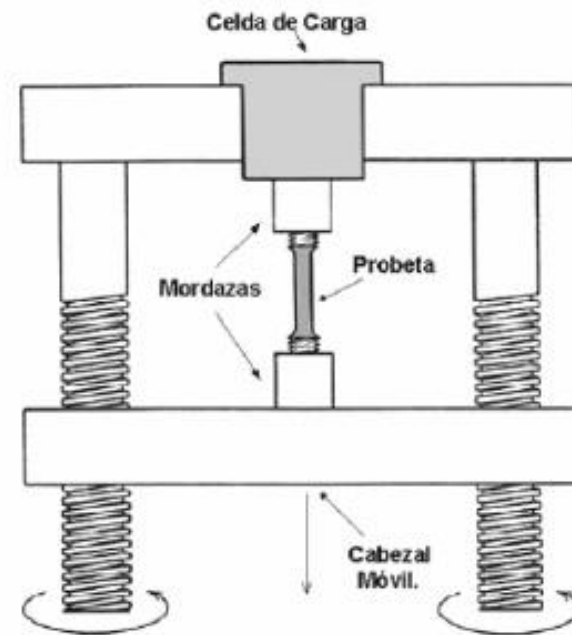
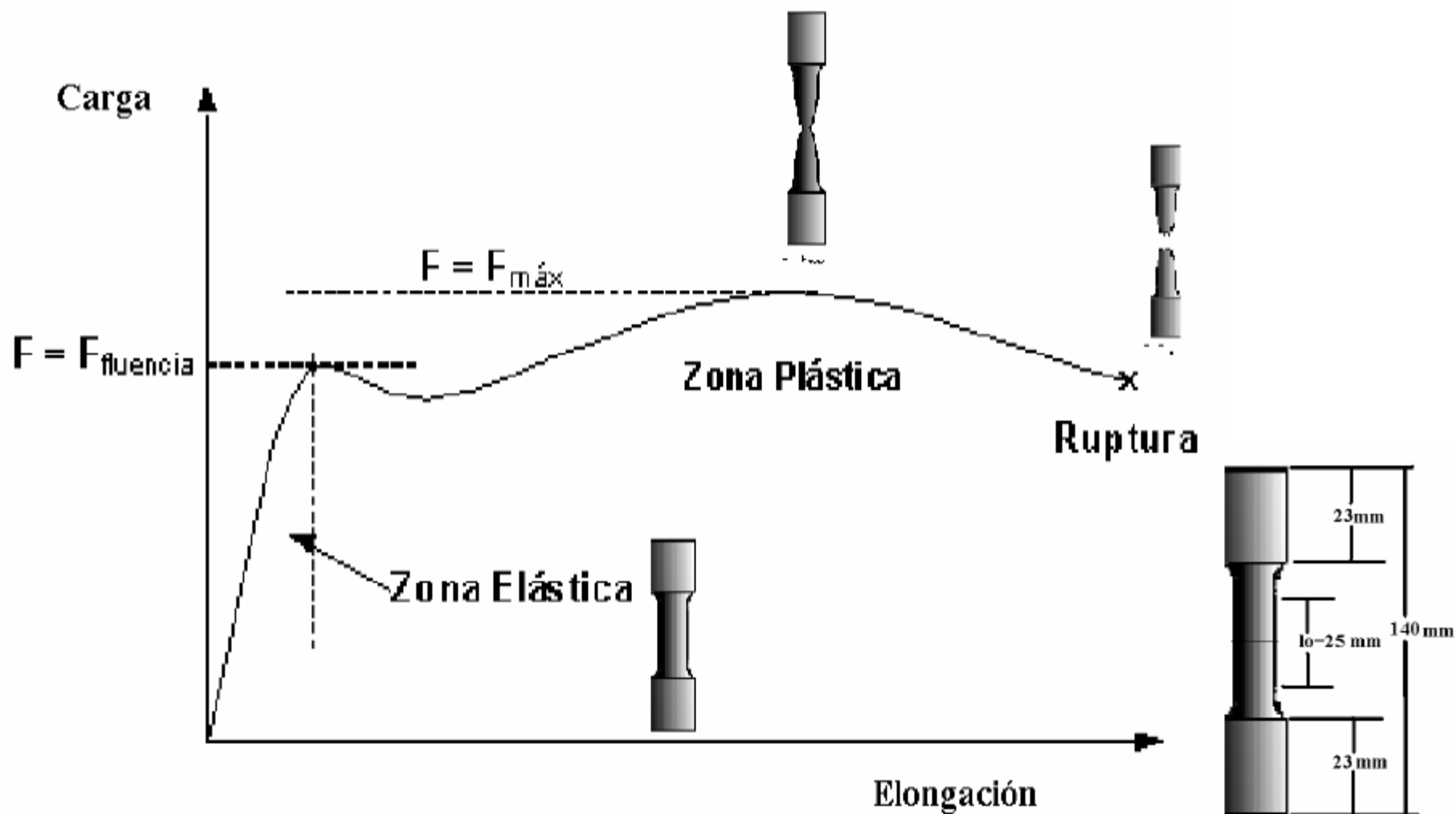


El ensayo de tensión uniaxial

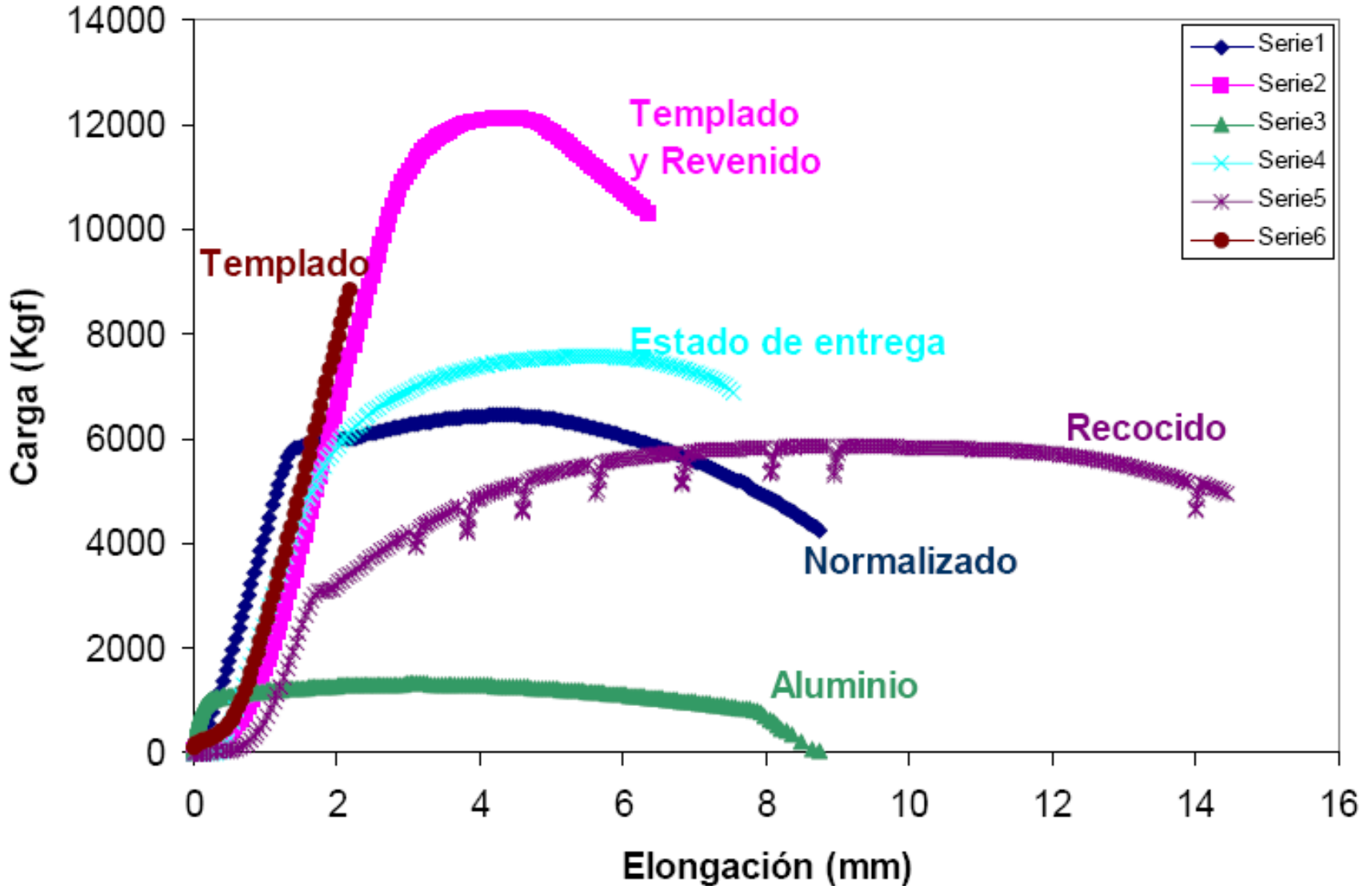
El ensayo de tensión se efectúa en una máquina universal capaz de aplicar una carga axial de tensión o compresión a una probeta, dando como resultado la carga ejercida y la elongación producida en el material durante el ensavado.



