



2. GAIA: ERREGAI LIKIDOAK

JARDUERA PRAKTIKOAK (EBAZPENA)

Maite de Blas Martín
Aitziber Iriondo Hernández
Blanca M^a Caballero Iglesias

Bilboko Ingeniaritza Eskola
Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumen Ingeniaritza

JARDUERA PRAKTIKOEN EMAITZAK

I) Zenbakizko ariketak:

2.1, 2.2, 2.3 eta 2.4 ariketak



Lizentzia publikoan Pixabay
webgunean argitaratutako
irudia [\[1\]](#)

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.1 ARIKETA. EMAITZA (I)

a) Lehen hurbilketako diametroa:

Lehen hurbilketako barne diametroaren kalkulua ondorengo ekuazioaren bidez egiten da:

$$D \text{ (mm)} = 18,8 \sqrt{\frac{Q \text{ (m}^3\text{/ordu)}}{v \text{ (m/s)}}$$

Ariketaren enuntziatuan adierazitako balioak ekuazioan ordezkaturata eta jakinik abiaduraren datua, zeinak, kasu honetan, 1,5 m/s-tako balioa hartzen duela suposatzen den (oliobide baten abiadura 1-2 m/s tartean egon ohi da), emaitza ondorengo izango da:

$$D = 18,8 \sqrt{\frac{330}{1,5}} = 278,85 \text{ mm} = 0,279 \text{ m}$$

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.1 ARIKETA. EMAITZA (II)

b) Hodiaren zimurtasun erlatiboa:

Zimurtasun erlatiboa adimentsionala den parametro bat da eta zimurtasun absolutua (ε) eta barneko diametroaren (D) arteko zatidura bezala definitzen da.

$$\text{Zimurtasun erlatiboa} = \frac{\varepsilon \text{ (m)}}{D \text{ (m)}}$$

Kontuan izanik ariketaren enuntziatuak zimurtasun absolutuaren datua mm-tan ematen duela, diametroaren datua (a atalean kalkulatuta) mm-tan ordezkatu beharko litzateke edo zimurtasun erlatiboaren unitateen aldaketa m-tara egitea ekuazioko bi parametroak unitate berdinak izan ditzaten eta horrela zimurtasun erlatiboa adimentsionala izan dadin. Kasu honetan mm-ak erabili dira unitate moduan, bai zimurtasun erlatiborako eta baita barneko diametroarako ere.

$$\text{Zimurtasun erlatiboa} = \frac{0,045}{278,85} = 1,61 \cdot 10^{-4}$$

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.1 ARIKETA. EMAITZA (III)

c) Reynolds zenbakia, fluidoaren erregimena aipatuz:

Re zenbakia, zimurtasun erlatiboa bezala parametro adimentsionala dena, bi ekuazioen bidez kalkula daiteke. Hala ere, enuntziatuak ematen duen biskositate zinematikoa cSt-tan (mm^2/s) dagoenez, erabili beharreko ekuazioa ondorengoa da:

$$\text{Re} = 354 \frac{Q \text{ (m}^3\text{/ordu)}}{D \text{ (m)} \cdot \nu \text{ (cSt)}}$$

Emaria, hodiaren barneko diametroa (a) atalean kalkulatu) eta biskositate zinematikoaren datuak ezagututa, ondorengo emaitza lortzen da Reynolds zenbakirako:

$$\text{Re} = 354 \frac{330}{0,279 \cdot 7} = 59815,68 = 6,0 \cdot 10^4 \geq 4000, \text{ orduan erregimen zurrunbilotsua (turbulentua) da}$$

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.1 ARIKETA. EMAITZA (IV)

d) Marruskadura-faktorea Moody diagrama erabiliz:

