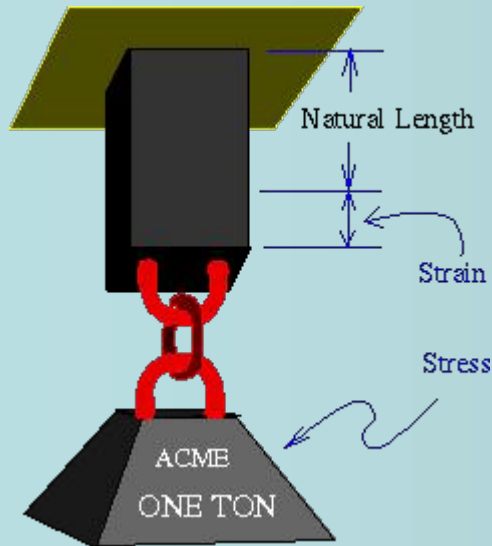


## Trakzio saiakuntzak

Material baten inguruan egin daitezken galdera arruntenak hauek izan daitezke:

- sendoa al da?
- kargatzen denean, zenbat deformatuko da?

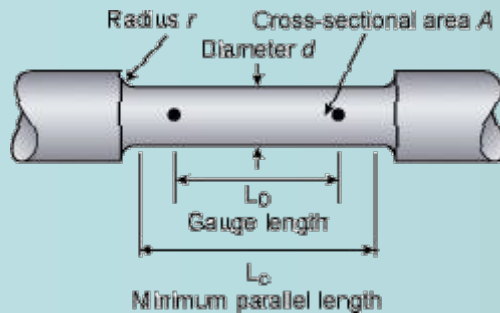
Trakzioaren frogak ematen ditu horrelako galderei erantzunak.



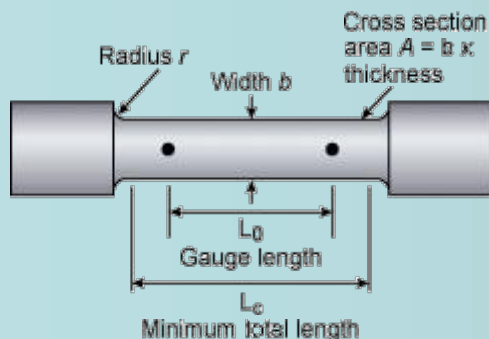
## Probetak

Askotan sekzio zirkular duten probetak erabiltzen dira.

Probetaren neurriak estandarrek izaten dira, ezaugarri geometriko berdinak duten piezak alderatzeko.



(a) Round cross section



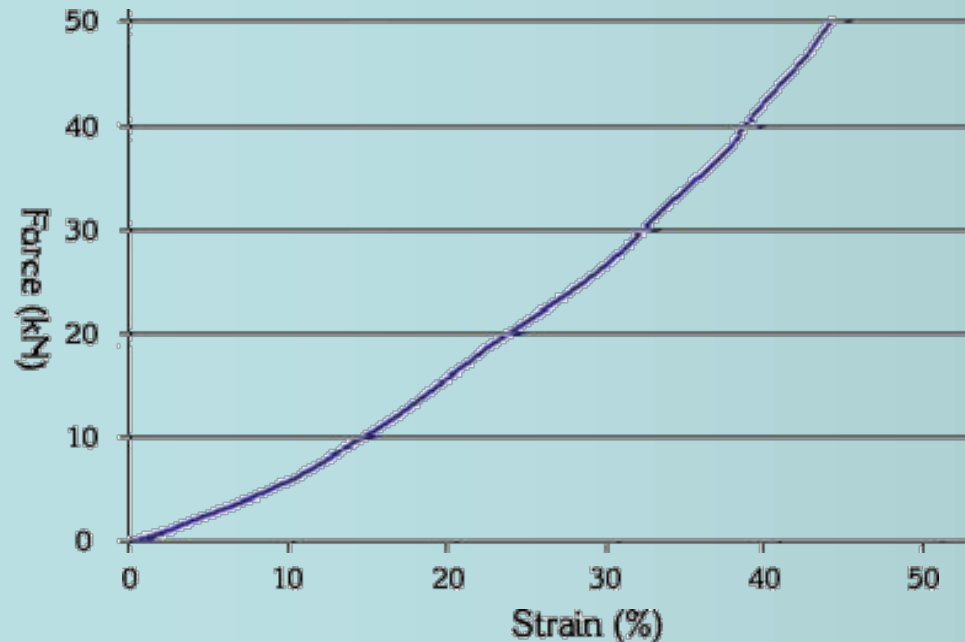
(b) Square cross section



## Esfortzu - deformazio grafikokoak

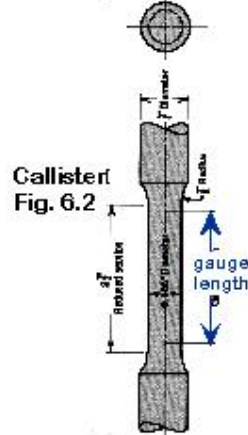
Materialen gainean eginiko esfortzu (stress, esfuerzo) eta deformazioaren (strain, deformación) arteko erlazioa garrantzitsua da, materialen ezaugarriak ebaluatzeko.

Ingeleraz, "stress-strain" grafikokoak deitzen dira.

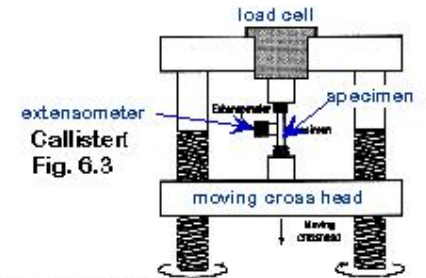


## STRESS-STRAIN TESTING

Typical tensile specimen



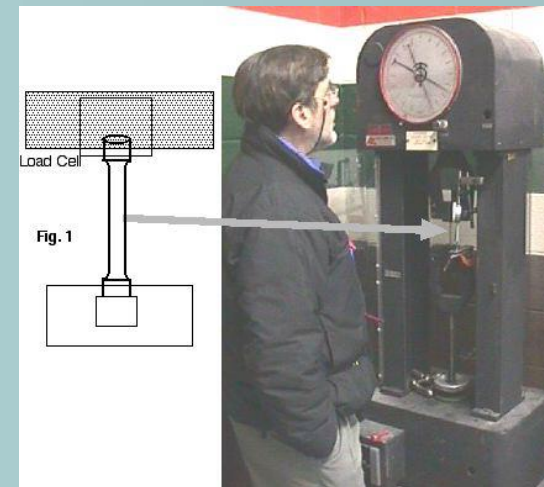
Typical tensile test machine



Other types of tests:

- compression-brittle materials (e.g., concrete)
- torsion-cylindrical tubes, shafts

Anderson 205-6.7



## Esfortzu - deformazio grafikoak

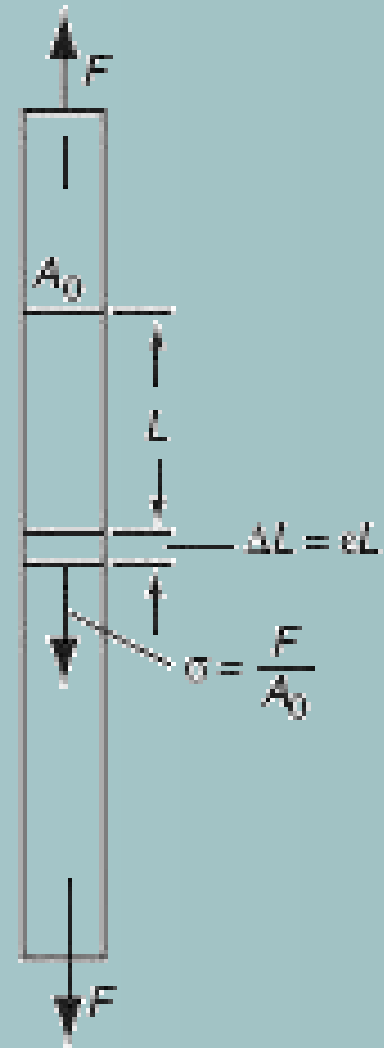
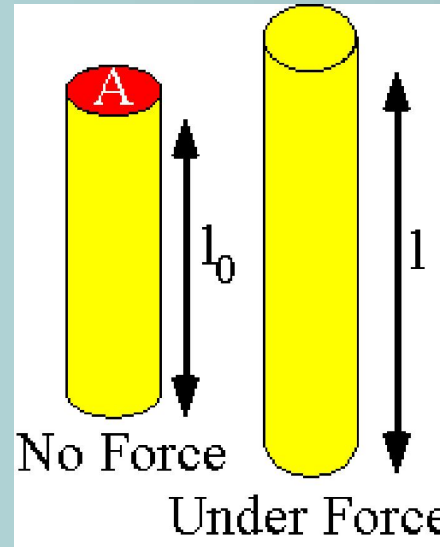
Baina esfortzu (stress) eta deformazioaren (strain) balioak normalizatu egiten dira, balio unitarioak bihurtuz. Honela, lortzen diren grafikoak orokorragoak dira eta materialak hobeteo aztertzeko balio dute.

