TEMA 1
ENSAYO Y MEDIDA DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

1. TIPOS DE ENSAYOS:

1.1 Según rigurosidad: científicos y tecnológicos.

1.2 Según naturaleza ensayo:

Químico, metalográfico, físico, mecánico

1.3 Según la utilidad de la pieza ensayada:

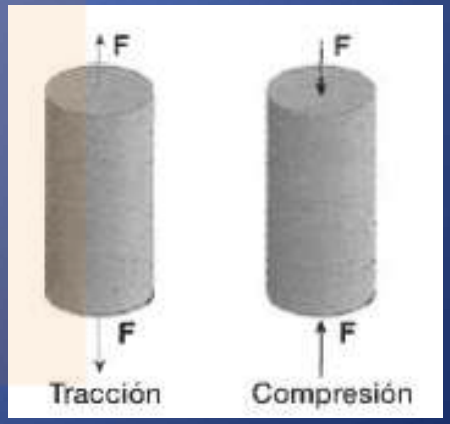
Destructivo, no destructivo.

1.4 Según velocidad de la fuerza aplicada:

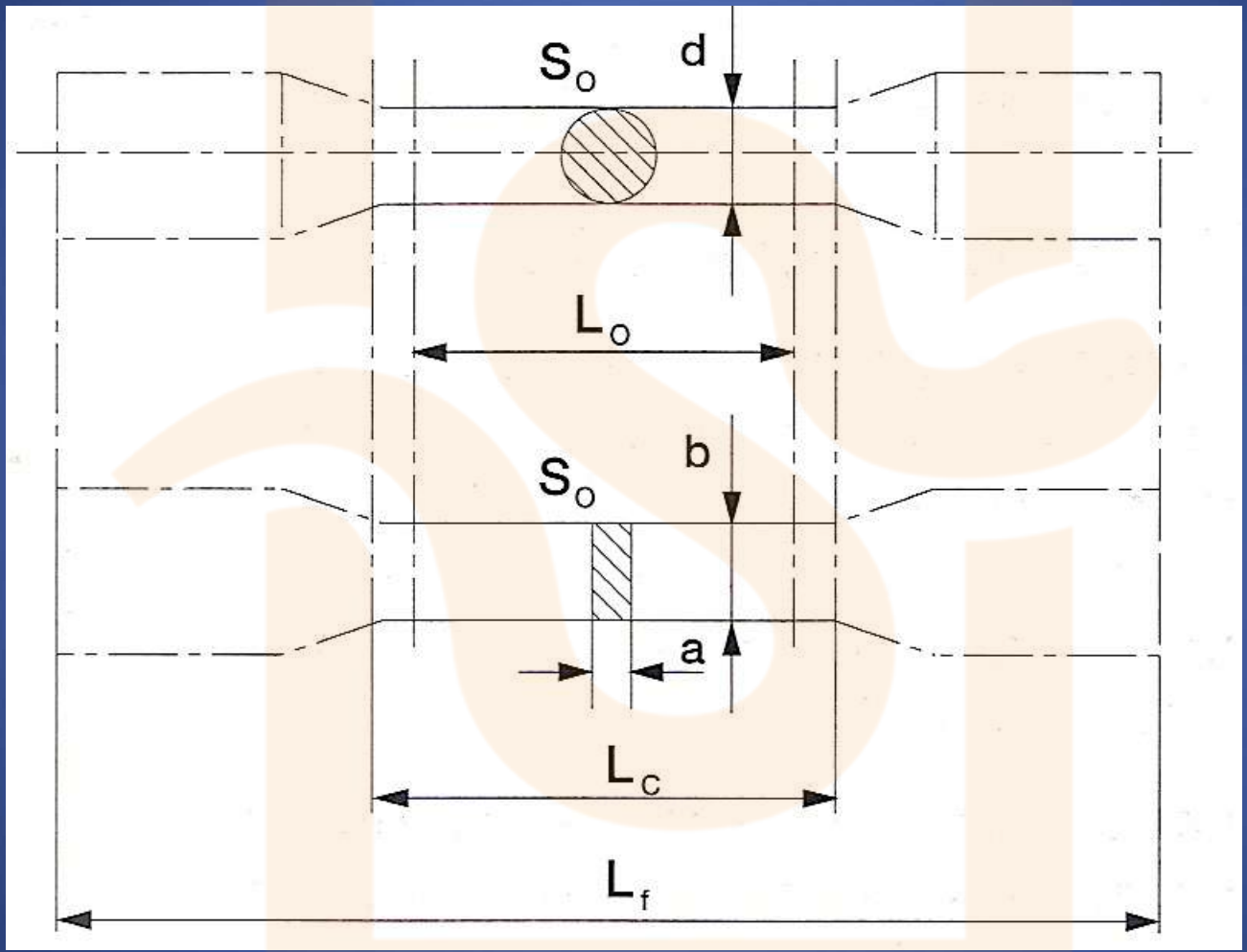
Estático y dinámicos

ENSAYO DE TRACCIÓN

- PROBETA DE DIMENSIONES NORMALIZADAS
- SOMETIDA A FUERZA NORMAL DE TRACCIÓN
- VELOCIDAD LENTA Y CONTINUA DE LA FUERZA.
- LA VELOCIDAD DE LA FUERZA NO INFLUYE EN EL RESULTADO DEL ENSAYO.
- LA PROBETA ACABA ROMPIENDOSE.
- SE MIDE EL ALARGAMIENTO FRENTE A LA TENSIÓN.
- SE OBTIENE UN DIAGRAMA TENSIÓN- ALARGAMIENTO



PROBETA



$$K = \frac{L_0}{\sqrt{S_0}} = \frac{L'_0}{\sqrt{S'_0}}$$

TENSIÓN

- TENSIÓN: FUERZA APLICADA A LA PROBETA POR UNIDAD DE SECCIÓN S.

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

- EL PASCAL EN EL S.I.

$$N/m^2 = Pa.$$

- TENSIÓN NORMAL Y TANGENCIAL O CORTANTE

DEFORMACIÓN O ALARGAMIENTO UNITARIO

- COCIENTE ENTRE EL ALARGAMIENTO ΔL Y SU LONGITUD INICIAL Lo

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_F - L_0}{L_0}$$

- ES UNA MAGNITUD ADIMENSIONAL. EXPRESADA EN TANTO POR CIENTO:

$$A(\%) = \frac{L_F - L_0}{L_0} \cdot 100$$

ENSAYO DE TRACCION

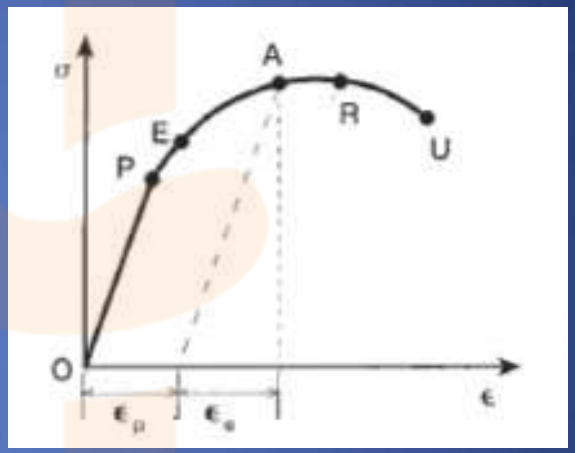
ZONA ELÁSTICA (OE): deformación no permanente

ZONA PLÁSTICA (EU): alargamientos permanentes.

ZONA PROPORCIONAL (OP):

se cumple $\sigma = E \cdot \epsilon$

E= módulo de Young



ZONA NO PROPORCIONAL (PE):

deformaciones no permanentes.

ZONA DE DEFORMACIÓN PLÁSTICA UNIFORME (ER)

Resistencia a la tracción: fuerza máxima entre Lo

ZONA DE ESTRICCIÓN (RU): deformación localizada y rompimiento de la probeta

RESULTADOS DEL ENSAYO

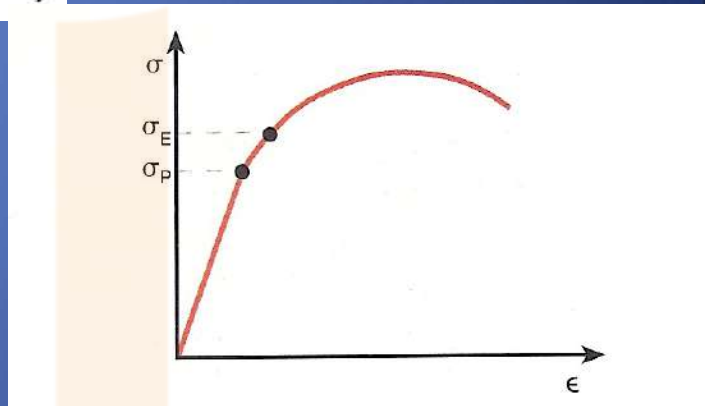
- LIMITE DE PROPORCIONALIDAD: (σ_P)

Tensión a partir de la cual las deformaciones dejan de ser proporcionales a las tensiones.

- LIMITE DE ELASTICIDAD: (σ_E, σ_Y):

Tensión a partir de la cual las deformaciones en la probeta dejan de ser reversibles.

- Ambos límites tienen valores muy próximos y no se distinguirse

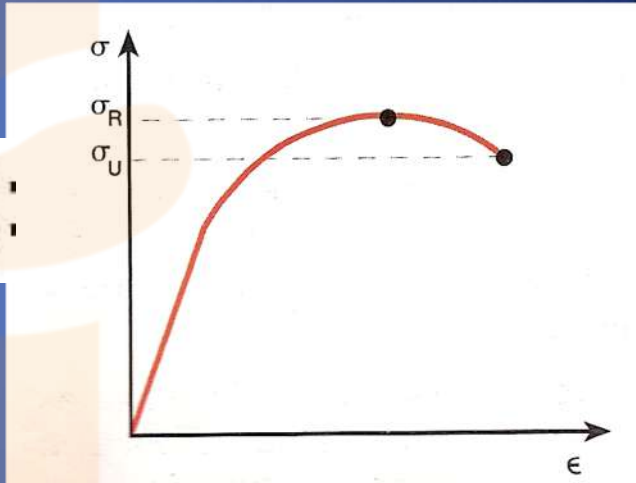


Límites de proporcionalidad y de elasticidad.

RESULTADOS DEL ENSAYO

- MODULO DE YOUNG (E): relación entre la tensión y la deformación en la zona proporcional.
- RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:

Máxima tensión que soporta la probeta en el ensayo (σ_R):



Resistencia a la tracción y a la rotura.

- RESISTENCIA A LA ROTURA:

Tensión soportada en el momento de la rotura. Es (σ_U) muy próxima a la resistencia a la tracción y no tiene interés práctico.

RESULTADO DEL ENSAYO

- ALARGAMIENTO DE ROTURA:

Mayor alargamiento plástico alcanzado en la probeta.

$$A\,(\%) = \frac{L_F - L_0}{L_0} \cdot 100$$

L_F = longitud de la probeta después del ensayo acoplando las dos mitades.

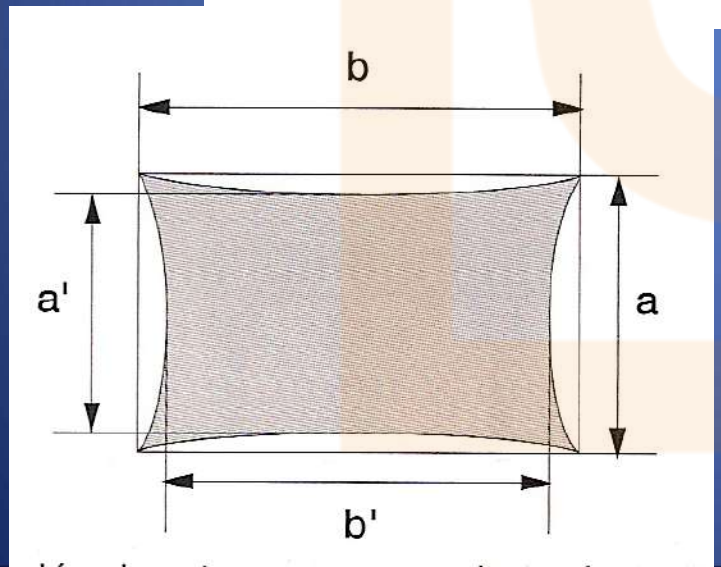
- La deformación máxima es justo antes de la rotura.
- Cuando hay rotura, la probeta recupera parte de la deformación elástica.

