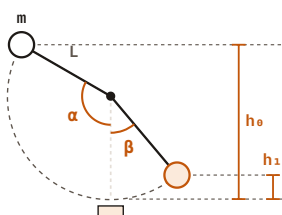


Ensayo de resiliencia Charpy

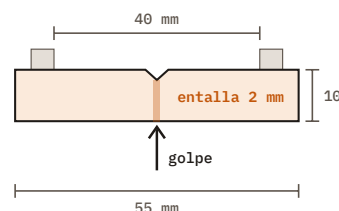
Lo que tienes que dominar para resolver cualquier ejercicio de la PEvAU: energía absorbida, alturas y ángulos del péndulo, sección resistente, resiliencia y transición dúctil-frágil.

En qué consiste

Un **péndulo de masa m** se suelta desde una altura h_0 y golpea una **probeta entallada** apoyada en sus extremos. Al romperla pierde energía, así que solo sube hasta una altura h_1 . Esa diferencia de energía potencial es la **energía absorbida** por la probeta. El ensayo mide la **tenacidad** del material frente a un impacto.



Las alturas se miden desde el punto más bajo del recorrido. Los ángulos α y β , desde la vertical.



Probeta normalizada vista desde arriba. El péndulo golpea la cara opuesta a la entalla. La banda naranja es la sección resistente: $10 \times 8 = 80 \text{ mm}^2$.

Las fórmulas

$$E = m \cdot g \cdot (h_0 - h_1)$$

Energía absorbida en **julios**, con m en kg, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ y las alturas en **metros**.

$$\rho = E / S_0$$

Resiliencia: energía absorbida por unidad de **sección resistente**, la que queda bajo la entalla. Se da en J/cm^2 (o J/mm^2).

$$h = L \cdot (1 - \cos \theta)$$

Altura a partir de la longitud del péndulo y el ángulo desde la vertical. Vale para h_0 (con α) y para h_1 (con β).

$$E = m \cdot g \cdot L \cdot (\cos \beta - \cos \alpha)$$

La misma energía si el enunciado da los **ángulos** en lugar de las alturas.

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_0}$$

Velocidad del péndulo justo antes del impacto, sin rozamiento.

$$1 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 9,81 \text{ J}$$

Si la energía viene en $\text{kgf} \cdot \text{m}$, pásala a julios. Y recuerda: $1 \text{ cm}^2 = 100 \text{ mm}^2$.

La sección resistente

La sección que cuenta es la que queda **debajo de la entalla**, no la de la probeta entera. Es el error más frecuente en los ejercicios.

PROBETA DE 10 × 10 MM	PROFUNDIDAD ENTALLA	SECCIÓN RESISTENTE S_0
Entalla en V (45°, radio 0,25 mm)	2 mm	$10 \times 8 = 80 \text{ mm}^2 = 0,8 \text{ cm}^2$
Entalla en U (radio 1 mm)	5 mm	$10 \times 5 = 50 \text{ mm}^2 = 0,5 \text{ cm}^2$
Entalla de profundidad x	x mm	$10 \times (10 - x) \text{ mm}^2$

Si el enunciado da otras medidas, aplica siempre: anchura × (altura – profundidad de la entalla).

Cómo se expresa el resultado

La norma da la energía absorbida con este formato. En los ejercicios se suele pedir además la resiliencia.

K	V	2	= 121 J
energía absorbida	tipo de entalla (V o U)	subíndice: radio del percutor en mm (2 u 8)	valor en julios

EXPRESIÓN	SIGNIFICADO
$KV_2 = 121 \text{ J}$	Probeta con entalla en V, percutor de 2 mm, energía absorbida de 121 J.
$KU_8 = 45 \text{ J}$	Probeta con entalla en U, percutor de 8 mm, energía absorbida de 45 J.
$\rho = 151 \text{ J/cm}^2$	Resiliencia: 121 J entre una sección de $0,8 \text{ cm}^2$.

En libros antiguos verás la resiliencia como KCV o KCU, en J/cm^2 o en $\text{kgf} \cdot \text{m/cm}^2$.

Condiciones del ensayo

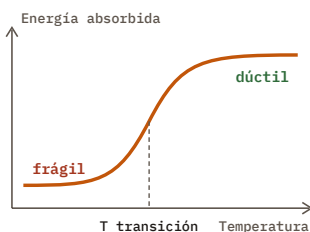
Valores de la norma UNE-EN ISO 148-1 que conviene conocer.

CONDICIÓN	VALOR	POR QUÉ
Dimensiones de la probeta	10 × 10 × 55 mm	Solo se comparan resultados de probetas iguales.
Distancia entre apoyos	40 mm	La entalla queda centrada entre ellos.
Posición del golpe	cara opuesta	El péndulo golpea por detrás de la entalla, que trabaja a tracción.
Velocidad de impacto	5–5,5 m/s	La rotura debe ser rápida, como en un choque real.
Temperatura	23 ± 5 °C	Salvo que se indique otra: la energía cambia mucho con la temperatura.
Energía inicial habitual	300 J	La energía absorbida nunca puede superar la inicial, $m \cdot g \cdot h_0$.

Transición dúctil-frágil

Muchos aceros son tenaces a temperatura ambiente pero se vuelven **frágiles en frío**.

Ensayando a varias temperaturas se obtiene esta curva, y la zona donde cae bruscamente es la **temperatura de transición**.



Curva esquemática de un acero. Las aleaciones de aluminio y de cobre no tienen una transición marcada.

	DÚCTIL	FRÁGIL
Energía	Alta	Baja
Fractura	Fibrosa, mate, con deformación	Cristalina, brillante y plana
Temperatura	Por encima de la transición	Por debajo de la transición

Ejemplo rápido

Péndulo de 20 kg y 0,9 m de brazo, soltado a 120° de la vertical. Tras romper una probeta de 10 × 10 mm con entalla en V de 2 mm, sube hasta 40°.

$$h_0 = 0,9 \cdot (1 - \cos 120^\circ) = 0,9 \cdot 1,5 = 1,35 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,9 \cdot (1 - \cos 40^\circ) = 0,9 \cdot 0,234 \approx 0,211 \text{ m}$$

$$E = 20 \cdot 9,81 \cdot (1,35 - 0,211) \approx 223,6 \text{ J}$$

$$S_0 = 10 \cdot (10 - 2) = 80 \text{ mm}^2 = 0,8 \text{ cm}^2 \rightarrow \rho = 223,6 / 0,8 \approx 279,5 \text{ J/cm}^2$$

$$E \approx 223,6 \text{ J} \cdot \rho \approx 279,5 \text{ J/cm}^2$$

Velocidad de impacto: $v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,35} \approx 5,15 \text{ m/s}$, dentro del rango de la norma.

Ojo: $\cos 120^\circ = -0,5$, por eso $1 - \cos 120^\circ = 1,5$.

Ventajas e inconvenientes

Ventajas

- Rápido, sencillo y barato.
- Mide la tenacidad frente a golpes, algo que el ensayo de tracción no muestra.
- Detecta la temperatura de transición y la fragilidad causada por tratamientos térmicos o soldaduras.
- Muy usado en control de calidad para comparar lotes.

Inconvenientes

- El resultado depende mucho de la forma de la entalla y de la probeta.
- Solo sirve para comparar: no da un valor para cálculo directo de piezas.
- Los resultados tienen dispersión: se ensayan varias probetas y se hace la media.

Antes de entregar, comprueba

- ☐ He puesto la masa en kg y las alturas en m, para obtener la energía en J.
- ☐ He comprobado desde dónde se miden los ángulos: estas fórmulas son para ángulos desde la vertical.
- ☐ He tenido en cuenta que el coseno de un ángulo mayor de 90° es negativo.
- ☐ He usado la sección **bajo la entalla**, no la sección completa de la probeta.
- ☐ He dado la resiliencia en las unidades que pide el enunciado (J/cm^2 o J/mm^2).
- ☐ He pasado a julios si algún dato venía en $\text{kgf}\cdot\text{m}$.
- ☐ La energía absorbida es menor que la inicial ($m\cdot g\cdot h_0$) y h_1 es menor que h_0 .