

TEMA V

Comportamiento en Rotura

LECCIÓN 6

Fractura súbita y Tenacidad

6.1 MECÁNICA DE LA FRACTURA

Barcos Liberty (1941-45)

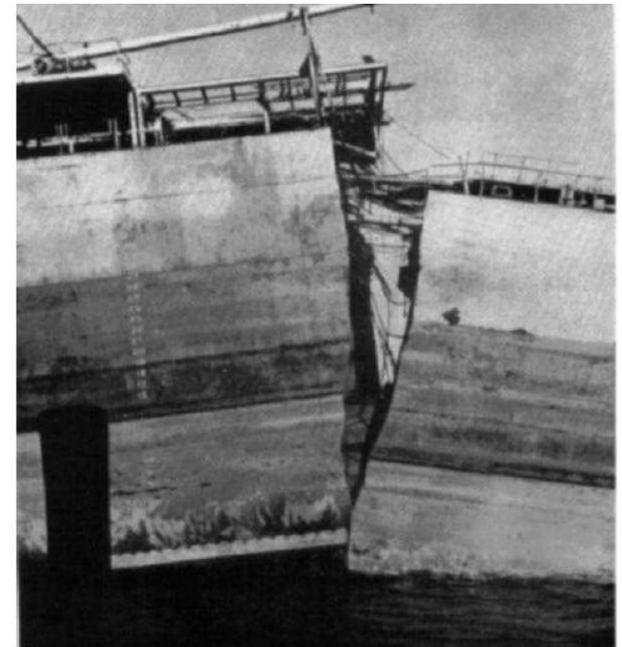


Barcos construidos: 2700

Barcos con roturas: 400

Roturas graves : 90

Fallo total: 20 (10 de ellos partidos en dos)



Plataforma "Alexander Kielland" (1980)



Transbordador espacial Challenger (1986)



Aloha Airlines Boeing 737 (1988)



Petrolero Prestige (2002)



Conceptos básicos

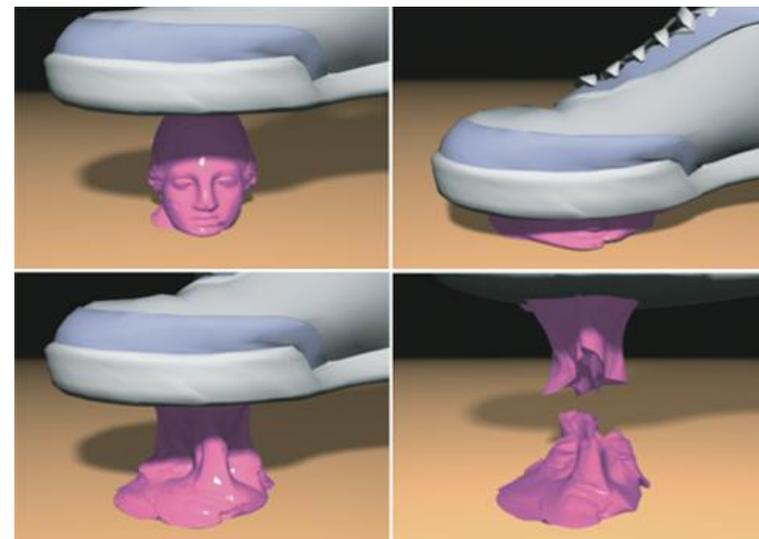
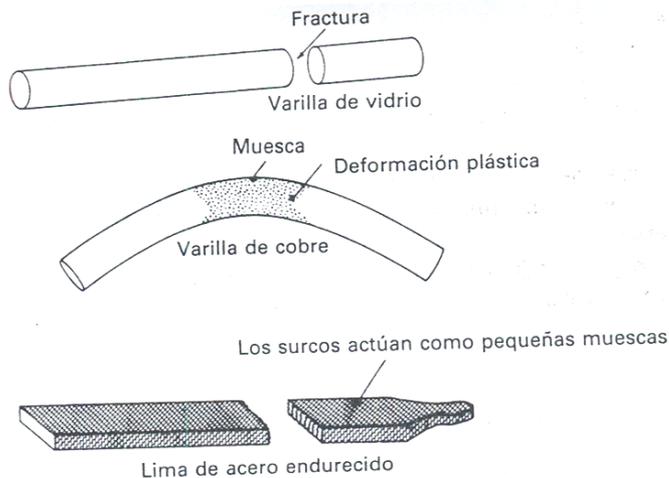
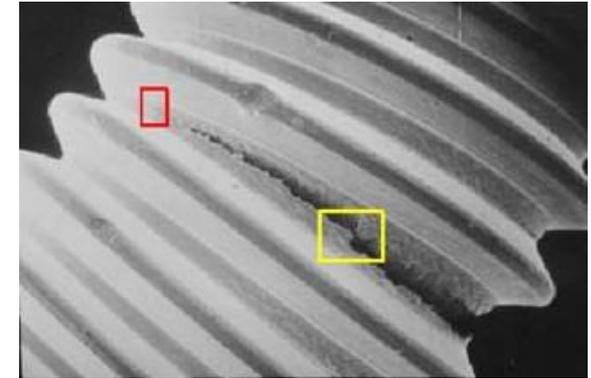
Fractura: separación de un cuerpo en 2 o más partes tras una sollicitación mecánica.

