

BLOQUE I: MATERIALES

TEMA 4: PROPIEDADES Y ENSAYOS

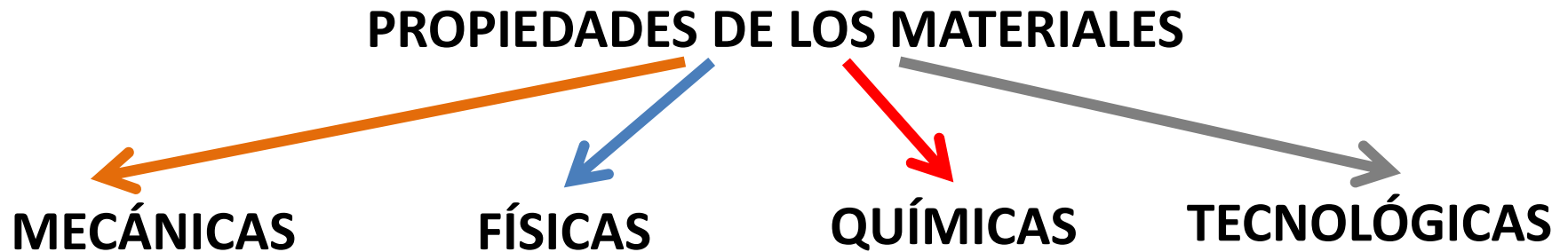
ÍNDICE

1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES
2. ENSAYOS
 - Ensayo de Dureza Brinell
 - Ensayo de Dureza Vickers
 - Ensayo de Dureza Rockwell
 - Ensayo de Tracción
 - Ensayo de Resiliencia o Charpy

1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES



Las **propiedades** de un material o grupo de materiales son el conjunto de **características** diferentes que ponen de manifiesto **cualidades** de éstos.



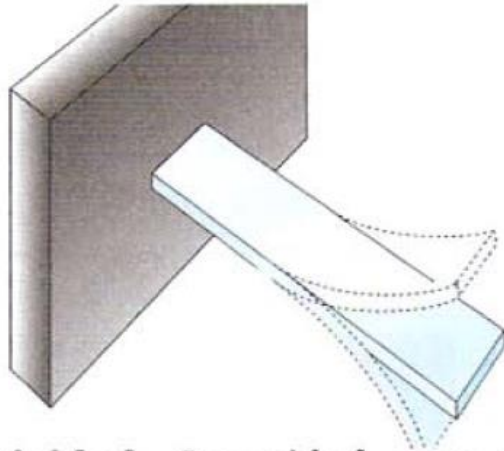
1.1. PROPIEDADES MECÁNICAS

Resistencia que ofrecen los materiales al ser sometidos a determinados esfuerzos exteriores.

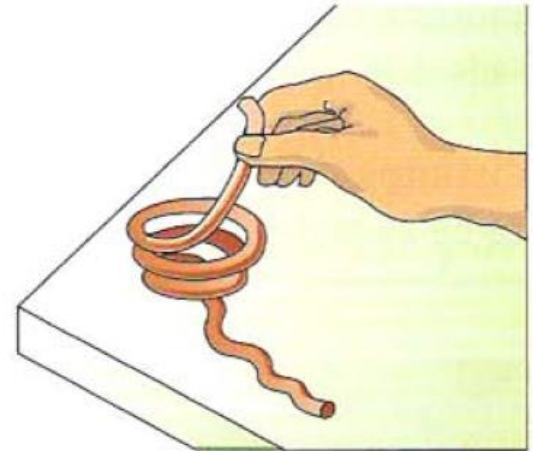
COHESIÓN: Los átomos de un material se atraen entre sí. La fuerza que origina este fenómeno se llama cohesión.

ELASTICIDAD: Es la capacidad que presentan ciertos materiales de deformarse por la acción de fuerzas exteriores y recobrar su forma primitiva al cesar éstas.

PLASTICIDAD: Es la capacidad que tienen los materiales para adquirir deformaciones permanentes sin llegar la rotura.

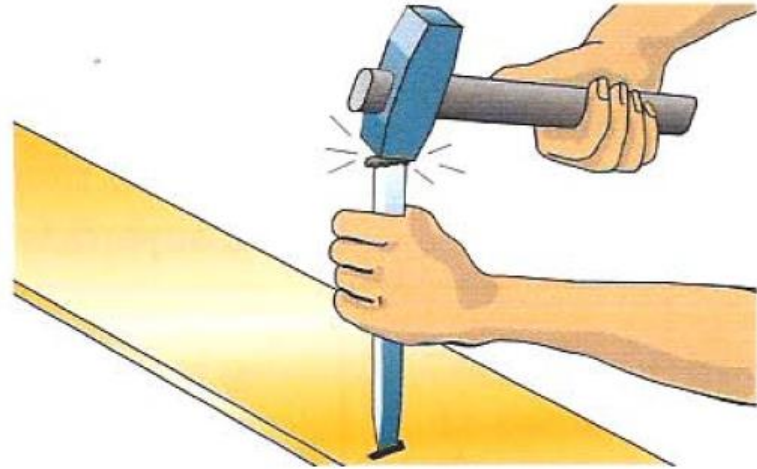


Elasticidad. Capacidad que tienen algunos materiales para recuperar su forma, una vez que ha desaparecido la fuerza que los deformaba.



Plasticidad. Habilidad de un material para conservar su nueva forma una vez deformado. Es opuesto a la elasticidad.

DUREZA: Es la resistencia que oponen los cuerpos a dejarse rayar o penetrar por otros. Es directamente proporcional a la cohesión del material.

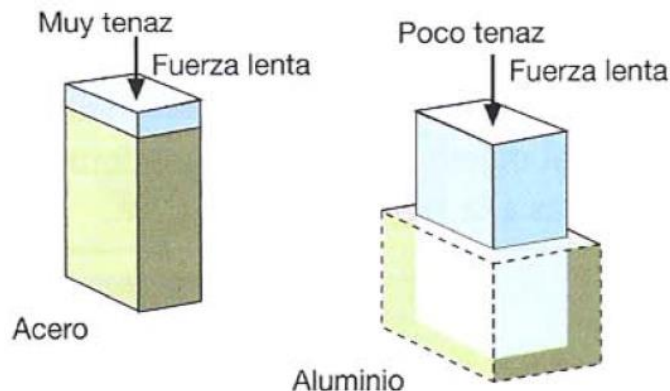


Dureza. Oposición que ofrece un cuerpo a dejarse rayar o penetrar por otro, o lo que es igual, la resistencia al desgaste.

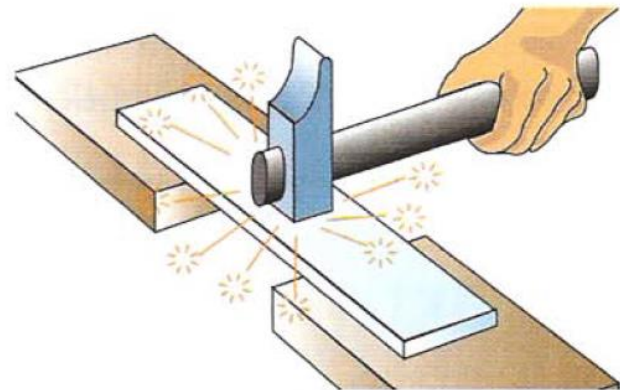
RESISTENCIA A LA ROTURA: Es el resultado de un ensayo, y se define como: “la carga (peso) por unidad de sección (superficie de la rotura) que es necesario aplicar a un material para producir su rotura.

TENACIDAD: Capacidad de soportar, sin deformarse ni romperse, la acción de fuerzas exteriores “lentas”.

RESILIENCIA: Es el resultado de un ensayo, que consiste en romper una probeta (barra) del material de un esfuerzo instantáneo y de un solo golpe. Se define como la energía absorbida por unidad de sección.



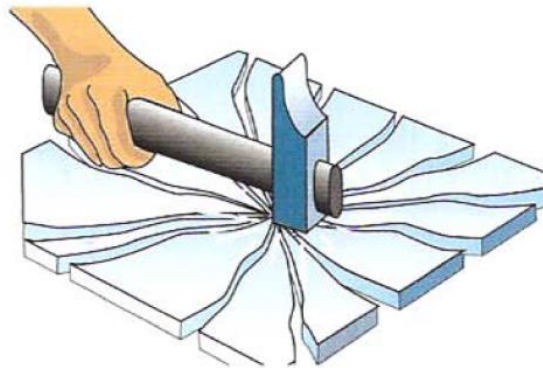
Tenacidad. Resistencia que opone un cuerpo a su rotura cuando está sometido a esfuerzos lentos de deformación.



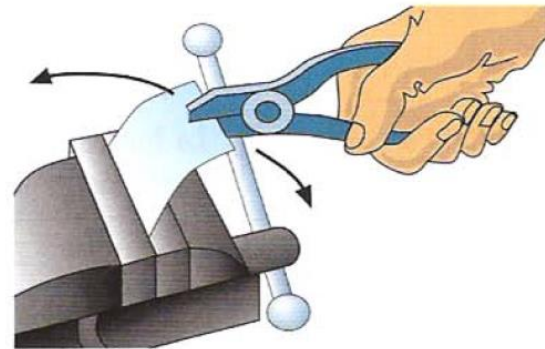
Resiliencia. Resistencia que opone un cuerpo a los choques o esfuerzos bruscos.

FRAGILIDAD: Se dice que un material es frágil cuando rompe fácilmente cuando rompe fácilmente por la acción de un choque.

FATIGA: Incapacidad de soportar esfuerzos variables y repetitivos con una determinada frecuencia sin deformarse o romperse, pese a no sobrepasar dichos esfuerzos en ningún momento el límite elástico.



Fragilidad. Es opuesta a la resiliencia. El material se rompe en añicos cuando una fuerza impacta sobre él.



Fatiga. Deformación (que puede llegar a la rotura) de un material sometido a cargas variables, inferiores a la de rotura, cuando actúan **un cierto tiempo o un número de veces.**

1.2. PROPIEDADES FÍSICAS

Son propiedades que no afectan a las estructuras y composición de un material.

PESO ESPECÍFICO: Es el peso por unidad de volumen.

DENSIDAD: Es la cantidad de masa por unidad de volumen.

CALOR ESPECÍFICO (C_e): Es la cantidad de calor (energía) necesaria para subir 1 grado centígrado una unidad de masa del material (sin que sufra ningún cambio de estado).

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

CALOR LATENTE (L_f, L_v): Es la cantidad de calor (energía) necesaria para cambiar de estado una unidad de masa del material.

$$Q = m \cdot L_f$$

DILATACIÓN TÉRMICA: Cuantifica el cambio de las dimensiones del material debidas a una variación de la temperatura.

$$\text{Lineal } (\alpha): \quad L = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\text{Superficial } (\sigma): \quad S = S_0 (1 + \sigma \Delta T)$$

$$\text{Volumétrico } (\rho): \quad V = V_0 (1 + \rho \Delta T)$$

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K) : Indica la facilidad con la que el calor se transmite a través del material.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (σ) : Indica la facilidad que presenta un material para ser atravesado por una corriente eléctrica (es la inversa de la resistividad eléctrica (ρ)).

TEMPERATURA DE FUSIÓN (T_f) Y TEMPERATURA DE EBULLICIÓN (T_e): Son las temperaturas en las que se produce los cambios de estado.

1.3. PROPIEDADES QUÍMICAS

Son propiedades que afectan a la estructura y composición de un material.

OXIDACIÓN: La oxidación es un fenómeno superficial, produciéndose óxido sobre la superficie del metal. Con un pulido o lijado se puede recuperar sin ningún deterioro la superficie metálica. La oxidación es el proceso previo a la corrosión. Eliminando la oxidación se produce corrosión.

CORROSIÓN: Se produce cuando el metal es atacado electroquímicamente (por óxido u otro agente corrosivo) y se produce un deterioro en el cuerpo del material que hace que se degrade, y por más que se pule, lije o esmerile, la superficie no se puede recuperar, y queda con pequeños pozos, grietas y/o deformaciones.

1.4. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

Indican la mayor o menor disposición de un material para poder ser trabajado de determinada manera.

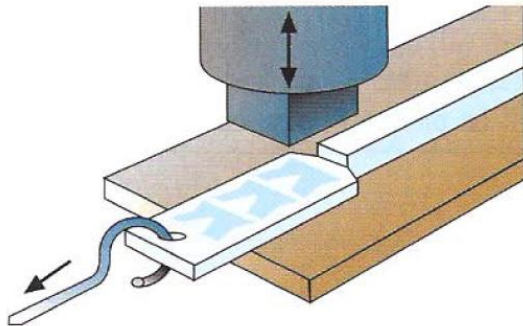
MALEABILIDAD: Es la capacidad que presenta un material para ser deformado mediante esfuerzos de compresión (aplastamiento), transformándose en láminas finas.

DUCTILIDAD: Es la capacidad que presenta un material para ser deformado mediante esfuerzos de tracción (alargamiento), transformándose en hilos.

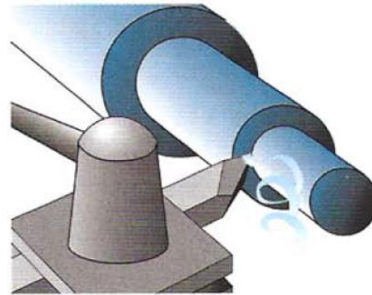
ACRITUD: Aumento de la dureza, fragilidad y resistencia en ciertos metales como consecuencia de la deformación en frío.

MAQUINABILIDAD: Facilidad de tiene un cuerpo a dejarse cortar por arranque de viruta.

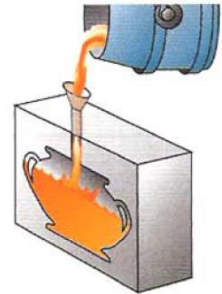
COLABILIDAD: Aptitud que tiene material fundido para llenar un molde.



Acritud. Aumento de la dureza, fragilidad y resistencia en ciertos metales como consecuencia de la **deformación en frío**.



Maquinabilidad. Facilidad que tiene un cuerpo a dejarse cortar por arranque de viruta.



Colabilidad. Aptitud que tiene un material fundido para llenar un molde.

2. ENSAYOS



La **elección del material más adecuado** para la construcción de un elemento mecánico o estructural exige el conocimiento previo de sus principales propiedades técnicas.

Los **ensayos de materiales** tienen como objetivo poner de manifiesto las propiedades de los materiales. Estas propiedades pueden ser:

- Características física o químicas
- Aptitud para su conformación por deformación
- Grado de homogeneidad de su estructura
- Su resistencia mecánica
- Su comportamiento en servicio

CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE MATERIALES

```
graph TD; A[CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE MATERIALES] --> B[ENSAYOS DESTRUCTIVOS]; A --> C[ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS]; B --> D[MECÁNICOS]; B --> E[TECNOLÓGICOS]; D --> F[ESTÁTICOS]; D --> G[DINÁMICOS]; C --> H[ESTRUCTURALES]; C --> I[ENSAYOS DE DEFECTOS];
```

**ENSAYOS
DESTRUCTIVOS**

**ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS**

MECÁNICOS

TECNOLÓGICOS

ESTÁTICOS

DINÁMICOS

ESTRUCTURALES

**ENSAYOS DE
DEFECTOS**

CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE MATERIALES

Según el fin que se persiga, los ensayos pueden ser:

- **Ensayos Científicos:** destinados a...
 - Conocer las propiedades de un nuevo material
 - Estudiar la influencia de la composición química
 - Poner a punto nuevos métodos de ensayo
 - Ensayar las piezas que han fallado en servicio para conocer las causas y evitarlas
- **Ensayos Técnicos:** destinados a controlar la producción de forma que satisfagan ciertas normas perfectamente definidas. Se efectúan durante el proceso de fabricación en los laboratorios de fábrica y deben ser rápidos, sencillos y exactos.

ESTÁTICOS DINÁMICOS

CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Inutilizan el material o la probeta empleada como muestra. Sirven para determinar características mecánicas y tecnológicas.

ESTÁTICOS DINÁMICOS

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Permiten el control de todas las piezas fabricadas al no existir rotura. Sirven para detectar defectos interiores, grietas y heterogeneidades.

DEFECTOS

CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

MECÁNICOS

TECNOLÓGICOS

Mecánicos: sus objetivos son:

- Conocer las características elásticas y de resistencia de los materiales en probetas normalizadas.
- Determinar experimentalmente las tensiones que se desarrollan en piezas determinadas o prototipos cuando son sometidos a esfuerzos análogos a los soportados en servicio.

ESTÁTICOS DINÁMICOS

Estáticos: la carga que se aplica es constante o progresivamente creciente.

Dinámicos: la carga es aplicada de forma brusca o es alternativamente variable con el tiempo.

CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

MECÁNICOS

TECNOLÓGICOS

ESTÁTICOS

Dureza
Tracción
Compresión
Cortadura
Pandeo
Torsión
Flexión

DINÁMICOS

Resiliencia
Fatiga

Embutición
Doblado
Forja
Chispa/corte
Soldadura

ESTRUCTURALES

Cristalográficos
Micrográficos
Macrográficos

ENSAYOS DE DEFECTOS

Sónicos
Ultrasónicos
Magnéticos
Eléctricos
Rayos X
Rayos gamma
Líquido penetrantes

CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

MECÁNICOS

TECNOLÓGICOS

ESTÁTICOS

- Dureza
- Tracción
- Compresión
- Cortadura
- Pandeo
- Torsión
- Flexión

DINÁMICOS

- Resiliencia
- Fatiga

- Embutición
- Doblado
- Forja
- Chispa/corte
- Soldadura

ESTRUCTURALES

- Cristalográficos
- Micrográficos
- Macrográficos

ENSAYOS DE DEFECTOS

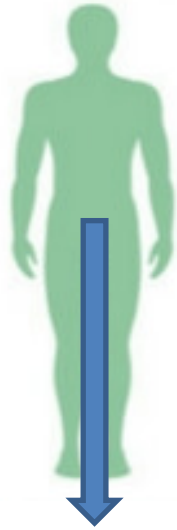
- Sónicos
- Ultrasónicos
- Magnéticos
- Eléctricos
- Rayos X
- Rayos gamma
- Líquido penetrantes

¿Cuánto pesas?

¿Cuánto pesas?



$$m = 60 \text{ kg}$$



$$\begin{aligned} P &= m \cdot g = \\ &= 60 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ ms}^{-2} = 588 \text{ N} \end{aligned}$$

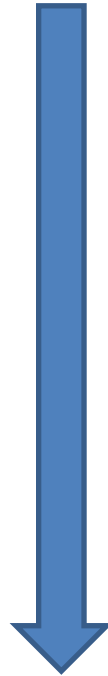
$$P = 60 \text{ kp} = 60 \text{ kgf}$$

Kilopondio kilogramo-fuerza

2.1. Ensayo de Dureza al rayado. Escala de Mohs

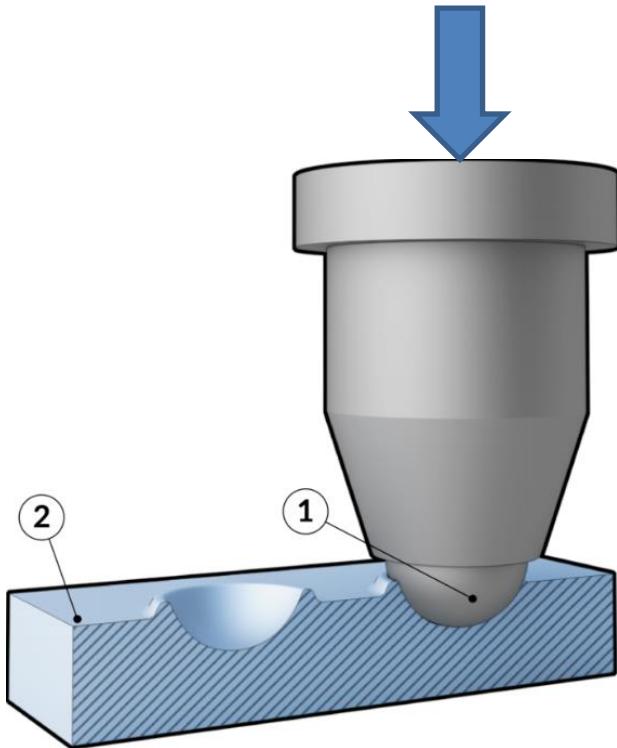
Es el proceso más antiguo para medir la dureza al rayado, y está basada los siguientes 10 minerales:

1. Talco
2. Sal Gema
3. Calcita
4. Fluorita
5. Apatito
6. Feldespato
7. Cuarzo
8. Topacio
9. Corindón
10. Diamante

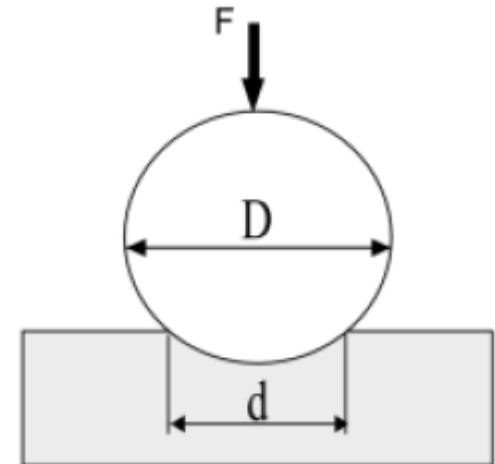


2.2. Ensayo de dureza a la penetración. MÉTODO BRINELL

El ensayo Brinell consiste en marcar sobre la superficie de la pieza a examinar una huella permanente mediante un penetrador esférico de acero muy duro. El valor de la dureza es el cociente entre la carga (kp) y la superficie de la huella (mm^2)



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



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

La carga a aplicar depende del material a ensayar (K) y del tamaño de la bola del penetrador (D), cumpliéndose en todo momento:

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

Material	K (kp·mm ⁻²)	Espesor pieza (mm)	D (mm)
Materiales férricos	30	> 6	1; 2,5; 5; 10
Aleaciones ligeras	10	3 - 6	1; 2,5; 5
Bronce y latón	5	< 3	1; 2,5
Metales blandos (estaño – plomo)	2,5	< 2	1

Para que el error del ensayo, por deformación del material, no sea muy grande, debe cumplirse:

$$\frac{D}{4} < d < \frac{D}{2}$$

Las **condiciones normales** de ensayo son:

$D = 10 \text{ mm}$

$F = 3000 \text{ kp}$

$t = 15 \text{ s}$ (tiempo de carga)

Y la dureza Brinell se expresa así (por ejemplo, la dureza Brinell del bronce):

86 HB

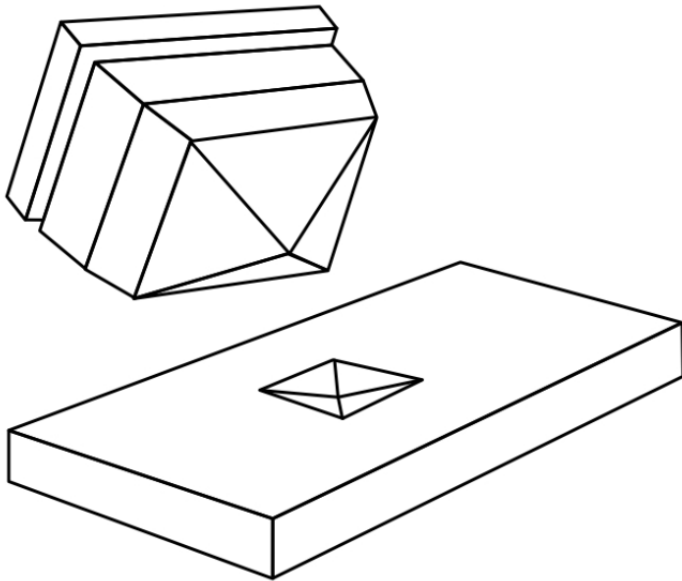
Si las condiciones varían, debe expresarse en el resultado añadiendo al símbolo de dureza el diámetro de la bola, la carga y el tiempo:

86 HB 5/750/20

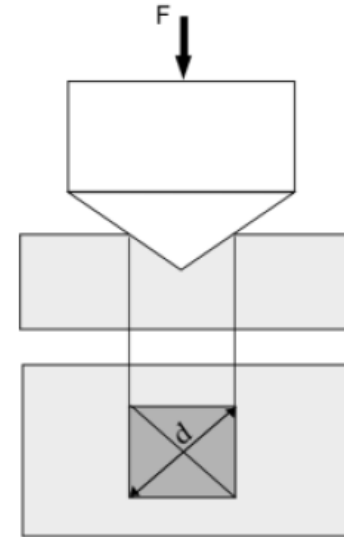
(significaría que se ha penetrado con una bola de 5 mm de diámetro, con una carga de 750 kp y durante 20 segundos)

2.3. Ensayo de dureza a la penetración. MÉTODO VICKERS

Análogo al ensayo Brinell, pero ahora el penetrador tiene punta piramidal de base cuadrada y ángulo en el vértice de 136° entre caras. El valor de la dureza sigue siendo el cociente entre la carga (kp) y la superficie de la huella (mm^2)



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



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

Y la dureza Vickers se expresa así:

560 HV

O más exactamente así:

560 HV 30 / 15

(que significa que se ha utilizado una carga de 30 kp durante 15 segundos)

Si las condiciones varían, debe expresarse en el resultado añadiendo al símbolo de dureza el diámetro de la bola, la carga y el tiempo:

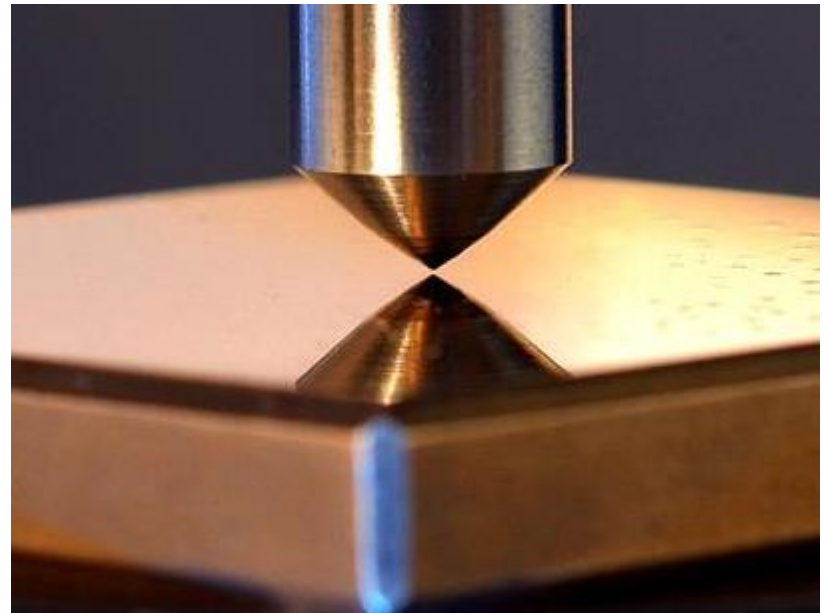
86 HB 5/750/20

(significaría que se ha penetrado con una bola de 5 mm de diámetro, con una carga de 750 kp y durante 20 segundos)

2.4. Ensayo de dureza a la penetración. MÉTODO ROCKWELL

En este caso la dureza se calcula en función de la profundidad de la huella, no de la superficie.

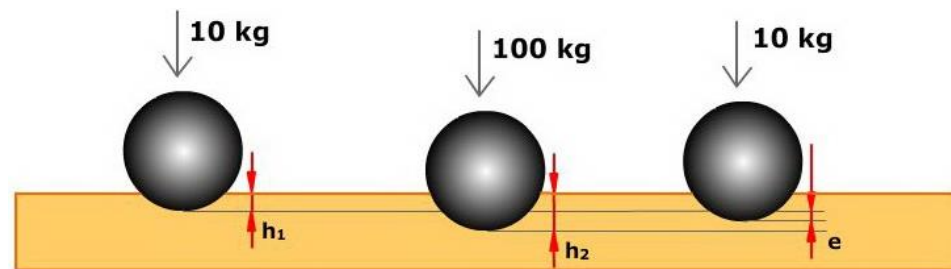
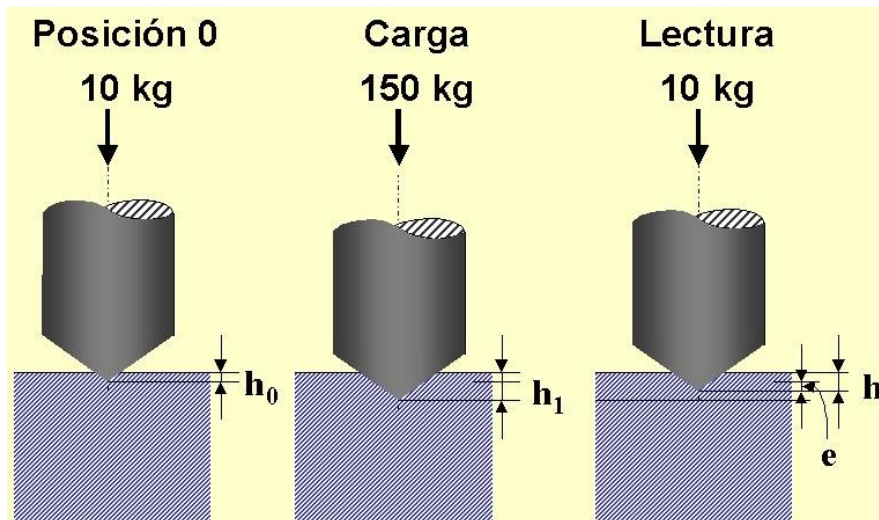
Para materiales blandos ($HB < 200$) se utiliza una bola (de 1,5875 mm de diámetro), y para materiales duros ($HB > 200$) se utiliza un cono de diamante de 120° en la punta como penetrador.



Se realiza en 3 fases:

- Se aplica una carga inicial de 10 kp para asentar el penetrador.
- Se aplica una carga adicional que origina la huella.
- Se retira la carga adicional, y por un comportamiento elástico, el penetrador sufre cierta elevación.

A la diferencia entre la profundidad del penetrador entre el paso 1 y el paso 3 se le denomina “e”, y se medirá en unidades de $2\ \mu = 0,002\text{ mm}$.



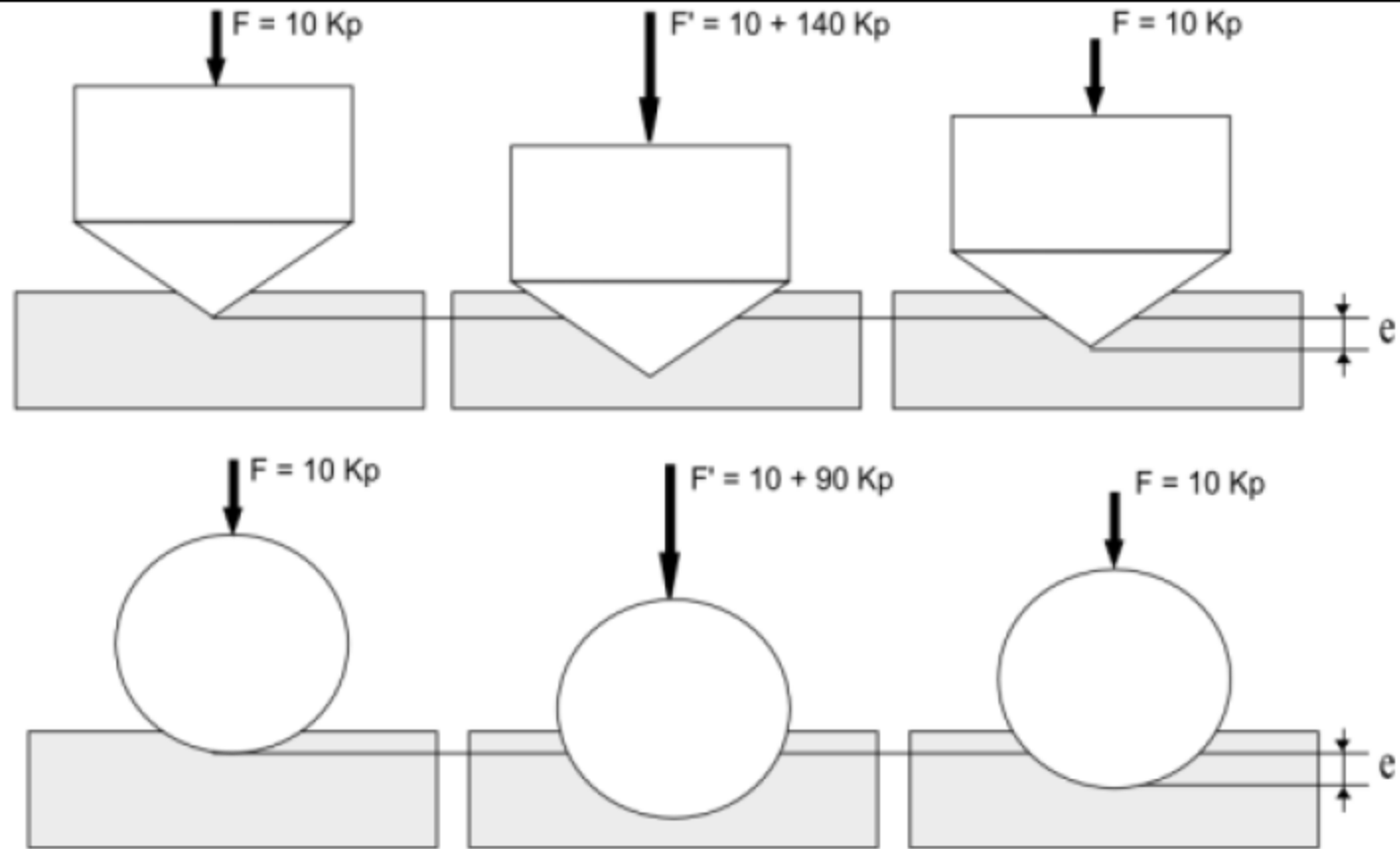
Se establece que el valor de la dureza Rockwell, en el caso de utilizar un penetrador en forma de cono, es:

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

Y en el caso de utilizar un penetrador de bola, será:

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

Método Rockwell



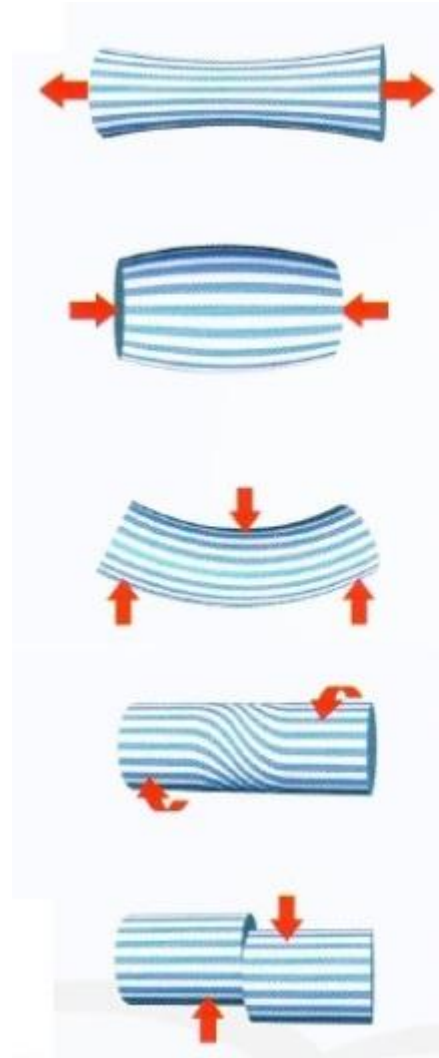
$$HRC = 100 - e$$

$$HRB = 130 - e$$

e : profundidad huella permanente,
en unidades de $2 \mu m$

3. ENSAYO DE TRACCIÓN

Recordemos los tipos de esfuerzo:



Tracción

Compresión

Flexión

Torsión

Cortante

El **ensayo de tracción** se utiliza para evaluar la resistencia de los metales y aleaciones. Se trata de hacer que la muestra de metal, en forma de probeta, rompa en un periodo de tiempo relativamente corto a una velocidad constante (la rotura deberá producirse en el tercio central de la probeta). El ensayo se realiza en la máquina universal de ensayo, que es una máquina hidráulica que deforma la probeta poco a poco.



La probeta normal española debe cumplir la relación:

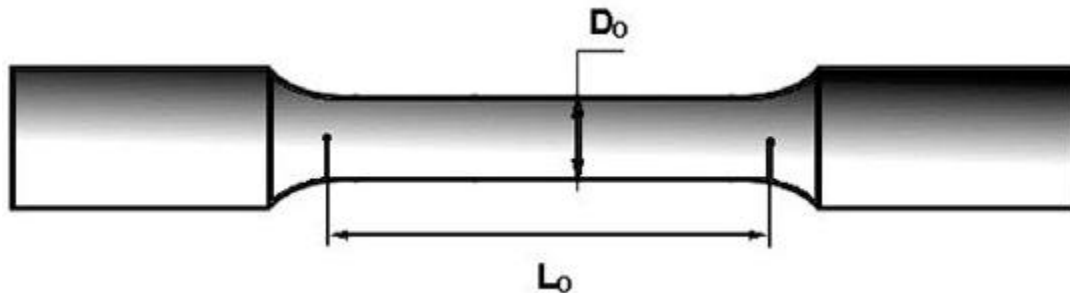
$$\frac{l_0^2}{S_0} = 66,67$$

Así, las dimensiones más utilizadas son:

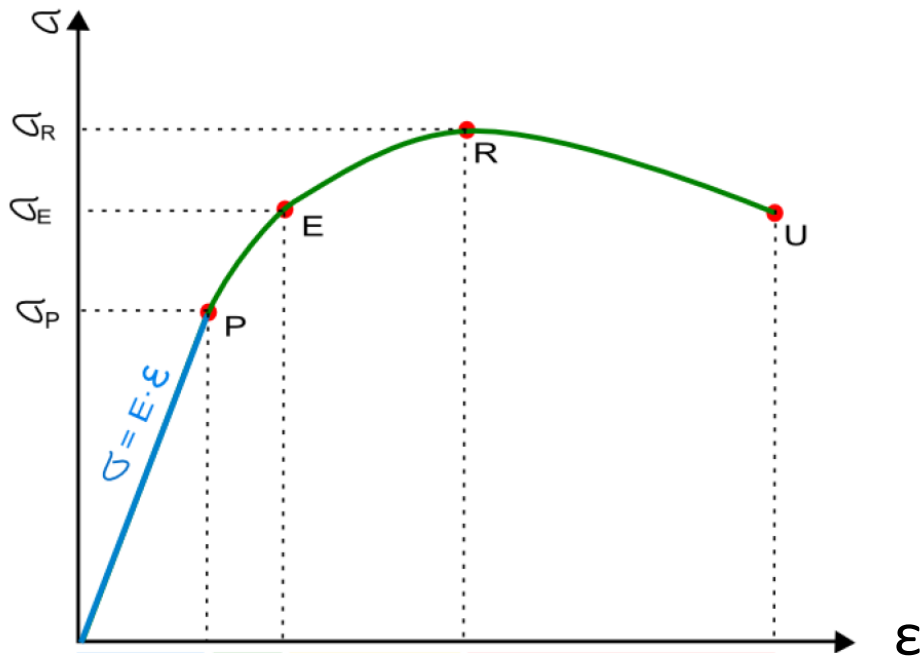
$$l_0 = 100 \text{ mm}$$

$$S_0 = 150 \text{ mm}^2$$

$$D = 13,8 \text{ mm}$$

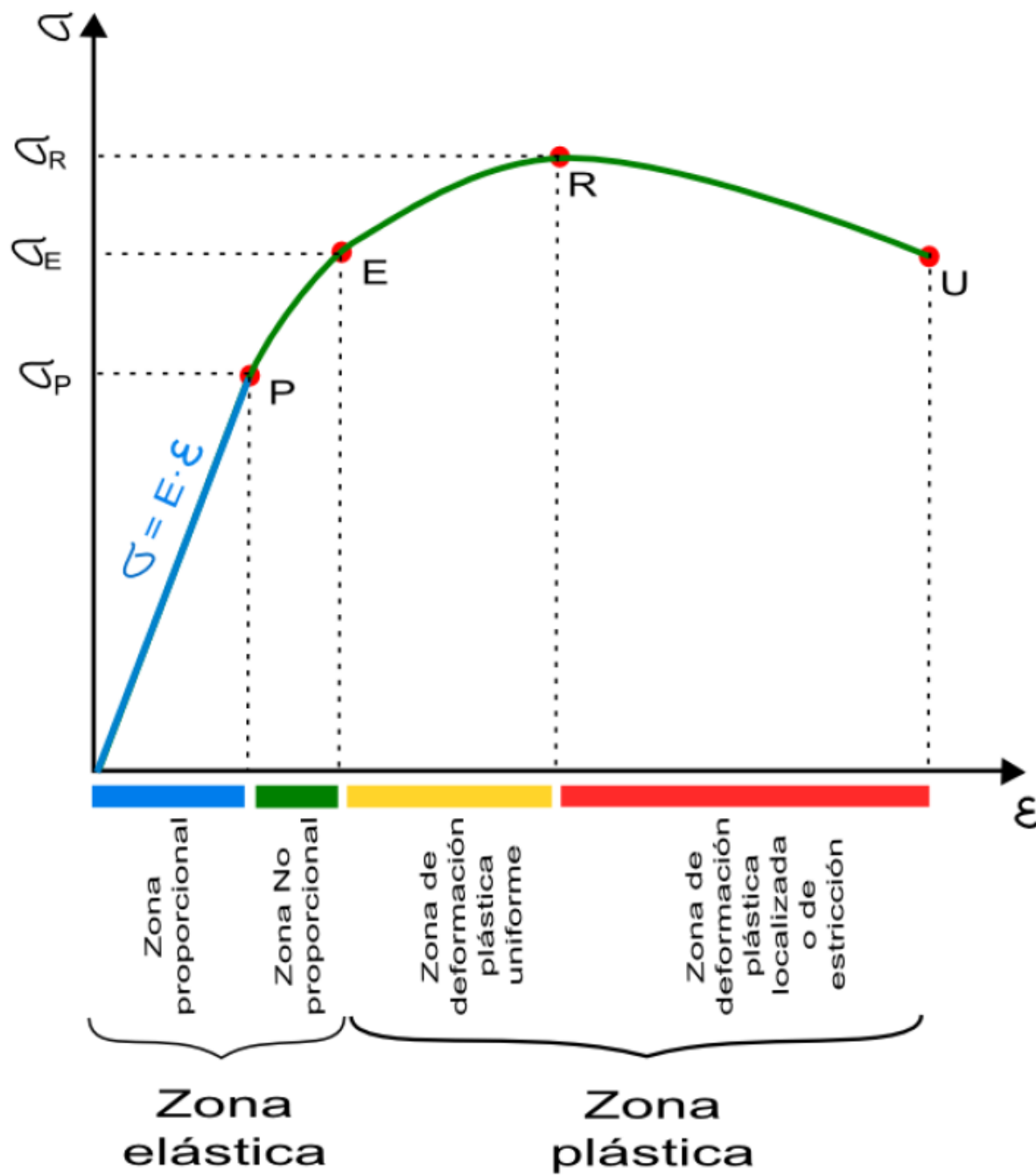


Analizando en todo momento la fuerza aplicada y la deformación, con la ayuda de un extensómetro, se obtienen los llamados diagramas esfuerzo-deformación:



$$\text{esfuerzo usual: } \sigma = \frac{F}{S_0}; \quad \text{esfuerzo: } \sigma = \frac{F}{S}; \quad \text{deformación: } \varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Por la dificultad de ir midiendo la sección instantánea de la probeta en cada momento, se trabajará con el esfuerzo calculado con la sección inicial (esfuerzo usual, pero en adelante “esfuerzo” a secas).



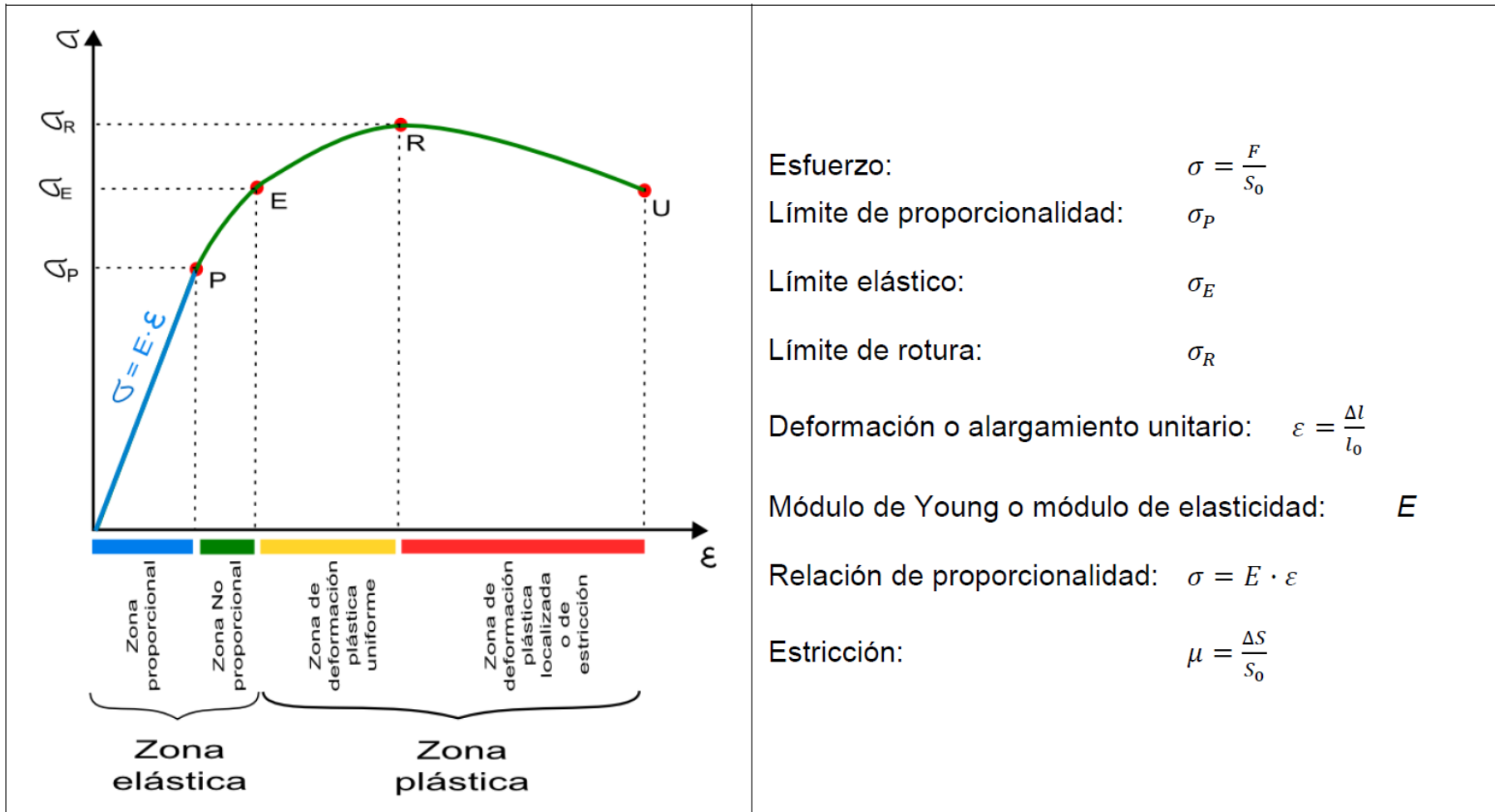
Zona Proporcional: En esta zona, el esfuerzo es proporcional a la elongación. Dicha constante de proporcionalidad es el módulo de Young (E):

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

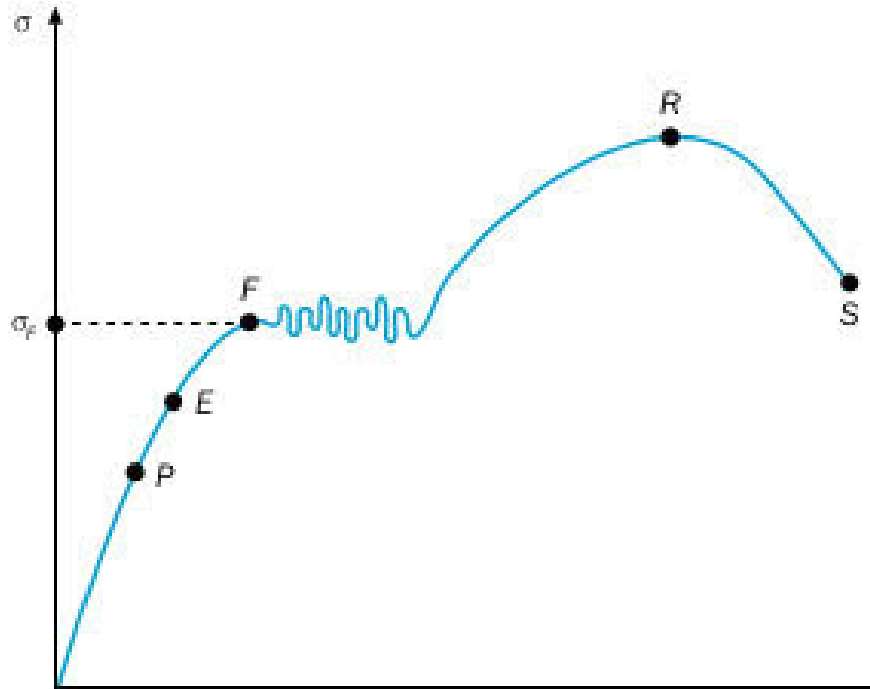
Zona Elástica: En toda esta zona, si cesara el esfuerzo, la probeta recuperaría su longitud inicial. A partir del **límite elástico** (σ_E), el material deja de ser elástico para tener un comportamiento plástico.

Zona Plástica (o zona límite de rotura): En toda esta zona, si cesara el esfuerzo, la probeta quedaría permanentemente deformada. Está limitada por el **límite de rotura** (σ_R), y a partir de este punto, el material se considera roto (aunque no se produzca la división de la pieza).

Zona de Estricción (o zona de rotura): El material sigue alargándose hasta que se produce la rotura física total.

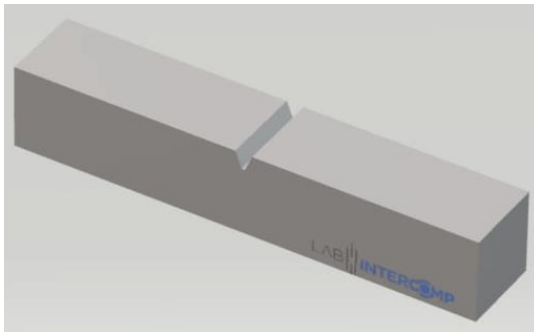


Algunos materiales, como el acero, presentan una zona de fluencia por encima del límite elástico, (a partir del límite de fluencia (σ_F)) donde se produce un alargamiento muy rápido sin que varíe la tensión aplicada.



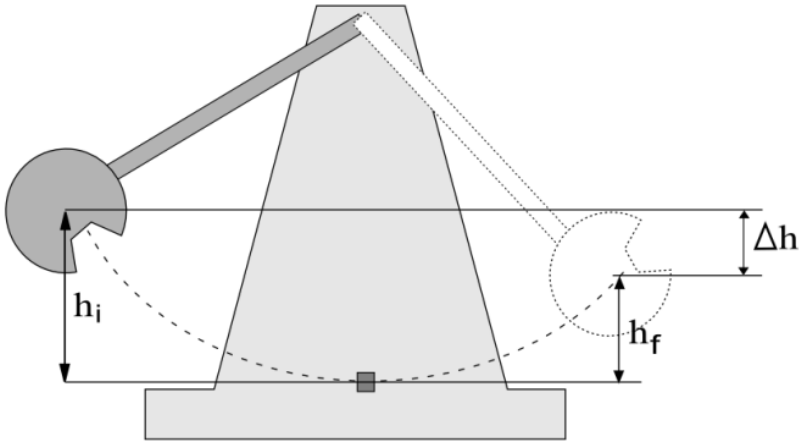
4. Ensayo de Resiliencia. PÉNDULO CHARPY

Permite determinar la energía absorbida en la rotura de una probeta normalizada (con una entalla de 2 mm en forma de U o en forma de V), producida por el golpe seco del péndulo en su caída.



La resiliencia (ρ) se calcula dividiendo la energía absorbida por el material entre la sección de la probeta en su parte entallada (por donde rompe), y en el S.I. tendrá unidades de J/m².

ENSAYO DE RESILIENCIA – ENSAYO CHARPY



Resiliencia:

$$\rho = \frac{E_{abs}}{S} = \frac{mg(h_i - h_f)}{S}$$

también se expresa como KCV o KCU
según sea la forma de la entalla