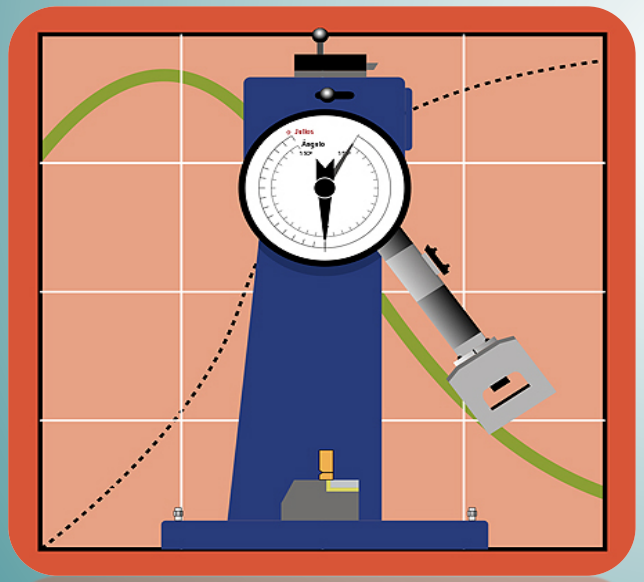
Materiales-G704/G742

Lección 6. Fractura súbita y tenacidad



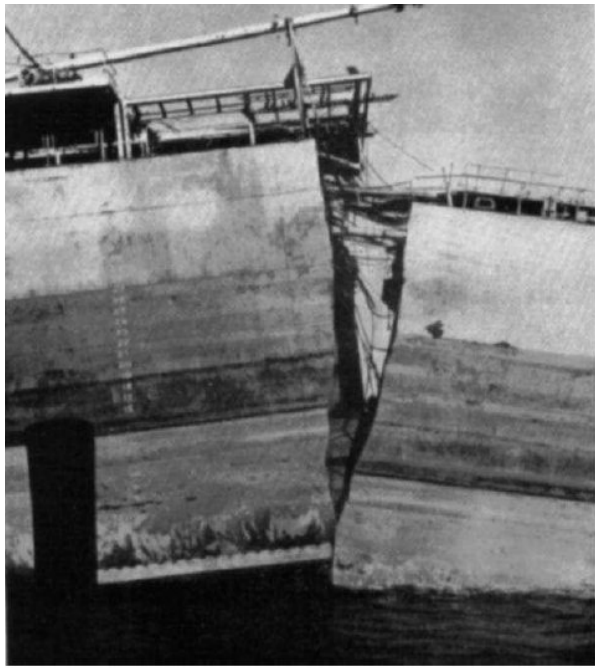
Jesús Setién Marquínez
Jose Antonio Casado del Prado
Soraya Diego Cavia
Carlos Thomas García

Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales

Este tema se publica bajo Licencia:
Creative Commons BY-NC-SA 4.0

6.1 MECÁNICA DE LA FRACTURA

Barcos Liberty (1941-45)



Barcos construidos: 2.700.

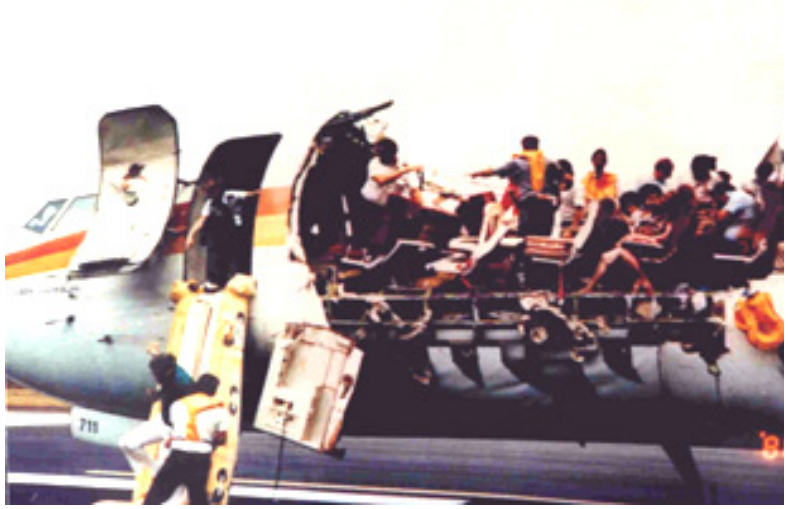
Barcos con roturas: 400.
Roturas graves : 90.
Fallo total: 20 (10 de ellos partidos en dos).

