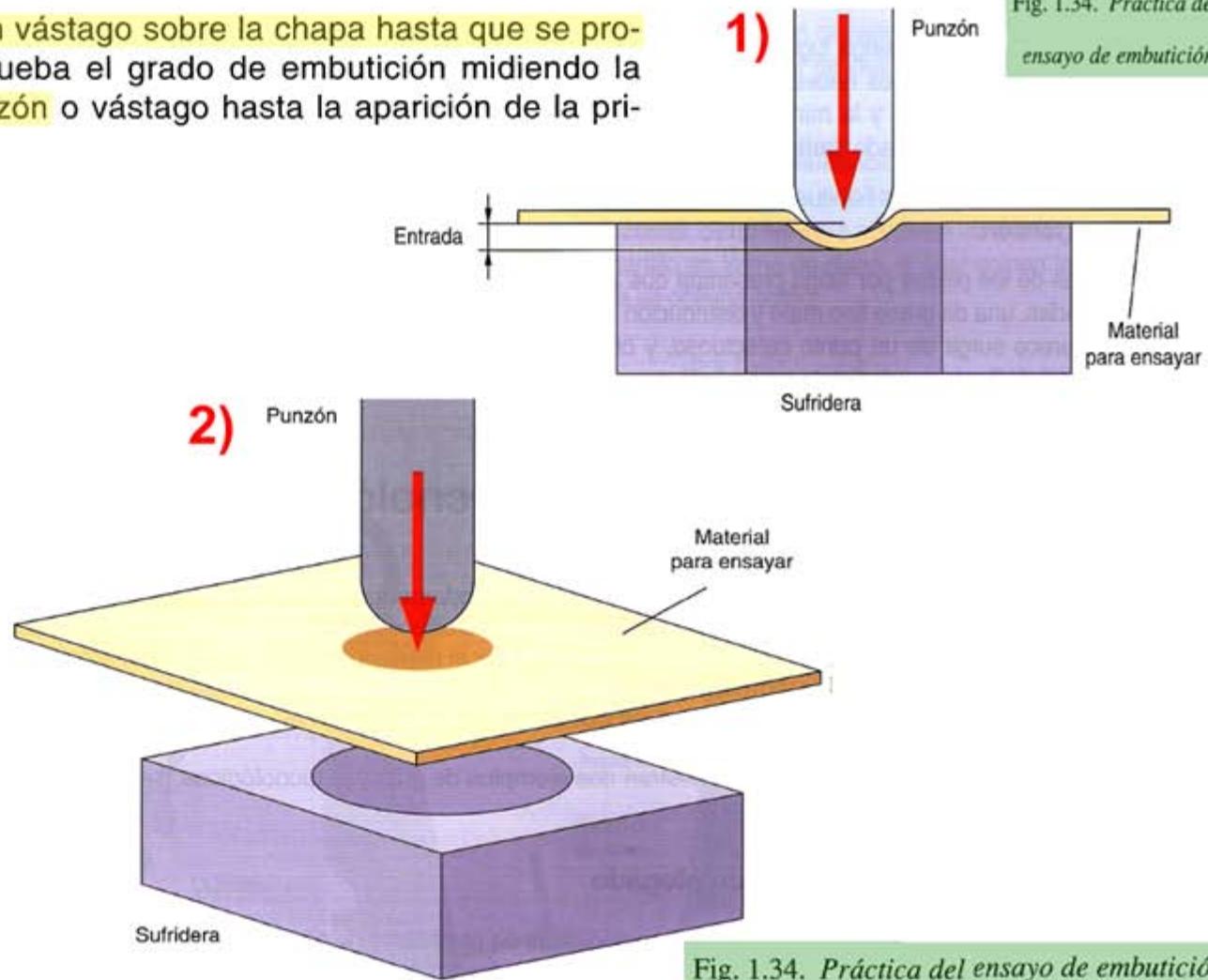
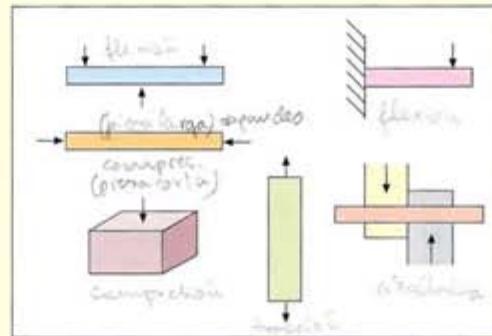


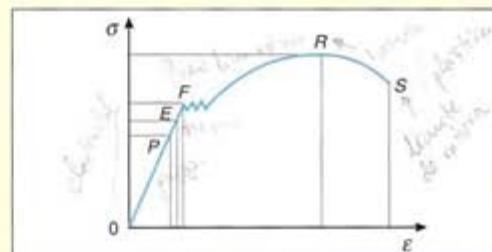
Fig. 1.34. Práctica del ensayo de embutición.

