



Curso MT-1113

Ciencia de los Materiales

TEMA 3:

Estructura y Propiedades

Estructuras cristalinas

Planos y direcciones

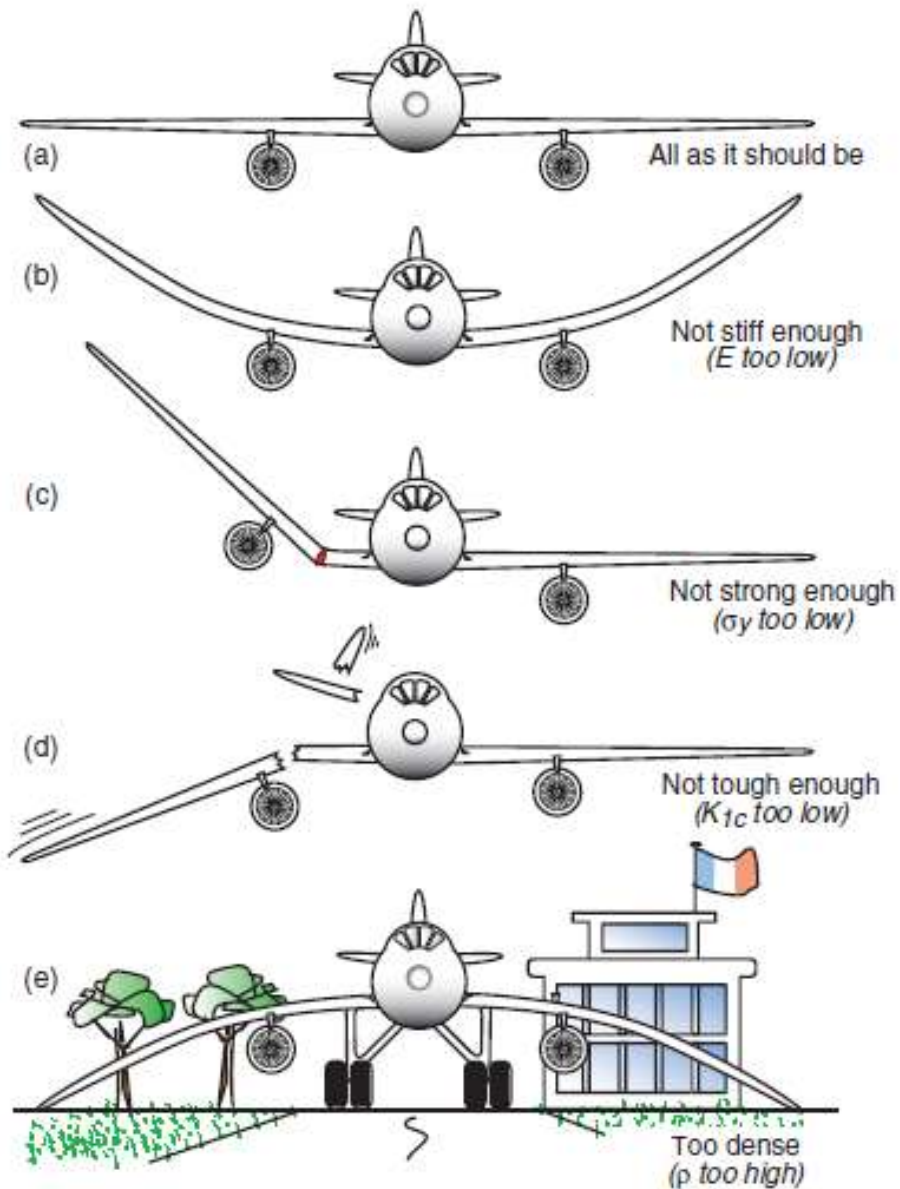
Índices de Miller

Factor de empaquetamiento

Densidad de los materiales

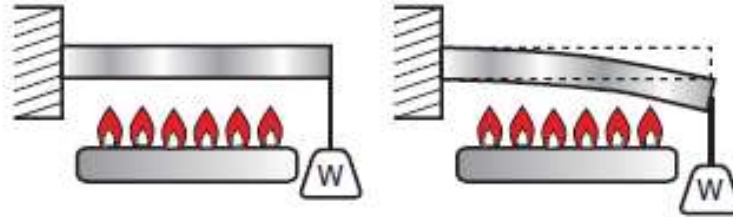


Propiedades Mecánicas

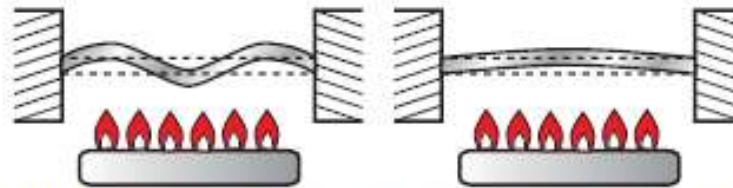




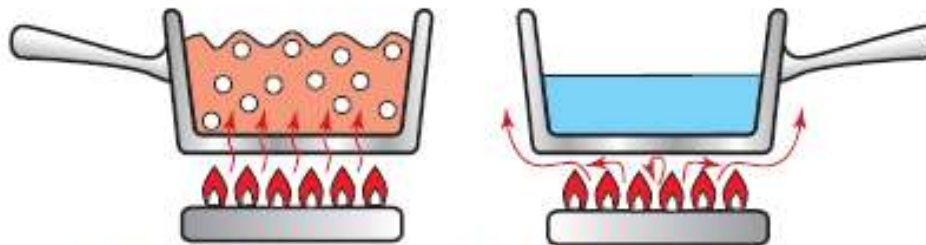
Propiedades Térmicas



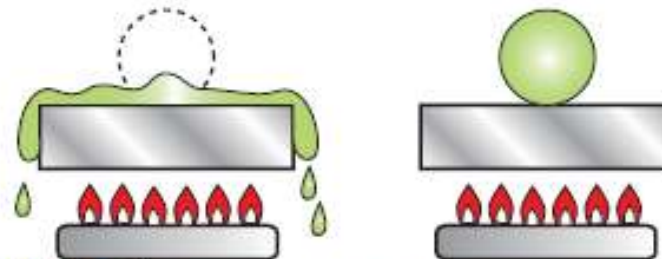
(a) High service temperature T_{\max} Low service temperature T_{\max}



(b) High expansion coefficient α Low expansion coefficient α



(c) High conductivity λ Low conductivity λ



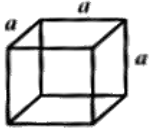
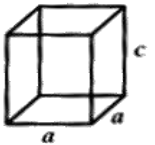
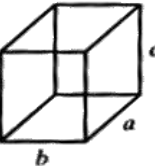

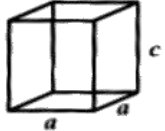
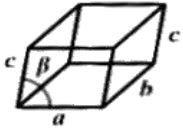

(d) High T-diffusivity a Low T-diffusivity a



- **Cristalinos:** compuestos por átomos, moléculas o iones organizados de una forma periódica en tres dimensiones. Las posiciones ocupadas siguen una ordenación que se repite para grandes distancias atómicas (de largo alcance).
- **Amorfos:** compuestos por átomos, moléculas o iones que no presentan una ordenación de largo alcance. Pueden presentar ordenación de corto alcance.



Siete Sistemas Cristalinos

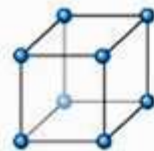
Sistema	Longitud de los ejes y ángulos	Geometría
Cúbico	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Ortorrómbico	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Romboédrico	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Monocélico	$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Triclínico	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	



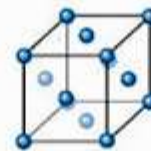
Catorce Redes Cristalinas



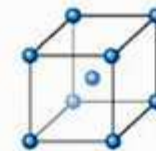
Las Redes de Bravais



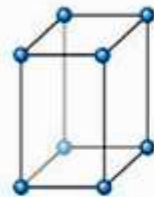
Cúbico simple



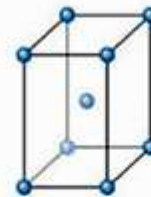
Cúbico centrado
en el cuerpo



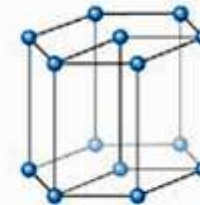
Cúbico centrado
en las caras



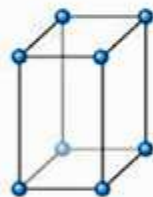
Tetragonal
simple



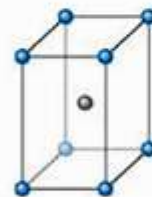
Tetragonal centrado
en el cuerpo



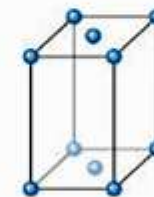
Hexagonal



Ortorrómico
simple



Ortorrómico centrado
en el cuerpo



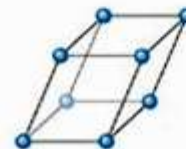
Ortorrómico centrado
en la base



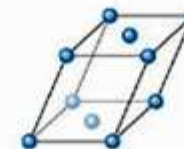
Ortorrómico centrado
en las caras



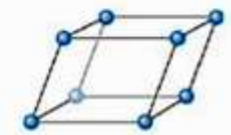
Rombohedral



Monoclínico
simple



Monoclínico centrado
en la base

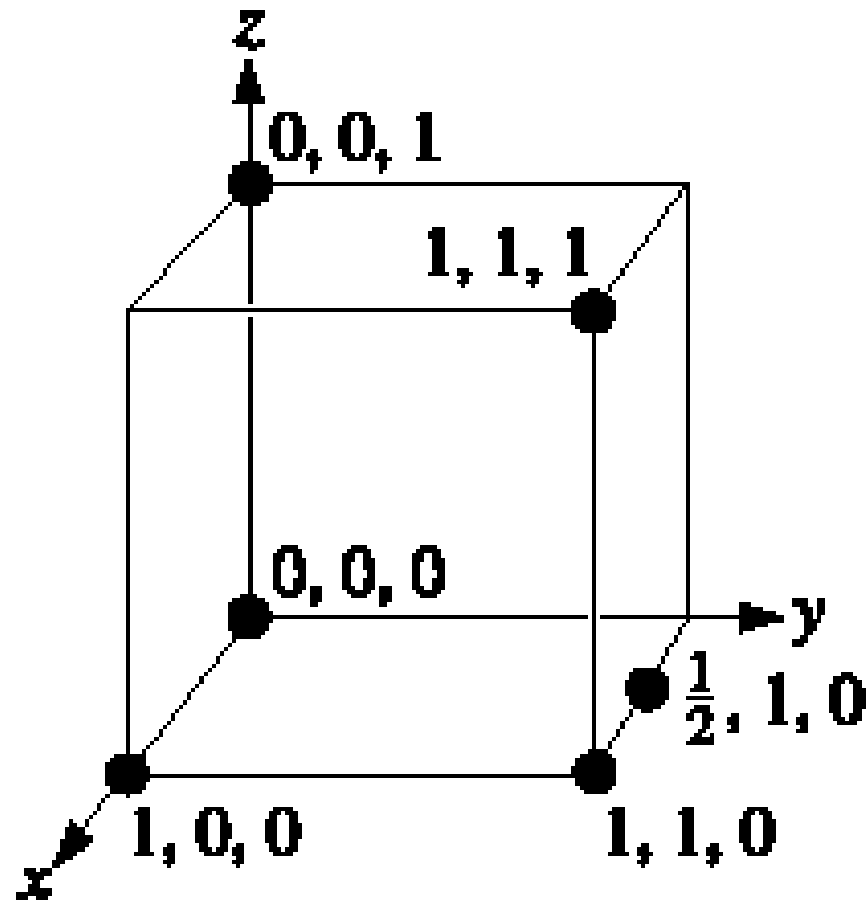


Triclínico



Sistemas Cúbicos

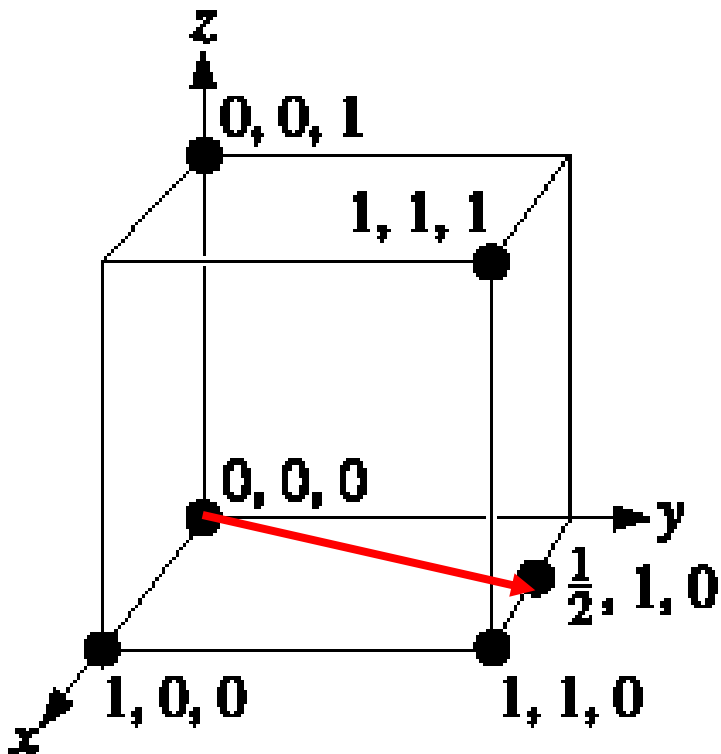
Direcciones y Planos (Índices de Miller)





Índices de Miller de Direcciones: h, k, l

1. Identificar punto de llegada y punto de salida.
2. Restar punto de llegada menos punto de salida.
3. Aclarar las fracciones.
4. Ajustar a la nomenclatura de Miller



$$(\frac{1}{2}-0), (1-0), (0-0) \rightarrow \frac{1}{2}, 1, 0$$

$$\frac{1}{2}, 1, 0 \rightarrow 1, 2, 0$$

$$1, 2, 0 \rightarrow [120]$$



Índices de Miller de Direcciones: h, k, l

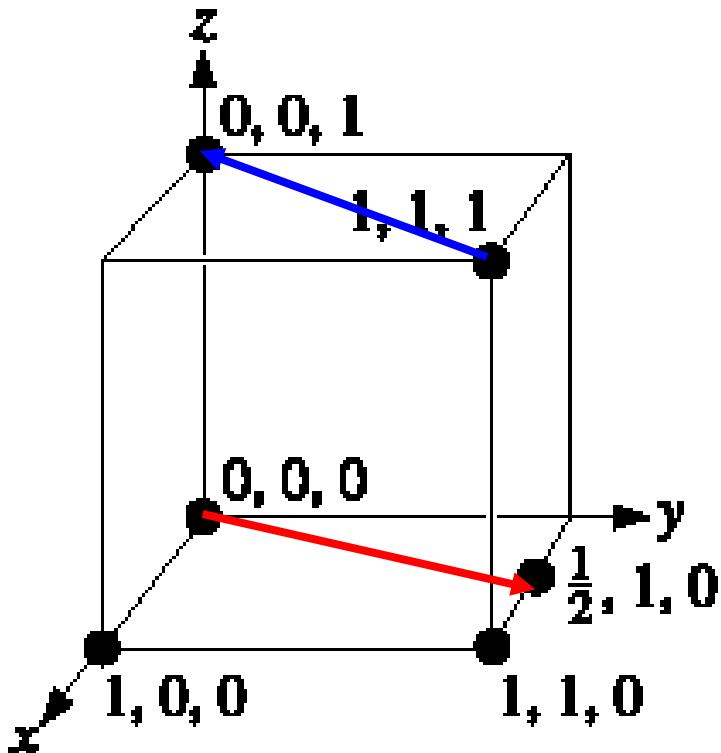
$$\left(\frac{1}{2}-0\right), (1-0), (0-0) \rightarrow \frac{1}{2}, 1, 0$$

$$\frac{1}{2}, 1, 0 \rightarrow 1, 2, 0$$

$$1, 2, 0 \rightarrow [120]$$

$$(0-1), (0-1), (1-1) \rightarrow -1, -1, 0$$

$$-1, -1, 0 \rightarrow [\bar{1}\bar{1}0]$$





Familia de direcciones correspondientes a las diagonales de cara del cubo

$$\langle 110 \rangle = \left\{ \begin{array}{ll} [110] & [\bar{1}\bar{1}0] \\ [101] & [\bar{1}0\bar{1}] \\ [011] & [0\bar{1}\bar{1}] \\ [1\bar{1}0] & [\bar{1}10] \\ [10\bar{1}] & [\bar{1}01] \\ [01\bar{1}] & [0\bar{1}1] \end{array} \right.$$

