

1. Tipus d'esforços i d'assaigs

Els materials es trien en funció de les seves propietats i el seu cost.

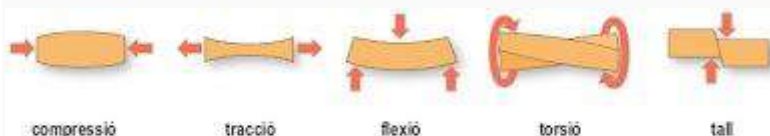
Actualment també condiciona l'elecció d'un material el seu impacte ambiental o sobre la salut.

Quan es deforma un material ho fa per l'acció d'un esforç. La deformació és **elàstica** si després d'aplicar l'esforç la peça retorna a la seva forma inicial. I una deformació és **plàstica** quan, després d'aplicar-li l'esforç a la peça, aquesta ja queda deformada de forma permanent.

Tipus d'esforços

Els 5 tipus d'esforços bàsics són:

- *Esforç de tracció*: consisteix en aplicar un esforç sobre el material que tingui tendència a estirar-lo. Un exemple seria l'acer del cable d'una grua que aguanta un pes.
- *Esforç de compressió*: consisteix en aplicar un esforç sobre el material que tingui tendència a aixafar-lo. Un exemple seria el formigó d'un pilar que aguanta un edifici. Si el cos és llarg i prim, es pot produir un vinclament (es corba en comptes d'aixafar-se).
- *Esforç de flexió*: té tendència a doblegar el cos. Un exemple serien les bigues d'una casa. És una combinació dels esforços de tracció i compressió.
- *Esforç de torsió*: té tendència a fer girar el material del cos sobre sí mateix. Un exemple seria un tornavís.
- *Esforç de cisallament*: s'apliquen dues forces perpendiculars de sentit contrari i lleugerament desplaçades, que tenen tendència a tallar el cos. Un exemple seria un cargol que uneix dues planxes que s'estiren en sentits contraris.



Tipus d'esforços bàsics

- *Esforç de fatiga*. Pot ser qualsevol dels anteriors quan s'aplica de forma variable. Perquè un esforç es consideri de fatiga cal que s'apliqui com a mínim 10^6 vegades. Totes les peces mecàniques que tenen moviment es calculen tenint en compte la fatiga. Un exemple seria l'eix d'un motor elèctric que ha d'aguantar girar en un sentit i en l'altre un nombre determinat de cicles.

Alguns exemples concrets dels tipus d'esforços bàsics:

TIPUS D'ESFORÇOS

Perfil N.º	Esfuerzo
1	FLEXIÓ
2	COMPRESSIÓ
3	FLEXIÓ
4	FLEXIÓ
5	COMPRESSIÓ
6	TRACCIÓ
7	COMPRESSIÓ
8	FLEXIÓ
9	TRACCIÓ
10	FLEXIÓ
11	COMPRESSIÓ
12	COMPRESSIÓ
13	TRACCIÓ

Tipus d'assaigs

Els assaigs són aquelles proves que es realitzen sobre una peça o proveta per a veure les seves propietats i/o la seva qualitat d'acabat. Es classifiquen en: assaigs destructius, que trenquen la peça o la fan malbé, i assaigs no destructius, que no la deteriorenen.

Assaigs destructius

Assaigs no destructius

Assaig de tracció
Assaig de compressió
Assaig de flexió
Assaig de torsió
Assaig de cisallament
Assaig de fatiga
Assaig de duresa

Assaigs magnètics
Assaigs per raigs X
Assaigs per raigs

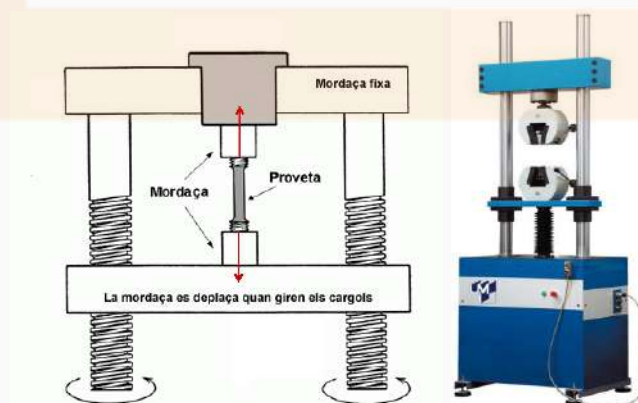
Assaigs per ultrasons

Assaig de resiliència o resistència al xoc

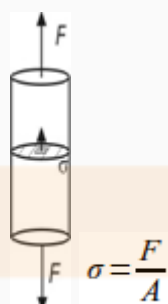
1.1. Assaig de tracció i compressió

Assaig de tracció

Consisteix a sotmetre un material a una força que tingui tendència a allargar-lo. L'assaig es realitza sobre una proveta de mesures i forma normalitzades que es fixa entre dues mordaces que la van estirant longitudinalment fins que es trenca.



Màquina que permet realitzar l'assaig de tracció.



L'esforç es produeix sobre una secció perpendicular del material, on σ és l'esforç unitari o tensió normal. La peça es deforma augmentant la seva longitud primer elàsticament i després plàsticament.

Assaig de compressió

És igual que l'assaig de tracció, però en comptes d'allargar la proveta, la força que es fa tendeix a aixafar-la.

Fórmules i conceptes

Les magnituds més importants que es calculen en aquests assaigs són:

Esforç unitari o tensió unitària o tensió normal (σ): és la força per unitat d'àrea (F/A). Serveix tant per tracció com per compressió.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

La unitat de la tensió o esforç unitari serà $(\sigma) 1 \text{ MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, també pot ser el $\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}; \quad 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Recordem:

1 Kilopascal (kPa) = 1000 Pa = 10^3 Pa

1 Megapascal (MPa) = 1000000 Pa = 10^6 Pa

1 Gigapascal (GPa) = 1000000000 Pa = 10^9 Pa

S'expressen les forces per unitat d'àrea perquè així es poden comparar resultats de provetes diferents.

Allargament unitari (ϵ): És la relació entre l'increment de longitud que experimenta la proveta degut a l'esforç aplicat i la seva longitud inicial.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (\text{com que és una divisió de dues longituds no té unitats})$$

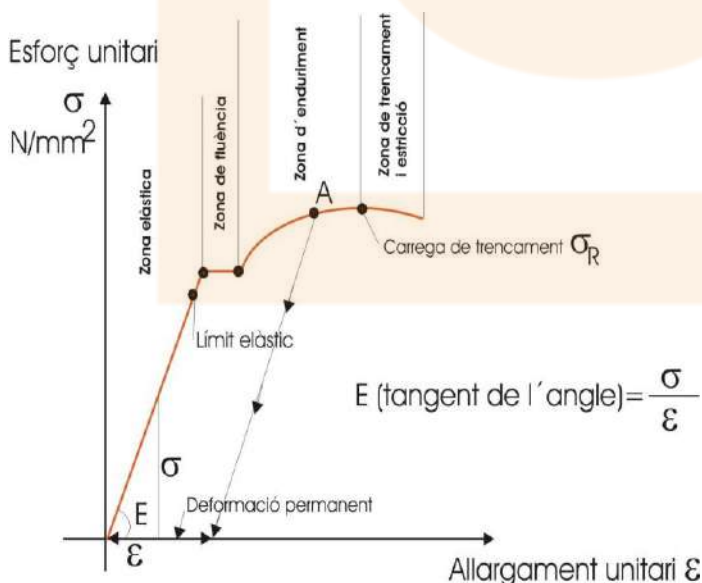
Al ser una relació, si es multiplica per cent es pot donar en tant per cent:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100 \quad (\%)$$

Diagrama de tracció d'una proveta d'acer

De l'assaig de tracció en resulta un diagrama on es veu com es va allargant la proveta a mesura que augmenta progressivament l'esforç que se li aplica. En aquest diagrama es representa a l'eix d'abscisses els allargaments unitaris (ϵ), i al d'ordenades els esforços unitaris (σ).

Un acer es comportarà tal com indica la corba del dibuix. Es distingeixen 4 zones:



1. Zona elàstica. En ella totes les deformacions produïdes per l'esforç es recuperen després de treure'l, el cos es comporta elàsticament.

Valors importants:

σ_e : Límit elàstic. És l'esforç unitari màxim que pot aguantar un material sense experimentar cap deformació permanent.

En aquesta zona es verifica la llei de Hooke, que que les tensions són proporcionals a les deformacions:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

E : mòdul elàstic. És un valor que depèn del material. correspon a la relació de proporcionalitat de la llei de Hooke, és a dir, al pendent de la recta de la zona elàstica. Quant més rígid sigui un material més elevat serà el seu mòdul elàstic.

Diagrama de tracció típic d'un acer

2. Zona de fluència. En ella el material es deforma de forma permanent sense augmentar l'esforç, hi ha una reorganització de l'estructura cristal·lina interna del metall i la proveta s'allarga.

3. Zona plàstica: En aquesta zona, si es deixa d'aplicar esforç, el material queda ja amb una deformació permanent. El màxim d'aquesta corba és el que s'anomena la resistència al trencament (σ_R). A partir d'aquí la proveta ja comença a presentar esquerdes fins que es trenca totalment. Si llavors ajuntem els dos trossos que queden, podrem mesurar l'allargament total que ha patit la proveta a l'assaig.

Coeficient de seguretat

En el càlcul de peces de màquines i estructures es fan servir sempre coeficients de seguretat per tal d'evitar que les peces es trenquin o es deformin per possibles sobrecàrregues.

El coeficient de seguretat es defineix com la relació entre la càrrega unitària màxima que es podria aplicar i la que realment s'aplica. Es representa amb una n . Si la peça s'ha de comportar elàsticament (gairebé sempre), es calcularà respecte al límit elàstic:

n : coeficient de seguretat

σ_e : límit elàstic (MPa)

σ_i : esforç de treball (MPa)

Se solen utilitzar coeficients de seguretat d'entre 1,5 i 3, depenent del risc que tingui la peça. Per exemple, una peça d'un avió cal que tingui més coeficient de seguretat que una peça per un moble.

Taula de característiques mecàniques

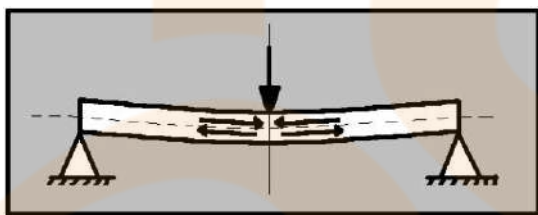
Les dades típiques d'algunes magnituds es poden trobar tabulades pels materials més comuns. Veiem per exemple el mòdul elàstic, el límit elàstic i la resistència al trencament de 4 materials molt utilitzats:

Material	Mòdul elàstic E (GPa)	Límit elàstic σ_e (MPa)	Esforç de trencament σ_R (MPa)
Acer	207	300	425
Alumini	69	85	110

Coure	110	68	220
PVC	33	-	47

1.2. Esforç de flexió

És una combinació dels esforços de tracció i de compressió. Mentre les fibres superiors de la peça estan sotmeses a compressió, les inferiors estan sotmeses a tracció.



- La part superior de la peça està sotmesa a compressió.
- La línia neutre, en el centre de la peça, no té cap esforç.
- La part inferior de la peça està sotmesa a tracció.

Distribució dels esforços en una peça sotmesa a flexió.

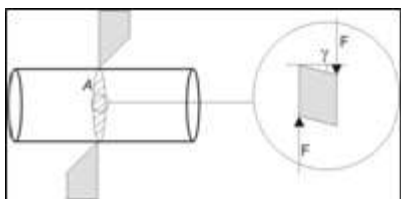
1.3. Esforç tallant

L'esforç tallant s'aplica sempre de forma perpendicular a la secció i tendeix a seccionar el cos.

En el cas de l'esforç tallant, l'esforç unitari es representa per la lletra τ .

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Observar que la fórmula de l'esforç tallant és la mateixa de l'esforç de tracció però canviant σ per τ . En l'esforç tallant la força es fa



Esforç tallant.

en la direcció de la secció, i no perpendicular com en el cas anterior.

τ = esforç tallant a què està sotmesa la peça en Pa
 F = força tallant aplicada en N

A = àrea de la peça en la direcció de l'esforç tallant m^2

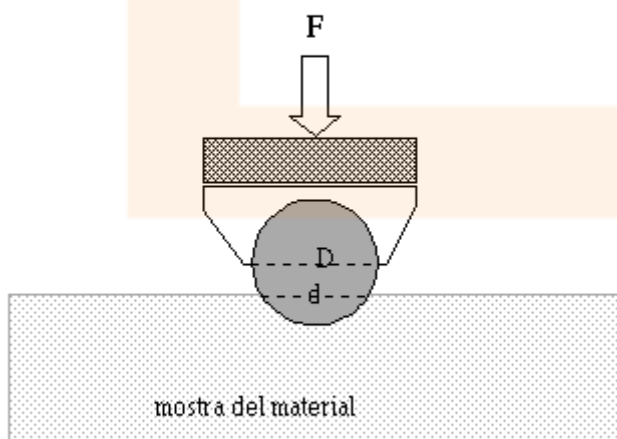
1.4. Assaig de duresa

La duresa és la dificultat que presenta un material a ser ratllat o penetrat per un altre. El material natural més dur és el diamant.

Duresa Brinell

L'assaig de duresa Brinell consisteix en aplicar una força sobre la superfície del cos amb una esfera d'acer d'un diàmetre estàndard i durant un temps determinat. Aquesta acció deixa una marca en el cos en forma de casquet hemisfèric. Quant més petita sigui la marca més gran serà la duresa del cos assajat.

