

INGENIERÍA MECÁNICA I

ENSAYOS DE MATERIALES

Unidad Temática N° 5

ENSAYOS DE MATERIALES



ENSAYOS DE MATERIALES

Ensayos destructivos

- Ensayo de tracción
- Ensayo de Impacto

Ensayo Charpy
Ensayo Izod

- Ensayo de Dureza

Dureza Brinell
Dureza Vickers
Dureza Rockwell
Dureza Knops

Ensayos no destructivos.

- Líquidos penetrantes
- Partículas magnéticas
- Radiografía Industrial

ENSAYOS DE MATERIALES

- **Dureza** es la resistencia que oponen los cuerpos a ser rayados o penetrados por otros.
- **Tenacidad** es la energía de deformación total que es capaz de absorber un material antes de alcanzar la rotura
- **Fragilidad** es la propiedad contraria a la tenacidad, la facilidad de romperse un cuerpo.
- **Ductilidad**: la capacidad de un material de conformarse formando hilos.
- **Maleabilidad**: la capacidad de un material de conformarse formando laminas.
- **Elasticidad** es la propiedad que tiene un cuerpo de ser deformado por fuerzas exteriores, y al cesar dichas fuerzas, éste recobra su forma original.
- **Plasticidad** es la capacidad de los cuerpos para adquirir deformaciones permanentes sin llegar a la rotura (ductilidad y maleabilidad).
- **Fatiga** es la capacidad que tiene un cuerpo de resistir esfuerzos repetitivos y variables en magnitud y sentido.
- Para el análisis de las propiedades mecánicas de los materiales podemos utilizar tres tipos de cargas diferentes: **estáticas**, **dinámicas** o **cíclicas**.
- **Carga estática**: es aquella que es invariable o su magnitud crece de forma lenta (una carga que pende de un puente grúa, etc.).
- **Carga dinámica**: es aquella que actúa de forma inmediata o aumenta su magnitud de forma rápida (impactos, golpes, etc.).
- **Carga cíclica o alternada**: es aquella que cambia de dirección o magnitud (o ambas) de forma cíclica o alternada (cigüeñal, amortiguadores, etc.).

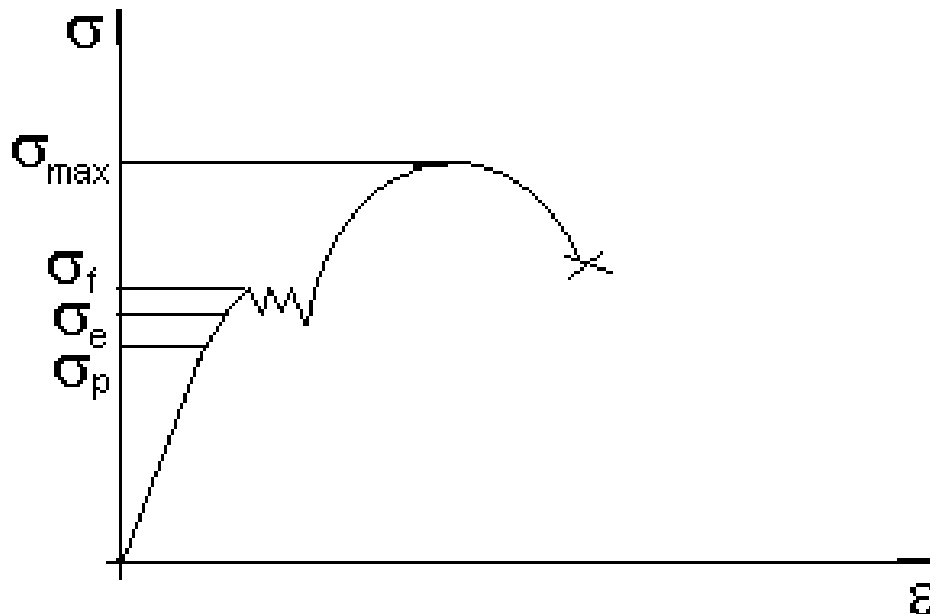
Ensayo de tracción

Determina las propiedades mecánicas de metales y aleaciones que tienen interés para el diseño estructural en ingeniería.

Las propiedades que pueden obtenerse a partir del ensayo de tracción son:

- Módulo de elasticidad
- Límite elástico convencional de 0.2 por ciento
- Resistencia a la tracción
- Porcentaje de alargamiento a fractura
- Porcentaje de estricción a fractura
- Deformaciones (elásticas y plásticas)
- Comportamiento de los materiales (frágiles y dúctiles)

Ensayo de tracción



σ_p = límite de proporcionalidad
 σ_e = límite elástico
 σ_f = límite de fluencia
 σ_{max} = límite estático a la tracción

Ensayo de tracción

- El *ensayo de tracción* se utiliza para evaluar la resistencia de metales y aleaciones.
- En este ensayo, una muestra de metal se estira a velocidad constante hasta la fractura.
- A partir de los datos de este ensayo, se obtiene el diagrama tensión –deformación.
- De este diagrama pueden obtenerse importantes propiedades de los materiales.

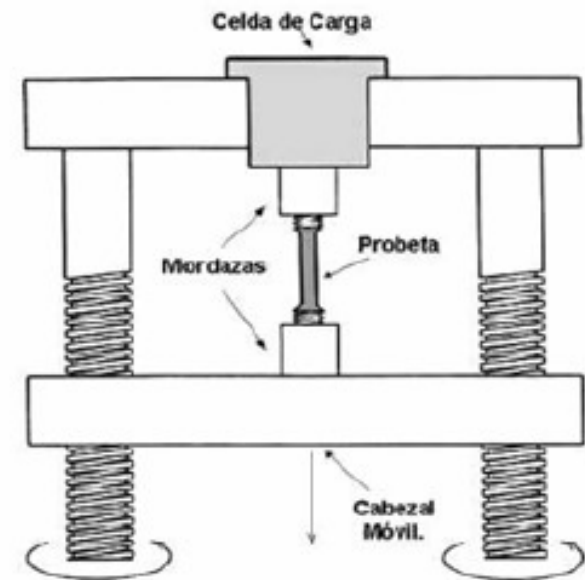


Figura 1. Máquina de Ensayo de Tensión

Ensayo de tracción



Tensión y Deformación

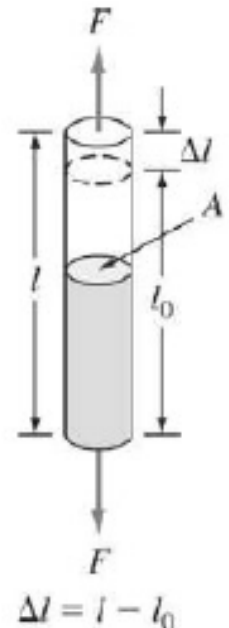
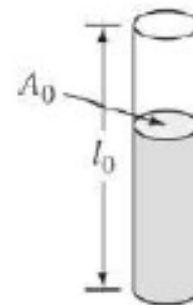
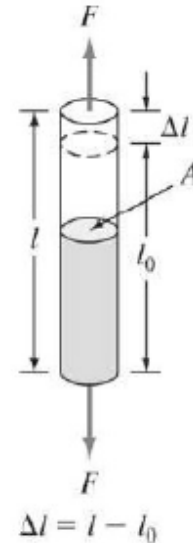
- Cuando una fuerza de tracción uniaxial se aplica a una barra, se produce un alargamiento de la misma en la dirección de la fuerza. Dicho desplazamiento se conoce como deformación.

Deformación Convencional

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l (\text{cambio de la longitud de la muestra})}{l_0 (\text{longitud original de la muestra})}$$

- Considérese una barra cilíndrica de longitud l_0 y área de la sección transversal A_0 sujeta a una fuerza de tracción uniaxial F .
- **La tensión σ sobre la barra será:**

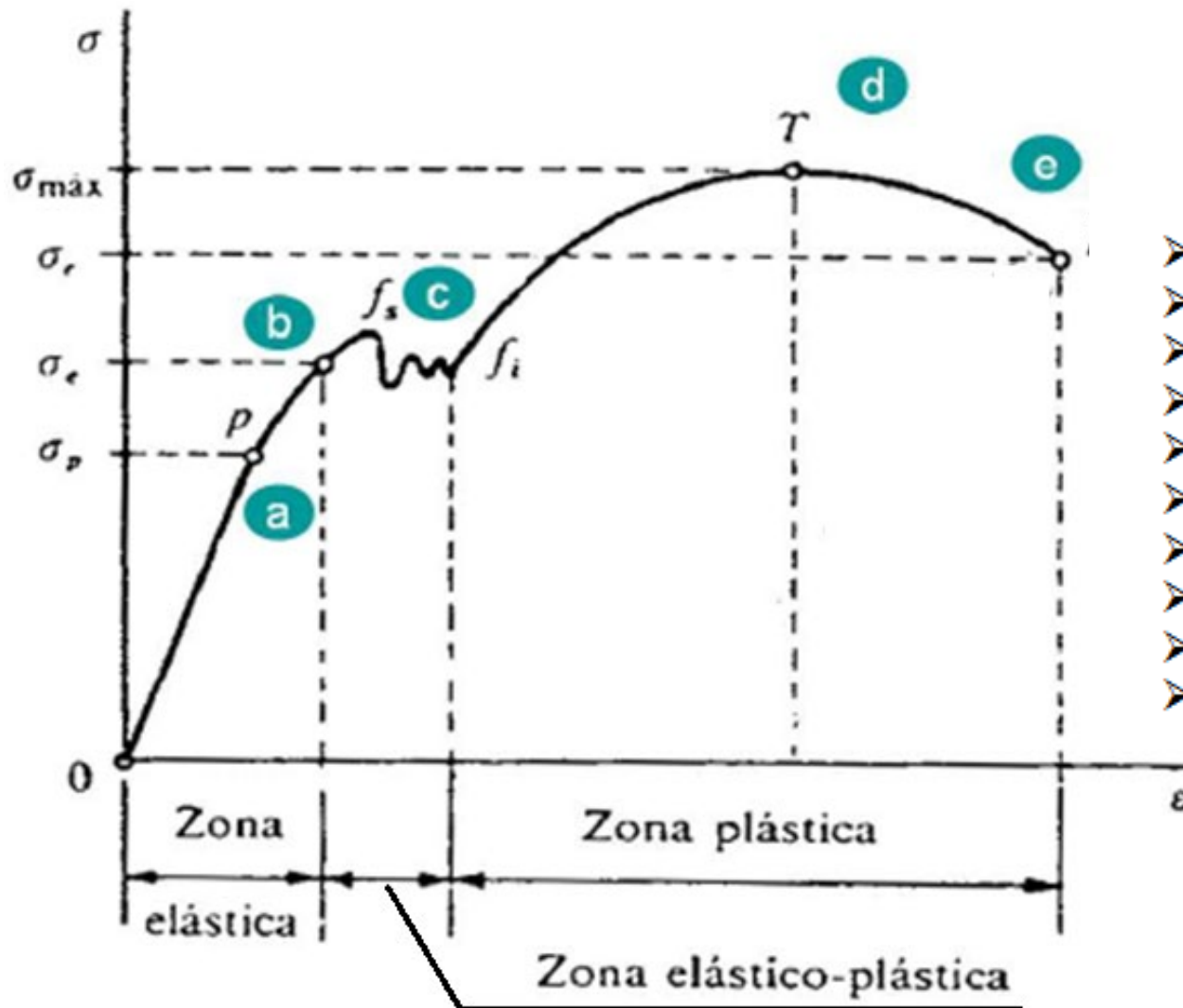
$$\text{Tensión Convencional } \sigma = \frac{F (\text{fuerza medida de tracción uniaxial})}{A_0 (\text{área de la sección trasnversal original})}$$



Tensión y deformación de los metales

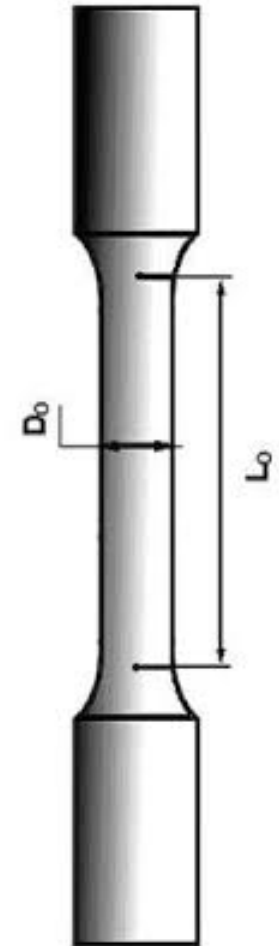
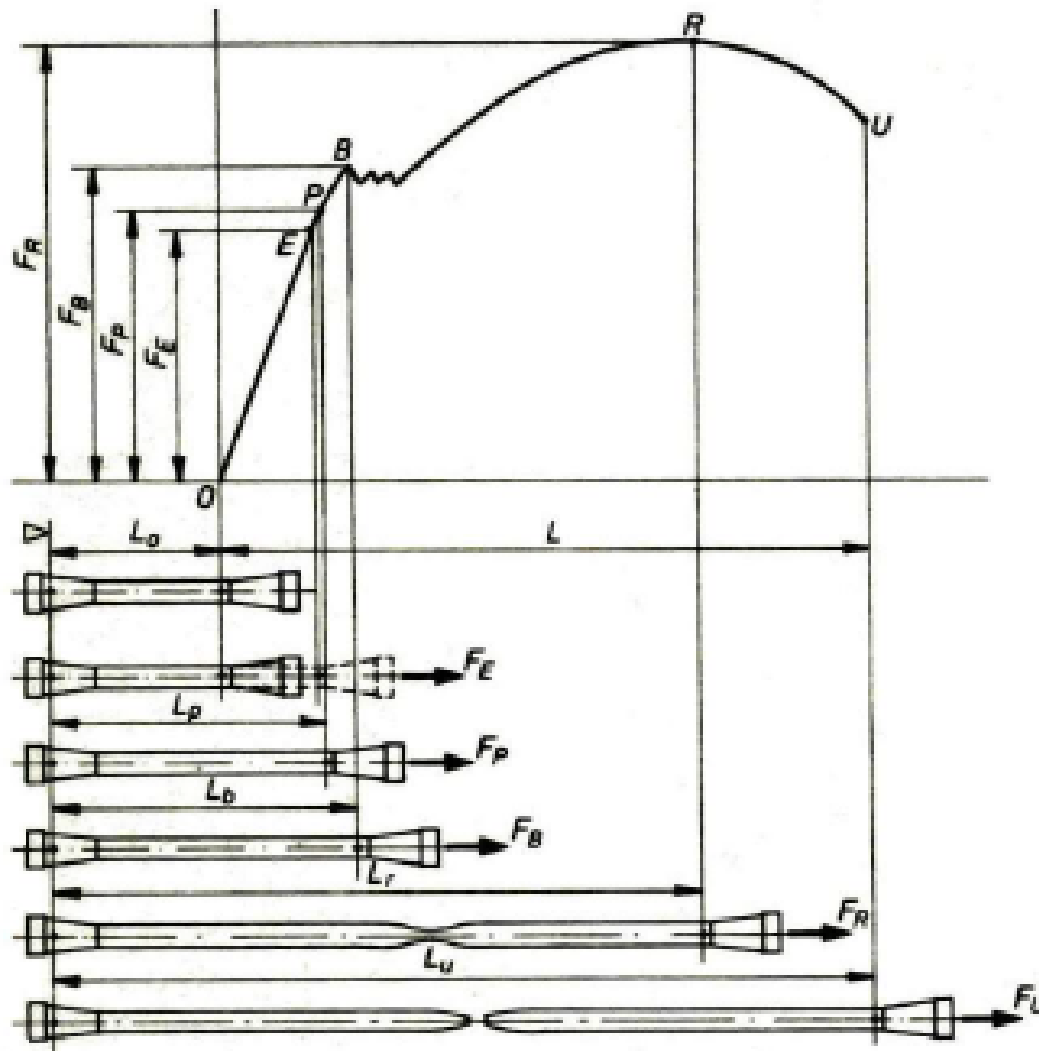
- Cuando se somete una pieza de metal a una fuerza de tracción uniaxial se produce la deformación del metal.
- Si el metal recupera sus dimensiones originales cuando se elimina la fuerza, se considera que el metal ha sufrido una **deformación elástica**. La cantidad de deformación elástica que puede soportar un metal es pequeña pues durante la deformación elástica, los átomos del metal se desplazan de sus posiciones originales, pero sin llegar a alcanzar nuevas posiciones. De este modo, cuando la fuerza sobre el metal deformado elásticamente se elimina, los átomos del metal vuelven a sus posiciones iniciales y el metal recupera su forma inicial.
- Si el metal se deforma tanto que no puede recuperar completamente sus dimensiones originales, se considera que ha sufrido una **deformación Plástica**
- **Ley de Hook**: relación lineal entre la tensión aplicada y la deformación producida en la región elástica del diagrama.

