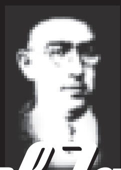
Euskara Zerbitzua
Ikasmaterialak



22

Gabirel Jaurregi
Batxilergorako materialak

Materialen propietateak neurtzeko saiakuntzak

Roberto Dudagoitia

EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO
HEZKUNTZA, UNIBERTSITATE ETA IKERKETA SAILA
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN, UNIVERSIDADES E INVESTIGACIÓN

Euskara Zerbitzua
Ikasmaterialak

Gabirel Jauregi Bilduma
Batxilergorako materialak

22
Materialen propietateak neurtzeko saiakuntzak

Roberto Dudagoitia

EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO

HEZKUNTZA, UNIBERTSITATE
ETA IKERKETA SAILA

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN,
UNIVERSIDADES E INVESTIGACIÓN

Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia
Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco

Vitoria-Gasteiz, 2010

Lan honen bibliografia-erregistroa Eusko Jaurlaritzako Liburutegi Nagusiaren katalogoan aurki daiteke:
http://www.euskadi.net/ejgvbiblioteka

Argitaraldia: 1.a, 2010eko otsaila

Ale-kopurua: 500

internet: www.euskadi.net

Argitaratzailea: Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia
Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco
Donostia-San Sebastián, 1 - 01010 Vitoria-Gasteiz

Egilea: Roberto Dudagoitia

Fotokonposizioa: mccgraphics

Inprimaketa: mccgraphics

ISBN: 978-84-457-3042-3

L.G.: BI-1305/2010

Oharra: Lan hau IRALEn egin da, R400 ikastaroan

AURKIBIDEA

Materialen propietate orokorrak

1

1.1 SARRERA

Edozein materialek erantzun bat ezartzen du kanpotik jasotako indar baten kontra. Erantzuna nahikoa ez bada, gainkarga jasaten dute egiturak osatzen dituzten piezek. Horrek materialaren deformazioa eta suntsipena ekar dezake, eta, ondorioz, hainbat kalte sortzen dira gure gizartean: haize bolada gogorrek eta elurraren pisuak eragindakoak, makinetan urteetako higadurak sortzen duena...

Bestalde, lantegian pieza bat egiterakoan, oso garrantzitsua da ahal den material kantitate gutxien erabiltzea, kostuak ez igotzeko; baina horrek ahulago egiten du pieza, segurtasun-koefizienteak jaitsi egiten baitira.

Kostuak ahalik eta gutxien izateko, eta aldi berean segurtasun-baldintzak betetzeko, ezinbestekoa da erabiliko diren materialen propietateak ezagutzea. Azkenean lortzen diren propietateak asko alda daitezke materialaren barruko egiturarekin eta pieza egiteko erabili den prozesuarekin. Horietako edozein aldatuz gero, besteak ere aldatzen dira, eta, horregatik, euren arteko erlazioa ondo ezagutu behar da.

Material baten propietateak hiru motatakoak izan daitezke: mekanikoak, fisikoak, eta kimikoak. Lan honetan saiakuntza mekanikoak ikusiko ditugu gehienbat, eta horren barruan trakziokoak aztertuko ditugu zehatz-mehatz.

Propietate mekanikoei esker ezagutuko duguna hau da:

1. Nola erantzuten duen lanean ari den material batek indar bat jasotzerakoan.
2. Produktu batek konformatzeko duen erraztasuna.

1.2 PROPIETATE KIMIKOAK

Propietate kimikoen artean, garrantzitsuenak hauek dira: lotura-indarrak (konposizioaren arabera), korrosioa eta oxidazioa.

Aleazio eta prozesu egokiak aukeratuta materialaren barne-egitura kontrolatzen da, eta nahi diren propietateak lor daitezke.

Ziur aski, korrosioa da prozesu kimikorik kaltegarriena gure gizartean. Neurri handi batean ekidin daiteke, zerk eragiten duen jakin ondoren:

1. Beste substantzia batekin estal daiteke, herdoiltzen duen ingurutik erabat isolatzeko.
2. Material hori baino errazago herdoiltzen den substantzia batekin estal daiteke.
4. Barne-esfortzuak saihestu daitezke, materialaren barne-egiturak egonkorragoak eginez.
4. Isolatzaile elektrikoak erabil daitezke, pila galbanikorik ez sortzeko.

1.3 PROPIETATE FISIKOAK

Propietate fisikoak ezaugarri hauek baldintzatzen dituzte: atomoen egiturak, euren ordenak material barruan eta kristal-sareak. Horrela, materialaren propietateak hobetu nahi izanez gero, atomoen ordenarekin joka daiteke, eta ezpurutasunak sar daitezke modu egokian euren egitura atomikoan.

Saiakuntzen bidez gehien neurtzen diren propietate fisikoak hauek dira:

1.3.1 Propietate elektrikoak

Elektrizitatearen eta elektronikaren munduan, ezinbestekoa da materialek eskakizun elektrikoak betetzea; adibidez, hari elektrikoetan, imanetan... Portaera elektrikoan aldaketak dakartzatelako, kontuan hartu behar dira materialaren egiturak, haren sortze-prozesuak eta ingurumena.

Eroankortasunean oinarrituz, materialak honela sailkatzen dira:

Eroaleak. Korronte elektrikoari erraz igarotzen uzten diote. Metalak eta metalen aleazioak dira.

Erdieroaleak. Egoera normalean isolatzaile modura jokatzen dute, eta egoera jakin batzuetan eroale modura.

Isolatzaileak. Korronte elektrikoari ez diote igarotzen uzten. Isolatzaile erabilienak plastikoak eta zeramikak dira.

Eroale, erdieroale, eta isolatzaileetan, elektroiek daramate karga elektrikoa; substantzia ionikoetan, berriz, ioiek daramate. Horiek guztiak kontrolatuta, eroankortasun elektrikoak nahi den besteko balioa izango du.

Tenperaturak garrantzi handia du, elektroien banaketa alda baitezake eroaleetan: zenbat eta baxuago izan, errazago daramate elektrizitatea. Horrela, kristal-sare perfektuak 0 K ingurura jaisterakoan, erresistibitatea desagertu egiten da, eta *supereroaleak* lortzen dira.

Elektronikaren mundua asko garatu da *erdieroaleak* agertu zirenetik; eurei esker, elektrizitatez kanpo diren hainbat magnitude kontrola ditzakegu (tenperatura, presioa...). Adibide ezagunenetariko bi hauek dira:

Transistoreak. Elektrizitatearentzat balbula bat bezalakoak dira: elektrizitate gutxirekin korrontea edo geldiarazi edo biderkatu egiten dute. Transistoreak kontrako kargak (positiboa eta negatiboa) dituzten erdieroaleekin egiten dira, eta euren artean tartekatuta daudenez, bi motatakoak izan daitezke: *n-p-n* edo *p-n-p*.

Termistoreak. Erdieroaleen eroankortasuna tenperaturarekin batera aldatzen da, eta, horrela, tenperatura neurtzeko erabil daitezke erdieroaleak. Termistorea berotzerakoan, korronte handiagoa doa zirkuitutik, eta egoera hori hainbat modutan aprobetxa daiteke: tenperatura ezagutzeko, suteen kontrako alarma pizteko, labe batean tenperaturari eusteko...

1.3.2 Propietate magnetikoak

Iman mota bi ezagutzen ditugu: *elektroimanak* (korronte elektrikoaren eraginez funtzionatzen dute iman bezala, bestela ez) eta *iman iraunkorrak*.

Eremu magnetiko baten eraginez, atomo multzo batek portaera hauek eduki ditzake:

Diamagnetismoa. Atomoa eremu magnetiko baten eraginpean jartzen dugunean, eremuarekiko elkarzuta den dipolo bat sortzen da: imanek eta materialek elkar aldarazten dute.

Paramagnetismoa. Substantzien molekulek momentu magnetiko iraunkorra dutenean gertatzen da. Kanpotik eragindako eremu magnetikoak eremu horren norabidean zuzentzen ditu dipolo magnetikoak: imanek erakarri egiten dituzte material horiek, baina aldi baterako besterik ez.

Ferromagnetismoa. Kanpoko eremu magnetiko batean magnetismo iraunkorra gertatzen da. Alegia, substantzia ferromagnetikoek (burdina, kobaltoa, nikela...) ahalmena dute eremu magnetiko batean imandu eta, eremua desagertutakoan, imantazio horri eusteko.

1.3.3 Propietate optikoak

Gorputzek, berez, ez dute kolorerik; argia islatzean sortzen da kolorea. Argi-izpian datorren fotoia islatzen bada, kolorea horren energiari dagokiona izango da**;** eta materialean sartzen bada –materialak xurgatzen badu–, berriz, bere energia ematen du. Elektroiak geratzen dira energia horrekin, eta kanporagoko geruza batera igarotzen dira.

Fotoiek energia nahikorik ez badute, elektroia ezingo da energia handiagoko geruza batera igaro, fotoiak ez dira xurgatzen, eta materiala *gardena* izango da.

Produktu bat egiten denean, bere kolorea da ikusten den lehenengo gauza, eta horri esker, konposizioa egokia den eta fabrikazio prozesua ondo eraman den jakin dezakegu.

1.3.4 Propietate termikoak

Propietate termikoetan eraginik handiena atomoen bibrazioak du. Gorputz bat osatzen duten atomoak berotzerakoan, euren energia termikoa igo egiten da, eta bibratzen hasten dira. Horren ondorioz, erradio atomikoa luzeagoa egiten da, eta atomoen arteko distantziak eta materialaren tamaina ere handiagoak egiten dira.

Dilatazio linealaren koefiziente termikoak (α) materialean izandako tamainaren aldaketa zehazten du.

Gorputzek duten tamainaren aldaketa kalkulatzeko, zehaztasun batzuk eduki behar dira kontutan:

1. Material alotropikoetan bat-bateko tamaina aldaketak gerta daitezke fase batetik bestera igarotzerakoan, eta arrakalak sorrarazi ditzakete.

2. Dilatazio linealaren koefizienteak ez du balio bera tenperatura guztietan.

3. Material batzuk ez dira berdin hazten norabide guztietan.

1.4 PROPIETATE MEKANIKOAK

Propietate mekanikoak honako hauek dira:

1. *Elastikotasuna*. Indar batek gorputz bat deformatu egiten du; indar hori kendutakoan deformazioa desagertzen bada, gorputza *elastikoa* da. Gorputz gehienek dute elastikotasun muga bat; indarra handiagoa izanez gero, deformazioak iraunkorrak bihurtzen dira, eta plastikotasunaren eremuan sartzen dira.

2. *Plastikotasuna*. Indar batek gorputz bat deformatu egiten du; indar hori kenduta deformazioak jarraitzen badu, gorputza *plastikoa* da.

Plastikotasun mota bi daude: *xaflakortasuna* eta *harikortasuna*. *Xaflakortasuna* material batzuek konpresio esfortzuen eraginpean plastikoki deformatzeko duten ahalmena da, xafla modura geratu arte: autoen altzairuzko xaflak, aluminio-papera (*ALBAL* papera)... *Harikortasuna* material batzuek trakzio esfortzuen eraginpean plastikoki deformatzeko duten ahalmena da, hari formarekin geratu arte: hari elektrikoetako kobrea, lanparen wolframiozko harizpia...

3. *Kohesioa*. Lotura-indarrei esker daude elkartuta partikulak gorputzetan; elkarrengandik banantzeko ezartzen duten erresistentzia da *kohesioa*. Atomoak edo molekulak euren artean pixka bat aldentzerakoan, elastikotasuna edo plastikotasuna gertatzen da.

4. *Gogortasuna*. Gorputz batek jartzen duen erresistentzia da, bigarren batek marratzen duenean, eta kohesioaren araberakoa da.

5. *Nekea*. Gorputz batek jartzen duen erresistentzia da, errepikatzen diren indarren kontra; indarra haustura azpitik egon arren, materialak hautsi daitezke indarrak behin eta berriz errepikatzen badira.

6. *Zailtasuna*. Kanpoko esfortzuek hautsi aurretik, gorputz batek xurgatu dezakeen energia da.

7. *Erresilientzia*. Talka batengatik apurtzerakoan, gorputz batek xurgatzen duen energia da

Hemendik aurrera propietate mekanikoak neurtzeko erabiltzen diren saiakuntzak landuko ditugu.

Saiakuntza motak

2

2.1 SARRERA

Bezeroak pieza jakin bat egiteko eskatzen duenean, argi uzten ditu bete behar dituen baldintzak (neurriak, gogortasuna..); zehaztuta geratzen ez direnak, berriz, lantegikoen esku geratzen dira. Ezinbesteko baldintzak betetzen ez dituzten piezak arriskutsuak izaten dira, kalte handiak eragin ditzakete eta; adibidez, elurteen eraginez eroritako zutabe ahulegiak, barautsak apurtzen dituzten pieza gogorregiak, erraz higatzen diren gogortasun gutxiko piezak...

Piezak ondo eginda dauden ziurtatzeko, ezinbestekoa da saiakuntzak egitea; hasiera batean, begi bistaz, kanpoko itxura egokia den baieztatzen da. Hurrengoak sakonagoak dira, eta, askotan, laborategietan egiten dira.

2.2 SAIAKUNTZEN SAILKAPENA

Saiakuntzak honela sailka daitezke:

2.2.1 Materialen propietateen arabera

Saiakuntza fisikoak. Materialen propietate fisikoak ikertzeko egiten dira: urtze-puntua, eroankortasun termikoa, dentsitatea, egituraren akatsak, porositatea, eroankortasun termikoa...

Saiakuntza kimikoak. Materialek beste substantzien aurrean izaten dituzten kalteak (korrosioa, oxidazioa...) aurreikusten dituzte. Zein elementuz osatuta dauden eta zenbateko kopuruan agertzen diren zehazten digute –bietariko baten aldaketa txiki batek propietateen aldaketa erabakigarria ekar dezake–.

Saiakuntza metalografikoak. Barruko egitura ikertzeko erabiltzen dira, eta metodo azkarrak direnez, lantegian bertan egin daitezke piezak ondo egiten ari diren jakiteko. Galdategitik ateratakoan, pieza metalikoei zati bat mozten zaie, zati hori lixatu egiten da, eta ondoren mikroskopioz begiratzen da; egitura bakoitza (perlita, ferrita, karburo...) itxura jakin batekin agertzen da, eta ehunekoak kalkulatzen dira gutxi gorabehera.

Saiakuntza mekanikoak. Materialek kanpoko esfortzuen eraginpean ezartzen duten erresistentzia eta jasandako elastikotasuna zehazten dute. Esfortzua denbora batean mantentzen bada, saiakuntza *estatikoa* da; une batekoa bakarrik bada, *dinamikoa* deitzen da. Ezagunenak hauek dira: trakzioa, gogortasuna, makurdura, sabeltzea, konpresioa, ebakidura, nekea, talkarekiko erresistentzia, eta bihurdura.

2.2.2 Materialek jasandako kalteen arabera

Saiakuntza suntsitzaileak. Hasierako piezak bere itxura aldatzen du, eta ez du balio kaleratzeko. Gehienetan, forma zehatza duen zati bat –*probeta*– ateratzen da piezatik, eta zati horrekin egiten da saiakuntza; probetak jasandako esfortzua pieza osoak jasan dezakeela suposatzen da.

Saiakuntza ez-suntsitzaileak. Aztertu nahi den materialaren saiakuntza egiteko ez da pieza suntsituko.

2.2.3 Saiakuntzaren zehaztasunaren arabera

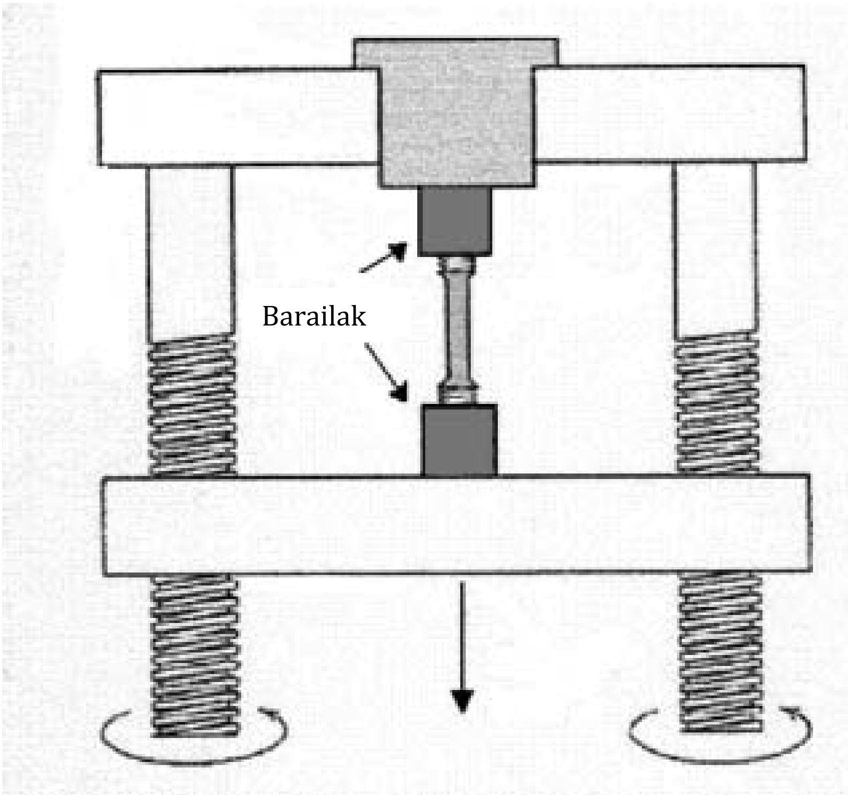
Saiakuntza zientifikoak. Ez daukate denboraren premiarik; garrantzitsuena emaitzen zehaztasuna da, materialen ezaugarri berriak ikertzeko egiten direlako.

Kontrol saiakuntzak. Errazak egiteko, eta azkarrak izan behar dira, piezak ekoizten direnean egiten baitira.

Trakzio-saiakuntza 3

3.1 SARRERA

Trakzio saiakuntzek gorputzek luzatzeari ezartzen dioten erresistentzia neurtzen dute. Horretarako, saiakuntzatarako makina unibertsal batean, piezatik ateratako probeta bat lotzen da muturretatik, eta bere ardatzaren norabidean trakzio esfortzu bat ezartzen zaio. Makinari esker, probetak izan duen luzapena, eta luzapen hori lortzeko behar izan den esfortzua kalkulatzen ditu; bien arteko erlazioa diagrama baten marrazten du.

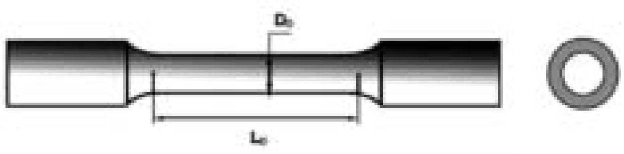


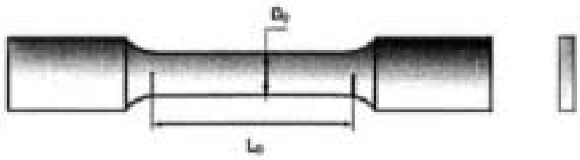
3.2 PROBETAK

Piezetatik ateratzen dira, eta lortutako emaitzak pieza osoarentzat balio dute. Probeten neurriak eta forma zehaztasun osoz zaindu behar dira, normalizatuta daudelako. Horrenbestez, emaitzak mundu osoan konpara daitezke material berarentzat. Sekzioaren arabera, mota hauek bereizten dira:

Zilindrikoak. Sekzio zirkularra dute, eta gehienetan erabiltzen direnak dira.

Lauak edo prismatikoak. Xaflak argalegiak direnean, ezin dira lortu probeta zirkularrak, eta prisma itxurakoak hartzen dira.





Saiakuntzarako makinaren barailak mugitzen hasten direnean, probeta luzatzen hasten da ezarritako esfortzuengatik, eta hala jarraituko du apurtu arte. Esfortzuen eta luzapenen balioak neurtu egiten dira, eta diagrama baten erlazionatzen dira.

3.3 ESFORTZU-DEFORMAZIO DIAGRAMA

Diagrama honi esker, material jakin baten elastikotasuna zehazki ezagutu ahal da. Hori lortzeko, ordenatu-ardatzean luzapen unitarioa, eta abzisa-ardatzean tentsio unitarioa adierazten dira:

Tentsio unitarioa: Materialak sekzio unitate batean jasaten duen esfortzua da.

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \qquad \begin{cases} \sigma = \text{tentsio unitarioa} \left(kg/mm^2 \right) \\ F = \text{jasotako esfortzua edo tentsioa} \left(kg \right) \\ S_0 = \text{hasierako sekzioa} \left(mm^2 \right) \end{cases}$$

Luzapen unitarioa: Probeta esfortzupean luzatu denaren eta hasierako luzeraren arteko zatidura da.

$$\varepsilon = \frac{\Delta\, l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \qquad \begin{cases} \varepsilon = \text{luzapen unitarioa} \\ \Delta\, l = \text{luzapena} \left(mm \right) \\ l = \text{amaierako luzera} \left(mm \right) \\ l_0 = \text{hasierako luzea} \left(mm \right) \end{cases}$$

Poisson-en modulua: Probeta baten sekzioren aldaketa bilatzeko erabiltzen da, eta material bakoitzarentzat moduluak balio jakin bat hartzen du.

$$\mu = -\frac{\Delta D / D_0}{\Delta l / l_0} \qquad \begin{cases} \Delta D = \text{sekzioaren aldaketa} \left(\text{diametro,albo} \ldots \right) \\ D = \text{diametro, albo} \\ \Delta l = \text{luzapena} \\ l_0 = \text{hasierako luzera} \end{cases}$$

Saiakuntzan lortutako diagraman tarte eta puntu batzuk bereizten dira:

Tarte elastikoa (OE). Esfortzuak kentzen badira, luzapena desagertu, eta probeta hasieran zuen luzerara bueltatzen da. Tarte hauek osatzen dute:

Tarte proportzionala (OP). Marra zuzena denez, esfortzuak eta luzapenak proportzionalak dira; kaleratuko diren materialek beti tarte honetan egin behar dute lan.

Tarte ez-proportzionala (PE). Nahiz eta tarte elastikoa izan, tarte honetan ezin da lanik egin, esfortzua eta luzapena proportzionalak ez direlako.

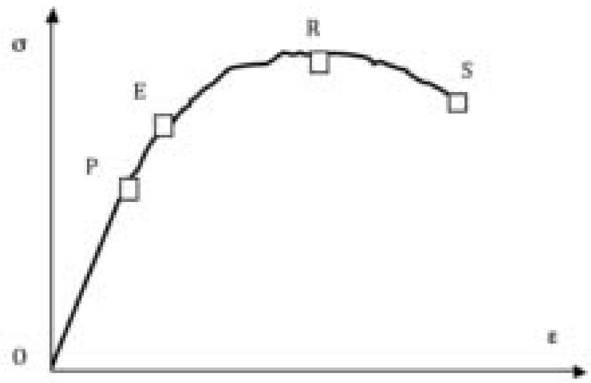
Elastikotasun-muga (E). Puntu horretan, materiala elastikoa izatetik plastikoa izatera pasatzen da.

Tarte plastikoa (ES). Esfortzuak kentzen badira, luzapena ez da desagertzen. Tarte hauek osatzen dute:

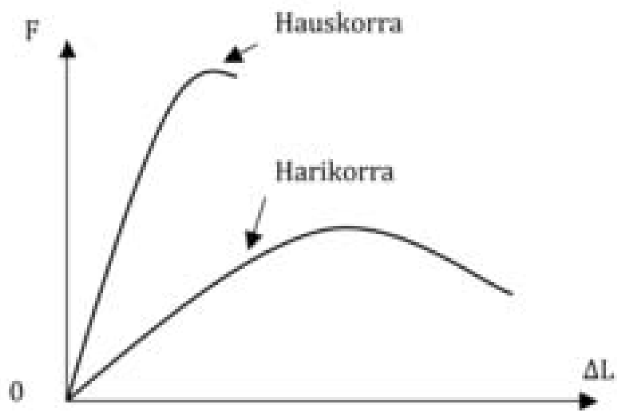
Haustura-mugaren tartea (ER). Tarte plastiko honetan, esfortzu txikiek luzapen handiak eragiten dituzte.

Hauste-puntua (R). Puntu honi egiten den esfortzurik handiena dagokio (*hauste-tentsioa*); nahiz eta oraindik materiala fisikoki apurtuta ez egon, hala dagoela jotzen da.

Haustura-tartea (RS). Nahiz eta esfortzuak txikiagoak izan, materialak luzatzen jarraitzen du, eta azkenik S puntuan fisikoki apurtzen da.

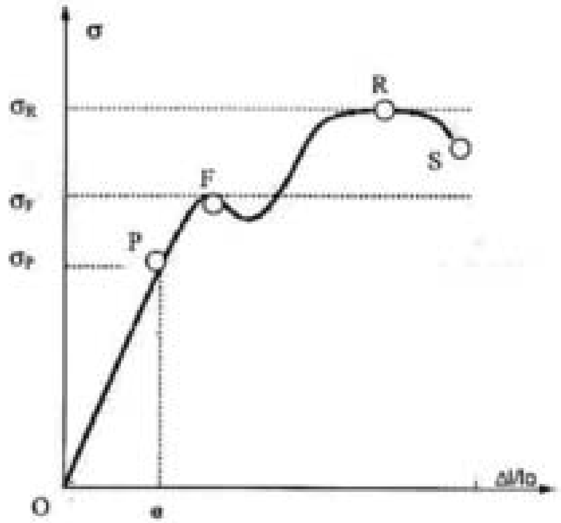


Materialaren ezaugarriak trakzio diagramak bereizten ditu; material hauskorrak harikorrak baino gutxiago luzatzen direla ikusten da beheko diagraman.



Metal gehienentzat balio du esandakoak, baina altzairuaren kasuan *isurpen-tarte* bat agertzen da; nahiz eta esfortzuak mantendu, luzapen handiak daude. Honako puntu hau bereiz dezakegu:

Isurpen-muga (F). Plastikotasun tartea puntu honetatik aurrera hasten da. Bertan jasandako esfortzuari *isurpen-tentsioa* deitzen zaio, eta bere balioa oso erraz kalkulatzen da.



(RS) tartean, *estrikzio* fenomenoa gertatzen da: indarren balioa gero eta baxuagoa den arren, luzapenak handiagoak dira, eta materialak kontrakzio bat jasaten du.

3.3.1 Hook-en legea

Lege hau, tarte proportzionalean bakarrik da baliagarria: *Jasotako esfortzu unitarioak eta horiek eragindako luzapen unitarioak proportzionalak dira; euren arteko erlazioa elastikotasun-moduluak adierazten du.*

$$\sigma = cte \cdot \varepsilon \qquad \Longrightarrow \qquad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/S_0}{\Delta l / l_0} \quad \left(kg/mm^2\right)$$

Elastikotasun modulu edo *Young moduluak (E)* materialaren zurruntasuna zenbatekoa den esaten du. *Young modulua* balio handikoa bada, luzapen txikiak egongo dira indar handientzat, eta balio txikikoa bada, luzapen handiak egongo dira indar txikientzat. Material bakoitzak bere balioa du; horrela, materialik egokiena aukera dezakegu eskakizun zehatz batzuk betetzeko.