El ensayo de tensión uniaxial: Curva de carga vs elongación



Diversos tipos de curvas carga vs. Elongación en metales



El ensayo de tensión uniaxial: Definiciones

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

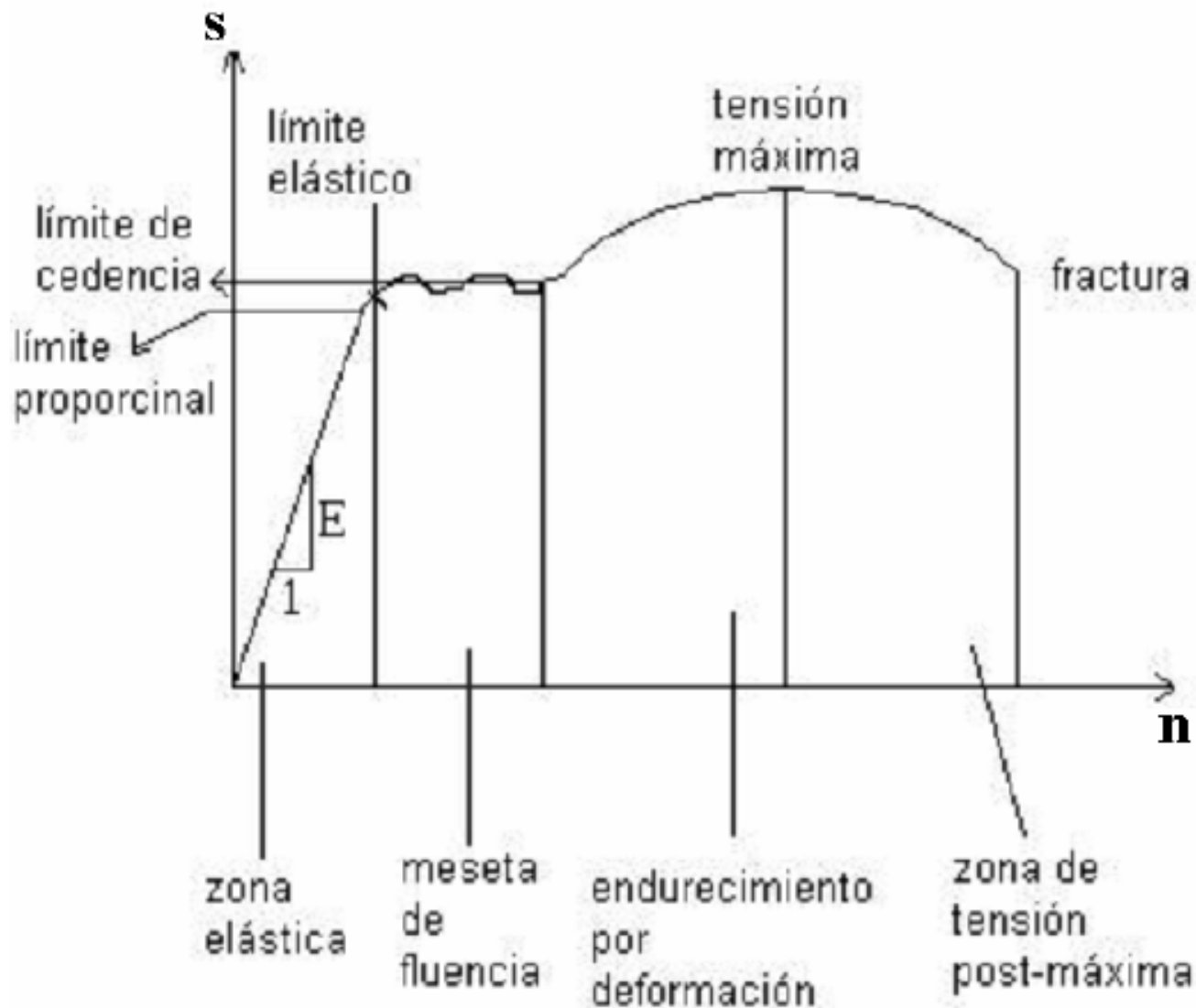
Elongación ($\Delta l = l - l_0$): Variación en la longitud del material sometido a una fuerza axial (m)

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.

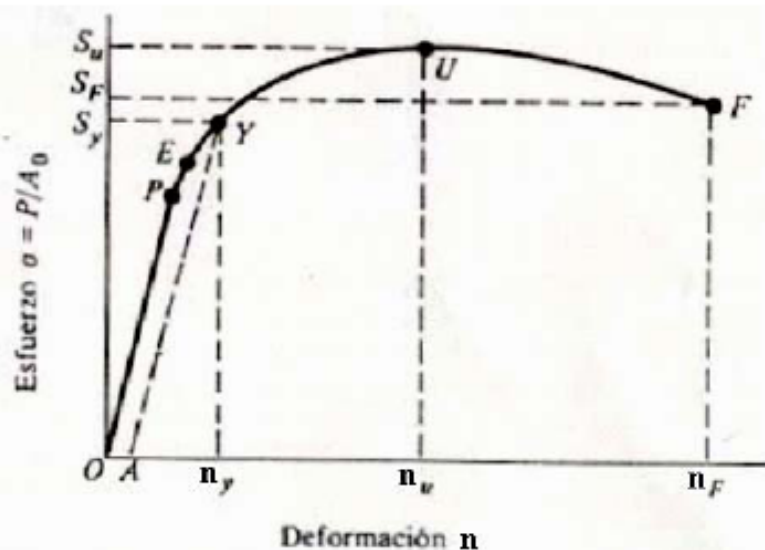
Trabajo en frío: $CW = (A_0 - A_f) / A_0$

El ensayo de tensión uniaxial: Definiciones



Esfuerzo deformación ingenieril

El ensayo de tensión uniaxial: Definiciones



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.

Esfuerzo-deformación: Curva Real

Esfuerzo-Deformación Real

Principio de Conservación de volumen.

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

Coeficiente de Poisson $\nu = -\varepsilon_x / \varepsilon_y$

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

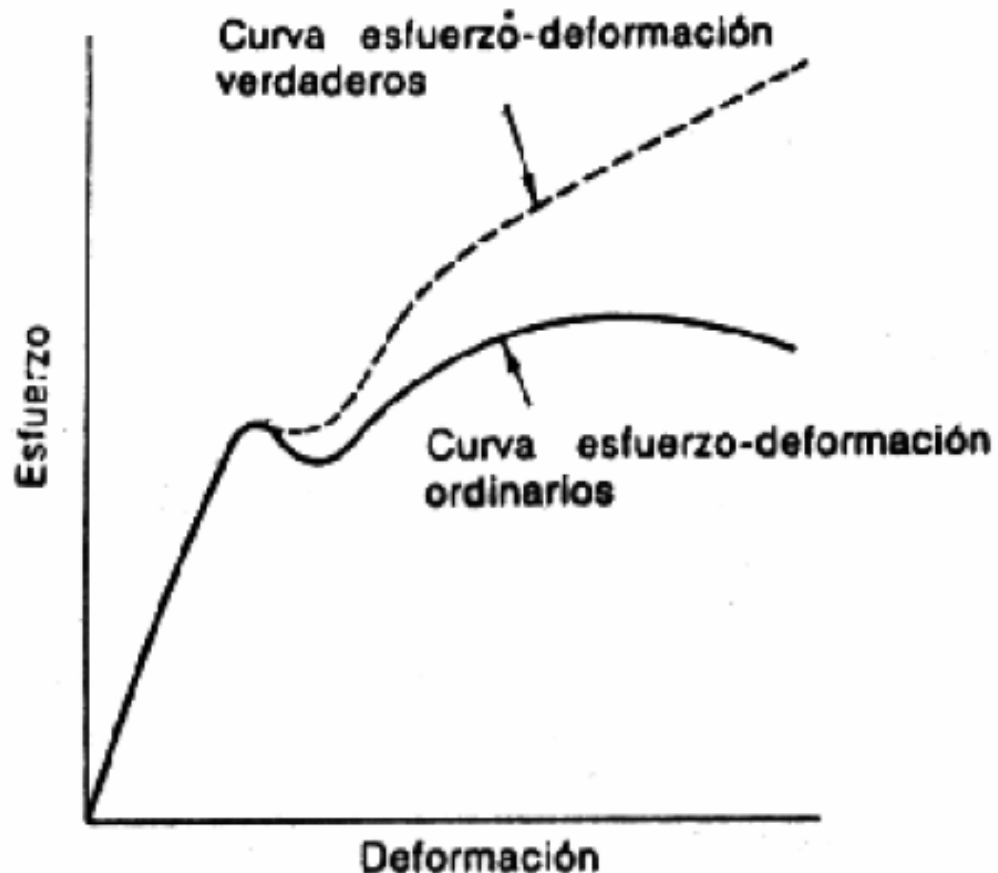
Aplicando conservación de volumen $\rightarrow s = F / (l_o \cdot A_o / l_i)$,