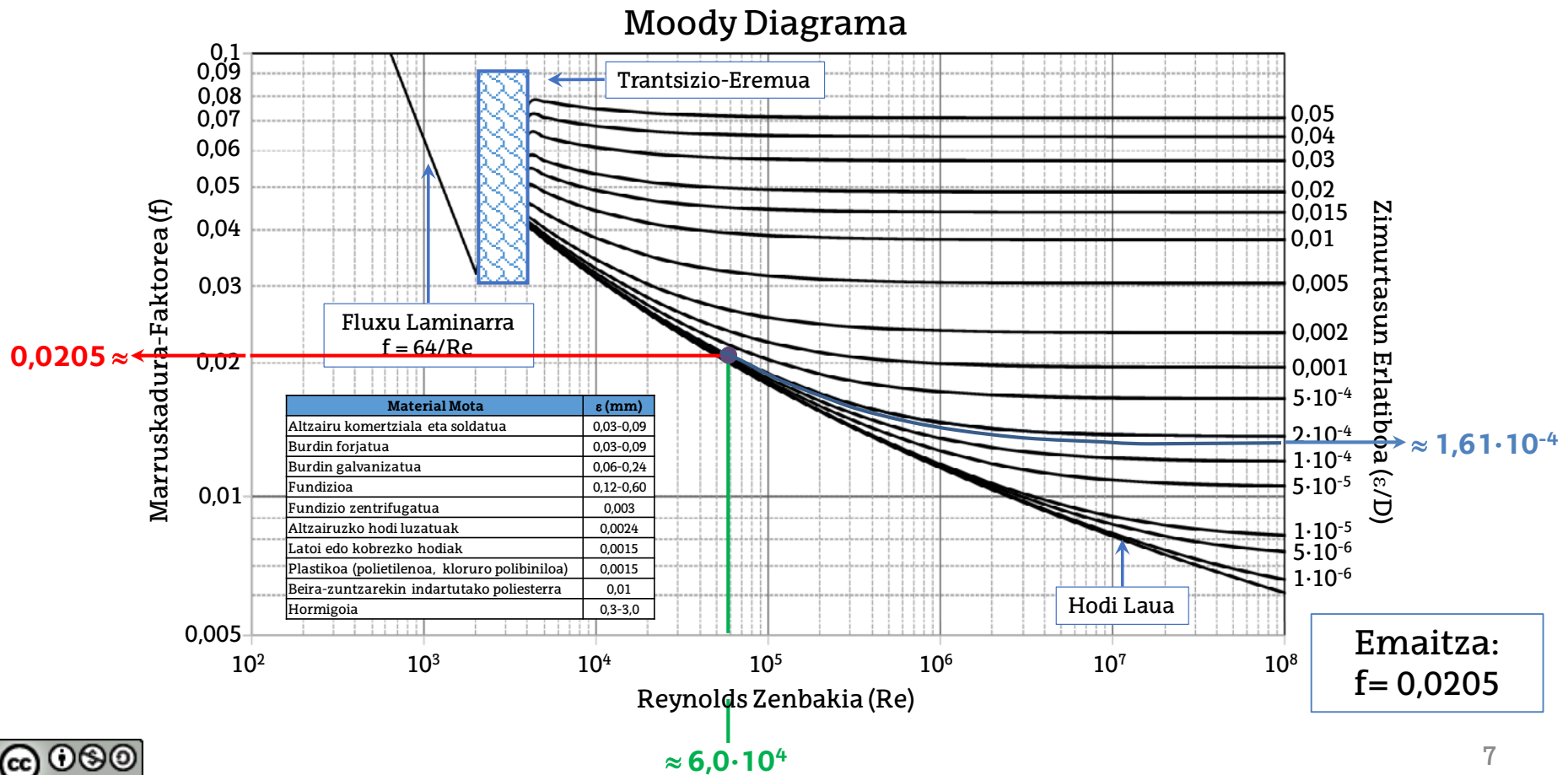
Marruskadura-faktorea ekuazioen zein grafika zehatz baten bidez kalkula daiteke. Metodo hedatuena grafikoa da eta honetarako Moody diagrama (ikus 2.A irudia) erabiltzen da. Kalkulua grafikoki egiteko ezinbestekoa da zimurtasun erlatiboa (*b*) atalean kalkulatu eta Reynolds zenbakia (*d*) atalean zehaztua).

Zimurtasun erlatiboaren balioarekin grafikaren eskumako ordenatutik sartu behar da, diagramako kurbak (*urdin kolorekoa*) jarraituz. Ondoren, Reynolds zenbakiaren balioarekin abzizatik sartu eta lerro zuzena (*berde kolorekoa*) jarraitzen da zimurtasun erlatiboaren balioarekin ebaki arte. Kurba (zimurtasun erlatiboa) eta lerro zuzenaren (Reynolds zenbakia) arteko ebakidura-puntuak, zeinaren balioa grafikoaren ezkerreko ordenatuan (gorri kolorekoa) irakurtzen den, "f" marruskadura-faktoreari egiten dio erreferentzia.