Materiales

Plataforma "Alexander Kielland" (1980)

Transbordador espacial Challenger (1986)

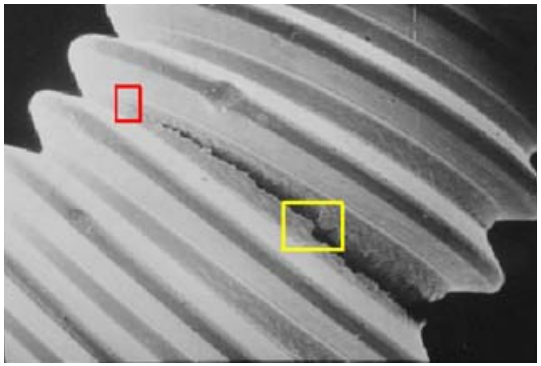
Aloha Airlines Boeing 737 (1988)



Petrolero Prestige (2002)

Materiales

Conceptos básicos



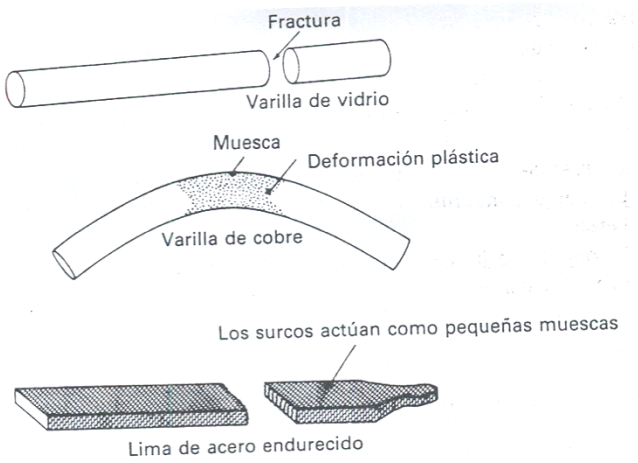
Fractura: separación de un cuerpo en 2 o más partes tras una solicitación mecánica.

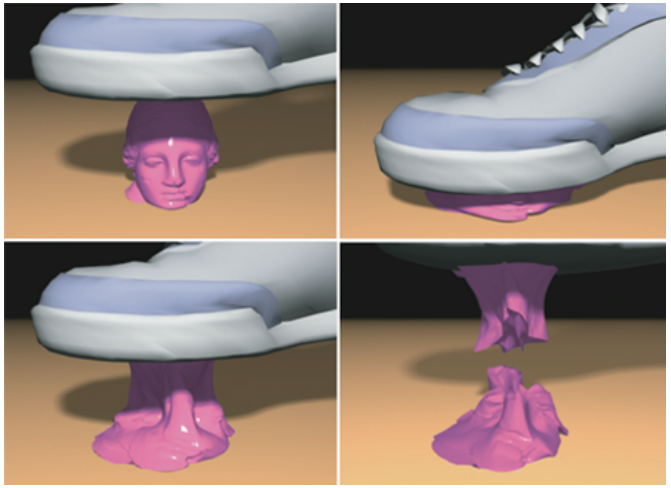
El proceso de fractura consta de 2 etapas: formación y propagación de fisura.

- **Tipos de fractura:**

- DÚCTIL: con deformación plástica previa a la rotura.