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

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

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

Esfuerzo-deformación: Curva Real

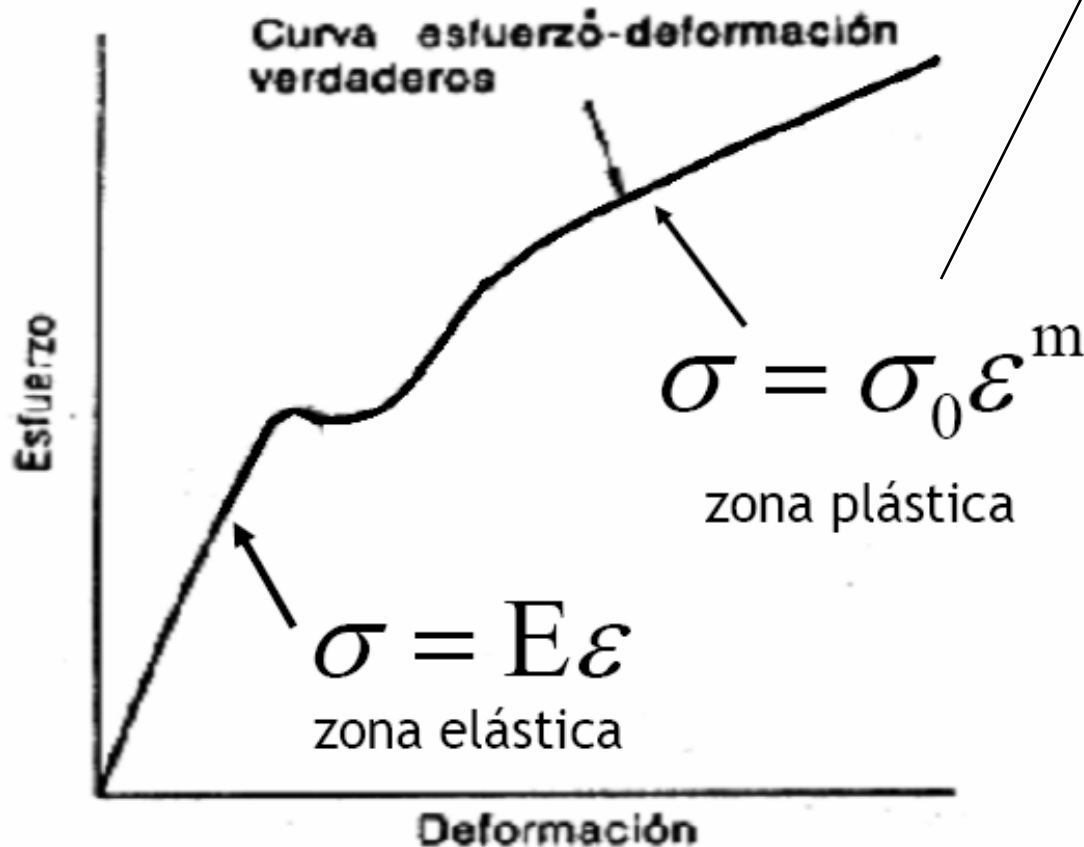


S vs. n → Ingenieril
 σ vs. ϵ → Real

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

Esfuerzo-deformación: Curva Real

Ecuación de Hollomon



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

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

Esfuerzo-deformación: Curva Real

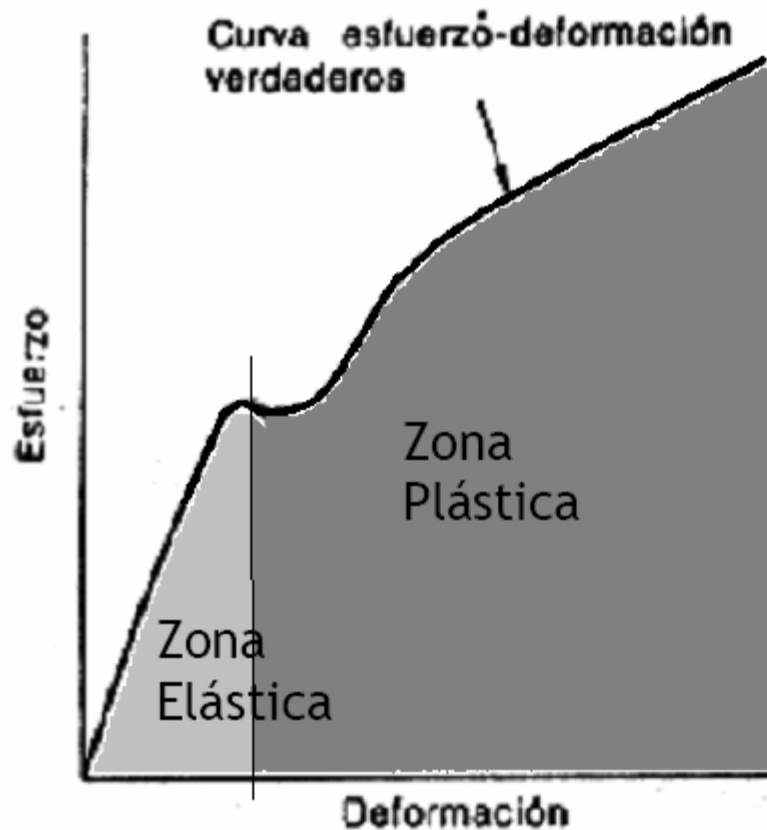


Fig. 1.24 Gráfica esfuerzo-deformación verdaderos y esfuerzo-deformación convencionales para un acero dúctil.

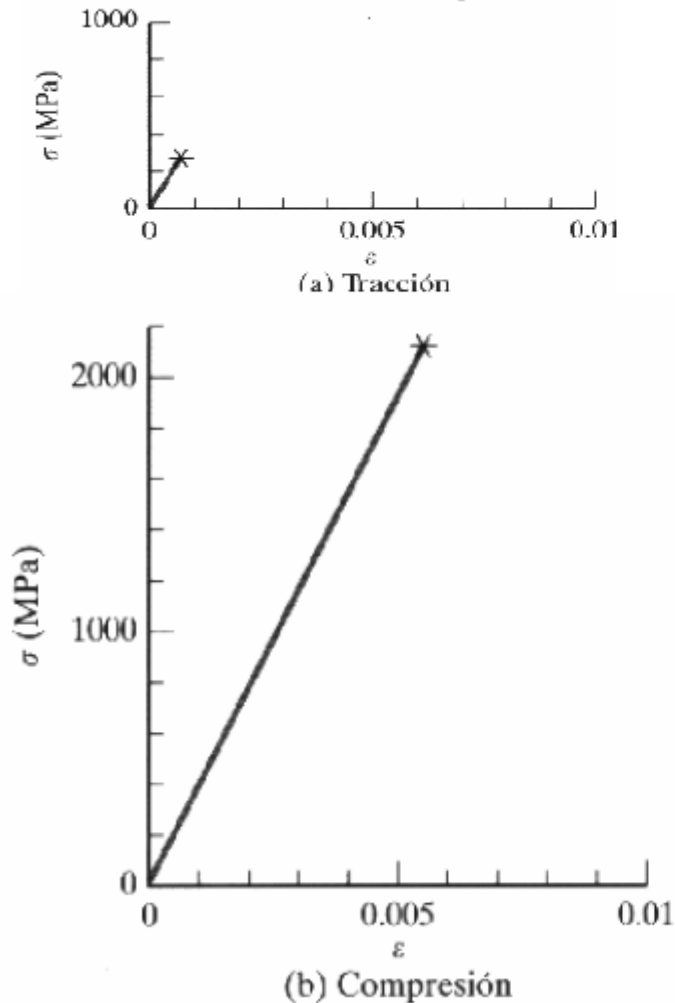
Resiliencia: Energía capaz de absorber un material en la zona elástica, área bajo la curva en la zona elástica.

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

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

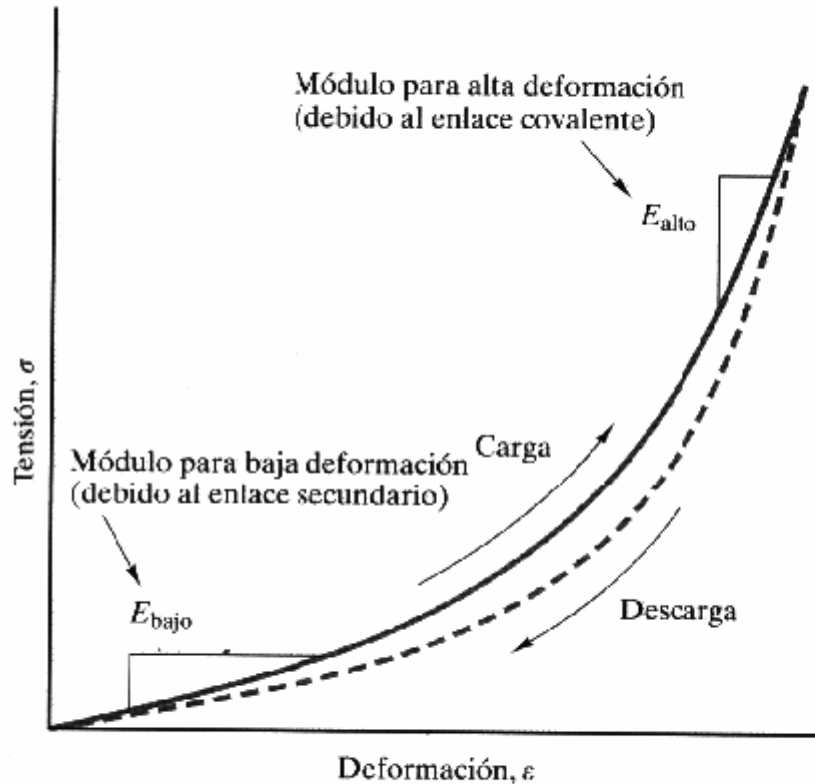
$$\int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon = \int_0^{\varepsilon_y} E\varepsilon d\varepsilon + \int_{\varepsilon_y}^{\varepsilon_f} \sigma_0 \varepsilon^m d\varepsilon$$

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 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.

