

# Materiales: Ensayos de materiales

---



Nuestro amigo de la historia inicial ya sabe cómo son "por dentro" muchos materiales. Pero ahora quiere saber **cómo elegir el más adecuado** para su puente.

Y el más adecuado quiere decir, el que mejor soporte el peso de los viandantes que pasen por él, el fuerte ciervo que

sopla muchas veces, las diferencias térmicas, el efecto de las uniones remachadas en las estructuras metálicas...

**Para eso tendrá que estudiar las propiedades mecánicas de los materiales .**

Cuando se tiene que elegir un material industrial que debe cumplir una función determinada, es imprescindible conocer las características físicas y técnicas que tiene. Debemos conocer a qué tipo de esfuerzos, cargas y sollicitaciones va a estar sometido, para elegir el material que sea capaz de soportar esas situaciones de uso sin sufrir deformaciones y roturas.



Imagen de [G.F. Maxwell](#) en Wikimedia bajo [CC](#)



Imagen de [Eldart](#) en Wikimedia bajo [CC](#)



Para determinar las características del material **debemos someter a los materiales a ensayos** que simulen las condiciones en que van a trabajar.

La realización de los distintos ensayos está regulada por la normativa vigente, para garantizar su comportamiento y prever la respuesta que dará en situaciones de trabajo.





# 1. Ensayo de propiedades mecánicas

El comportamiento mecánico de un material es la relación entre su respuesta o deformación ante una sollicitación o esfuerzo aplicado.

Estas sollicitaciones suelen ser alguna de los siguientes tipos:

- tracción
- compresión
- cortadura
- torsión.

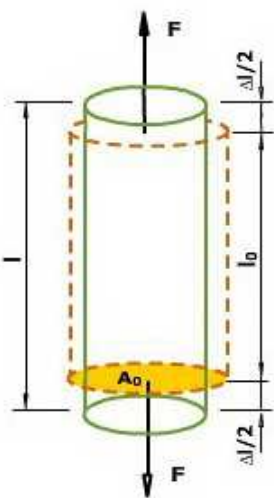
Antes de empezar a conocer todos los ensayos haremos una pequeña introducción de cómo las cargas actúan sobre los materiales y de los conceptos de tensión y deformación.

## Tipos de esfuerzos o cargas aplicadas a los materiales.

En las siguientes imágenes vemos la representación esquemática de cuál es el efecto de las diferentes cargas:

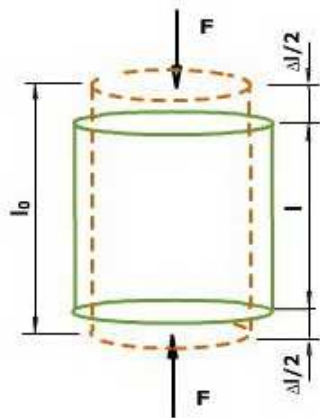
- una fuerza de **tracción** : que produce una elongación o alargamiento.
- una carga de **compresión** : que produce contracción.
- un esfuerzo de **cortadura** : (similar al que aplicara las hojas de unas tijeras)
- una deformación de **torsión** generada por un par de fuerzas: (similar al producido en un retorcimiento)

Las líneas punteadas representan la forma de nuestra probeta antes de la deformación y las líneas sólidas representan el cuerpo después de la deformación.



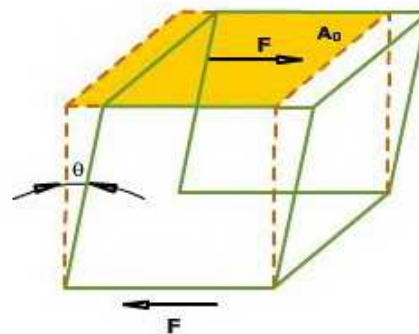
**Tracción**

Imagen de e laboración propia



**Compresión**

Imagen de e laboración propia



**Cortadura**

Imagen de e laboración propia

*Comprueba lo aprendido*

o

Recuerda:

Una carga de tracción sobre una probeta provoca un alargamiento y un engrosamiento de ésta.

[Sugerencia](#)

**Falso**

Una carga de tracción es como si estirara la probeta, por lo que provoca un alargamiento y un adelgazamiento de ésta.

La cortadura sobre una pieza prismática produce un desplazamiento de sus caras paralelas.

Sugerencia

☐ Verdadero ☐ Falso

**Verdadero**

La cortadura sobre una pieza prismática produce un desplazamiento de sus caras paralelas.

Un esfuerzo de compresión sobre una probeta provoca una disminución de su longitud y un engrosamiento de ésta.

Sugerencia

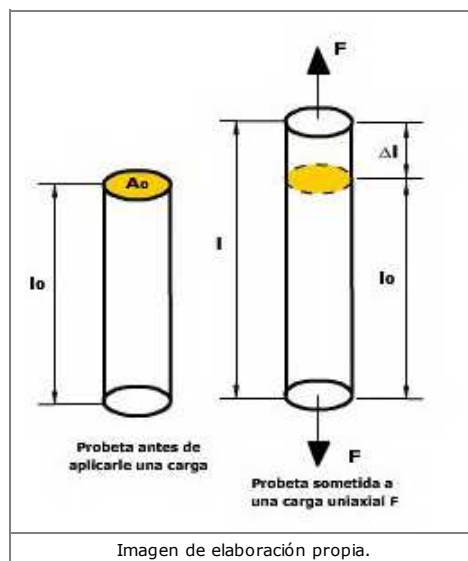
☐ Verdadero ☐ Falso

**Verdadero**

Al comprimir las piezas se acortan y su sección aumenta

### Tensión y deformación

Consideremos una varilla cilíndrica de longitud  $l_0$  y una sección transversal de superficie  $S_0$ , sometida a una fuerza  $F$  uniaxial (dirigida en el sentido longitudinal del eje), como indica en la figura.



Vemos que la barra se alarga desde su longitud inicial,  $l_0$ , hasta una longitud final,  $l$ . Esa diferencia de longitudes será la deformación de nuestra varilla, aunque a continuación la definiremos de una forma un poco distinta.

*Importante*

Definimos la **tensión  $\sigma$**  en la barra como el cociente entre la fuerza uniaxial media  $F$  y

$$\sigma = S_0$$

Se mide en Pascales (S.I.), que es el cociente entre Newton y metros cuadrados, aunque se suele expresar en Megapascuales, ya que así podemos expresar la superficie en  $\text{mm}^2$ , que es más coherente con las medidas que suelen presentar las secciones de las piezas.

### Importante

Definimos la **deformación  $\epsilon$**  en la barra como el cociente entre la variación de longitud de la barra respecto a la longitud inicial de ésta.

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Como puede deducirse de la fórmula, la deformación es una magnitud adimensional. En la práctica es común convertir la deformación en un porcentaje de deformación %

### Importante

#### Deformación elástica y plástica

Cuando una probeta se somete a una fuerza uniaxial, se produce una deformación.

1. Si el material vuelve a sus dimensiones originales al cesar la fuerza, se dice que el material ha sufrido una **deformación elástica**, ya que los átomos del material son desplazados de su posición y cuando la fuerza cesa, los átomos vuelven a sus posiciones originales y el material recupera su forma original.
2. Si el material es deformado hasta el punto que los átomos no pueden recuperar sus posiciones originales, se dice que ha experimentado una **deformación plástica**.

A continuación dos imágenes de productos comerciales, fabricados con materiales que poseen alto y bajo nivel de elasticidad respectivamente (cable telefónico, vaso de plástico).



## Para saber más

### Estricción

Una vez aplicada la carga máxima a la probeta, se produce un estrangulamiento en su zona central.

A la variación de la sección de la probeta respecto a su sección inicial se le denomina **estricción  $\psi$** .



Imagen de [Sigmund](#) en Wikimedia bajo [CC](#)

Esta disminución de la sección de la probeta provoca que la tensión de rotura sea inferior a la máxima aplicada y esta diferencia entre la tensión de rotura y la aplicada es tanto más apreciable cuanto mayor es la ductilidad del material.

También se expresa en %, por lo que la estricción se define como la disminución relativa porcentual de la sección transversal de la probeta en el momento de la rotura.

## Comprueba lo aprendido **Múltiple**

Cuando aplicamos una fuerza a una probeta, la tensión depende de:

☐

Sólo de la fuerza que aplicamos sobre la probeta.

☐

De la fuerza que aplicamos sobre la probeta y de la sección de ésta.

☐

De la deformación que ha sufrido la probeta.

2. [Correcto](#)
3. [Incorrecto](#)

Cuando aplicamos una carga a una probeta y ésta se deforma, la deformación experimentada dependerá de:

☐

La carga aplicada.

☐

Lo que se ha alargado la probeta.

☐

Lo que se ha ensanchado la probeta.

#### **Solución**

1. [Incorrecto](#)
2. [Incorrecto](#)
3. [Incorrecto](#)

En una deformación elástica:

☐

El material deformado recupera sus dimensiones originales al cesar la fuerza.

☐

Los átomos del material deformado son desplazados de su posición original.

☐

Los átomos del material deformado son desplazados de su posición original y toman nuevas posiciones fijas.

#### **Solución**

1. [Correcto](#)
2. [Correcto](#)
3. [Incorrecto](#)

La estricción:

☐

Es la variación de sección que experimenta una probeta cuando le aplicamos una carga respecto a su sección inicial.

☐

Es un estrangulamiento que se produce en la zona central de una probeta cuando le aplicamos una carga.

☐

Es la disminución relativa porcentual de la sección transversal de la

**Solución**

1. [Correcto](#)
2. [Incorrecto](#)
3. [Correcto](#)



## 1.1. Ensayo de tracción

---



Nuestro investigador cree que una **acero 1030** será el adecuado para construir un puente. Pero habrá que comprobarlo.

Los tensores que sostienen la calzada del puente de la imagen siguiente, están sometidas a tracción, por lo que habrá de comprobar cómo se comporta nuestro material.

Tendremos que hacer un ensayo de tracción.



Imagen de [Ben JR en Flickr](#) bajo [CC](#)

*Importante*

El ensayo de tracción es el modo de obtener información sobre el comportamiento mecánico de los materiales cuando están sometidos a un esfuerzo de tracción.

Todo el proceso del ensayo está normalizado según las normas UNE.

El ensayo de tracción se realiza mediante una máquina universal de tracción que provoca la deformación de una probeta del material a ensayar al aplicarle una carga progresiva en sentido axial.



Imagen de [Smial](#) en Wikipedia bajo [CC](#)

La probeta se sujeta por sus extremos en la máquina por medio de mordazas que a su vez someten la muestra a tensión progresiva. Esta carga provoca que la probeta se vaya alargando en longitud y adelgazando en sección (estricción) de un modo progresivo hasta alcanzar la fractura de la pieza. Es, por tanto, un ensayo destructivo y, para que sea válido, la rotura debe producirse en la zona central de la probeta.

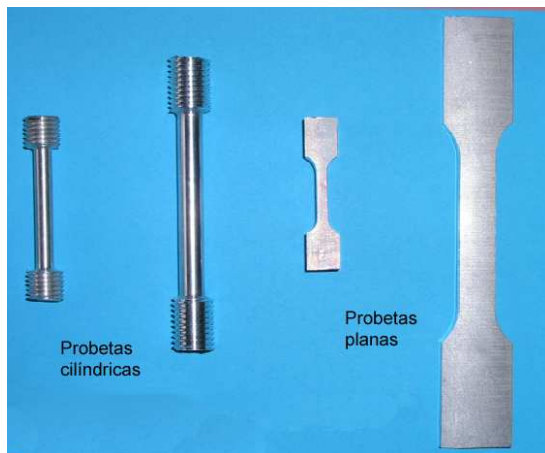


Imagen de [Romary](#) en Wikimedia bajo [CC](#)

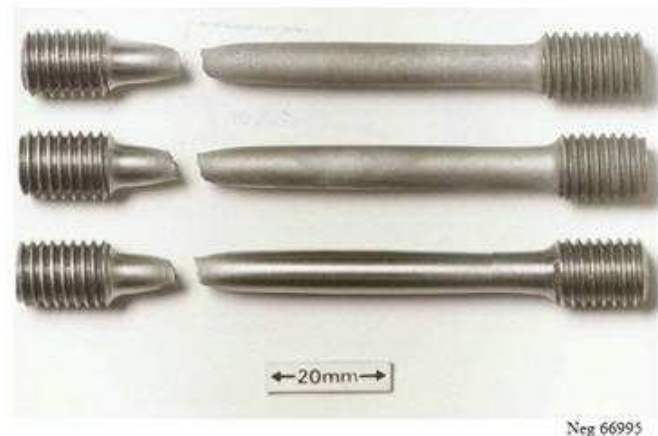


Imagen de [Dumontierc](#) en Wikimedia bajo [CC](#)

La máquina al realizar el ensayo de tracción, nos va a proporcionar una gráfica donde vamos a relacionar:

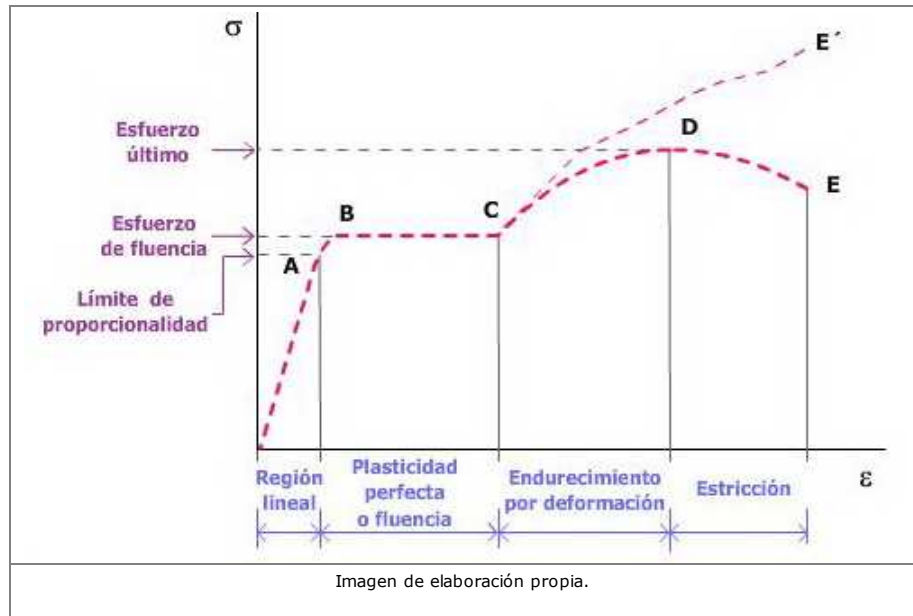
- la fuerza aplicada "  $F$  " (eje vertical)
- el incremento de longitud "  $\Delta l$  " que sufre la probeta (eje horizontal)

En **el diagrama Final del ensayo de Tracción o DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN** (ver figura a continuación), vamos a escalar los valores anteriores, por los valores iniciales ( $S_0$  ,  $l_0$  ) y nos relaciona la tensión con la deformación:

- Eje vertical, la **tensión**  $\sigma = (F/S_0)$
- Eje horizontal, la deformación la **deformación**  $e = (\Delta l/l_0)$

**¿Cómo funciona la máquina de ensayo?**

Simultáneamente, mide la carga aplicada instantáneamente y la deformación resultante; y en un papel milimetrado se relacionan los datos de tensión/deformación y así construir la gráfica esfuerzo-deformación, similar a la que representada en la figura.



Esta curva esfuerzo-deformación varía de un material a otro, e incluso otros materiales presentan curvas distintas; es el caso del acero.

## Curiosidad

En los siguiente video se muestra un ensayo de tracción.

Se puede observar como se forma la estricción en la probeta y la rotura casi instantánea.



## Comprueba lo aprendido o

¿Has comprendido el ensayo de tracción?

El ensayo de tracción consiste en aplicar una carga constante a una probeta hasta que se rompe.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

**Falso**

La carga que se aplica en un ensayo de tracción no es constante, sino que aumenta progresivamente.

El ensayo de tracción se llama destructivo porque acaba cuando la probeta se rompe.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

**Verdadero**

Se llama destructivo porque acaba cuando la probeta se rompe, se destruye.

Los materiales presentan dos comportamientos diferenciados: el elástico y el proporcional.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

**Falso**

Los dos comportamientos son elástico y plástico; el proporcional es una particularidad del elástico.

### 1.1.1. Determinación de propiedades

Como hemos dicho, los ensayos simulan las condiciones en que van a trabajar los materiales y de ese modo podemos determinar las características del material y su comportamiento. Por eso de los ensayos debemos sacar unos datos precisos y fiables acerca del material estudiado.

La evaluación del ensayo de tracción se realiza a partir de la curva tensión-deformación, vista en el apartado anterior. Veremos a continuación los parámetros que podemos obtener de ella (tensiones, módulo elástico, deformación...),

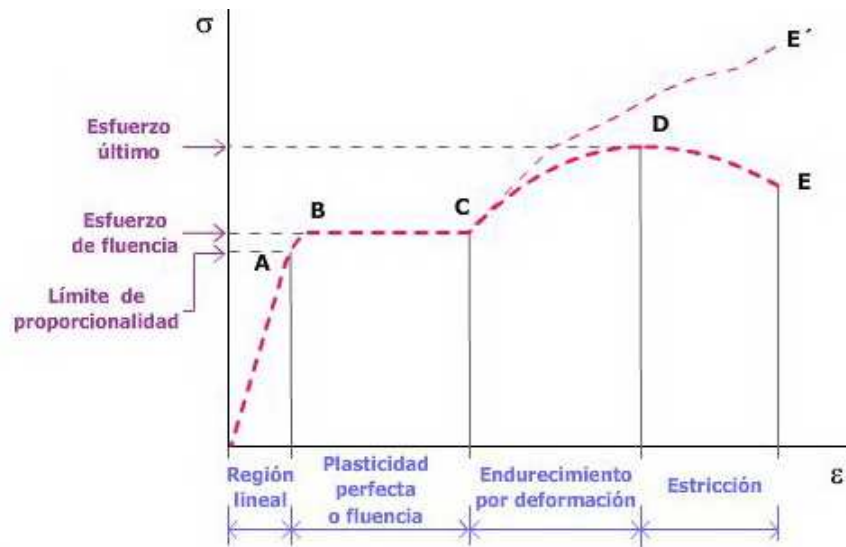


Imagen de elaboración propia.

Analizando desglosadamente las **zonas elásticas y plásticas** del diagrama anterior, nos encontramos:

**El diagrama anterior se pueden clasificar en dos zonas:** que son las zonas que un material presenta en cuanto a su comportamiento ante un esfuerzo de tracción:

- Zona elástica
- Zona plástica



*Importante*

### Recuerda: Tensión de tracción ( $\sigma_t$ )

Para cualquier punto de la gráfica anterior, se calcula como el cociente entre la fuerza de tracción soportada por la probeta y su sección transversal inicial. Se expresa en fuerza por unidad de superficie: Pascales (PA en el Sistema Internacional), o en MPa, o en  $\text{Kp/cm}^2$ .

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

### 1.- Zona elástica (OB)

Se caracteriza porque al cesar las tensiones aplicadas, los materiales recuperan su longitud inicial. Podemos observar dos subzonas:

#### ● Zona de proporcionalidad (OA)

En la gráfica es una línea recta, es decir, el alargamiento unitario ( $\epsilon$ ) es proporcional a la tensión ejercida ( $\sigma$ ). En las aplicaciones industriales siempre se trabaja en esta zona, ya que no se producen deformaciones permanentes y además se puede aplicar la **ley de Hooke**.

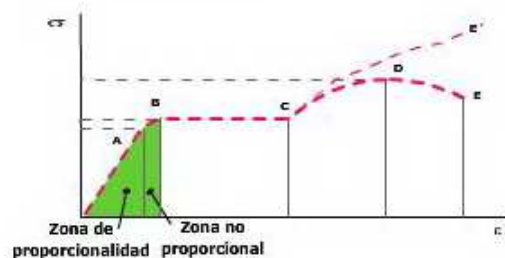


Imagen de elaboración propia

En esta zona vamos a definir a continuación dos valores importantes:

- **Límite elástico ( $\sigma_E$ )**, es la tensión en el límite superior de esta zona; en el punto A
- **El módulo de Young (E)**

- **Zona no proporcional (AB)** Pequeña zona a continuación, dónde el material se comporta de forma elástica, pero no existe una relación proporcional entre tensión y deformación.



### Límite elástico ( $\sigma_E$ )

También se puede definir como la máxima tensión que el material es capaz de soportar sin sufrir deformaciones permanentes.

$$\sigma_E = \frac{F_E}{S_0}$$

Esta propiedad juega un papel de gran importancia en el proyecto mecánico, porque las piezas se calculan para que no sufran deformaciones permanentes en servicio y, en consecuencia, se debe garantizar que las tensiones que actúan cuando la pieza trabaja no superan el límite elástico.



### Módulo de elasticidad o Módulo de Young (E)

Es la relación entre la tensión realizada y la deformación que provoca en el tramo lineal de la curva tensión-deformación (región elástica, zona proporcional OA).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Sus unidades son MPa o N/mm<sup>2</sup>, o bien los Kp/cm<sup>2</sup>.

También podemos expresarlo como:

## 2.- Zona plástica (BE)

En esta zona se ha rebasado la tensión del límite elástico y, aunque dejemos de aplicar tensiones de tracción, el material ya no recupera su longitud original y la longitud final será mayor que la inicial " $l_0$ ".

En la zona plástica (BE) también se pueden distinguir tres subzonas:

- **Zona de deformación plástica uniforme o zona de límite de rotura (CD)**

Se consiguen grandes alargamientos con un pequeño incremento de la tensión. En el punto D encontramos el límite de rotura y la tensión en ese punto se llama **tensión de rotura ( $\sigma_r$ )**. A partir de este punto, la probeta se considera rota, aunque físicamente no lo esté.

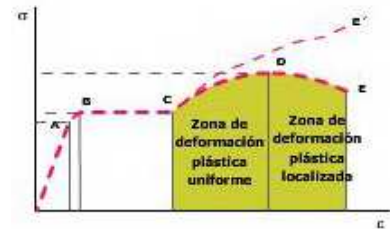


Imagen de elaboración propia.

- **Zona de rotura o zona de estricción o zona de deformación plástica localizada (DE)**

Las deformaciones son localizadas y, aunque disminuya la tensión, el material se deforma hasta la rotura. La sección de la probeta se reduce drásticamente.



**En el caso del acero** existe una zona justo al sobrepasar el límite elástico, ya en la **Zona Plástica**, en el que se da una deformación apreciable sin que varíe la tensión aplicada. Este fenómeno se denomina **fluencia** y la tensión en ese punto se denomina **tensión de fluencia ( $\sigma_F$ )**.

Se trata de la zona BC del diagrama anterior.





Imagen de elaboración propia.

$$\sigma_F = \frac{F_F}{S_0}$$

## Importante

### Tensión de tracción a rotura ( $\sigma_R$ )

Es la tensión de tracción soportada por la probeta en el punto " D ", que es en la gráfica anterior es el valor máximo de tensión que soporta la probeta.

$$\sigma_R = \frac{F_D}{S_0}$$

En general, los metales y aleaciones muestran una relación lineal entre la tensión y la deformación en la región elástica en un diagrama tensión-deformación que se describe mediante la ley de Hooke.

El módulo de elasticidad resulta ser igual, pues, a la tangente de la recta de la gráfica en su zona de proporcionalidad. Vemos que en esa región del diagrama tensión-deformación el módulo de elasticidad no cambia al aumentar la tensión.

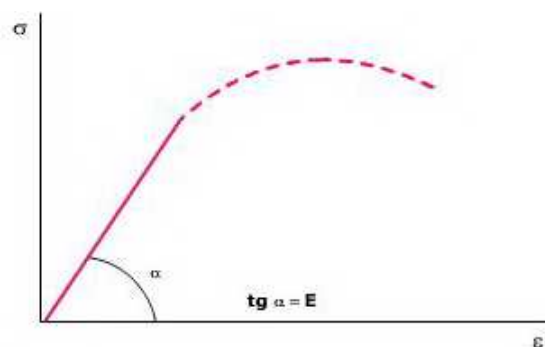


Imagen de elaboración propia.

Si comparamos las gráficas de un material dúctil (Límite elástico ( $\sigma_E$ ) más bajo pero se estira más) y un material frágil (Límite elástico ( $\sigma_E$ ) más alto, pero se estira menos) .

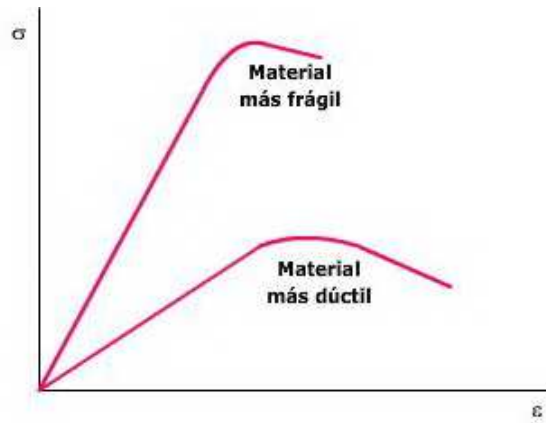


Imagen de elaboración propia.

*Para saber más*

A continuación tienes un **Video Tutorial** , sobre el **Ensayo de Tracción** , procedente del catálogo de la Universidad Politécnica de Valencia



*Ejercicio resuelto*

Resuelve este ejercicio en el que debes calcular algunas de las propiedades vistas a partir de un ensayo de tracción.

Presta atención especial a las unidades.

ensayo de tracción de un material polimérico.

### DATOS DEL ENSAYO:

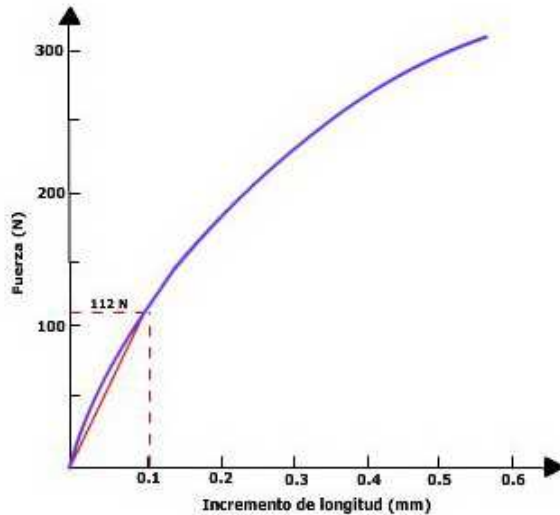


Imagen de elaboración propia.

- Dimensiones de la probeta
  - Anchura: 12.61 mm
  - Espesor: 3.47 mm
  - Longitud inicial: 50 mm
  - Longitud final después de la rotura: 97 mm.
- Fuerza máxima alcanzada en el ensayo: 1290 N.

Calcular:

- Módulo de Elasticidad o de Young (GPa).
- Resistencia a la Tracción (MPa).
- %Alargamiento a la rotura ( $\epsilon$ )

Para calcular el módulo de elasticidad deberemos aplicar su expresión:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/S_0}{\Delta l/l_0}$$

con la consideración de que hay que aplicarla en la zona proporcional de la curva.

Necesitamos, pues, conocer la fuerza aplicada y el incremento de longitud que se obtiene con esa carga, la sección inicial de la probeta y su longitud inicial.

Vemos en la gráfica que cuando la probeta ha incrementado su longitud en 0.1 mm, la fuerza aplicada era de 112 N.

Y podemos calcular su sección inicial:

$$S_0 = \text{anchura} \times \text{espesor} = 12.61 \times 3.47 = 43.7567 \text{ mm}^2$$

Ahora que conocemos todo lo necesario podemos calcular ya el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/S_0}{\Delta l/l_0} \quad E = \frac{112/43.7567}{0.1/50} = \frac{2.56}{0.002} = 1280 \text{ N/mm}^2$$

(Cuidado con las unidades)

Como nos pedían el resultado en GPa:

$$E = 1280 \text{ N/mm}^2 = 1280 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2 = 1280 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$$
$$E = 1.28 \text{ GPa}$$

Para calcular ahora la resistencia a la tracción aplicaremos también su expresión:

$$\sigma_t = \frac{F_{max}}{S_0}$$

Como conocemos la fuerza máxima y la sección inicial de la probeta no tenemos

$$\epsilon = \frac{\Delta I}{I_0} = \frac{43.756 - 50}{50} = -0.12512$$

Y para calcular el alargamiento en la rotura:

$$\epsilon = \frac{\Delta I}{I_0}$$

$$\epsilon = \frac{97 - 50}{50} = \frac{47}{50} = 0.94$$

Y mostrado en porcentaje:

$$\epsilon = 94\%$$

## 1.2. Ensayo de dureza

---



Y otra cosa, ¿necesitaremos que nuestro acero 1030, sea duro? Con el ensayo de dureza adecuado sabremos cuál es su dureza.

### Importante

**Dureza** es la resistencia que opone un material a la deformación permanente (plástica) en su superficie, es decir la resistencia que opone un material a ser rayado o penetrado.

La dureza de un material se mide de distintas formas.

En los ensayos mecánicos se utiliza un penetrador o indentador sobre la superficie del material, sobre el que se ejerce una carga conocida perpendicularmente a la superficie del material de ensayo. El penetrador tiene diferentes formas y según sea su forma, así será la huella que queda grabada en el material.

Según el tipo de materiales y su geometría se emplean entre otros los siguientes métodos de ensayos de dureza, que veremos a continuación:

- Brinell
- Vickers
- Rockwell

### Curiosidad

#### Escala de Mohs

En geología se utiliza la escala de Mohs, que consiste en una tabla de diez minerales, donde cada miembro es más duro que los que están delante de él en la escala y más blando que los que están detrás.

Con ellos se mide la resistencia al rayado de los materiales, de modo que cuando deseamos saber la dureza de un mineral se va probando si es rayado por los elementos consecutivos de la escala Mohs, hasta que el mineral es rayado por uno, por lo que su dureza estará comprendida entre la del último elemento que no consiguió rayar el mineral y el primero que lo hizo.

Dureza	Mineral	Composición química
--------	---------	---------------------

<b>2</b>	<b>Yeso</b> , (se puede rayar con la uña con más dificultad)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
<b>3</b>	<b>Calcita</b> , (se puede rayar con una moneda de cobre)	$\text{CaCO}_3$
<b>4</b>	<b>Fluorita</b> , (se puede rayar con un cuchillo)	$\text{CaF}_2$
<b>5</b>	<b>Apatita</b> , (se puede rayar difícilmente con un cuchillo)	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$
<b>6</b>	<b>Feldespato</b> , (se puede rayar con una cuchilla de acero)	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
<b>7</b>	<b>Cuarzo</b> , (raya el vidrio)	$\text{SiO}_2$
<b>8</b>	<b>Topacio</b>	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH}, \text{F})_2$
<b>9</b>	<b>Corindón</b> , (sólo es rayado por el diamante)	$\text{Al}_2\text{O}_3$
<b>10</b>	<b>Diamante</b> , (el mineral natural más duro)	C

## Comprueba lo aprendido **Múltiple**

Un material es duro cuando:

☐

No es fácil rayarlo.

☐

No es fácil penetrarlo.

☐

No es fácil romperlo.

### Solución

1. [Correcto](#)
2. [Correcto](#)



Según el tipo de material que vamos a ensayar y su tamaño.



Según el tipo de material que vamos a ensayar y su geometría.



Según el tipo de material que vamos a ensayar y su estructura.

#### **Solución**

1. [Incorrecto](#)
2. [Correcto](#)
3. [Incorrecto](#)

### *Ejercicio resuelto*

Un elemento tiene una dureza que está comprendida entre el 5 y el 6 de la escalada de Mohs.

¿Rayará al yeso?

No tienes más que ir a la escala de Mohs y ver que el yeso tiene una dureza de 2, por lo que ese elemento tiene una dureza mayor que la del yeso, y, por lo tanto, podrá rayarlo.

### *Para saber más*

A continuación tienes un **Video Tutorial** , sobre el **Ensayo de Dureza** , procedente del catálogo de la Universidad Politécnica de Valencia

# ENSAYO DE DUREZA

Prof.: Dr. David García Sanoguera



### 1.2.1. Ensayo Brinell

El ensayo Brinell se realiza como todos los ensayos de dureza; se ejerce una carga en el penetrador perpendicularmente sobre la superficie del material a ensayar.

*Importante*

El ensayo Brinell viene definido por la norma UNE 7-422-85.

En el ensayo Brinell el penetrador es una bola de acero templado (muy duro).



Imagen de [Froble](#) en Wikimedia bajo [CC](#)

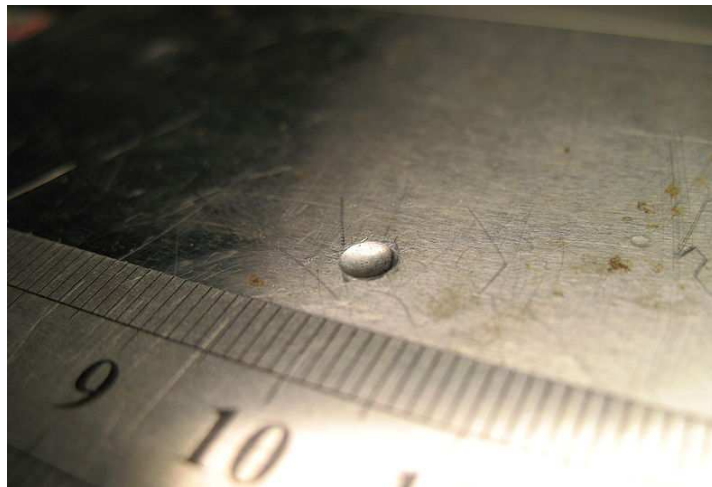


Imagen de [IGW](#) en Wikimedia bajo [CC](#)

*Importante*

La dureza Brinell (**HB** Hard Brinell), se calcula en función del área del casquete de la huella realizada por el penetrador y de la carga aplicada.

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

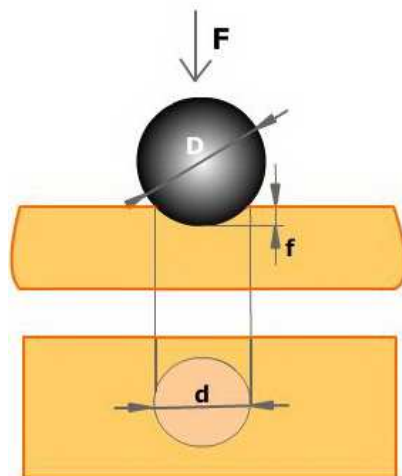
Como el área del casquete de la huella no es una medida que podamos tomar directamente, la expresión, en términos de dimensiones que podemos medir será:

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

siendo:

F: carga aplicada en kg

D: diámetro de la bola en mm



## Importante

Cuando damos la dureza Brinell de un material damos los siguientes datos:

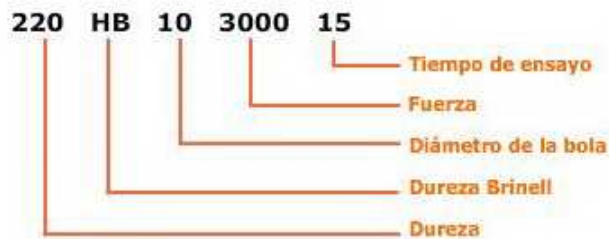


Imagen de elaboración propia.

## Para saber más

Este ensayo tiene una serie de restricciones:

- No es recomendable para valores de dureza superiores a 500 HB si la bola del penetrador no es de carburo de wolframio.
- Sólo es adecuado para materiales de espesor grueso, ya que las huellas que se obtienen son nítidas y de contornos bien delimitados. Si se aplica a materiales de espesores pequeños se deforma el material y los resultados obtenidos son erróneos. En estos casos se deberá disminuir la carga aplicada, con lo que las huellas serán menos profundas y el diámetro del penetrador, para que el diámetro de la huella quede comprendido entre  $D/4$  y  $D/2$ .
- No es recomendable para piezas cilíndricas y esféricas.
- Cuando la deformación es pequeña, se cometen errores significativos al medir el diámetro de la huella.
- Al variar la carga, es necesario sustituir el penetrador.
- 

En este ensayo la carga a aplicar depende del material a ensayar y del cuadrado del diámetro de la bola del penetrador.

$$\rho = \frac{E_0 - E_F}{S} = \frac{\Delta E_p}{S} = \frac{m \cdot g \cdot (H - h)}{S}$$

ensayar, oscilando entre 10 segundos y 3 minutos; a mayor dureza, menor tiempo de aplicación.

## Comprueba lo aprendido

Recordamos el ensayo Brinell.

La dureza se determina en función de la profundidad de la huella.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

### Falso

La dureza se determina en función del área del casquete que forma su huella, si bien esa área depende, en parte, de la profundidad de la huella.

Es aplicable a materiales de dureza extrema.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

### Falso

El ensayo Brinell se aplica a materiales cuya dureza no supere los 500 HB; si se aplica a materiales muy duros se cometen errores significativos.

Es aplicable a materiales de espesores pequeños.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

### Verdadero

Aunque da resultados más fiables si los espesores son grandes, se puede utilizar para espesores pequeños disminuyendo la carga aplicada y el diámetro del penetrador.

## Ejercicio resuelto

En un ensayo de dureza Brinell se aplica una carga de 3000 Kp al penetrador, cuyo diámetro es de 10 mm. Si el diámetro de la huella es de 5 mm, determina:

- Dureza del material.
- ¿Se obtendría el mismo valor de dureza si la carga fuese de 750 Kp y el diámetro de la bola fuese de 750 Kp?

Para calcular la dureza, aplicaremos la fórmula dada con los datos del problema:

$$HB = \frac{2 \cdot 147000}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 5^2})} = 142.6$$

Para contestar al segundo apartado debemos calcular la constante que relaciona la fuerza aplicada y el diámetro del penetrador, es decir:

$$F = K \cdot D^2 \implies K = \frac{F}{D^2}$$

Sustituiremos el valor de la carga y del diámetro en la expresión, en las dos situaciones, y si obtenemos la misma constante, obtendríamos la misma dureza.

$$K = \frac{3000}{10^2} = 30$$

$$K = \frac{750}{5^2} = 30$$

Como la K es la misma, la dureza obtenida sería la misma.

## 1.2.2. Ensayo Vickers

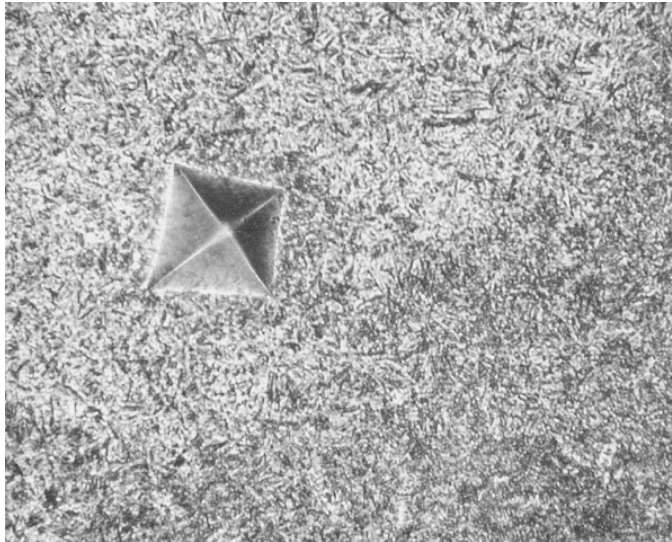
### Importante

El ensayo Vickers viene definido por la norma UNE 7-423-84.

En el ensayo Vickers el **penetrador es una pirámide de base cuadrada**, cuyas caras opuestas forman un ángulo de  $136^\circ$ .



Imagen de [Froble](#) en Wikimedia bajo CC



Huella dejada por el penetrador en el ensayo Vickers

### Importante

La dureza Vickers (**HV** Hard Vickers), se calcula de forma similar a como lo hacíamos en el ensayo Brinell. En este caso la dureza es función de la superficie lateral de la huella y de la carga aplicada.

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

Igual que sucedía en Brinell, como la superficie lateral de la huella no es una medida que podamos tomar directamente, la expresión, en términos de dimensiones que podemos medir será:

$$HV = 1.8453 \cdot \frac{F}{d^2}$$

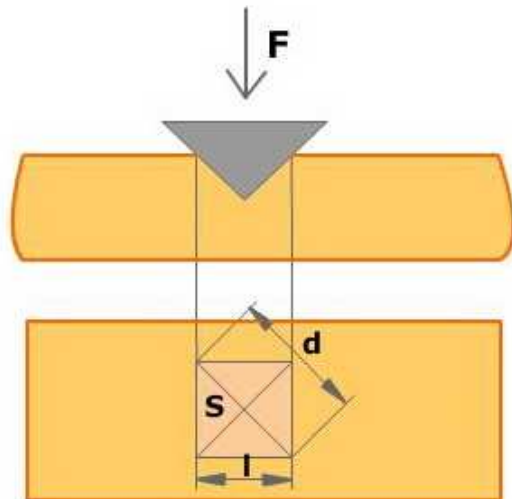


Imagen de elaboración propia.

F: carga aplicada en kg

d: diagonal de la huella en mm

## Importante

Cuando damos la dureza Vickers de un material damos estos datos:

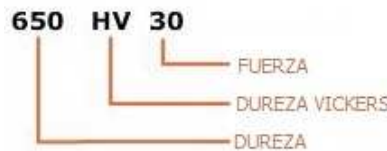


Imagen de elaboración propia.

## Para saber más

El ensayo Vickers tiene una serie de **ventajas sobre el Brinell** :

- Se puede emplear con piezas de espesores muy reducidos (hasta 0.2 mm).
- Puede medir dureza superficial aunque la huella sea poco profunda.
- Se puede utilizar en superficies cilíndricas o esféricas.
- Se puede utilizar indistintamente con materiales muy duros, o con materiales blandos.
- No es necesario sustituir el penetrador al variar la carga (el valor de la dureza es prácticamente independiente del valor de la carga).
- Los ensayos Brinell y Vickers, dan resultados parecidos hasta un valor de 300; a partir de aquí la dureza Vickers es superior a la Brinell, ya que la deformación de la bola falsea los resultados.

### Otras características:

- Se aplican cargas menores que en el ensayo Brinell (oscilan entre 1 y 120 Kp), siendo la carga de 30 Kp la más empleada.
- El tiempo de aplicación varía entre 10 y 30 segundos, siendo 15 segundos lo más habitual.

## Comprueba lo aprendido

☐ Verdadero ☐ Falso

**Falso**

Además de diferenciarse en el penetrador, también se diferencian en el tipo de material al que se puede aplicar el ensayo.

La dureza Vickers sólo depende del área lateral de la huella realizada.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

**Falso**

La dureza Vickers depende del área lateral de la huella realizada, pero también de la carga aplicada en el ensayo..

El ensayo Vickers es óptimo para determinar durezas de piezas de muy pequeño espesor.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

**Verdadero**

Se puede emplear con piezas de espesores de hasta 0.2 mm.

## *Ejercicio resuelto*

Determina la dureza de un material que se ha sometido a un ensayo Vickers, en el que, con una carga aplicada de 120 Kp, se ha producido una huella de 0.5 mm de diagonal.

No tenemos más que aplicar la expresión de la dureza Vickers.

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

Y sustituir los datos de nuestro problema:

$$HV = 18544 \cdot \frac{120 Kp}{0,5^2 mm^2} = 480 \frac{Kp}{mm^2}$$

En este video vas a ver cómo se realiza un ensayo Vickers, pero totalmente informatizado.

A partir de un ordenador transmitimos la orden de aplicar la carga correspondiente, y también en una pantalla vemos la huella realizada y desde allí mismo podremos medirla.





### 1.2.3. Ensayo Rockwell

---

#### *Importante*

El ensayo Rockwell viene determinado por la norma UNE 7-424-89.



Imagen de [Metrolibérica](#) en Wikimedia bajo [CC](#)

Se puede utilizar indistintamente con materiales muy duros, o con materiales blandos.

Para materiales blandos (con durezas menores que 200) el penetrador es una bola de acero de diámetro 1.5875 mm, y la dureza determinada será una **dureza Rockwell B (HRB)**.

Para materiales duros (con durezas mayores que 200) el penetrador es un cono de diamante de 120° en la punta, y la dureza determinada será una **dureza Rockwell C (HRC)**.

#### *Importante*

El ensayo Rockwell es un ensayo rápido y fácil de realizar pero menos preciso que los anteriores, en el que la dureza se obtiene en función de la profundidad de la huella y no de la superficie como en el Brinell y el Vickers.

Para realizar este ensayo se siguen los siguientes pasos:

1. Se aplica una carga de 10 kg al penetrador (bola o cono), provocando una pequeña huella en la superficie del material a ensayar; se mide la profundidad de esta huella,  $h_1$ , y se toma como referencia, colocando a cero el comparador de la máquina.
2. Se aumenta en 90 kg la carga, si se emplea el penetrador de bola y en 140 kg si es el de cono, manteniendo la carga durante un tiempo entre 1 y 6 segundos; a continuación se mide la profundidad de la huella producida,  $h_2$ .

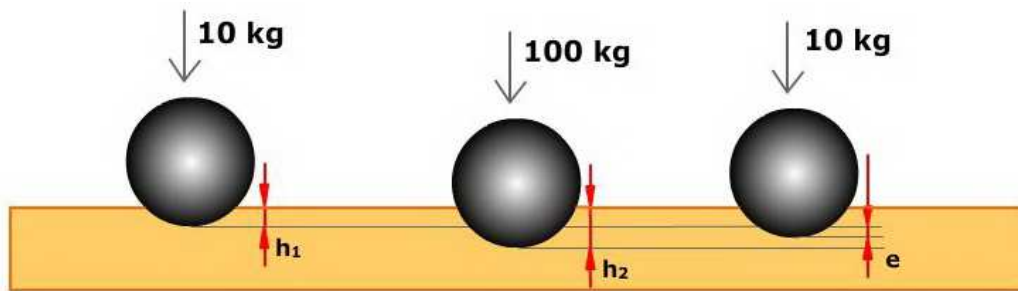


Imagen de elaboración propia.

La dureza Rockwell no se expresa directamente en unidades de penetración, sino como diferencia de dos números de referencia:

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

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

## Comprueba lo aprendido

La diferencia entre HRB y HRC es el diámetro del penetrador.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

### Falso

La diferencia es el penetrador, no su diámetro. En la HRB el penetrador es una bola de acero y en la HRC es un cono de diamante.

La dureza Rockwell viene dada por la profundidad de la huella una vez que hemos eliminado la carga.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

### Falso

La dureza Rockwell viene dada por la diferencia de la profundidad de la huella inicial y la de la huella una vez retirada toda la carga.

La dureza Rockwell mide la deformación plástica que se produce en el ensayo.

[Sugerencia](#)

☐ Verdadero ☐ Falso

### Verdadero

La dureza Rockwell mide la deformación plástica que se produce en el ensayo. porque lo que medimos es la huella permanente que aparece cuando, al retirar la carga, el material trata de recuperar su posición inicial.

En este video puedes ver cómo se realiza un ensayo Rockwell.

Se trata de una práctica en un instituto, así que nos van explicando detalladamente cómo se debe hacer.

### 1.3. Ensayo de resiliencia

---



Nos falta algo más. **¿Qué pasa si un camión choca contra el puente?** Tendremos que saber cuánta energía puede absorber el acero cuando recibe un golpe para así no romperse.

Eso lo determinaremos con el ensayo de resiliencia.



El ensayo de resiliencia es un ensayo destructivo, que consiste en romper una probeta del material a ensayar golpeándola con un péndulo. Para facilitar la rotura de la probeta, se realiza una hendidura o entalladura en la probeta.

**El objetivo del ensayo es conocer la energía que puede soportar un material al recibir un choque o impacto sin llegar a romperse .**

Para realizar este ensayo se utiliza el **péndulo Charpy** , que consta de un brazo giratorio con una maza en su extremo, que se hace incidir sobre la probeta provocando su rotura.

El péndulo, de masa **m** , se encuentra a una altura inicial **H** , por lo que tiene una determinada energía potencial antes de iniciar el ensayo ( $E_0 = m \cdot g \cdot H$ ).

Cuando se inicia el ensayo, se libera el péndulo que, tras golpear la probeta y romperla, continua con su giro, alcanzando una altura final **h** , por lo que tendrá una nueva energía potencial ( $E_f = m \cdot g \cdot h$ ).

La energía que ha absorbido la probeta durante su rotura será la diferencia de energías potenciales inicial y final.

Si la probeta no se rompe y el péndulo se detiene al chocar sobre ésta, es necesario aumentar la energía potencial inicial del péndulo: o bien aumentando la masa, o bien aumentando la altura inicial.

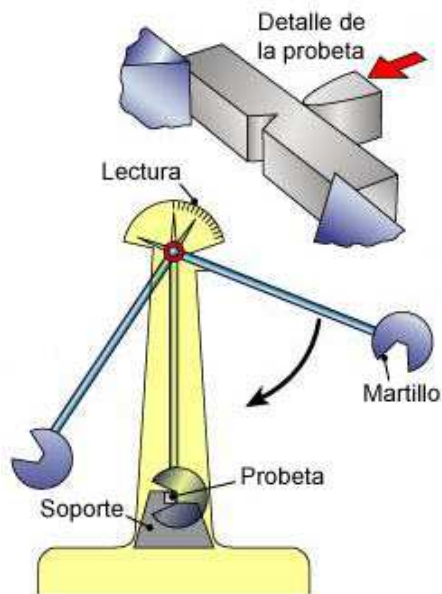


Imagen de [Dumontier](#) en Wikimedia bajo [CC](#)



Imagen de [Romary](#) en Wikimedia bajo [CC](#)

## Importante

La resiliencia se obtiene con la siguiente expresión y se expresa en en julios/cm<sup>2</sup>

$$\rho = \frac{E_0 - E_F}{S} = \frac{\Delta E_p}{S} = \frac{m \cdot g \cdot (H - h)}{S}$$

Cuanto más frágil sea el material y menor su tenacidad, menos resiliencia presentará.

Materiales muy dúctiles y tenaces absorben grandes cantidades de energía de choque.

Este comportamiento es muy dependiente de la temperatura y la composición química del material.

## Ejercicio resuelto

Una probeta de sección cuadrada de 10 mm de lado con una entalla de 2 mm en el centro de sus caras se somete a un ensayo de resiliencia con un péndulo de 20 Kgf que cae desde 90 cm, y que, tras la rotura, alcanza 70 cm.

#### b) Resiliencia del material.

La sección en la zona de la entalla será:

$$S_{ent} = 10 \cdot (10 - 2) = 10 \cdot 8 = 80 \text{ mm}^2$$

La resiliencia, o lo que es lo mismo, la energía absorbida en el impacto, será el resultado de restar la energía potencial que tiene la maza al inicio del ensayo y en el momento final:

$$E_{imp} = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = 20 \cdot 9.8 \text{ N} \cdot (0.9 - 0.7) \text{ m} = 39.2 \text{ J}$$

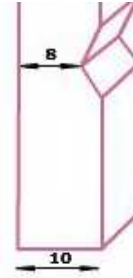


Imagen de elaboración propia.

Con este sencillo video te puedes hacer una idea de cómo transcurre un ensayo Charpy.



A continuación tienes un **Video Tutorial** , sobre el **Ensayo de Resiliencia o Impacto** , procedente del catálogo de la Universidad Politécnica de Valencia

# ENSAYO DE IMPACTO

Prof.: Dr. David García Sanoguera

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

## 2. Ensayos tecnológicos



Ahora ya conocemos las propiedades mecánicas de nuestro material, y vamos a decidir que es con el que vamos a construir nuestro puente, pero, ¿"se dejará"?

Tendremos que saber, por ejemplo si una chapa de ese material se puede doblar, o deformar.

Así que nos faltan otros ensayos: los tecnológicos.

En los ensayos tecnológicos no se pretende conocer valores cuantitativos de determinadas propiedades o características de un material; lo que se persigue es tratar de obtener información acerca de si el material va a ser capaz de soportar las condiciones de esfuerzos y cargas que sufrirá en sus condiciones normales de trabajo.

Por eso se tratará de reproducir lo más fielmente posible estas condiciones durante la realización de este tipo de ensayos.



Son ensayos tecnológicos:

### **Ensayo de cizalladura**

Trata de determinar el comportamiento de un material sometido a un esfuerzo cortante. Este ensayo se aplica a materiales destinados a la fabricación de tornillos, remaches, lengüetas y chavetas.

### **Ensayo de plegado**

Se emplea para determinar la capacidad de deformación de un material en la zona plástica. Consiste en doblar probetas y observar si aparecen grietas.

### **Ensayo de embutición**

Comprueba la capacidad de deformación de chapas de materiales. Para ello se presiona el vástago sobre la chapa a ensayar, hasta que se produce la primera grieta, entonces se comprueba cuanto se ha introducido el vástago.

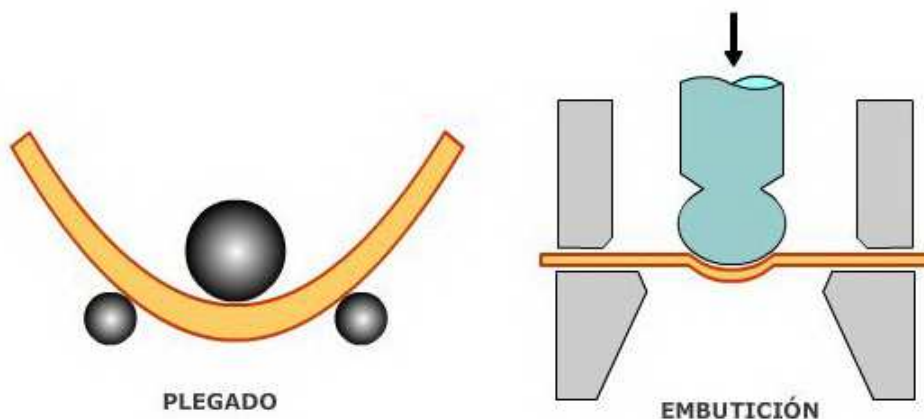


Imagen de elaboración propia.



## Comprueba lo aprendido

o

El resultado del ensayo de plegado se da en mm.

Sugerencia

☐ Verdadero ☐ Falso

### Falso

Los ensayos tecnológicos como el de embutición no dan resultados cuantitativos; sólo determinan si un material es apto para una aplicación o no.

## Para saber más

Como cierre de este tema, puedes visitar estas páginas si tienes curiosidad sobre distintos tipos de ensayo, qué tipos de máquinas se utilizan...

La primera corresponde a INSTRON, la principal marca de máquinas de ensayos y la segunda ZWICK, otra marca importante.

[http://www.instron.com.es/wa/home/default\\_es.aspx](http://www.instron.com.es/wa/home/default_es.aspx)

<http://www.zwick.es/es/aplicaciones/metales.html>