

# RESISTÈNCIA DE MATERIALS: Propietats i Assaigs

1. Materials a la indústria
2. Propietats dels materials
3. Propietats mecàniques
  1. Resistència mecànica
  2. Comportaments mecànics
  3. Assaig de tracció
  4. Diagrames de tracció
  5. Duresa
  6. Tenacitat
  7. Fatiga
4. Assaigs no destructius
5. Propietats tèrmiques:
  1. Conductivitat
  2. Dilatació

# 1. ELS MATERIALS A LA INDUSTRIA

**Junt amb l'energia, els materials són un element imprescindible per a qualsevol procés industrial.**

**Els principals criteris per a la seva selecció en un procés i un producte són:**

- Propietats** (Resistències a esforços, temperatura, conducció,... )
- Qualitats estètiques**
- Procés de fabricació**
- Cost**
- Disponibilitat**
- Impacte ambiental:** Obtenció, procés i rebuig

## 2. PROPIETATS DELS MATERIALS

Dins d'una gran varietat de tipus de propietats destacar:

**QUÍMIQUES**

Comportament molecular i combinació amb d'altres elements

**BIOLÒGIQUES**

Comportament amb els essers vius i en el medi ambient

**FÍSIQUES**

Comportament per sí mateix

**Mecàniques**

- Resistències
- Duresa
- Tenacitat
- Plasticitat

**Tèrmiques**

- Conductivitat tèrmica
- Dilatació
- Punt de fusió

**Elèctriques**

- Conductivitat elèctrica
- Magnetisme

**Òptiques**

- Brillo
- Color
- Fluorescència
- Índex refracció

### **3. PROPIETATS MECÀNIQUES**

**És el comportament davant l'aplicació de forces externes.**

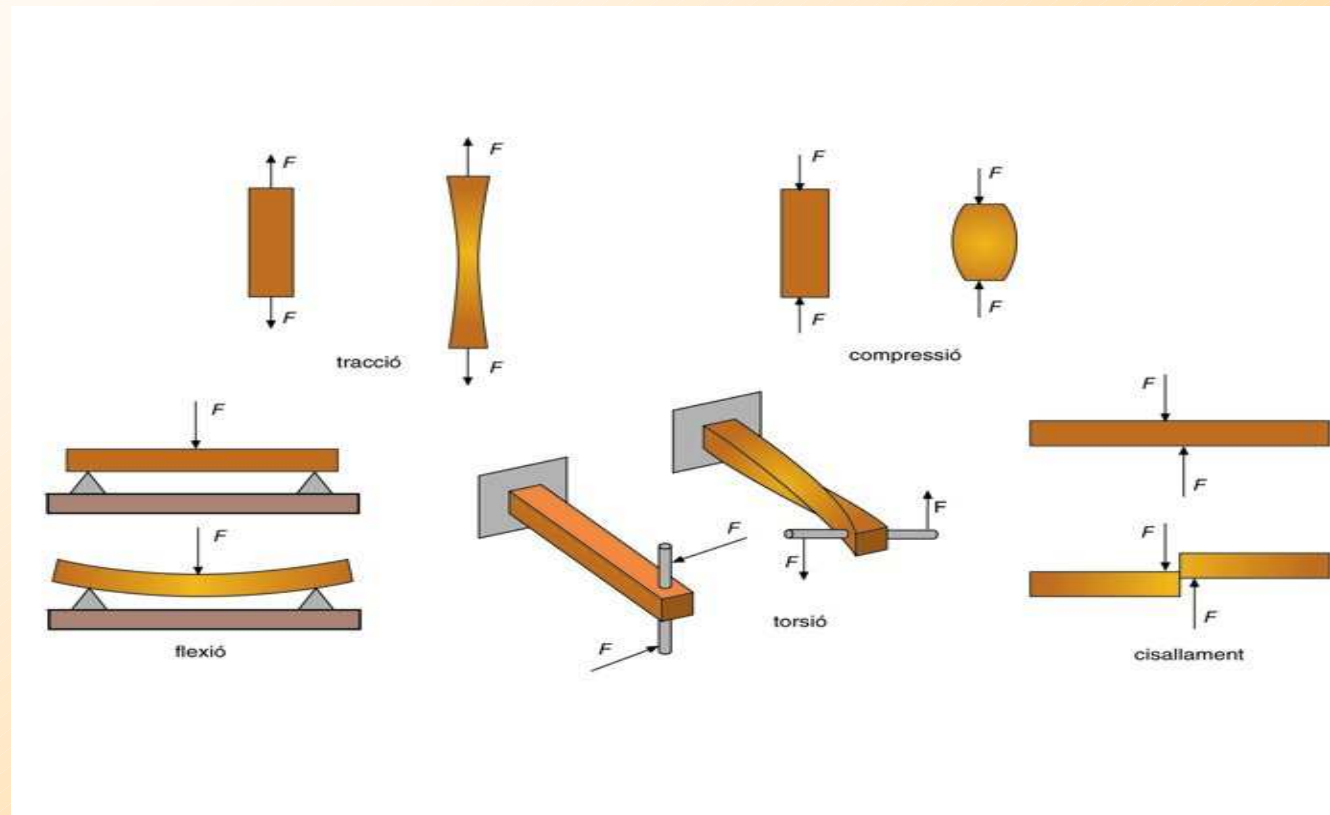
**Els materials tenen forces internes (forces de cohesió) que mantenen units els àtoms. Si les forces externes aplicades són superiors, el material es deformarà, ratllarà o es trencarà .**

**Cada material presenta un comportament diferent que cal conèixer per decidir el seu ús i la configuració en cada cas**

**Les propietats mecàniques dels materials s'obtenen per mitja d'assaigs en una disciplina anomenada: *Resistència de materials***

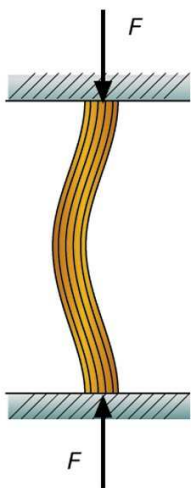
## 3.1. RESISTÈNCIES MECÀNIQUES

És la capacitat que té un material per suportar esforços sense deformar-se o trencar-se. Es diferencien:

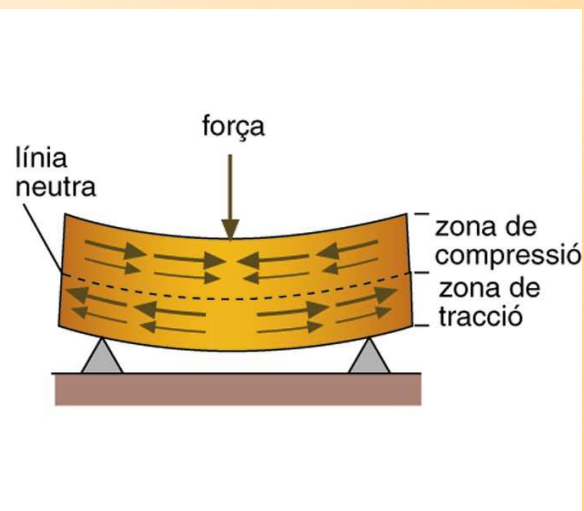


Per cada tipus d'esforc existeix una resistència concreta de cada material. Es fan per mitja d'assaigs destructius

