

Unidad 1: Estructura de los materiales. Propiedades y ensayos de medida.

Elementos electropositivos y electronegativos

Electropositivos: cationes o iones positivos que ceden electrones. Se oxidan. Los metales son electropositivos. Los elementos más electropositivos de la tabla periódica se encuentran en la columna 1A y 2A

Electronegativos: no son metálicos y aceptan electrones de otros elementos o moléculas. Se denominan iones negativos u aniones.

Enlace metálico

Los átomos están empaquetados en estructura cristalina. Son átomos que suelen estar muy unidos.

Los electrones son atraídos por múltiples núcleos.

Los núcleos son iones positivos y los electrones forman una nube electrónica que se puede mover con relativa facilidad.

Propiedades:

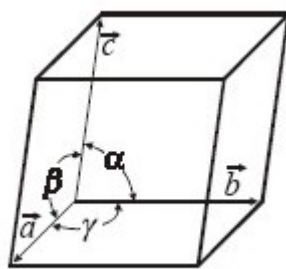
Sólidos, propiedades cristalinas, conductor eléctrico y calorífico, brillo metálico, dúctil y maleable, etc.

Estructura cristalina

En la estructura cristalina las partículas están ordenadas de forma geométrica en las tres dimensiones, al contrario de la materia amorfa.

Los metales forman una estructura cristalina de forma que construyen una red espacial.

La celda unitaria es el elemento que se repite en las 3 dimensiones y está constituido por 3 vectores que forman a su vez 3 ángulos.



Existen varios sistemas cristalinos:

Cúbico: $a = b = c$ y $\alpha = \beta = \gamma = 90$

Tetragonal: $a = b \neq c$ y $\alpha = \beta = \gamma = 90$

Ortorrómico: $a \neq b \neq c$ y $\alpha = \beta = \gamma = 90$

Monoclínico: $a \neq b \neq c$ y $\alpha = \beta = 90$ y $\gamma \neq 90$

Triclínico: $a \neq b \neq c$ y $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90$

Trigonal: $a = b = c$ y $\alpha = \beta = \gamma \neq 90$

Hexagonal

Las redes cristalinas más importantes en los metales son:

FCC = Cúbico centrado en las caras (más denso).

BCC = Cúbico centrado en el cuerpo.

HCP= Hexagonal compacto.

Alotropía: es cuando un material tiene o puede tener estructuras cristalinas diferentes para la misma composición. Depende de las condiciones en las que se ha formado el material. Destacan la presión y la temperatura.

Estados polimórficos: se da en materiales compuestos con más de un elemento y presentan diferente estructura. Por ejemplo el grafito y el diamante.

Estados alotrópicos: un elemento con diferentes estructuras cristalinas. Por ejemplo el Hierro alfa y el hierro gamma.

Propiedades importantes en los materiales:

Cohesión: resistencia que ponen las partículas de los materiales a separarse unas de otras.

Dureza: resistencia que opone un material a ser rayado o penetrado por otro. Esta propiedad está relacionada con la cohesión atómica.

Tenacidad: es la propiedad que tienen los materiales de soportar, sin deformarse ni romperse la acción de fuerzas. Un material es más tenaz cuanto más energía absorba antes de romperse. También está relacionada con la cohesión atómica.

Fragilidad: un material es frágil cuando se rompe fácilmente por la acción de un golpe.

Elasticidad: es la capacidad que tienen los materiales de ser deformados por la acción de una fuerza, y al cesar la fuerza que provocó la deformación recobrar su forma original.

Plasticidad: es la capacidad que tienen los materiales de deformarse permanentemente sin llegar a la rotura. Se dice que es maleable si se deforma en láminas y dúctil si se deforma en forma de hilos. La temperatura puede ser la ambiental o superior.

Fatiga: es un ensayo y una propiedad que consiste en someter a una pieza de un material a esfuerzos variables y repetitivos con una determinada frecuencia hasta que se produzca la rotura. El valor de esos esfuerzos puede ser superior al límite elástico.

Resiliencia: es un ensayo que consiste en romper una probeta de un determinado material en el péndulo Charpy. Se define como la relación existente entre la energía por unidad de sección que absorbe en su rotura.

Maquinabilidad: esta propiedad nos indica la facilidad o dificultad que presenta éste para ser trabajado con herramientas cortantes.