Ensayo de tracción



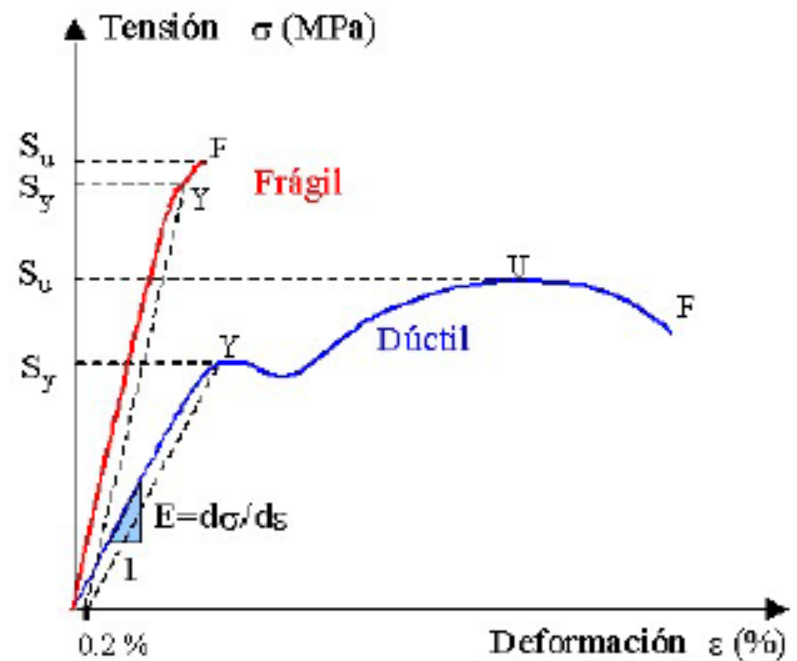
- Deformación elástica
- Ley de Hook
- Limite de elasticidad
- Zona de fluencia
- Deformación plástica
- Resistencia a la tracción
- Estricción
- Fractura
- Fractura dúctil
- Fractura frágil

Ensayo de tracción



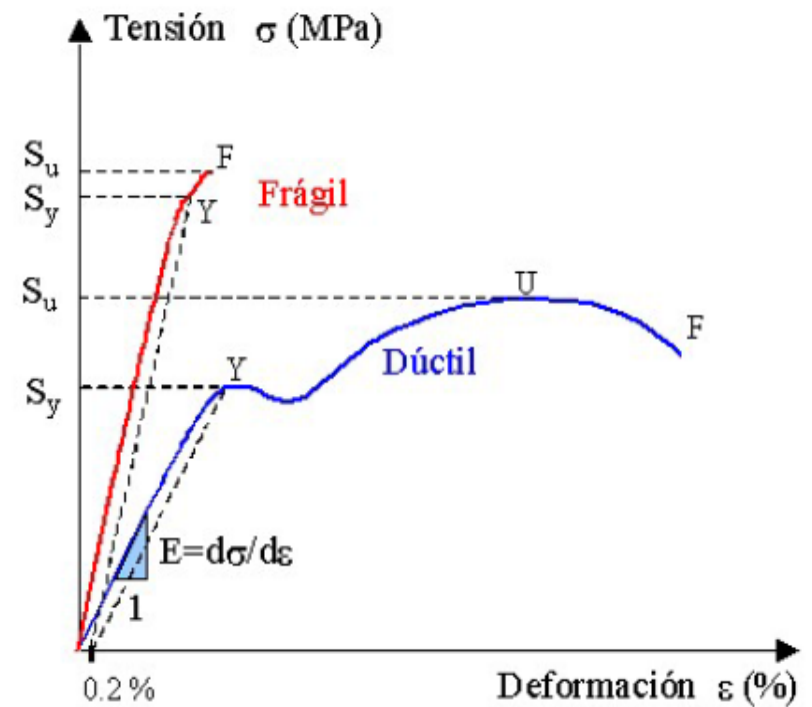
Ensayo de tracción

- La fractura es la separación de un sólido en dos o más piezas, bajo la acción de una fuerza.
- La ductilidad es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportar un material hasta la fractura.
- Cuanto más dúctil es el material, mayor es la estricción antes de la fractura y más descendente la tensión alejándose del valor de resistencia a la tracción.



Ensayo de tracción

- La fractura dúctil de un metal tiene lugar después de una intensa deformación plástica y se caracteriza por la lenta propagación de la fisura.
- La fractura frágil, en contraste, presenta una rápida propagación de la fisura
- Debido a su rapidez, las fracturas frágiles conducen a súbitas e inesperadas fallas catastróficas, mientras que la deformación plástica acompañada de fractura dúctil puede detectarse antes de que ocurra la fractura.

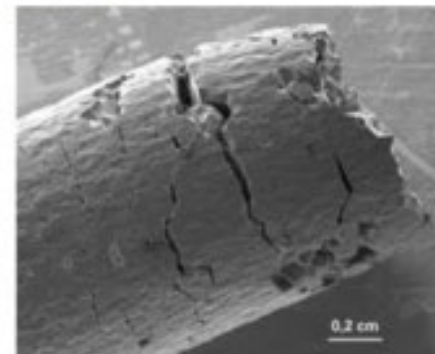
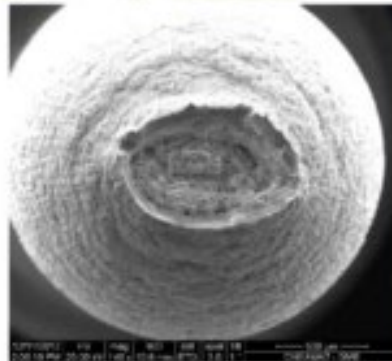
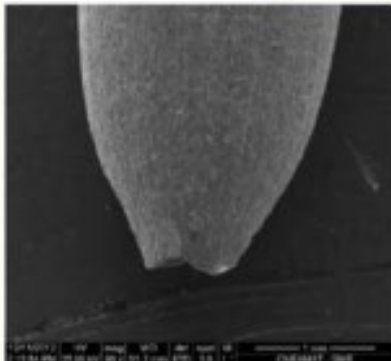


Ensayo de tracción

Dúctil



Frágil



Ensayo de tracción

Tenacidad

- Es la energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura.
- Se determina como el área debajo de la curva esfuerzo – deformación.
- Esta superficie es una indicación del trabajo total, por unidad de volumen que puede realizarse sobre el material sin que se produzca rotura
- La ductilidad es la capacidad de un material para sufrir deformaciones sin romperse. Es la propiedad opuesta a la fragilidad.



Ensayo de tracción - Problema 1

- Una barra de 1,25 cm de diámetro está sujeta a un peso de 2500 kg. Calcule la tensión convencional que actúa en la barra en megapascuales (MPa).

El peso que actúa sobre la barra tiene una masa de 2 500 kg. En unidades de SI la fuerza sobre la barra es igual a la masa del peso por la aceleración de gravedad (9.81 m/s^2),

o

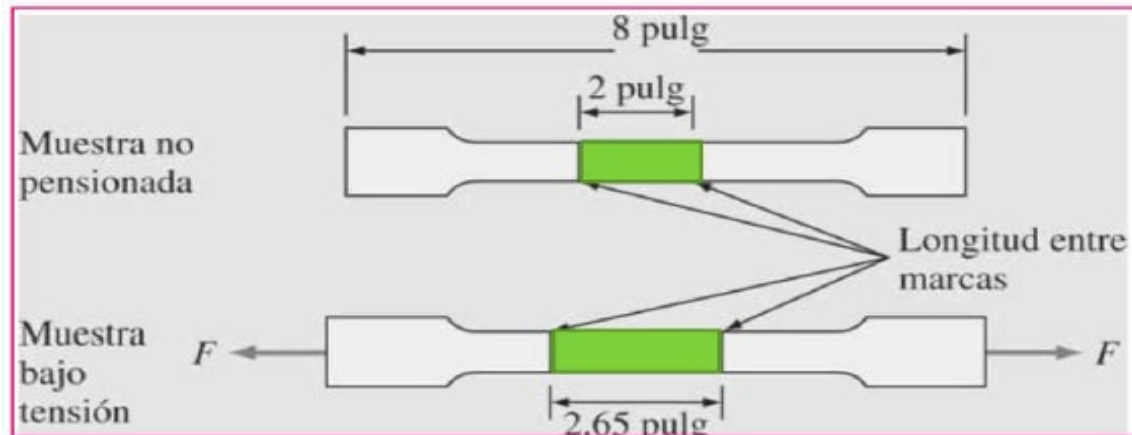
$$F = ma = (2\,500 \text{ kg}) (9.81 \text{ m/s}^2) = 24\,500 \text{ N}$$

El diámetro d de la barra = 1.25 cm = 0.0125 m. Por tanto, la tensión convencional en la barra es

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F}{A_0} = \frac{F}{(\pi/4)(d^2)} = \frac{24\,500 \text{ N}}{(\pi/4)(0.0125 \text{ m})^2} \\ &= (2.00 \times 10^8 \text{ Pa}) \left(\frac{1 \text{ MPa}}{10^6 \text{ Pa}} \right) = 200 \text{ MPa}.\end{aligned}$$

Ensayo de tracción - Problema 2

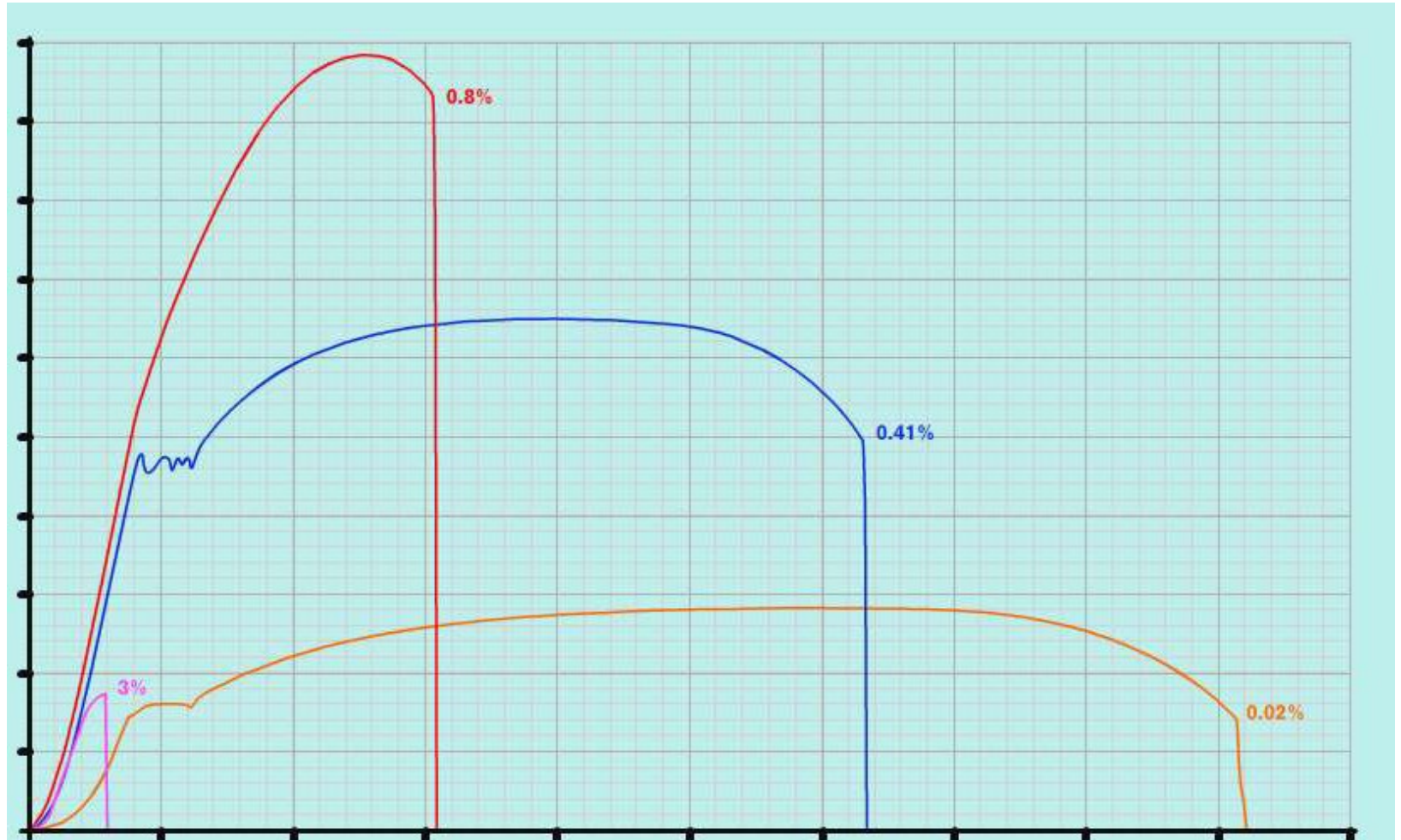
- Una probeta de aluminio comercialmente puro de 0,50 pulgadas de ancho; 0,040 pulgadas de espesor, y 8 pulgadas de longitud con dos marcas de ensayo realizadas en el centro de la probeta y separadas entre sí 2,00 pulgadas, es deformada hasta que las marcas se han separado 2,65 pulgadas. Calcule la deformación convencional y el porcentaje de alargamiento que ha sufrido la muestra.