3.5 SEGURTASUN KOEFIZIENTEA

Pieza bat diseinatzerakoan, kontuan hartu behar dugu diagramaren tarte proportzionalean lan egin behar duela beti, nahiz eta aurreikusitakoak baino esfortzu handiagoak jasan behar izan. Arautegiak ezartzen du zein den *lanerako gehienezko tentsioa (σ_t)*, betiere proportzionaltasun mugatik behera. Horren balioa bilatzeko, *segurtasun koefizientea (N)* erabiltzen da:

$$\sigma_t = \frac{\sigma}{N}$$

Trakzio diagrama baten, oso zaila da zehaztea elastikotasunaren muga eta proportzionaltasunaren muga; hori dela eta, material hauskorrentzat hauste-tentsioa bilatzen da, eta material harikorrentzat, aldiz, isurpen-tentsioa:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_F}{N} \qquad \text{eta} \qquad \sigma_t = \frac{\sigma_R}{N}$$

σ_t = lanerako gehienezko tentsioa
σ_F = isurpen-tentsioa
σ_R = hauste-tentsioa
N = segurtasun-koefizientea

3.6 ARIKETAK

1. ariketa

Altzairuzko zilindro batek 310 MPa-eko elastikotasun muga eta 10.000 N-eko indarra jasan behar du. Hasierako luzera 500 mm-koa bada eta ez badugu nahi 0,35 mm baino gehiago luzatzea, zer diametro izan beharko du?

(E = 20,7·104 MPa)

Luzapen unitarioa kalkula dezakegu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{0{,}35\ mm}{500\ mm} = 0{,}0007$$

Tentsio unitarioa hau izango da:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \Rightarrow \quad \sigma = \varepsilon \cdot E = 0{,}0007 \cdot 20{,}7 \cdot 10^4\ \text{MPa} = 145 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Ondoren, azalera bilatuko dugu, eta, azkenik, azaleraren formulatik diametroa aterako zaigu:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad \Rightarrow \quad S_0 = \frac{F}{\sigma} = \frac{10.000\,N}{145 \cdot 10^6 \dfrac{N}{m^2}} = 0{,}0000689\ m^2$$

$$S_0 = \pi \cdot r^2 \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{S_0}{\pi}} = \sqrt{\frac{0{,}0000689\ m^2}{3{,}14}} = 4{,}68\ mm \quad \Rightarrow \quad D = 2 \cdot r = 9{,}36\, mm$$

2. ariketa

Pieza zilindriko batek 1,5 cm-ko diametroa du, eta 2.500 kg-ko indar baten eraginpean dago. Kalkula ezazu piezak jasaten duen esfortzua *MPa* unitatetan.

Tentsio edo esfortzua kalkulatu dezakegu kg/cm^2 unitatetan, eta ondoren unitatez aldatu MPa-etan geratu arte:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} = \frac{2500\ kg}{\pi \cdot \left(\frac{1{,}5\, cm}{2}\right)^2} = 1414{,}7\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$1414{,}7\ \frac{kg}{cm^2} \cdot \frac{9{,}8\, N}{1\, kg} \cdot \frac{10.000\, cm^2}{1\, m^2} = 138{,}64 \cdot 10^6\ Pa = 138{,}64\ MPa$$

3. ariketa

Altzairuzko barra batek, 200 mm-ko luzera eta 20 mm-ko diametroa ditu, eta bere luzera 0,15 mm handitzen da 5.000 kg-ko trakzio esfortzupean. Kalkula ezazu elastikotasun modulua.

Tentsio unitarioa kalkulatzeko, *hasierako sekzioa* ezagutu behar dugu:

$$S_0 = \frac{\pi\ D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot (20\ mm)^2}{4} = 314\ mm^2$$

Elastikotasun modulua kalkulatzeko, tentsio eta luzapen unitarioak ezagutu behar dira:

$$\left.\begin{array}{l} \sigma = \dfrac{F}{S_0} = \dfrac{5.000\ kg}{314\ mm^2} = 15{,}92\ \dfrac{kg}{mm^2} \\[2ex] \varepsilon = \dfrac{\Delta\, l}{l_0} = \dfrac{0{,}15\ mm}{200\ mm} = 0{,}00075 \end{array}\right\} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{15{,}92\ \frac{kg}{mm^2}}{0{,}00075} = 21.226{,}7\ \frac{kg}{mm^2}$$

4. ariketa

Zenbateko indarra egin beharko da 150 mm-ko zilindro batean, eta 200 mm-ko beste batean, 30 MPa-eko esfortzua egin nahi badugu?

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad \Rightarrow \quad F = \sigma \cdot S_0 \quad \left\{\begin{array}{l} F_1 = 30 \cdot 10^6\ \dfrac{N}{m^2} \cdot \pi \cdot \left(\dfrac{0{,}150\ m}{2}\right)^2 = 530143{,}7\, N \\[3ex] F_2 = 30 \cdot 10^6\ \dfrac{N}{m^2} \cdot \pi \cdot \left(\dfrac{0{,}200\ m}{2}\right)^2 = 942477{,}8\, N \end{array}\right.$$

5. ariketa

Aluminiozko barra batek 200 mm-ko luzera du, eta bere sekzioa karratua da (alboak 10 mm neurtzen du). Egiten zaion trakziozko indarra 123 N-ekoa da, eta 0,34 mm luzatzen bada, kalkula ezazu aluminioaren elastikotasun modulua, barra horren portaera guztiz elastikoa bada.

$$\left.\begin{array}{l} \sigma = \dfrac{F}{S_0} = \dfrac{123N}{(0{,}01\ m)^2} = 1{,}23 \cdot 10^6 \dfrac{N}{m^2} \\[2em] \varepsilon = \dfrac{\Delta l}{l_0} = \dfrac{0{,}34\ mm}{200\ mm} = 0{,}0017 \end{array}\right\} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1{,}23 \cdot 10^6 \dfrac{N}{m^2}}{0{,}0017} = 723{,}5 \frac{N}{m^2}$$

6. ariketa

Altzairuzko barra zilindriko batek 300 mm-ko luzera eta 45 mm-ko diametroa ditu. Trakzio saiakuntza egin ondoren, lortutako diagramatik balio hauek atera dira:

Puntua	**Tentsioa**
Proportzionaltasun muga	89 MPa
Muga elastikoa	130 MPa
Trakzioari erresistentzia	262 MPa
Modulu elastikoa	207·10^3 MPa

a) Jasandako indarra 111,33 kN-ekoa bada, kalkula itzazu luzapena, barraren luzera indarpean, eta bere luzera indarra kendu ondoren.

b) Jasan dezakeen gehienezko indarra, apurtu gabe.

c) Kaleratzen denean tarte elastikoan bakarrik lan egin ahal badu, zein izango da jasan dezakeen gehienezko indarra, segurtasun koefizientea 1,8 bada?

a) Lehenengo, azalera kalkulatzen da:

$$S_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot (45\ mm)^2}{4} = 1.590{,}4\ mm^2 = 1{,}59 \cdot 10^{-3} m^2$$

Orain, tentsio unitarioa kalkula daiteke:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} = \frac{111{,}3\ kN}{1{,}59 \cdot 10^{-3}\ mm^2} = 7 \cdot 10^7\ \ Pa = 70\ MPa$$

Ateratako emaitza proportzionaltasun mugako tentsiotik behera dago, eta horrek esan nahi du tarte proportzionalean egiten duela lan 111,3 kN-eko indarrarentzat; Hooke-n legea erabil dezakegu *luzapen unitarioa* bilatzeko:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \ \Rightarrow\ \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{70\ MPa}{207 \cdot 10^3\ MPa} = 3{,}4 \cdot 10^{-4}$$

Emaitza horri esker barrak *indarpean duen luzapena* kalkula dezakegu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \Rightarrow \quad \Delta l = \varepsilon \cdot l = 3{,}4 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}3 = 1{,}02 \cdot 10^{-4}\, m = 0{,}102 \;\; mm$$

Barrak *indarpean duen luzera*:

$$\Delta l = l - l_0 \quad \Rightarrow \quad l = l_0 + \Delta l = 300 + 0{,}102 = 300{,}102 \;\; mm$$

Indarra kendu ondoren, barraren *luzera* hasierakoa izango da (300 mm), tarte elastikoan lan egin duelako.

b) Barrak *jasan dezakeen gehienezko esfortzua,* apurtu gabe, *hauste-puntuari (R)* dagokio (diagramaren maximoa da); trakzioari erresistentzia ere deitzen zaio, eta mantenduz gero, barra apurtu egiten da.

$$\sigma_R = \frac{F}{S_0} \quad \Rightarrow \quad F = \sigma_R \cdot S_0 = 262 \cdot 10^6 \; Pa \cdot 1{,}59 \cdot 10^{-3} m^2 = 41.6580\, N = 41{,}6\, kN$$

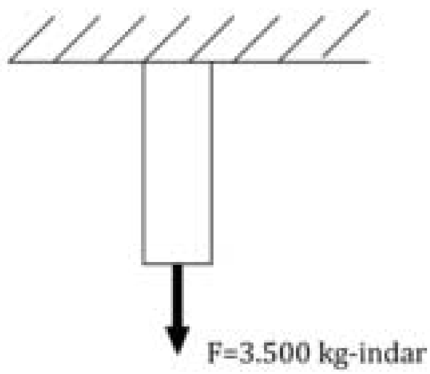
c) Orokorrean, isurpen-puntua hartzen da kalkulu hauek egiteko, baina esan dugunez tarte elastikoan bakarrik egin dezakeela lan, elastikotasun-muga erabiliko dugu:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_E}{N} = \frac{130 \; MPa}{1{,}8} = 72{,}22 \;\; MPa$$

$$\sigma_t = \frac{F_t}{S_0} \quad \Rightarrow \quad F_t = \sigma_t \cdot S_0 = 72{,}22 \; MPa \cdot 1{,}59 \cdot 10^{-3} m^2 = 11.4829{,}8\, N$$

7. ariketa

Kalkula ezazu sabaitik bertikal zintzilik dagoen barra prismatiko baten sekzioa, bere muturrean F=3500 kg-ko indarra egiten badugu. Altzairuzko barra 200 mm-ko luzerakoa da, eta bere pisu espezifikoa 7800 kg/m^3 da.



Lanerako tentsioa 700 kg-indar/cm^2-koa da.

Pisu espezifikoaren formulatik barraren pisua atera daiteke sekzioaren arabera:

$$P_e = \frac{F_{barra}}{V} \quad \Rightarrow \quad F_{barra} = P_e \cdot V$$

$$F_{barra} = \left(7.800 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1 m^3}{10^6 cm^3} \right) \cdot \left(20 cm . S_0 \right) = 0{,}156 \cdot S_0 \, \frac{kg}{cm^2}$$

Barra eta sabaia elkartzen diren puntuan jasaten da esfortzurik handiena; barraren pisua gehi kanpoko indarra hartu beharko ditugu kontuan:

$$\sigma = \frac{F + F_{barra}}{S_0} \quad \Rightarrow \quad 700\,\frac{kg}{cm^2} = \frac{3.500\ kg + 0{,}156\,.S_0\,\frac{kg}{cm^2}}{S_0}$$

$$700\,.S_0\,\frac{kg}{cm^2} - 0{,}156\,.S_0\,\frac{kg}{cm^2} = 3.500\ kg$$

$$\left(700 - 0{,}156\right)\cdot S_0\,\frac{kg}{cm^2} = 3.500\ kg$$

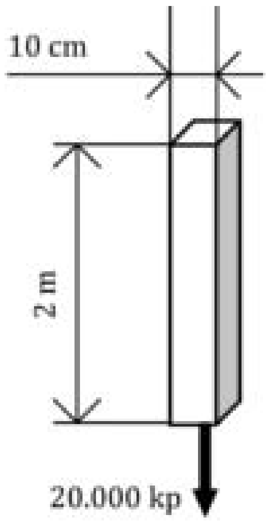
$$A = \frac{3.500\ kg}{699{,}84\,\frac{kg}{cm^2}} = 5\,cm^2$$

8. ariketa

Altzairuzko barra karratu batek sekzio karratua du (aldea=10 cm), eta 2 m-ko luzera. Trakziopean jasotzen duen indarra 20.000 kp-koa bada, kalkulatu luzeraren eta alboaren aldaketak. Beste datu batzuk hauek dira: μ=0,3, eta E=2,1.10^6 kp/cm^2

Sekzioaren azalera karratuari dagokio:

$$S_0 = l\cdot l = 10\,cm\cdot 10\,cm = 100\,cm^2$$



Elastikotasun moduluaren formulatik *luzapena* atera dezakegu:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{F}{S_0\cdot E} \quad \Rightarrow \quad \Delta l = \frac{F\cdot l_0}{S_0\cdot E} =$$

$$= \frac{20000\,kp\cdot 200\,cm}{100\,cm^2\cdot 2{,}1\cdot 10^6\,\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}} = \frac{4}{100\cdot 2{,}1}\,cm \quad \Rightarrow \quad \Delta l = 0{,}019\,cm$$

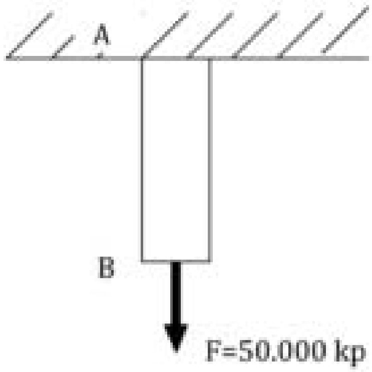
Barra luzatu denez, sekzioa gutxitu egin da, eta, ondorioz, alboa; *Poisson-en modulua* erabiliko dugu zenbat gutxitu den jakiteko:

$$\mu = -\frac{\Delta D/D_0}{\Delta l/l_0} \quad \Rightarrow \quad \Delta D = -\frac{\mu\cdot\Delta l\cdot D_0}{l_0} = -\frac{0{,}3\cdot 0{,}019\,cm\cdot 10\,cm}{200\,cm} = 0{,}000285\,cm$$

Sekzio karratuaren albo bakoitza 0,000285 cm gutxitzen da.

9. ariketa

Sabaitik zintzilik dagoen brontzezko (ρ=0,008 kg/cm^2) barra batek 5 m-ko luzera eta 64 cm^2-ko sekzioa ditu. Barraren azpialdetik 50.000 kg-ko indarrarekin tiratzen da; kalkula itzazu tentsioak, gutxien eta gehien lan egiten duten puntuetan.



Lan gutxien egiten duen puntuan (B), beherantza tiratzen duen indarrak du eragina bakarrik :

$$\sigma_B = \frac{F}{S_0} = \frac{50.000\,kp}{64\,cm^2} = 781{,}25\frac{kp}{cm^2}$$

Lan gehien egiten duen puntuan (A), barraren pisuak eragindako tentsioa kontuan hartu beharko dugu:

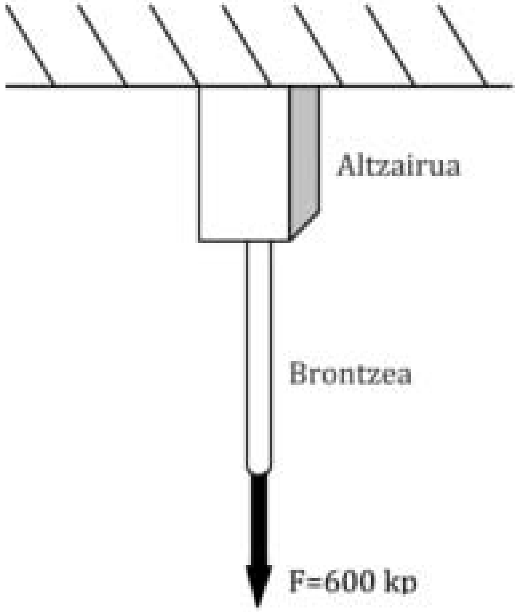
$$\sigma_{Peso} = \frac{P}{S_0} = \frac{m.g}{S_0} = \frac{V\cdot\rho}{S_0} = l\cdot\rho = 5\,m\cdot 0{,}008\frac{kg}{cm^3} = 0{,}04\,m.\frac{kg}{cm^3}.10^2\frac{cm}{m} = 4\frac{k\rho}{cm^2}$$

Lan gehien egiten duen puntuan (A), tentsioaren balioa ezagutzeko, barraren pisuari beherantza tiratzen duen indarra batu beharko diogu:

$$\sigma_A = \sigma_B + \sigma_{Peso} = 781{,}25\frac{kp}{cm^2} + 4\frac{kp}{cm^2} = 785{,}25\frac{kp}{cm^2}$$

10. ariketa

Altzairuzko barra karratu batek 40 cm-ko luzera eta 3 cm-ko alboa ditu; berari itsatsita brontzezko zilindro bat dago, 50 cm-ko luzera eta 8 mm-ko diametroa dituena. Ezartzen zaien trakzio-indarra 600 kp-koa bada, kalkulatu ezazu pieza osoaren luzapena, pisuak kontuan hartu gabe.



Datuak: $E_{altzairu} = 2{,}15 \cdot 10^6$ kp/cm^2

$E_{brontze} = 9{,}5 \cdot 10^5$ kp/cm^2

Lehenengo, *altzairuaren luzapena* kalkulatu dugu:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \Rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \Rightarrow \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{F}{S_0 \cdot E} \Rightarrow$$

$$\Delta l_{altzairu} = \frac{F \cdot l_0}{S_0 \cdot E_{altzairu}} = \frac{600\,kp \cdot 40\,cm}{9\,cm^2 \cdot 2{,}15 \cdot 10^6 \,\frac{kp}{cm^2}} =$$

$$= \frac{24 \cdot 10^3}{19{,}35 \cdot 10^6} cm \Rightarrow \Delta l_{altzairu} = 1{,}24 \cdot 10^{-3}\, cm$$

Orain, *brontzearen luzapena* kalkulatu dugu:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{F}{S_0 \cdot E} \Rightarrow \Delta l_{brontze} = \frac{F \cdot l_0}{S_0 \cdot E_{brontze}} =$$

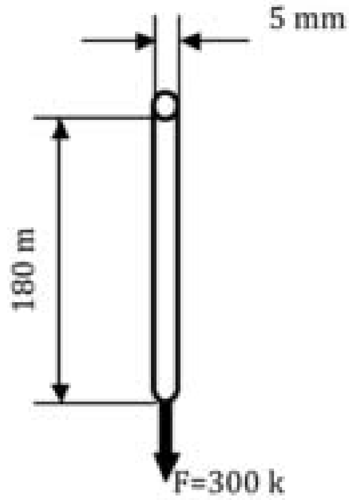
$$\frac{600\,kp \cdot 50\,cm}{\pi \cdot \left(\frac{0{,}8\,cm}{2}\right)^2 \cdot 9{,}5 \cdot 10^5 \,\frac{kp}{cm^2}} = \frac{3 \cdot 10^4}{0{,}475 \cdot 10^6} cm \Rightarrow \Delta l_{brontze} = 6{,}31 \cdot 10^{-2}\, cm$$

Altzairu eta brontze zatien luzapenek pieza guztiaren luzapena emango digu:

$$\Delta l_{pieza} = \Delta l_{altzairu} + \Delta l_{brontze} = 1{,}24 \cdot 10^{-3}\, cm + 6{,}31 \cdot 10^{-2}\, cm = 0{,}0643\ cm$$

11. ariketa (Hautaprobetakoa)

Eraikin bat egiten ari direla, garabi bat behar dute materialak igotzeko; garabiak 5 mm-ko diametroa duen altzairuzko kablea du. Une batean, 180 m kable erabiltzen dituzte bertikalki, 300 kp-ko karga igotzeko bere muturrean zintzilik. Kalkula itzazu:



a) Kablearen luzapena.

b) Karga igotzeko segurtasun koefizientea.

Datuak:

$E_{altzairu} = 2{,}15 \cdot 10^6$ kp/cm^2

$P_e = 0{,}0078$ kp/cm^3

$\sigma_E = 8000$ kp/cm^2

a) Lehenengo, kablearen *azalera* bilatuko dugu:

$$S_0 = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{0{,}5\,cm}{2}\right)^2 = 0{,}196\,cm^2$$

Luzapena pisuak eta kargak eragindakoa izango da; orduan, kablearen **pisua** bilatuko dugu:

$$P_{kable} = P_e \cdot V = 0{,}0078\frac{kp}{cm^3} \cdot 0{,}196\,cm^2 \cdot 18000\,cm$$

$$P_{kable} = 27{,}51\,kp$$

Luzapena kalkulatzerakoan, kablearen pisua eta jaso beharreko karga sartzen ditugu ekuazioan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{F}{S_0 \cdot E} \quad \Rightarrow$$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l_0}{S_0 \cdot E} = \frac{(300 + 27{,}51)\,kp \cdot 18000\,cm}{0{,}196\,cm^2 \cdot 2{,}15 \cdot 10^6 \, \dfrac{kp}{cm^2}} \quad \Rightarrow \quad \Delta l = 13{,}98\,cm$$

b) *Laneko tentsioa* (σ_t) kalkulatzeko, berriz, pisua eta jaso behar den karga hartzen ditugu kontuan:

$$\sigma_t = \sigma_{karga} + \sigma_{pisu} = \frac{300\ kp}{0{,}196\ cm^2} + \frac{27{,}51\,kp}{0{,}196\ cm^2} = 1530\frac{kp}{cm^2} + 140{,}35\frac{kp}{cm^2} = 1670\frac{kp}{cm^2}$$

Azkenik, segurtasun koefizientea ezagutzea lortuko dugu:

$$N = \frac{\sigma_E}{\sigma_t} = \frac{8000\,\frac{kp}{cm^2}}{1670\,\frac{kp}{cm^2}} = 4{,}8$$

12. ariketa (Hautaprobetakoa)

Aluminiozko kable batek 35 m-ko luzera eta 10 mm-ko diametroa ditu, kargarik jasan gabe; 759 kp/cm^2-ko tentsiopean jartzen badugu, kalkula ezazu zenbat cm luzatuko den kablea.

Datuak: $E = 0{,}685 \cdot 10^6$ kp/cm^2, $P_e = 2{,}7$ kp/cm^3

Bi tentsiok luzarazten dute kablea: pisuak eta trakzio-indarrak. Lehenengo, *kanpoko indarragatik* zenbat luzatzen den bilatuko dugu.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad\Rightarrow\quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad\Rightarrow\quad \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{F}{S_0 \cdot E} \quad\Rightarrow\quad \Delta l_{indarra} = \frac{\sigma \cdot l_0}{E} = \frac{750\,\frac{kp}{cm^2} \cdot 3500\,cm}{0{,}685\ \frac{kp}{cm^2}} \quad\Rightarrow$$

$$\Delta l_{indarra} = 3{,}83\,cm$$

Kablearen pisua pisu espezifikoari esker ezagutzen dugu, eta, ondoren, dagokion luzapena kalkulatuko dugu:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{P}{S_0 \cdot E} \quad\Rightarrow\quad \Delta l_{pisua} = \frac{P_e \cdot V \cdot l_0}{S_0 \cdot E} = \frac{P_e \cdot S_0 \cdot l_0 \cdot l_0}{S_0 \cdot E} = \frac{P_e \cdot l_0^2}{E} = \frac{2{,}7\,\frac{kp}{cm^3} \cdot (3500\,cm)^2}{0{,}685 \cdot 10^6\ \frac{kp}{cm^2}} \quad\Rightarrow$$

$$\Delta l_{pisua} = 48{,}28\,cm$$

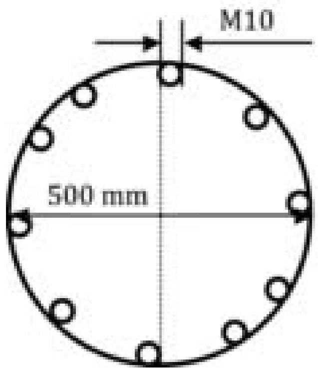
Aluminiozko kablea zenbat cm luzatu den jakiteko, aurkitu ditugun bi luzapenak batu behar dira:

$$\Delta l = \Delta l_{indarra} + \Delta l_{pisua} = 3{,}83\,cm + 48{,}28\,cm = 52{,}11\,cm$$

13. ariketa (Hautaprobetakoa)

Galdara baten estalkia esferaerdi-formakoa da, eta 500 mm-ko diametroa du; M10-eko 10 torlojuk (hariaren sekzioa 0,5 cm^2-koa da) eusten diote, eta euren elastikotasun muga 8000 kp/cm^2-koa da. Galdara barruko presioa, 10 kp/cm^2-koa bada, kalkula ezazu torlojuen segurtasun koefizientea lan egiterakoan.

Lehenengo, estalki osoan jasaten duen indarra bilatuko dugu:



$$\text{Esferaren azalera} = \pi \cdot (2 \cdot r)^2$$

$$\text{Esferaerdiaren azalera} = \frac{\pi \cdot (2 \cdot r)^2}{2} = \frac{\pi \cdot (2 \cdot 25)^2}{2} = 3.927\,cm^2$$

$$\sigma_{estalki} = \frac{F_{estalki}}{S_{estalki}} \quad \Rightarrow \quad F_{estalki} = \sigma_{estalki} \cdot S_{estali} = 10\frac{kp}{cm^2} \cdot 3.927\,cm^2$$

$$F_{estalki} = 39270\,kp$$

Torloju bakoitzak jasan beharko duen tentsioa ($\sigma_{torloju}$), hau izango da:

$$F_{torloju} = \frac{F_{estalki}}{10\,torloju} = \frac{39.270\,kp}{10\,torloju} = 3927\,kp$$

$$\sigma_{torloju} = \frac{F_{torloju}}{S_{torloju}} = \frac{3927\,kp}{0{,}5\,cm^2} = 7854\frac{kp}{cm^2}$$

Torloju bakoitzaren lan-tentsioa (σ_t) ezagutzen dugu, eta *segurtasun koefizientea (N)* kalkulatuko dugu:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_E}{N} \quad \Rightarrow \quad N = \frac{\sigma_E}{\sigma_t} = \frac{8000\frac{kp}{cm^2}}{7854\frac{kp}{cm^2}} = 1{,}018$$

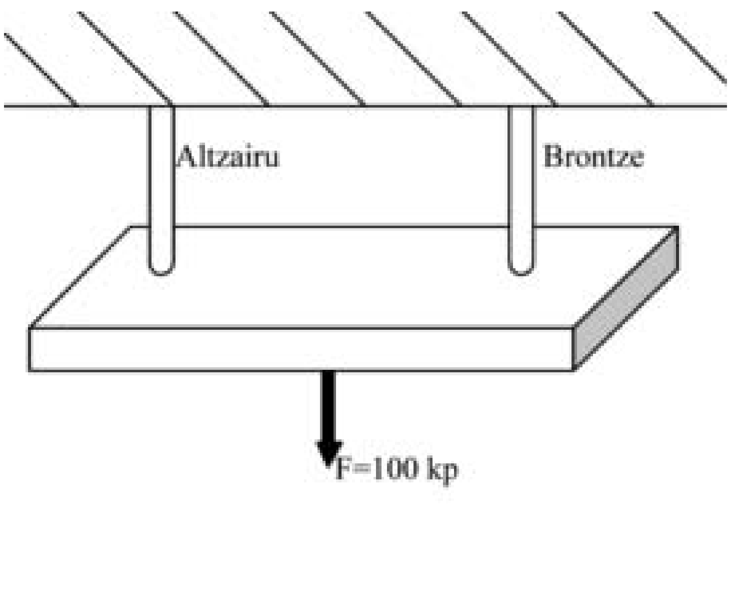
14. ariketa (Hautaprobetakoa)

Sabaitik, 100 kp-ko bloke bat dago zintzilik bi kableri esker, eta denbora guztian lurrarekiko paralelo dago. Kable bat altzairuzkoa da, eta bestea brontzezkoa; 4 mm-ko diametroa dute biek. Kalkula ezazu kable bakoitzak jasaten duen tentsioa.