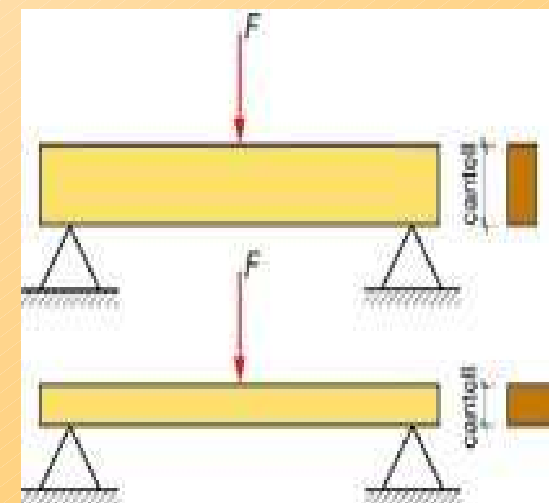
Esforç aplicat	Formes més adequades per suportar-lo
Tracció	Secció elevada
Compressió	Secció elevada i poca longitud
Flexió	Secció elevada, cantell gran i poca longitud
Torsió	Secció elevada
Cisallament	Secció elevada



Efecte de VINCLAMENT produït per la compressió d'una peça esvelta



L'esforç de flexió és una combinació de tracció i compressió



Millora a la resistència a la flexió

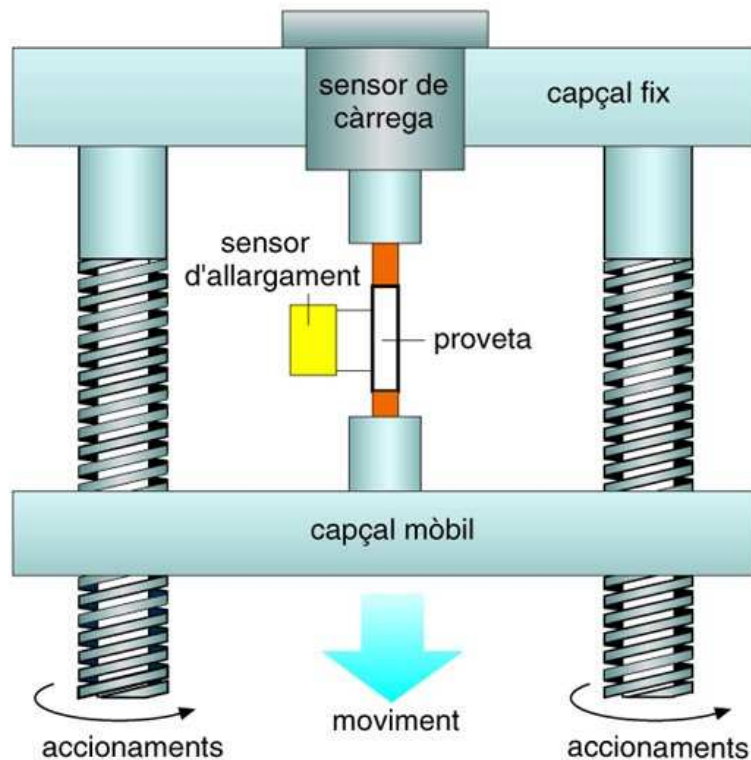
## 3.2. COMPORTAMENTS MECÀNICS

L'aplicació d'un esforç sobre un material pot produir diferents efectes:

- **No afectar-lo** (les forces internes de cohesió són més fortes)
- **Deformar-lo**. Aquesta deformació pot ser de dos tipus:
  - Deformació Elàstica** (la deformació és temporal i un cop retirat l'esforç el material torna a la seva forma inicial)
  - Deformació Plàstica** (la deformació es manté un cop retirat l'esforç)
- **Trencar-lo**. Al aplicar un esforç el material es trenca sense (pràcticament) deformació prèvia. S'anomena **Comportament Fràgil**

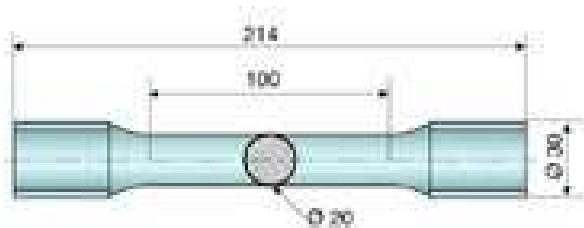
**Abans d'escollir un material per a una estructura cal conèixer el seu comportament i dimensionar-lo adequadament**

### 3.3. ASSAIG DE TRACCIÓ



L'assaig de tracció és una de les proves més utilitzades en els càlculs de resistència de materials ja que ens aporta gran informació de les seves propietats mecàniques

L'assaig de tracció es realitza amb provetes normalitzades perquè els resultats no depenguin de les dimensions de la peça

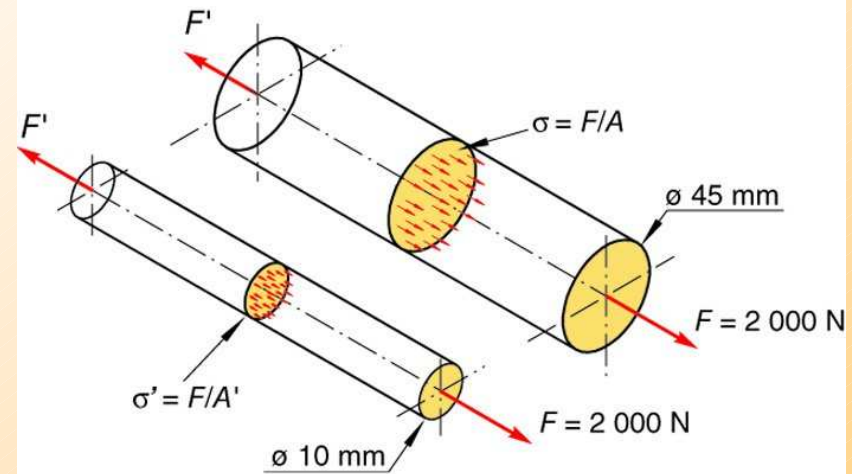


# MAGNITUDS BÀSIQUES

## ESFORÇ UNITARI

És la relació entre la força  $F$  aplicada i la secció  $A$  sobre la qual s'aplica

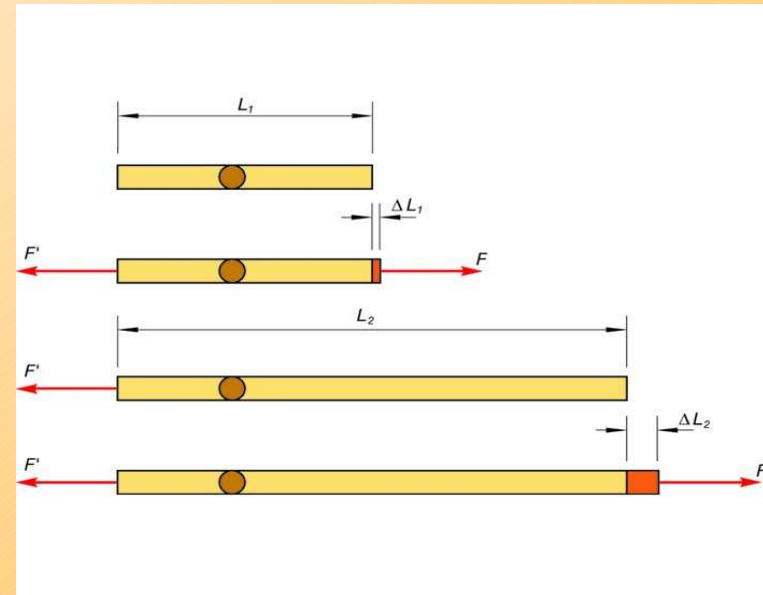
$$\text{Esforç} = F / A \text{ ( N/mm}^2 \text{ = MPa)}$$



