



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

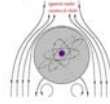
MAKINA HIDRAULIKOAK: ARIKETA-BILDUMA

Igor Peñalva
Gabriel Ibarra
Natalia Alegría
Concepción Olondo

**EUSKARA ETA ELEANIZTASUNeko
ERREKTOREORDETZAREN SARE ARGITALPENA**

ISBN: 978-84-9860-810-6

Liburu honek UPV/EHUko Euskara eta Eleaniztasuneko Errektoreordetzaren dirulaguntza jaso du



MAKINA HIDRAULIKOAK: ARIKETA-BILDUMA

Egileak: Igor Peñalva, Gabriel Ibarra, Natalia Alegria eta Concepción Olondo

AURKIBIDEA

Hitzaurrea.....	3
Ponpak.....	5
Turbinak.....	35
Emaitzak	57

Hitzaurrea

Eskuartean duzun liburua Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) Bilboko Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoan *Makina Hidraulikoak* irakasgaiaren 2004-2005 ikasturtetik 2010-2011 ikasturtera bitartean proposatu diren azterketetako enuntziatuen bilduma bat da.

Aipatutako irakasgaiaren, makina hidraulikoen artean turbomakinak landu dira eta, zehazki, ponpa eta turbina hidraulikoak aztertu dira. Liburu honetan erabaki da azterketetako enuntziatu horiek kronologikoki antolatu beharrean makina motaren arabera sailkatzea, eta, kasu bakoitzean, antzekoak diren ariketak elkartu dira. Egileek espero dute antolaketa hori ikasleen mesederako izatea.

Urteetan, liburu honen arduradun diren irakasleek harreman estua izan dute ikasleekin, bai irakasgai honetan, baita beste batzuetan ere. Esperientzia aberasgarri horren fruituak oparoak izan dira. Ikasleek ez ezik, irakasleok ere asko ikasi dugu. Harreman horren ondorio nagusietako batek magnitudeen eta unitateen garrantziarekin du zerikusia. Oro har, ikasleek ingeniari hidrauliko bati dagozkion kalkuluak ondo egiteko gaitasuna garatu dute ikasturtean zehar, baina lortutako emaitzen zenbakizko balioari egokitu beharreko unitatea "ahaztu" dute sarritan. Horrek zalantzan jartzen du aurretik egindako lana. Hori dela eta, unitateen garrantzia azpimarratzeko asmoz, liburu honetan unitateak kortxeteen artean idatzi dira.

Egileek bene-benetan eskertu nahi dute Euskara eta Eleaniztasun Errektoreordetzaren laguntza. Lehendabizi, eskerrak euskarazko ikasmaterialgintza sustatzeko 2011ko deialdian parte hartzeko aukera zabaltzeagatik. Horrez gainera, eskerrak unibertsitate-irakaskuntzan euskaraz lan egiten dugunon bidea errazteagatik. Argi dago erreferentzia gisa erabili daitezkeen euskaraz idatzitako testu teknikoaren eskasia nabarmena dela. Hutsune hori betetzeko eta euskaraz irakasten dugunok sarritan izaten ditugun hizkuntza-zalantzak argitzeko, Euskara eta Eleaniztasun Errektoreordetzak eskaintzen dituen baliabideak lanabes paregabeak dira.

Liburu hau makina hidraulikoen ikasketan murgildu nahi duten ikasleen onurarako izatea espero dugu.

Bilbon, 2011ko irailaren 16an

Ponpak

1. ARIKETA

Baserri bateko baratzea ureztatzeko ponpa bat aukeratu behar da. Ureztatzeko ura izateko, euri-urak biltzen dituen hormigoizko depositu bat eraiki dute. Depositu horretan ur-maila lur azpitik 1 [m]-ra kokatzen da. Bere luzera osoan 6 [mm]-ko diametroa duen hodi malgu bat erabiliz ureztatzen da baratzea. Jabea adinekoa denez, ureztatzea jesarrita egin ohi du; bere eskuaz hodi malguaren pitari eusten dio, eta handik irteten da ura ur gainerik 1 [m]-ra. Bere baratzeko bazter guztietara heldu ahal izateko, ura abiadura handian irtetea behar du jabeak.

Horretarako, 250 [mm]-ko ponpa baten modeloa du, eta 2.900 [bira/min]-ko biraketa-abiaduran, kurba karakteristikoaren itxura hau da:

$$H = C_0 + C_1 \cdot Q^2$$

$$\eta = E_0 \cdot Q + E_1 \cdot Q^2$$

Adierazpen horietan emariak [L/min]-tan, altuera [m U.Z.]-tan eta errendimendua [-]-tan badatoz, koefizienteen balioak 1.1 Taulan adierazitakoak dira:

diametroa [mm]	C ₀	C ₁	E ₀	E ₁
250	54,27	- 0,0107	0,0339	- 0,00047348

1.1 Taula.- Ponparen kurben koefizienteak

Ponpari eragiten dion motor elektrikoak 0,8 [-]-ko errendimendua du, eta 10 [m/s]-ko ur-abiadura lortu nahi da. Horretarako, hiru aukera hartu dira kontuan:

- a) Bultzatze-hodian kokatutako balbula baten bidez erregulatzea.
- b) By-pass bat instalatzea.
- c) 300 [mm]-ko diametroa duenaren diseinu berberaz eskalan egindako ponpa baten biraketa-abiadura aldatzea.

Bultzatzean zein by-passean balbulak mota berekoak dira, hots, gillotina biribildun ate-balbulak eta, instalazioan karga-galerak garatzen dituzten elementu bakarrak direla onartuko dugu.

Kalkulatu irtenbide bakoitzari dagokion funtzionamendu-puntua eta instalazioaren adierazle energetikoa [kW-h/m³]-tan, eta aukeratu irtenbiderik eraginkorrena.

2. ARIKETA

Hauek dira ponpa zentrifugo baten kurba karakteristikoak 1.490 [bira/min]-ko biraketa-abiaduran:

$$H = 21,15 + 2,23 \cdot Q - 0,1538 \cdot Q^2$$

$$P_{\text{mekanikoa}} = 0,6091 - 0,0114 \cdot Q + 0,0045 \cdot Q^2$$

Adierazpen horietan H [m U.Z.]-tan, emariak [m³/h]-tan eta ardatzeko potentzia [kW]-etan sartu behar dira.

Bero-trukagailu txiki bat urez hornitu nahi da zirkuitu itxi batean (maila aldaketarik gabekoa) lan egiteko, eta zirkuituan dauden karga-galerek $K \cdot Q^2$ itxura dute (ikus 2.1 Irudia). Balbula zabalik dagoela, ponpak 3.000 orduz egiten du lan urtean zehar, 1.490 [bira/min]-ko abiaduran gutxi gorabehera, eta K -ren balioa 0,1 [m U.Z./(m³/h)²] da. Gainerako funtzionamendu-puntuak balbula zabalik dagoela ponparen biraketa-abiadura aldatuz erregulatzen dira; horretarako, maiztasunaren alderanzgailu bat erabiltzen da. Alderanzgailu horren errendimendua 0,93 [-] da, eta konstantetzat jo daiteke. Gainerako lan-emari horiek 6 [m³/h], 8 [m³/h], 10 [m³/h] eta 12 [m³/h] dira, eta batez beste urtean zehar ponpa 100 orduz ibiltzen da 6 [m³/h]-ko emariarekin, 125 orduz 8 [m³/h]-ko emariarekin, 250 orduz 10 [m³/h]-ko emariarekin eta 500 orduz 12 [m³/h]-ko emariarekin.

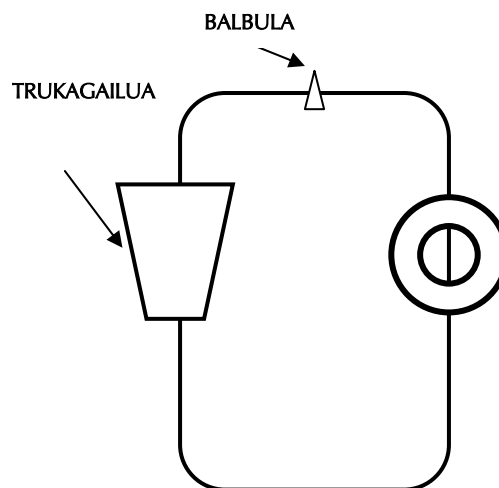
- a) π zenbaki bikote hau kontuan hartuz: $\pi_1 = Q/(D^3 \cdot N)$, $\pi_2 = g \cdot H/(D^2 \cdot N^2)$, zehaztu antzekoak diren bi punturen arteko potentzien erlazioa lortzen duen π zenbaki berria.
- b) 1.490 [bira/min]-ko biraketa-abiaduran ezagunak diren $H(Q)$ eta $P_m(Q)$ kurbetatik abiatuz, lortu ponpa berarentzat edozein N biraketa-abiadurarentzako erabilgarriak diren $H(Q,N)$ eta $P_m(Q,N)$ kurbak.
- c) Karga-faktore eta potentzia izendatu bakoitzarentzako errendimendu-datuak biltzen dituen 2.1 Taulan agertzen diren motorretatik, aukeratu zein den errodeteari akoplatzeko egokiena (Taulak 1.490 [bira/min]-ko biraketa-abiadurarentzako balio du). Motorra aukeratzeko irizpidea: balbula zabalik dagoela, ardatzean behar den potentzia [%] 20 handitzea, eta, jarraian, taulako motor elektrikoetatik hurbilenera aukeratzea.
- d) Zehaztu funtzionamendu-puntuak eta instalazioaren energia espezifikoa.

1. oharra.- Funtzionamendu-puntuak etengabe aldatzen direnez, alderanzgailua beti dago konektatuta.

2. oharra.- Motorren errendimenduak lortzeko interpolatu edo extrapolatu kasu bakoitzean.

potentzia mekaniko izendatua [kW]	karga-faktorea [-]		
	4/4	3/4	2/4
	errendimendua [%]		
0,18	64	60	52
0,25	66	63	56
0,37	69	67	59
0,55	70	70	65
0,75	72	72	65
1,10	75	75	72
1,50	75	74	73
2,20	80	80	78
3,00	81	81	79
4,00	83	82	81
5,50	85	84	80

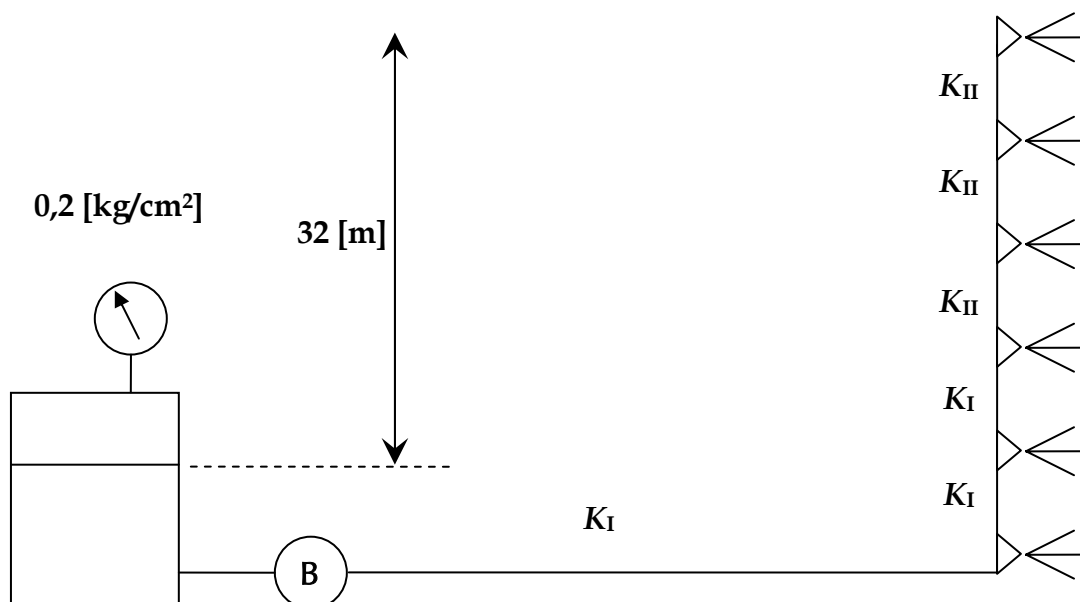
2.1 Taula.- Motor elektrikoaren ezaugarriak



2.1 Irudia.- Zirkuitu hidraulikoa

3. ARIKETA

Mendian dagoen baserri batean suteen aurkako sistema bat diseinatu nahi da. Horretarako, presio-depositu bat, ponpa bat, bultzatze-hodi horizontal bat eta hodi baten bidez konektatutako 6 ihinztargailu erabiliko dira, 3.1 Irudian erakusten den moduan.



3.1 Irudia.- Suteen aurkako sistema

Bultzatze-hodiaren amaieran lehen ihinztargailua kokatzen da, eta hodi horrekin angelu zuzen bat eratuz, gainerako ihinztargailuak konektatzen dituen hodia. Sistema martxan dagoenean, 6 ihinztargailu horietako bakoitzetik irteten den emaria berdina dela onartuko dugu.

Presio-depositua $0,2 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$ -ko presiopean dagoenean, ihinztargailurik garaienaren eta deposituaren mailaren artean 32 [m] -ko kota-aldea dago.

Ihinztargailurik garaiena lotzen duen hodi-tarteak eta haren atzetik agertzen diren hurrengo bi tarteak $K_{II} = 50.000 \text{ [m U.Z.} \cdot (\text{m}^3/\text{s})^{-2}\text{]}$ balioko karga-galeren konstantea dute. Bultzatze-hodi horizontalak eta gainerako ihinztargailuak lotzen dituzten tarteak, ordea, $K_I = 21650 \text{ [m U.Z.} \cdot (\text{m}^3/\text{s})^{-2}\text{]}$ -ko konstantea dute. Ihinztargailuaren pitaren irteera-diametroa 5 [cm] -koa da. Karga-galera sekundarioak ez dira aintzat hartuko.

Instalazioa guztiz definitzeko, sutea itzaltzeko bermea eskaintzen duten zenbait aukera daude:

- a) 3.1 Taulan erakusten diren funtzionamendu-puntuak dituen ponpa bakar bat jarri

Q [m ³ /s]	H [m]	η [%]
0	50	0
0,028	0	0
0,014	35	75

3.1 Taula.- Ponparen funtzionamendu-puntuak

- b) Seriean konektatutako bi ponpa berdin jarri; haietako bakoitzak kurba karakteristiko hauek ditu:

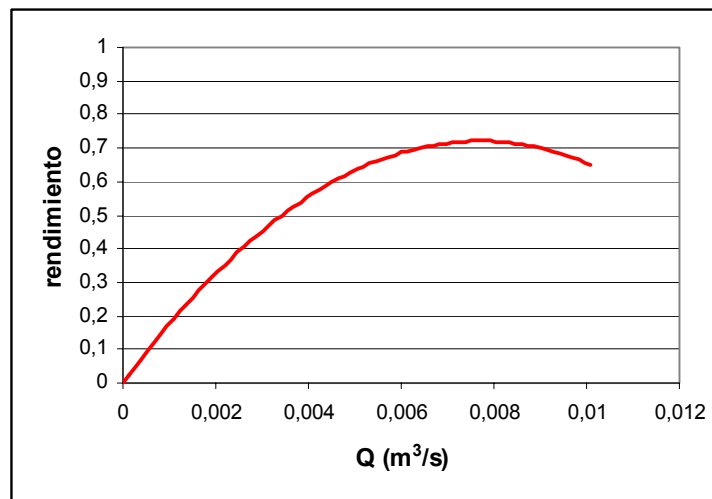
$$H = 26,20 - 4.808,16 \cdot Q^2 \quad \text{eta} \quad \eta = 93,6 \cdot Q - 2.293,92 \cdot Q^2$$

(H [m U.Z.], Q [m³/s] eta η [-])

- c) Paraleloan konektatutako bi ponpa berdin jarri; haietako bakoitzak kurba karakteristiko hauek ditu:

$$H = 40 - 19.440 \cdot Q^2 \quad (H \text{ [m U.Z.], } Q \text{ [m}^3\text{/s]})$$

eta η - Q grafika (ikus 3.2 Irudia).