Datuak:

$E_{altzairu} = 2{,}15 \cdot 10^6$ kp/cm^2

$E_{brontze} = 0{,}95 \cdot 10^6$ kp/cm^2



Bi kableen luzera berdina izango da denbora osoan, blokea lurrarekiko paralelo dagoelako; baina, euren elastikotasuna berdina ez denez, batak besteak baino tentsio handiagoa jasan beharko du.

Kable bien azalera berdina da:

$$S_{\text{altzairu}} = S_{\text{brontze}} = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{0{,}4\ cm}{2}\right)^2 = 0{,}125\,cm^2$$

Kable bien *hasierako luzerak* berdinak dira:

$$l_{o_{altzairu}} = l_{0_{brontze}}$$

Kable bien *luzapenak* ere berdinak dira; hortaz, *bi indarren arteko erlazioa* ezagutzeko bi ekuazioko sistema bat atera dezakegu:

$$\Delta l_{altzairu} = \Delta l_{brontze}$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{F_{altzairu}}{S_{altzairu}} = E_{altzairu} \cdot \dfrac{\Delta l_{altzairu}}{l_{0_{altzairu}}} \;\Rightarrow\; \Delta l_{altzairu} = \dfrac{F_{altzairu} \cdot l_{0_{altzairu}}}{S_{altzairu} \cdot E_{altzairu}} \\[3ex] \dfrac{F_{brontze}}{S_{brontze}} = E_{brontze} \cdot \dfrac{\Delta l_{brontze}}{l_{0_{brontze}}} \;\Rightarrow\; \Delta l_{brontze} = \dfrac{F_{brontze} \cdot l_{0_{brontze}}}{S_{brontze} \cdot E_{brontze}} \end{array}\right\} \; \frac{F_{altzairu} \cdot l_{0_{altzairu}}}{S_{altzairu} \cdot E_{altzairu}} = \frac{F_{brontze} \cdot l_{0_{brontze}}}{S_{brontze} \cdot E_{brontze}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left| \begin{array}{l} l_{0_{altzairu}} = l_{0_{brontze}} \\ S_{altzairu} = S_{brontze} \end{array} \right| \text{ekuaziotik desagertzen dira} \;\Rightarrow \frac{F_{altzairu}}{E_{altzairu}} = \frac{F_{brontze}}{E_{brontze}} \;\Rightarrow$$

$$F_{altzairu} = \frac{E_{altzairu}}{E_{brontze}} \cdot F_{brontze} = \frac{2{,}15 \cdot 10^6\ \dfrac{kp}{cm^2}}{0{,}95 \cdot 10^6\ \dfrac{kp}{cm^2}} \cdot F_{brontze} = 2{,}26 \cdot F_{brontze}$$

Bi balio ezezagun ($F_{brontze}$ eta $F_{altzairu}$) dituzten bi ekuazioko sistema dugu; orduan, *bi indarren balioak* lor ditzakegu:

$$\left.\begin{array}{l} F_{altzairu} = 2{,}26 \cdot F_{brontze} \\[2ex] F_{altzairu} + F_{brontze} = 100\,kp \end{array}\right\} \; 2{,}26 \cdot F_{brontze} + F_{brontze} = 100\,kp$$

$$3{,}26 \cdot F_{brontze} = 100\,kp$$

$$F_{brontze} = \frac{100\,kp}{3{,}26} = 30{,}67\,kp$$

$$F_{altzairu} = 2{,}26 \cdot F_{brontze} = 69{,}33\,kp$$

Kable biek jasan behar dituzten tentsioak ($\sigma_{altzairu}$, $\sigma_{brontze}$) kalkulatuko ditugu, indarrak ezagutzen ditugulako:

$$\sigma_{altzairu} = \frac{F_{altzairu}}{S_{altzairu}} = \frac{69{,}33\,kp}{0{,}125\,cm^2} = 554\ \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

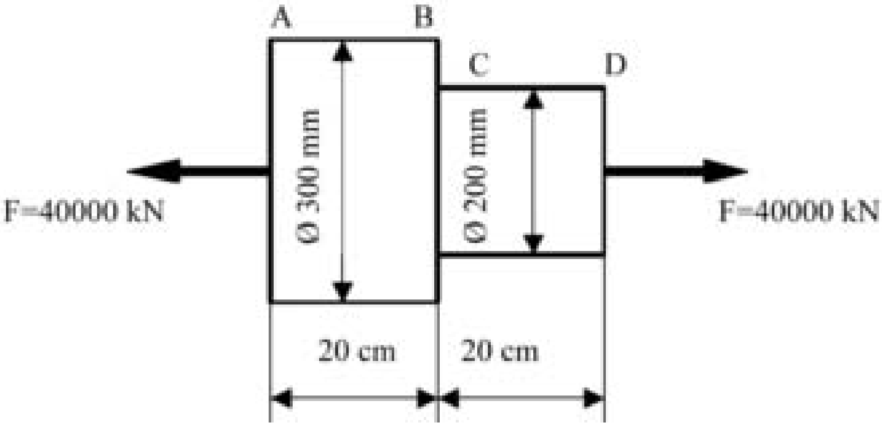
$$\sigma_{brontze} = \frac{F_{brontze}}{S_{brontze}} = \frac{30{,}67\,kp}{0{,}125\,cm^2} = 245\ \frac{kp}{cm^2}$$

15. ariketa (Hautaprobetakoa)

Irudia kautxuzko pieza zurrun bati dagokio, eta trakziozko indarpean dago. Kautxuaren elastikotasun modulua $5{\cdot}10^4$ MPa dela jakinda, kalkula itzazu pieza osatzen duten bi zatietan:

a)Luzapena.

b)Luzera trakziopean.



a) Hasteko, *AB zatiaren luzapena* kalkulatuko dugu. Ezkerrerantz 40000 kN-eko indarra egiten zaio, eta eskuinerantz beste hainbeste; bestela, pieza ez legoke geldirik:

$$\sigma_{AB} = \frac{F_{AB}}{S_{0AB}} = \frac{40.000\,\text{k}N}{\pi\cdot\left(\frac{0{,}3\,m}{2}\right)^2} = \frac{40.000\cdot 10^3\,N}{7{,}06\cdot 10^{-2}\,\text{m}^2} = 5{,}66\cdot 10^8\,Pa$$

$$E = \frac{\sigma_{AB}}{\varepsilon_{AB}} \Rightarrow \varepsilon_{AB} = \frac{\sigma_{AB}}{E} \Rightarrow \frac{\Delta l_{AB}}{l_{0_{AB}}} = \frac{\sigma_{AB}}{E} \Rightarrow \Delta l_{AB} = \frac{\sigma_{AB}\cdot l_{0_{AB}}}{E}$$

$$\Delta l_{AB} = \frac{\sigma_{AB}\cdot l_{0_{AB}}}{E} = \frac{566\,MPa\cdot 0{,}2\,m}{5\cdot 10^4\,MPa} = 2{,}26\cdot 10^{-3}\,m \Rightarrow \Delta l_{AB} = 2{,}26\,mm$$

Gauza bera egiten dugu *CD zatia*rentzat:

$$\sigma_{CD} = \frac{F_{CD}}{S_{0CD}} = \frac{40.000\,\text{k}N}{(0{,}2\,m)^2} = \frac{40.000\cdot 10^3\,N}{0{,}04\,m^2} = 1.000\,MPa$$

$$E = \frac{\sigma_{CD}}{\varepsilon_{CD}} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_{CD} = \frac{\sigma_{CD}}{E} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta l_{CD}}{l_{0_{CD}}} = \frac{\sigma_{CD}}{E} \quad \Rightarrow \quad \Delta l_{CD} = \frac{\sigma_{CD} \cdot l_{0_{CD}}}{E} =$$

$$= \frac{1.000\,MPa \cdot 0{,}2\,m}{5 \cdot 10^4\,MPa} = 4 \cdot 10^{-3}\,m \quad \Rightarrow \quad \Delta l_{AB} = 4\,mm$$

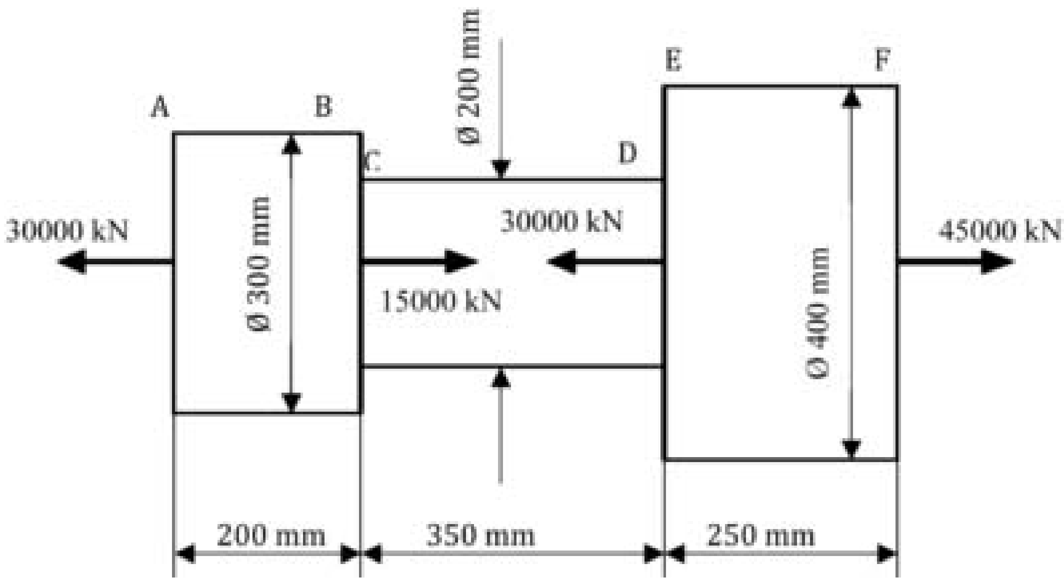
b) Bi zatiek *trakziopean dituzten luzerak* kalkulatuko ditugu, horretarako, hasieran zuten luzerari luzapena gehituko diogu:

$$\Delta l_{AB} = l_{AB} - l_{0_{AB}} \quad \Rightarrow \quad l_{AB} = l_{0_{AB}} + \Delta l_{AB} = 200\,mm + 2{,}26\,mm = 202{,}26\,mm$$

$$\Delta l_{CD} = l_{CD} - l_{0_{CD}} \quad \Rightarrow \quad l_{CD} = l_{0_{CD}} + \Delta l_{CD} = 200\,mm + 4\,mm = 204\,mm$$

16. ariketa

Aleaziozko pieza zurrun batek irudiko neurriak ditu, elastikotasun modulua 8.10^4 MPa-ekoa du, eta segurtasun koefizientea **N**=2 da. Kalkula itzazu:



a) Zati bakoitzaren eta pieza osoaren luzapenak.

b) Zati bakoitzaren eta pieza osoaren luzerak.

c) Piezaren luzapena %-tan.

d) Aleazioaren elastikotasun muga.

a) Pieza hiru zatitan banatuko dugu, eta zati bakoitzak jasaten duen trakziozko indarra bilatuko dugu:

AB zatiaren ezkerretik 30.000 kN-eko indarra egiten da; eskuinetik, berriz, 15.000 kN – 30.000 kN + 45.000 kN = 30.000 kN. Nahikoa zen bat bakarrik jakitea egoera estatikoa delako, eta, horrela, biek berdinak izan behar dute. *AB zatiaren luzapena* kalkulatuko dugu:

$$\sigma_{AB} = \frac{F_{AB}}{S_{0AB}} = \frac{30.000\,\mathrm{k}N}{(0{,}3m)^2} = \frac{30.000 \cdot 10^3\,N}{0{,}09\ \mathrm{m}^2} = 333{,}33\,MPa$$

$$E = \frac{\sigma_{AB}}{\varepsilon_{AB}} \Rightarrow \varepsilon_{AB} = \frac{\sigma_{AB}}{E} \Rightarrow \frac{\Delta l_{AB}}{l_{0_{AB}}} = \frac{\sigma_{AB}}{E} \Rightarrow \Delta l_{AB} = \frac{\sigma_{AB} \cdot l_{0_{AB}}}{E} =$$

$$= \frac{333{,}33\,MPa \cdot 0{,}2\,m}{8 \cdot 10^4\,MPa} = 8{,}33 \cdot 10^{-4}\,m \Rightarrow \Delta l_{AB} = 0{,}833\ mm$$

CD zatiaren ezkerretik 30.000 kN – 15.000 kN = 15.000 kN-eko trakziozko indarra dugu, eta eskuinetik beste hainbeste jasan behar du: 45.000 kN – 30.000 kN = 15.000 kN. *CD zatiaren luzapena* honako hau izango da:

$$\sigma_{CD} = \frac{F_{CD}}{S_{0CD}} = \frac{15.000\,\mathrm{k}N}{(0{,}2\,cm)^2} = \frac{15.000 \cdot 10^3\,N}{0{,}04\ \mathrm{cm}^2} = 375\,MPa$$

$$\Delta l_{CD} = \frac{\sigma_{CD} \cdot l_{0_{CD}}}{E} = \frac{375\,MPa \cdot 0{,}35\,m}{8 \cdot 10^4\,MPa} = 1{,}64 \cdot 10^{-3}\,m \Rightarrow \Delta l_{CD} = 1{,}640\ mm$$

EF zatiaren ezkerretik 30.000 kN–15.000 kN+30.000 kN=45.000 kN-eko trakziozko indarra dugu, eta eskuinetik beste hainbeste jasan behar du: 45.000 kN. *EF zatiaren luzapena* honako hau izango da:

$$\sigma_{EF} = \frac{F_{EF}}{S_{0EF}} = \frac{45.000\,\mathrm{k}N}{\pi \cdot \left(\dfrac{0{,}4\ m}{2}\right)^2} = 358\ MPa$$

$$\Delta l_{EF} = \frac{\sigma_{EF} \cdot l_{0_{EF}}}{E} = \frac{358\,MPa \cdot 0{,}25\,m}{8 \cdot 10^4\,MPa} = 1{,}12 \cdot 10^{-3}\,m \Rightarrow \Delta l_{EF} = 1{,}120\ mm$$

Pieza osoaren luzapena bilatzeko hiru zatien luzapenak batu behar dira:

$$\Delta l_{pieza} = \Delta l_{AB} + \Delta l_{CD} + \Delta l_{EF} = 0{,}833\ mm + 1{,}640\ mm + 1{,}120\ mm = 3{,}593\ mm$$

b) Zati bakoitzaren eta piezaren luzerak trakziopean kalkulatzeko, hasierako luzerari gertatutako luzapena gehituko diogu.

AB zatiaren luzera: $l_{AB} = \Delta l_{AB} + l_{0_{AB}} = 0{,}833\ mm + 200\,mm = 200{,}83\ mm$

CD zatiaren luzera: $l_{CD} = \Delta l_{CD} + l_{0_{CD}} = 1{,}640\,mm + 350\,mm = 351{,}64\ mm$

EF zatiaren luzera: $l_{EF} = \Delta l_{EF} + l_{0_{EF}} = 1{,}120\ mm + 250\,mm = 251{,}12\ mm$

Piezaren luzera: $l_{pieza} = \Delta l_{AB} + \Delta l_{CD} + \Delta l_{EF} = 200{,}83 + 351{,}64 + 251{,}12\ mm = 803{,}59\ mm$

c) *Piezaren luzapen unitarioa* kalkulatzeko, luzatutako mm-ak hasierako luzeraren artean zatituko ditugu. Azkenik, %-tan jartzeko, bider 100 egingo dugu:

$$\varepsilon_{pieza} = \frac{\Delta l_{pieza}}{l_{0_{pieza}}} = \frac{3{,}593}{800} = 4{,}49 \cdot 10^{-3} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_{pieza}(\%) = 4{,}49 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 0{,}45\,\%$$

17. ariketa

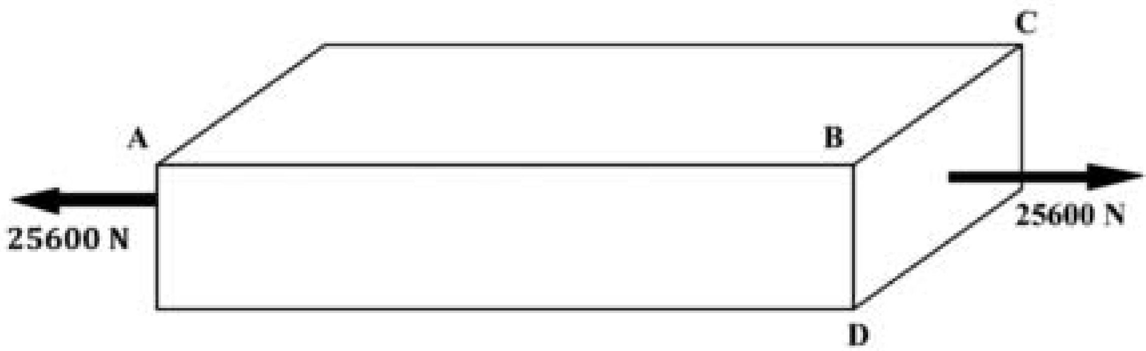
Irudian ageri den letoizko piezaren hiru ertz ezberdinen hasierako neurriak hauek dira:

$$\begin{cases} l_{0_{AB}} = 80\,mm \\ l_{0_{BC}} = 16\,mm \\ l_{0_{BD}} = 8\,mm \end{cases}$$

BC ertzaren neurria 15,99 mm-ra jaisten da 25.600 N-eko trakziozko indarpean. Letoiaren elastikotasun modulua $E=10{,}1 \cdot 10^4$ MPa-ekoa da, eta proportzionaltasun-muga 150 MPa-ekoa; kalkula itzazu:

a) Piezaren luzapena eta luzera trakziopean.

b) Poisson-en koefizientea eta BD ertzaren uzkurdura.



a) *Piezaren luzapena* indarraren norabidean haziko da (AB ertzaren norabidean)

$$\sigma_{AB} = \frac{F}{S_0} = \frac{25{,}6\,\mathrm{k}N}{(16 \cdot 10^{-3} m \cdot 8 \cdot 10^{-3} m)} = \frac{25.600\,N}{1{,}28 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2} = 200 \cdot 10^6\,Pa = 200\,MPa$$

Piezaren luzera:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_{AB}} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_{AB} = \frac{\sigma}{E} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta l_{AB}}{l_{0_{AB}}} = \frac{\sigma}{E} \quad \Rightarrow \quad \Delta l_{AB} = \frac{\sigma \cdot l_{0_{AB}}}{E} =$$

$$= \frac{200\,MPa \cdot 0{,}08\,m}{10{,}1 \cdot 10^4\,MPa} = 1{,}58 \cdot 10^{-4}\,m \quad \Rightarrow \quad \Delta l_{AB} = 0{,}158\,mm$$

b) Trakziozko indarraren norabide berean dauden ertzak luzatu egiten dira, eta beste guztiak laburtu egiten dira (uzkurtu egiten dira). *Poisson-en koefizientea edo modulua* uzkurduraren eta luzapenaren arteko erlazio konstantea da, beti positiboa; horregatik, formulan balio absolutuak hartzen dira, edo, bestela, *minus* bat jar dezakegu horren aurrean.

Poisson-en koefizientea bila dezakegu BC ertzaren neurria trakziopean ezagutzen dugulako:

$$\mu = -\frac{\dfrac{\Delta l_{BC}}{l_{0_{BC}}}}{\dfrac{\Delta l}{l_0}} \quad \begin{cases} \Delta l_{BC} = \text{BC alboaren aldaketa (uzkurdura)} \\ l_{0_{BC}} = \text{BC alboaren hasierako neurria} \\ \Delta l = \text{piezaren luzapena (AB alboarena)} \\ l_0 = \text{piezaren hasierako luzera (AB alboarena)} \end{cases}$$

$$\mu = -\frac{\dfrac{15{,}99\,mm - 16\,mm}{16\,mm}}{\dfrac{0{,}158\,mm}{80\,mm}} = 0{,}32$$

Poisson-en koefizientea ezagutzen dugu, eta orain bila dezakegu *BD ertzaren uzkurdura:*

$$\mu = -\frac{\dfrac{\Delta l_{BD}}{l_{0_{BD}}}}{\dfrac{\Delta l}{l_0}} \quad \Rightarrow \quad 0{,}32 = -\frac{\dfrac{\Delta l_{BD}}{8\ mm}}{\dfrac{0{,}158\,mm}{80\,mm}} \quad \Rightarrow \quad \Delta l_{BD} = 5{,}07 \cdot 10^{-3}\,mm$$

BD ertzak indarpean duen luzera kalkulatzeko, hasierako luzerari uzkurdurari dagokiona kendu beharko diogu:

$$l_{BD} = l_{0_{BD}} - \Delta l_{BD} = 8\,mm - 0{,}005\ \ mm = 7{,}995\ \ mm$$

Barraren neurriak hauek dira: 80,158 mm x 15,99 mm x 7,995 mm

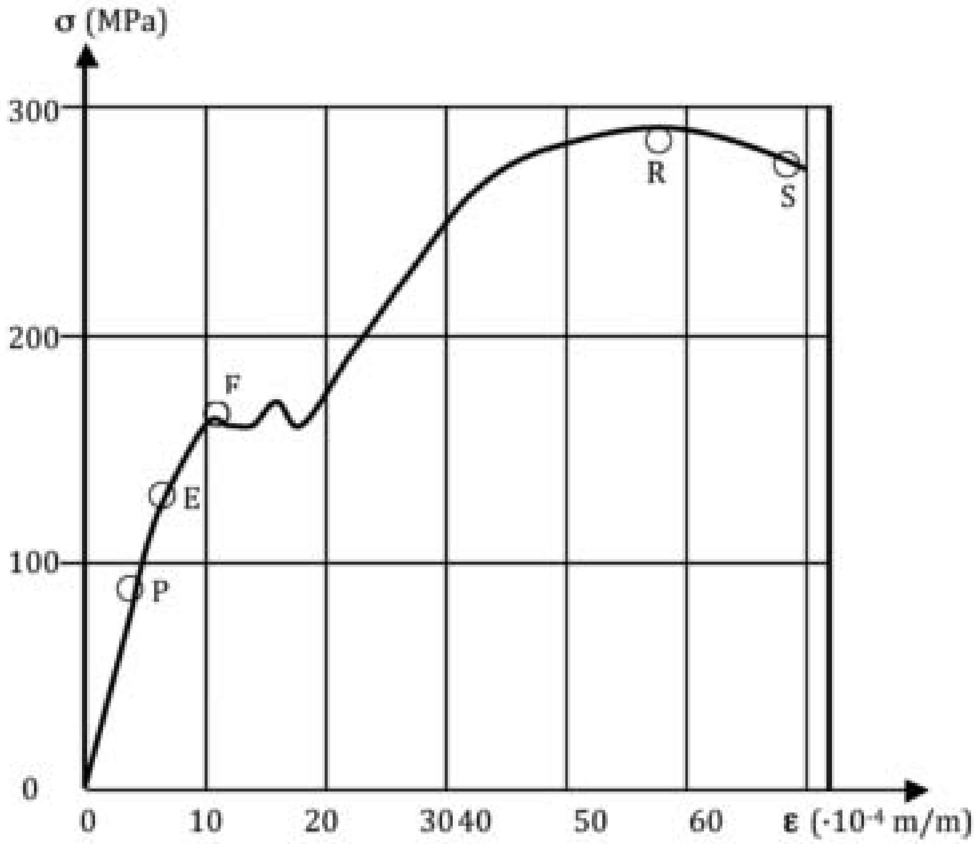
18. ariketa

Altzairuzko barra bat laborategira eraman da, eta saiakuntza bat egin zaio. Beheko diagrama lortu da.

a) Idatz ezazu zein saiakuntzari dagokion.

b) Puntu eta tarte esanguratsuenak bilatu, eta idatz ezazu zer adierazten duten.

c) Elastikotasun-moduluaren balioa bilatu, eta adieraz ezazu sistema teknikoaren unitatetan.



a) *Trakzio-saiakuntza* bati dagokio: Normalizatuta dagoen probeta bati muturretatik eutsi, eta luzatu egiten da apurtu arte. Jasandako indarrak eta eragindako luzapenak neurtu egiten dira, eta euren balio unitarioak adierazten dira grafikoki.

b) *Proportzionaltasun-muga (P)*: Puntu honetatik behera materiala elastikoa izateaz gain, tentsioak eta luzapenak erlazio konstantea dute. Puntu honetatik gora materiala elastikoa da, baina ezin da zehaztu tentsio bakoitzak eragindako luzapena.

Elastikotasun muga (E). Puntu horretan, materiala elastikoa izatetik plastikoa izatera pasatzen da.

Isurpen-muga (F). Puntu honetatik aurrera, tentsiorik handitu gabe, luzatu egiten da probeta. Bertan jasandako esfortzuari *isurpen-tentsioa* deitzen zaio, eta bere balioa kalkulatzea oso erraza da.

Hauste-mugaren puntua (R). Puntu honi egiten den esfortzurik handiena dagokio *(haustetentsioa edo trakzioari erresistentzia)*; nahiz eta oraindik materiala fisikoki apurtuta ez egon, hala dagoela jotzen da.

Hauste puntua (RS). Puntu honetatik aurrera esfortzuen balioak txikiagoak dira, baina materialak luzatzen jarraitzen du, eta, azkenik, S puntuan fisikoki apurtzen da.

Tarte elastikoa (OE). Esfortzuak kentzen badira, luzapena desagertu egiten da, eta probeta hasieran zuen luzerara bueltatzen da. Bi zatiz osatuta dago: *tarte proportzionala (OP)* –indarrak eta luzapenak proportzionalak dira– eta *tarte ez-proportzionala (PE)* –ez dago erlazio zuzenik indarren eta luzapenen artean–.

Tarte plastikoa (ES): Indarrak desagertutakoan luzapenak mantendu egiten dira, eta pieza deformatuta geratzen da.

c) *Elastikotasun modulua* tarte proportzionalaren (OP) malda da. Bere balioa kalkulatzeko, zuzen horretako bi puntu hartu behar dira; errazago izateko, P puntua ($4{,}30 \cdot 10^{-4}$, 89), eta ordenatuen jatorria (0,0) hartu ditugu:

$$E = malda = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{(89-0)\,MPa}{4{,}30 \cdot 10^{-4} - 0} = 207 \cdot 10^{3}\ MPa$$

$$207 \cdot 10^{3}\ MPa \cdot \frac{10^{6}\ Pa}{1 MPa} \cdot \frac{1\dfrac{N}{m^{2}}}{1 Pa} \cdot \frac{1 kp}{9{,}81 N} \cdot \frac{1 m^{2}}{10^{4}\ cm^{2}} = 2{,}11 \cdot 10^{6} kg \cdot cm^{-2}$$

19. ariketa (Hautaprobetakoa)

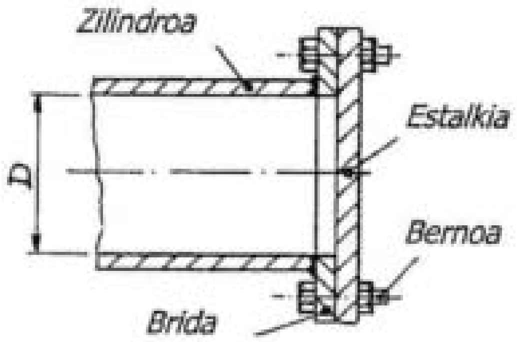
Irudian ikusten den hodiak honako ezaugarri hauek ditu:

—Barruko diametroa D = 250 mm-koa da

—Barruko presioa $P = 215 \cdot 10^{4}$ Pa-ekoa da.