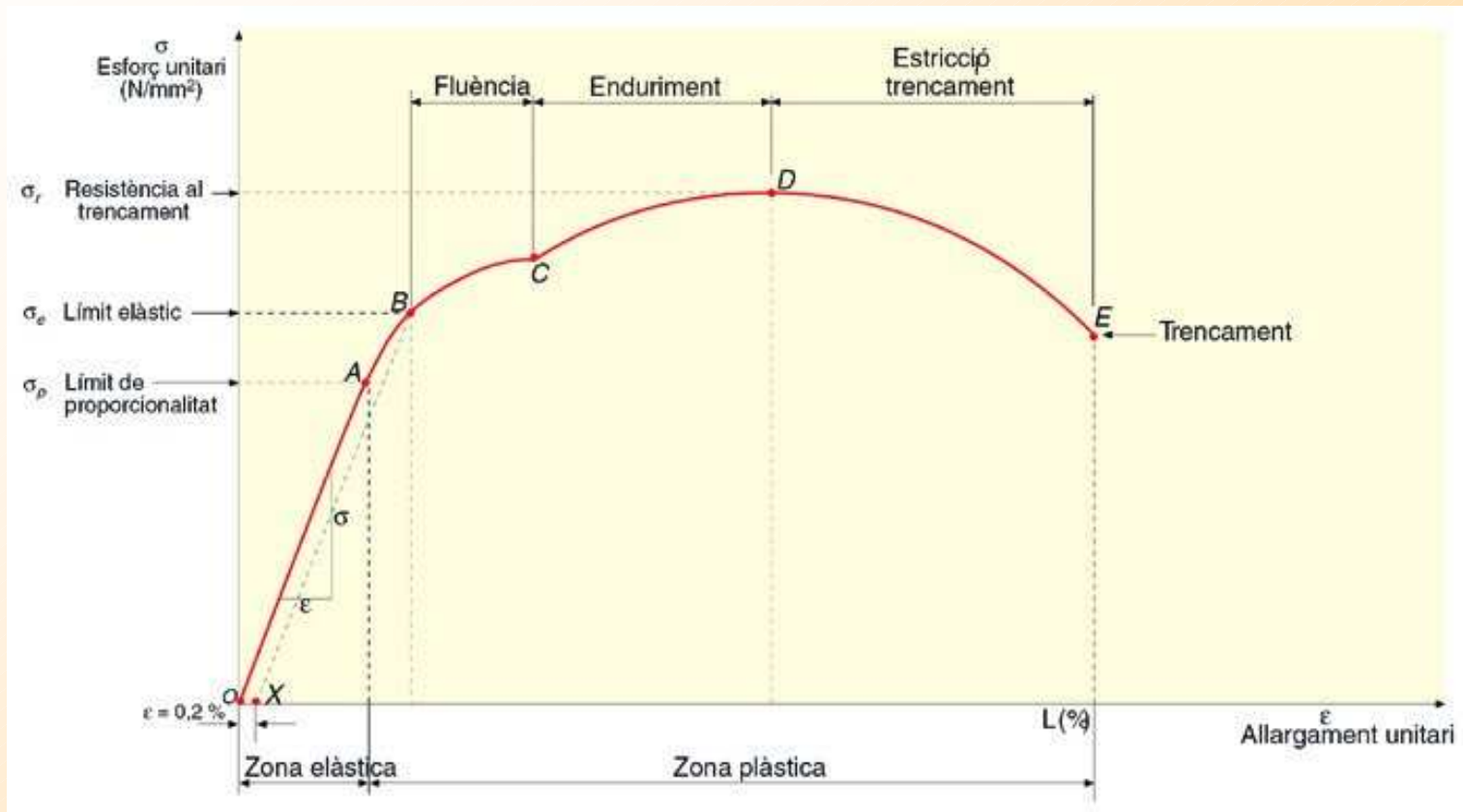
## ALLARGAMENT UNITARI

És la relació entre l'allargament d'una peça  $\Delta L$  i la llargària inicial  $L_0$  que tenia abans de l'esforç

$$\epsilon = \Delta L / L_0 \text{ (sense unitats)} \\ \text{(ó en \%)}$$



## 3.4. DIAGRAMES DE TRACCIÓ



Els diagrames de tracció representen la relació existent entre un esforç de tracció i l'allargament del material. Es realitza amb probetes normalitzades i ens donen molta informació sobre les característiques mecàniques dels materials

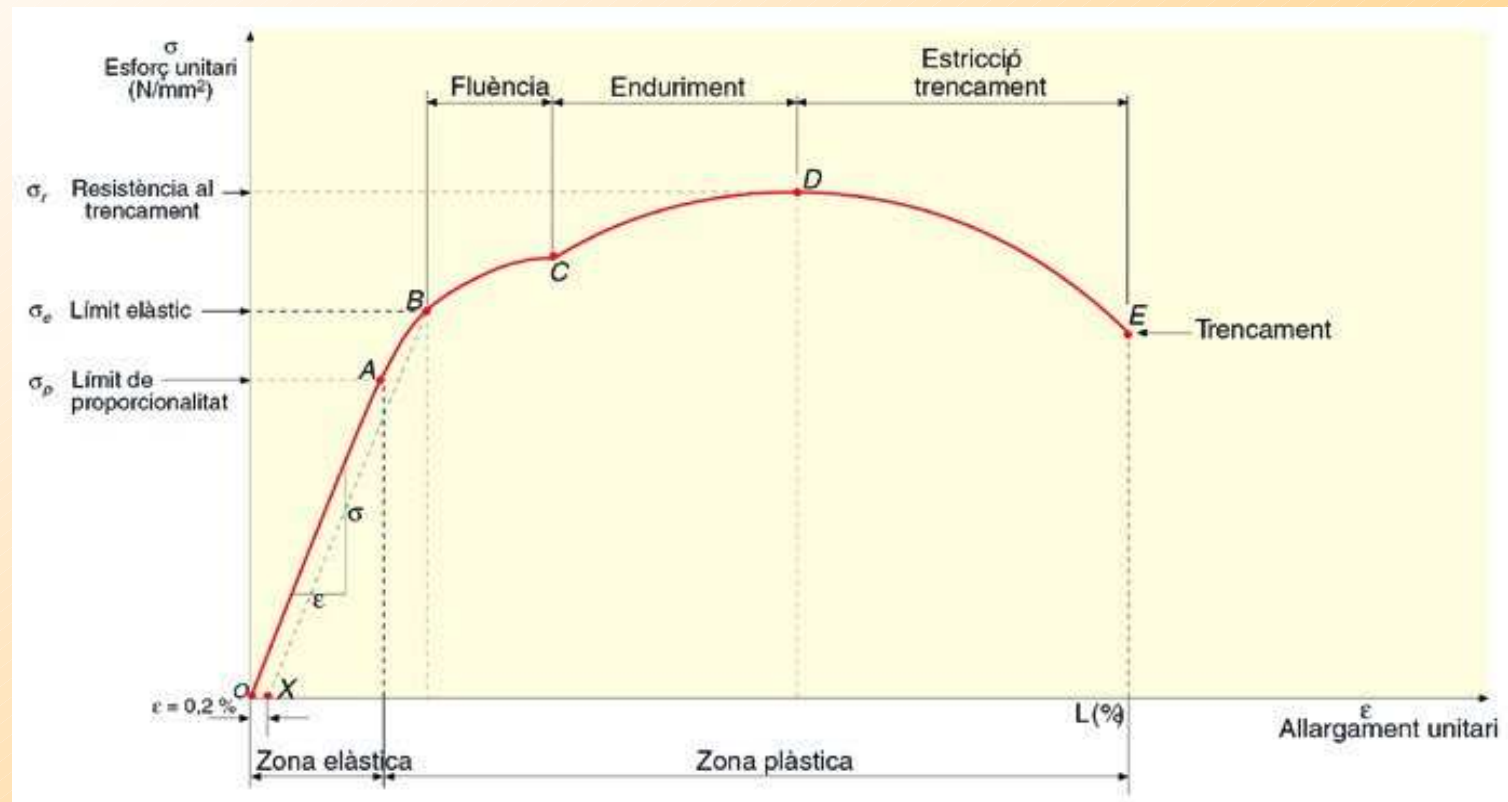
## ZONA ELÀSTICA (O-A)