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.1 ARIKETA. EMAITZA (V)

d) Marruskadura-faktorea Moody diagrama erabiliz (jarraipena):



OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.2 ARIKETA. EMAITZA (I)

- a) Lehen hurbilketako diametroa, zimurtasun erlatiboa eta Reynolds zenbakia:

Eskatzen diren parametroen kalkulua egiteko 2.1 ariketan, a), b) eta c) ataletan, eman diren azalpen berdinak jarraitu behar dira. Gainera, kontuan izan behar da altzairu komertzialaren zimurtasun absolutua 0,03-0,09 mm-koa dela (2. gaiko ikasmaterialeko 2.9 taulan edo jarduera praktikoetako (enuntziatua) 2.A irudian agertzen den bezala). Eta batezbesteko balioa kontsideratuz, zimurtasun erlatiboak 0,06 balioa hartuko luke.

$$D \text{ (mm)} = 18,8 \sqrt{\frac{Q \text{ (m}^3\text{/ordu)}}{v \text{ (m/s)}}} \longrightarrow D = 18,8 \sqrt{\frac{970}{1,5}} = 478,01 \text{ mm} = 0,478 \text{ m}$$

$$\text{Zimurtasun erlatiboa} = \frac{\varepsilon \text{ (mm)}}{D \text{ (mm)}} \longrightarrow \text{Zimurtasun erlatiboa} = \frac{0,06}{478,01} = 1,25 \cdot 10^{-4}$$

$$Re = 354 \frac{Q \text{ (m}^3\text{/ordu)}}{D \text{ (m)} \cdot v \text{ (cSt)}} \longrightarrow Re = 354 \frac{970}{0,478 \cdot 8} = 89796,02 = 9,0 \cdot 10^4$$

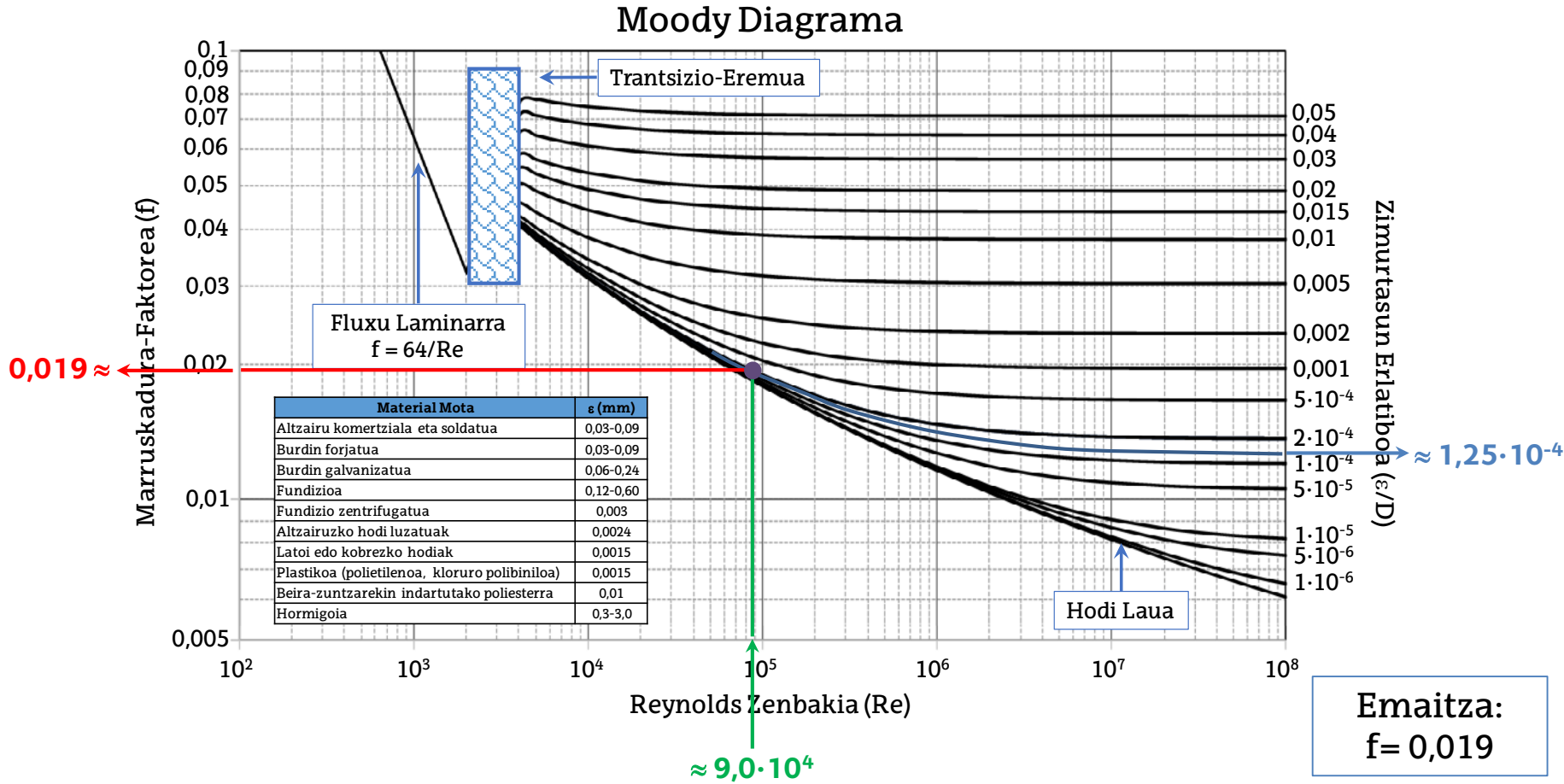
2.2 ARIKETA. EMAITZA (II)