El proceso de fractura consta de 2 etapas: **formación** y **propagación** de fisura

Tipos de Fractura:

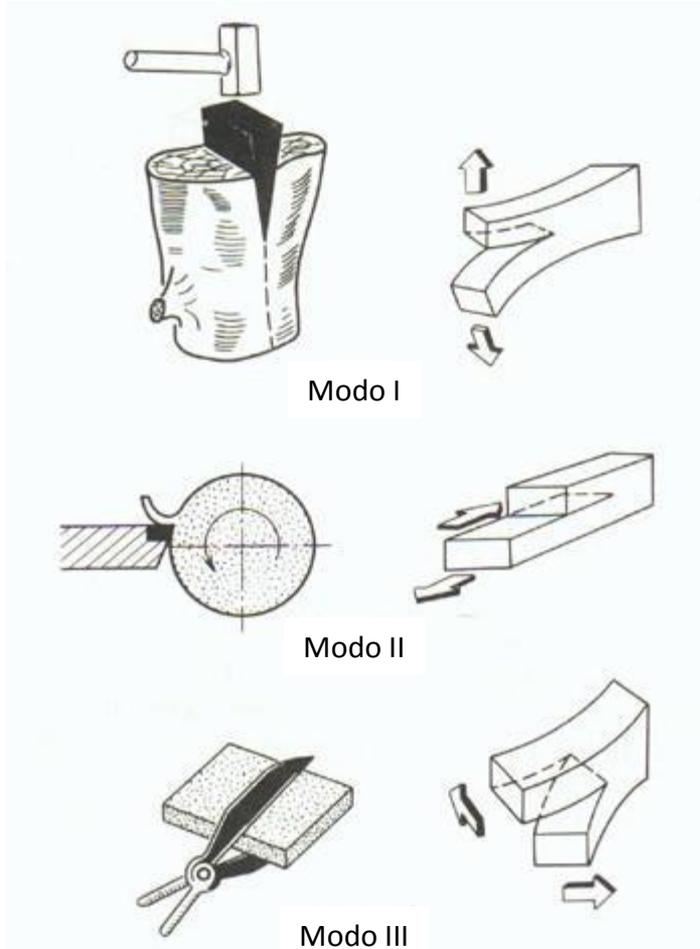
DÚCTIL: con deformación plástica previa a la rotura.

FRÁGIL: sin deformación plástica, súbita y catastrófica, con propagación rápida de fisura.



Mecánica de la Fractura: disciplina que estudia el comportamiento del material en presencia de defectos