En aquesta zona les deformacions són de tipus elàstic, proporcionals, compleixen la llei de Hooke i desapareixen quan es deixa d'aplicar l'esforç.

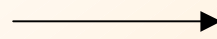
El pendent d'aquesta recta (O-A) s'anomena MÒDUL ELÀSTIC del material:

$$E = \sigma_p / \epsilon \quad (\text{N/mm}^2 = \text{Mpa})$$

Aquest valor de modul elàstic és la RIGIDESA del material. (A més mòdul, més rígid i menys deformació elàstica)



**ZONA PLÀSTICA ( A – E )**

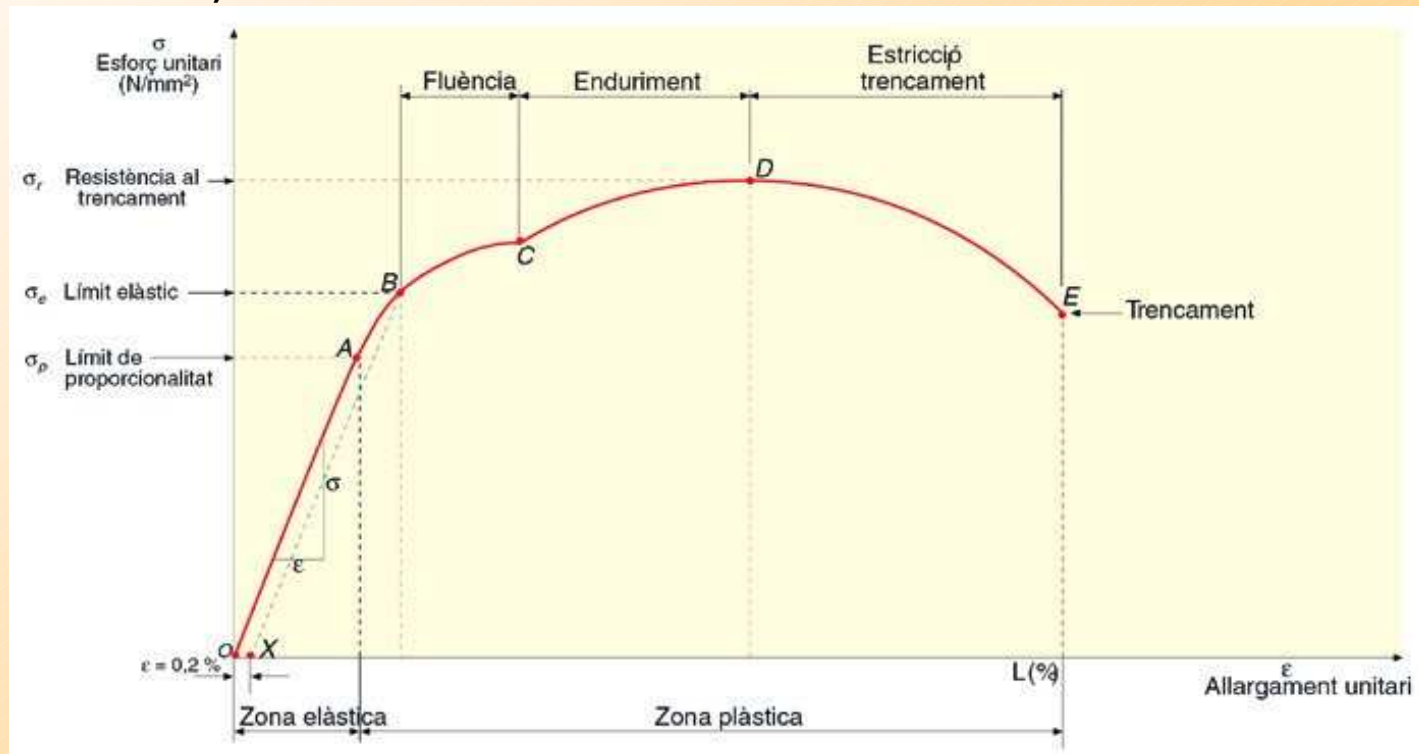


**Límit Elàstic (A-B)**

A partir del punt A comencen les deformacions permanents (Zona Plàstica)

El punt B es coneix com a LÍMIT ELÀSTIC: “Esforz unitari màxim sobre un material que no produeix deformació permanent”. A la pràctica és molt difícil d'obtenir i s'admet com vàlid aquell esforç amb deformació permanent de fins un 0,2 % sobre la llargada inicial.

Malgrat això sempre es treballa amb COEFICIENTS DE SEGURETAT ( $\sigma_t = \sigma_e/n$ ) (Ull peces més grans i més cares)