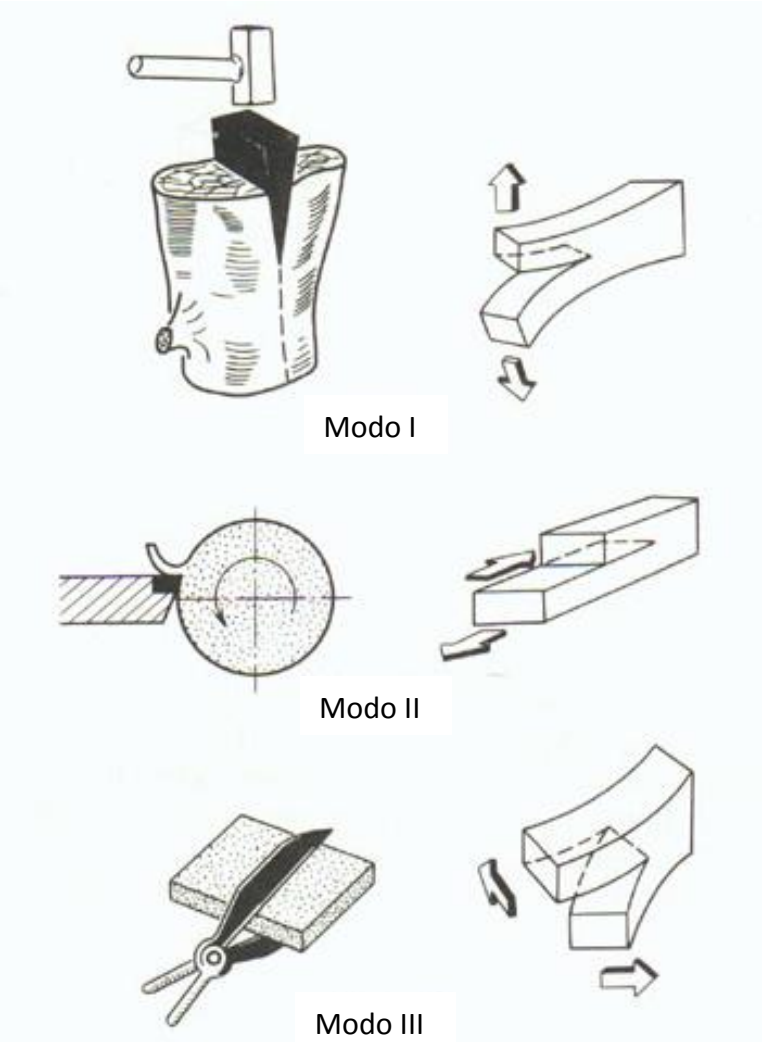
- FRÁGIL: sin deformación plástica, súbita y catastrófica, con propagación rápida de fisura.





- **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.

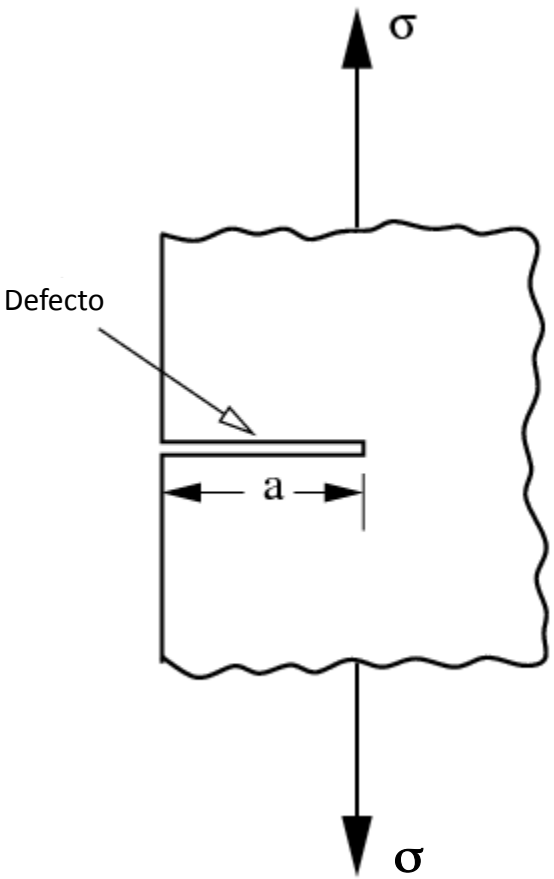
MODO II: modo de deslizamiento.

MODO III: modo de desgarro.

6.3 TENACIDAD A FRACTURA

- **Condición de rotura:**

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



K: factor de intensidad de tensiones K = f(Y, σ, 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/m^2).

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

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).

