



Propiedades Mecánicas

TIM 50

Tecnólogo Industrial Mecánico



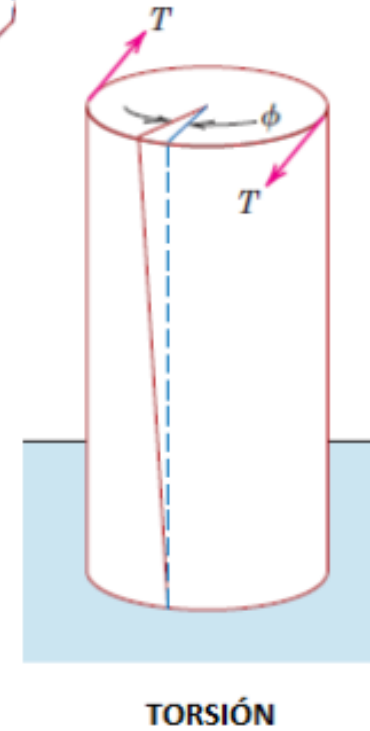
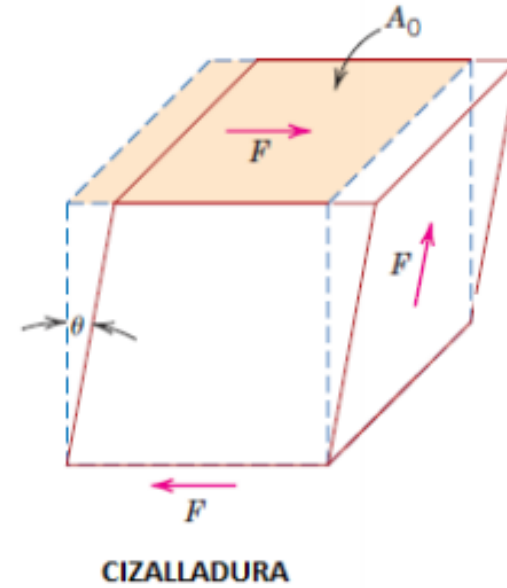
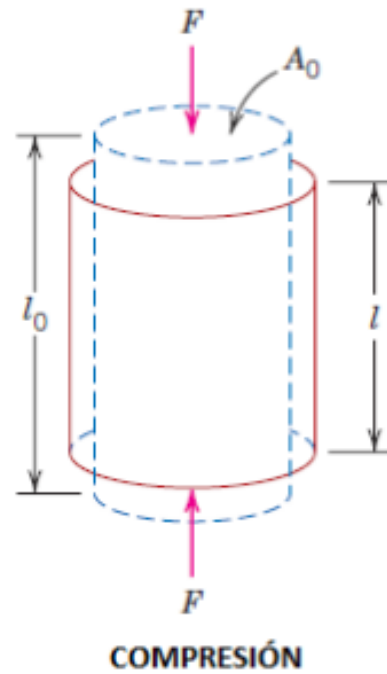
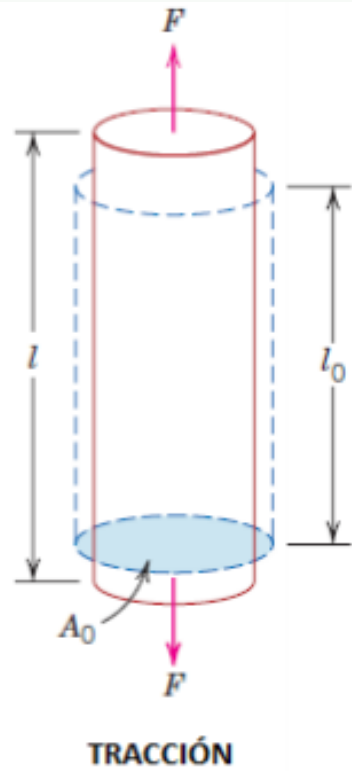
BIBLIOGRAFÍA

- Introducción a la ciencia de los materiales
 - W. Callister
 - Capítulo 6
- Introducción a la metalurgia física
 - H. Avner
 - Capitulo 1

PROPIEDADES MECÁNICAS

- Muchos materiales cuando están en servicio son expuestos a fuerzas y cargas, por tales motivos es necesario conocer las características mecánicas del material para poder realizar un buen diseño.
- Son características propias o inherentes de cada metal, que permiten diferenciar un metal de otro.
- Las propiedades mecánicas pueden definirse como aquellas que tienen que ver con el comportamiento del material bajo fuerzas aplicadas.
- Estas propiedades se estudian en laboratorios y con equipos específicos, los ensayos mecánicos se ocupan de determinar las medidas de dichas propiedades.

TIPOS DE CARGAS (FUERZAS)



CONCEPTOS PREVIOS – ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

- Se define esfuerzo σ como el cociente entre la tensión (P) aplicada y el área transversal sobre la que se aplica.
- Esfuerzo: $\sigma = P / A$ $[\sigma] = \text{N/m}^2$
- Si L_0 es la longitud original del cuerpo y L la longitud luego de aplicar el esfuerzo, el alargamiento producido será: $\Delta L = L - L_0$
- Si ΔL es mayor que 0: L es mayor que L_0 F. TRACCIÓN
- Si ΔL es menor que 0: L es menor que L_0 F. COMPRESIÓN
- Deformación: $\epsilon = (L - L_0) / L_0$

DEFORMACIÓN ELÁSTICA – BAJO CARGAS UNIAXIALES

- El grado con que una pieza o material se deforma depende de la tensión impuesta.
- Para muchos metales sometidos a pequeños esfuerzos de tracción la tensión y deformación son proporcionales según la relación:

$$\text{LEY DE HOOKE: } \sigma = E \times \varepsilon$$

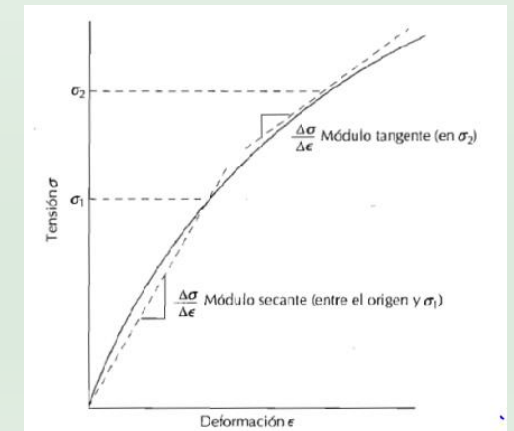
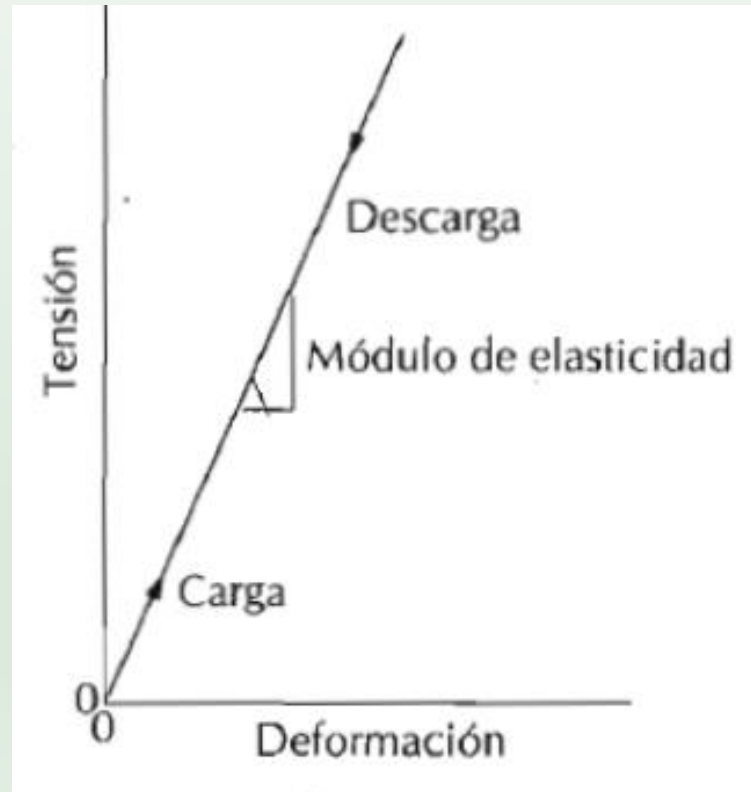
Donde E: módulo de Young o de elasticidad

σ : esfuerzo

ε : deformación.

- Si la tensión es proporcional a la deformación: $\sigma=f(\varepsilon)$ se dice que la deformación es ELÁSTICA.
- La deformación elástica **no es permanente**.

- **E** puede interpretarse como la resistencia de un material a sufrir deformación elástica.
- Para un mismo nivel de tensión, a mayor módulo de elasticidad, mayor rigidez del material (menor deformación).
- A escala atómica los enlaces son estirados, se modifica el espaciado interatómico. La magnitud de **E** es una medida de la resistencia a la separación de átomos contiguos, es decir de las fuerzas de enlace interatómicas.



- Se puede afirmar que en general:

$E_{\text{cerámicos}} > E_{\text{metales}} > E_{\text{polímeros}}$

- Esto es consecuencia de los distintos tipos de enlaces atómicos que presenta cada material.

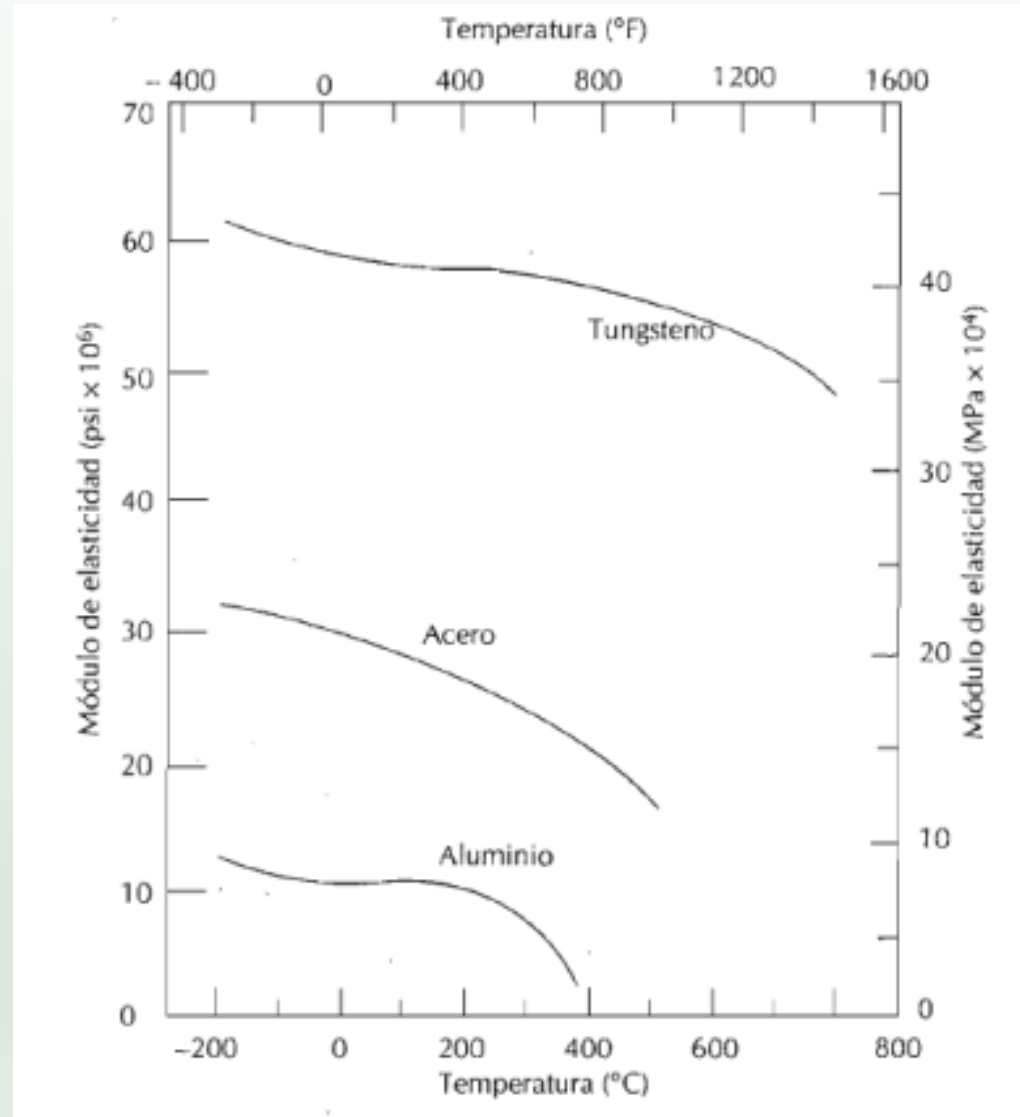
Table 7.1 Room-Temperature Elastic and Shear Moduli, and Poisson's Ratio for Various Materials

Material	Modulus of Elasticity		Shear Modulus		Poisson's Ratio
	GPa	10 ⁶ psi	GPa	10 ⁶ psi	
Metal Alloys					
Tungsten	407	59	160	23.2	0.28
Steel	207	30	83	12.0	0.30
Nickel	207	30	76	11.0	0.31
Titanium	107	15.5	45	6.5	0.34
Copper	110	16	46	6.7	0.34
Brass	97	14	37	5.4	0.34
Aluminum	69	10	25	3.6	0.33
Magnesium	45	6.5	17	2.5	0.35
Ceramic Materials					
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	393	57	—	—	0.22
Silicon carbide (SiC)	345	50	—	—	0.17
Silicon nitride (Si ₃ N ₄)	304	44	—	—	0.30
Spinel (MgAl ₂ O ₄)	260	38	—	—	—
Magnesium oxide (MgO)	225	33	—	—	0.18
Zirconia ^a	205	30	—	—	0.31
Mullite (3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂)	145	21	—	—	0.24
Glass-ceramic (Pyroceram)	120	17	—	—	0.25
Fused silica (SiO ₂)	73	11	—	—	0.17
Soda-lime glass	69	10	—	—	0.23
Polymers^b					
Phenol-formaldehyde	2.76–4.83	0.40–0.70	—	—	—
Polyvinyl chloride (PVC)	2.41–4.14	0.35–0.60	—	—	0.38
Polyester (PET)	2.76–4.14	0.40–0.60	—	—	—
Polystyrene (PS)	2.28–3.28	0.33–0.48	—	—	0.33
Polymethyl methacrylate (PMMA)	2.24–3.24	0.33–0.47	—	—	—
Polycarbonate (PC)	2.38	0.35	—	—	0.36
Nylon 6,6	1.58–3.80	0.23–0.55	—	—	0.39
Polypropylene (PP)	1.14–1.55	0.17–0.23	—	—	—
Polyethylene—high density (HDPE)	1.08	0.16	—	—	—
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	0.40–0.55	0.058–0.080	—	—	0.46
Polyethylene—low density (LDPE)	0.17–0.28	0.025–0.041	—	—	—

^a Partially stabilized with 3 mol% Y₂O₃.

^b Source: *Modern Plastics Encyclopedia '96*. Copyright 1995, The McGraw-Hill Companies. Reprinted with permission.

Módulo de elasticidad vs temperatura

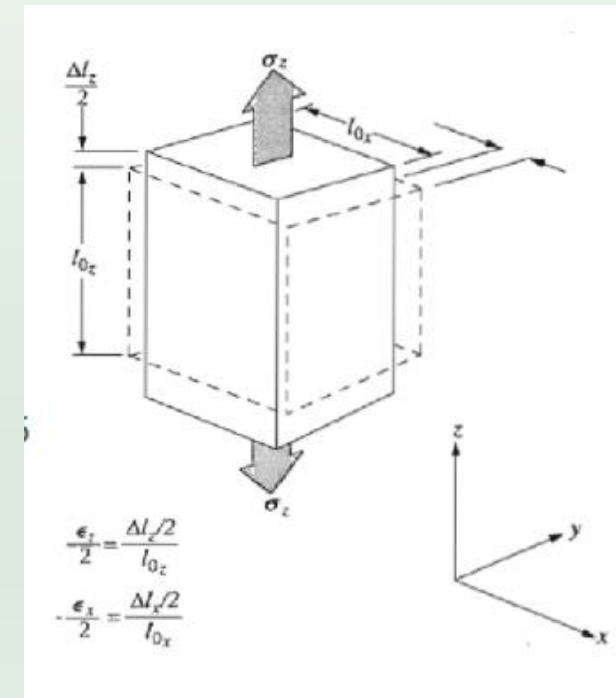


PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LOS MATERIALES

- Al aplicar una tracción se produce un alargamiento elástico y una deformación en la dirección de la carga.
- En consecuencia se producirán constricciones en las direcciones laterales perpendiculares a la de la aplicación de la tensión.
- Se define el coeficiente de Poisson:

$$\nu = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

- Para sólidos isotrópicos $\nu = 1/4$, llegando a un máximo de 0.5.
- Para metales ν varia entre 0.25 y 0.35
- Existe una relación entre E y G mediante ν : $E=2G(1+ \nu)$



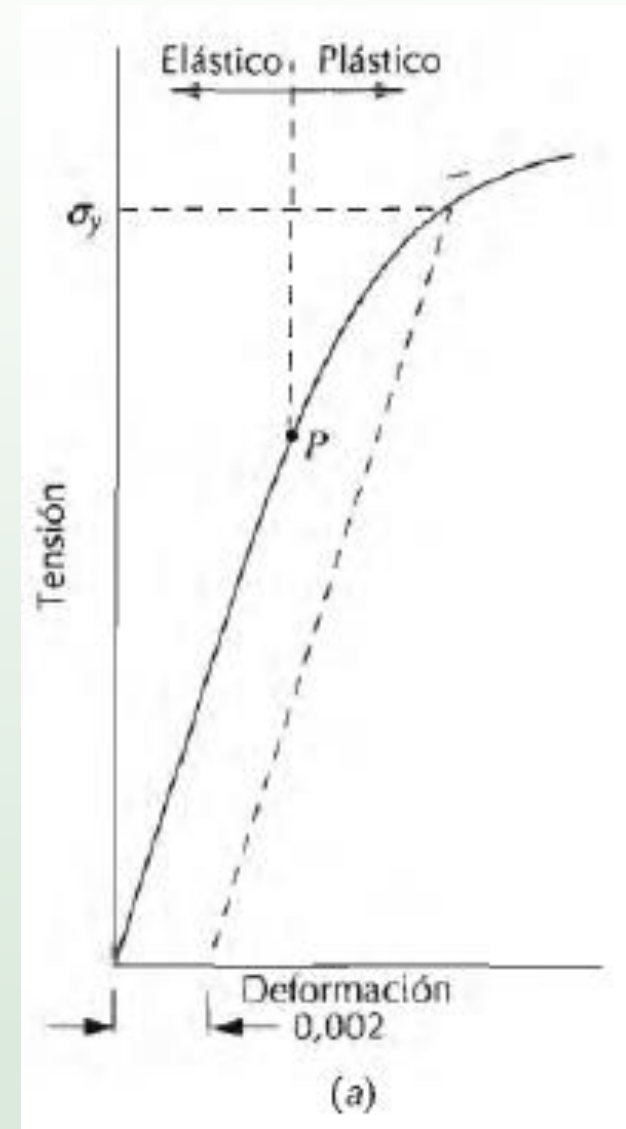
ANELASTICIDAD

- En muchos materiales no se cumple la independencia del tiempo en la deformación, o sea la deformación elástica continua aumentando después de aplicar la carga y la recuperación del material no es inmediata.
- El comportamiento elástico dependiente del tiempo se denomina anelasticidad y es causado por la dependencia del tiempo de los mecanismos macroscópicos que tienen lugar cuando un material se deforma.
- En los metales la componente anelástica es en general despreciable. En los materiales polímeros su magnitud suele ser importante.

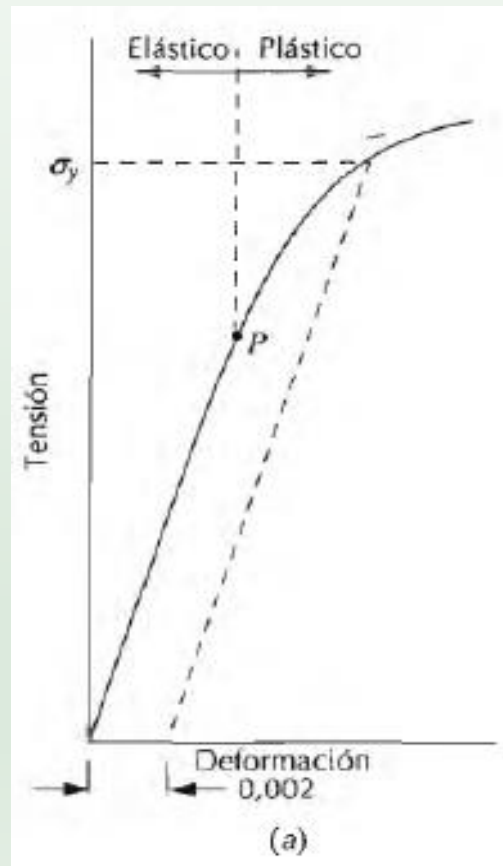
DEFORMACIÓN PLÁSTICA

- Ocurre cuando la tensión deja de ser proporcional a la deformación.
- La ley de Hooke deja de ser válida.
- La deformación es permanente.
- A nivel atómico corresponde a la rotura de los enlaces entre los átomos vecinos más próximos y a la reformación de éstos con nuevos vecinos.

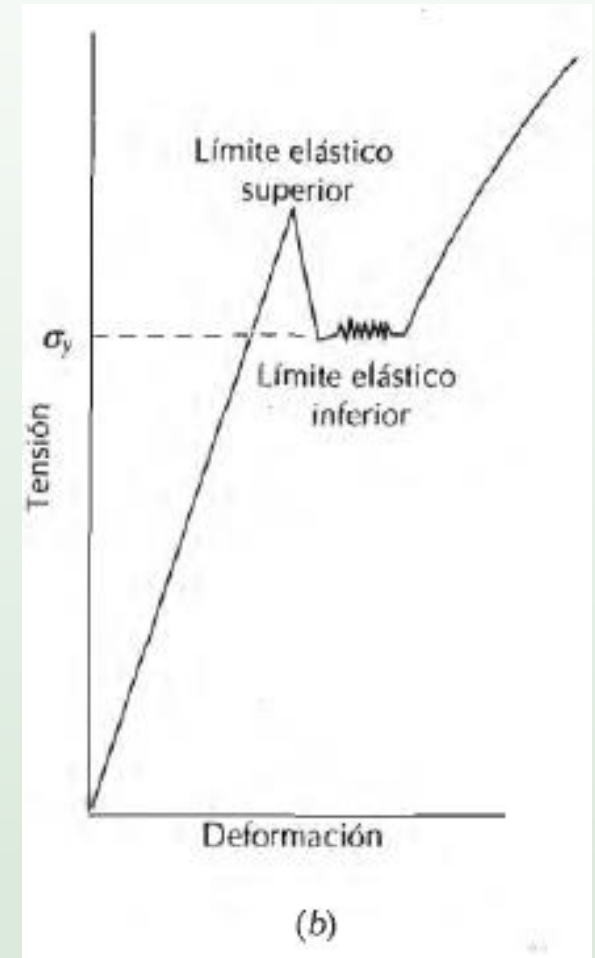
- La transición elastoplástica es gradual en la mayoría de los metales; se empieza a notar cierta curvatura al comienzo de la deformación plástica, la cual crece mas rápidamente al aumentar la carga.
- La mayoría de las estructuras se diseñan de tal manera que solamente ocurra deformación elástica cuando sean sometidas a tensiones.
- El limite de proporcionalidad (p), es la desviación inicial de la linealidad de la curva tensión-deformación.
- En la mayoría de los materiales el limite elástico tiene casi el mismo valor que el limite de proporcionalidad.

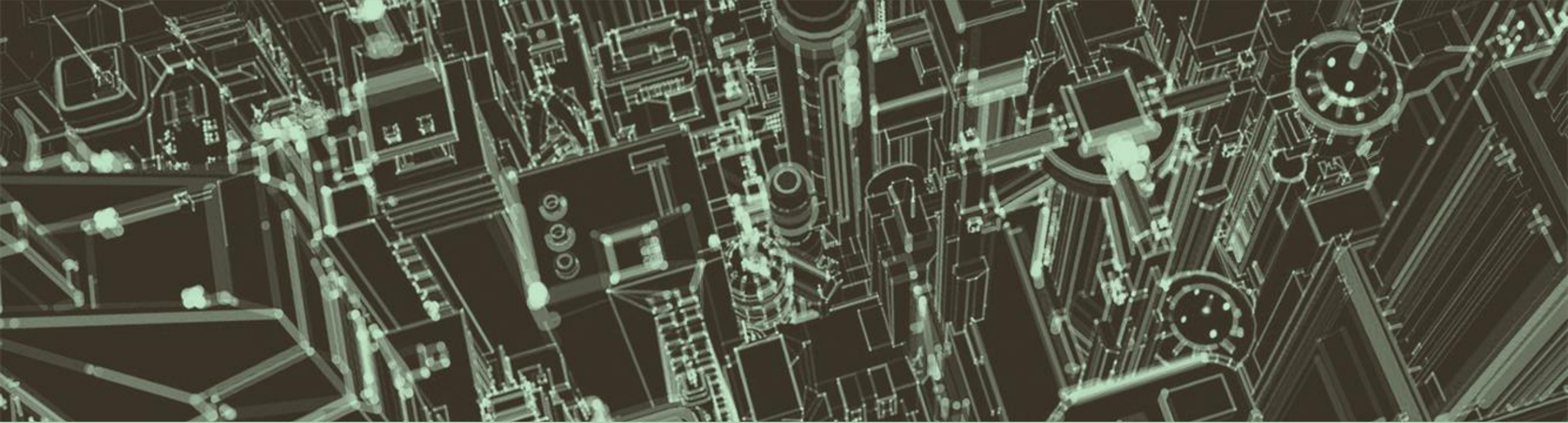


- Cuando comienza la deformación plástica ocurre el fenómeno de FLUENCIA.
- Para los metales que experimentan la transición elastoplástica de forma gradual, el punto de fluencia puede determinarse mediante una paralela a la línea elástica desplazada a 0,002. Donde corta con el diagrama tensión deformación corresponde al valor de esfuerzo de fluencia (σ_y).



- Algunos aceros y otros metales presentan una transición elastoplástica bien definida y ocurre de forma abrupta. Se llama fenómeno de discontinuidad del punto de fluencia.
- El límite elástico σ_y se toma como el promedio del límite elástico inferior.



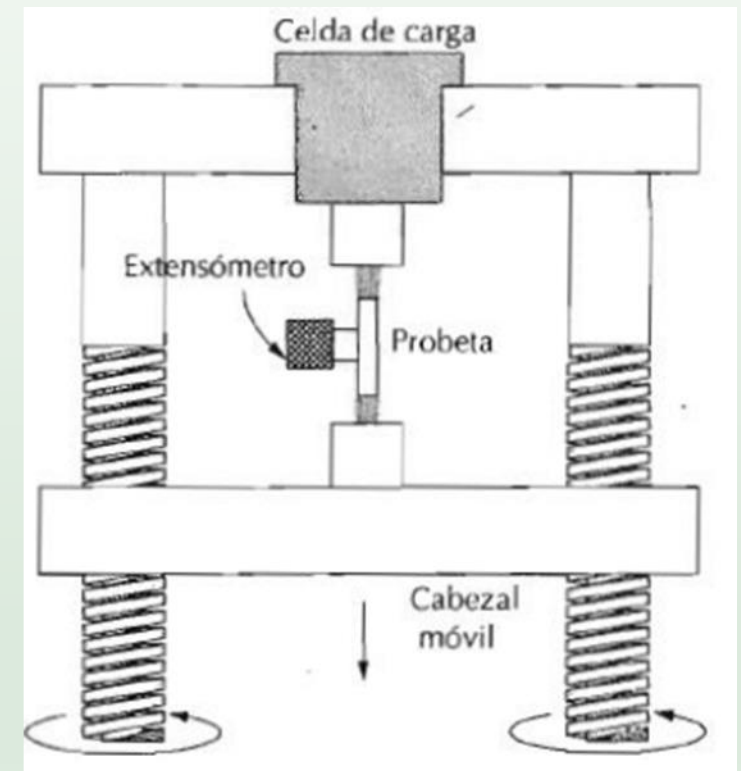
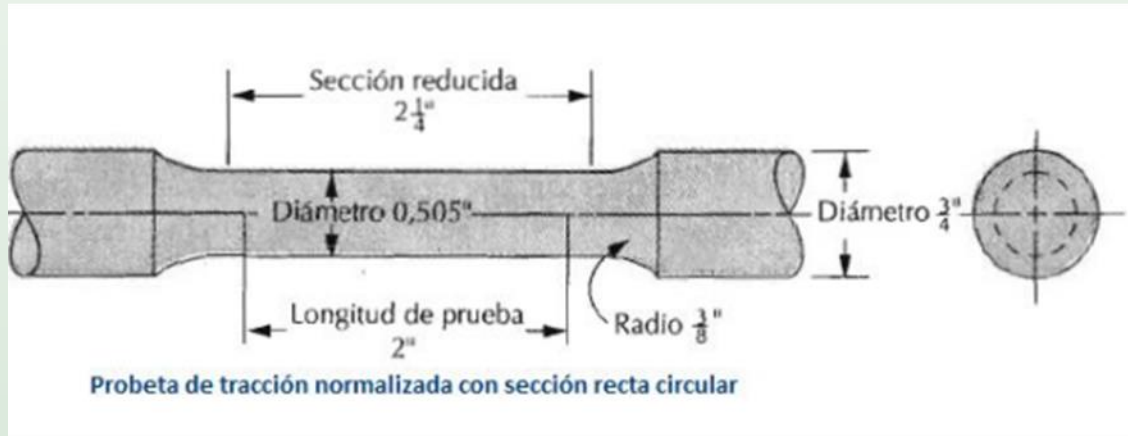


Ensayo de Tracción



ENSAYO DE TRACCIÓN

- Consiste en aplicar fuerzas que actúen en forma distribuida sobre las secciones perpendiculares al eje longitudinal de la probeta de ensayo, de modo de producir un alejamiento de estas.



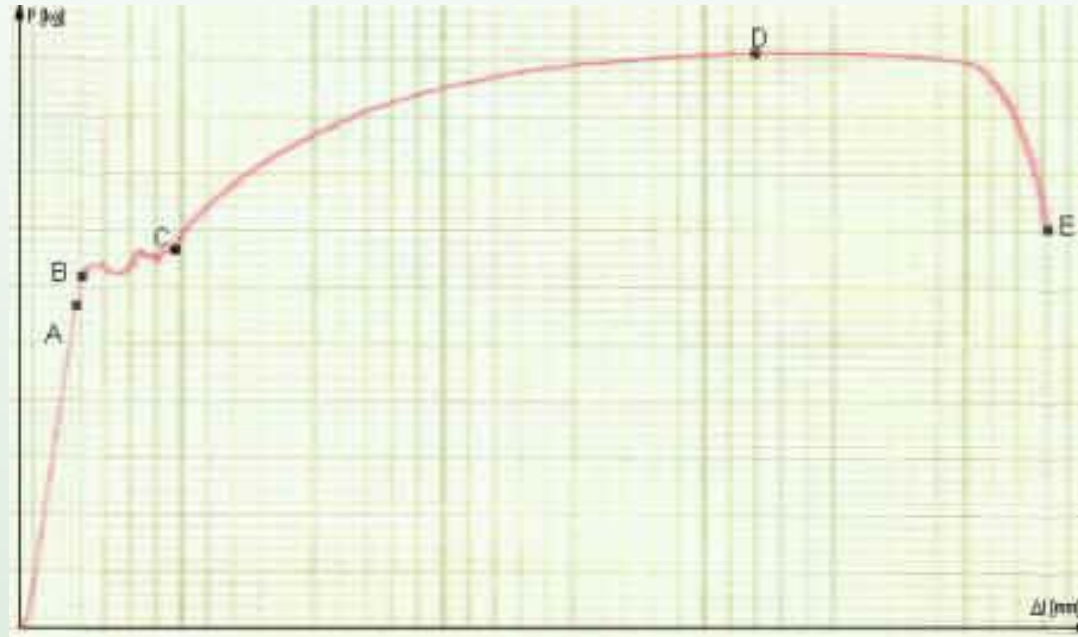
Se requiere una prensa hidráulica capaz de:

- Alcanzar la fuerza suficiente para producir la fractura de la probeta.
- Controlar la velocidad de aumento de fuerzas.
- Registrar las fuerzas que se aplican y los alargamientos que se observan en la probeta.

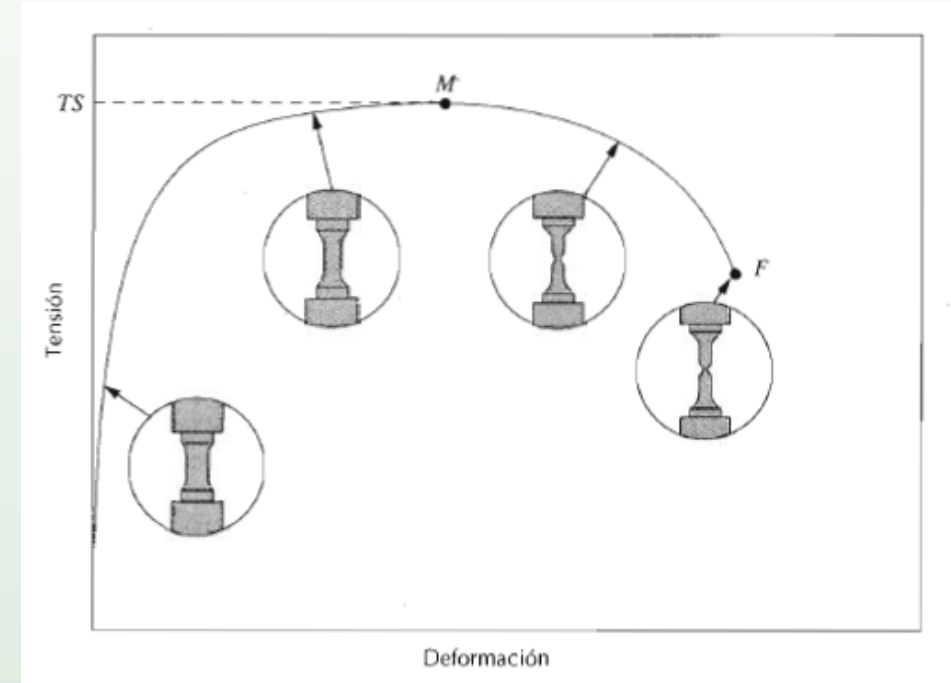
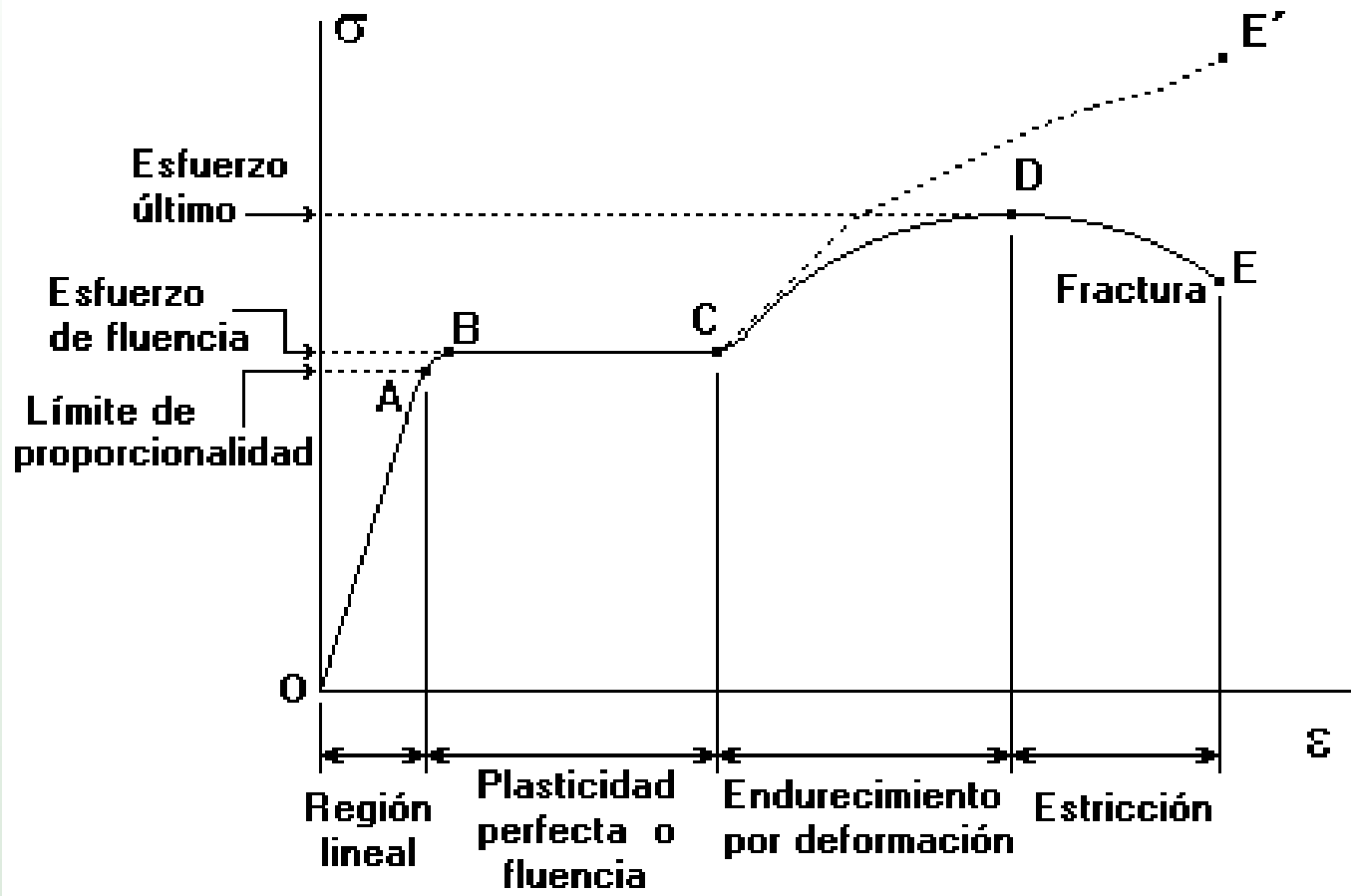


RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

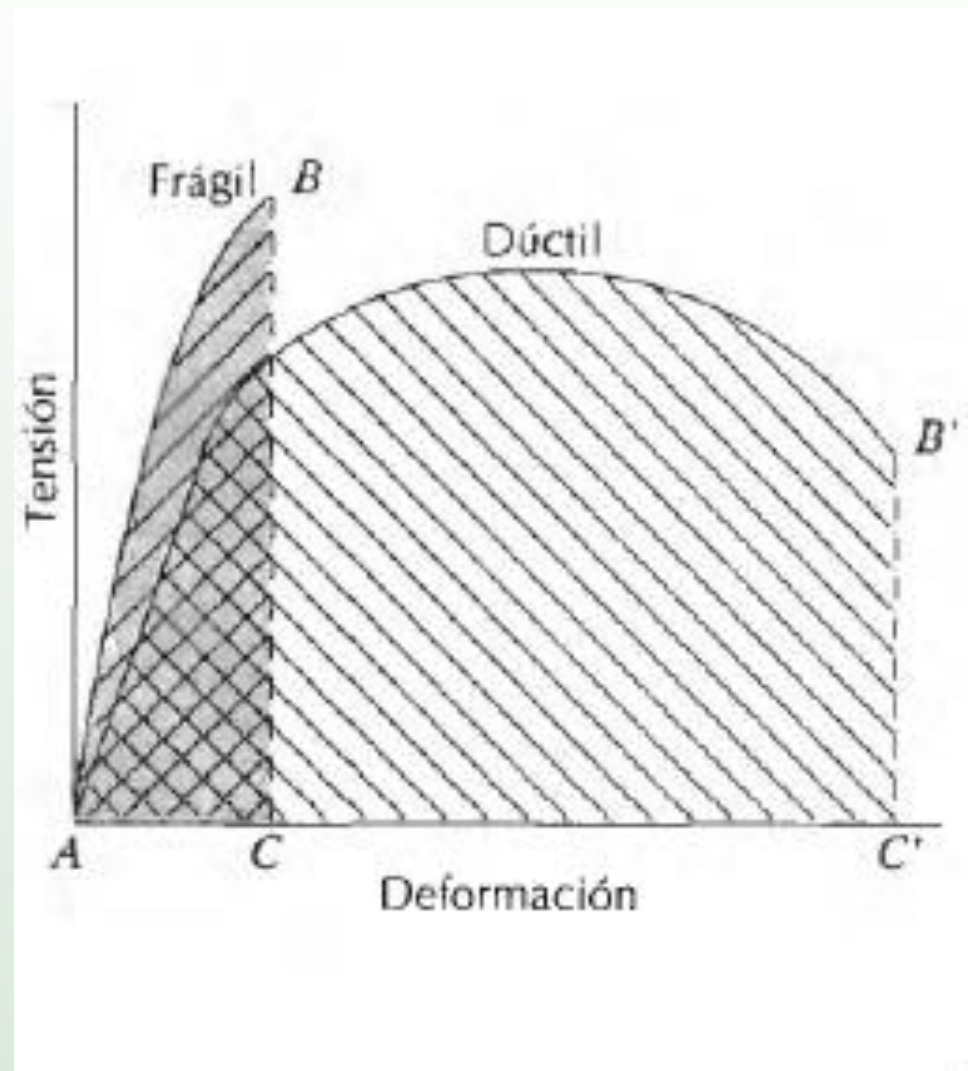
- Se obtiene un gráfico:



- Cuando la probeta se encuentra bajo un esfuerzo de tracción simple a medida que aumenta la carga, se estudian las deformaciones que se producen.

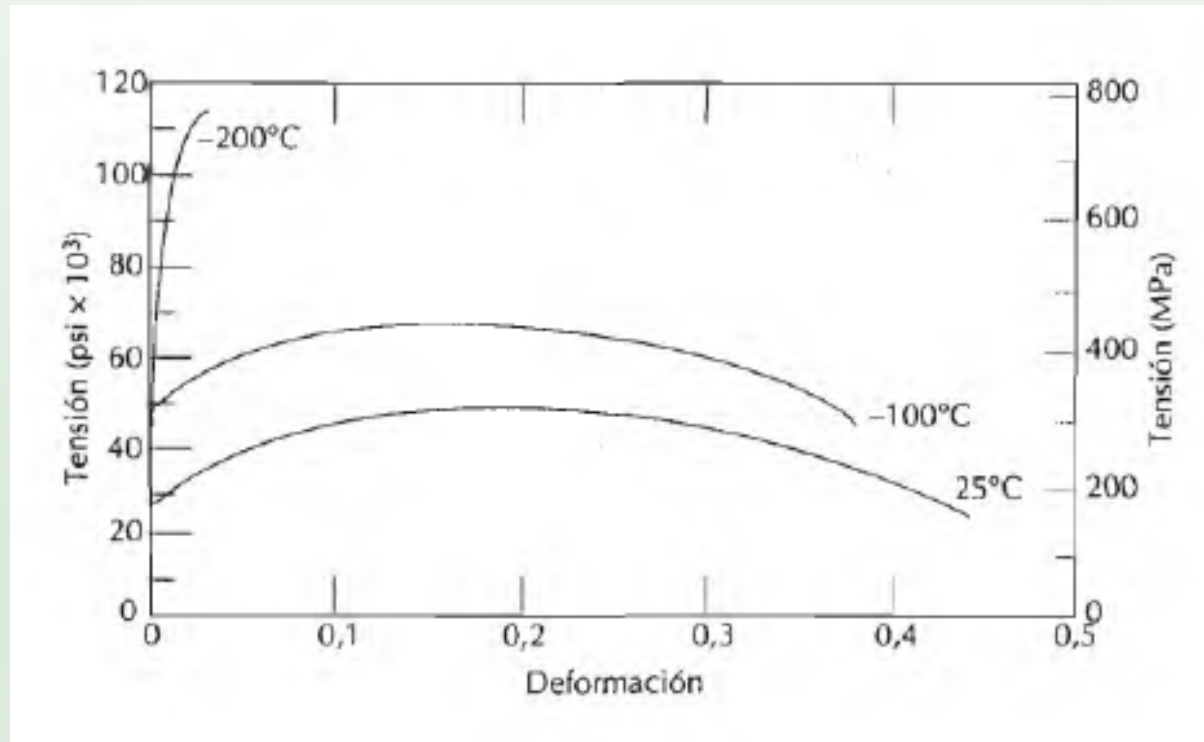


- Tensión de fluencia: $\sigma_f = \frac{F_{fluencia}}{S_0}$
- Tensión de rotura: $\sigma_r = \frac{F_{rotura}}{S_0}$
- Alargamiento de la rotura: $\%ER = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100$
- Estricción: $\%AR = \frac{S_0 - S_f}{S_0} \times 100$
- Módulo de elasticidad: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$



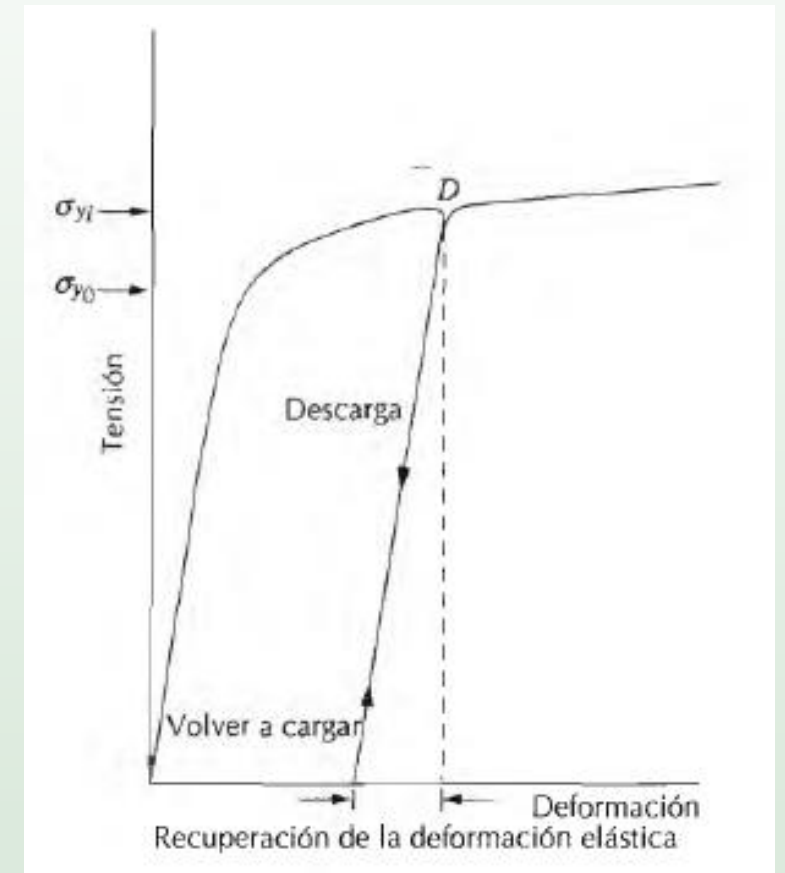
- Materiales frágiles pueden considerarse aquellos que tienen una deformación a la fractura menor que aproximadamente 5%.

- El modulo de elasticidad, el limite elástico y la resistencia a la tracción disminuyen al aumentar la temperatura.
- La ductilidad aumenta con la temperatura.



RECUPERACIÓN ELÁSTICA DURANTE LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA

- Si se retira la tensión aplicada durante el ensayo de tracción, una fracción de la deformación total es recuperada como deformación elástica.
- La curva de descarga es prácticamente recta, su pendiente es prácticamente igual al módulo de elasticidad del material.
- Si la carga es aplicada de nuevo, el camino que seguirá será el mismo pero en dirección opuesta al seguido en la descarga.

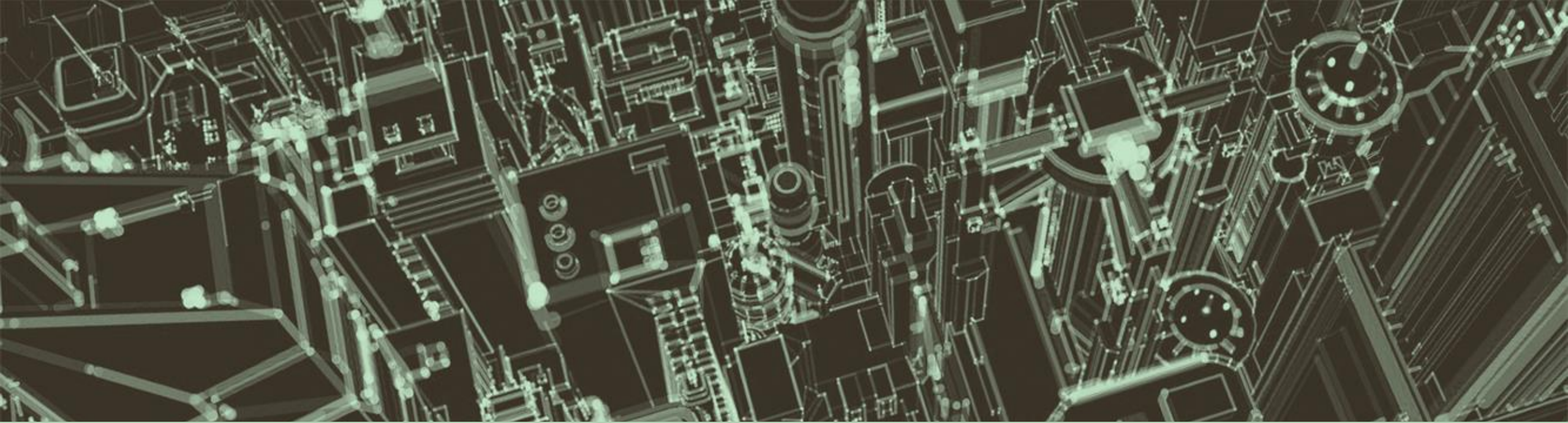


ENSAYO DE COMPRESIÓN

- Ensayo poco frecuente en metales, común en cementos y hormigones.
- Ensayo: consiste en aplicar fuerzas que actúen en forma distribuida sobre las secciones perpendiculares al eje longitudinal de la probeta de modo de producir un acercamiento de estas.



- El diagrama obtenido en un ensayo de compresión para los aceros, al igual que el de tracción, presenta un periodo elástico y otro plástico
- De los gráficos de metales sometidos a compresión se verifica que los materiales frágiles (fundición) rompen prácticamente sin deformarse. En los dúctiles el ensayo carece de importancia, ya que se deforman continuamente hasta la suspensión de la aplicación de la carga.

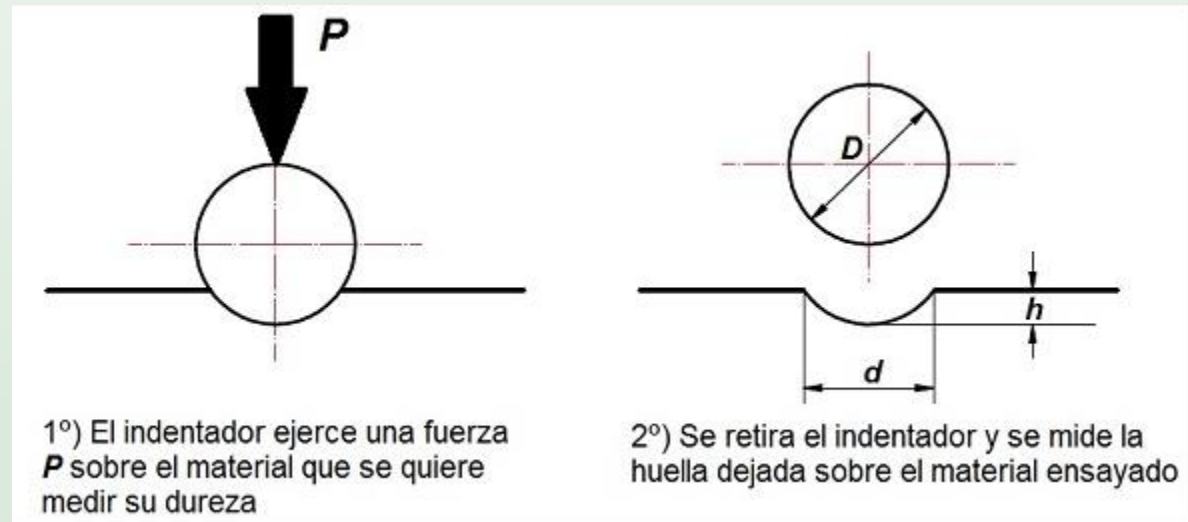


Ensayo de Dureza



- Es una medida de la resistencia de un material a la deformación plástica localizada. Por ejemplo, la resistencia que se opone a ser rayado o penetrado por otro material.
- Existen técnicas cuantitativas: un pequeño indentador de dimensiones normalizadas es forzado a penetrar la superficie del material a ensayar, en condiciones controladas. (precarga, magnitud total de la carga, velocidad de aplicación, tiempo de mantenimiento)

- La profundidad de la indentación o huella resultante es medida, la misma está relacionada con el número de dureza.
- Cuanto mas blando es el material, mayor es la dimensión de la indentación y menor es el número de dureza.

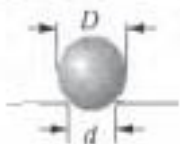




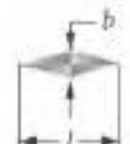





Los equipos cuentan con tres partes:

1. Un sistema para aplicar la carga, o lanzar el elemento indentador.
2. Un sistema para determinar la profundidad de la impronta o el área de la misma, o la velocidad de rebote del indentador.
3. El o los indentadores apropiados para el equipo a ensayar.



Tabla 6.4 Técnicas de ensayo de dureza

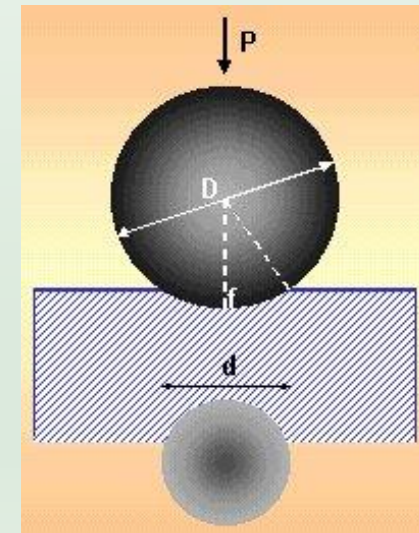
Ensayo*	Penetrador	Forma del penetrador		Carga	Fórmula para el número de dureza ^d
		Vista lateral	Vista superior		
Brinell	Esfera de 10mm de acero o de carburo de tungsteno			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Microdureza Vickers	Pirámide de diamante			P	$HV = 1,854P/d_1^2$
Microdureza Knoop	Pirámide de diamante	 $l/b = 7,11$ $b/l = 4,00$		P	$HK = 14,2P/l^2$
Rockwell y Rockwell superficial	<ul style="list-style-type: none"> Cono de diamante Esferas de acero de $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro 		 	<ul style="list-style-type: none"> 60 kg 100 kg 150 kg 	<ul style="list-style-type: none"> Rockwell Rockwell superficial

DUREZA – ENSAYO DE BRINELL

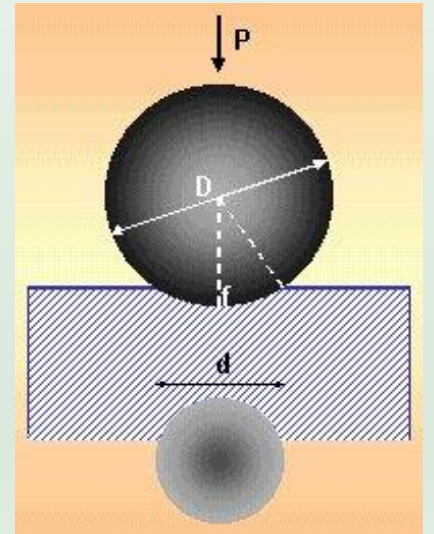
Consiste en comprimir sobre la superficie del material a ensayar una bolilla de acero muy duro durante un cierto tiempo (t) produciendo una impresión con forma a casquete esférico.

El valor de la dureza Brinell resulta de dividir el valor de la carga aplicada sobre la superficie del casquete esférico:

$$HB = \frac{2 P}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} [Kgf / mm^2]$$



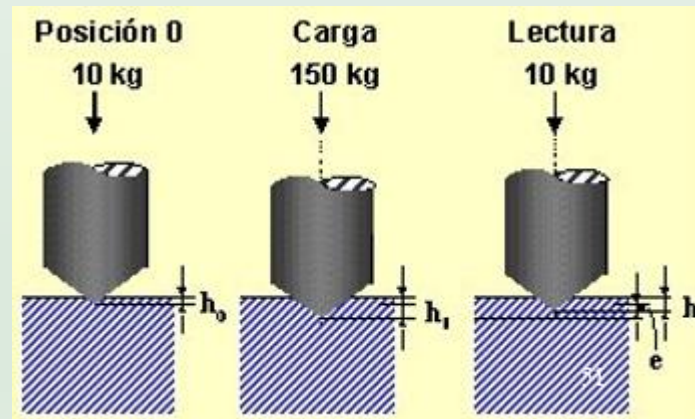
- 1) De acuerdo al material se elige el tamaño de bola y la carga.
- 2) Se aplica la carga.
- 3) Se miden tres diámetros de la impronta.
- 4) Con el promedio de la impronta y el tamaño de bola, se determina en tabla el valor de la dureza.



DUREZA – ENSAYO DE ROCKWELL

Se calcula la dureza en base a la profundidad de penetración. La carga total no se aplica en forma continua, hay una carga inicial y otra adicional.

1) Se elige la escala en función del tipo de material a ensayar y con esto queda determinado el tipo de penetrador (bola de acero o cono de diamante) y la carga a aplicar.

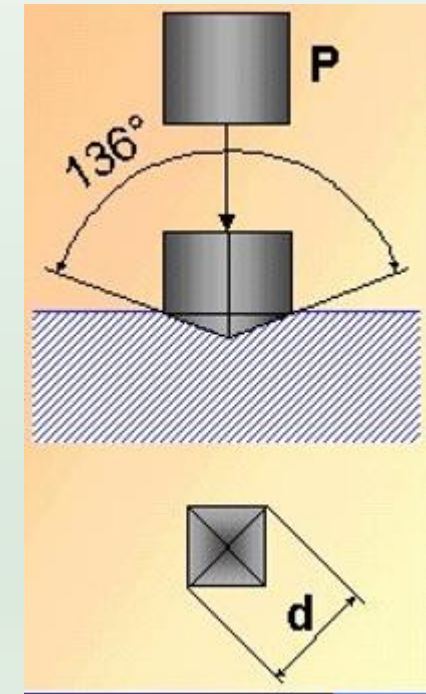


DUREZA – ENSAYO DE VICKERS

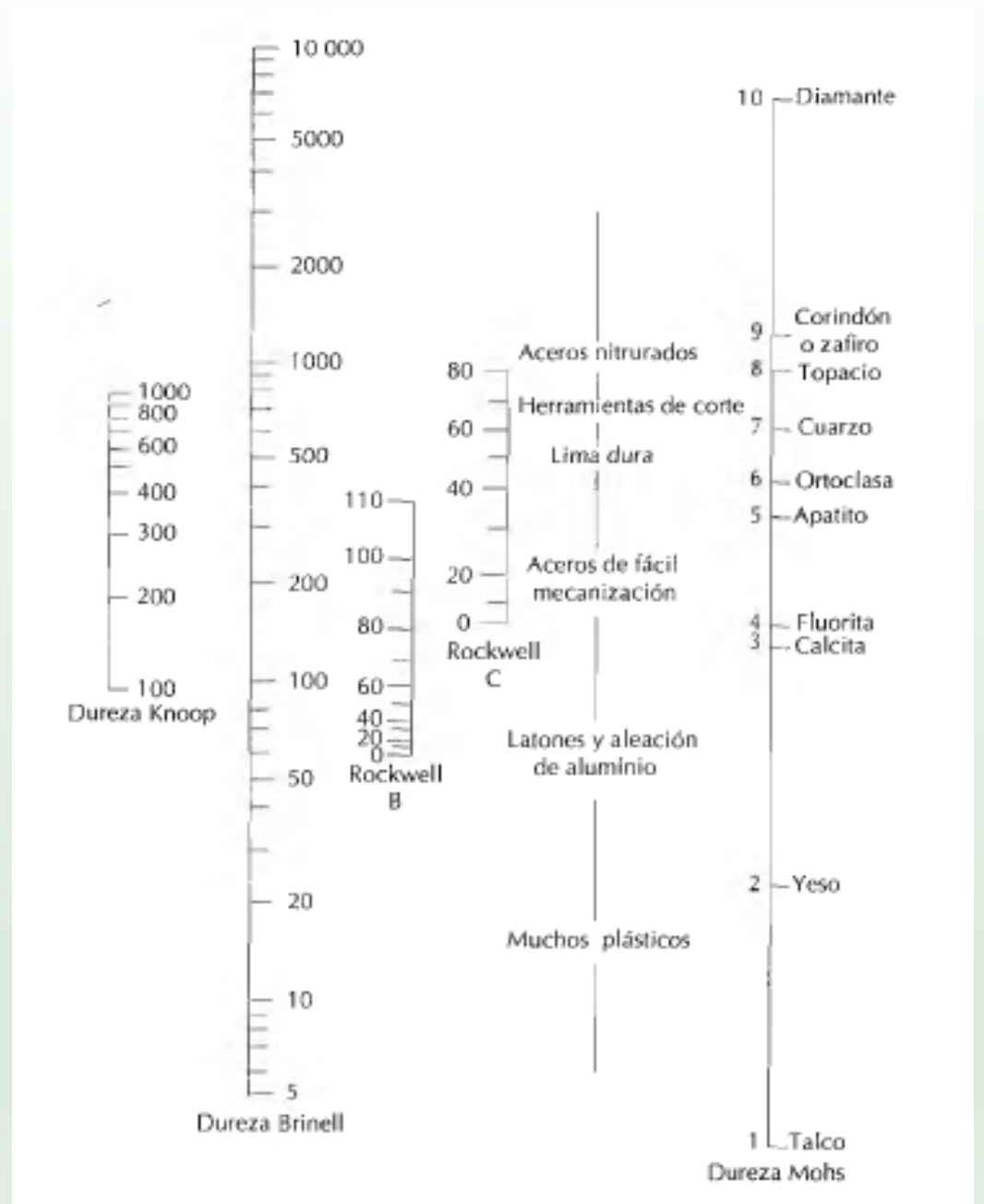
Es semejante al ensayo de Brinell.

Las diferencias radican en que en este caso solo hay un penetrador de diamante con forma piramidal de base cuadrada, con un ángulo al vértice de 136° .

$$H_v = \frac{1,854 \cdot P}{d^2} \text{ [kgf / mm}^2 \text{]}$$



CONVERSIÓN DE DUREZA



ENSAYO DE IMPACTO

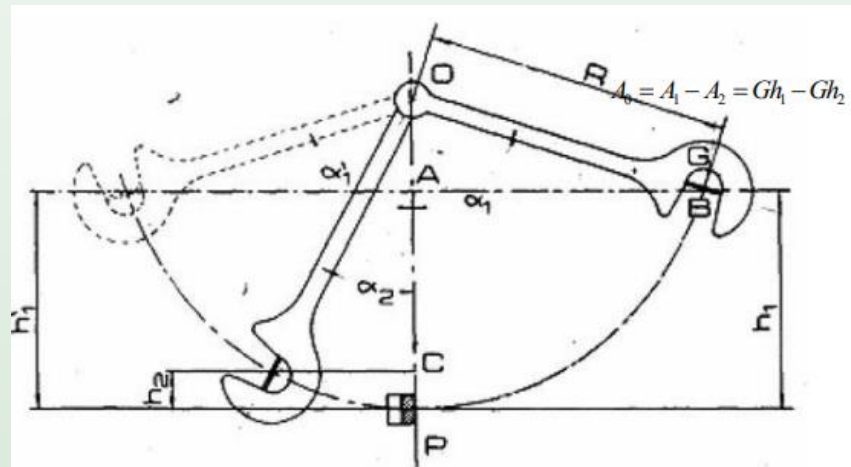
El ensayo de tracción estático da valores correctos de la ductilidad de un metal, pero no es preciso para determinar su grado de tenacidad o fragilidad en condiciones variables de trabajo.

Los ensayos de impacto determinan la fragilidad o capacidad de un material de absorber cargas instantánea.

Métodos de ensayo: Charpy, Izod.

Este tipo de ensayo se utiliza para estudiar el comportamiento de elementos sometidos a sollicitaciones instantáneas o a variaciones bruscas de cargas.

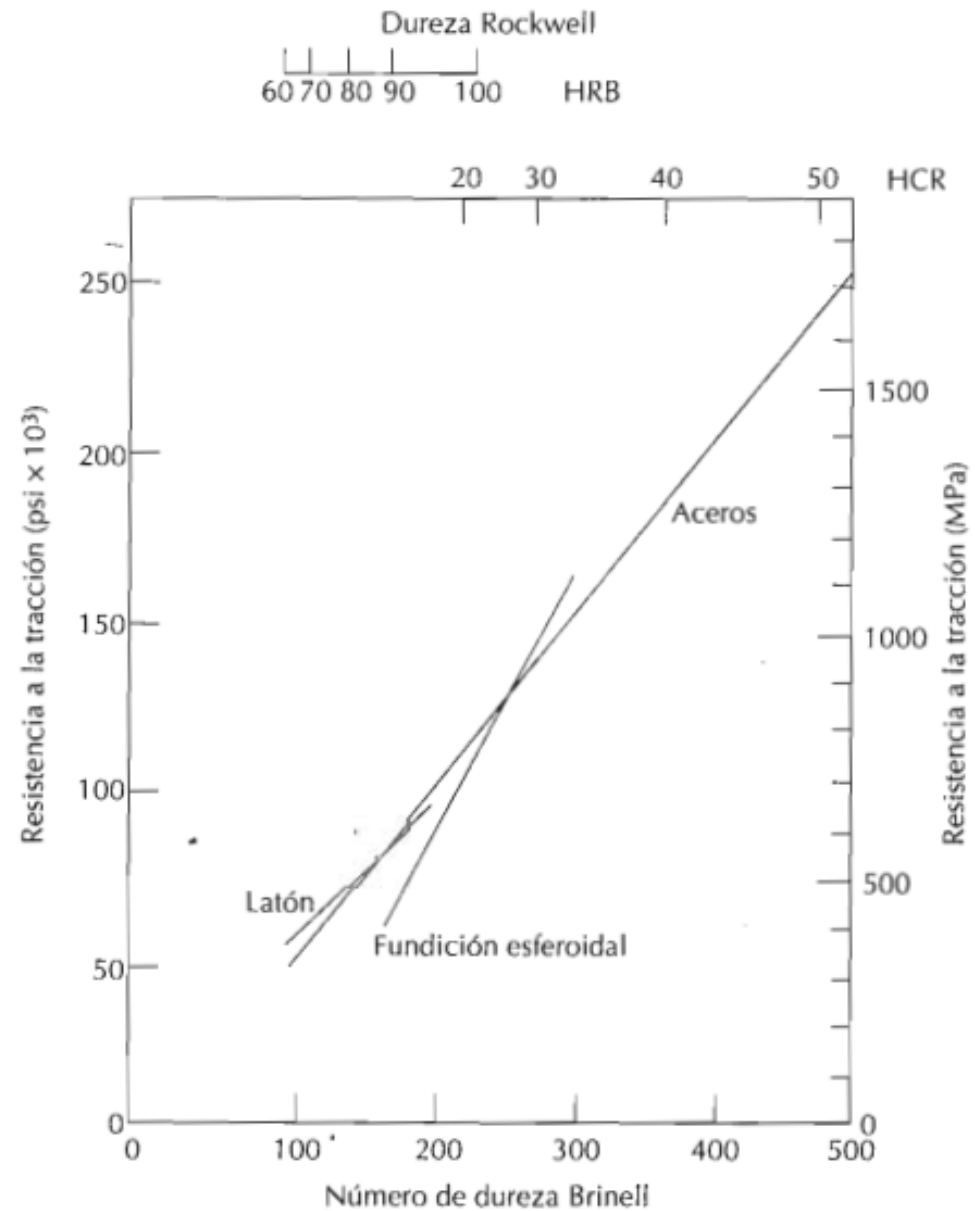
Entonces estos materiales fallan por no soportar deformaciones plásticas o por fragilidad.



Energía absorbida por la rotura:

$$A_0 = A_1 - A_2 = Gh_1 - Gh_2$$



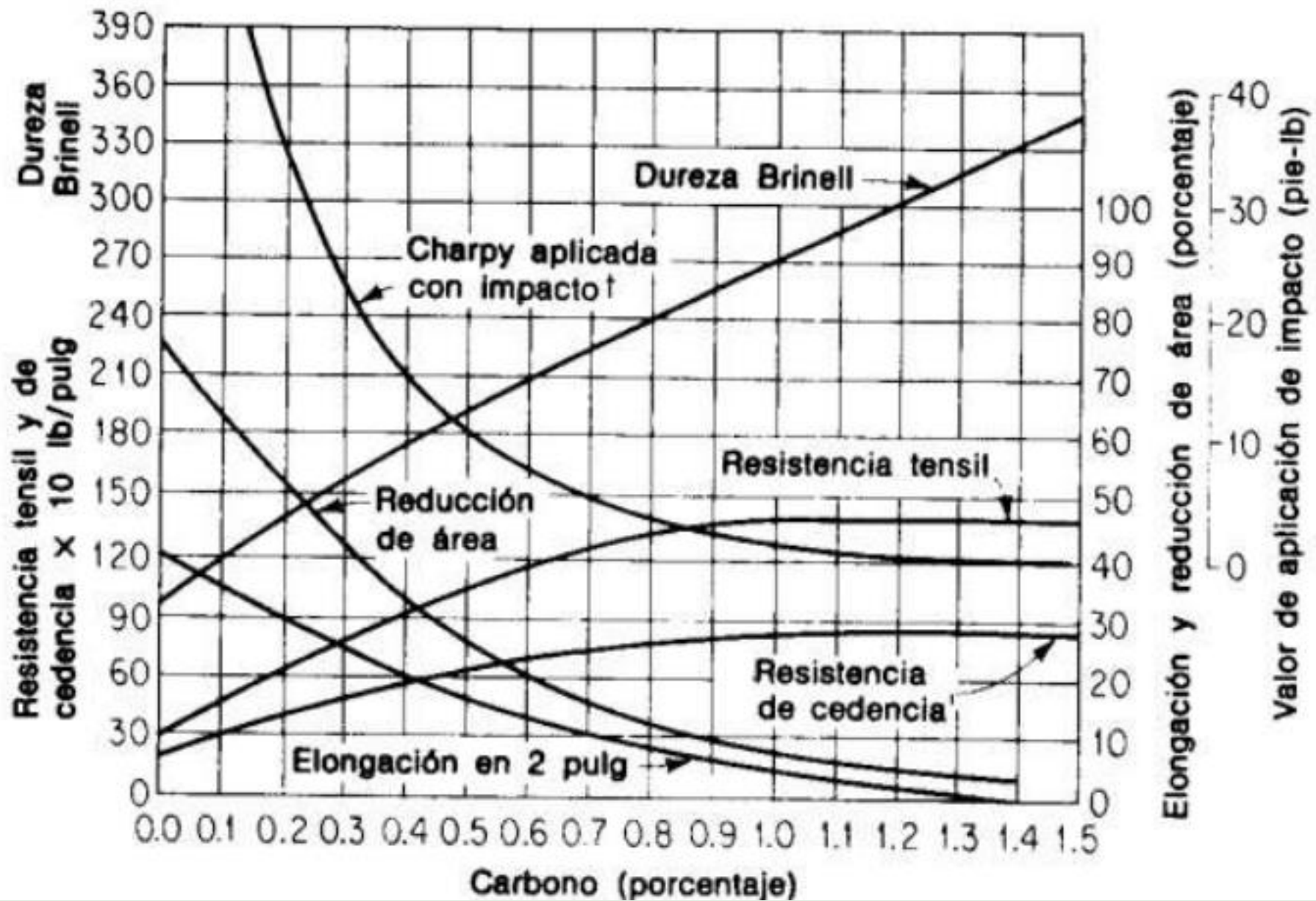


Para la mayoría de los aceros se cumple la siguiente relación:

$$TS(\text{psi}) = 500 \times \text{HB}$$

$$TS(\text{MPa}) = 3,45 \times \text{HB}$$

Esta aproximación no es exacta y no suplanta al ensayo de tracción.



OTROS ENSAYOS:

- Plegado
- Flexión
- Análisis químico
- Análisis microestructural (Metalografía)