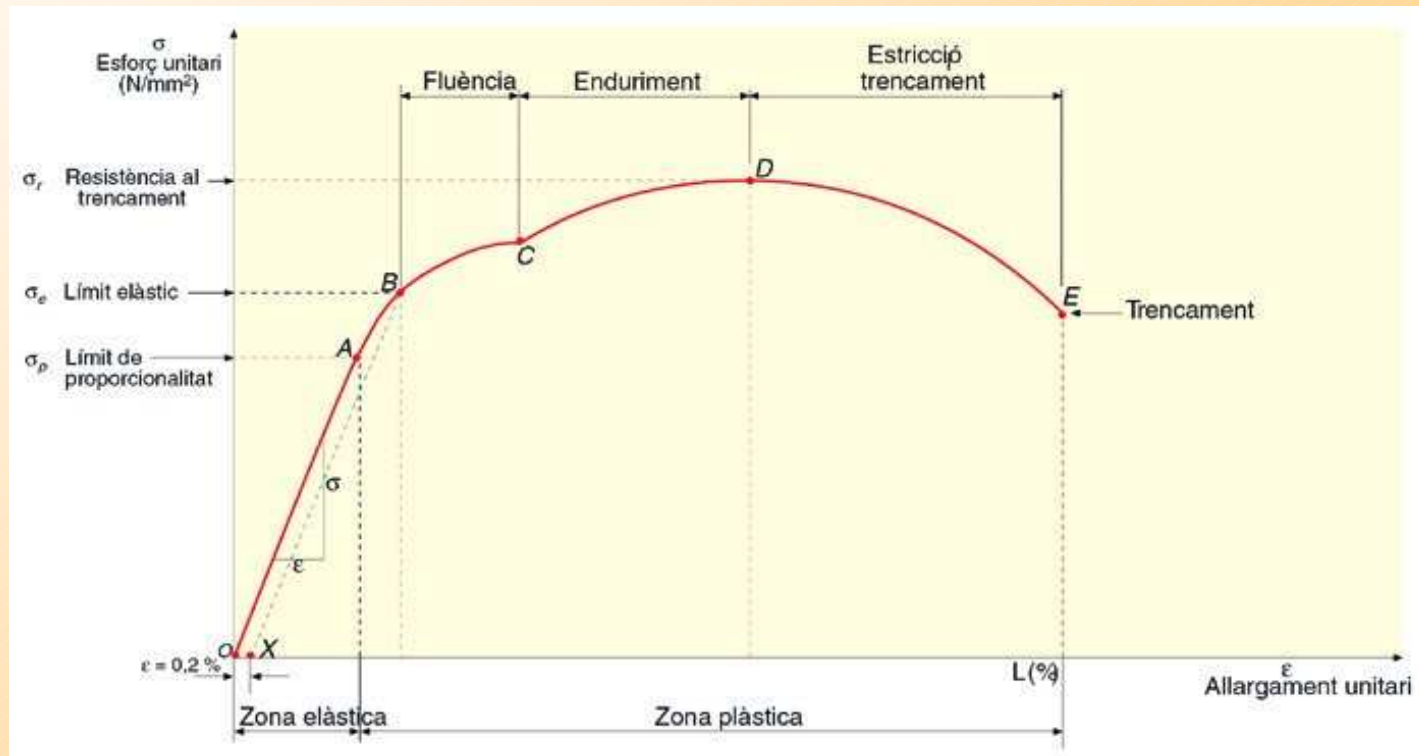
## ZONA PLÀSTICA ( A – E )

## Fluència (B-C)

## Enduriment (C-D)

A la zona de FLUÈNCIA (B-C) es produeix un allargament sense pràcticament esforç (“flueix”) (En l’acer aquesta zona és molt plana)

A la zona d’ENDURIMENT (C-D) la deformació ha provocat un enduriment del material i per tant cal incrementar el valor de l’esforç per seguir deformant. Quan més dúctil és el material, més ampla és aquesta zona. Els materials fràgils no tenen quasi aquesta zona plàstica



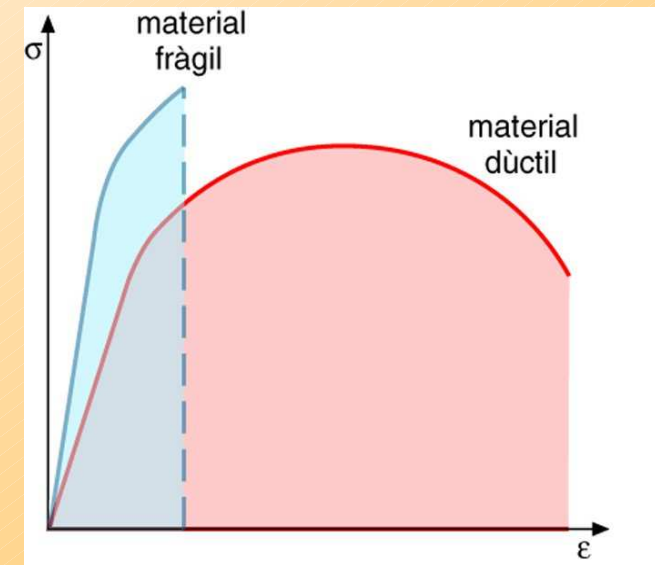
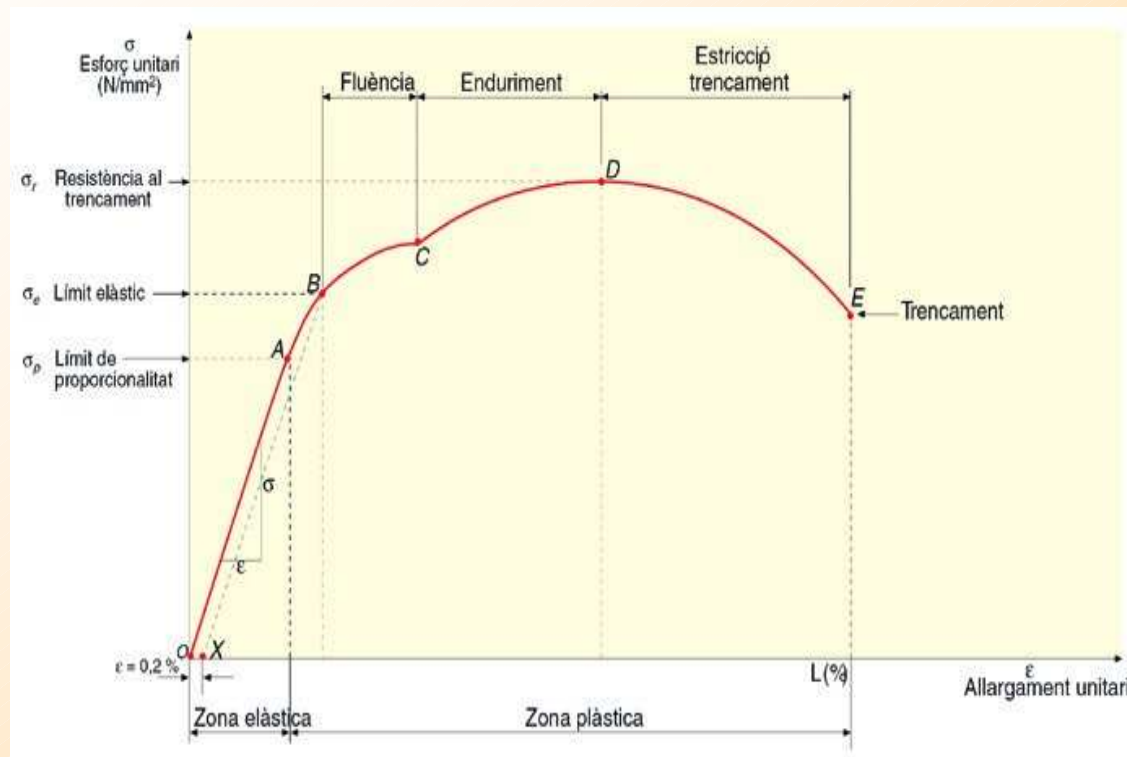
## ZONA PLÀSTICA ( A – E )

## Estricció i Trencament (D-E)

En el punt D s'inicia el trencament de la proveta, malgrat disminuir el nivell d'esforç aplicat.