—Hodia estalki batekin ixten da, eta estalkia brida bati lotuta dago M12-ko bernoekin.

Bernoen sekzio erabilgarriaren diametroa d = 9,9 mm-koa da. Bila ezazu estalkia lotuta mantentzeko behar den pernoen gutxieneko kopurua (***n***), dagokien segurtasun koefizientea kontuan hartuta, bernoek jasan dezaketen trakzio-esfortzua 12 kg/mm^{2}-koa bada.



Hodi barruan dagoen likidoak *estalkian egiten duen indarra* bilatuko dugu presioari esker, (indar hori perno guztien artean jasan beharko da):

$$P = \frac{F}{S} \quad \Rightarrow \quad F = P \cdot S = 215 \cdot 10^{4}\ \frac{N}{m^{2}} \cdot \left[\pi \cdot \left(\frac{0{,}250\, m}{2}\right)^{2}\right] = 105537{,}8\ N$$

Berno bakoitzak jasan dezakeen indarra ondorengoa izango da:

$$S_{0_{perno}} = \pi \cdot r^{2} = \pi \cdot \left(\frac{9{,}9\, mm}{2}\right)^{2} = 76{,}97\ mm^{2}$$

$$\sigma_{perno} = 12\frac{kg}{mm^2}\cdot\frac{9{,}8N}{1\,kg} = 117{,}6\frac{N}{mm^2}$$

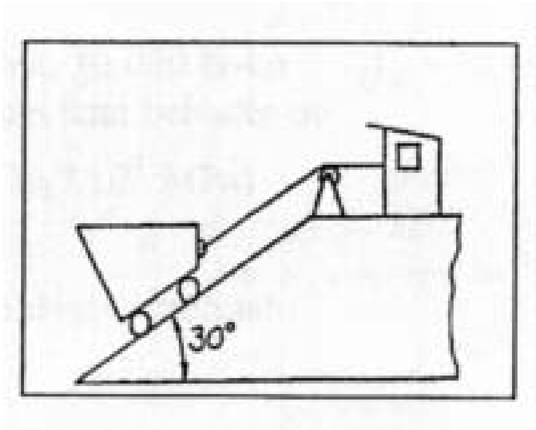
$$117{,}6\frac{N}{mm^2}\cdot 76{,}97\,mm^2 = 9051{,}67\ N$$

Berno guztien artean jasan behar den indarra ezagutzen dugu, eta perno bakarrak jasan dezakeen indarra ere bai; bien arteko erlazioak *perno kopurua (n)* emango digu:

$$n = \frac{F_{perno\ guztiak}}{F_{perno\ bakarra}} = \frac{105537{,}8\ N}{9051{,}67\ N} = 11{,}66 \cong 12\ \textit{perno behar dira}$$

20.ariketa (Hautaprobetakoa)

Plano inklinatu batek horizontalarekin 30º-ko angelua du, eta bagoneta batek kargak igo behar ditu goraino. Bagoneta igotzeko, 2 cm-ko diametroa duen altzairuzko kable batetik tiratuko da, abiadura konstantea izango da, eta ez da marruskadurarik egongo.



Kablearen elastikotasun muga 40 kg/mm^2 da, eta muga horrekiko finkatu den segurtasun koefizientea 4 da. Bagonetaren pisua 3200 kg-koa bada eta kableak ez badu pisurik, zein da jaso daitekeen gehienezko karga?

Kableak pisurik ez du, eta marruskadurarik ere ez dago; orduan, bagoneta igotzeko egin beharko den indarra hau izango da:

$$F_{guztia} = F_{k\arg a} + F_{bagoneta}$$

Guztira egin behar den indarra kableak jasaten duen indarrarekin erlazionatuta dago:

$$\sin 30l' = \frac{F_{kablea}}{F_{guztia}} \Rightarrow F_{kablea} = F_{guztia}\cdot \sin 30l'$$

Aurretik, *lanerako tentsioa* kalkulatuko dugu:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_E}{N} = \frac{40\frac{kg}{mm^2}}{4} = 10\frac{kg}{mm^2}$$

Kableak jasaten duen indarra hau izango da:

$$\sigma_t = \frac{F_{kablea}}{S_0} \Rightarrow F_{kablea} = \sigma_t\cdot S_0 = 10\frac{kg}{mm^2}\cdot\pi\cdot\left(\frac{20\,mm}{2}\right)^2 = 3140\ kg$$

Orain, *guztira egin behar den indarra* kalkula daiteke.

$$F_{guztia} = \frac{F_{kablea}}{\sin 30^{\circ}} = \frac{3140\ kg}{0{,}5} = 6280\ kg$$

Indar horri bagonetaren pisua kentzen badiogu, *jaso daitekeen gehienezko karga* jakingo dugu:

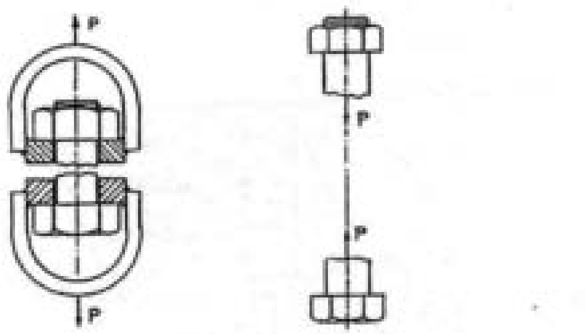
$$F_{guztia} = F_{karga} + F_{bagoneta} \quad \Rightarrow \quad F_{karga} = F_{guztia} - F_{bagoneta} = 6280\ kg - 3200\ kg$$

$$F_{karga} = 3080\ kg$$

21. ariketa (Hautaprobetakoa)

Hiru barra ditugu, sekzio zirkularrekoak, eta bakoitza altzairu mota batekoa. Honako ezaugarri hauek dituzte:

Barra	Diametroa (mm)	Elastikotasun muga (σ_E=kg/cm^2)
A	40	3900
B	30	4200
C	35	4000



Barretariko bat P = 9000 kg-ko karga estatikoaren eraginpean dago, barraren ardatzaren norabidean. Segurtasun-koefizientea 3,3 bada, barra horietariko zein aukeratu da? Azaldu zergatik.

Kable bakoitzak jasan dezakeen tentsioa kalkulatuko dugu, segurtasun-koefizientea kontuan hartuta:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_E}{N} \begin{cases} A \rightarrow \sigma_t = \dfrac{3.900 \dfrac{kg}{cm^2}}{3,3} = 1.181,82 \dfrac{kg}{cm^2} \\ B \rightarrow \sigma_t = \dfrac{4.200 \dfrac{kg}{cm^2}}{3,3} = 1.272,73 \dfrac{kg}{cm^2} \\ C \rightarrow \sigma_t = \dfrac{4.000 \dfrac{kg}{cm^2}}{3,3} = 1.212,12 \dfrac{kg}{cm^2} \end{cases}$$

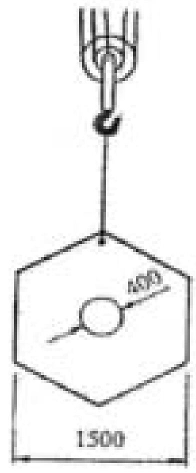
Kable bakoitzak jasango duen tentsioa kalkulatuko dugu, jasan behar den karga kontuan hartuta.

$$\sigma_t = \frac{P}{S_o} \begin{cases} A \rightarrow \sigma_t = \dfrac{9.000\,kg}{\pi \cdot (2\,cm)^2} = 716,56 \dfrac{kg}{cm^2} \\ B \rightarrow \sigma_t = \dfrac{9.000\,kg}{\pi \cdot (1,5\,cm)^2} = 1273,2 \dfrac{kg}{cm^2} \\ C \rightarrow \sigma_t = \dfrac{9.000\,kg}{\pi \cdot (1,75\,cm)^2} = 935,44 \dfrac{kg}{cm^2} \end{cases}$$

B Barra aukeratuko da karga hori jasateko, berak baitu segurtasun-koefiziente egokia (bi tentsioek balio bera dute).

22. ariketa (Hautaprobetakoa)

Karbono-altzairuzko (dentsitatea=8 kg/dm^3) xafla hexagonal erregular bat dago kable batetik zintzilik, eta 400 mm-ko diametroa duen zuloa dago haren erdi-erdian. Xaflaren lodiera 12 mm-koa da, eta hexagonoaren bi albo paraleloen artean 1500 mm daude.



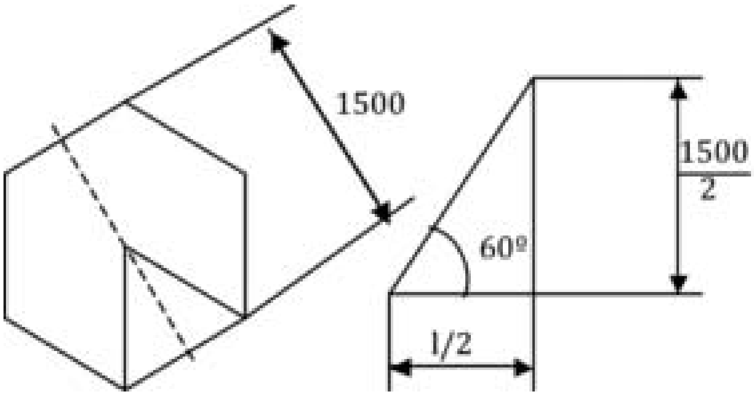
Kablea altzairuzkoa da, eta honako ezaugarriak ditu: tentsio unitarioa=3200 kg/cm^2, zeharkako sekzioa= 0,5 cm^2. Kalkula itzazu ondorengo xehetasunak:

a) Piezaren pisua

b) Kablearen lan-tentsioa

c) Segurtasun-koefizientea

a) *Xaflaren pisua* kalkulatzeko, aurretik bolumena bilatuko dugu. Hexagonoa sei hiruki aldekidez osatuta dago, eta hiruki aldekide bakoitza bi hiruki zuzenek osatzen dute:



Bi ekuazioko sistema baten bidez, *hexagonoaren azalera* kalkulatuko dugu:

$$\left.\begin{array}{l} A_{hex} = 6 \cdot A_{\Delta_{aldekide}} = 6 \cdot \dfrac{l \cdot \left(1500/2\right)}{2} \\[2ex] \tan 60 = \dfrac{1500/2}{l/2} = \dfrac{1500}{l} \quad \Rightarrow \quad l = \dfrac{1500}{\tan 60} = \dfrac{1500}{\sqrt{3}} \end{array}\right\} \quad A_{hex} = 6 \cdot \dfrac{l \cdot \left(1500/2\right)}{2} =$$

$$= 6 \cdot \frac{\frac{1500}{\sqrt{3}} \cdot 750}{2} = \frac{3 \cdot 1500 \cdot 750}{\sqrt{3}} = 1948557{,}2\ mm^2 \quad \Rightarrow \quad A_{hex} = 194{,}856\ dm^2$$

Hexagonoaren erdi-erdian dagoen *zuloaren azalera* zenbatekoa den jakin behar dugu:

$$A_{zulo} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{400\ mm}{2}\right)^2 = \pi \cdot 2^2\ dm^2 = 12{,}566\, dm^2$$

Xaflaren azalerak zenbateko balioa duen jakiteko, hexagonoaren azalerari zuloarena kendu behar diogu:

$$A_{xafla} = A_{hex} - A_{zulo} = 194{,}856\ dm^2 - 12{,}566\, dm^2 = 189{,}29\ dm^2$$

Xaflaren bolumena kalkulatuko dugu orain: aurreko emaitza (xaflaren azalera) eta lodiera biderkatuko ditugu:

$$V_{xafla} = A_{hex} \cdot lodiera = 189{,}29\ dm^2 \cdot 0{,}12\ dm = 22{,}715\ dm^3$$

Piezaren pisua dentsitateari esker bilatuko dugu:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \Rightarrow \quad m = \rho \cdot V = 8 \frac{kg}{dm^3} \cdot 22{,}715\ dm^3 = 181{,}6 kg$$

b) *Kablearen lan-tentsioa* kalkulatzeko, piezaren pisua eta kablearen sekzioa behar ditugu; eta biak ezagutzen ditugu:

$$\sigma_t = \frac{P}{S_o} = \frac{181{,}6\, kg}{0{,}5\ cm^2} = 363{,}2 \frac{kg}{cm^2}$$

c) *Segurtasun-koefizientea* tentsio unitarioaren eta lan-tentsioaren arteko erlaziotik aterako dugu:

$$\sigma_t = \frac{\sigma}{N} \quad \Rightarrow \quad N = \frac{\sigma}{\sigma_t} = \frac{3.200 \frac{kg}{cm^2}}{350 \frac{kg}{cm^2}} = 9{,}143$$

23. ariketa (Hautaprobetakoa)

Probeta normalizatu bat, diametroa D = 13,8 mm eta luzera l = 100 mm duena, trakzio-saiakuntzan erabili da, eta diagramaren honako puntu kritiko hauek zehaztu dira, balio eta guzti:

E (elastikotasuna)	F_E=1.580 kp
P (proportzionaltasuna)	F_P=1.610 kp
R (haustura)	F_R=5.450 kp
S (haustura efektiboa)	F_S=3.620 kp

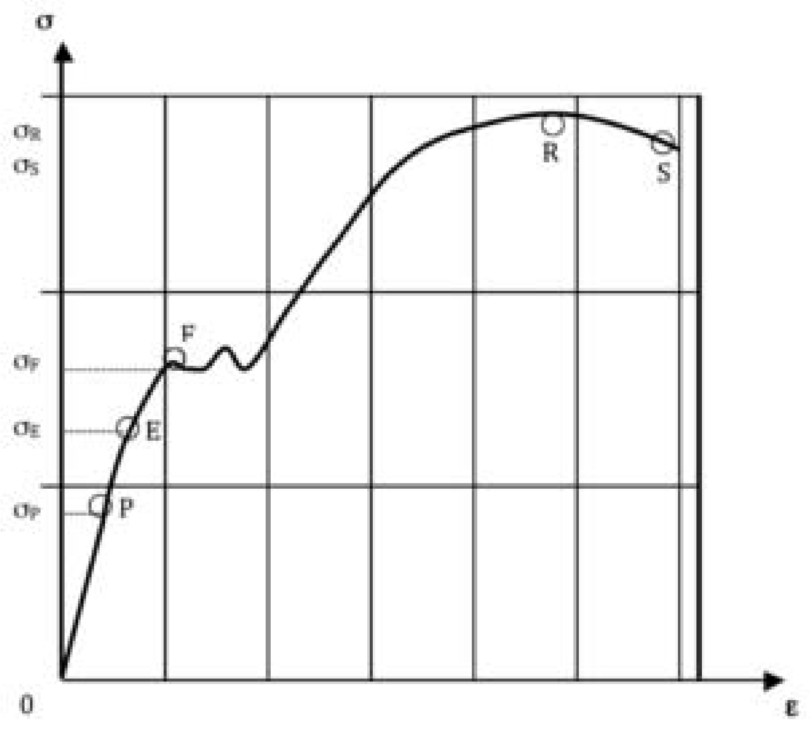
Hau egin behar da:

a) Erakutsi trakzio-saiakuntzaren diagrama, eta jarri bertan tarteak eta mugak

b) Haustura eta haustura efektibozko tentsio unitarioak

c) Luzapena eta luzapen unitarioa muga elastikoan (Young modulua: $E = 21 \cdot 10^5$ kp/cm^2)

a) Trakzio-saiakuntzaren diagrama honako hau da:



b) *Haustura tentsioa* (σ_R) piezak jasandako tentsiorik handiena da (apurtutzat hartuko da), eta *haustura efektiboan* pieza fisikoki apurtu egiten da (σ_S).

$$\sigma_R = \frac{F_R}{S_o} = \frac{5450\ kp}{\pi \cdot \left(\frac{13{,}8\ mm}{2}\right)^2} = \frac{5450\,kp}{149{,}571\,mm^2} \cdot \frac{10^2\,mm^2}{1\,cm^2} = 3643{,}048\frac{kp}{cm^2}$$

$$\sigma_S = \frac{F_S}{S_o} = \frac{3620\,kp}{1{,}496\ cm^2} = 2419{,}786\frac{kp}{cm^2}$$

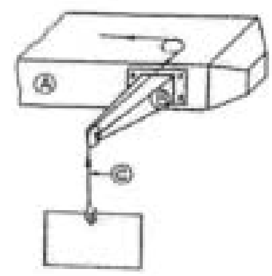
c) *Luzapenak eta luzapen unitarioak muga elastikoan*. Trakziopean agertu diren luzapen hauek desagertu egingo dira indarrak kentzerakoan, baina horietatik aurrera pieza deformatuta geratuko da.

$$E = \frac{\sigma_E}{\varepsilon} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{\sigma_E}{E} = \frac{F_e / S_0}{E} = \frac{F_e}{E \cdot S_0} = \frac{1580\ kp}{21 \cdot 10^5\ \frac{kp}{cm^2} \cdot 1{,}496\ cm^2} = 5{,}029 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \Rightarrow \quad \Delta l = \varepsilon \cdot l_0 = 5{,}029 \cdot 10^{-4} \cdot 100\ mm = 5{,}029 \cdot 10^{-2} mm = 0{,}05029\ mm$$

24. ariketa (Hautaprobetakoa)

Euskarri baten habean (A) zamak igotzeko garabia (B) jarri da. Garabitik kablea (C) doa eta hortik eskegita altzairuzko xafla bat (400 mm-ko luzera, 100 mm-ko zabalera eta 10 mm-ko lodiera). Irudia kontuan izanda:



a) Idatzi A, B eta C elementuen lan egiteko modua (trakzioa, konpresioa...).

b) Bilatu C kablearen lan-tentsioa diametroa, 5 mm-koa badu.

c) Zehaztu C kableak duen segurtasun-koefizientea, bere tentsio onargarria 3200 kg/cm^2-koa bada.

d) Kableak 0,5 m-ko luzera badu, zenbat mm luzatuko da zamaren eraginez?

Altzairuaren ezaugarriak:
Xaflaren Pisu espezifikoa=8 kg/dm^3
Kablearen Young modulua=2,1·10^6 kg/dm^3

Irudia begiratuta:

A=Bihurdura, B=Makurdura, C=Trakzioa

b) Lehenengo, *xaflaren bolumena* kalkulatuko dugu:

$$V_{xafla} = 400 \ mm \cdot 100 \ mm \cdot 10 \ mm = 4 \cdot 10^5 mm^3 \cdot \frac{1 \ cm^3}{10^3 mm^3} = 400 \ cm^3$$

Xaflaren pisua kalkulatzeko, bolumena eta pisu espezifikoa biderkatuko ditugu:

$$P_e = 8 \frac{kg}{dm^3} \cdot \frac{1 \ dm^3}{10^3 cm^3} = 8 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{cm^3}$$

$$8 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{cm^3} \cdot 400 cm^3 = 3{,}2 \ kg$$

Kablearen lan-tentsioa xaflaren pisua eta kablearen arteko erlazioa da:

$$\sigma_t = \frac{P}{S_o} = \frac{3{,}2 \ kg}{\pi \cdot \left(\frac{0{,}5 \ cm}{2}\right)^2} = \frac{3{,}2 kg}{0{,}19 \ cm^2} = 16{,}84 \frac{kg}{cm^2}$$

c) *Kablea segurtasun-koefiziente* honekin ari da lanean:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_{onar}}{N} \quad \Rightarrow \quad N = \frac{\sigma_{onar}}{\sigma_t} = \frac{3200 \frac{kg}{cm^2}}{16{,}84 \frac{kg}{cm^2}} = 190$$

d) Azkenean, *kablearen luzapena* kalkulatuko dugu:

$$E = \frac{\sigma_t}{\varepsilon} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{\sigma_t}{E} = \frac{16{,}84 \ \frac{kp}{cm^2}}{2{,}1 \cdot 10^6 \frac{kp}{cm^2}} = 8 \cdot 10^{-6}$$

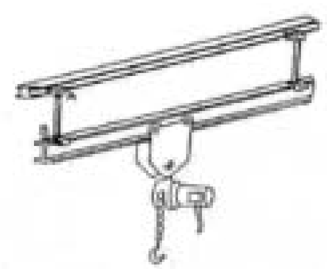
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \Rightarrow \quad \Delta l = \varepsilon \cdot l_0 = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}5 \ m \cdot \frac{10^3 mm}{1 \ m} = 0{,}004 \ mm$$

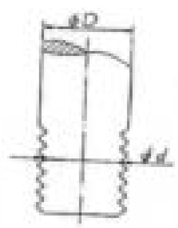
25. ariketa (Hautaprobetakoa)

Lantegi baten alde batetik bestera doan polipastoa jarri nahi da, eta, horretarako, errodadura-bide bat jarriko da lantegiko egituran zintzilik. Errodadura-bidea *IPE* motako profil ijetzia da; lantegiaren egituran finkatzeko, A eta B lokarriak daude, eta mutur bietan hariztatuta dagoen hagatxoekin elkartu egiten dira:

Datuak honako hauek dira:

a) Hagatxoaren diametroaren (*D*) eta hariaren diametroaren (*d*) arteko erlazioak *(d/D)* 0,85 balio du.





b) Lantegi honetan hagatxoek jasan beharko duten gehienezko karga 4900 N-ekoa izango da.

c) Erabil daitezkeen hagatxoek 10, 14 eta 20 mm-ko diametroak dituzte. Hagatxoa altzairuzkoa da, eta bere tentsioa, elastikotasun mugan, 24 kg/mm^2-koa da.

d) Nahi den segurtasun-koefizientea 4 da.

Dauden *hagatxoen artean merkeena* aukeratu behar da, eta, horren ondorioz, *geratzen den segurtasun-koefizientea* ere bai.

Hagatxoa nonbaitetik apurtuz gero, lekurik estuenetik apurtuko da, eta *diametrorik txikiena hariarena* da (d); lehenik eta behin, hori bilatuko dugu:

$$\frac{d}{D} = 0{,}85 \quad \begin{cases} d_1 = 0{,}85 \cdot D_1 = 0{,}85 \cdot 10\ mm = 8{,}5\ mm \\ d_2 = 0{,}85 \cdot D_2 = 0{,}85 \cdot 14\ mm = 11{,}9\ mm \\ d_3 = 0{,}85 \cdot D_3 = 0{,}85 \cdot 20\ mm = 17\ mm \end{cases}$$

Lantegi honetan hagatxoek jasan beharko duten gehienezko karga 4900 N-ekoa izango da; jasan beharko duten *gehienezko tentsioa* kalkulatuko dugu:

$$\sigma_1 = \frac{F}{S_{o1}} = \frac{4900\ N}{\pi \cdot \left(\frac{8{,}5\ mm}{2}\right)^2} = \frac{4900\,N}{56{,}7\ mm^2} = 86{,}4\frac{N}{mm^2} \cdot \frac{1kg}{9{,}8\,N} = 8{,}8\frac{kg}{mm^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{F}{S_{o2}} = \frac{4900\ N}{\pi \cdot \left(\frac{11{,}9\ mm}{2}\right)^2} = \frac{4900\,N}{111{,}2\ mm^2} = 44{,}1\frac{N}{mm^2} \cdot \frac{1kg}{9{,}8\,N} = 4{,}5\frac{kg}{mm^2}$$

$$\sigma_3 = \frac{F}{S_{o3}} = \frac{4900\ N}{\pi \cdot \left(\frac{17\ mm}{2}\right)^2} = \frac{4900\,N}{226{,}8\ mm^2} = 21{,}6\frac{N}{mm^2} \cdot \frac{1kg}{9{,}8\,N} = 2{,}2\frac{kg}{mm^2}$$

Altzairuaren tentsioa elastikotasun-mugan 24 kg/mm^2 da, eta segurtasun-koefizientea 4 da; bi horietatik *gehienezko lan-tentsioa* kalkulatuko dugu:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_E}{N} = \frac{24\frac{kg}{mm^2}}{4} = 6\ \frac{kg}{mm^2}$$

Hagatxo hariztatuaren tentsioak ezin du gainditu 6 kg/mm^2–ko balioa. Gure hiru hagatxoen lan-tentsioak konparatuko ditugu:

10 mm-ko diametroa duen hagatxoak plastikotasun tartean egiten du lan (elastikotasun mugatik gorako balioa du); orduan, ez dugu aukeratuko pieza deformatuta geratuko delako.

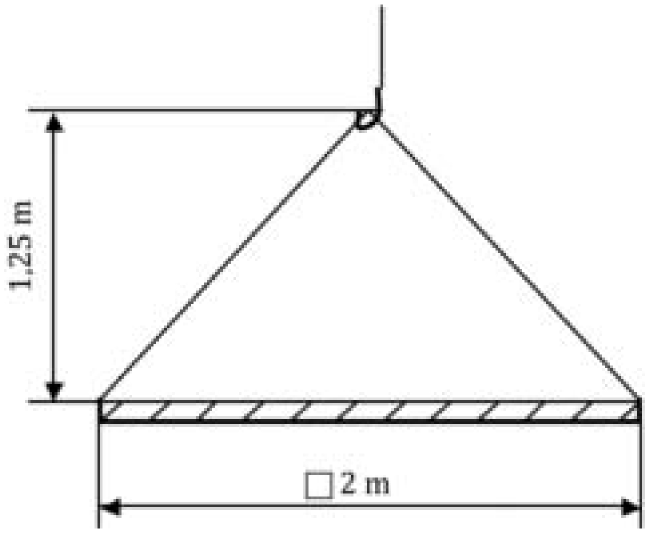
14 eta 20 mm-ko diametroak dituzten hagatxoek elastikotasun-tartean egiten dute lan (elastikotasun-mugatik beherako balioak dituzte); bien artetik, *14 mm-koa aukeratuko dugu* besteak baino diametro txikiagoa duelako, eta, ondorioz, merkeago izango delako.

$$\sigma_t = \frac{\sigma_E}{N} \quad \Rightarrow \quad N = \frac{\sigma_E}{\sigma_t} = \frac{24\,\frac{kg}{mm^2}}{4{,}5\,\frac{kg}{mm^2}} = 5{,}3$$

14 mm-ko diametroa duen hagatxoarekin lan egiten dugunean, 5,3ko segurtasun-koefizientea lortzen dugu, eskatzen digutena (N = 4) baino handiagoa.

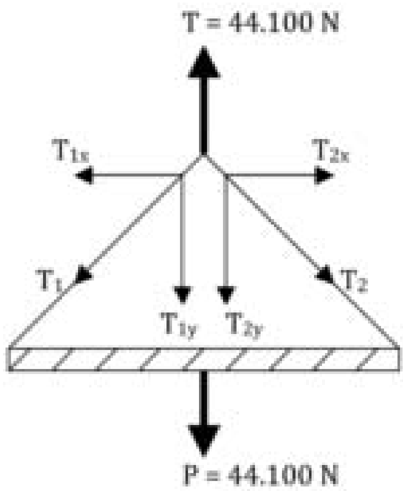
26. ariketa (Hautaprobetakoa)

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,hurrenez hurren, 10, 12, 14, 16 eta 18 mm-ko diametroak dituzten kableak ditugu. Kableetariko zein erabili behar da tiranteetan materialaren tentsio onargarria σ_{onar} = 4200 kg/cm^2 bada, eta segurtasun koefizientea K = 2,5 gorde nahi bada?