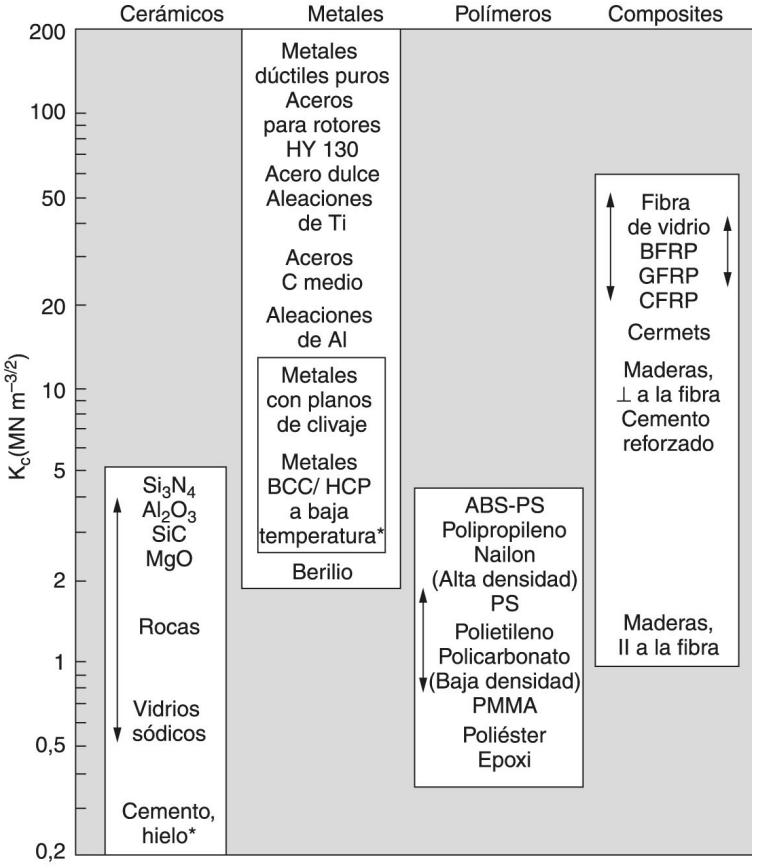
Materiales

6.4 VALORES DE LA TENACIDAD A FRACTURA

Tenacidad, G_c, y tenacidad a la fractura, K_c.

Material	G_c *(kJ m^{-2})*	K_c *(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 ⊥ 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 || a la fibra	0,5-2	0,5-1
Policarbonato, 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.

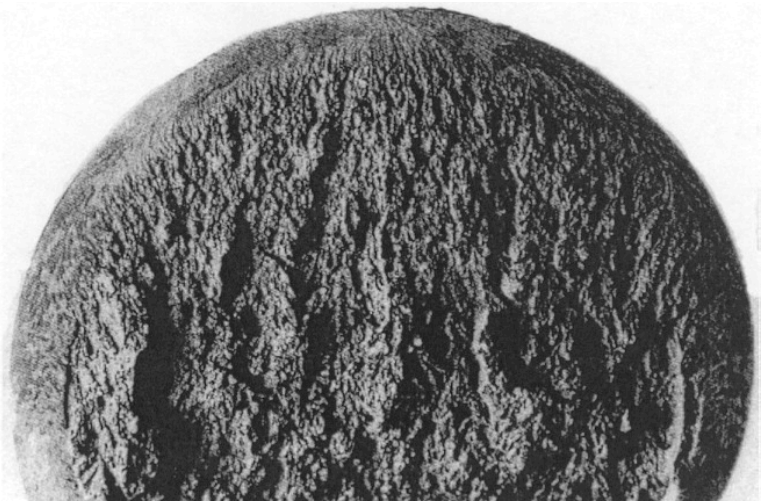
Si por el contrario σ y K_c están prefijadas:

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

6.6 ASPECTOS FÍSICOS DE LA ROTURA DÚCTIL

Macroscópicos

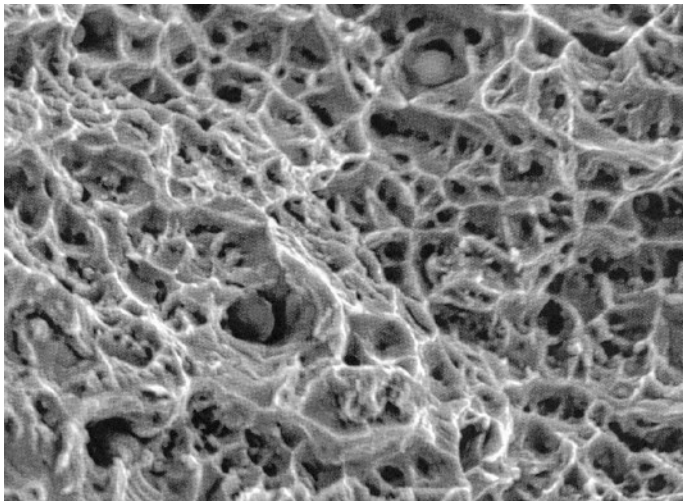
Mecanismo de propagación de fisuras por desgarro.
Propio de materiales dúctiles (metales y aleaciones).
Gran cantidad de deformación plástica.
Superficie de fractura muy rugosa y mate.