3.2 Irudia.- η - Q grafika

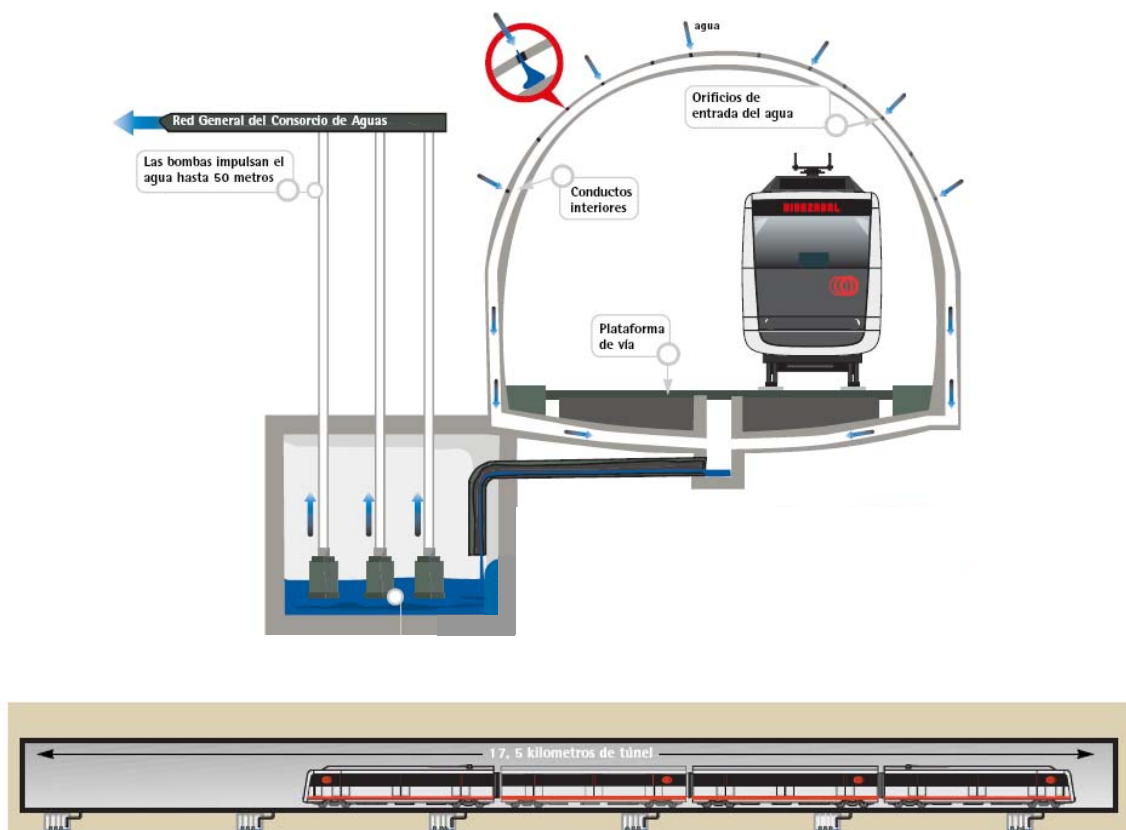
3.2 Taulan agertzen diren energiaren eta uraren kostuak kontuan hartuz, eta sutea dagoenean sistema batez beste 2 orduz martxan egongo dela jakinik, zein izango da aukera bakoitzaren kostua? Ponpen hasierako prezioa kontuan hartu barik, zein da aukerarik onuragarriena?

	kostua [€]
[kW-h]	0,20
ur [m ³]	0,15

3.2 Taula.- Energiaren eta uraren kostuak

4. ARIKETA

“Lur azpiko Bilboko metro-geltokien bobeda famatu eta ezagun bilakatu duten lerro abangoardisten atzean, hodi-sare konplexu bat ezkututzen da; sare horri esker, akuiferoetatik eta eurite oparoetatik datorren ura ibilarazi egiten da. Ur garbi emari hori U Partzuergoaren sare nagusirantz ponpatzen da; 17,5 kilometro tuneletan zehar banatuta, 44 putzuz eta 88 ponpaz eratutako drainatze-sistema indartsu bat erabiltzen da horretarako. (...) Tunela guztiz irazgaiztu beharrean, ura bideratzea erabaki zen. Hormigoioan egindako zulo txo batzuei esker, likidoa hormigoio geruzen eta material isolatzaile geruzen arteko hodietan zehar mugi daiteke. Trenbidearen plataforma azpian kokatutako kanal nagusi batek ur hori biltzen du, eta lur azpiko tartean dauden 88 putzuetako batera eramaten du. Deposituetan bildu eta gero, ponpek ura Ur Partzuergoaren sare nagusira bidaltzen dute.”



4.1 Irudia.- Bilboko metroak duen drainatze-sistema, Metroberri 48, 2007ko abendua

Suposatu lur azpiko tartean dauden putzu horietako batek 3 ponpa berdin-berdin dituela, 4.1 Irudian agertzen diren moduan konektatuta. Une jakin batean putzu horretan lortutako ur-mailak pizte-sistema martxan jartzen du, eta hiru ponpak, era berean, martxan jartzen dira putzuaren barruan gordetako ura kanporatzeko. Ponpa bakar baten 2.900 [bira/min]-ko biraketa-abiadurako kurba karakteristikoak ekuazio hauen bitartez adieraz daitezke Q [m^3/s]-tan dagoela:

$$H = 100 - 6 \cdot 10^4 \cdot Q^2 \quad [\text{m U.Z.}]$$

$$\eta = 73,49 \cdot Q - 1800 \cdot Q^2 \quad [-]$$

Dimentsio handiko eta presio atmosferikoan dagoen lur azpiko putzuaren eta sare nagusiko konexioaren arteko 50 [m]-ko tartea gainditzeko zirkuitu hidraulikoa diseinatu da. Konexio-puntu horretan ponpatutako ura $4,905 \cdot 10^4$ [Pa]-eko presio erlatiboarekin sartu behar da eta puntu horretan osagai zinetikoa ez da aintzat hartzeko modukoa. Zirkuituaren karga-galera sekundarioak eta ponpa bakoitzaren bultzatze-hodien karga-galera primarioak ez dira kontuan hartuko. Horrela, zirkuitu osoaren karga-galerak sare nagusiarekin bat egiten duen hodi komunean biltzen dira, eta horiek kalkulatzeko $K = 3.500$ [$\text{m U.Z.}/(\text{m}^3/\text{s})^2$] konstantea erabil daiteke ponpatutako emari totala kontuan hartuz.

Hau eskatzen da:

- a) Kalkulatu putzutik ateratzen den emaria.
- b) Ponpek mugitzen dituzten motorren errendimendua konstante mantentzen dela eta horren balioa [%] 90 dela onartuz, kalkulatu instalazioaren baliokide energetikoa [$\text{kW-h}/\text{m}^3$]-tan.

Ustekabean, hiru ponpetatik batek huts egiten du. Martxan jarraitzen duten bi ponpak erabiliz putzutik aurreko emari berbera atera nahi bada:

- c) Kalkulatu zein biraketa-abiaduratan birarazi beharko diren.
- d) Motorren errendimendua konstante mantentzen dela onartuz, kalkulatu baliokide energetiko berria.

5. ARIKETA

Prozesu kimiko fin bat egiteko aukera aztertzen ari dira. Badakigu murriztutako grabitate baldintzetan eraginkorragoa izango dela. Hori dela eta, aurreikuspen modura, etorkizunean ezaugarri horiek dituen ilargi-base batean egongo denaren hasierako diseinu bat egiten ari dira; han grabitatea Lurrean baino 6 aldiz txikiagoa da gutxi gorabehera. Planta horren osagaietako bat hozketa-sistema da. Horretarako, 600 [kg/m³]-ko dentsitatea duen hozgarria erabili nahi da, ponpa batek eragiten duen zirkuitu itxi batean. Ilargiko operazio-baldintzetan zirkuitu itxi horretan instalatu beharreko ponpak, 80 [m³/h]-ko emaria bultzatu beharko du 990 [bira/min]-ko biraketa-abiadura eta 234,64 [m L.Z.]-ko altuera manometrikoa eskaini.

Helburu horrekin, 200 [mm]-ko diametroko errodetea duen modelo batean oinarritutako ponpa zentrifugoa erabiliko da. Modelo horren saiakuntzak Lurrean egin dira 2.900 [bira/min]-ko biraketa-abiadura eta ilargi-basean erabiliko den hozgarri berbera erabiliz (dentsitatea 600 [kg/m³]). Ponparen modelo horrekin laborategi batean probak egin dira: xurgatzean bakuometro bat dago eta bultzatzean manometro bat. Xurgatze-hodiak eta bultzatze-hodiak diametro berbera dute eta ponparen sarrerako eta irteerako kotak ia-ia berdinak dira. Funtzionamendu-emarien neurketak 5.1 *Taulan* daude bilduta.

Q [m ³ /h]	bakuometroa [m L.Z.]	manometroa [m L.Z.]
1,8	0,9	54,1
2,4	1,1	53,4
3,0	1,3	52,2
3,6	1,6	50,4
4,2	1,8	49,2
4,8	1,9	47,6
5,4	2,0	46,0
6,0	2,1	43,9
6,6	2,2	42,3
7,2	2,3	40,2
7,8	2,5	38,0
8,4	2,7	35,8
9,0	2,9	33,1

5.1 *Taula.- Funtzionamendu-emarien neurketak*

Bestalde, ponparen modeloak errendimenduaren kurba hau du:

$$\eta = 0,1956 \cdot Q - 0,0123 \cdot Q^2 \quad [-], \quad Q \text{ [m}^3\text{/h]-tan}$$

Modelo horretan oinarritutako makina ilargi-basean fabrikatu eta instalatu beharreko prototipo bat da eta errodeteak 600 [mm]-ko diametroa izango du. Hau eskatzen da:

- a) Kalkulatu lurrean martxan dagoen makina modeloari dagokion puntuaren antzekoa den prototipoaren funtzionamendu-puntua.
- b) Ilargian beste puntu batean lan egitea espero da, emaria 72 [m³/h] eta $H = 764,13$ [m L.Z.] izanik. Helburu horrekin, zirkuituaren kurba karakteristikoa aldatzen da. Baina, uste da, aurreko prototipoaren biraketa-abiadura aldatzea ez dela egokia, eta, ondorioz, seriean akoplamendu bat egitea erabaki da. Zenbat ponpa akoplatu beharko dira eta zer errendimendurekin egingo du lan akoplamenduak?

6. ARIKETA

Ura ponpatu nahi da beheko urtegi batetik gorago dagoen beste batera. Urtegi biek dimentsio handiak dituzte eta presio atmosferikoan daude. Beheko urtegiaren maila itsas mailatik gora 100 [m] eta 115 [m] artean aldakorra da. Goiko urtegiaren maila minimoa 130 [m] da itsas mailatik gora, eta beheko xurgatze-urtegiaren karrera berdina du.

Zirkuitu hidraulikoak xurgatze-hodiarentzat eta bultzatze-hodiarentzat karga-galeren balio hauek ditu:

$$K_{\text{xurg}} = 200 \left[\frac{\text{m U.Z.}}{(\text{m}^3/\text{s})^2} \right] \quad \text{eta} \quad K_{\text{bultz}} = 800 \left[\frac{\text{m U.Z.}}{(\text{m}^3/\text{s})^2} \right]$$

Erabiliko den ponpa aukeratu da eta fabrikatzaileak kurba karakteristikoko hauek eman ditu $N = 1.400$ [bira/min]-ko biraketa-abiaduran, eta Q [m^3/s]-tan:

$$\begin{aligned} H &= 60 - 1.500 \cdot Q^2 && [\text{m U.Z.}] \\ \eta &= 16 \cdot Q - 80 \cdot Q^2 && [-] \\ NPSH_R &= 5 - 140 \cdot Q + 1.000 \cdot Q^2 && [\text{m U.Z.}] \end{aligned}$$

Horrez gainera, fabrikatzaileak 0,5 [m]-ko segurtasun-tartea uztea aholkatzen du ezarpen-kota aukeratzen denean.

- a) Zehaztu urtegien mugako mailetan izango diren funtzionamendu-puntuak (H , Q , η).
- b) Zehaztu ezarpen-kota fabrikatzaileak eskainitako informazioaren arabera eta konparatu dauden estatistikekin. Estatistiken kasuan, erabili funtzionamendu-puntu optimoa.
- c) Zehaztu kasuren batean ponpaketa-ezagonkortasuna gerta daitekeen.

Sistemak ponpatutako emaria handitzea erabaki da. Erreferentzia gisa urtegien arteko maila-alde minimoa dagoen kasua hartzen da, hau da, goiko urtegia hutsik eta behekoa beteta. Egoera horretan, bi aukera planteatzen dira:

- A AUKERA: bi ponpa berdina kokatu paraleloan biraketa-abiadura aldatu barik. Kasu horretan, onar daiteke motorren errendimendua [%] 70 dela.
- B AUKERA: ponpa bakar baten biraketa-abiadura handitu A AUKERAN lortutako funtzionamendu-puntu berbera lortu arte (H , Q). Kasu horretan, onar daiteke motorren errendimendua [%] 90 dela.

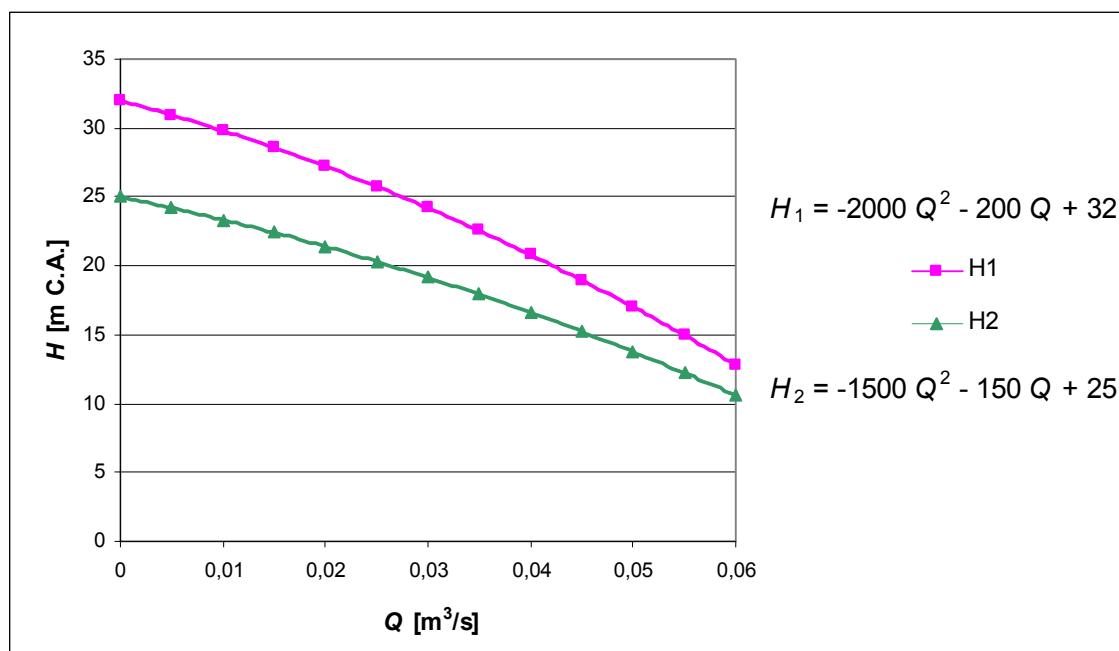
- d) Zehaztu funtzionamendu-puntu hori eta bigarren aukeran beharrezkoa den biraketa-abiadura.
- e) Kalkulatu prozesuaren eraginkortasun energetikoa kasu bietan.
- f) Aztertu kabitazio-arriskurik dagoen kasu bietan c) atalean erabakitako ezarpen-kota kontuan hartuz.
- g) Aukeratu bi aukeretatik bat eta arrazoitu erantzuna.

7. ARIKETA

Atmosferara zabalik -5 [m]-ko kotan dagoen putzu batetik ponpa baten bidez urez hornitu nahi da 5 [m]-ko kotan lorategi batean dagoen iturri bat. Egoera horretan era jarraian 2 [m/s]-ko abiadura irtetzen da ura.

Xurgatzean dagoen karga-galeren konstantea $K_{xurg} = 2.000 \text{ [m U.Z.}/(\text{m}^3/\text{s})^2]$ da, eta bultzatzeari dagokiona, $K_{bultz} = 8.000 \text{ [m U.Z.}/(\text{m}^3/\text{s})^2]$. Bi hodiaren diametroa berdina da, 150 [mm]-koa.

Fabrikatzaileak 7.1 Irudian erakusten den informazioa eman du.



7.1 Irudia.- Fabrikatzaileak emandako informazioa

Aukeratu fabrikatzaileak eskainitako bi ponpetatik egokiena, eta zehaztu funtzionamendu-puntua.

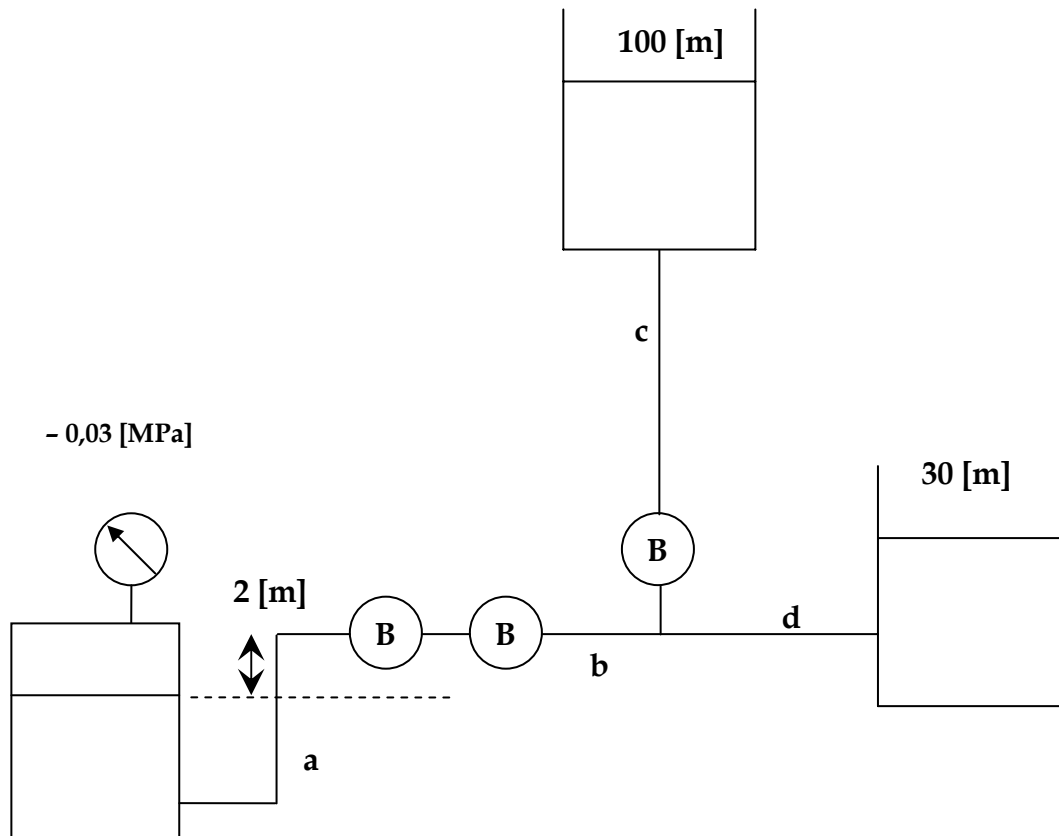
Iturriaren funtzionamendu egokia ikusi eta gero, instalazioan beste iturri bat gehitzea planteatu dute. Iturri horrek hornitze-hodia aurreko sistemaren bultzatze-hodiaren erdian izango luke, eta, orainoan, $K_{bultz} = 4.000 \text{ [m U.Z.}/(\text{m}^3/\text{s})^2]$ izango litzateke, bai bultzatze-hodiaren adarkatzearen aurretik, bai atzetik dauden zatientzako, eta baita iturri berria hornitzen duen hodiarentzako ere.