**ESFORÇ de TRENCAMENT = Esforç màxim abans de trencar-se**

En aquest tram disminueix la secció de la proveta (esticció) fins que al punt E queda dividida



**ALLARGAMENT.** És la longitud de la proveta en el moment que es trenca. El % d'allargament mesura la ductilitat del material

$$\epsilon \% = (L_f - L_o) L_o * 100$$

### Valors de l'assaig de tracció d'alguns materials

Material	Densitat $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	Mòdul elàstic E GPa ( $\text{N/mm}^2$ ) · ( $10^3$ )	Límit elàstic $\sigma_e$ MPa ( $\text{N/mm}^2$ )	Esforç de trencament $\sigma_t$ ( $\text{N/mm}^2$ )	Allargament $\epsilon$ (%)
Acer (alt en C)	7840	207	380	615	25
Acer (baix en C)	7860	207	295	395	37
Acer (mitjà en C)	7850	207	350	520	30
Aliatge lleuger	2800	72	97	186	18
Alumini	2710	69	85	100	25
Bronze	8800	110	152	380	70
Cautxú	980	4,60	—	28	de 500 a 760
Coure	8940	110	69	220	45
Ferro	7870	207	130	260	45
Fosa esferoïdal	7120	165	275	415	18
Llautó	8530	110	75	303	68
Niló	1140	2,7	—	85	de 15 a 300
Níquel	8900	207	138	483	40
Plata	10490	76	55	125	48
Polietilè	960	1,08	—	26	de 10 a 1200
Polipropilè	900	1,35	—	36	de 100 a 600
PVC	1400	3,3	—	47	de 40 a 80
Titani	4510	107	240	330	30

Taula 6.2. Valors característics obtinguts amb assaigs de tracció de diversos materials.

**El mòdul elàstic indica la rigidesa**

**El límit elàstic indica l'elasticitat**

**L'esforç de trencament indica la resistència mecànica**

**L'allargament indica la ductilitat i plasticitat del material**

## 3.5. DURESA

És la resistència o oposició que presenta un material a ser RALLAT o PENETRAT per un altre material (El diamant és el material més dur i el talc el més tou) Depen de les forces de cohesió internes.

No és correcte relacionar “Dur” amb “Difícil de trencar”

La duresa també ens indica la resistència d'un material a ser deformat plàsticament. Per tant, hi ha una relació directa, característica per a cada material, entre la duresa i la resistència a la tracció. En el cas de l'acer aquesta relació és:

$$\sigma_r \text{ (MPa)} = 3,45 * \text{HBW}$$

Hi ha diferents mètodes per a determinar la duresa d'un material. Cal destacar el mètode **BRINELL**.

El mètode consta d'un equip anomenat duròmetre, a on una bola de carbur de tungstè actua com a penetrador durant un temps determinat, deixant una marca sobre el material. Per mitja de la mesura del diàmetre de la marca i del penetrador es calcularà l'àrea esfèrica i la duresa segons l'expressió:

$$\text{Duresa Brinell HBW} = 0,102 * F \text{ (N)} / A \text{ (mm}^2\text{)} \text{ (sense unitats)} \quad (0,102 = \text{cte } 1/g)$$

Forma d'expressió:

**xx HBW ( D / C / t )**

a on:

D= diàmetre del penetrador (mm)

C=  $0,102 * F \text{ (N)}$

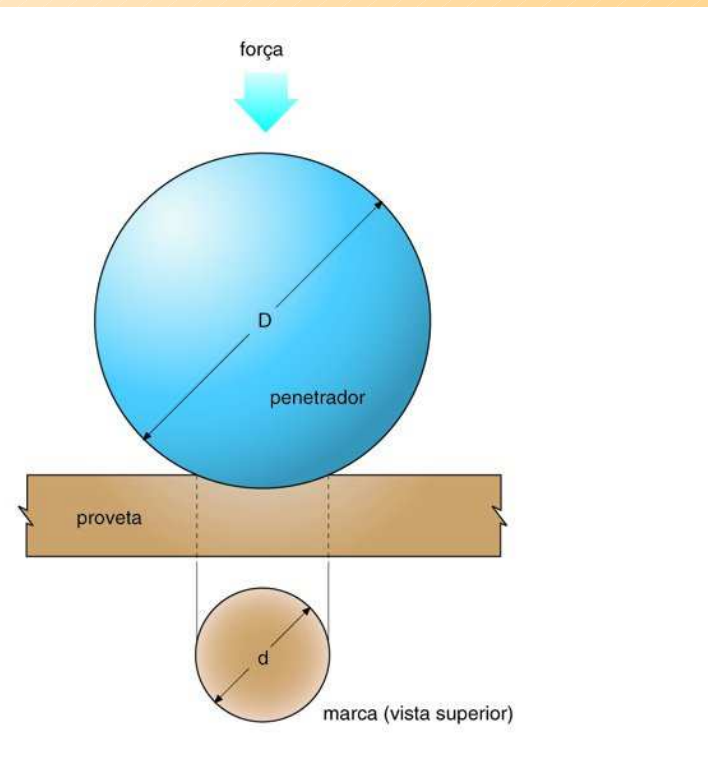
T = Temps (sg)

(Per a metalls és habitual D= 10 mm, C =  $0,102 * 3000 \text{ kg}$ , t = 15 sg)

**Exercici:**

**Quin és el significat de  
187 HBW 5/750/20 ?**

e6p186



## 3.6. TENACITAT (Resiliència)

**És la capacitat de resistència al xoc.** Es refereix al comportament enfront a esforços sobtats, instantanis o violents, no constants.

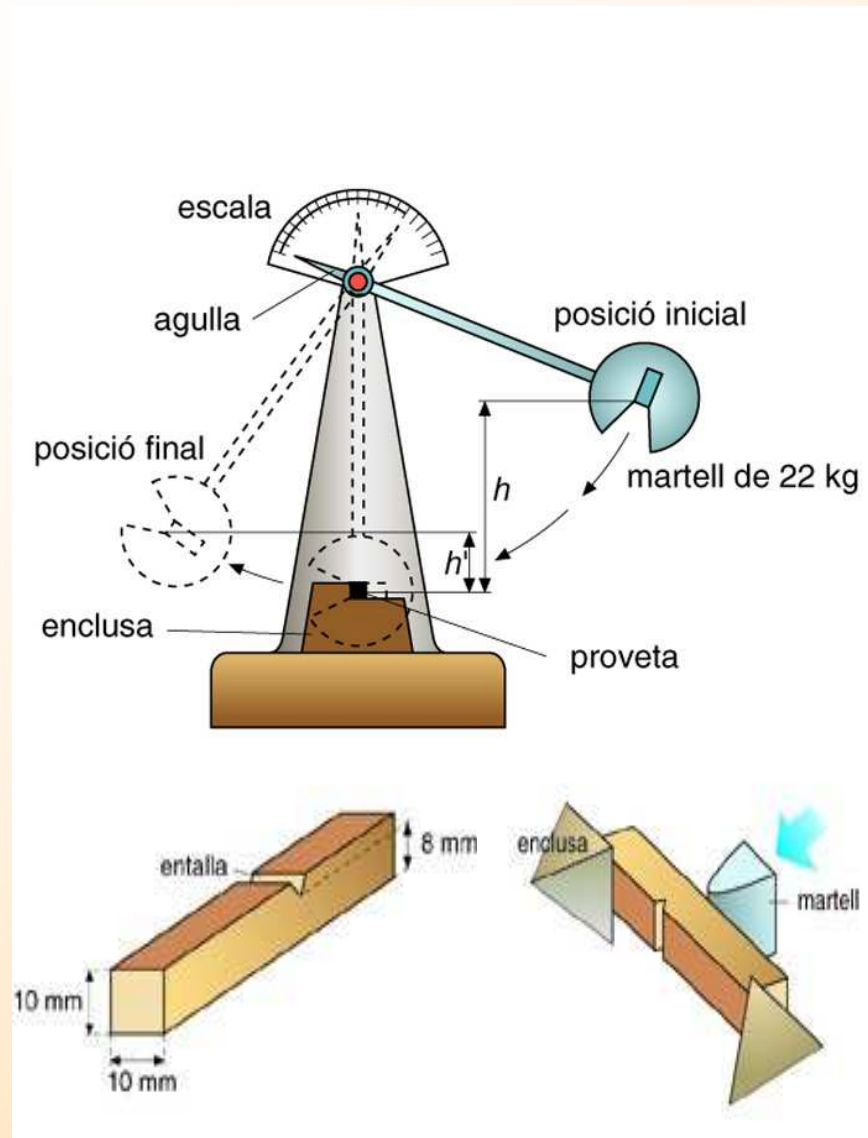
**És la propietat contrària a la fragilitat.** Els materials tenaços absorbeixen molta energia cinètica en el xoc i la transformen en deformacions elàstiques o plàstiques sense trencar-se.

