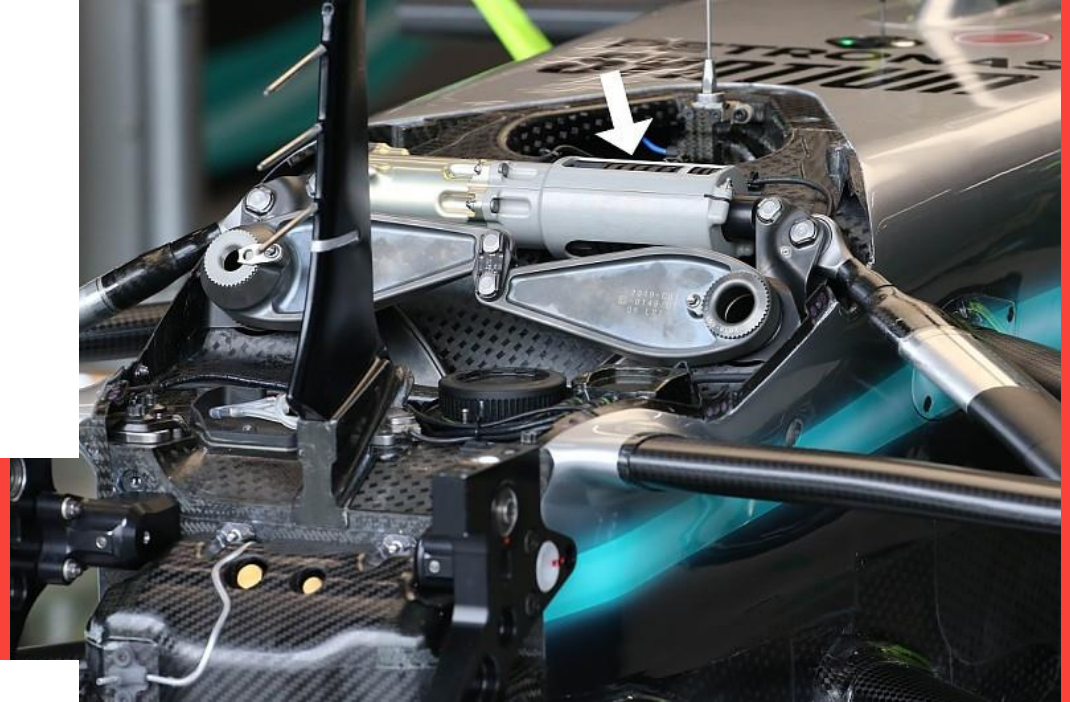


**ESNE**

Escuela Universitaria  
de Diseño, Innovación  
y Tecnología

# Ciencia de los Materiales



Grado en Diseño de Producto

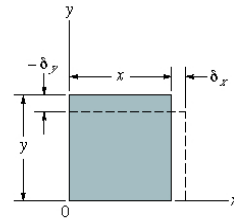
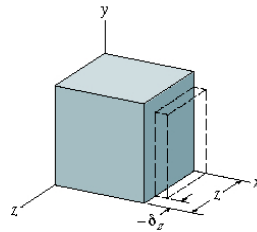
Guillermo Filippone

# Propiedades mecánicas

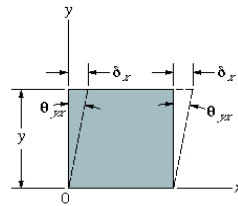
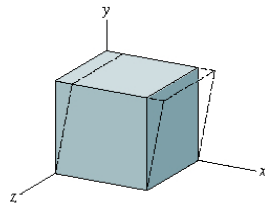
## Tensiones y deformaciones

### Estáticas

#### Deformaciones



Normales



Cortantes

(a)

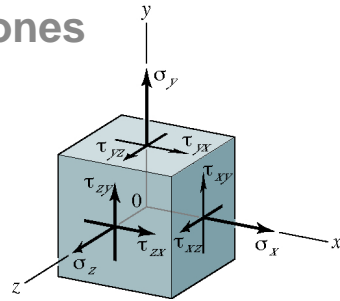
(b)

# Propiedades mecánicas

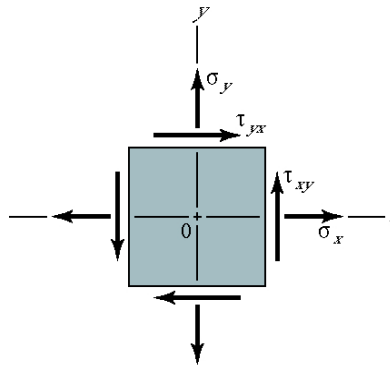
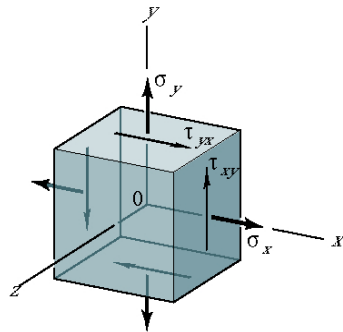
## Tensiones y deformaciones

### Estáticas

#### Tensiones



Estado tensional tridimensional



Estado plano de tensiones

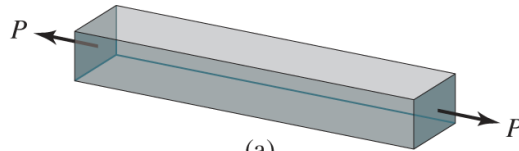
- (a) Representación tridimensional
- (b) Representación plana.

# Propiedades mecánicas

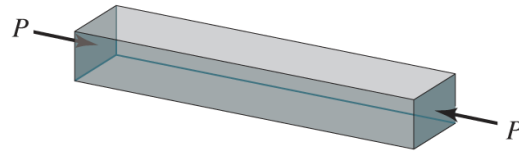
## Tensiones y deformaciones

### Estáticas

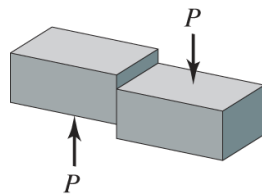
#### Tipos de cargas



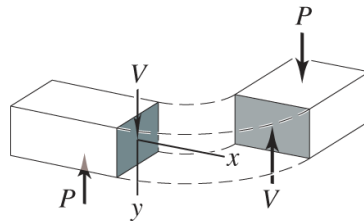
(a)



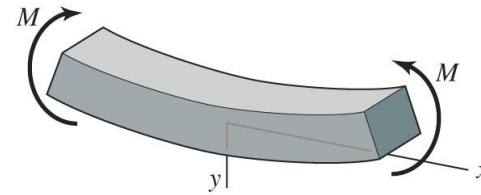
(b)



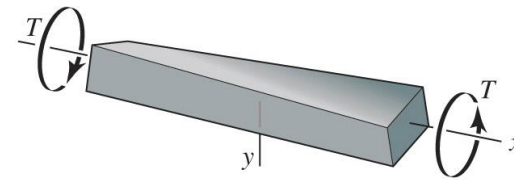
(c)



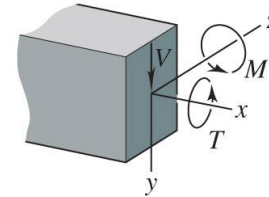
(d)



(e)



(f)



(g)

- (a) Tracción
- (b) Compresión
- (c) Cortadura
- (d) Flexión
- (e) Torsión
- (f) Cargas combinadas

## Ensayos de materiales

### Ensayos destructivos

#### Ensayos mecánicos

##### Estáticos:

tracción: fundamental para materiales dúctiles  
compresión: ensayo necesario para materiales frágiles  
flexión,  
torsión,  
dureza...