Duresa Brinell (HB)



Fórmula pel càlcul de la duresa Brinell:

$$HBW = 0,102 \cdot \frac{F}{A}$$

- HBW = duresa Brinell
- F = Força aplicada en N

- 0,102 és una constant = $\frac{1}{g} = \frac{1}{9,81}$

Per obtenir les dades de la superfície semi-esfèrica de la marca, és parteix de la mesura el diàmetre d amb un petit microscopi, i després es calcula A:

Assaig de duresa Brinell

$$A = \frac{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$$

A = àrea de la marca en mm²

d = diàmetre de la marca

D = diàmetre de la bola

Duresa Brinell	HBW
Acer al carboni	180
Alumini	27
Coure	70 a 80

Taula de dureses



Màquina d'assaig de duresa

En l'acer existeix una relació entre la resistència de trencament a la tracció i la seva duresa, que és la següent:

$$\sigma_R = 3,45 HBW$$

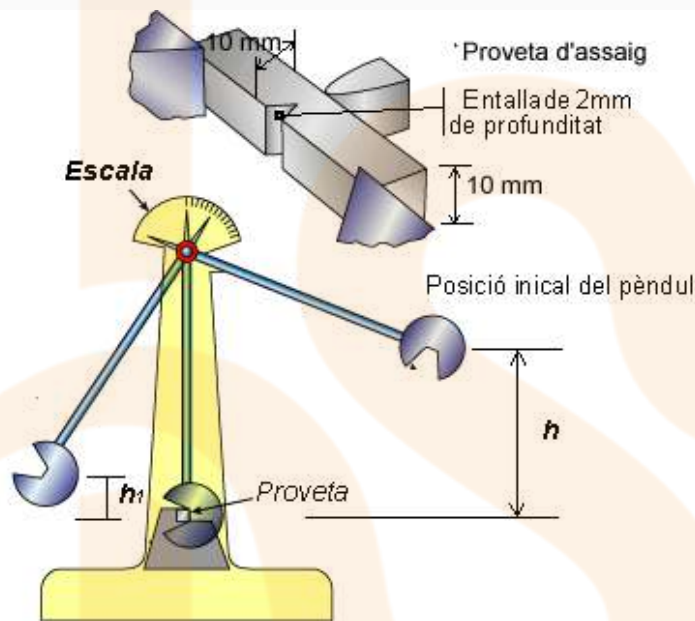
Així, a través de la tensió de trencament podem obtenir la duresa Brinell aproximada de l'acer sense fer l'assaig.

Existeixen altres tipus d'assajos de duresa, com la duresa Rockwell, per a materials molt durs. En aquests s'utilitzen penetradors de carbur de tungstè o de diamant.

1.5. Assaig de tenacitat

La **tenacitat** és la capacitat de resistència al xoc. És contrària a la fragilitat: si un material fràgil rep un cop, es trenca (malgrat pugui ser molt dur), com per exemple el vidre. Quant més tenaç sigui un material més bé suportarà els cops i els impactes.

L'assaig més important de tenacitat o resiliència és el **Pèndul de Charpy**. Aquest assaig mesura la resistència al xoc que presenta un material mesurant l'energia que gasta un martell per trencar la proveta d'assaig amb un cop.



Màquina per a realitzar l'assaig de Charpy

Per l'assaig es disposa d'una proveta de mesures 10 x 10 mm de secció, amb una entallada de 2 mm de profunditat al mig, per controlar el punt de trencament.

Un pèndul de massa 22 kg es deixa caure des d'una alçada de la seva màxima altura (h), impacta amb la proveta trencant-la, i puja després una alçada inferior (h_1). La diferència d'energia potencial del martell abans i després de trencar la proveta és la que s'ha gastat al trencament:

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

El valor de la resiliència es dona en J/mm²

$$K = \frac{E}{A}$$

K = valor de la resiliència en J/mm²

E = energia potencial perduda

A = Secció de la proveta en el punt de l'entallada (10·8=80 mm²)

1.6. Assaigs no destructius

Quan les peces han de treballar en llocs amb molts requeriments de seguretat, com és el cas dels avions, se solen sotmetre a assaigs no destructius per comprovar la seva qualitat final sense malmetre la peça definitiva.

Els més importants són:

Assaigs magnètics

Consisteix en l'aplicació de camps magnètics a la peça que es vol assajar. Si la peça està correctament fabricada la seva permeabilitat magnètica serà constant en tota la seva extensió. Quan la peça té algun defecte, l'estructura interna ja no és homogènia i la seva permeabilitat no serà igual a tot arreu. Llavors les línies del camp magnètic es desvien en el punt del defecte.

Assaig per raigs X

Aquesta tècnica és semblant a fer una radiografia a una peça. Es podran veure els defectes interns, que quedaran exposats com una taca més clara o més fosca a la radiografia.

Assaigs per ultrasons

Aquesta tècnica és similar a les ecografies mèdiques. L'assaig consisteix en enviar ones d'elevada freqüència que es propaguen pel cos, en principi de forma homogènia. Si no és així, arribaran al receptor ones amb diferent intensitat o freqüència fent que detectem el defecte.