**És força habitual que un material dur sigui fràgil i en canvi no sigui tenaç.** Això és problemàtic en algunes aplicacions com poden ser rodes de trens.

**La TENACITAT es mesura de manera indirecta per mitja de la RESILIÈNCIA que és l'energia necessària per trencar un material amb un sol cop.**

**Si bé a major resiliència, major tenacitat, perquè un material tingui una bona tenacitat cal també que tingui una bona resistència a la tracció i un valor alt d'allargament.**

Hi ha diferents mètodes d'assaig com el *Pèndol de Charpy* o el *Pèndol d'Izad*.



$$K \text{ (Resiliència) ( J / mm}^2\text{)} = E_c \text{ consumida / A}$$

**Exemple:**

Proveta amb costats  $L1 = 10 \text{ mm}$  i una entalla  $L2 = 2 \text{ mm}$ . El pèndol parteix d'una alçada de  $400 \text{ mm}$  i agafa una alçada de rebot de  $140 \text{ mm}$ . Calcula la seva resiliència.

$$\begin{aligned} \text{Secció} &= 10(10-2) = 80 \text{ mm}^2 \\ E_c &= mgh - mgh' = 22 \cdot 9,81 \cdot (0,4 - 0,14) = 56,11 \text{ J} \\ K &= 56,11 / 80 = \mathbf{0,7014 \text{ J / mm}^2} \end{aligned}$$

## 3.7. FATIGA

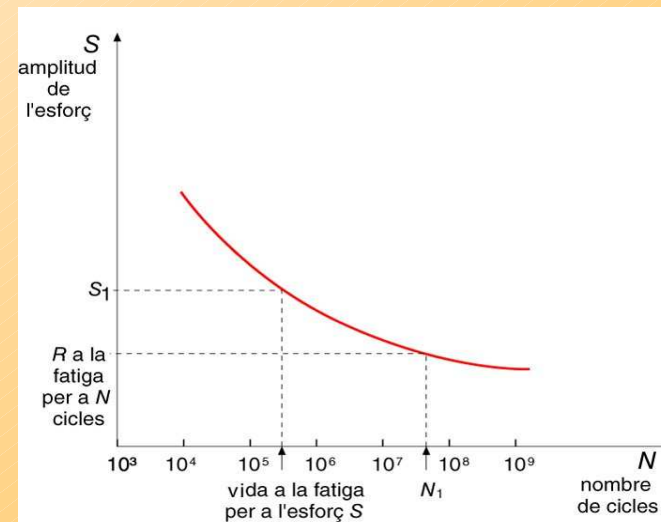
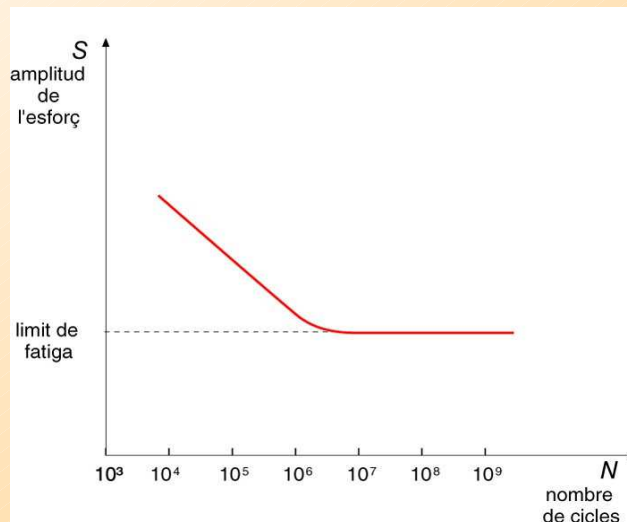
La fatiga és la resposta d'un material a l'acció d'esforços que alternen el seu sentit d'aplicació de manera repetitiva en el temps.

La resistència a la fatiga s'enten com el valor d'esforç que provoca el trencament després d'un determinat nombre de cicles (Ex. 180 N/mm<sup>2</sup> per a 10<sup>5</sup> cicles).

La trencament per fatiga sempre s'inicia a la superfície del material, d'aquí la importància del seu tractament.

L'assaig de fatiga ha d'intentar reproduir les condicions de treball. Un dels més usuals és sotmetre una proveta a una flexió rotativa (torsió i flexió)

Els assaigs de fatiga es representen en diagrames com els de Wöhler, en el que cal destacar dos tipus de comportament:



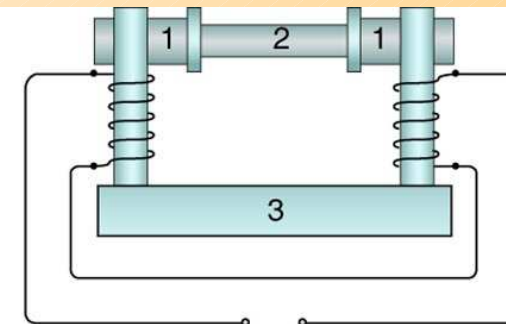
## 4. ASSAIGS NO DESTRUCTIUS

Són aquells que no deixen marques al material analitzat i s'apliquen a peces ja fabricades per detectar possibles defectes interns no observables a simple vista. Aquest defectes poden ser fissures, esquerdes, porus, inclusions d'escòries o elements estranys,...

Cal diferenciar:

### ASSAIGS MAGNÈTICS

Es basen en l'aplicació d'un camp magnètic i l'observació de la desviació de les línies de camp magnètic davant d'un defecte. Està limitat als materials fèrrics