Propiedades Mecánicas en Elastómeros

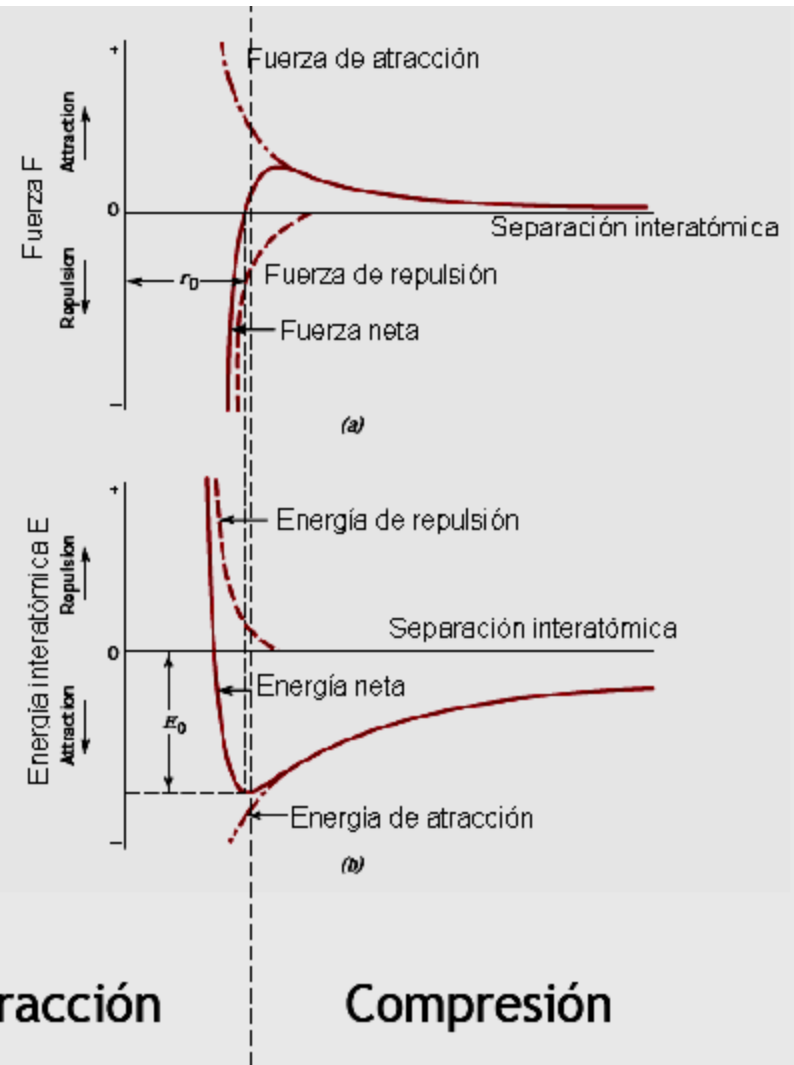


En la presente figura se aprecia el comportamiento elástico no lineal de los elastómeros. La curva puede ser dividida en dos zonas. La primera, zona de deformación baja, corresponde al desenmarañamiento de las moléculas; y la segunda, zona de deformación alta, la cual corresponde al alargamiento de las 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.

Bases de la deformación elástica: El enlace atómico

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

$$S = E\epsilon$$



Bases de la deformación elástica: El enlace atómico

Es decir, las deformaciones macroscópicas elásticas, son el resultado de un cambio en el espaciado interatómico por efecto de un esfuerzo.

La deformación macroscópica elástica en una dirección dada es:

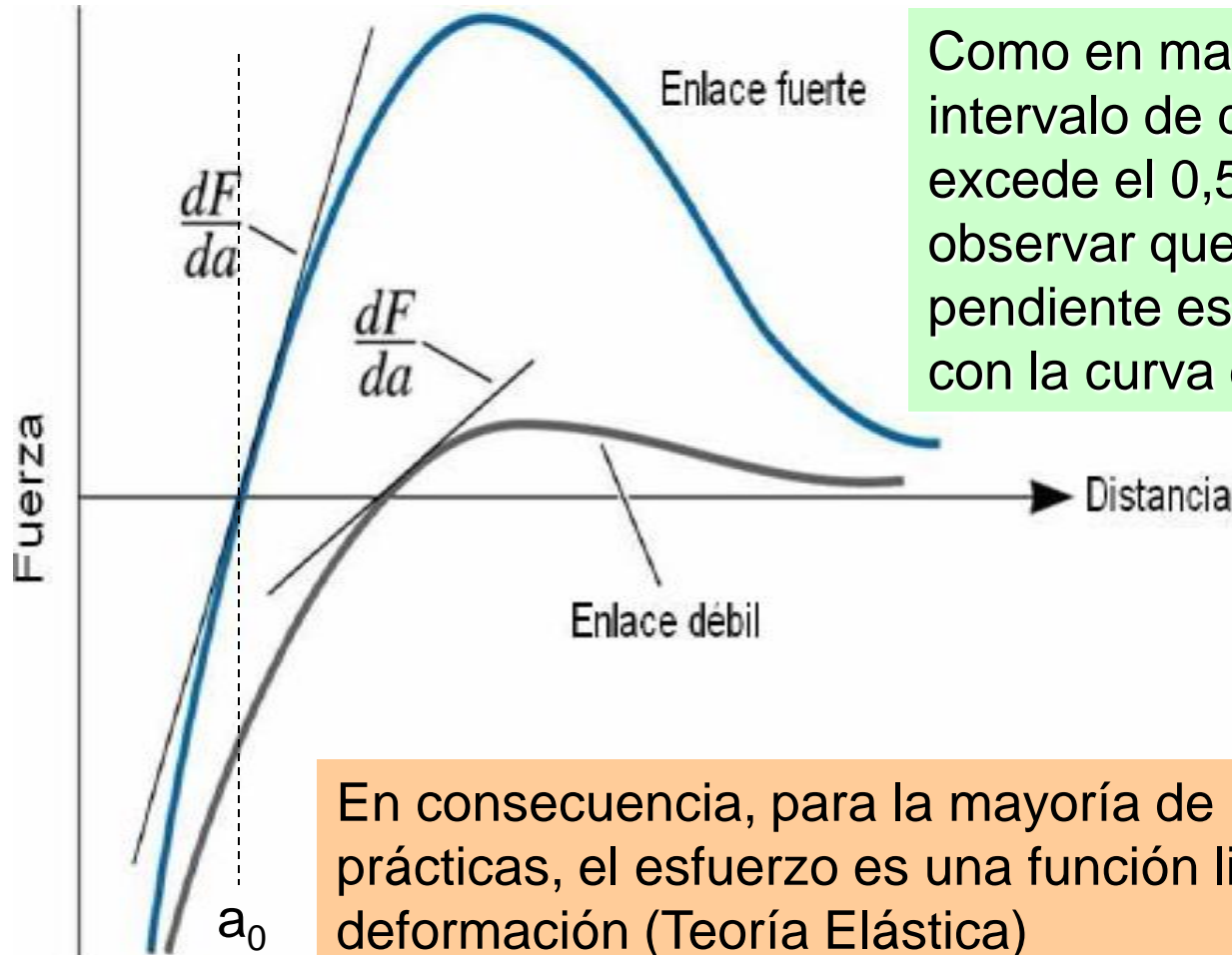
$$\frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Es igual al cambio fraccionario promedio del espaciado interatómico en esa misma dirección

$$\frac{r - r_0}{r_0} = \frac{\Delta r}{r_0}$$

Bases de la deformación elástica: El enlace atómico

El módulo de Young (E) es proporcional a la pendiente de la curva de fuerza de enlace en el valor de equilibrio r_0