- b) Marruskadura-faktorea. Zer gertatuko litzateke faktore honekin sistemako ezaugarriak mantenduko balira, baina emaria $22 \text{ m}^3/\text{ordura}$ murriztuko balitz?**

Marruskadura-faktorea kalkulatzeko a) atalean kalkulaturako zimurtasun erlatiboaren eta Reynolds zenbakiaren datuak daude. Hauekin, Moody diagramarekin eta 2.1 ariketako d) atalean emandako azalpenekin, marruskadura-faktorea grafikoki kalkulatu da.

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.2 ARIKETA. EMAITZA (III)



OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.2 ARIKETA. EMAITZA (IV)

Emaria murriztuko balitz, gainerako ezaugarriak berdin mantenduta galderari erantzuteko, zer gertatuko litzatekeen jakiteko, kontuan izan behar da baldintza berri hauetan aldatuko litzatekeen parametro bakarra Reynolds zenbakia izango litzatekeela. Hortaz, marruskadura-faktorea baita ere. Hau da, $D = 0,478$ m, $\nu = 8,0$ cSt eta $\varepsilon/D = 1,25 \cdot 10^{-4}$ berdin mantenduko lirateke, eta berriro kalkulatu beharko lirateke Reynolds zenbakia eta ondoren marruskadura-faktorea Moody diagramarekin.

$$\text{Re} = 354 \frac{Q \text{ (m}^3\text{/ordu)}}{D \text{ (m)} \cdot \nu \text{ (cSt)}} \longrightarrow \text{Re} = 354 \frac{22}{0,478 \cdot 8} = 2036,61$$

Lortutako balioa $2000 < \text{Re} = 2036,61 \leq 4000$ tartean dago, trantsiziozkoa edo kritikoa den erregimen batean dagoela adierazten dutenak. Egoera honek ez du marruskadura-faktorearen kalkulua onartzen, eta hortaz ezingo litzateke hodiaren dimentsionaketa egin. Hodiaren dimentsionaketa beharrezkoa balitz, ezinbestekoa izango litzateke fluidoaren edo hodiaren ezaugarriren bat aldatzea erregimen laminar edo zurrunbilotsua ezartzeko eta horrela marruskadura faktorearen kalkulua baimentzeko.

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.2 ARIKETA. EMAITZA (V)

- c) Marruskadurak eragindako presio-galera hodiaren km bakoitzeko, kontuan izanik b) atalean kalkulaturako marruskadura-faktorea $970 \text{ m}^3/\text{ordu}$ emariarentzat:

Marruskadurak eragindako presio-galera ondorengo ekuazioaren bidez kalkulatu da:

$$h_f = 6395 \cdot 10^6 \cdot f \text{ (marruskadura-faktorea)} \cdot L(\text{km}) \frac{Q(\text{m}^3/\text{ordu})^2}{D(\text{mm})^5}$$

Ekuazioan agertzen diren parametroetan balioak ordezkatur:

$$h_f = 6395 \cdot 10^6 \cdot 0,019 \cdot 200 \frac{(970)^2}{(478,01)^5} = 916,18 \text{ m}$$

Presio-galera hodiaren km-ko kalkulatzeko, lortutako h_f datua hodiaren km bakoitzeko zatitu behar da, azken parametro honen balioa 200 km izanik.

$$\frac{h_f(\text{m})}{L(\text{km})} = \frac{916,18}{200} = 4,6 \text{ m/km}$$

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.3 ARIKETA. EMAITZA (I)

- a) Lehen hurbilketako diametroa, zimurtasun erlatiboa, Reynolds zenbakia eta marruskadura-faktorea:

Aurreko kasuetan bezala, eskatzen diren parametroen kalkulua egiteko beharrezkoa da pausu berdinak jarraitzea eta, ekuazio eta diagrama berdinak erabiltzea.