Ensayo de materiales.

Los ensayos son métodos utilizados para averiguar determinadas propiedades o características de los materiales que quieren ser valorados.

Está perfectamente justificada su realización para averiguar que materiales son más idóneos para determinadas aplicaciones o analizar sus propiedades para ser usados.

Los ensayos se pueden clasificar dependiendo de diferentes criterios.

Atendiendo a la rigurosidad:

Ensayos técnicos de control: en la industria es necesario valorar las propiedades y características de lo que se ha fabricado. Suelen ser menos precisos, pero más rápidos.

Ensayos científicos: en general son ensayos de laboratorio, más lentos en su realización, aunque más precisos.

Atendiendo a la forma de ensayo:

Ensayos destructivos: la probeta o la pieza es destruida o dañada tras el ensayo.

Ensayos no destructivos: en el ensayo no es necesario dañar la probeta o material a analizar.

Atendiendo al método empleado:

Ensayos químicos:

Ensayos físicos:

Ensayos mecánicos: el material es sometido a determinados esfuerzos.

Ensayos metalográficos: se realizan a través de un microscopio.

Atendiendo a los esfuerzos a los que son sometidas las probetas:

Ensayos estáticos: la carga que se aplica es constante o que progresa constantemente.

Ensayos dinámicos: la carga que se aplica es brusca o alternativamente variable en el tiempo.

Deformación elástica y plástica:

Deformación plástica: el material se ha deformado tras un esfuerzo y cuando cesa dicha fuerza el material no vuelve a su posición inicial.

Deformación elástica: el material ha sido sometido a un esfuerzo, se ha deformado y vuelve a su forma anterior.

Tensión y deformación:

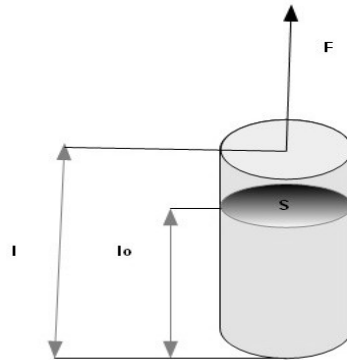
La tensión σ (sigma) es el cociente entre la fuerza de tracción F (uniaxial) y la sección transversal S .

$$\sigma = F / S$$

Cuando se realiza una fuerza sobre una probeta se produce un alargamiento. Este alargamiento es la deformación.

En ingeniería se define la deformación ϵ (épsilon) como el cociente entre el incremento de la longitud de la probeta $l-l_0$ y la longitud inicial l_0 .

$$\epsilon = (l - l_0) / l_0$$



Ensayo de tracción

Un ensayo de tracción consiste en someter a una probeta de forma y dimensiones normalizadas a esfuerzos de tracción en su eje longitudinal.

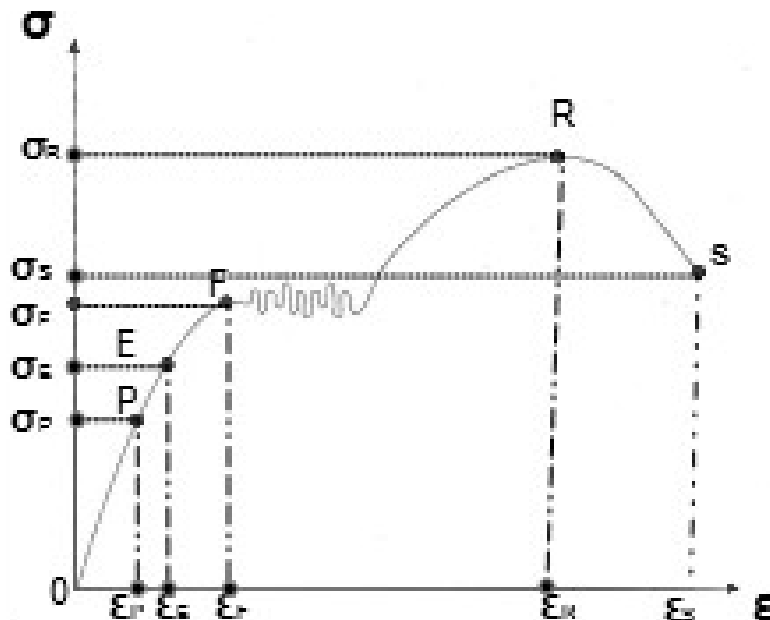
Las normas utilizadas son las UNE 7282 (preparación), UNE 72-62-73 (tolerancia) y UNE 7010(recomendaciones).