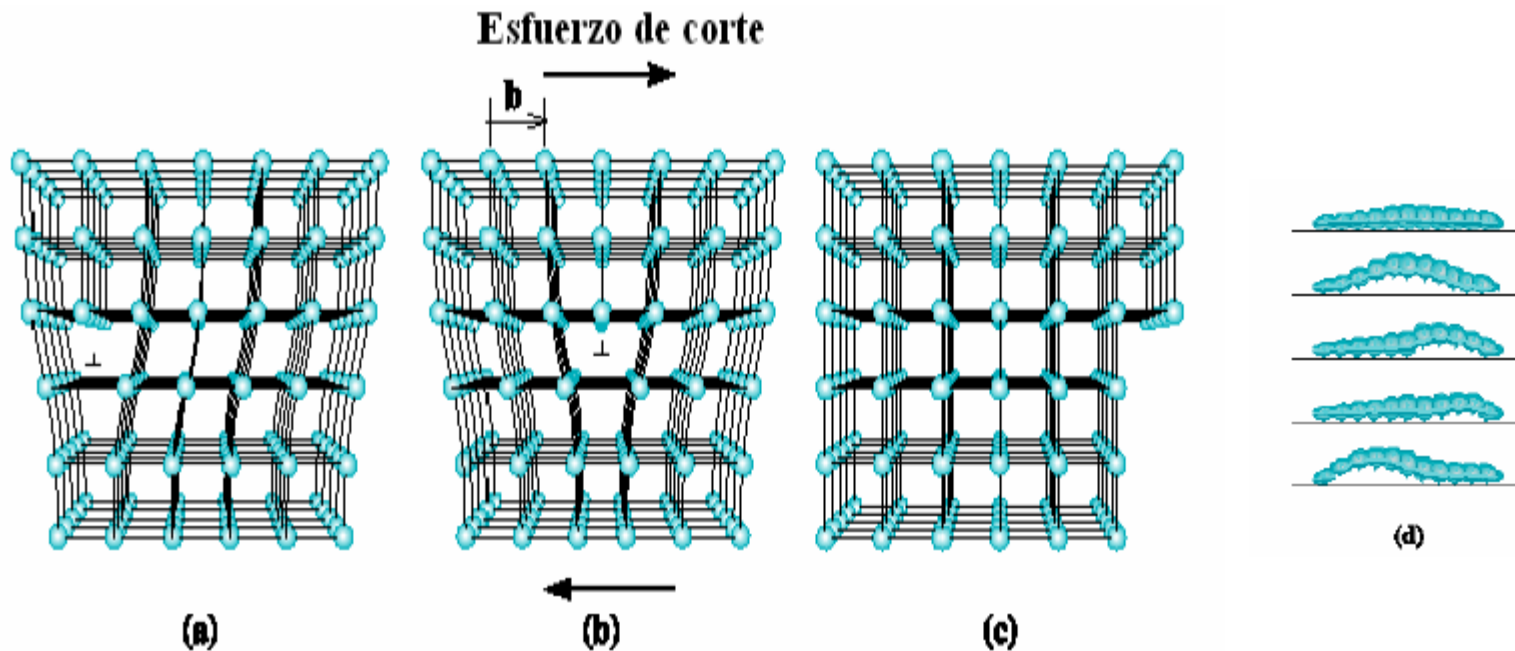


Como en materiales cristalinos el intervalo de deformación elástica excede el 0,5%, se puede observar que para dicho rango la pendiente es constante (coincide con la curva de fuerza).

En consecuencia, para la mayoría de las situaciones prácticas, el esfuerzo es una función lineal de la deformación (Teoría Elástica)

Bases de la deformación plástica: Dislocaciones

Zona Plástica: Es la zona comprendida en el intervalo de carga en donde el material experimenta una deformación permanente, en donde el material no se recupera al retirar la carga. Los mecanismo fundamental asociado a la deformación plástica son la **generación y deslizamientos de dislocaciones** y el mecanismo de deformación por maclaje.



Defectos de la red cristalina y su efecto sobre la deformación plástica

Importancia de las dislocaciones

- Es un mecanismo para la deformación plástica de los metales, ya que el esfuerzo aplicado causa el movimiento de las dislocaciones.
- El deslizamiento explica porque la resistencia de los metales es mucho mas baja que el valor calculado a partir de la unión metálica (rompimiento de enlaces) [$10^3 - 10^4$ más baja que la resistencia teórica]
- El deslizamiento proporciona ductilidad a los metales, de lo contrario éstos serian frágiles y no podrían ser conformados
- Se controlan las propiedades mecánicas de un metal o aleación interfiriendo el movimiento de las dislocaciones (un obstáculo introducido en el cristal evita que una dislocación se deslice, a menos que se apliquen esfuerzos mayores, por lo tanto aumenta la resistencia).

Defectos de la red cristalina y su efecto sobre la deformación plástica

Importancia de los defectos puntuales

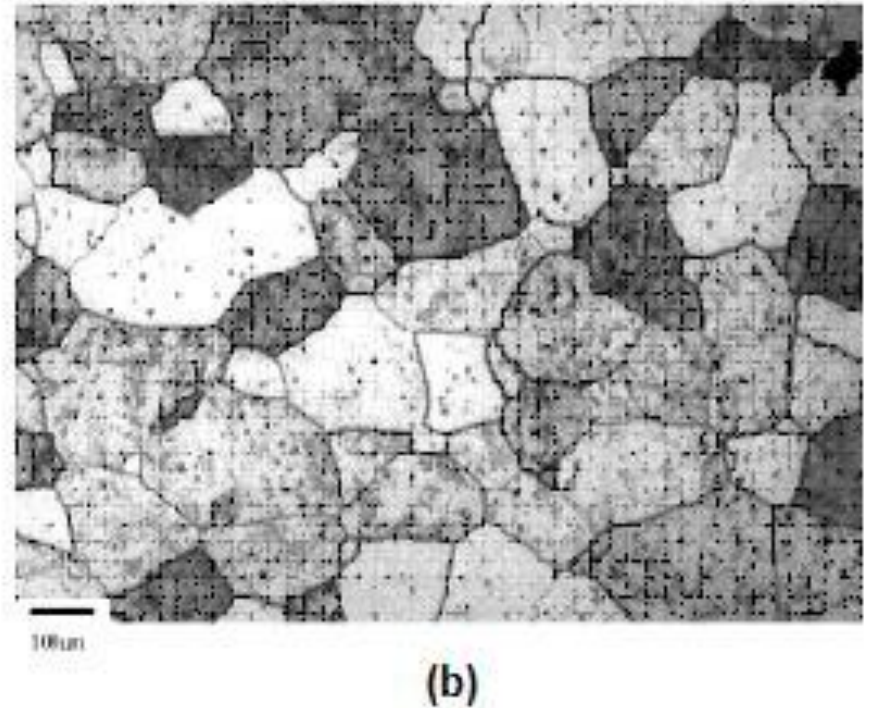
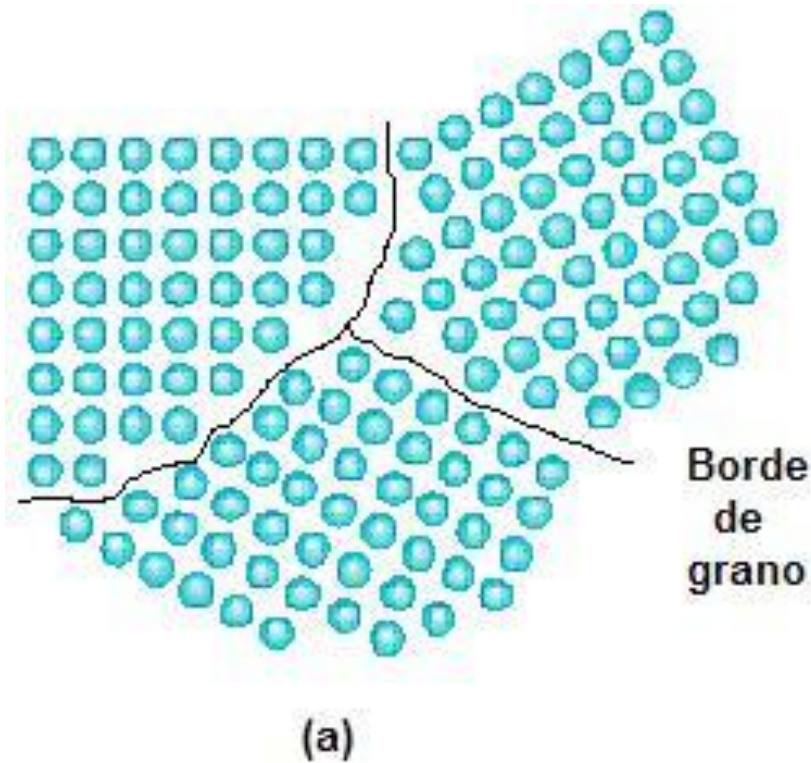
- Los defectos puntuales alteran el arreglo perfecto de los átomos circundantes, distorsionando la red a lo largo de cientos de espaciamentos atómicos, a partir del defecto.
- Una dislocación que se mueva a través de las cercanías de un defecto puntual encuentra una red en la cual los átomos no están en sus posiciones de equilibrio.
- Esta alteración requiere que se aplique un esfuerzo mayor para que la dislocación venza al defecto, incrementando así la resistencia y dureza del material

Defectos de la red cristalina y su efecto sobre la deformación plástica

Defectos de superficie

- Son los límites o los planos que separan un material en regiones, cada región tiene la misma estructura cristalina, pero distinta orientación
- Las dimensiones exteriores del material representan superficies en donde termina el cristal. Cada átomo en la superficie ya no tiene el número adecuado de coordinación y se interrumpe el enlazamiento atómico
- El límite de grano, que es la superficie que separa los granos individuales, es una zona angosta donde los átomos no tienen la distancia correcta entre sí, existen zonas de compresión y otras de tracción.

Defectos de la red cristalina y su efecto sobre la deformación plástica



(a) Esquema que muestra el ordenamiento de los átomos en la formación del borde de grano. (b) Granos y límites de grano en una muestra de acero inoxidable.

Defectos de la red cristalina y su efecto sobre la deformación plástica

Un método para controlar las propiedades de un material es controlar el tamaño del grano, ya sea durante la solidificación o durante el tratamiento térmico.

En metales los límites de grano se originan durante la solidificación cuando los cristales formados a partir de diferentes núcleos crecen simultáneamente juntándose unos con otros

Al reducir el tamaño de grano, se aumenta la resistencia del material, ya que no permiten el deslizamiento de las dislocaciones

Un material con un tamaño de grano grande tiene menor resistencia y menor dureza.

Defectos de la red cristalina y su efecto sobre la deformación plástica

Importancia de los defectos

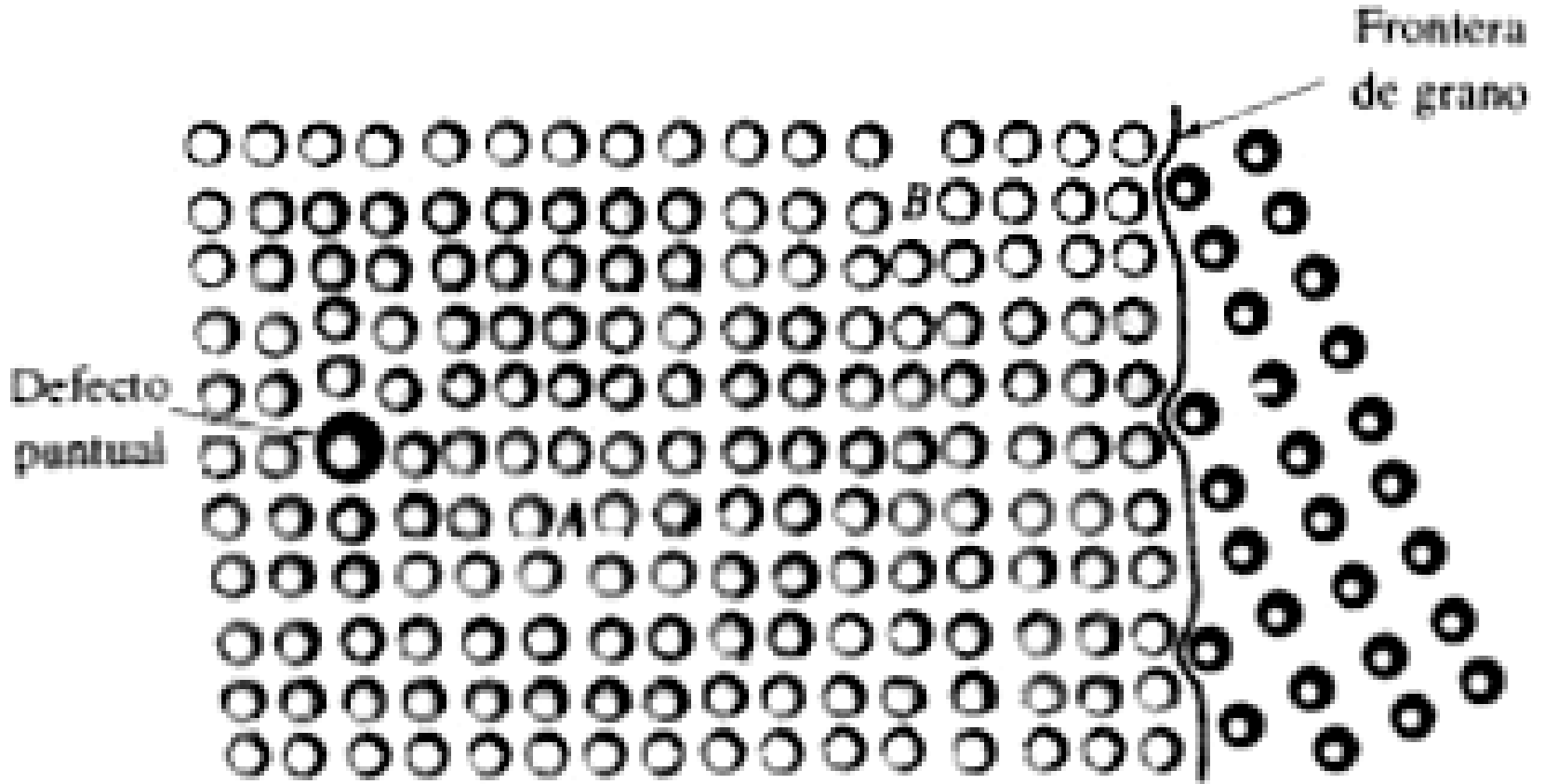
En los materiales metálicos, los defectos como las dislocaciones, defectos puntuales y límites de grano sirven como obstáculo a las dislocaciones.



Es posible controlar la resistencia de un material metálico controlando la cantidad y el tipo de imperfección

- Endurecimiento por deformación
- Endurecimiento por solución sólida
- Endurecimiento por tamaño de grano

Defectos de la red cristalina y su efecto sobre la deformación plástica



Si la dislocación en el punto A se mueve hacia la izquierda, será bloqueada por el defecto puntual. Si se mueve hacia la derecha, interactúa con la red perturbada cerca de la dislocación, en el punto B. Si se mueve aún más hacia la derecha, quedará bloqueada por el borde de grano.

Defectos de la red cristalina y su efecto sobre la deformación plástica

Endurecimiento por deformación

Los átomos vecinos a una línea de dislocación están en compresión y/o tracción.



Se requieren esfuerzos mayores para mover una dislocación cuando se encuentra con otra dislocación

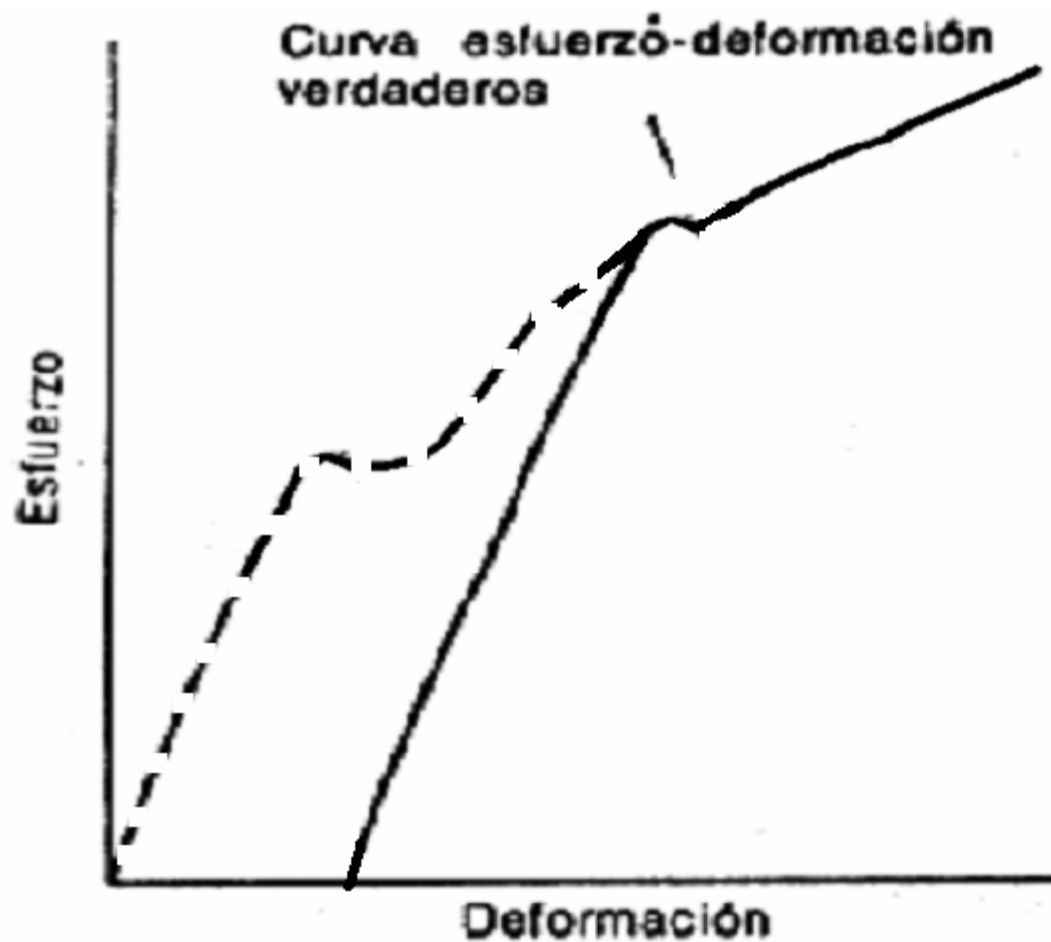


Al incrementar el número de dislocaciones, se aumenta la resistencia del material




Metal más resistente

Trabajo en frío de los Metales



Trabajo en frío de los Metales

- Deformación o trabajado mecánico que ocurre a una temperatura "fría" en relación a la temperatura de fusión del metal.
- Se genera el endurecimiento del metal o aleación al incrementar el número de dislocaciones.
- La densidad de dislocaciones aumenta de 10^7 cm^{-2} hasta 10^{12} cm^{-2} . 
- La mayoría de los metales se endurecen por deformación a temperatura ambiente