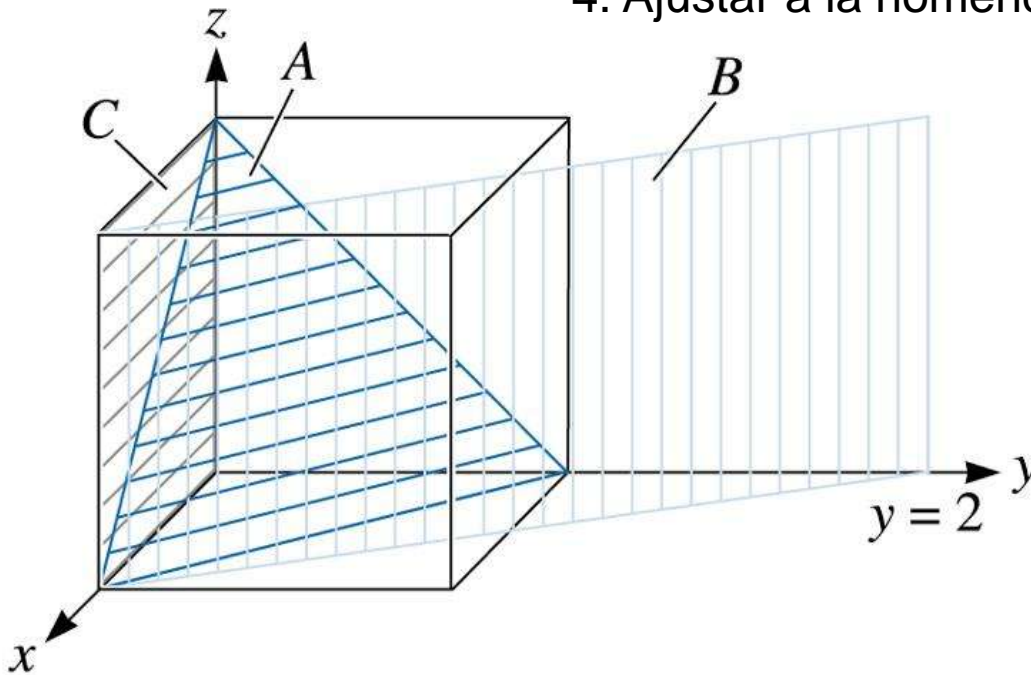


Sistemas Cúbicos

Direcciones y Planos (Índices de Miller)

Índices de Miller de Planos

1. Identificar corte con los ejes x, y, z
2. Invertir para determinar los Indices de Miller h, k, l
3. Aclarar las fracciones.
4. Ajustar a la nomenclatura de Miller



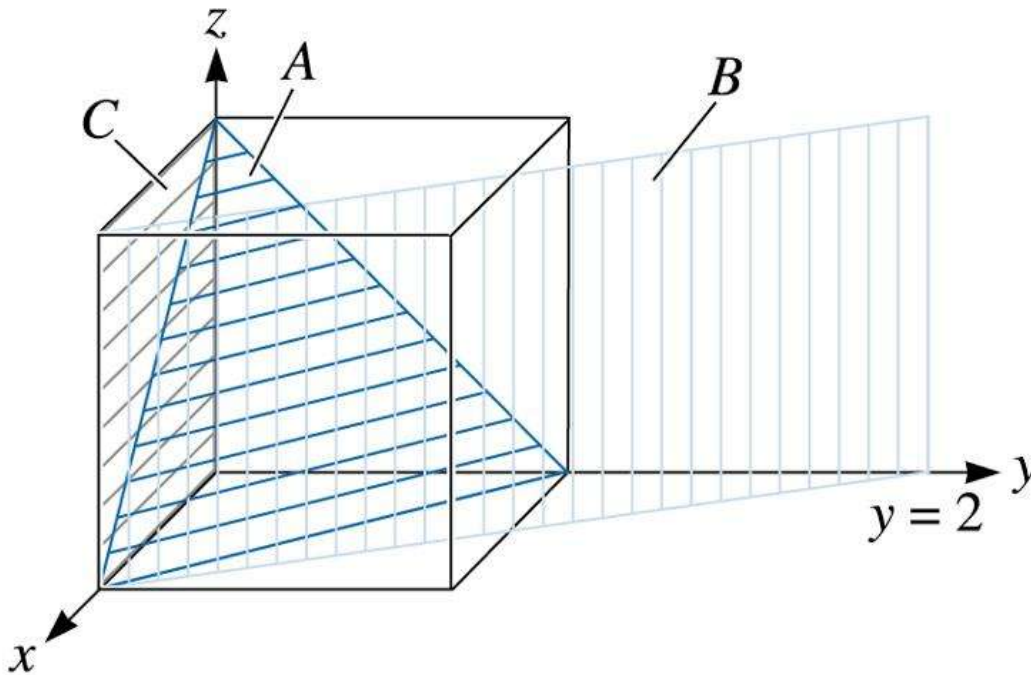
Familia de planos $\{110\}$
en el sistema cúbico

$$\{110\} \begin{cases} (110) \\ (101) \\ (011) \\ (1\bar{1}0) \\ (10\bar{1}) \\ (01\bar{1}) \end{cases}$$



Ejemplo Plano *B*

1. El plano corta al eje $x = 1$, $y = 2$, and $z = \infty$
2. Invirtiendo $1/x = 1$, $1/y = 1/2$, $1/z = 0$,
Indice de Miller son: $h=1$, $k=1/2$, $l=0$
3. Aclarando las fracciones; $h=2$, $k=1$, $l=0$
4. Ajustar a la nomenclatura de Miller (210)



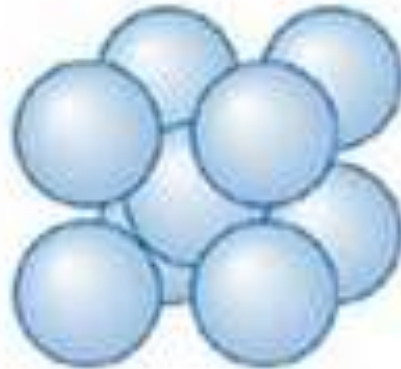
{210}:
(210), (201), (102), ($\bar{2}10$),
($\bar{2}01$), ($\bar{1}02$)



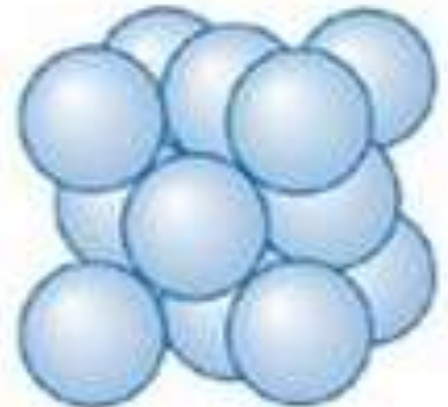
Sistema cúbico redes de Bravais



SC



BCC

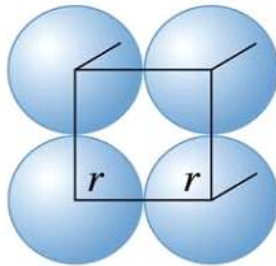
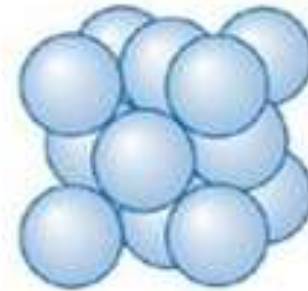
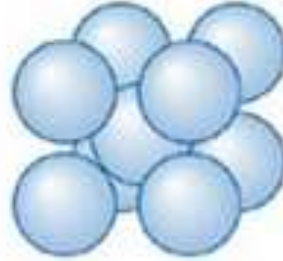
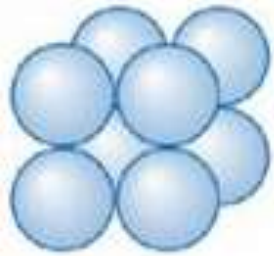


FCC



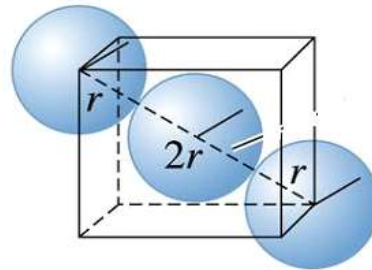
Direcciones Compactas en el sistema cúbico

Direcciones de empaquetamiento compacto, donde no se pierde el contacto entre los átomos



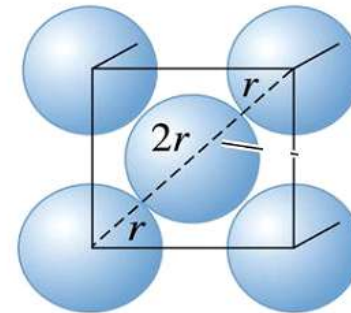
$\leftarrow a_0 \rightarrow$

(SC)



$\leftarrow a_0 \rightarrow$

(BCC)



$\leftarrow a_0 \rightarrow$

(FCC)



Planos y Direcciones Compactas

Estructura	Direcciones	Planos
SC	$\langle 100 \rangle$	Ninguno
BCC	$\langle 111 \rangle$	Ninguno
FCC	$\langle 110 \rangle$	$\{111\}$
HCP	$\langle 100 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ ó $\langle 1120 \rangle$	$\{0001\}$, $\{0002\}$



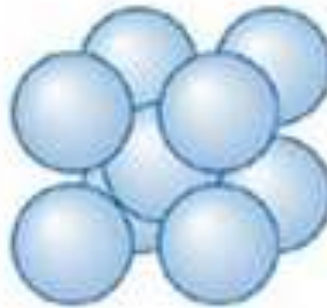
***Densidad
Atómica (DA)***

DA =

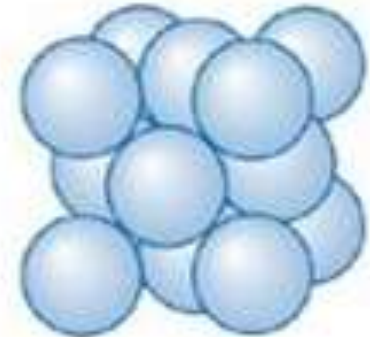
**Número de Átomos
Celda**



DA = 1



DA = 2



DA = 4

Factor de empaquetamiento atómico (FEA)

$$FEA = \frac{V_{\text{átomos}}}{V_{\text{célula}}}$$



Espaciado interplanar (d)

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

Estructuras cúbicas.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

Estructura hexagonal.

Densidad Lineal (ρ_l) $\rho_l = \frac{\text{Número de átomos contenidos en una dirección cristalina}}{\text{Longitud de la dirección}}$

Densidad Planar (ρ_p) $\rho_p = \frac{\text{Número de átomos por plano cristalino}}{\text{Área del plano}}$



Densidad (ρ) $\rho = \frac{\text{Número de átomos} * \text{Peso de átomo}}{\text{Volumen de la celda}}$

PROBLEMA TIPICO

Cual es la densidad Teórica del Cobre, conociendo que su estructura cristalina es fcc y su peso atómico es: 63,54g/mol y su radio atómico es 0,1278 nm



http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/miller_indices/index.php



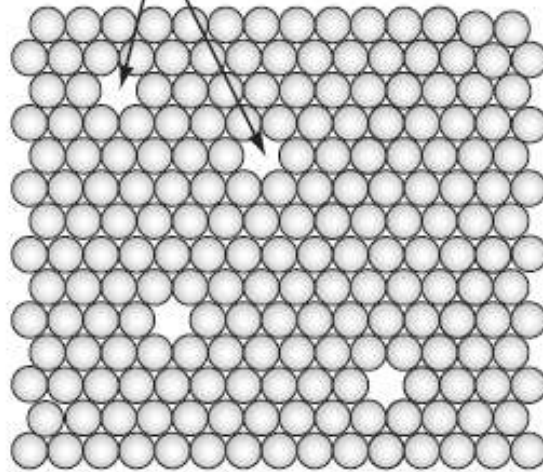
- En general, un defecto se refiere a una perturbación en el orden de un material periódico
 - Los “defectos” pueden ser deseables o indeseables.
 - ¿Qué tipos de defectos se presentan en sólidos?
 - ¿Cómo los defectos afectan características materiales?
 - ¿Pueden el número y el tipo de defectos ser variados y ser controlados?
-



- No existe el cristal perfecto!
 - Termodinámicamente es imposible. Los “defectos” bajan la energía del cristal y lo hacen más estables
 - Siempre existen vacancias e impurezas
- Los defectos no son necesariamente malos, por ejemplo:
 - Adición de C al Fe para hacer el acero
 - Adición de Cu al Ni para hacer latones
 - Adición de Ge al Si para hacer materiales termoeléctricos
 - Adición de Cr al Fe para resistencia a la corrosión
 - Introducción de bordes de grano para endurecer los materiales



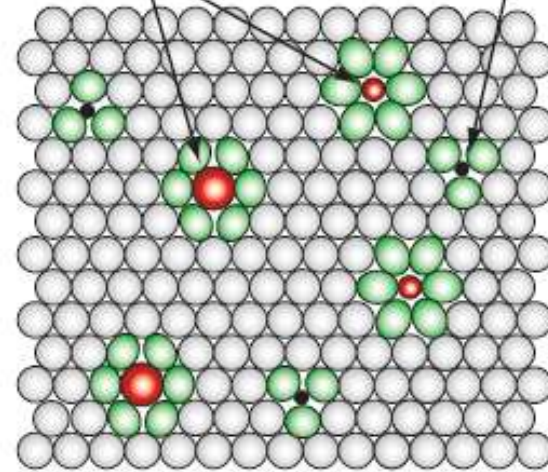
Vacancies



(a)

Substitutional solute

Interstitial solute

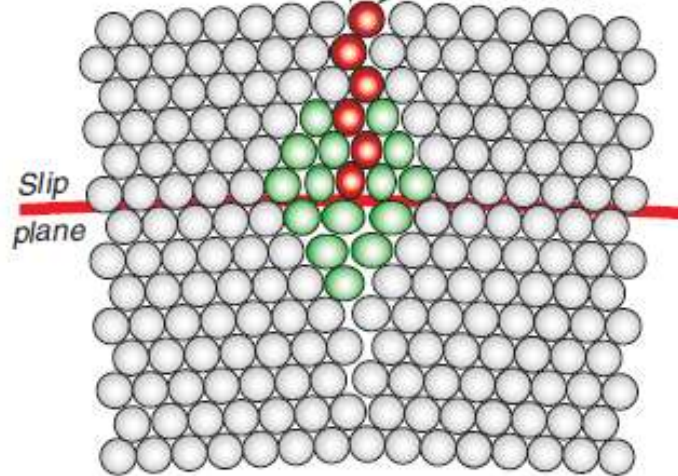


(b)

Dislocation

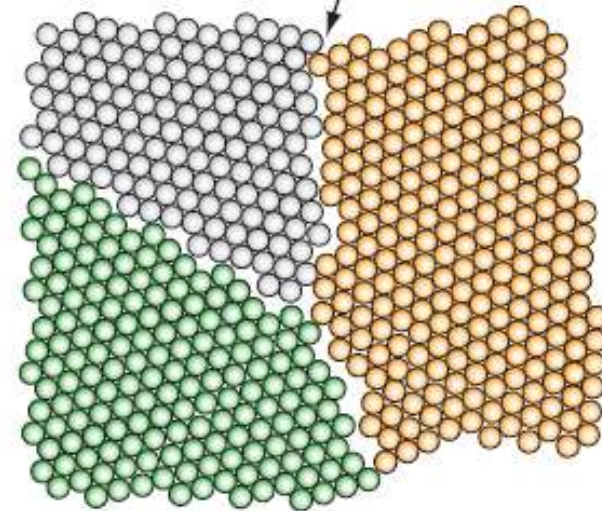
Extra half-plane

Slip plane



(c)

Grain boundary



(d)



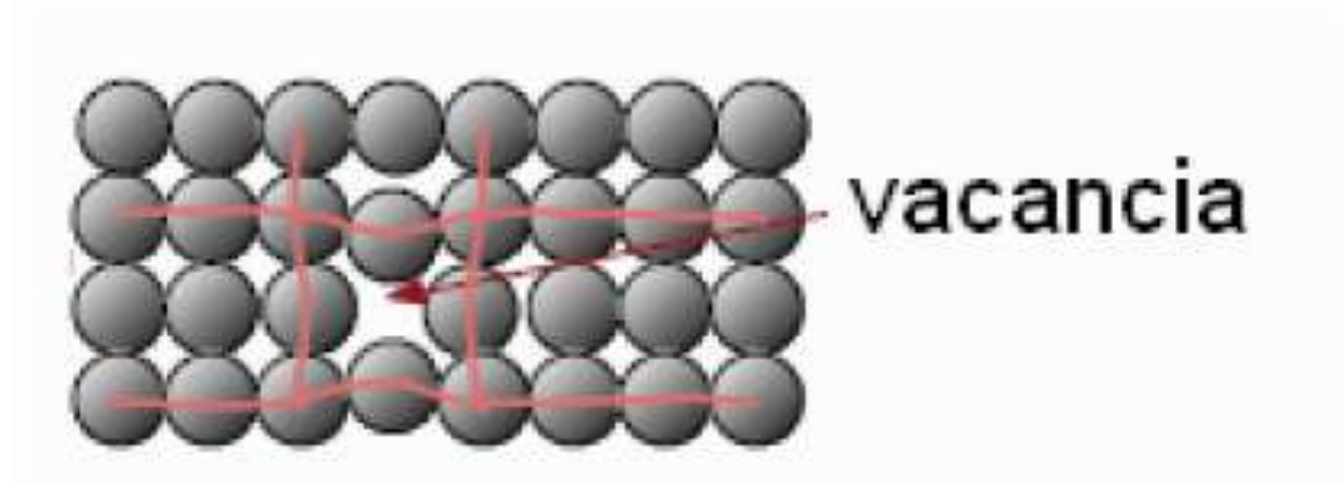
Clasificación de los defectos

- ❑ 0 D Defectos puntuales: vacancias, intersticiales e impurezas.
 - ❑ 1 D Defectos lineales : dislocaciones (borde, tornillo, mixta)
 - ❑ 2 D Bordes de grano, superficies.
 - ❑ 3 D Defectos extendidos: poros, grietas, etc.
-



Vacancias

Un sitio de la red donde falta un átomo



Se crea un campo de deformación en la red alrededor del defecto.

Los átomos alrededor de la vacante quedan en tensión.



Nº de vacantes en equilibrio térmico

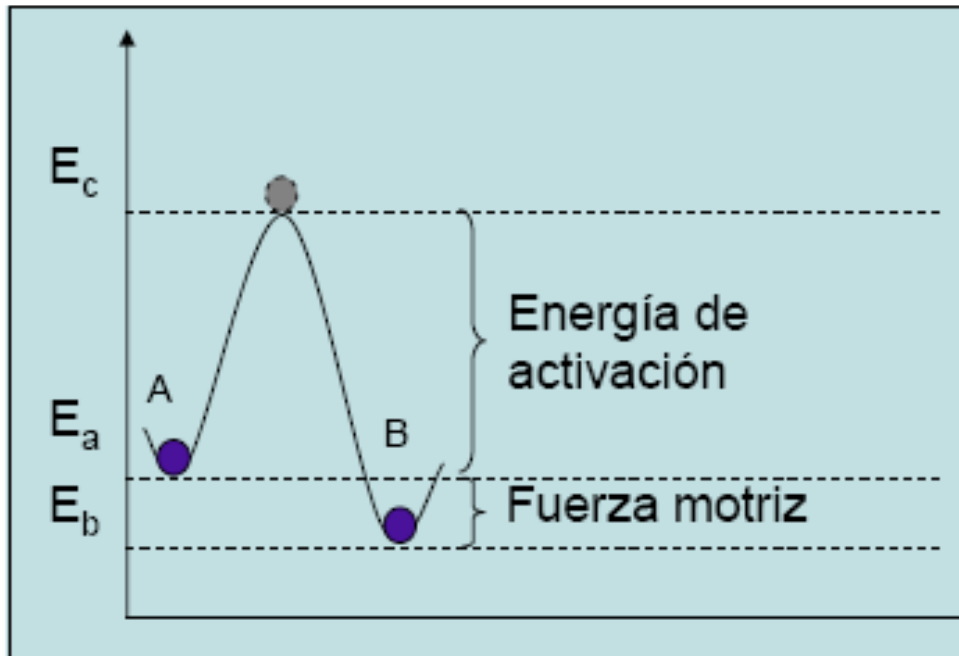
$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right)$$

N = nº total de posiciones reticulares

Q_v = Energía de Activación necesaria para crear una vacante

T = Temperatura absoluta (K)

k = Cte de Boltzmann = 1.38×10^{-23} J/átomo^oK, = 8.62×10^{-5} eV/átomo^oK





Calcular el número de vacancias en equilibrio por metro cúbico en el cobre a 1000 °C. La energía de activación para la formación de vacancias en el cobre es 0,9 eV/átomo, el peso atómico del cobre es 63,54 g/mol y la densidad 8,4 g/cm³

$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right)$$

Primero es necesario determinar **N** (Número de posiciones reticulares por metro cúbico)

$$N = \frac{N_A \rho}{A_{\text{Cu}}} = \frac{6,023 \times 10^{23} (\text{átomos} / \text{mol})(8,4 \text{g} / \text{cm}^3)(10^6 \text{cm}^3 / \text{m}^3)}{63,54 \text{g} / \text{mol}} = 8,8 \times 10^{28} \text{átomos} / \text{m}^3$$

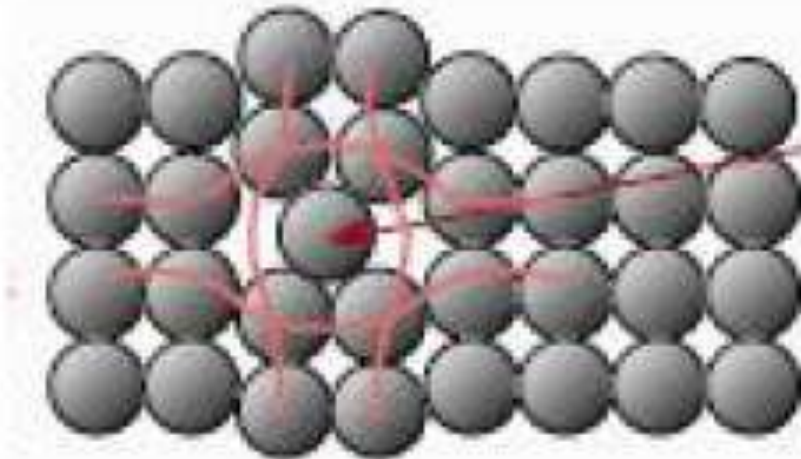
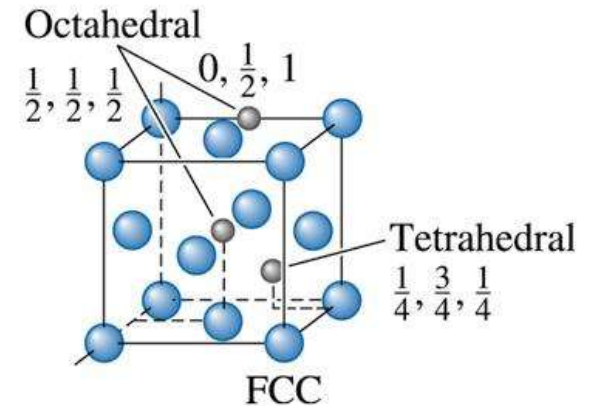
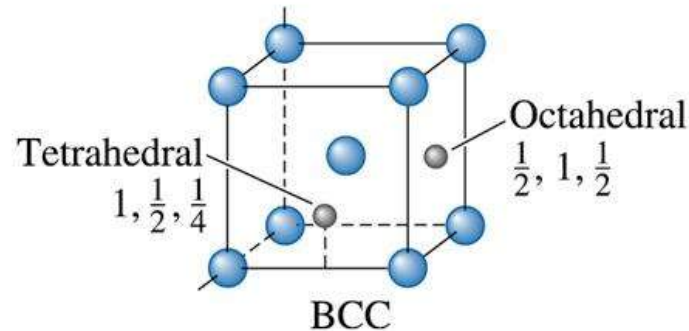
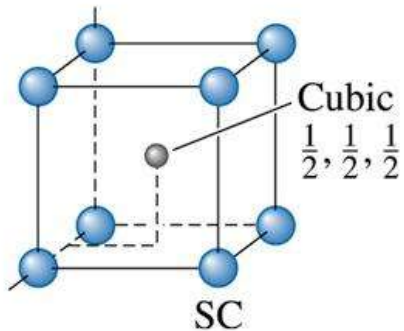
$$N_v = (8,0 \times 10^{28} \text{átomos} / \text{m}^3) \exp\left(-\frac{0,9 \text{eV} / \text{mol}}{(8,62 \times 10^{-5} \text{eV} / \text{mol} / ^\circ \text{K})(1273^\circ \text{K})}\right)$$

$$N_v = 2,2 \times 10^{25} \text{vacancias} / \text{m}^3$$



Intersticial

Un átomo del cristal que se ubica en un espacio vacío (intersticio) de la red cristalina

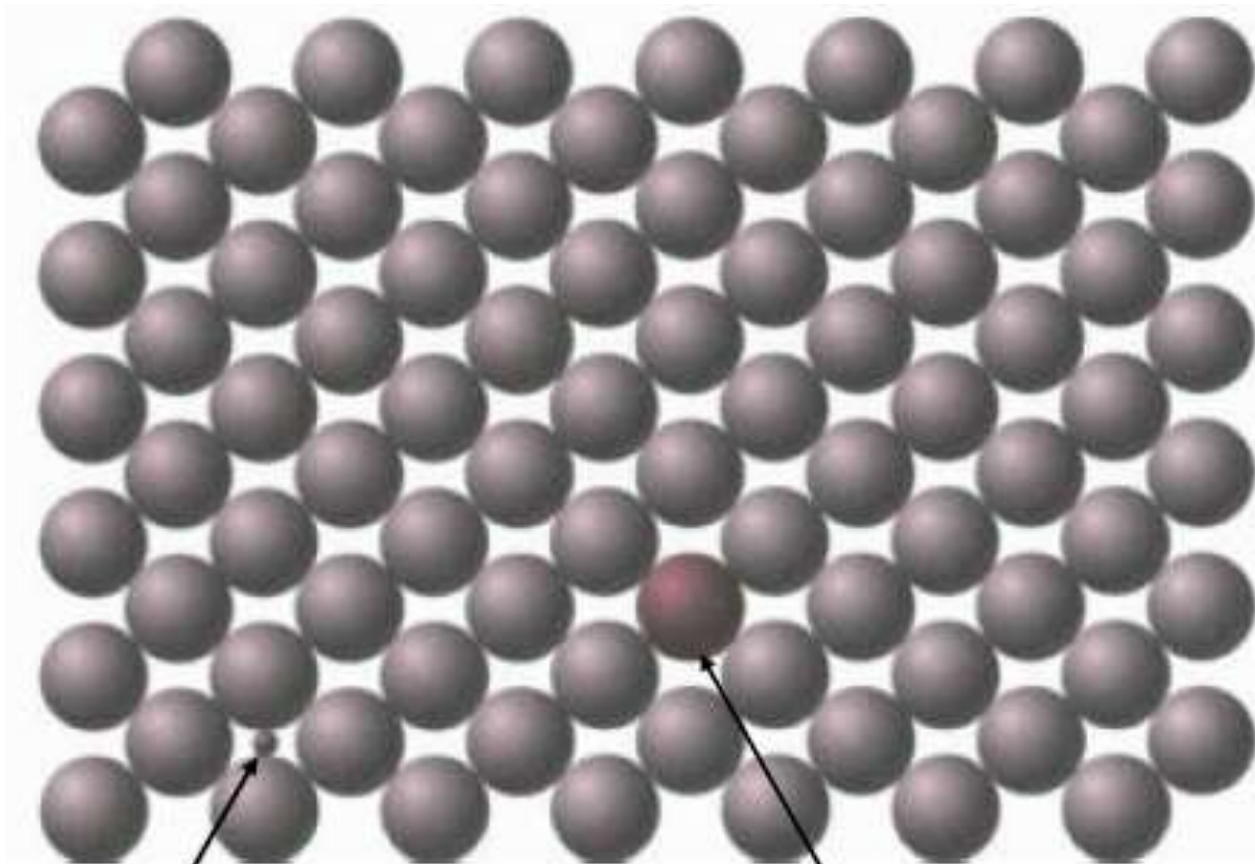


intersticial

Los átomos alrededor del intersticial quedan en compresión.