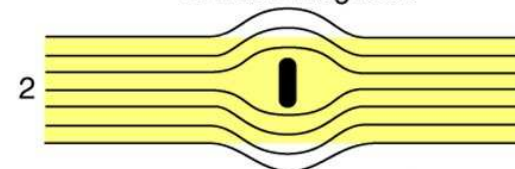


magnetoscopi

1: pols magnètics

2: peça que s'examina

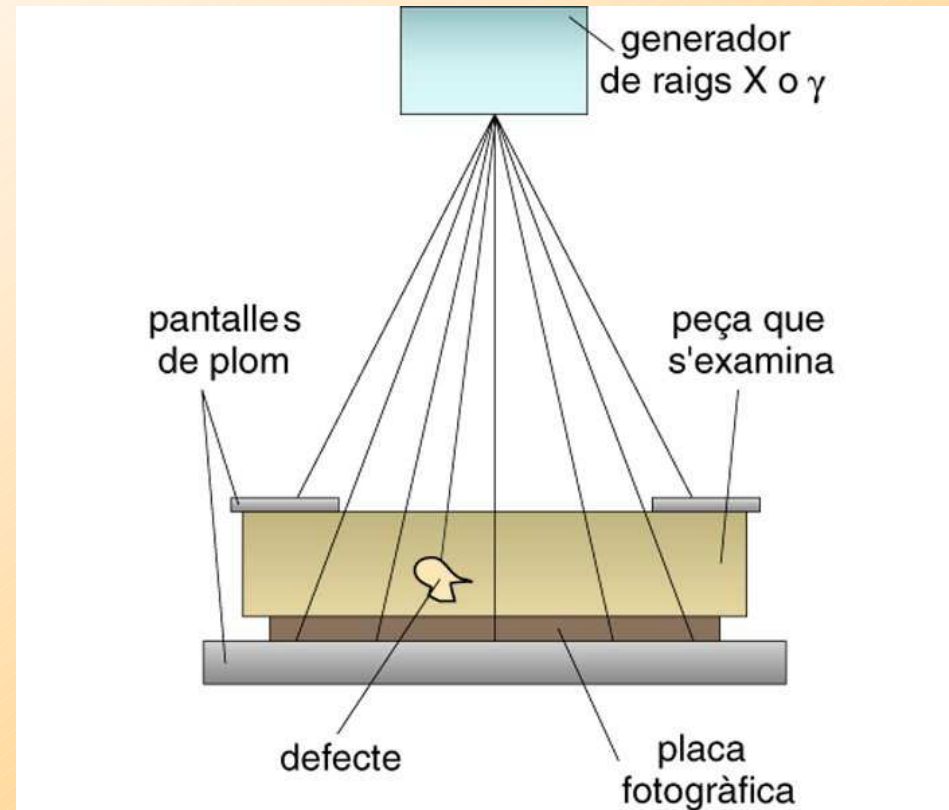
3: nucli magnètic



desviament de les línies  
de força per un defecte

## ASSAIGS PER RAIGS X i GAMMA

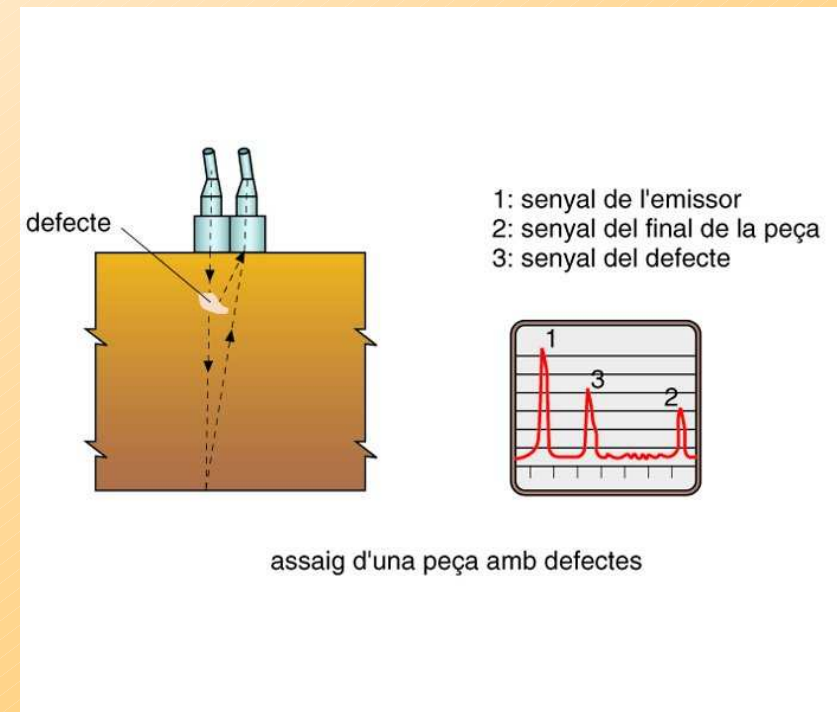
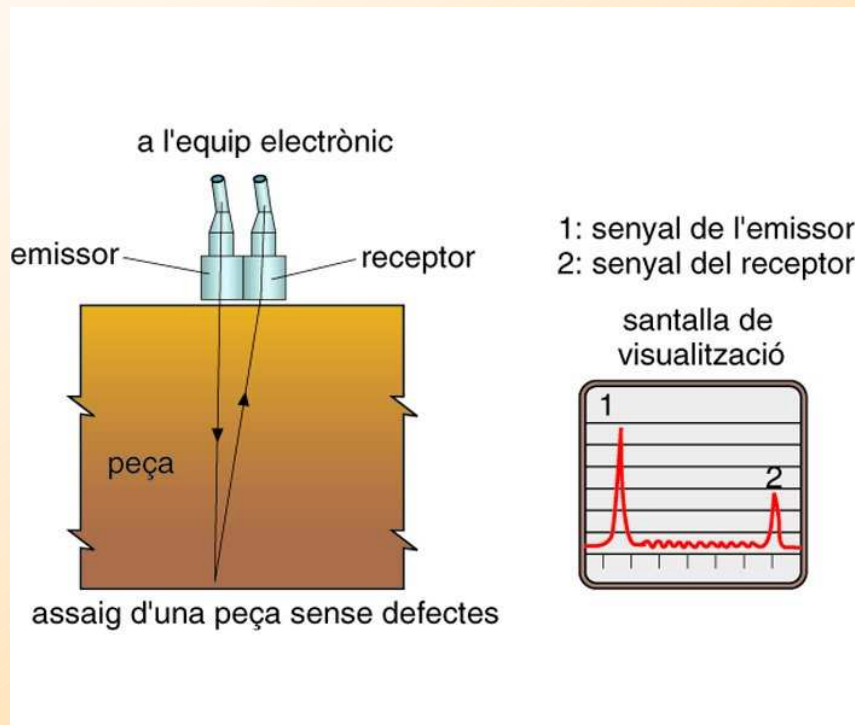
En aquests assaigs es fan passar raigs X o gamma a través de la peça que es vol analitzar i s'impresionen sobre una placa fotogràfica. La diferència d'absorció segons les zones impliquen deficiències.



## ASSAIGS PER ULTRASONS

Són ones de pressió o sonores de freqüència superior a l'audible per l'oida humana (>20.000 Hz).

Les ones dels ultrasons es reflecteixen, refracten i dispersen davant de canvis en el medi pel que es propaguen.



## 5. PROPIETATS TÈRMiques

Estudien el comportament dels materials davant de la interacció amb energia en forma de calor. Destacar:

### Conductivitat tèrmica

És la facilitat o dificultat que presenta un material perquè circuli a través d'ell un flux de calor. Per a un objecte concret depen de:

- Tipus de material
- Superfície
- Gruix
- Temps
- Gradient tèrmic

$$Q = \lambda \frac{A \cdot t \cdot \Delta T}{g}$$

$\lambda$  = Conductivitat tèrmica del material (W/m\*°C)

Altre valor utilitzat és la potència tèrmica que s'obté de  $Q/t$  (W)

## Dilatació tèrmica

És l'augment en les dimensions d'un material degut a una aportació de calor que provoqui un increment de temperatura. Dependrà del tipus de material i del gradient tèrmic.

La dilatació es pot valorar sota diferents criteris: lineal, superficial o cúbica

Habitualment s'expressa com el cocient entre l'increment de longitud i la longitud inicial. És per tant adimensional i pot expressar-se en %. Per expressar el valor absolut cal aplicar:

$$\Delta L = L_0 * \alpha * \Delta T$$

a on  $\alpha$  és el coeficient de dilatació lineal del propi material ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )