eman ta zabal zazu

Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

Termika arloan jarduteko oinarrizko kontzeptu eta definizioak

Iñaki Gomez Arriaran
José Lorenzo Gutiérrez de Rozas Salteráin
Moises Odriozola Maritorena

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

eman ta zabal zazu

Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

EUSKARAREN ETA ETENGABEKO PRESTAKUNTAREN ARLOKO ERREKTOREORDETZAREN SARE ARGITALPENA

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

eman ta zabal zazu

Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

1. TERMIKA ARLOAN JARDUTEKO OINARRIZKO KONTZEPTU ETA DEFINIZIOAK

1.1. SARRERA

Gaur egungo gizarteak energia barra-barra erabiltzen duenez, ingeniaritzako ikasleak oinarrizko ezagutzak izan behar ditu energiaz, karrerako edozein adarretakoa izanik ere. Oraingo atal honetan, *energia termikoa* delako magnitudearekin zerikusia duten kontzeptu eta definizioak gogoratuko ditugu.

1.2. ENERGIA

Edozein efektu edo fenomeno fisiko ekartzeko gaitasunari *energia* esaten diogu. Fenomeno fisikorik txikienak ere, ia-ia hautemanezinak —adibidez, soinu ahulak, partikula arinen higidura edo uhinak sortzea— energiaren emaitza dira. Energia hainbat modutara agertzen da, edo, bestela esanik, hainbat energia mota daude; baina guzti-guztiak magnitude ber baten agerpen desberdinak direnez gero, energia mota jakin bat beste energia mota bat bilaka daiteke. Hain zuzen ere, energia termikoari buruzko gai askok beraren transformazioa aztertzen dute.

SI unitate-sisteman, *Joule* da (J) energiaren unitatea.

1.2.1. Energia zinetikoa

Higitzen ari den edozein masa gauza da nolabaiteko efektu fisikoak sorrarazteko, eta, hortaz, energia baduela esaten dugu. Abiadurarekin loturik dagoen energia mota horri *energia zinetiko* deritzo (E_k). Definizioz:

$$E_k \equiv \frac{1}{2} m c^2 \ \text{J}$$

da, non m eta c, hurrenez hurren, masa (kg) eta abiadura (m/s)baitira.

1.2.2. Energia potentziala

Grabitazio-eremuaren eraginpean dagoen edozein masa gauza da nolabaiteko efektu fisikoak sorrarazteko, eta, hortaz, energia baduela esaten dugu. Indar grabitatorioekin loturik dagoen energia mota horri *energia potentzial* deritzo (E_p). Definizioz:

$$E_p \equiv m\, g\, z \ \text{J}$$

da. Adierazpen horretako g delakoa grabitate-azelerazioa da ($9{,}8\ \text{m}\,\text{s}^{-2}$), eta z altuera (m).

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

1.2.3. Barne-energia (*U*)

Masa bat osatzen duten molekulen jarduerarekin loturiko energiari *barne-energia* esaten zaio. Zehatzago adierazita, molekula guztien energia zinetikoen eta beren elkarrekintzetatik sorturiko energia potentzialen arteko batura, horixe da barne-energia. Zenbat eta molekulen jarduera handiago izan, orduan eta handiago da barne-energia.

1.2.4. Molekula kilogramoa

Substantzia jakin baten masa molekularra *M* izanik, substantzia horren *molekula kilogramoa* edo *kilomola* (*kmol*), definizioz, *M* kg dela esaten dugu. Definitu berri dugun masa-unitate hori oso egokia izango zaigu gasekin lan egiteko. Bestalde, sarri askotan erabiltzen da *molekula gramo* edo *mol* deritzon masa-unitatea ere. Honen definizioa aurrekoaren antzekoa da, baina *M* kg kantitatea *M* g kantitatearekin ordezkaturik.

Baldintza normaletan, hots, tenperatura 0 ºC eta presioa 760 mm Hg denean, edozein gas idealen mol baten bolumena 22,4 l da.

1.2.5. Beroa

Jo dezagun A eta B gorputzak edo materia zatiak aztertzen ari garela, eta A-ren tenperatura B-ren tenperatura baino handiagoa dela. Bi gorputz horiek ukipenean jartzen baditugu, esperientziak dioenez, beroa A-tik B-ra joango da. Horrek argi esan nahi du beroa dela energia trukatzeko eretako bat. Barne-energia, ordea, gorputzen barruan metaturiko energia da. Bero-trukearen ondorioz, A osatzen duten molekulen jarduera ahuldu egingo da, edo berdin dena, A-k galdu egingo du bere barne-energiaren parte bat; eta B osatzen duten molekulen jarduera areagotu egingo da, edo berdin dena, B-ren barne-energia handitu egingo da (beroa barne-energia bihurtu da).

Aurrerantzean, beroa *Q* letraz adieraziko dugu, eta masa-unitateko beroa *q* letraz. Beraz:

$$q = \frac{Q}{m} \text{ J kg}^{-1} \text{ da.}$$

1.3. LANA

Demagun *F* indarra leku batetik beste batera higitzen ari dela bere norabide eta noranzkoan. Orduan, honela definitzen dugu *e* distantzian barrena indarrak eginiko *lana*:

$$W = \vec{F} \cdot e .$$

Beroa bezala, lana ere, izatez, gorputzen artean energia trukatzeko era bat da. Hortaz, honako bi era hauek ditugu energia transferitzeko, beroaren bitartez eta lanaren bitartez.

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

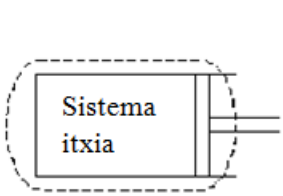
1.4. SISTEMA

Aztergai dugun materia kopuru edo espazio-alde isolatuari *sistema* esaten diogu.

Sistemaren mugak gainazal errealak (materialak) edota irudizkoak izan daitezke (geure irudimenak sortuak, geuk asmatuak).

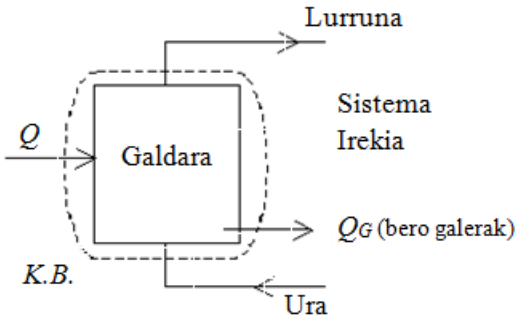
Sistemaren mugetatik at dagoen espazio-aldeari inguru, ingurune edo ingurugiro (IG) esaten diogu.

Ingurunearekin energia (beroa edota lana) soil-soilik truka dezaketen sistemak sistema itxiak direla esaten dugu, ez baitute masarik galtzen, ez irabazten. Aitzitik, sistema irekiek bai masa, bai energia truka dezakete ingurunearekin.



K.M.

Zilindro-pistoi motako gailu batetan dagoen gasa, sistema itxi baten adibidea da



1.5. KONTROL-BOLUMENA ETA KONTROL-GAINAZALA

Sistema irekiekin lan egiten denean, behatzailearekiko geldi dagoen espazio-alde jakin bat aztertzen da. Espazio-alde horri *kontrol-bolumen* esaten zaio, eta, bertatik, energia ez ezik masa ere atera eta sar daiteke.

Kontrol-bolumenaren eta kanpoaldearen artean *kontrol-gainazal* deritzon muga dago. Muga hori gehien komeni zaigun eran aukera dezakegu, egin beharreko azterketa kontuan harturik. Adibidez, hegan doan turboerreaktorearen jarduera aztertu nahiko bagenu, gu hegazkin barruan egonda, kontrol-gainazal egokia motorraren karkasa izango litzateke, eta gasen abiadura, bai sarreran bai irteeran, motorrarekiko neurtuko genuke, kontrol-bolumenarekiko, alegia.

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

Labur esanda, kontrol-bolumena behatzailearekiko geldi dagoela joko dugu beti, eta barrura datozen edo kanpora doazen masen abiadurak kontrol-bolumenarekiko abiadura erlatiboak direla.

1.6. TENPERATURA ETA ESKALA TERMOMETRIKOAK

Gorputzen edo sistemen barne-energia adierazten duen indizea *tenperatura* da.

Bero-fluxu edo jarioaren eragilea denez gero, tenperatura potentzial termikoa dela esaten dugu.

SI unitate-sisteman, tenperatura *Kelvin eskalan* neurtzen da (*eskala absolutua*).

Eskala zentigradua eta Kelvin eskala berdinak dira (1 ºC =1 K), jatorriari dagokionez izan ezik, lehenengo eskalaren zeroa bigarrenarenetik 273 K gora baitago; esan nahi baita, tenperatura absolutua = tenperatura zentigradua + 273 K dela. Eskala zentigraduari *Celsius eskala* ere esaten zaio.

Aurrerantzean, tenperatura absolutua T letraz adieraziko dugu, eta θ letraz tenperatura zentigradua.

1.7. PRESIOA

Sistemak bere mugetan egiten duen azalera-unitateko indarrari *presio* (*P*) esaten zaio. Gasen kasuan, molekulak aske-aske higitzen direnez, etengabe jotzen dituzte sistemaren mugak, eta «bonbardaketa» horren ondorio da presioa.

Presioa neurtzeko erabiltzen diren tresnei *manometro* deritze. Manometro mota asko daude, besteak beste, merkuriozko zutabeduna, Bourdon manometroa, eta abar.

SI unitate-sisteman, presioa *pascal*etan (Pa) neurtzen da, edota *bar*retan (bar):

$1\text{Pa} = 1\ \text{N/m}^2$; $1\text{bar} = 10^5\ \text{Pa}$.

Egurats-presio normala 1,01325 bar da, edo 760 mm Hg:

$1\text{bar} = 750\ \text{mm Hg}$.

Leku jakin batean dagoen egurats-presiotik gorako gainpresioari *presio manometriko* edo *erlatibo* esaten zaio.

Leku jakin bateko *presio absolutua* bertako egurats-presioaren eta presio manometrikoaren arteko batura da. Presio absolutua neurtzeko erabiltzen den tresnari *barometro* deritzo.

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

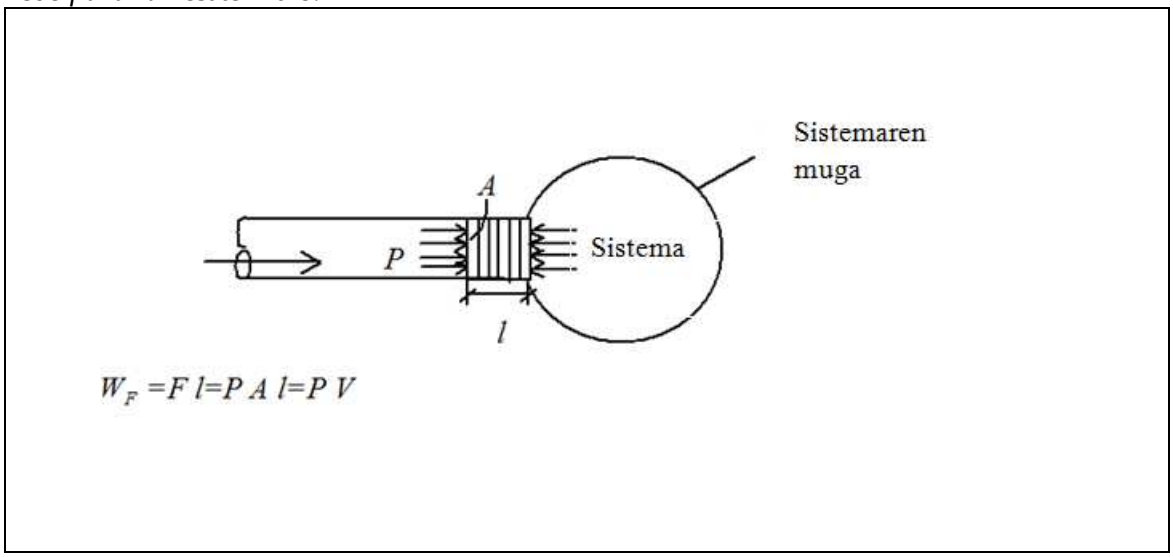
1.8. FLUXUAREN ENERGIA edo FLUXU-LANA

Funtsean, honako bi era hauek ditugu sistematik lana atera ahal izateko:

a) Pistoian eginiko presioaren bitartez (sistemaren muga higikorren bati eragiten dion indarra), enbolodun motorrek egiten duten moduan.

b) Higitzen ari den fluidoren batek emaniko bulkada edo erreakzioaren bitartez (momentu lineal edo higidura kantitatearen denborarekiko aldakuntza), turbinen besoek egiten duten moduan.

Sistemaren mugetan zehar doan fluidoak emaniko/harturiko energiari *fluxuaren energia* edo *fluxu-lan* esaten zaio.



Masa-unitateko fluxu-lana edo *fluxuaren energia espezifikoa*:

$$P\,v$$

da, non v delakoa *bolumen espezifikoa*baita. Bolumen espezifikoa m^3/kg-tan neurtzen badugu eta presioa N/m^2-tan, masa-unitateko lana J/kg-tan agertuko da.

Fluxu-lanak esangura fisiko hauxe du, hots, balizko pistoi batek emango/hartuko lukeen energia kantitatea, fluidoa espazio-alde marratuan zehar doanean (ikus irudia).

Fluxu-lana sistema irekiak aztertzeko baino ez zaigu baliagarri, zeren eta, sistema itxien mugetan zehar, definizioz, masarik ez doanez, ezin baita inolako fluxu-lan izaterik, ez barrura, ez kanpora.

1.9. ENTALPIA

Sistemaren muga jakin batean zehar doan fluidoaren egoera ekuazio batzuekin adierazten dugu, eta ekuazio horietan fluxu-lana eta *barne-energia espezifikoa* (u) elkarren ondoan agertzen dira beti. Horregatik, kalkuluak errazteko xedez, bi magnitude horiek batuz, *entalpia* deritzon magnitude berri bat (h) definitzen da; honela, hain zuzen:

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

$h = u + Pv$ J/kg edo kJ/kg .

Definizio hori sistema guztiei —nahiz irekiei nahiz itxiei— berdin-berdin badagokie ere, lehenengoetan baino ez da baliagarria, horiexek baitira kanpoaldearekin fluidoa trukatzen duten bakarrak.

Eskuarki, ur-lurrunaren entalpia taula bidez adierazten da, 0 ºC-ko tenperatura izanik entalpiaren balioak emateko erreferentzia-maila. Taulok oso erabilgarriak izaten dira fluxuaren energiarekin loturiko lanetan.

1.10. POTENTZIA

Definizioz, *potentzia* $(\dot{W})$lana egiten deneko abiadura da, eta SI unitate-sisteman *watt* unitatea (W) dagokio:

$1\ \mathrm{W} = 1\ \mathrm{J/s}$.

1.11. GASTUA

Denbora-unitatean gainazal jakin bat zeharkatzen duen masa kantitateari *fluxu-masiko* edo *gastu* $(\dot{m})$ esaten diogu, eta honela adierazten dugu:

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} \ \mathrm{kg/s} .$$

Egoera geldikorrean dirauten sistemetan, sarrerako gastua eta irteerakoa balio berekoak dira.

Fluxuaren energia espezifikoa, potentzia eta gastua honela daude erlazionaturik:

$$w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} \text{ edo } \dot{W} = \dot{m}w.$$

Bestalde, bero-fluxua $(\dot{Q})$ honela adieraz dezakegu:

$\dot{Q} = \dot{m}q$ W edo kW.

1.12. INDAR-MOMENTU ERAGILEA

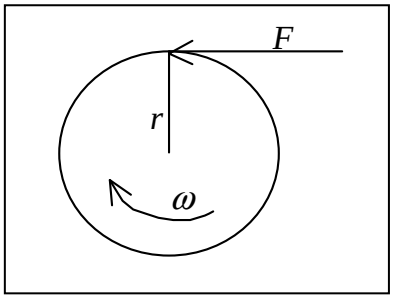
Karga mekanikoren bati eragiten dionean, motorrak lan egin behar du karga horrek kontra egiten dion erresistentzia mekanikoa gainditzeko, edo, bestela esanik, kargak balazta gisa jarduten du.

Biraketa-higiduratik dakigunez, F indar tangentzialaren M_t momentua indarraren eta bere besoaren r luzeraren arteko biderkadura da: $M_t = F \cdot r$ (ikus irudia).

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

Motorraren ardatzak honako potentzia hau ematen du:



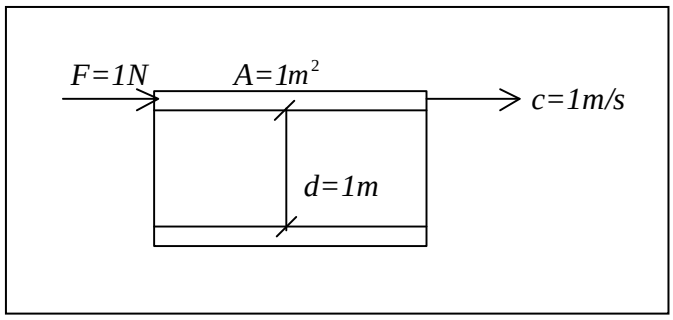
$$\dot{W} = M_t\,\omega \text{ W} \rightarrow \begin{cases} M_t \text{ N m} \\ \omega \text{ rad/s} \end{cases}$$

Karga mekanikoa, adibidez, sorgailu elektrikoa izan daiteke, edo igogailua, itsasontziaren helizea, eta abar.

1.13. BISKOSITATEA

Biskositate deritzon propietatea fluidoen barne-marruskadura da.

Biskositate absolutua edo *dinamikoa* (μ) honela definitzen dugu:



Demagun aztertzen ari garen fluidoaren barnean bi xafla mehe-mehe bereizten ditugula (ikus irudia). Xaflok azalera A =1 m^2 berdina dute, irudiarekiko plano elkarzut horizontalean, eta beren arteko distantzia d =1 m da. Orduan, bata bestearekiko c =1 m /s abiaduraz higiarazteko egin behar dugun F indarrak fluidoaren biskositate absolutua adierazten du.

SI unitate-sisteman, biskositate absolutuaren unitatea $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ da (ez du izen berezirik). Sarritan erabiltzen den beste unitate bat *poisea* (P) da: $1\text{P} = 0{,}1\,\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$.

Fluidoaren μ biskositate absolutuaren eta ρ dentsitatearen arteko zatidurari *biskositate zinematiko* (υ) esaten zaio:

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho} \text{ m}^2/\text{s} .$$

Likidoen biskositatea txikiagotu egiten da tenperaturarekin; gasena, ordea, handitu egiten da.

1.14. POTENTZIA NEURTZEKO TRESNAK ETA ERAK

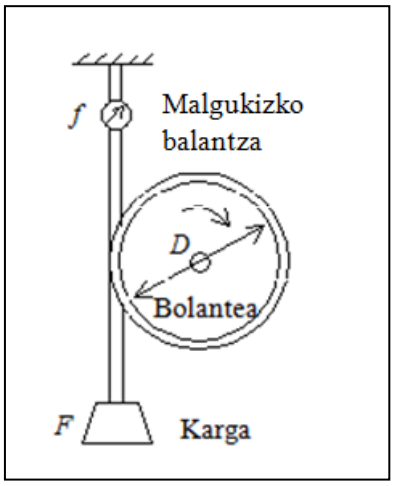
Edozein dispositibok ematen duen potentzia neurtzeko, *dinamometroak* erabiltzen dira, absortzio-dinamometroak edota transmisio-dinamometroak. Absortzio-dinamometroek

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

potentzia oso-osorik hartzen dute. Transmisio-dinamometroak, aldiz, motorraren eta beronek eragiten dion makinaren artean jartzen dira, eta bertatik egiten dute neurketa. Lehenengoen artean, hiru mota daude: marruskadura gogorrekoak, marruskadura bigunekoak eta elektrikoak.

1.15. MARRUSKADURA GOGORREKO DINAMOMETROAK



Absortzio-dinamometro bakunak honako osagai hauek dauzka:

Bolante edo polean bira bakar bat eginez biribilduriko kablea, eta, beronen goiko muturrera loturik, malgukizko balantza (*f* tentsioa neurtzeko).

Beheko muturrean *F* karga lotzen da.

Bolantea jirabiran ari denean, esfortzu ebakitzaileak lan egiten du. Indar-momentu eragilea:

$$M_e = F\frac{D}{2} - f\frac{D}{2} = (F-f)\frac{D}{2}$$

da, eta harturiko potentzia edo potentzia eraginkorra:

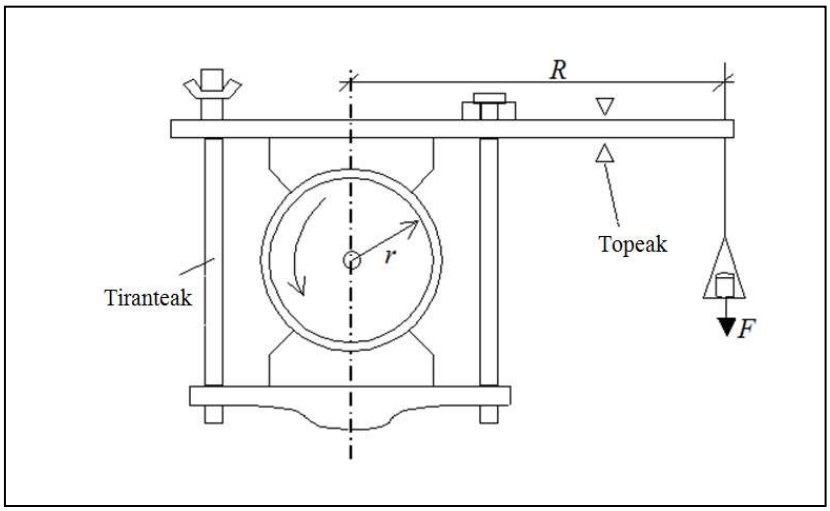
$$\dot{W}_e = M_e\omega\,.$$

Sarri askotan, ω (rad /s) abiadura angeluarraren ordez, n (b / min) errotazio-maiztasuna erabiltzen da. Orduan, $\omega = \pi n/30$ denez gero:

$$\dot{W}_e = (F-f)\frac{D}{2}\frac{\pi n}{30} = \frac{\pi n}{60}(F-f)n \begin{cases} F \text{ eta } f\text{: Newton} \\ \dot{W}_e\text{: Watt} \end{cases}$$

geratuko zaigu. Potentzia eraginkorrari *balaztarako potentzia* ere esaten zaio.

Marruskadura gogorreko beste neurgailu mota bat *Prony-ren balazta* da (ikus irudia). Neurgailu honek honela funtzionatzen du:



Motorraren ardatzarekin loturiko bolanteari (*r* erradioa duen gurpilari), bi balazta-zapata erregulagarriek heltzen diote goialdetik eta behealdetik. Balaztan irmoki finkatuta dagoen besoak (*R* luzera du) angelu jakin bat bira dezake, eta eskuinaldean, mutur

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

asketik esekita, *F* pisua dauka.

Motorraren ardatza erlojuaren orratzen noranzkoan jirabiran ari denean, bolante eta balazta-zapaten arteko marruskaduraren ondorioz, indar-momentuak noranzko horretan eragiten dio besoari; baina eragin hori *F* pisuak eginiko indar-momentuak berdintzen duenez, besoak jarrera horizontalean irauten du.

Esandako egoeran, indar-momentu eragilea, hots, marruskadura-indar tangentzialaren momentua, eta potentzia eraginkorra honako hauek dira, hurrenez hurren:

$$M_t = F\,R \text{ eta } \dot{W}_e = M_t\,\omega = F\,R \cdot \pi n / 30$$

Motorrak lan egiteko duen gaitasuna indar-momentu eragileak adierazten digu, eta denbora-unitateko egindako lana, potentzia eraginkorrak. Ibilgailuen kasuan, adibidez, eraman dezaketen zamaren zenbatekoa indar-momentu eragileak mugaturik dago, eta garraiaketan egiten duten lana potentziak neurtzen du.

Ariketa:

Bolazko errota batek 10 ZP-ko potentzia hartzen du, ardatzak 950 b min^{-1}-eko abiaduraz biratzen duenean. Errotari eragiten dion motor elektrikoak indar-momentu izendatua baino 2,5 aldiz handiagoa den abio-momentua eman behar dio. Kalkula ezazu:

- Indar-momentu eragile izendatua.
- Abio-momentua.
- Pronyren balaztan jarri beharreko pisua (kp-tan), abio-momentua berdintzeko, besoaren luzera 0,75 m dela jakinik.

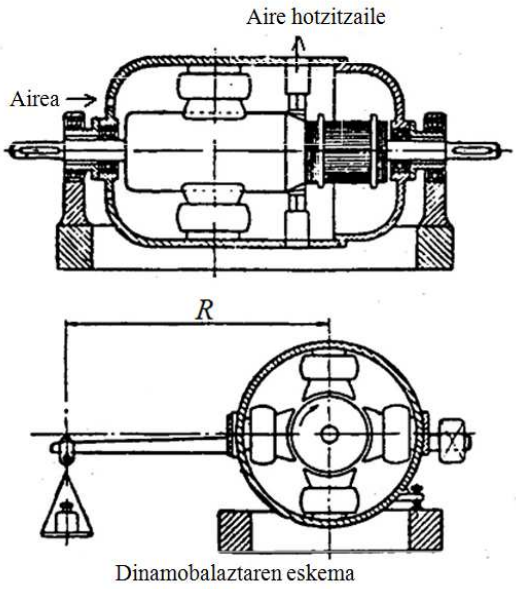
1.16. MARRUSKADURA BIGUNEKO BALAZTAK

Balazta hauen jarduera, funtsean, eguratsak haizagailuaren biraketa-higiduraren aurka egiten duen efektua bezalakoa da. Potentzia handiak neurtzeko, *balazta hidraulikoak* erabiltzen dira. Horien artean, Froude-ren balazta dugu klasikoena, baina neurgailu horren deskribapena gure testu honen maila eta helburuetatik at dago.

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

1.17. BALAZTA ELEKTRIKOAK.



Dinamobalaztaren eskema

Bi balazta elektriko mota ditugu: korronte parasitoetako balazta eta dinamobalazta.

Dinamobalaztarekin, bi metodo hauetako edozein aukera dezakegu potentzia neurtzeko:

- Dinamoak ematen duen potentzia elektrikoa zuzenean neurtu, amperemetroa eta voltametroa erabiliz.
- Indar-momentua neurtu, irudian ageri den mekanismoaren laguntzaz, eta, gero, Pronyren balaztaren kasuan azaldu ditugun kalkuluak egin.

Nolanahi ere, sorgailu elektrikoak emaniko potentzia bero bihurtzen da erresistentzia batzuetan.

1.18. ANALISI DIMENTSIONALA

Unitate-sistema batetik beste batera pasatzen ibiltzeak dakartzan buruhausteak zenbait parametro dimentsiogabe erabiliz saihets ditzakegu, parametro horiek balio berbera baitute unitate-sistema guztietan. Zenbaki dimentsiogabe (edo zenbaki adimentsional) egokiak zehazteko bidea *analasi dimentsionala* da.

Analisi dimentsionalaren eskutik, hainbat aldagai multzo dimentsiogabetan sailkatzea ez ezik, datu esperimentalak errazago ulertzea ere lortuko dugu.

Analisi dimentsionala aplikatzen hasi aurretik, aztergai dugun fenomenoarekin loturiko aldagai fisikoak ezagutu beharra dago, zeren eta horrexetan baitatza metodotik ateratzen diren emaitzen nolakotasuna, ona edota txarra. Haatik, esaniko aldagaiak zuzen aukeratzen baditugu, analisi adimentsionala azterketa gehientsuenei aplika diezaiekegu, jarraian ikusiko dugun moduan.

Lehenik eta behin, oinarrizko dimentsio-sistemaren bat hautatuko dugu, gero aldagai guztiak dimentsio horiekiko adierazi ahal izateko. Oinarrizko dimentsioetan erabilienak masa (M), luzera (L), eta denbora (T) izaten dira, eta, batzuetan, tenperatura (θ) ere bai.

Fenomeno fisiko jakin bat azaltzeko, multzo adimentsionalen kopuru zehatz bat zehaztu behar dugu, eta, horretarako, *Buckingham-en π teoremaz* balia gaitezke. Esaniko teoremaren arabera, fenomenoarekin loturiko magnitude fisikoak guztira *n* izanik (adibidez: dentsitatea,

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

abiadura eta biskositatea), eta oinarrizko dimentsioak *m* (adibidez: M, L eta T), magnitude fisiko horiek elkartuz eratu ditzakegun multzo adimentsional independenteen kopurua $n-m$ da.

Hala bada, gure lanean bost magnitude fisiko eta hiru oinarrizko dimentsio erabiltzen ari bagara, multzo adimentsionalen kopurua $5-3=2$ izango da, eta emaitzak honako itxura hau izango du:

$\pi_1 = \mathrm{f}(\pi_2)$ π zenbakiak multzo adimentsionalak dira.

Edo $n-m=3$ dela baldin badugu, orduan $\pi_1 = \mathrm{f}(\pi_2, \pi_3)$ izango da.

1.18.1. Multzo adimentsionalak zehazteko modua

Oraingo gai honi, honako adibide honetatik abiatuta ekingo diogu:

Hodi baten barruan isurtzen doan fluidoa aztertuz, ΔP presioaren beherapena (*karga-galera* deritzona) hodiaren eta fluidoaren ezaugarriekin lotzen duten parametro adimentsionalak aurkitu nahi ditugu. Hodiak *D* diametroa du eta *l* luzera; fluidoaren biskositatea, dentsitatea eta batez besteko abiadura μ, ρ eta *c* dira, hurrenez hurren.

Hona hemen, bada, lanarekin zerikusia duten 6 aldagaiak: ΔP, *D*, *l*, μ, ρ eta *c*.

Eta oinarrizko magnitude gisa, 3 hauek hartuko ditugu: M, L eta T.

Beraz, $6-3=3$ zenbaki adimentsional osa ditzakegu.

$$\Delta P = (D, l, \mu, \rho, c)$$
$$\pi_1 = \mathrm{f}(\pi_2, \pi_3)$$
$$\pi = l^a \, (\Delta P)^b \, \rho^d \, D^e \, \mu^f \, c^g$$

Ondoren, jar ditzagun aldagai fisikoak era dimentsionalean.

Aldagaia	**Dimentsioa/k**	**Berretzailea**
l	L	*a*
ΔP	M / L T^2	*b*
ρ	M / L^3	*d*
D	L	*e*
μ	M / L T	*f*
c	L / T	*g*

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

Hortaz: $\pi = \mathrm{L}^a\left[\frac{\mathrm{M}}{\mathrm{LT}^2}\right]^b\left[\frac{\mathrm{M}}{\mathrm{L}^3}\right]^d \mathrm{L}^e\left[\frac{\mathrm{M}}{\mathrm{LT}}\right]^f\left[\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{T}}\right]^g$ dela dugu.

Dimentsiogabetasunak honako berdintza hauek betetzea eskatzen du:

$$\left.\begin{array}{l}\text{L-ren berretzaileekin}: a-b-3d+e-f+g=0\\ \text{M-ren berretzaileekin}: b+d+f=0\\ \text{T-ren berretzaileekin}: -2b-f-g=0\end{array}\right\}$$ Hiru ekuazio eta sei ezezagun .

Lehenengo multzo adimentsionala eratzeko, $a=1$, $b=0$, eta $d=0$ eginez, $f=0$ eta $e=-2$ emaitza horiek ateratzen ditugu, eta, beraz, $\pi_1 = l/D$ izango da.

Bigarren multzo adimentsionala eratzeko, $a=0$, $b=1$, eta $e=0$ eginez, $d=-1$ eta $g=-2$ emaitza horiek ateratzen ditugu, eta, beraz, $\pi_2 = \Delta P/\rho c^2$ izango da.

Era berean, $e=1$, $b=0$ eta $a=0$ eginez, $\pi_3 = \mu/\rho c D$ ateratzen dugu. Azkeneko erlazio hori alderantzikatuz lortzen den zenbaki dimentsiogabeari *Reynolds-en zenbaki* deritzo:

$$\frac{\rho c D}{\mu} = Re$$

Reynoldsen zenbakiak garrantzi handia du fluidoen mekanikan. *Re*>2.300 denean, fluxua *turbulentu* edo *zurrunbilotsua* dela esaten dugu, eta *Re*< 2.300 denean, *fluxu laminarra* dela. Zenbaki dimentsiogabe honek inertzia-indarren eta marruskadura-indarren arteko erlazioa adierazten digu.

Datu esperimentalak korrelazioan jartzeko, π_1-en balio batzuk aukeratu ondoren, π_2 eta π_3 zenbaki dimentsiogabeak lotzen dituen funtzioa irudikatu behar genuke, baina ingeniaritzan praktikoagoa izaten da *marruskadura-faktorea* (f). Definizioz:

$$f \equiv \frac{\pi_2}{\pi_1} = \frac{\Delta P\, D}{\rho c^2 l}$$

da. Fluxu laminarrek $f = \frac{64}{Re}$ dute, eta fluxu zurrunbilotsuetan, marruskadura-faktorea *Re*-ren eta zimurtasun erlatiboaren (ε /*D*) menpean dago. Zatidura horren zenbakitzailea, ε, hodiaren barrualdeko zimurren batez besteko altuera da.

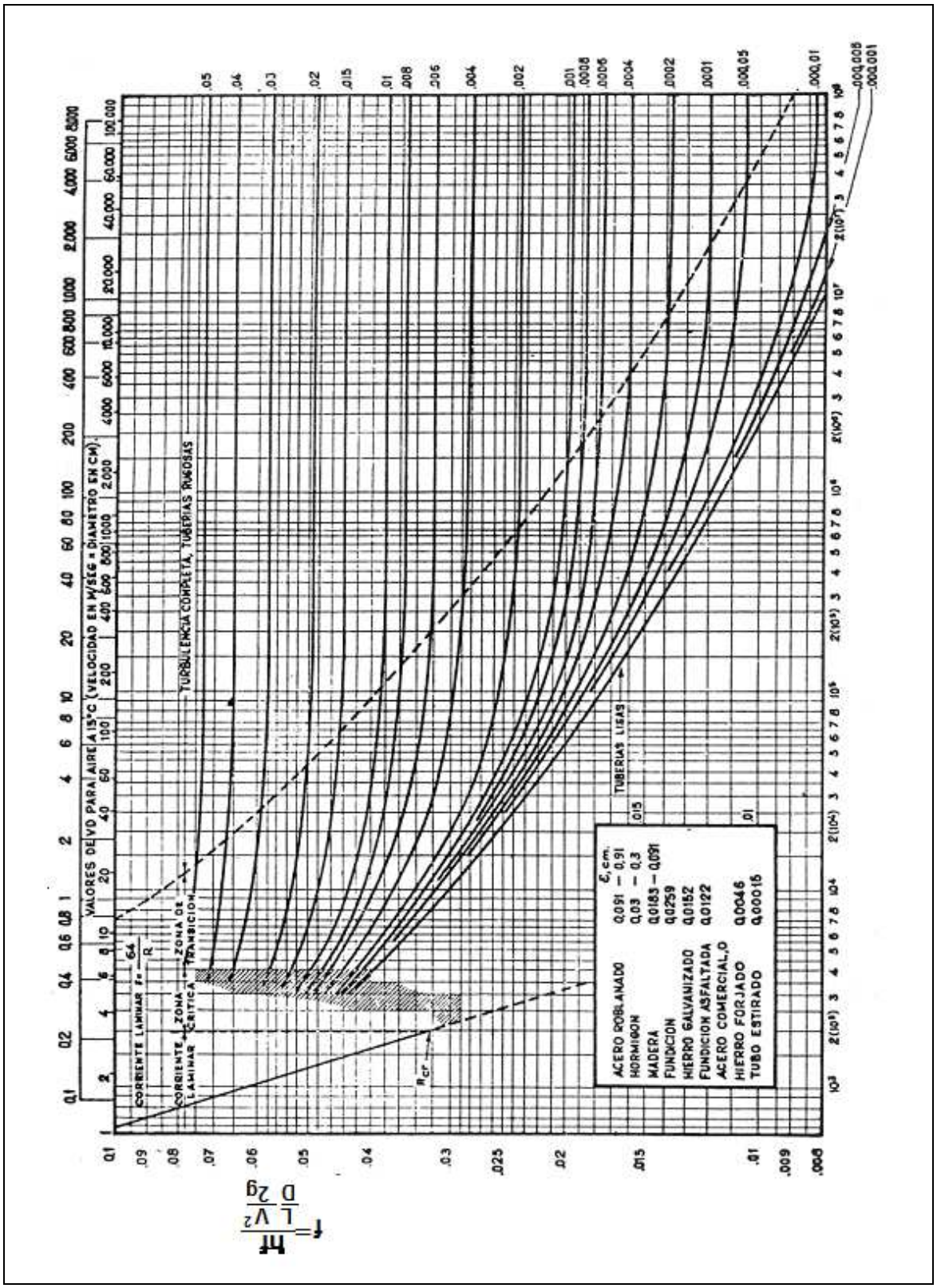
Bide batez, diogun ezen *Moody-ren diagrama* oso erabilgarria dela hodietan izaten diren karga- edo presio-galerak kalkulatzeko (ikus hurrengo orrialdea).

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

eman ta zabal zazu

Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea



Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900

eman ta zabal zazu

Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

ARIKETAK

1. Fluido baten tenperatura neurtzeko, bi termometro erabili ditugu, Fahrenheit eskaladun bat eta Celsius eskaladun beste bat. Lehenengoarekin eginiko neurketa bigarrenarekin eginikoa baino 1,5 aldiz handiagoa dela jakinik, zein da fluidoaren tenperatura bi eskalotako bakoitzean?

- Emaitza: $-106{,}66\ ^{o}C$; $-160\ ^{o}F$

---

2. Egurats-presioa 14,7 psia denean, Bourdon-en manometroak 25 psi neurtu du. Zein da presio absolutua pascaletan?

- Emaitza: 273.793 Pa

---

3. Fluidoz gainezka beterik dagoen ontzi batek 500 kg dauka. Ontziaren edukiera $0{,}5\ m^3$ dela jakinik, zein dira fluidoaren dentsitatea eta bolumen espezifikoa?

- Emaitza: $\rho = 1.000\ kg/m^3$; $v = 10^{-3}\ m^3/kg$

---

4. Demagun geldirik dagoen auto bat azeleratu egin nahi dugula, 60 milia/orduko abiadura izatera heldu arte. Autoaren masa 4.800 lb_m dela jakinik, kalkula ezazu egin beharreko lana jouletan.

- Emaitza: 783.065 J

---

5. Gramo bat izotz urtzeko, 80 cal inguru behar da. Hoztearen teknologian erabiltzen diren unitateen artean, hozte-tona dugu. Unitate horren definizioa hauxe da: 907 kg ur (USAko tona) 24 orduko denbora-tartean izozteko behar den energia kantitatea. Zein da hozte-tonaren balioa Btu / ordutan eta kW-tan?

- Emaitza: 11.998 Btu / ordu; 3,515 kW

Argitalpen honek UPV/EHUko Euskararen eta Etengabeko Prestakuntzaren arloko Errektoreordetzaren laguntza izan du

ISSN 2603-8900