Iturri berrira heldu beharreko emariak lehen zegoen iturrira heltzen zenaren herena izan behar du eta orainoan lehen iturritik irtetzen den emaria ezezaguna da.

Aurretik aukeratutako ponparekin, esan iturri berria ze kotatan ezarri behar den eta funtzionamendu-puntua zein den.

8. ARIKETA

8.1 Irudiak kota ezberdinetan kokatutako bi depositu urez hornitzeko instalazioaren eskema sinplifikatua erakusten du; instalazio horren bidez bi auzo-gune hornituko dira urez. Depositu guztiak handiak dira eta presio atmosferikoan daude, xurgatze-depositua izan ezik. Azken hau azpipresio baten eraginpean dago. Kotei buruzko datuak eta presioei dagozkienak 8.1 Irudian bertan erakusten dira.



8.1 Irudia.- Instalazioaren eskema sinplifikatua

Irudian erakusten diren a, b eta d tarteetan karga-galera totalak 8.1 Taulan agertzen diren konstanteak erabiliz kalkula daitezke.

TARTEA	a	b	d
$K [m \text{ U.Z.}/(m^3/s)^2]$	12	80	250

8.1 Taula.- Tarte bakoitzaren karga-galeren konstanteak

Ponpaketa egiteko ponpa mota jakin bat erabiltzen da. Ponpa horren kurba karakteristikoak fabrikatzaileak berak ematen ditu adierazpen

matematikoen bidez . Adierazpen hauetan emaria [m³/s]-tan adierazten da eta erabilgarriak dira biraketa-abiadura $N = 1.500$ [bira/min] denean:

$$H = 70 - 120 \cdot Q^2 \quad [\text{m U.Z.}]$$

$$\eta = 4 \cdot Q - 5,5 \cdot Q^2 \quad [-]$$

$$NPSH_R = 2 - 3 \cdot Q + 16 \cdot Q^2 \quad [\text{m U.Z.}]$$

Horrez gainera, ponparen ezarpen-kota zehazteko fabrikatzaileak aholkatzen du 0,5 [m U.Z.]-ko segurtasun-tartea kontuan hartzea.

Guztira hiru ponpa berdin erabiltzen dira. Ponpaketa nagusia seriean lotutako bi ponpen akoplamendua erabiliz egiten da eta hirugarren ponpa posiziorik gorenean dagoen deposituaren hornikuntza laguntzeko dago.

Hau eskatzen da:

- a) Kalkulatu emarien banaketa instalazioan, c tartearen karga-galeren konstantea eta ponpa bakoitzaren funtzionamendu puntua erregimen iraunkorrean deskribatutako baldintzetan. Kontuan hartu xurgatze-depositutik 0,528 [m³/s]-ko ateratzen direla.
- b) Kalkulatu instalazioaren baliokide energetikoa [kW-h/m³]-tan, motorren errendimendua 0,8 [-] dela eta konstante mantentzen dela joz.
- c) Egiatzatu ponpetariko batek kabitazio baldintzetan lan egiteko arriskurik badagoen. Baiezko kasuan, arriskua du(t)en ponp(et)an fenomeno hori ekiditeko hiru soluzio hauetako bakoitza kalkulatu era independentean:
 1. Ezarpen-kota berria.
 2. Xurgatze-deposituaren presio berria.
 3. Biraketa-abiadura berria.
- d) Kalkulatu ponpa bakar baten errendimendua eta abiadura espezifikoa funtzionamendu-puntu optimoan.

9. ARIKETA

Gastein-go bainuetxean, Austrian, radona erabiliz tratamenduak egiten dira. Radona uretan zein airean dago. Tratamendu berri batentzat ponpaketa-instalazio bat egin nahi da, eta bere ekuazio karakteristikoa hau da:

$$h_m = 50 + 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 \quad [\text{m U.Z.}], Q [\text{m}^3/\text{h}]\text{-tan.}$$

Instalazio horrentzat ponpa komertzial bat erabiltzea erabaki da; ponpa horrek 1.500 [bira/min]-ko biraketa-abiadura izendatuan kurba karakteristikoa hauek ditu:

$$h_B = 75 - 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2 \quad [\text{m U.Z.}], Q [\text{m}^3/\text{h}]\text{-tan,}$$

eta bere xurgatze-altuera garbi positiboa:

$$NPSH_R = 0,5 + 4,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 \quad [\text{m U.Z.}], Q [\text{m}^3/\text{h}]\text{-tan.}$$

Ezarpen-kota 2 [m] da. Xurgatzean, galeren altuera $5 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2$ [m U.Z.] da ponparen sarreraraino, Q [m³/h]-tan. Ponpatutako ura 17,5 [°C]-an dago, bere lurrun-presioa $h_{ps} = 0,21$ [m U.Z.] da eta presio atmosferikoaren balioa ohikoa.

- a) Kalkulatu funtzionamendu-puntua eta egiaztatu kabitatzen duen ala ez.

Biraketa-abiadura 1.600 [bira/min]-ra aldatzen bada,

- b) Lortu h_B eta $NPSH_R$ kurba berriak.

Era berean, xurgatzean karga-galera handiagoak sartzen badira eta horien balioa $2,5 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2$ [m U.Z.]-koa bada Q [m³/h]-tan, eta ezarpen-kota lehen baino 3 [m] gorago jartzen bada,

- c) Kalkulatu funtzionamendu-puntu berria.

10. ARIKETA

Berdin-berdinak diren hainbat motoponpa-taldez osatutako tresneria erabil daiteke. Talde bakar baten kurba karakteristikoa hau da:

$$H_m = 40 - 4 \cdot Q - 100 \cdot Q^2 \quad [\text{m U.Z.}] (Q \text{ [m}^3/\text{s]-tan})$$

Ponpa horiek erabiliz, 1 [m³/s]-ko emaria lortu behar da eta 30 [m]-ko altuerara igo. Horretarako, galera-kurba hau duen hodi bat erabiliko da:

$$\Delta H = 60 \cdot Q^2 \quad [\text{m U.Z.}] (Q \text{ [m}^3/\text{s]-tan})$$

Hau eskatzen da:

- a) Zer akoplamendu mota egin beharko da eskakizun horiek betetzeko?
- b) Zenbat ponpa erabili behar dira gutxienez?
- c) Horniketa soil-soilik paraleloan akoplatutako 2 ponpa erabiliz egin behar bada, zein izan beharko litzateke haien biraketa-abiadura hasierako abiadura 500 [bira/min] bada?

11. ARIKETA

40 [°C]-an 1.250 [kg/m³]-ko dentsitatea duen likido bat ponpatu nahi da paraleloan konektatutako 3 ponpa erabiliz. Ponpaketa hori depositu bateraino egin nahi da eta haren maila ponpen xurgatze-ahotik gora 35 [m]-ra dago. Depositu hori presurizatuta dago -0,2 [kg/cm²]-ko presio manometrikoan.

Likidoa xurgatzen den deposituaren maila ponpen ahotik behera 2 [m]-ra dago eta presio atmosferikoan p_{atm} (750 [torr]).

Xurgatze-hodiek 90 [°]-ko ukondo bat dute (horren karga-galera 3,5 [m]-ko hodi zuzenaren baliokide da) eta baita oin-balbula bat ere (horren karga-galera xurgatze-hodiaren abiadura-altuera baino 3 aldiz handiagoa da). Hodi zati zuzenen luzera totala 8 [m] da eta diametroa 150 [mm]. Hodiak 0,019 [-] baliadun marruskadura-koefizientea du.

Bultzatze-hodiak galeren kurba hau du:

$$\Delta H = 15.000 \cdot Q^2 \quad [\text{m L.Z.}], Q [\text{m}^3/\text{s}]\text{-tan}$$

Fabrikatzaileak ponpaketa errealean erabiliko den biraketa-abiadura berbera erabiliz (480 [bira/min]) ponpa bakarrarekin saiakuntzak egin ditu urarekin. Lortutako emaitzak 11.1 *Taulan* erakusten dira.

Q [m ³ /s]	H [m U.Z.]	P [W]
0	177	-
0,05	147,5	90.407,67
0,15	0	-

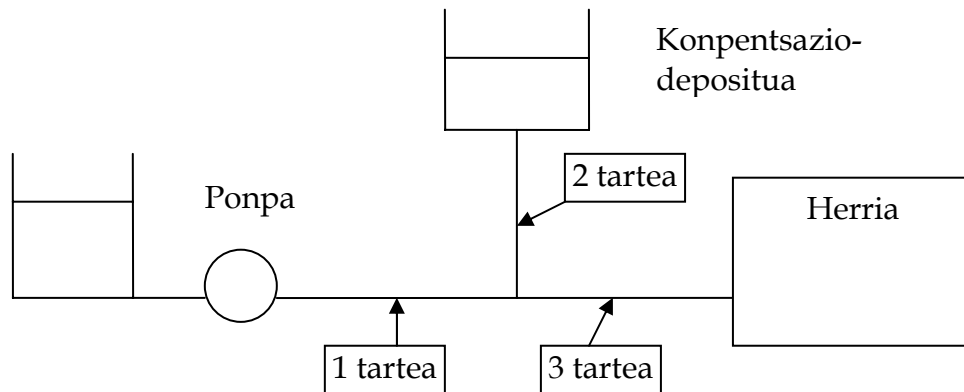
11.1 Taula.- Ponparekin egindako saiakuntzen emaitzak

Hau eskatzen da:

- a) Ponpa zentrifugoaren kurba karakteristikoa.
- b) Eskala-efektuak kontuan hartzeko modukoak ez badira, kalkulatu ponpatuko den likidoarentzat ponpa bakoitzak eta ponpaketa-sistema osoak ematen dituzten emariak, altuera manometrikoa eta potentzia hidraulikoa [kW]-tan.
- c) Mantentze-lanak direla eta ponpetako bat deskonektatzen bada, zein izango da gainontzeko 2 ponpen biraketa-abiadura aurreko funtzionamendu-puntu berbera lortzeko?

12. ARIKETA

Herri bat urez hornitzen da ponpaketa-estazio baten bidez. Ponpaketa-estazio hori konpentsazio-depositu baten bidez erregulatzen da, 12.1 Irudian erakusten den moduan.



12.1 Irudia.- Ponpaketa-estazioaren eskema

Ponpaketa-deposituaren gainazal librea erreferentzia-maila gisa har daiteke eta tarteen galeren K -ren balioak hauek dira:

$$K_1 = 50 \left[\frac{\text{m U.Z.}}{(\text{m}^3/\text{s})^2} \right], K_2 = 30 \left[\frac{\text{m U.Z.}}{(\text{m}^3/\text{s})^2} \right] \text{ eta } K_3 = 40 \left[\frac{\text{m U.Z.}}{(\text{m}^3/\text{s})^2} \right]$$

Ponparen ekuazio karakteristikoa 1.500 [bira/min]-ko biraketa-abiadura hau da: $H = 90 - 75 \cdot Q^2$. Ekuazio horretan ponparen altuera [m U.Z.]-tan eta emaria [m^3/s]-tan daude.

Gauean ager daitezkeen presio altuak ekiditeko, herriaren sarreraren erreferentzia-mailan kokatuta) presioa murrizteko balbula bat jarri da eta 30 [m U.Z.]-ko balioan tara ezarri zaio. Puntu horretan biztanleriaren kontsumoak neurtu dira eta lortutako balioak hauek dira:

- 100 [L/s] haran aldia osatzen duten 16 orduetan zehar; aldi horretan ponpak etengabe funtzionatzen du herria hornituz eta, era berean, depositua betez, eta
- 500 [L/s] puntako aldia edo kontsumo-aldia osatzen duten 8 orduetan zehar; aldi horretan ponpa itzalita dago eta herriaren hornikuntza soilik konpentsazio-biltegiaren bidez egiten da.

Datu hauekin, hau eskatzen da:

- a) Konpentsazio-depositua zein kotatan kokatu beharko litzatekeen puntako periodoari dagokion egoerarik txarrean, presioa murrizteko balbulan presioa ezarritako tara-balioa izan dadin.
- b) Funtzionamendu-puntua, bai haran orduetan, bai puntako orduetan.
- c) Depositura heltzen den emaria mantenduz herrira heltzen den emaria [%] 60 handitu nahi bada, kalkulatu biraketa-abiadura berria.

13. ARIKETA

Baserri bateko baratzea ureztatzeko ponpa bat aukeratu behar da. Ureztatzeko ura izateko euri-urak biltzen dituen hormigoizko depositu bat eraiki dute. Depositu horretan ur-maila lur azpitik 1 [m]-ra kokatzen da. Baratzea bere luzera osoan 6 [mm]-ko diametroa duen hodi malgu bat erabiliz ureztatzen da. Jabea adinekoa denez, ureztatzea jesarrita egin ohi du; bere eskuaz hodi malguaren pitari eusten dio, eta handik irteten da ura, ur gainetik 1 [m]-ra. Bere baratzeko mutur guztietara heldu ahal izateko, ura abiadura handiz irtetea behar du jabeak.

Horretarako, 250 [mm]-ko ponpa baten modeloa du, eta 2.900 [bira/min]-ko biraketa-abiaduran kurba karakteristikoaren itxura hau da:

$$H = C_0 + C_1 \cdot Q^2$$

$$\eta = E_0 \cdot Q + E_1 \cdot Q^2$$

Adierazpen matematiko horietan emariak [L/min]-tan, altuera [m U.Z.]-tan eta errendimendua [-]-tan badatoz, koefizienteen balioak 13.1 Taulan adierazitakoak dira.

diametroa [mm]	C ₀	C ₁	E ₀	E ₁
250	54,27	-0,0107	0,0339	-0,00047348

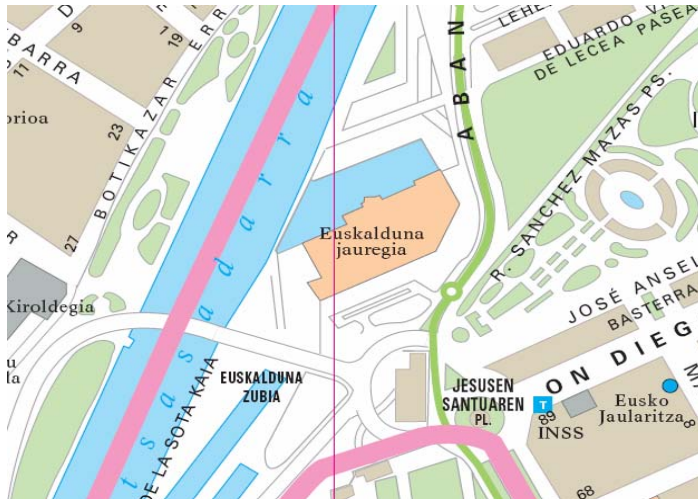
13.1 Taula.- Koefizienteen balioak

Ponpari eragiten dion motor elektrikoak 0,8 [-]-ko errendimendua du, eta 37,38 [L/min]-ko emaria lortzeko ponpa moztu behar da.

Kalkulatu baldintzak lortzeko beharrezkoa den mozketa-maila, funtzionamendu puntua eta instalazioaren adierazle energetikoa ([kW-h/m³]).

14. ARIKETA

Euskalduna Jauregia hurbiletik ezagutzera heldu ziren turistek etsipen txiki bat hartu zuten eraikin handi horren ertzean dagoen urmaela itsasadarrarekin lotuta ez dagoela egiaztatzean, 14.1. Irudian erakusten denez. Urmael hori hutsik zegoen, aldizka garbitu egiten baita, eta momentu horretan egokitzen baitziztaion garbiketa.



14.1. Irudia-. Euskalduna Jauregiko urmaela: plano eta argazkia

Urmaeleko horma guztiak ganoraz garbitu ahal izateko, lehenengo eta behin urmaela bera hustu egiten da, eta, garbiketa-lanak amaitutakoan, berriro ere bete egiten da. Urmaelak 7.000 [m²] inguruko azalera du, eta guztiz beteta dagoenean gutxi gorabehera 1,40 [m]-ko ur-maila konstantea du bere hedadura osoan. Hustuketa-prozesua arina izan dadin 485 [bira/min]-ko biraketa-abiaduran biraka dabilen eta 711 [mm]-ko diametroko errodetea duen BF-75 modeloko ponpa erabiltzea proposatzen da. Ponpa horren kurba karakteristikoak ezagunak dira (ikus 14.2. Irudia).

Ponpak ura zuzenean itsasadarrera botatzen duen zirkuitu hidrauliko bat du, atmosferara deskargatzen du (ikus 14.3. Irudia). Ponpaketaren edozein unetan xurgatze-hodiaren karga-galerak $K_{\text{xurg}} = 1,2$ [m U.Z./ (m³/s)²]-ko balioa duen karga-galeren konstantearen bidez kalkula daitezke, eta, era berean, bultzatze-hodiarenak, $K_{\text{bultz}} = 0,5$ [m U.Z./ (m³/s)²] konstantearen bidez. Hodi biek $D_{\text{barne}} = 0,7$ [m]-ko barne-diametroa dute.

