

UNIDAD 4: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS METALES

1. MATERIALES METÁLICOS ENSAYO DE TRACCIÓN MÉTODO DE ENSAYO A TEMPERATURA AMBIENTE. IRAM-IAS U 500 102, Edición 3, 28/10/2016.

Objeto y campo de aplicación

Establecer las condiciones generales del método de ensayo de tracción a temperatura ambiente para productos metálicos.

¿Qué puedo hallar durante el ensayo?

- Alargamiento unitario: Cociente entre el alargamiento unitario y la longitud de referencia inicial utilizada.

$$\text{Alargamiento unitario} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Siendo:

ΔL = Incremento de la longitud de referencia inicial producido por la aplicación de un esfuerzo axial en cualquier momento del ensayo, [mm].

L = Longitud de referencia = Distancia entre marcas de referencia, realizadas dentro de la longitud calibrada, respecto de la cual se determina el alargamiento de la probeta durante el ensayo, [mm].

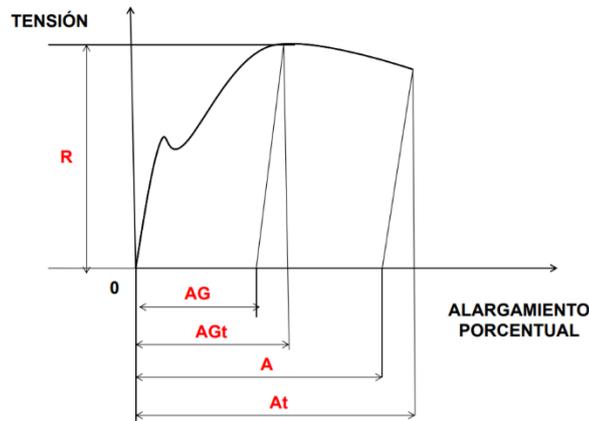
L_0 = Longitud de referencia inicial, es la existente antes de ensayar la probeta, [mm].

PROBETA = Trozo de producto, mecanizado o no, que se somete a ensayo.

- Alargamiento porcentual: alargamiento unitario expresado como porcentaje.
- Alargamiento permanente porcentual para una tensión preestablecida: Alargamiento porcentual producido por una tensión preestablecida después de suprimida la carga. El símbolo de este alargamiento se completa con un subíndice que indica la tensión alcanzada en MPa, (por ejemplo, para una tensión de 400 MPa, se indica A P400).
- Alargamiento porcentual de rotura: alargamiento porcentual medido luego de la rotura de la probeta y expresado por la siguiente fórmula:

$$A = \left[\frac{L_U - L_0}{L_0} \right] \cdot 100$$

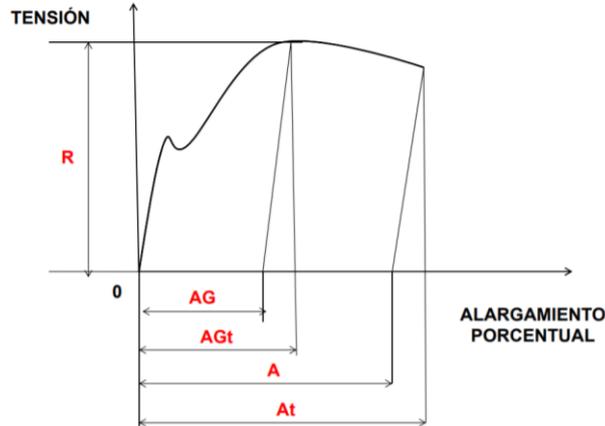
Alargamiento porcentual total de rotura (A_t):



Alargamiento porcentual bajo carga en el momento de la rotura.

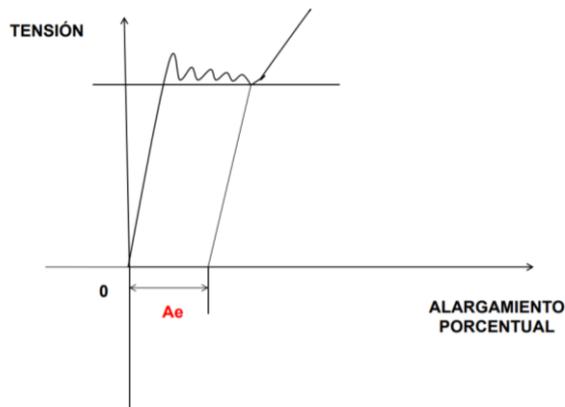
Alargamiento porcentual a carga máxima (A_{Gt}):

Alargamiento porcentual producido hasta el momento de alcanzarse la carga máxima. Debe distinguirse entre el alargamiento porcentual total a carga máxima y el alargamiento porcentual no proporcional a carga máxima (A_G).



Alargamiento porcentual de fluencia (A_e):

Alargamiento porcentual entre el comienzo de la zona de fluencia y el comienzo de la zona de endurecimiento. Puede determinarse en el diagrama CARGA ALARGAMIENTO.



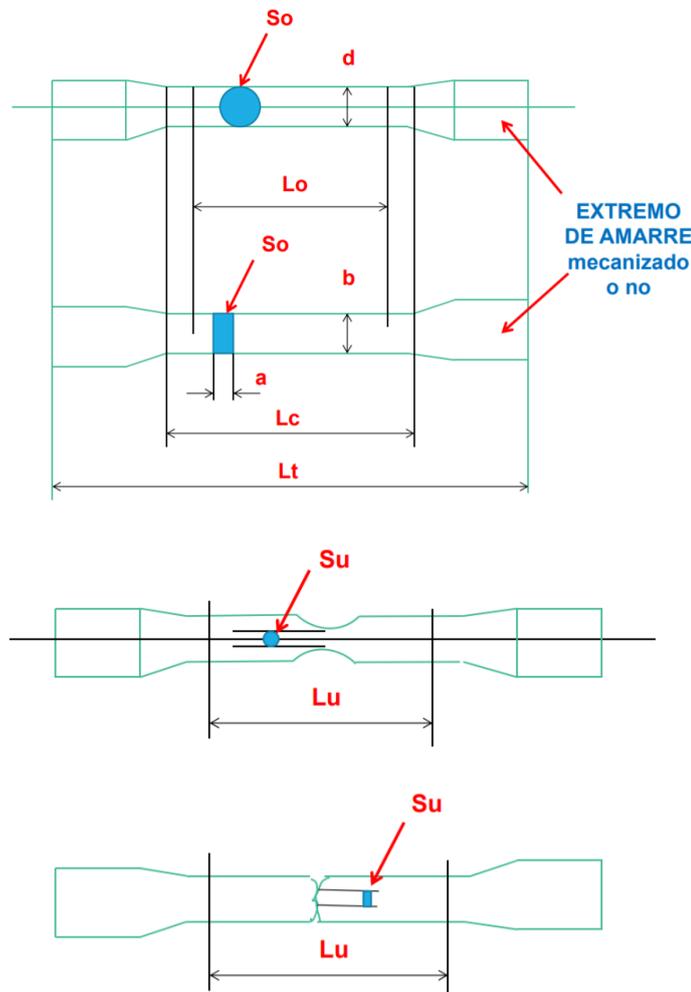
- Estricción (Z): Relación entre la reducción máxima del área de la sección transversal de la probeta S_0 - S_u , y el área de la sección original S_0 , expresada en porcentaje.

$$Z = \left[\frac{S_0 - S_u}{S_0} \right] \cdot 100$$

Siendo:

S_0 = Área de la sección (inicial) de la zona calibrada de la probeta, [mm²].

S_u = Área mínima de la sección de la probeta luego de la rotura, [mm²].



- Carga máxima ($F_{MÁX}$): Carga máxima que la probeta soporta durante el ensayo, [N].
- Resistencia a la tracción (R): Tensión (convencionalmente, el cociente entre la carga alcanzada en cualquier instante del ensayo y el área de la sección inicial de la probeta) correspondiente a la carga máxima alcanzada durante el ensayo, [MPa].

$$R = \frac{F_{MÁX}}{S_0}$$

- Límite de proporcionalidad (R_H): Tensión máxima que un metal es capaz de soportar sin que los alargamientos dejen de ser proporcionales a las tensiones, es decir, sin apartarse de la LEY DE HOOKE, [MPa].

- Límite de elasticidad (R_e): Tensión máxima que el material es capaz de soportar sin que se produzcan alargamientos permanentes en la probeta descargada, [MPa].
- Módulo de elasticidad (E): Constante elástica que relaciona la tensión con el alargamiento unitario correspondiente, debajo del límite de proporcionalidad, [MPa].

LEY DE HOOKE

$$\sigma = E \cdot \Delta l / l_0$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Siendo:

E = Módulo de Elasticidad Longitudinal [MPa]

Δl = $l_f - l_0$ = Variación de Longitud [m]

l_0 = Longitud Inicial [m]

σ = Tensión [MPa]

ε = Deformación Longitudinal

¡CURIOSIDAD!

ANTE EL TEMOR DE QUE ALGUIEN SE APODERARA DE SU DESCUBRIMIENTO, ROBERT HOOKE, FÍSICO INGLÉS (1635- 1703). LO PUBLICÓ EN FORMA DE UN FAMOSO ANAGRAMA, (PROCEDIMIENTO QUE CONSISTE EN CREAR UNA PALABRA A PARTIR DE LA REORDENACIÓN DE LAS LETRAS DE OTRA PALABRA), CEIIINOSSTTUV, REVELANDO SU CONTENIDO UN PAR DE AÑOS MÁS TARDE. EL ANAGRAMA SIGNIFICA EN LATÍN “UT TENSIO SIC VIS” (“COMO LA EXTENSIÓN, ASÍ LA FUERZA”).