Kable bakoitzak jasan behar duen tentsioa jakiteko, lehenik *xaflaren pisua* kalkulatu da:

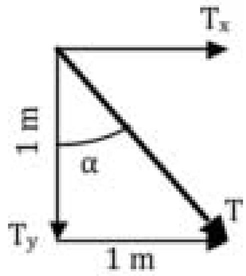
$$P = 4.500\ kg \cdot 9{,}8\ \frac{m}{s^2} = 44100\ N$$



T_1 eta T_2 tentsioek balio bera dute (modulua) eta euren osagaiek bi ardatzetan (T_{1x}, T_{1y}, T_{2x}, T_{2y}) ere balio bera dute. *Kableek jasan behar duten tentsioa* hau da:

$$\left.\begin{aligned} T_{1y} + T_{2y} &= 44.100\ N \\ T_{1y} &= T_{2y} \end{aligned}\right\} \quad T_{1y} = T_{2y} = \frac{44.100\ N}{2} = 22.050\ N$$

Tentsioen osagaiak "x" ardatzean (T_{1x}, T_{2x}) jakiteko, lehenik, *α angelua* kalkulatu da:



$$\alpha = arctg\frac{1\ m}{1{,}25\ m} = 38{,}71'$$

Orain, *tentsioa "x" ardatzean (T_x)* jakin daiteke:

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

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

Kableek jasaten duten tentsioa kalkulatzeko (***T₁, T₂***), Pitagoras-en teorema aplikatuko dugu:

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

Kableak *lanean jasango duen tentsio unitarioa* kalkulatu da, segurtasun koefizientea kontuan hartuta:

$$\sigma_{lan} = \frac{\sigma_{onar}}{N} = \frac{\left(4.200\ \frac{kg}{cm^2}\right)\cdot\left(\frac{9{,}8\ N}{1\ kg}\right)}{2{,}5} = 16.464\ \frac{N}{cm^2}$$

Azkenik, kablearen gutxienezko diametroa kalkulatu da:

$$\sigma_{lan} = \frac{F}{S_0} = \frac{F}{\pi\cdot\frac{D^2}{4}} = \frac{4\cdot F}{\pi\cdot D^2}$$

$$D = \sqrt{\frac{4\cdot F}{\pi\cdot\sigma_{lan}}} = \sqrt{\frac{4\cdot 28.238\ N}{\pi\cdot 16.464\ \frac{N}{cm^2}}} = 1{,}48\ cm = 14{,}8\ mm$$

Kablearen gutxienezko diametroa 14,8 mm-koa da, diametro txikiagoa duten kableek ez dute balio. Guk ditugun kableen artetik, 16 mm-koa eta 18 mm-koa dira baliagarriak.

Gogortasun-saiakuntzak

4

4.1 SARRERA

Material baten gogortasuna erresistentzia baten balioa da: material horrek ezartzen diona marratua izateari. Gogortasun-saiakuntzei honi esker kohesioa ikertzen da, eta hainbat eratara egin daitezke.

4.2 MARRAREN METODOA

Material baten gogortasuna neurtzeko, beste batekin marra bat egiten zaio; marra hori zenbat eta zabalagoa izan, materiala bigunagoa izango da, eta alderantziz, zenbat eta estuagoa izan gogorragoa da materiala. Metodo bat baino gehiago daude, eta dinamikoak dira.

4.2.1. Mohs metodoa

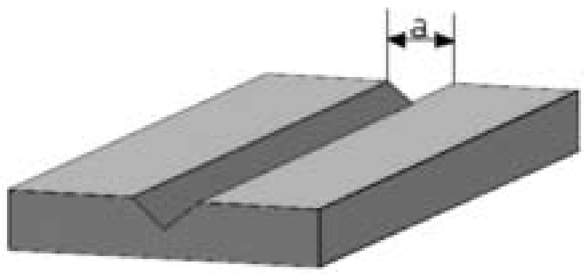
Mineralen gogortasuna jakiteko erabiltzen da, eta taula honetan oinarritzen da:

1. Talkoa
2. Igeltsua
3. Kaltzita
4. Fluorita
5. Apatitoa
6. Feldespatoa
7. Kuartzoa
8. Topazioa
9. Korindoia
10. Diamantea

Mineral baten gogortasuna jakin nahi denean, taulan agertzen diren mineralekin marratzen da; emaitza bi zenbakiren artean geratuko da: marratzen duen azkeneko materialaren eta marratzen ez duen lehenengo materialaren artean. Esaterako, burdinurtu grisa 8 eta 9 artean dago, burdin goxoa 5ean eta altzairuak 6,7 eta 8 artean.

4.2.2. Martens metodoa

Metalen gogortasuna jakiteko erabiltzen da. Piramide forma duen diamante bati karga konstantea ezartzen zaio; horrela, diamantea mugitzerakoan, 90º dituen erpinarekin ildo bat irekitzen du materialean:



Marra edo ildoaren zabalera (a) mikratan neurtzen da, eta bere balioa Martens-en formulan sartzen da, gogortasunaren balioa jakiteko (Δm):

$$\Delta m = \frac{10^4}{a^2}$$

4.2.3. Turner metodoa

Martens metodoan oinarritzen da, baina kasu honetan, gogortasunaren balioa kargarena da (gramotan), marraren zabalerak (a) 10 mikra izan ditzan.

4.2.4. Limaren metodoa

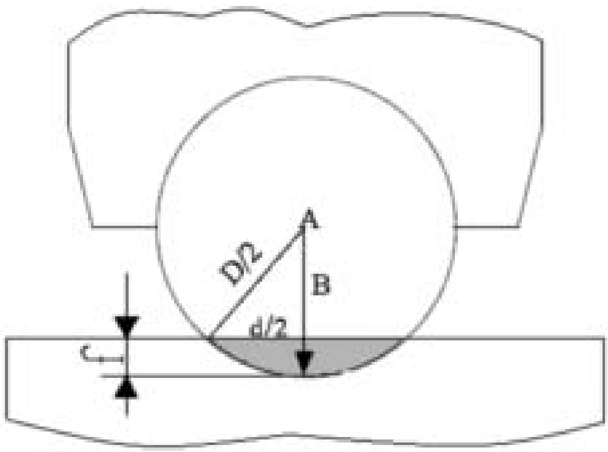
Industrian egiten den metodo azkarra da. Limak ez ditu marratzen material tenplatuak, eta, horren arabera, sailkapen hau egiten da:

Limak ez du marrarik egiten: materialak limari egiten dio marra. Gogortasuna 60 HRC baino handiagoa da.

Limak marra egiten du: gogortasuna 60 HRC baino txikiagoa da.

4.3 BRINELL METODOA

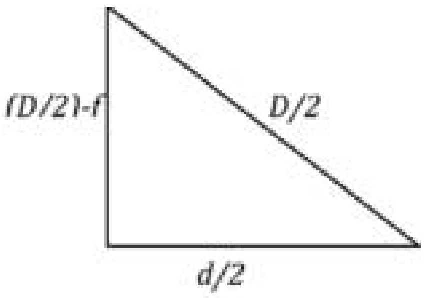
Metodo estatikoa da: araututako diametroa duen altzairu tenplatuzko bola bati karga jakin bat ezartzen zaio denbora batean; horren ondorioz, bolak utzitako marka agertzen da materialean.



Marka horren diametroa neurtu ondoren, materialaren gogortasuna kalkula daiteke karga eta markaren azalera ekuazio honetan sartuta:

$$HB = \frac{F}{S} \quad \begin{cases} HB = \text{Gogortasuna Brinell gradutan} \\ F = \text{Ezarritako pisua } (kg) \\ S = \pi \cdot D \cdot f = \text{Kargaren azalera } (mm^2) \left| \begin{array}{l} D = \text{Bolaren diametroa } (mm) \\ f = \text{Kargaren sakonera } (mm) \end{array} \right. \end{cases}$$

Lortu dugun ekuazioa azaleraren funtziopean egon beharrean, markaren (*d*) eta bolaren (*D*) diametroen funtziopean utziko dugu; horrela, gogortasunaren emaitza azkarrago jakingo dugu. Hasteko, Pitagorasen teorema erabiliko dugu, markaren sakonera (*f*) bi diametro horien funtziopean uzteko:



$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2} - f\right)^2$$

$$\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} = \frac{D^2}{4} - \frac{2 \cdot D \cdot f}{2} + f^2$$

$$f = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)$$

Orain, azaleraren ekuazioan ordezkatuko dugu emaitza hori:

$$\left.\begin{array}{l} S = \pi \cdot D \cdot f \\[2ex] f = \dfrac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right) \end{array}\right\} \; S = \pi \cdot D \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)\right]$$

Azkenik, azalera ordezkatuko dugu, eta gogortasunarentzako formula aurkituko dugu:

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \left\{\begin{array}{l} HB = \text{Brinell Gogortasuna } \left(kg/mm^2\right) \\ F = \text{ezarritako pisua edo karga } (kg) \\ D = \text{bolaren diametroa } (mm) \\ d = \text{hatzaren diametroa } (mm) \end{array}\right.$$

Markaren diametroa neurtu beharko dugu formulan ordezkatzeko; karga eta bolaren diametroa ezagutzen ditugu.

Saiakuntzak segundo batzuk eta 3 minutu arteko iraupena izan dezakete, eta kargaren balioak $F = K{\cdot}D^2$ izan behar du marken gogortasunak konparatu ahal izateko. K proportzionaltasun konstante bat da, eta material bakoitzari berea dagokio.

Hona hemen Brinell gogortasunaren adibide bat:

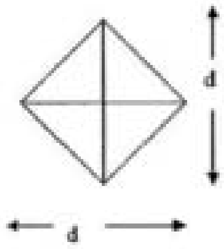
200 HB 5/1000/15

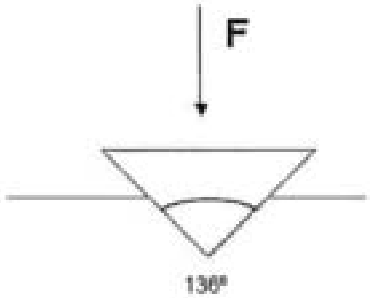
Adierazpen horretan, materialaren gogortasuna 200 kg/mm^2-koa da, bolaren diametroa 5 mm-koa, ezarritako karga 300 kg-koa, eta saiakuntzak 50 segundo iraun du.

Brinell metodoa ez da erabiltzen 500 HB baino gogortasun handiagoko materialentzat (altzairu tenplatuak), bolak deformatu egiten baitira; bestalde, piezek 6 mm-koa baino lodiera txikiagoa badute, emaitza ez da izaten zehatza.

4.4 VICKERS METODOA (HV)

Brinell metodotik sortu zen Vickers metodoa, hark bete ezin zituen baldintzak betetzeko. Sargailu modura, eta bolaren ordez, oinarri karratua duen piramide itxurako diamante bat erabiltzen da (kontrako aurpegien arteko angelua 136º-koa da).



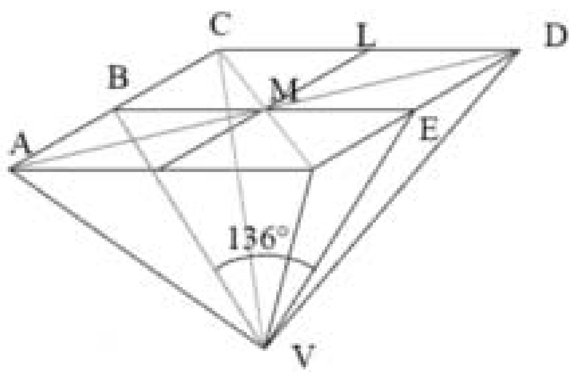


Laborategietan askotan erabiltzen da metodo hau, pieza bigunetan zein gogorretan erabil daitekeelako. Batez ere pieza meheetan (gutxieneko lodiera 0,2 mm-koa izan daiteke) eta tenplatuetan (500 HB baino gogortasun handiagoko piezak) dago gomendatuta.

Gogortasuna Brinell metodoan bezala jakin daiteke:

$$HV = \frac{F}{S} \quad \begin{cases} HV = \text{Gogortasuna Vickers gradutan } \left(\text{kg}/mm^2\right) \\ F = \text{Ezarritako pisua edo karga } (kg) \\ S = \text{Hatzaren alboko azalera } (mm^2) \end{cases}$$

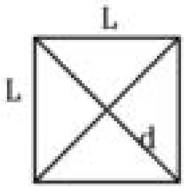
Ekuazioa azaleraren funtziopean egon beharrean, markaren diagonalaren funtziopean utziko dugu, eta, horrela, gogortasunaren emaitza azkarrago jakingo dugu. Markaren azalera lau aldiz izango da albo bakoitzarena:



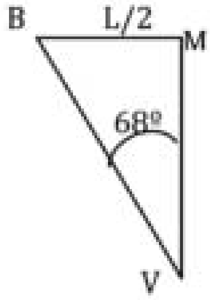
$$S = 4 \cdot \frac{L \cdot h}{2}$$

$$S = 4 \cdot \frac{\overline{AC} \cdot \overline{VB}}{2} = \frac{4 \cdot L \cdot \overline{VB}}{2} = 2 \cdot L \cdot \overline{VB}$$

Piramide itxurako marka horretatik bi ekuazio hauek aterako ditugu:



$$L^2 + L^2 = d^2$$



$$\frac{L}{2} = \overline{VB} \cdot \sin 68l'$$

Bi ekuazioko sistemari esker, VB altura lortuko dugu:

$$\left.\begin{array}{l} L^2 + L^2 = d^2 \Rightarrow 2 \cdot L^2 = d^2 \Rightarrow L = \dfrac{\sqrt{2}}{2} \cdot d \\ \\ \dfrac{L}{2} = \overline{VB} \cdot \sin 68l' \Rightarrow \ \overline{VB} = \dfrac{L}{2 \cdot \sin 68l'} \end{array}\right\} \overline{VB} = \frac{d \cdot \sqrt{2}}{4 \cdot \sin 68l'}$$

Orain, azaleraren formulan hirukiaren oinarria (*L*) eta altuera (VB) ordezkatuko ditugu:

$$S = 2 \cdot L \cdot \overline{VB} = 2 \cdot \frac{d \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \frac{d \cdot \sqrt{2}}{4 \cdot \sin 68l'} = \frac{d^2}{2 \cdot \sin 68l'} = \frac{d^2}{1{,}854}$$

Azalera ordezkatu ondoren, Vickers gogortasuna jakingo dugu:

$$HV = 1{,}854 \cdot \frac{F}{d^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} HV = \text{gogortasuna Vickers gradutan} \left(\text{kg}/mm^2\right) \\ F = \text{ezarritako pisua edo karga } (kg) \\ d = \text{markaren diagonala } (mm) \end{array} \right.$$

Ondoren, Vickers gogortasunaren adibide bat adierazten da:

750 HV 30/20

Adierazpen horretan, materialaren gogortasuna 750 kg/mm^2-koa da, ezarritako karga 30 kg-koa, eta saiakuntzak 20 segundo iraun du.

Erabiltzen den karga 5 kp eta 100 kp artekoa izaten da, baina saiakuntza azaleraren gogortasuna jakiteko egiten bada, 1,3 kp edo 5 kp-koa izaten da.

Vickers metodoak hainbat abantaila ditu beste metodoekin konparatuta:

1. Gogortasun guztiz ezberdineko materialekin egin daiteke: edo oso bigunak, edo oso gogorrak izan daitezke.

2. Pieza oso meheen gogortasuna neur daiteke, karga oso txikiak ezarrita: 0,2 mm-ko lodiera minimoa duten piezetan egin daiteke.

3. Egindako markak euren artean konpara daitezke.

4. Piezaren azalerako gogortasuna neur daiteke.

5. Vickers eskala oso zehatza da, 32 Vickers unitateri Rockwell unitate bakarra dagokie.

6. Piramide formako sargailua ondo dagoen jakin daiteke, marka aztertu behar delako neurriak ateratzeko.

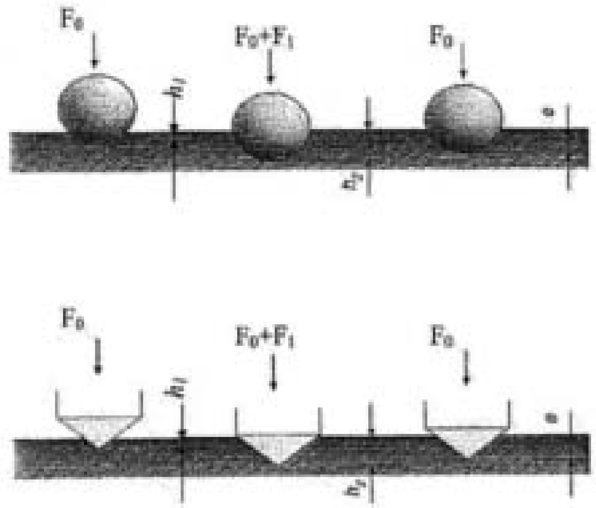
4.5 ROCKWELL METODOA (HRB-HRC)

Saiakuntza hau azkarra eta erraza da egiteko, baina ez da aurreko bi metodoak bezain zehatza. Material bigun zein gogorren (altzairu tenplatuak ere bai) gogortasunak jakiteko balio du, baina metodo honetan, azalera kontuan hartu beharrean, sakonera neurtuko dugu.

Sargailu mota bi daude materialen gogortasunaren arabera: material gogorrentzat forma konikoa (erpinean 120º-ko angelua) duen diamantea, eta material bigunentzat, berriz, altzairuzko esfera. Beraz, bi gogortasun zehaztu daitezke Rockwell metodoan: HRB –material bigunetan– eta HRC –material gogorretan–.

Hurrengo irudian, Rockwell metodoa nola erabiltzen den ikus daiteke:

Saiakuntza egiteko prozedura ondorengoa da:



1. Material gainean sargailua dago (edo bola, edo konoa), eta karga txiki bat ezartzen zaio (F_0, edo 3 edo 10 kg); ondorioz, sakonera txikiko (h_1) marka eragin da materialean. Puntu horretan, makinaren neurgailua zeroan jarri da.

2. Kargak handitu egiten dira: 90 kg gehiago bola-sargailuarentzat eta 140 kg kono-sargailuarentzat. Karga berria hiru eta sei segundo bitartean mantendu ondoren, eragindako sakonera (h_2) neurtu egiten da.

3. Karga gehigarriak kentzerakoan, sargailua gorantz doa materialaren elastikotasunagatik, baina deformazio plastikoen ondorioz, azken sakonera hasierakoa baino handiagoa izan-

go da (h_1+e). Makinaren neurgailua zeroan jarri dugu hasierako karga ezartzerakoan; horregatik, orain, sakonera (e) zuzen-zuzen neurtzen du.

Rockwell gogortasuna honela kalkulatuko dugu:

Material bigunak: HRB=130-e
Material gogorrak: HRC=100-e

Ondoren, Rockwell gogortasunaren adibide bat adierazten da:

600 HV 90/5

Adierazpen horretan, materialaren gogortasuna 600 da, ezarritako karga 100 kg-koa da, eta karga gehigarriak 5 segundo iraun du.

Metodo honen abantailarik handienak hauek dira:

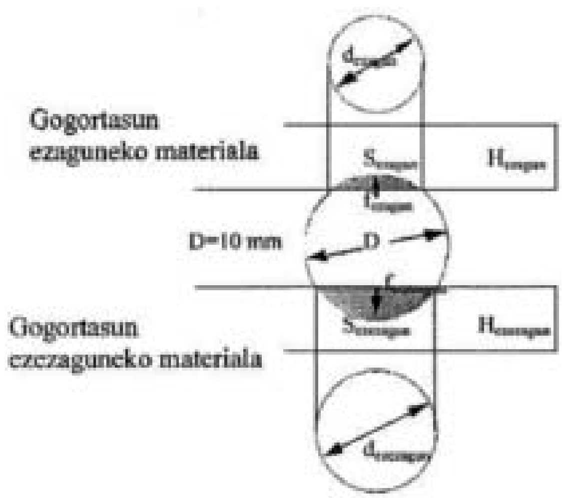
1. Azkar egiten da, eta zehaztasunez (edonork egin dezake).
2. Markak txikiagoak dira Brinell metodoan baino.

4.6 POLDI METODOA

Brinell metodotik atera zen, baina honetan, bolak bi materialetan egiten du marka: gogortasun ezaguneko materialean eta ezagutu nahi dugun materialean.

Gogortasuna ezaguna duen materialaren eta gogortasuna ezezaguna duen materialaren arteko erlazioa hau da:

$$\frac{H_{ezagun}}{H_{ezezagun}} = \frac{S_{ezagun}}{S_{ezezagun}}$$



Espresio horretatik gogortasun ezezaguna kalkula daiteke:

$$H_{ezezagun} = H_{ezagun} \cdot \frac{S_{ezagun}}{S_{ezezagun}} \quad \begin{cases} H = gogortasuna \\ S = markaren\ azalera \end{cases}$$

Formula horretan marken azalerak jakin behar ditugu:

$$S_{ezagun} = \pi \cdot D \cdot f_{ezagun} = \pi \cdot D \cdot \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{d^2_{ezagun}}{4}} \right) = \frac{\pi \cdot D}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2_{ezagun}} \right)$$

$$S_{ezezagun} = \pi \cdot D \cdot f_{ezezagun} = \pi \cdot D \cdot \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{d^2_{ezezagun}}{4}} \right) = \frac{\pi \cdot D}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2_{ezezagun}} \right)$$

Azkenik, bi azalerak ordezkatuko ditugu:

$$H_{ezezagun} = H_{ezagun} \cdot \frac{\frac{\pi \cdot D}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2_{ezagun}} \right)}{\frac{\pi D}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2_{ezezagun}} \right)}$$

$$H_{ezezagun} = H_{ezagun} \cdot \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2_{ezagun}}}{D - \sqrt{D^2 - d^2_{ezezagun}}}$$

Metodo hau garraiagarria da, eta ez da denbora kontuan hartzen. Gogortasuna honela adierazten da:

350 HBS 10 POLDI

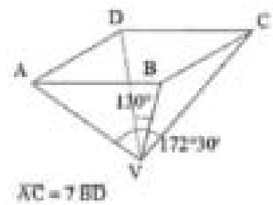
Adierazpen horretan, materialaren gogortasuna 350 da, eta bolaren diametroa 10 mm-koa.

4.7 KNOOP METODOA (HK)

Xafla oso meheen gogortasunak jakiteko erabiltzen da laborategietan, baina gogortasun normalak (karga 1 kp eta 5 kp artekoa), azaleren gogortasunak (karga 0,5 kp eta 1 kp artekoa) eta mikrogogortasunak (karga 10 gr eta 500 gr artekoa) jakiteko ere erabil daiteke.

Sargailua honelakoa da: oinarri modura erronbo bat duen piramidea. Erronboaren diagonalen arteko erlazioa 1/7 da. Piramidearen kontrako ertzen arteko angeluak 130º eta 172º39´ dira.

Irudian ikusten da nolakoa den.

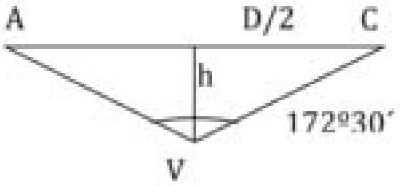


Gogortasuna jakiteko formula betikoa da:

$$HK = \frac{F}{S}$$

Karga (F) azaleraren funtziopean egon beharrean, diametro nagusiaren (D) funtziopean utziko dugu; hori lortzeko, ACV eta DBV sekzioak ikertuko ditugu ondoren:

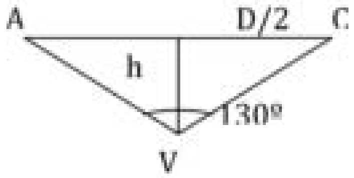
ACV sekzioa



$$\tan\frac{172^\circ 30'}{2} = \frac{D/2}{h} \Rightarrow \frac{D}{2} = h \cdot \tan 86^\circ 15'$$

$$h = \frac{D}{2 \cdot \tan 86^\circ 15'}$$

DBV sekzioa



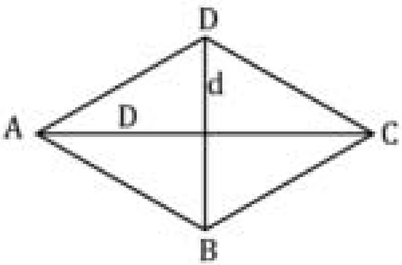
$$\tan\frac{130^\circ}{2} = \frac{d/2}{h} \Rightarrow \frac{d}{2} = h \cdot \tan 65^\circ$$

$$h = \frac{d}{2 \cdot \tan 65^\circ}$$

Altuerarentzat (h) atera diren bi espresioak berdinduko ditugu, eta erronboaren diagonal txikia (d) aterako dugu:

$$\frac{D}{2 \cdot \tan 86^\circ 15'} = \frac{d}{2 \cdot \tan 65^\circ} \Rightarrow d = \frac{2 \cdot D \cdot \tan 65^\circ}{2 \cdot \tan 86^\circ 15'}$$

Piramidearen oinarria behean dagoen erronboa da, eta azalera hau du:



$$S = \frac{\overline{AC} \cdot \overline{BD}}{2} = \frac{D \cdot d}{2}$$

Erronboaren diagonal txikia (d) ordezkatuko dugu formula horretan; horrela, azalera diametro nagusiaren (D) funtziopean geratuko da:

$$S = \frac{D^2 \cdot \tan 65^\circ}{2 \cdot \tan 86^\circ 15'} = 0{,}0703 \cdot D^2$$

Amaitzeko, gogortasunaren formulan azaleraren espresioa ordezkatuko dugu:

$$HK = \frac{F}{S} = \frac{F}{0{,}0703 \cdot D^2} \quad \begin{cases} F = \text{ezarritako karga } (kg/mm^2) \\ D = \text{erronboaren diagonal nagusia } (mm) \end{cases}$$

4.8 SHORE METODOA (HS)

Metodo dinamiko hau erraza eta erosoa da, eta materialaren erreakzio elastikoan du oinarria. Metodo honetan, gogortasun handiko pieza bat jausten uzten da aztertu nahi den materialaren gainera: material bigunek talkaren energia xurga dezakete; gogorretan, berriz, piezak errebotea izango du. Alde batetik bestera eraman daitezkeen bi aparatu erabiltzen dira: esklerometroa eta duroskopioa.

Esklerometroa: 300 mm-ko altuera duen beirazko hoditik, diamantez eginda dagoen mailu bat jausten da marruskadurarik gabe. Jauskeraren altuera 254 mm-koa da, eta eskala bat du 140 zatitan bananduta. Gogortasuna eskalan ikusten da, mailuak errebotatu ondoren.

Duroskopioa: Pendulu baten muturrean mailu bat zintzilikatu, eta altuera handienetik jausten uzten da; gogortasuna penduluaren bidean dagoen eskalan neurtzen da, kolpe pendularra jaso ondoren.

Metodo honek hiru abantaila ditu:

1. Ez du uzten markarik materialean.
2. Gogortasunak neurtzeko metodo ez suntsitzaile bakarra da.
3. Azalerako gogortasuna guztiz eginda dauden piezetan neur daiteke.