Aztertzen den une bakoitzean urmaelaren maila konstante mantentzen dela onartzen bada, hau eskatzen da:

- Zehaztu grafikoki ponparen muturreko funtzionamendu-puntuak, hau da: hustuketa-prozesuaren hasieran; urmaela guztiz beteta dagoela, $z = 1,4$ [m]; eta hustuketaren amaieran, urmaela ia-ia hutsik dagoenean, $z = 0$ [m]. Kasu bakoitzean, zehaztu H , Q eta η .

- b) Kalkulatu urmaela husteko behar den denbora. Horretarako, kontuan hartu ponpaketaren batez besteko emaria aurreko atalean kalkulaturako muturreko puntuei dagozkien emarien batez bestekoa dela.
- c) Akoplatutako motorrak laneko baldintza tartean [%] 92ko balioa duen batez besteko errendimendua badu, kalkulatu instalazioaren baliokide energetikoa [kW-h/m³]-tan. Horretarako, lehen bezala, erabili bultzatze-altueraren eta errendimendu hidraulikoaren batez bestekoak.
- d) Egiaztatu muturreko bi puntuetan ponpak ondo egiten duela lan. Horretarako, ontzat eman fabrikatzaileak emandako datuak ponpak behar duen xurgatze-altuera positibo garbiarentzako.
- e) Hustuketa-denbora erdira murriztu nahiko balitz, nahikoa izango litzateke beste ponpa bat, bere zirkuitu hidraulikoa duena eta aurreko ponparen ezaugarri berdin-berdinak dituen, paraleloan kokatzea? Arrazoitu erantzuna inongo kalkulurik egin barik.
- f) Kalkulatu ponparen abiadura espezifikoa. Horretarako, 711 [mm]-ko diametroko ponparen **funtzionamendu-puntu optimoaren** H eta Q erabili.
- g) 1,4 aldiz handiagoa den antzeko makina bat diseinatuko balitz eta hura 1.000 [bira/min]-ko biraketa-abiaduran biraraziko balitz, zer altuera eta zer emari lortuko liriteke ponpa berri horren funtzionamendu-puntu optimoan? Kalkulatu ponpa berri horren puntu horretako abiadura espezifikoa.

Datuak.- $g = 9,81$ [m/s²] $\rho_w = 1.000$ [kg/m³]
 $p_{\text{barometrikoa}} = 101300$ [Pa] $p_{\text{lurrun}} = 2339$ [Pa]



Tipol/Type **BF-75**

50 HZ 485 RPM

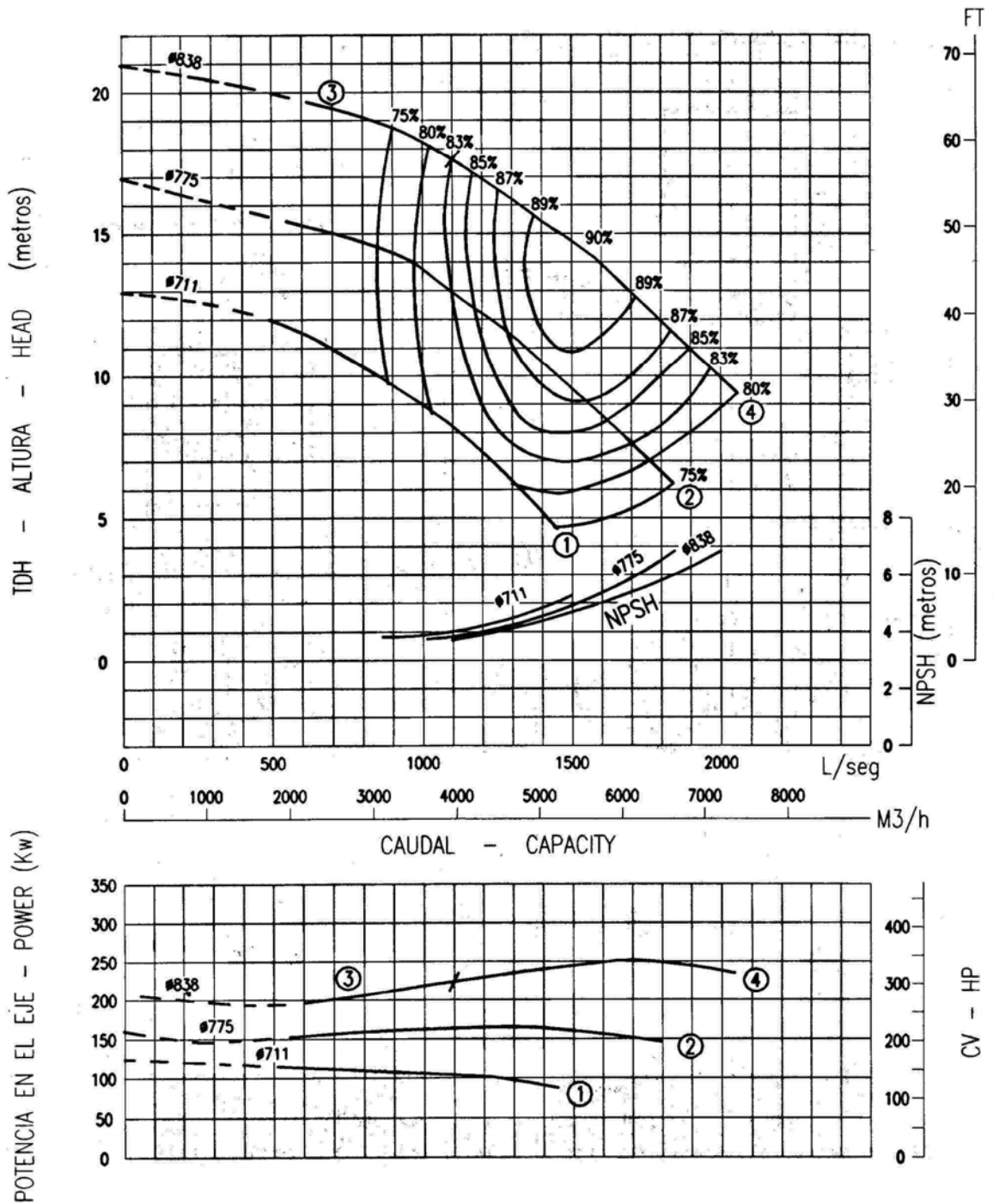
NUMERO DE ALABES
NUMBER OF BLADES : 3
NOMBRE D' AUBES

PASO DE SOLIDOS
MAXIMUM FREEWAY: 260x230 mm
PASSAGE INTEGRAL

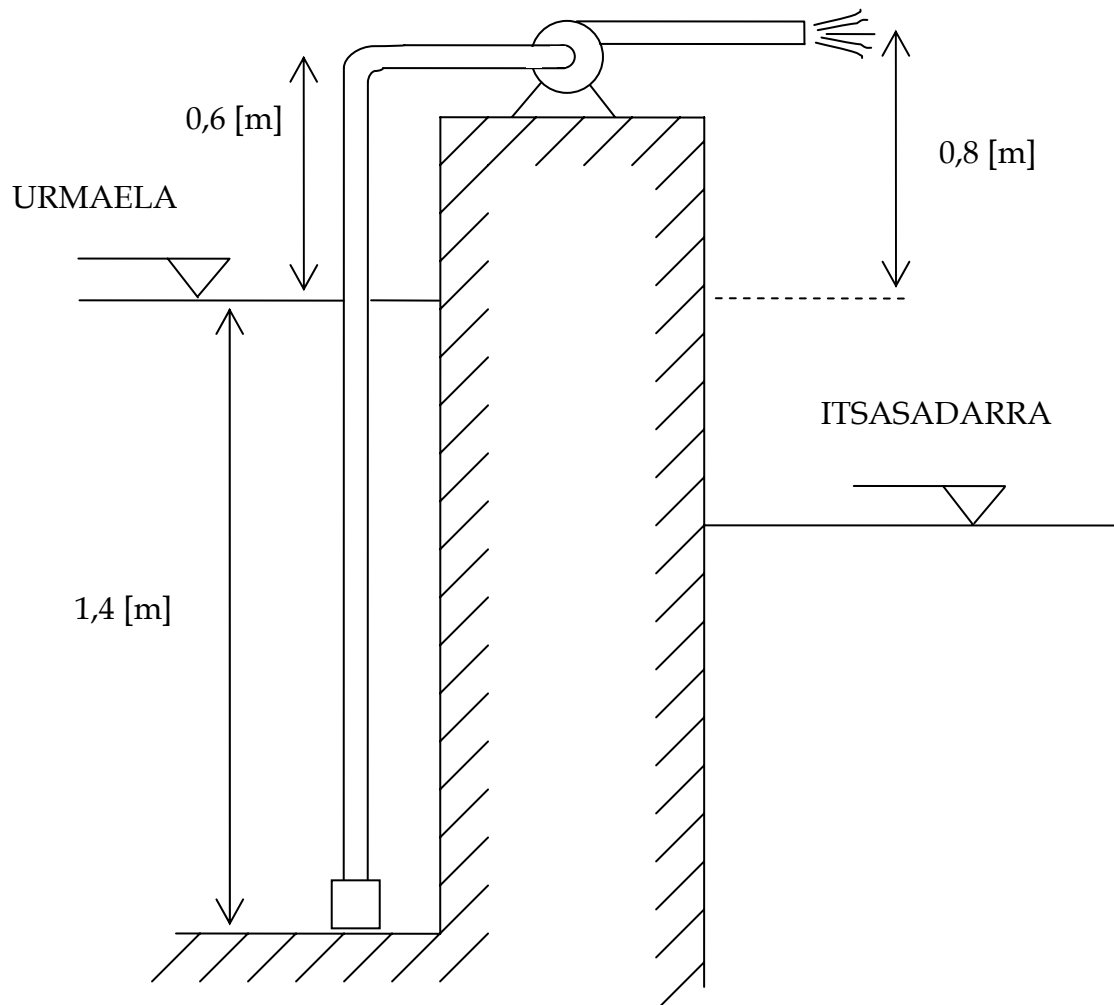
Curvas según / Curve according to / Courbe conformément: ISO 2548/C

BF75120199

Enero 99



14.2 Irudia. Ponparen kurba karakteristikokoak

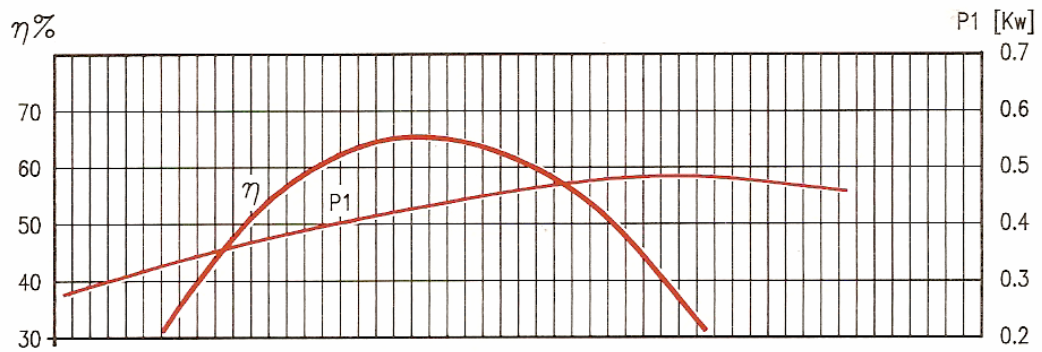
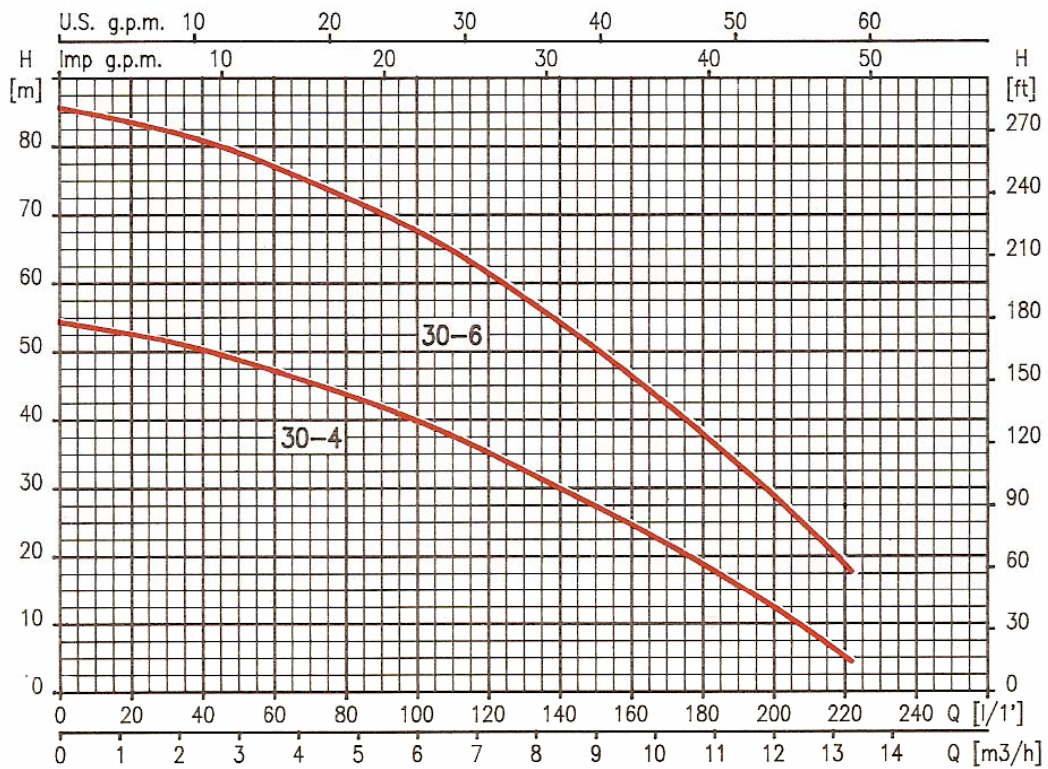


14.3. Irudia-. Ponpaketaren eskema

15. ARIKETA

6 etapa dituen eta 2.900 [bira/min]-ko biraketa-abiaduraz biraka dabilen ACUARIA 30 ponparen kurba karakteristikokoak 15.1 Irudian ikusten dira. Kurba horietan errendimenduak eta potentziak etapa bakar bati dagozkie.

- a) Zehaztu errendimendu maximoko puntuan ponpari eragiten dion motorraren errendimendua.
- b) Putzu batetik 68 [m]-ren aldea gaindituz ia marruskadurarik ez duen hodi baten bidez ateratzen da ura; zehaztu instalazioaren baliokide energetikoa.
- c) Errodete bakoitzaren kanpo-diametroa 145 [mm]-koa bada, kalkulatu gurpilaren irteerako u_2 abiadura linealaren abiadura-koefiziente optimoa.
- d) Errodetearen aho-zabalera 2 [cm]-koa bada eta besoek irteerako sekzioaren [%] 15 betetzen badute, kalkulatu irteerako abiaduraren c_{m2} osagai meridianoaren abiadura-koefiziente optimoa.



15.1 Irudia.- Ponparen kurba karakteristikoak

16. ARIKETA

Hozte-zirkuitu bat osagai hauek eratzen dute: zirkulazio-ponpa bat, 10 [mm]-ko barne-diametroko 150 hodi paraleloan (trukagailu modura) eta bien arteko lotura-hodia.

Trukagailu barruan hoztu beharreko ura 4 [m/s]-ko abiaduran dabil, eta hodian luzera 2 [m]-koa da. Ponpa eta trukagailua lotzen dituen hodiak 200 [m]-ko luzera baliokidea du, uraren abiadura 3 [m/s]-koa da eta trukagailuaren tutuen eta hodiaren materiala altzairu komertziala da ($\varepsilon = 0,040$ [mm]).

Ponparen kurba karakteristikoak balio hauek ditu bere puntu maximoan: $H_{m, MAX} = 58,8$ [m] eta $Q = 0$ [m³/s].

Zirkuitu osoa plano horizontal batean kokatu da, eta osagai zinetikoak eta presioari dagozkion osagaiak ez dira kontuan hartzeko modukoak.

Hau eskatzen da:

- a) Altuera manometrikoa, ponparen emaria eta motorraren potentzia [%] 72,5eko errendimendu optimoarentzat.
- b) Hodiaren karga-galeren $\Delta H = K \cdot Q^2$ kurbak duen K koefizientea.
- c) Ponpa bera erabiliz 2 zirkuitu kokatzen dira paraleloan. Trukagailuan fluidoaren abiadura mantendu nahi bada, aurkitu ponparen biraketa-abiadura berria aurreko kasuan biraketa-abiadura $N = 500$ [bira/min] zela jakinik.
- d) Jatorrizko zirkuituan, trukagailuan ura erabili beharrean, olio erabiltzea erabaki da. Olio horren pisu espezifikoa 850 [kgf/m³] da, eta biskositate zinematikoa 12 [cSt]. Kalkulatu funtzionamendu-puntu berria (altuera, emaria eta motorraren potentzia), biskositatearen eragina kontuan hartuz.

17. ARIKETA

Ponpa bat lanean ari da eta $870 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ -ko balioa duen pisu espezifikoko likidoa bultzatzen du $19.110 \text{ [m L.Z.} \cdot \text{(m}^3\text{/s)}^{-2}\text{]}$ galera-konstantea duen zirkuitu itxi batean. Puntu horretan lan-emia $0,05 \text{ [m}^3\text{/s]}$ -ko da, eta errendimendua $0,675 \text{ [-]}$.

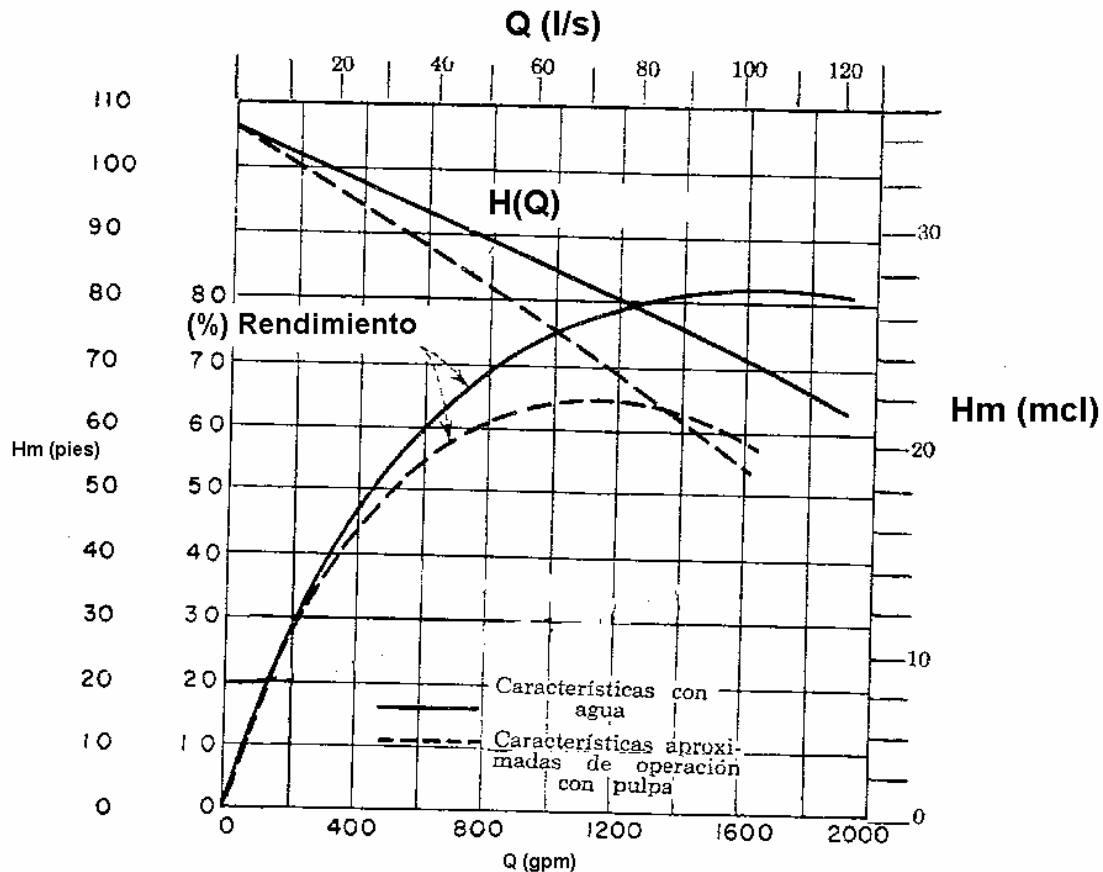
Hau eskatzen da:

- a) Kalkulatu funtzionamendu-puntu horretan instalazioaren adierazle energetikoa $\text{[kW-h/m}^3\text{]}$ -tan.
- b) Biraketa-abiadura [%] 10 jaisten da. Kalkulatu adierazle energetiko berria

Oharra.- Eman dezagun motorraren errendimendua $0,7 \text{ [-]}$ dela kasu bietan.

18. ARIKETA

Normalean urarekin lan egiten duen ponpa bat [%] 5eko konsistentzia duen paper-pulpa errefinatua ponpatzeko erabiltzen da. Ponparen kurba karakteristikoak, bai urarekin bai pulparekin, honekin batera emandako grafikoan agertzen dira (ikus 18.1 Irudia). Grafiko horretan irakurketak unitate britainiarretan (behean Q , ezkerrean H_m) eta metriko deribatuetan daude (goian Q , eskuman H_m).



18.1 Irudia.- Ponparen kurba karakteristikoen grafikoa

- a) Lortu ardatzeko potentzia ($[\text{kW}]$ -tan) - emaria ($[\text{L/s}]$ -tan) kurba karakteristikoa, bai urarentzako eta bai pulparentzako ($\gamma_{\text{pulpa}} = 10.200 [\text{N/m}^3]$). Horretarako, aukeratu grafikoaren muturreko bi puntu eta doitu eskatutako bi kurbak ($P_{\text{ardatz}}(Q)$) zuzen batera.
- b) Potentzien kurben itxuraren arabera, arrazoitu zein ponpa mota den.

Turbinak

19. ARIKETA

Aschacheko Zentral Hidroelektrikoa (Austria) 1959 eta 1964 urteen artean eraiki zen. Danubio ibaian kokatutako bigarren zentrala izan zen. Guztira 4 turbina berdin ditu, eta, jarraian, turbina horietako baten datuak zehazten dira.



19.1 Irudia.- Aschacheko zentralaren ikuspegi panoramikoa

Funtzionamendu-baldintza normaletan turbina bakoitzak $H = 17,5$ [m]-ko jauzi garbia du, haren baretik dabilen emaria $Q = 455$ [m³/s]-koa da, eta 73 [MW]-eko potentzia garatzen du. Turbina hori 44 polo-pare dituen alternadorearekin akoplatu da. Alternadoreak 85 [MVA]-ko mugako potentzia du, eta haren errendimendua $\eta_a = 98,75$ [%] konstantetzat jo daiteke.

Talde bakarra kontuan hartuz, hau eskatzen da:

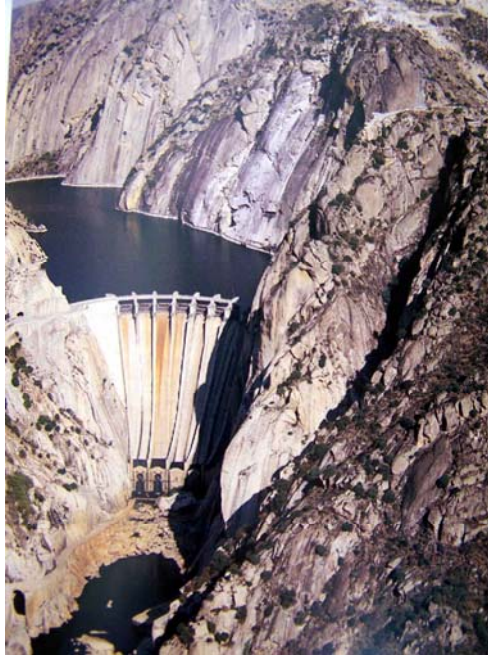
- a) Aurreko lerroetan zehaztutako datuak erabiliz, kalkulatu turbinaren errendimendua eta potentzia elektrikoa.
- b) Funtzionamendu-baldintza horietan jauzi gordinaren balioa 18,5 [m]-koa bada, kalkulatu ur-hornikuntzarako erabiltzen den hodiaren karga-galeren K koefizientea.
- c) Kalkulatu n_q (Brauerraren abiadura espezifikoa) eta v (abiadura espezifikoa zientifikoa).
- d) Zehaztu zein turbina mota den eta haren oinarritzko dimentsioak zein diren: errodetearen diametroa(k), banagailuaren altuera eta beso kopurua.
- e) Diseinu-fasean saiakuntzak egiteko erabili zen modelo murriztua 4 aldiz txikiagoa zen bukaerako makina prototipoa baino. Orduan eginiko saiakuntzetan prototipoaren baldintzetako biraketa-abiadura berbera erabili bazen, zehaztu zer errendimendu duen modelo horrek

aurreko lerroetan deskribatutako funtzionamendu-puntuaren antzekoarentzako (erabili gaur egun CEIk proposatzen duen errebalorizazio-formula).

- f) Errodetearen ezarpen-kota erreal itzultze-mailaren (isurbidekanalaren) azpitik 3,5 [m]-ra dago. Komentatu ezarpen horren egokitasuna estatistika aipagarrien arabera.

20. ARIKETA

XX. mendearen hasieran Duero ibaiaren arroilaren baliabideei buruz hausnartzen hasi ziren. Gaur egun, ustiapen garrantzitsuenenetako bat Aldeadávila Zentral Hidroelektrikoa da (Salamanca). 1963. urteko abenduaren 30ean Aldeadávila I izeneko faseari zegozkion 6 taldeetatik azkena jarri zen martxan. 6 taldeak berdin-berdinak dira.



20.1 Irudia.- Aldeadávila presaren ikuspegi panoramikoa

Funtzionamendu-baldintza normaletan 6 turbina horiek $H_b = 139,83$ [m]-ko jauzi gordina dute; karga betean instalazioaren ur-kontsumoak $615,5$ [m^3/s]-ko balioa du, eta, baldintza horietan, guztira 750.220 [kW]-eko potentzia mekaniko osoa (izendatua) sortzen da. Turbina bakoitza alternadore bati lotuta dago, eta alternadore bakoitzak 16 polo-pare ditu eta 119.700 [kW]-eko potentzia izendatua.

Turbinen ur-hornikuntza harrian zulatutako 6 hodi beharturen bidez egiten da. Hodi horietako bakoitzak 5 [m]-ko diametroa eta 184 [m]-ko luzera ditu eta gutxi gorabehera konstantea den $f \approx 0,04$ [-] balioko marruskadura-koefizientea. Hodi horietako bakoitzean karga-galera sekundarioak 55 [m]-ko luzera baliokidea kontuan hartuz kalkula daitezke.

Deskribatutako baldintzetan, eta beti ere talde bakarrarentzako, hau eskatzen da:

- a) Kalkulatu jauzi garbia.
- b) Kalkulatu potentzia hidraulikoa, turbinaren errendimendua, alternadorearen errendimendua eta taldearen errendimendu osoa.
- c) Kalkulatu n_q (Brauerrren abiadura espezifikoak) eta v (abiadura espezifiko zientifikoa).
- d) Zehaztu zein turbina mota den eta haren oinarrizko dimentsioak: errodetearen diametroa(k) eta banagailuaren altuera.
- e) Diseinu-fasean saiakuntzak egiteko erabili zen modelo murriztua 3 aldiz txikiagoa zen bukaerako makina-prototipoa baino. Orduan eginiko saiakuntzetan 375 [bira/min]-ko biraketa-abiadura erabili bazen, zehaztu zer errendimendu izango duen modelo horrek aurreko lerroetan deskribatutako funtzionamendu-puntuaren antzekoarentzako (erabili gaur egun CEIk proposatzen duen errebalorizazio-formula).
- f) Errodetearen ezarpen-kota erreala itzultze-mailaren (isurbidekanalaren) azpitik 7,5 [m]-ra dago. Komentatu ezarpen horren egokitasuna estatistika aipagarrien arabera.

Datuak: $g = 9,81$ [m/s²]
 $p_b = 101300$ [Pa]
Ura: $\nu_w = 1 \cdot 10^{-6}$ [m²/s]
 $p_v = 2.339$ [Pa]

21. ARIKETA

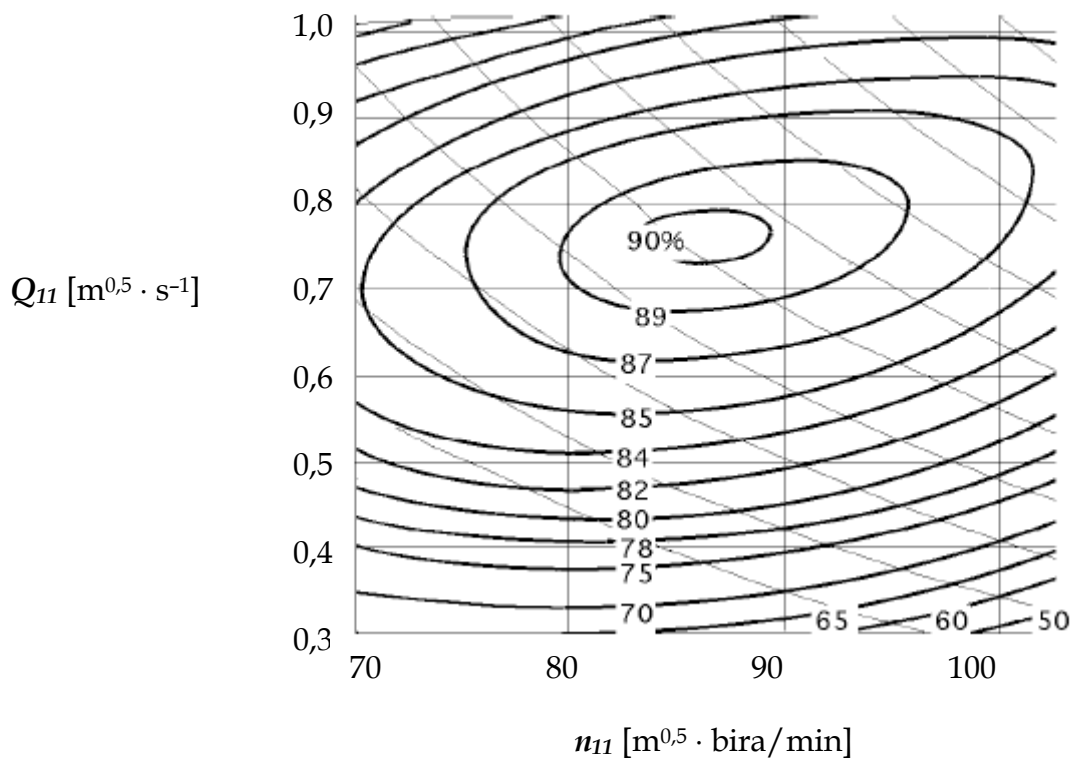
21.1 Irudiak turbina baten errendimendu-muinoak erakusten ditu, n_{11} - Q_{11} koefiziente unitario tradizionalen arabera (abiadura unitarioa - emari unitarioa). Turbina 25 polo-pare dituen alternadore batekin lotuta dago, eta, horrela, funtzionamendu-puntu optimoan jauzi garbiak 45 [m]-ko balioa hartzen du.

- a) Kalkulatu turbinaren diametroa, eta baita funtzionamendu-puntu optimoko emaria eta potentzia mekanikoa ere.
- b) Zehaztu turbina mota.
- c) Zehaztu grafikoki puntu optimoaren jauzi garbiarentzako errendimenduaren muino partziala.
- d) Funtzionamendu-puntu izendatuak funtzionamendu-puntu optimoak duen jauzi garbi berbera bada, eta emaria [%] 10 handiagoa bada, zehaztu turbinak garatzen duen potentzia mekaniko izendatua.

Modeloan, aurretiko saiakuntzak prototipoa baino 5 aldiz txikiagoa den makina batekin egin dira, 300 [bira/min]-ko abiaduran eta ura erabiliz, gutxi gorabehera tenperatura berean.

- e) Zehaztu modeloaren funtzionamendu-puntu optimoari dagozkion jauzi garbia eta emaria.
- f) Egiaztatu modeloa eta prototipoa antzeko makinak direla.

Oharra.- Edozein kasutan, EZ hartu kontuan egon litezkeen eskala-efektuak.



21.1 Irudia.- Turbinaren errendimendu-muinoak

22. ARIKETA

800 [kW]-ko potentzia elektriko maximoa lortu nahi da $N = 1500$ [bira/min]-ko abiadura sinkronoa duen alternadore baten bitartez. Alternadore horri eragiteko, 100 [m]-ko jauzi gordin konstantepean lanean ari den Francis turbina bat erabiltzen da. Turbina-alternadore taldearen errendimendua 0,813 [-] da, eta onar daiteke konstante mantentzen dela. Turbina hornitzen duen hodiak 600 [m]-ko luzera du eta bere marruskadura-koefizientea, $f = 0,022$ [-], konstante mantentzen da gutxi gorabehera.

- a) Lortu $P = A \cdot Q + B \cdot Q^3$ itxura duen potentzia elektrikoaren adierazpen bat. Horretarako erlazionatu emaria, jauzi gordina eta D diametro ezaguna duen hornitze-hodiaren karga-galerak.
- b) Potentzia maximoaren kasurako, kalkulatu emariaren balioa, karga-galeren K konstantea eta turbinaren altuera, eta egiaztatu Francis turbina dela.
- c) Irudikatu potentzia - emaria kurba.
- d) Sarrerako triangeluan zein irteerako triangeluan abiadura absolutuek ez dute osagai periferikorik; irteerako diametroa sarrerakoa baino [%] 20 handiagoa da; besoen lodierak azalera erabilgarriaren [%] 4 kentzen dute sarreran eta irteeran; eta $b_1 = b_2 = 50$ [mm] eta $c_1 = 36,15$ [m/s] dira. Kalkulatu abiadura-triangelu horiek.

23. ARIKETA

Turbina baten modeloarekin laborategian saiakuntzak egin dira 1.450 [bira/min]-ko biraketa abiaduran 40 [m U.Z.]-ko jauzipean. Funtzionamendu-puntu optimoari dagozkion neurketetan 4,47 [L/s]-ko emaria neurtu da. Puntu horretan neurtutako potentzia mekanikoaren balioa 1,76 [Z.P.] da. Saiakuntzan erabilitako turbinaren diametroa 30 [cm]-koa da.

Hau eskatzen da:

- a) Zehaztu turbina mota.
- b) Kalkulatu saiakuntzak egiteko erabili den makinaren errendimendu globala saiakuntzaren baldintzetan.
- c) Zehaztu prototipo makinaren diametroa 684 [m U.Z.]-ko jauzipean eta 3 polo-pare dituen alternadorearekin lotuta lan egin beharko duela kontuan harturik.
- d) Zehaztu funtzionamendu-puntu optimoan prototipo turbinan zehar ibiliko den emaria.
- e) Modeloaren eta prototipoaren arteko errebalorizazioa dagoela kontuan harturik eta errebalorizazio hori Moodyk proposatutako formula hau erabiliz zenbatetsi daitekeela jakinik,

$$\frac{1 - \eta_M}{1 - \eta_P} = \left(\frac{D_P}{D_M} \right)^{1/4},$$

Kalkulatu prototipo turbinan garatutako potentzia mekanikoa funtzionamendu-puntu optimoan lan egiten duenean.