##### Dinámicos:

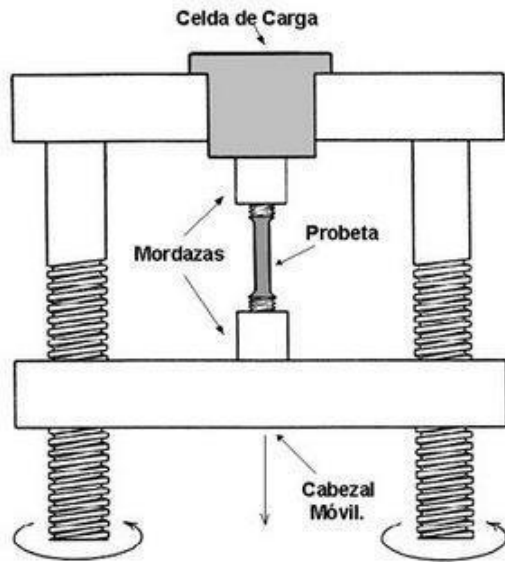
fatiga,  
vibraciones,  
desgaste...

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Cargas uniaxiales

#### Normales. Tracción



Máquina de  
ensayo de  
tracción

UNE-EN 10002-1.

Esquema ensayo  
de tracción



# Propiedades mecánicas

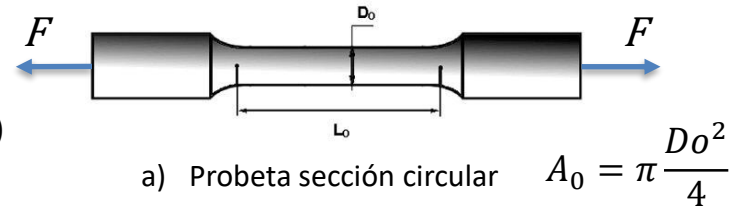
## Ensayos destructivos

### Cargas uniaxiales

#### Normales. Tracción

Tensión

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (= [Pa] = [10^{-6} MPa])$$



Deformación

$$\varepsilon_l = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

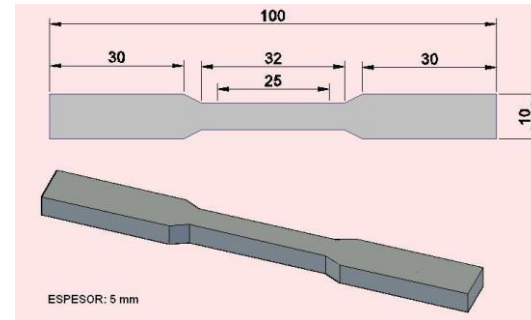
**Ductilidad**

Alargamiento específico  
( $l_i$ : longitud instantánea)

$$\varepsilon_A = \frac{A_0 - A_i}{A_0} = \frac{\Delta A}{A_0}$$

Reducción  
específica de área

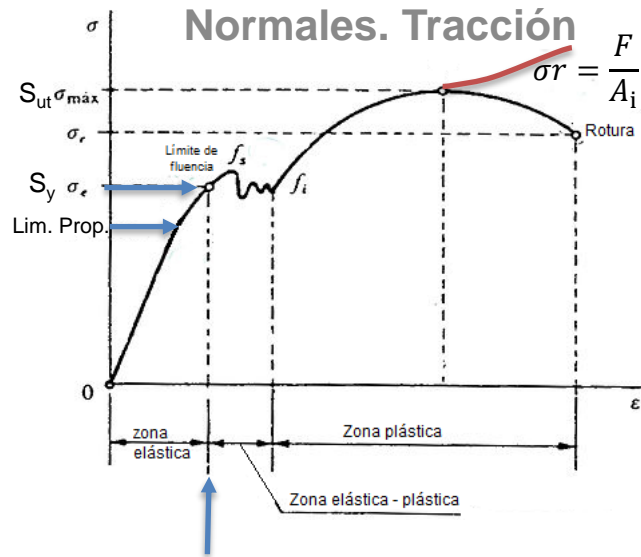
$$\nu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} \quad \text{Coeficiente de Poisson}$$



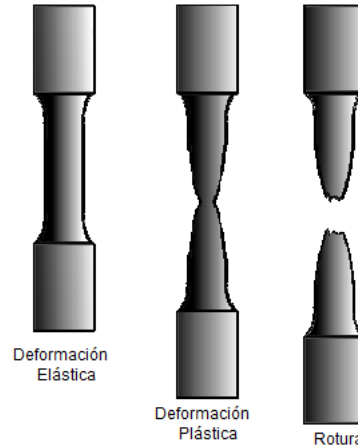
# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Cargas uniaxiales

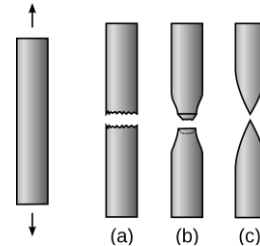


$\sigma = E \cdot \epsilon$  Ley de Hooke (Aceros)  
 E: Módulo de Young (rigidez)



### Rotura a tracción

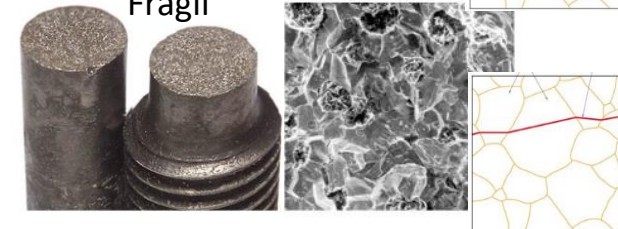
- a) Frágil
- b) Dúctil
- c) Plástico



### Dúctil



### Frágil



Aceros:

$S_y = 180 - 1500$  MPa

$S_{ut} = 320 - 1900$  MPa

Fundición:

$S_{ut} = 150 - 550$  MPa



# Propiedades mecánicas

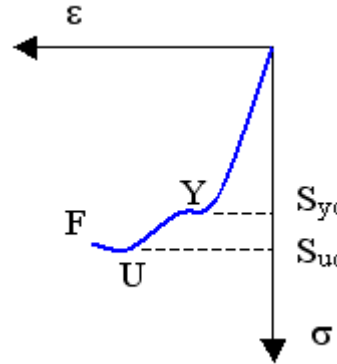
## Ensayos destructivos

### Cargas uniaxiales

#### Normales. Compresión



Rotura frágil



$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Ley de Hooke

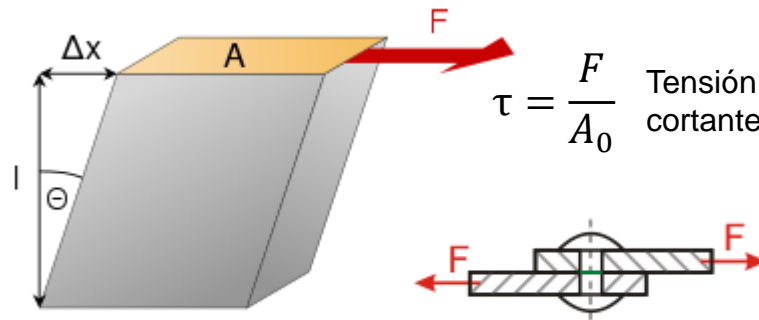
E: Módulo de Young (rigidez)

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Cargas uniaxiales

#### Cortantes. Cizalladura

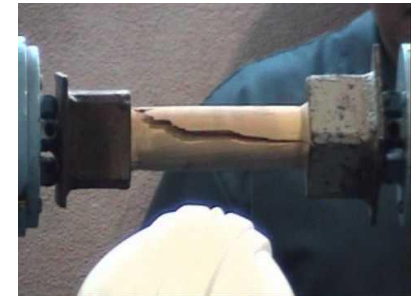
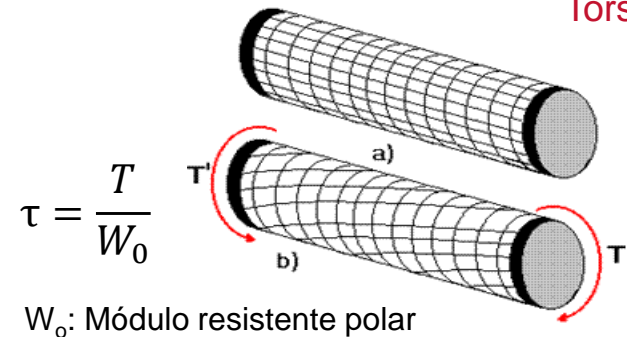


$$\tau = G \cdot \gamma \quad G: \text{Módulo de rigidez cortante}$$

$$E = 2G(1 + \nu); \nu: \text{Coef. Poisson } (\approx 0,3 \text{ metales})$$

$$\gamma = \frac{\Delta x}{l} = \tan \theta \quad \text{Deformación a cortadura}$$

#### Torsión

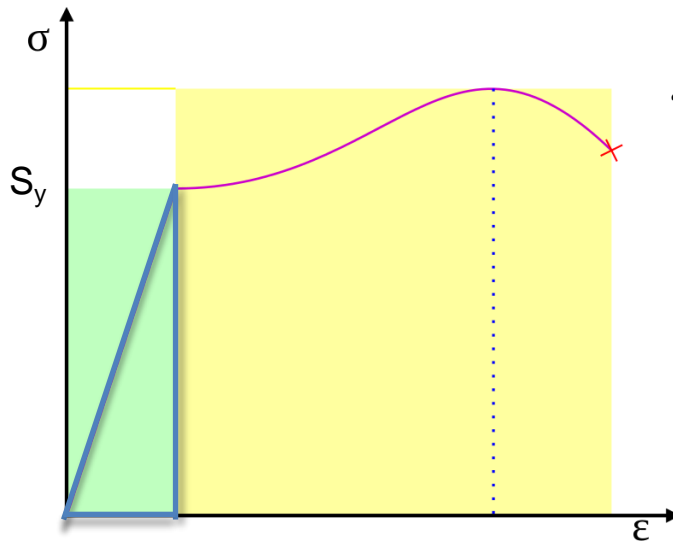


# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

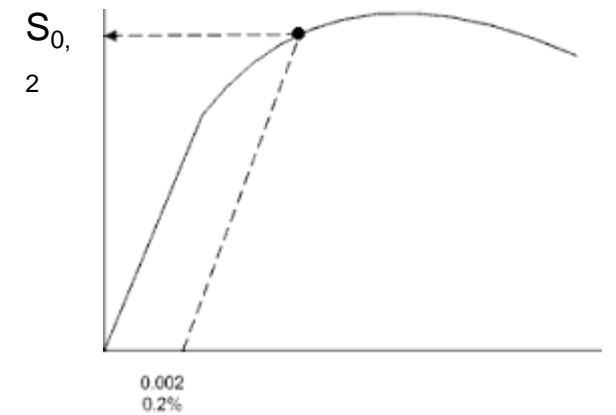
### Resiliencia

Energía elástica almacenada en un cuerpo



$$U_r = \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon$$

$$U_r = \frac{S_y^2}{2 \cdot E}$$



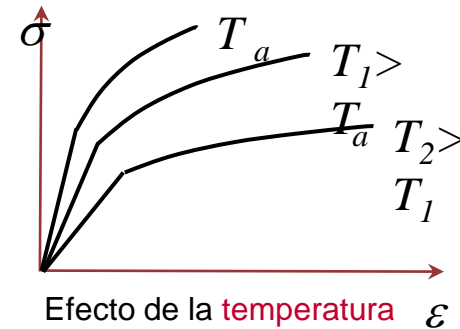
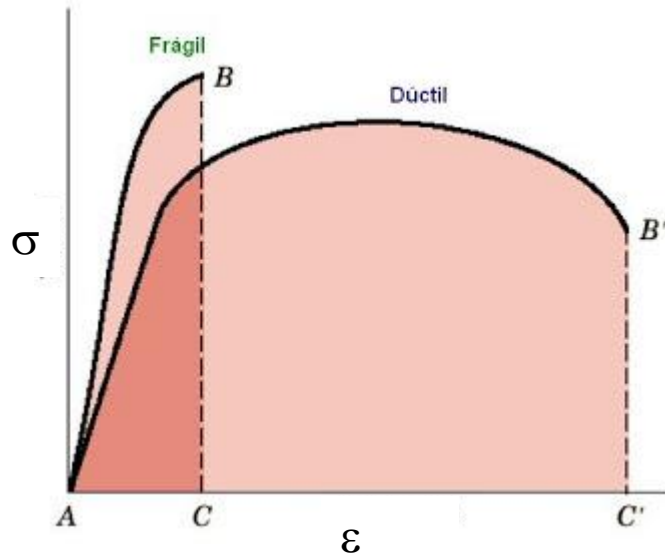
Límite convencional de Elasticidad

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Tenacidad

Energía almacenada hasta rotura



# Propiedades mecánicas

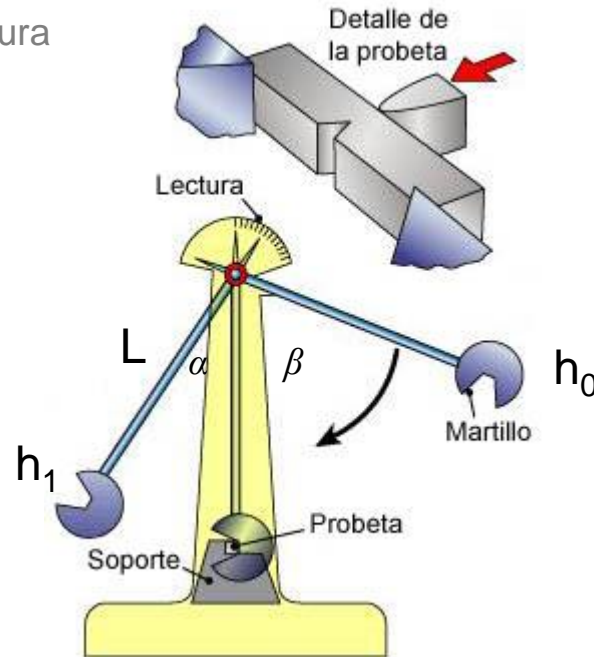
## Ensayos destructivos

### Tenacidad

Energía almacenada hasta rotura

Energía absorbida

$$E_a = F \cdot (h_0 - h_1).$$



### Ensayo de Charpy

Resiliencia y tenacidad:  
Este ensayo mide realmente la tenacidad, pero como la relación entre ambas es lineal, se considera una medida *indicativa* de la resiliencia.

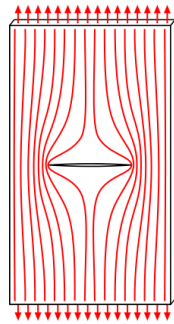
$$\delta = \frac{E_a}{A} = \frac{F \cdot L \cdot (\cos \beta - \cos \alpha)}{A}$$

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

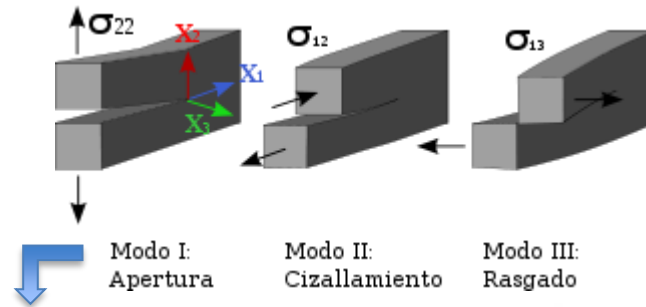
### Tenacidad

#### Mecánica de fractura



Concentración de tensiones en grietas

#### Tenacidad a la fractura



Modo I: Apertura  
Modo II: Cizallamiento  
Modo III: Rasgado

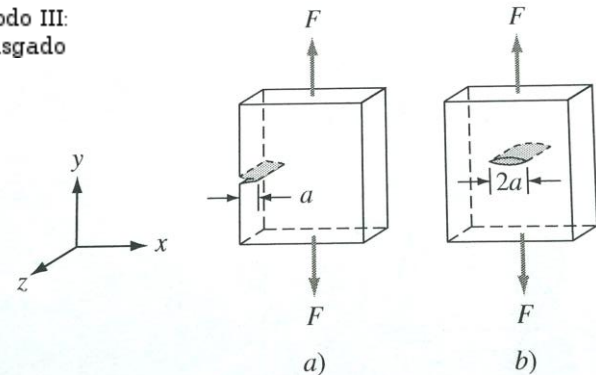
$$K_{IC} = Y \sigma \sqrt{\pi a}$$

Factor de intensidad de tensión

Y: Cte. Geometría

$\sigma$ : Tensión

a: tamaño grieta



# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Dureza

Resistencia de un material a sufrir alteraciones físicas provocadas por otro (penetración, abrasión y rayado)

Orden	Mineral	Se puede rayar con
1	Talco	la uña fácilmente
2	Yeso	la uña con más dificultad
3	Calcita	moneda de cobre
4	Fluorita	cuchillo
5	Apatita	cuchillo difícilmente
6	Feldespató	cuchilla de acero
7	Cuarzo	raya el acero
8	Topacio	esmeralda
9	Corindón	solo raya el diamante
10	Diamante	mineral natural más duro

### Escala Mohs

Talco



(Fuente: talco.cl)

Fluorita



(Fuente: loqueva.com)

Cuarzo



(Fuente: forum.hr)

Diamante



(Fuente: alamaster.com.br)

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

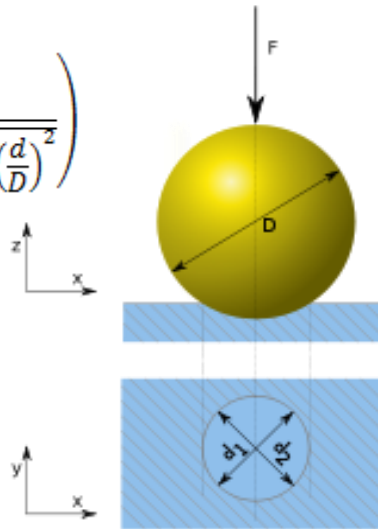
### Dureza

#### Metales

#### Brinell

$$HB = \frac{2F}{\pi D^2} \left( \frac{1}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \right)$$

$$F = K \cdot D^2$$



#### Durómetro



Dureza Brinell:

HB < 600

250 HB 10 500 30

Tipo de ensayo;

Diámetro bola;

Fuerza aplicada;

Tiempo ensayo

Valores típicos:

Acero (blando): 120 HB

Acero de herramientas: 650 HB

Acero inoxidable: 250 HB

Aluminio: 15 HB

Cobre: 35 HB

Madera: entre 1 HB y 7 HB

Vidrio: 550 HB



# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

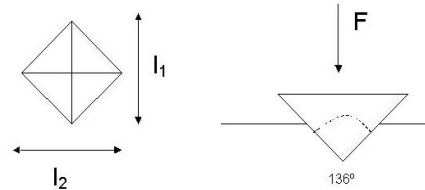
### Dureza

#### Metales

#### Vickers

$$HV = \frac{1,8544 F}{l^2}$$

F= 5; 10; 15... kp



Pirámide de diamante



#### Valores típicos:

316L Acero inoxidable (USA)	140HV30
347L Acero inoxidable (USA)	180HV30
Acero al carbono	55–120HV5
Hierro	30–80HV5

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Dureza

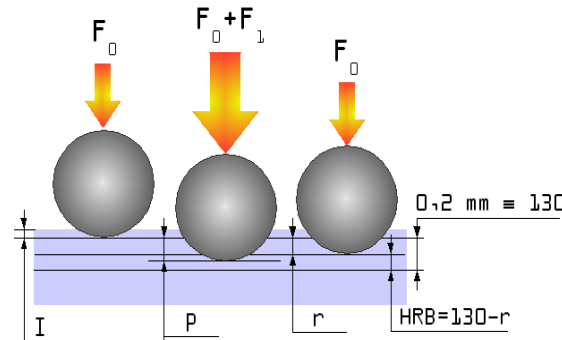
#### Metales

#### Rockwell

$$F_0 = 10 \text{ kp} \rightarrow I$$

$$F_0 + F_1 \rightarrow P$$

$$F_0 \rightarrow r$$



→I : penetración inicial antes de la carga adicional  
→P : penetración con carga adicional  
→r : penetración remanente sin la carga adicional

$$F_1 = 90 \text{ kp (bola)}$$

$$140 \text{ kp (cono)}$$

$$HRC = 100 - r$$

$$HRB = 130 - r$$

60 HRB

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Fatiga

#### Características

- Estructuras sometidas a cargas variables
- Rotura repentina (sin deformación aparente)
- Cargas inferiores a la de rotura del material



# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

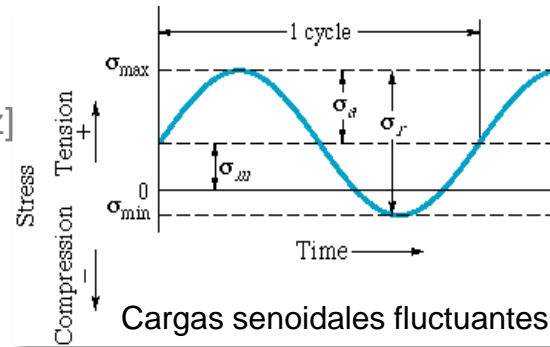
### Fatiga

#### Conceptos generales

- Período:  $T$  [s]
- Frecuencia:  $f = 1/T$  [1/s]
- Frecuencia angular:  $\omega = 2\pi f$  [Hz]
- Amplitud:  $\sigma$  [Mpa].

#### Predicción de fallo

- Enfoque analítico:
  - Correlación entre tensión, deformación y ciclos hasta rotura.
  - Difícil de determinar y aplicar.
- Enfoque experimental
  - Diagramas S-N



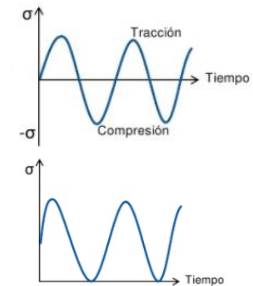
Amplitud

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{2} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

Tensión media

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

Fluctuante:	$\sigma_a \neq 0$ $\sigma_m \neq 0$
Alternante:	$\sigma_a \neq 0$ $\sigma_m = 0$
Pulsante:	$\sigma_a = \sigma_m \neq 0$



Tensión alternante

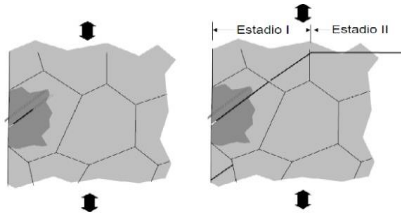
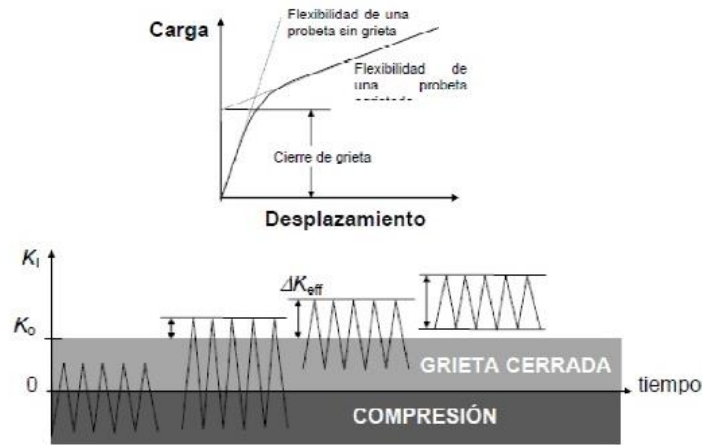
Tensión pulsante

Guillermo Filippone

# Propiedades mecánicas

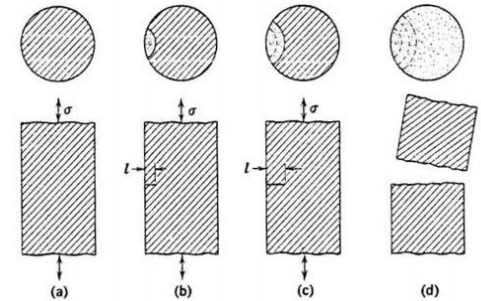
## Ensayos destructivos

### Fatiga



Reorientación de la grieta al modo I en el estadio II de fatiga.

- Fases**
- Inicio
  - Propagación
  - Rotura



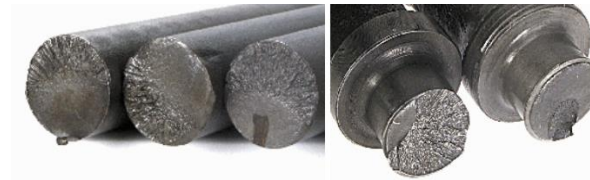
### Aspecto de la rotura

Zona Lisa. Propagación grieta:

Marcas de Playa

Líneas Radiales

Zona Rugosa. Zona remanente que termina con rotura frágil.

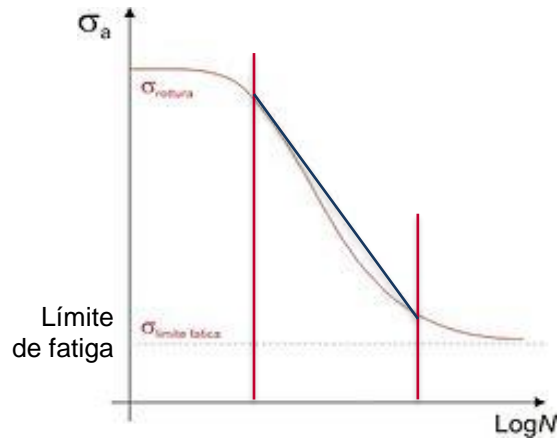


# Propiedades mecánicas

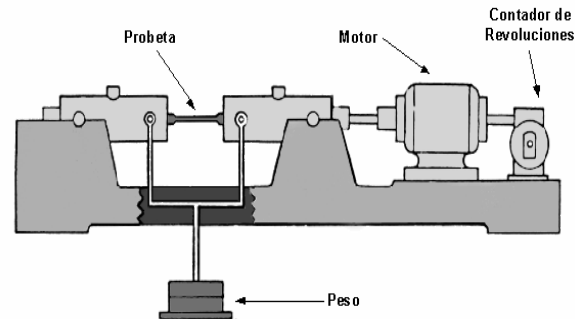
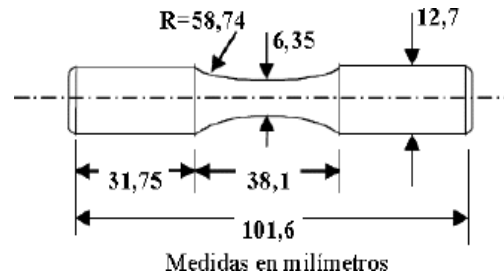
## Ensayos destructivos

### Fatiga

#### Ensayo de Wohler



(Fuente: Wikipedia)



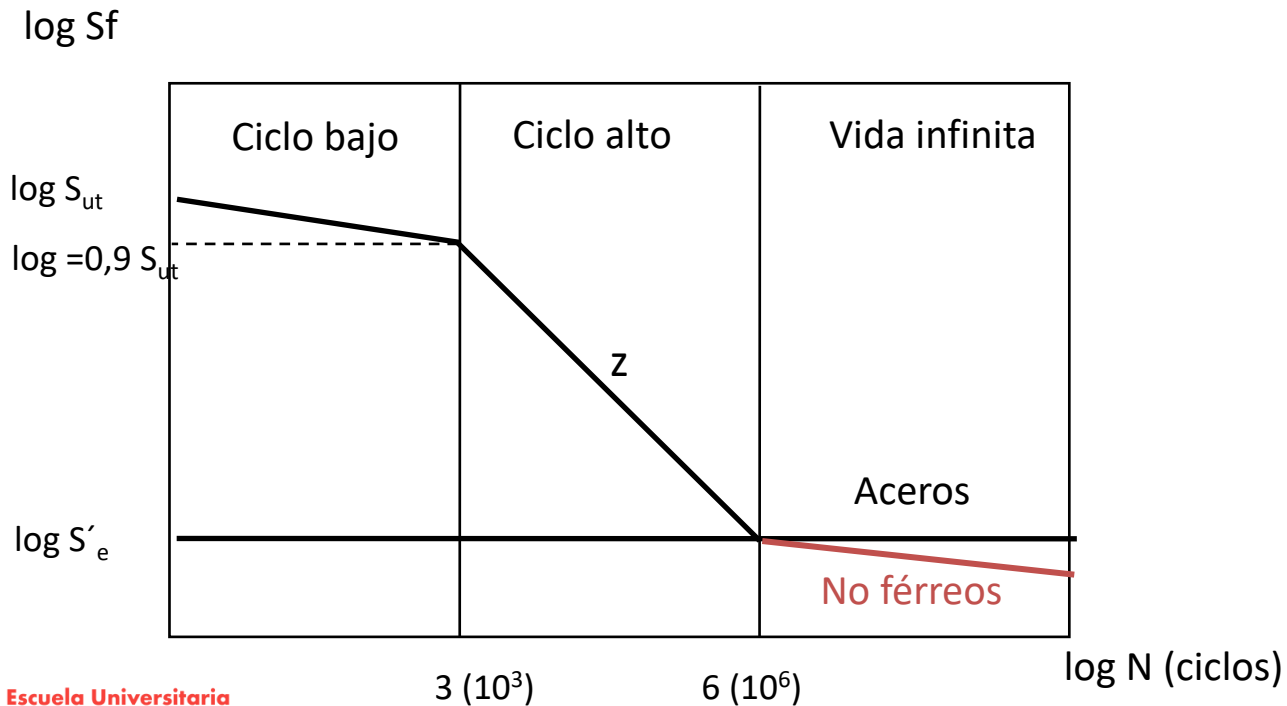
#### Condiciones estándar

- Flexión rotativa
- Temperatura 20 °C
- Probeta pulida
- Confianza 50 %

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

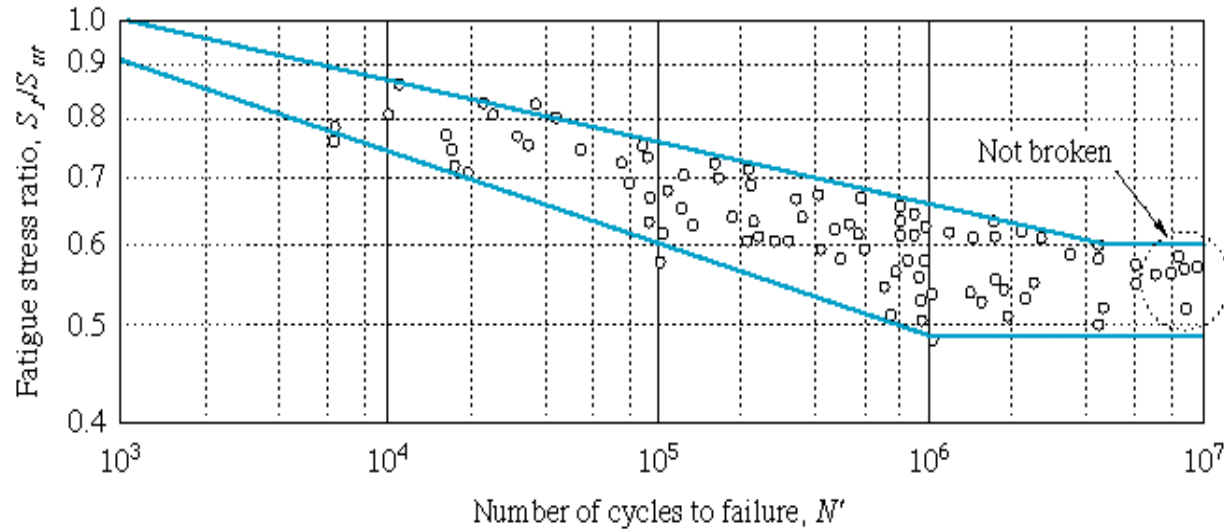
### Fatiga



# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Fatiga



Aleaciones férricas, con límite de fatiga

Aceros: cálculo práctico  
 $S_e'$  = el menor valor de:

- $0,5 S_u$  (Flexión)
- $0,45 S_u$  (Carga axial)
- $0,29 S_u$  (Torsión)
- 700 MPa

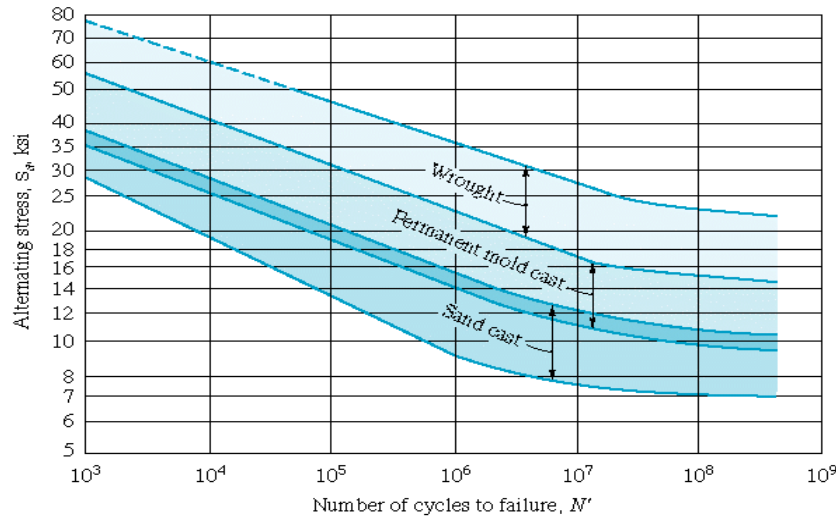
(a)



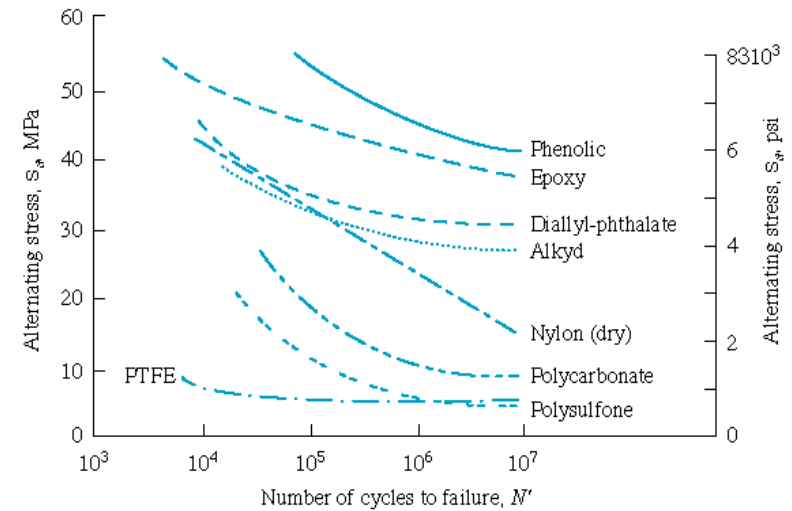
# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Fatiga



Aleaciones de aluminio: no presentan límite de fatiga



Polímeros

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Fatiga

#### Factores de corrección

En condiciones de trabajo normal, se aplican factores de corrección:

$S_e$  = límite de fatiga real (MPa)

$S'_e$  = límite de fatiga teórico (ensayo)

$k_a$  = coeficiente por acabado superficial

$k_b$  = coeficiente por tamaño

$k_c$  = coeficiente de confianza

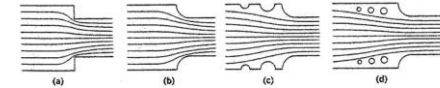
$k_t$  = coeficiente de temperatura

$k_e$  = coeficiente de sensibilidad a la entalla

$$S_e = S'_e \prod k_i$$

#### Factores diversos

•Diseño



•Proceso de fabricación  
Esfuerzos residuales

•Recubrimientos  
Cementación  
Nitruración



Granallado

•Corrosión  
Química  
Bajo tensión



# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Fluencia bajo tensión

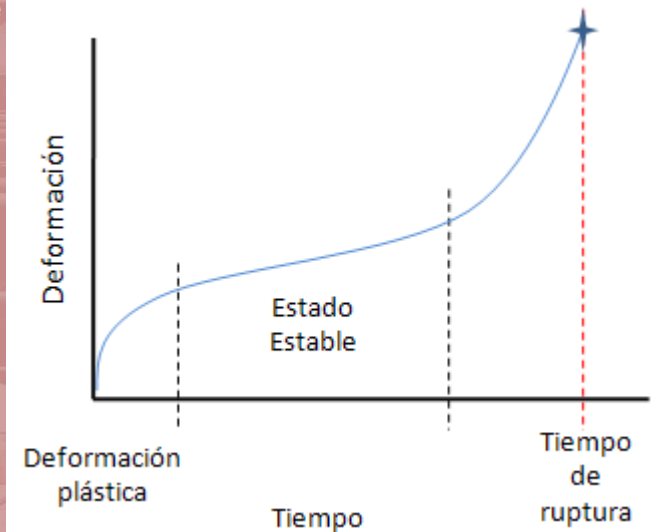
Deformaciones producidas en piezas sometidas a estados de esfuerzo, sobre todo en altas temperaturas (termofluencia). Puede ir acompañada por corrosión bajo tensión

Etapas:

Deformación primaria o transitoria, debida al efecto de la temperatura en la estructura interna del material.

Deformación secundaria o estacionaria. La deformación se incrementa proporcionalmente al tiempo. La pendiente de la recta se define como velocidad de termofluencia.

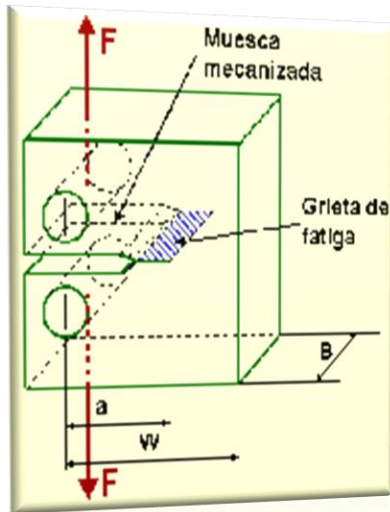
Deformación terciaria o de ruptura. La deformación se incrementa rápidamente hasta llegar a su ruptura.



# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Ensayos de fractura



### Ensayo de doblado

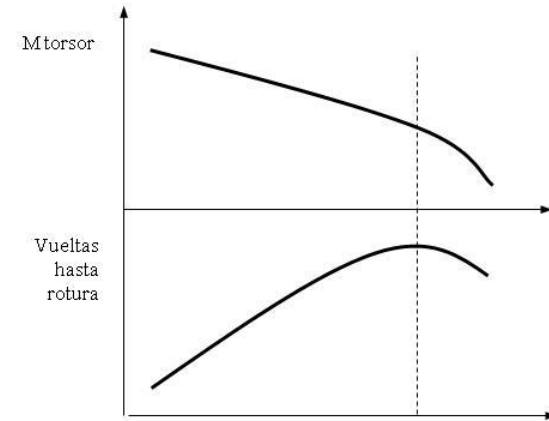
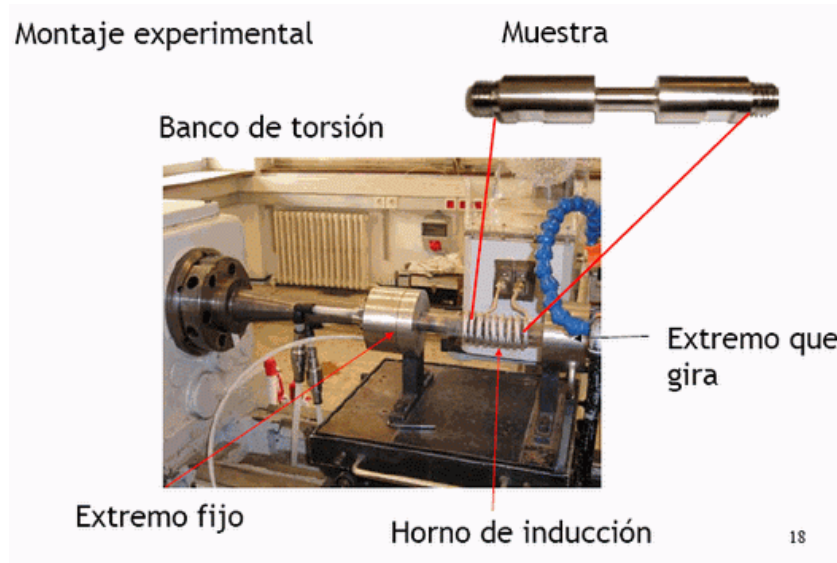


(Fuente: ecured.cu)

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Torsión en caliente

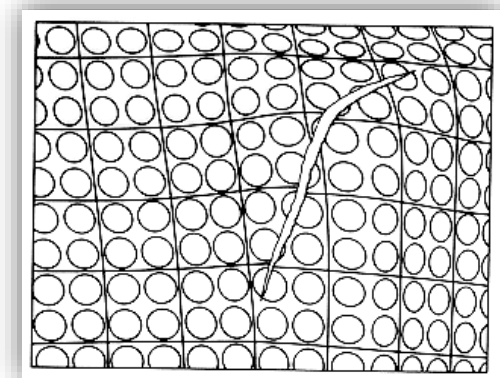
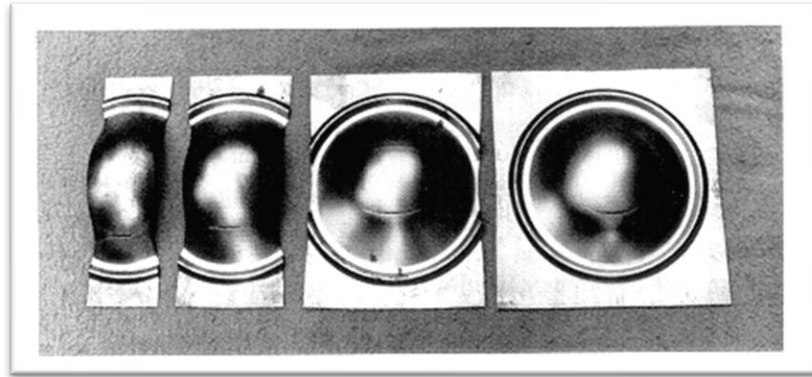


(Fuente: monografias.com /Pedroza)

# Propiedades mecánicas

## Ensayos destructivos

### Ensayo de embutición



(Fuente: Kalpakjian)

# Propiedades mecánicas

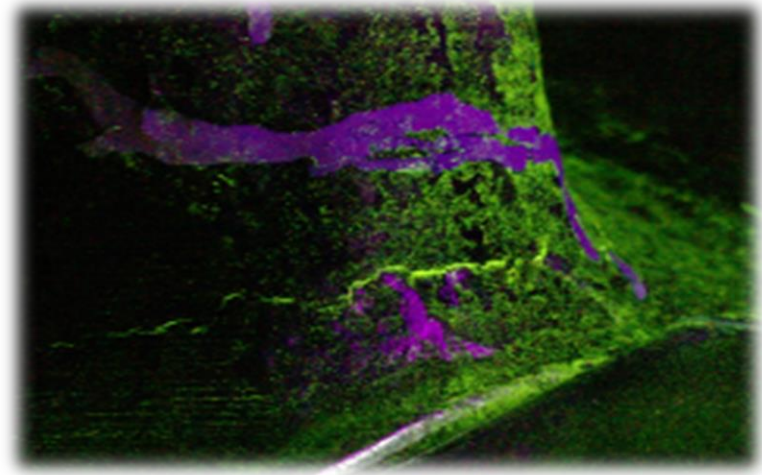
## Ensayos no destructivos

### Líquidos penetrantes



(Fuente: cylex.com.mx)

### Partículas magnéticas

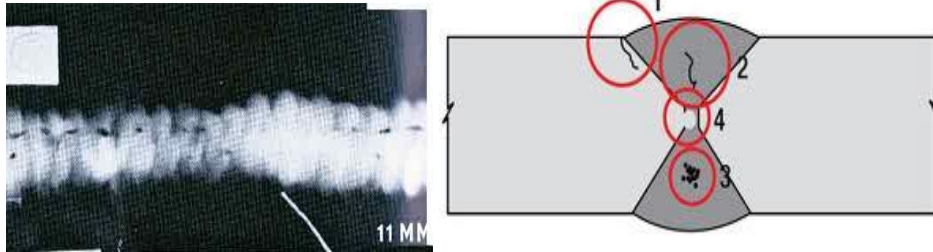


(Fuente: saiscolumbia.com)

# Propiedades mecánicas

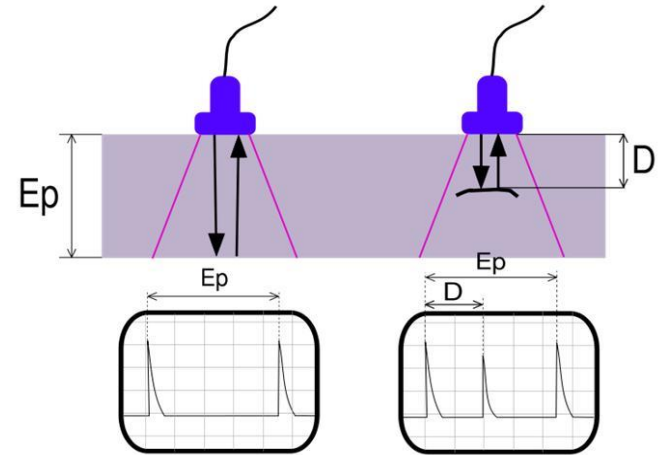
## Ensayos no destructivos

### Análisis radiológico



(Fuente: atmosferis.com)

### Ultrasonidos



(Fuente: sites.google.com)



FIN

Muchas gracias