Tentsio unitarioa (engineering stress),  $\sigma$ , sekzio unitateko jasaten duen esfortzua da. Bere ekuazioa:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \begin{cases} \sigma \dots \text{tentsio unitarioa (kg/mm}^2\text{)} \\ P \dots \text{aplikatutako esfortzua (kg)} \\ A_0 \dots \text{probetaren hasierako sekzioa (mm}^2\text{)} \end{cases}$$

Luzeraren handitze unitarioa ( $\epsilon$ ), luzapena eta hasierako luzeraren arteko erlazioa da. Bere ekuazioa:

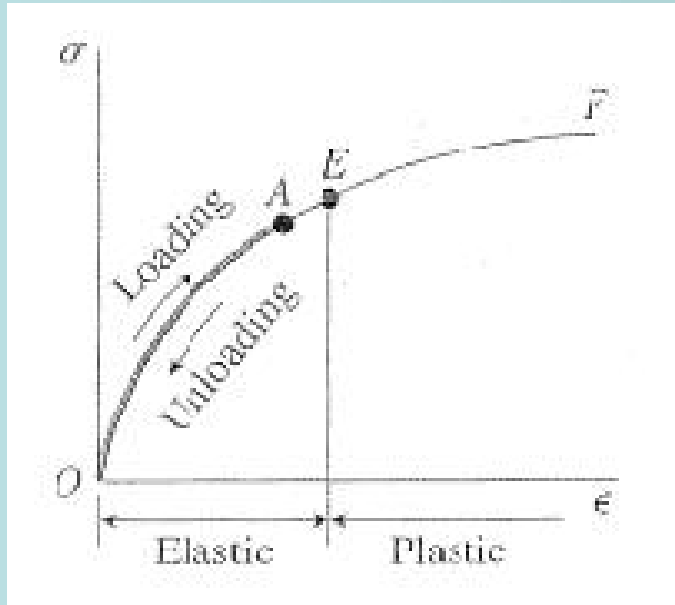
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \begin{cases} \epsilon \dots \text{luzeraren handitze unitarioa} \\ l \dots \text{luzera esfortzua ondoren (mm)} \\ l_0 \dots \text{hasierako luzera (mm)} \end{cases}$$



Deformazio elastikoa eta deformazio plastikoa

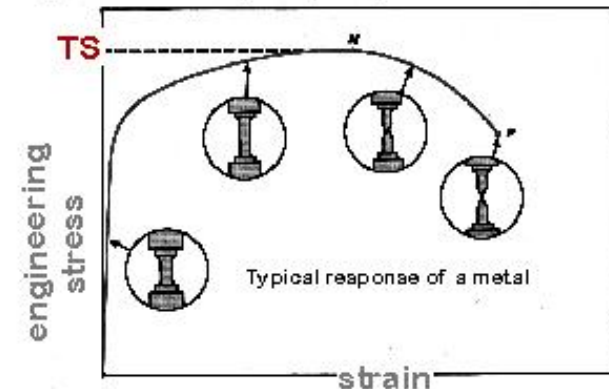
Esfortzu-deformazio grafikoak bi eskualde nagusi ditu: zona elastikoa eta zona plastikoa.

Eskualde elastikoan, deformazioa (deformazio elastikoa), itzulkorra eta behin-behinekoa da: esfortzua desagertuz gero, materiala bere hasierako luzerara itzultzen da.



## TENSILE STRENGTH, TS

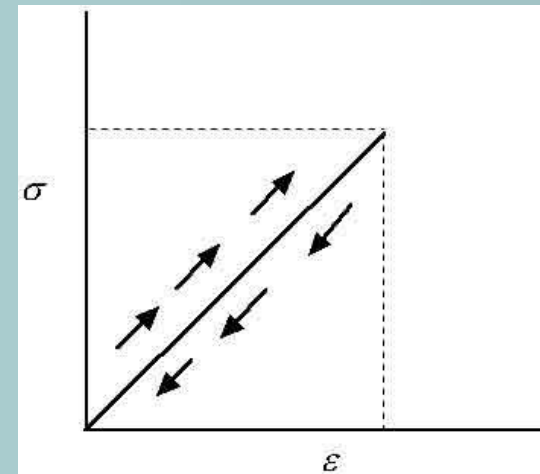
Maximum possible engineering stress in tension



Callister  
Fig. 6.10

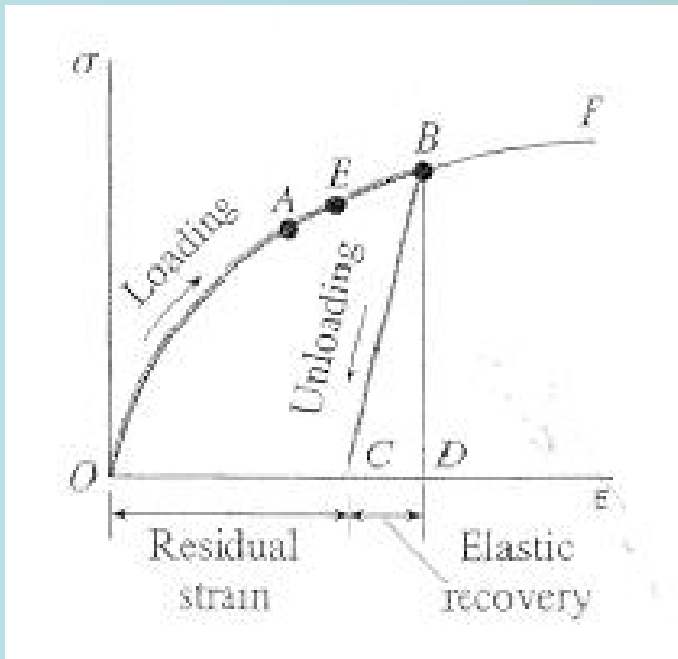
metals: occurs when noticeable "necking" starts  
ceramics: occurs when crack propagation starts  
polymers: occurs when polymer backbones are all aligned and about to break.

Anderson 205-6.15

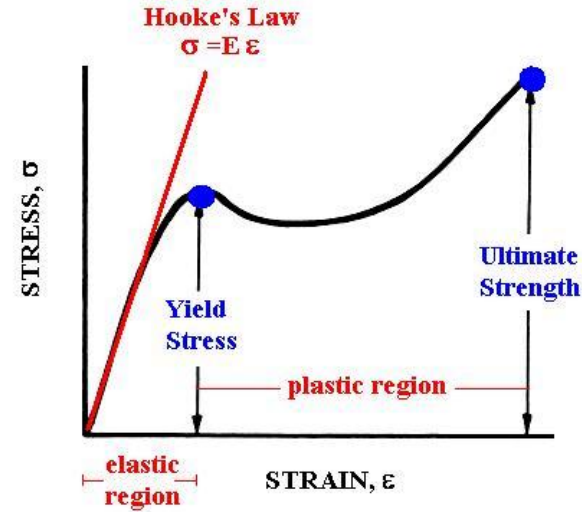


## Deformazio elastikoa eta deformazio plastikoa

Deformazio plastikoa ematen denean, deformazioa iraunkorra da; esfortzua desagertzen denean, osagai elastikoa (neurri txikikoa) errekuperatzen da baina plastikoki deformatu dena bertan jarraitzen du eta ez du hasierako forma errekuperatzen.



STRESS-STRAIN CURVE FOR A TYPICAL MATERIAL

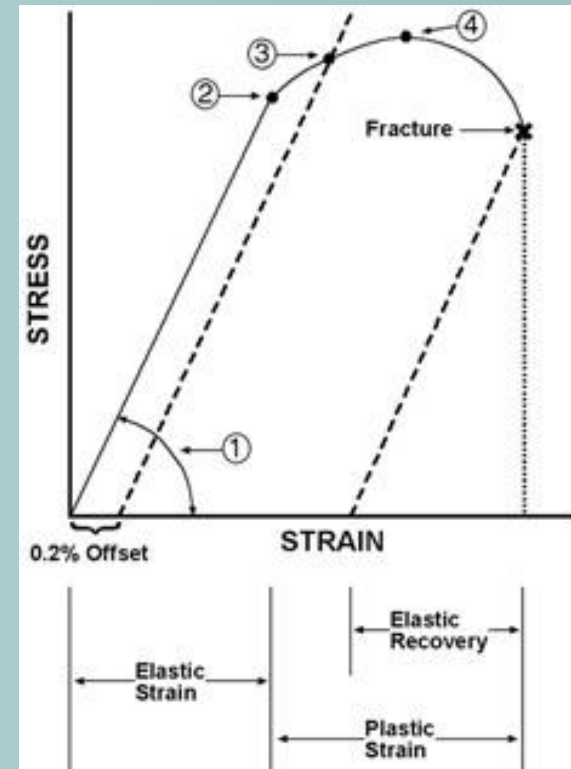
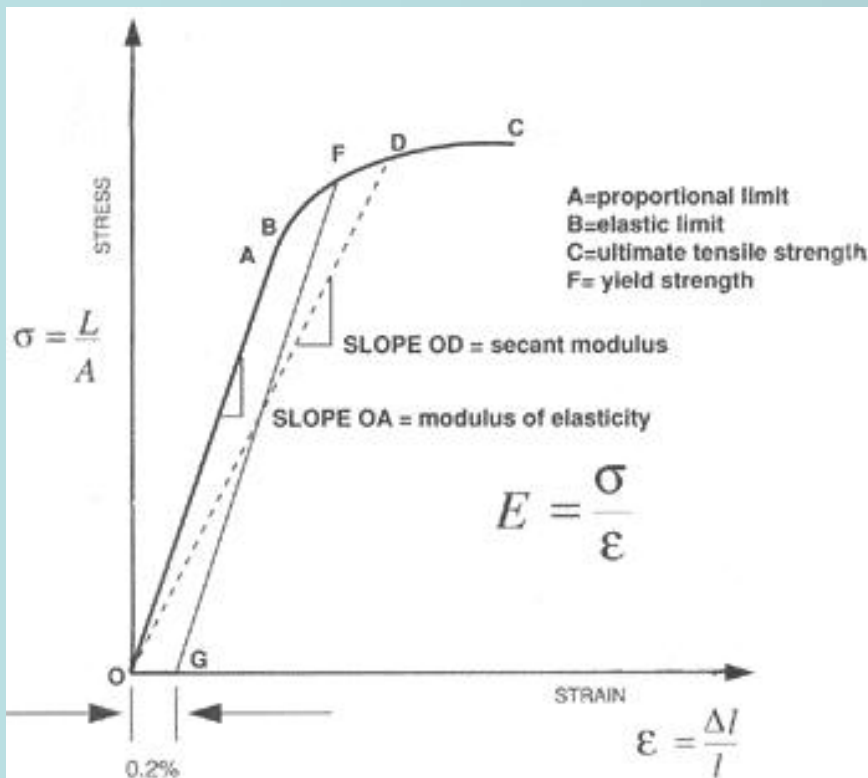
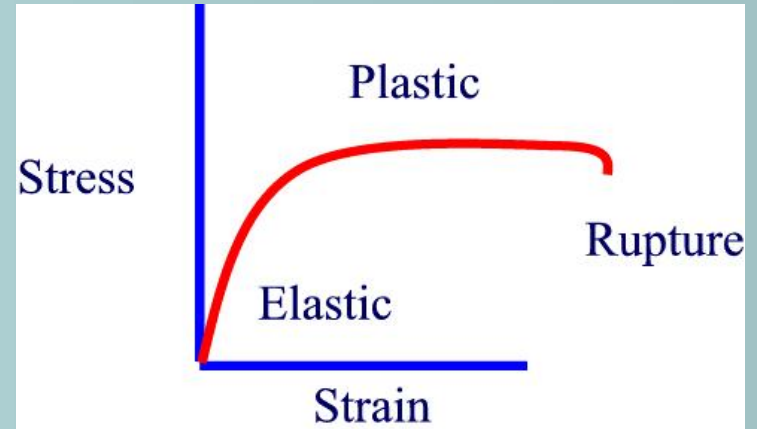


$E = \text{Modulus of Elasticity} = \text{Young's Modulus}$

# Trakzio-saiakuntzak

Eskualde plastikoan, elastikotasunaren muga gainditzean lortzen den atal ez-lineala da.

Batzutan zaila da eskualde elastiko eta plastikoen arteko muga zehaztea; orduan, elastikotasun-muga (yield strength) parte elastikoaren %0,2-ko desplazamendua hartzen da.



## Young modulua

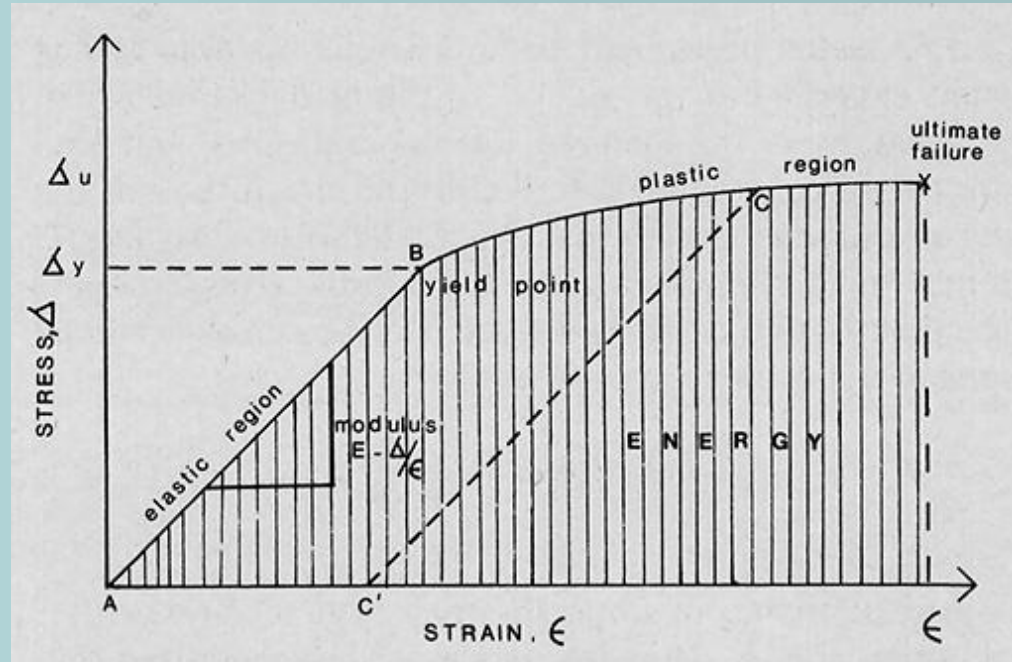
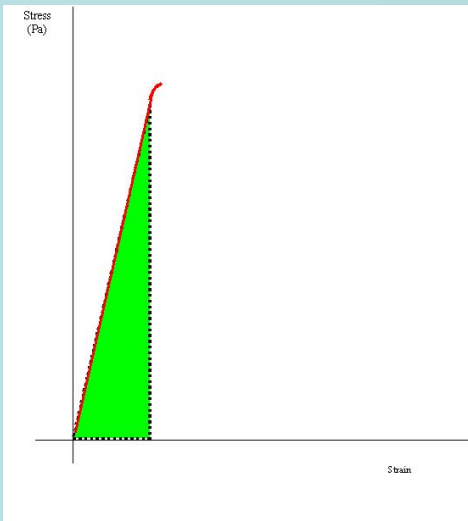
Eskualde elastikoan dagoen zuzenaren maldak, **elastikotasun modulua (E)** edo **Young modulua** deitzen da.

Eskualde honetan, Hooke-ren legea betetzen da:

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

Young-en moduluaren ekuazioa, beraz, hau da:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$



**FIG. 12-4** Stress-strain curve for a ductile metal of known cross section.  $\sigma_u$  is the ultimate strength of the material while  $\sigma_y$  is the yield point that marks the transition between elastic and plastic behavior. The area under the stress-strain curve reflects the energy stored by the material prior to failure. The slope of the plot in the linear elastic region is known as the *modulus* and reflects the material's stiffness.

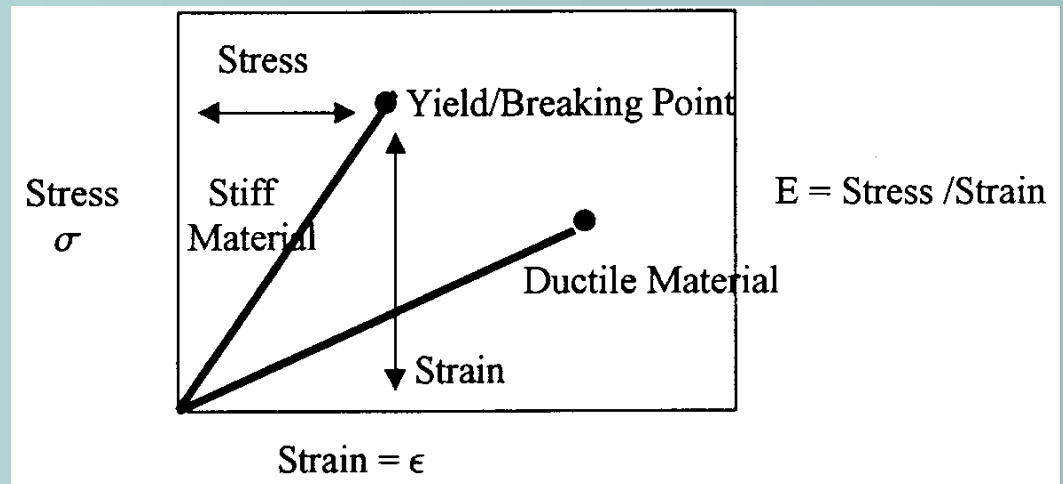
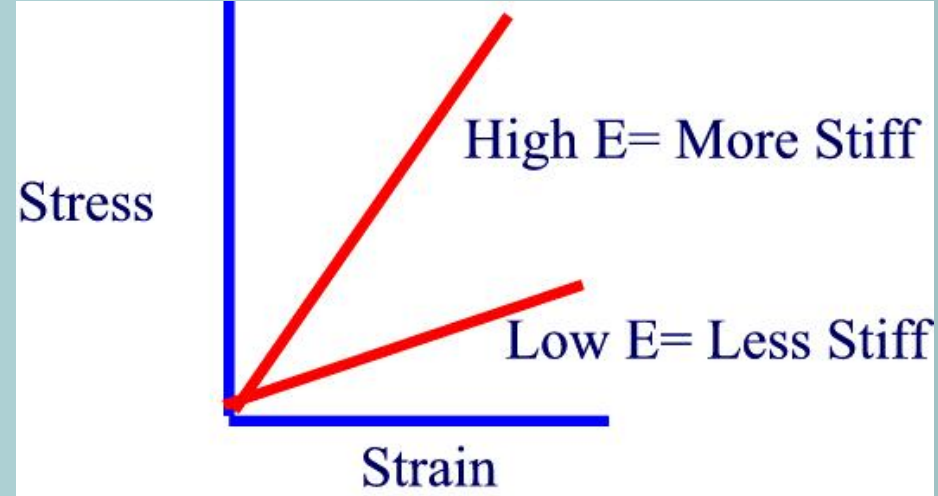
# Trakzio-saiakuntzak

## Young modulua (E)

Young modulua, materialen datu garrantzitsua da, zurruntasuna (rigidez, stiffness) adierazten duelako.

Zurruntasuna, deformazioa ekiditzeko materialak aurkezten duen oztopoa da.

Ezaugarri honen bidez, materiala lantzeko erraza izango den ala ez jakin dezakegun.



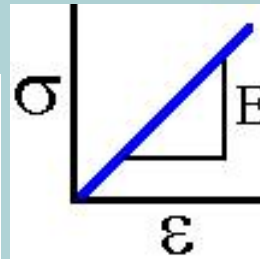
**Material** **Modulus (GPa)**

**Ceramics, glasses, and semiconductors:**

Diamond (C)	1000
Tungsten Carbide (WC)	450 -650
Silicon Carbide (SiC)	450
Aluminum Oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	390
Beryllium Oxide (BeO)	380
Magnesium Oxide (MgO)	250
Zirconium Oxide (ZrO)	160 - 241
Mullite (Al <sub>6</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>13</sub> )	145
Silicon (Si)	107
Silica glass (SiO <sub>2</sub> )	94
Soda-lime glass (Na <sub>2</sub> O - SiO <sub>2</sub> )	69

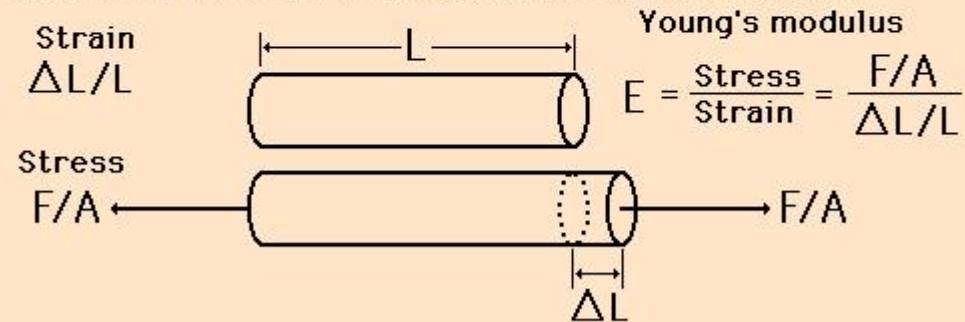
**Metals:**

Tungsten (W)	406
Chromium (Cr)	289
Beryllium (Be)	200 - 289
Nickel (Ni)	214
Iron (Fe)	196
Low Alloy Steels	200 - 207
Stainless Steels	190 - 200
Cast Irons	170 - 190
Copper (Cu)	124
Titanium (Ti)	116
Brasses and Bronzes	103 - 124
Aluminum (Al)	69



## Young's Modulus

For the description of the elastic properties of linear objects like wires, rods, columns which are either stretched or compressed, a convenient parameter is the ratio of the stress to the strain, a parameter called the Young's modulus of the material. Young's modulus can be used to predict the elongation or compression of an object as long as the stress is less than the yield strength of the material.



Elastic Properties of Selected Engineering Materials

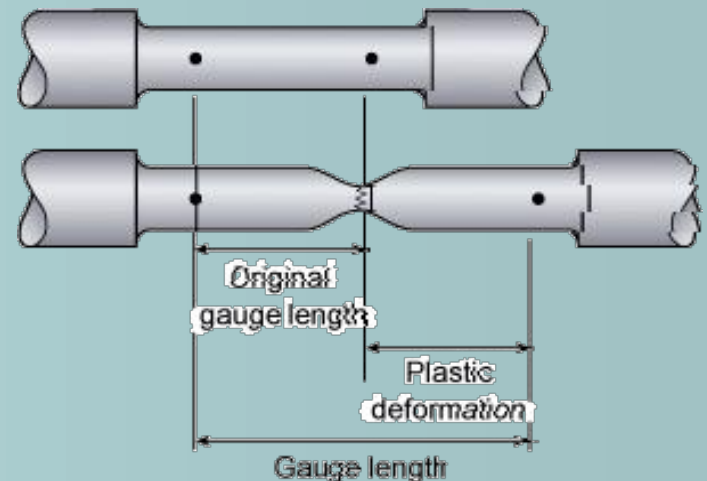
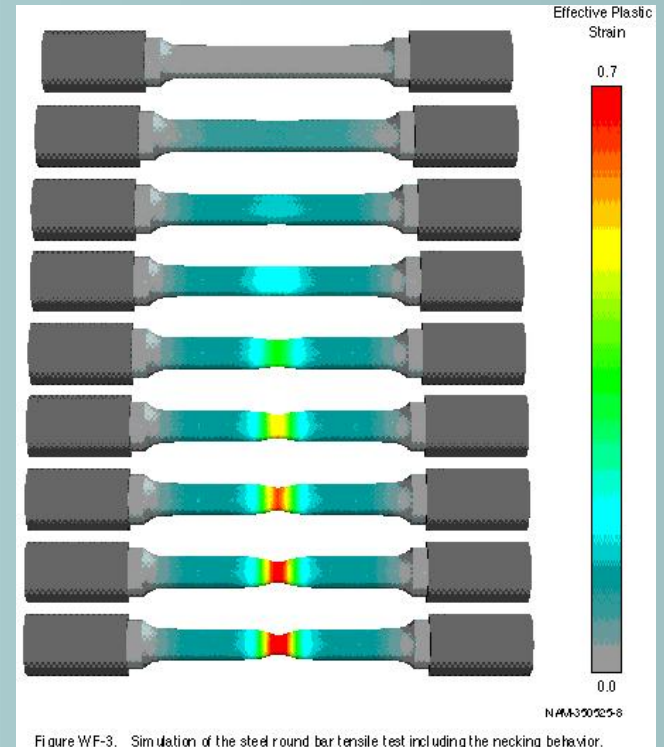
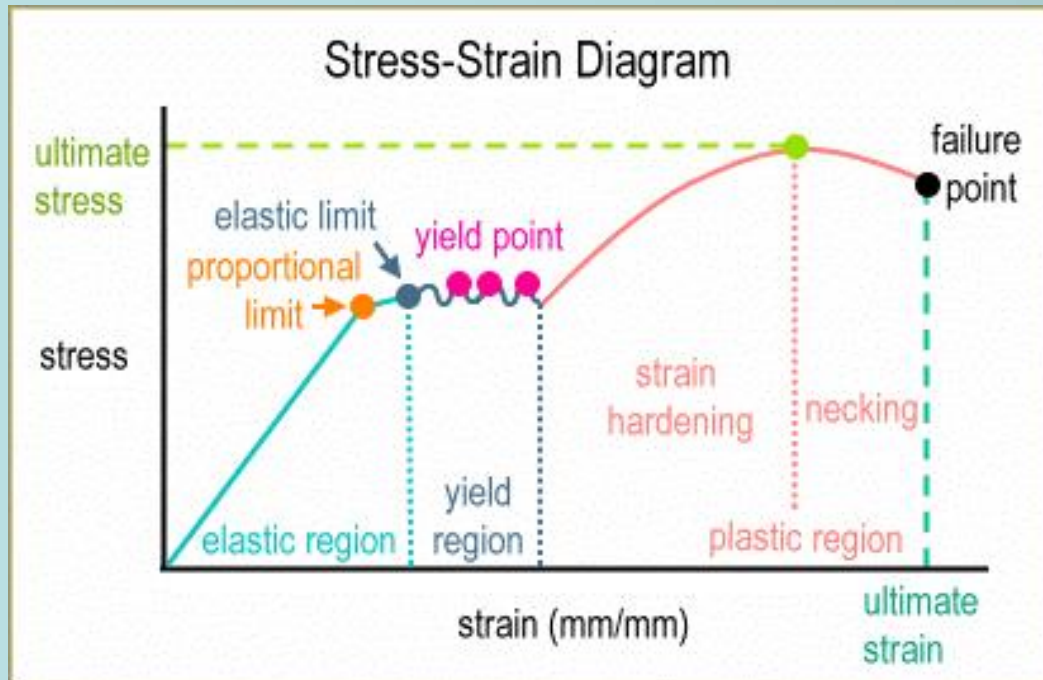
**Polymers:**

Polyimides	3 - 5
Polyesters	1 - 5
Nylon	2 - 4
Polystyrene	3 - 3.4
Polyethylene	0.2 - 0.7
Rubbers	0.01 - 0.1

Eskualde plastikoan, egin beharreko esfortzua handitzen joan behar da, materialaren luzamendua lortzeko, iritsi arte puntu batetara: erresistentziaren tentsioraino (tensile strength). Eskualde honi, gogortze luzamendua (strain hardening) deitzen zaio.

Datu hau garrantzitsua da materialei forma emateko, hotzean.

Puntu horretatik aurrera, estrikzioa (necking) gertatzen da.



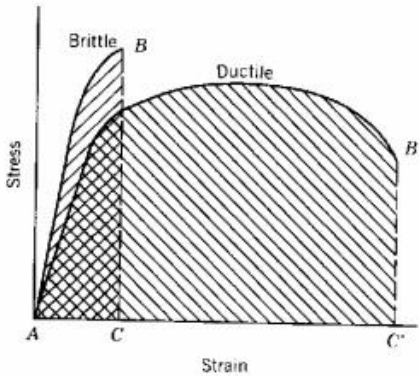


Harikortasuna (ductilidad, ductility)

Harikortasuna, materiala (trakzioaren eraginpean) plastikoki deformatzeko duen ahalmena da.

Koantifikatzeko,  $100 \times \varepsilon_{\text{haustura}}$  balioa hartzen da.

## Ductility



$$\text{Elongation} = 100 \cdot (l_f - l_0) / l_0$$

$$\text{Reduction of area} = 100 \cdot (A_0 - A_f) / A_0$$

$$\{0 = \text{original}; f = \text{fracture}\}$$

**Figure 6.10.** Schematic representations of tensile stress-strain behavior for brittle and ductile materials loaded to fracture.

How the open die forging process affects the crystal structure.

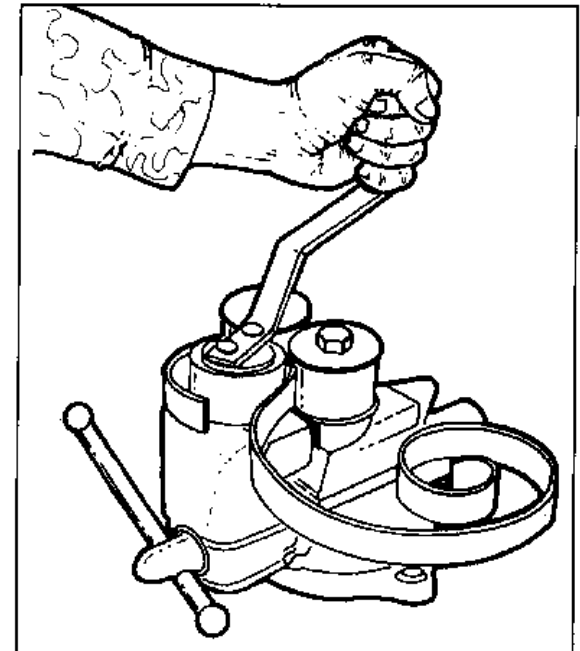
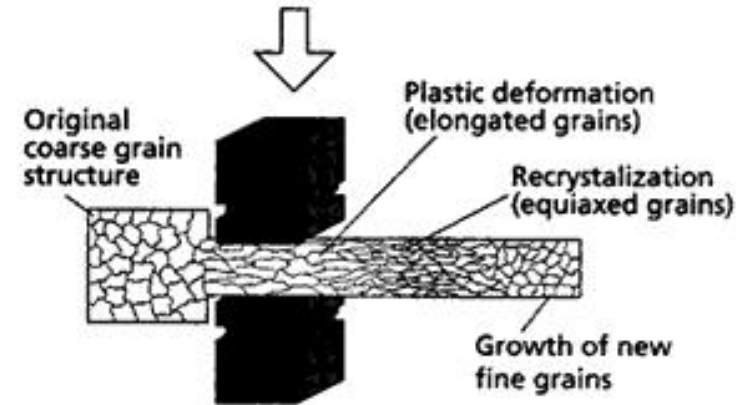


Figure 2-5. Ductility.

	<p>UNIBERTSITATEAN SARTZEKO HAUTAPROBAK 2003/2004</p> <p>INDUSTRIA TEKNOLOGIA II</p>	<p>Galdera-sorta 2004 – II</p> <p>Or.: 1 (5)</p>
---	--	--

**Azterketariak 1 ATALEKO A ala B aukera osoari erantzungo dio. Berdin jokatuko du 2 ATALAREKIN.**

*(Azken emaitza hartutako aukeretako noten batezbesteko aritmetikoak emango du. Aukera bakoitzak hamar puntu balio du.)*

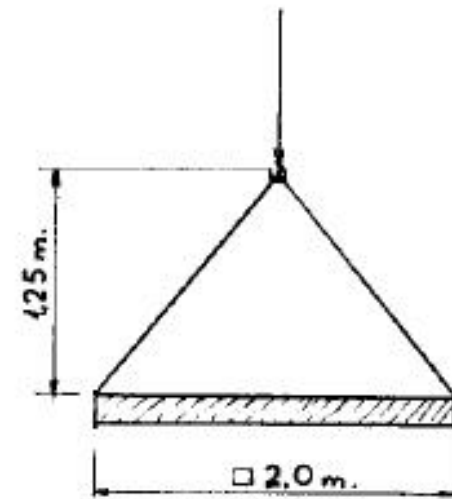
## I ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK

**A aukera:** (lau ariketa ditu)

**I-A** (3 puntu balio ditu)

Xafla bat kako batetik dago eskegita izkina bakoitzetik ateratzen den kable edo tirante baten bidez. Xaflak 2 m-ko alboa du eta 4,5 t pisatzen du. Kakoa xafla baino 1,25 m altuago dago. Tiranteetarako 10, 12, 14, 16 eta 18 mm-ko diametro duten kableak ditugu.

Kableetariko zein erabili behar da tiranteetan materialaren tentsio onargarria  $\sigma_{on} = 4200 \text{ kg/cm}^2$  bada eta segurtasun koefizientea  $k = 2,5$  gorde nahi bada?



## Ebazpena

Kable bakoitzak jasaten duen tentsioa kalkulatuko dugu. Horretarako, bere osagaietan banatuko ditugu.

T1 eta T2 berdinak dira balioz eta osagaiak balioak ere berdinak dituzte. Batentzat kalkulua aginez gero, besterentzat ere balio du.

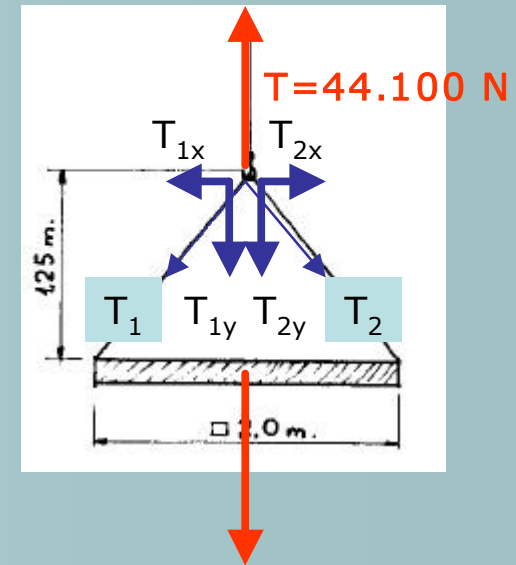
Hona hemen lehen erlazioak:

$$T_{1x} = T_{2x}$$

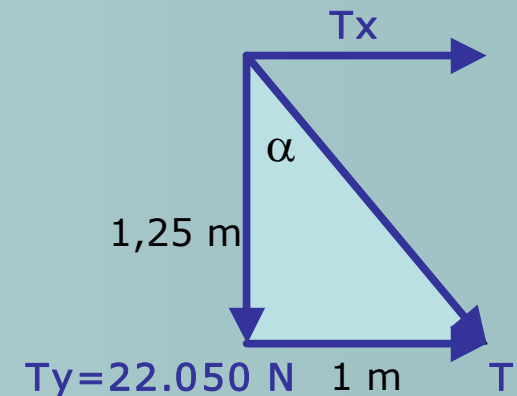
$$T_{1y} + T_{2y} = 44.100 \text{ N} \xrightarrow{T_{1y}=T_{2y}} T_{1y} = T_{2y} = \frac{44.100 \text{ N}}{2} = 22.050 \text{ N}$$

Tentsioen "x" osagaiak kalkulatzeko, angeluaren balioa behar dugu. Hori, emandako dimentsioetatik aterako dugu.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{1 \text{ m}}{1,25 \text{ m}} = 38,7^\circ$$



$$P = 4.500 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 44.100 \text{ N}$$



## Ebazpena

Ondoren, indarraren beste osagaia eta modulua kalkulatuko dugu.

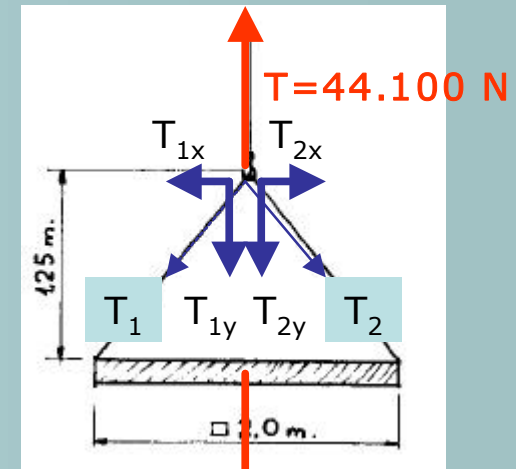
$$\tan \alpha = \frac{1 \text{ m}}{1,25 \text{ m}} = \frac{T_x}{T_y} = \frac{T_x}{22.050 \text{ N}}$$

$$T_x = 22.050 \text{ N} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1,25 \text{ m}} = 17.640 \text{ N}$$

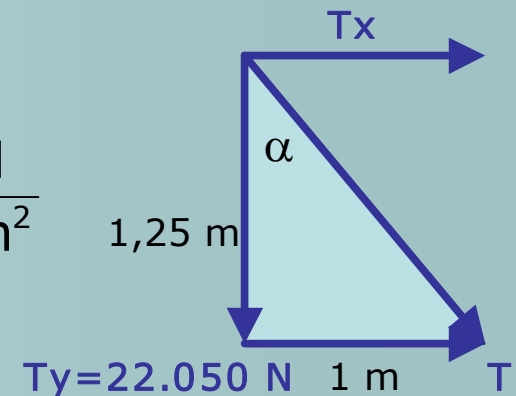
$$T_1 = T_2 = \sqrt{(22.050 \text{ N})^2 + (17.640 \text{ N})^2} = 28.238 \text{ N}$$

Segurtasun-koefizientea kontutan harturik, kableak zein tentsio unitarioarekin egin behar duen lan kalkulatuko dugu.

$$\sigma_{\text{Iana}} = \frac{\sigma_{\text{on}}}{k} = \frac{(4200 \text{ kg/cm}^2) \cdot (9,8 \text{ N} / 1 \text{ kg})}{2,5} = 16.464 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$



$$P = 4.500 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 44.100 \text{ N}$$



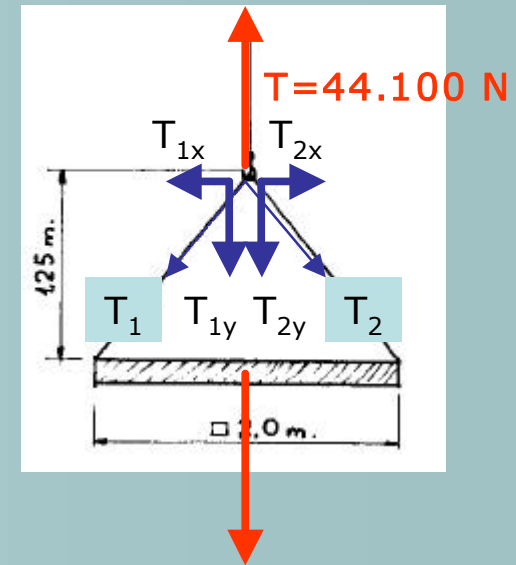
## Ebazpena

Azkenik, zein gutxienezko diametroa behar den kalkulatuko dugu

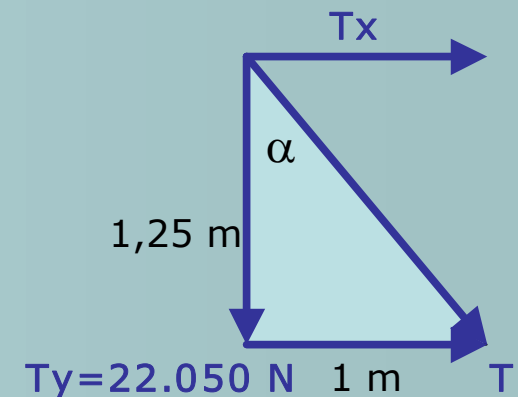
$$\sigma_{\text{lana}} = \frac{F}{A_0} = \frac{F}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{4F}{\pi D^2} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4F}{\pi \sigma_{\text{lana}}}}$$

$$D_{\text{min}} = \sqrt{\frac{4 * 28.238 \text{ N}}{3,1416 * 16.464 \text{ N/cm}^2}} = 1,48 \text{ cm} = 14,8 \text{ mm}$$

Ondorioz, 16 mm eta 18 mm-ko kableak erabil daitezke.



$$P = 4.500 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 44.100 \text{ N}$$





UNIBERTSITATEAN SARTZEKO HAUTAPROBAK 2003/2004

INDUSTRIA TEKNOLOGIA II

Galdere-sorta  
2004 - I

Or.: 2 (5)

## I ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK

**B aukera:** (lau ariketa ditu)

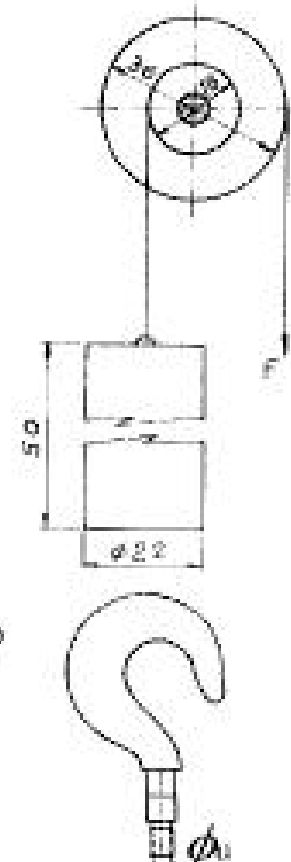
**I-B** (3 puntu balio ditu)

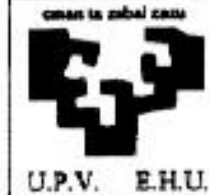
Irudiek erakusten duten sisteman polea bi agertzen dira ardatz batean sartuta, hiru elementuak batera biratzeko moduan.

Altzairuzko pieza bat (dentsitatea  $8 \text{ Kg/dm}^3$ ) igo gura da abiadura konstantez. Pieza hori zilindrikoa da eta neurriak irudian ematen dira cm-tan.

Sistema guztia irudiaren moduko kako batetik eskegitzen da. Kakoa altzairuzkoa da, forjatua, eta  $\sigma_{on} = 3.200 \text{ Kg/cm}^2$  du tentsio onargarria. Poleen

euskarriari lotzeko, kakoari M20 haria egin zaio, hariak  $\phi_h = 17\text{mm}$  duela diametro baliagarria. Mekanismoak (kakoa, euskarria, poleak, ardatza eta osterantzeko osagaiak) 100 Kg pisatzen du. Kalkulatu kakoak trakzioan duen segurtasun-koefizientea.





UNIBERTSITATEAN SARTZEKO HAUTAPROBAK 2002/2003

INDUSTRIA TEKNOLOGIA II

Galdera-sorta  
2003 - I

Or.: 2 (5)

## I ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK

**B aukera:** (hiru ariketa ditu)

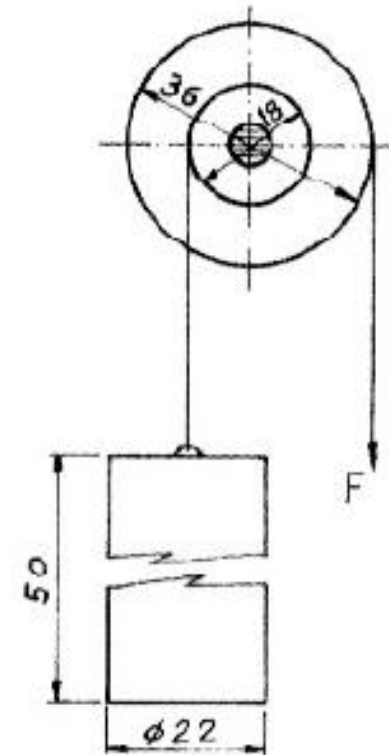
**I-B** (3 puntu balio du)

Irudiko mekanismoan polea bi agertzen dira ardatz bakarrean sartuta, hiru elementuek batera bira egiteko moduan.

Kable batetik eskegita dagoen altzairuzko pieza (dentsitatea =  $8 \text{ kg/dm}^3$ ) altxatu gura da abiadura konstantez. Piezak itxura zilindrikoa du eta neurriak cm-tan emanda daude.

- a) Eman pieza altxatzeko egin behar den  $F$  indarra. (1 puntu)
- b) Piezari eusten dion kablea altzairuzkoa da,  $\sigma_{on.} = 3200 \text{ kg/cm}^2$  du tentsio onargarria eta sekzio zirkularrekoa da. Hori jakinda eta diametroa 3, 4 eta 6mm duten kableak badaude, zein hartuko da  $\eta=5$  segurtasun koefizientea gorde gura bada?

(2 puntu)





UNIBERTSITATEAN SARTZEKO HAUTAPROBAK 2002/2003

INDUSTRIA TEKNOLOGIA II

Galdera-sorta  
2003 – II

Or.: 2 (5)

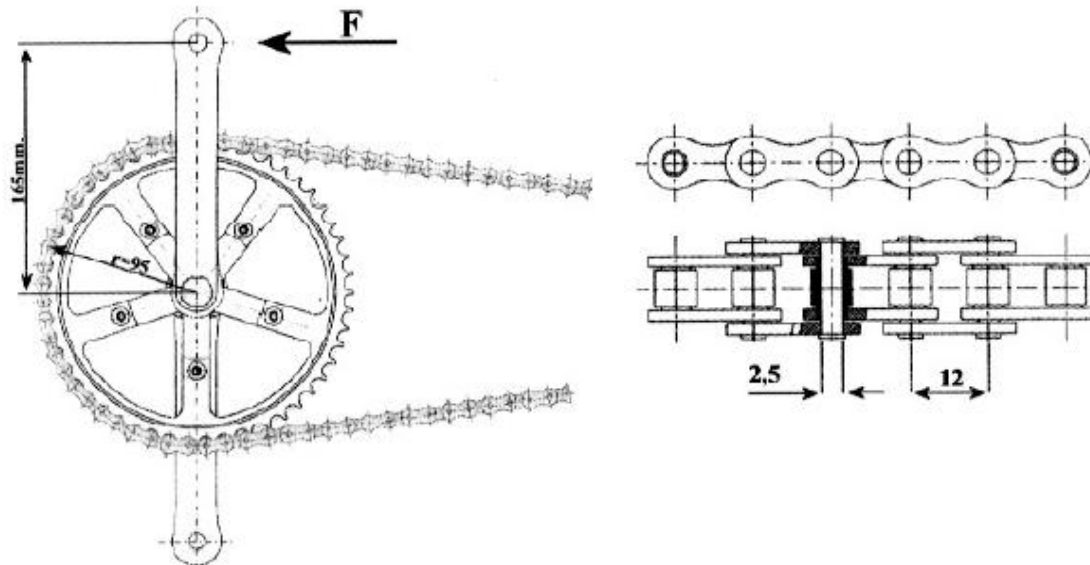
## I ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK

**B aukera:** (hiru ariketa ditu)

**I-B** (3 puntu balio du)

Bizikleta bateko kateak larakoak ditu josita elkarri kate-mailak. Larakoek 2,5 mm dute diametroa eta euron ardatzak 12 mm-ra daude elkarrengandik. Zera jakinda, pedalaren biela 165 mm luze dela, plater handiaren erradioa 95 mm dela eta pedalak hartzen duen indarra  $F = 800$  N dela, erantzun hurrengo galderei:

- Kalkulatu kateak hartzen duen T tentsioa eta adierazi adarretariko zeinetan aplikatzen den. (1 puntu)
- Kalkulatu larakoek jasaten duten batez besteko esfortzu ebakitzailea ( $\tau$ )  $\text{kg/cm}^2$ -tan (2 puntu)



INDUSTRIA TEKNOLOGIA II  
2005 - I

1. ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK. A aukera

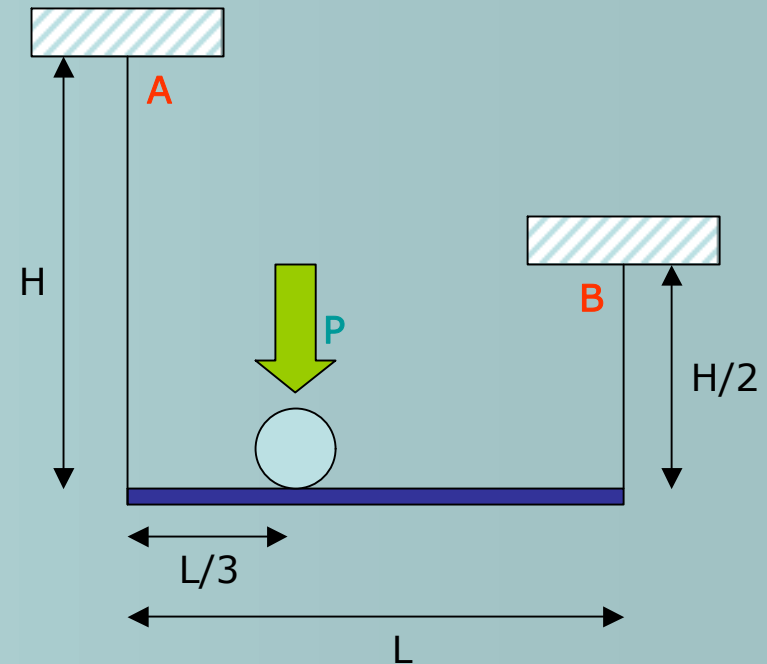
I-A

Ohol baten gainean esfera itxurako P karga jartzen da. Ohola A eta B puntuetatik dago zintzilik eta, krokisak erakusten duenez, A eta B puntuak altuera desberdinetan daude.

A puntutik eskegitzen den kablearen diametroa B puntutik eskegitzen denaren halako bi da.

a) Kalkulatu, P kargaren arabera, A eta B puntuetako erreakzioak

b) Marruskadura kontuan izan barik, P karga geldi-geldi utzi gura bada, zein izan behar du esekidura-kableen materialen **elastikotasun-modulu** edo **Young moduluen** arteko erlazioak?

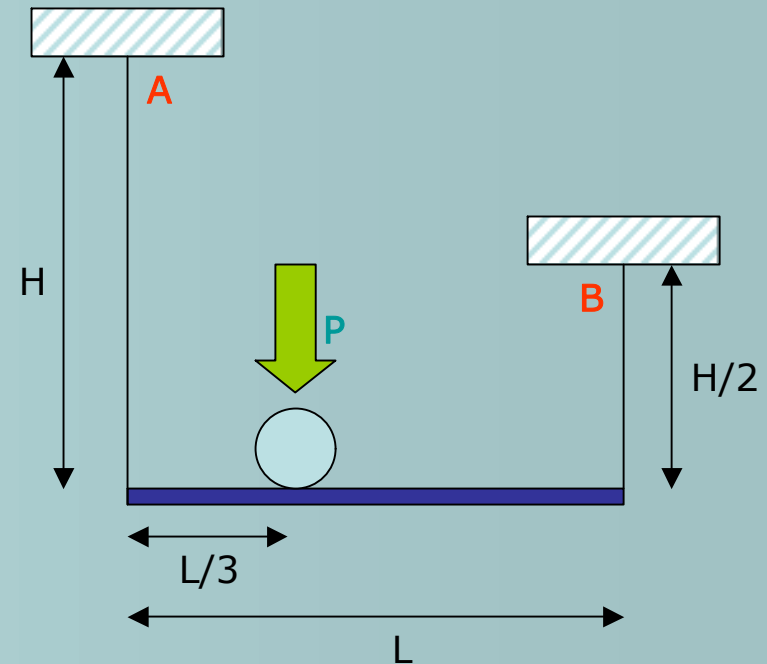
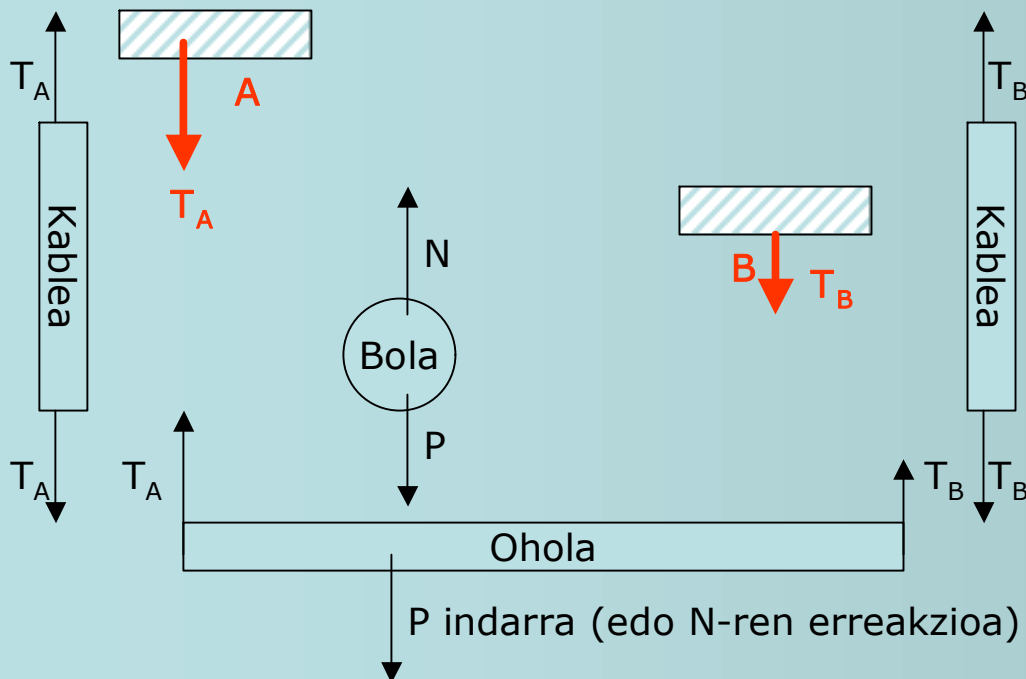


INDUSTRIA TEKNOLOGIA II  
2005 - I

1. ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK. A aukera

a) Kalkulatu,  $P$  kargaren arabera, A eta B puntuetako erreakzioak

Hona hemen indarren diagramak, gorputz bakoitzean (ohola, kable eta esferaren masak ez dira kontuan hartzen):



INDUSTRIA TEKNOLOGIA II  
2005 - I

1. ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK. A aukera

a) Kalkulatu, P kargaren arabera, A eta B  
puntuetako erreakzioak

Estatikan, bi ekuazio nagusi ditugu:

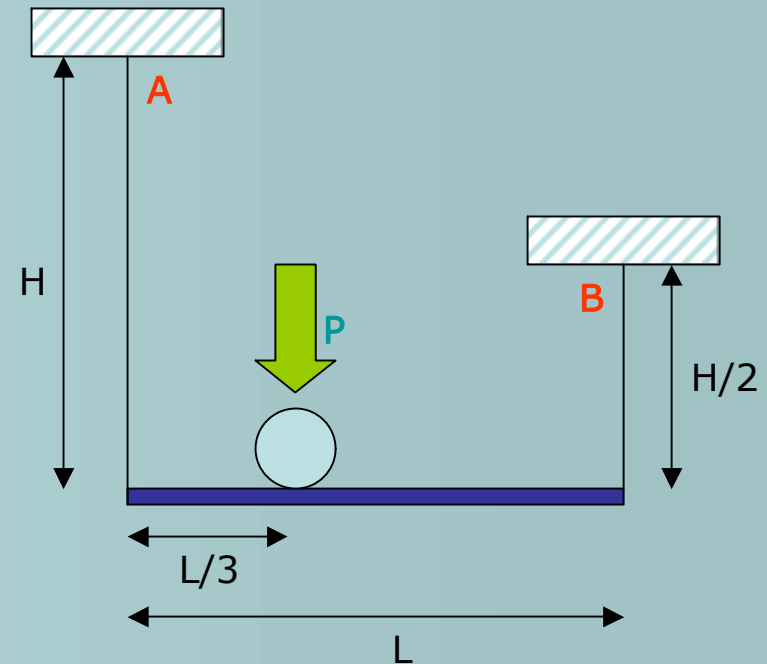
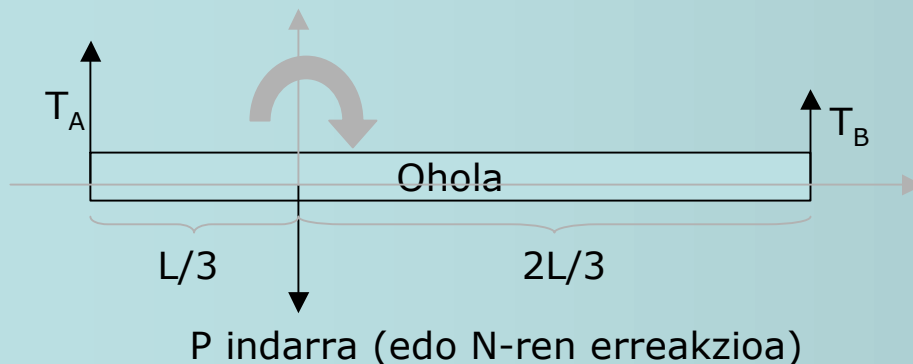
$$\sum \vec{F} = 0$$

$$\sum \vec{M} = 0$$

Ekuazio hauetatik:

$$T_A + T_B - P = 0 \rightarrow P = T_A + T_B$$

$$T_A \cdot \frac{L}{3} - T_B \cdot \frac{2L}{3} + P \cdot 0 = 0 \rightarrow T_A = 2T_B$$



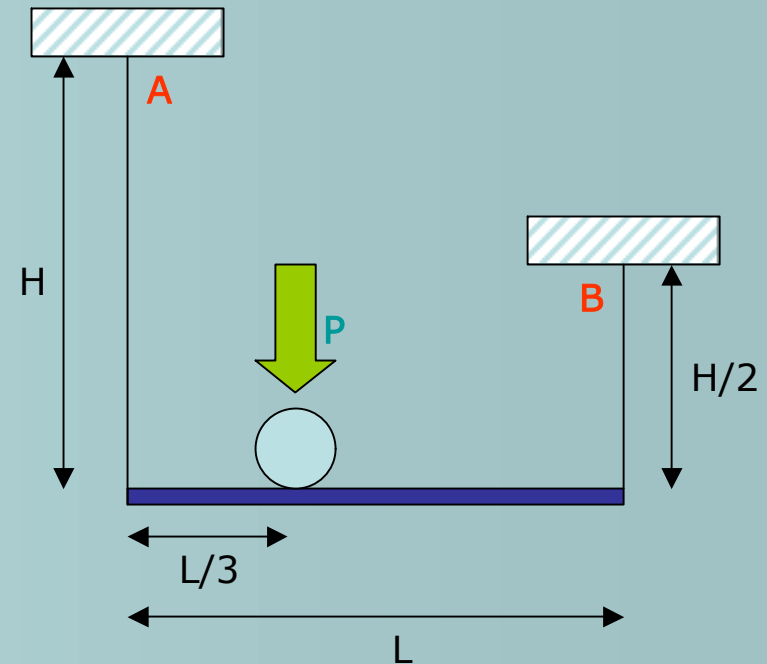
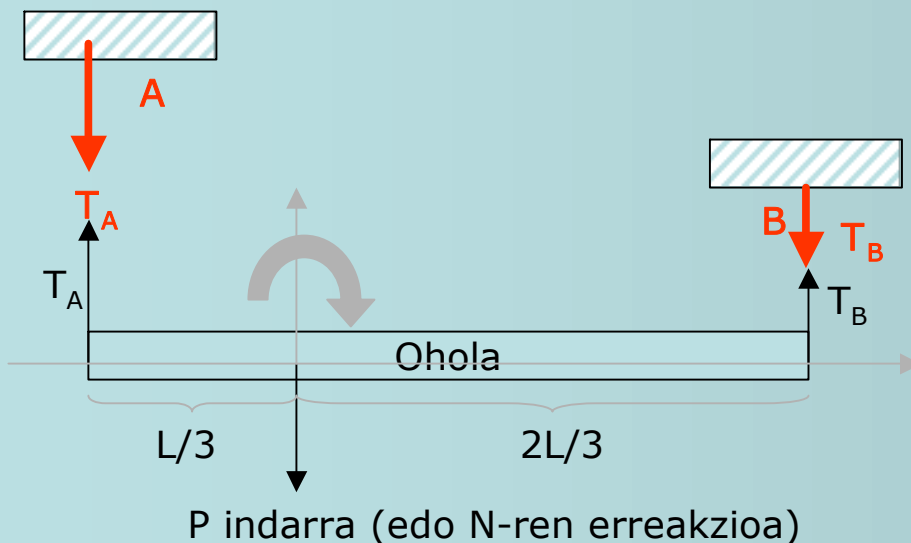
INDUSTRIA TEKNOLOGIA II  
2005 - I

1. ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK. A aukera

a) Kalkulatu, P kargaren arabera, A eta B  
puntuetako erreakzioak

Puntuetako erreakzioak, kargaren funtzioan:

$$P = T_A + T_B \xrightarrow{T_A = 2T_B} P = 3T_B$$
$$\rightarrow T_B = P/3 \text{ eta } T_A = 2P/3$$



## INDUSTRIA TEKNOLOGIA II 2005 - I

### 1. ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK. A aukera

b) Marruskadura kontuan izan barik, P karga geldi-geldi utzi gura bada, zein izan behar du esekidura-kableen materialen **elastikotasun-modulu** edo **Young moduluen** arteko erlazioak?

Kalkulatu behar dena, Young moduluen arteko erlazioa da. Era honetan kalkulatu dugu:

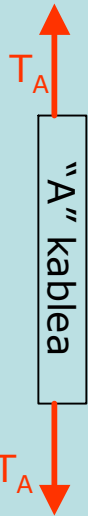
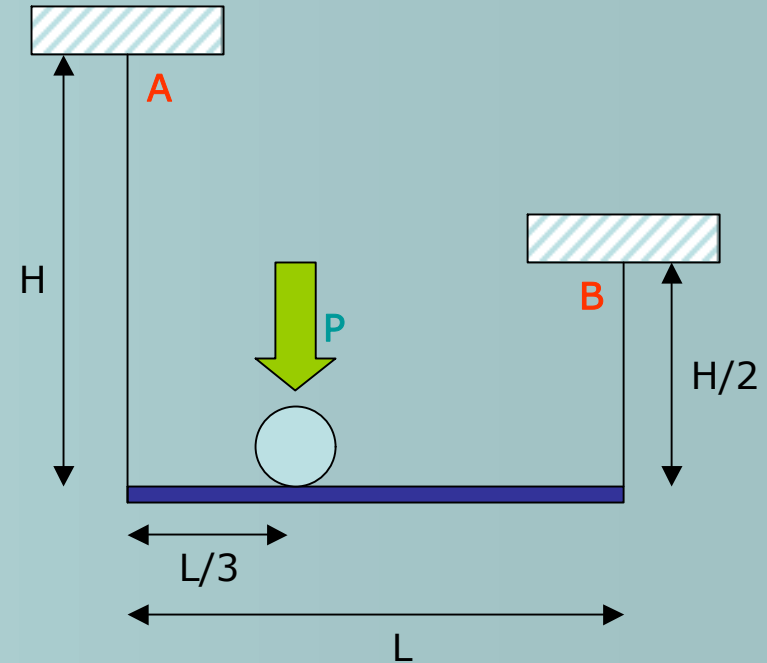
$$X = \frac{E_A}{E_B}$$

"A" kablearentzat, Young moduluen kalkulua:

$$E_A = \frac{\sigma_A}{\varepsilon_A}$$

$$\sigma_A = \frac{T_A}{S_A} = \frac{2P/3}{\frac{\pi D_A^2}{4}} = \frac{8P}{3\pi D_A^2}$$

$$\varepsilon_A = \frac{\Delta l_A}{l_A} = \frac{\Delta l_A}{H}$$



## INDUSTRIA TEKNOLOGIA II

2005 - I

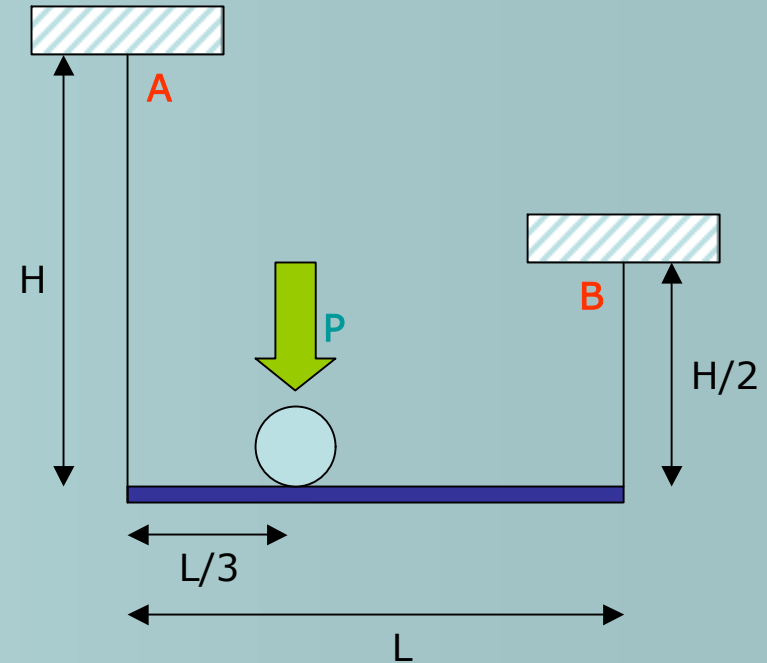
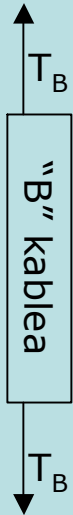
### 1. ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK. A aukera

"B" kablearentzat, Young moduluaren kalkulua:

$$E_B = \frac{\sigma_B}{\varepsilon_B}$$

$$\sigma_B = \frac{T_B}{S_B} = \frac{P/3}{\pi D_B^2 / 4} = \frac{4P}{3\pi D_B^2}$$

$$\varepsilon_B = \frac{\Delta l_B}{l_B} = \frac{\Delta l_B}{H/2} = \frac{2\Delta l_B}{H}$$



INDUSTRIA TEKNOLOGIA II  
2005 - I

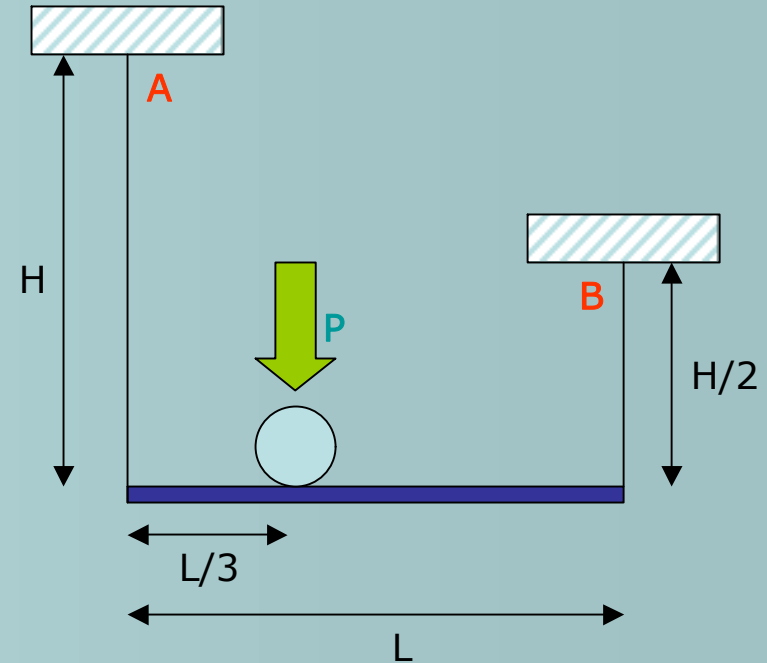
1. ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK. A aukera

Bien arteko erlazioa:

$$X = \frac{E_A}{E_B} = \frac{\sigma_A / \varepsilon_A}{\sigma_B / \varepsilon_B} = \frac{\sigma_A \cdot \varepsilon_B}{\sigma_B \cdot \varepsilon_A} = \frac{\frac{8P}{3\pi D_A^2} \frac{2 \Delta l_B}{H}}{\frac{4P}{3\pi D_B^2} \frac{\Delta l_A}{H}}$$

$$X = \frac{E_A}{E_B} = \frac{4 \Delta l_B D_B^2}{\Delta l_A D_A^2} \xrightarrow{\frac{\Delta l_A = \Delta l_B, \text{ oreka mantentzeko}}{D_A = 2 \cdot D_B}}$$

$$X = \frac{E_A}{E_B} = \frac{4 \Delta l_B D_B^2}{\Delta l_A D_A^2} = \frac{4 \Delta l_A D_B^2}{\Delta l_A (2 \cdot D_B)^2} = 1$$



## INDUSTRIA TEKNOLOGIA II

2005 – II

### 1. ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK. B aukera

Kable bat 55.000 N-eko indar estatikoak eragindako trakzioaren menpean dago. Alde ekonomikoari erreparatuta, aukeratu hurrengoetatik kablerik egokiena 2ko edo handiagoko segurtasun-koefizientea bermatu gura bada.

Kable bi dira eta honako ezaugarri dituzte:

- Biak dira diametro berdinekoak: 20 mm
- "A" kablea karbono-altzairu erdigozozkoa da, hotzean tiratutakoa, eta  $\sigma=3.900 \text{ kgf/cm}^2$  du muga elastikoa
- "B" kablea erresistentzia handiko aleazio-altzairuzkoa da, tenplatua eta iraotua, eta  $\sigma=6.200 \text{ kgf/cm}^2$  du muga elastikoa
- "B" kablea "A" kablea baino garestiagoa da

## INDUSTRIA TEKNOLOGIA II

2005 - II

### 1. ATALA: MATERIALAK ETA MAKINEN OINARRIAK. B aukera

#### Ebazpena

Lehenengoz, segurtasun-koefizientea kontuan harturik, bakoitzaren lanerako esfortzu unitarioa kalkulatu dugu:

$$\sigma_{A \text{ lana}} = \frac{\sigma_{A \text{ on}}}{k} \rightarrow \sigma_{A \text{ lana}} = \frac{3900 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \frac{9,8\text{N}}{1 \text{kgf}}}{2} = 19.110 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{B \text{ lana}} = \frac{\sigma_{B \text{ on}}}{k} \rightarrow \sigma_{B \text{ lana}} = \frac{6200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \frac{9,8\text{N}}{1 \text{kgf}}}{2} = 30.380 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Ondoren, praktikan, kableak jasan behar duen esfortzu unitarioa kalkulatu dugu:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{55.000 \text{ N}}{\pi(1 \text{ cm})^2} = 17.507 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Biak dira baliagarriak; arrazoi ekonomikoak direla eta, "A" kablea aukeratu genduke.