$$D \text{ (mm)} = 18,8 \sqrt{\frac{Q \text{ (m}^3\text{/ordu)}}{v \text{ (m/s)}}} \longrightarrow D = 18,8 \sqrt{\frac{150}{1,5}} = 188,00 \text{ mm} = 0,188 \text{ m}$$

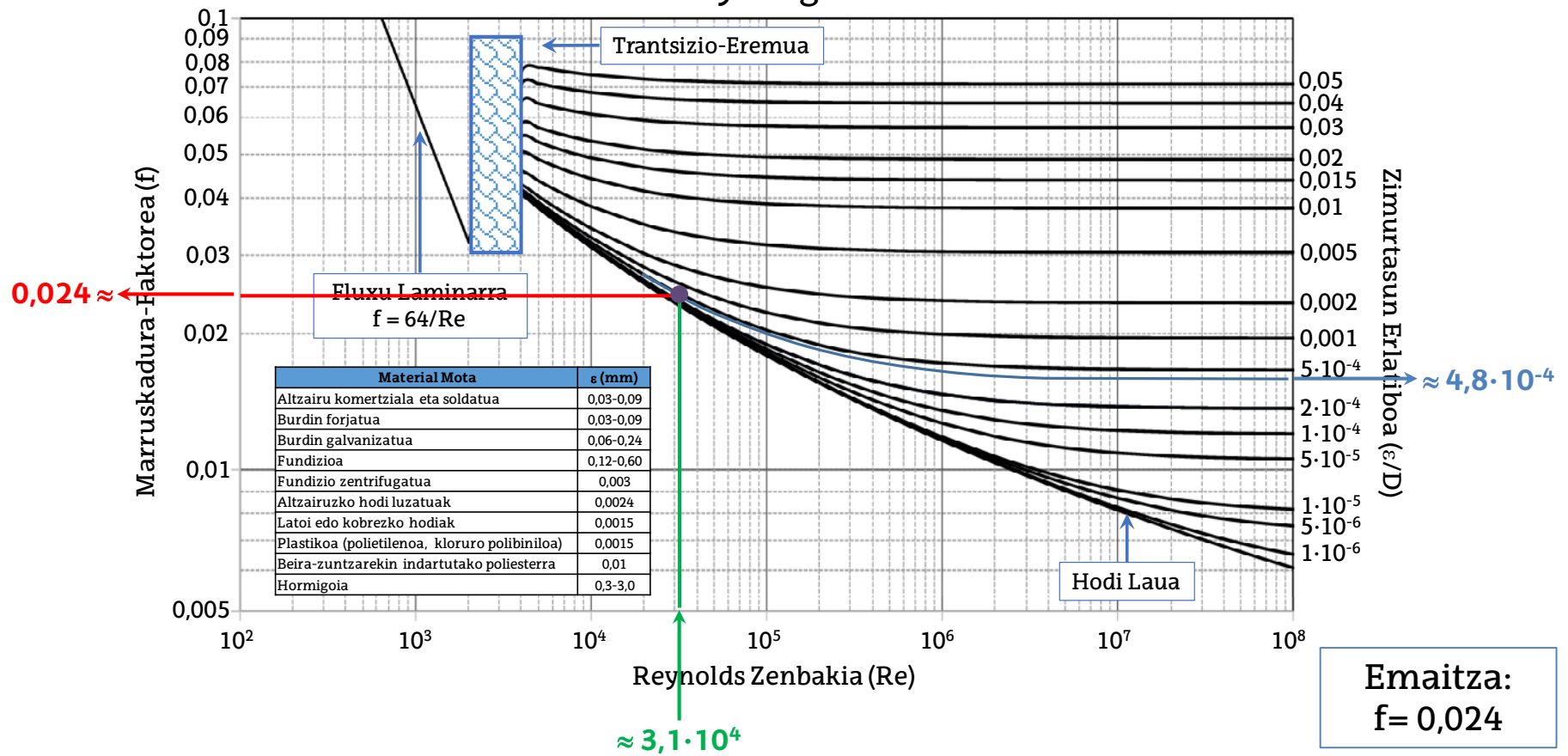
$$\text{Zimurtasun erlatiboa} = \frac{\varepsilon \text{ (mm)}}{D \text{ (mm)}} \longrightarrow \text{Zimurtasun erlatiboa} = \frac{0,09}{188,00} = 4,79 \cdot 10^{-4}$$

$$Re = 354 \frac{Q \text{ (m}^3\text{/ordu)}}{D \text{ (m)} \cdot v \text{ (cSt)}} \longrightarrow Re = 354 \frac{150}{0,188 \cdot 9} = 31383,00 = 3,1 \cdot 10^4$$

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.3 ARIKETA. EMAITZA (II)

Moody Diagrama



OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.3 ARIKETA. EMAITZA (III)

- b) "B" estazioko presioa. Zer gertatuko litzateke "B" estazioan emaria moztu egiten bada estazio honen ondoren, balbula baten itxiera dela eta, eta "A" estazioko presioa mantentzen bada?

Kota desberdinak dituzten bi punturen arteko presio-galeraren kalkulua Bernoulli ekuazioaren bidez egiten da.

$$\frac{P_A \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}} + \frac{v_A^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} + Z_A \text{ (m)} + H_p \text{ (m)} = \frac{P_B \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}} + \frac{v_B^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} + Z_B \text{ (m)} + h_f \text{ (m)}$$


Printzipioz, parametro guztiak ezagunak dira, ariketaren enuntziatuak emandakoak direlako. Ildo horretan, hodi-luzeran zehar emaria eta diametroa aldatzen ez direnez, ezta abiadura ere eta, hortaz, Bernoulli ekuazioko abiadura terminoak baliogabetuko lirateke. Gauza bera gertatzen da H_p -arekin, termino hau baliogabea izango da enuntziatuak honi buruz ez duelako ezer esaten.

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.3 ARIKETA. EMAITZA (IV)

Bestetik, h_f kalkulatu behar da. 2.2 ariketako c) atalean bezalaxe, hau ondorengo ekuazioa jarraituz kalkulatzen da:

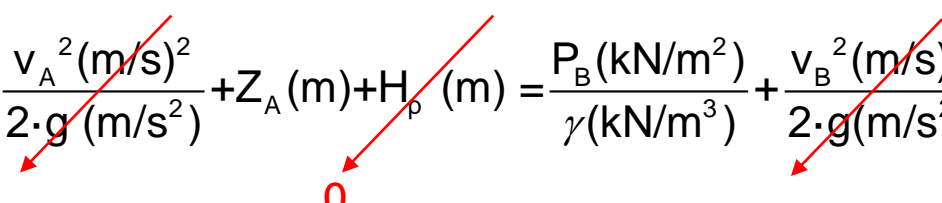
$$h_f = 6395 \cdot 10^6 \cdot f \text{ (marruskadura-faktorea)} \cdot L \text{ (km)} \frac{Q \text{ (m}^3 \text{/ordu)}^2}{D \text{ (mm)}^5}$$



$$h_f = 6395 \cdot 10^6 \cdot 0,024 \cdot 39 \frac{(150)^2}{(188,00)^5} = 573,47 \text{ m}$$

Bernoulli ekuazioaren termino desberdinen balioak ezagututa, "B" estazioko presioa kalkulatzeko posiblea da. Ondoren aurkezten den bezala, aipatutako ekuazioaren termino batzuk balio gabetu egiten dira.

$$\frac{P_A \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}} + \frac{v_A^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} + Z_A \text{ (m)} + H_p \text{ (m)} = \frac{P_B \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}} + \frac{v_B^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} + Z_B \text{ (m)} + h_f \text{ (m)}$$




0

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK


2.3 ARIKETA. EMAITZA (V)

$$P_B (\text{kN/m}^2) = \gamma (\text{kN/m}^3) \cdot \left[\frac{P_A (\text{kN/m}^2)}{\gamma (\text{kN/m}^3)} + Z_A (\text{m}) - (Z_B (\text{m}) + h_f (\text{m})) \right]$$


$$\gamma = \delta (\text{kg/m}^3) \cdot g (\text{m/s}^2) = 825 \cdot 9,81 = 8093,25 \text{ N/m}^2 = 8,09 \text{ kN/m}^2$$

$$P_A = 45,7 \text{ kg/cm}^2 \cdot \frac{98,07 \text{ kN/m}^2}{1 \text{ kg/cm}^2} = 4481,80 \text{ kN/m}^2$$

$$P_B = 8,09 \cdot \left[\frac{4481,80}{8,09} + 550 - (75 + 573,47) \right] = \boxed{3685,2 \text{ kN/m}^2}$$


$$3685,2 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{1 \text{ kg/cm}^2}{98,07 \text{ kN/m}^2} = 37,6 \text{ kg/cm}^2$$

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.3 ARIKETA. EMAITZA (VI)

Emariaren mozteak marruskadurak eragindako presio-galerari dagokion terminoa baliogabetzea suposatuko luke. Ondorioz, Bernoulli ekuazioan estazio bakoitzaren presio eta kota terminoak bakarrik kontsideratuko lirateke.

$$\frac{P_A \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}} + \frac{v_A^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} + Z_A \text{ (m)} + H_p \text{ (m)} = \frac{P_B \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}} + \frac{v_B^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} + Z_B \text{ (m)} + h_f \text{ (m)}$$

(Note: In the original image, red arrows point to the velocity terms and the head loss term, with a red '0' below each, indicating they are zero.)

$$P_B = P_A + \gamma(Z_A - Z_B) = 4481,8 + 8,09 \cdot (550 - 75) = \boxed{8324,5 \text{ kN/m}^2}$$

$$8324,5 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{1 \text{ kg/cm}^2}{98,07 \text{ kN/m}^2} = 84,9 \text{ kg/cm}^2$$

(Note: A blue arrow points from the boxed result of the previous equation to this one.)

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

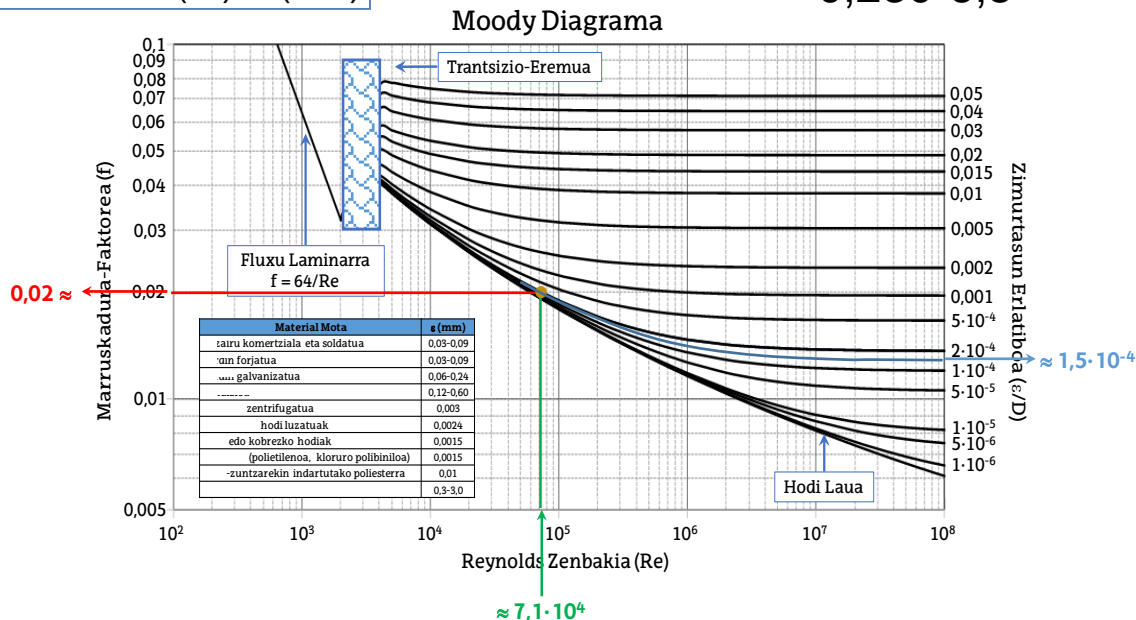
2.4 ARIKETA. EMAITZA (I)

a) "B" estazioko presioa

2.3 ariketan jarraitutako prozedura berdina jarraitu behar da.

$$D \text{ (mm)} = 18,8 \sqrt{\frac{Q \text{ (m}^3\text{/ordu)}}{v \text{ (m/s)}}} \longrightarrow D = 18,8 \sqrt{\frac{300}{2}} = 230,25 \text{ mm} = \boxed{0,230 \text{ m}}$$

$$Re = 354 \frac{Q \text{ (m}^3\text{/ordu)}}{D \text{ (m)} \cdot v \text{ (cSt)}} \longrightarrow Re = 354 \frac{300}{0,230 \cdot 6,5} = 71036,79 = \boxed{7,1 \cdot 10^4}$$




Emaitza:
 $f = 0,02$

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.4 ARIKETA. EMAITZA (II)

$$h_f = 6395 \cdot 10^6 \cdot f \text{ (marruskadura faktorea)} \cdot L(\text{km}) \frac{Q(\text{m}^3/\text{ordu})^2}{D(\text{mm})^5}$$



$$h_f = 6395 \cdot 10^6 \cdot 0,02 \cdot 46,5 \frac{(300)^2}{(230,25)^5} = 827,12 \text{ m}$$

