

# BLOQUE I: MATERIALES

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

### 1.- TIPOS DE ENLACES ATÓMICOS Y MOLECULARES

Iónico	Covalente	Metálico
Cesión de electrones (elementos con grandes diferencias en electronegatividad). Ej. NaCl (sal común)	Comparten electrones los átomos vecinos (elementos con pequeñas diferencias de electronegatividad). Ej. O <sub>2</sub>	Nube electrónica de electrones que se comparten entre varios átomos. Ej. Metales en estado sólido

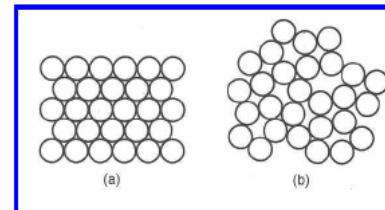
Enlaces moleculares: Fuerzas de Van der Waals, Puentes de hidrógeno

### 2.- FORMAS ESTRUCTURALES

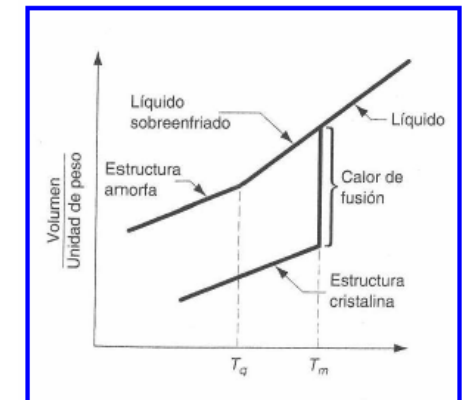
Estructuras cristalinas	Estructuras amorfas
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Estructura repetitiva según celdas unitarias (BCC, FCC, HCP)</li> <li>■ Millones de cristales individuales, granos (orientación al azar)</li> <li>■ Alotropía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ No cristalinos: gases, líquidos y algunos sólidos</li> <li>■ Ausencia de orden</li> </ul>

Cristalino vs amorfo

Ausencia de orden de largo alcance  
≠ de fusión y expansión térmica



↑ Volumen ↓ Densidad

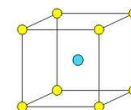
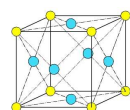
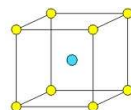


Metales	Cerámicos	Polímeros
<ul style="list-style-type: none"> <li>❑ Átomos unidos mediante enlaces metálicos</li> <li>❑ Estructura Cristalina en estado Sólido (BCC, FCC o HCP)</li> </ul> <p>Estos enlaces y estructuras proporcionan las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran Resistencia y dureza media</li> <li>• Ductilidad y Maleabilidad</li> <li>• Alta conductividad térmica y eléctrica</li> <li>• Opacidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❑ Átomos unidos mediante enlaces covalentes</li> <li>❑ Estructura Amorfos o mezcla de amorfos y Cristalina</li> </ul> <p>Estos enlaces y estructuras proporcionan las siguientes características: (variables)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia media y alta dureza</li> <li>• Fragilidad</li> <li>• Baja conductividad térmica y eléctrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❑ Átomos unidos mediante enlaces iónicos o covalentes</li> <li>❑ Estructura Amorfos o Cristalinas</li> </ul> <p>Estos enlaces y estructuras proporcionan las siguientes características: (variables)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades variables según tipo de plástico</li> <li>• Baja conductividad térmica y eléctrica</li> </ul>

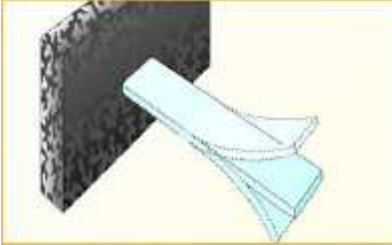
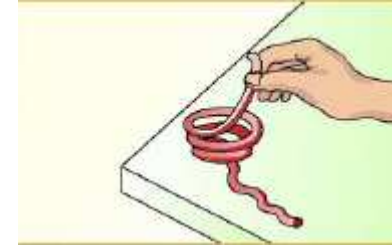







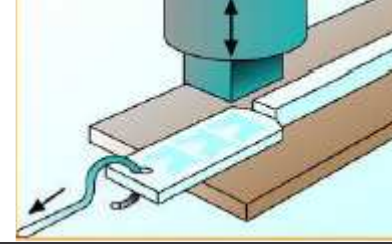

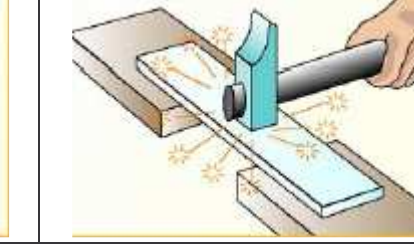
### 3.- ALOTROPÍA

Un mismo elemento dependiendo de las condiciones de presión y temperatura puede presentar diferentes estructuras cristalinas. Ej. Fe

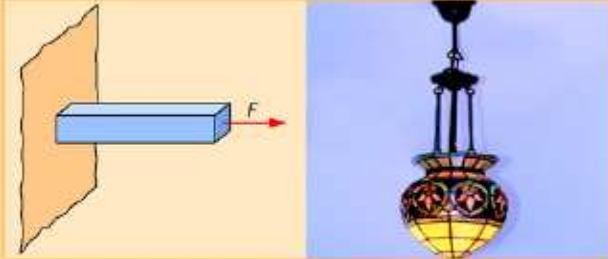
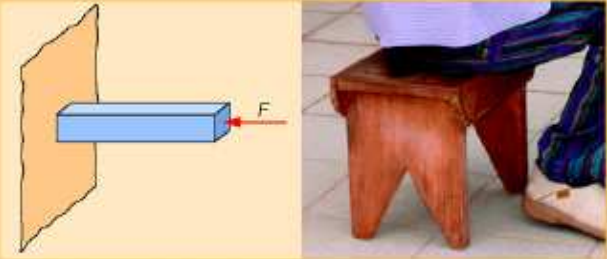
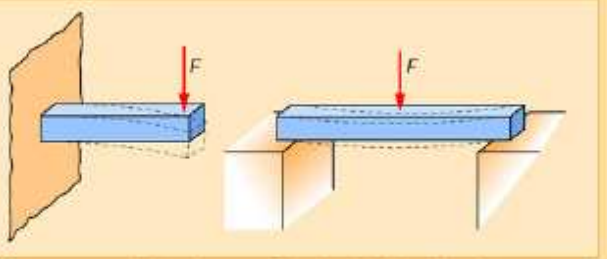

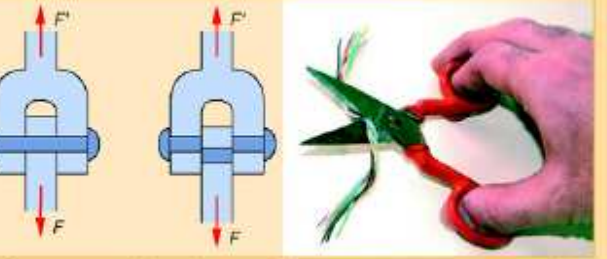
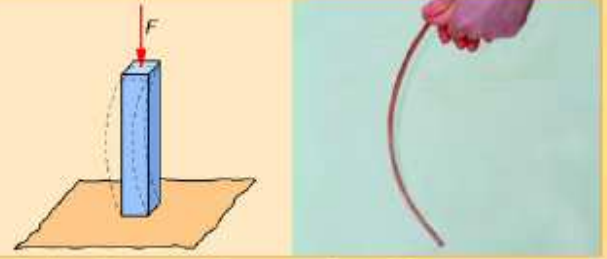
T. ambiente	912<T<1394	T>1394
BCC Fe $\alpha$ Fe $\beta$ (no magnético) a partir 758°C	FCC Fe $\gamma$	BCC Fe $\delta$



**4.- PROPIEDADES MECÁNICAS**

			
<p><b>ELASTICIDAD:</b> Capacidad que tienen algunos materiales para recuperar su forma, una vez que ha desaparecido la fuerza que los deformaba</p>	<p><b>PLASTICIDAD:</b> Habilidad de un material para conservar su nueva forma una vez deformado. Es opuesto a la elasticidad.</p>	<p><b>DUCTILIDAD:</b> Es la capacidad que tiene un material para estirarse en hilos</p>	<p><b>MALEABILIDAD:</b> Aptitud de un material para extenderse formando láminas sin romperse</p>
			
<p><b>DUREZA:</b> Oposición que ofrece un cuerpo a dejarse rayar o penetrar, resistencia al desgaste</p>	<p><b>FRAGILIDAD:</b> Es opuesta a la resiliencia. Capacidad para soportar esfuerzos bruscos o impactos (choques)</p>	<p><b>TENACIDAD:</b> Resistencia que opone un cuerpo a su rotura ante esfuerzos lentos de deformación</p>	<p><b>FATIGA:</b> Deformación o rotura que sufre un cuerpo cuando es sometido a cargas variables inferiores a las de rotura un determinado número de veces</p>
			
<p><b>MAQUINABILIDAD:</b> Facilidad que tiene un material a dejarse cortar por arranque de viruta</p>	<p><b>ACRITUD:</b> Aumento de la dureza y fragilidad en ciertos metales por la deformación en frío</p>	<p><b>COLABILIDAD:</b> Aptitud de un material fundido a llenar un molde</p>	<p><b>RESILIENCIA:</b> Resistencia a los impactos o esfuerzos bruscos</p>

## 5.- ESFUERZOS

<p><b>1. Tracción</b></p>  <p>La fuerza tiende a alargar el objeto y actúa de manera perpendicular a la superficie que lo sujeta.</p>	<p><b>2. Compresión</b></p>  <p>La fuerza tiende a acortar el objeto. Actúa perpendicularmente a la superficie que la sujeta.</p>	<p><b>3. Flexión</b></p>  <p>La fuerza es paralela a la superficie de fijación. Tiende a curvar el objeto.</p>
<p><b>4. Torsión</b></p>  <p>La fuerza tiende a retorcer el objeto. Las fuerzas (que forman un par o momento) son paralelas a la superficie de fijación.</p>	<p><b>5. Cortadura</b></p>  <p>La fuerza es paralela a la superficie que se rompe y pasa por ella.</p>	<p><b>6. Pandeo</b></p>  <p>Es similar a la compresión, pero se da en objetos con poca sección y gran longitud. La pieza «se pandea».</p>

## 6.- TIPOS DE ENSAYOS

- Ensayos Destructivos: Los materiales sometidos ven alterada su forma y presentación inicial
- Ensayos Mecánicos: Determinan las características de los materiales sometidos a los diferentes esfuerzos.

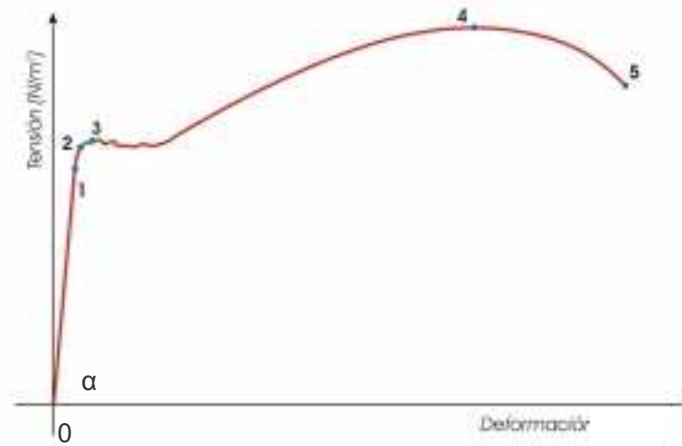
TRACCIÓN	DUREZA	RESILIENCIA	COMPRESIÓN	FLEXIÓN	FATIGA
----------	--------	-------------	------------	---------	--------

## 7.- ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción consiste en someter a una **probeta** normalizada realizada con dicho material a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Para ello se coloca la probeta en una máquina de ensayo consistente de dos mordazas, una fija y otra móvil. Se procede a medir la carga mientras se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil.

La siguiente figura muestra una máquina de ensayos a tracción:

La máquina de ensayo impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad determinada. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada, las máquinas poseen una impresora que representa en un eje el desplazamiento y en el otro eje la tensión aplicada (Carga / sección de la probeta). La siguiente figura muestra el gráfico obtenido en una máquina de ensayo de tracción para una probeta de acero.



$$\sigma = \frac{F}{S_0} \left( \frac{N}{m^2} \right) \text{ Pascal}$$

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

$\sigma$  también en Kp/cm<sup>2</sup> o Kp/mm<sup>2</sup>

$\varepsilon$  : alargamiento unitario es adimensional (se puede expresar también en %)

En general la curva tensión-deformación así obtenida presenta puntos característicos

**ZONA ELÁSTICA:** Desde 0 a 2. Al cesar las tensiones aplicadas los materiales recuperan su longitud inicial. Presenta dos zonas:

- **De 0 a 1: Zona de Proporcionalidad:** existe una relación lineal entre la tensión aplicada y la deformación producida.

Este coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina **módulo de elasticidad** o de **Young** y es característico del material, así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes ( $2,2 \cdot 10^4$  Kp/mm<sup>2</sup>). En esta zona se cumple la **Ley de Hooke**:

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = cte = tg\alpha = E$$

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

Ecuación fundamental de la **TRACCIÓN**

El punto 1 es el **límite de proporcionalidad (tensión de proporcionalidad  $\sigma_p$ )**

- **De 1 a 2: Zona de NO Proporcionalidad:** No existe una relación lineal entre la tensión aplicada y la deformación producida.

**El punto 2 es el límite elástico (tensión elástica  $\sigma_e$ )** hasta este punto, las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta y son de pequeña magnitud y si se retirara la carga aplicada la probeta recuperaría su forma inicial. A partir del punto 2, el material entra en la zona de deformación plástica, de forma que si se retira la carga aplicada en dicha zona la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica

**ZONA PLÁSTICA:** Las deformaciones son permanentes.

- **De 2 a 3: Zona de Fluencia.**

**El punto 3 es el límite de fluencia ( $\sigma_f$ ).** A partir de este punto se produce una deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente..

**No todos los materiales presentan este fenómeno** (EL ACERO SÍ) en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara.

- **4. Punto de máxima tensión.** Es el máximo de la gráfica de tensión – deformación, es decir, la máxima tensión que es capaz de soportar el material. A partir de este punto, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, denominada **zona de estricción**.

El punto 4 es el **límite de rotura (tensión de rotura  $\sigma_r$ )**

- **5. Zona de Rotura:** Es donde se produce la rotura efectiva de la probeta. La tensión es inferior a la de rotura

## TENSIONES MÁXIMAS DE TRABAJO

Para dimensionar cualquier elemento es necesario adoptar una tensión máxima que garantice:

- Que no se produzcan deformaciones plásticas
- Que se cumpla la ley de Hooke
- Que exista un coeficiente de seguridad (n)

$$\sigma_t = \frac{\sigma_f}{n}$$

$$\sigma_t = \frac{\sigma_r}{n}$$

## 8.- ENSAYO DE DUREZA

La dureza de un material es la resistencia que opone un material a ser rayado o penetrado. La resistencia se determina introduciendo un cuerpo de forma esférica, cónica o piramidal, por el efecto que produce una fuerza determinada durante cierto tiempo en el cuerpo a ensayar. Como indicador de dureza se emplea la deformación permanente (plástica)

**DUREZA BRINELL: (Determinación de la dureza por las dimensiones de la huella)****PENETRADOR: Bola de acero templada de diámetro variable.**

Se comprime una bola de acero templada, de diámetro (D) 2,5; 5 ó 10mm, contra el material a ensayar con una fuerza F (Ej. 250 Kp) durante un tiempo determinado (ej. 30 s). Después de liberar la carga se mide el **diámetro (d) de la huella** con un dispositivo amplificador óptico. La dureza Brinell es un valor adimensional resultante de:

$$HB = \frac{F}{S} \left( \frac{Kp}{mm^2} \right)$$

$$S = \pi \cdot D \cdot f$$

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

D= Diámetro de La Bola (mm)  
d = diámetro de la huella (mm)  
f = profundidad huella (mm)

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

**Ensayo BRINELL.**

Indentador: Esfera de 10mm de acero o carburo de tungsteno.

Carga = P

$$\frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



DESIGNACIÓN BRINELL: **110 HB 5 250 30** ( Dureza, Diámetro bola, Carga y tiempo del ensayo)

**Características:**

- Materiales no muy duros y de espesor importante (mayor de 6mm)
- El diámetro de la bola, las cargas así como el tiempo del ensayo es variable en función de los materiales a ensayar. Existen tablas de referencia
- Generalmente no se aplica la fórmula de dureza Brinell (hay tablas donde te da el valor en función del diámetro de la huella)

**DUREZA VICKERS (Determinación de la dureza por las dimensiones de la huella)**

**PENETRADOR: Pirámide regular de base cuadrada de diamante. Ángulo de las caras laterales 136°.**

**Características:**

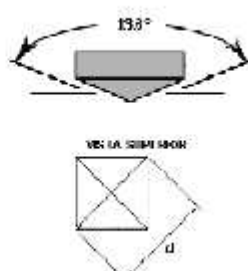
- Materiales duros (mayor de 500 HB) y blandos
- Puede realizarse en piezas de espesor muy pequeño
- Muy preciso
- Cargas muy pequeñas (1-120 Kp)

$$HV = \frac{F}{S} \left( \frac{Kp}{mm^2} \right)$$

$$S = \frac{l^2}{\text{sen } 68^\circ}$$

l = lado cuadrado huella (mm)  
S = superficie huella  
d = diagonal (mm)

$$HV = 1,8543 \frac{F}{d^2}$$

<p><b>Ensayo VICKERS</b></p> <p>Indentador: Pirámide de diamante</p> <p>Carga = P</p> $HV = 1,8544 \cdot \frac{P}{d^2}$	
---	--

**DESIGNACIÓN VICKERS: 720 HV 30 (Dureza y Carga)**

**DUREZA ROCKWELL (Determinación de la dureza por la PROFUNDIDAD de la huella)****PENETRADOR: Bola para materiales blandos (HRB) o Cono de diamante para duros (HRC).**

$$HRB = 130 - e$$

$$HRC = 100 - e$$

e = profundidad de la huella  
(cada unidad 0.002 mm)

**NOTA:** Tiene sentido la resta ya que **e** es mayor en materiales blandos y daría un valor mayor

**Ensayo ROCKWELL B, F, G, E**

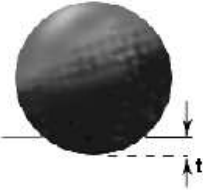
Indentador: Esfera de acero  $f = 1/16''$   
( $H_{RB}$ ,  $H_{RF}$ ,  $H_{RG}$ )

Esfera de acero  $f = 1/8''$   
( $H_{RE}$ )

Carga:

$P_B = 100 \text{ Kg}$   
 $P_F = 60 \text{ Kg}$   
 $P_G = 150 \text{ Kg}$   
 $P_E = 100 \text{ Kg}$

Formula:  $H_{RB}, H_{RF}, H_{RG}, H_{RE} = 130 - 500t$



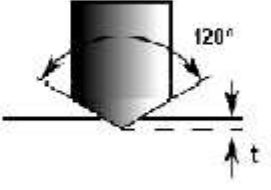
**Ensayo ROCKWELL A, C, D**

Indentador: Cono de diamante ( $H_{RA}$ ,  $H_{RC}$ ,  $H_{RD}$ )

Carga:

$P_A = 60 \text{ Kg}$   
 $P_C = 150 \text{ Kg}$   
 $P_D = 100 \text{ Kg}$

Formula:  $H_{RA}, H_{RC}, H_{RD} = 100 - 500t$


**Características:**

- Muy rápido pero menos preciso que los anteriores
- Materiales duros y blandos

**Fases del ensayo:**

- 1.- Aplicación de carga de 10 Kp para dejar una huella (profundidad  $h_1$ ). Comparador se pone a 0
- 2.- Aplicación de carga adicional de 3 a 6 segundos
  - **HRB: Carga de 90 Kp**
  - **HRC: Carga de 140 Kp**
- 3.- Retirada de carga adicional y medición de **e** CON LA CARGA INICIAL AÚN ACTUANDO

## 9.- ENSAYO DE RESILIENCIA

El ensayo destructivo, como muestra la figura, consiste en romper una probeta entallada golpeándola con un péndulo. **Ensayo de Charpy**

Partiendo de una altura **H** inicial desde la que se deja caer el péndulo de peso **P** y alcanzando éste después de romper la probeta una altura **h** (girando en total un ángulo  $\alpha + \beta$ ) se puede calcular la energía absorbida por la probeta en el impacto suponiendo que ésta es igual a la perdida por el péndulo.

Energía potencial inicial:  $P \times H = P \times L \times (1 - \cos\alpha)$

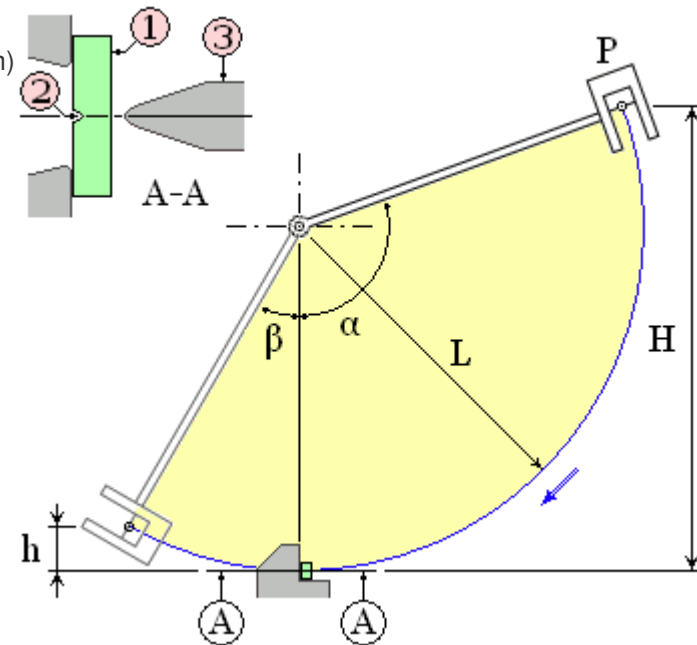
Energía potencial final:  $P \times h = P \times L \times (1 - \cos\beta)$

La energía absorbida por la probeta será:

$$P \times L \times (1 - \cos\alpha) - P \times L \times (1 - \cos\beta) = P \times L \times (\cos\beta - \cos\alpha) = E_p$$

$$\rho = \frac{E_p}{S} \quad \left( \frac{J}{cm^2} \right)$$

- 1.- Probeta cuadrada (55mmx10mm)
- 2.- Entalla
- 3.- Péndulo de Charpy



Cuanta mayor sea la fragilidad del material más fácilmente romperá el péndulo la probeta y mayor altura alcanzará tras el impacto. Materiales muy dúctiles y tenaces que son capaces de absorber grandes cantidades de energía de impacto pueden incluso resistir el choque sin llegar a romperse; en este caso el valor de la resiliencia queda sin determinar.

El péndulo en su balanceo inicial arrastra una aguja que queda fija en el punto más elevado alcanzado tras el impacto señalando sobre una escala graduada el valor de la resiliencia.