4.9 ARIKETAK

1. ariketa

Material baten gogortasuna kalkulatzeko, Brinell metodoa ezarri zaio; horretarako, 5 mm-ko diametroa duen bola hartu da, eta $K = 30$ konstantea aukeratu da. Egin den markaren diametroa 2,3 mm-koa da. Kalkula itzazu:

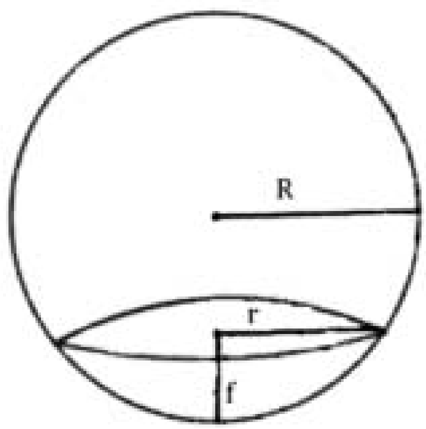
a) Materialaren Brinell gogortasuna

b) Markaren sakonera

Brinell gogortasunaren formula, karga eta diametroen funtziopean, hau da:

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

$$\begin{cases} HB = \text{Brinell Gogortasuna } \left(kg/mm^2\right) \\ F = \text{ezarritako pisua edo karga } (kg) \\ D = \text{bolaren diametroa } (mm) \\ d = \text{markaren diametroa } (mm) \end{cases}$$



Materialak jasan duen karga bilatuko dugu:

$$F = k \cdot D^2 = 30 \cdot 5^2 = 750\ kp$$

Emaitza hori gogortasunaren formulan ordezkatuko dugu, azken emaitza kalkulatzeko:

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{2 \cdot 750\ kp}{\pi \cdot 5\ mm \cdot \left(5\ mm - \sqrt{(5\ mm)^2 - (2{,}3\ mm)^2}\right)} = 170{,}4\ \frac{kp}{mm^2}$$

2. ariketa

Brinell saiakuntza batean, 10 mm-ko diametroa duen bola bati 3000 kp-ko karga ezarri zaio. Markaren diametroa 5 mm-koa dela kontuan izanik, erantzun iezaiezu hurrengo galderei:

a) Zein da materialaren gogortasuna?

b) Ezarritako karga 750 kp eta bolaren diametroa 5 mm balira, gogortasunak balio bera izango luke?

c) Azken kasu horretan, zein izango litzateke markaren diametroa?

a) Brinell gogortasunaren formulan, bolaren eta markaren diametroak eta karga ordezkatuko ditugu:

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{2 \cdot 3000\ kp}{\pi \cdot 10\ mm \cdot \left(10\ mm - \sqrt{(10\ mm)^2 - (5\ mm)^2}\right)} = 142{,}55\ \frac{kp}{mm^2}$$

b) Hurrengo erlazioak gogortasuna konparatzeko balio digu, bi diametroko bolak daudenean:

$$F = k \cdot D^2 \quad \begin{cases} k_1 = \dfrac{F_1}{D_1^2} = \dfrac{3.000\ kp}{(10\ mm)^2} = 30\ \dfrac{kp}{mm^2} \\[2ex] k_2 = \dfrac{F_2}{D_2^2} = \dfrac{750\ kp}{(5\ mm)^2} = 30\ \dfrac{kp}{mm^2} \end{cases}$$

Konstantearen balio bera atera da; beraz, gogortasun balioa ere berdina izango da. Orduan, saiakuntza bola batekin zein bestearekin egin daiteke, emaitza berbera lortzen delako.

c) Markaren diametro berria (d_2) gogortasunaren formulatik atera dezakegu. Horretarako, karga (750 kp), bolaren diametroa (5 mm) eta gogortasuna (42,55 kp/mm^2) ordezkatuko ditugu:

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d_2^2})}$$

$$142{,}55\ \frac{kp}{mm^2} = \frac{2 \cdot 750\ kp}{\pi \cdot 5\ mm \cdot \left(5\ mm - \sqrt{(5\ mm)^2 - (d_2\ mm)^2}\right)}$$

$$\pi \cdot 5\ mm \cdot \left(5\ mm - \sqrt{(5\ mm)^2 - (d_2\ mm)^2}\right) = \frac{2 \cdot 750\ kp}{142{,}55\ \frac{kp}{mm^2}} = 10{,}522\ mm^2$$

$$5\ mm - \sqrt{(5\ mm)^2 - d_2^{\ 2}} = \frac{10{,}522\ mm^2}{\pi \cdot 5\ mm}$$

$$\left(-\sqrt{(5\ mm)^2 - d_2^{\ 2}}\right)^2 = (-4{,}33\ mm)^2$$

$$25\ mm^2 - d_2^{\ 2} = 18{,}749\ mm^2$$

$$d = \sqrt{25 - 18{,}749} = 2{,}5\ mm$$

3. ariketa

Xafla bati Brinell saiakuntza egiten zaio. Iker ezazu beheko taula, eta kalkula itzazu bolaren diametroa, saiakuntzaren konstantea eta altzairu horren gogortasuna honako kasu hauetan:

a) Altzairu aleatuzko xafla batek 8 mm-ko lodiera du, eta markaren diametroa 4 mm-koa dela ikusi da.

b) Brontzezko xafla batek 5 mm-ko lodiera du, eta markaren diametroa 2 mm-koa dela ikusi da.

c) Karbono-altzairuzko xafla batek 10 mm-ko lodiera du, eta markaren diametroa 6mm-koa dela ikusi da.

Xaflaren lodiera (mm)	Bolaren diametroa (mm)	Kargak (kp)		
		Karbono-altzairuak	*Altzairu aleatuak*	*Brontzea*
> 6	10	3.000	1.000	500
3-6	5	750	250	125
< 3	2,5	187,5	62,5	31,2

a) Xafla altzairu aleatuzkoa da, eta 8 mm-ko lodiera du.Taula begiratuta, datu horiei *10 mm-ko diametroa duen bola* dagokie.

Saiakuntza konstantea kalkulatzeko, taulan kargaren balioa (F = 1.000 kp) begiratu, eta formula hau erabiliko dugu:

$$F = k \cdot D^2 \quad \Rightarrow \quad k = \frac{F}{D^2} = \frac{1.000\ kp}{(10\ mm)^2} = 10\frac{kp}{mm^2}$$

Azkenik, altzairu aleatuzko xaflaren *Brinell gogortasuna* kalkulatuko dugu:

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d_2^2})} = \frac{2 \cdot 1000\ kp}{\pi \cdot 10\ mm \cdot \left(10\ mm - \sqrt{(10\ mm)^2 - (4\ mm)^2}\right)}$$

$$HB = 76{,}25 \frac{kp}{mm^2}$$

b) Xafla brontzezkoa da, eta 5 mm-ko lodiera du. Taula begiratuta, datu horiei *5 mm-ko diametroa duen bola* dagokie.

Saiakuntza konstantea kalkulatzeko, taulan kargaren balioa (F = 125 kp) begiratu, eta formula hau erabiliko dugu:

$$F = k \cdot D^2 \quad \Rightarrow \quad k = \frac{F}{D^2} = \frac{125\ kp}{(5\ mm)^2} = 5 \frac{kp}{mm^2}$$

Azkenik, brontzezko xaflaren *Brinell gogortasuna* kalkulatuko dugu:

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d_2^2})} = \frac{2 \cdot 125\ kp}{\pi \cdot 5\ mm \cdot \left(5\ mm - \sqrt{(5\ mm)^2 - (2\ mm)^2}\right)}$$

$$HB = 38{,}2 \frac{kp}{mm^2}$$

c) Xafla karbono-altzairuzkoa da, eta 10 mm-ko lodiera du. Taula begiratuta, datu horiei *10 mm-ko diametroa duen bola* dagokie.

Saiakuntza konstantea kalkulatzeko, taulan kargaren balioa (F = 3.000 kp) begiratu, eta formula hau erabiliko dugu:

$$F = k \cdot D^2 \quad \Rightarrow \quad k = \frac{F}{D^2} = \frac{125\ kp}{(5\ mm)^2} = 5 \frac{kp}{mm^2}$$

Azkenik, karbono-altzairuzko xaflaren *Brinell gogortasuna* kalkulatuko dugu:

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d_2^2})} = \frac{2 \cdot 3000\ kp}{\pi \cdot 10\ mm \cdot \left(10\ mm - \sqrt{(10\ mm)^2 - (6\ mm)^2}\right)}$$

$$HB = 95{,}54 \frac{kp}{mm^2}$$

4. ariketa

Pieza bati Brinell saiakuntza egin zaio 500 kp-ko kargarekin, eta 300 HB-koa dela ikusi da. Zein izango da markaren diametroa, sargailua 10 mm-ko bola izan bada?

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

$$300 \frac{kp}{mm^2} = \frac{2 \cdot 500\ kp}{\pi \cdot 10\ mm \cdot \left(10\ mm - \sqrt{(10\ mm)^2 - (d)^2}\right)}$$

$$\pi \cdot 10\ mm \cdot \left(10\ mm - \sqrt{(10\ mm)^2 - (d)^2}\right) = \frac{1000\ kp}{300\ \dfrac{kp}{mm^2}} = 3{,}33\ mm^2$$

$$10\ mm - \sqrt{(10\ mm)^2 - d^2} = \frac{3{,}33\ mm^2}{\pi \cdot 10\ mm}$$

$$\left(-\sqrt{(10\ mm)^2 - d^2}\right)^2 = (-9{,}89\ mm)^2$$

$$100\ mm^2 - d^2 = 97{,}89\ mm^2$$

$$d = \sqrt{100 - 98{,}66} = 1{,}45\ mm$$

5. ariketa

Pieza bati Rockwell B saiakuntza egin zaio. Hasierako kargak eragin duen markaren sakonera (h_1) 0,01 mm-koa da, eta amaierako markaren sakonera 0,144 mm-koa da. Zein da materialaren gogortasuna?

Hasieran, 10 kp-ko karga ezartzen da, eta (h_1) sakonerako marka agertzen da.

Ondoren, karga gehigarria ezartzen da (HRB saiakuntzan 90 kp, eta HRC saiakuntzan 140 kp), eta (h_2) sakonerako hatza agertzen da.

Segundo batzuk igaro ondoren, hasierako kargara itzultzen da, eta (h_3) sakonerako hatza agertzen da. Makinarekin $e = h_3 - h_1$ neurtzen da, eta Rockwell gogortasuna honela jakingo da:

$$HRC = 100\ \ e \qquad\qquad HRB = 130\ \ e$$

Lehenik, (e) sakonera kalkulatuko dugu:

$$e = h_3 - h_1 = 0{,}144\ mm - 0{,}01\ mm = 0{,}134\ mm$$

Saiakuntza makinek 0,002 mm-ko multiplotan ematen dute emaitza.

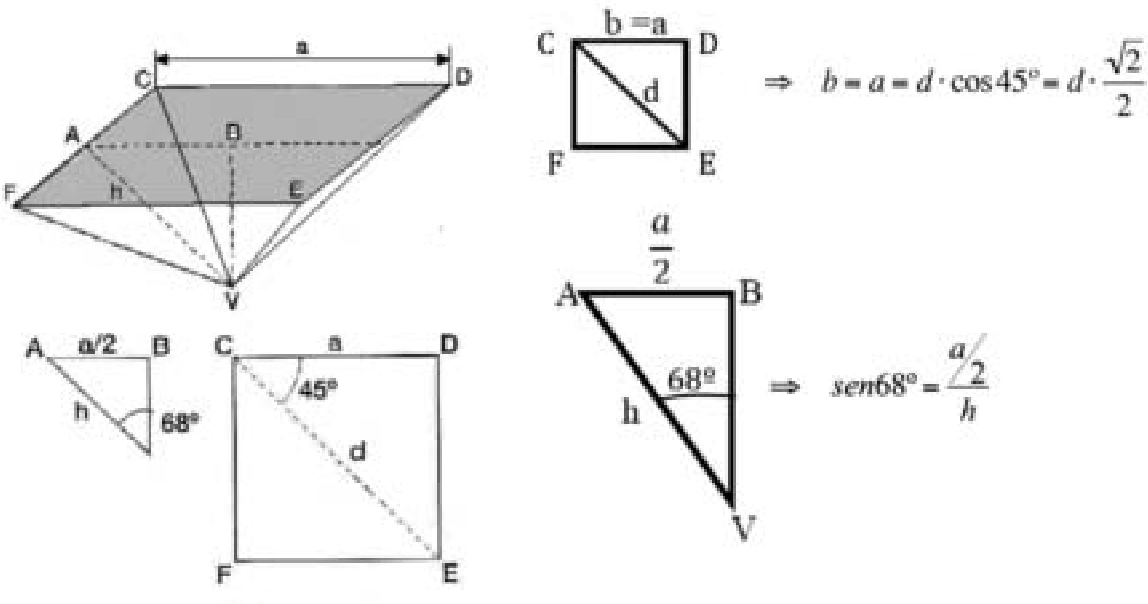
$$0{,}134\ mm \cdot \frac{e\ unitate\ bat}{0{,}002\ mm} = 67$$

$$HRB = 130 - 67 = 63$$

6. ariketa

Altzairuzko pieza bati Rockwell B saiakuntza egin zaio, eta 0,5 mm-ko diagonala duen hatza agertu da 120 kp-ko kargarekin. Gogortasunak zenbat balio duen jakin nahi dugu.

Piramidearen kontrako aurpegien artean 136º-ko angelua dago. Angelu horren erdiari (68º) dagokion hirukia hartu, eta bere oinarria kalkulatuko dugu:



Bi ekuazio horiekin sistema bat osatu dugu, eta *h* altuera kalkulatu ere bai:

$$h = \frac{a}{2 \cdot sen68l'} = \frac{d \cdot \sqrt{2}}{4 \cdot sen68l'}$$

Hatzaren azalera, diagonalaren funtziopean, hau da:

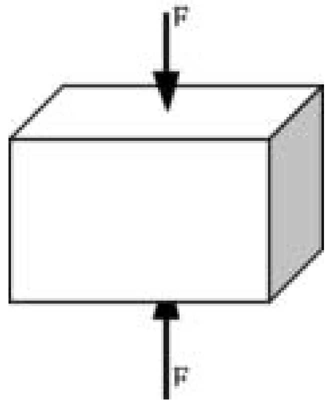
$$S = 4 \cdot \frac{b \cdot h}{2} = 2 \cdot b \cdot h = 2 \cdot \frac{d \cdot \sqrt{2}}{4 \cdot sen68l'} \cdot d \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{2 \cdot d^2}{4 \cdot sen68l'} = \frac{d^2}{2 \cdot sen68l'} = \frac{d^2}{1{,}85}$$

Vickers gogortasuna hau da:

$$HV = \frac{F}{S} = 1{,}85 \cdot \frac{F}{d^2} = 1{,}85 \cdot \frac{120\ kp}{(0{,}5\ mm)^2} = 480 \frac{kp}{mm^2}$$

Konpresio-saiakuntzak 5

Saiakuntza hauetan, materialak duen portaera aztertzen da zapaltzeko joera duen indarra ezartzen zaionean. Konpresioa trakzioaren kontrako kasua da, orain pieza laburtu egiten da kargaren norabidean, eta ondorioz, sekzioa txikiagotu egiten da. Konpresioaren tentsioak trakzioaren kontrako sinua du, eta euren balioak ia berdinak dira metalentzat, baina konpresio tentsioa askoz handiagoa da hormigoia bezalako eraikuntza-materialetan.



Piezak jasan duen *kontrakzio unitarioa* (ehunekotan) honako hau da:

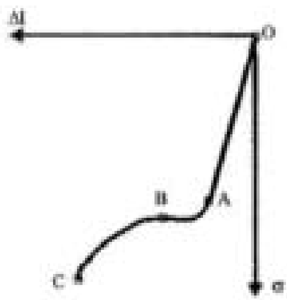
$$A\,(\%) = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100$$

Trakzio makina bera erabiltzen da konpresio saiakuntza egiteko, ezartzen den kargaren norantza da aldatzen den gauza bakarra. Industrian ez da askotan egiten saiakuntza hau; eraikuntza munduan egiten da batez ere, zutabeek zenbateko pisua jasan dezaketen jakiteko.

Materialaren arabera, forma bateko edo besteko probetak prestatzen dira:

-*Metalei* altuera eta diametro berdinak dituen zilindro forma ematen zaie; hauskorrak badira, apurtu arte gehitzen da karga; hauskorrak ez badira, berriz, guztiz deformatuta eta zapalduta geratzen dira amaieran.

-*Hormigoia, egurra* eta antzerako *eraikuntza-materialei* kubo itxura ematen zaie, eta apurtu arte gehitzen zaie karga.



Irudian, makinak ematen digun konpresio diagrama dago: trakzioaren oso antzekoa da, baina balio negatiboekin. Honako tarte hauek ageri dira:

1. Proportzionaltasun tartea (OA). Konpresio indarrak ezartzerakoan, piezaren hasierako luzera txikiagotu egiten da, eta pieza zabaldu egiten da erdialdetik; baina indar horiek kendutakoan, deformazio guztiak desagertzen dira. Tarte elastikoan egin du lan, eta erlazio zuzena dago jasandako tentsioaren eta agertu den deformazioaren artean; beraz, Hooke-n legea betetzen da. Tentsioa konpresiopean honako hau da:

$$\sigma = -\frac{F}{S_0} \qquad \begin{cases} \sigma = \text{tentsio unitarioa}\left(kg/mm^2\right) \\ F = \text{jasotako esfortzua edo tentsioa}\left(kg\right) \\ S_0 = \text{hasierako sekzioa}\left(mm^2\right) \end{cases}$$

Trakzioan luzapena gertatzen zen moduan, konpresioan *kontrakzioa* gertatzen da. Emaitza negatiboa da, amaierako luzera (l) hasierakoa (l_0) baino laburragoa delako:

$$A = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \qquad \begin{cases} A = \text{kontrakzio unitarioa} \\ \Delta l = \text{kontrakzioa } (mm) \\ l = \text{amaierako luzera } (mm) \\ l_0 = \text{hasierako luzea } (mm) \end{cases}$$

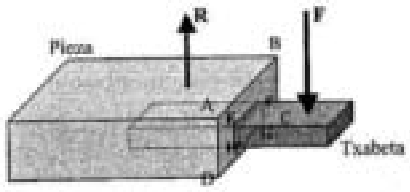
2. Isurpen-tartea (AB). Indarrak handitzen badira, proportzionaltasun muga (A) atzean utzi, eta tarte elastiko ez proportzionalean sartzen da. Elastikotasuna amaitu den puntutik deformazio plastikoak hasten dira; A eta B puntuen artean, isurpen tartea dago. Tarte horretan pieza asko deformatzen da indarrak handitu gabe.

3. Haustura- edo zapalkuntza-tartea (BC). Isurpen tartea igaro ondoren, deformazioak kargekin batera doaz handitzen. Azkenean, materiala hauskorra bada, pieza apurtu egingo da; materiala harikorra bada, berriz, pieza guztiz zapalduta geratuko da.

Ebakidura-saiakuntzak

6

Saiakuntza honi esker, ebaketa esfortzuak daudenean materialaren portaera nolakoa den jakin dezakegu. Ebaketa esfortzuak paraleloak, kontrakoak eta euren artean oso hurbilak dira: irudian txabeta bat pieza baten mataderan sartuta ikusten da, eta txabetari indarra (F) egiten zaio beherantz, piezatik ahal den hurbilen (bestela makurdura litzateke). Piezak ez dio uzten txabetari beherantz joaten, erresistentzia bat (R) ezartzen dio gorantz. Kontrako bi indarren ondorioz (egindakoa eta erresistentzia), ebakidura tentsioak daude txabetaren ebaketa sekzioan (EFGH), eta txabeta apurtzekotan, sekzio horretatik apurtuko da.

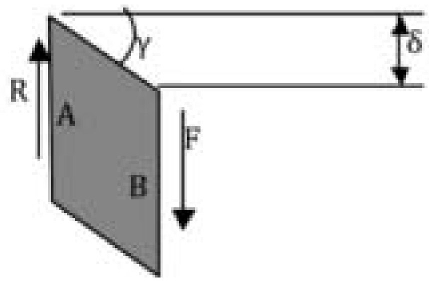


Saiakuntza hau ebakidura esfortzupean lan egin behar duten piezei egiten zaie: txabetak, torlojuak, bernoak, errematxeak...

Piezan agertzen den *ebakidura-tentsioa* honako hau da:

$$\tau = \frac{F}{S_0} \qquad \begin{cases} \tau = \text{ebakiduraren tentsio unitarioa} \left(kg/mm^2\right) \\ F = \text{ebakidura} - \text{esfortzua edo tentsioa} \left(kg\right) \\ S_0 = \text{hasierako sekzioa} \left(mm^2\right) \end{cases}$$

Bigarren irudian, piezak zer deformazio jasan duen ikusten da: A eta B oso hurbil dauden sekzio bi dira; batak gorantz doan indarra jasaten du (R), eta besteak beherantz doan indarra (F). Ebakidurak sortutako *deformazioa* neurtzeko, *irristatze angelua* (γ) dugu:



$$\gamma = \frac{\tau}{G} \Rightarrow \begin{cases} \gamma = \text{irristatze} - \text{angelua } (rad) \\ \tau = \text{ebakidura} - \text{tentsioa} \left(kg/mm^2\right) \\ G = \text{ebakiduraren elastikotasun modulua} \left(kg/mm^2\right) \end{cases}$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1+\nu)} \Rightarrow \begin{cases} E = \text{elastikotasun} - \text{modulua } (kg/mm^2) \\ \nu = \text{Poissonen koefizientea} \\ G = \text{ebakiduraren elastikotasun} - \text{modulua} \left(kg/mm^2\right) \end{cases}$$

Zeharkako ebakiduraren desplazamendua (δ) honako hau da:

$$\delta = \frac{F \cdot l}{S_0 \cdot G} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \delta = \text{zeharkako ebakiduraren desplazamendua } (mm) \\ F = \text{ebakidura} - \text{esfortzua edo tentsioa } (kg) \\ S_0 = \text{hasierako sekzioa } (mm^2) \\ l = \text{piezaren luzera } (mm) \\ G = \text{ebakiduraren elastikotasun modulua } (kg/mm^2) \end{cases}$$

Pieza kopuruaren arabera, tentsioa aldatu egiten da:

1. Ebakidura bakarra dago (bi xaflen artean gertatzen da).

$$\text{Errematxe bakarra} \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{F}{S_0} \qquad \text{Errematxe batzuk } (n) \quad \Rightarrow \quad n \cdot \tau = \frac{F}{S_0}$$

2. Ebakidura bikoitza dago (hiru xaflen artean gertatzen da).

$$\text{Errematxe batzuk } (n) \quad \Rightarrow \quad n \cdot \tau = \frac{F}{S_0} \qquad \text{Errematxe batzuk } (n) \quad \Rightarrow \quad 2 \cdot n \cdot \tau = \frac{F}{S_0}$$

6.1 ARIKETAK

1. ariketa

Altzairuzko pieza batek $1176{\cdot}10^5$ N/m^2-ko ebakidura tentsioa jasaten du, eta elastikotasun modulua $2{,}2.10^6$ kp/cm^2-koa du. Kalkula ezazu deformazioa Poisson-en koefizientea 0,2 bada.

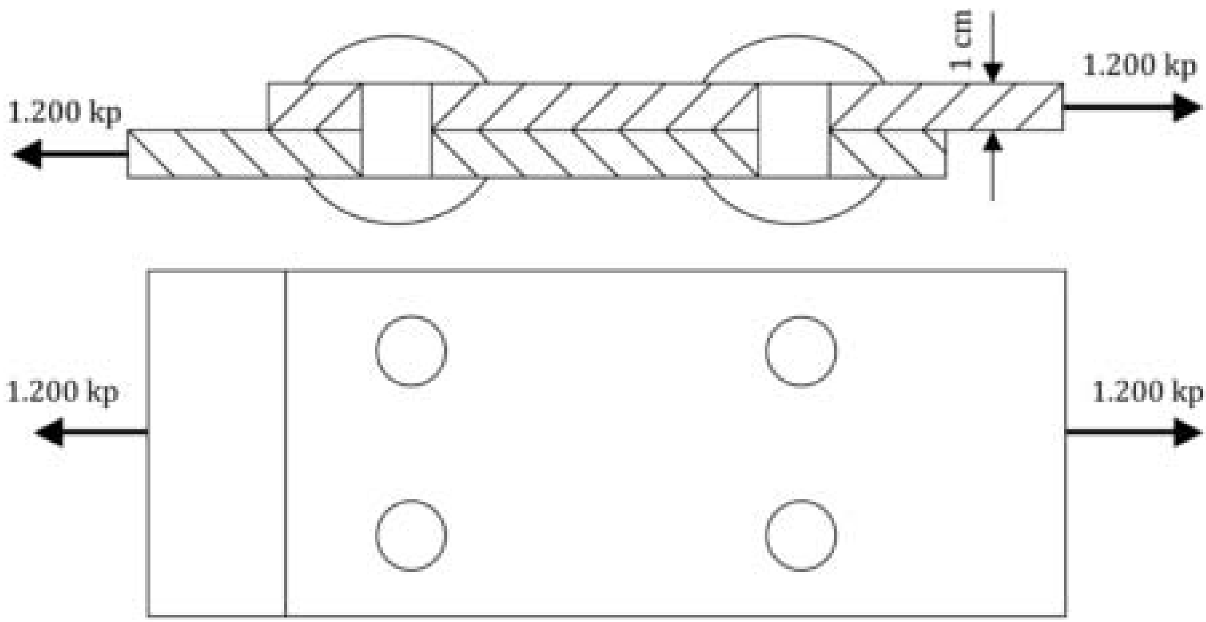
Piezak izandako deformazioa *irristatze angeluari (γ)* esker dakigu:

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{\tau}{\dfrac{E}{2\cdot(1+\nu)}} = \frac{\tau\cdot 2\cdot(1+\nu)}{E} = \frac{1176\cdot 10^5\ \dfrac{N}{m^2}\cdot 2\cdot(1+0{,}2)}{2{,}2\cdot 10^6\ \dfrac{kp}{cm^2}\cdot\dfrac{10\ N}{1\ kp}\cdot\dfrac{10^4\ cm^2}{1\ m^2}} =$$

$$= \frac{3057{,}6\cdot 10^5}{2{,}1\cdot 10^{11}}\,rad = 0{,}0014\ rad$$

2. ariketa

Irudian 1 cm-ko lodiera duten xafla bi daude, lau errematxerekin elkartuta. Errematxeen diametroa 20 mm-koa da, eta xaflak 1200 kp-ko trakziozko indarpean daude. Kalkula ezazu errematxeen ebakidura tentsioa.

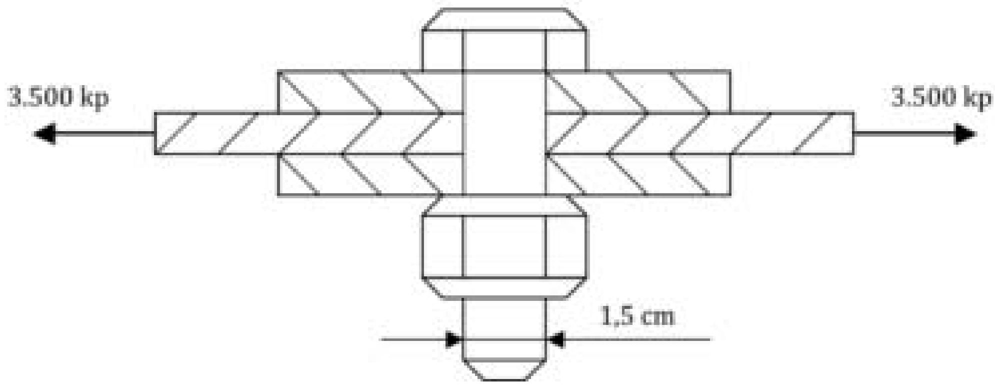


Bi xaflen artean gertatzen den *ebakidura bakarra dago*, eta 4 errematxerekin daude lotuta.

$$n\cdot\tau = \frac{F}{S_0} \quad\Rightarrow\quad \tau = \frac{F}{n\cdot S_0} = \frac{F}{n\cdot\pi\cdot\left(\dfrac{d}{2}\right)^2} = \frac{1.200\ kp}{4\cdot\pi\cdot\dfrac{4\ cm^2}{4}} = 95{,}54\ \frac{kp}{cm^2}$$

3. ariketa

Irudian hiru xafla daude elkartuta torloju batekin (begiratu diametroa). Kalkula ezazu torlojuak jasaten duen ebakidura tentsioa, 3500 kp-ko trakziozko indarra jasaten badu.