Fig. 1.34. Práctica del ensayo de embutición.

- 1 Comenta por qué se enlazan los átomos y las moléculas.
- 2 Un «papel» aluminio de los que se utilizan para envolver el bocadillo tiene una masa aproximada de 0,0465 g cada cm<sup>2</sup>. Si el papel de envolver un bocadillo tiene 29 cm de ancho por 35 cm de largo, ¿cuántos átomos de aluminio envuelven nuestro bocadillo?
- 3 ¿Cuántos átomos hay en una tonelada de hierro?
- 4 ¿Qué elemento es el más electronegativo del Sistema Periódico de los Elementos? ¿Y el más electropositivo?
- 5 ¿Por qué el diamante es un material muy duro?
- 6 El punto de fusión del potasio es 63,5 °C y el del titanio 1812 °C. Justifica esta gran diferencia.
- 7 El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (óxido de aluminio, alúmina o corindón) es un material con una dureza de 9 en la escala Mohs (el diamante tiene 10), por lo tanto muy duro y resistente al desgaste. ¿Por qué no lo emplearías para fabricar un martillo?
- 8 ¿Existe alguna relación entre la temperatura de fusión de los metales y la resistencia mecánica? Indica cuál y por qué.
- 9 Representa gráficamente (te puedes ayudar de una hoja electrónica) la energía de enlace en función de la temperatura de fusión de los metales que aparecen en la Tabla 1.4. Según esta gráfica, ¿cuál debería ser la energía de enlace del Mg y del Ir, sabiendo que sus temperaturas de fusión son, respectivamente, de 650 °C y 2 454 °C?
- 10 ¿Cómo se explica la elasticidad de los sólidos a partir de las fuerzas o de las energías de enlace?
- 11 Define las características fundamentales del enlace iónico. Cita algunos átomos que se unan mediante este tipo de enlace. ¿Serán buenos conductores de la electricidad las sustancias iónicas en estado sólido? ¿Y en estado líquido? ¿Por qué?
- 12 Razona la formación de los enlaces covalentes. ¿Por qué se asocian los pares de electrones?
- 13 Las sustancias formadas por enlaces covalentes se comportarán como buenos conductores eléctricos. ¿Por qué?
- 14 Describe el proceso de formación de enlace metálico entre un agregado de átomos de cobre.
- 15 ¿A qué se deben las altas conductividades térmicas y eléctricas de los metales?
- 16 Describe el enlace de hidrógeno entre moléculas de agua. ¿Por qué el agua puede disolver las sustancias iónicas?
- 17 ¿En qué se diferencia un sólido cristalino de uno amorfo?
- 18 ¿Cuáles son las tres estructuras cristalinas metálicas más comunes? *BCC / FCC / HCP*
- 19 ¿En qué consiste el fenómeno de la allotropía?  
*La allotropía consiste en la transformación de un mismo elemento en diferentes formas cristalinas.*
- 20 Indica a qué tipo de esfuerzo están sometidas cada una de las siguientes piezas:



- 21 ¿A qué tipo de ensayo corresponde el diagrama de la figura? Identifica las diferentes zonas. ¿En qué zona del diagrama se cumple la Ley de Hooke?



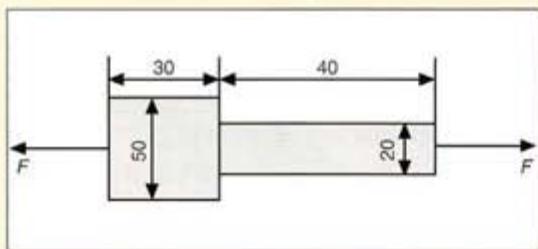
- 22 Toma un muelle de bolígrafo y mide su longitud, estíralo un poco (unos 2 ó 3 mm), déjalo regresar a su posición y mide de nuevo su longitud. Ahora, estíralo bastante más (al doble de su longitud), déjalo regresar a su posición y mide otra vez su longitud. Explica qué ha sucedido.

- 23 Sabiendo que la carga máxima aplicada en un ensayo de tracción sobre una probeta normalizada de  $150 \text{ mm}^2$  de sección es de 50 000 N, calcula la tensión de rotura.

- 24 Una pieza cilíndrica de 1,5 cm de diámetro está sometida a una carga de tracción de 2500 kp. Determina la tensión de la pieza expresada en MPa.

- 25 Compara la fuerza necesaria para producir una tensión de 30 MPa en una pieza cilíndrica de 150 mm de diámetro y en otra con un diámetro de 200 mm.

- 26 La pieza de acero de la figura, de secciones cuadradas, tiene un límite elástico de  $6200 \text{ kp/cm}^2$ . Se somete a una fuerza  $F$  estática y se desea un coeficiente de seguridad de 4. Calcula el valor máximo de la fuerza a aplicar y el alargamiento total. (Módulo de Young para el acero  $2,1 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2$ .)



- 27 Un radio en acero de  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2$  para bicicleta tiene un diámetro de 2,5 mm, una longitud de 600 mm y un paso de rosca de 0,2 mm. Tras apretar ligeramente la cabeza del radio con la llanta, damos una vuelta. ¿Qué esfuerzo está realizando el radio si fuera el único elemento deformable de la rueda?

- 28 Una barra cilíndrica de acero con un límite elástico de 310 MPa va a ser sometida a una carga de

10 000 N. Si la longitud inicial de la barra es de 500 mm, ¿cuál debe ser el diámetro, si no queremos que la barra se alargue más de 0,35 mm? ( $E = 20,7 \cdot 10^4 \text{ MPa}$ )

- 29 Una pieza de latón deja de tener un comportamiento elástico para tensiones superiores a 345 MPa. El módulo de elasticidad del latón es  $10,3 \cdot 10^4 \text{ MPa}$ .

a) ¿Cuál es la fuerza máxima que puede aplicarse a una probeta de  $150 \text{ mm}^2$  de sección, sin que se produzca deformación plástica?

b) ¿Cuál es la longitud máxima a la que puede ser estirada sin que se produzca deformación plástica? Longitud de la pieza: 70 mm.

- 30 Una barra de aluminio de 200 mm de longitud y con una sección cuadrada de 10 mm de lado, se somete a una fuerza de tracción de 12 300 N, y experimenta un alargamiento de 0,34 mm. Suponiendo que el comportamiento de la barra es totalmente elástico, calcula el módulo de elasticidad del aluminio.

- 31 En una pieza sometida a un ensayo de dureza Brinell, con una carga de 500 kp y un diámetro de bola de 5 mm, se ha obtenido un diámetro de huella de 2,3 mm. Halla el grado de dureza Brinell.

- 32 En un ensayo de dureza Brinell se ha utilizado una bola de 10 mm de diámetro. Al aplicar una carga de 1 000 kp se ha obtenido una huella de 2,50 mm. Calcula la dureza del material.

- 33 En una pieza con dureza Brinell de 300 HB se ha aplicado una carga de 500 kp. Si se ha utilizado como penetrador una bola de 10 mm, ¿cuál será el diámetro de la huella producida?

- 34 Determina la dureza Vickers de una pieza de acero que, sometida a una carga de 120 kp, produce una huella de 0,5 mm de diagonal.

- 35 Comenta en qué consiste un ensayo de embutición.

# DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA 2015-2016

**SELECTIVIDAD 2007-2011*****TEMA 1: Tracción, dureza y resiliencia*****Ejercicio 1**

Un acero tiene un módulo elástico de 200 GPa y un límite elástico de 360 MPa. Una varilla de este material, de 12 mm<sup>2</sup> de sección y 80 cm de longitud, se somete a una carga vertical de 1800 N. Razona:

- a) ¿Recuperará la varilla su longitud inicial? **(1 punto)**
- b) ¿Qué diámetro mínimo debería tener una barra de dicho material, para que sometida a una carga de 50 kN no experimente deformación permanente? **(1 punto)**
- c) Qué se entiende por fatiga en un material. **(0,5 puntos)**

**Ejercicio 2**

Sobre un acero se ha realizado un ensayo Brinell utilizando una bola de 10 mm de diámetro y una carga de 3000 kp, obteniéndose un valor de 150 HB.

- a) Calcule el diámetro de la huella. **(1 punto)**
- b) Si la carga empleada fuera de 187,5 kp, ¿qué diámetro de bola utilizaría? **(1 punto)**
- c) Describa un tratamiento termoquímico superficial explicando en qué consiste, para qué se utiliza, qué ventajas tiene y cómo se realiza. **(0,5 puntos)**

**Ejercicio 3**

Una barra de 30 mm de diámetro, tiene las siguientes características: módulo de elasticidad E = 700 MPa, resistencia a tracción 20 MPa y límite elástico 10 MPa. Calcule:

- a) La tensión unitaria a la que está sometida la barra cuando se aplica una fuerza de tracción de 1500 N. Si esa carga dejara de actuar, razona si la barra recupera su longitud inicial. **(1 punto)**
- b) La longitud inicial de la barra para que el alargamiento producido por la carga de 1500 N sea de 1,25 mm. **(1 punto)**
- c) Defina los términos siguientes: elasticidad, dureza y tenacidad. Ponga ejemplos representativos de materiales que destaqueen por cada una de esas propiedades. **(0,5 puntos)**

**Ejercicio 4**

En un ensayo de dureza realizado a un material por el método Brinell, se obtuvo un valor de 40 HB. Se desea saber:

- a) La carga que se ha aplicado en el ensayo si se ha utilizado como penetrador una bola de 5 mm de diámetro y la huella producida fue de 1,2 mm de diámetro. **(1 punto)**
- b) ¿Cuál fue la constante de ensayo del material? **(1 punto)**
- c) Cite otro método de medida de dureza en materiales y explique cómo se determina su valor. **(0,5 puntos)**

**Ejercicio 5**

Una barra cilíndrica de 80 mm de longitud y 8 mm<sup>2</sup> de sección, está sometida a una fuerza de tracción de 4 kN. Sabiendo que el módulo de elasticidad del material es  $4 \times 10^4$  MPa y que el límite elástico es 250 MPa:

- a) Calcule el alargamiento unitario en el límite elástico. **(1 punto)**
- b) Justifique si la barra recuperará la longitud primitiva al retirar la carga de 4 kN. En caso negativo, qué diámetro mínimo habrá de tener la barra para que la deformación no sea permanente. **(1 punto)**
- c) Indique las diferencias que existen entre un tratamiento térmico y un tratamiento termoquímico. **(0,5 puntos)**

**Ejercicio 6**

*En un ensayo Charpy la maza de 30 kg ha caído desde una altura de 100 cm y, después de romper la probeta de sección cuadrada de 10 mm de lado y 2 mm de profundidad de la entalla se ha elevado hasta una altura de 60 cm.*

- a) Dibuje el esquema del ensayo y calcule la energía empleada en la rotura. **(1 punto)**
- b) Calcule la resiliencia del material de la probeta. **(1 punto)**
- c) Desde el punto de vista de la microestructura y las propiedades mecánicas, indique las diferencias más importantes entre las fundiciones blancas y grises. **(0,5 puntos)**

**Ejercicio 7**

Un eje metálico se ensaya a dureza, aplicando al penetrador (bola de acero de 5 mm de diámetro) una carga de 1000 kp durante 30 segundos. Tras el ensayo, se observa la huella que resulta ser un casquete esférico de 7,23 mm<sup>2</sup> de superficie. Se pide:

- a) Calcular y expresar correctamente la dureza del material, explicando cada uno de los términos que se utilizan para ello. **(1,25 puntos)**
- b) Determinar el diámetro de la huella obtenida y justificar la validez del ensayo. **(1,25 puntos)**

**Ejercicio 8**

*En un ensayo Charpy, se deja caer una maza de 25 kg desde una altura de 1,20 m. Después de romper la probeta el péndulo asciende una altura de 50 cm. Datos: La probeta es de sección cuadrada de 10 mm de lado y presenta una entalla de 2 mm de profundidad. Se pide:*

- a) Calcular la energía empleada en la rotura. **(1,25 puntos)**
- b) Dibujar un esquema del ensayo y calcular la resiliencia del material de la probeta. **(1,25 puntos)**

**Ejercicio 9**

Un redondo de 50 cm de longitud está fabricado con un acero de límite elástico  $250^4$  MPa y de módulo de elasticidad  $21 \times 10^4$  MPa. Se pide:

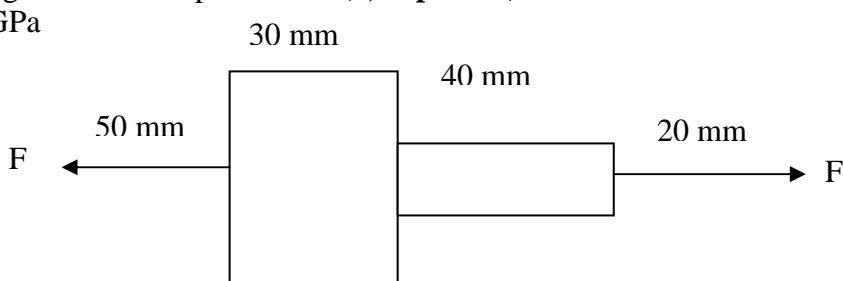
- Si se sometiera a una carga de 12500 N, ¿cuál debería ser su diámetro mínimo, para que la barra no se alargara más de 0,50 mm? (**1,5 puntos**)
- Si la carga fuera de 25000 N y el diámetro de la barra 10 mm, justifique si se produciría deformación plástica. (**1 punto**)

**Ejercicio 10**

Una pieza de acero como la de la figura, de sección circular, se somete a una fuerza F. El acero tiene un límite elástico de 630 MPa y se desea un coeficiente de seguridad de 4. Determine:

- El valor máximo de la fuerza a aplicar. (**1,25 puntos**)
- El alargamiento total producido. (**1,25 puntos**)

$$E = 210 \text{ GPa}$$

**Ejercicio 11**

En un ensayo Brinell se ha utilizado una bola de 2,5 mm de diámetro y se ha obtenido un diámetro de huella de 1,5 mm. Si la constante de ensayo es 30, determinar:

- La carga aplicada en el ensayo. (**1 punto**)
- Valor de la dureza del material. (**1,50 puntos**)

**Ejercicio 12**

Sobre un acero se ha realizado un ensayo Brinell utilizando una bola de 10 mm de diámetro y una carga de 3000 kp, obteniéndose un valor de 200. Se pide:

- Calcular el diámetro de la huella. (**1,25 puntos**)
- Si la carga empleada hubiera sido 250 kp, ¿qué otro cambio tendría que haberse hecho? (**1,25 puntos**)

**Ejercicio 13**

Se le aplica una fuerza de compresión de 400 kN en dirección axial, a un tubo hueco de 40 cm de largo y con diámetros exterior e interior de 17 y 12 cm, respectivamente. Si su módulo de elasticidad es de  $2,7 \times 10^9$  Pa, calcule:

- La tensión de compresión media en el tubo. (**1,25 puntos**)
- En cuánto disminuirá su longitud. (**1,25 puntos**)

**Ejercicio 14**

Entre las características mecánicas suministradas por un fabricante de aleaciones de cobre, se encuentra un latón de módulo elástico  $10,3 \times 10^4$  MPa y límite elástico de 345 MPa. Determine:

- La máxima fuerza que podría aplicarse a una probeta de  $130 \text{ mm}^2$  de sección sin que se produzca deformación plástica en el material. **(1,25 puntos)**
- Si la longitud inicial de la probeta anterior fuera de 76 mm, ¿cuál sería la máxima longitud a la que se podría estirar sin que sufriera deformación plástica? **(1,25 puntos)**

**Ejercicio 15**

Para medir la resiliencia de un material mediante el ensayo Charpy, se ha utilizado una probeta de sección cuadrada de  $10 \times 10 \text{ mm}$ , con entalla en forma de V y 2 mm de profundidad. La resiliencia obtenida fue de  $185 \text{ J/cm}^2$  utilizando un martillo de 30 kg desde una altura de 150 cm. Se pide:

- Dibujar un croquis del ensayo y calcular la altura a la que se elevará el martillo después de golpear y romper la probeta. **(1,25 puntos)**
- Si el martillo hubiera sido de 20 kg y se hubiera lanzado desde 2 m de altura, determine la energía sobrante tras el impacto. **(1,25 puntos)**

**Ejercicio 16**

En un ensayo de tracción a una probeta de  $120 \text{ mm}^2$  de sección, se han obtenido los siguientes datos: límite elástico: 360 MPa; para 27 kN de carga, la probeta presenta un alargamiento unitario del  $1,07 \times 10^{-3}$  y la carga máxima soportada es de 58 kN. Calcule:

- El módulo de Young. **(1,25 puntos)**
- La resistencia ala rotura. **(1,25 puntos)**

**Ejercicio 17**

Se somete a tracción una pieza metálica de sección rectangular ( $2 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ) y de 250 mm de longitud, con una fuerza de 10000 N, midiéndose un alargamiento de  $5 \times 10^{-2}$  cm dentro del campo elástico. Se pide:

- Calcular la tensión y el alargamiento unitario al aplicar esa fuerza. **(1,25 puntos)**
- Calcular el módulo de elasticidad del material. **(1,25 puntos)**

**Ejercicio 18**

Se dispone de un cable de acero de 10 m de longitud y  $80 \text{ mm}^2$  de sección. Al someterlo a una carga axial de 120 kN, se alarga 80 mm dentro del campo elástico. Se pide:

- El alargamiento unitario del cable y módulo de elasticidad del acero. **(1,25 puntos)**
- Qué carga habría que aplicar al cable, para que alargue elásticamente 40 mm. **(1,25 puntos)**

**Ejercicio 19**

Se realiza un ensayo Charpy sobre una probeta de sección cuadrada de 10 mm de lado y con una entalla en forma de V de 2 mm de profundidad. La resiliencia obtenida fue de  $110 \cdot 10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  utilizando un martillo de 30 kp desde una altura de 150 cm. Se pide:

- Calcular la altura a la que se elevará el martillo después de golpear y romper la probeta. (1,25 puntos)
- Si el martillo hubiera sido de 20 kp y se hubiera lanzado desde 2 m de altura, determine la energía sobrante tras el impacto. (1,25 puntos)

**Ejercicio 20**

Una varilla metálica que tiene una longitud de 1,5 m y una sección de 20 mm<sup>2</sup>, experimenta un alargamiento de 2 mm cuando está sometida a una carga de 1870 N, dentro del campo elástico. Calcule:

- El módulo de elasticidad del material. (1,25 puntos)
- La fuerza de tracción necesaria a aplicar sobre un alambre del mismo material, de 1,2 mm de diámetro y 80 cm de longitud, para que se alargue hasta alcanzar 80,10 cm. (1,25 puntos)

**Ejercicio 21**

Una pieza se somete a un ensayo Brinell con constante de proporcionalidad  $k = 30$  y bola de 5 mm de diámetro. La huella producida tiene un diámetro de 1,8 mm. Calcule:

- La carga aplicada. (1,25 puntos)
- La dureza Brinell. (1,25 puntos)

**Ejercicio 22**

Se somete a un ensayo de tracción, una probeta de sección transversal cuadrada de 2,5 cm de lado y 25 cm de longitud. La probeta se deforma elásticamente hasta alcanzar una fuerza de 15 kN, rompiendo cuando la fuerza aplicada es de 30 kN. Su módulo elástico es 70 GPa. Calcule:

- El límite elástico y la tensión de rotura. (1,25 puntos)
- El alargamiento total cuando se aplica una fuerza de 10000 N. (1,25 puntos)

**Ejercicio 23**

Una varilla de 20 mm de diámetro se fabrica con un metal que tiene las siguientes características: módulo de elasticidad:  $120 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ ; resistencia a la tracción:  $26 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ ; límite elástico:  $130 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ . Si la sometemos a una fuerza de tracción de 1500 N y no se quiere que el alargamiento exceda de 1,25 mm, calcule:

- La tensión a la que estará sometida la varilla y su longitud inicial. (1,5 puntos)
- La fuerza máxima que puede soportar la varilla sin romperse. (1 punto)

**Ejercicio 24**

Una pieza de latón deja de tener un comportamiento elástico para tensiones superiores a 250 MPa. Su módulo de elasticidad es de  $10,3 \cdot 10^4$  MPa. Calcule:

- La fuerza máxima que puede aplicarse a una probeta de 175 mm<sup>2</sup> de sección, sin que se produzca deformación plástica. (1,25 puntos)
- La longitud máxima a la que puede ser estirada una probeta de 100 mm de longitud, sin producir deformación plástica. (1,25 puntos)

**Ejercicio 25**

Sobre una pieza de bronce se ha realizado un ensayo Brinell, utilizando una bola de 10 mm de diámetro y una carga de 1000 kp, obteniéndose un valor de 150.

- Calcule el diámetro de la huella. (1,25 puntos)
- Si la carga empleada hubiera sido 250 kp, ¿qué otro cambio tendría que haberse realizado? (1,25 puntos)

**Ejercicio 26**

El límite elástico de una aleación de magnesio es 180 MPa y su módulo elástico 45 GPa.

- Calcule la carga máxima, en N, que puede soportar sin sufrir deformación permanente, una probeta de 20 mm<sup>2</sup> de sección de dicho material. (1,25 puntos)
- ¿Cuánto se alarga cada mm de la probeta cuando se aplica la carga calculada en el apartado anterior? (1,25 puntos)

**Ejercicio 27**

En un ensayo de dureza, utilizando una bola de 10 mm de diámetro y una carga de 3000 kp durante 30 s, se obtiene un valor de HB 125. Calcule:

- El diámetro de la huella. (1,25 puntos)
- ¿Se realizó correctamente el ensayo? ¿Cuál es la expresión normalizada del resultado? Explíquelo brevemente. (1,25 puntos)

**Ejercicio 28**

En un ensayo Charpy, se ha utilizado una probeta de sección cuadrada de 10 mm delado, con entalla en forma de V y 2 mm de profundidad. La energía absorbida fue de 180 J, utilizando un martillo de 30 kg desde una altura de 102 cm. Se pide:

- Determinar la energía almacenada por el martillo. (1 punto)
- Calcular la altura a la que se elevará el martillo después de golpear y romper la probeta. (1 punto)
- Definir: límite elástico, módulo de elasticidad, resistencia de rotura, estriccción y alargamiento de rotura. (0,5 puntos)

**Ejercicio 29**

Una probeta de 8 mm de diámetro y longitud entre puntos de 25 mm, se ensaya a tracción. Después del ensayo se obtienen los siguientes resultados: carga máxima 30 kN, carga al final del periodo elástico 23 kN, diámetro final 6,2 mm y longitud final 30,7 mm. Se pide:

- Calcular la resistencia de rotura y el límite elástico. **(1 punto)**
- Calcular el alargamiento de rotura en % y la estricción de rotura. **(1 punto)**
- Diferencias entre los ensayos Brinell y Vickers. **(0,5 puntos)**

**Ejercicio 30**

En un ensayo de impacto, cae una maza de 30 kg desde una altura de 1 m y, después de romper la probeta con 80 mm<sup>2</sup> de sección en la entalla, se eleva hasta una altura de 60 cm. Se pide:

- Dibujar un esquema del ensayo y calcular la energía absorbida en la rotura. **(1 punto)**
- Calcular la resiliencia del material de la probeta. **(1 punto)**
- ¿Que es la martensita? ¿Cómo se obtiene? **(0,5 puntos)**

**Ejercicio 31**

Una probeta cilíndrica de un material metálico, de 8 mm de diámetro y 100 mm de longitud, se ensaya a tracción. Parte de los resultados obtenidos en el ensayo se muestran en la tabla adjunta.

Se pide:

- Dibujar el diagrama tensión-deformación. **(1 punto)**
- Calcular el módulo elástico de la aleación y el alargamiento que tendrá la probeta una vez rota, tras juntar las dos partes. **(1 punto)**
- Explicar las diferencias entre límite elástico y módulo de elasticidad. **(0,5 puntos)**

Fuerza (N)	Longitud (mm)
500	100,2
5000	102
10000	104
11050	105,5
12560	106,5
15985	107,5
12560	108,5
10000	109 (Rompe)

**Ejercicio 32**

En un ensayo de dureza realizado a un material por el método Brinell, se obtuvo un valor de 40 HB. Se desea saber:

- La carga que se ha aplicado en el ensayo si se ha utilizado como penetrador, una bola de 5 mm de diámetro y la huella producida fue de 1,95 mm de diámetro. **(1 punto)**
- ¿Cuál es la constante de ensayo del material? **(1 punto)**
- Tipos de soluciones sólidas. Explique sus diferencias brevemente. **(0,5 puntos)**

**Ejercicio 33**

En un ensayo Brinell se ha utilizado una bola de 5 mm de diámetro y una constante  $k = 30$ , obteniéndose una huella de 2 mm de diámetro. Se pide:

- Calcular la dureza Brinell del material. **(1 punto)**
- Calcular la profundidad de la huella. **(1 punto)**
- Explicar las transformaciones eutectoide y eutéctica, así como la varianza o grados de libertad del sistema en esos puntos. **(0,5 puntos)**

## SELECTIVIDAD 2012 y 2013

### *TEMA 1: Tracción, dureza y resiliencia*

#### **Ejercicio 1**

Se sabe que las propiedades de un acero son: Módulo de elasticidad: 210 GPa. Límite elástico: 250MPa. Resistencia a la rotura: 400MPa. Se ensaya una probeta de este material de 50mm de longitud y 12 mm de diámetro. Se pide:

- Determinar la carga a la que empezará la deformación plástica, y la carga máxima soportada en el ensayo. **(1 punto)**
- La deformación en el límite elástico, suponiendo que coincide con el de proporcionalidad. **(1 punto)**
- Definir: Límite elástico, módulo de elasticidad y estricción. **(0,5 puntos)**

#### **Ejercicio 2**

En un ensayo de impacto realizado con el péndulo Charpy, la maza de 18,5 kg está situada a 1,2 m de altura. Una vez liberado el péndulo y fracturada la probeta de 80 mm<sup>2</sup> de sección transversal, la maza asciende hasta una altura de 65 cm. Se pide:

- Calcular la resiliencia del material. **(1 punto)**
- Calcular la energía sobrante tras el impacto. **(1 punto)**
- Dibujar un esquema del ensayo. **(0,5 puntos)**

#### **Ejercicio 3**

Se dispone de una chapa de acero de la que se obtiene una probeta de sección rectangular de 300mm<sup>2</sup> y 200 mm de longitud. Ensayada a tracción, rompe con una carga de 210 kN. Tras la rotura se midió un alargamiento de 10 mm. Se pide:

- La tensión de rotura del material y alargamiento a la rotura en %. **(1 punto)**
- La carga a la que rompería y cuál sería el alargamiento sufrido por una probeta obtenida de la misma chapa de 200mm<sup>2</sup> de sección y 50mm de longitud. **(1 punto)**
- Diferencias entre los ensayos Brinell y Vickers. **(0,5 puntos)**

#### **Ejercicio 4**

Para determinar la dureza de un material se realiza un ensayo Rockwell B. La profundidad de la huella cuando se aplica la precarga de 10 kp es de 0,010 mm, y la que permanece tras aplicar la sobrecarga de penetración de 90 kp y restituir el valor de precarga (10 kp) es de 0,150 mm. Se pide:

- Esquema y descripción del ensayo. **(1 punto).**
- Calcular la dureza. **(1 punto)**
- Diferencias entre los ensayos Brinell y Vickers. **(0,5 puntos)**

**Ejercicio 5**

Se desea medir la dureza Brinell de una pieza de acero y de otra de aluminio, cuyas constantes de ensayo son 30 y 5, respectivamente. Se dispone de penetradores de 5 mm y 2,5 mm de diámetro. El durómetro sólo puede cargarse con 125 kp, 187,5 kp o 250 kp. Se pide:

- La carga y el diámetro del penetrador que se debería utilizar para el acero. (**1 punto**)
- La carga y el diámetro del penetrador que se debería utilizar para el aluminio. (**1 punto**)
- ¿Qué es una solución sólida? Clasificación. (**0,5 puntos**)

**Ejercicio 6**

Una probeta de sección cuadrada de 10 mm de lado y una entalla de 2 mm de profundidad, es sometida a un ensayo Charpy. La masa del martillo es de 20 kg y cae desde una altura de 1 m. Tras la rotura alcanza una altura de 85cm. Se pide:

- Determinar la energía absorbida en la rotura. (**1 punto**)
- Determinar la Resiliencia del material. (**1 punto**)
- Realizar un esquema del ensayo. (**0,5 puntos**)

**Ejercicio 7**

En un ensayo de Charpy se ha utilizado una probeta de sección cuadrada de 10 x 10 mm con entalla en forma de V y 2 mm de profundidad. La energía absorbida fue de 180 J utilizando un martillo de 30 Kg de masa desde una altura de 102 cm. Se pide:

- Calcular la energía máxima que el martillo puede suministrar en estas condiciones. (**1 punto**)
- Calcular la altura a la que se elevará el martillo después de golpear y romper la probeta. (**1 punto**)
- Explicar brevemente que son: la ferrita, la perlita, la cementita y la austenita. (**0,5 puntos**)

**Ejercicio 8**

Un latón tiene un módulo de elasticidad de 120 GPa y un límite elástico de 250 MPa. A una varilla de este material de sección 10 mm<sup>2</sup> y 100 cm de longitud, se le aplica una carga de 1500 N. Se pide:

- Determinar si la varilla recuperará su longitud inicial cuando se elimine la carga (**1 punto**).
- Calcular el alargamiento unitario en estas condiciones (**1 punto**).
- Explicar en qué consiste un ensayo de resiliencia (ensayo Charpy). ¿Cuáles son las dimensiones de las probetas normalizadas utilizadas en este tipo de ensayo? (**0,5 puntos**).

**Ejercicio 9**

En un ensayo de dureza Brinell se ha utilizado una bola de 10 mm de diámetro. Durante el ensayo se ha elegido una K = 10 y se ha obtenido una huella de 2,5 mm de diámetro. Se pide:

- Calcular la dureza del material (**1 punto**).

- b) Calcular el diámetro de la huella producida, si al usar una bola de igual diámetro, se obtiene una dureza de 300 HB al aplicar una carga de 500 kp (**1 punto**).  
 c) Explicar brevemente los principales tratamientos termoquímicos para los aceros (**0,5 puntos**).

### Ejercicio 10

En un ensayo de tracción de una probeta de acero de 6 mm de diámetro y de 30 mm longitud, se han obtenido los datos de la tabla adjunta. Se pide:

- a) Determinar las tensiones y alargamientos unitarios para cada uno de los puntos obtenidos en el ensayo y dibujar la curva de tracción (**1,5 puntos**).  
 b) Determinar el módulo de elasticidad del acero (**0,5 puntos**).  
 c) ¿Qué tipo de sistema de control elegiría para controlar la temperatura al calentar un horno de precisión? (**0,5 puntos**).

Alargamiento (mm)	Fuerza (kN)
0,000	0,00
0,023	1,72
0,032	2,30
0,048	3,49
0,210	7,07
0,900	8,58
1,200	7,63

### Ejercicio 11

Se realiza un ensayo de resiliencia (Charpy) dejando caer una maza de 22 kg desde una altura de 1 m sobre una probeta. La probeta es de sección cuadrada de 10 mm de lado y presenta una entalla de 2 mm de profundidad. Después de romperla, el martillo se eleva hasta una altura de 67 cm. Se pide:

- a) Dibujar un esquema del ensayo propuesto. Calcular la energía absorbida por la probeta al romper (**1 punto**).  
 b) Calcular la resiliencia y la velocidad que alcanza la maza en el momento del impacto (**1 punto**).  
 c) ¿Cuál es la diferencia entre los ensayos dinámicos y estáticos? (**0,5 puntos**).

### Ejercicio 12

El resultado de un ensayo de dureza es 630 HV 50. Se pide:

- a) Calcular la diagonal de la huella (**1 punto**).  
 b) Calcular el valor de la dureza, si se ha realizado el mismo ensayo en otro material, utilizando una carga de 20 kp, y la diagonal de la huella obtenida es de 0,5 mm (**1 punto**).  
 c) Describir el ensayo Rockwell. ¿Qué tipos de penetradores se utilizan en este ensayo? (**0,5 puntos**).