Trabajo en frío de los Metales

Endurecimiento por deformación

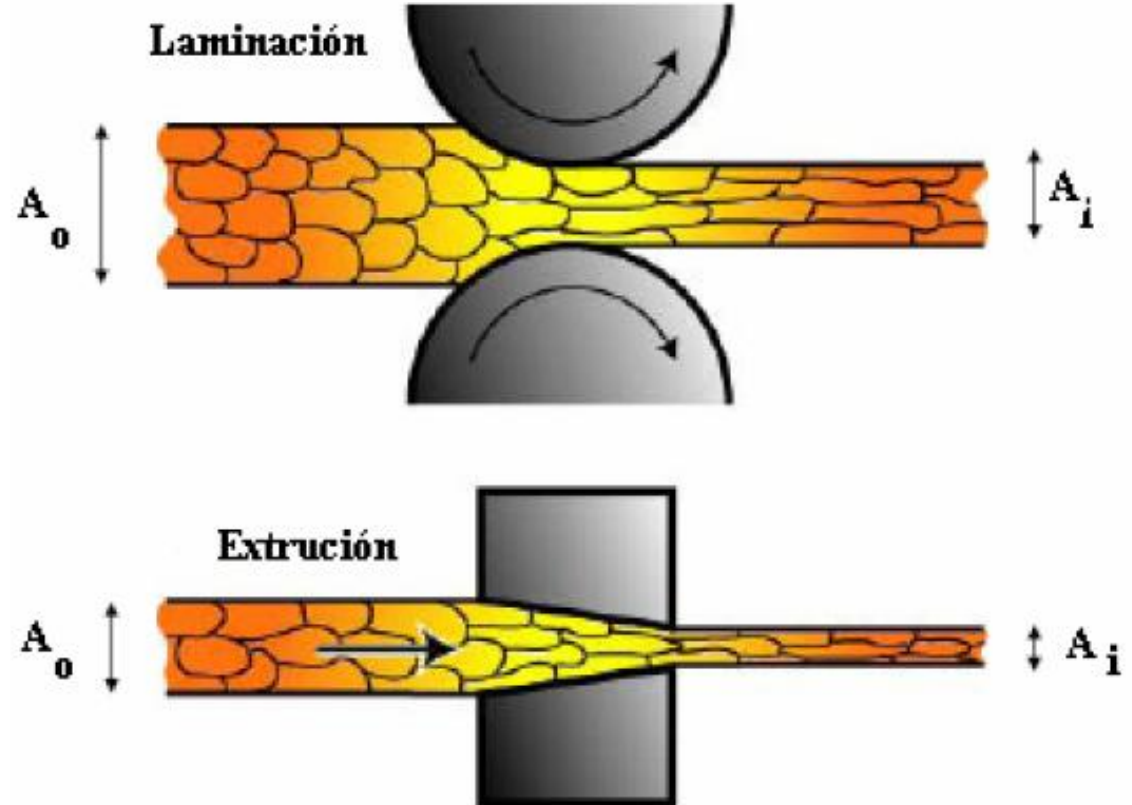
- La deformación plástica de un material metálico policristalino a temperaturas que son bajas respecto a la temperatura absoluta de fusión produce cambios en la microestructura y en las propiedades.
 1. La forma del grano
 2. El endurecimiento por deformación
 3. Aumento en la densidad de dislocaciones
 4. Una fracción de la energía consumida en la deformación es almacenada en el metal como energía de deformación, asociada con las zonas de tracción, compresión y cizalladura alrededor de las dislocaciones creadas.
 5. Otras propiedades tales como la conductividad eléctrica y la resistencia a la corrosión pueden modificarse como consecuencia de la deformación plástica.

Trabajo en frío de los Metales

Endurecimiento por deformación

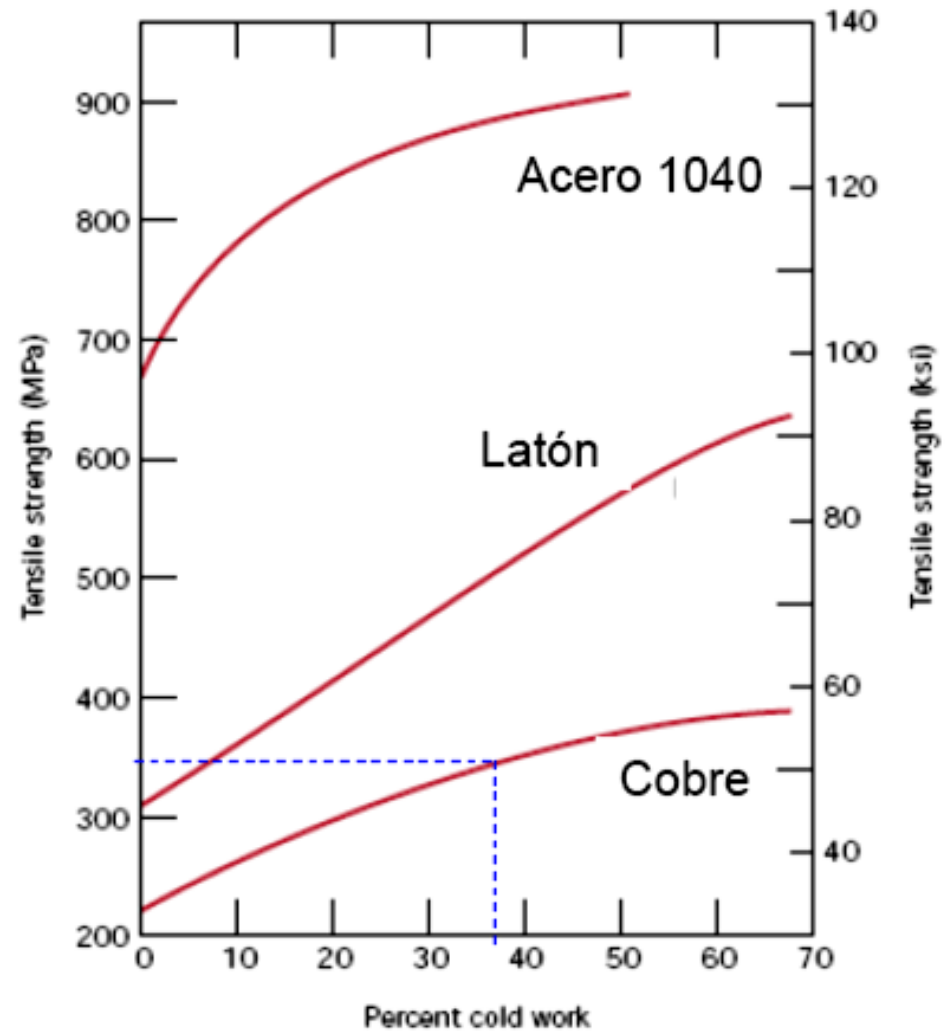
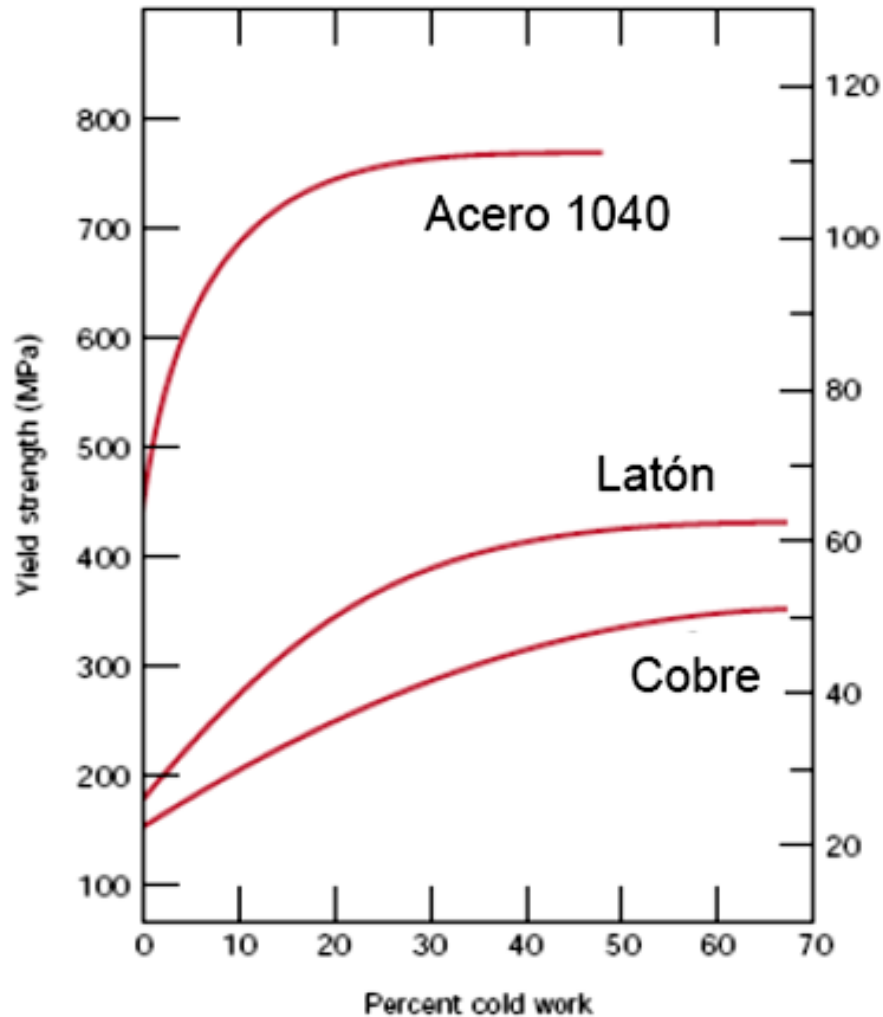
El % de deformación se mide por la reducción de área