- f) Turbinaren karga-galerak funtsean errodetean kontzentratzen direla onartzen bada, egin prototipo turbinaren gutxi gorabeherako dimentsionaketa estatistikoa.

24. ARIKETA

Zentral batek hiru turbina-alternadore talde berdin ditu paraleloan eta horiek urez independenteki hornitzen dira. Hodiak hormigoi armatuzkoak dira, haien diametroa 4 [m]-koa da eta luzera 600 [m]-koa, eta $f = 0,033$ [-] da.

Deposituaeren eta ihes-kanalaren arteko kota-aldea 260 [m]-koa da eta karga-galera batez beste 4 [m U.Z.] da. Karga-galera horren kalkulurako adierazpen hau erabil daiteke:

$$\Delta H = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Turbina bakoitza alternadore sinkrono banarekin zuzenean lotuta dago. Alternadorea 375 [bira/min]-ko biraketa-abiadura biratzen da eta turbina-alternadore taldearen errendimendu globala [%] 82,5 da.

Hau eskatzen da:

- a) Jauzi garbia, emaria eta turbina bakoitzak ematen duen potentzia elektrikoa [MW]-tan.
- b) Sarreran, abiadura absolutuaren osagai tangentialaren abiadura-koefizientea (K_{cu1}) eta abiadura tangentialaren abiadura-koefizientea (K_{u1}) 0,64 [-] eta 0,74 [-] dira, hurrenez hurren. Bestalde, fluidoa guztiz axialki irteten da errodetetik. Kalkulatu abiadura espezifikoa (n_q) eta turbina mota aipatu. Kalkulatu η_h eta H_{ef} edo H_E .

25. ARIKETA

Pelton turbina bat 80,7 [L/s]-ko emariarekin eta 113 [m U.Z.]-ko jauzi garbiarekin ari da lanean. Mota horretako turbinentzat fabrikatzaileak gurpilaren abiadura periferikoaren abiadura-koefizientearen eta n_{sj} -ren (potentzia [kW]-tan) arteko erlazio hau ezarri du:

$$K_{u1} = 0,5445 - 0,0039 \cdot n_{sj}$$

Turbina puntu optimoan ari da lanean 0,89 [-]-ko errendimenduarekin, eta injektorean gertatzen diren karga-galerak jauzi garbiaren [%] 4 dira gutxi gorabehera. Gorpila 3 polo-pareko alternadorearekin lotuta dabil biraka.

Hauxe eskatzen da:

- a) Turbinaren potentzia.
- b) Injektore kopurua.
- c) Gurpilaren batez besteko diametroa.
- d) Errendimendu bolumetrikoa ~ 1 [-] bada, koilaren barruko marruskadura aintzat hartzen ez bada, eta irteera-angelua ~ 0 [°] bada, kalkulatu errendimendu manometrikoa eta errendimendu mekanikoa.

26. ARIKETA

Zentral hidroelektriko batek 270 [m]-ko jauzi gordina du eta 2,4 [km]-ko luzerako 3 hodiren bidez (paraleloan konektatuta) ura makina-gelara bideratzen da. Hodi horietako bakoitzean marruskadurari dagozkion galerak 24 [m U.Z.]-koak dira.

Zurrusta sinpleko Pelton errodete kopuru jakin bat instalatzea erabaki da, eta, horretarako, N_s dimentsiodun abiadura espezifikokoaren balioak (potentzia [Z.P.]-tan) 38 baino txikiagoa izan behar du. Horrela, ardatzetan, guztira, 18.000 [Z.P.] garatzen dira (potentzia mekanikoa) eta errodete bakoitza ardatz bati lotuta dago. Konektatutako alternadoreak 5 polo-pare ditu, eta besoen abiaduraren eta zurrustaren abiaduraren arteko erlazioa 0,46 da. Jo errodeteen errendimendu globala 0,87 [-] dela eta piten abiadura-koefizientea $c_v = 0,97$ [-] dela.

Zehaztu:

- a) Zenbat Pelton gurpil instalatu behar diren eta zer abiadura espezifikoa duten.
- b) Gurpilaren diametroa.
- c) Zurrustaren diametroa.
- d) Hornitze-hodien diametroa.

Oharra.- Eman dezagun marruskadura-koefizientea $f = 0,006$ [-] dela eta karga-galera sekundarioak ez direla aintzat hartzeko modukoak.

27. ARIKETA

Injektore bakarreko Pelton turbina bat aukeratzen da 3 polo-pare dituen alternadorea mugitzeko. Ur-zurrustak 85 [mm]-ko diametroa du eta 110 [m/s]-ko abiadura. Zurrustak koilara jo eta gero 165 [°] desbideratzen da eta errodetearen sarreran besoaren abiadura tangenzialaren eta zurrustaren abiaduraren arteko erlazioa 0,48 [-] da. Marruskadura dela eta, errodetearen irteeran abiadura erlatiboa [%] 10 txikiagotzen da sarrerako abiadura erlatiboarekiko. Onar daiteke deskribatutako funtzionamendu-puntuari injektorearen karga-galerak jauzi garbiaren [%] 3 direla. Galera mekanikoak eta bolumetrikokoak ez dira aintzat hartzeko modukoak.

Hau eskatzen da:

- a) Kalkulatu abiadura-triangeluak errodetearen sarreran eta irteeran.
- b) Kalkulatu errodetearen batez besteko diametroa.
- c) Kalkulatu turbinak garatutako potentzia eta pare eragilea.
- d) Kalkulatu jauzi garbia eta errendimendu manometrikoa deskribatutako puntuan.
- e) Egiaztatu Pelton turbina bat dela, eta dimentsionatu koilara estatistikoki.

Aldez aurretik modeloarekin egindako saiakuntzak aurrekoaren antzekoa den eta geometrikoki txikiagoa den turbina bat erabiliz egin dira 3.000 [bira/min]-ko biraketa abiaduran, eta bien arteko antzekotasun-erlazioa $\lambda = 2$ [-] da. Lehen paragrafoan deskribatutako funtzionamendu-puntuari antzekoarentzat, hau eskatzen da:

- f) Kalkulatu modeloarekin erabilitako jauzi garbia eta saiakuntza-emaria; kalkulatu, era berean, horren abiadura espezifikoa.
- g) Zenbatetsi modeloaren errendimendua errebalorizazio-formula honen arabera:

$$\Delta\eta = (1 - \eta_M) \cdot 0,6 \cdot \left[1 - \left(\frac{Re_M}{Re_P} \right)^{0,2} \right]$$

$$\text{non } Re = \frac{B \cdot \sqrt{2} \cdot E}{\nu}, \text{ eta } B \text{ koilararen zabalera.}$$

28. ARIKETA

Francis turbina baten jauzi gordin izendatua (diseinukoa) 145 [m]-koa da. Aukeratutako Francis diseinuari dagozkion kurba karakteristikoak edo muino-kurbak 28.1 *Irudian* erakusten dira. Abzisa-ardatzean turbinaren potentziak eta ordenatu-ardatzean jauzi garbiak adierazten dira, biak ehunekotan; kasu bietan guztiz zabalik lortzen den potentziarekiko eta jauzi garbi izendatuarekiko, hurrenez hurren. Instalazio horretako emari izendatua jauzi garbi izendatuari dagokio banagailuaren zabaltze-maila [%] 80 denean. Bestalde, jauzi garbi izendatuarekin turbinak 150692,093 [kW]-eko potentzia maximoa ematen du. Urtaroen arteko oszilazioak direla eta, jauzi gordinak urteko maximoa lortzen du, 179,075 [m]. Kalkulatu:

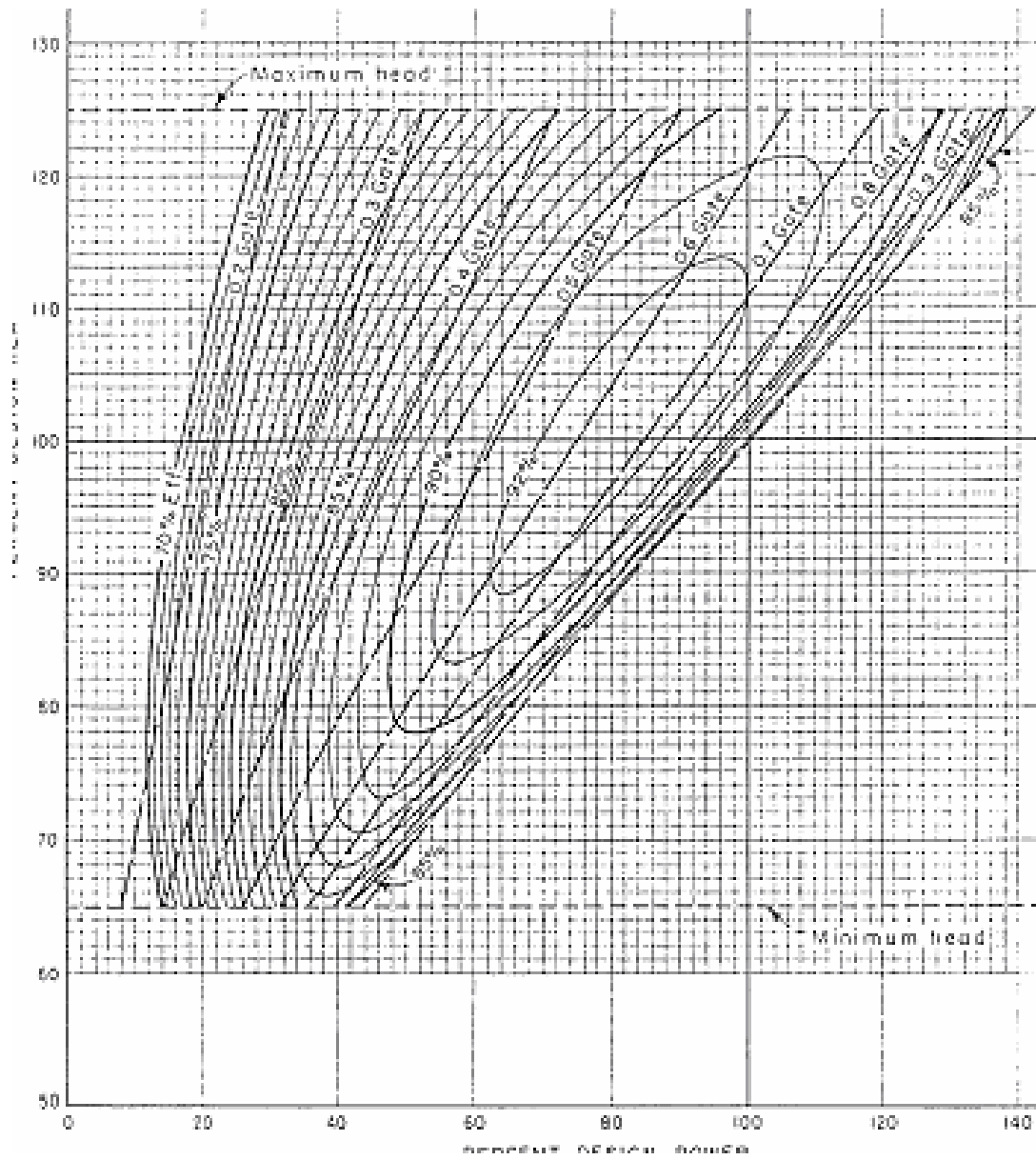
- a) Turbinak eman dezakeen potentzia maximoa [kW]-tan.
- b) Lotutako alternadoreak 14 polo-pare dituela jakinik, turbinaren n_q -a puntu izendatuan.

Diseinu bereko beste makina bat egiten da, baina aurrekoa baino [%] 50 handiagoa. Kasu horretan, aurreko makinarekin parekatuta, errendimenduak [%] 1eko errebalorizazioa izango du funtzionamendu-eremu osoan. Makina hori urtean zehar 90,123 [m U.Z.]-ko jauzi gordin maximoa lortzen duen zentral batean dago.

- c) Baldintza horietan, kalkulatu turbina horren potentzia eta emaria banagailuaren [%] 70eko zabaltze-mailarentzat, 28 polo-pare dituen alternadore batekin lotuta badago.

Makina bien puntu izendatuak homologoak dira.

Instalazio hidroeletriko bietan, turbinaren sarreraraino dauden kargagalerak ez dira kontuan hartzeko modukoak banagailuaren zabaltze-maila edozein dela ere.



28.1 Irudia.- Turbinaren kurba karakteristikoak

29. ARIKETA

Francis turbina geldo batek 0,18 [-]-ko balioa du K_{c2} koefizientearentzat. α_2 angeluak 85 [°]-eko balioa du eta lanean ari da 100 [m U.Z.]-ko jauzipean. Presio atmosferikoaren balioa 10,33 [m U.Z.] da eta gurpila bera ihes-kanalaren gainetik 3 [m]-ra dago. Ez dira aintzat hartuko xurgagailu barruan marruskaduraren erruz gertatzen diren galerak eta xurgagailuaren irteeran bat-bateko zabalguneari dagozkion galerak.

Hau eskatzen da:

- a) Kalkulatu xurgagailua kokatzeagatik berreskuratu den jauzi garbiaren frakzioa xurgagailu gabeko aurreko egoerarekin alderatuta.
- b) Zein da gurpilaren irteeran dagoen energia zinetiko osotik berreskuratu ezin daitekeen frakzioa?
- c) Jauzi garbiaren zein proportzio da?
- d) Zein da uraren presioa gurpilaren irteeran?

30. ARIKETA

1985. urtean birgaitutako zentral hidroelektriko batean Francis turbina bat instalatu zen. Jauzi gordin erabilgarria 105 [m]-koa da eta hornitze-emia 20 [m³/s]-koa. Turbina alternadore sinkrono bati zuzenean akoplatuta dago, eta turbinaren sarreraraino dagoen hodiko karga-galerak 5 [m U.Z.]-koak dira. Instalazioan zuzenean egindako neurketen bidez 0,255 [-] balioa duen K_{cm2} abiadura-koefizientea lortu da.

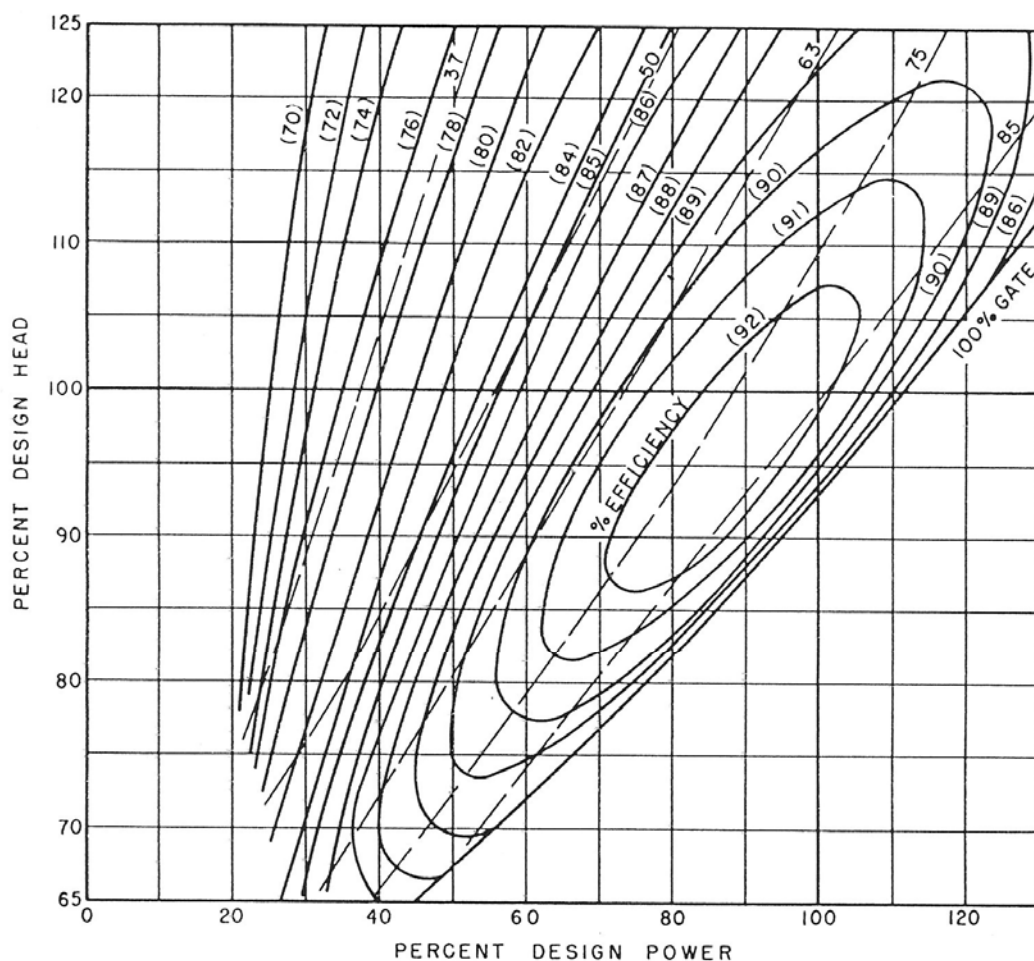
- a) Kalkulatu errodetearen irteerako D_{2e} diametroa.
- b) Erabil daitezkeen estatistiken arabera, balioztatu turbinaren biraketa-abiadura sinkronismo-baldintzetan.
- c) Kalkulatu berriro ere K_{u2} -ren eta u_2 -ren balio errealak (estatistikoak ez direnak).
- d) Irteerako α_2 angeluak 85 [°]-eko balioa badu, kalkulatu gurpilaren irteeran berreskuratzen ez den eta zurrumbilo bat garatzeko erabiltzen den urak daraman energia zinetikoaren frakzioa.

31. ARIKETA

1,9 [m]-ko irteera-diametroa duen Francis turbina batek 14,134 [m³/s]-ko emariarekin eta 300 [m U.Z.]-ko jauzi garbiarekin egiten du lan puntu optimoan kokapen jakin batean. Turbinaren sarrerarainoko hodiaren galerak ez dira aintzat hartzeko modukoak. Puntu horretan banagailuaren zabaltze-maila [%] 75arekin bat dator eta gurgila 5 polo-pare dituen alternadorearekin lotuta dago. Honekin batera erakusten den muino-kurba (31.1 Irudia, potentzia [%], x ardatza - jauzi garbia [%], y ardatza) kokapen jakin horretan instalatu den turbinarentzat erabil daiteke, eta baita horren abiadura espezifiko bera duten turbinentzat ere, *Bureau of Reclamation* erakundearen arabera.

Hau eskatzen da:

- Turbinaren Cammererren abiadura espezifikoa (potentzia [kW]-tan), Brauerren abiadura espezifikoa eta abiadura espezifiko zientifikoa.
- Adierazi jauzi garbi berdinentzat, [%] 85eko zabaltze-mailari dagokion puntuaren balioa emari-koefiziente zientifikoaren bidez eta energia-koefiziente zientifikoaren bidez .



31.1 Irudia.- Turbinaren errendimendu-muinoak

32. ARIKETA

Francis turbina bat 600 [bira/min]-ko biraketa-abiaduran biraka dabil eta funtzionamendu-puntu optimoan 1 [m³/s]-ko emaria du. Funtzionamendu-puntu horretan, banagailuaren irteera-angelua 12 [°] da, eta banagailuaren eta errodetearen arteko burdinartearen distortsioa ez da kontuan hartzeko modukoa. Errodetearen irteera-angelua $\beta_2 = 45$ [°] da. Sarrerako eta irteerako batez besteko diametroak 1 [m] eta 0,45 [m] dira, hurrenez hurren; era berean, besoen arteko zeharkatze-sekzioak sarreran eta irteeran 0,14 [m²] eta 0,09 [m²] dira, hurrenez hurren. Turbinaren errendimendu manometrikoa [%] 85 bada, eta errendimendu hori turbinaren errendimendu globalarekin ia-ia bat datorrela onartzen bada, hau eskatzen da:

- a) Errodetearen sarrerako eta irteerako abiadura-triangeluak.
- b) Jauzi garbia.
- c) Ardatzean lortutako potentzia eta pareta.
- d) Brauerren abiadura espezifikoa. Francis turbinaren aukeraketa egokia al da ustiapen hidrauliko horretan?

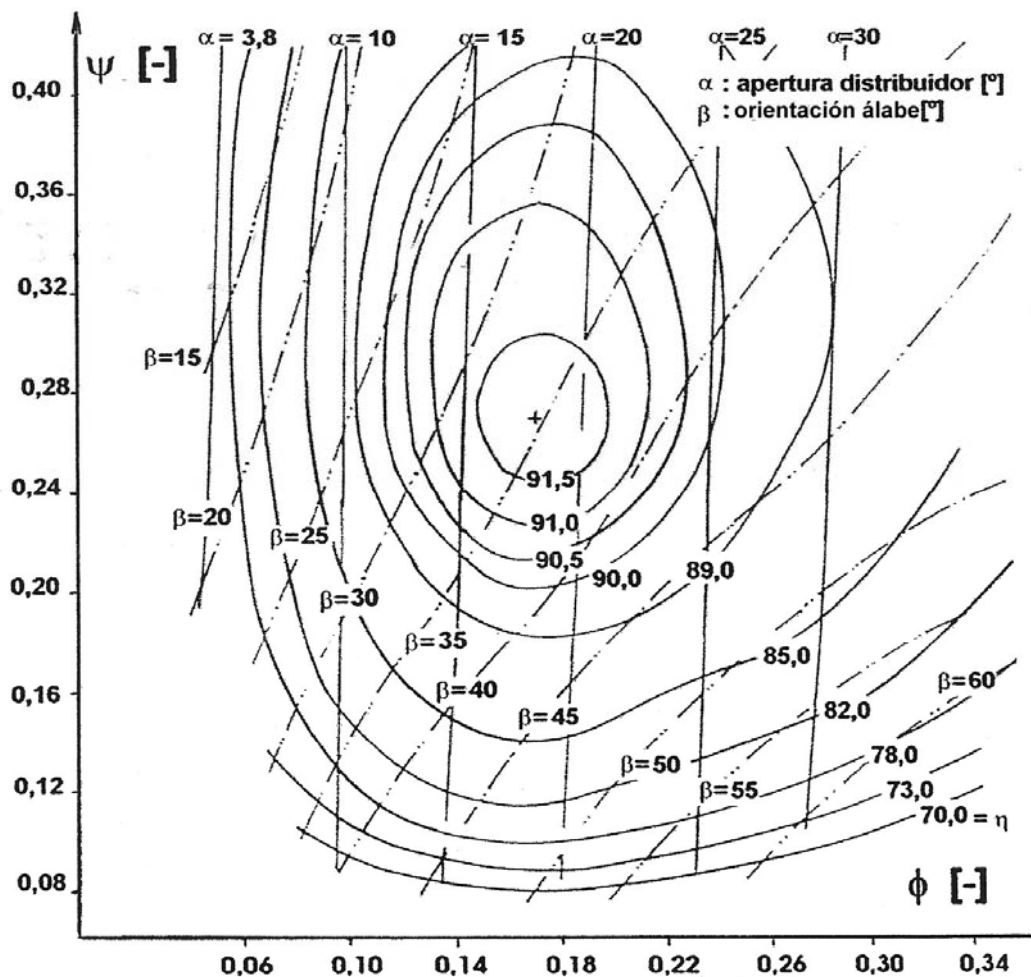
Turbina horren diseinurako, prototipoa baino 4 aldiz txikiagoa den modeloarekin egin dira saiakuntzak 3.000 [bira/min]-ko biraketa-abiaduran. Modeloaren eta prototipoaren errendimenduen arteko eskala-efektuak kontuan hartuz, hau eskatzen da:

- e) Errodetearen irteera-diametroa erreferentzia moduan hartuz eta CEI-ren formula erabiliz, funtzionamendu-puntu optimoan modeloak izango duen errendimendua balioetsi.

33. ARIKETA

Kaplan turbina batek beherago erakusten diren muino-kurbak ditu, φ emari-koefiziente zientifikoa eta ψ energia-koefiziente zientifikoa aldagai moduan hartuta (ikus 33.1 Irudia). Ustiapenaren maila-alde geometriko bereizgarri edo izendatua 10 [m] da, eta horri lotutako emari izendatua 0,1 [m³/s]. Turbinaren sarreraraino karga-galerek $K = 30$ [m U.Z. · (m³/s)⁻²] konstantea dute, eta lotutako alternadoreak polo-pare bakarra du. Errodetearen diametroa 16,93 [cm] bada, hau eskatzen da:

- Jauzi gordin izendatuarentzat, zehaztu 0,05 [m³/s], 0,1 [m³/s] eta 0,15 [m³/s]-ko emariei dagozkien jauzi garbiak, errendimenduak, banagailuaren zabaltze-mailak (α) eta errodetearen palen orientazioa (β).
- 0,12 [m³/s]-ko emari finkoarentzat, kalkulatu errendimenduaren [%] 91ko balio zehatzarekin lan egiteko beharko diren maila-alde geometriko erabilgarriak.



33.1 Irudia.- Turbinaren muino-kurbak

34. ARIKETA

1998an bukatu zen Undurragako urtegiko presaren azpiko zentral hidroelektrikoaren obra. Horrek Zadorrako Sistematik datozen urak eta hornikuntzarako bideratzen direnak aurretik energetikoki aprobetxatzeko aukera zabaltzen du.



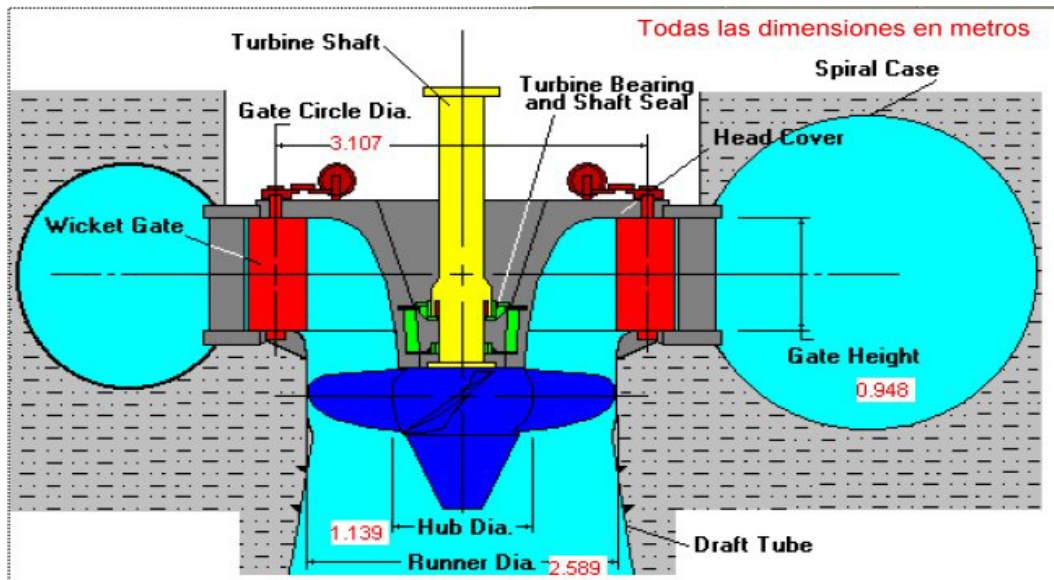
34.1 Irudia.- Undurragako presaren ikuspegi panoramikoa

Zentralak ardatz horizontaleko 2 semi-Kaplan turbina ditu, bakoitzak 6 [m³/s]-ko emariaz lan egiteko 17,44 [m U.Z.]-ko jauzipean. N biraketa-abiadura 600 [bira/min] da. Turbina bakarrarentzako hau eskatzen da:

- Kalkulatu n_q eta komentatu Kaplan turbinak bat datozen lortutako balioarekin.
- Kalkulatu potentzia hidraulikoa.
- Kalkulatu potentzia mekanikoa errendimendu globala [%] 80 bada
- Kaplan turbinentzako Huttonen formula kontuan hartuz, lortu kalkuluak egiteko erabilitako modeloaren errendimendua. Horretarako, kontuan hartu modeloaren diametroa prototipoarenaren erdia dela, eta prototipoaren altuera modeloarenaren laukoitza.
- Irudikatu abiadura-triangeluak errodetearen sarreran zein irteeran. Horretarako, kontuan hartu abiadura meridianoa kasu bietan 7 [m/s] dela, batez besteko diametrotzat 1 [m]-ko balioa erabili daitekeela eta, $\beta_2 = 45$ [°] izanik, $\frac{a_1}{a_2} = 3$ erlazioa betetzen dela.

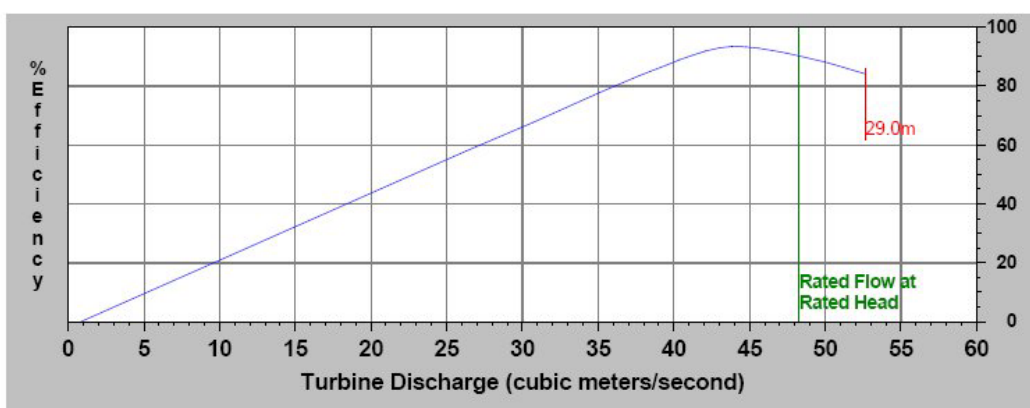
35. ARIKETA

Honekin batera erakusten den 35.1 Irudiko helize turbina Indiako kokapen bati dagokio. Bere funtzionamendu-puntu izendatua 48,26 [m³/s]-ko emariari eta 29 [m U.Z.]-ko jauzi garbiari dagokio.



35.1 Irudia.- Helize turbina

Irteeran, xurgatze-hodiak sekzio laukizuzena du, altuera 2,85 [m], eta zabalera 7,30 [m]. 29 [m U.Z.]-ko jauzi izendatuan (bat dator H_n optimoarekin), errendimendua (Y ARDATZA, [%]) emariarekin aldatzen da (X ARDATZA, [m³/s]) 35.2 Irudian erakusten den kurbaren arabera.



35.2 Irudia.- Errendimenduaren eta emariaren arteko erlazioa jauzi izendatuan

Funtzionamendu-puntu optimoan errodetearen irteerako abiadura absolutuaren osagai tangentialari dagokion energia zinetikoaren balioa 0,05 [m U.Z.] da. Zehaztu, puntu optimoan:

- a) Gurpilaren irteeran \equiv xurgatze-hodiaren sarreran, abiadura absolutuaren α_2 angelua kontuan hartuz iragaite-sekzio eraginkorraren kalkuluan besoak muntatuta dauden erraboilaren sekzioa kendu behar dela.
- b) Borda-Carnott-en galerak direla eta, xurgatze-hodiaren irteeraren eta turbinaren bukaeraren artean galtzen den energia zinetikoa.

Emaitzak

PONPAK

1. ARIKETA

- a) $Q = 16,97$ [L/min]; $H = 51,19$ [m U.Z.]; $\eta = 0,4388$ [-]; $e = 0,397$ [kW-h/m³]
 b) $Q = 66,40$ [L/min]; $H = 7,10$ [m U.Z.]; $\eta = 0,1635$ [-]; $e = 0,579$ [kW-h/m³]
 c) $Q = 16,96$ [L/min]; $H = 7,10$ [m U.Z.]; $\eta = 0,6012$ [-]; $e = 0,040$ [kW-h/m³]

Azken aukera da energetikoki eraginkorrena

2. ARIKETA

- a) $\Pi_3 = P / (\rho \cdot D^5 \cdot N^3)$
 b) $H(Q, N) = 21,15 (N^2 / 1490^2) + 2,23 (N / 1490) \cdot Q - 0,1538 \cdot Q^2$
 $P_m(Q, N) = 0,6091 (N^3 / 1490^3) - 0,0114 (N^2 / 1490^2) \cdot Q + 0,0045 (N / 1490) \cdot Q^2$
 c) 1,5 [kW]
 d)

Q [m ³ /h]	6	8	10	12	14,52
P_{abs} [kW]	0,15	0,35	0,68	1,16	2,01
N [h/urte]	100	125	250	500	3.000
[kW-h/urte]	14,79	43,73	169,39	578,00	6.030,00
Bolumena urteko [m ³]	600	1.000	2.500	6.000	43.560
[kW-h/m ³]	0,0247	0,0437	0,0678	0,0963	0,1384
[kW-h] guztira urtean	6.836,82				
V urtean zehar [m ³]	53.660				
e [kW-h/m ³]	0,1274				

3. ARIKETA

$$C_A = 15,00 \text{ [€]}; C_B = 22,16 \text{ [€]}; C_C = 15,51 \text{ [€]} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{A \text{ aukera}}$$

4. ARIKETA

- a) $Q = 0,06653$ [m³/s] (0,02218 [m³/s] ponpa bakoitzetik)
 b) $e = 0,2867$ [kW-h/m³]
 c) $N' = 3392,94$ [bira/min]
 d) $e = 0,3364$ [kW-h/m³]

5. ARIKETA

- a) $H = 37,29$ [m L.Z.]; $Q = 8,68$ [m³/h]
 b) 3 ponpa seriean, $\eta = \eta_L (Q_L = 7,81 \text{ [m}^3\text{/s]}) = 0,7774$ [-]

6. ARIKETA

a) Baldin $\Delta z = 45$ [m],

$$H = 51 \text{ [m U.Z.]}, Q = 0,07746 \text{ [m}^3\text{/s]}, \eta = 0,7594 \text{ [-]}, NPSH_R = 0,156 \text{ [m U.Z.]}$$

Baldin $\Delta z = 30$ [m],

$$H = 42 \text{ [m U.Z.]}, Q = 0,10955 \text{ [m}^3\text{/s]}, \eta = 0,7927 \text{ [-]}, NPSH_R = 1,664 \text{ [m U.Z.]}$$

Baldin $\Delta z = 15$ [m],

$$H = 33 \text{ [m U.Z.]}, Q = 0,13416 \text{ [m}^3\text{/s]}, \eta = 0,7066 \text{ [-]}, NPSH_R = 4,217 \text{ [m U.Z.]}$$

b) $z_a = 105,39$ [m]

Estatistikak: Von Widern $H_a = 3,89$ [m]

Wislicenus $H_a = 4,46$ [m]

Graeser $H_a = 3,54$ [m]

Rustchi $H_a = 3,92$ [m]

Stépanoff $H_a = 3,82$ [m]

c) EZ dago ezegonkortasun arazorik

d) $H_A = 47,73$ [m U.Z.], $Q_A = 0,18091$ [m³/s], $\eta_A = 0,7927$ [-],

$$NPSH_{RA} = 0,518 \text{ [m U.Z.]}; N_B = 1778, 41 \text{ [bira/min]}$$

e) $e_A = 0,2344$ [kW-h/m³]; $e_B = 0,2203$ [kW-h/m³]

f) A AUKERA.- $NPSH_{RA} = 0,518$ [m U.Z.]; $NPSH_D > NPSH_{RA}$, ez dago kabitazio-arriskurik.

B AUKERA.- $NPSH_{RB} = 8,623$ [m U.Z.]. $NPSH_D > NPSH_{RB}$, ez dago kabitazio-arriskurik.

g) B AUKERA, (kontuz bi biltegiak hutsik daudenean: kabitazio-arriskua)

7. ARIKETA

a) H1: $Q_B = 0,0351$ [m³/s]; $h_B = 22,52$ [m U.Z.]

b) $z_{IB} = 7,92$ [m]; $Q_B = 0,0375$ [m³/s]; $h_B = 21,70$ [m U.Z.]

8. ARIKETA

a) $Q_a = Q_b = Q_{B1} = Q_{B2} = 0,528$ [m³/s]; $H_{B1} = H_{B2} = 36,55$ [m U.Z.];

$$Q_d = 0,240 \text{ [m}^3\text{/s]}; Q_c = 0,288 \text{ [m}^3\text{/s]}; H_{B3} = 60,04 \text{ [m U.Z.]};$$

$$K_c = 53,29 \text{ [m U.Z.}/(\text{m}^3\text{/s})^2]$$

b) $e = 0,5906$ [kW-h/m³]

c) $H_a = -1,69$ [m]; $p = 6203,9$ [Pa]; ez dago N erreal posiblerik

d) $\eta_{MAX} = 0,7273$ [-]; $n_{QA} = 45,33$ [*]

9. ARIKETA

- a) $Q = 0,0728 \text{ [m}^3/\text{s]}$; $h_m = 50,96 \text{ [m U.Z.]}$; EZ du kabitatzen
 b) $H' = 85,33 - 3,5 \cdot 10^{-4} Q'^2$; $NPSH'_R = 0,57 + 4,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q'^2$
 c) $Q = 0,0851 \text{ [m}^3/\text{s]}$; $h_m = 52,49 \text{ [m U.Z.]}$; (kabitazio-limitea)

10. ARIKETA

- a) Seriean eta paraleloan egindako akoplamendu konbinatua
 b) 3 ponpa seriean dituen 4 adar paraleloan, 12 ponpa guztira (4 ponpa seriean dituen 3 adar paraleloan ere posible da)
 c) $N = 860,38 \text{ [bira/min]}$

11. ARIKETA

- a) $H = 177 + 295 \cdot Q + 5900 \cdot Q^2$
 b) $Q = 0,09 \text{ [m}^3/\text{s]}$, ponpa bakoitzetik $Q = 0,03 \text{ [m}^3/\text{s]}$; $H = 162,8 \text{ [m F.Z.]}$;
 $P = 59,9 \text{ [kW]}$ ponpa bakoitzak; $P_T = 3 P = 179,7 \text{ [kW]}$
 c) $N' = 495,33 \text{ [bira/min]}$

12. ARIKETA

- a) $z_{\text{dep}} = 47,5 \text{ [m]}$
 b) $Q_1 = 0,54 \text{ [m}^3/\text{s]}$ (haran); $Q_1 = 0 \text{ [m}^3/\text{s]}$ (punta, itzalita)
 c) $N' = 1569,8 \text{ [bira/min]}$

13. ARIKETA

- a) $\lambda = 1,1$; $D_{\text{berria}} \approx 227,3 \text{ [mm]}$
 b) $Q = 37,38 \text{ [L/min]}$; $H_m = 26,75 \text{ [m U.Z.]}$; $\eta = 0,565 \text{ [-]}$
 c) $e = 0,16 \text{ [kW-h/m}^3\text{]}$

14. ARIKETA

- a) Urmaela BETETA: $H \approx 4,9 \text{ [m U.Z.]}$; $Q \approx 1425 \text{ [L/s]}$; $\eta \approx 76 \text{ [%]}$
 Urmaela HUTSIK: $H \approx 5,8 \text{ [m U.Z.]}$; $Q \approx 1340 \text{ [L/s]}$; $\eta \approx 79 \text{ [%]}$
 b) Ia-ia 2 [h]
 c) $e = 0,02045 \text{ [kW-h/m}^3\text{]}$
 d) Urmaela BETETA: $NPSH_D = 7,05 \text{ [m U.Z.]}$ ($> NPSH_R \approx 5,0 \text{ [m U.Z.]}$)
 Urmaela HUTSIK: $NPSH_D = 5,93 \text{ [m U.Z.]}$ ($> NPSH_R \approx 4,7 \text{ [m U.Z.]}$)
 e) Ez du emaria bikoizten ($Q_2 < 2 \cdot Q_1$)
 f) $n_q = 114,61 \text{ [*]}$; $n_{QE} = 0,2049 \text{ [-]}$; $\nu = 0,7264 \text{ [-]}$
 g) $Q_{\Lambda}' = 6,62 \text{ [m}^3/\text{s]}$; $H_{\Lambda}' = 63,33 \text{ [m U.Z.]}$; $n_q = 114,61 \text{ [*]}$

15. ARIKETA

- a) $\eta_a = 0,6488$ [-]
- b) $e = 0,42$ [kW-h/m³]
- c) $K_{i2} = 0,6028$ [-]
- d) $K_{cm2i} = 0,0059$ [-]

16. ARIKETA

- a) $H_m = 15,76$ [m U.Z.]; $P = 10049,13$ [W]; $Q_{int} = 0,04712$ [m³/s]
- b) $K = 7097,0$ [m U.Z./(m³/s)²]
- c) $N' = 961,5$ [bira/min]
- d) $Q_{int} = 0,04665$ [m³/s]; $H_m = 22,52$ [m O.Z.]; $P = 13426,9$ [W]

17. ARIKETA

- a) $e = 0,240$ [kW-h/m³]
- b) $e = 0,194$ [kW-h/m³]

18. ARIKETA

- a) $P_m = 11,8 + 0,1712 \cdot Q$ [kW]; $P_m = 11,7 + 0,2102 \cdot Q$ [kW] (Q [L/s]-tan)
- b) Potentziaren kurban balio minimoa emaria 0 [L/s] denean lortzen da eta hortik gora gorakorra da: ponpa zentrifugoa

TURBINAK

19. ARIKETA

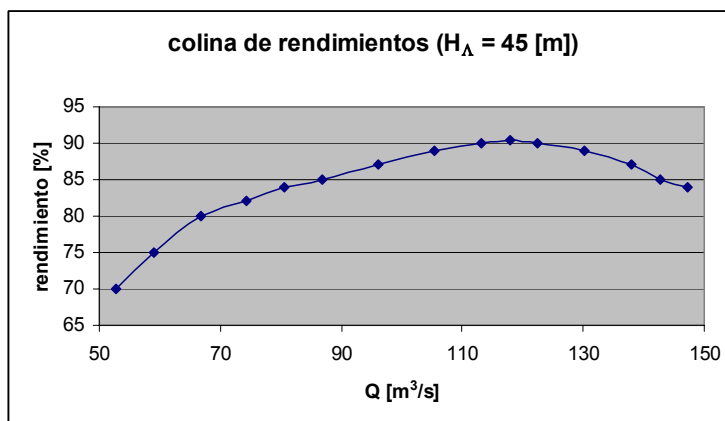
- a) $\eta = 93,46$ [%]; $P_e = 72,09$ [MW]
- b) $K = 4,83 \cdot 10^{-6}$ [m U.Z./ $(\text{m}^3/\text{s})^2$]
- c) $n_q = 169,98$ [*]; $\nu = 1,077$ [-]
- d) Kaplan turbina: $D_e = 8,24$ [m]; $b = 0,77$ [m]; estatistiken arabera, 5-6-7 alabe
- e) $\eta_m = 90,92$ [%]; $\Delta\eta = 2,53$ [%]
- f) Estatistiken arabera aukeratutako kota kontserbadorea da

20. ARIKETA

- a) $H_n = 137,17$ [m U.Z.]
- b) $P_h = 138,04$ [MW]; $\eta_t = 90,58$ [%]; $\eta_a = 95,73$ [%]; $\eta_G = 86,71$ [%]
- c) $n_q = 47,38$ [*]; $\nu = 0,3003$ [-]
- d) Francis turbina: $D_{1i} = 3,58$ [m]; $D_{1e} = 3,50$ [m]; $B = 1,43$ [m]
- e) $\eta_m = 89,05$ [%]; $\Delta\eta = 1,53$ [%]
- f) Estatistiken arabera aukeratutako kota kontserbadorea da

21. ARIKETA

- a) $D = 4,81$ [m]; $Q_\Lambda = 117,83$ [m^3/s]; $P_{m\Lambda} = 47,08$ [MW]
- b) Francis turbina
- c)

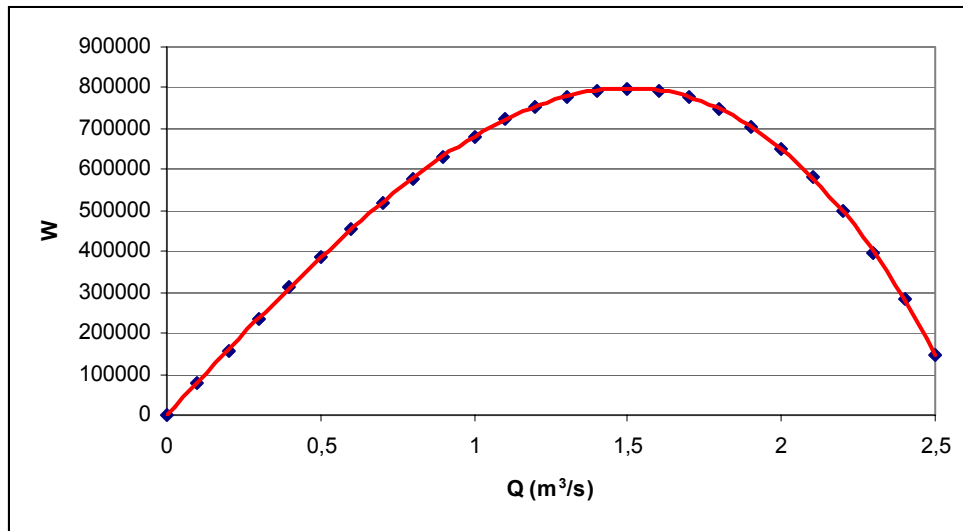


Q_{11} [*]	η [%]	Q [m^3/s]
0,34	70	52,72
0,38	75	58,92
0,43	80	66,67
0,48	82	74,42
0,52	84	80,62
0,56	85	86,82
0,62	87	96,13
0,68	89	105,43
0,73	90	113,18
0,76	90,5	117,83
0,79	90	122,48
0,84	89	130,24
0,89	87	137,99
0,92	85	142,64
0,95	84	147,29

- d) $P_{mnom} = 50,93$ [MW]
- e) $H_M = 11,25$ [m]; $Q_{\Lambda M} = 2,36$ [m^3/s]
- f) $n_{q\Lambda} = 74,97$ [*] ($n_{q\Lambda} = n_{qM\Lambda}$, makinak antzekoak dira)

22. ARIKETA

- a) $P_e = 797.553 \cdot Q - 8.698,7 \cdot D^{-5} \cdot Q^3$
- b) $Q = 1,5 \text{ [m}^3\text{/s]}$; $K = 14,72 \text{ [m U.Z./ (m}^3\text{/s)}^2\text{]}$
 $h_T = 66,67 \text{ [m U.Z.]}$; $n_q = 78,86 \text{ [*]}$, beraz Francis
- c)



- d) $c_1 = 36,15 \text{ [m/s]}$; $u_1 = 21,68 \text{ [m/s]}$; $w_1 = 42,15 \text{ [m/s]}$; $a_1 = 90 \text{ [}^\circ\text{]}$; $\beta_1 = 59,05 \text{ [}^\circ\text{]}$
 $c_2 = 30,13 \text{ [m/s]}$; $u_2 = 26,01 \text{ [m/s]}$; $w_2 = 39,80 \text{ [m/s]}$; $a_2 = 90 \text{ [}^\circ\text{]}$; $\beta_2 = 49,20 \text{ [}^\circ\text{]}$

23. ARIKETA

- a) $n_{QE} = 6,10 \text{ [*]}$: injektore bakarreko Pelton turbina
- b) $\eta_M = 73,80 \text{ [%]}$
- c) $D_P = 1,80 \text{ [m]}$
- d) $Q_P = 664,57 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]}$
- e) $P_m = 3,71 \text{ [MW]}$
- f) $d = 85,52 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}$; $L = 2,5 \cdot d = 213,8 \text{ [mm]}$; $B = 2,8 \cdot d = 239,5 \text{ [mm]}$;
 $e = 1,2 \cdot d = 102,6 \text{ [mm]}$; $T = 0,9 \cdot d = 77,0 \text{ [mm]}$

24. ARIKETA

- a) $H_n = 256 \text{ [m U.Z.]}$; $Q = 50,04 \text{ [m}^3\text{/s]}$; $P_a = 103,67 \text{ [MW]}$
- b) $n_q = 41,45 \text{ [*]}$: Francis turbina; $\eta_h = 94,72 \text{ [%]}$; $H_E = 242,48 \text{ [m U.Z.]}$

25. ARIKETA

- a) $P_m = 79,62$ [kW]
 b) Pelton turbina, hobe 3 injektoreduna
 c) $D = 0,441$ [m]
 d) $\eta_{\text{man}} = 0,96$ [-]; $\eta_m = 0,927$ [-]

26. ARIKETA

- a) 5 Pelton turbina
 b) $D = 0,99$ [m]
 c) $d = 0,154$ [m]
 d) $D = 0,74$ [m]

27. ARIKETA

- a) $c_1 = 110$ [m/s]; $u_1 = 52,8$ [m/s]; $w_1 = 57,2$ [m/s]; $\alpha_1 \approx 0$ [°]; $\beta_1 \approx 0$ [°]
 $c_2 = 13,67$ [m/s]; $u_2 = 52,8$ [m/s]; $w_2 = 51,48$ [m/s]; $\alpha_2 = 77,01$ [°]; $\beta_2 = 15$ [°]
 b) $D = 1,01$ [m]
 c) $P_E = 3,524$ [MW]; $T_E = 33.651,81$ [N · m]
 d) $H_n = 635,79$ [m U.Z.]; $\eta_{\text{man}} = 90,52$ [%]
 e) $n_q = 6,24$ [*] PELTON
 $L = 2,5 \cdot d = 212,5$ [mm]; $B = 2,8 \cdot d = 238,0$ [mm];
 $e = 1,2 \cdot d = 102,0$ [mm]; $T = 0,9 \cdot d = 76,5$ [mm]
 f) $Q_M = 0,2341$ [m³/s]; $H_M = 1430,53$ [m U.Z.]; $n_{qM} = 6,24$ [*]
 g) $\eta_M = 90,19$ [%]

28. ARIKETA

- a) $P_{\text{MAX}} = 210.968,93$ [kW]
 b) $n_q = 53,01$ [*]
 c) $P = 144.608,8$ [kW]; $Q = 175,88$ [m³/s]

29. ARIKETA

- a) 6,215 [%]
 b) 0,76 [%]
 c) 0,0246 [%]
 d) 4,115 [m U.Z.]

30. ARIKETA

- a) $D_{2e} = 1,5$ [m]
 b) $N = 441,03$ [bira/min], estatistikoki lortutako balioa. Sinkronismo-abiadurarik hurbilena: 428,57 [bira/min]
 c) $N = 428,57$ [bira/min] hartuz: $u_2 = 33,66$ [m/s]; $K_{u2} = 0,76$ [-]
 d) $4,98 \cdot 10^{-4}$ [%]

31. ARIKETA

- a) $n_s = 94,19$ [*]; $n_q = 31,30$ [*]; $\nu = 0,1984$ [-]
 b) $\varphi_{(85\% \text{ GATE})} = 0,0961$ [-]; $\psi_{(85\% \text{ GATE})} = 1,652$ [-]

32. ARIKETA

- a) $c_1 = 34,36$ [m/s]; $u_1 = 31,42$ [m/s]; $w_1 = 7,47$ [m/s]; $a_1 = 12$ [°]; $\beta_1 = 107,4$ [°]
 $c_2 = 11,52$ [m/s]; $u_2 = 14,14$ [m/s]; $w_2 = 15,71$ [m/s]; $a_2 = 74,77$ [°]; $\beta_2 = 45$ [°]
 b) $H = 121,48$ [m U.Z.]
 c) $P_e = 1,013$ [MW]; $T = 16.121,39$ [N · m]
 d) $n_q = 16,40$ [*]; agian 4 injektoredun Pelton turbina hobeto moldatuko litzateke
 e) $\eta_M = 82,84$ [%]; $\Delta\eta_{M-P} = 2,16$ [%]

33. ARIKETA

a)

Q [m ³ /s]	H_n [m U.Z.]	Φ [-]	Ψ [-]	H [%]	α [°]	β [°]
0,05	9,925	0,0835	0,2752	83,0	7	25
0,10	9,700	0,1670	0,2690	91,5	17	33
0,15	9,325	0,2506	0,2586	89,3	27	43

- b) Lehen kasuan: $H_b = 9,08$ [m]
 Bigarren kasuan: $H_b = 12,33$ [m]

34. ARIKETA

- a) $n_Q = 172,21$ [*], Kaplan turbinen balioei dagokio
 b) $P_H = 1,03$ [MW]
 c) $P_m = 821,22$ [kW]
 d) $\eta_M = 0,76$ [-]
 e) $c_1 = 9,42$ [m/s]; $u_1 = 31,42$ [m/s]; $w_1 = 26,07$ [m/s]; $a_1 = 47,99$ [°]; $\beta_1 = 15,58$ [°]
 $c_2 = 25,40$ [m/s]; $u_2 = 31,42$ [m/s]; $w_2 = 9,90$ [m/s]; $a_2 = 16,00$ [°]; $\beta_2 = 45,00$ [°]

35. ARIKETA

a) $a_2 = 84,54 [^\circ]$

b) $c_3^2 / 2g = 0,228 [\text{m U.Z.}]$