- Límite de fluencia (R_e), [MPa]: En los metales que presentan el fenómeno de fluencia, la tensión en la que comienza la deformación plástica la cual, inmediatamente después de haberse iniciado, puede continuar manifestándose a carga aproximadamente constante o con oscilaciones de la carga. En este caso se establecen los siguientes límites:

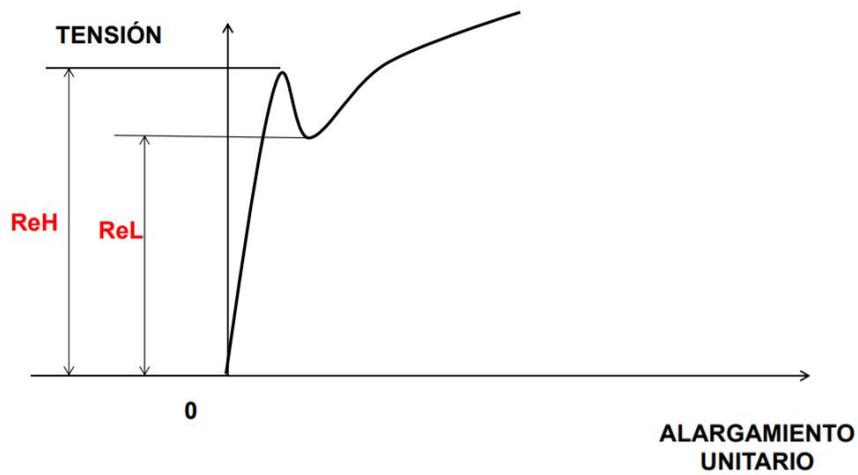
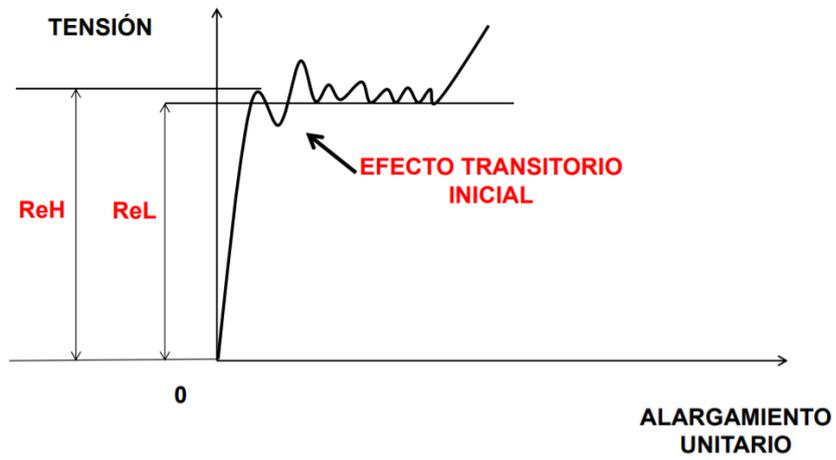
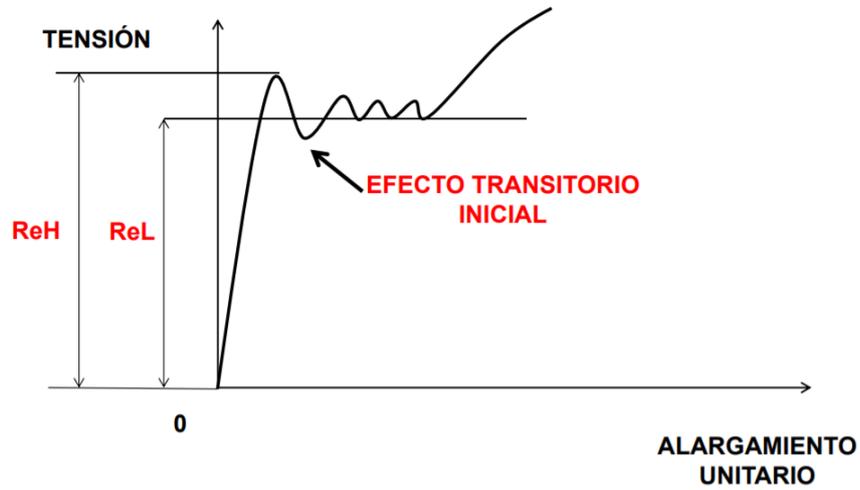
- Límite superior de fluencia (R_{eH})
- Límite inferior de fluencia (R_{eL})

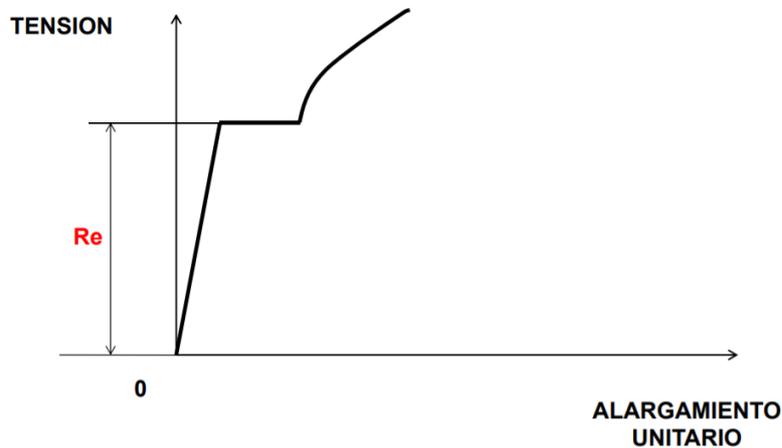
Límite superior de fluencia (R_{eH}), [MPa]:

Valor de la tensión medida al comenzar la deformación plástica de fluencia, o el valor de la tensión medida para el primer pico obtenido durante la fluencia aun cuando este pico sea menor que cualquier otro subsiguiente observado durante ella.

Límite inferior de fluencia (R_{eL}), [MPa]:

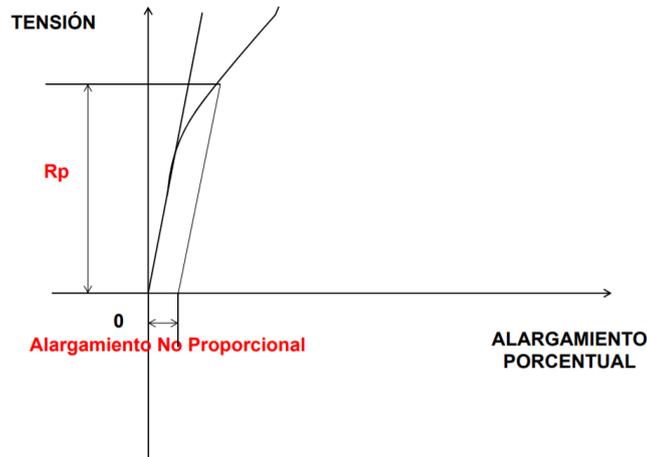
Valor mínimo de la tensión, medido durante la deformación plástica de fluencia, sin tener en cuenta el efecto transitorio inicial.





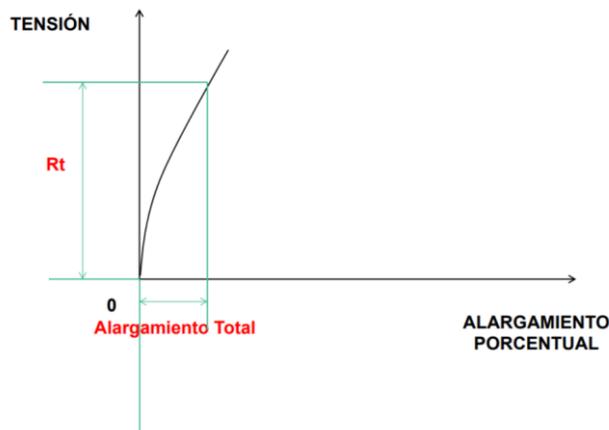
SALVO QUE SE ESTABLEZCA LO CONTRARIO, SE ADOPTA POR LÍMITE DE FLUENCIA EL LÍMITE SUPERIOR DE FLUENCIA.

- Límite convencional de fluencia (R_p), [MPa]: Tensión que corresponde a un alargamiento porcentual no proporcional especificado. El símbolo usado para esta tensión se completa con un subíndice que indica el por ciento.

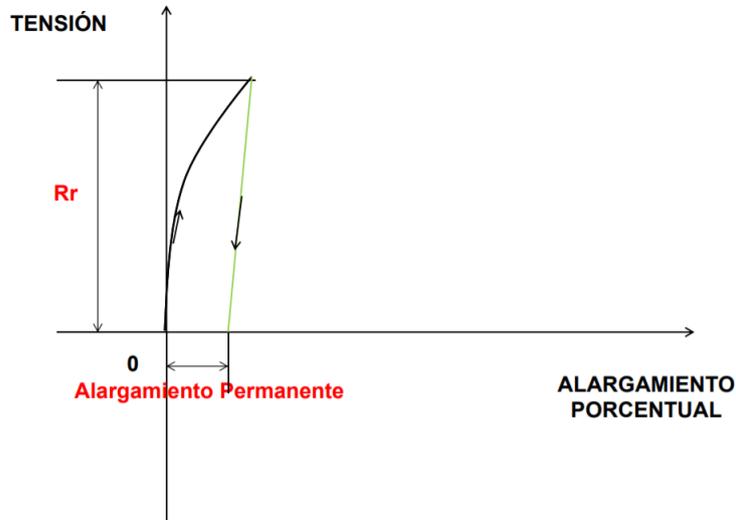


El límite convencional de fluencia más utilizado es el ($R_{p0,2}$), denominado límite 0,2 y es el que corresponde a un alargamiento porcentual no proporcional de 0,2%.

- Tensión correspondiente a un alargamiento total preestablecido (R_t), [MPa]: Tensión que corresponde a un alargamiento porcentual total (alargamiento elástico más plástico) preestablecido. el símbolo usado para esta tensión tiene un subíndice que indica el porcentaje preestablecido, por ejemplo ($R_{t0,5}$).



- Tensión correspondiente a un alargamiento permanente preestablecido (R_r), [MPa]: Tensión que produce, después de la supresión de la carga, un alargamiento porcentual permanentemente preestablecido. El símbolo usado para esta tensión tiene un subíndice que inicia el por ciento preestablecido, por ejemplo, ($R_{R0,2}$).



2. ACERO - MÉTODO DE ENSAYO CHARPY A LA FLEXIÓN POR IMPACTO SOBRE PROBETA SIMPLEMENTE APOYADA CON ENTALLADURA OJO DE CERRADURA O U

IRAM-IAS U 500 – 106, Edición 1, 02/12/1976.

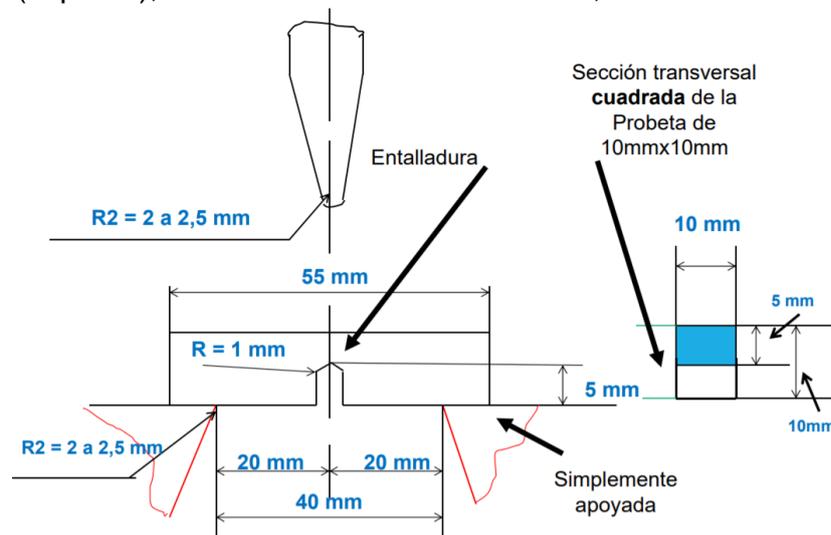
Objeto

Establecer el método de ensayo a la flexión por impacto sobre probeta simplemente apoyada, con entalladura en forma de ojo de cerradura O U, para acero, también denominado ensayo CHARPY.

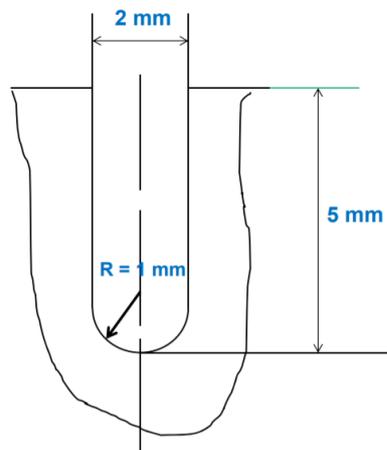
EL NOMBRE DE ESTE ENSAYO SE DEBE A SU CREADOR, EL FRANCÉS AGUSTÍN GEORGES ALBERT CHARPY (1865-1945).

2.1. MÉTODO DE ENSAYO

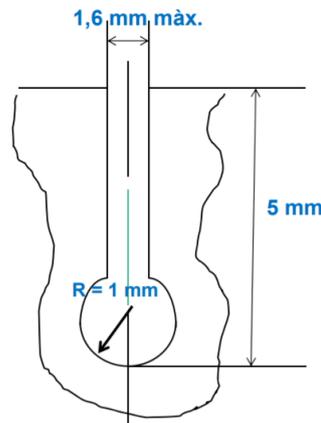
El ensayo consiste en romper de un solo golpe, con un martillo pendular, de dimensiones establecidas en la norma, una probeta con entalladura en forma de ojo de cerradura O U, simplemente apoyada en sus extremos. La probeta debe tener una longitud de 55 mm y una sección cuadrada de 10 mm de lado. En la mitad de la longitud se practica una entalladura con forma de ojo de cerradura O U, según se indique en cada caso, de 5 mm de profundidad, salvo que se especifique otro valor, con un radio en el fondo de 1 mm. La velocidad del martillo, en el momento del golpe (impacto), debe estar entre los 5 m/s a 5,5 m/s.



Detalle entalladura U



Detalle entalladura ojo de cerradura



¿Qué se halla durante el ensayo?

- Valor de impacto (KCU)

$$KCU = \frac{\text{ENERGÍA DE IMPACTO ABSORBIDA [Joule]}}{S_0 [cm^2]}$$

Siendo:

S_0 = Área de la sección transversal de la probeta en la entalladura antes del ensayo.

Para un ensayo “normal” (sin especificaciones particulares), la energía de impacto de la máquina es de 300 Joule \pm 10 Joule. El valor del impacto obtenido con esta condición y, usando la entalladura en forma de ojo de cerradura O U con una profundidad de 5 mm, se indica anteponiendo el símbolo KCU.

Por convenio previo, se puede utilizar otra energía de impacto y otras profundidades de la entalladura, en estos casos, se indica así:

$$KCU_{100/3}$$

Primer Subíndice = Energía de impacto empleada [Joule].

Segundo Subíndice = Profundidad de la entalladura [mm].

2.2. MODOS DE FRACTURA O ROTURA

Se clasifican en:

- DÚCTIL
- FRÁGIL

El comportamiento dúctil (del material ensayado) está caracterizado por una absorción de energía mayor que la requerida para que un material fracture frágilmente, además (el comportamiento dúctil) tiene asociado altos niveles de deformación plástica en los materiales.

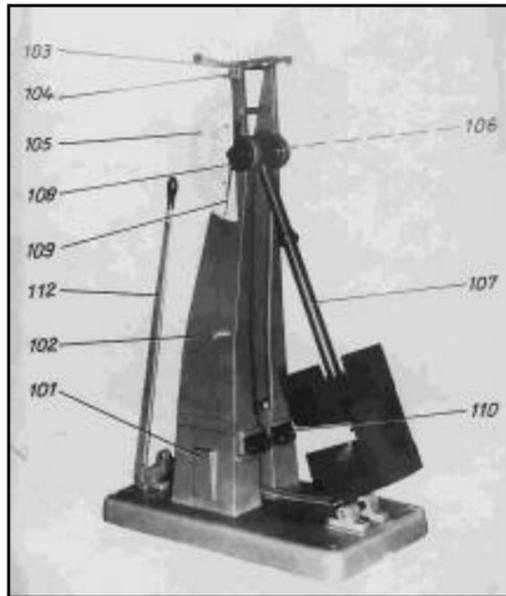
2.3. FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA RESISTENCIA AL CHOQUE (CHARPY)

Entre los factores que contribuyen a modificar el modo de fractura y que se pueden estudiar mediante el ensayo de impacto Charpy se encuentran:

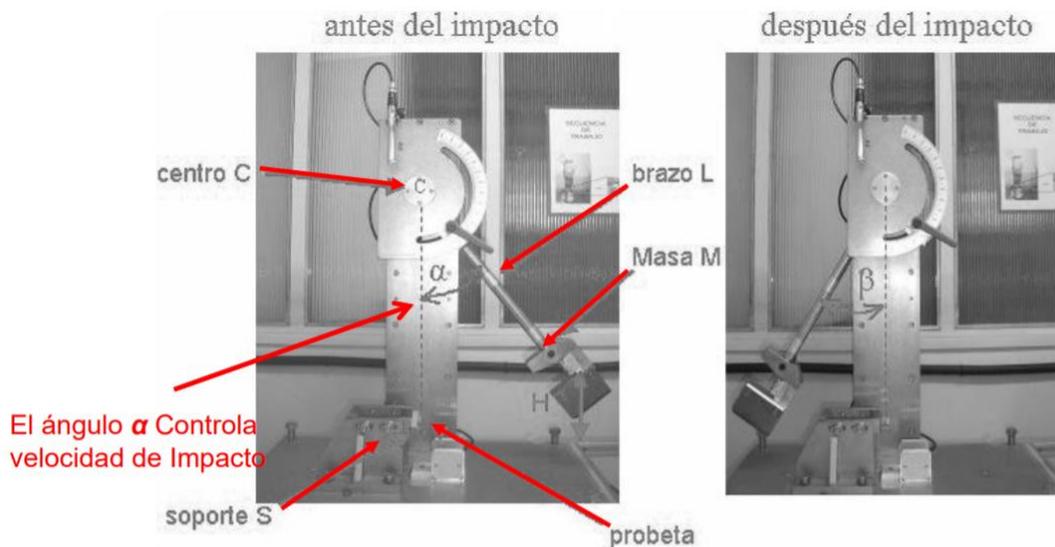
- La velocidad de aplicación de la carga, la cual se controla variedad el ángulo alfa.
- La presencia de concentradores de tensiones, lo cual se logra mecanizando una entalla en la probeta del material a estudiar.
- Materiales expuestos a diferentes temperaturas.

El último factor (MATERIALES A DISTINTAS TEMPERATURAS) es el responsable que determinados materiales experimenten una transición dúctil-frágil con la variación de temperatura.

PARA DETERMINAR EL INTERVALO DE TEMPERATURAS EN EL QUE SE ENCUENTRA ESA TRANSICIÓN SE SUELEN REALIZAR LOS ENSAYOS CHARPY A DISTINTAS TEMPERATURAS DE LA PROBETA.



Ejemplo Máquina de Charpy



Ejemplo Máquina de Charpy

3. MATERIALES METÁLICOS ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL

3.1. PARTE 1: MÉTODO DE ENSAYO (ESCALAS A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) (ISO 6508-1: 2005, IDT). IRAM-IAS NM-ISO 6508-1, Edición 1, 13/07/2010.

Objeto

Especifica el método de ensayo para la determinación de la dureza Rockwell.

3.1. MÉTODO DE ENSAYO

El ensayo consiste en aplicar una fuerza en dos etapas. Interponiendo un penetrador que puede ser:

{ De diamante cónico
} Esférico de metal duro

Con tamaño, forma y material especificado.

Las fuerzas se aplican sobre la superficie de una probeta (debe ser de superficie plana y uniforme, libre de óxido, lubricantes y otro tipo de suciedad), la probeta se coloca sobre un soporte rígido y debe estar apoyada de modo que la superficie sobre la que se va a efectuar la impronta esté en un plano normal al eje del penetrador y a la línea de la fuerza de penetración, y se evite el desplazamiento de la probeta.

3.2. LAS FUERZAS A APLICAR EN DOS ETAPAS son F_0 y F_1 :

F_0 = Fuerza preliminar de ensayo (se aplica sin choques, vibraciones u oscilaciones, durante un tiempo que no debe exceder de 3 s), [N].

F_1 = Fuerza adicional de ensayo, [N].

F = Fuerza total de ensayo (debe mantenerse durante un tiempo de $4 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$ y es la suma de F_0 y F_1) [N].

Se aplica primeramente F_0 , luego se aplica F_1 .

Posteriormente se elimina la fuerza adicional de ensayo F_1 ... Y tras un corto tiempo, manteniendo la fuerza preliminar de ensayo F_0 , debe tomarse la lectura final de la profundidad permanente de la impronta H .

3.3. EL VALOR DE DUREZA ROCKWELL SE CALCULA APLICANDO LA FÓRMULA

$$\text{Dureza Rockwell} = N - \frac{H}{S}$$

Siendo:

N = Número específico de escala de dureza Rockwell (se adopta de tabla y de ésta dependerán los valores de F_0 y F_1 adoptados y, el tipo de penetrador).

H = Profundidad permanentemente de la impronta en la superficie, bajo la fuerza preliminar de ensayo (F_0), después de retirar la fuerza adicional de ensayo (F_1), [mm].

S = Unidad de escala (se obtiene de tabla).

Ejemplo de la designación de la dureza Rockwell

70 HR 30T W

Siendo:

70 = Valor de dureza Rockwell (obtenido durante el ensayo).

HR = Símbolo de la dureza Rockwell.

30T = (N), Símbolo de la escala de dureza Rockwell, se adopta de tabla, $30 \text{ kgf} \approx 294,2 \text{ N}$.

W = Indicación del tipo de esfera utilizada (S = acero; W = metal duro).

4. MATERIALES METÁLICOS ENSAYO DE DUREZA BRINELL

4.1. PARTE 1: MÉTODO DE ENSAYO (ISO 6506-1: 2005, IDT). IRAM-IAS NM-ISO 6506-1, Edición 1, 04/10/2010.

- **Objeto**

Especifica el método de ensayo para la determinación de la dureza Brinell.

4.2. MÉTODO DE ENSAYO

Se coloca el penetrador (esfera de metal duro con diámetro D [mm]) contra la superficie de una probeta de ensayo (la superficie debe ser lisa y uniforme, libre óxido y todo tipo de suciedad y libre de lubricantes). Una probeta se debe colocar sobre un soporte rígido, no deben producirse desplazamientos durante el ensayo.

Posteriormente, se aplica una fuerza de ensayo F [N] (se adopta de tabla, teniendo en cuenta el tipo de material y el diámetro de la esfera D) en dirección perpendicular a la superficie, evitando vibraciones o deslizamientos, hasta que la fuerza aplicada alcance el valor estipulado.

El tiempo transcurrido entre la aplicación inicial de la fuerza y el momento en que se alcanza la fuerza total de ensayo F no debe ser menor que 2s ni mayor que 8s. Se mantiene la fuerza de ensayo F entre 10s y 15s.

Luego, se mide el diámetro de la impronta D dejada en la superficie al retirar la fuerza F, se deben realizar al menor dos improntas, se mide el diámetro de cada impronta en dos direcciones perpendiculares entre sí. Para el cálculo de la dureza Brinell se debe tomar la media aritmética de las dos lecturas:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

d = diámetro medio de la impronta, [mm].

d₁ Y d₂ = diámetros de la impronta medidos a 90°, [mm].

4.3. EL VALOR DE DUREZA BRINELL SE CALCULA APLICANDO LA FÓRMULA

$$\text{Dureza Brinell} = \frac{\text{Constante} \cdot \text{Fuerza de ensayo}}{\text{área de la superficie de la huella}}$$

$$\text{HBW} = (0,102 \cdot 2 F) / [\pi \cdot D^2 (1 - (1 - d^2) / D^2)]$$

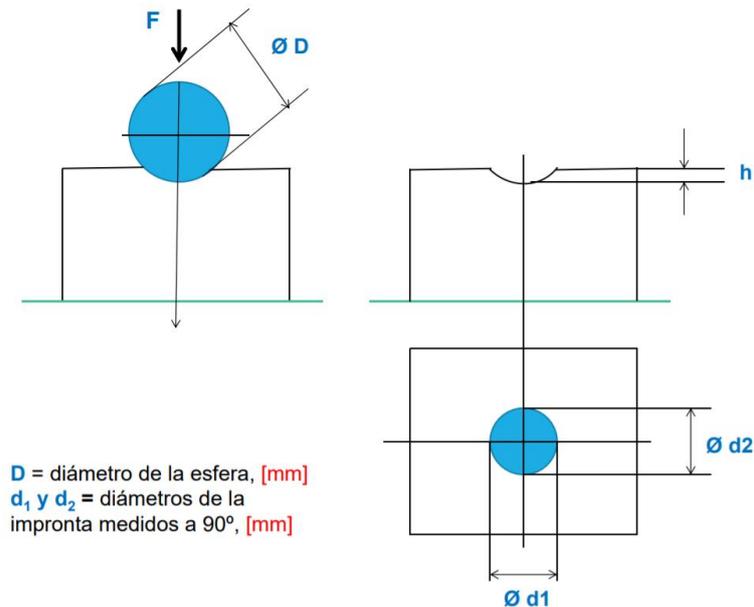
Siendo:

HBW = Designación de la dureza Brinell.

F = Fuerza de ensayo, [kgf].

d = Diámetro medio de la impronta, [mm].

D = Diámetro de la esfera, [mm].



Ejemplo de la designación de la dureza Brinell

600 HBW 10 30 20

Siendo:

600 = Valor de Dureza Brinell (obtenido durante el ensayo).

HBW = Símbolo de la Dureza Brinell.

10 = diámetro de la esfera D en mm.

30 = valor equivalente aproximado, en kgf, de la fuerza de ensayo aplicada, siendo 30 kgf \approx 294,2 N.

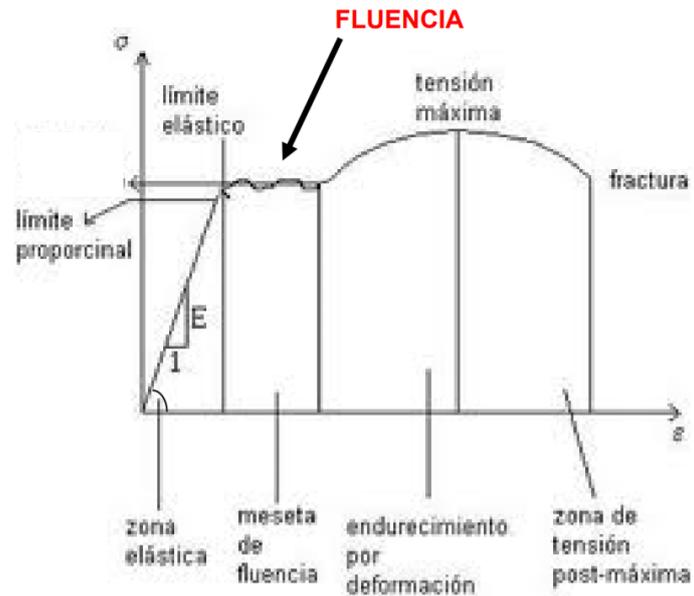
20 = tiempo de aplicación de la fuerza de ensayo (en este ejemplo 20 s) figurará si NO está dentro del intervalo especificado (10 s a 15 s).

5. RESISTENCIA ESTÁTICA DE DURACIÓN (CREEP)

La deformación por fluencia lenta (en inglés, creep, reptar, arrastrarse, deslizarse despacio). Se produce si se aplican a un metal, cargas dentro del rango elástico, y durante un tiempo prolongado, se observará que la deformación no desaparece completamente al retirar la carga persiste una pequeña deformación. A este fenómeno se lo denomina "CREEP". En muchas aplicaciones algunos elementos se ven obligados a soportar cargas constantes durante lapsos prolongados, como por ejemplo cables de acero (y su peso propio). El material puede continuar deformándose hasta que su vida útil se perjudica. Las deformaciones dependientes del tiempo, pueden ser casi imperceptibles, pero crecen durante toda la vida útil del elemento y pueden llevar la rotura. Aún sin que el valor de las cargas haya aumentado. Por ejemplo, en cargas aplicadas en un corto tiempo:

Como en un ensayo de tracción estático de una barra de acero...

Hay una deformación inicial que aumenta simultáneamente con la carga. Si la deformación continúa mientras la carga se mantiene constante, a esta deformación adicional se la conoce, también, como "CREEP".



¡Importante!

SE SUELE ASOCIAR AL CREEP SOLO CON PROBLEMAS VINCULADOS A TEMPERATURAS ELEVADAS SIN EMBARGO EL PLOMO Y EL ASFALTO PUEDEN PRESENTAR EL EFECTO "CREEP" A TEMPERATURA AMBIENTE Y... POR EJEMPLO EN EL HORMIGÓN Y LA MADERA, LA TEMPERATURA NO ES UN FACTOR IMPORTANTE.