$$\%df = \frac{A_0 - A_d}{A_0} \times 100$$



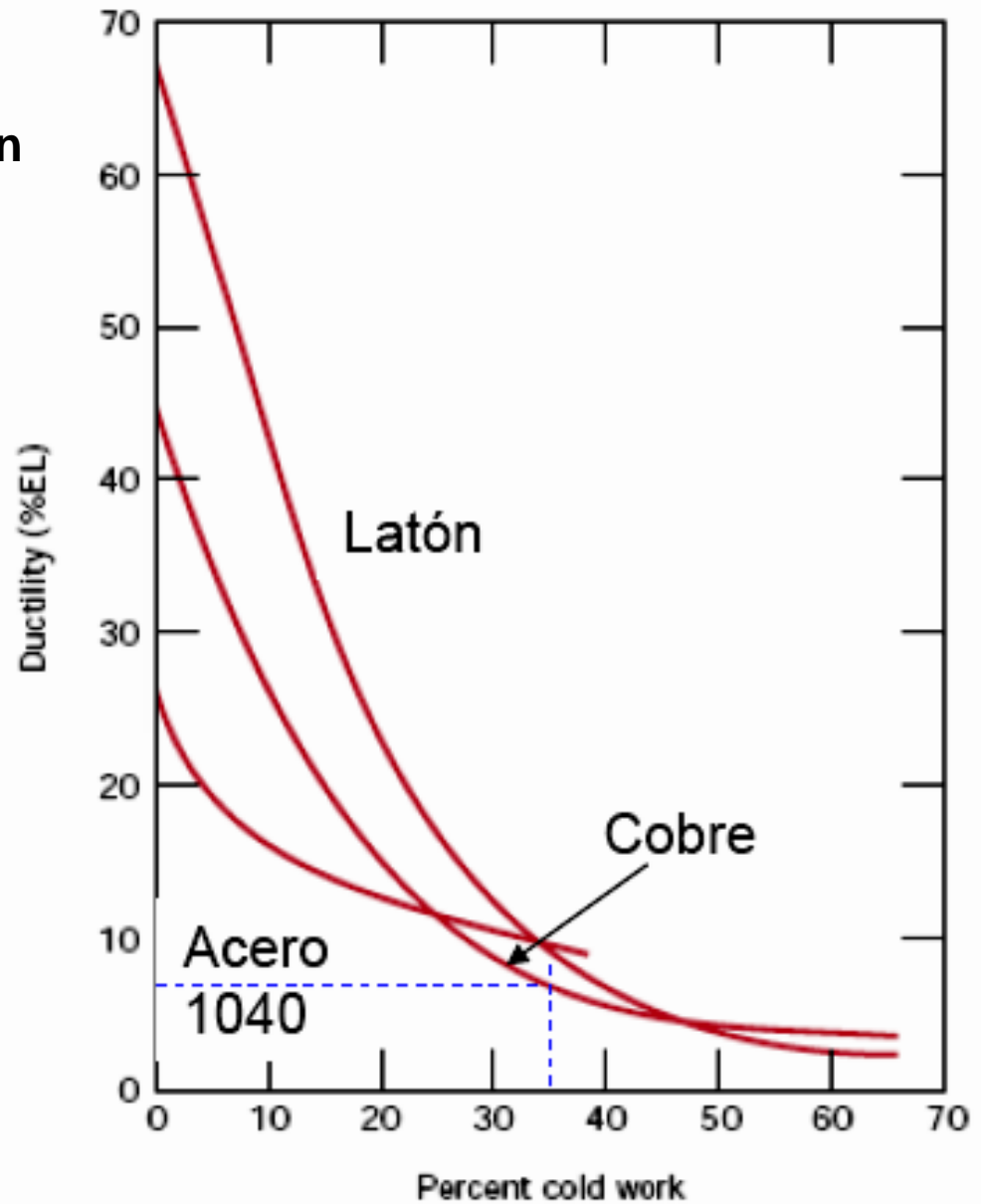
Trabajo en frío de los Metales: Influencia sobre el esfuerzo de fluencia y la resistencia tensil máxima

Endurecimiento por deformación



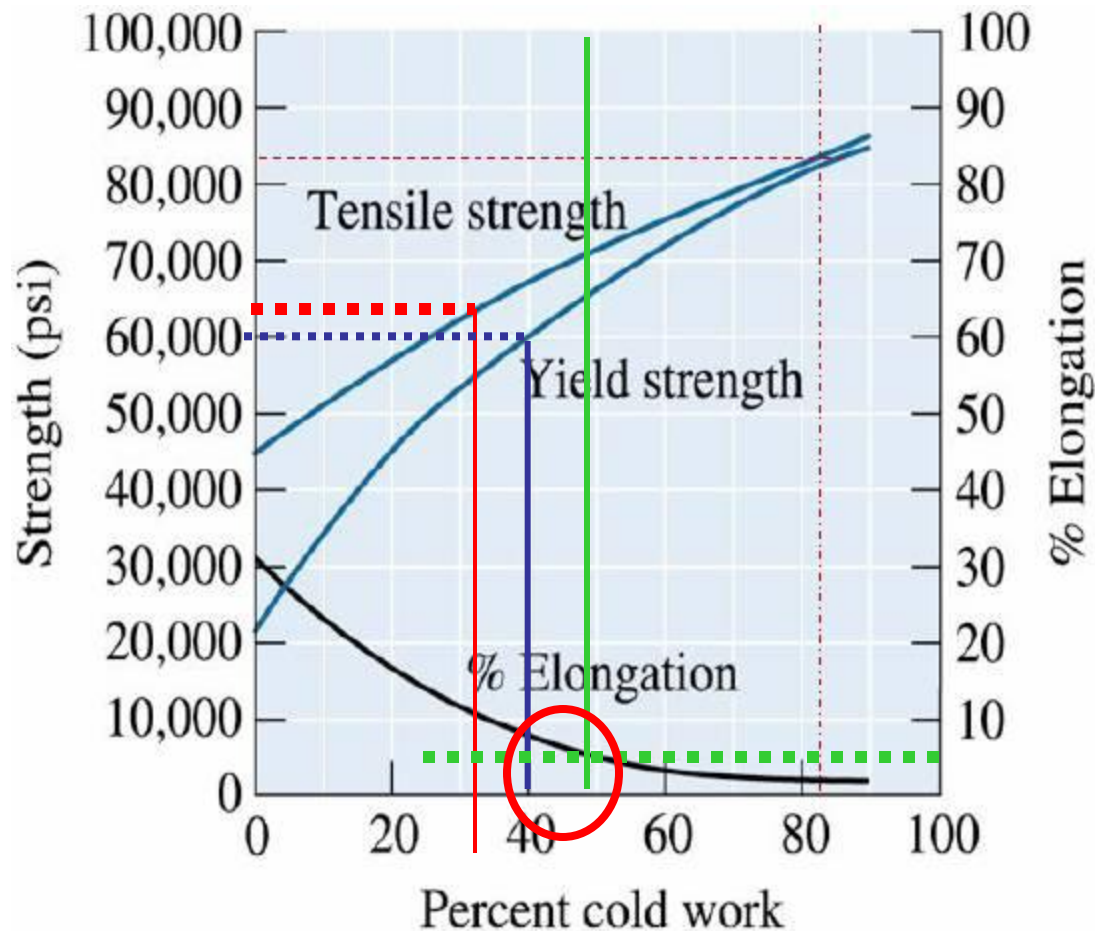
Trabajo en frío de los Metales: Efecto sobre la ductilidad

Endurecimiento por deformación



Trabajo en frío (Endurecimiento por deformación)

Diseñe un proceso de manufactura para producir una placa de cobre de 0,1 cm de espesor, que tenga una resistencia a la tensión de por lo menos 65,000 psi, un límite elástico de 60,000 psi y 5% de elongación.



Trabajo en frío (Endurecimiento por deformación)

Diseñe un proceso de manufactura para producir una placa de cobre de 0,1 cm de espesor, que tenga una resistencia a la tensión de por lo menos 65,000 psi, un límite elástico de 60,000 psi y 5% de elongación.

Para una resistencia a la tensión de 65,000 psi se necesita un 35% de trabajo en frío (lámina anterior), para un límite elástico de 60,000 psi se necesitan 40%, pero para el 5% de elongación se requiere menos del 45%. Por tanto, cualquier trabajo en frío entre 40 y 45% dará las propiedades requeridas.

Para producir la placa, es apropiado un proceso de laminado en frío. Dado que existe un rango permisible de trabajo en frío, entre el 40 y el 45%, también aparece un rango de espesores iniciales de la placa. Suponiendo que no cambia el ancho de la placa:

$$\% CW_{\min} = 40 = \frac{t_{\min} - 0.1}{t_{\min}} \times 100 \quad t_{\min} = 0.167 \text{ cm}$$

$$\% CW_{\max} = 45 = \frac{t_{\max} - 0.1}{t_{\max}} \times 100 \quad t_{\max} = 0.182 \text{ cm}$$

Se empieza con una plancha de 0.167 a 0.182 cm en su estado más blando posible: a continuación se lamina de un 40 a un 45%. hasta conseguir un espesor de 0.1 cm.