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

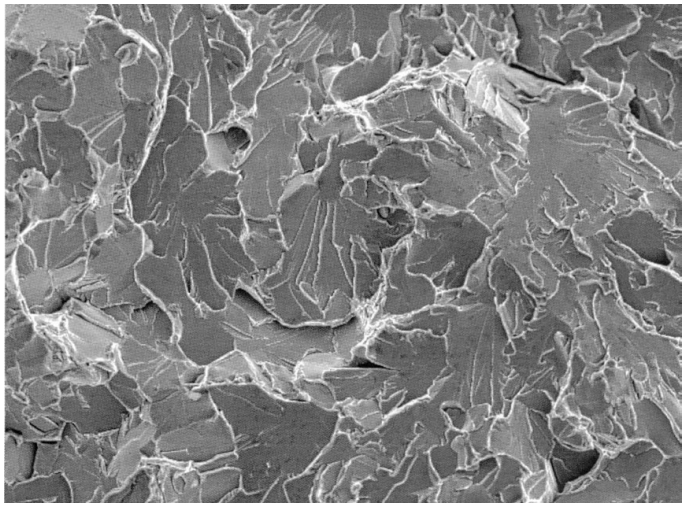
Macroscópicos

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.

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 Gc).

5 mm



50 μm

6.8 TENACIDAD AL IMPACTO

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

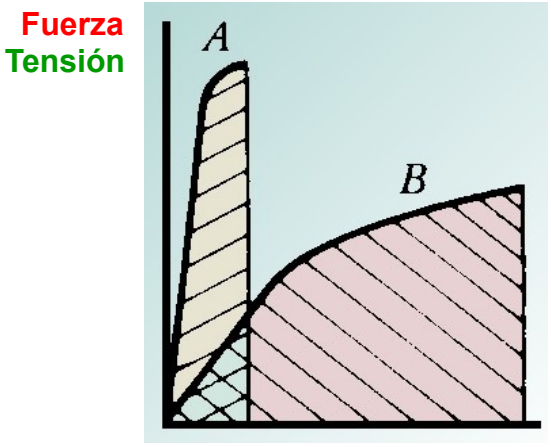
La tenacidad combina la resistencia y deformabilidad de un material, expresándose como el trabajo desarrollado por éste cuando se deforma y rompe por efecto de una fuerza súbita exterior.

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.

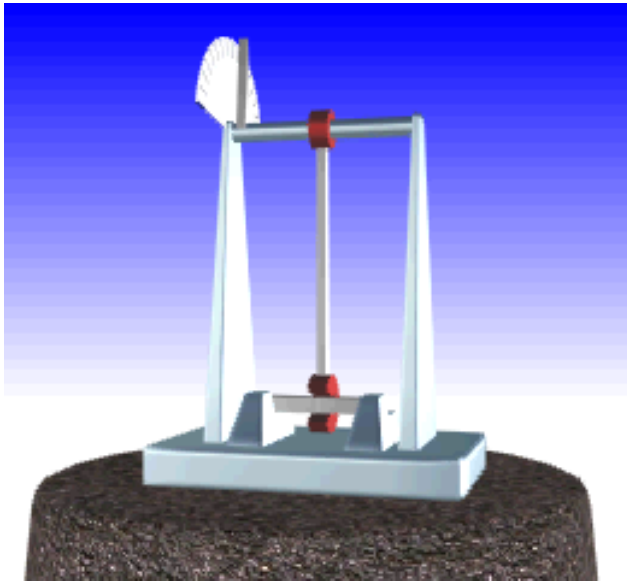
La energía de impacto por unidad de volumen se corresponde con el área delimitada por la curva Tensión – Deformación.

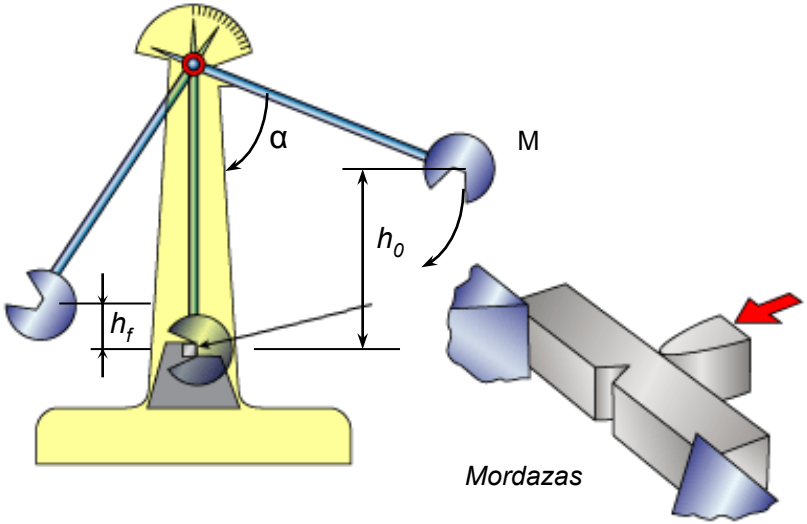


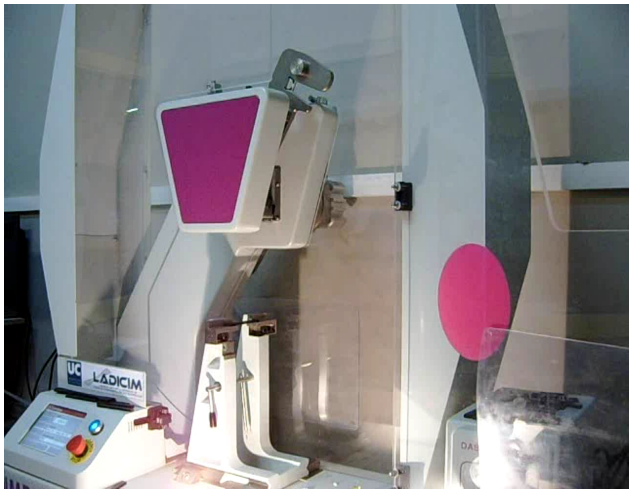
Materiales

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.



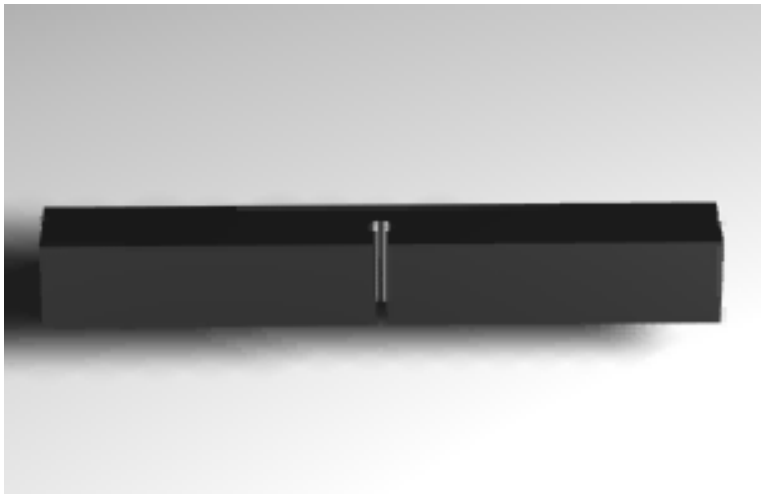




Probetas Charpy

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

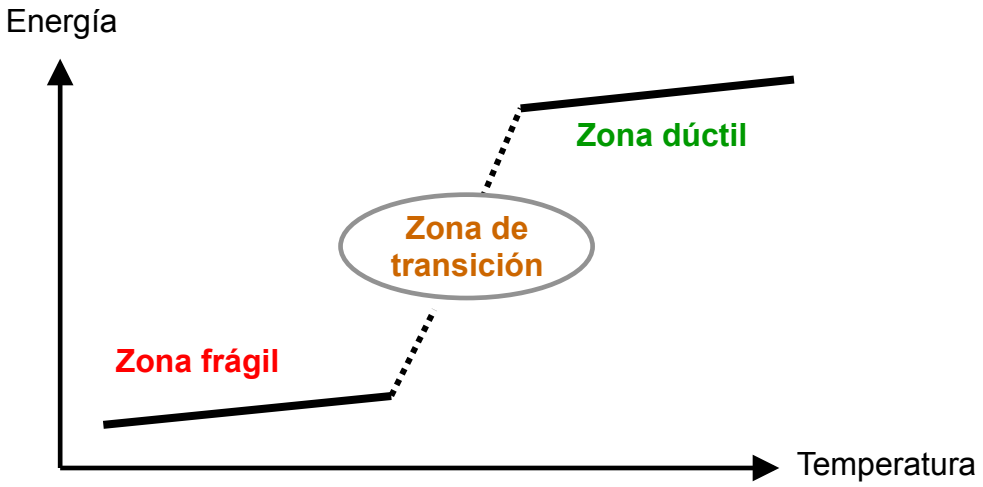
El ensayo Charpy se realiza a varias temperaturas para definir la curva de transición dúctil-frágil.

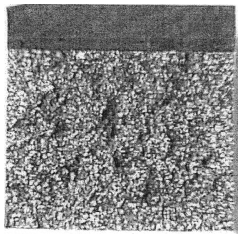
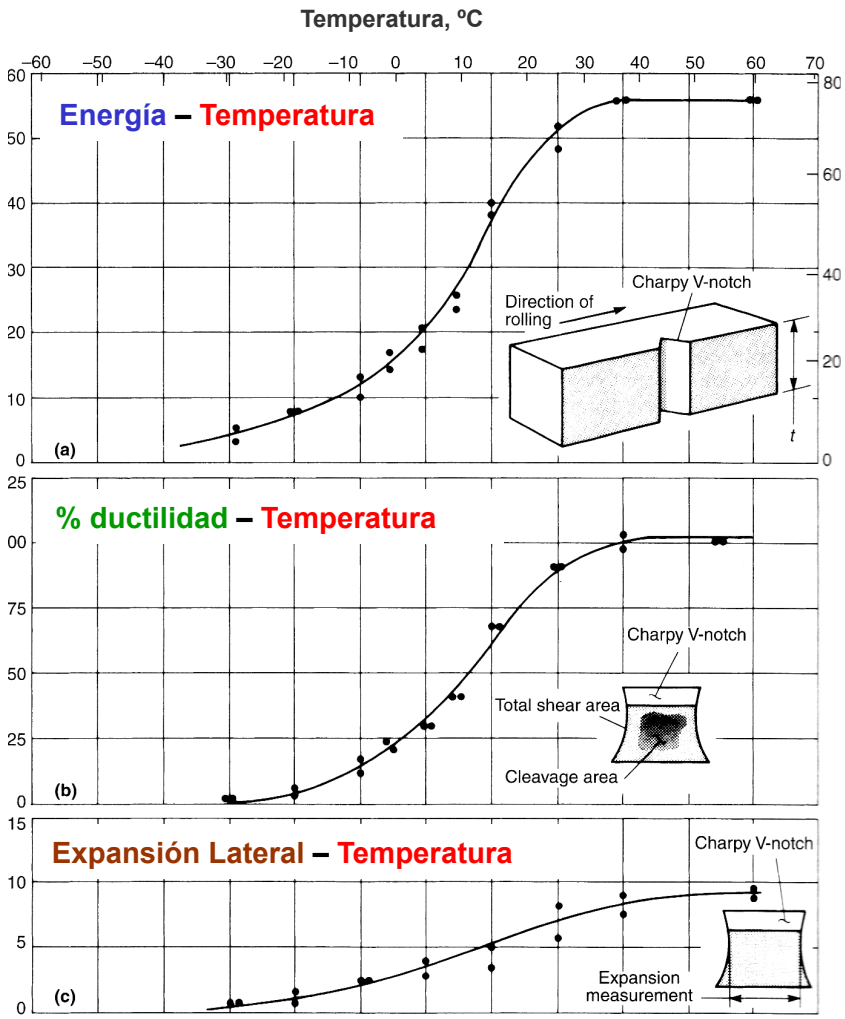
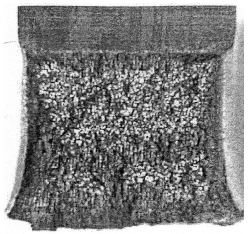
Su principal uso es la selección de materiales resistentes a la rotura frágil.

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).



Materiales

Curva de transición dúctil-frágil