6.2 MODOS DE FRACTURA



MODO I: modo de abertura

MODO II: modo de deslizamiento

MODO III: modo de desgarro

6.3 TENACIDAD A FRACTURA

Condición de rotura

$$K = K_c \quad \equiv \quad Y\sigma\sqrt{\pi a} = \sqrt{E G_c}$$

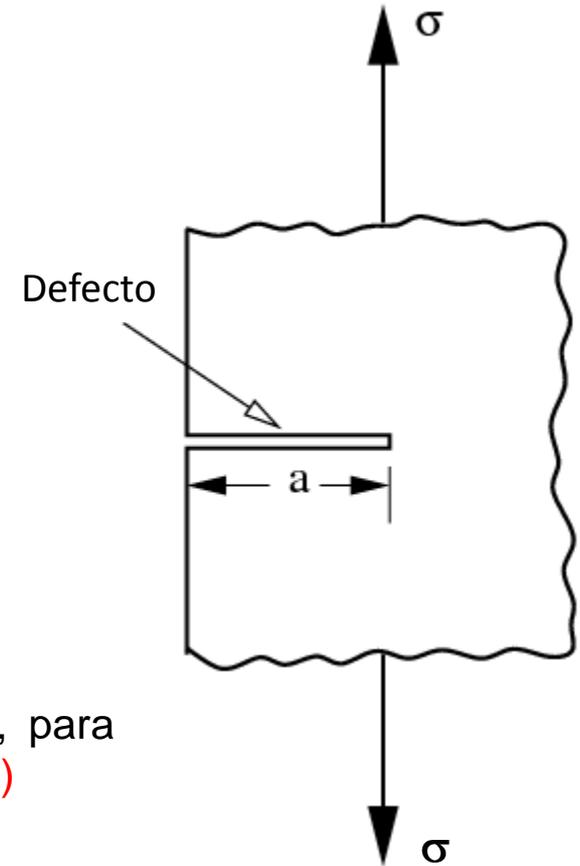
K: factor de intensidad de tensiones $K = f(Y, \sigma, a)$

- **Y:** Factor geométrico (adimensional)
- **σ :** Tensión aplicada al componente (MPa)
- **a:** Tamaño del defecto (m)

K_c : tenacidad a fractura (propiedad del material)

- **E:** Módulo elástico del material (MPa)
- **G_c :** Energía necesaria, por unidad de área, para crear nuevas superficies de rotura (kJ/m²)

Unidades (SI): MPa·m^{1/2} o MN·m^{-3/2}



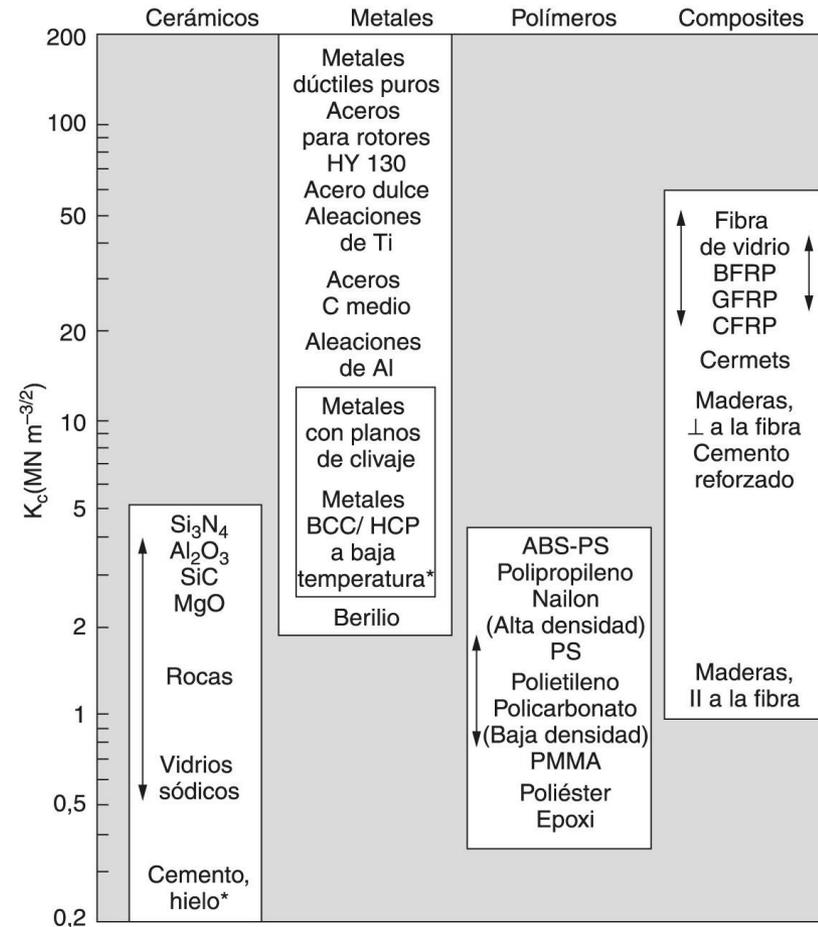
La fractura súbita de un elemento estructural tiene lugar cuando el factor de intensidad de tensiones (**K**) alcanza un valor crítico, que es precisamente la tenacidad a fractura del material (**K_c**)

6.4 VALORES DE LA TENACIDAD A FRACTURA

Tenacidad, G_c , y tenacidad a la fractura, K_{Ic} .

Material	G_c (kJ m^{-2})	K_{Ic} ($\text{MN m}^{-3/2}$)
Metales dúctiles puros (p.ej. Cu, Ni, Ag, Al)	100-1000	100-350
Aceros para rotores (A533; Discalloy)	220-240	204-214
Aceros para vasijas a presión (HY130)	150	170
Aceros de alta resistencia (HSS)	15-118	50-154
Aceros suaves	100	140
Aleaciones de titanio (Ti6Al4V)	26-114	55-115
GFRP	10-100	20-60
Fibra de vidrio (fibra de vidrio /epoxi)	40-100	42-60
Aleaciones de aluminio (alta y baja resistencia)	8-30	23-45
CFRP	5-30	32-45
Maderas comunes, grieta \perp a la fibra	8-20	11-13
Fibra de boro-epoxi	17	46
Acero C medio	13	51
Polipropileno, PP	8	3
Polietileno (baja densidad), LDPE	6-7	1
Polietileno (alta densidad), HDPE	6-7	2
ABS poliestireno	5	4
Nailon, PA	2-4	3
Hormigón armado	0,2-4	10-15
Fundición	0,2-3	6-20
Poliestireno, PS	2	2
Maderas comunes, grieta \parallel a la fibra	0,5-2	0,5-1
Polycarbonato, PC	0,4-1	1,0-2,6
Cermets carburo de cobalto/wolframio	0,3-0,5	14-16
Polimetacrilato de metilo, PMMA	0,3-0,4	0,9-1,4
Epoxi	0,1-0,3	0,3-0,5
Granito (granito Westerly)	0,1	3
Poliéster	0,1	0,5
Nitruro de silicio, Si_3N_4	0,1	4-5
Berilio	0,08	4
Carburo de silicio, SiC	0,05	3
Magnesia, MgO	0,04	3
Cemento/hormigón no reforzado	0,03	0,2
Calcita (mármol, caliza)	0,02	0,9
Alúmina, Al_2O_3	0,02	3-5
Esquisto (petrolífero)	0,02	0,6
Vidrio sódico	0,01	0,7-0,8
Porcelana eléctrica	0,01	1
Hielo	0,003	0,2*

* Valores a temperatura ambiente excepto el señalado.



6.5 DISEÑO BASADO EN LA MECÁNICA DE LA FRACTURA

Variables a considerar

- Tenacidad a fractura (K_c)
- Tensión aplicada (σ)
- Tamaño de defecto (a)

- Ejemplo: K_c y a fijadas por una aplicación específica

Tensión admisible:

$$\sigma_c = \frac{K_c}{Y \sqrt{\pi a}} \Rightarrow \sigma_{diseño} = \frac{\sigma_c}{S}$$

S : Coeficiente de seguridad

Si por el contrario σ y K_c están prefijadas

$$a_c = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_c}{\sigma \cdot Y} \right)^2$$