Se suelen usar probetas con secciones (**S**) de 150 mm^2 y longitudes (**l₀**) de 100mm.

Los tipos de probetas usadas suelen ser cilíndricas o prismáticas.

La maquinaria usada para el ensayo suelen ser dispositivos mecánicos e hidráulicos que someten a las probetas a una tensión o esfuerzo de tracción creciente en la sección transversal.

Diagrama de tracción



Los puntos significativos del diagrama de tracción son:

E= límite elástico

OP = zona de proporcionalidad. La deformación elástica es lineal

PE = deformación elástica no lineal.

ER = zona límite de rotura. A pequeñas variaciones de tensión grandes alargamientos.

F = fluencia. Es un punto de la gráfica donde superado el límite elástico y con la misma tensión el material sigue deformándose. *Este punto es característico del acero.*

R = límite de rotura.

RS = zona de rotura. Aunque se baje el valor de σ sigue deformándose hasta que se produce la rotura total en S.

S = rotura total.

En el punto R si seguimos aumentando la tensión la probeta se romperá en el punto M. La probeta sufre una contracción denominada **estricción**, para el que disminuye el esfuerzo de rotura. La estricción es la reducción de sección en la zona de rotura. Se representa matemáticamente como $e = (A_0 - A_e) / A_0$.

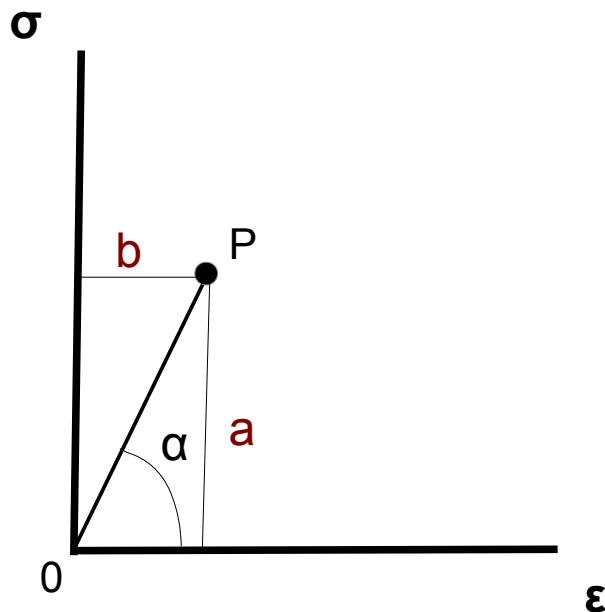
e = estricción

A_0 = Sección inicial

A_e = Sección en la zona de estricción

Ley de Hook

Como podemos ver en la gráfica de tracción en el intervalo OP se comporta como una línea recta. Prácticamente esto quiere decir que las deformaciones producidas en la probeta son proporcionales a las tensiones aplicadas en cada punto.



$$\operatorname{tg} \alpha = a / b = \sigma_p / \epsilon_p = E$$

Se considera a **E** como una constante para un determinado material en el intervalo OP.

A "**E**" se le denomina **módulo elástico** o **módulo de Young**.

$$E = \sigma / \epsilon = \frac{F / S}{(l - l_0) / l_0} = \frac{F l_0}{(l - l_0) S}$$

Tensión máxima de trabajo

La tensión máxima de trabajo σ_t es el límite de carga a la que podemos someter una pieza de un determinado material para que trabaje adecuadamente según la normativa y que tiene un valor inferior al límite de proporcionalidad.

Desde el punto de vista de la seguridad en los materiales no deben tener deformaciones plásticas y tener un margen de tensión para las cargas imprevistas. Esto quiere decir que debe haber un intervalo de tensión suficientemente amplia desde σ_t hasta el punto "E" de la gráfica del ensayo de tracción.

Dependiendo de la normativa de la pieza tenemos dos posibilidades para obtener σ_t :

$$\sigma_t = \sigma_f / n \quad \sigma_t = \sigma_R / n \quad \sigma_e / n$$

n = coeficiente de seguridad.

σ_f = tensión de fluencia.