“B” estazioko presioa Bernoulli ekuazioarekin kalkulatu da, non abiadura terminoak baliogabetzen diren bi estazioen arteko hodi-luzeran zehar emaria eta diametroa ez direlako aldatzen. Gainera, ponpei atxikitako terminoa ere baliogabekoa suposatu daiteke, ariketak hauei buruz ez duelako ezer esaten.

$$\frac{P_A(\text{kN/m}^2)}{\gamma(\text{kN/m}^3)} + \frac{v_A^2(\text{m/s})^2}{2 \cdot g(\text{m/s}^2)} + Z_A(\text{m}) + H_p(\text{m}) = \frac{P_B(\text{kN/m}^2)}{\gamma(\text{kN/m}^3)} + \frac{v_B^2(\text{m/s})^2}{2 \cdot g(\text{m/s}^2)} + Z_B(\text{m}) + h_f(\text{m})$$

0

OLIOBIDEEN DISEINUARI BURUZKO ARIKETAK

2.4 ARIKETA. EMAITZA (III)

Kontuan izanik aurreko ekuazioa eta ondorengo datuak:

$$\gamma = \delta \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)} = 720 \cdot 9,81 = 7063,2 \text{ N/m}^2 = 7,06 \text{ kN/m}^2$$

$$P_A = 25 \text{ kg/cm}^2 \cdot \frac{98,07 \text{ kN/m}^2}{1 \text{ kg/cm}^2} = 2451,75 \text{ kN/m}^2$$

“B” estazioan presioak izango lukeen balioa ondorengoa da:

$$P_B = P_A + \gamma(Z_A - Z_B - h_f) = 2451,75 + 7,06 \cdot (1050 - 600 - 827,12) = -210,7 \text{ kN/m}^2$$

$$-210,7 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{1 \text{ kg/cm}^2}{98,07 \text{ kN/m}^2} = -2,15 \text{ kg/cm}^2$$

Lortutako balioak adierazten duenez, “B” estazioko presioa negatiboa da eta honek ez du zentzu fisikorik. Egoera honek aditzera ematen du estazio honetara gasolina ez dela nahikoa den presioarekin heltzen, seguruenik, dauden marruskadurak eragindako karga-galera handiak direla eta.

2.4 ARIKETA. EMAITZA (IV)

- b) Adierazi ponparen bat gehitzea beharrezkoa den, eta horrela bada, kalkulatu bere potentzia, jakinik bere etekina %75a eta "B" estazioko presioa $0,18 \text{ kg/cm}^2$ izan behar dela.

Estazio honetan presioa nahikoa izan dadin ponpa bat instalatzea beharrezkoa izango litzateke. Eta ponpa honek izan behar duen potentzia, "B" estazioan $0,18 \text{ kg/cm}^2$ -ko presioa izateko, ondorengo ekuazioaren bidez kalkulatuko litzateke, non ezezaguna H_p (m) terminoa den:

$$P_h(\text{CV}) = \frac{\delta(\text{kg/m}^3) \cdot Q(\text{m}^3/\text{ordu}) \cdot H_p(\text{m})}{75 \cdot 3600 \cdot \eta}$$

2.4 ARIKETA. EMAITZA (V)

H_p (m) Bernoulli ekuazioaren bidez kalkulatzen da:

$$\frac{P_A \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}} + \frac{v_A^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} + Z_A \text{ (m)} + H_p \text{ (m)} = \frac{P_B \text{ (kN/m}^2\text{)}}{\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}} + \frac{v_B^2 \text{ (m/s)}^2}{2 \cdot g \text{ (m/s}^2\text{)}} + Z_B \text{ (m)} + H_f \text{ (h}_f\text{) (m)}$$

$$P_A = 0,18 \text{ kg/cm}^2 \cdot \frac{98,07 \text{ kN/m}^2}{1 \text{ kg/cm}^2} = 17,65 \text{ kN/m}^2$$

$$H_p = \left(\frac{P_B - P_A}{\gamma} \right) + Z_B + h_f - Z_A = \left(\frac{17,65 - 2451,75}{7,06} \right) + 600 + 827,12 - 1050 = 32,32 \text{ m}$$

H_p (m) kalkulata, bere balioa ponpa-potentziaren ekuazioan ordezkatzeko da eta kalkulua eginez ondorengo balioa lortzen da:

$$P_h = \frac{720 \cdot 300 \cdot 32,32}{75 \cdot 3600 \cdot 0,75} = \boxed{34,5 \text{ CV}}$$