6.6 ASPECTOS FÍSICOS DE LA ROTURA DÚCTIL

Macroscópicos

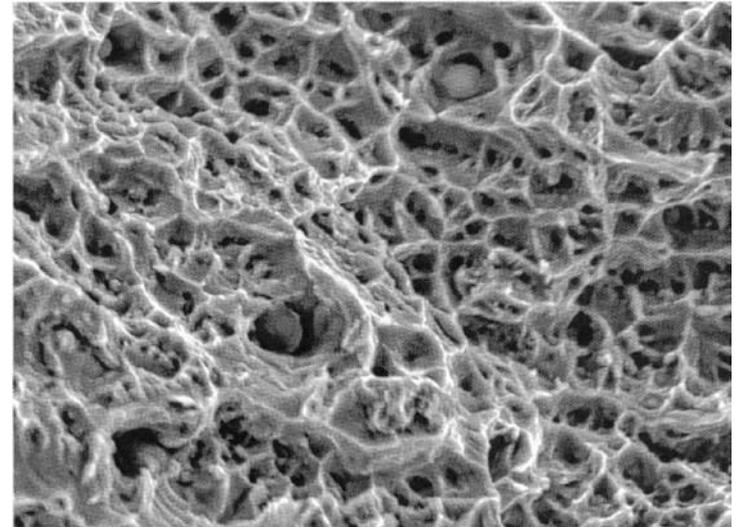
- Mecanismo de propagación de fisuras por desgarro
- Propio de materiales dúctiles (metales y aleaciones)
- Gran cantidad de deformación plástica
- Superficie de fractura muy rugosa y mate



1 mm

Microscópicos

- Gran zona plástica en fondo de fisura
- Formación y crecimiento de microhuecos
- Enromamiento del fondo de fisura
- Gran consumo de energía (alto G_c)



50 μm

6.7 ASPECTOS FÍSICOS DE LA ROTURA FRÁGIL

Macroscópicos

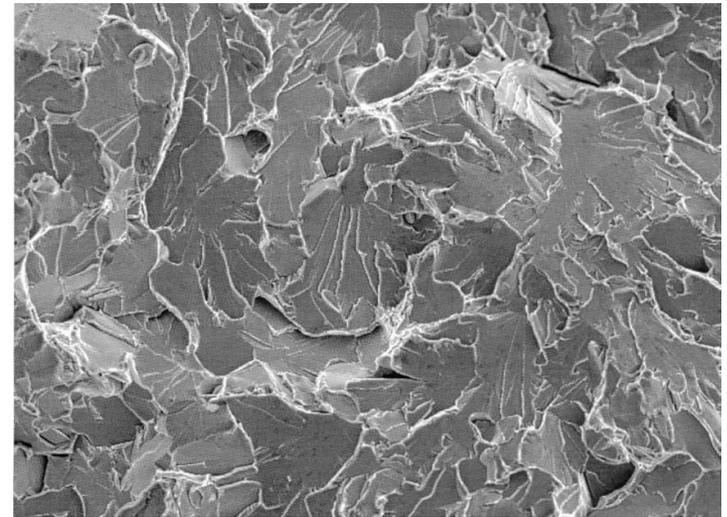
- Mecanismo de propagación de fisuras por clivajes
- Propio de materiales frágiles (cerámicos y vidrios)
- Muy pequeña o nula deformación plástica
- Superficie de fractura lisa y brillante



5 mm

Microscópicos

- Pequeña zona plástica en el fondo de fisura
- Despegue de planos cristalográficos (clivajes)
- No enromamiento (o poco) del fondo de fisura
- Pequeño consumo de energía (bajo G_c)



50 μm

6.8 TENACIDAD AL IMPACTO

Es la capacidad de un material para resistir cargas dinámicas de impacto.

La tenacidad combina la resistencia y deformabilidad de un material, expresándose como el **trabajo** desarrollado por éste cuando se deforma y rompe por efecto de una fuerza súbita exterior.

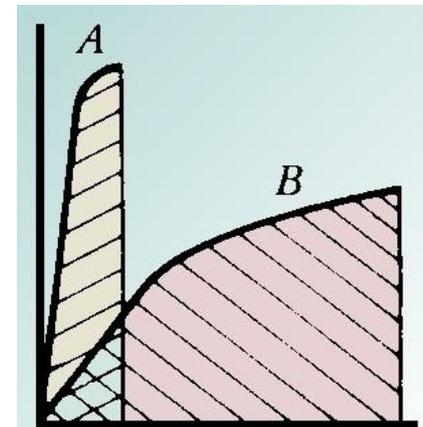
Los materiales tenaces absorben con facilidad la energía cinética de una masa que choca contra ellos.

Resistencia al impacto: energía consumida en la rotura producida por el choque de otro cuerpo. El principal método para determinar esta propiedad es el **ensayo Charpy**

La **energía de impacto** corresponde al área delimitada por la curva fuerza -desplazamiento.

La **energía de impacto por unidad de volumen** se corresponde con el área delimitada por la curva tensión-deformación.

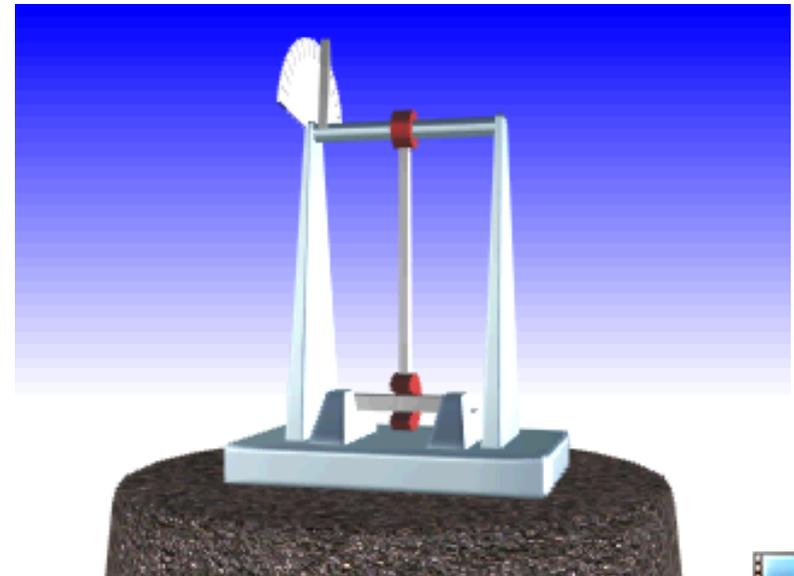
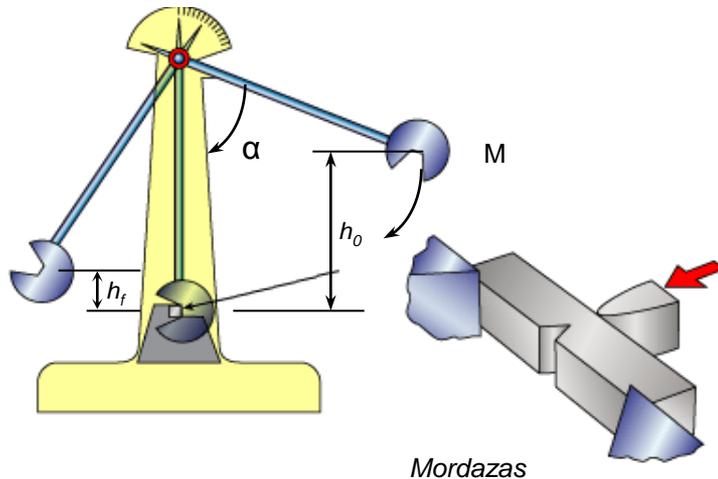
Fuerza
Tensión