σ_R = tensión de límite de rotura.

Ensayos de dureza

Este tipo de ensayo consiste en penetrar la pieza o la probeta con un material duro, que tiene una determinada forma y dependiendo de la profundidad o la superficie de la huella se determinará su dureza.

Para este tipo de ensayo hay que tener en cuenta la tensión y el tiempo en que se aplica el ensayo.

Ensayo Brinell

Consiste en comprimir el material del que se quiere conocer su dureza con una bola de acero templado, con un diámetro determinado, con una fuerza F y un tiempo establecido.

La normativa UNE 7-422-82 determina las condiciones del ensayo.

$$HB = F / S = \frac{2 F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

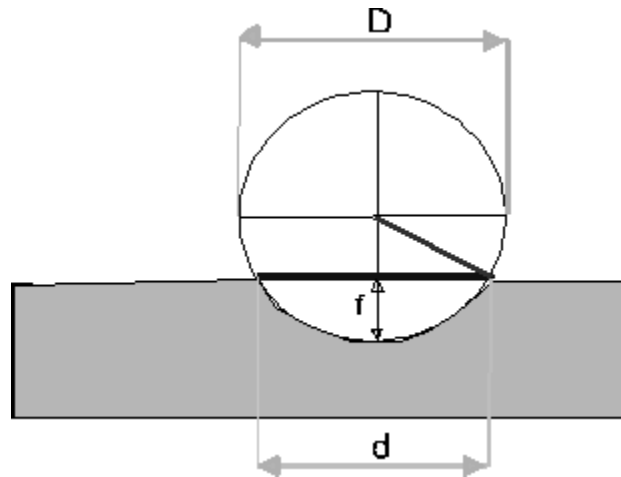
HB = dureza brinell.

F = fuerza aplicada en kilopondios (kp)

S = superficie de la huella en el material en milímetros al cuadrado (mm^2)

D = diámetro de la bola

d = diámetro de la huella.



Matemáticamente la superficie de la bola en la pieza es $S = \pi D f$
 Donde:

S = es la superficie apoyada de la bola sobre el objeto a ensayo.

D = es el diámetro de la bola.

f = es la profundidad de la huella.

Por el teorema de Pitágoras y mirando la gráfica deducimos:

$$\left(\frac{D}{2} - f\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

La incógnita a resolver es f $x = -b \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

$$f^2 - Df + \frac{D^2}{4} = 0$$

$$f = \frac{(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$$

$$HB = F/S = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

En la práctica se usan tablas normalizadas para averiguar la dureza a partir de d .
 Nosotros tendremos que aprendernos la fórmula.

Con espesores del material inferiores a 6mm se produce una deformación que falsea el resultado.

Entonces para hacer el ensayo se disminuye la carga y el diámetro de la bola.

Se suele hacer la media aplicando la siguiente fórmula:

$$d = 0,375 D$$

D = diámetro estándar

d = nuevo diámetro

$$P = k D^2$$

P = nueva carga a aplicar en kp (kilopondios)

k = constante para un determinado material

D = diámetro estándar en mm

Ejemplo de representación de la dureza Brinell (MUY IMPORTANTE)

110 HB 5 250 30

La dureza Brinell es 110, el diámetro de la bola 5mm, la fuerza aplicada 250 kp y el tiempo de realización de la prueba 30 segundos.

Ensayo Vickers

La normativa UNE 7-423-84 regula las condiciones de este ensayo.

Se usa para durezas superiores a 500 HB, aunque se utiliza para materiales duros y relativamente blandos incluso con espesores muy pequeños (0,05mm)

Para el ensayo se utiliza una pirámide regular de base cuadrada. Sus caras laterales forman un ángulo de 135°.

Se usan cargas de 0 a 120 kp, aunque se suele usar 30.

$$HV = F / S = \frac{1,854 F}{D^2}$$

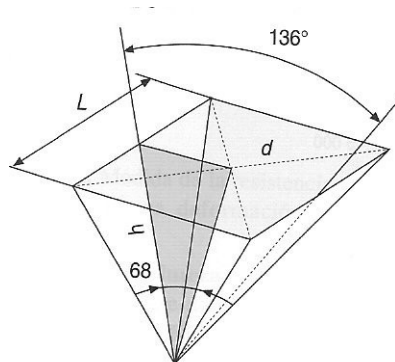
Donde:

HV = es la dureza Vickers.

F = es la fuerza aplicada.

S = es la huella dejada por la pirámide. Expresado en mm^2

D= d = es la diagonal que deja la huella de la pirámide en la probeta o pieza.



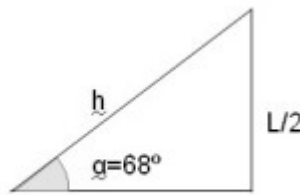
Para calcular la huella de una pirámide es evidente que hay que calcular la superficie de 4 triángulos.

$$S = \left(L \frac{h}{2}\right) 4$$

L = es la longitud de cada lado que la pirámide ha dejado en el material.

h = es la distancia que hay desde el vértice de la pirámide hasta el punto medio de L.

Tenemos que averiguar el valor de **h** para resolver la ecuación. Como sabemos que el ángulo que hay desde la vertical que sale del vértice de la pirámide hasta cada cara es la mitad de 136 grados (68°) podemos resolver la ecuación.



$$\frac{L/2}{h} = \text{sen } 68; \quad h = \frac{L}{2 \text{ sen } 68}$$

En la ecuación de la superficie sustituimos **h**:

$$S = \left(L \frac{L}{4 \text{ sen } 68}\right) 4 = \frac{L^2}{\text{sen } 68}$$

En este tipo de problemas se calcula la sección de la pirámide en función de la diagonal "**d**" o "**D**" que es más fácil de medir.

Por el teorema de Pitágoras despejamos "**D**" en función de "**L**":

$$D^2 = L^2 + L^2 = 2 L^2 \quad L^2 = \frac{D^2}{2}$$

Sustituyendo:

$$S = \frac{D^2}{2 \text{ sen } 68} = \frac{D^2}{1,854}$$

Por lo que sustituyendo la dureza Vickers:

$$F = \frac{1,854 F}{D^2}$$

Se denomina la digonal media a aquella que sale de hacer la media de la medición de las dos diagonales $D = (d_1 + d_2)/2$

Ejemplo de representación de la dureza Vickers (MUY IMPORTANTE)

720 HV 30 15

La dureza Vickers es 720 , aplicando una carga de 30 kp en un tiempo de 15 segundos.

Ensayo Rockwell

La normativa UNE 7-424-89 regula las condiciones de este ensayo.

Este ensayo es muy rápido para materiales duros y blandos, aunque no tan preciso como los anteriores.

Se determina la dureza en función de la profundidad de la huella.

Existen dos tipos de ensayos:

Para materiales blandos: HRB (Rockwell bola).

Para materiales duros: HRC (Rockwell cono 120°).

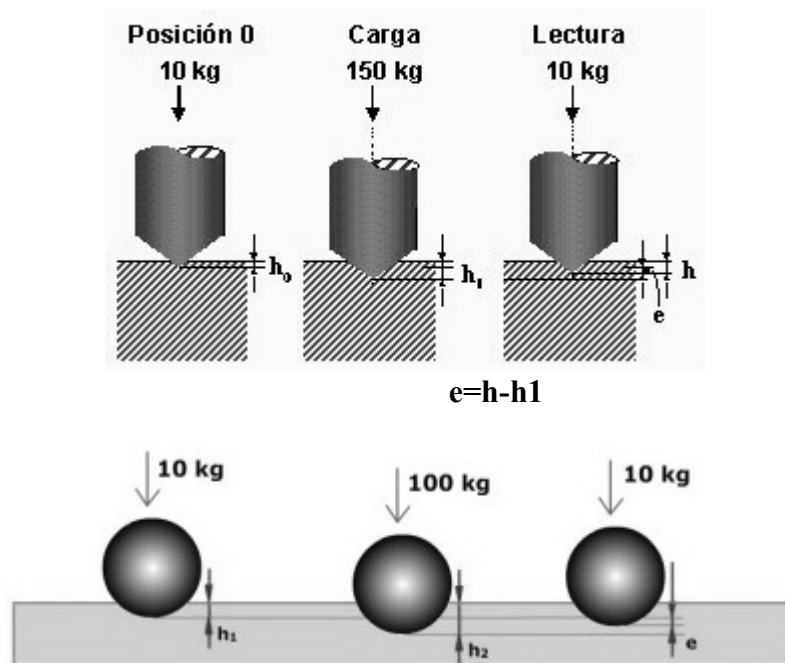
Procedimiento:

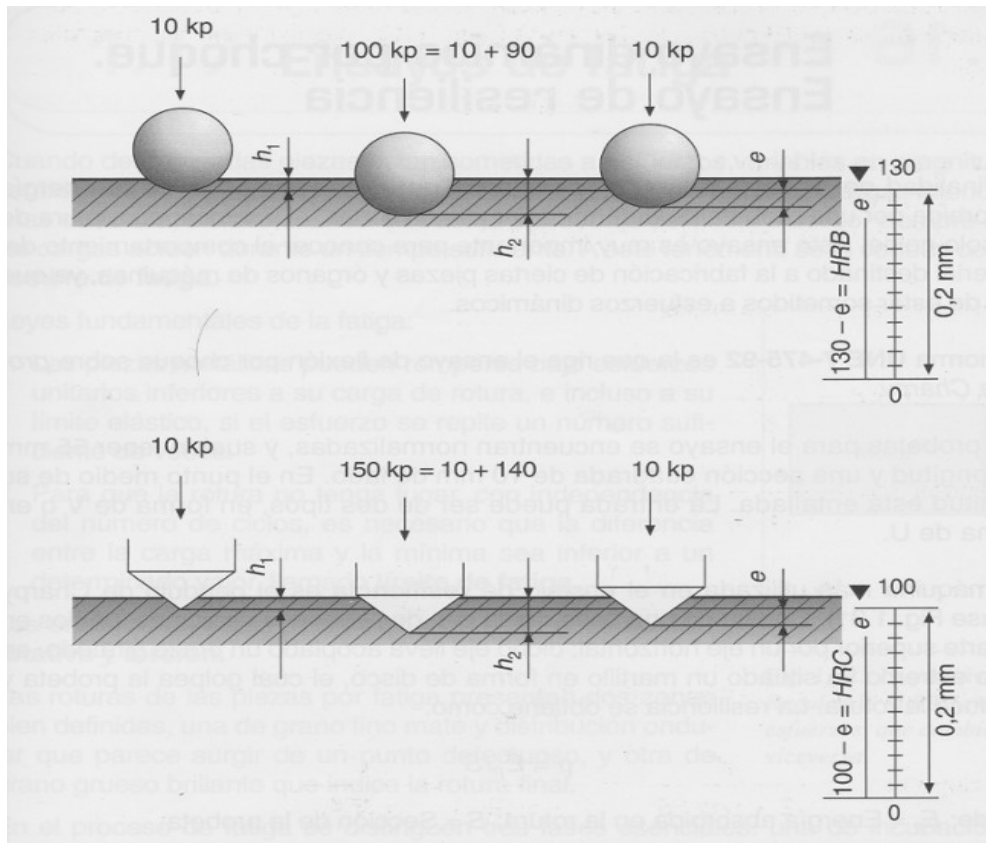
- Se aplica una carga de 10 kp (bola o cono) y se consigue una profundidad de h_1 .
- Se aumenta a 90 kp para la bola y 140 para el cono entre 6 y 3 segundos. Y se obtiene una huella h_2 .
- Se retiran las cargas adicionales y el material recupera hasta la posición $h_1 + e$ (plasticidad y elasticidad)

$$\text{HRB} = 130 - e$$

$$\text{HRC} = 100 - e$$

El valor de e en milímetros hay que dividirlo entre 0.002 que es lo que marca la escala de la máquina donde se realiza el ensayo.





Para hacer el cálculo de la dureza en ambos casos tenemos que tener en cuenta que partimos de una medición que es de 0,2 mm tal como se ve en la gráfica anterior.

Se considera que cada medición mínima en la escala es de 0,002 mm. Esto quiere decir que 130 está dividida en 100 partes en la HRB y también en 100 partes en HRC.

Para aplicar las ecuaciones:

$$\text{HRB} = 130 - e$$

$$\text{HRC} = 100 - e$$

Si e está en milímetros lo tenemos que dividir entre 0,002 para obtener la escala adecuada.

Ensayo Shore (HS)

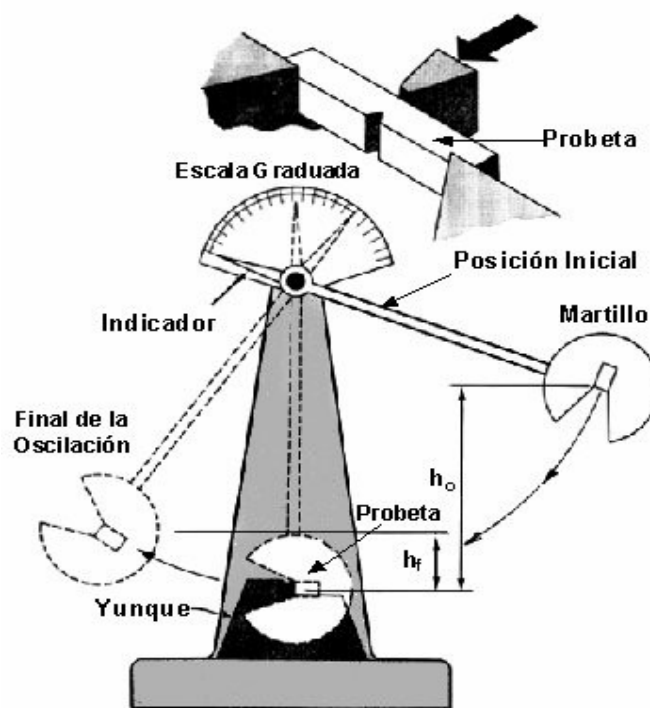
Es el más simple y barato.

Se deja caer un pequeño martinete desde una altura constante.

Se alcanzan diferentes alturas dependiendo de la dureza.

No es muy preciso, pero es muy rápido y no deja huella en la probeta. Se puede usar en una industria para controlar las piezas fabricadas.

Ensayo dinámico por choque: Charpy



La resiliencia ρ (Rho) es un valor que nos indica en un ensayo Charpy la energía necesaria para romper por impacto una probeta de un determinado material en relación con su sección.

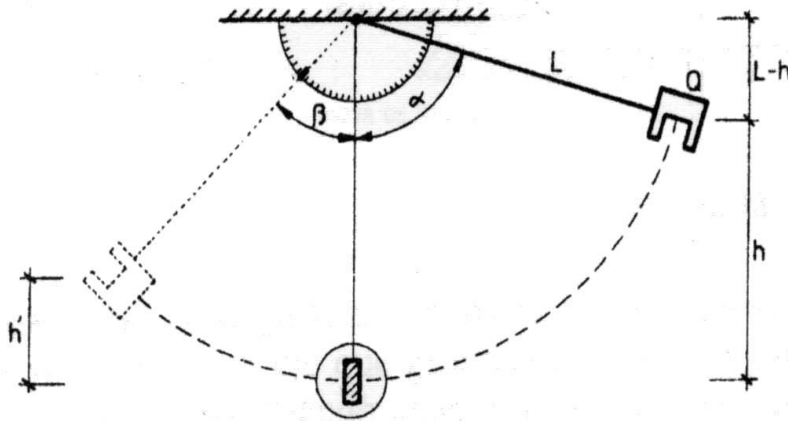
$$\rho = E / S$$

ρ = resiliencia.

E = energía absorbida en la rotura. En julios.

S = sección en cm^2

Se suelen usar probetas de 55 mm de longitud y secciones de 10 mm de lado (cuadrada). En su punto medio la probeta está entallada en forma de V o U.



$$E = P L (\cos \beta - \cos \alpha) = P (h - h')$$

E = energía absorbida en la rotura. En julios.

P = peso en Newtons del péndulo que golpea la probeta.

L = longitud del brazo del péndulo.

$h - h'$ = diferencia de altura desde que se suelta el péndulo hasta que llega al punto más alto del otro extremo.

Ensayo de fatiga

Piezas sometidas a esfuerzos consecutivos se pueden romper por debajo del punto de rotura si se repiten los esfuerzos un número determinado de veces.

Para que no se produzca la rotura con independencia del número de ciclos es necesario que la diferencia entre la carga mínima y la carga máxima sea menor a un determinado valor llamado límite de fatiga.

Los esfuerzos a los que son sometidos los materiales en este ensayo suelen ser: flexión, rotación y torsión.

La rotura suele suceder en varios pasos:

Incubación y fisura interna.

Maduración progresiva.

Rotura efectiva.