Impurezas

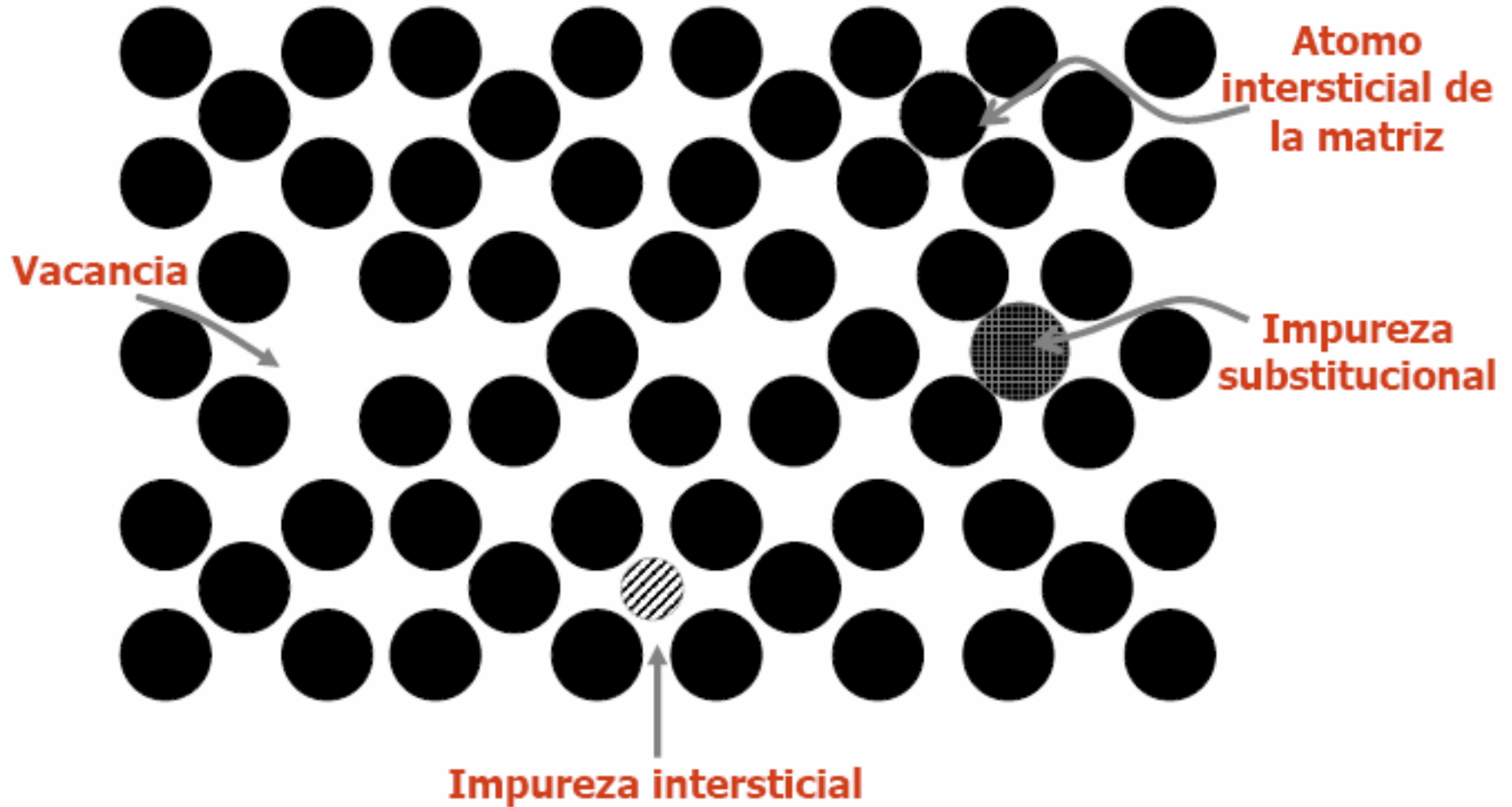


Impureza
intersticial

Impureza
sustitucional

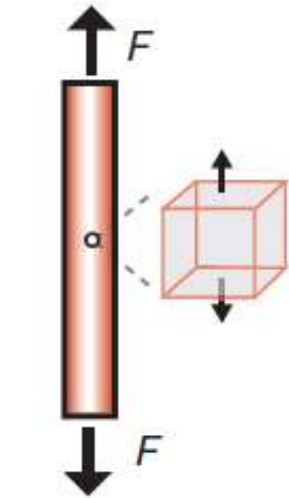


Defectos puntuales

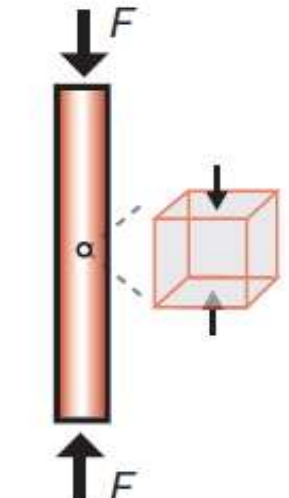




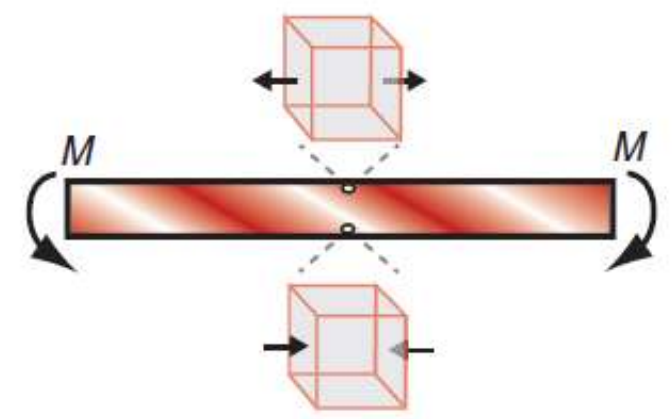
Ejemplos de modos de carga



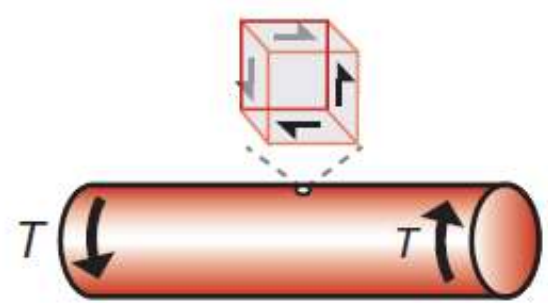
(a) A tie



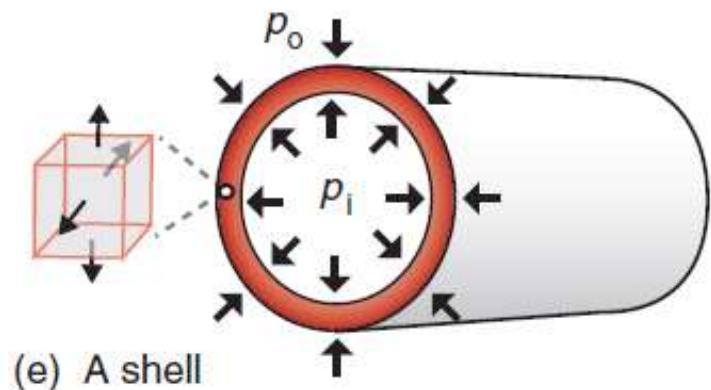
(b) A column



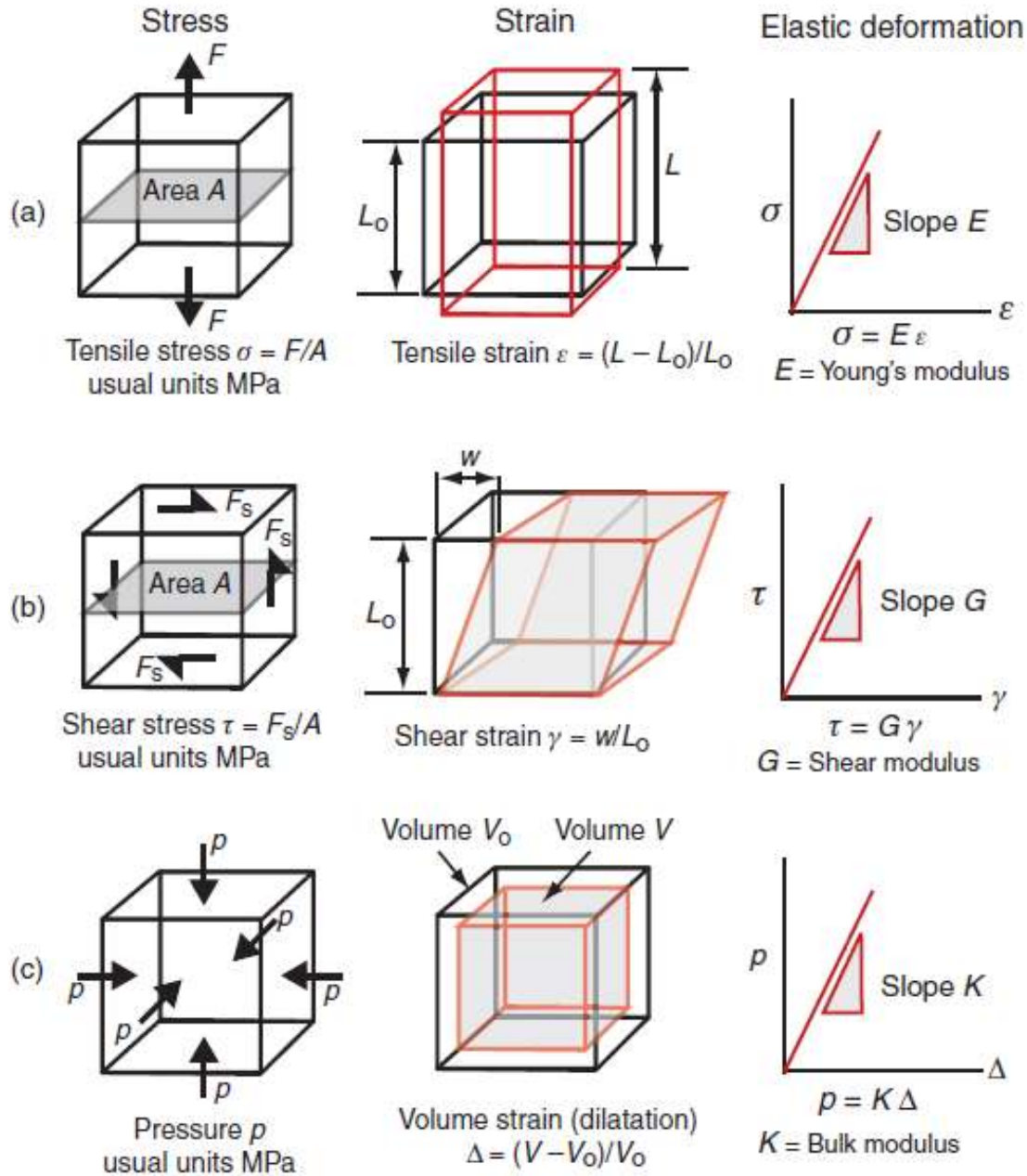
(c) A beam



(d) A shaft

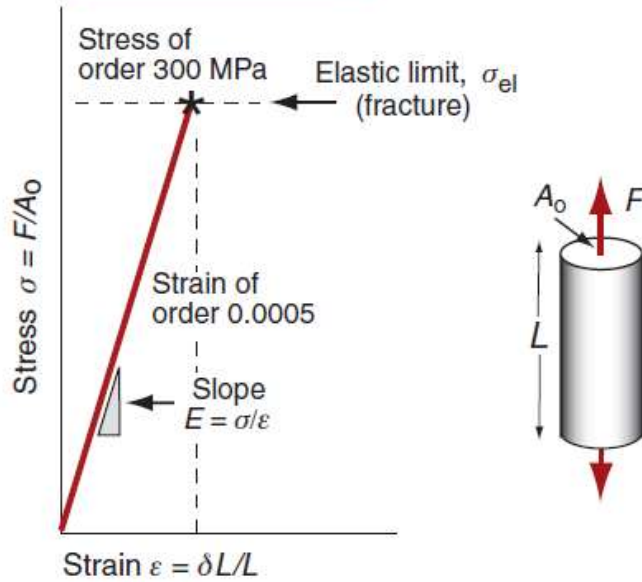


(e) A shell

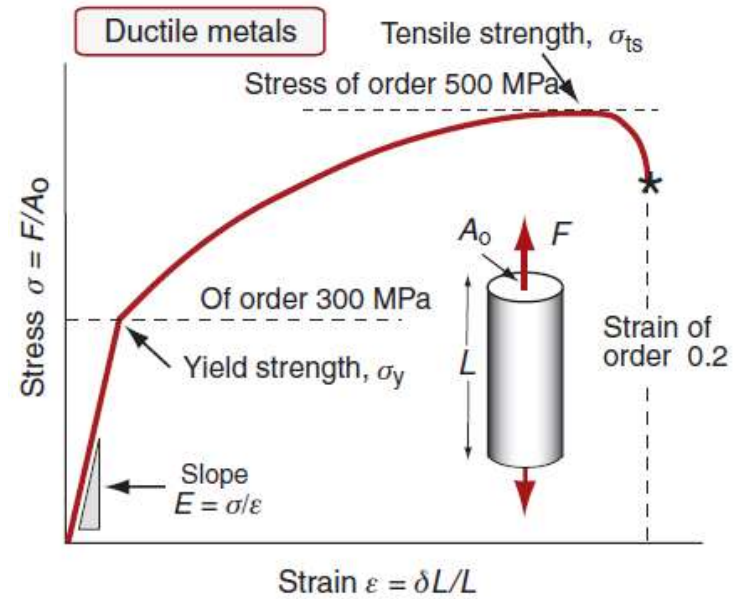




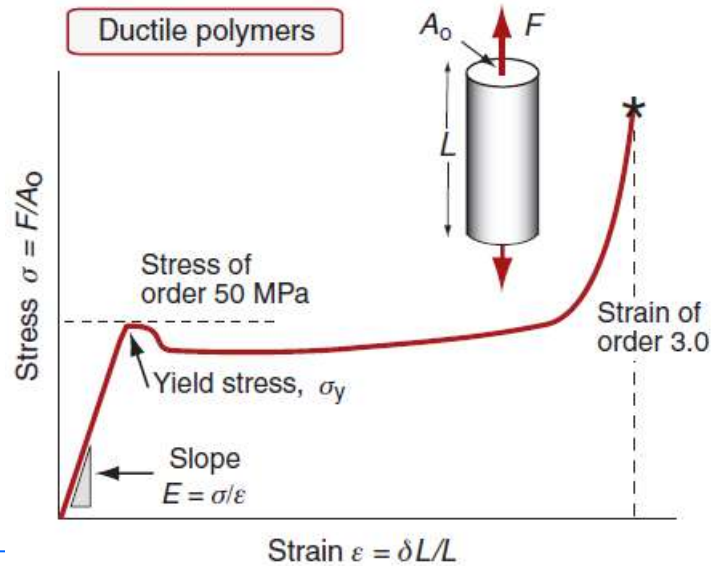
Brittle ceramics



Ductile metals

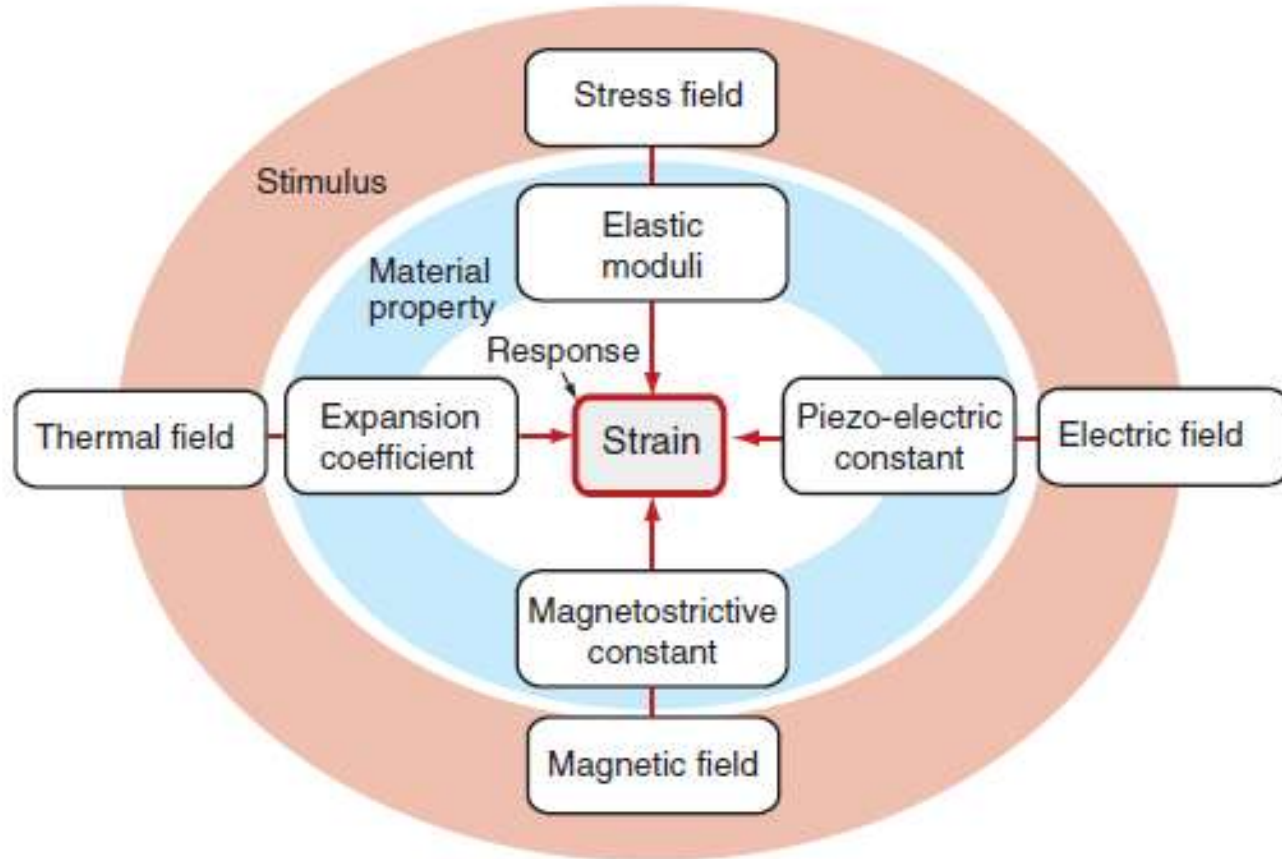


Ductile polymers



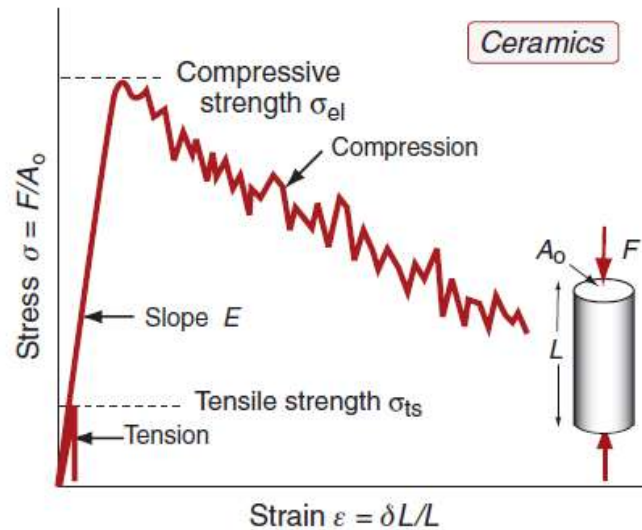
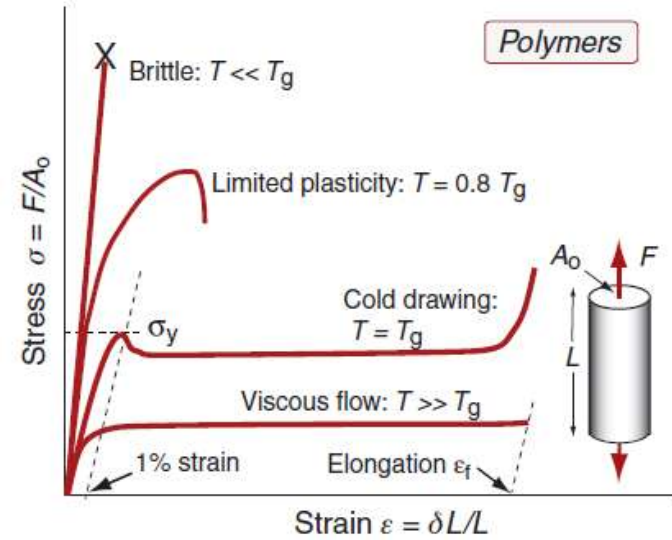
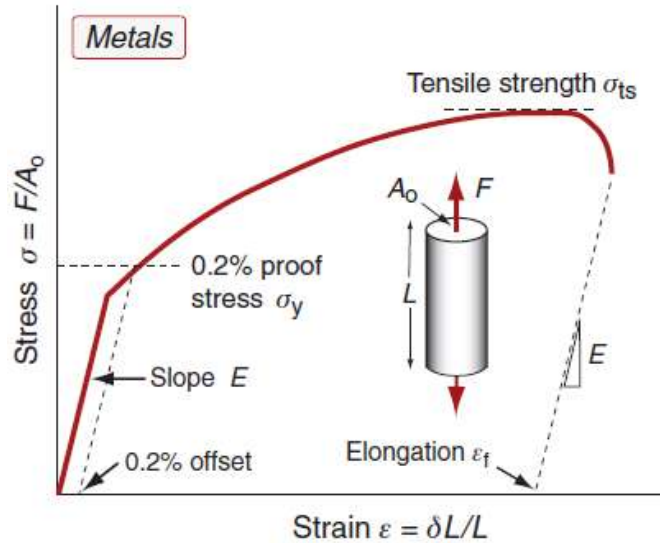


Estímulos externos que generan deformación





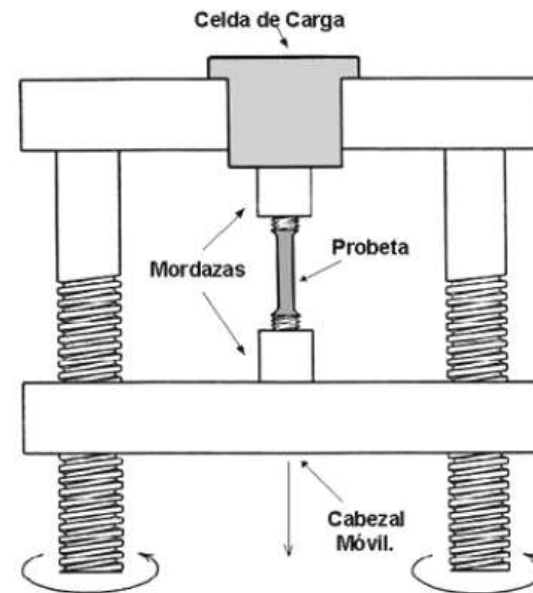
Curvas esfuerzo-deformación para diferentes materiales





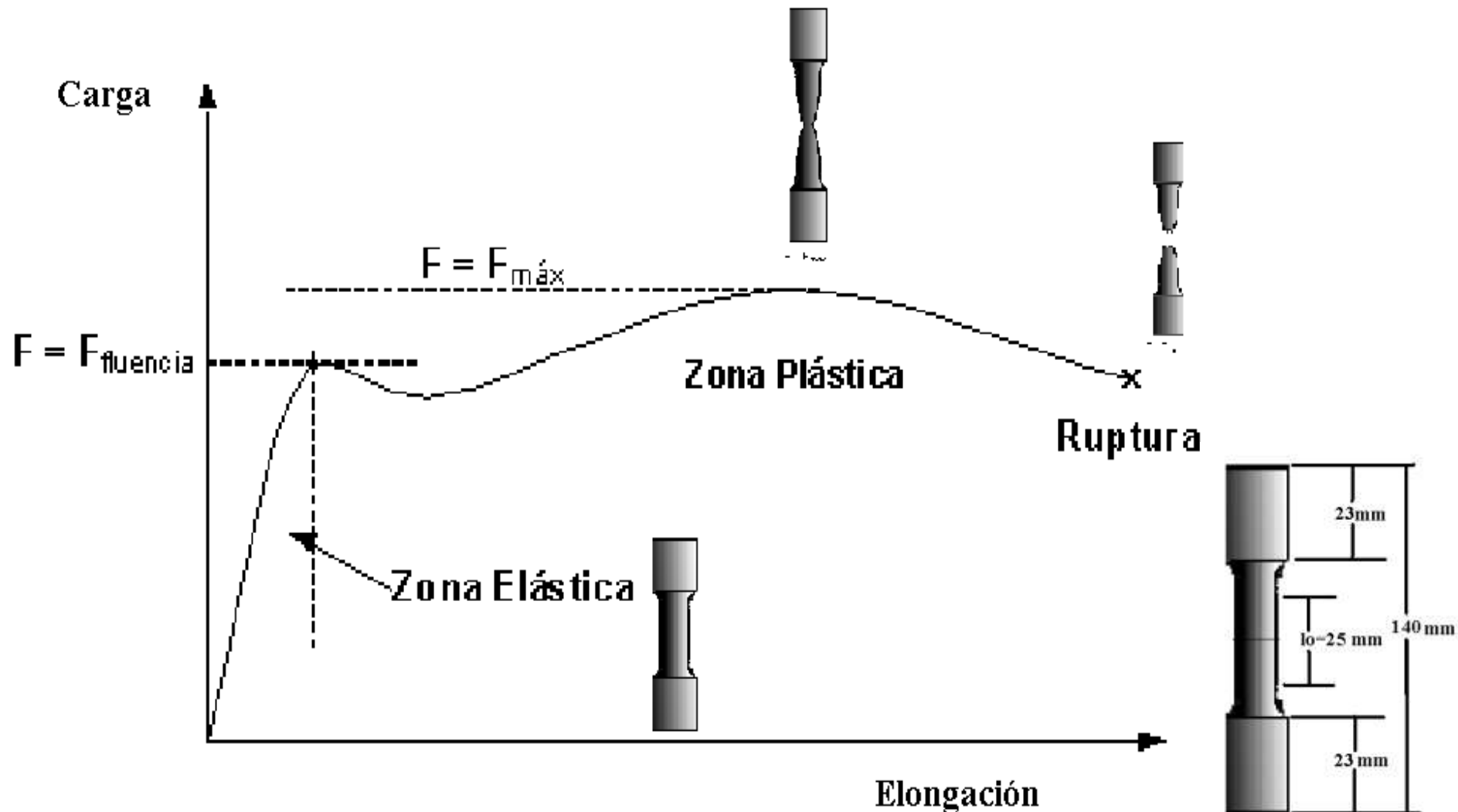
9.1 Mecanismos de deformación elástica y plástica

El ensayo de tensión se efectúa en una máquina universal capaz de aplicar una carga axial de tensión o compresión a una probeta, dando como resultado la carga ejercida y la elongación producida en el material durante el ensavado.





9.1 Mecanismos de deformación elástica y plástica

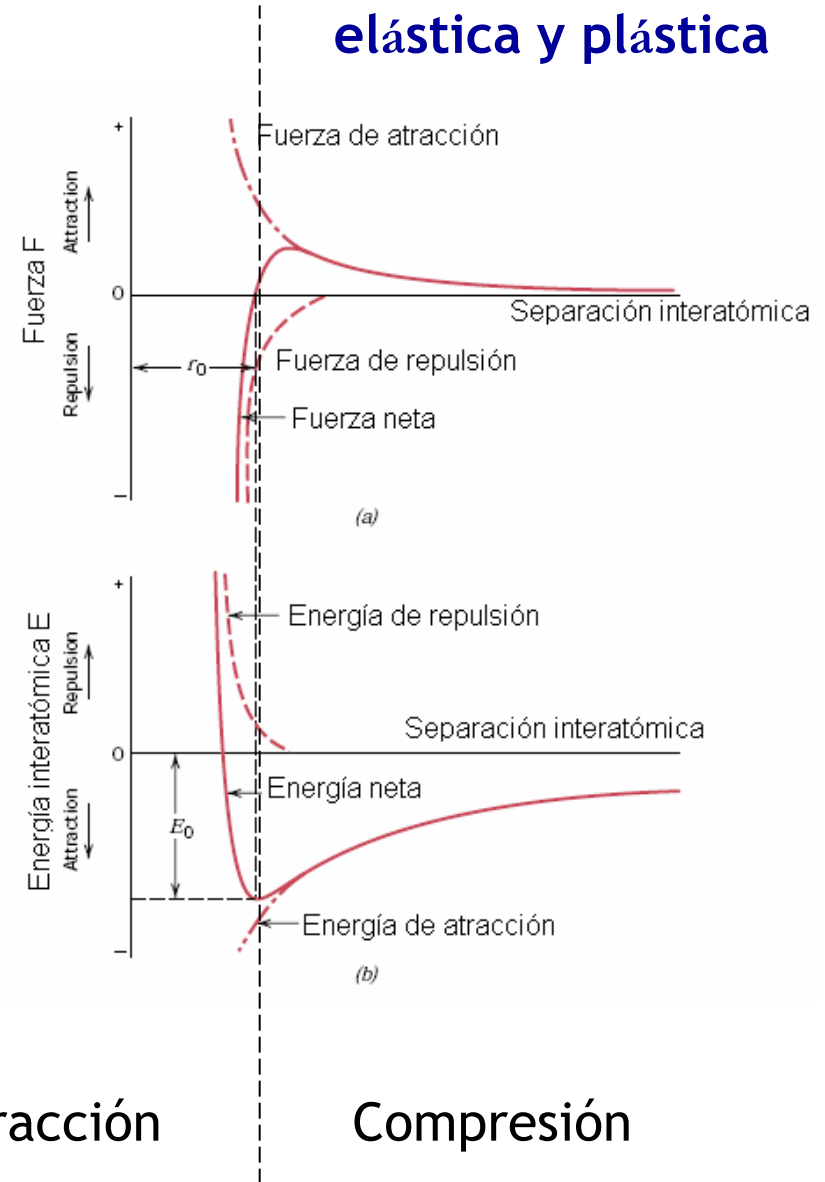




Zona Elástica: Es la zona comprendida en el intervalo de cargas en donde el material experimenta una deformación no permanente, en donde el material puede recuperar su estado inicial al retirar la carga. El mecanismo fundamental asociado a la deformación elástica es la **relajación de los enlaces atómicos**. El comportamiento esfuerzo-deformación en zona elástica puede ser descrito por la ley de Hooke

$$S = E\epsilon$$

9.1 Mecanismos de deformación elástica y plástica





9.1 Mecanismos de deformación elástica y plástica

Deformación de corte γ : la tangente del ángulo de corte α .

Esfuerzo de corte τ : presión necesaria para producir un deformación de corte.

Modulo de corte G : relación esfuerzo de corte-deformación de corte. $G = \tau / \gamma$

Relación de módulos: $E = 2G(1 + \nu)$

Problema.

En ausencia de tensión, la distancia de separación entre centros atómicos de dos átomos de hierro es 0,2480 nm (a lo largo de la dirección [111]). Bajo una tracción de 1000 MPa la distancia de separación aumenta a 0,2489 nm, calcúlese el módulo de elasticidad en esta dirección.

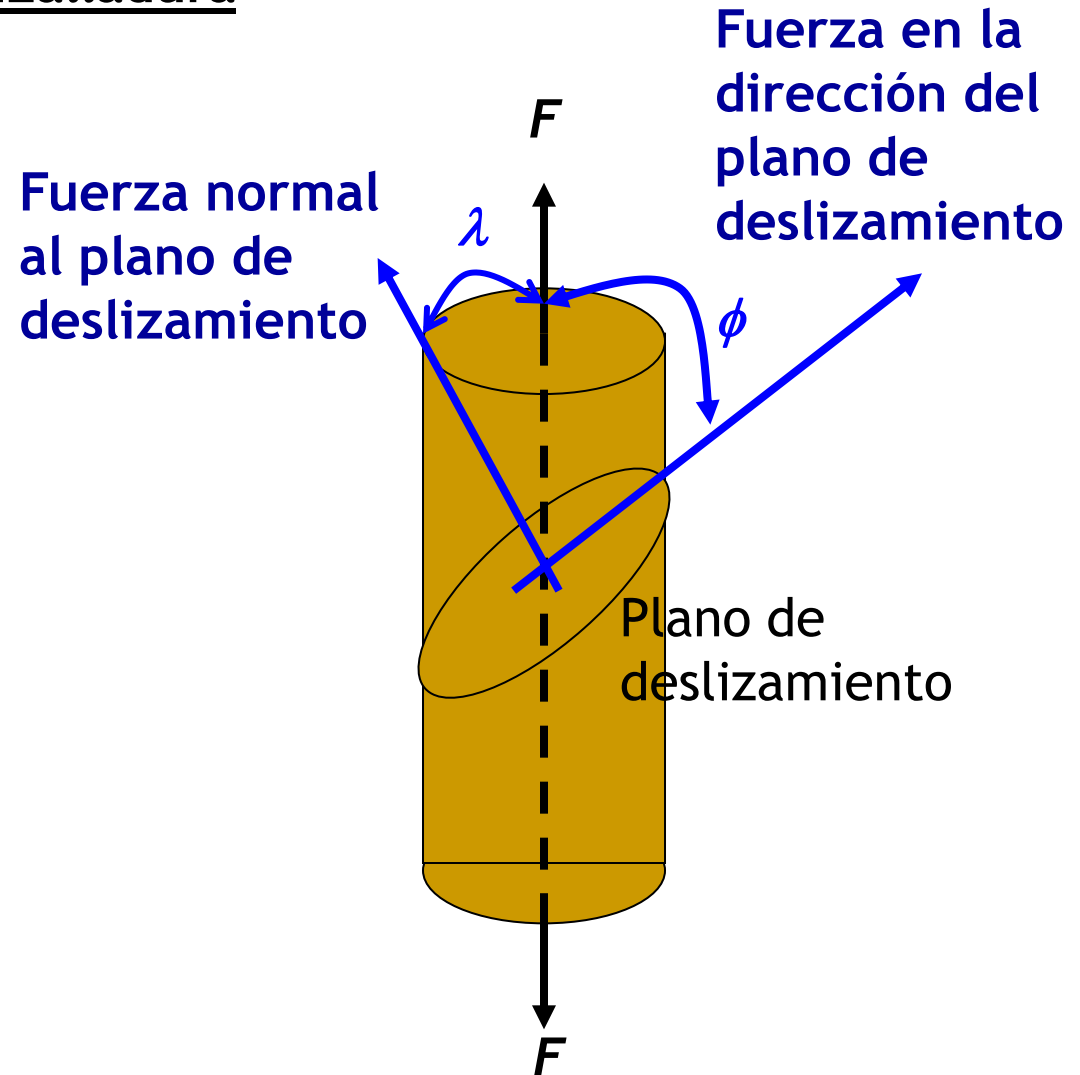


9.1 Mecanismos de deformación elástica y plástica

Deformación por efecto de cizalladura

Esfuerzo axial:
 $S = F/A$

Esfuerzo a corte:
 $S_s = (F/A) \cos \phi * \cos \lambda$
Ley de Schmid





9.2 Ensayo de Tracción. Cuantificación de propiedades mecánicas y endurecimiento por deformación.

Carga (F): Fuerza axial aplicada sobre el material (Kgf)

Elongación ($\Delta l = l - l_0$): Variación en la longitud del material sometido a una fuerza axial (m)

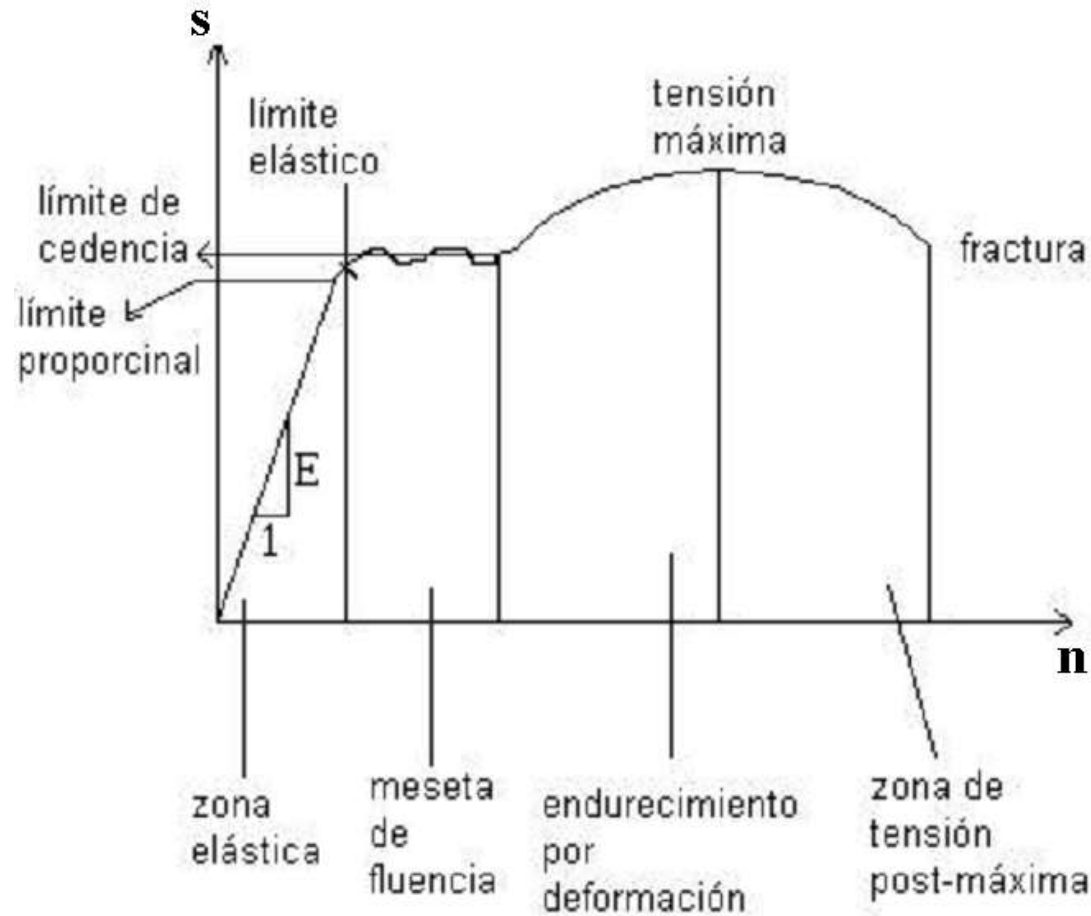
Esfuerzo Ingenieril ($S = F/A_0$): Fuerza axial aplicada sobre el material entre el área transversal a la dirección de la fuerza.

Deformación ingenieril ($n = \Delta l/l_0$): Variación nominal en la longitud por unidad de longitud.

Trabajo en frío: $CW = (A_0 - A_f) / A_0$



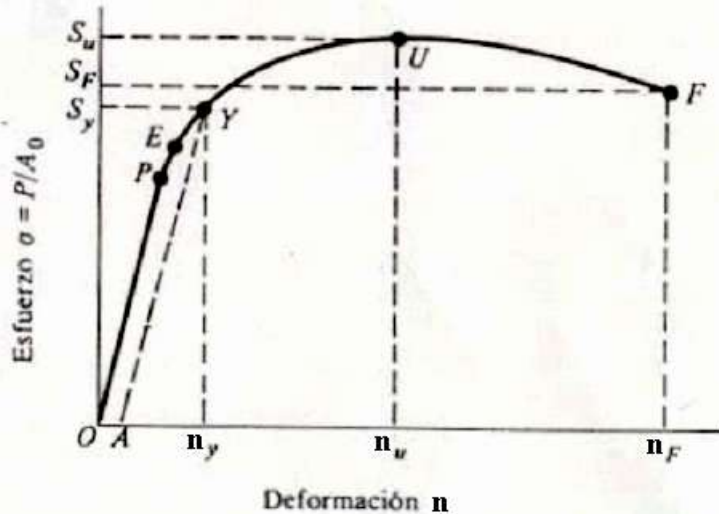
9.2 Ensayo de Tracción. Cuantificación de propiedades mecánicas y endurecimiento por deformación.



Esfuerzo deformación ingenieril



9.2 Ensayo de Tracción. Cuantificación de propiedades mecánicas y endurecimiento por deformación.



Determinación de S_y por el método del Offset 0,2%

$$OA = 0,002 * n_F$$

Se traza una línea paralela a la curva S vs. n en la zona elástica, y el punto donde interceptan las dos curvas es S_y .

Esfuerzo de cedencia o fluencia (S_y): Esfuerzo donde la pendiente s/n deja de ser constante, límite de diseño entre la zona elástica y plástica. Se determina por el método del offset 0,2 %

Esfuerzo Máximo ingenieril (S_u): Esfuerzo donde se inicia la formación del cuello o estrangulación en la probeta de ensayo de tracción.

Esfuerzo de fractura ingenieril (S_f): Esfuerzo que puede soportar el material antes de fracturarse.



9.2 Ensayo de Tracción. Cuantificación de propiedades mecánicas y endurecimiento por deformación.

Esfuerzo-Deformación Real

Principio de Conservación de volumen.

$$l_o \cdot A_o = l_s \cdot A_s = l_u \cdot A_u = l_f \cdot A_f$$

Coefficiente de *Poisson* $\nu = -\varepsilon_x / \varepsilon_y$

Esfuerzo Real (σ): $\sigma = F / A_i$ donde A_i es el área instantánea.

Aplicando conservación de volumen $\rightarrow s = F / (l_o \cdot A_o / l_i)$,

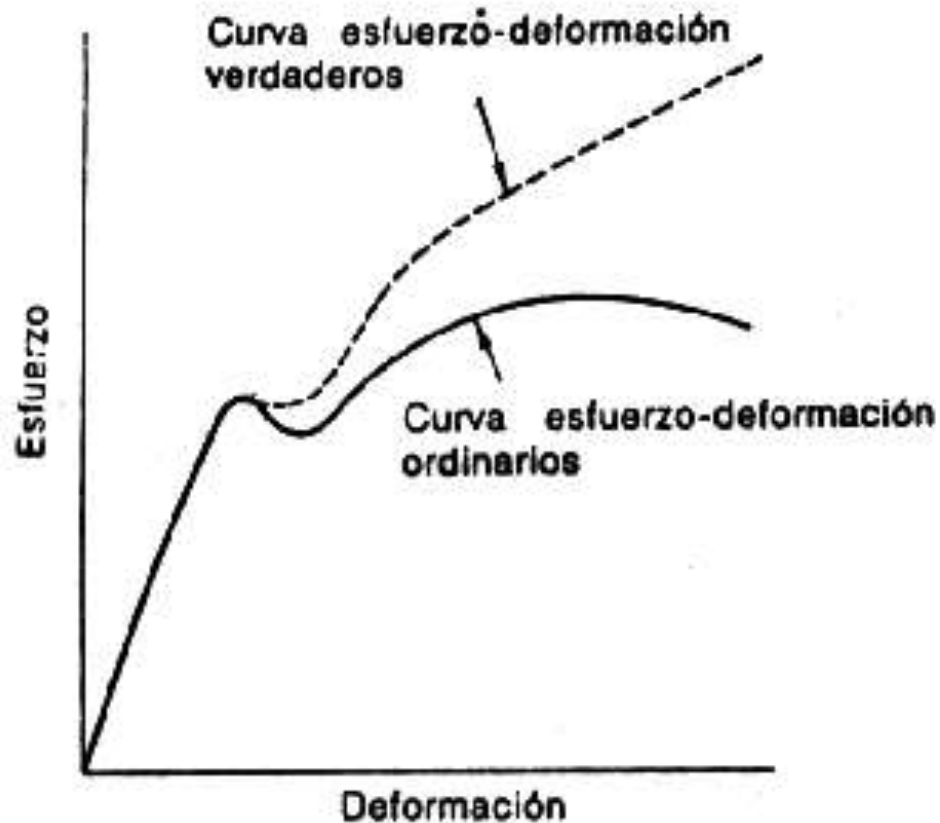
donde $l_i = l_o + \Delta l$, lo cual debe coincidir si en efecto l_o corresponde a la longitud de la sección de prueba.

Deformación Real (ε): $d\varepsilon = dl / l \rightarrow$

$$\varepsilon = \int_{l_o}^{l_i} \frac{1}{l} dl = \ln(l_i) - \ln(l_o) = \ln\left(\frac{l_i}{l_o}\right) = \ln\left(\frac{l_o + \Delta l}{l_o}\right) = \ln\left(\frac{A_o}{A_i}\right)$$



9.2 Ensayo de Tracción. Cuantificación de propiedades mecánicas y endurecimiento por deformación.



S vs. n → Ingenieril
 σ vs. ϵ → Real

Fig. 1.24 Gráfica esfuerzo-deformación verdaderos y esfuerzo-deformación convencionales para un acero dúctil.



9.2 Ensayo de Tracción. Cuantificación de propiedades mecánicas y endurecimiento por deformación.

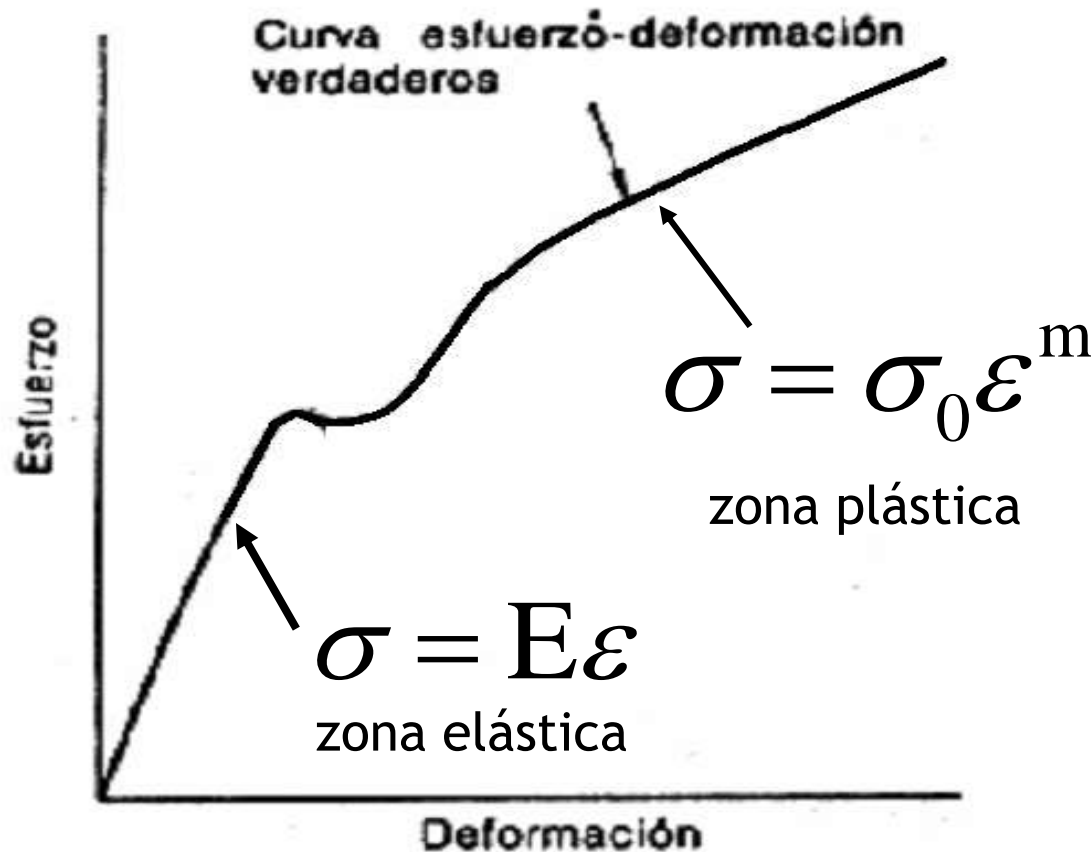


Fig. 1.24 Gráfica esfuerzo-deformación verdadera y esfuerzo-deformación convencionales para un acero dúctil.

Incógnitas:

E = Modulo de elasticidad o modulo de Young.

σ_0 = Esfuerzo necesario para provocar una deformación verdadera unitaria.

m = Coeficiente de endurecimiento por deformación



9.2 Ensayo de Tracción. Cuantificación de propiedades mecánicas y endurecimiento por deformación.

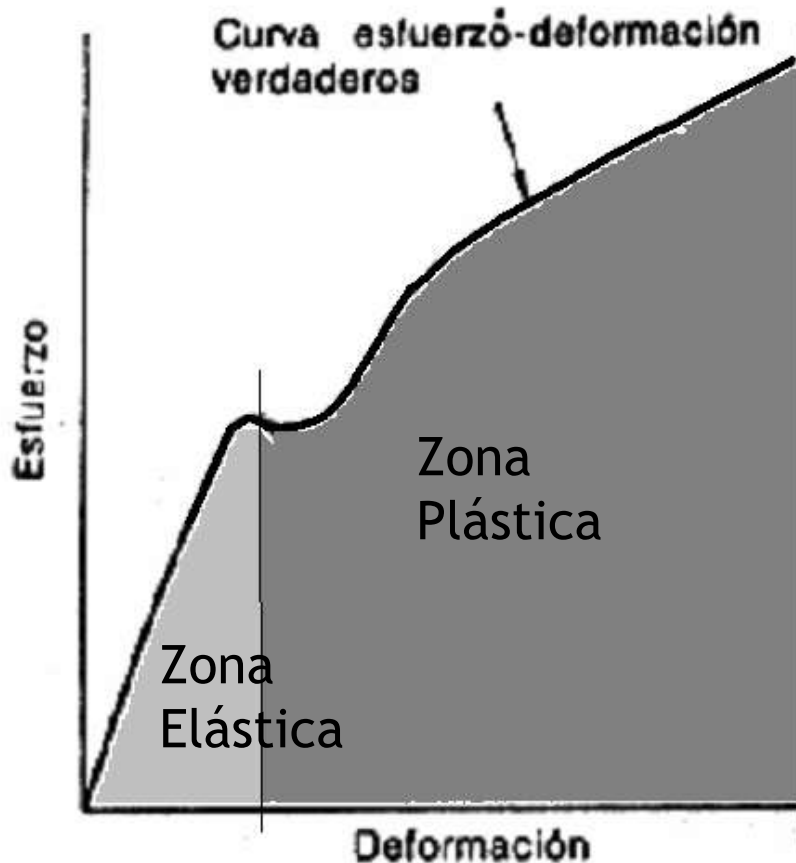


Fig. 1.24 Gráfica esfuerzo-deformación verdaderos y esfuerzo-deformación convencionales para un acero dúctil.

Resiliencia: Energía capaz de absorber un material en la zona elástica, área bajo la curva en la zona elástica.

$$\int_0^{\varepsilon_y} \sigma d\varepsilon = \int_0^{\varepsilon_y} E\varepsilon d\varepsilon$$

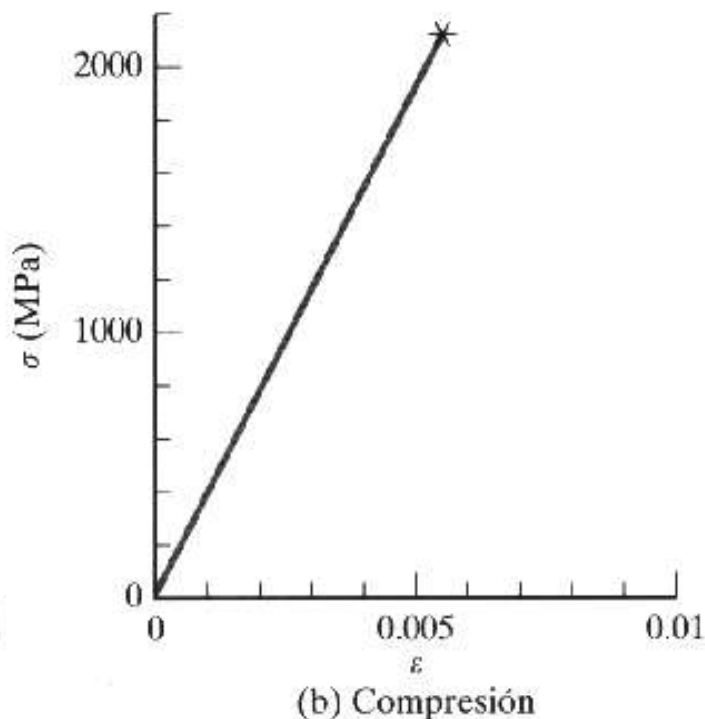
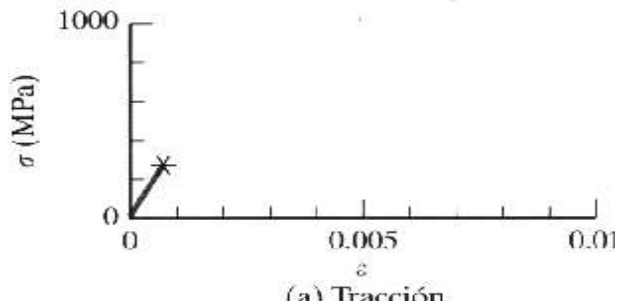
Tenacidad: Energía capaz de absorber un material antes de fracturarse, área bajo la curva en la zona plástica y plástica.

$$\int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = \int_0^{\varepsilon_y} E\varepsilon d\varepsilon + \int_{\varepsilon_y}^{\varepsilon_f} \sigma_0 \varepsilon^m d\varepsilon$$



9.4 Propiedades mecánicas en cerámicas y polímeros

Propiedades Mecánicas en Cerámicas

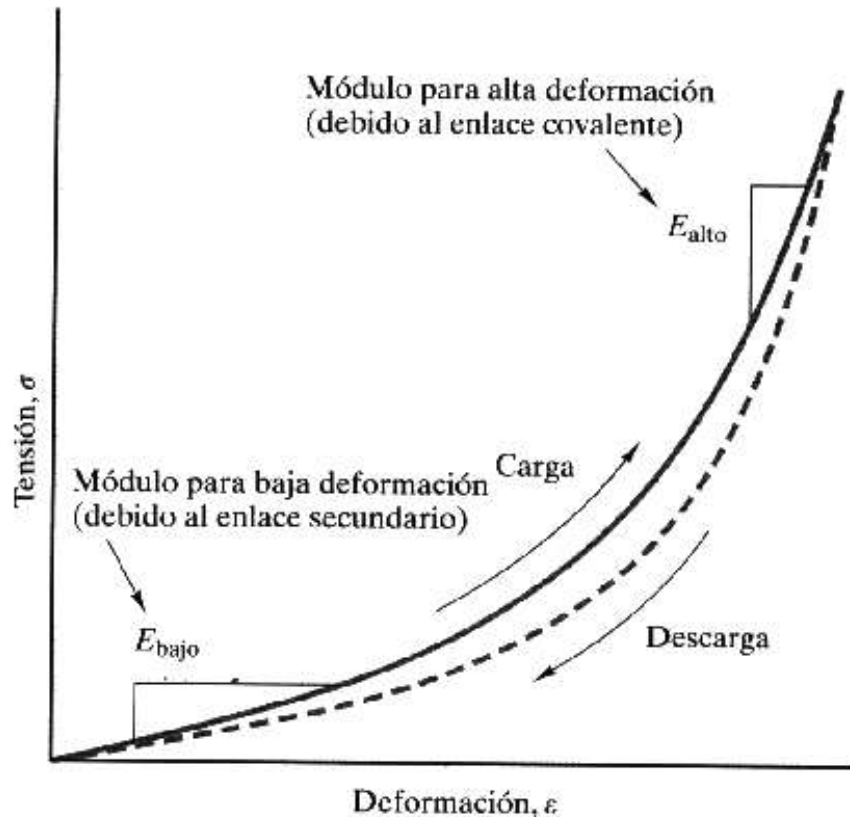


En la presente figura se aprecia el comportamiento a tracción (a) y a compresión (b) de la alúmina. Como todo los materiales cerámicos, la alúmina soporta muy a más esfuerzo a compresión que a tracción, y posee el comportamiento elásticos característico de un material frágil, donde carece de zona plástica, lo cual se debe a la compleja estructura de los cerámicos que limita el número de sistemas de deslizamientos para el movimiento de las dislocaciones.



9.4 Propiedades mecánicas en cerámicas y polímeros

Propiedades Mecánicas en Elastómeros



En la presente figura se aprecia el comportamiento elástico no lineal de los elastómeros. La curva puede ser dividida en dos zonas. La primera, zona de deformación baja corresponde al desenmarañamiento de las moléculas; y la segunda, zona de deformación alta, la cual corresponde al alargamiento de las moléculas. Es de notar que a diferencia de los materiales cristalinos la recuperación de los elastómeros (línea punteada) sigue una trayectoria diferente a la deformación elástica.



Dureza



La dureza se define como la medición de la capacidad de un material de resistir deformación plástica o deformación.

El ensayo se efectúa colocando un indentador o penetrador esférico, cónico o en forma de diamante contra la superficie superior y plana de la pieza y aplicando una carga normalizada según la escala de dureza utilizada.



Las escalas de uso industrial actuales son las siguientes:

- **Dureza Brinell**: Emplea como punta una bola de acero templado o carburo de W. Para materiales duros, es poco exacta pero fácil de aplicar. Poco precisa con chapas de menos de 6mm de espesor. Estima resistencia a tracción.
- **Dureza Rockwell**: Se utiliza como punta un cono de diamante (en algunos casos bola de acero). Es la más extendida, ya que la dureza se obtiene por medición directa y es apto para todo tipo de materiales. Se suele considerar un ensayo no destructivo por el pequeño tamaño de la huella.
- **Rockwell superficial**: Existe una variante del ensayo, llamada Rockwell superficial, para la caracterización de piezas muy delgadas, como cuchillas de afeitar o capas de materiales que han recibido algún tratamiento de endurecimiento superficial.



Dureza Webster: Emplea máquinas manuales en la medición, siendo apto para piezas de difícil manejo como perfiles largos extruidos. El valor obtenido se suele convertir a valores Rockwell.

Dureza Vickers: Emplea como penetrador un diamante con forma de pirámide cuadrangular. Para materiales blandos, los valores Vickers coinciden con los de la escala Brinell. Mejora del ensayo Brinell para efectuar ensayos de dureza con chapas de hasta 2mm de espesor.

Dureza Shore: Emplea un escleroscopio. Se deja caer un indentador en la superficie del material y se ve el rebote. Es adimensional, pero consta de varias escalas. A mayor rebote -> mayor dureza. Aplicable para control de calidad superficial. Es un método elástico, no de penetración como los otros.

Escala de Mohs: En mineralogía se utiliza la escala de Mohs, creada por el austríaco Friedrich Mohs, que mide la resistencia al rayado de los materiales.



Dureza Brinell: Se basa en la medición del diametro de la huella dejada por el indentador de bola de acero o CW.

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

P: carga en Kg, D: diametro indentador (mm), d: diametro de la huella (mm)

Dureza Vickers: Se basa en la medición de la diagonal (d1) de la huella dejada por el indentador de diamante en forma de pirámide

$$D_V = 1,72 \frac{P}{d_1^2}$$

Dureza Rockwell: Se basa en la medición de la profundidad a la cual penetra el indentador. El valor de la dureza Rockwell se mide directamente en el equipo.



Tablas de Conversión de Dureza Basado en Brinell (Aproximado)

Dureza Brinell		Dureza Rockwell				Número de Dureza Diamante Piramidal (Vickers)	Approx. Fuerza Tensil 1000 psi
Diámetro mm 3000 Kg	Tungsteno Carbido 10 mm Ball	A-Scala 60 Kg Brale	B-Scala 100 Kg 1/16" Ball	C-Scala 150 Kg Brale	Superficial 30N		
—	—	86.5	—	70.0	86.0	1076	—
—	—	86.0	—	69.0	85.0	1004	—
—	—	85.6	—	68.0	84.4	940	—
—	—	85.0	—	67.0	83.6	900	—
—	757	84.4	—	65.9	82.7	860	—
2.25	745	84.1	—	65.3	82.2	840	—
—	722	83.4	—	64.0	81.1	800	—
—	710	83.0	—	63.3	80.4	780	—
2.35	682	83.2	—	61.7	79.0	737	—
2.40	653	81.2	—	60.0	77.5	697	—
2.45	627	80.5	—	58.7	76.3	667	323
2.50	601	79.8	—	57.3	75.1	640	309
2.55	578	79.1	—	56.0	73.9	615	297
2.60	555	78.4	—	54.7	72.7	591	285
2.65	534	77.8	—	53.5	71.6	569	274



Dureza

Cont.

2.70	514	76.9	—	52.1	70.3	547	263
2.75	495	76.3	—	51.0	69.4	528	253
2.80	477	75.6	—	49.6	68.2	508	243
2.85	461	74.9	—	48.5	67.2	491	235
2.90	444	74.2	—	47.1	65.8	472	225
2.95	429	73.4	—	45.7	64.6	455	217
3.00	415	72.8	—	44.5	63.5	440	210
3.05	401	72.0	—	43.1	62.3	425	202
3.10	388	71.4	—	41.8	61.1	410	195
3.15	375	70.6	—	40.4	59.9	396	188
3.20	363	70.0	—	39.1	58.7	383	182
3.25	352	69.3	(110.0)	37.9	57.6	372	176
3.30	341	68.7	(109.0)	36.6	56.4	360	170
3.35	331	68.1	(108.5)	35.5	55.4	350	166
3.40	321	67.5	(108.0)	34.3	54.3	339	160
3.45	311	66.9	(107.5)	33.1	53.3	328	155
3.50	302	66.3	(107.0)	32.1	52.2	319	150
3.55	293	65.7	(106.0)	30.9	51.2	309	145
3.60	285	65.3	(105.5)	29.9	50.3	301	141
3.65	277	64.6	(104.5)	28.8	49.3	292	137
3.70	269	64.1	(104.0)	27.6	48.3	284	133



Cont.

3.75	262	63.6	(103.0)	26.6	47.3	276	129
3.80	255	63.0	(102.0)	25.4	46.2	269	126
3.85	248	62.5	(101.0)	24.2	45.1	261	122
3.90	241	61.8	100.0	22.8	43.9	253	118
3.95	235	61.4	99.0	21.7	42.9	247	115
4.00	229	60.8	98.2	20.5	41.9	241	111
4.05	223	59.7	97.3	(18.8)	—	234	—
4.10	217	59.2	96.4	(17.5)	—	228	105
4.15	212	58.5	95.5	(16.0)	—	222	102
4.20	207	57.8	94.6	(15.2)	—	218	100
4.25	201	57.4	93.8	(13.8)	—	212	98
4.30	197	56.9	92.8	(12.7)	—	207	95
4.35	192	56.5	91.9	(11.5)	—	202	93
4.40	187	55.9	90.7	(10.0)	—	196	90
4.45	183	55.5	90.0	(9.0)	—	192	89
4.50	179	55.0	89.0	(8.0)	—	188	87
4.55	174	53.9	87.8	(6.4)	—	182	85
4.60	170	53.4	86.8	(5.4)	—	178	83
4.65	167	53.0	86.0	(4.4)	—	175	81
4.70	163	52.5	85.0	(3.3)	—	171	79
4.80	156	51.0	82.9	(.9)	—	163	76



Resistencia al impacto Ensayo Charpy

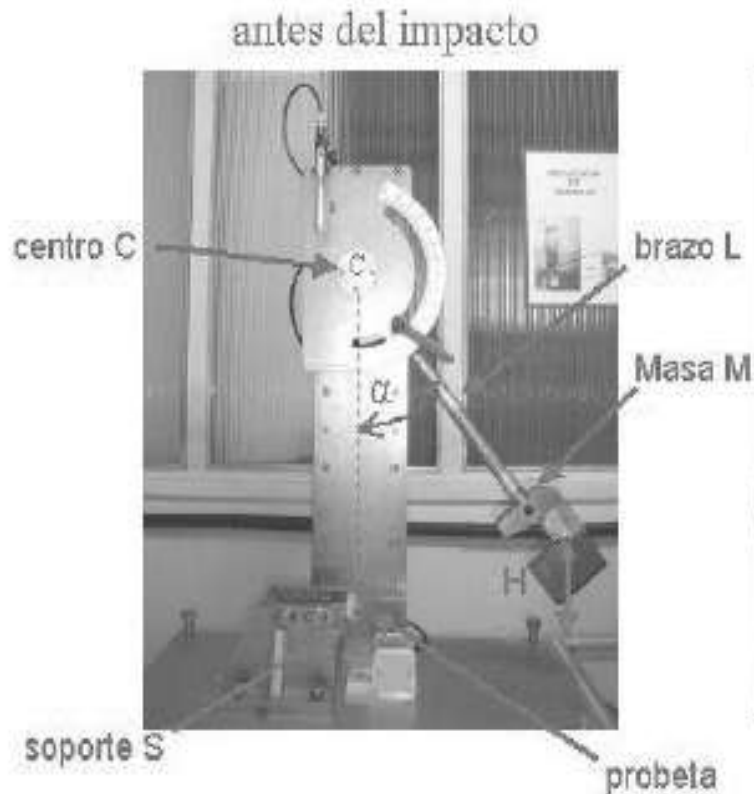


FIGURA 1. Péndulo de Charpy a) antes c

El ensayo Charpy, es una técnica que permite cuantificar la cantidad de energía que puede absorber un material antes de fracturarse, y se puede calcular por medio de la siguiente ecuación.

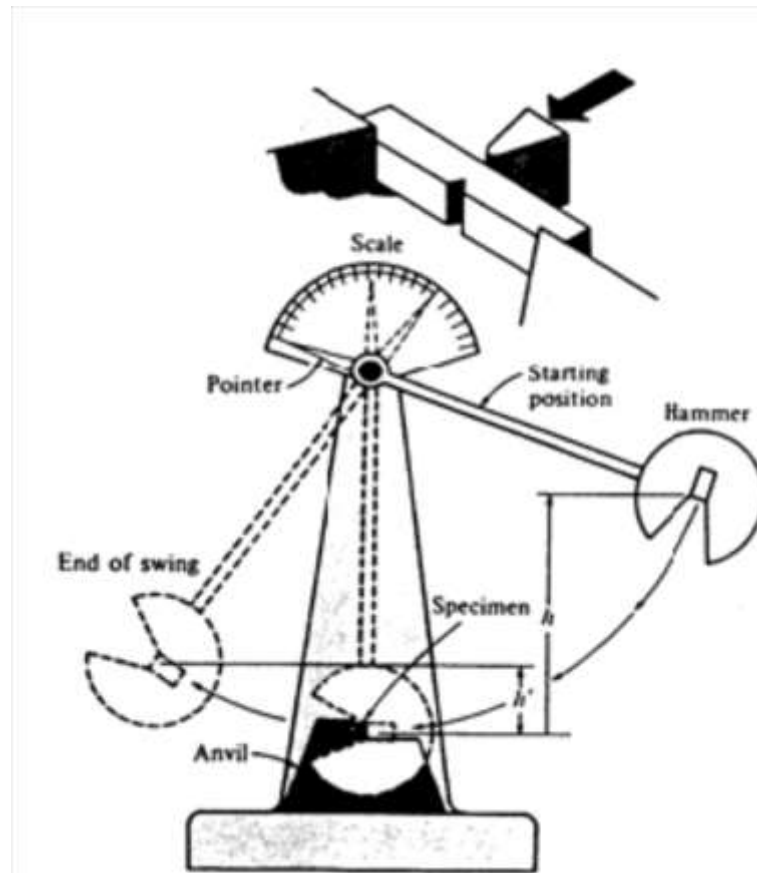
$$E_a = MgL[\cos(\beta) - \cos(\alpha)]$$

Energía capas de absorber un material entes de fracturarse es tenacidad.



Ensayo Charpy

Es un ensayo muy usado para medir la tenacidad de un material. El impacto de un martillo unido a un péndulo rompe la muestra. La diferencia entre la altura inicial y final del péndulo se puede utilizar como un indicador de la energía absorbida en el proceso (tenacidad)



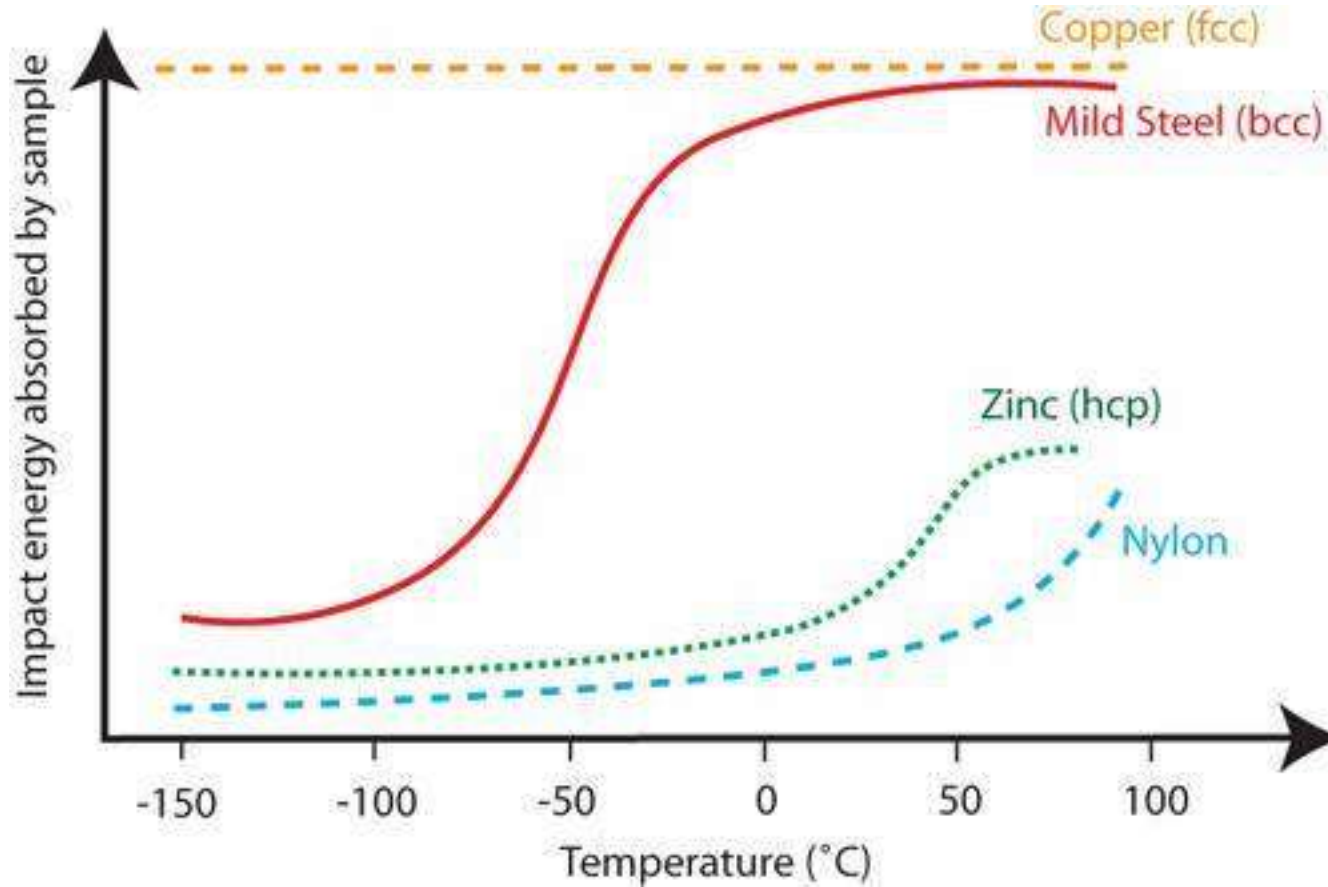


Transición dúctil-frágil

- El Cu (fcc) es tenaz a muy bajas temperaturas (movimiento de dislocaciones es fácil)
 - El Zn (hcp) puede ser frágil a temperatura ambiente (menos sistemas de deslizamiento)
 - El Acero (bcc) es más frágil que el Cu (el deslizamiento es más fácil en materiales fcc que en los bcc).
 - Hay otros factores que afectan a la tenacidad:
 - Impurezas en el acero
 - Tamaño de grano
 - La TT puede variar mucho
 - Aceros para aplicaciones criogénicas ($TT < -150\text{ }^{\circ}\text{C}$)
 - Aceros estructurales ($TT > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)
-

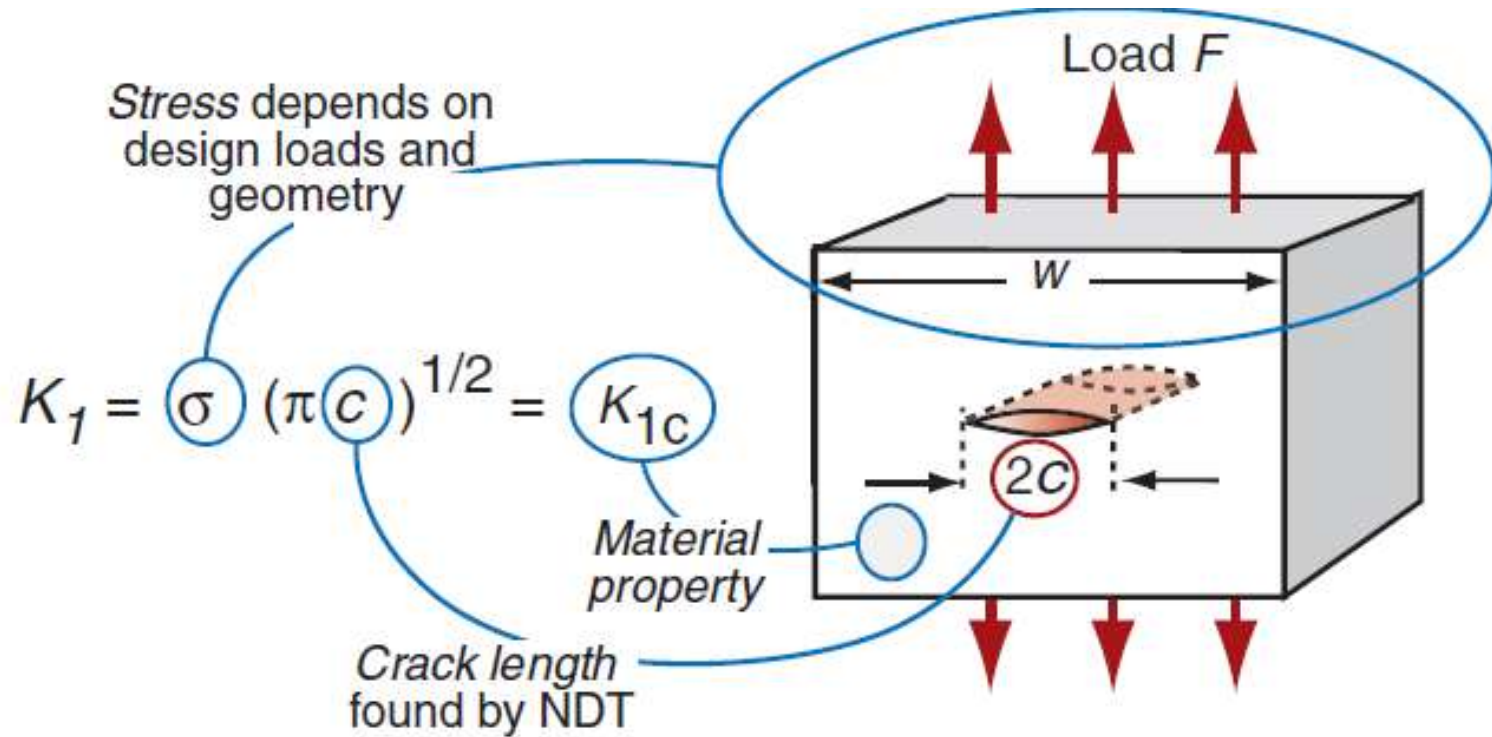


Transición dúctil-frágil





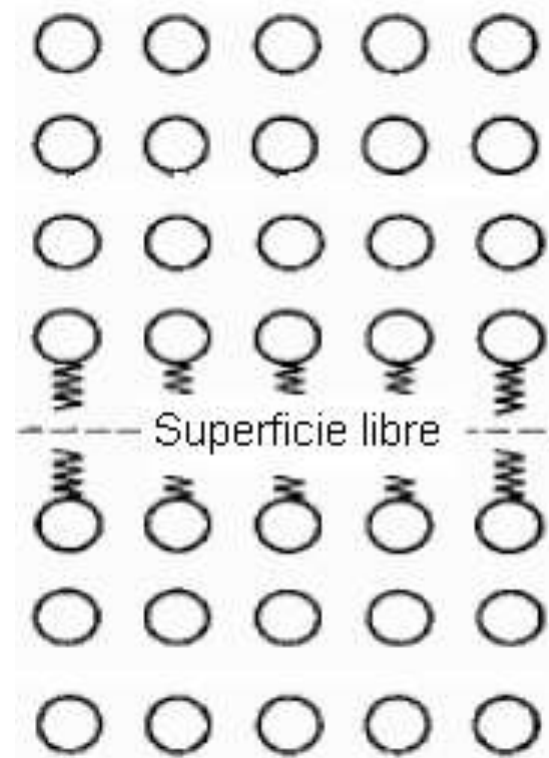
Tenacidad de fractura





Fractura

La fractura es la separación de un cuerpo en dos o más piezas en respuesta a una tensión aplicada que puede ser de tracción, compresión, cizalladura o torsión.



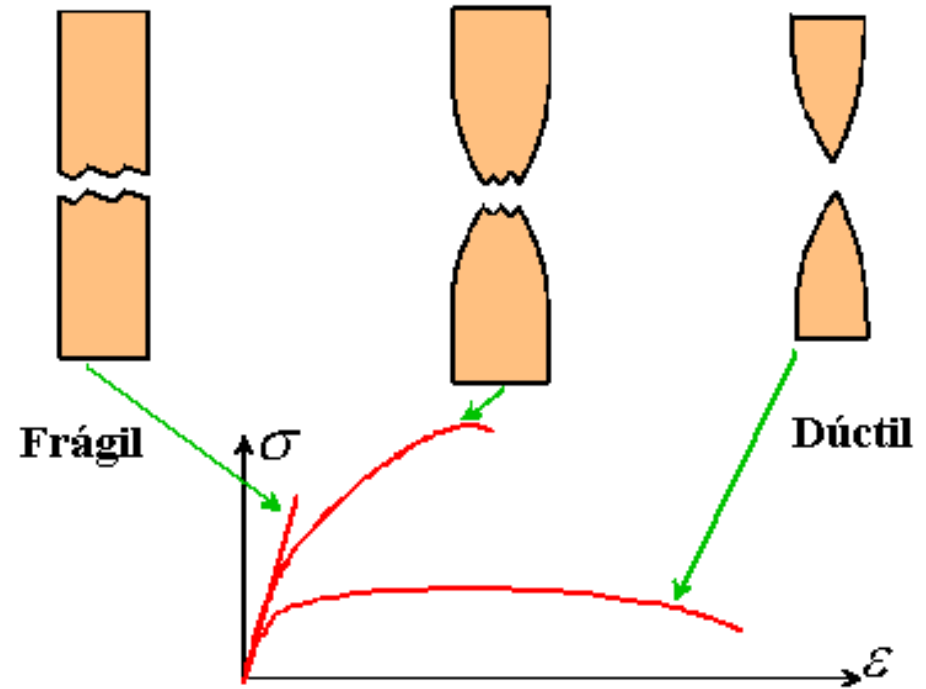


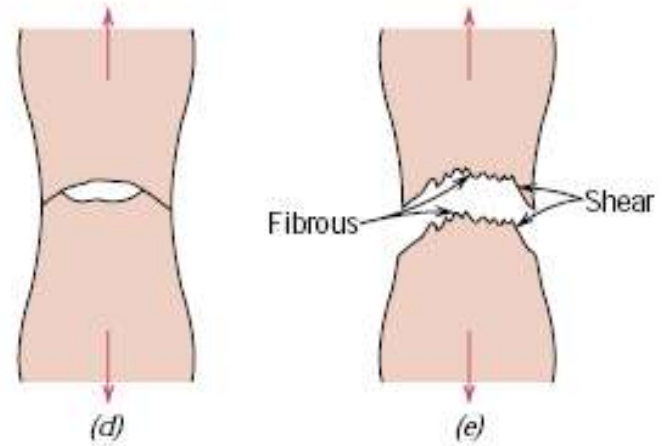
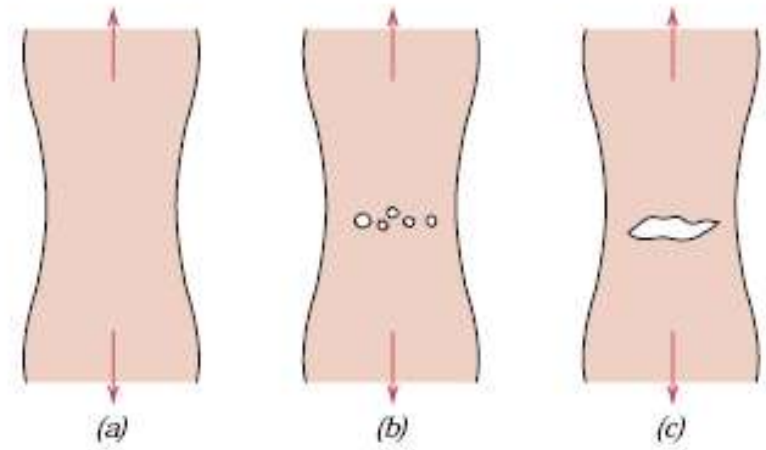
En los materiales de ingeniería, existen dos tipos de fractura: **dúctil y frágil**. La clasificación está basada en la capacidad del material para experimentar deformación plástica.

- ❑ **Materiales dúctiles:** exhiben deformación plástica substancial con muy alta absorción de energía antes de la fractura. Ocurre lentamente a medida que la grieta se extiende. La grieta se dice que es estable porque no se propaga a menos que se aumente la tensión aplicada. Ocurre en la mayoría de los metales a temperaturas no muy bajas.
- ❑ **Materiales frágiles:** muestran poca o ninguna deformación plástica con poca absorción de energía en el proceso de rotura. Las grietas son inestables porque la propagación una vez iniciada, continúa espontáneamente sin un aumento en la tensión aplicada. Típica de materiales cerámicos, vidrio, hielo, metales a temperaturas muy frías.



- La fractura frágil se propaga normal al esfuerzo de tracción. Se observa en metales BCC y HCP, pero no en FCC, a menos que existan factores que fragilicen los bordes de grano.
- Metales policristalinos muy dúctiles como el oro y el plomo pueden estirarse prácticamente hasta formar un punto antes de fallar.
- Metales moderadamente dúctiles se deforman creando un cuello, la fractura se inicia en el centro y se extiende hacia la superficie en 45° formando la conocida fractura “copa-cono”







<http://www.steeluniversity.org/content/html/eng/default.asp?catid=141&pageid=2081271393>



Ciencias de los Materiales I (MT1113)

Sección 2

Quiz N° 1

1. ¿Cuáles son las principales clases de materiales en ingeniería?
Diga 2 de sus propiedades características
2. Mencione cuales son los tipos de enlace atómico.
3. ¿Cuál es la diferencia entre un monocristal y un policristal?
4. Dibuje las estructuras cristalinas BCC y FCC. ¿Qué cantidad de átomos contiene cada una de las celdas unitaria de dichas estructuras?