Desplazamiento
Deformación

Ensayo Charpy

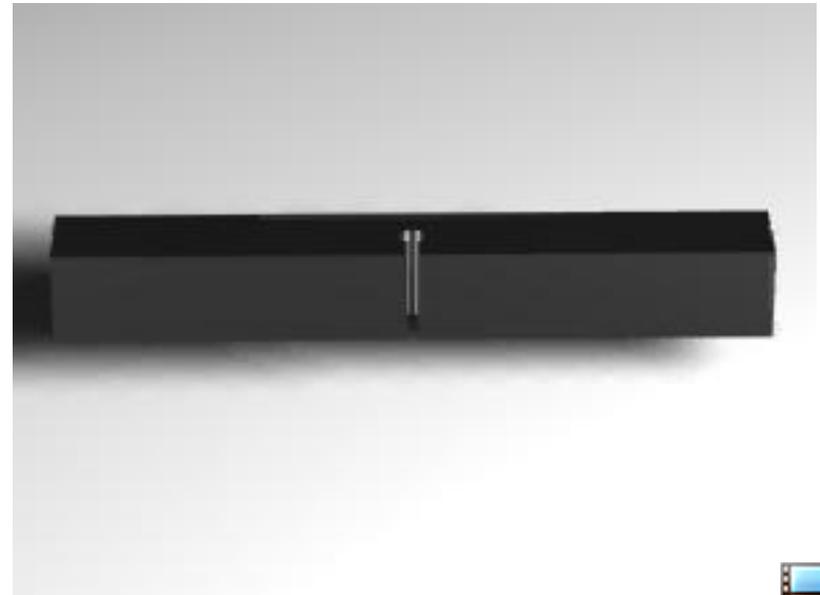
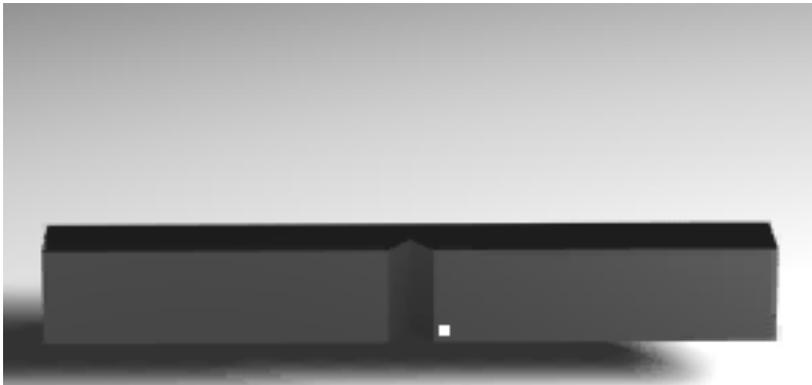
Las máquinas utilizadas constan de un péndulo provisto de una maza que parte de una altura h_0 , cae describiendo un arco, golpea y rompe la probeta, alcanzando una elevación menor al final, h_f . Con estos valores se calcula la **diferencia de energía potencial**, que es la energía de impacto absorbida por la probeta durante su rotura.



Probetas Charpy

Las muescas provocadas por mecanizado, fabricación o diseño deficientes, ocasionan concentración de esfuerzos, reduciendo la tenacidad del material.

La **sensibilidad a las entallas** de un material puede evaluarse comparando las energías absorbidas por probetas con entalla y sin ella. Las energías absorbidas por probetas con entalla son mucho menores si el material es sensible a este tipo de defectos



Resultados

Curva de transición dúctil – frágil

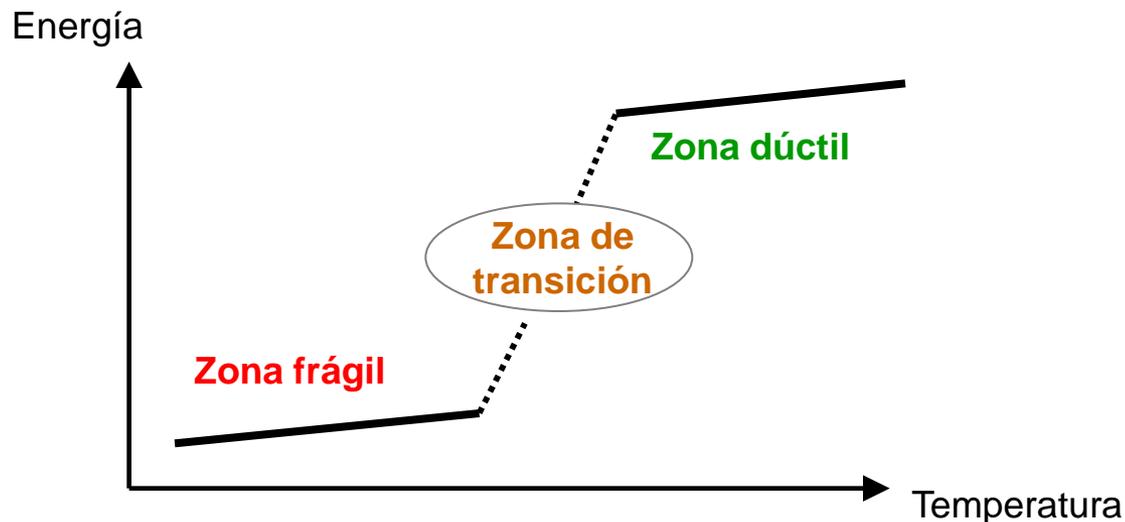
El ensayo Charpy se realiza a varias temperaturas para definir la curva de transición dúctil – frágil

Su principal uso es la selección de materiales resistentes a la rotura frágil

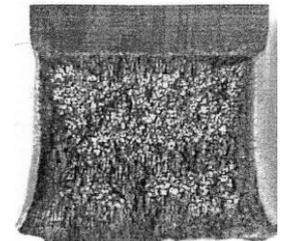
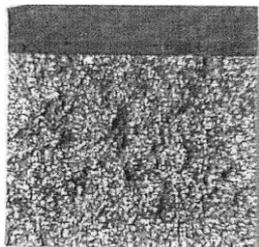
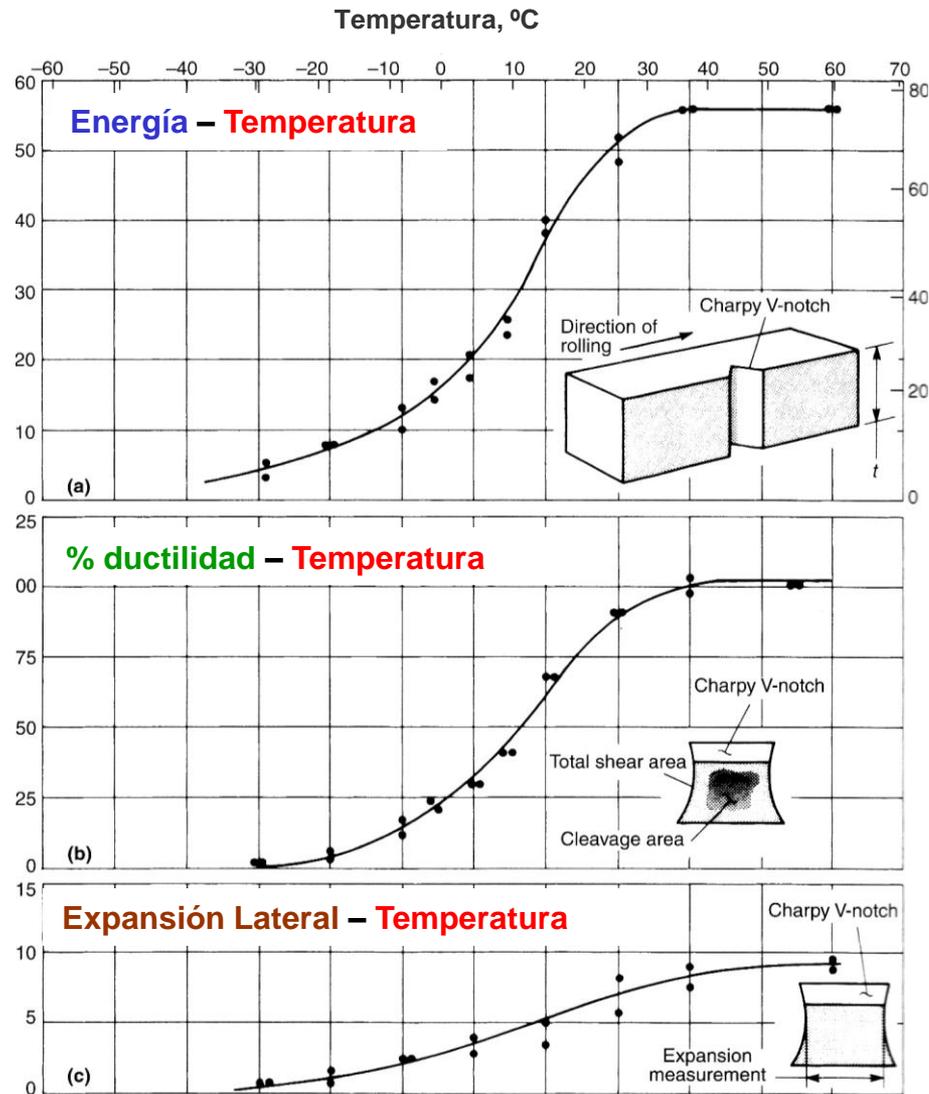
A bajas temperaturas el material se comporta de forma **frágil** (energía absorbida pequeña)

A altas temperaturas el comportamiento será **dúctil** (energía absorbida alta)

Zona intermedia: Zona de **transición** (salto brusco)



Curva de transición dúctil – frágil



6.9 ACTIVIDADES DE SEGUIMIENTO