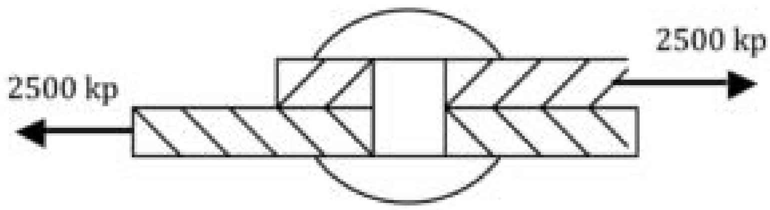


Hiru xaflen artean *ebakidura bikoitza dago,* eta torloju bakarrarekin daude elkartuta.

$$2 \cdot \tau = \frac{F}{S_0} \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{F}{2 \cdot S_0} = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{3500\ kp}{2 \cdot \pi \cdot \frac{(1{,}5\ cm)^2}{4}} = 991{,}5\ \frac{kp}{cm^2}$$

4. ariketa

Portugaleteko zubi eskegiaren bi habe, mila errematxerekin elkartu dira. Errematxe bakoitzak jasaten duen trakziozko indarra 250 kp-koa bada, eta errematxearen diametroa 2 cm-koa, kalkula ezazu ebakidura tentsioa errematxe bakoitzean.



Bi xaflen artean *ebakidura bakarra* dago, eta errematxe bakarra dago n = 1.

$$n \cdot \tau = \frac{F}{S_0} \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{F}{n \cdot S_0} = \frac{F}{n \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{2.500\ kp}{1 \cdot \pi \cdot \frac{4\ cm^2}{4}} = 796{,}1\ \frac{kp}{cm^2}$$

5. ariketa

Metalezko txabeta batek 32 mm-ko luzera du, 24 mm-ko zabalera eta 20 mm-ko altuera. Goiko alboak eskuinetara doan 250 kN-eko indarra jasaten du, eta azpiko alboak ezkerretara doan 250 kN-eko indarra.

Datuak: E = 40000 MPa, ν = 0,25

Kalkula itzazu:

a) Ebakiduraren elastikotasun modulua
b) Ebakidura tentsioa
c) Irristatze angelua eta zeharkako ebakiduraren desplazamendua.

a) *Ebakiduraren elastikotasun moduluaren* formula aplikatuko dugu:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1+\nu)} = \frac{40.000}{2 \cdot (1+0{,}25)} = 16.000\,MPa$$

b) Piezak jasaten duen *ebakidura tentsioa* honako hau da:

$$\tau = \frac{F}{S_0} = \frac{250 \cdot 10^3\ N}{0{,}032\ m \cdot 0{,}024\ m} = 3{,}25 \cdot 10^8\ Pa = 325\ MPa$$

c) *Irristatze angelua* honako hau da:.

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{325\ MPa}{16.000\ MPa} = 2{,}03 \cdot 10^{-2}\,rad$$

Zeharkako ebakiduraren desplazamendua milimetrotan kalkulatuko dugu:

$$\delta = \frac{F \cdot l}{S_0 \cdot G} = \frac{3{,}25 \cdot 10^8\ Pa \cdot 0{,}02\ m}{16 \cdot 10^9\ Pa} = 0{,}0004\ m = 0{,}4\ mm$$

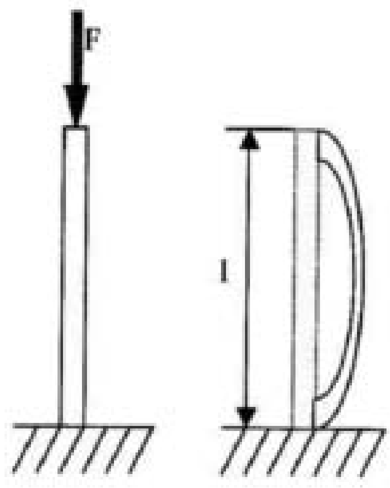
Gilbordura-saiakuntzak 7

Pieza baten luzera sekzioa baino askoz handiago bada, zapaltzerakoan alde batera okertu egiten da, ez da konpresioa gertatzen; luzerak sekzioaren alboak baino 100 aldiz handiagoa izan behar du gutxienez. Zenbat eta meheagoa izan, errazago okertuko da.

Piezak gilbordura jasoko duen jakiteko *lerdentasuna (λ)* kalkulatzen da:

$$\lambda = \frac{l}{i} \quad \begin{cases} \lambda = \text{sekzioaren lerdentasuna} \\ l = \text{piezaren luzera} \\ i = \text{sekzioaren biraketa erradio txikiena} \end{cases}$$

Irudian ikus daiteke nola deformatzen den barra luze eta mehe bat bere ardatzaren norabidean konpresio indar bat egiten denean.



Pieza hauek konpresio indarrak jasan arren, zapalduta apurtzeko behar diren indarrak baino indar askoz txikiagoekin okertu eta apurtu egiten dira; horregatik, konpresio formula aplikatu beharrean *gilbordurarekiko erresistentziaren* formula aplikatzen da:

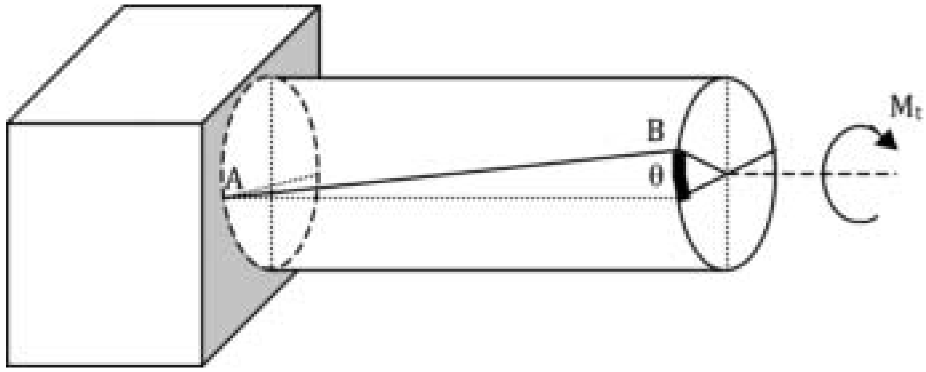
$$R = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} \quad \begin{cases} R = \text{gilbordurarekiko erresistentzia } (kp) \\ E = \text{elastikotasun modulua } (kp/cm^2) \\ I = \text{sekzioaren inertzi momentu txikiena } (cm^4) \\ l = \text{piezaren luzera } (cm) \end{cases}$$

Gilbordurarekiko erresistentzia balio kritikoa da, balio horretatik gora ezin da jakin zer gertatuko den, eta pieza guztiz deformatu edo apurtu daiteke.

Saiakuntza hauek zutabe, habe eta antzeko pieza luze eta meheetan egiten dira, makinetan ia ez dira egiten.

Bihurdura-saiakuntzak 8

Saiakuntza hauek bihurdura esfortzuak jasan behar dituzten piezekin egiten dira, batez ere ardatzekin. Irudian ikusten da nola egiten den: eskuinetik ardatzari birarazten dion momentua ezartzen da, baina pieza ezkerretik finko dago (A), eta pixka bat besterik ez da okertuko (B). Bihurdura zenbatekoa izan den jakiteko, angelu bati esker neur daiteke:



Bihurdura angelua luzera unitate bakoitzeko (θ) radianetan neurtzen da, eta formula honi esker kalkula daiteke:

$$\theta = \frac{M_t}{G \cdot I} \quad \begin{cases} M_t = \text{bihurdura momentua} \\ G = \text{zeharkako elastikotasun modulua} \\ I = \text{sekzioaren inertzi momentua} \end{cases}$$

Sekzioaren *inertzi momentua* honela jakin daiteke:

$$I = \frac{\pi \cdot R^4}{2} \qquad R\text{=sekzioaren erradioa}$$

Bihurdura guztiaren angelua (Φ) radianetan neurtzen da, eta honako hau da:

$$\Phi = \frac{M_t \cdot l}{G \cdot I} \quad \begin{cases} M_t = \text{bihurdura momentua} \\ G = \text{zeharkako elastikotasun modulua} \\ I = \text{sekzioaren inertzi momentua} \\ l = \text{piezaren luzera} \end{cases}$$

Gehienezko bihurdura tentsioa piezaren azalerakoa da:

$$\tau_{geh} = \frac{M_t \cdot R}{I}$$

Piezaren barrualdean dagoen *edozein punturentzat*, erradioaren (R) ordez, piezaren erdiraino dagoen distantzia (r) hartzen da kontuan.

$$\tau_{geh} = \frac{M_t \cdot r}{I} \qquad r = \text{distantzia piezaren erditik punturaino}$$

8.1 ARIKETAK

1. ariketa

Motore baten ardatzak metro bateko luzera eta 0,02 m-ko sekzioa du. Ematen duen potentzia 4 zaldi potentziakoa da, 250 bira minutuko abiaduran biratzen duenean. Kalkulatu:

a) Gehienezko bihurdura tentsioa.
b) Bihurdura guztiaren angelua.

Datua: G = 81.0000 kp/cm^2

a) Lehenik eta behin, *bihurdura momentua* kalkulatuko dugu. Horretarako, abiadura angeluarra jakin behar da:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 250 \frac{birak}{\min} \cdot \frac{1 \min}{60\, s} = 26{,}18\ \frac{rad}{s}$$

Potentziaren unitateak aldatuko ditugu:

$$P = 4\ ZP \cdot \frac{75\ \frac{kp.m}{s}}{1\ ZP} = 300 \frac{kp \cdot m}{s}$$

Orain, jakin daiteke *bihurdura momentua:*

$$P = M_t \cdot \omega \quad \Rightarrow \quad M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{300}{26{,}18} = 11{,}46\ kp \cdot m$$

Bakarrik *sekzioaren inertzi momentua* falta zaigu:

$$I = \frac{\pi \cdot R^4}{2} = \frac{\pi \cdot (0{,}02\ m)^4}{2} = 2{,}51 \cdot 10^{-7} m^4 = 25{,}1\ cm^4$$

Azkenik, *gehienezko bihurdura tentsioa* kalkulatuko dugu:

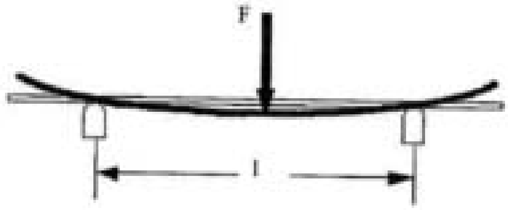
$$\tau_{geh} = \frac{M_t \cdot R}{I} = \frac{11{,}46\ kp \cdot m \cdot \frac{10^2 cm}{1\ m} \cdot 2\ cm}{25{,}1\ cm^4} = 91{,}31\ \frac{kp}{cm^2}$$

b) Bihurdura guztiaren angelua bere formulari esker kalkulatuko dugu:

$$\Phi = \frac{M_t \cdot l}{G \cdot I} = \frac{1146 \cdot 100}{81.0000 \cdot 25{,}1} = 0{,}0056\ rad$$

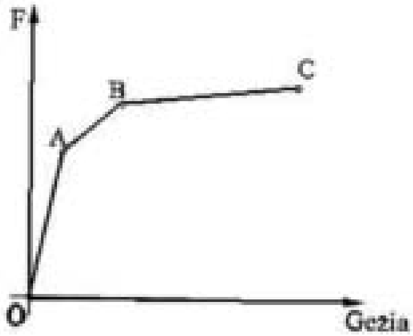
Makurdura-saiakuntzak 9

Irudian, makurdura esfortzupean dagoen pieza bat ikusten da. Pieza hori euskarrien gainean etzanda dago, bi muturretatik hurbil. Piezaren erdialdean pisu bat jartzerakoan edo indar bat egiterakoan, okertu egiten da beherantz, eta, ondorioz, deformazio bat dago. Deformazioa neurtzeko, *gezia* dugu: erdiko puntu baten hasierako altuera eta esfortzupean duen altueraren arteko distantzia da.



Makurdura bi esfortzuren ondorioz sortzen da: piezaren goiko erdialdea konprimitu egiten da konpresioa jasaten duelako, eta azpikoa luzatu egiten da trakzioa jasaten duelako. Bien artean *lerro neutroa* dago, eta horren luzera ez da aldatzen, ez duelako jasaten ez trakziorik ez konpresiorik.

Saiakuntza hauek gutxitan egiten dira probetekin, eraikitako egiturei egiten zaizkie batez ere: zubiak, habeak... Saiakuntza eginda, tarte elastikoa eta plastikoa dituen diagrama lortuko dugu:



Hiru tarte daude makurdura diagraman:

1. Proportzionaltasun tartea (OA). Deformazioak (geziak) behin-behinekoak dira, tartea elastikoa delako. Jasandako makurdura esfortzuak eta deformazioak proportzionalak dira.

2. Deformazio iraunkorren tartea (AB). Tarte honetan agertzen diren deformazioak iraunkorrak dira tartea plastikoa delako. Deformazioak esfortzuak baino gehiago handitzen dira

3. Haustura tartea (BC). Esfortzuak gutxi handitu arren deformazio handiak eragiten dituzte eta pieza apurtu egiten da. Materiala oso plastikoa bada apurtu beharrean guztiz tolestu egiten da.

Geziaren balioa zenbatekoa den jakiteko habea nola dagoen ezagutu beharra dago:

1. Habea euskarrien gainean *aske* mantentzen da muturretatik:

$$\delta = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad \begin{cases} \delta = \text{gezia} \\ F = \text{ezarritako karga} \\ l = \text{piezaren luzera euskarri artean} \\ E = \text{elastikotasun modulua} \\ I = \text{sekzioaren inertzi momentua} \end{cases}$$

2. Habeak *horman landatuta du mutur bat* eta beste muturra airean aske dago.

$$\delta = \frac{4 \cdot F \cdot l^3}{E \cdot b \cdot h^3} \quad \begin{cases} \delta = \text{gezia} \\ F = \text{ezarritako karga} \\ l = \text{piezaren luzera euskarri artean} \\ b = \text{piezaren sekzioaren oinarria} \\ \text{h} = \text{piezaren sekzioaren altuera} \end{cases}$$

Pieza zilindriko batek jasaten duen *gehienezko tentsioa* honako hau da:

$$\sigma_{geh} = \frac{8 \cdot F \cdot l}{\pi \cdot d^3} \quad \begin{cases} \sigma_{geh} = \text{gehienezko tentsioa} \\ F = \text{ezarritako karga} \\ l = \text{pieza zilindrikoaren luzera euskarri artean} \\ d = \text{pieza zilindrikoaren diametroa} \end{cases}$$

Laukizuzen sekzioa duen pieza batek jasaten duen *gehienezko tentsioa* honako hau da:

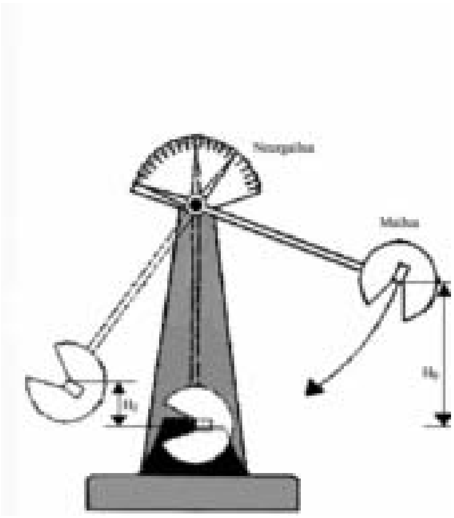
$$\sigma_{geh} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad \begin{cases} \sigma_{geh} = \text{gehienezko tentsioa} \\ F = \text{ezarritako karga} \\ l = \text{piezaren luzera euskarri artean} \\ b = \text{piezaren sekzioaren oinarria} \\ \text{h} = \text{piezaren sekzioaren altuera} \end{cases}$$

10 Talkarekiko erresistentzia-saiakuntzak

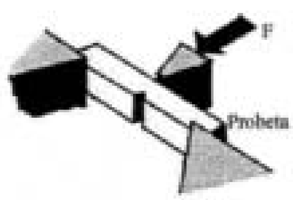
Material bati indarra egiterakoan, energia xurgatzen du apurtu arte; energia hori deformazio plastiko moduan metatzen da. Saiakuntza honi esker energia, horren balioa jakingo da, *erresilientzia* (σ) deitzen zaio eta kg·m/cm^2-tan neurtzen da. Erresilientziari esker, *zailtasunaren* balioa jakin daiteke: material batek talkari ezartzen dion erresistentzia zenbatekoa den esaten du.

10.1 CHARPY METODOA

Zailtasuna neurtzeko gehien erabiltzen den saiakuntza. Irudian Charpy pendulua ikusten da: mailua H_0 altueran dago hasierako posizioan; jausten uzten da, eta beheko posizioan probetarekin talka egiten du. Probeta apurtzeko, materialak energia kantitate bat xurgatu du, eta, horren ondorioz, mailua ez da bueltatuko hasierako posiziora, alegia, oraingo H_f altuera hasierakoa baino txikiagoa izango da.



Mailuaren pisua 2 kg-koa da, eta koskaren angelua 30º-koa da. Probetak ere koska txiki bat du, eta, irudian ikusten den moduan, koska horren atzealdetik jasotzen du talka.



Probeta apurtzerakoan *xurgatutako energia, altueren funtziopean,* honako hau da:

$$\Im = F \cdot \left(H_0 - H_f\right) \quad \begin{cases} \Im = \text{hausturan xurgatutako energia } (kg \cdot m) \\ F = \text{mailuaren pisua } (kg) \\ H_0 = \text{hasierako altuera } (m) \\ H_f = \text{azkeneko altuera } (m) \end{cases}$$

Probeta apurtzerakoan *xurgatutako energia,* mailuak osatzen dituen *angeluen funtziopean,* honako hau da:

$$\Im = F \cdot l \cdot (\cos\beta - \cos\alpha) \quad \begin{cases} \Im = \text{hausturan xurgatutako energia } (kg \cdot m) \\ F = \text{mailuaren pisua } (kg) \\ l = \text{penduluaren luzera } (m) \\ \beta = \text{penduluak azkeneko posizioan bertikalarekin duen angelua} \\ \alpha = \text{penduluak hasierako posizioan bertikalarekin duen angelua} \end{cases}$$

Azkenik, *materialaren erresilientzia* honako hau da:

$$\sigma = \frac{\Im}{S_0} \quad \begin{cases} \sigma = \text{erresilientzia } (kg \cdot m / cm^2) \\ \Im = \text{hausturan xurgatutako energia } (kg \cdot m) \\ S_0 = \text{probetaren sekzioa } (cm^2) \end{cases}$$

Material bati saiakuntza hau tenperatura ezberdinetan eginez gero, bi motatako apurketak ikus daitezke:

1. *Harikorrak*. Goreneko tenperaturatan izaten dira. Kolore matekoa den deformazio plastikoa nabari daiteke haustura-zonetan. Metalean, plastikoan... gertatzen dira.

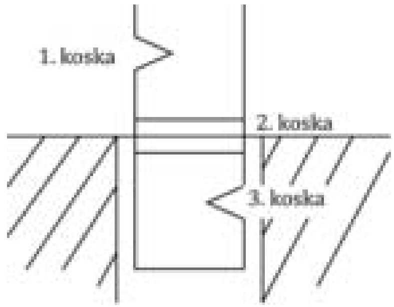
2. *Hauskorrak*. Tenperatura baxuenetan izaten dira. Haustura kolore distiratsua duen plano baten izaten da, deformazio plastikorik gabe. Beiran, zeramikan, altzairu tenplatuan... gertatzen dira.

10.2 IZOD METODOA

Charpy metodoan oinarrituta dago, baina mailua eta probetak pixka bat ezberdinak dira:

— Mailuak 60 libra ditu.
— Probetaren tamaina 130 mm x10 mm x10 mm-koa da eta sekzioa karratua du.
— Probetak 2 mm-ko sakonerako hiru koska ditu, bakoitza aurpegi batean, eta kosken artean 28 mm-ko distantzia dago.

Irudian ikusten den moduan, probeta bertikalki jartzen da, eta hiru kosketatik 22 mm-ra kolpe bat egiten da mailuarekin; horretarako, probeta posizioz aldatu behar da zati bakoitza apurtu ostean.

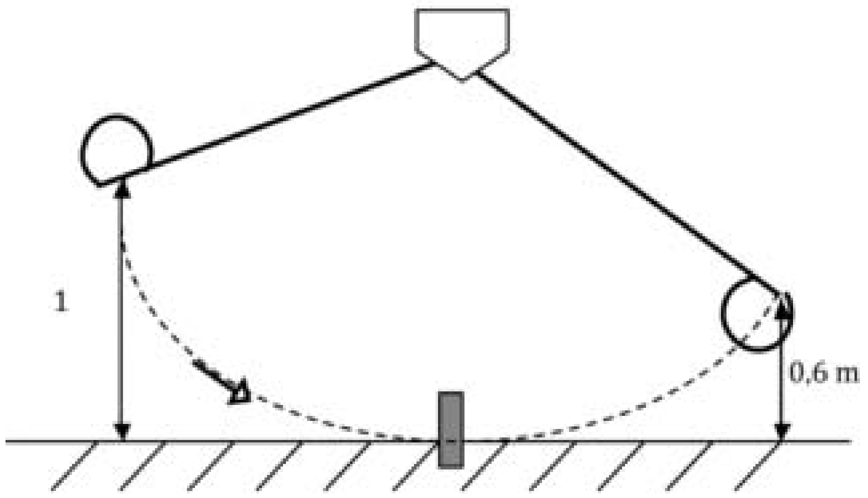


Saiakuntzaren emaitza egin diren hiru kolpeekin lortutako emaitzen batezbestekoa da.

10.3 ARIKETAK

1. ariketa

Charpy metodoarekin saiakuntza bat egin da: 20 kg-ko mailua metro bat altxatu da, eta 80 mm^2-ko sekzioa duen probeta baten kontra jo du. Mailuaren azkeneko altuera 60 cm-koa bada, kalkula ezazu material horren erresilientzia.



Lehenik eta behin, materialak *hausturan xurgatu duen energia* kalkulatu behar dugu; horretarako, mailuak hasieran zuen energia potentzialari amaieran duen energia potentziala kendu behar zaio:

$$\Im = E_{p_0} - E_{p_f} = m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot h_f = m \cdot g \cdot \left(h_0 - h_f\right) = 20\ kg \cdot 9{,}8\ \frac{m}{s^2} \cdot \left(1\ m - 0{,}6\ m\right) = 78{,}5\ J$$

Azkenik, *materialaren erresilientzia* jakin dezakegu:

$$\sigma = \frac{\Im}{S_0} = \frac{78{,}48\ J}{8 \cdot 10^{-5} m^2} = 9{,}8 \cdot 10^5\ \frac{J}{m^2}$$

2. ariketa

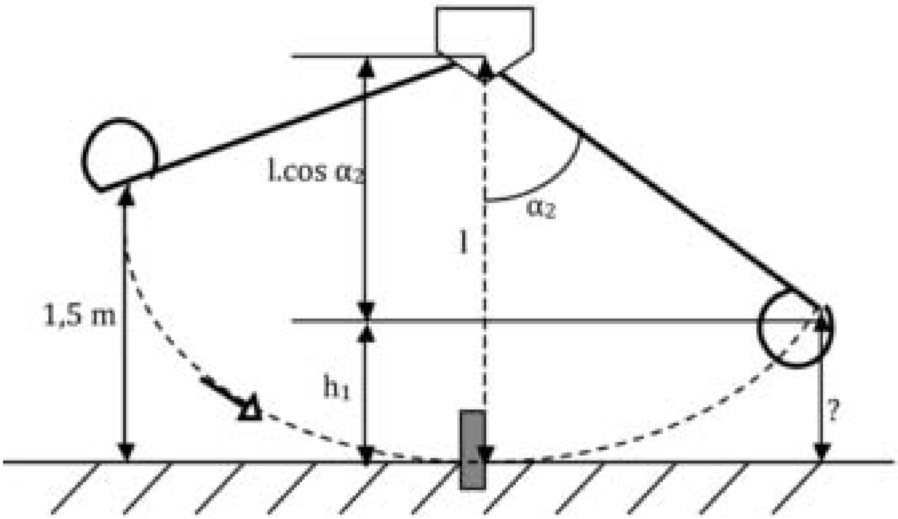
Material bat zein tenperaturatan den harikorra eta zeinetan hauskorra jakin nahi da. Charpy metodoa egin zaie 80 mm^2-ko sekzioa duten probetei. Penduluaren besoak 3 m ditu, eta mailuak 40 kg; 1,5 m-tik jausten utzi da, eta igoera angeluko balioak neurtuta, beheko taulan jaso dira:

Tenperatura (ºC)	Igoera angelua (º)	Tenperatura (ºC)	Igoera angelua (º)
-30	53,5	0	34,8
-20	52,5	10	33,0
-10	51,5	20	32,3
-5	42,9	30	31,7

a) Kalkula itzazu erresilientzia balioak tenperatuta guztietan.

b) Adieraz ezazu diagrama baten bidez, erresilientziak tenperaturarekin duen aldaketa, eta azaldu ezazu zeintzuk diren mugak harikortasunaren eta hauskortasunaren artean.