RESULTADOS DEL ENSAYO

- ESTRICCIÓN DE ROTURA (Z):

  Disminución de la sección después de rotura.

$$Z\,(\%) = \frac{S_0 - S_F}{S_0} \cdot 100$$

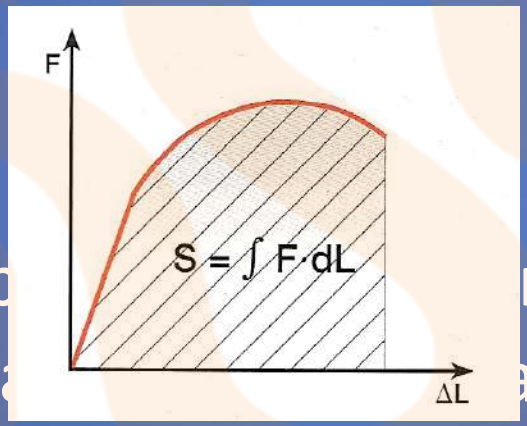


$$S_F = a' \cdot b'$$

RESULTADOS DEL ENSAYO

- TRABAJO DE DEFORMACIÓN:

Superficie bajo la curva fuerza-alargamiento



- Representa el trab r la probeta.
- También la capa aterial para absorber trabajo.

CURVA DE TRACCIÓN VERDADERA

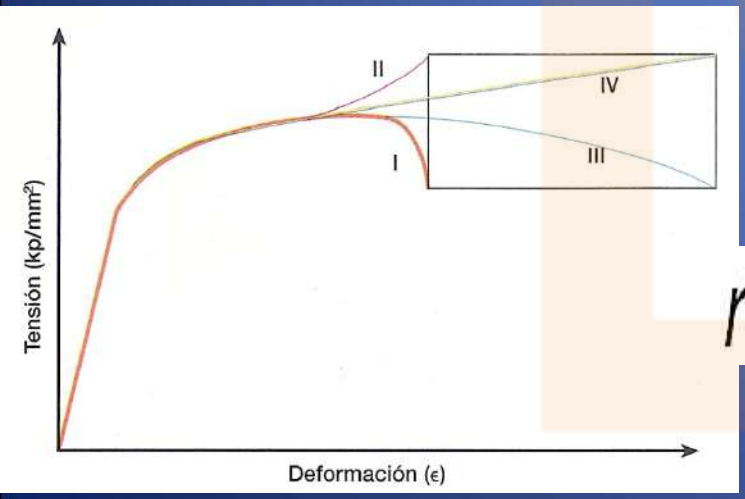
1. Tension aparente y verdadera (I y II)

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \qquad \sigma_V = \frac{F}{S}$$

2. Deformación aparente y verdadera (III)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \qquad \epsilon_V = \frac{\Delta L}{L}$$

3. Curva de tracción verdadera (IV) $\sigma_V - \epsilon_V,$



relación de Hollomon: $\sigma_V = K \cdot \epsilon_V^{n},$

DISEÑO DE ELEMENTOS: TENSIÓN MÁXIMA DE TRABAJO

1. DISEÑO DE ELEMENTOS DENTRO DE LA ZONA DE PROPORCIONALIDAD.

2. NO SE SUELE CONOCER EXACTAMENTE LAS FUERZAS QUE ACTUAN

3. SE SUELEN MAYORAR LAS FUERZAS ACTUANTES

4. SE SUELE MINORAR LA RESISTENCIA DEL MATERIAL

ENSAYO DE DUREZA

DEFINICIÓN:

Resistencia de un material a ser rayado o penetrado por una pieza de otro material.

TIPOS DE ENSAYOS DE DUREZA

- **AL RAYADO**: Escala de Mohs y Dureza Martens
- **A LA PENETRACIÓN**: Brinel, Vickers, Rockwell

FACTORES DE DUREZA

GENERALES

Depende de la elasticidad y estructura cristalina

METALES

Aumenta con la cohesión y nº átomos/volumen

ALEACIONES

Aumenta con tratamientos térmicos y de deformación.

EN LA PRÁCTICA

Está ligada a la abrasión, desgaste y mecanizado.

ESCALA DE MOHS (FRIEDRICH)

- METODO USADO EN MINERALOGIA
- COMPARACIÓN DEL MATERIAL CON 10 MINERALES PATRONES.
- ESCALA DE DUREZA DE 1 Á 10 CRECIENTE.
- METODO IMPRECISO
- NO PUEDE USARSE PARA VER DUREZA EN METALES.
- ESCALA: talco, yeso, calcita, fluorita, apatito, feldespato, cuarzo, topacio, corrindón y diamante.

DUREZA MARTENS

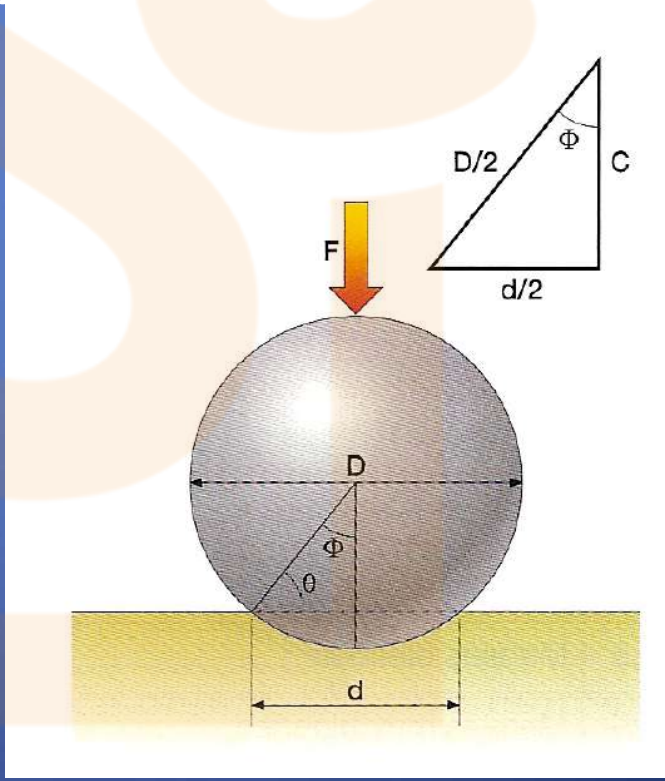
- CONO DE DIAMANTE QUE RAYA EL MATERIAL.
- LA FUERZA ES CONOCIDA Y CONSTANTE.
- LA DUREZA ES EL INVERSO DE LA ANCHURA
- A MENOS ANCHURA MÁS DUREZA

ENSAYO BRINELL

- PENETRADOR: Esfera de acero templado gran dureza
- DIAMETRO entre 1 y 10 mm
- CARGA ENTRE 3000 – 1,25 kp / 15 seg.
- Unidad dureza Brinell: kp/mm^2

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

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



SUPERFICIE CASQUETE ESFÉRICO

La huella del casquete esférico resulta ser:

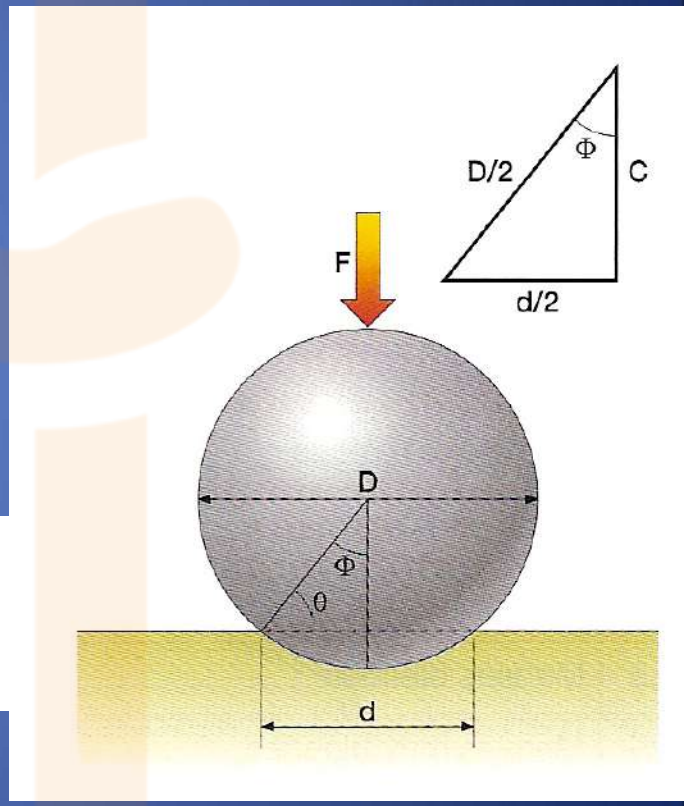
$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{2} \cdot (1 - \cos \Phi)$$

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

$$\cos \Phi = \frac{\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}}{\frac{D}{2}} = \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{D}$$

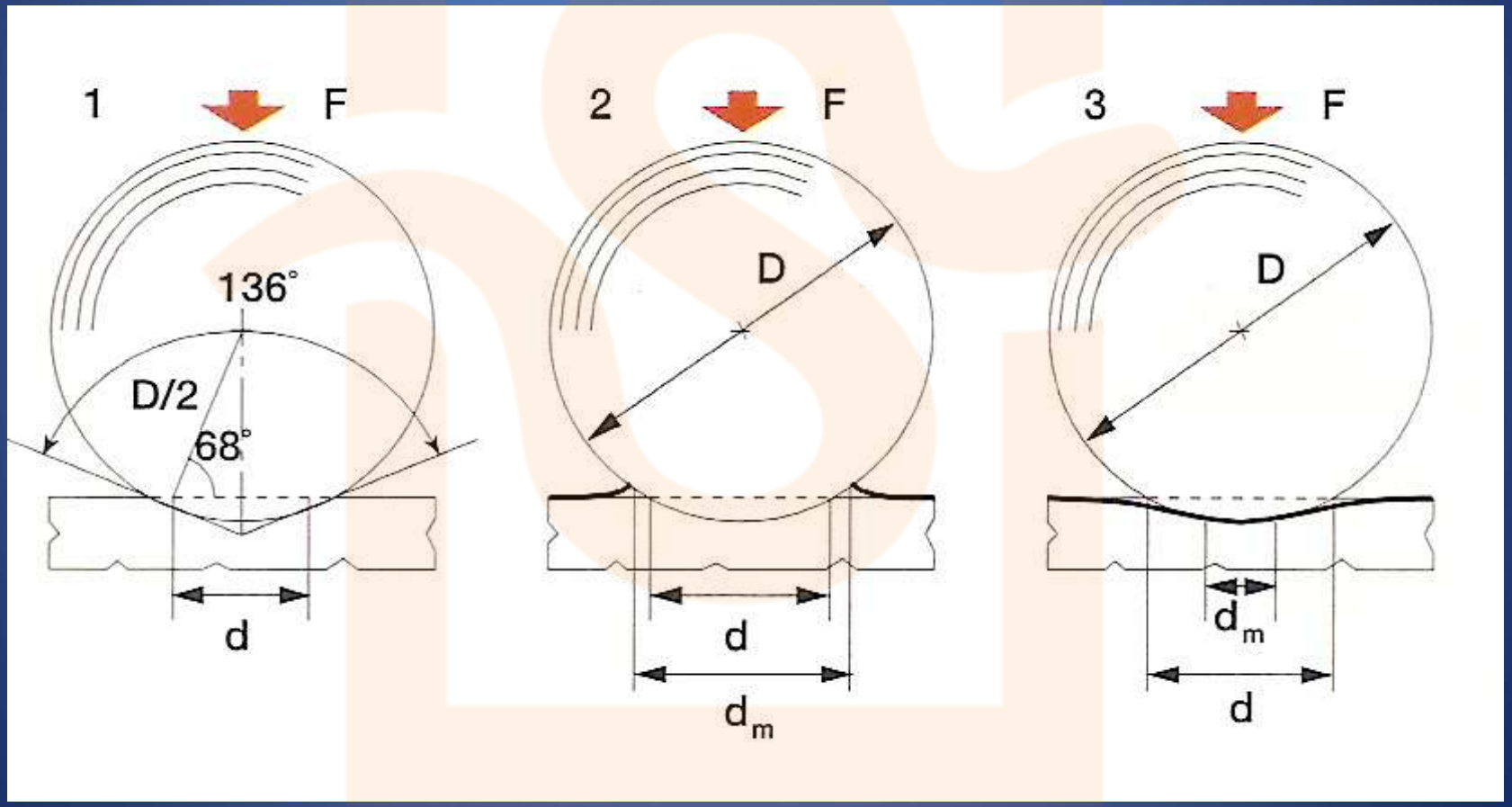
$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{D}\right) = \frac{\pi \cdot D}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)$$

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



LIMITACIONES DE HUELLA

- La huella ha de cumplir la condición: $0{,}25\ D < d < 0{,}5\ D.$



RELACIÓN DIÁMETRO-ESPESOR

El diámetro de la bola ha de elegirse en función del espesor de la pieza sometida a ensayo.

Espesor de la pieza (mm)	Diámetro de la bola (mm)
> 6	1; 2,5; 5; 10
3-6	1; 2,5; 5
2-3	1; 2,5
< 2	1

RELACIÓN FUERZA - DIÁMETRO

$$F = K \cdot D^2$$

K	Material
30	Materiales férricos
10	Aleaciones ligeras
5	Bronce y latón
2,5	Metales blandos
1,25	Metales muy blandos
0,5	Metales extremadamente blandos

RELACIÓN BRINELL- RESISTENCIA TRACCIÓN

Usando coeficientes podemos relacionar la dureza Brinell con la resistencia a la tracción.

Material	Resistencia a tracción (kp/mm^2)
Acero al carbono	0,35·HB
Acero al Cr-Ni	0,34·HB
Aluminio fundido	0,25·HB
Aleaciones ligeras de fundición	0,28·HB
Cobre y aleaciones	0,55·HB
Cinc	0,42·HB

DUREZA BRINELL TABULADA

Se exponen la dureza Brinell de algunos materiales:

Material	HB (kp/mm^2)
Acero al Cr templado y revenido	280
Aluminio puro	16
Bronce fundido	85
Fundición gris	180
Latón fundido	80
Plomo	7
Estaño	14
Cinc	40

INCONVENIENTES DEL ENSAYO BRINELL

- NO SE PUEDE HACER SOBRE SUPERFICIES ESFÉRICAS O CILÍNDRICAS.

- GRANDES ERRORES DE MEDIDA CON PEQUEÑA DEFEFORMACIÓN DE LA HUELLA.

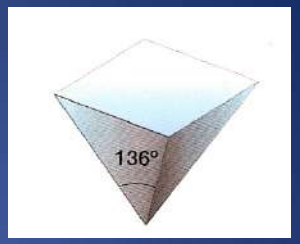
- SOLO SE APLICA A MATERIALES DE DUREZA NO MUY ALTA Y MENOR QUE EL PENETRADOR.

VALOR DE DUREZA BRINELL

Esta dureza se expresa de la siguiente manera:

Expresión del valor de la dureza Brinell
La dureza Brinell se expresa de la siguiente forma: 250 HB 10 500 30 lo que significa que el material tiene 250 kp/mm^2 de dureza Brinell, que el ensayo se ha realizado con una bola de diámetro 10 mm y con una carga de 500 kp durante 30 segundos.

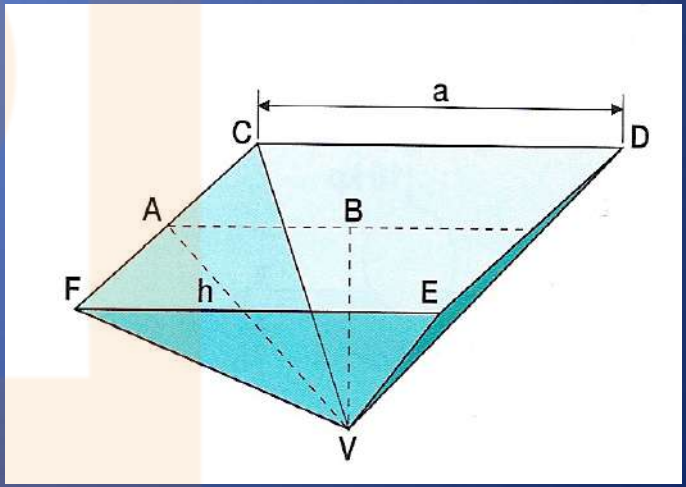
ENSAYO VICKERS



- ENSAYO DUREZA.
- PENETRADOR: DIAMANTE PIRAMIDAL 136°
- 136° = 2ϕ BRINELL
- DUREZA VICKER Y BRINELL COINCIDEN HASTA 300
- LA DUREZA EN Kp/mm ^{2}

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

$$HV = \frac{F}{S} = 1{,}8544 \cdot \frac{F}{d^2}$$

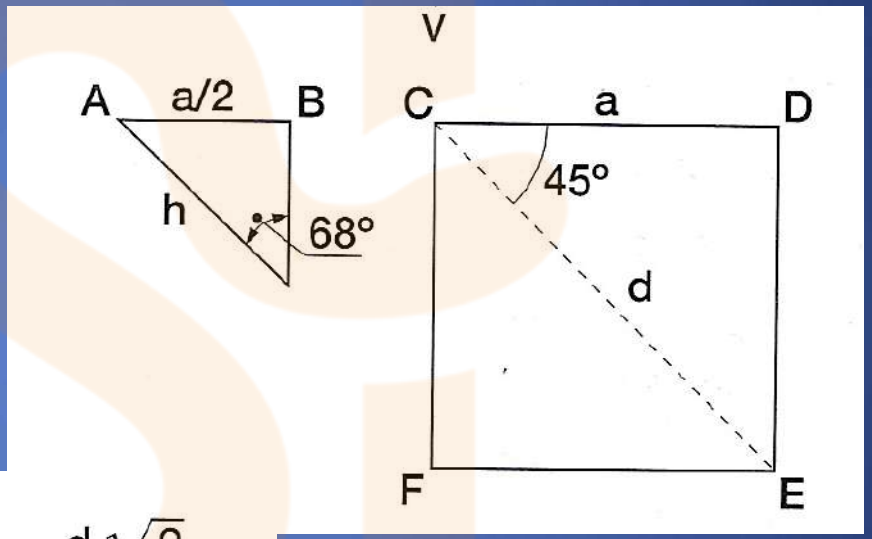


ENSAYO VICKERS

La superficie de la huella se calcula:

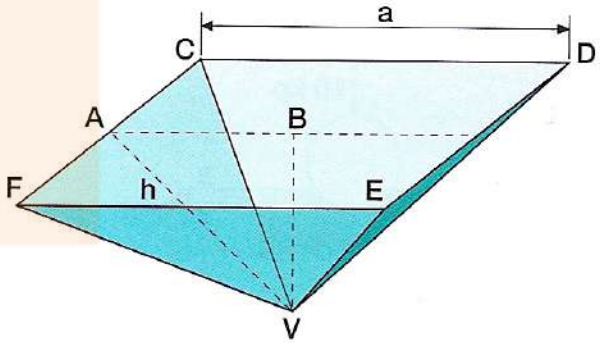
$$S = 4 \cdot \frac{a \cdot h}{2} = 2a \cdot h$$

$$a = d \cdot \cos 45^\circ = d \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$



$$\text{sen } 68^\circ = \frac{a/2}{h}, \text{ se cumple: } h = \frac{a}{2 \cdot \text{sen } 68^\circ} = \frac{d\sqrt{2}}{4 \cdot \text{sen } 68^\circ}$$

$$S = 2a \cdot h = 2 \cdot d \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{d\sqrt{2}}{4 \cdot \text{sen } 68^\circ} = \frac{d^2}{2 \cdot \text{sen } 68^\circ} = \frac{d^2}{1{,}8544}$$



ENSAYO VICKERS

- Se debe procurar que: $s > 8 \cdot \frac{d}{7}$
- La carga suele ser de 30 Kp (1 á 120)
- Los espesores pueden ser más pequeños que Brinell
- VENTAJAS RESPECTO A BRINELL:
  - No es necesario sustituir penetrador con las cargas.
  - Se puede usar en superficies curvas.
  - Valor de dureza independiente de la carga
  - Se puede usar para materiales más duros que Brinell.

ENSAYO VICKERS

Expresión del valor de la dureza Vickers

La dureza Vickers se expresa de la siguiente forma:

315 HV 30

lo que significa que el material tiene 315 kp/mm^2 de dureza Vickers y que el ensayo se ha realizado con una carga de 30 kp.

ENSAYO ROCKWELL

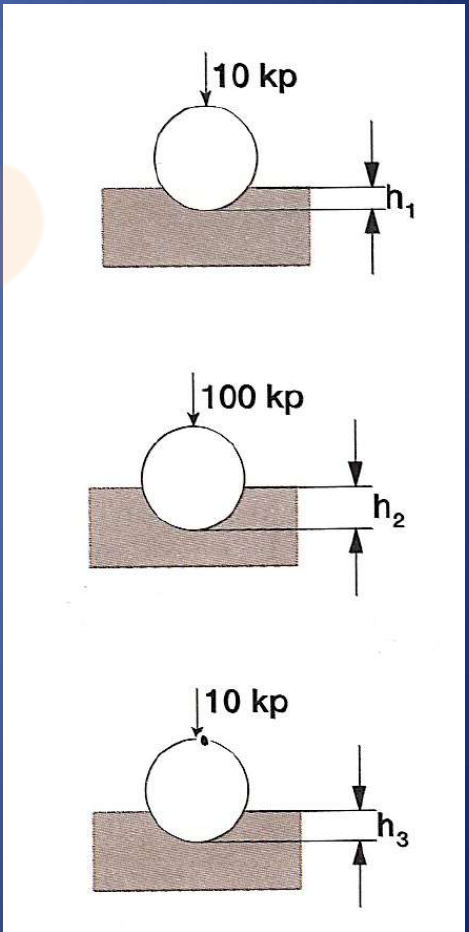
- MUY USADO POR RÁPIDO
- MENOS EXACTO QUE OTROS.
- SE MIDE LA PROFUNDIDAD HUELLA
- ROCKWELL B (HRB):

  Materiales blandos (60-150 HV)

  y bola acero de 1,59 mm
- ROCKWELL C (HRC):

  Materiales duros (235- 1075 HV)

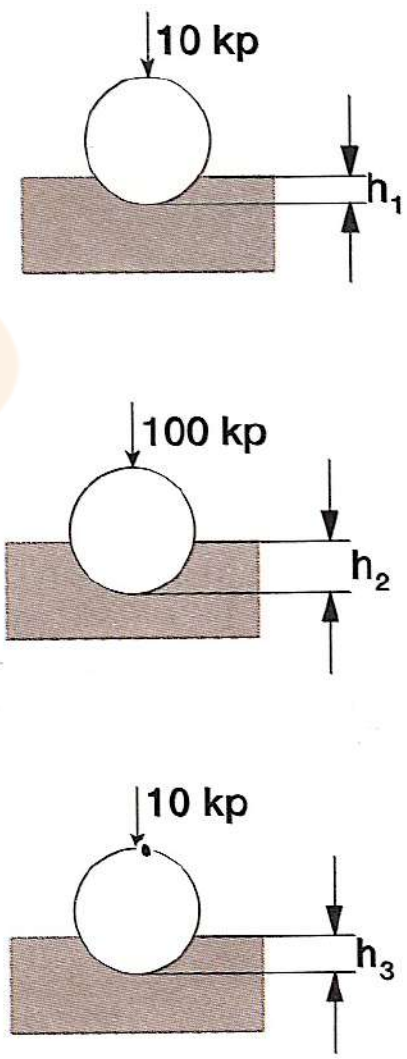
  y diamante cónico 120°



ENSAYO ROCKWELL

MÉTODO DE ENSAYO

- Precarga de 10 kp para h1
- Resto de carga (90 y 140) para h2
- Reducción hasta precarga para h3
- e= h3 – h1
- HRC = 100 – e
- HRB = 130 – e
- ! Unidad= 0,002 mm



ENSAYOS RESISTENCIA AL IMPACTO

- MIDEN LA RESISTENCIA AL CHOQUE O TENACIDAD

- TENACIDAD: Capacidad para almacenar E por deformación plástica antes de romper.

- TENACIDAD/FRAGILIDAD relación inversa
- TENACIDAD/ DUCTILIDAD relación directa

- TIPOS: TRACCIÓN/FLEXIÓN POR CHOQUE

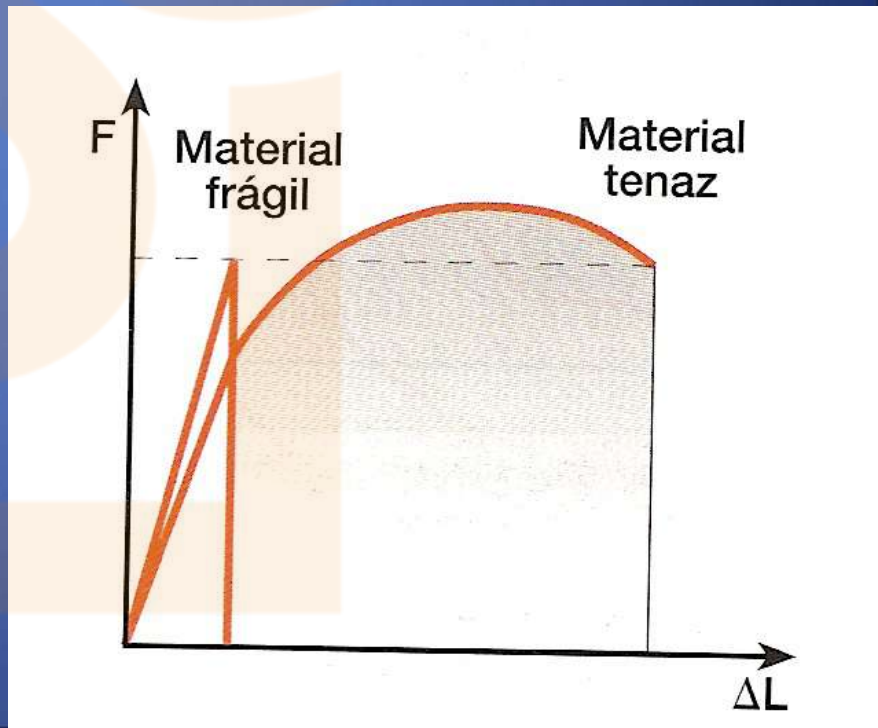
ENSAYO FLEXIÓN POR CHOQUE

- ENSAYO TRACCIÓN A VELOCIDAD FUERZA ALTA
- TENACIDAD AL IMPACTO:

‘Trabajo realizado entre volumen probeta’

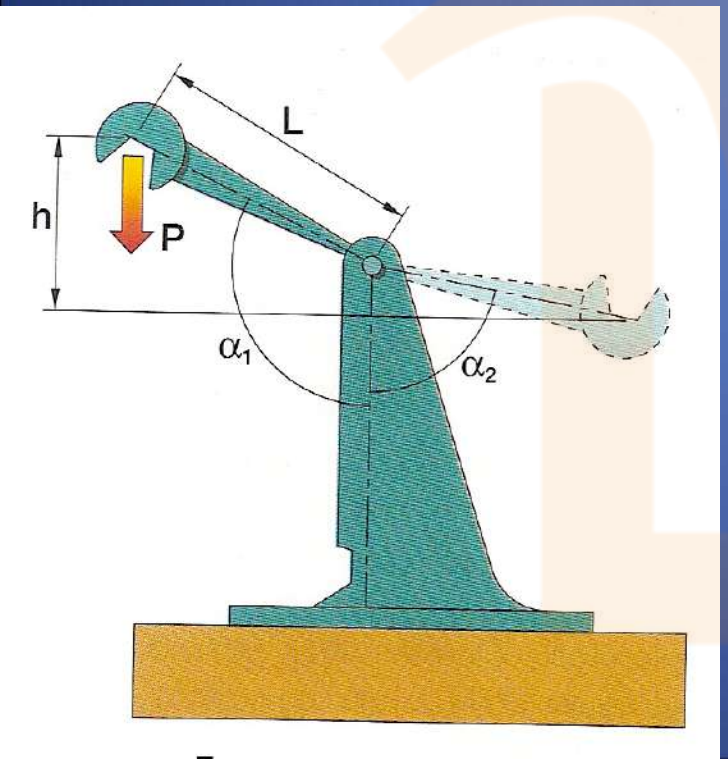
- ENSAYO POCO FRECUENTE

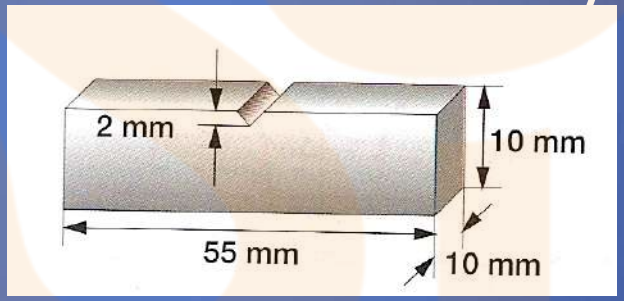
POR SER MÁS CAR0.



ENSAYO DE FLEXIÓN POR CHOQUE

- CONOCIDO COMO DE RESILIENCIA O CHARPY
- GOLPEA UNA PROBETA LADO OPUESTO ENTALLA.
- KCV o KCU: ENERGÍA ENTRE SECCIÓN: J/m^2

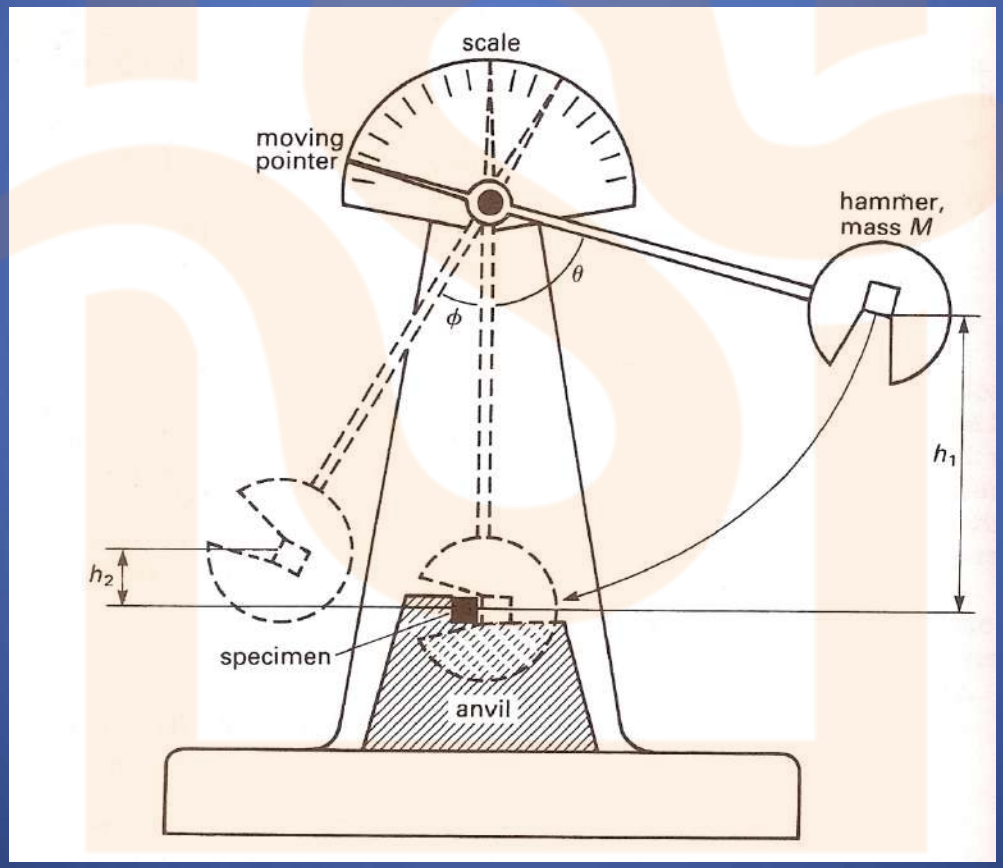




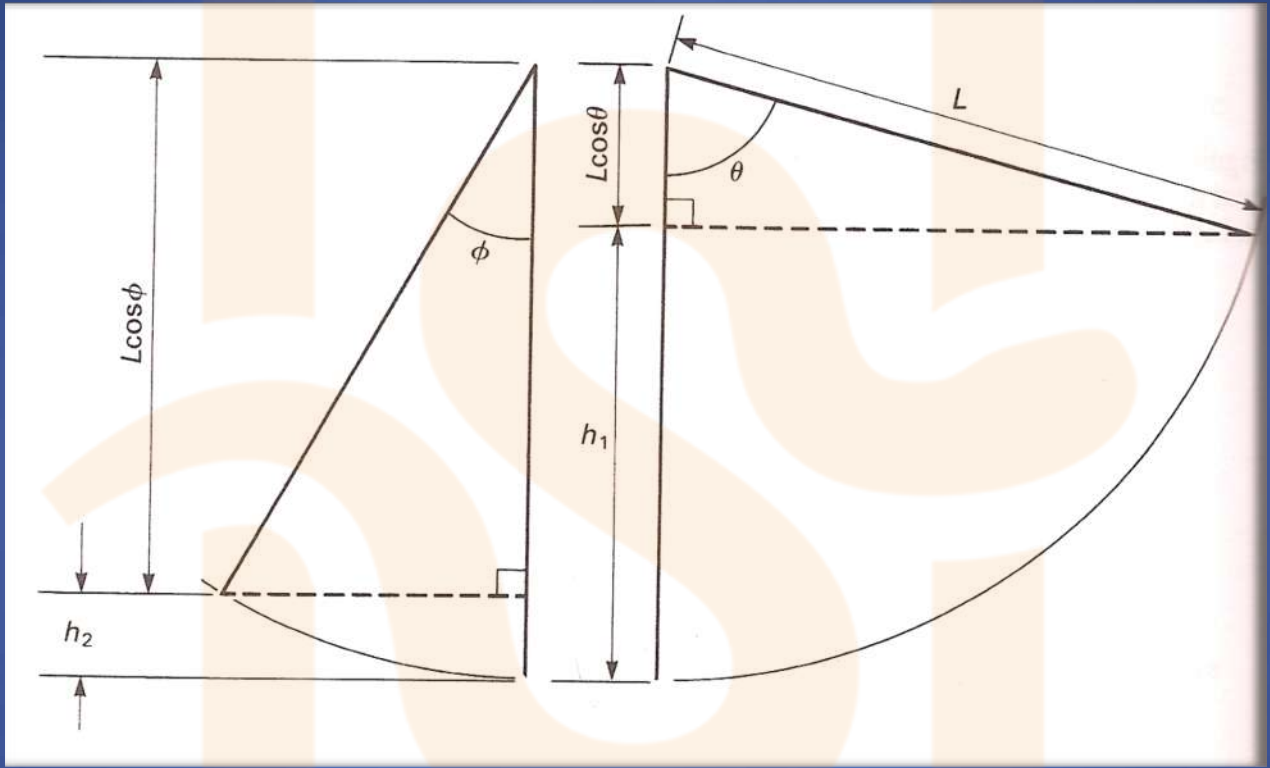
$$KCV = \frac{W}{S_0} = \frac{P \cdot L \cdot (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)}{S_0}$$

PÉNDULO DE CHARPY

Diagrama of the standard impact testing machine



CÁLCULO ENERGÉTICO



$$h_1 = L - L\cos\theta \quad \text{and} \quad h_2 = L - L\cos\phi$$

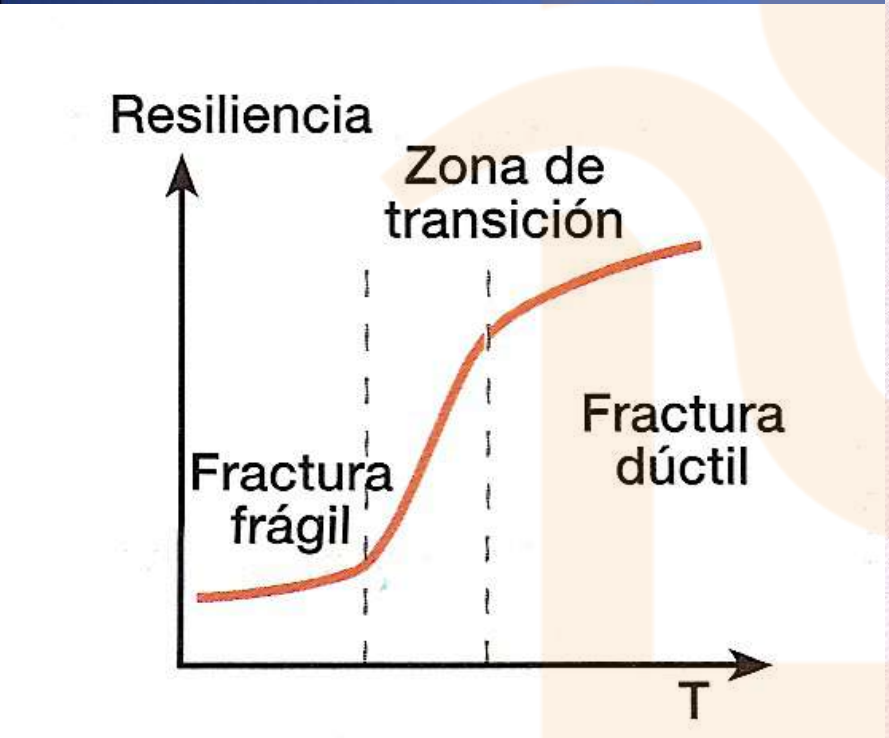
Therefore

$$\begin{aligned} h_1 - h_2 &= (L - L\cos\theta) - (L - L\cos\phi) \\ &= L\cos\phi - L\cos\theta \\ &= L(\cos\phi - \cos\theta) \end{aligned}$$

and the energy absorbed $= mgL(\cos\phi - \cos\theta)$

ENSAYO DE RESILIENCIA

ZONA DE TRANSICIÓN: RESILIENCIA FRENTE T

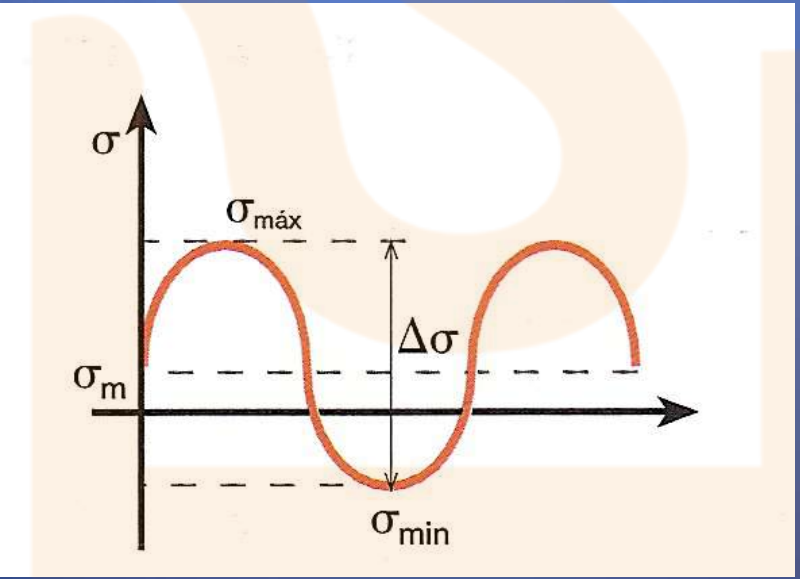


En la **fractura dúctil** se produce una importante deformación plástica en la zona de rotura y las superficies a que da lugar son mates, debido a la irregularidad de la deformación plástica.

En la **fractura frágil** el material se separa por un plano perpendicular a la dirección de aplicación de la carga sin apenas deformación plástica. Las superficies que origina este tipo de fractura son brillantes.

ENSAYO DE FATIGA

- DEFINICIÓN: Situación de piezas con cargas cíclicas de intensidad inferior al crítico de rotura.
- DATOS A CONSIDERAR:
  - AMPLITUD CICLO $(\Delta\sigma = \sigma_{máx} - \sigma_{mín})$
  - TENSIÓN MEDIA $(\sigma_m = (\sigma_{máx} + \sigma_{mín})/2)$.

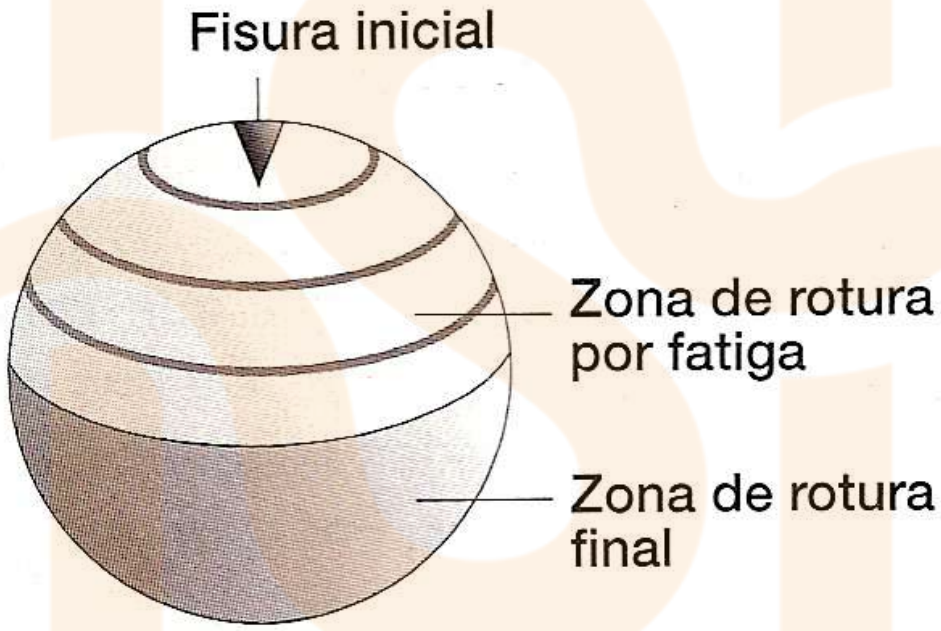


TIPOS DE FATIGA

- FATIGA EN ELEMENTOS SIN DEFECTO: 2 ETAPAS
  - NUCLEACIÓN DE FISURAS
  - CRECIMIENTO HASTA ROTURA FRÁGIL
  - EJ: BIELAS,EJES…

- FATIGA EN ELEMENTOS CON DEFECTO:
  - EN UNIONES DE PIEZAS SIEMPRE HAY MICROFISURAS.
  - LA DURACIÓN DEPENDE DEL CRECIMIENTO FISURAL
  - SE HACE NECESARIO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.
  - EJ: PUENTES, AVIONES, BARCOS…

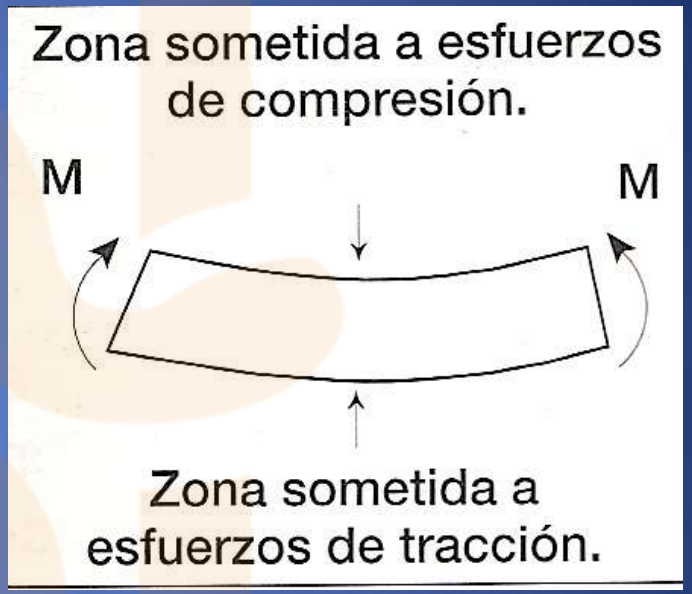
ROTURA POR FATIGA



Aspecto de una rotura por fatiga.

ENSAYO DE FATIGA

ENSAYO DE FLEXIÓN ROTATIVA



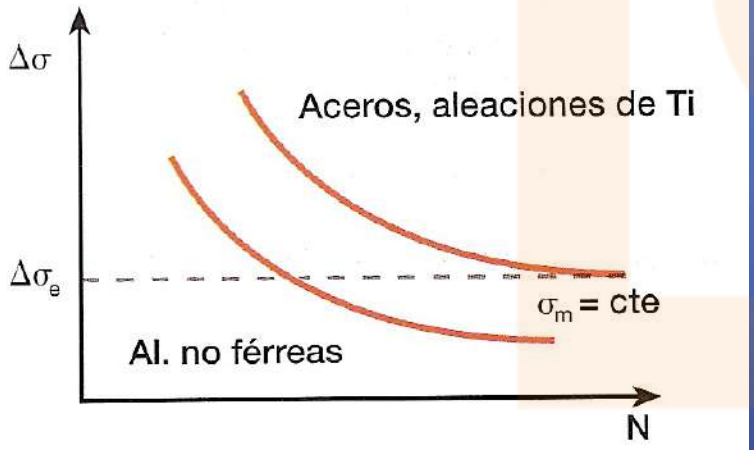
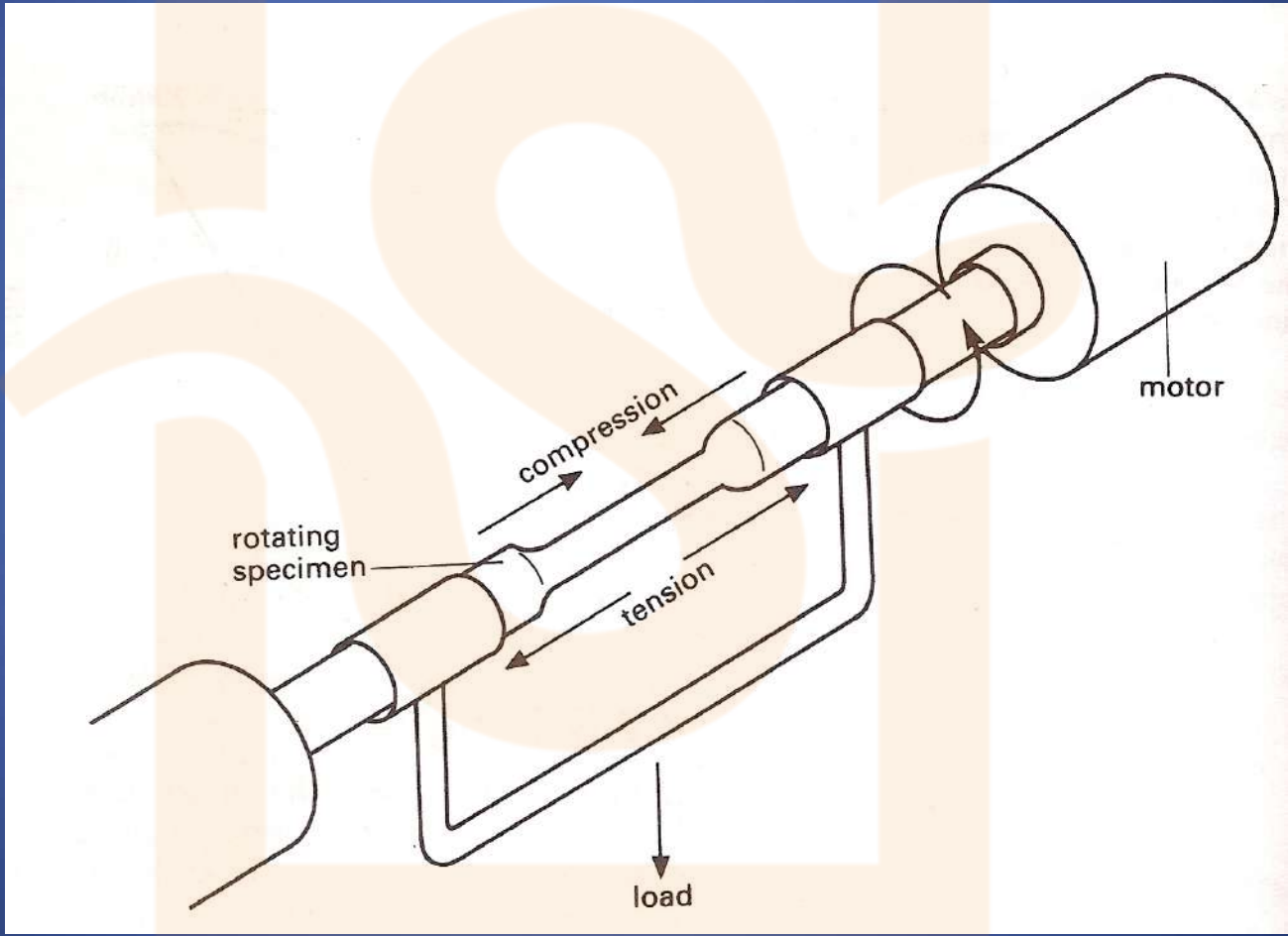


Diagrama de Wöhler.

EL ENSAYO DETERMINA EL NUMERO DE CILOS QUE SORPORTA LA PROBETA PARA DISTINTAS AMPLITUDES DE CARGA.

A ROTATING FATIGA TEST MACHINE



LIMITE DE FATIGA $(\Delta\sigma_e)$

- VALOR POR DEBAJO DEL CUAL NO SE PRODUCE ROTURA POR FATIGA (Ti y ALEACIONES Fe)
- SUELE SER 40 – 50% LA CARGA DE ROTURA.
- ESTE VALOR NO SE USA PARA OTRAS ALEACIONES.
- **AMPLITUD DE TENSIÓN** QUE NO PROVOCA ROTURA DESPUES DE 10 ó 100 MILLONES DE CICLOS.
- FATIGA EN COMPONENTES NO AGRIETADOS:

$$\Delta\sigma \cdot N^a = b$$

DIAGRAMA DE GOODMAN-SMITH

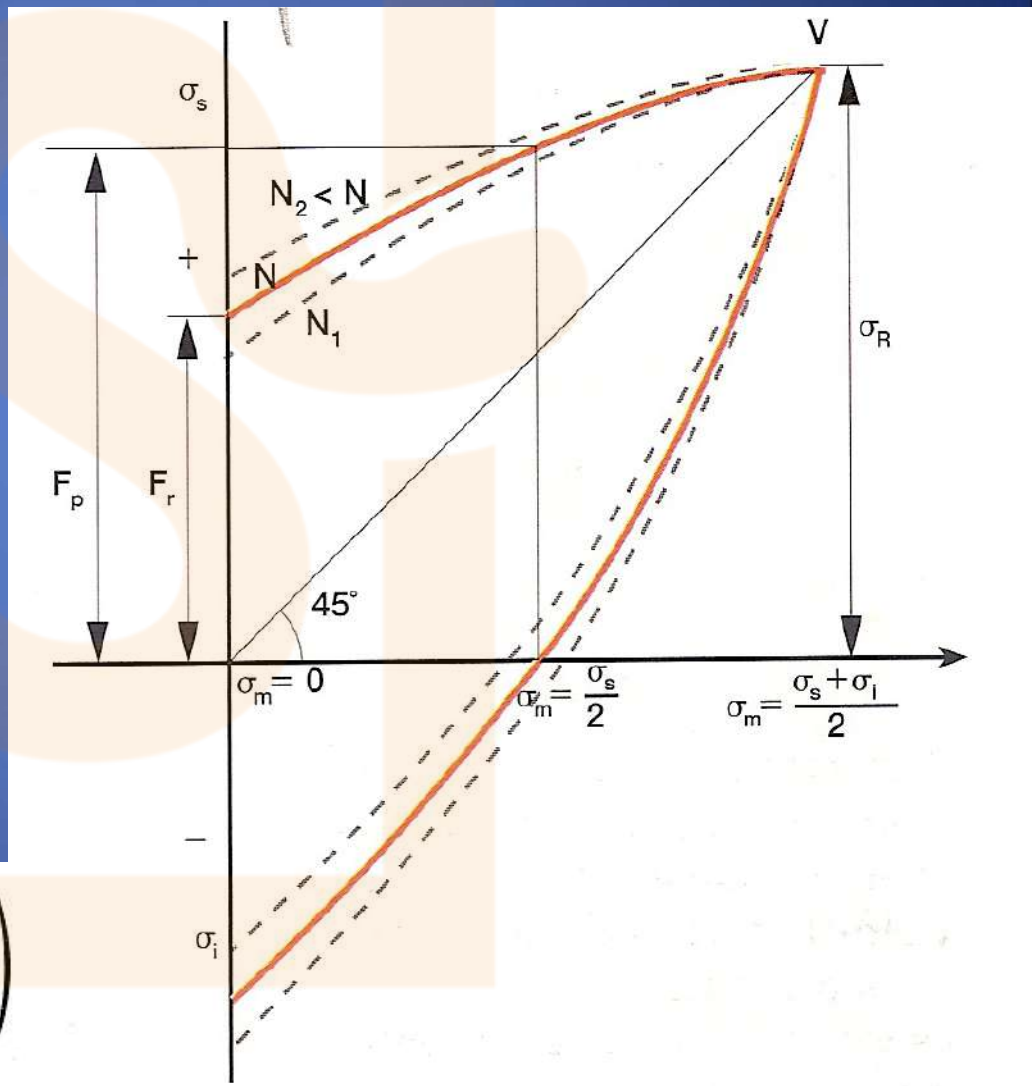
- PARA N: (nº ciclos)

Si σm ↑ Δσ ↓

- V: Tensión resistencia

a la tracción.

- Si σm=V, Δσ ≥ 0 rotura
- V = σR
- Amplitud de carga



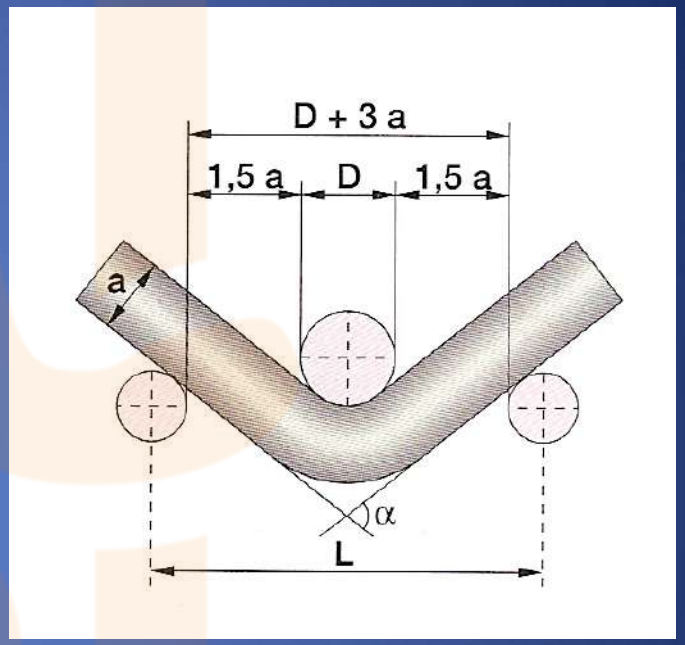
$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_o \cdot \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_R}\right)$$

ENSAYOS TECNOLÓGICOS

- VERIFICAN SOLO UNA APLICACIÓN DEL MATERIAL
- SE USAN SI NO NOS SIRVE EL E. CIENTÍFICO.
- SON MUY NUMEROSOS.
- DEPENDE DE LA FORMA GEOMÉTRICA DEL MATERIAL.
- SE SIMULAN BAJO CONDICIONES REALES.

ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN BARRAS

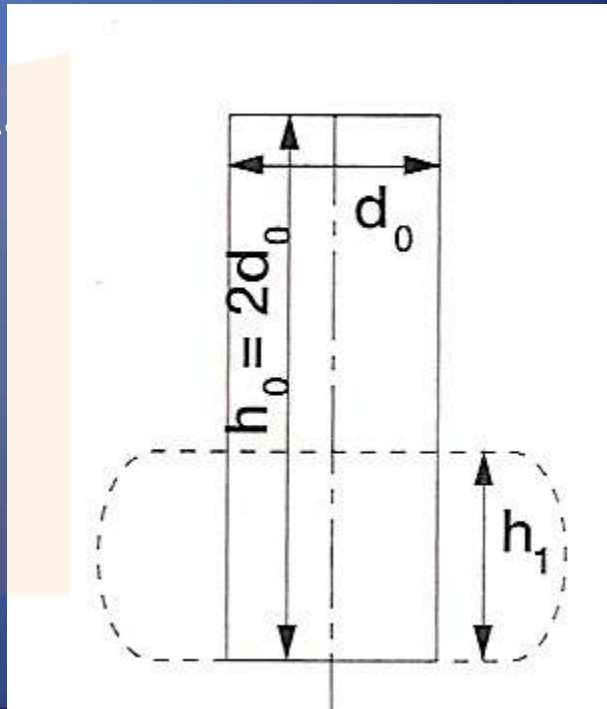
- DE FLEXIÓN Y PLEGADO
  - PARA VER LA FLEXIBILIDAD
  - BARRA NORMALIZADA
  - SE LE SOMETE A FUERZA EN SU CENTRO
  - FINALIZA: O EN UN ÁNGULO PREVISTO O CUANDO APARECEN LAS PRIMERAS GRIETAS



ENSAYO TECNOLÓGICO EN BARRAS

ENSAYO DE RECALCADO

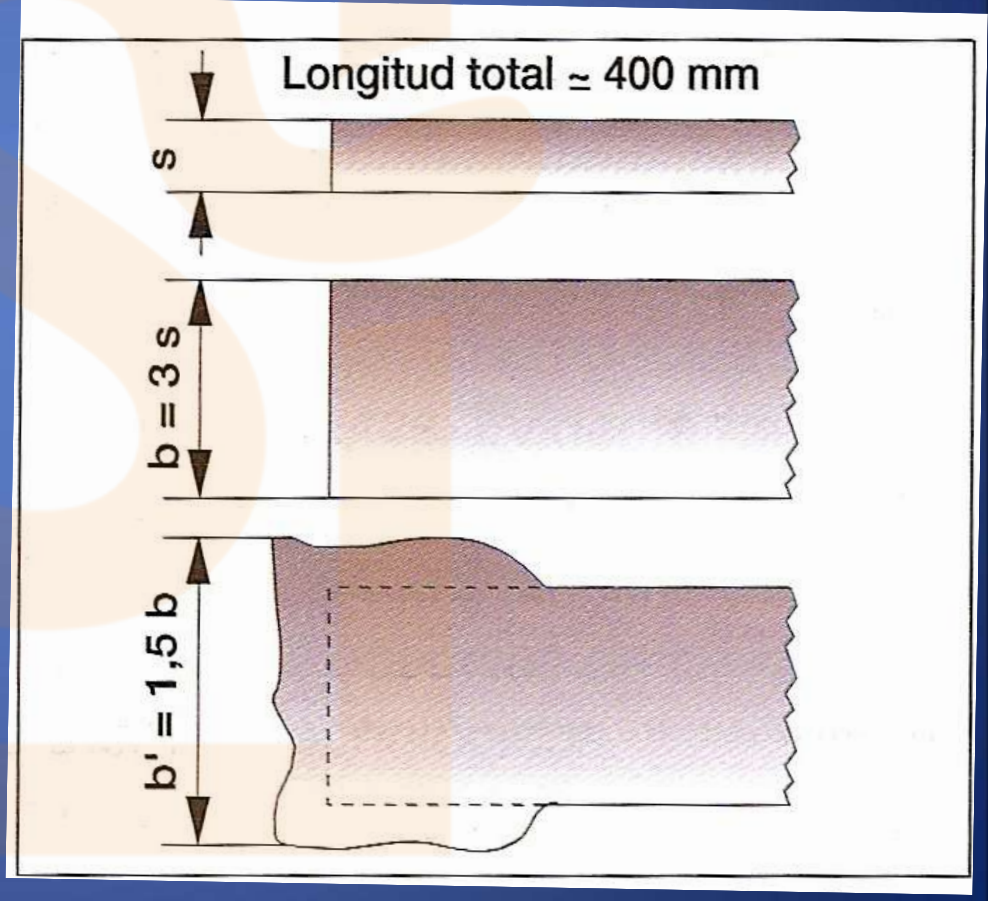
- CHEQUEA EL MATERIAL A COMPRESIÓN O CHOQUE
- BARRA CILÍNDRICA $h_0 = 2d$
- APLICA F HASTA $h = 1/3\ h_0$ o FISURA
- GRADO DE RECALCADO $(h_0 - h_1)/ h_0$
- h_1 = altura comienzo fisura



ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN BARRAS

ENSAYO DE MALEABILIDAD

- SE REALIZA A ALTA T
- PROBETA: 400mm y espesor s= ⅓ b.
- GOLPEO AL ROJO HASTA:
  - **b’ ≈ 1.5 b** 0 HASTA:
  - **GRIETAS ΔB=** (b’- b)/b

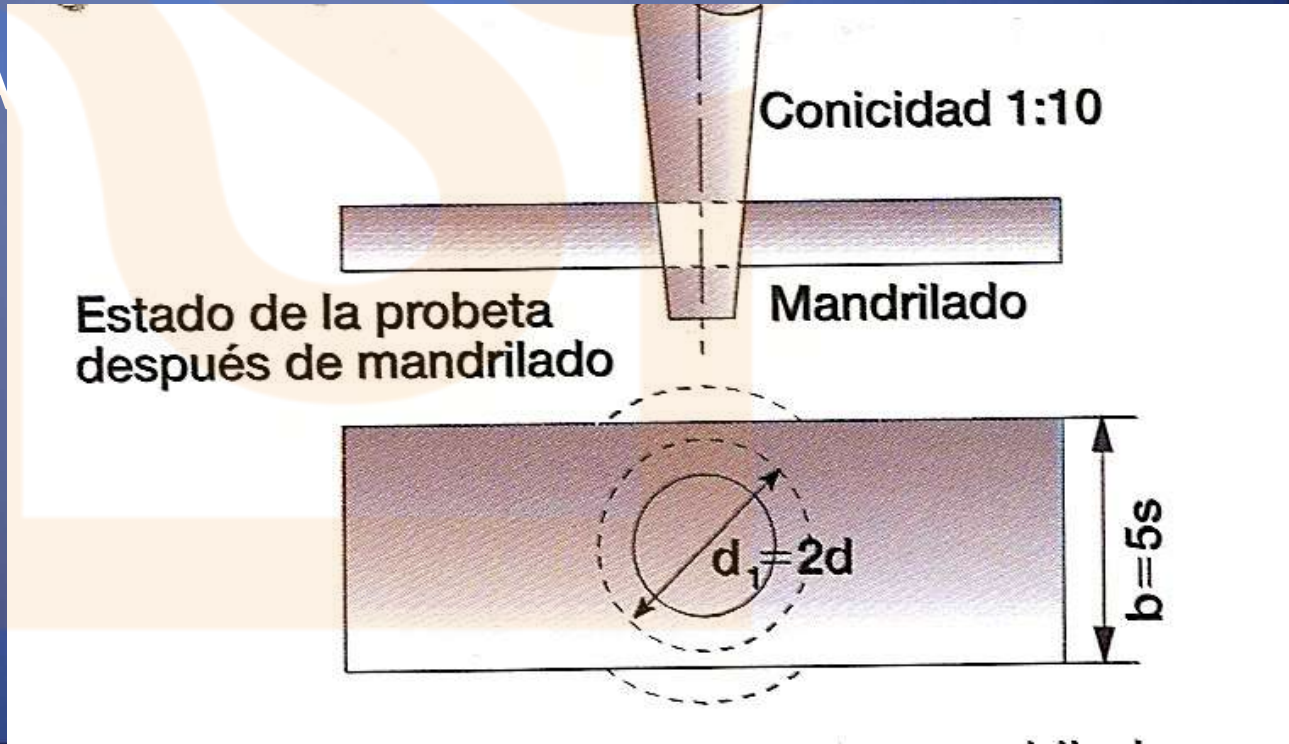


ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN BARRAS

ENSAYO DE MALINDRADO

- **PROBETA**: b= 5e y taladro d= 2e
- PUNZÓN HASTA d_1= 2d o fisuras
- GRADO DE ENSA

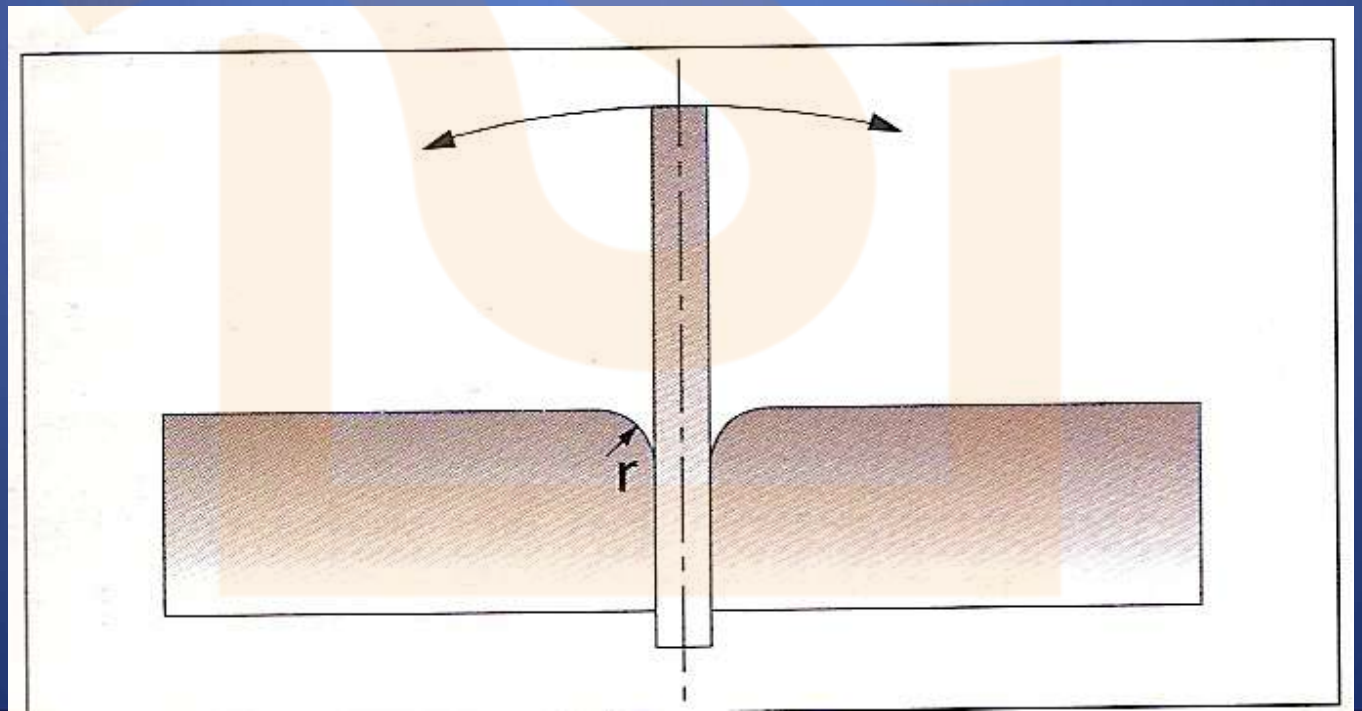
  $(d_1-d)/d$
- **A T ELEVADA**



ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN CHAPA

DE FLEXIÓN ALTERNATIVA

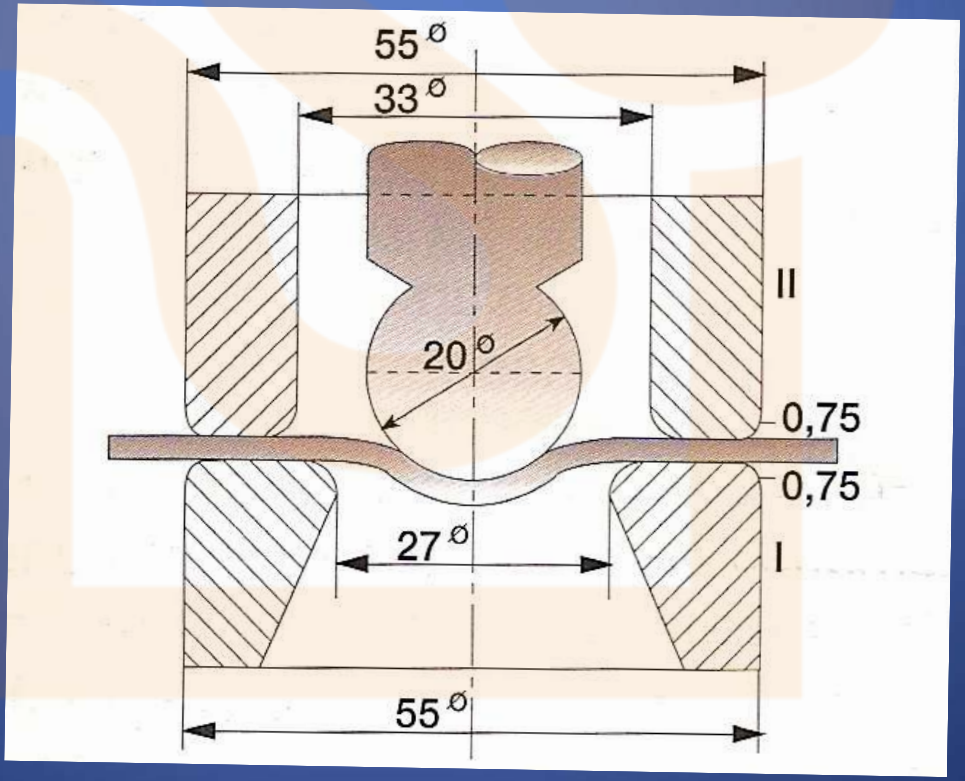
- CHAPA DE ENTRE 10-30 mm ANCHO
- DOBLEZ ALTERNATIVA DE 90º
- HASTA FISURA O ROTURA



ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN CHAPAS

ENSAYO DE EMBUTICIÓN

- COMPORTAMIENTO FRENTE A LA EMBUTÍCIÓN
- APTITUD: DEPLAZAMIENTO MÁXIMO DE LA BOLA HASTA GRIETAS

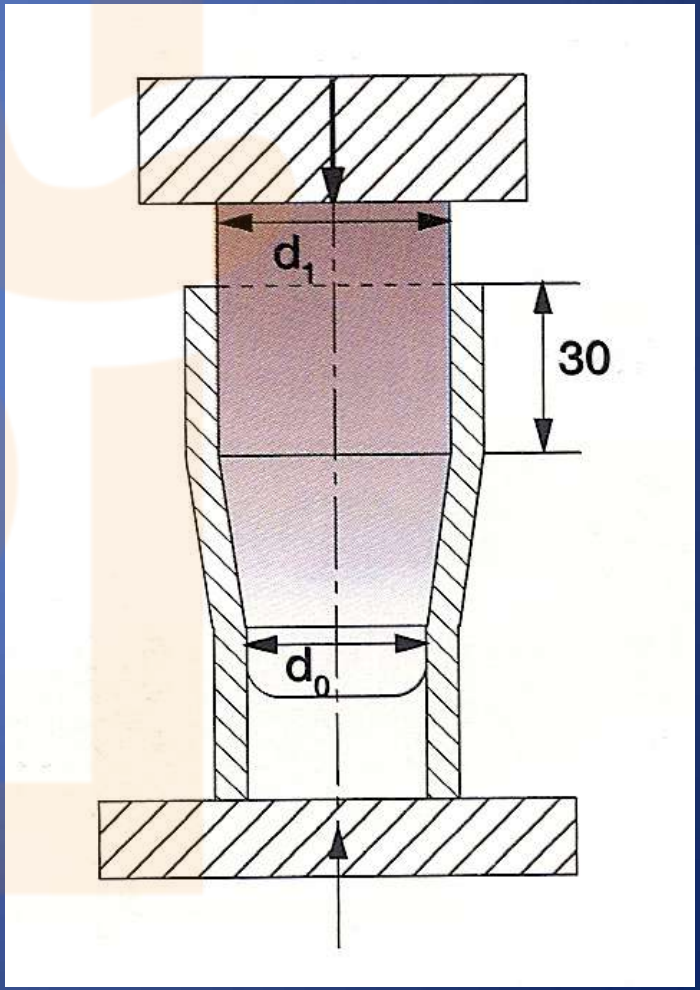


ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN TUBOS

ENSAYO DE ENSANCHAMIENTO

- SE INTRODUCE UN CONO EN EL TUBO POR GOLPEO.
- NO DEBEN APARECER FISURAS
- ENSANCHAMIENTO:

$$(d_1 - d_0)/d_0.$$



ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN TUBOS

ENSAYO DE APLASTAMIENTO

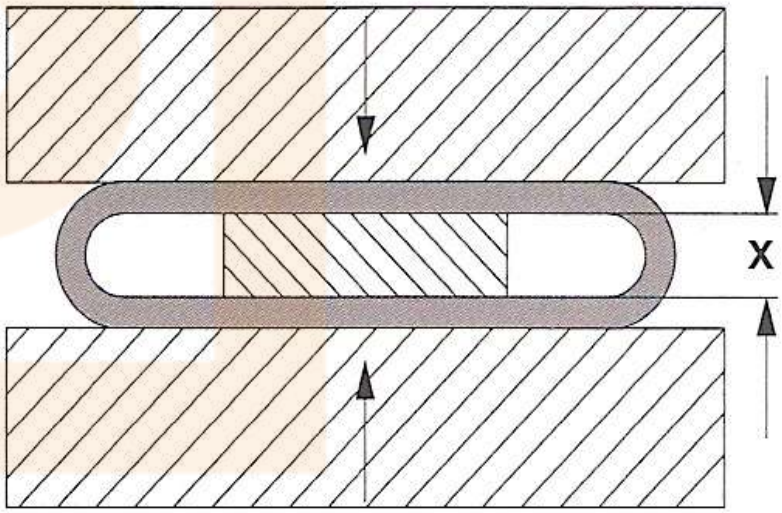
- SE COMPRIME TUBO DE 50 cm LARGO EN MORDAZA
- LA SECCIÓN PASA DE CIRCULAR A CARAS PARALELAS
- LA DEFORMACIÓN

ES HASTA FISURAS

- PIEZA INTERIOR PARA

EVITAR APLASTAMIENTO

TOTAL



ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN TUBOS

ENSAYO DE ESTANQUEIDAD

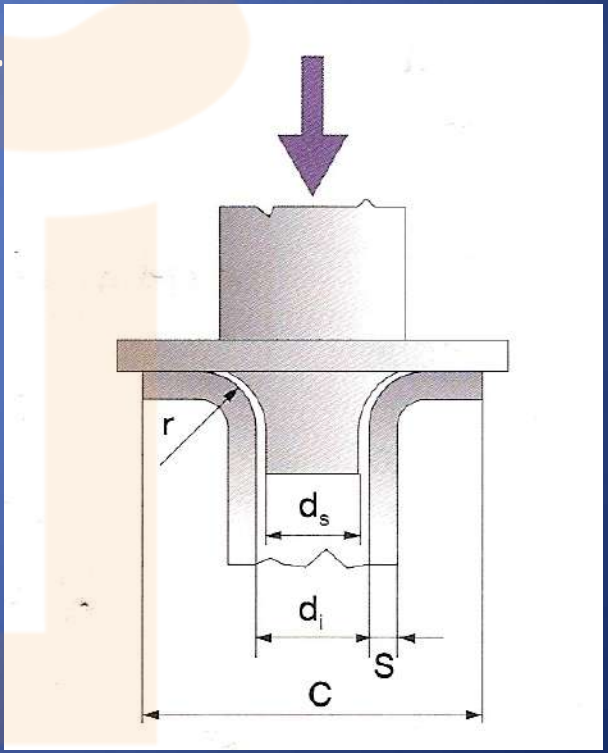
- FLUÍDO EN TUBO A PRESIÓN 1,25 ó 1,5 VECES LA DE SERVICIO

- NO SE DEBEN OBSERVAR DEFECTOS DE ESTANQUEIDAD

ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN TUBOS

ENSAYO DE RECANTEADO

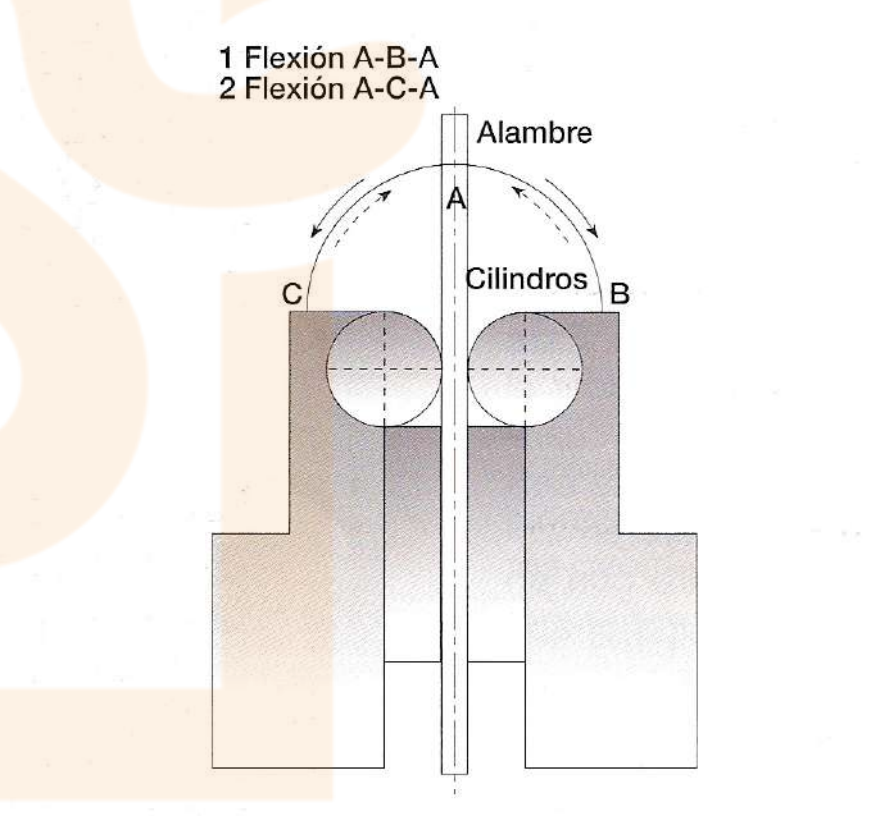
- SE DOBLA EL EXTREMO A ALTA T
- SE TRATA DE ALCANZAR C SIN QUE APAREZCAN FISURAS.



ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN ALAMBRES

ENSAYO DE FLEXIÓN ALTERNATIVA

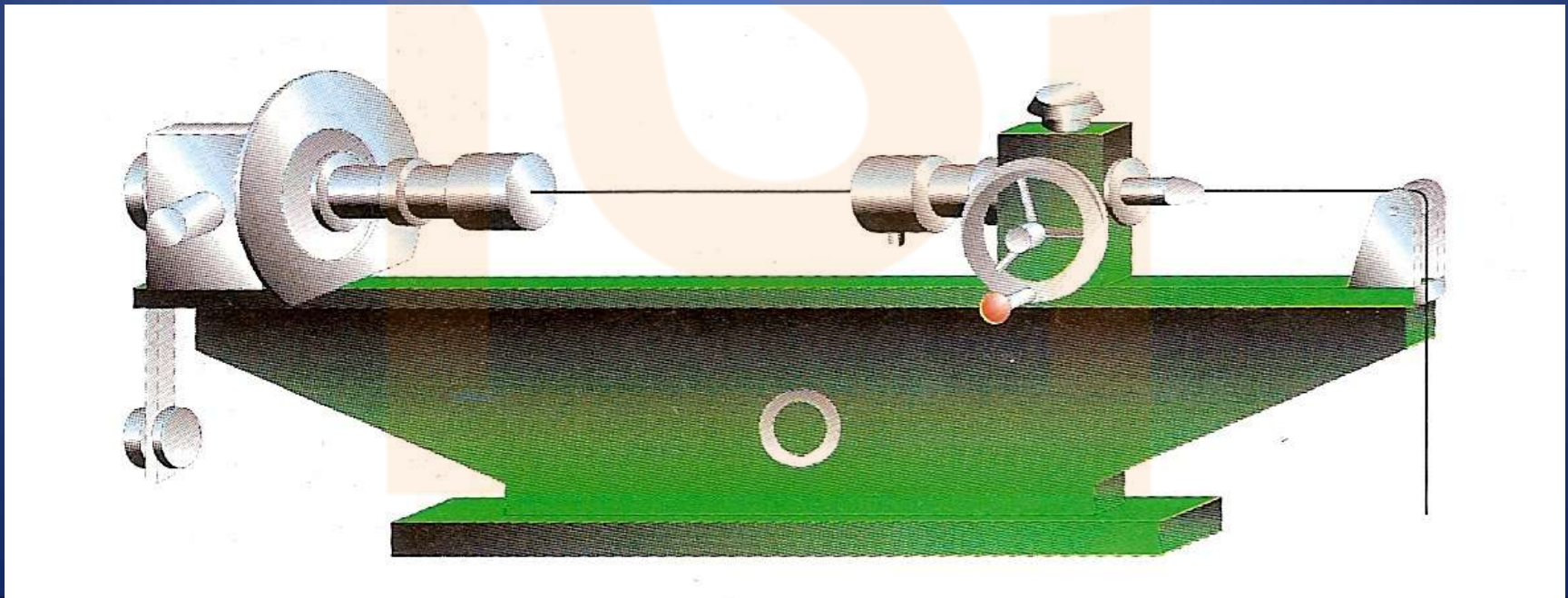
- COMPORTAMIENTO BAJO ESFUERZOS PLÁSTICOS DE FLEXIÓN.
- DOBLEZ ALTERNATIVA 90º
- HASTA ROTURA O N CICLOS.



ENSAYOS TECNOLÓGICOS EN ALAMBRES

ENSAYO DE RETORCIDO

- DETERMINA EL GRADO DE TORSIÓN DANDO VUELTAS HASTA ROTURA. (Nº VUELTAS)
- ALAMBRE DIMESIONADO: DIÁMETRO / LONGITUD



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

- ENSAYOS DE CONTROL DE DEFECTOS.
- RELACIONADOS CON EL CONTROL DE CALIDAD
- BUSCAN IMPERFECCIONE EN PIEZAS TERMINADAS
- SE HACEN ANTES Y DURANTE EL SERVICIO.
- EJ: FISURAS EN OLEODUCTOS, PAREDES HORNOS.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

- MACROSCÓPICOS: líquidos para grietas y poros
- ÓPTICOS: microscopio metalográfico: grietas, grano
- MAGNÉTICOS: grietas, sopladuras, estado superficie
- ELÉCTRICOS: variación R eléctrica: vías ferrocarril
- ULTRASONIDO: 105-107 KHz. Continuidad y profundidad
- RAYOS X,γ: radiografías y gammagrafías de piezas.

  Espesores 10 mm(X) y 25 mm(γ)