$$\text{Deformación Convencional } \varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{(2,65 - 2,00) \text{ pulg}}{2,00 \text{ pulg}} = \frac{0,65 \text{ pulg}}{2,00 \text{ pulg}} = 0,325$$

$$\% \text{ Alargamiento} = 0,325 \cdot 100\% = 32,5\%$$

Ensayo de tracción - Problema 3



Ensayo de tracción - Problema 3

Complete la siguiente tabla:

- El acero más tenaz es
- El acero más frágil es
- El acero más resistente es

Acero	Tensión Máxima	Tensión de rotura	Tensión de fluencia	Deformación máxima
0,02 %				
0,41 %				
0,8 %				
3 %				

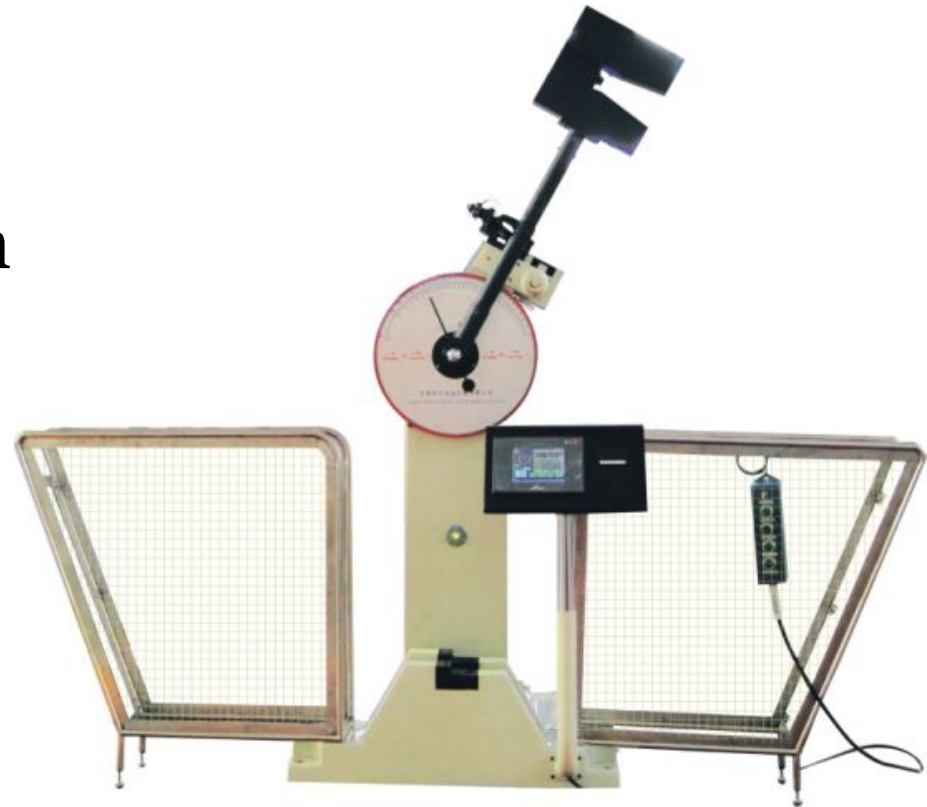
Ensayo de Impacto

Ensayo Charpy

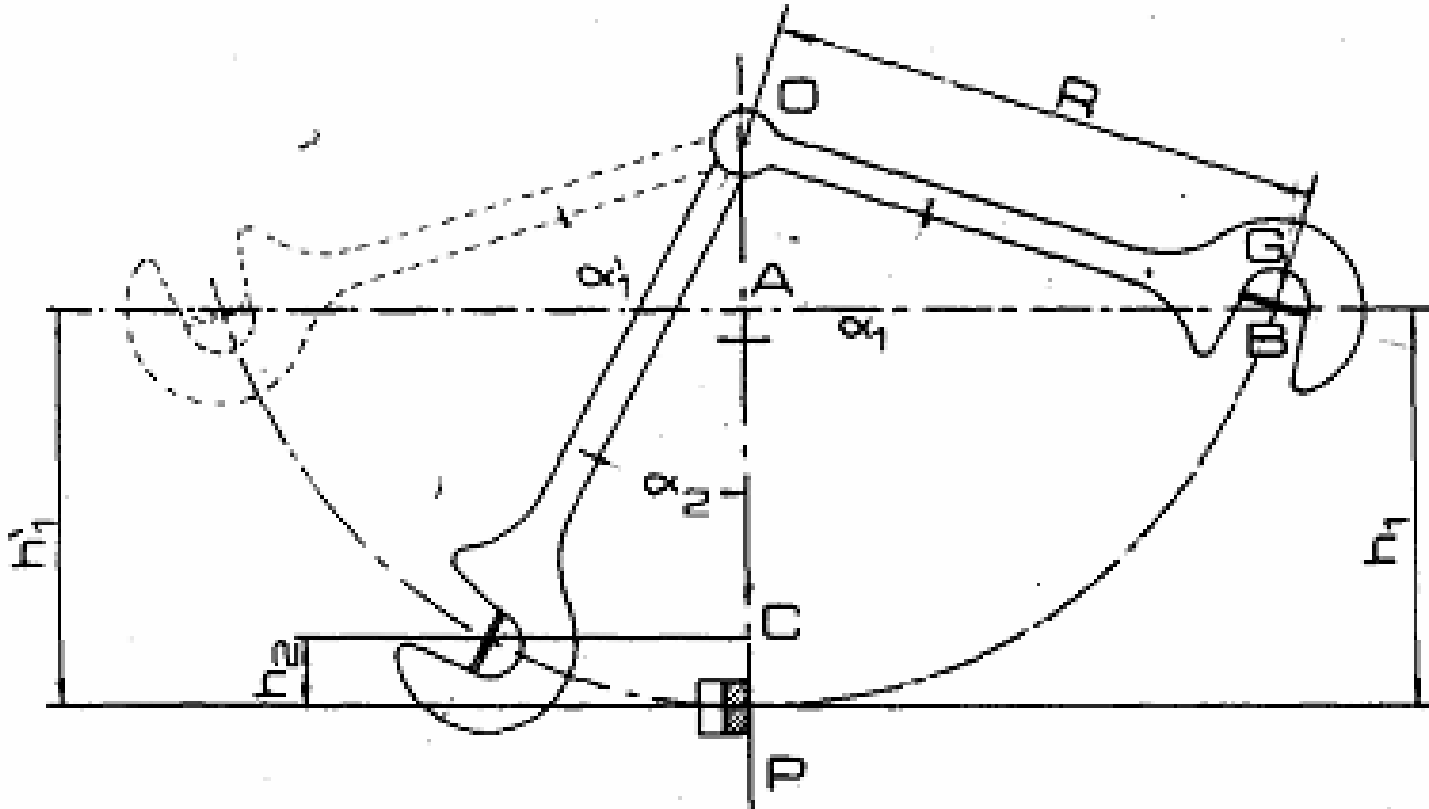
- Energía absorbida
- Temperatura de transición

Ensayo Izod

- Energía absorbida
- Homogeneidad del material



Ensayo de Impacto

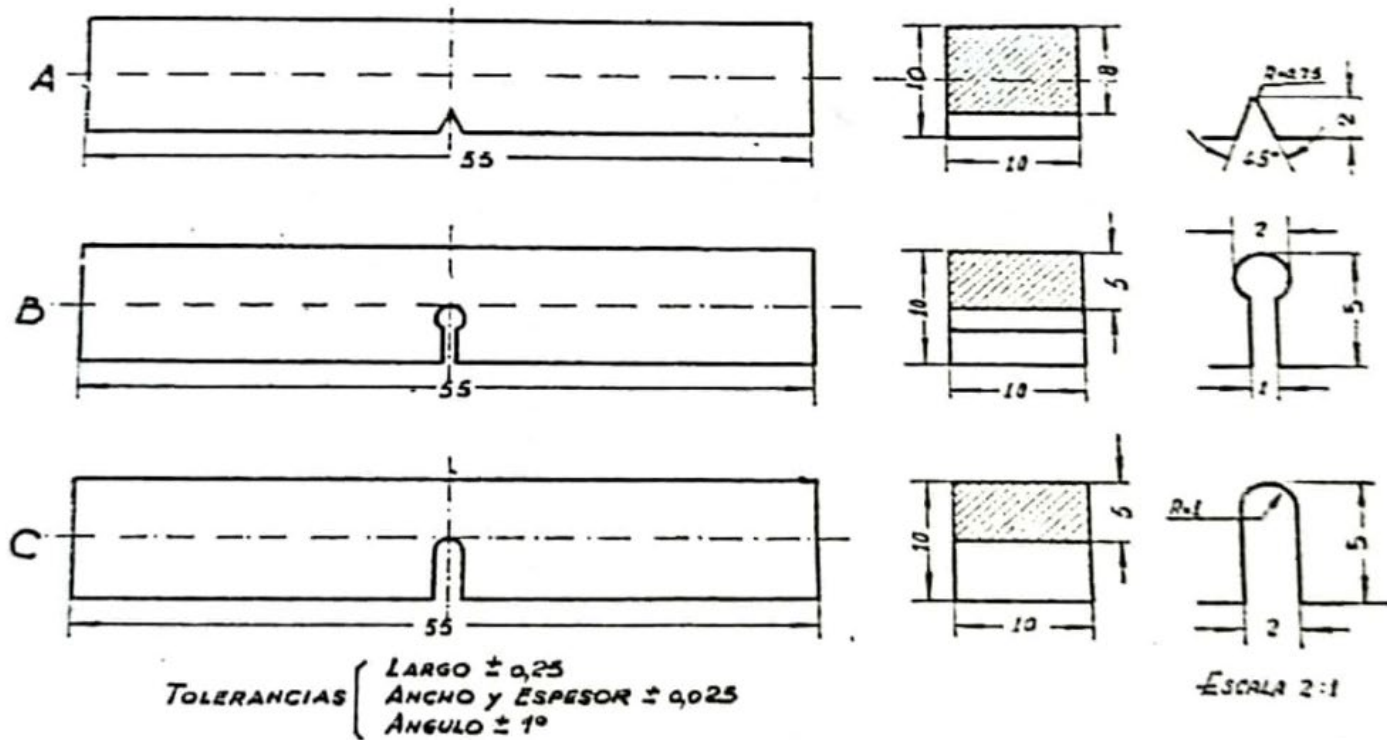


$$A_o = GR (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad [\text{Kgm/cm}^2]$$

$$\alpha_1 \leq \alpha_1' \leq \alpha_1 - 1\% \alpha_1$$

Ensayo de Impacto

Probetas

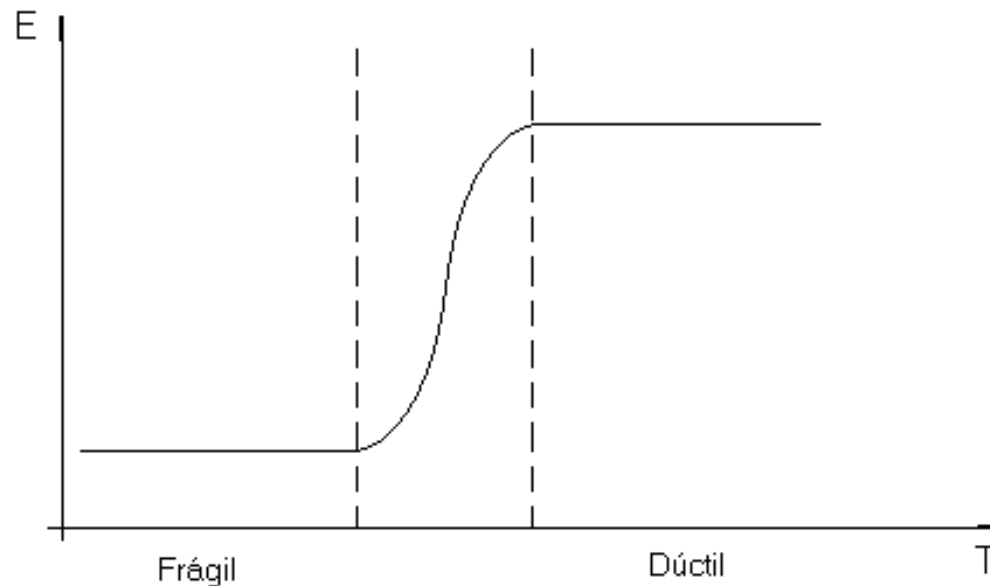
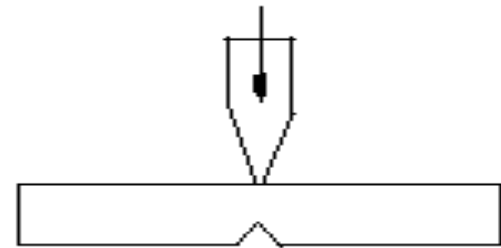


Ensayo de Impacto

- ***Ensayo Charpy***

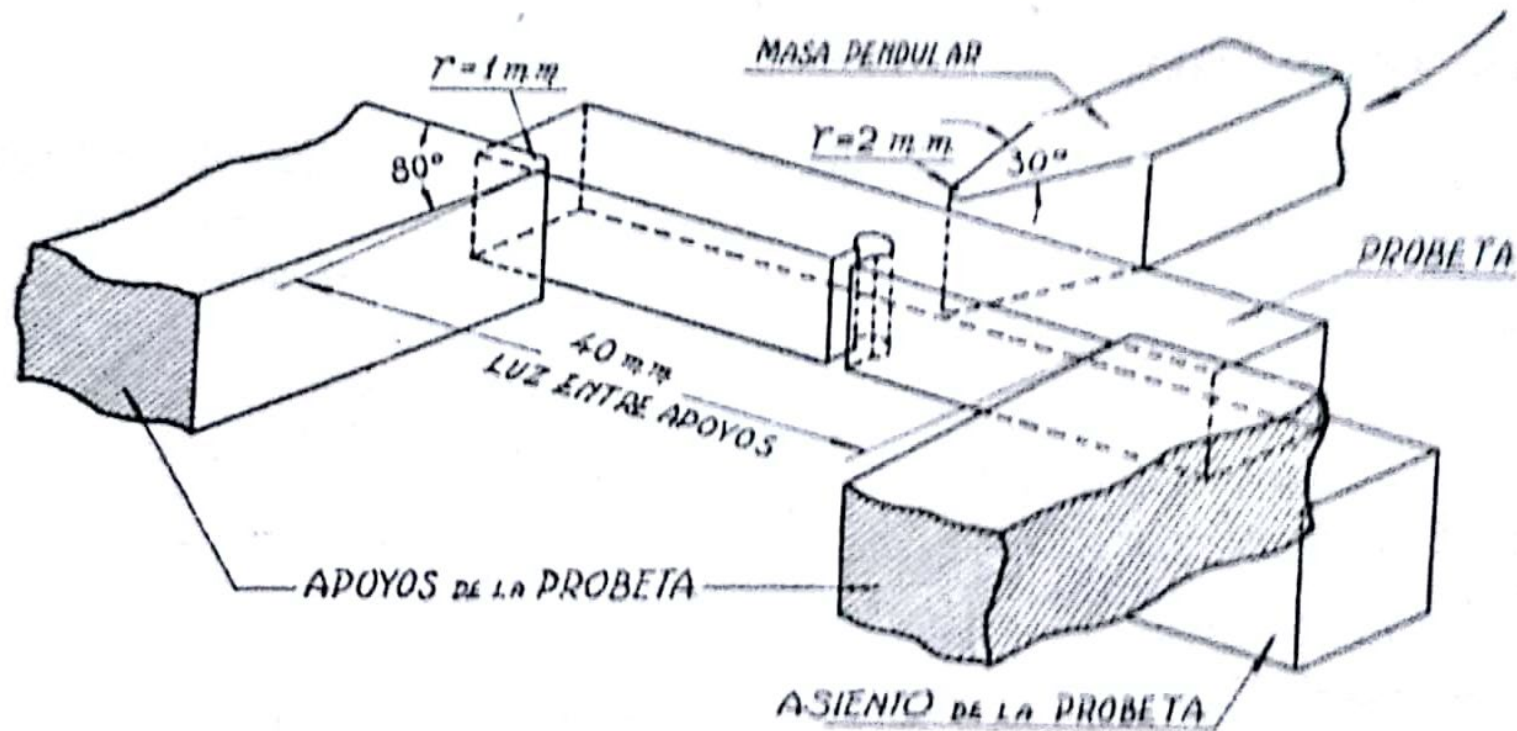
Energía absorbida

Temperatura de transición



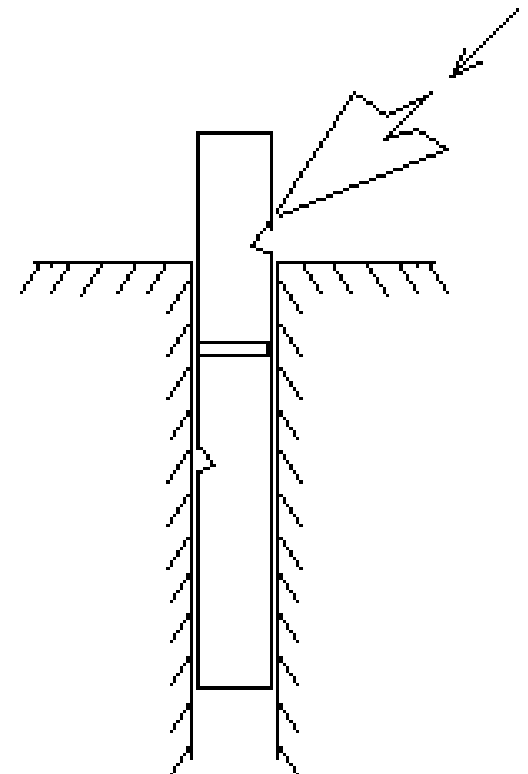
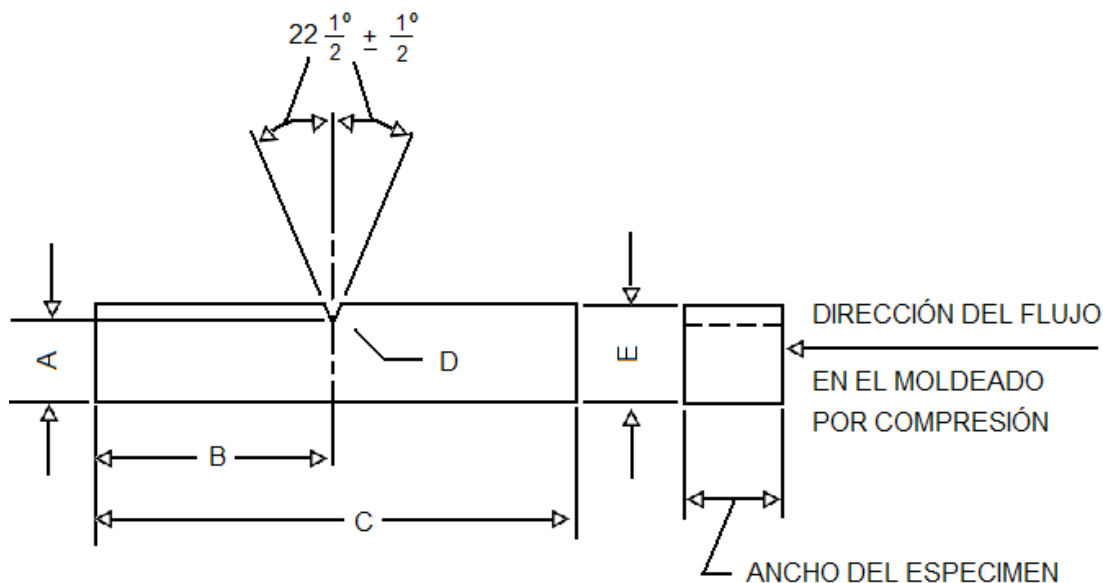
Ensayo de Impacto

- *Ensayo Charpy*



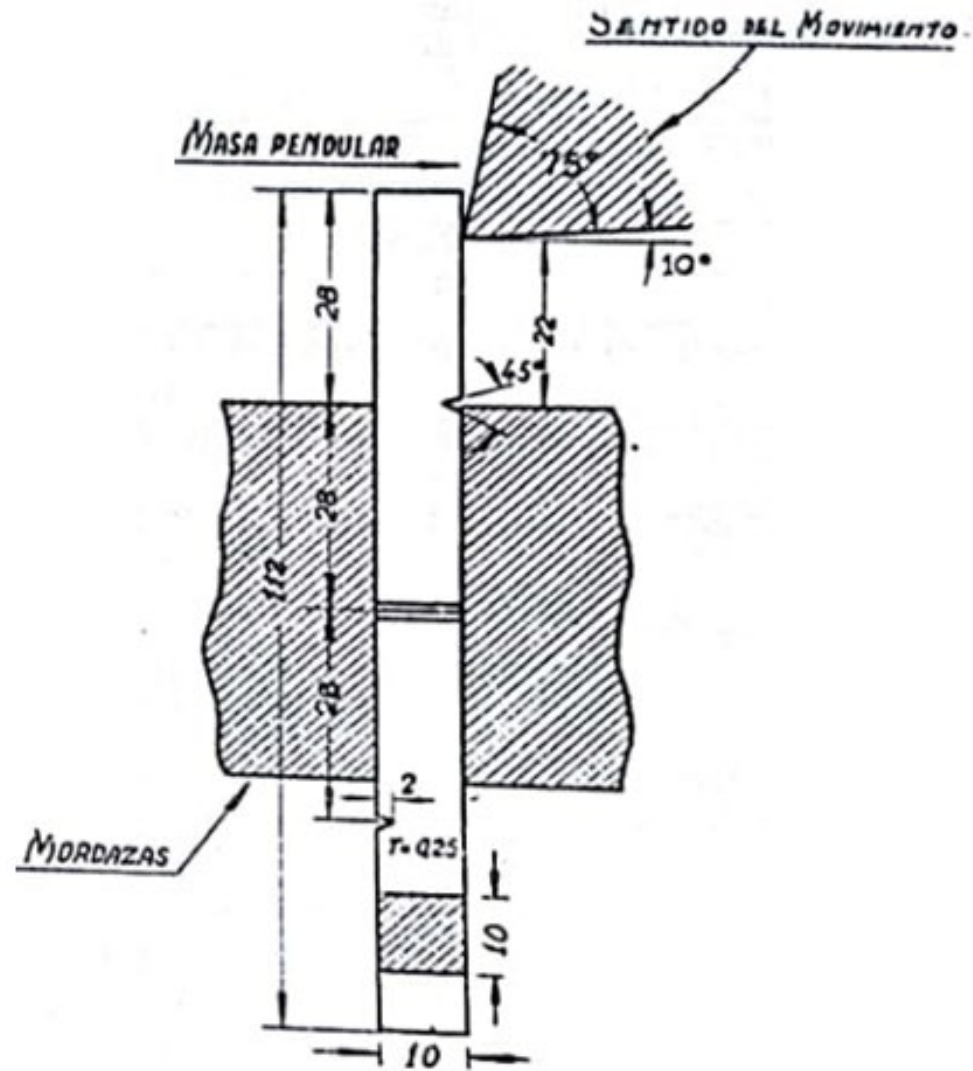
Ensayo de Impacto

- ***Ensayo Izod***
- Energía absorbida
- Homogeneidad del material



Ensayo de Impacto

- *Ensayo Izod*



Ensayo de Impacto

Diferencias entre los métodos de Charpy e Izod

	Método Charpy	Método Izod
Energía Absorbida	Si	Si
Temperatura de transición vítrea (Tg)	Si	No
Homogeneidad del material	No	Si
Probeta	Tiene 1 entalla	Puede tener hasta 4 entallas
Fijación de la probeta	Simplemente apoyada	Empotrada
Lugar donde golpea el péndulo	En la cara opuesta a la entalla	En la cara de la entalla

Ensayo de Dureza

- ***Dureza***

Ensayos estáticos

Ensayos dinámicos

En general se puede utilizar la medición de dureza para:

- evaluar la efectividad de un tratamiento térmico.
- evaluar la resistencia al desgaste de un material
- evaluar la maquinabilidad del material.
- obtener una idea de la resistencia a la tracción de un material.

Ensayo de Dureza

- ***Dureza Brinell***

$$H_B = \frac{P}{S}$$

$$P = C \times D^2$$

H_B = Dureza Brinell

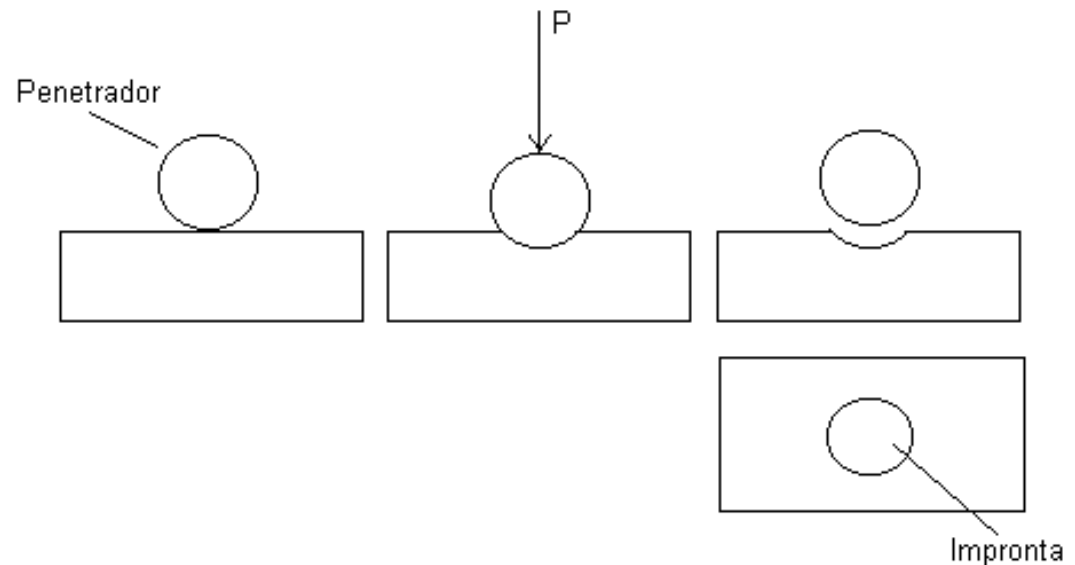
P = Carga

S = Superficie de la impronta

C: Constante de ensayo

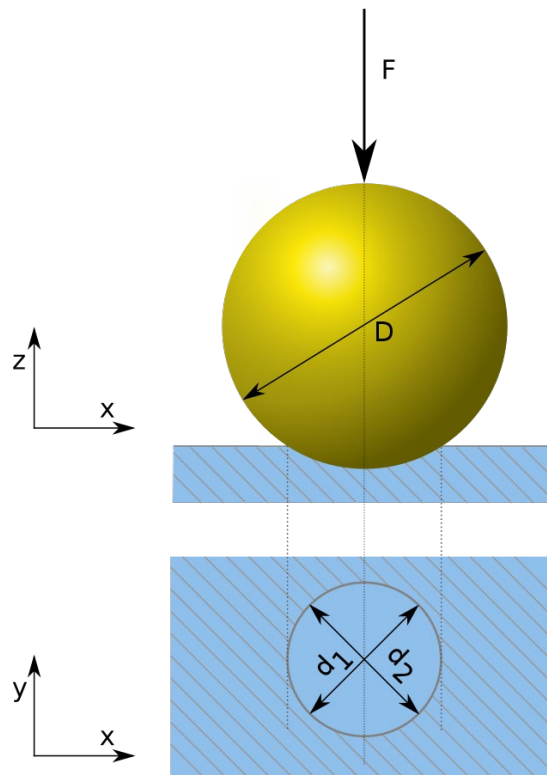
D: Diámetro del penetrador.

$$0,25 < \frac{d}{D} < 0,50$$



Ensayo de Dureza

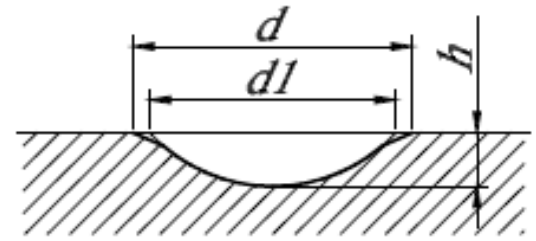
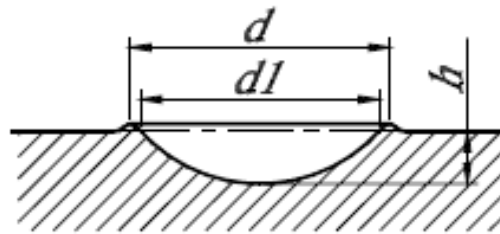
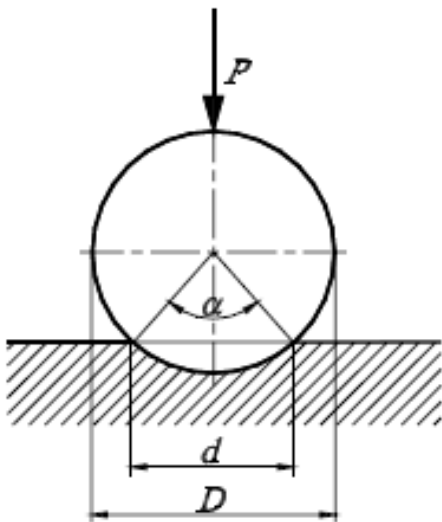
- ***Dureza Brinell***



Ensayo de Dureza

- ***Dureza Brinell***

$$H = \frac{P}{S} \quad S = \pi \cdot D \cdot h \quad H = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot h}$$



Ensayo de Dureza

- ***Dureza Brinell***

Indicación del valor de dureza

$$HB_{param1 / param2 / param3} = \begin{cases} HB = \text{dureza Brinell} \\ parametro1 = \text{diametro de la bolilla } D \text{ [mm]} \\ parametro2 = \text{c arg a aplicada } P \text{ [kg]} \\ parametro3 = \text{tiempo de aplicacion de la c arg a [s]} \end{cases}$$

Ensayo de Dureza

Desventajas del método de dureza Brinell

- ✓ No se puede ensayar materiales muy duros
- ✓ Debe verificarse el resultado con la formula

$$0,25 < \frac{d}{D} < 0,50$$

- ✓ No se tiene en cuenta la recuperación elástica del material

Ensayo de Dureza

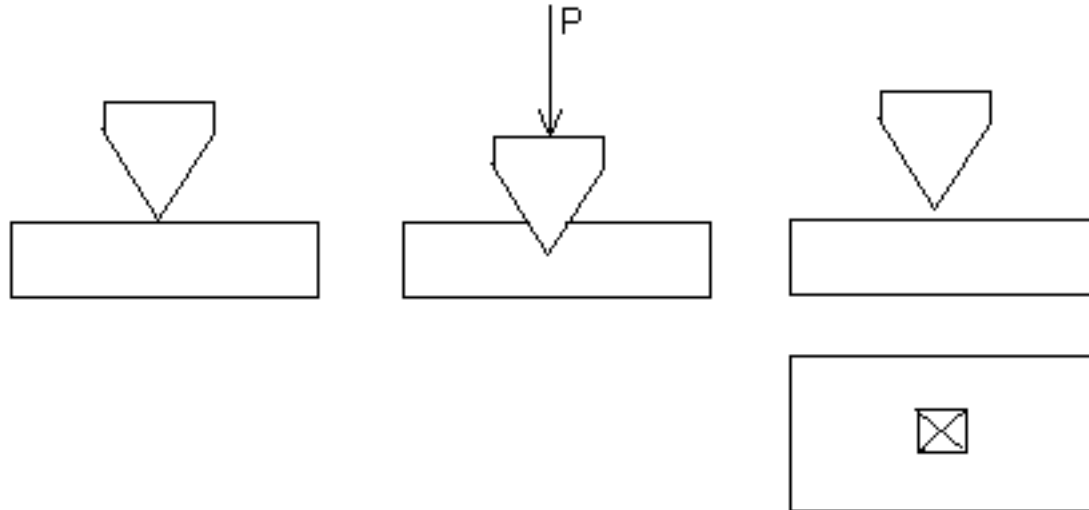
Para tener una buena medición es conveniente contemplar las siguientes recomendaciones:

- ✓ Las caras de la probeta deben ser lo más planas y paralelas posible; deben estar pulidas
- ✓ La carga debe actuar en forma normal a la cara de la probeta, la cual no deberá moverse durante el ensayo.
- ✓ El centro de la impresión debe distar al menos $2d$ del borde de la probeta y $3d$ de otra impresión
- ✓ Luego del ensayo no deben quedar marcas en la cara opuesta de la probeta.
- ✓ Si la pieza a ensayar presenta una superficie curva la impresión no será circular, por esta razón el radio de curvatura no debe ser inferior a los 25 mm y el diámetro d puede tomarse como el promedio de mediciones en varias direcciones.[1][2]

Ensayo de Dureza

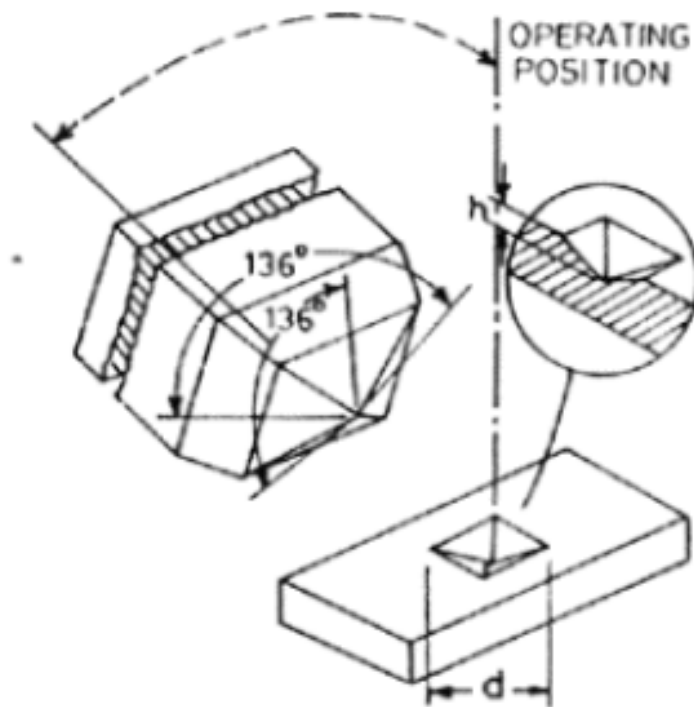
- ***Dureza Vickers***

$$H_v = P/S$$

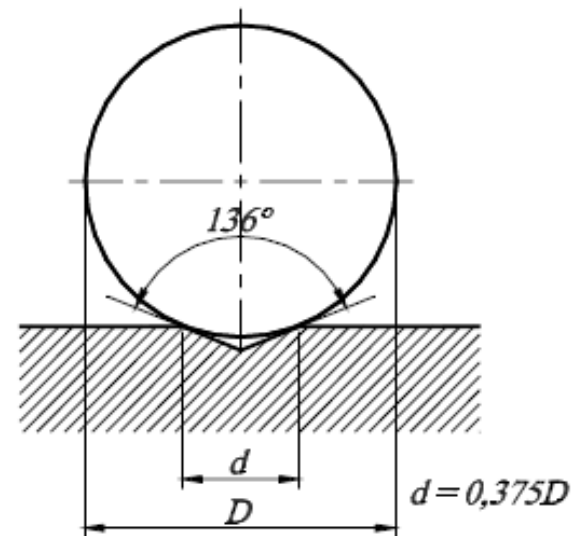


Ensayo de Dureza

- ***Dureza Vickers***



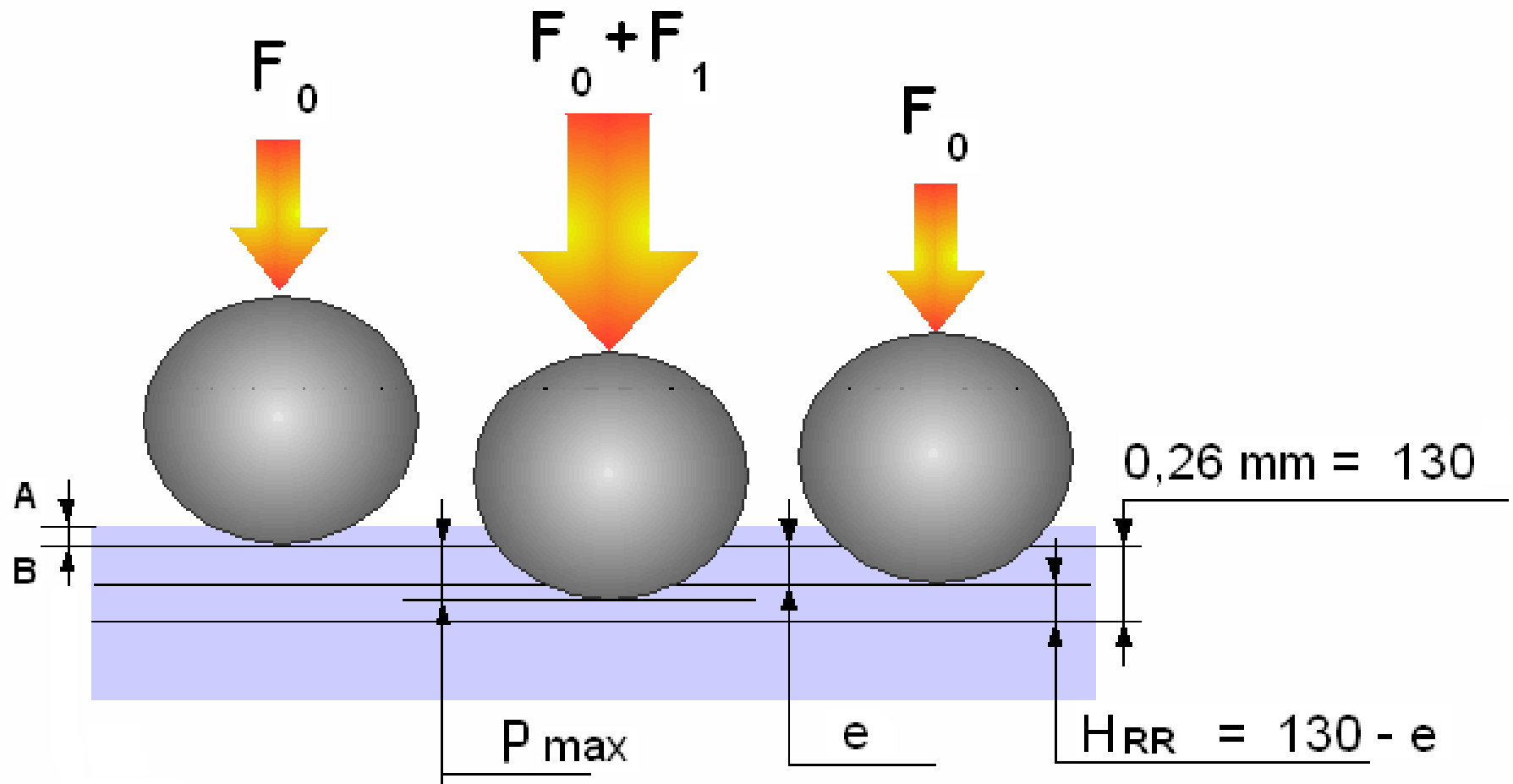
$$HV = \frac{P}{4 h^2 \tan\left(\frac{136}{2}\right) \sqrt{1 + \tan^2\left(\frac{136}{2}\right)}}$$

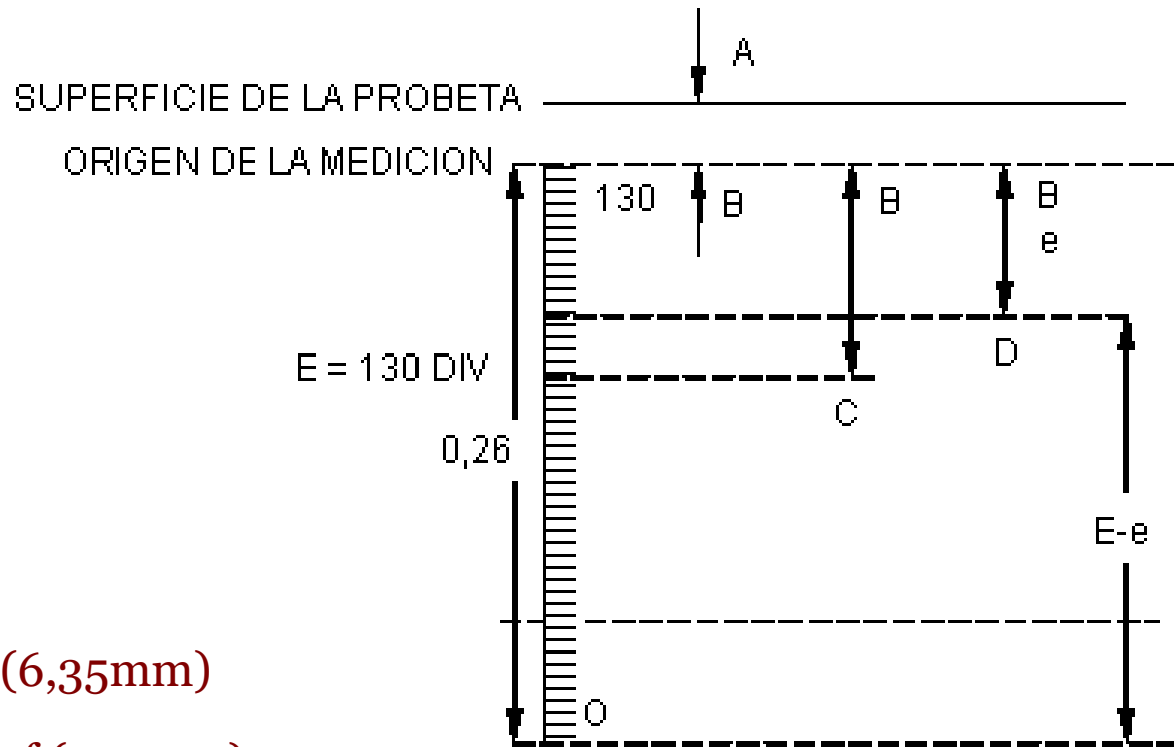


Ensayo de Dureza Rockwell



Ensayo de Dureza Rockwell





Condición M = H_{RM}

Diámetro D = 1/4 " (6,35mm)

Fuerza $F_t = 100 \text{ Kgf} (10 + 90)$

H_{RM} 20 a H_{RM} 130

$$H_R = E - e$$

ESCALA	Penetrador	CARGAS (Kg)			Color de Escala	Materiales
		Inicial	Adicional	Total		
B	Bolilla 1/16"	10	90	100	Roja	Aceros blandos
C	Cono	10	140	150	Negra	Aceros y metales duros
A	Cono	10	50	60	Negra	Aceros nitrurados
D	Cono	10	90	100	Negra	Aceros cementados
E	Bolilla 1/8"	10	90	100	Roja	Metales antifriccións o blandos
F	Bolilla 1/16"	10	50	60	Roja	Bronce recocido
G	Bolilla 1/16"	10	140	150	Roja	Bronce fosforoso
H	Bolilla 1/8"	10	50	60	Roja	Metales blandos
K	Bolilla 1/8"	10	140	150	Roja	Metales duros
L	Bolilla 1/4"	10	50	60	Roja	Fundición de hierro
M	Bolilla 1/4"	10	90	100	Roja	Metales no muy duros
P	Bolilla 1/4"	10	140	150	Roja	Metales no muy duros
R	Bolilla 1/2"	10	50	60	Roja	Metales muy blandos
S	Bolilla 1/2"	10	90	100	Roja	Metales muy blandos
V	Bolilla 1/2"	10	140	150	Roja	Metales blandos

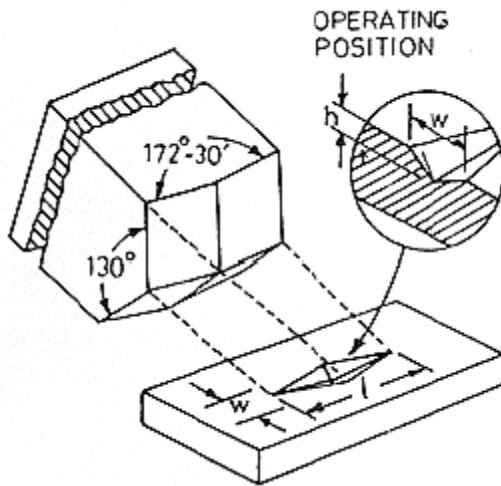
Ensayo de Dureza

Ventajas del método de dureza Rockwell

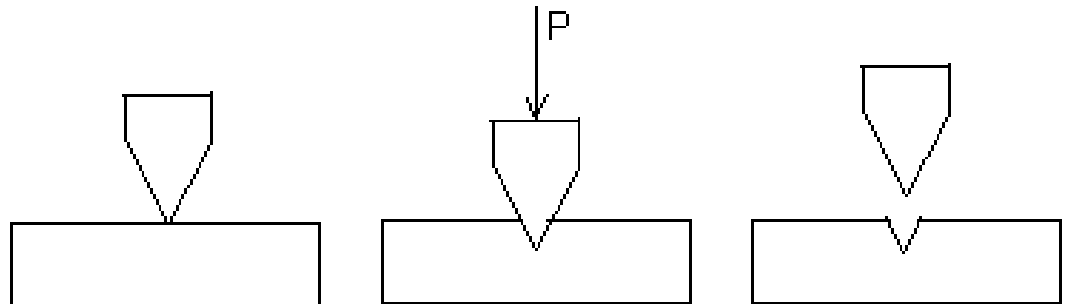
- ✓ Se pueden ensayar cualquier clase de materiales (duros y blandos)
- ✓ No necesita aplicar ninguna fórmula
- ✓ El valor final de dureza se obtiene directamente sobre el dial indicador de la maquina.
- ✓ Si se tiene en cuenta la recuperación elástica del material

Ensayo de Dureza

- ***Dureza Knops***

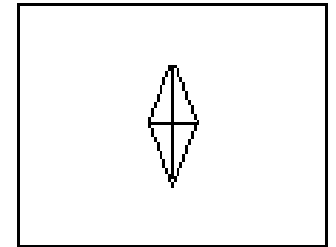


$$S = \frac{wl}{2}$$

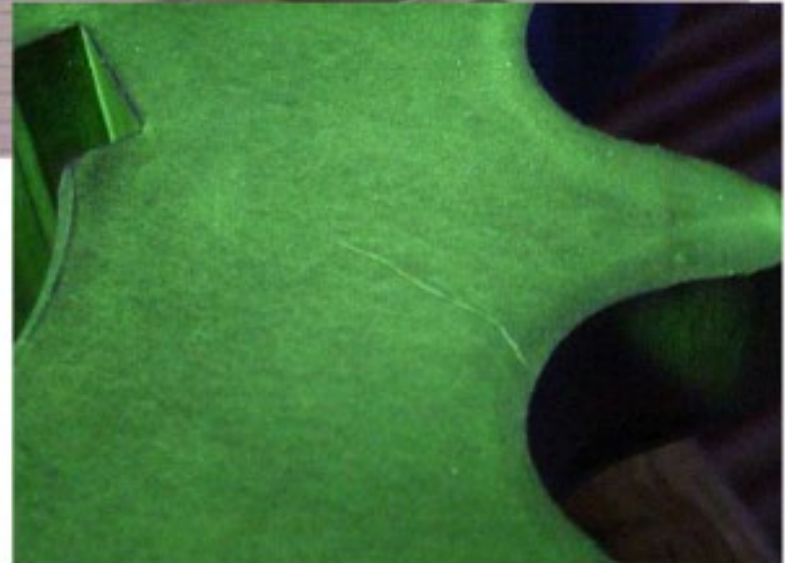
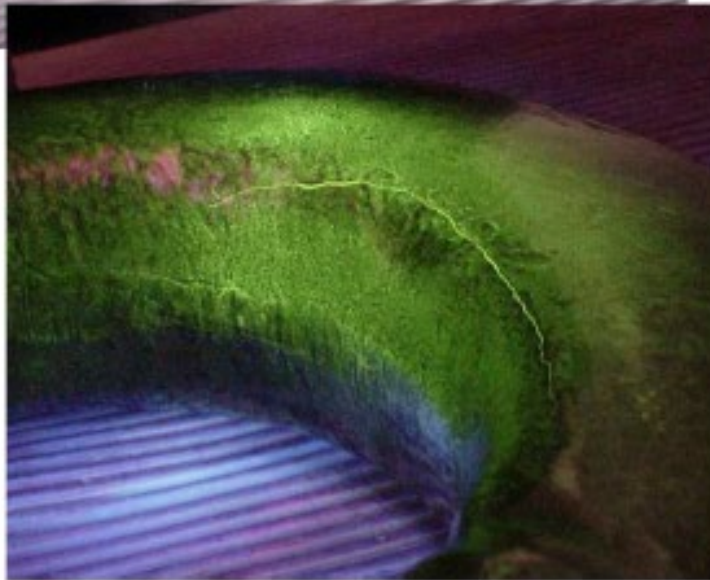


$$H_k = \frac{P}{S}$$

$$HK = 14229 \frac{P}{l^2}$$



Ensayo no destructivos



Ensayo no destructivos

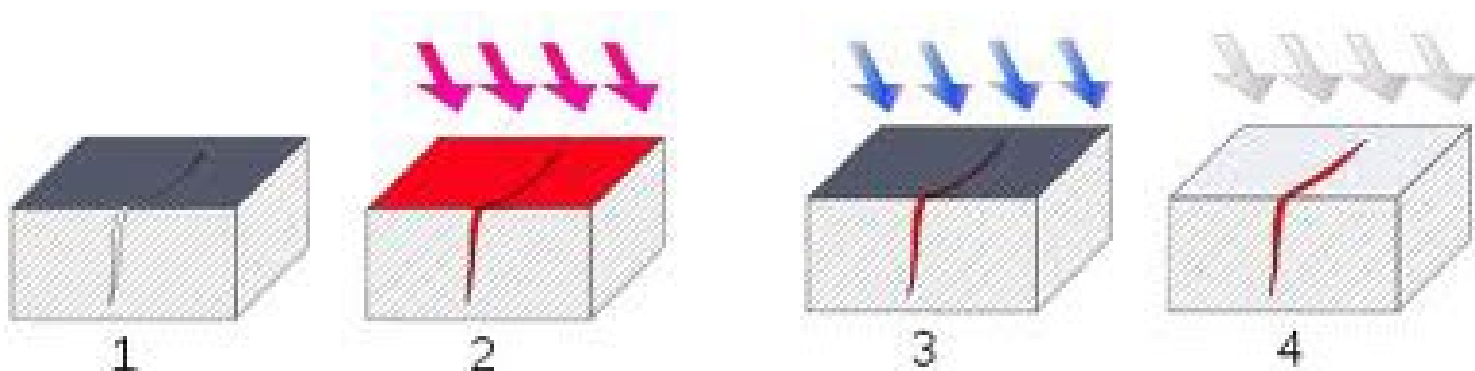
Líquidos penetrantes

- 1) El ensayo por líquidos penetrantes es un método de ensayo no destructivo que permite la determinación de discontinuidades superficiales en materiales sólidos no porosos.
- 2) El campo de aplicación más frecuente de estos ensayos es la inspección de metales no ferromagnéticos (aluminio y sus aleaciones, aceros inoxidables, cobres, bronce, latones, etc)
- 3) Los metales ferromagnéticos (aceros al carbono y aleados, etc) también se pueden inspeccionar por líquidos penetrantes pero normalmente suele ser más ventajoso emplear el método de ensayo no destructivo de partículas magnéticas, que es mucho más sensible en estos materiales.

Ensayo no destructivos

Líquidos penetrantes

- 1) Preparación y limpieza previa de la superficie a ensayar.
- 2) Aplicación del líquido penetrante, tiempo de penetración.
- 3) Eliminación del exceso de penetrante de la superficie de ensayo.
- 4) Aplicación del revelador.
- 5) Inspección para interpretación y evaluación de las indicaciones.
- 6) Limpieza final.



Ensayo no destructivos

Líquidos penetrantes



Ensayo no destructivos

Líquidos penetrantes

- **Líquidos fluorescentes:**
 - Autoemulsionables
 - Postemulsionables
 - Removibles con solventes
 - De base acuosa
- **Líquidos coloreados:**
 - Autoemulsionables
 - Postemulsionables
 - Removibles con solventes
 - De base acuosa
- **Los reveladores se dividen en:**
 - Reveladores secos
 - Reveladores Húmedos.

Ensayo no destructivos

Líquidos penetrantes

Ventajas:

- 1) Es un ensayo no destructivo que permite ensayar toda la superficie de la pieza.
- 2) No importa el tamaño o la forma de la pieza.
- 3) No necesita equipos complejos o caros. En general, es un ensayo económico, de bajo costo.
- 4) Puede realizarse de forma automatizada o manual, en taller o en obra.
- 5) Puede realizarse donde no hay suministro de electricidad o agua.
- 6) Se puede aplicar a una amplia gama de materiales.

Limitaciones:

- 1) Sólo detecta discontinuidades abiertas a la superficie y no puede detectar discontinuidades subsuperficiales.
- 2) No se puede aplicar a materiales porosos.
- 3) Las superficies a ensayar tienen que estar completamente limpias (sin pinturas ni recubrimientos)

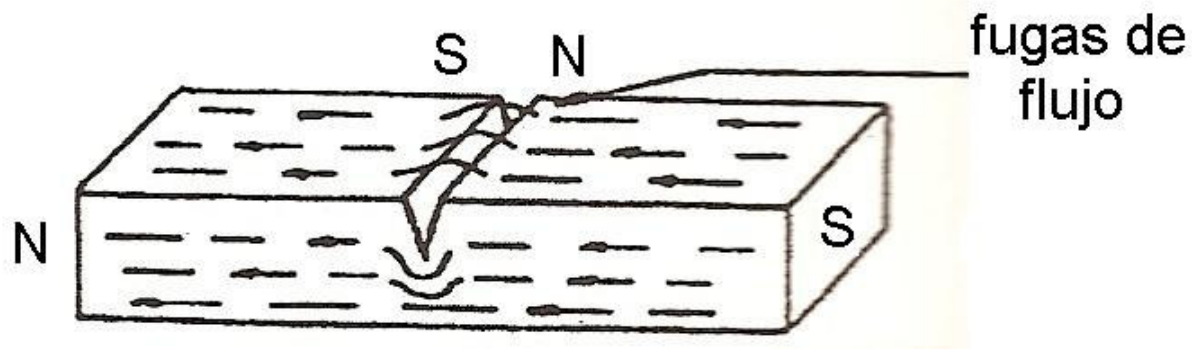
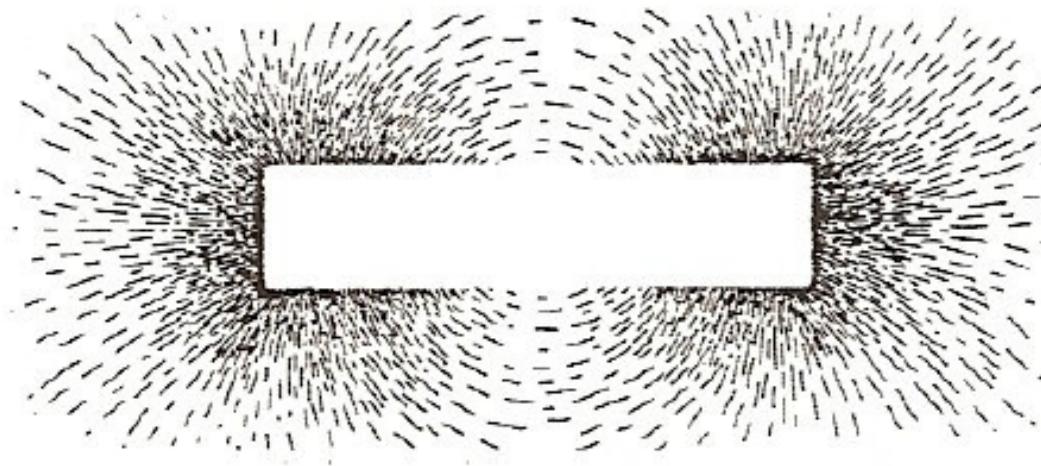
Ensayo no destructivos

Partículas magnéticas

- Esta técnica de ensayo por partículas magnéticas es un procedimiento utilizado en la detección de defectos superficiales o subsuperficiales.
- Esta basada en la acumulación de partículas de material ferromagnético, debido a los campos de fuga que dichas discontinuidades producen en los materiales previamente magnetizados.
- Es por ello que sólo pueden examinarse materiales de alta permeabilidad magnética (ferromagnéticos), aceros en general, no siendo aplicable a aluminio, cobre, zinc o aceros inoxidables austeníticos.

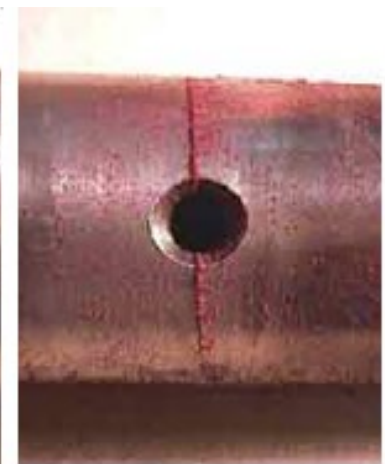
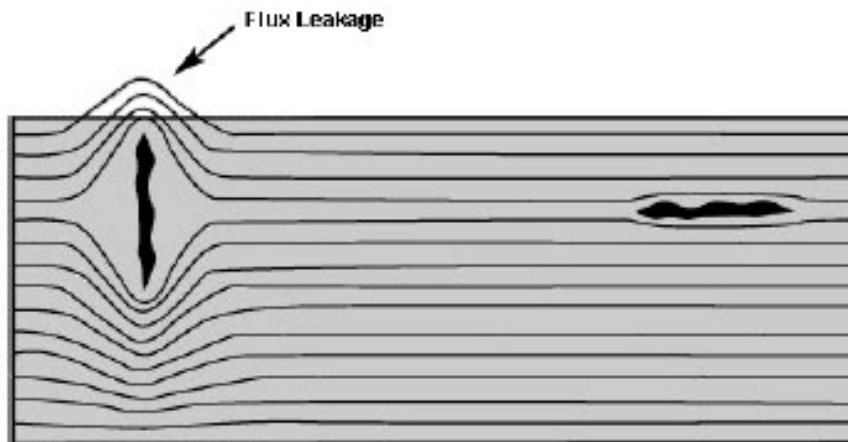
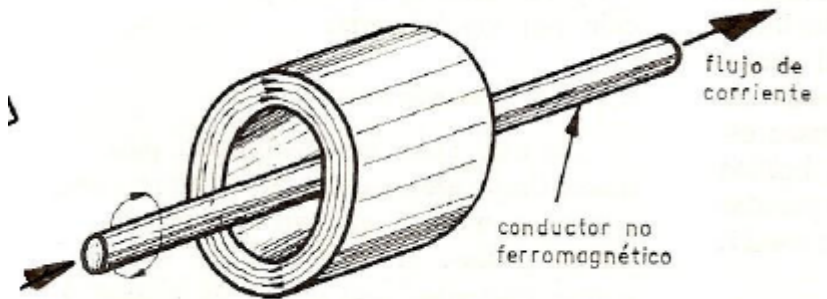
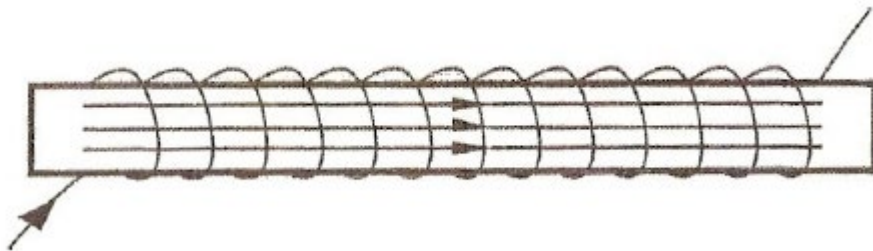
Ensayo no destructivos

Partículas magnéticas



Ensayo no destructivos

Partículas magnéticas



Ensayo no destructivos

Partículas magnéticas

En ensayo consiste de las siguientes etapas:

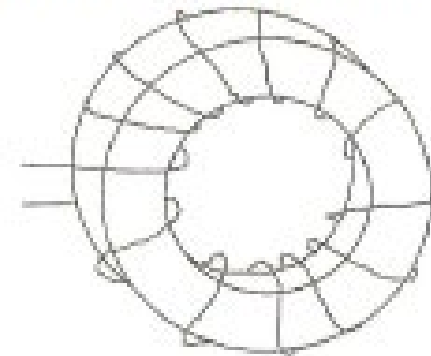
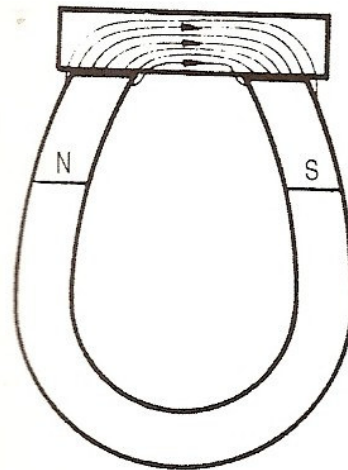
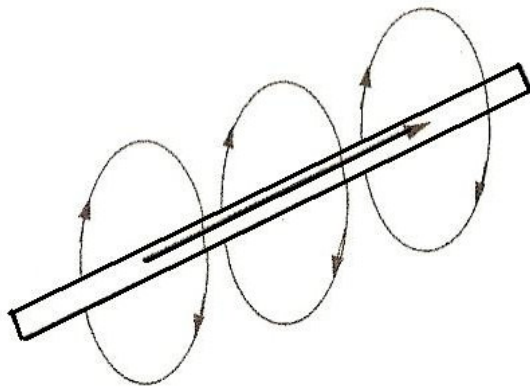
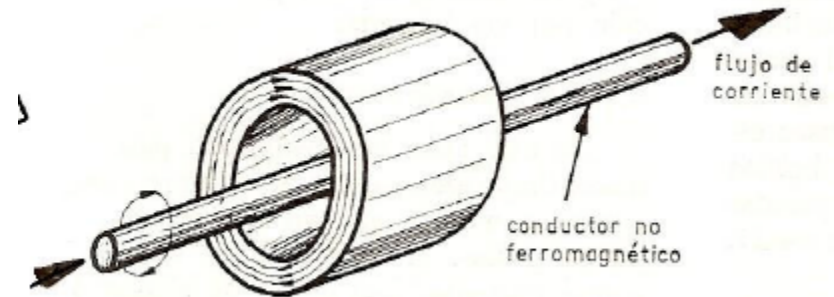
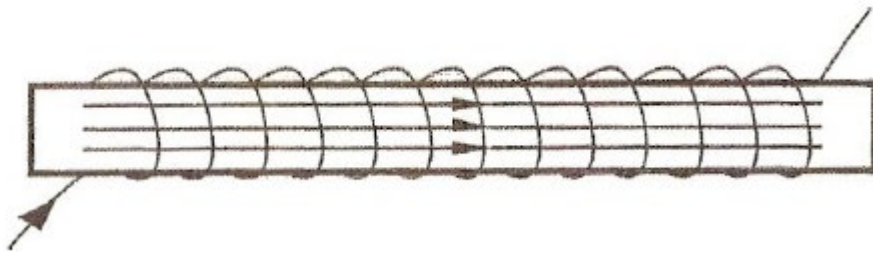
- Limpieza de la pieza a ensayar
- Magnetización de la pieza
- Aplicación de las partículas
- Observación e interpretación de las discontinuidades
- Registro de las indicaciones
- Desmagnetización de la pieza

Según sea el método de aplicación de las partículas :

- Tamaño de las partículas
- Forma de las partículas
- Vía seca
- Vía húmeda

Ensayo no destructivos

Partículas magnéticas



Ensayo no destructivos

Partículas magnéticas

Ventajas:

- Generalmente es un método rápido y económico.
- Requiere de un menor grado de limpieza, con respecto a la inspección por líquidos penetrantes.
- Puede revelar discontinuidades que no afloran a la superficie.

Limitaciones:

- Son aplicables sólo en materiales ferromagnéticos.
- No tienen gran capacidad de penetración.
- El manejo del equipo en campo puede ser caro y lento.
- Generalmente requieren del empleo de energía eléctrica.
- Sólo detectan discontinuidades perpendiculares al campo.

Ensayo no destructivos

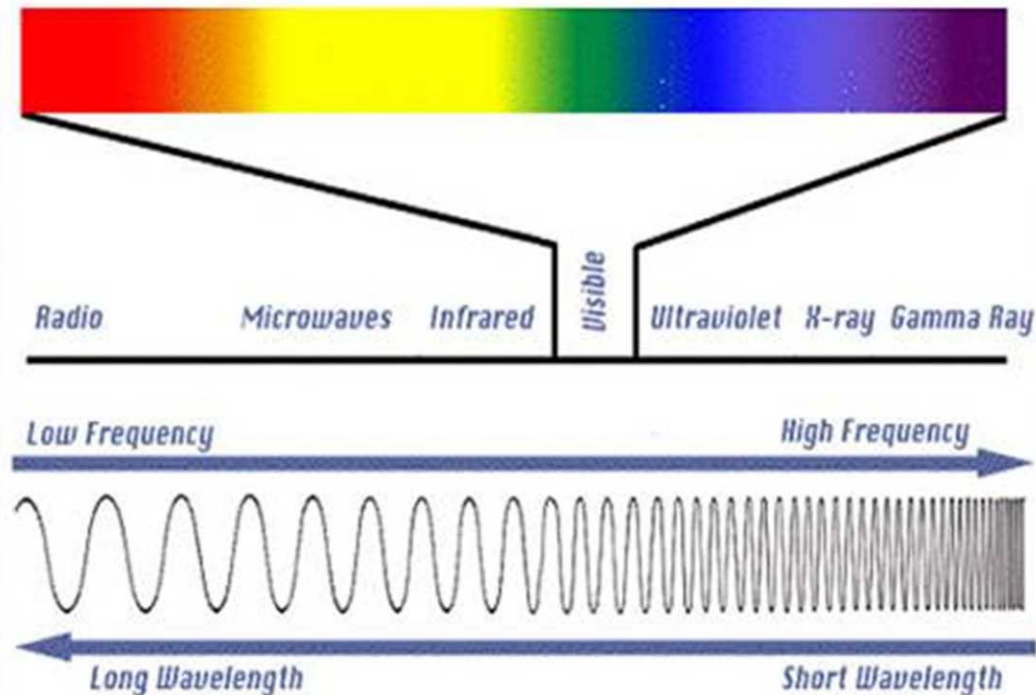
Radiografía Industrial

- La radiografía industrial es un método de ensayo no destructivo que permite la detección de discontinuidades tanto superficiales como internas en piezas de prácticamente todos los materiales empleados en la industria.
- Esta técnica permite radiografiar objetos de todos los tamaños (desde los componentes electrónicos microscópicos hasta componentes de la industria pesada) y de prácticamente todos los materiales conocidos; ya sean fabricados por forjados, fundiciones, mecanizados, laminados, compuestos, etc, y por separado o bien como parte de un conjunto de piezas ensamblado.
- Este método no ocasionan daños a la pieza inspeccionada
- Mediante el uso de radiaciones de alta penetración, tales como las usadas en las técnicas de rayos X y gamma, la radiografía proporciona un registro visual permanente sobre una película sensible (debidamente procesada luego de la exposición) acerca de las condiciones que presenta la pieza inspeccionada.

Ensayo no destructivos

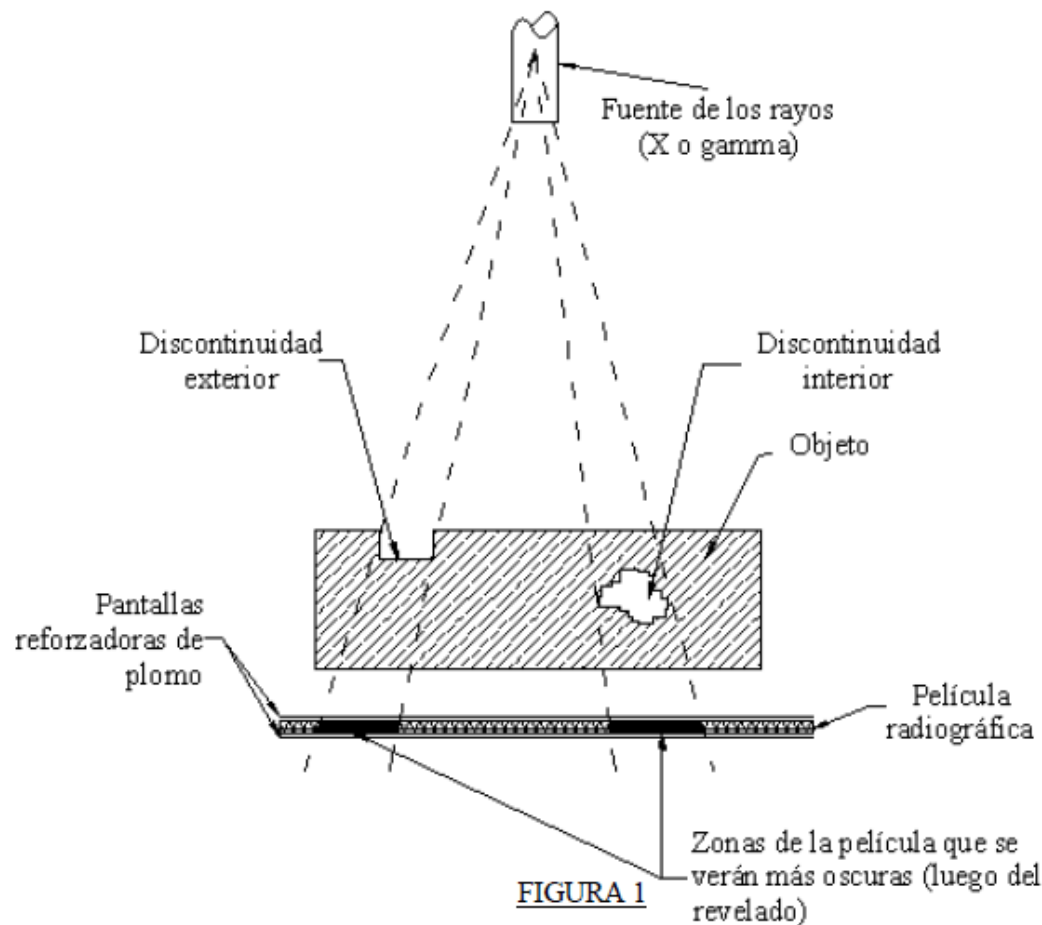
Radiografía Industrial

La radiación usada en Rayos X es una versión de alta frecuencia (baja longitud de onda) de las ondas electromagnéticas que forman el espectro de la luz visible. La radiación puede provenir de un generador de Rayos X o de una fuente radioactiva.



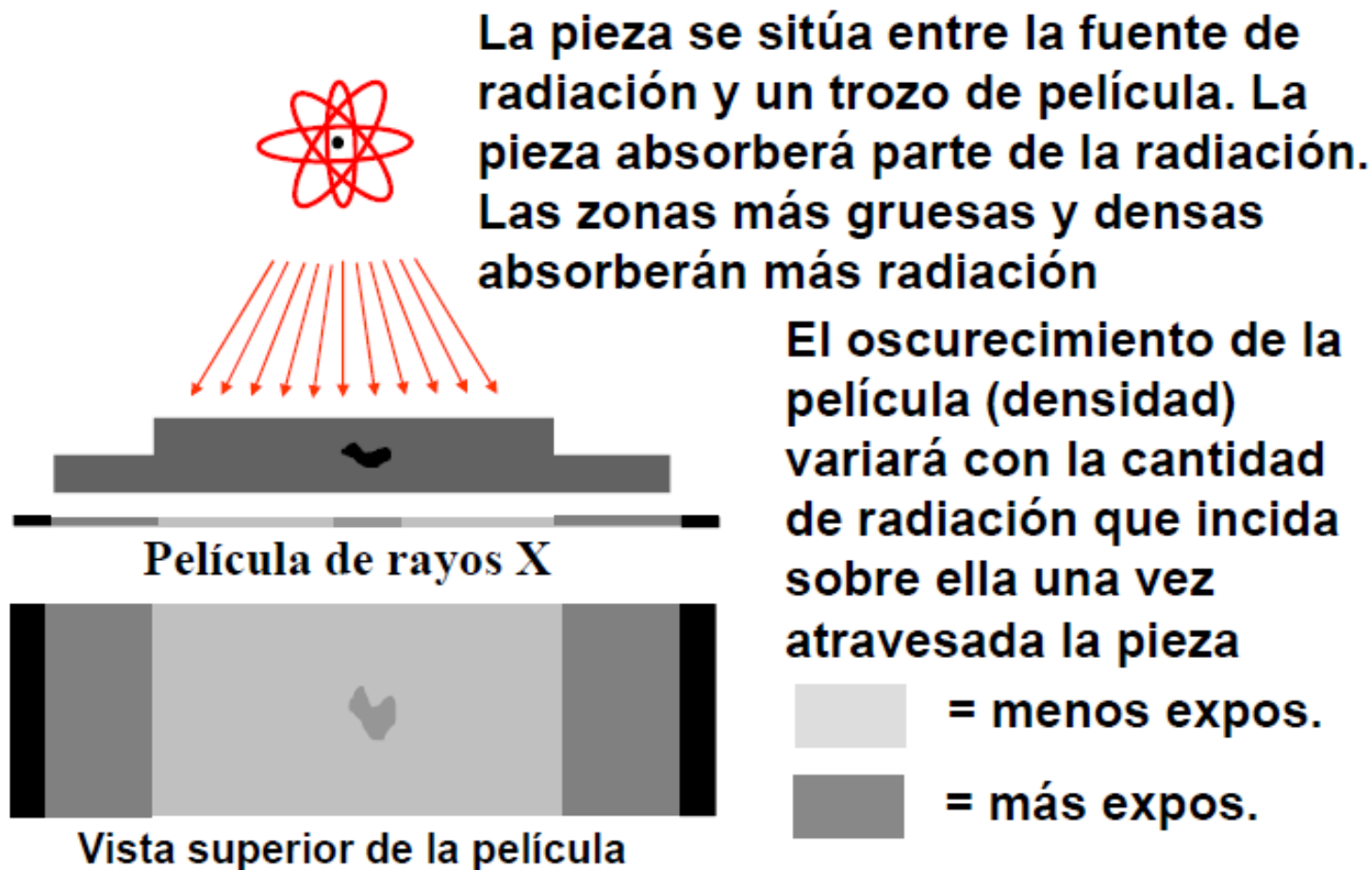
Ensayo no destructivos

Radiografía Industrial



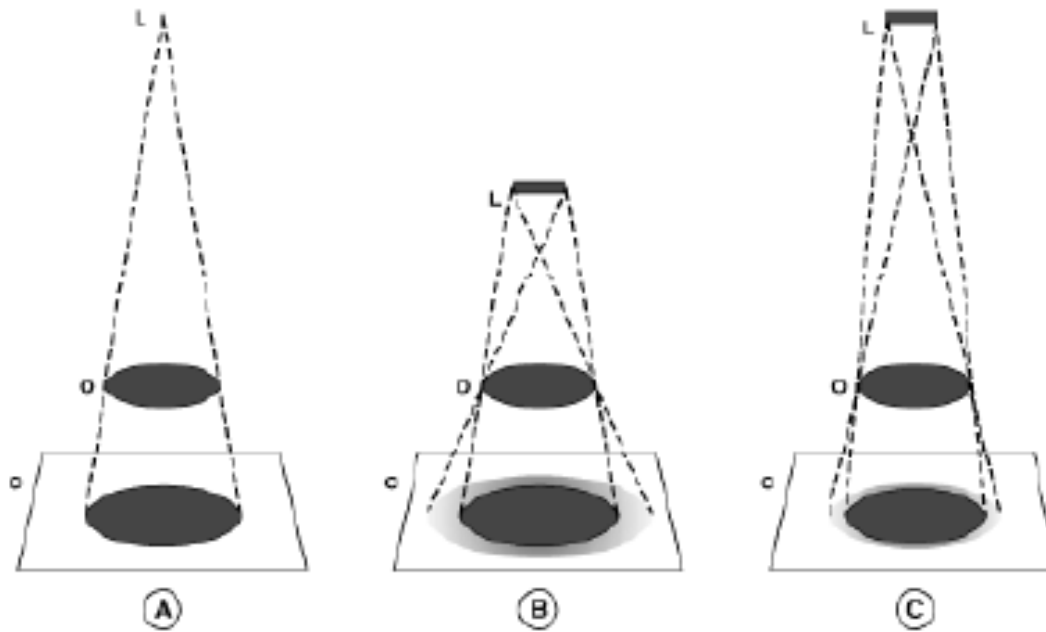
Ensayo no destructivos

Radiografía Industrial



Ensayo no destructivos

Radiografía Industrial



Notación: L = foco - O = objeto - C = película.

Condiciones de ensayo:

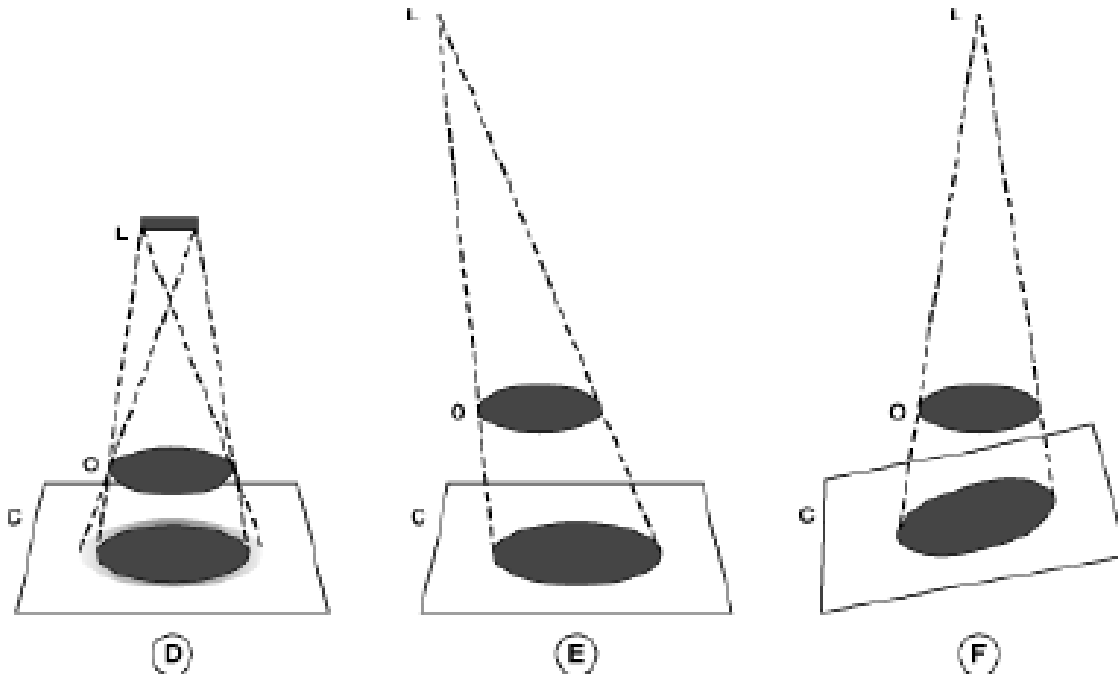
Fuente de emisión lo mas puntual posible

Distancia fuente pieza, la mayor posible

Ensayo no destructivos

Radiografía Industrial

Notación: L = foco - O = objeto - C = película.



Condiciones de ensayo:

Que el disparo se efectúe perpendicular a la pieza

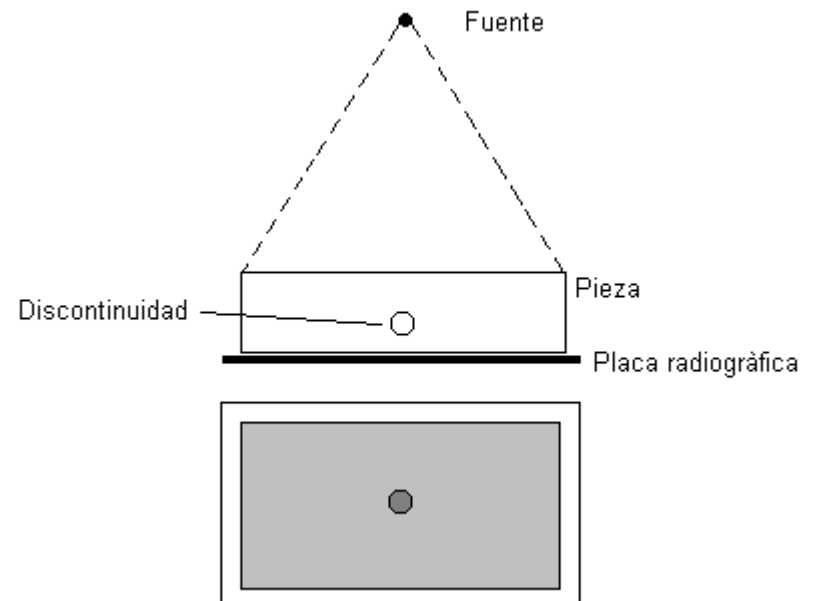
Que la placa radiográfica este paralela y lo mas próxima a la pieza.

Ensayo no destructivos

Radiografía Industrial

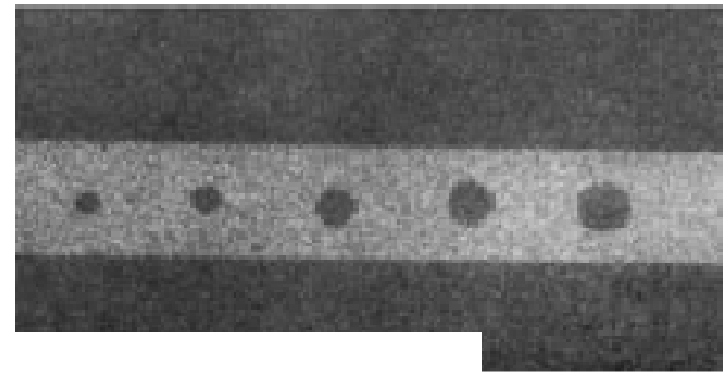
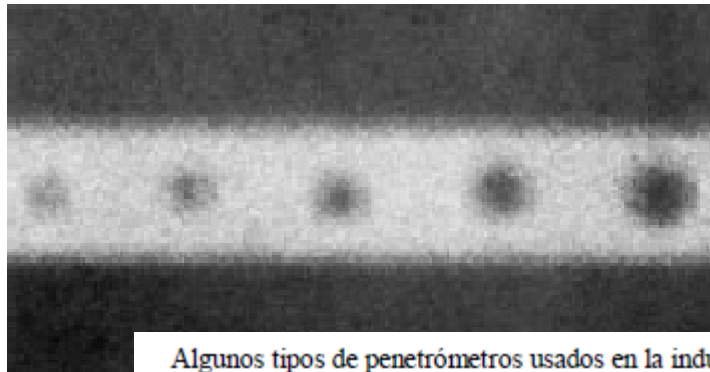
Parámetros a considerar :

- Densidad radiográfica
- Penumbra
- Contraste
- Definición.
- Indicador de calidad de imagen

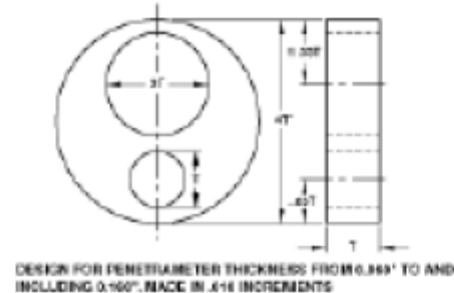
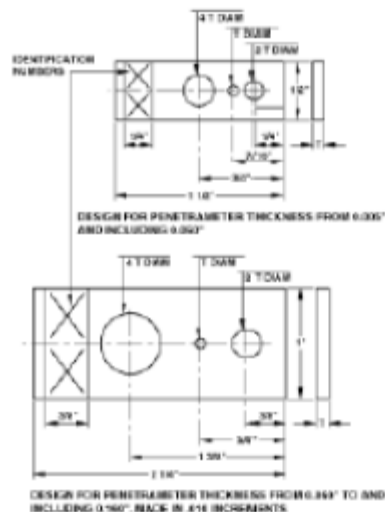


Ensayo no destructivos

Radiografía Industrial



Algunos tipos de penetrómetros usados en la industria:



ASTM E 142-68