α_2 = Igoera angelua



a) **Erresilientziaren** balioa igoera angeluaren funtziopean kalkulatu da:

$$\sigma = \frac{\Im}{S_0} = \frac{E_{p_0} - E_{p_f}}{S_0} = \frac{m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot h_f}{S_0} = \frac{m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot l \cdot (1 - \cos\alpha_2)}{S_0} =$$

$$= \frac{40\ kg \cdot 9{,}8\ \frac{m}{s^2} \cdot 1{,}5\ m - 40\ kg \cdot 9{,}8\ \frac{m}{s^2} \cdot 3\ m \cdot (1 - \cos\alpha_2)}{80 \cdot 10^{-6} m^2} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 1{,}47 \cdot 10^7 \cdot (1 - \cos\alpha_2)\frac{J}{m^2}$$

Aurreko adierazpenean, tenperatura bakoitzari dagokion igoera angelua ordezkatuta kalkulatu dira erresilientziaren balioak:

$$\sigma_{-30°} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 1{,}47 \cdot 10^7 \cdot (1 - \cos 53{,}5)\ \frac{J}{m^2} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 5{,}95 + 10^6\ \frac{J}{m^2} = 13{,}93 \cdot 10^5$$

$$\sigma_{-20°} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 1{,}47 \cdot 10^7 \cdot (1 - \cos 52{,}5)\frac{J}{m^2} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 5{,}75 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} = 16{,}0 \cdot 10^5 \frac{J}{m^2}$$

$$\sigma_{-10°} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 1{,}47 \cdot 10^7 \cdot (1 - \cos 51{,}5)\frac{J}{m^2} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 5{,}54 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} = 18{,}0 \cdot 10^5\ \frac{J}{m^2}$$

$$\sigma_{-5°} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 1{,}47 \cdot 10^7 \cdot (1 - \cos 42{,}9)\frac{J}{m^2} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 3{,}93 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} = 34{,}2 \cdot 10^5\ \frac{J}{m^2}$$

$$\sigma_{0°} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 1{,}47 \cdot 10^7 \cdot (1 - \cos 34{,}8)\frac{J}{m^2} = 7{,}35 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} - 2{,}63 \cdot 10^6\ \frac{J}{m^2} = 47{,}2 \cdot 10^5\ \frac{J}{m^2}$$

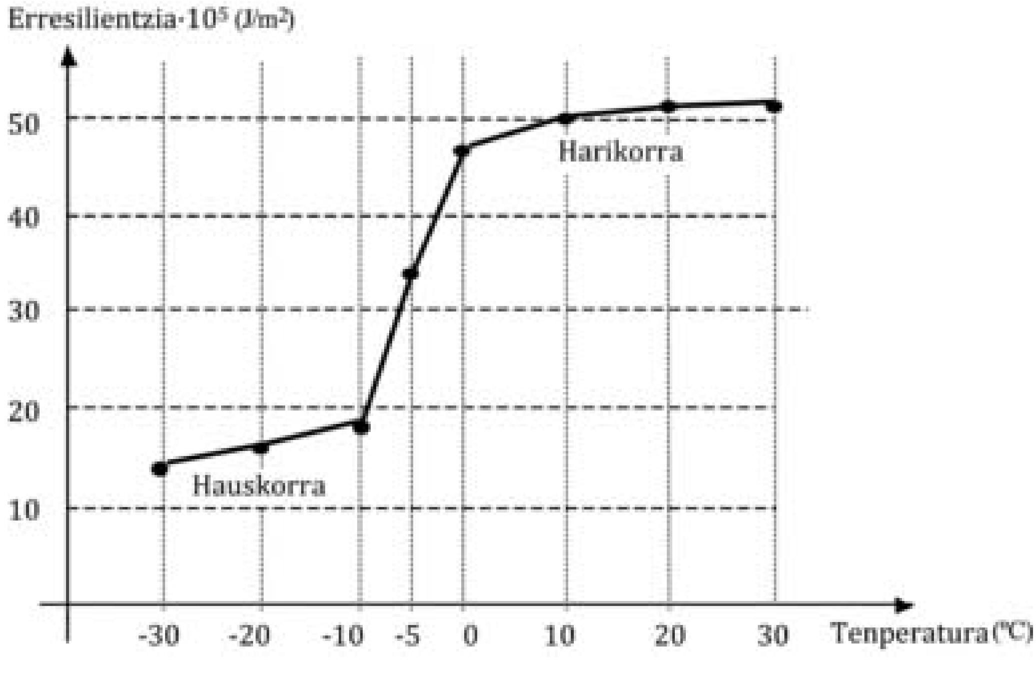
$$\sigma_{10^\circ} = 7{,}35\cdot10^6\ \frac{J}{m^2} - 1{,}47\cdot10^7\cdot(1-\cos 33{,}0)\frac{J}{m^2} = 7{,}35\cdot10^6\ \frac{J}{m^2} - 2{,}37\cdot10^6\ \frac{J}{m^2} = 49{,}8\cdot10^5\ \frac{J}{m^2}$$

$$\sigma_{20^\circ} = 7{,}35\cdot10^6\ \frac{J}{m^2} - 1{,}47\cdot10^7\cdot(1-\cos 32{,}3)\frac{J}{m^2} = 7{,}35\cdot10^6\ \frac{J}{m^2} - 2{,}27\cdot10^6\ \frac{J}{m^2} = 50{,}7\cdot10^5\ \frac{J}{m^2}$$

$$\sigma_{30^\circ} = 7{,}35\cdot10^6\ \frac{J}{m^2} - 1{,}47\cdot10^7\cdot(1-\cos 31{,}7)\frac{J}{m^2} = 7{,}35\cdot10^6\ \frac{J}{m^2} - 2{,}19\cdot10^6\ \frac{J}{m^2} = 51{,}5\cdot10^5\ \frac{J}{m^2}$$

b) Diagraman, erresilientziak tenperaturarekin duen aldaketa ikusten da: tenperatura baxuenetan materialak energia gutxi xurgatu du (*hauskorra* da), tenperatura gorenetan, aldiz, energia asko xurgatu du (*harikorra* da). Mugak honako hauek dira:

Materiala hauskorra da -10ºC-tik behera, eta harikorra 0ºC-tik gora. Bi tenperatura horien artean gertatzen da aldaketa.



3. ariketa

Charpy saiakuntza baten, 20 kg-ko mailua metro bateko altueratik jausten utzi da, eta, probeta apurtu ondoren, mailua 70 cm-ra igo da. Probetaren sekzioa karratua da, aldeak 12 mm neurtzen du, eta erdian duen koskaren sakonera 2 mm-koa da. Kalkula ezazu:

a) Probetak xurgatu duen energia.

b) Materialaren erresilientzia.

a) Probetak *xurgatu duen energia* kalkulatzeko, hau egin da: mailuak hasieran duen energia potentzialari kendu egin zaio azkenean duen energia potentziala.

$$\Im = E_{p_0} - E_{p_f} = m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot h_f = m \cdot g \cdot \left(h_0 - h_f\right) = 20\ kg \cdot 9{,}8\ \frac{m}{s^2} \cdot \left(1\ m - 0{,}7\ m\right) = 58{,}8\ J$$

b) Probetari kolpea emateraakoan, koska duen lekutik apurtuko da; puntu horri dagokion *sekzioa* honako hau da:

$$S_0 = 12\ mm \cdot 8\ mm = 96\ mm^2 \cdot \frac{1\ m^2}{10^6\ mm^2} = 9{,}6 \cdot 10^{-5} m^2$$

Materialaren *erresilientzia* honako hau da:

$$\sigma = \frac{\Im}{S_0} = \frac{58{,}8\ J}{9{,}6 \cdot 10^{-5} m^2} = 6{,}12 \cdot 10^5\ \frac{J}{m^2}$$

Neke-saiakuntzak 11

Material baten **nekea** honako hau da: gorputz batek jartzen duen erresistentzia, errepikatzen diren indarren kontra; indarra haustura azpitik egon arren, materialak hautsi daitezke indarrak behin eta berriz errepikatzen badira. Elastikotasun mugatik behera dauden balioekin apur daiteke.

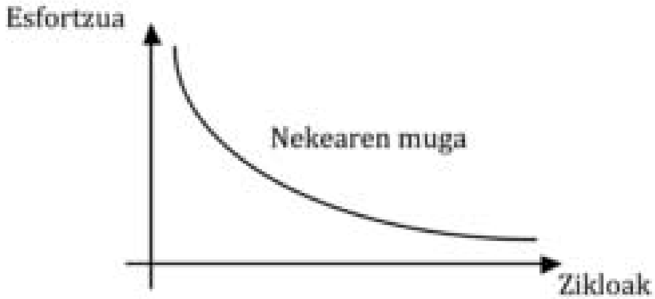
Materialak berez pitzadura mikroskopikoak ditu; pieza nekearen eraginpean badago, pitzadura horiek apurka-apurka hazten doaz, pieza osoa apurtu arte. Nekearen prozesuan hiru aldi daude:

1. *Inkubazioa*. Deformazio plastikoak atomoak mugiarazten ditu, eta, horrela, mikropitzadurak agertzen dira.

2. *Pitzatze mailakatuak*. Mikropitzadurak luzatzen doaz kristal egituraren norabidean, eta sekzioa txikitzen doa. Garau txikiak agertzen dira akatsaren inguruan.

3. *Haustura*. Azkenean, eta bat-batean, pieza apurtu egiten da. Haustura azaleran, garau txikiez gain, garau handiak eta distiratsuak ere agertzen dira. Garau handiek azken apurketa markatzen dute.

Wöhler-en diagramak materialak esfortzuari ezartzen dion erresistentzia adierazten du, zikloen arabera; zikloak esfortzuen errepikapenak dira. Tentsiorik handienari baxuena kentzen badiogu, *esfortzuen anplitudea (2f)* dugu, eta diagraman ikus daitekeen asintota sortzen da. Asintota horri *nekearen muga* deitzen zaio; teorikoki, bere azpitik mantenduz gero, pieza ez da inoiz apurtzen, baina benetako kasuetan ez da horrelakorik gertatzen.



Saiakuntza honetan errepikatzen diren esfortzuak lau motatakoak izan daitezke:

1. *Aldizkako simetrikoak*: balio bera baina kontrako norantza duten tentsio artean daude.

2. *Aldizkako asimetrikoak*: tentsioek balio ezberdinak dituzte eta kontrako norantza.

3. *Pultsatorioak*: tentsioek balioa ezberdinak dituzte, baina norantza berekoak dira.

4. *Intermitenteak*. Tentsioa zerotik maximo batera doa.

Saiakuntza teknologikoak 12

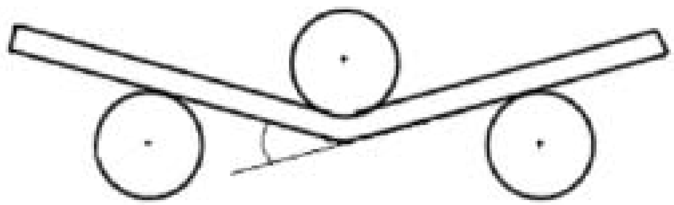
Orain arte ikusi ditugun saiakuntza guztietan, materialaren propietateak zenbakiekin adierazten dira. Saiakuntza teknologikoetan, aldiz, materialak bete beharko dituen baldintzak simulatzen dira; horrela, propietateak jakin daitezke gutxi gorabehera.

12.1 TOLESTE-SAIAKUNTZAK

Material metalikoen plastikotasuna ikertzeko egiten da. Probetak arauen arabera prestatu ondoren, tolestu egiten dira: sortu den bihurgunearen barrualdetik materiala konprimitu egiten da; ostera, kanpoaldetik trakzioa jasaten du, eta pitzadurarik agertu den ikertu behar da. Zenbat eta pitzadura gutxiago agertu, orduan eta plastikotasun handiagoko materiala izango da.

Saiakuntza hau xafletan, alanbretan eta hodietan egiten da, eta hiru motatakoak daude:

1. *Toleste bakarrekoa*: Irudian ikusten den moduan, probeta arrabolen gainean jartzen da bere bi muturretatik. Beste arrabol batekin karga ezartzen zaio goitik, eta probeta tolestu egiten da angelu jakin bat lortu arte; une horretan, tolesduraren kanpoaldea ikertzen da pitzaduren bila.



Saiakuntzan bete beharreko baldintza batzuk hauek dira:

— Probeten zabalerak bere lodierak baino bat eta erdi bider handiagoa izan behar du, eta probetaren ertzak ezin dira zorrotzak izan, borobilduta egon behar dira.

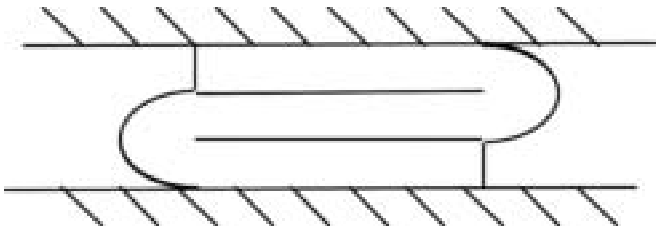
— Probetek 30 mm-ko lodiera dute, eta sekzioa angeluzuzen formakoa dute. Material forjatuen lodierak 20 mm-koa izan behar du.

— Probetaren alboek leunak izan behar dute, eta ez dute pitzadurarik eduki behar; bestela emaitzak ez dira baliagarriak.

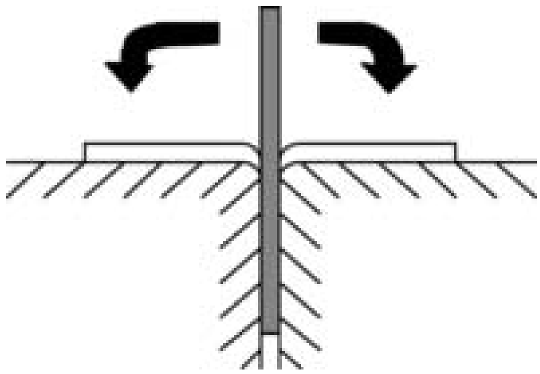
— Karga ezartzen duen arrabolaren luzerak probetaren zabalera baino handiago izan behar du.

— Hodiak tolesteko, harez betetzen dira, eta bi muturretatik estali egiten dira. Arrabolen artean sartu eta, lehenengo pitzadura agertzerakoan, tolesduraren angelua neurtzen da.

2. *Toleste bikoitzekoa*: xafla meheekin egiten da. Kontrako norantza duten bi toleste egiten zaizkie, alboak euren artean topo egin arte. Tolesdurak ikertzen dira pitzadurarik agertu den jakiteko.



3. *Aldizkako tolestea*: xafla zein alanbre meheekin egiten da, baina, kasu honetan, guztiz tolestu beharrean, 90º tolesten da alde batera eta bestera. Pieza apurtu arte zenbat aldiz tolestu den zenbatzen da.



12.2 ENBUTIZIO-SAIAKUNTZAK

Enbutizioa xaflei forma ematean datza: zurtoin bati karga bat ezartzen zaio eta hark xafla zanpatzen du. Hola egiten dira lapikoak, zartaginak, kotxeen atalak... Saiakuntza honekin, xaflak zanpaketa esfortzupean nolako portaera izango duen ikertzen da, eta apurtu arte duen erresistentzia jakiteko egiten da.

Saiakuntza egiteko, Erichsen makina erabiltzen da: zurtoinak xafla ukitu, eta apurtu arte egindako bidea neurtzen du (gezia).

12.3 TXINPARTA-SAIAKUNTZAK

Saiakuntza hauek materialaren konposizioa ezagutzeko balio dute, eta honela egiten dira: batetik, konposizio ezaguna duen lagina hartzen da, eta, bestetik, konposizio ezezaguna duen pieza. Biak aldi berean hartuta, esmerilaren harriaren kontra jartzen dira, baina bakoitza harriaren albo batetik. Piezatik ateratzen diren txinpartak, laginetik ateratzen diren txinpartekin konparatzen dira; konposizio bakoitzari txinparten kolore, kopuru eta forma bereizgarriak dagozkio.

Zenbat eta konposizio gehiagoko laginak eduki konparatzeko, hobe ezagutuko dugu ikertu nahi dugun piezaren konposizioa. Baina norberaren esperientzia ere oso garrantzitsua da, piezarekin eta laginarekin aldi berean saiakuntza egitea erraza ez delako, eta begi hutsez konparazioak egitea nahiko subjektiboa delako.

12.4 FORJA-SAIAKUNTZAK

Forja honetan datza: materialei kolpeak ematen zaizkie behin eta berriz, nahi den forma lortu arte. Material horrek zenbat kolpe eta nolako deformazioak jasan ditzakeen jakitea da saiakuntzaren helburua. Gehien egiten direnak hauek dira:

a) *Platinaketa-saiakuntzak*: Forja-tenperaturan jarri den probeta forja- mailuarekin kolpeka zabaltzen da, ertzetan pitzadurak agertu arte. Materialen forjatzeko gaitasuna, platinaketa indizearekin konparatzen da:

$$I_{Pt} = \frac{l_o}{l} \cdot 100 \quad \begin{cases} I_{Pt} = \text{platinaketa} - \text{indizea} \\ l_0 = \text{probetaren hasierako luzera} \\ l = \text{probetaren amaierako luzera} \end{cases}$$

b) *Mandrinaketa-saiakuntzak*: Forja-tenperaturan jarri den probeta pitzadurak agertu arte zenbat zula daitekeen ikertzeko balio du; puntzoi tronkokonikoarekin egiten da zuloa. Materialen zulatzeko gaitasuna mandrinaketa indizearekin konparatzen da:

$$I_{Ma} = \frac{d_o}{d} \cdot 100 \quad \begin{cases} I_{Ma} = \text{mandrinaketa - indizea} \\ d_0 = \text{probetak duen zuloaren hasierako diametroa} \\ d = \text{probetaren duen zuloaren amaierako diametroa} \end{cases}$$

c) *Tinkaketa saiakuntzak*: Probeta zilindro formakoa da, eta luzera diametroaren bikoitza du. Bertikalki, eta forja-tenperaturan jarri den probeta, kolpeka laburtzen da, kanpoaldetik pitzadurak agertu arte. Materialen laburtzeko gaitasuna tinkaketa indizearekin konparatzen da:

$$I_{Ti} = \frac{l_o}{l} \cdot 100 \quad \begin{cases} I_{Ti} = \text{tinkaketa - indizea} \\ l_0 = \text{probetaren hasierako luzera} \\ l = \text{probetaren amaierako luzera} \end{cases}$$

Saiakuntza ez-suntsitzaileak 13

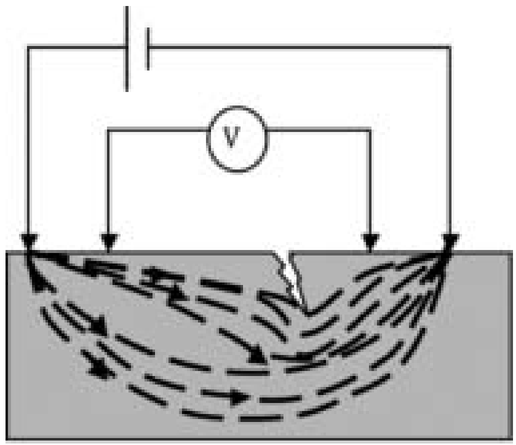
Saiakuntza hauekin ez da aldaketarik gertatzen materialean, eta, horregatik, lantegitik ateratzen diren piezak ondo dauden jakiteko egiten dira: piezaren konposizioa zehazteko, eta barrualdeko zein kanpoaldeko akatsak bilatzeko. Saiakuntza hauen oinarria honako hau da: materialaren propietateak akatsen eraginpean aldatu egiten dira, eta aldaketa horiek neurtzen dira.

13.1 SAIAKUNTZA ELEKTRIKOAK

Materialak korronte elektrikoari erresistentzia ezartzen dio; material osoan berdina da erresistentzia, baina akatsak egonez gero (ezpurutasunak, pitzadurak, burbuilak...), neur daitezkeen aldaketak agertzen dira. Saiakuntza honela egiten da:

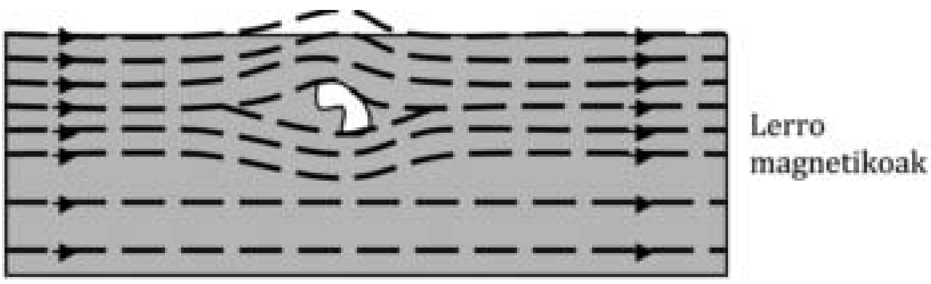
Ikertu nahi den piezaren azala tentsio gutxiko bateria batera konektatzen da, eta korronte elektrikoa kontaktu batetik bestera doa. Aurreko kontaktuen artean, beste bi jartzen dira voltimetro bati konektatuta; voltimetroak pieza zeharkatzen duen tentsioaren balioa kalkulatzen du.

Pieza osoan tentsio bera neurtzen bada, ez da egongo akatsik; baina tentsioa aldatzen bada, akatsen bat egongo da bi kontaktuen artean.



13.2 SAIAKUNTZA MAGNETIKOAK

Material ferromagnetikoekin egiten da, hau da, imantatzen duen korronte elektrikoa kendu ondoren, denbora luzez imantatuta jarraitzen duten materialetan. Akatsik gabeko materialak eremu magnetiko konstantea du, baina akatsak egonez gero lerro magnetikoak desbideratzen dira.



Akatsak zehatz mehatz non dauden jakiteko, hauts metalikoak sakabanatzen dira piezaren azalean; eremu magnetikoaren eraginpean, akatsa dagoen lekuan metatzen dira gehienbat. Metodo honekin sakonera gutxiko akatsak antzeman daitezke, sakonera handiko akatsak ezin dira antzeman.

13.3 SAIAKUNTZAK ULTRASOINUEKIN

Ultrasoinuak maiztasun handiarekin bibratzen duten uhinak dira. Saiakuntza honela egiten da: igorgailu bat eta hargailu bat jartzen dira ikertu nahi den piezaren azalean. Igorgailuak ultrasoinuak bidaltzen ditu piezan zehar, eta hargailuan jasotzen dira akatsik egon ezean; uhinek akatsen batekin topo eginez gero, islatu egiten dira eta ezin dira jaso hargailuan. Jakiteko akatsik dagoen edo ez, bidalitako ultrasoinuen eta jasotako ultrasoinuen aldea konparatzen da.

Ikertu nahi diren piezen tamainaren arabera saiakuntza bi modutara egin daiteke:

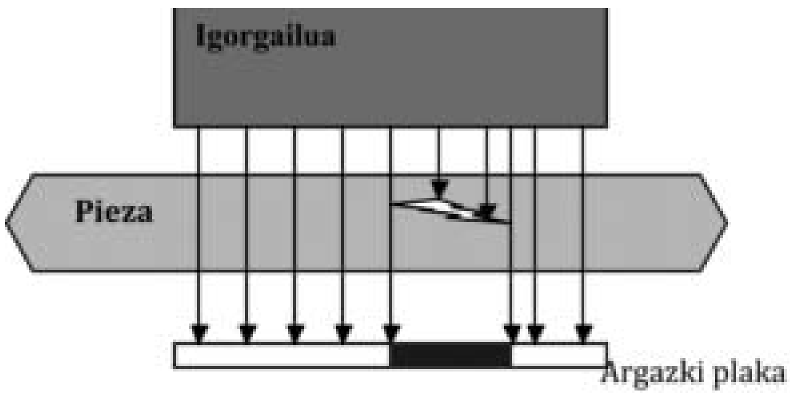
Pieza mehea izanez gero, lodiera txikiko xaflak adibidez, igorgailuaren eta hargailuaren artean jartzen da. Igorgailuak bidalitako uhinek akatsen bat izanez gero, bidean, islatzen dira eta ezin dira heldu hargailura.

Pieza lodia izanez gero, igorgailua eta hargailua piezaren alde berean jartzen dira. Kasu honetan hargailuak jasotzen dituen uhinak akatsek islatutakoak dira, ez igorgailuak bidalitakoak. Metodo hau oso erabilgarria da tamaina handiko piezatan, metro batzuetako lodiera duten altzairuen barrualdea ere iker daiteke akatsen bila, eta akatsa zenbateko sakoneran dagoen zehaztasunez neur dezake.

Hargailuak uhinak jaso eta seinale elektriko edo optiko bihurtzen ditu emaitzak adierazi ahal izateko.

13.4 SAIAKUNTZAK Γ IZPIEKIN ETA X IZPIEKIN

Saiakuntza hauek medikuntzan bezala erabiltzen dira: igorgailuak emandako izpiek pieza zeharkatu eta argazki plaka bat inprimatzen dute. Lortutako erradiografian akatsak antzemateko, tonalitate ezberdinak bilatzen dira, hauek dentsitatearen araberakoak dira. Erradiografiaren tonalitatea berdina izanez gero pieza osoan ez da egongo akatsik.



γ izpiak eta X izpiak uhin elektromagnetiko modura hedatzen diren erradiazioak dira. Materialean sartzeko erraztasun handia dute, eta beste metodo batzuekin antzeman ezin diren sakonera handian dauden akatsak antzeman daitezke. γ izpiak, X izpiak baino uhin luzera askoz txikiagokoak dira, baina energia handiagokoak dira; beraz, X izpiek nahiko ez direnean erabiltzen dira gamma izpiak.

Saiakuntza hauen eragozpenik handiena isotopo erradioaktiboekin lan egin behar izatea da.

13.5 SAIAKUNTZAK LIKIDO SARKORREKIN

Saiakuntza hauek piezaren azalean dauden pitzadurak eta zuloak antzemateko balio dute, barrualdean dauden akatsak beste metodo batekin antzeman behar dira.

Likido batzuk zirrikiturik txikienetatik sar daitezke kapilaritate fenomenoagatik; likidoak bete dituen pitzadurak eta zuloak non diren begi bistan geratzeko, bi metodo daude:

a) Pieza, edo petrolioz edo olio beroz egindako soluzioan murgildu egiten da, kanpora atera, piezaren azala lehortu, eta talko edo kare finez hautseztatu egiten da. Hauts hauek ura xurgatzeko ahalmen handia dute (oso higroskopikoak dira), eta akatsetan sartutako likidoa kanpora atera egiten dute. Akatsak hautsean markatuta geratzen dira.

b) Pieza, likido koloreztatu batean murgiltzen da, kanpora atera, eta piezaren azala lehortu egiten da. Likido koloreztatuak pitzadura zein zuloetan xurgatuta jarraitzen du, eta kolorea begi hutsez edo argi ultramorez ikusten delako antzeman daitezke akatsak.

Pieza handiak tamainagatik ezin badira murgildu, pintzel edo pistola batekin bustitzen dira.

13.6 SAIAKUNTZA OPTIKOAK

Saiakuntza hau erraza eta azkarra da, eta, horregatik, lantegian bertan egiten da. Hasteko, edo lagina bat edo pieza sorta batetik bat hartzen da, eta moztu egiten da. Ondoren, moztu den aurpegia diamantezko hautsa duten lixetan lixatu egiten da; hauts lodienetik hauts txikienera doazen hiruzpalau lixetan gastatzen da. Kontuz ibili behar da uneoro aurpegi bakarra geratzeko, aurpegi gehiago eginez gero ezingo litzateke garbi ikusi. Azkenik, alkoholarekin garbitu, eta mikroskopio metalografikoz begiratzen da.

Mikroskopioak 15 aldiz baino gehiago handitzen du aurpegiaren azalera. Honako gauza hauek antzeman ditzakegu: materialaren osagaiak, garauen forma eta tamaina, pitzadura zein zulotxo mikroskopikoak eta garauen arteko korrosioa.

BIBLIOGRAFIA

www.tec.uji.es

www.aulatecnologia.com

www.metalurgiausach.com

http.//azul.bnct.ipn.mx/Libros/ciencia_materialesII.pdf

Apuntes de Tecnología del I.E.S. Cristobal de Monroy.

F. Morán, José Ramón; G. Castaño, Rubén: tecnología, problemas de tecnología (volumen II), cim ediciones, Oviedo, 2001.

Huertas, José Luis; Val , Sonia: MECÁNICA, Mc Graw Hill, Madrid, 1998.

Murgui Izquierdo, Manuel; Vela Rozalén, Juan José; Vinagre Prieto, Juan José: Industria TeknologiaII, Giltza-Edebé edizioak, Sondika, 2001.

Val , Sonia; Huertas, José Luis; González, José Antonio; IBÁÑEZ, Jesús; Torres Fernández, TECNOLOGÍA INDUSTRIAL II, Mc. Graw Hill, Madrid, 2001.

ISBN: 978-84-457-3042-3

9 788445 730423

Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia
Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco