Fluidoen instalazioak eta makinak. Laborategiko praktiken gidoia.

Egilea(k)

CONCEPCIÓN OLONDO
URKO IZQUIERDO
IGOR PEÑALVA

EUSKARAREN ETA ETENGABEKO PRESTAKUNTAREN ARLOKO ERREKTOREORDETZAREN SARE ARGITALPENA

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

ISSN 2603-8900

Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos

Fluidoen instalazioak eta makinak

Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos

Fluidoen instalazioak eta makinak

AURKIBIDEA

1. ARAUTEGIA 2
2. LABORATEGI PRAKTIKAK 3
3. P1 PRAKTIKA. PONPAK 1: AKOPLAMENDUAK 4
   1. Beharrezkoa den ezagutza 5
   2. Aurre-laborategia 5
   3. Helburuak 5
   4. Oinarri teorikoa 5
   5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena 7
   6. Prozedura esperimentala: praktika egitea 10
   7. Emaitzak 12
   8. Ondorioak 13
4. P2 PRAKTIKA. PONPAK 2: BIRAKETA-ABIADURA 14
   1. Beharrezkoa den ezagutza 15
   2. Aurre-laborategia 15
   3. Helburuak 15
   4. Oinarri teorikoa 15
   5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena 18
   6. Prozedura esperimentala: praktika egitea 22
   7. Emaitzak 23
   8. Ondorioak 23
5 P3. PRAKTIKA. TURBINAK 1: PELTON TURBINA 24
   1. Beharrezko ezagutza 25
   2. Aurre-laborategia 25
   3. Helburuak 25
   4. Oinarri teorikoa 25
   5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena 27
   6. Prozedura esperimentala: praktika egitea 29
   7. Emaitzak 33
   8. Ondorioak 33
6. PRAKTIKA. TURBINAK 2: FRANCIS TURBINA 34
   1. Beharrezko ezagutza 35
   2. Aurre-laborategia 35

3. Helburuak 35
4. Oinarri teorikoa 35
5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena 37
6. Prozedura esperimentala: praktika egitea 38
7. Emaitzak 41
8. Ondorioak 42
7. P5 PRAKTIKA. TURBINAK 3: KAPLAN TURBINA 44
1. Beharrezko ezagutza 45
2. Aurre-laborategia 45
3. Helburuak 45
4. Oinarri teorikoa 45
5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena 46
6. Prozedura esperimentala: praktika egitea 51
7. Emaitzak 53
8. Ondorioak 54
8. PRAKTIKA P6. TURBINAK 4: HELIZE TURBINA 56
1. Beharrezko ezagutza 57
2. Aurre-laborategia 57
3. Helburuak 57
4. Oinarri teorikoa 57
5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena 58
6. Prozedura esperimentala: praktika egitea 61
7. Emaitzak 64
8. Ondorioak 64
8. P7 PRAKTIKA. HAIZAGAILUAK 1: H. AXIALA 66
1. Beharrezko ezagutzak 67
2. Laborategi aurretiko lana 67
3. Helburuak 67
4. Oinarri teorikoak 67
5. Beharrezko ekipamendua eta instalazioaren deskribapena 69
6. Prozedura esperimentala: praktika gauzatzea 72
7. Emaitzak 74
8. Ondorioak 75
10. P8 PRAKTIKA. HAIZAGAILUAK 2: H. ERRADIALA 76
1. Beharrezko ezagutzak 77

2. Laborategi aurretiko lana 77
3. Helburuak 77
4. Oinarri teorikoak 77
5. Beharrezko ekipamendua eta instalazioaren deskribapena 79
6. Prozedura esperimentala: praktika gauzatzea 81
7. Emaitzak 84
8. Ondorioak 85
11. BIBLIOGRAFIA 86

Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos

Fluidoen instalazioak eta makinak

1. ARAUTEGIA

Bertaratzea

Derrigorrezkoa da laborategiko saio guztietara bertaratzea. Horietako baterako joan ezina justifikatua egon beharra dauka.

Ebaluazioa

Praktikak honako modu honetan ebaluatuko dira: kontuan izanik praktiken garapen egokia (laborategi aurreko lana, talde-lana (kolaboratiboa), laborategian jarraitutako prozedura esperimentala, eta abar) eta praktikaren txostena izango den kalkulu-orria. Azken honetan, dagokion ikasturte akademikoan eratutako xls dokumentuan, agerian jarriko dira esperimentalki lortutako datuen tratamendua eta emaitzak.

Aurre-laborategia

Praktika ordubetean egiteko, praktikari dagokion dokumentazioa irakurri behar da.

Laborategiko lana

Laborategiko praktika datu esperimentalak hartzearekin gauzatuko da, eta horiekin garatuko dira praktika bakoitzean eskatzen diren atalak: grafikoen eta kurben eraketa eta lortutako emaitzen interpretazio laburra. Praktika bukatzerakoan, irakasleari entregatuko zaizkio lortutako datuak; horregatik, talde bakoitzak lortutako datuen kopia bat izan beharko du praktika bakoitzari dagokion txostena egin ahal izateko.

Laborategiko txostenaren entrega

Praktika bakoitza egin ondoren, entrega-epea gehienez 48 ordukoa delarik (jai-egunak kontuan hartu gabe), honi dagozkion datuak, kalkuluak, emaitzak, kurbak, interpretazioak eta ondorioak dagokion irakasleari helaraziko zaizkio emailez Excel dokumentu bakar batean. Bildutako eta eratutako informazio guztia argi eta laburki azalduko da. Pertsona bakar batek bidaliko du Excel dokumentua irakasle bakoitzak adierazitako kodearen arabera identifikatua. Emaileko gaian, Excel dokumentuaren kode berdina jarriko da.
Talderen bat atzeratuko balitz txostena entregatzerakoan, atzerapen horrek penalizazio bat ekarriko lioke.

2. LABORATEGI PRAKTIKAK

P1 praktika. PONPAK 1: AKOPLAMENDUAK

- Bi ponpa ezberdinen funtzionamenduari dagokion (*H-Q*) kurba karakteristikoen zehaztapen esperimentala, bai bakarka bai akoplatuta (seriean eta paraleloan).

P2 praktika. PONPAK 2: BIRAKETA-ABIADURA

- Ponpa baten funtzionamenduari dagozkion (*H-Q*) eta (η–*Q)* kurba karakteristikoen zehaztapen esperimentala, biraketa-abiadura ezberdinetan. Antzekotasun-legeen aplikazioa.

P3 praktika. TURBINAK 1: PELTON TURBINA

- Pelton turbina bati dagozkion errendimenduaren, potentzia mekanikoaren eta pare eragilearen kurba karakteristikoen zehaztapen esperimentala, biraketa-abiaduraren arabera.

P4 praktika. TURBINAK 2: FRANCIS TURBINA

- Francis turbina bati dagozkion errendimenduaren, potentzia mekanikoaren eta pare eragilearen kurba karakteristikoen zehaztapen esperimentala, biraketa-abiaduraren arabera.

P5 praktika. TURBINAK 3: KAPLAN TURBINA

- Kaplan turbina bati dagozkion errendimenduaren, potentzia mekanikoaren eta pare eragilearen kurba karakteristikoen zehaztapen esperimentala, biraketa-abiaduraren arabera.

P6 praktika. TURBINAK 4: HELIZE TURBINA

- Helize turbina bati dagozkion errendimenduaren, potentzia mekanikoaren eta pare eragilearen kurba karakteristikoen zehaztapen esperimentala, biraketa-abiaduraren arabera.

P7 praktika. HAIZAGAILUAK 1: HAIZAGAILU AXIALA

- Pitot hodia erabiliz, abiadura-profilen zehaztapen esperimentala eta emariaren kalkulua. Haizagailu axialaren kurba karakteristikoak. Antzekotasun-legeen aplikazioa.

P8 praktika. HAIZAGAILUAK 2: HAIZAGAILU ERRADIALA

- Pitot hodia erabiliz, abiadura-profilen zehaztapen esperimentala eta emariaren kalkulua. Haizagailu erradialaren kurba karakteristikoak. Antzekotasun-legeen aplikazioa.

3. P1 PRAKTIKA. PONPAK 1: AKOPLAMENDUAK

Fluidoen instalazioak eta makinak

1. Beharrezkoa den ezagutza

Fluidoen mekanika.

Makina hidraulikoak. Turbomakinak. Ponpak.

2. Aurre-laborategia

Dokumentazioa irakurri behar da praktika ordubetean egiteko. Ikusi P1 praktikari dagokion bideoa.

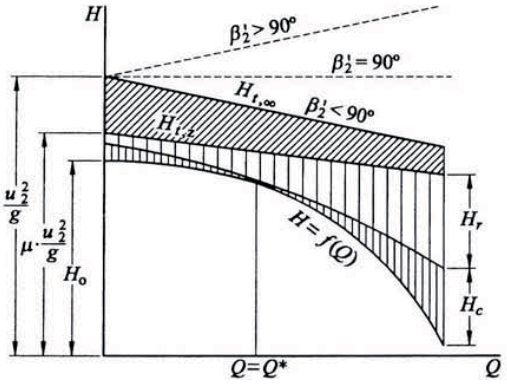
3. Helburuak

Ponpen funtzionamendua kalkulatzea eta frogatzea, bai ponpa bakar baten kasurako eta baita ponpak seriean eta paraleloan akoplatzen direnean.

- Ponpa baten funtzionamenduaren begi hutsezko behaketa.
- Ponpen funtzionamenduari dagozkion kurba karakteristikoen zehaztapen esperimentala, ikasten den kasu bakoitzean.
- Laborategian lortutako H-Q kurba karakteristikoen ulerpena eta konparaketa.

4. Oinarri teorikoa

Ponpa hidrauliko baten kurba karakteristikorik ohikoena ***kurba eragilea*** da. Kurba horrek H altuera eta emandako Q emaria lotzen ditu, biraketa-abiadura erregimen jakin batentzat. Horrela, ponparen funtzionamendu-puntuak definituta egongo dira altuera manometrikoak eta emariak eratzen duten kurbaren bidez, $H(Q) = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2$. Galerak daudenez eta errodetearen alabe kopurua mugatua denez, kurba erreala funtzio paraboliko baten moduan definitzen da, eta ez zuzen baten bidez (kurba teorikoa), 1. irudian erakusten den moduan:



1. irudia. *H-Q kurba teorikoak eta errealak; bertan $H_{t,\infty}$, infinitu alabedun kurbari dagokio, $H_{t,z}$, z alabe kopuru mugatu bati dagokio, H_r, marruskadurari dagozkion galerak kontuan hartzen dituen kurbari, eta H_c, talken erruzko galerak ere kontuan hartzen dituenari.*

Analisi guztiz teoriko baten bidez ezin da adierazpen matematikoa lortu berariazko kasu bakoitzarentzat. Oro har, saiakuntza-banku batean esperimentalki zehazten da kurba, eta hori izango da ponparen fabrikatzaileak erabiltzaileari emango diona.

Instalazio garrantzitsuak diseinatzen direnean, ponpak seriean edo paraleloan akoplatzeko aukera dago, betiere fluidoaren mugimenduak eskatzen duenaren arabera. Paraleloan akoplatzen direnean *n* ponpa ezberdin, eskatzen den *Q* emari totala ponpa horietako bakoitzak bultzatzen duen emarien batura izango da. Beraz, likido jakin baten emari handiak ponpatu nahi direnean, horrelako akoplamenduak erabiltzen dira. Demagun bi ponpa ditugula, B.1 eta B.2, bakoitza bere kurba karakteristikoarekin:

$$\text{B.1:} \quad H_1 = A_1 + B_1 \cdot Q_1 + C_1 \cdot Q_1^2$$

$$\text{B.2:} \quad H_2 = A_2 + B_2 \cdot Q_2 + C_2 \cdot Q_2^2$$

Kurba horiek horrela adieraz daitezke:

$$Q_1 = f_1\,(H_{//})$$

$$Q_2 = f_2\,(H_{//})$$

Beraz, paraleloan egindako akoplamenduaren *H-Q* kurba hau izango da:

$$\boldsymbol{Q_{//} = Q_1 + Q_2 = f_1\,(H) + f_2\,(H)}$$

Ponpak seriean akoplatzen direnean, emaria konstante mantentzen da, eta fluidoak segidako igotzeak edo segidako presio-handitzeak jasaten ditu. Hortaz, seriean egindako akoplamendua interesgarria da presio-handitze handiak behar direnean, eta ponpen diametroari dagozkion murriztapenak daudenean, putzu sakonetan gerta daitekeenez. Bi ponpa, B.1 eta B.2, seriean akoplatzen direnean, horrela definitzen da kurba karakteristikoa:

$$\boldsymbol{H_s = H_1 + H_2 = (A_1 + A_2) + (B_1 + B_2) \cdot Q_s + (C_1 + C_2) \cdot Q_s^{\,2}}$$

5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena

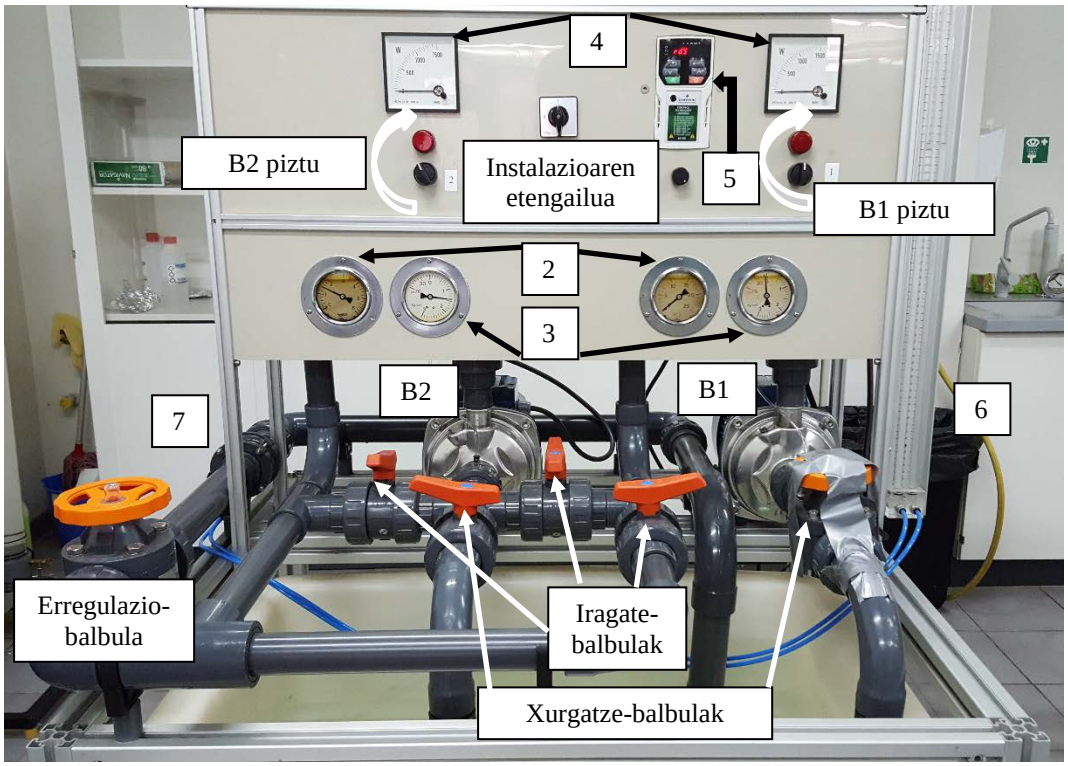
Fluidoen Mekanikako laborategiak bi ponpa instalatuta dituen banku bat du. Banku horrek oinarrizko osagai hauek ditu (2. irudia):

1: Bi motoponpa unitate (*N*~2900 bira/min) PEDROLLO SPA markakoak (B.1 eta B.2).

2: Bi manometro, bakoitza B.1 eta B.2 ponpen bultzatze bakoitzean konektatuta.

3: Bi bakuometro-manometro, bakoitza ponpen xurgatze bakoitzean konektatuta.

4: Bi wattmetro, 1 eta 2 errodeteak birarazteko jarritako motorrek kontsumitutako potentzia neurtzeko.



2. irudia. *Ponpen bankua eta osagai nagusiak.*

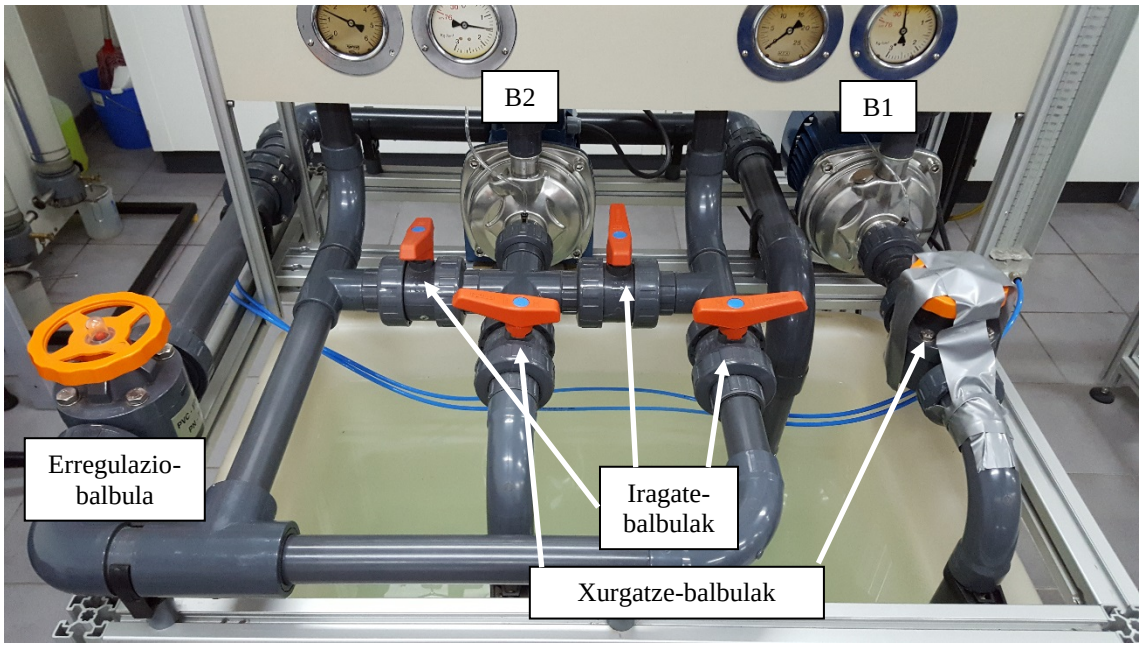
3. irudia. *Maiztasun-aldagailua (5).*

Horrez gain, B.1 ponpak elikatzean maiztasun-aldagailu bat du (5), eta, horri esker, ponparen beraren biraketa-abiadura alda daiteke. Aldagailu horrek pantaila bat du, eta lan-maiztasuna agertzen da bertan. Erregulazio-gurpil baten bidez, B.1 taldea zein maiztasunez elikatuko den alda daiteke (3. irudia). Hala ere, praktika honetan maiztasuna konstante mantenduko da eta, beraz, ez da maiztasun-aldagailua aldatu beharko. B.2 ponpak ez du maiztasun-aldagailurik.

Bankuak emariak neurtzeko zulodun plaka bat du (7) eskuineko alboan (2. irudia). Estugunearen erruzko presio-jaitsiera kota-alde moduan neurtzen da, horretarako bereziki graduatutako bi zutaberen bidez. Dabilen emaria m^3/h-an lortzeko, manometroaren bi adarren arteko aldea neurtu beharko da mm-tan, eta horren erro karratua 0,568 balioaz biderkatu.

4. irudia. *Graduatutako zutabeak (6) zulodun plakarekin lotuta (7).*

Azkenik, bankuak zenbait hodi eta konexio-balbula ditu praktika ezberdinak egin ahal izateko, eta, era berean, ur-depositu bat behealdean (5. irudia).



5. irudia. *Hodiak, balbulak eta ur-depositua.*

6. Prozedura esperimentala: praktika egitea

Praktika egiteko, prozedura hau jarraitu beharko da:

B.1 ponparen kurba karakteristikoa lortzea

1. Xurgatze-hodian dagoen balbula EZ DA UKITU BEHAR. Ur-maila egiaztatuko da.
2. Martxan jarri instalazioa.
3. Ipini iragate-balbula gorriak era egokian, B.1 ponparekin lan egin ahal izateko.
4. ITXITA izan emaria doitzeko balbula.
5. Martxan jarri B.1. (eskuinera),
6. Egiaztatu maiztasun-aldagailua 45 Hz-ko balioan finkatuta dagoela.
7. Idatzi emaria nulua denean B.1 ponparen xurgatzean eta bultzatzean dauden presioen balioak (bakuometro-manometroa eta manometroa). Erregulazio-balbula zabaldu apurka-apurka, errodetean kabitazioa entzun arte. Idatzi B.1 ponparen presioen eta emarien balioak (kotak).
8. Itxi berriro emaria doitzeko balbula. Ondoren, zabaldu pixkanaka (emaria handituz), eta idatzi xurgatze- eta bultzatze-hodietako presioak eta emariak BOST puntu gehiagotan, emaria zero den puntuaren eta kabitazio-hasierari dagokion puntuaren artean.
9. Itxi emaria doitzeko balbula.

10. Itzali B.1 ponpa.

B.2 ponparen kurba karakteristikoa lortzea

3 eta 10 arteko urratsak errepikatu beharko dira B.2 ponparentzat. Ponpa horrek 50 Hz-tan egingo du lan.

B.1 eta B.2 ponpak seriean egindako akoplamenduari dagokion kurba karakteristikoa lortzea

1. Ipini iragate-balbula gorriak era egokian, SERIEAN akoplatutako ponpen zirkuitua lortu ahal izateko.
2. ITXITA izan emaria doitzeko balbula.
3. Martxan jarri B.1. (eskuinera) eta B.2.
4. Egiaztatu maiztasun-aldagailua 45 Hz-ko balioan finkatuta dagoela.
5. Idatzi emaria nulua denean B.1 ponparen eta B.2 ponparen xurgatzean eta bultzatzean dauden presioen balioak (bakuometro-manometroa eta manometroa). Erregulazio-balbula zabaldu apurka-apurka, errodetean kabitazioa entzun arte. Idatzi B.1 ponparen eta B.2 ponparen presioen eta emarien balioak (kotak).
6. Itxi berriro emaria doitzeko balbula. Ondoren, zabaldu pixkanaka (emaria handituz), eta idatzi xurgatze- eta bultzatze-hodietako presioak eta emariak HIRU puntu gehiagotan, emaria zero den puntuaren eta kabitazio-hasierari dagokion puntuaren artean.
7. Itxi emaria doitzeko balbula.
8. Itzali B.1 ponpa eta B.2 ponpa.

B.1 eta B.2 ponpak paraleloan egindako akoplamenduari dagokion kurba karakteristikoa lortzea

1. Ipini iragate-balbula gorriak era egokian, PARALELOAN akoplatutako ponpen zirkuitua lortu ahal izateko.
2. ITXITA izan emaria doitzeko balbula.
3. Martxan jarri B.1. (eskuinera) eta B.2.
4. Egiaztatu maiztasun-aldagailua 45 Hz-ko balioan finkatuta dagoela.
5. Idatzi emaria nulua denean B.1 ponparen eta B.2 ponparen xurgatzean eta bultzatzean dauden presioen balioak (bakuometro-manometroa eta manometroa). Erregulazio-

balbula zabaldu apurka-apurka, errodetean kabitazioa entzun arte. Idatzi B.1 ponparen eta B.2 ponparen presioen eta emarien balioak (kotak).

6. Itxi berriro emaria doitzeko balbula. Ondoren, zabaldu pixkanaka (emaria handituz), eta idatzi xurgatze- eta bultzatze-hodietako presioak eta emariak HIRU puntu gehiagotan, emaria zero den puntuaren eta kabitazio-hasierari dagokion puntuaren artean.
7. Itxi emaria doitzeko balbula.
8. Itzali B.1 ponpa eta B.2 ponpa.
9. Itzali instalazioa.

1. taula. *Datu esperimentalen neurketa.*

PONPAK 1: Akoplamenduak		z_1	z_2	Manometroa		Bakuometro-manometroa	
	Unitateak	(mm)	(mm)	B.1 (m C. A.)	B.2 (kg/cm^2)	B.1 (cm Hg)	B.2 (cm Hg / kg/cm^2)
Ponpa B.i	X puntu						
B.1-Serie-B.2 - B.1-Paralelo-B.2	Y puntu						

7. Emaitzak

Ikasleak emaitzen taula egingo du EXCEL fitxategian. Taula horrek laborategian lortutako datu esperimentalak erakutsiko ditu. Datu horiei esker lortuko dira emaitza esperimentalak. Emaitza esperimentalen interpretazioaren bidez, grafiko hauek egingo dira:

- **1. grafikoa.** B.1 ponparen *H-Q* kurba karakteristikoa eta dagokion doikuntza polinomikoa.
- **2. grafikoa.** B.2 ponparen *H-Q* kurba karakteristikoa eta dagokion doikuntza polinomikoa.
- **3. grafikoa.** Seriean egindako *H-Q* kurba karakteristiko teorikoa, B.1 eta B.2 ponpen kurba karakteristiko bakoitza abiapuntutzat hartuz. Grafiko berean, seriean egindako akoplamenduarentzat laborategian lortutako puntu esperimentalak irudikatu.
- **4. grafikoa.** Paraleloan egindako *H-Q* kurba karakteristiko teorikoa, B.1 eta B.2 ponpen kurba karakteristiko bakoitza abiapuntutzat hartuz. Grafiko berean, paraleloan egindako akoplamenduarentzat laborategian lortutako puntu esperimentalak irudikatu.

H-Q kurba karakteristiko guztiak polinomio bati doituta egon beharko dira, dagokien mailarekin. Erregresio hori ikusi beharko da, eta baita dagokion ekuazioa ere. Grafiko guztiek izenburua izan behar dute, eta, era berean, ardatzek ere izena eta dagozkien unitateak izan behar dituzte. Grafiko horiek txostenean aurkeztuko dira, eta grafikoak irudikatzeko erabilitako datuen jatorria zein den ezagutu beharko da.

8. Ondorioak

Praktikaren helburuan oinarrituz, ondorio nagusiak adierazi beharko dira Excel fitxategian bertan. Akoplamenduen atalari dagokionez, emaitza esperimentalen eta teorikoen artean ager daitezkeen aldeak interpretatu beharko dira.

4. P2 PRAKTIKA. PONPAK 2: BIRAKETA-ABIADURA

Fluidoen instalazioak eta makinak

1. Beharrezkoa den ezagutza

Fluidoen mekanika.

Makina hidraulikoak. Turbomakinak. Ponpak.

2. Aurre-laborategia

Dokumentazioa irakurri behar da praktika ordubetean egiteko. Ikusi P2 praktikari dagokion bideoa.

3. Helburuak

Ponpa baten funtzionamendua kalkulatzea eta frogatzea, biraketa-abiadura ezberdinetan.

- Ponpa baten funtzionamenduaren begi hutsezko behaketa.
- Ponpa baten funtzionamenduari dagozkion kurba karakteristikoen zehaztapen esperimentala, biraketa-abiadura ezberdinetan.
- Laborategian lortutako *H*-*Q* kurba karakteristikoen eta antzekotasun-legeekin lortutako kurba karakteristikoen ulerpena eta konparaketa. Esperimentalki lortutako potentzia mekanikoari eta errendimenduari dagozkion kurben ulerpena eta konparaketa

4. Oinarri teorikoa

1. praktikari dagokion aurreko atalean azaldu den bezala, ponpa hidrauliko baten kurba karakteristikorik ohikoena da *H* altuera eta emandako *Q* emaria biraketa-abiadura erregimen jakin batentzat lotzen dituena. Galerak daudenez eta errodetearen alabe kopurua mugatua denez, kurba erreala funtzio paraboliko baten moduan definitzen da, $H = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2$, eta ez zuzen baten bidez (kurba teorikoa), aurretik 1. praktikaren 1. irudian erakusten zen moduan.

Analisi guztiz teoriko baten bidez ezin da lortu adierazpen matematikoa berariazko kasu bakoitzarentzat. Oro har, saiakuntza-banku batean esperimentalki zehazten da kurba, eta hori izango da ponparen fabrikatzaileak erabiltzaileari emango diona.

Instalazioak diseinatzen direnean, kontuan hartu beharko dira ponparen errendimendua eta instalazio osoarena. Horretarako, instalazio bat bereizten duten potentziak eta errendimenduak definituko dira:

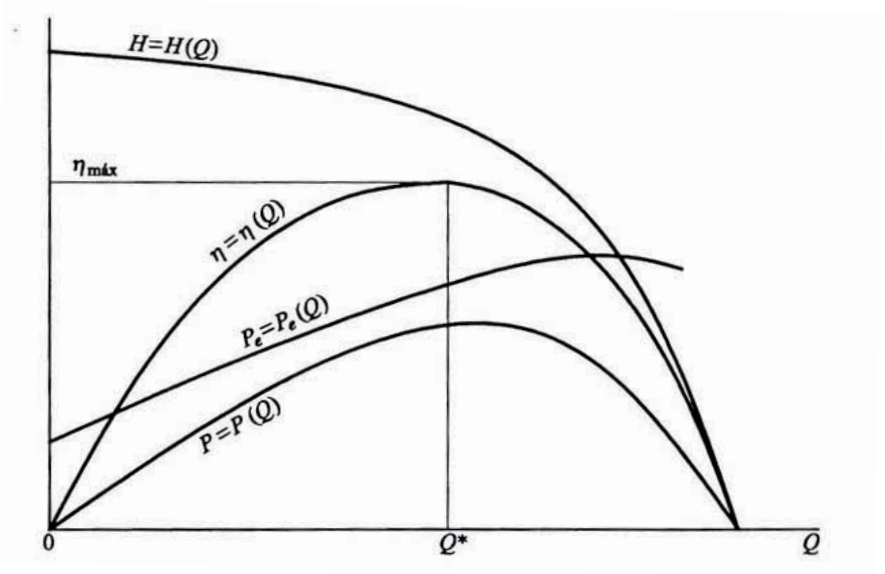
- Potentzia hidraulikoa: likidoak irabazten duena da, eta horrela definitzen da: $\boldsymbol{P_h = \gamma \cdot Q \cdot H}$

- Potentzia mekanikoa edo ponparen ardatzaren kanpoko potentzia: $\boldsymbol{P_m = M \cdot N}$
- Potentzia elektrikoa: ponparen motorraren kontsumo elektrikoa adierazten duen datua.

Momentua, ***M***, balazta dinamometriko baten bidez neur daiteke, beranduago azalduko den moduan, eta biraketa-abiadura, ***N***, takometro baten bidez. Errendimendu ezberdinak zehaztuko dira orain, aurretik definitutako potentzien menpe:

- Ponparen errendimendu globala: $\eta_{G.P.} = P_h/P_m$
- Motorraren errendimendu globala: $\eta_{G.M} = P_m/P_e$
- Motoponparen errendimendu globala: $\eta_{G.M-P.} = \eta_{G.B.} \cdot \eta_{G.M.} = P_h/P_e$

Horrela, kurba karakteristikoa, ponparen errendimendu globala, potentzia hidraulikoa eta potentzia mekanikoa horrela irudika daitezke (6. irudia):



6. irudia. ***Altuera manometrikoaren, ponparen errendimendu globalaren, ardatzeko potentziaren (P_e) edo potentzia mekanikoaren eta potentzia hidraulikoaren (P) bilakaera emariaren menpe.***

6. irudian ikusten denez, behin ponpa piztuz gero kontsumoa egon badago, nahiz eta fluidorik ponpatu ez. Hortaz, ardatzeko potentziaren edo potentzia mekanikoaren doikuntza (6. irudian P_e bada ere, testuan P_m izendatu da, potentzia elektrikoarekin ager daitekeen nahasketa ekiditeko) egingo da bigarren mailako polinomio baten arabera:

$$P_m\,(Q) = D + E \cdot Q + F \cdot Q^2$$

Potentzia hidraulikoa, P, ordea, (aurrerantzean $P = P_h$ = potentzia hidraulikoa) beste kurba mota honetara doituko da:

$$P_h\,(Q) = G \cdot Q + H \cdot Q^2$$

Aurretik definitutako errendimenduen kasuan, adierazpen honen menpe egingo da doikuntza:

$$\eta\,(Q) = I \cdot Q + J \cdot Q^2$$

Ponpak hobekien lan egiten duen puntua bere potentzia izendatuari dagokio, hau da, diseinuko Q^* emariari dagokion puntuari (ikus 6. irudia). Emari optimo horretatik hurbil dauden puntuen inguruko bandan ere ondo egingo du lan, puntu horietan errendimendua ere egokia baita.

Beste egoera batzuetan ponparen funtzionamendua aurreikusteko, beste biraketa-abiadura batean birarazten denean esaterako, antzekotasun-legeak erabiltzen dira. Beraz, ezaguna den biraketa-abiaduraren (N) eta lortu nahi den biraketa-abiaduraren (N') arteko erlazioa, R_N, definituko da:

$$R_N = N'/N$$

Horrez gain, antzekotasun-adierazpenen arabera, hauek dira altuera manometrikoa, emaria, potentzia eta errendimendua biraketa-abiadurarekin erlazionatzen dituzten adierazpen matematikoak:

$$\frac{H'}{H} = \left(\frac{N'}{N}\right)^2 = R_N^2$$

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{N'}{N} = R_N$$

$$\frac{P'}{P} = \left(\frac{N'}{N}\right)^3 = R_N^3$$

$$\eta = \eta'$$

Dagozkion antzekotasun-legeak aplikatuz, biraketa-abiadura ezberdin batean birarazten den eta ponpa beraren kurbak lor daitezke:

$$H' = A \cdot R_N^2 + B \cdot R_N \cdot Q' + C \cdot Q'^2$$

$$P_m' = D \cdot R_N^3 + E \cdot R_N^2 \cdot Q' + F \cdot R_N \cdot Q'^2$$

$$P_h' = \mathrm{G} \cdot R_N^{\ 2} \cdot Q' + \mathrm{H} \cdot R_N \cdot Q'^2$$

$$\eta' = \mathrm{I} \cdot \left(\frac{1}{R_N} \right) \cdot Q' + \mathrm{J} \cdot \left(\frac{1}{R_N} \right)^2 \cdot Q'^2$$

Antzekotasun-legeak erabiliz eta baldintza jakin batzuetan lortutako kurbetan oinarrituz, saiakuntza-banku batean esperimentazio-prozesu guztia berriz egin beharrean, ponpa beraren kurbak kalkula daitezke beste funtzionamendu-baldintza batzuetan (beste biraketa-abiadura batean).

5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena

Fluidoen Mekanikako laborategiak ponpen banku bat du. Banku horrek oinarrizko osagai hauek ditu (7. irudia):

7. irudia. *Ponpen bankua.*

Irudi horretan,

1. Abiadura-neurgailuaren adierazgailu digitala (bira/min).
2. Kontrol-panela.
3. Abiadura finkoa duen ponparen wattmetroa.
4. Etengailu orokorra.
5. Larrialdietako etengailua.

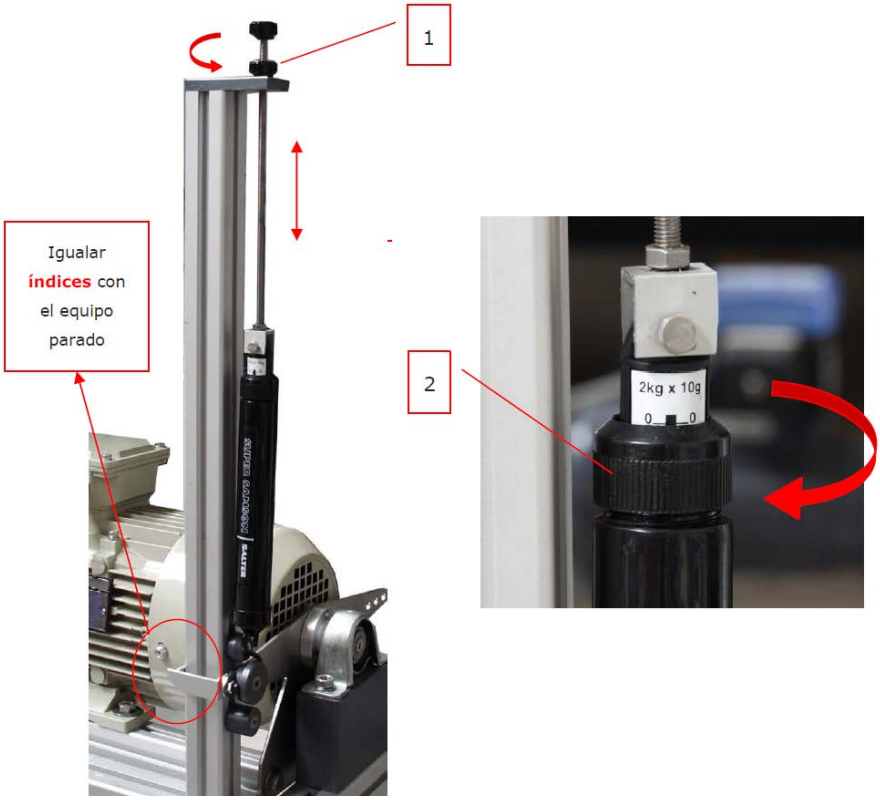
6. Maiztasun-aldagailua.
7. Abiadura aldakorra duen ponparen wattmetroa.
8. Biraketa-abiadura ikusteko hautagailua (B.1 edo B.2).
9. Biraketa finkoa duen ponparen etengailua.
10. Bourdon motako bakuometro-manometroak.
11. Bultzatzean kokatutako erregulazio-balbula.
12. Ponpa zentrifugoa.
13. Motorra balantzinean duen eta abiadura-aldagailua duen ponparen etengailua.
14. Dinamometroa.
15. Motorra balantzinean duen eta abiadura-aldagailua duen ponpa.
16. Korronte-hargunearen etengailua.
17. Xurgatzean kokatutako erregulazio-balbula.
18. Aluminiozko profildun bankua.
19. Depositua.
20. Bola-balbulak.

B.2 ponpak maiztasun-aldagailu bat du elikatzean (6), eta, horri esker, bere biraketa-abiadura aldatzeko gaitasuna du. B.1 ponpak ez du maiztasun-aldagailurik. Bankuak emari-neurgailu digital bat du albo batean.

Abiadura aldakorra duen ponparen motorrak igorritako parea bere alboan kokatutako dinamometroa erabiliz neurtzen da (8. irudia). Dinamometro hori era egokian erabiltzeko, lehenengo eta behin, bere zeroak doitu behar dira. Horretarako, indizeak berdindu beharko dira: barra bertikalean dagoen indizea (xafla metaliko finko bat da) eta ponparen ardatzaren muturrean dagoen indizea (ponparen ardatzarekin lotuta dagoen xafla metalikoa eta, hortaz, mugikorra). Urrats hauek egin beharko dira:

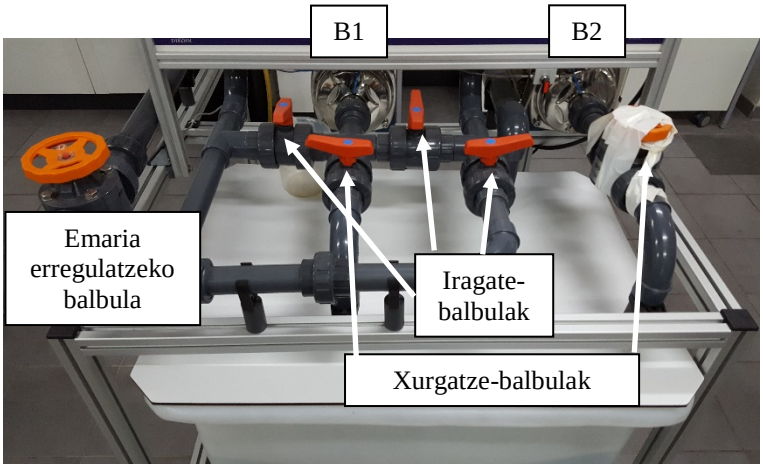
- Ponpa geldirik dagoela, aluminiozko profilean dagoen aginte beltza (1) lasaitu beharko da, eta hagaxka irristarazi indize biak bat egin arte.
- Era berean, zero posizioan doituko da dinamometroaren eskala. Horretarako, dinamometroaren goialdean dagoen azkoin beltzari (2) eragin beharko zaio.

Hortaz, zeroa dagokio dinamometroan inongo indarrik eragiten ez duen ponparen posizio horizontalari.



8. irudia. *Dinamometroa eta balantzina.*

Indize biak maila berean daudenean, sistema orekan egongo da. Besoak, dinamometrotik ponparen ardatzeraino, 0,110 m neurtzen du. Azkenik, bankuak konexiorako hodi eta giltza multzo bat du praktika ezberdinak egin ahal izateko. Horrez gain, bankuaren behealdean ur-depositu bat dago (9. irudia).



9. irudia. *Hodiak, giltzak eta behealdeko ur-depositua.*

6. Prozedura esperimentala: praktika egitea

Praktika egiteko, prozedura hau jarraitu beharko da:

45 Hz-tan B.2 ponparen kurba karakteristikoa lortzea.

1. EZ DA UKITU BEHAR xurgatze-hodian dagoen balbula. Egiaztatu ur-maila.
2. Martxan jarri instalazioa.
3. Ipini iragate-balbula gorriak era egokian.
4. Doitu dinamometroaren «zeroa».
5. ITXITA izan irteera-balbula.
6. Martxan jarri B.2 (ezkerrera).
7. Maneiatu maiztasun-aldagailua (soilik beharrezkoa balitz) biraketa-abiadura 45 Hz-tan finkatzeko.
8. Ponparen kurba karakteristikoa lortzeko emaria apurka-apurka handitu beharko da $Q = 0$ baliotik hasita, bultzatzeko presioa 10 m U.Z.-ko balioan finkatzen duen emaria lortu arte. Ponparen sarreran eta irteeran, presioaren (bakuometro-manometroa eta manometroa), indarraren (g), potentzia elektrikoaren (W) eta biraketa-abiaduraren balioak hartuko dira. Neurketa horiek adierazitako bi puntuetan eta tarteko beste BOST funtzionamendu-puntutan egingo dira.
9. Itxi irteera-balbula.
10. Itzali B.2.

40 Hz-tan B.2 ponparen kurba karakteristikoa lortzea.

5 eta 10 arteko urratsak errepikatu beharko dira, baina oraingoan biraketa-abiadura 40 Hz-tan finkatuko da.

Ponparen potentzia mekanikoa lortzeko, adierazpen hau erabiliko da: $P_m = M \cdot N = F \cdot d \cdot N$. Adierazpen horretan, F indarra da N-etan, d parearen besoa (0,11 m), eta N biraketa-abiadura bira/min-tan. Emari bakoitzarentzat indarra lortuko da dinamometroaren bitartez.

2. taula. *Datu esperimentalen neurketa.*

Ponpak 2: Maiztasun-aldaketa	Q	P	F	Bak.-Man.	Manometroa	N
	m^3/h	W	g	(m U.Z.)	(m U.Z.)	(bira/min)

XX Hz	Puntuak X						

7. Emaitzak

Ikasleak emaitzen taula egingo du EXCEL fitxategian. Taula horrek laborategian lortutako datu esperimentalak erakutsiko ditu. Datu horiei esker lortuko dira emaitza esperimentalak. Emaitza esperimentalen interpretazioaren bidez, grafiko hauek egingo dira:

- **1. grafikoa.** B.2 ponparen H-Q kurba karakteristikoa 45 Hz-tan.
- **2. grafikoa.** B.2 ponparen potentzia-emari kurba 45 Hz-tan: potentzia hidraulikoa, P_h-Q, potentzia mekanikoa, P_m-Q, eta potentzia elektrikoa, P_e-Q.
- **3. grafikoa.** B.2 ponparen errendimendu-emari kurba 45 Hz-tan: ponparen errendimendu globala, $\eta_{G.B.}$-Q, motorraren errendimendu globala, $\eta_{G.M.}$-Q, eta moto-ponparen errendimendu globala, $\eta_{G.M-B.}$-Q.
- **4. 5. eta 6. grafikoak.** Lortu B.2-ri dagozkion ekuazioak 40 Hz-tan, eta irukidatu H-Q, P_h-Q eta P_m-Q, eta $\eta_{G.B.}$-Q kurbak, bakoitza grafiko batean. Kurba horietako bakoitzaren gainean, irudikatu B.2 ponparekin 40 Hz-tan lortutako puntu esperimentalak.

Kurba karakteristiko guztiak polinomio bati doituta egon beharko dira dagokien mailarekin. Erregresio hori ikusi beharko da, eta baita dagokion ekuazioa ere. Grafiko guztiek izenburua izan behar dute, eta, era berean, ardatzek ere izena eta dagozkien unitateak izan behar dituzte. Grafiko horiek txostenean aurkeztuko dira, eta grafikoak irudikatzeko erabilitako datuen jatorria zein den ezagutu beharko da.

8. Ondorioak

Praktikaren helburuan oinarrituz, ondorio nagusiak adierazi beharko dira Excel fitxategian bertan. Lortutako erregresioen itxura ere azaldu beharko da, eta emaitza esperimentalen eta teorikoen izan daitezkeen aldeak interpretatu beharko dira.

5 P3. PRAKTIKA. TURBINAK 1: PELTON TURBINA

Fluidoen instalazioak eta makinak

1. Beharrezko ezagutza

Fluidoen mekanika.

Makina hidraulikoak. Turbomakinak. Turbinak.

2. Aurre-laborategia

Dokumentazioa irakurri behar da praktika ordubetean egiteko. Ikusi P3 praktikari dagokion bideoa.

3. Helburuak

Akzio-turbina baten funtzionamendua kalkulatzea eta frogatzea.

- Akzio-turbina baten funtzionamenduaren begi hutsezko behaketa.
- Akzio-turbina baten errendimendu-kurba karakteristikoen ezarpen esperimentala.
- Akzio-turbina baten aukeraketa, diseinua edo funtzionamenduaren optimizazioa aurrera eramateko beharrezkoak diren parametroen irakurketa eta ulerpena.

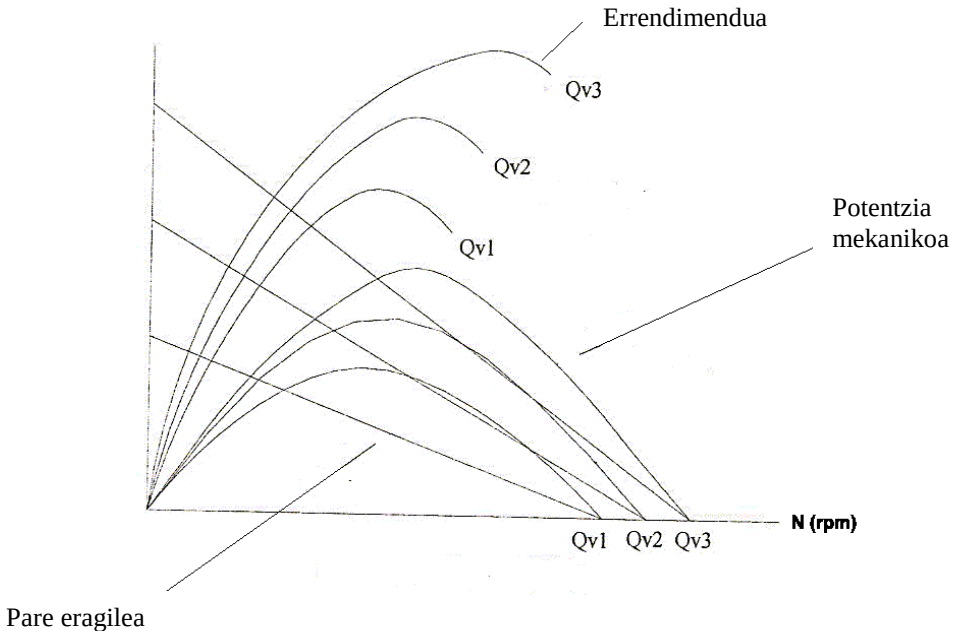
4. Oinarri teorikoa

Pelton turbina akzio-turbina bat da, non ura injektore baten bitartez errotorearen gainean kokatutako besoetara zuzentzen baita. Injektorea nahi diren emariak lortzeko diseinatua dago; modu horretan, injektorearen sarreran urak aurkezten duen energia presio-energia da, injektorearen irteeran, errotorean kokatutako besoekin talka egin baino lehen, bere osotasunean energia zinetiko bihurtuko dena. Injektoretik ateratzen den ur-zorrotada airera zabalik dagoenez (presio atmosferikora), errotorearen gainean eragindako indarra ur-zorrotadaren norabide-aldaketaren ondorioa da.

Pelton turbina baten funtzionamendu-puntuak honako kurba karakteristiko hauen bitartez ager daitezke (10. irudia):

1. Pare eragilea, bira-abiaduraren arabera: $C_m = C_m(N)$
2. Potentzia mekanikoa, bira-abiaduraren arabera: $P_m = P_m(N)$
3. Errendimendua, bira-abiaduraren arabera: $\eta = \eta(N)$

Kurba karakteristiko hauek injektorearen irekitze-graduaren arabera aldatzen dira.



10. irudia. ***Pelton turbina bati dagozkion kurba karakteristikoak jauzi garbi (H_n) ezagun eta konstante baterako, eta injektorearen 3 itxiera gradu (x) ezberdinetarako.***

10. irudian ikusten den bezala, potentzia mekanikoak eta errendimenduak balio maximo bat agertzen dute, eta, hortik aurrera, jaitsiera bat aurkezten dute balioan. Turbinek, oro har, bira-abiadura konstante baten pean lan egiten dute, eta energia eraldatzen dute; horregatik, funtzionamendu-abiaduran etekin maximoak lortzeko diseinatuak dira.

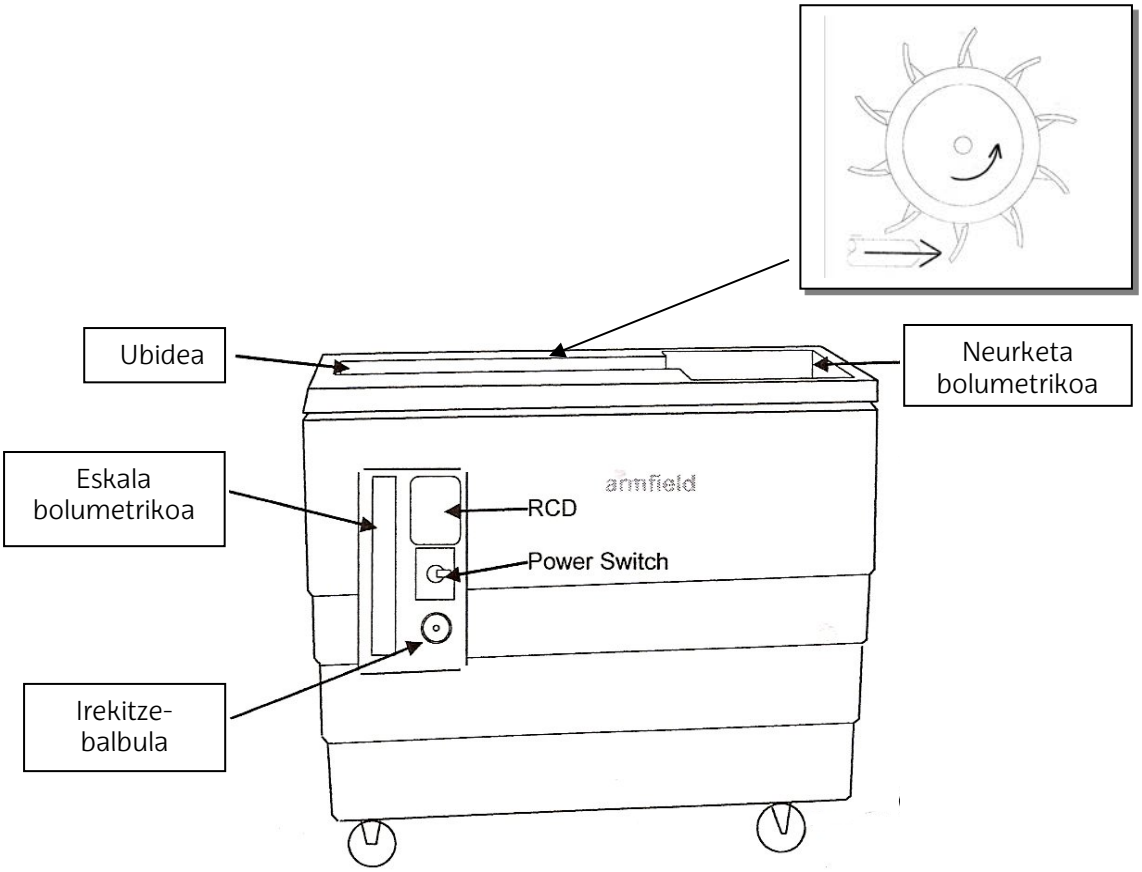
Hauek dira turbina baten funtzionamendua zehazten duten parametroak:

- Emaria (***Q***)
- Jauzi garbia ($\boldsymbol{H}_n$)
- Potentzia hidraulikoa ($\boldsymbol{P}_h$)
- Pare eragilea ($\boldsymbol{C}_m$)

- Potentzia mekanikoa (P_m)
- Errendimendua (η)

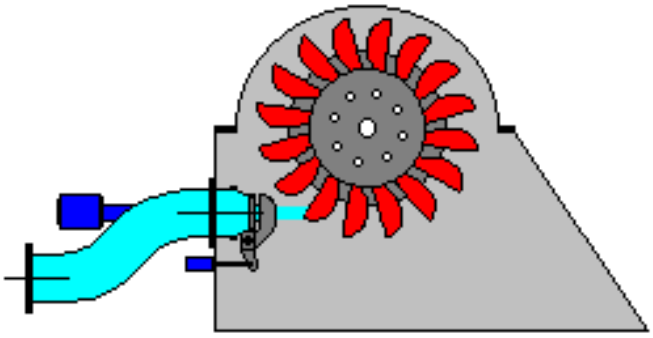
5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena

Fluidoen mekanikako laborategiak Armfield banku hidrauliko batean instalatuta du Pelton turbina bat (11. irudia).

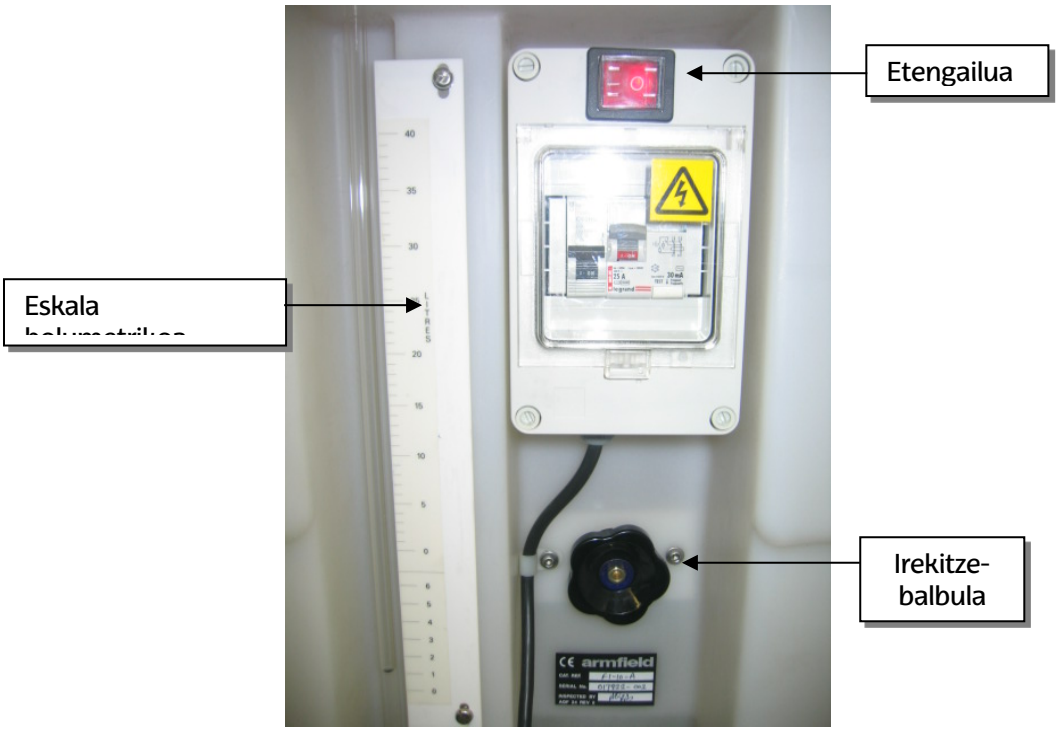


11. **irudia.** *Armfield banku hidraulikoa.*

Banku honen behealdean ura dago, ponpa baten bidez injektorera bideratzen dena. Injektoretik ateratzen den ur-zorrotadak, emari eta energia zinetiko batekin, talka egingo du Pelton turbinako errodetean diren besoen kontra (12. irudia).

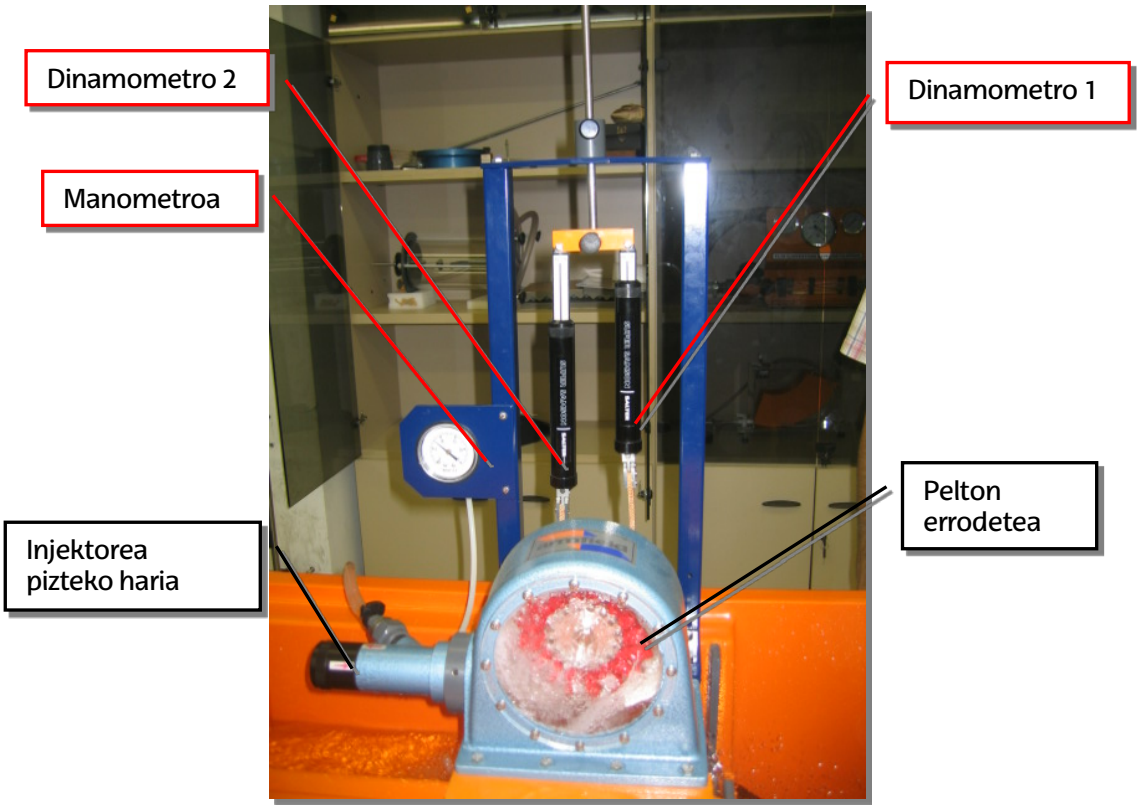


12. **irudia.** Pelton errodetearen eta injektorearen eskema.



13.

13. irudia. Eskala bolumetrikoa, uraren irekitze-balbula eta etengailua.



14. irudia. *Pelton modulua.*

6. Prozedura esperimentala: praktika egitea

Praktika egiteko, prozedura hau jarraitu behar da:

A. Inpultsio-ponpa piztu (etengailua – 13. irudia) eta emaria erregulatzeko balbula zabaldu (irekitze-balbula – 13. irudia).

B. Hariaren bitartez, doitu injektorea hiru posizio ezberdinetara (14. irudia). Hariak injektorearen guztizko zabaleratik abiatuta, 5,5 buelta betetzen ditu injektorea guztiz itxi arte. KONTUAN HARTU INJEKTOREA EZIN DELA GUZTIZ ITXI BERE OBTURADOREA TRABATU EZ DADIN.

Injektorea guztiz zabalik dagoela abiatuta, hauek dira neurketarako erabiliko diren hiru posizioak:

1 punto: 2 buelta

Fluidoen instalazioak eta makinak

2 punto: 3 buelta

3 punto: 4 buelta

C. Ezarriko diren hiru posizioetan, betiere injektorean itxiera zehaztu ondoren, erregulatu emaria bankuko irekitze-balbularen bitartez (13. irudia), injektorearen sarreran dagoen manometroan 5 m U. Z.-ko irakurketa konstantea izateko.

D. Injektorearen posizio bakoitzerako eta 5 m.U.Z.-ko jauzi garbia konstante mantenduz, emari konstante bat izango da (akzio-turbina izateagatik), $Q=Q(N)=\mathrm{Kte}$; eta C_m pare eragilea, P_m potentzia mekanikoa eta η errendimendua turbinaren N bira-abiaduraren araberakoak izango dira: $C_m(N)$, $P_m(N)$ eta $\eta(N)$. Injektorearen itxiera-gradu ezberdinetarako, turbinaren bira-abiadura aldatuko da, pare erresistentean (zintaren marruskadura-maila) eraginez goialdeko palankaren bitartez (14. irudia).

E. Bukatzeko, 3. posizioari dagokion kokapenerako (4 buelta), jauzi garbia 10 m.U.Z.-ra igoko da emaria erregulatzeko balbularen bitartez (13. irudia). Egoera berri horretarako, aurreko atalean bezala, bira-abiadura aldatuko da pare erresistentea aldatuz.

Segidan, aipatu diren aldagai fisikoen kalkulua azalduko da:

I. Emari bolumetrikoa

Emari bolumetrikoa bolumenaren eta denboraren arteko zatiduraren bitartez ezarriko da. Bankuko biltegi bolumetrikoko eskalan (13. irudia), denbora-tarte ezagun batean (30 s baino handiagoa) biltegi bolumetrikoan sartu den bolumena adieraziko da. Eragiketa hori egiteko, tankearen isurbidea itxiko da bankuko behealdeko tankeko bolaren bidez (15. irudia). Neurketa bolumetriko bakoitzaren bukaeran, isurbidea zabaldu beharko da berriro bola berdinaren bitartez.

15. irudia. *Isurbidearen itxiera egiteko bola.*

II. Jauzi garbia

Jauzi garbia **(H_n)**, m U. Z.-ko unitateetan, zuzenean manometroan irakurriko da. (14. irudian).

III. Potentzia hidraulikoa

Potentzia hidraulikoa urak turbinaren esku jartzen duen potentzia da. Turbinara sartzearen eta jauzi garbiaren araberakoa da hori: $P_h = \gamma \cdot Q \cdot H_n$

IV. Pare eragilea

Errodeteak diskoari transmititzen dion pare eragilea kalkulatzen da diskoaren gainean eragiten den indar tangentzialaren eta diskoak aurkezten duen erradioaren **(r = 0,03 m)** biderketaren bitartez. N bira-abiaduran, bi dinamometroek aurkezten duten irakurketen arteko kendurak indar tangentzialaren berri emango du; hortaz, diskoaren gainean eragindako C_r pare erresistenteak eta errodeteak diskoari transmititutako C_m pare eragileak balio berdina aurkeztuko dute aipatutako N bira-abiaduran:

$$C_r = (F_{D2} - F_{D1}) \cdot r$$

$$C_r = C_m.$$

V. Bira-abiadura

Bira-abiadura zuzenean takometro digital baten bitartez irakurriko da. Honek ***N*** abiadura angeluarraren irakurketa zuzenak eskaintzen ditu bira/min.-ko unitateetan.

VI. Potentzia mekanikoa

Errodeteak eta diskoak osatzen duten multzoaren bira-abiadura ***N*** bada, P_m potentzia mekanikoa kalkulatzeko adierazpena honako hau izango da:

$$P_m = C_m \cdot 2 \cdot \pi \, N / 60$$

VII. Turbinaren errendimendua

Urak turbinaren esku jartzen duen potentzia hidraulikoaren **(P_h)** eta errodeteak transmititzen duen potentzia mekanikoaren **(P_m)** arteko balantzearen bitartez kalkulatuko da.

$$\eta_{turbina} = P_m \cdot P_h^{-1}$$

F. Injektorearen hiru itxiera-graduetako bakoitzerako 10 neurketa egingo dira, ***N***, F_{D2} **eta** F_{D1} aldagaietako 10 konbinazio (3. taula). Muturretako puntuak adierazi beharko dira: bira-abiadura zero delarik eratzen den pare maximoa (justu turbinaren ardatza frenatzeko beharrezkoa den indarra eraginez) eta galgaren marruskadurarik gabe lortzen den bira-abiadura maximoa (abiada handiko abiadura, N_{emb}). Halaber, potentzia eta errendimendu maximoak ondo definitzeko, hainbat neurketa hartuko dira tarteko batez besteko abiaduraren inguruan, $N_{emb}/2$ inguruan.

Neurtzen diren balio esperimentalak 3. taula bezalako batean bil daitezke.

3. taula. *Datu esperimentalen neurketa*

Pelton turbina	**Bolumena**	**Denbora**	***X***	***N***	F_{D2}	F_{D1}
	l	**s**	**Buelta Z**	**Biria/min.**	***N***	***N***
1 Neurketa	Q_1		X_1	$N_i =$	$F_{D2i} =$	$F_{D1i} =$
				$N_i =$	$F_{D2i} =$	$F_{D1i} =$
				$N_i =$	$F_{D2i} =$	$F_{D1i} =$

7. Emaitzak

Hartutako datu esperimentaletatik abiatuta, injektorearen itxiera-gradu ezberdinetarako emaria Q (m^3/s), potentzia hidraulikoa P_h (W), pare eragilea C_m (N·m), potentzia mekanikoa P_m (W) eta errendimendua η (%) kalkulatu behar dira. Horiekin, kalkulu horien emaitzak agertzen dituen taula bat eratu beharko da Excel fitxategian; taula honek ere agertuko ditu emaitza horiek lortzeko erabili izan diren balio esperimentalak. Emaitza esperimentalen bitartez, grafiko hauek eratuko dira:

- **1. grafikoa.** Injektorearen posizio bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, pare eragileari dagozkion kurba karakteristikoak grafiko berean irudikatuko dira.
- **2. grafikoa.** Injektorearen posizio bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira potentzia hidraulikoari eta mekanikoari dagozkien kurba karakteristikoak.
- **3. grafikoa.** Injektorearen posizio bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira errendimenduari dagozkion kurba karakteristikoak.
- **4. grafikoa.** Injektorearen 3. posiziorako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira H_n = 5,0 m U. Z. eta H_n = 10,0 m U. Z. jauzi garbietarako lortzen diren potentzia hidraulikoari eta mekanikoari dagozkien kurba karakteristikoak.

Kurba karakteristiko guztiak polinomio bati doituta egongo dira. Grafikoan agertuko dira doiketa horren ekuazioa eta erregresioa. Grafiko guztiek izenburua izan behar dute, eta, era berean, ardatzek ere izena eta dagozkien unitateak agertuko dituzte. Grafikoak txostenean aurkeztuko dira, eta agerian jarriko da zein den horiek irudikatzeko erabilitako datuen jatorria.

8. Ondorioak

Ikasleak, Excel fitxategian bertan, lortutako emaitzei dagokion joera eta turbina baten errendimendua maximoak izan daitezen, bere diseinurako eta bera hautatzeko oinarrizko parametroak zein diren adierazi beharko du.

6. PRAKTIKA. TURBINAK 2: FRANCIS TURBINA

Fluidoen instalazioak eta makinak

1. Beharrezko ezagutza

Fluidoen mekanika.

Makina hidraulikoak. Turbomakinak. Turbinak.

2. Aurre-laborategia

Dokumentazioa irakurri behar da praktika ordubetean egiteko. Ikusi P4 praktikari dagokion bideoa.

3. Helburuak

Erreakzio-turbina baten funtzionamendua kalkulatzea eta frogatzea.

- Erreakzio-turbina baten funtzionamenduaren begi hutsezko behaketa.
- Francis erreakzio-turbina baten errendimendu-kurba karakteristikoen ezarpen esperimentala.
- Francis erreakzio-turbina baten aukeraketa, diseinua edo funtzionamenduaren optimizazioa aurrera eramateko beharrezkoak diren parametroen irakurketa eta ulerpena.

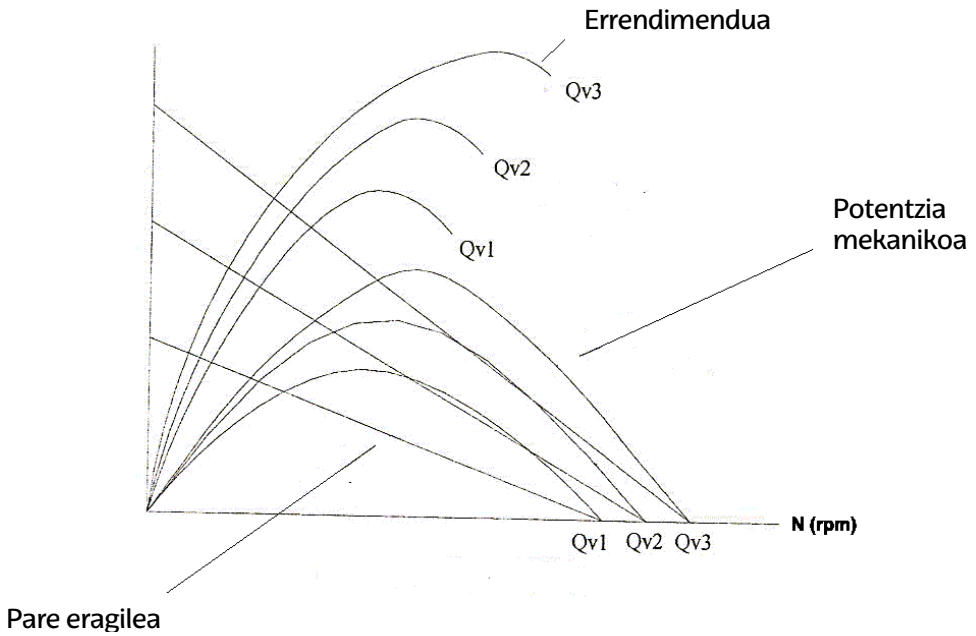
4. Oinarri teorikoa

Francis turbina erreakzio-turbina bat da. Turbina hori zehazten duten oinarrizko osagaiak hauek dira: ura zuzentzeko eta emaria doitzeko beso-koroa batez osatutako banatzailea eta turbinaren ardatzari akoplatutako errodetea, dituen besoen artean igarotzen den ur-zirkulazioari esker biraketa-mugimendu bat eskuratzen duena. Banatzailearen diametroa errodetearena baino handiagoa denez, ur-zirkulazioa ardatzarekiko zentripetua da. Eratutako biraketa-mugimendua nahiz eta parte txiki batean akzioaren (urak besoekin aurkezten duen talkaren) ondorio izan, batez ere sekzio aldakorreko eta kurbatuko besoen profil aerodinamikoei esker beso horien artean gertatzen den ur-zirkulazioak eragiten duen erreakzioaren (euste-indarraren) ondorioa izango da.

Francis turbina baten funtzionamendu-puntuak honako kurba karakteristiko hauen bitartez ager daitezke (16. irudia):

1. Pare eragilea bira-abiaduraren arabera: $C_m = C_m(x, N)$
2. Potentzia mekanikoa bira-abiaduraren arabera: $P_m = P_m(C_m, N)$
3. Errendimendua bira-abiaduraren arabera: $\eta = \eta(N)$

Kurba karakteristiko horiek banatzailearen irekitze/itxiera-graduaren arabera aldatzen dira.



16. irudia. ***Francis turbina bati dagozkion kurba karakteristikoak jauzi garbi (H_n) ezagun eta konstante baterako eta banatzailearen 3 angelu ezberdinetarako***

16. irudian ikusten den bezala, potentzia mekanikoak eta errendimenduak balio maximo bat agertzen dute, eta hortik aurrera jaitsiera bat aurkezten dute balioan. Turbinek, oro har, bira-abiadura konstante baten pean lan egiten dute eta eraldatzen dute energia; horregatik, funtzionamendu-abiaduran etekin maximoak lortzeko diseinatuak dira.

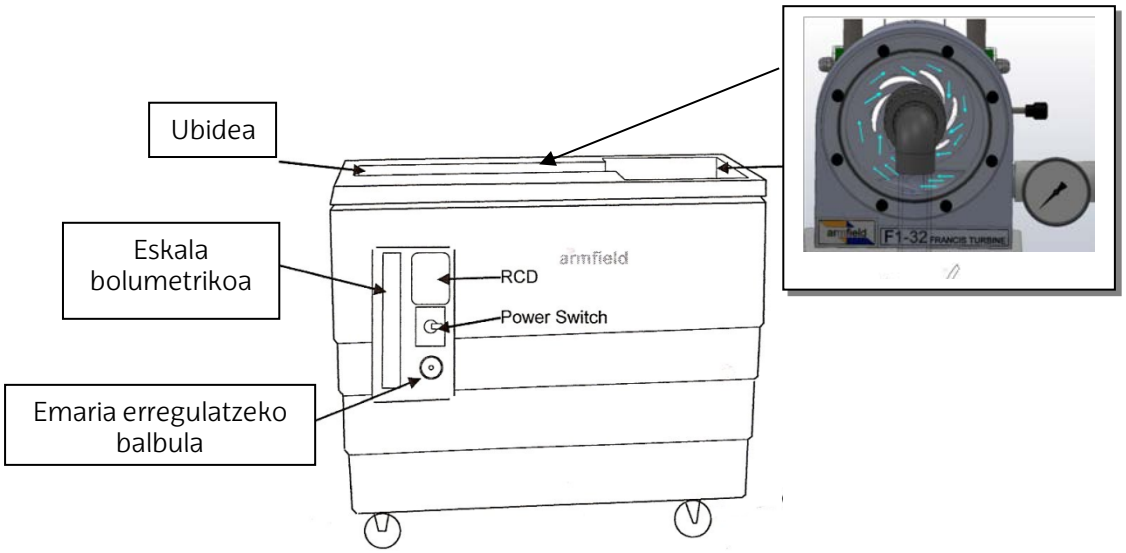
Hauek dira turbina baten funtzionamendua zehazten duten parametroak:

- Emaria (***Q***)
- Jauzi garbia (H_n)

- Potentzia hidraulikoa (P_h)
- Pare eragilea (C_m)
- Potentzia mekanikoa (P_m)
- Errendimendua (η)

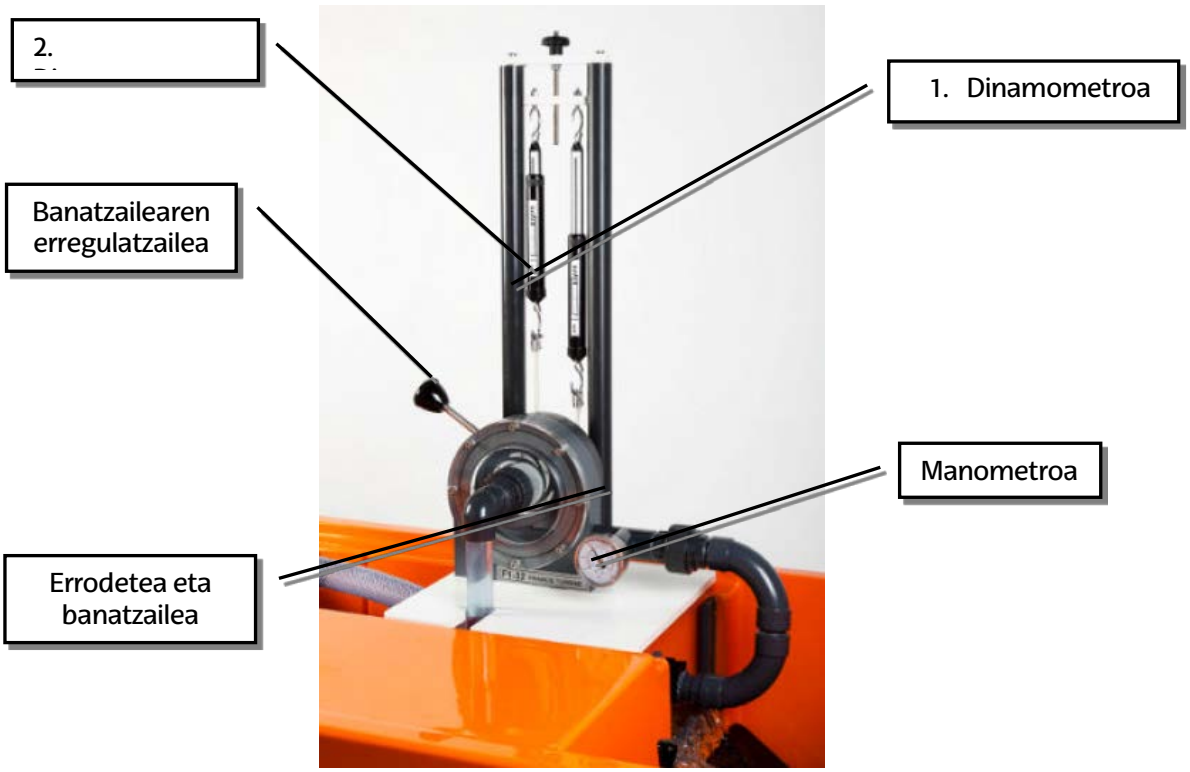
5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena

Fluidoen mekanikako laborategiak Armfield banku hidrauliko batean instalatuta du Francis turbina bat (17. irudia).



17. irudia. *Armfield banku hidraulikoa.*

Banku honen behealdean ura dago, ponpa baten bidez Francis turbinara ponpatua. Presioa bankuak berak duen balbularen bitartez ezartzen da, eta emariaren neurketarako bankuak eskala bolumetriko bat dauka. Ponpatua den urak zirkuitu itxia betetzen du bankuko behealdeko depositura itzuliz. 18. irudian aurkezten dira Francis turbinaren oinarrizko osagaiak.



18. irudia. *Francis turbina moduluaren osagaiak.*

6. Prozedura esperimentala: praktika egitea

Praktika egiteko, prozedura hau jarraitu behar da:

A. Inpultsio-ponpa piztu (etengailua – 17. irudia) eta emaria erregulatzeko balbula zabaldu (iekitze-balbula – 17. irudia).

B. Turbinaren banatzailea bi gradu ezberdinetara doituko da: neurketak banatzailearen zabalerako 40 eta 20 graduetarako egingo dira.

C. Ezarriko diren bi angeluetarako bankuko emaria erregulatzeko balbularen bitartez, uneoro 10,0 psi.-ra doituko da turbinaren sarrerako presioa. Beraz, ezarriko diren bi angelu bakoitzerako, N bira-abiadura ezberdinetarako turbinaren sarrerako presioa 10 psi izan dadin, beharrezko emaria ezarri beharko da; hortaz, neurtuko diren puntu bakoitzerako, emariaren neurketa egin beharko da.

D. Banatzailearen gradu bakoitzerako turbinaren sarrerako presioa 10,0 psi balio konstantean mantenduko denez, C_m pare eragilea, P_m potentzia mekanikoa eta

η errendimendua turbinaren N bira-abiadurarekin dutenaren arabera adieraziko dira: $C_m(N)$, $P_m(N)$ eta $\eta(N)$. Ondorioz, presioaren eta bira-abiaduraren eragina pairatuko dute hiru parametro horiek.

Banatzailearen zabalera-gradu bakoitzerako, betiere turbinaren sarrerako presioa konstante mantentzen delarik, 6 balio ezberdin emango zaizkio turbinaren bira-abiadurari; horretarako, goialdeko palankan arituz (18. irudia), pare erresistentea (zintaren marruskadura-maila) aldatu egingo da.

Segidan, aipatu diren aldagai fisikoen kalkulua azalduko da:

I. Emari bolumetrikoa

Bolumenaren eta denboraren arteko zatiduraren bitartez ezarriko da emari bolumetrikoa. Bankuko biltegi bolumetrikoko eskalan (17. irudia) neurtu eta adieraziko da denbora-tarte ezagun batean (30 s baino handiagoa) biltegi bolumetrikoan sartu den bolumena. Eragiketa hori egiteko, tankearen isurbidea itxiko da bankuko behealdeko tankeko bolaren bidez (19. irudia). Neurketa bolumetriko bakoitzaren bukaeran, bola berdinaren bitartez isurbidea zabaldu beharko da berriro.

19. irudia. *Isurbidearen itxiera egiteko bola*

II. Jauzi garbia

Jauzi garbia (**H_n**), m U. Z.-ko unitateetan, zuzenean manometroan irakurriko da (18. irudia).

III. Potentzia hidraulikoa

Urak turbinaren esku jartzen duen potentzia da potentzia hidraulikoa. Turbinara sartzen denaren eta jauzi garbiaren araberakoa da hori: $P_h = \gamma \cdot Q \cdot H_n$

IV. Pare eragilea

Errodeteak diskoari transmititzen dion pare eragilea kalkulatzen da diskoaren gainean eragiten den indar tangentzialaren eta diskoak aurkezten duen erradioaren (r = 0,03 m) biderketaren bitartez. N bira-abiaduran, bi dinamometroek aurkezten duten irakurketen arteko kendurak indar tangentzialaren berri emango du (18. irudia); hortaz, diskoaren gainean eragindako C_r pare erresistenteak eta errodeteak diskoari transmititutako C_m pare eragileak balio berdina aurkeztuko dute aipatutako N bira-abiaduran:

$$C_r = (F_{D2} - F_{D1}) \cdot r$$

$$C_r = C_m.$$

V. Bira-abiadura

Bira-abiadura zuzenean takometro digital baten bitartez irakurriko da. Honek, bira/min.-ko unitateetan, N abiadura angeluarraren irakurketa zuzenak eskaintzen ditu.

VI. Potentzia mekanikoa

Errodeteak eta diskoak osatzen duten multzoaren bira-abiadura N bada (bira/min.-ko unitateetan), honako hau izango da P_m potentzia mekanikoa kalkulatzeko adierazpena:

$$P_m = C_m \cdot 2 \cdot \pi \, N / 60$$

VII. Turbinaren errendimendua

Urak turbinaren esku jartzen duen potentzia hidraulikoaren (P_h) eta errodeteak transmititzen duen potentzia mekanikoaren (P_m) arteko balantzearen bitartez kalkulatuko da.

$$\eta_{turbina} = P_m \cdot P_h^{-1}$$

E. Banatzailearen zabalera-gradu bakoitzerako, 6 neurketa egingo dira, $\boldsymbol{N}$, $\boldsymbol{F}_{D2}$ **eta** $\boldsymbol{F}_{D1}$ aldagaietako 6 konbinazio. Konbinazio bakoitzerako, turbinaren sarrerako presioa 10 psi.-ko balio konstantean mantenduz, sarrerako emaria neurtu beharko da (4. taula). Muturretako puntuak adierazi beharko dira: bira-abiadura zero delarik eratzen den pare maximoa (justu turbinaren ardatza frenatzeko beharrezkoa den indarra eraginez) eta galgaren marruskadurarik gabe lortzen den bira-abiadura maximoa (abiada handiko abiadura, N_{emb}). Halaber, potentzia eta errendimendu maximoak ondo definitzeko, hainbat neurketa hartuko dira tarteko batez besteko abiaduraren inguruan, $N_{emb}/2$ inguruan.

Neurtzen diren balio esperimentalak 4. taula bezalako batean bil daitezke.

4. taula. *Datu esperimentalen neurketa*

P4 - Francis turbina					
Banatzailearen kokapena	**Bolumena**	**Denbora**	$\boldsymbol{N}$	$\boldsymbol{F}_{D2}$	$\boldsymbol{F}_{D1}$
	(l)	**(s)**	**(bira/min.)**	**(N)**	**(N)**
% zabalera			$\boldsymbol{N}_i =$	$\boldsymbol{F}_{D2i} =$	$\boldsymbol{F}_{D1i} =$
			$\boldsymbol{N}_i =$	$\boldsymbol{F}_{D2i} =$	$\boldsymbol{F}_{D1i} =$
			$\boldsymbol{N}_i =$	$\boldsymbol{F}_{D2i} =$	$\boldsymbol{F}_{D1i} =$

7. Emaitzak

Hartutako datu esperimentaletatik abiatuta, honako hauek kalkulatu behar dira: banatzailearen zabalera-gradu ezberdinetarako emaria Q (m^3/s), potentzia hidraulikoa P_h (W), pare eragilea C_m (N·m), potentzia mekanikoa P_m (W) eta errendimendua η (%). Horiekin, kalkulu horien emaitzak agertzen dituen taula bat eratu beharko da Excel fitxategian; taula horrek agertuko ditu emaitza horiek lortzeko erabili izan diren balio esperimentalak ere. Emaitza esperimentalen bitartez, grafiko hauek eratuko dira:

- **1. grafikoa.** Banatzailearen zabalera (%) bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira pare eragileari dagozkion kurba karakteristikoak. Bibliografian oinarrituz, adierazi Francis turbina geldoa, normala edo azkarra den.
- **2. grafikoa.** Banatzailearen zabalera (%) bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira potentzia mekanikoari dagozkion kurba karakteristikoak.

- **3. grafikoa.** Banatzailearen zabalera (%) bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira errendimenduari dagozkion kurba karakteristikoak.
- **4. grafikoa.** Banatzailearen zabalera (%) bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira pare eragileari dagozkion kurba karakteristikoak.

Kurba karakteristiko guztiak polinomio bati doituta egongo dira. Doiketa horren ekuazioa eta erregresioa grafikoan agertuko dira. Grafiko guztiek izenburua izan behar dute, eta, era berean, ardatzek ere izena eta dagozkien unitateak agertuko dituzte. Grafikoak txostenean aurkeztuko dira, eta agerian jarriko da zein den horiek irudikatzeko erabilitako datuen jatorria.

8. Ondorioak

Ikasleak, Excel fitxategian bertan, lortutako emaitzei dagokion joera eta turbina baten errendimendua maximoak izan daitezen, bere diseinurako eta bera hautatzeko oinarrizko parametroak zein diren adierazi beharko du.

7. P5 PRAKTIKA. TURBINAK 3: KAPLAN TURBINA

Fluidoen instalazioak eta makinak

1. Beharrezko ezagutza

Fluidoen mekanika.

Makina hidraulikoak. Turbomakinak. Turbinak.

2. Aurre-laborategia

Dokumentazioa irakurri behar da praktika ordubetean egiteko. Ikusi P5 praktikari dagokion bideoa.

3. Helburuak

Kaplan erreakzio-turbina baten funtzionamendua kalkulatzea eta frogatzea.

- Kaplan erreakzio-turbina baten funtzionamenduaren begi hutsezko behaketa.
- Diren errodete bakoitzerako, turbinaren errendimendu-kurba karakteristikoen ezarpen esperimentala.
- Kaplan erreakzio-turbina baten aukeraketa, diseinua edo funtzionamenduaren optimizazioa aurrera eramateko beharrezkoak diren parametroen irakurketa eta ulerpena.

4. Oinarri teorikoa

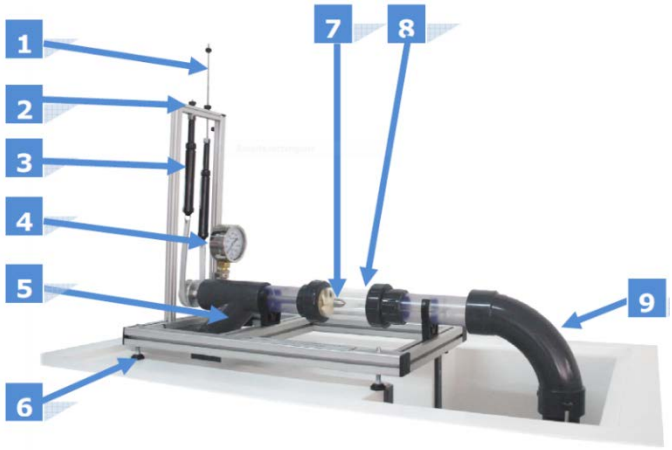
Kaplan turbina erreakzio-turbina bat da. Francis turbinaren moduan, hauek dira turbina hori zehazten duten oinarrizko osagaiak: (i) ura zuzentzeko eta emaria erregulatzeko beso-koroa batez osatutako banatzailea (kasu honetan, besoak ez dira mugikorrak), (ii) turbinaren ardatzari akoplatutako errodetea, dituen besoen artean igarotzen den ur-zirkulazioari esker biraketa-mugimendu bat eskuratzen duena, eta (iii) turbinaren errendimendua maximizatzeko xurgagailua. Banatzailearen diametroa errodetearena baino handiagoa denez, ardatzarekiko zentripetua da ur-zirkulazioa. Laborategiko Kaplan turbinak errodetearen irteeran fluxu-artezgailu bat dauka korronte-hodien mugimendu errotazionala zuzentzeko, turbulentziak eratutako karga-galerak txikitzeko. Turbina horren bukaera bankuko ur-depositura deskargatzen duen xurgagailu batek definitzen du. Turbinaren sarreraren (beso-koroa) eta turbinaren irteeraren (xurgagailua) arteko kota-ezberdintasuna 0,72 m-koa da.

Kaplan turbina bati dagozkion funtzionamendu-puntu esperimentalak, turbina bira-abiadura ezberdinetan lanean ari delarik lortzen direnak, kurba batera doitzen dira. Hauek dira turbinaren funtzionamendua zehazten duten parametroak:

- Emaria (Q)
- Jauzi garbia (H_n)
- Potentzia hidraulikoa (P_h)
- Pare eragilea (C_m)
- Potentzia mekanikoa (P_m)
- Errendimendua (η)

5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena

Fluidoen mekanikako laborategiak banku hidrauliko funtzioaniztun batean instalatua du Kaplan turbina (20. irudia).



1. Balaztatze-hagatxoa
2. Blokeatze-azkoina
3. Dinamometroa
4. Manometroa
5. Ur-horniketarako hodia
6. Oinarri erregulagarriak
7. Errodetea
8. Karretea
9. Ur-irteera

20. irudia: *Kaplan turbina baten oinarrizko osagaiak.*

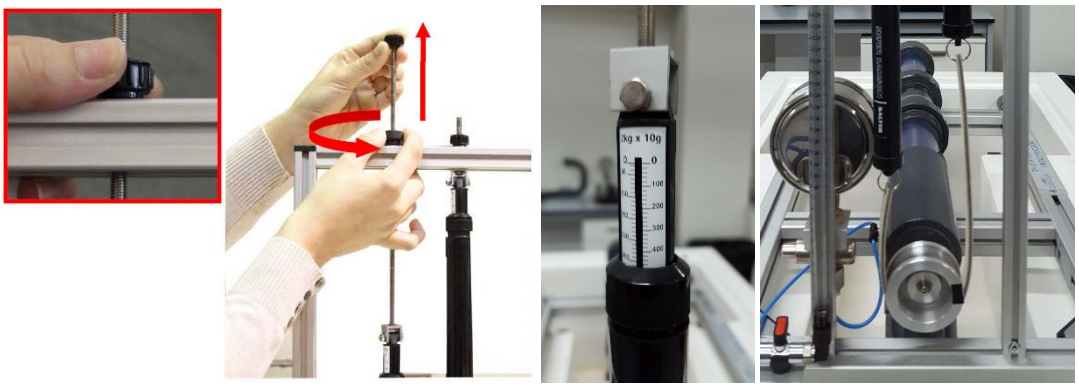
Banku honen behealdean ura dago, paraleloan jarritako bi ponpen bidez Kaplan turbinara ponpatzen dena. Emariaren erregulaziorako den balbula baten bitartez ezartzen da emaria, eta bere balioa turbinaren horniketarako hodian kokatutako neurgailu elektroniko baten irakurketa zuzenak (L/min) adierazten du. Urak turbinaren sarreran duen presioa ezagutzeko, turbinaren sarreran kokatutako Bourdon manometroa erabiltzen da; presio hori txikia denean, bera ezagutzeko ur zutabedun manometro bat erabiliko da. Xurgagailutik ateratzen den urak zirkuitu itxia betetzen du bankuko behealdeko depositura itzuliz. 20. irudian aurkezten dira Kaplan turbinaren oinarrizko osagaiak.

Turbinarekin lanean hasi baino lehen, ekipoak ondo nibelatuta izan beharra dauka. Horrela ez bada, ekipoaren oinarri erregulagarriak doitu beharko dira (21. irudia).

21. Irudia. Turbina nibelatzeko sistema eta ponpen eragingailuak.

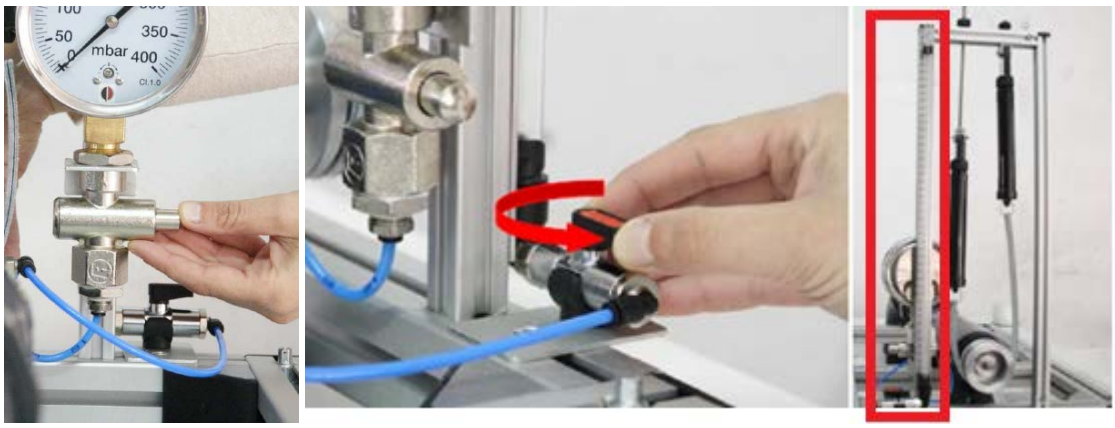
Banku hidraulikoak bi ponpa ditu, eta oso garrantzitsua da horiek pizteko modua (21. irudia). Lehenengo goialdeko eragingailua aktibatuko da, eta, segidan, bigarrena (sistema martxan jarriko du bere osotasunean). Bi ponpak martxan direla, motelki zabalduko da emaria erregulatzeko balbula, turbinaren biraketa-mugimenduaren hasiera behatuz.

Marruskadura-galgaren bitartez turbinaren karga erregula daiteke, guztiz gelditu daitekeelarik. Dinamometroak adierazten duen irakurketaren bitartez egin daiteke eragiketa hori aurrera eramaterakoan eragindako pare eragilearen irakurketa. Eragiketa hori behar den moduan egiteko, turbina geldirik dagoela, dinamometroak indargetu behar dira zerora doitu arte; horretarako, dinamometroek hariztatuta dituzten piezak erabiliko dira. Turbina martxan dagoela, goialdeko azkoinak estutuko dira nahi den bira-abiadura ezarri arte. Momentu honetan eragiten den indarra dinamometroek aurkezten dituzten irakurketen kenduraren bitartez ezarriko da.



22. irudia. *A: dinamometroa eta azkoinaren xehetasuna. B: dinamometroaren irakurketa. C: turbinaren marruskadura-galga.*

Presio-neurketa bi modutan egin daiteke: Bourdon (mbar) edo ur-zutabedun (mm U. Z.) manometroen bitartez. Sarrerako presioa 50 mbar baino txikiagoa denean, ur-zutabedun manometroa erabiliko da. Bourdon manometroan presioa neurtzeko, 23. irudian agertzen den lehen marrazkiko pistoia sakatu beharra dago. Aldiz, ur-zutabedun manometroarekin hartzeko, behar den bezala kokatuko da 23. irudian agertzen den eskuineko marrazkiko balbula.



23. irudia. *Bourdon manometroa edo ur-zutabedun manometroa erabiltzeko jarraitu beharreko pausoak.*

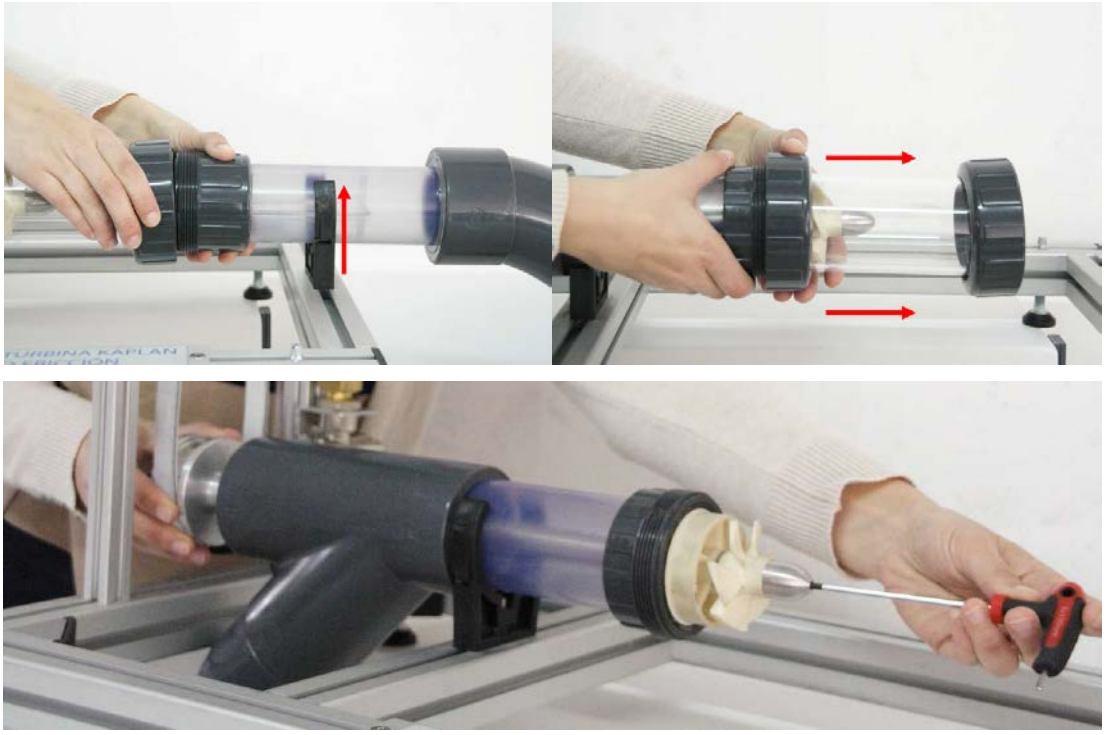
24. irudian ikusten den bezala, turbina honek errodetearen diseinuak duen eragina esperimentalki aztertzeko aukera eskaintzen du, errodete ezberdinekin lan egiteko aukera baitago. Errealitatean, Kaplan turbina batek momentu bakoitzean eskuragarri duen jauzi garbiaren (asko aldatzen ez dena) eta emariaren (gehiago alda daitekeena) arabera lor

dezakeen errendimendu maximoa lortzeko besoen angelua ezar dezake. Errodetearen besoen angeluak duen eragina ezagutzeko, esperimentalki eta laborategi batean, dagoen aukera bakarra sarreran eta irteeran angelu ezagunak dituzten errodete ezberdinak erabiltzea da.

24. irudia. *Kaplan turbinarekin lan egiteko errodete ezberdinak.*

Errodete-aldaketa egin ahal izateko, lehenbizi banku hidraulikoaren ponpa itxi beharko da ur-mugimendua ebazteko. Turbinaren zirkuitua urez hustu ondoren, bi eskuekin karretearen alboetan diren hiru piezak indargetu beharko dira (25. irudia). Bortxatu gabe, karretera erraztasun handiagorekin heltzeko, xurgagailua eusten duen pintzatik atera beharko da. Segidan, errodetea barneratzen duen karretea kentzen da. Allen giltza erabiliz eta txirrika eutsiz, errodetea indargetzen da aldatu ahal izateko.

OHARRA. Ekipoa erabili eta gero, ardatza bero egon daiteke marruskadura dela eta; horregatik, gomendagarria da arreta handiz ibiltzea eta txirrika eusteko unean elementu isolagarri bat erabiltzea. Errodetea aldatu ondoren, berriro muntatu.



25. irudia: *Errodetea aldatzeko jarraitu beharreko pausoak.*

Jarraian, instalazioko hainbat osagairen ezaugarri nagusiak zehazten dira: n:

Barne-diametroak:

- Inpultsiorako hodia: kanpoko diametroa = 63 mm; barneko diametroa = 56,5 mm

Manometroa:

- Glizerina duen Bourdon manometroa: 0-tik 400 mbar-era.

Dinamometroa:

- 2x Dinamometro 2 kg x 10 g

Turbinaren ezaugarriak:

- Mota: Kaplan
- Errodetearen beso kopurua: 6
- Errodetearen besoen angeluak:
  - Gutxienekoa (sarrera/irteera): 26º/11º
  - Ertaina (sarrera/irteera): 41º/26º
  - Angelu maximoa (sarrera/irteera): 49º/34º

6. Prozedura esperimentala: praktika egitea

Praktika egiteko prozedura hau jarraitu behar da:

A. Ponpak martxan jarriko dira 21. irudian adierazten den bezala, eta emaria erregulatzeko balbula progresiboki zabalduko da guztiz zabaldu arte. Erreferentzia bezala, edozein dela ere muntatutako errodetea, neurgailu elektronikoak 310 L/min-ko emari altuagoa adierazi beharko du.

B. Neurriak bi errodete ezberdinetarako egingo dira. Hasiera batean, jadanik jarrita dagoen errodetearekin egingo da lan; jarraian, irakasleak aukeratzen duen errodeterako datuak hartuko dira berriro.

C. Errodete bakoitzarekin, turbinaren bira-abiadurari 8 balio emango zaizkio; horretarako, goialdeko palankan arituz (22. irudia) pare erresistentea (zintaren marruskadura-maila) aldatuko da. Horrela, C_m pare eragileak, P_m potentzia mekanikoak eta η errendimenduak turbinaren N bira-abiadurarekin duten erlazioa lortuko da: $C_m(N)$, $P_m(N)$ eta $\eta(N)$. Beraz, bira-abiadura, presioa edo emaria aldatzen den bakoitzean, parametro horiek aldaketa horien eragina pairatuko dute.

Segidan, aipatu diren aldagai fisikoen kalkulua azalduko da:

I. Jauzi garbia

Jauzi garbia **(H_n)**, m U. Z.-ko unitateetan, turbinaren sarreran dagoen presioaren (m U.Z.) eta sarreraren eta irteeraren artean dagoen kota ezberdintasunaren (0,72 m-koa) bitartez kalkulatzen da.

II. Potentzia hidraulikoa

Potentzia hidraulikoa da urak turbinaren esku jartzen duen potentzia. Turbinara sartzen denaren eta jauzi garbiaren araberakoa da hori: $\boldsymbol{P_h = \gamma \cdot Q \cdot H_n}$

III. Pare eragilea

Errodeteak diskoari transmititzen dion pare eragilea diskoaren gainean eragiten den indar tangentzialaren eta diskoak aurkezten duen erradioaren **(r = 0,03 m)** biderketaren bitartez kalkulatzen da. N bira-abiaduran, indar tangentzialaren

berri emango du bi dinamometroek aurkezten duten irakurketen arteko kendurak (18. irudia); hortaz, aipatutako ***N*** bira-abiaduran balio berdina aurkeztuko dute diskoaren gainean eragindako C_r pare erresistenteak eta errodeteak diskoari transmititutako C_m pare eragileak :

$$C_r = (F_{D2} - F_{D1}) \cdot r$$

$$C_r = C_m.$$

IV. Bira-abiadura

Zuzenean takometro optiko baten bitartez irakurriko da bira-abiadura. Horrek ***N*** abiadura angeluarraren irakurketa zuzenak eskaintzen ditu bira/min.-ko unitateetan.

V. Potentzia mekanikoa

Errodeteak eta diskoak osatzen duten multzoaren bira-abiadura ***N*** bada (bira/min.-ko unitateetan), honako hau izango da P_m potentzia mekanikoa kalkulatzeko adierazpena:

$$P_m = C_m \cdot 2 \cdot \pi \, N / 60$$

VI. Turbinaren errendimendua

Urak turbinaren esku jartzen duen potentzia hidraulikoaren (P_h) eta errodeteak transmititzen duen potentzia mekanikoaren (P_m) arteko balantzearen bitartez kalkulatuko da.

$$\eta_{turbina} = P_m \cdot P_h^{-1}$$

D. Erabilitako errodete bakoitzerako, 8 neurketa egingo dira, ***N*** (bira/min) eta indarraren (F_{D2} - F_{D1}) aldagaietako 8 konbinazio. Konbinazio bakoitzerako, turbinaren sarrerako presioa eta emaria neurtu beharko dira (5. taula). Muturretako puntuak adierazi beharko dira: bira-abiadura zero delarik eratzen den pare maximoa (justu turbinaren ardatza frenatzeko beharrezko indarra eraginez), eta galgaren marruskadurarik gabe lortzen den bira-abiadura maximoa (abiada handiko abiadura, N_{emb}). Halaber, potentzia eta errendimendu maximoak ondo definitzeko, hainbat neurketa hartuko dira tarteko batez besteko abiaduraren inguruan, $N_{emb}/2$ inguruan.

Neurtzen diren balio esperimentalak 5. taula bezalako batean bil daitezke.

5. taula. *Datu esperimentalen neurketa*

P5 - Kaplan turbina					
Errodete mota	**Emaria**	**p**	***N***	F_{D2}	F_{D1}
	(L/min)	**(mm U.Z. edo mbar)**	**(bira/min.)**	**(g)**	**(g)**
X errodetea			N_i =	F_{D2i} =	F_{D1i} =
			N_i =	F_{D2i} =	F_{D1i} =
			N_i =	F_{D2i} =	F_{D1i} =

7. Emaitzak

Hartutako datu esperimentaletatik abiatuta, erabilitako errodete bakoitzerako emaria Q (m^3/s), potentzia hidraulikoa P_h (W), pare eragilea C_m (N·m), potentzia mekanikoa P_m (W) eta errendimendua η (%) kalkulatu behar dira. Horiekin, kalkulu horien emaitzak agertzen dituen taula bat eratu beharko da Excel fitxategian; taula horrek ere agertuko ditu emaitza hauek lortzeko erabili izan diren balio esperimentalak. Emaitza esperimentalen bitartez, grafiko hauek eratuko dira:

- **1. grafikoa.** Erabilitako lehen errodeterako, bira-abiaduraren araberakoak diren errendimenduaren, potentzia mekanikoaren eta pare eragilearen kurba karakteristikoak irudikatu dira grafiko berean.
- **2. grafikoa.** Erabilitako bigarren errodeterako, bira-abiaduraren araberakoak diren errendimenduaren, potentzia mekanikoaren eta pare eragilearen kurba karakteristikoak irudikatu dira grafiko berean.

Kurba karakteristiko guztiak polinomio bati doituta egongo dira. Grafikoan agertuko dira doiketa horren ekuazioa eta erregresioa. Grafiko guztiek izenburua izan behar dute, eta, era berean, ardatzek ere izena eta dagozkien unitateak agertuko dituzte. Grafikoak txostenean aurkeztuko dira, eta agerian jarriko da zein den horiek irudikatzeko erabilitako datuen jatorria.

8. Ondorioak

Ikasleak adierazi beharko du, Excel fitxategian bertan, lortutako emaitzei dagokion joera eta turbina baten errendimendua maximoa izan dadin bere diseinurako eta bera hautatzeko oinarrizko parametroak zein diren.

8. PRAKTIKA P6. TURBINAK 4: HELIZE TURBINA

Fluidoen instalazioak eta makinak

1. Beharrezko ezagutza

Fluidoen mekanika.

Makina hidraulikoak. Turbomakinak. Turbinak.

2. Aurre-laborategia

Dokumentazioa irakurri behar da praktika ordubetean egiteko. Ikusi P6 praktikari dagokion bideoa.

3. Helburuak

Helize erreakzio-turbina baten funtzionamendua kalkulatzea eta frogatzea.

- Helize erreakzio-turbina baten funtzionamenduaren begi hutsezko behaketa.
- *H* eta *Q* konstante mantentzen direlarik, banatzailearen zabalera ezberdinetarako turbinaren errendimendu-kurba karakteristikoen ezarpen esperimentala.
- Helize erreakzio-turbina baten aukeraketa, diseinua edo funtzionamenduaren optimizazioa aurrera eramateko beharrezkoak diren parametroen irakurketa eta ulerpena.

4. Oinarri teorikoa

Helize turbina erreakzio-turbina bat da. Francis turbinaren moduan, hauek dira turbina hau zehazten duten oinarrizko osagaiak: (i) ura zuzentzeko eta emaria erregulatzeko beso-koroa batez osatutako banatzailea, (ii) turbinaren ardatzari akoplatutako errodetea, dituen besoen artean igarotzen den ur-zirkulazioari esker biraketa-mugimendu bat eskuratzen duena, eta (iii) turbinaren errendimendua maximizatzeko xurgagailua. Banatzailearen diametroa errodetearena baino handiagoa denez, ur-zirkulazioa ardatzarekiko zentripetua da. Laborategiko Helize turbinak errodetearen irteeran fluxu-artezgailu bat dauka korronte hodien mugimendu errotazionala zuzentzeko, turbulentziak eratutako karga-galerak txikitzeko. Turbina horren bukaera bankuko ur-depositura deskargatzen duen xurgagailu batek definitzen du. Turbinaren sarreraren (beso-koroa) eta irteeraren (xurgagailua) arteko kota-ezberdintasuna 0,72 m-koa da.

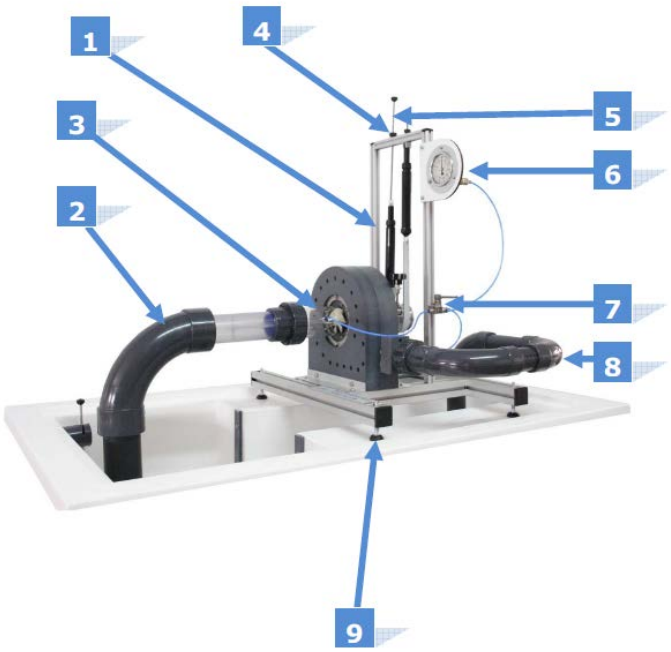
Helize turbina bati dagozkion funtzionamendu-puntu esperimentalak, emaria eta altuera manometrikoa konstante mantenduz lortzen direnak, kurba batera dira doituak. Turbinaren funtzionamendua zehazten duten parametroak hauek dira:

- Emaria (Q)
- Jauzi garbia (H_n)

- Potentzia hidraulikoa (P_h)
- Pare eragilea (C_m)
- Potentzia mekanikoa (P_m)
- Errendimendua (η)

5. Behar den tresneria eta instalazioaren deskribapena

Fluidoen mekanikako laborategiak banku hidrauliko funtzioaniztun batean instalatuta du Helize turbina (26. irudia).



1. Dinamometroa
2. Ur-irteera
3. Irteera-hodia
4. Balaztatze-hagatxoa
5. Blokeatze-azkoina
6. Bakuometro-manometroa
7. Presio-neurketarako balbula
8. Ur-horniketarako hodia
9. Oinarri erregulagarriak

26. irudia. *Helize turbina baten oinarrizko osagaiak.*

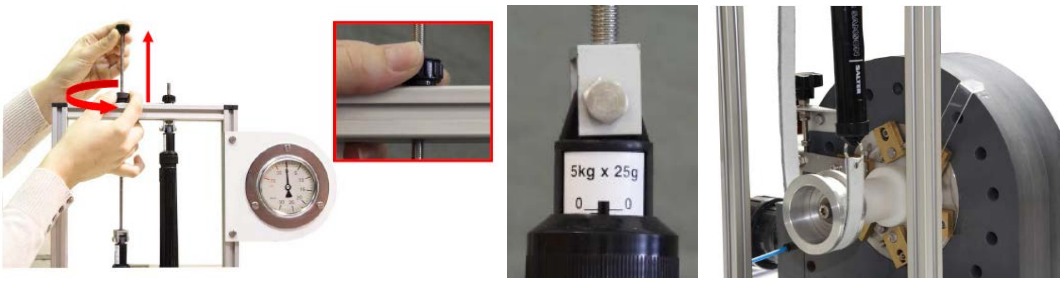
Banku honen behealdean ura dago, paraleloan jarritako bi ponpen bidez Kaplan turbinara ponpatzen dena. Emariaren erregulaziorako den balbula baten bitartez ezartzen da emaria, eta bere balioa turbinaren horniketarako hodian kokatutako neurgailu elektroniko baten irakurketa zuzenak (L/min) adierazten du. Urak turbinaren sarreran eta irteeran duen presioa ezagutzeko, turbinaren sarreran kokatutako Bourdon motako bakuometro-manometroa erabiltzen da. Xurgagailutik ateratzen den urak zirkuitu itxia betetzen du bankuko behealdeko depositura itzuliz. 26. irudian aurkezten dira Helize turbinaren oinarrizko osagaiak.

Turbinarekin lanean hasi baino lehen, ekipoa ondo nibelatuta izan behar da. Horrela ez bada, ekipoaren oinarri-erregulagarriak doitu beharko dira (27. irudia).

27. irudia. Turbina nibelatzeko sistema eta ponpen eragingailuak.

Banku hidraulikoak bi ponpa ditu, eta horiek pizteko modua oso garrantzitsua da (27. irudia); lehenengo goialdeko eragingailua aktibatuko da, eta, segidan, bigarrena (sistema martxan jarriko du bere osotasunean). Bi ponpak martxan direla, motelki zabalduko da emaria erregulatzeko balbula, turbinaren biraketa-mugimenduaren hasiera behatuz.

Marruskadura-galgaren bitartez turbinaren karga erregula daiteke, guztiz gelditu daitekeelarik. Eragiketa hau aurrera eramaterakoan eragindako pare eragilearen irakurketa dinamometroak adierazten duen indarraren irakurketaren bitartez egin daiteke. Eragiketa hori behar den moduan egiteko, turbina geldirik dagoela, dinamometroak indargetu behar dira zerora doitu arte; horretarako, dinamometroek hariztatuta dituzten piezak erabiliko dira. Turbina martxan dagoela, goialdeko azkoinak estutuko dira, nahi den bira-abiadura ezarri arte. Momentu horretan eragiten den indarra dinamometroek aurkezten dutenaren irakurketaren kenduraz ezarriko da.



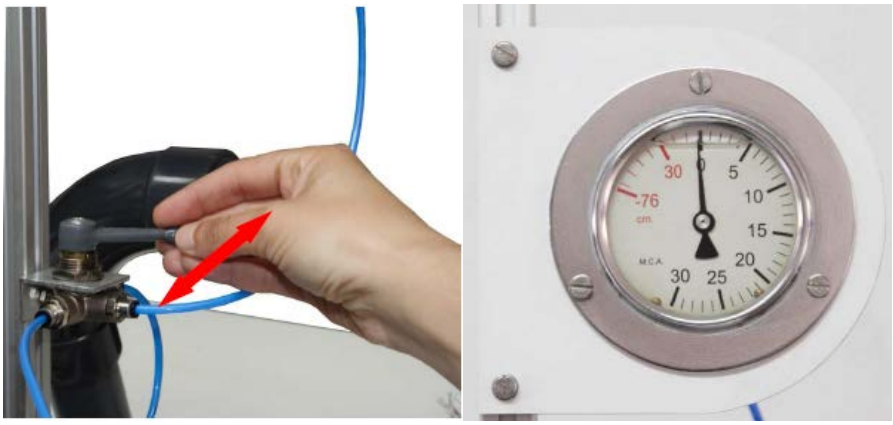
28. irudia. *A: dinamometroa eta azkoinaren xehetasuna. B: dinamometroaren irakurketa. C: turbinaren marruskadura-galga.*

Turbina honek banatzailearen besoen norabidea aldatzeko aukera eskaintzen du, turbinak berak duen eskuzko erregulazioarekin (ikus 29. irudia) emaria erregula daitekeelarik. 29. irudiko lehen irudian adierazten den erruletaren bitartez, banatzailearen besoak progresiboki zabaldu edo itxi daitezke. Zabalera-gradua erdiko irudian erakutsitako adierazlean ikus daiteke. Besoen zabalera edo itxiera turbina berean ere ikuska daiteke.

29. irudia. *Turbinaren banatzaileak dituen besoen erregulazioa.*

Presio-neurketa bi puntutan har daiteke: turbinaren sarreran eta irteeran. Neurtu nahi den presioaren arabera, balbula eskuinaldera (turbinaren sarrerako presioaren hargunea) edo ezkerraldera (turbinaren

irteerako presioaren hargunea) bira daiteke. Neurtzen den presioa positiboa (m U.Z. unitateetan) edo negatiboa (cm Hg unitateetan) izan daitekeenez, kontu handia izan behar da.



30. irudia: *Neurtu nahi den presioa ezartzeko jokabidea eta Bourdon bakuometro-manometroaren xehetasuna.*

Jarraian, instalazioko hainbat osagairen ezaugarri nagusiak zehazten dira: n:

Barne-diametroak:

- Horniketarako hodia: kanpoko diametroa = 50 mm; barneko diametroa = 45 mm
- Irteerako hodia: kanpoko diametroa = 70 mm; barneko diametroa = 5 mm

Bakuometro-manometroa:

- Glizerina duen Bourdon manometroa: -76 cmHg-tik 25 m U.Z.-ra.

Dinamometroa:

- 2x Dinamometro 5 kg x 25 g

Turbinaren ezaugarriak:

- Mota: Helize
- Errodetearen beso kopurua: 6
- Errodetearen besoen angeluak:
  - Batez besteko angelua (sarrera/irteera): 41º/26º
  - Beso zuzentzaileak: 6 (doigarriak 0tik %100era)
  - Ardatzean eraturako potentzia maximoa: 30 W

6. Prozedura esperimentala: praktika egitea

Praktika egiteko prozedura hau jarraitu behar da:

A. Ponpak 27. irudian adierazten den bezala martxan jarriko dira, eta emaria erregulatzeko balbula progresiboki zabalduko da guztiz zabaldu arte. Erreferentzia bezala, banatzailearen beso zuzentzaileak guztiz zabalik daudenean, % 100, eta turbinaren sarrerako presioa 14 m U.Z-koa denean, neurgailu elektronikoak adierazitako balioa 190 L/min-koa izan behar da.

B. Neurketak egingo dira turbinaren banatzailearen hiru zabalera ezberdinetarako: % 100, % 75 eta % 50, eta 14 m U.Z-ko turbinaren sarrerako presio konstanterako.

C. Banatzailearen zabalera gradu baterako, emaria doituko da turbinaren sarrerako presioa 14 m U.Z.-koa izan arte. Goialdeko palankan arituz (28. irudia), pare erresistentea (zintaren marruskadura-maila) aldatuko da turbinaren bira-abiadurari 8 balio emanez.

Horrela, C_m pare eragileak, P_m potentzia mekanikoak eta η errendimenduak turbinaren *N* bira-abiadurarekin duten erlazioa lortuko da: C_m *(N)*, P_m*(N)* eta $\eta(N)$. Turbinaren bira-abiadura aldatzen den bakoitzean, turbinaren sarrerako presioaren balioa eta emariaren balioa konstante mantendu beharko lirateke.

Segidan, aipatu diren aldagai fisikoen kalkulua azalduko da:

I. Jauzi garbia

Jauzi garbia **(H_n)**, m U. Z.-ko unitateetan, turbinaren sarreran dagoen presioaren (m U.Z.) eta sarreraren eta irteeraren artean dagoen kota ezberdintasunaren (0,72 m-koa) bitartez kalkulatzen da.

II. Potentzia hidraulikoa

Urak turbinaren esku jartzen duen potentzia da potentzia hidraulikoa. Turbinara sartzen denaren eta jauzi garbiaren araberakoa da hori: $P_h = \gamma \cdot Q \cdot H_n$

III. Pare eragilea

Errodeteak diskoari transmititzen dion pare eragilea kalkulatzen da diskoaren gainean eragiten den indar tangentzialaren eta diskoak aurkezten duen erradioaren **(r = 0,03 m)** biderketaren bitartez. *N* bira-abiaduran, bi dinamometroek aurkezten duten irakurketen arteko kendurak emango du indar tangentzialaren berri (28. irudia); hortaz, diskoaren gainean eragindako C_r pare erresistenteak eta errodeteak balio berdina aurkeztuko dute diskoari transmititutako C_m pare eragileak aipatutako ***N*** bira-abiaduran:

$$C_r = (F_{D2} - F_{D1}) \cdot r$$

$$C_r = C_m.$$

IV. Bira-abiadura

Bira-abiadura zuzenean takometro optiko baten bitartez irakurriko da. Horrek, bira/min.-ko unitateetan, ***N*** abiadura angeluarraren irakurketa zuzenak eskaintzen ditu.

V. Potentzia mekanikoa

Errodeteak eta diskoak osatzen duten multzoaren bira-abiadura ***N*** bada (bira/min.-ko unitateetan), honako hau izango da P_m potentzia mekanikoa kalkulatzeko adierazpena:

$$P_m = C_m \cdot 2 \cdot \pi \, N / 60$$

VI. Turbinaren errendimendua

Urak turbinaren esku jartzen duen potentzia hidraulikoaren **(P_h)** eta errodeteak transmititzen duen potentzia mekanikoaren **(P_m)** arteko balantzearen bitartez kalkulatuko da turbinaren errendimendua.

$$\eta_{turbina} = P_m \cdot P_h^{-1}$$

D. Ezarritako banatzailearen hiru angeluetarako (% 100, % 75 eta % 50 zabalera), 8 neurketa egingo dira, ***N*** (bira/min) eta indarraren **(F_{D2} - F_{D1})** aldagaietako 8 konbinazio. Konbinazio bakoitzerako, turbinaren sarrerako presioa eta emaria neurtu beharko dira (6. taula). Muturretako puntuak adierazi beharko dira: bira-abiadura zero delarik eratzen den pare maximoa (justu, turbinaren ardatza frenatzeko beharrezkoa den indarra eraginez) eta galgaren marruskadurarik gabe lortzen den bira-abiadura maximoa (abiada handiko abiadura, N_{emb}). Halaber, potentzia eta errendimendu maximoak ondo definitzeko, hainbat neurketa hartuko dira tarteko batez besteko abiaduraren inguruan, $N_{emb}/2$ inguruan.

Neurtzen diren balio esperimentalak 6. taula bezalako batean bil daitezke.

6. taula. *Datu esperimentalen neurketa*

P6 - Helize turbina						
Banatzailea	**Emaria**	**$P_{sarrera}$**	**$P_{irteera}$**	***N***	**F_{D2}**	**F_{D1}**
	(L/min)	**(m U.Z.)**	**(m U.Z.)**	**(bira/min.)**	**(g)**	**(g)**
% zabalera				N_i =	F_{D2i} =	F_{D1i} =
				N_i =	F_{D2i} =	F_{D1i} =
				N_i =	F_{D2i} =	F_{D1i} =

7. Emaitzak

Hartutako datu esperimentaletatik abiatuta, ezarritako banatzailearen hiru angeluetako bakoitzerako eta bira-abiadura bakoitzerako, emaria Q (m^3/s), potentzia hidraulikoa P_h (W), pare eragilea C_m (N·m), potentzia mekanikoa P_m (W) eta errendimendua η (%) kalkulatu behar dira. Hauekin, kalkulu horien emaitzak agertzen dituen taula bat eratu beharko da Excel fitxategian; taula honek ere agertuko ditu emaitza horiek lortzeko erabili izan diren balio esperimentalak. Emaitza esperimentalen bitartez, grafiko hauek eratuko dira:

- **1. grafikoa.** Banatzailearen zabalera-gradu (%) bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira potentzia hidraulikoari dagozkion kurba karakteristikoak.
- **2. grafikoa.** Banatzailearen zabalera-gradu (%) bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira pare eragileari dagozkion kurba karakteristikoak.
- **3. grafikoa.** Banatzailearen zabalera-gradu (%) bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira potentzia mekanikoari dagozkion kurba karakteristikoak.
- **4. grafikoa.** Banatzailearen zabalera-gradu (%) bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira errendimenduari dagozkion kurba karakteristikoak.
- **5. grafikoa.** Banatzailearen zabalera-gradu (%) bakoitzerako eta bira-abiaduraren arabera, grafiko berean irudikatuko dira errodetearen irteeran den presioaren aldaketari dagozkion kurba karakteristikoak.

Kurba karakteristiko guztiak polinomio bati doituta egongo dira. Doikuntza horren ekuazioa eta erregresioa grafikoan agertuko dira. Grafiko guztiek izenburua izan behar dute, eta, era berean, ardatzek ere izena eta dagozkien unitateak agertuko dituzte. Grafikoak txostenean aurkeztuko dira, eta agerian jarriko da zein den horiek irudikatzeko erabilitako datuen jatorria.

8. Ondorioak

Ikasleak adierazi beharko du, Excel fitxategian bertan, lortutako emaitzei dagokion joera eta turbina baten errendimendua maximoak izan daitezen, zein diren bere diseinurako eta bera hautatzeko oinarrizko parametroak.

8. P7 PRAKTIKA. HAIZAGAILUAK 1: H. AXIALA

Fluidoen instalazioak eta makinak

1. Beharrezko ezagutzak

Jariakinen mekanika.

Makina hidraulikoa. Turbomakinak. Haizagailuak.

2. Laborategi aurretiko lana

Dokumentuen irakurketa, praktika ordubetean egin ahal izateko. Ikusi P7 praktikari dagokion bideoa..

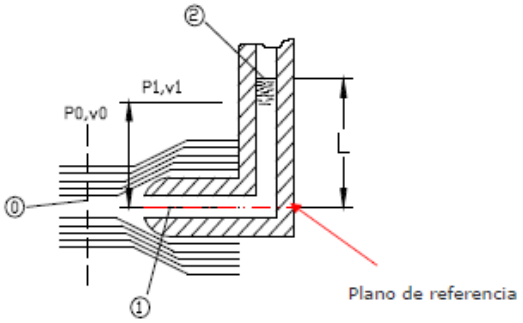
3. Helburuak

Haizagailu axial baten ezaugarrien ikasketa.

- Haizagailu axial baten funtzionamenduaren ikusketa.
- Pitot tutua erabiltzea emaria neurtzeko. Xurgapen-hodiko abiadura profila lortzea.
- Haizagailu axial baten kurba karakteristikoen zehaztapena: presio estatikoa, presio dinamikoa, presio totala, potentziak eta errendimenduak, emariaren arabera.
- Haizagailu axial baten erregulazioaren ikasketa, biraketa-abiaduraren aldakuntzaren bidez. Kurba karakteristikoen lorpena biraketa-abiadura ezberdinetan. Haizagailuei aplikaturiko antzekotasun-legeak.

4. Oinarri teorikoak

Presio dinamikoa neurtuz, emaria zehazteko sistema zaharrenetarikoa da. XVIII. mendean, Henri Pitot-ek aurkitu zuen bere izena daraman tutua. Tutu mota horiek jariakinaren barneko abiadura puntuala neurtzen dute, eta, ondoren, gainazaleko puntu horien irudikapen grafikoaren integrazio bidez, emaria lortzen da. Presio totala edo geldiunekoa zehaztasunez neur daiteke fluxuan objektu solido txiki bat kokatuz, zeinek geldiune-puntuan, piezometro zulo txiki bat baitu. Fluxuak, gainazal solidoekin kontaktuan, ez irristatzeko baldintza bete behar du, eta, hortaz, zero abiadura eduki.



31. irudia. Presio totalaren edo geldiuneko presioaren neurketa.

$$\frac{p_1}{\rho g} = \frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_0^2}{2g} \qquad hortaz: \qquad v_0 = \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_0)}{\gamma}}$$

Frogatu da geldiune-presioak Pitot tutu baten bidez neur daitezkeela, eta presio estatikoak modu ezberdinean neur daitezkeela; adibidez, irekiera piezometrikoen bidez. Horregatik, Pitot tutu bat presio estatikoa neurtzeko gailu batekin batera erabil daiteke, presio-diferentzia lortzeko, p_1-p_0, eta hortik v_0 ondorioztatu. Horrela, jariakinaren barneko abiadura puntuala neurtzen da, eta horrek dakar emaria kalkulatzeko beharrezko izatea puntu ezberdinetan neurtutako presio diferentzialen balioen irudikapen grafikoaren integrazioa egitea. Esperimentalki lortzen dira haizagailuaren funtzionamendu-puntu ezberdinak. Puntu sorta horiek guztiak kurba batera doitzen dira, minimo karratuen metodoa erabiliz.

$$Q = K_{\text{batez bestekoa}} \cdot p_{\text{est}}^{1/2}$$

$$\Delta p_e(Q) = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2$$

$$P_{\text{estática}}(Q) = Q \cdot \Delta p_e(Q) \quad / \quad P_{\text{dinámica}}(Q) = Q \cdot p_d(Q) \quad / \quad P_{\text{útil}} = P_{\text{estatikoa}} + P_{\text{dinamikoa}}$$

Emaria kalkulatzeko beharrezkoa izango da $K_{\text{atez bestekoa}}$ kalkulatzea ($m^3 \cdot h^{-1} \cdot Pa^{-1/2}$), eta horrek presio estatikoaren eta emariaren menpekotasuna du. Praktikaren lehenengo atalean egingo da hori, ondoren haizagailuaren funtzionamendu-puntu ezberdinak emariarekin erlazionatu ahal izateko.

Haizagailu baten funtzionamendua beste baldintza batzuetan aurreikusteko, biraketa-abiadura ezberdin bat esate baterako, antzekotasun-legeak erabiltzen dira. Hau da:

- Δp_e (Q) kurba N abiadura jakin batean ezagututa:

$$\Delta p_e (Q) = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2$$

- Haizagailu horren Δp_e (Q) kurba, beste N' biraketa-abiadura batean, honako hau izango da:

$$\frac{\Delta p_e{}'}{\Delta p_e} = \frac{N^{2\prime}}{N^2} = \alpha^2$$

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{N'}{N} = \alpha$$

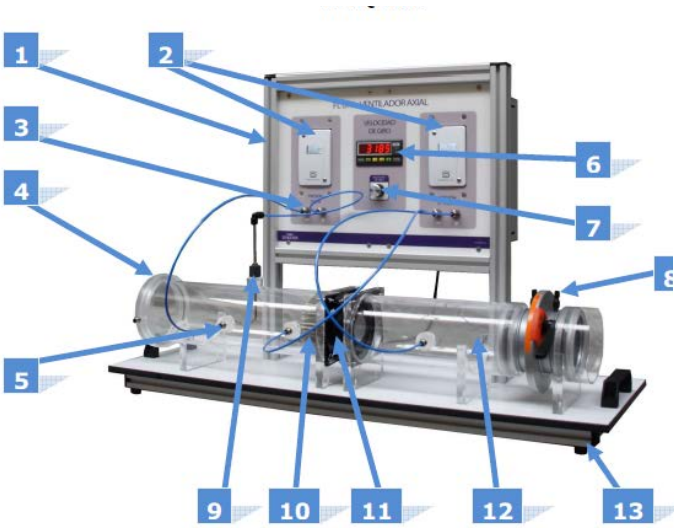
- Hortaz:

$$\Delta p_e{}' (Q') = A \cdot \alpha^2 + B \cdot \alpha \cdot Q' + C \cdot Q'^2$$

$$P_{\text{estátikoa}}{}'(Q') = Q' \, \Delta p_e{}' (Q')$$

5. Beharrezko ekipamendua eta instalazioaren deskribapena

Jariakinen mekanikako laborategia haizagailu axial batekin ekipatuta dago, zeinek oinarrizko honako osagai hauek baititu (32. irudia):



1. Kontrolerako panela
2. Presio transduktoreak
3. Transduktoreen harguneak (+ eta -)
4. Aspirazio-hodiko sarrera-ahoa
5. Presio estatikoaren hargunea
6. Bira-abiaduraren adierazle digitala
7. Bira-abiadura erregulatzailea
8. Emari-erregulaziorako Iris balbula
9. Pitot hodia
10. Fxua zuzentzeko panela
11. Haizagailu axiala
12. Inpultsio-hodia
13. Ekipoaren oinarria

32. irudia. Haizagailu axiala.

Haizagailu honek maiztasuna alderantzikatzeko gailu bat (7) dauka, helizearen biraketa-abiadura aldatu ahal izateko. Maiztasuna alderantzikatzeko gailu hori erabiliko da kurba

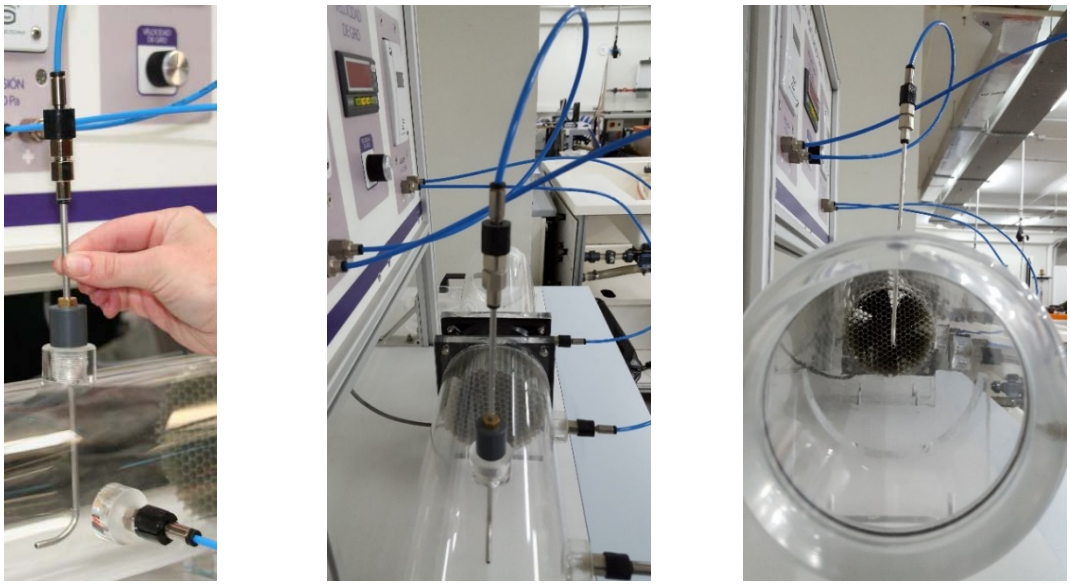
karakteristikoak biraketa-abiadura ezberdinetan sortu ahal izateko, eta, horrela, emaitza esperimentalak antzekotasunen bidez lortutakoekin alderatu ahal izateko.

33. irudia. Haizagailuaren maiztasuna alderantzikatzeko gailua.

Horrez gain, haizagailuak helduleku bat dauka, zeinek haizagailuaren irteerako sekzioan kokatuta dagoen iris balbula mugitzen baitu. Horrek jariakinaren pasabidea estutzea ahalbidetzen du, bulkatzen den emaria aldatuz. Helduleku horrek 8 posizio ditu.

34. irudia. *Bulkatze-emaria erregulatzeko heldulekua.*

Xurgapen-hodian zehar Pitot tutu bat jarri da, eta bertikalki desplaza daiteke bere hartunean bertan. Bere bertikalak 10 mm-ko markak ditu, hodiaren diametroaren zein distantziatan gauden adierazten diguna.



35. irudia. ***Xurgapen-hodian kokatutako Pitot-a, korronte-lerroen paralelo.***

OHARRA: ziurtatu behar dugu Pitot tutuaren sarrera korronte-lerroekiko paralelo egotea, eta haizagailuan sartzen den aire-fluxuarekiko aurrez aurre.

Ondoren, instalazioak dituen hainbat osagairen ezaugarri nagusiak zehazten dira:

Barne-diametroak:

- Xurgapen-hodia
  - Barne-diametroa = 114 mm
  - Kanpo-diametroa = 120 mm
- Bulkatze-hodia
  - Barne-diametroa = 114 mm
  - Kanpo-diametroa = 120 mm

Haizagailuaren ezaugarriak:

- Presio-gehikuntza maximoa: 1000 Pa
- Emari maximoa: 500 m^3/h
- Motorraren potentzia nominala: 90 W
- Biraketa-abiadura maximoa: 9500 bira/minutu. - 158 Hz

Manometroak:

- ±100 Pa-eko presio transduktorea.

- 0 - 1000 Pa-eko presio transduktorea.

Beste elementu batzuk:

- Bira/minutu adierazgailu digitala.
- Abiaduraren erregulatzailea, potentziometro baten bidez.
- 4 mm-ko diametroa duen Pitot tutua.

6. Prozedura esperimentala: praktika gauzatzea

Praktika gauzatzeko, honako prozedura hau jarraitu behar da: lehenengo, sarrerako presio-hartunearen kalibrazioa egin behar da, eta, ondoren, haizagailuaren kurba karakteristikoak eraiki:

PRESIO-HARTUNEAREN KALIBRAZIOA: *K* KONSTANTEAREN LORPENA

1- Haizagailua piztu, ekipoaren atzeko partean dagoen interruptoreari eraginez.

2- Presioa neurtzeko gailuak behar den bezala kokatuta daudela egiaztatu behar da, xurgapen-hodiaren erdian, korronte-lerroekiko paralelo eta fluxuarekiko aurrez aurre. Irisaren balbulak guztiz irekita egon behar du.

3- Praktikaren atal honetan, ±100 Pa-eko transduktorea erabiltzen da sarrera-presioa neurtzeko (presio estatikoa). Horretarako, haizagailuaren sarreran kokatuta dagoen hartunea transduktorearen «-»era konektatzen da, eta «+» hartunea airera gelditzen da.

4- Beste transduktorea, kasu honetan, hodiko presio dinamikoa neurtzeko erabiltzen da. Horretarako, Pitot-eko hartunea (presio totala) «+»era konektatzen dugu, eta Pitot tutuaren altuera berdinera kokatuta dagoen hartunean (presio estatikoa) «-»era.

$$P_{totala} = P_{dinamikoa} + P_{estatikoa}$$

5- Haizagailua martxan jartzen da, biraketa-abiadura jakin bat ezarriz. Hasiera batean, *N*= 8000 bira/minutu izango da.

6- Pitot tutua hodiaren ondora arte sartzen da, puntu hori hasierako puntu edo «0» puntu bezala hartuz; presioen balioak irakurtzen dira puntu horretan.

7- Pixkanaka-pixkanaka Pitot tutua igotzen da, Pitot-eko posizio ezberdinetan beharrezkoak diren presio dinamikoko irakurketa ezberdinak eginez, eta dagozkien balioak apuntatuz. 6 puntu hartu behar dira hasierako puntutik abiatuta xurgapen-hodiaren erdiko puntura arte.

7. taula. *Neurketen datu esperimentalak. Sarrerako presio-hartunearen kalibrazioa.*

N **(bira/min)**	**Irakurketa**	**Pitot-aren posizioa (mm)**	p_e **(Pa)**	p_d **(Pa)**
	1			
	2			
	...			

8- Emaria lortuko da, aurreko abiadura-irakurketen batezbestekotik abiatuta, eta xurgapen-hodiko barne-diametroa jakinda.

$$Q = V \cdot S \qquad (barne - diametroa\ 114\ mm\ delarik)$$

9- Emari berria ezartzen da, biraketa-abiadura aldatuz, eta aurretik deskribatu den prozedura errepikatzen da honako biraketa abiadura hauentzat: $\boldsymbol{N}$ = 6000 bira/min eta 4000 bira/min.

10- Haizagailuaren sarrerako presio-hartunearen emariarekiko kalibrazioa $\boldsymbol{K}$ konstantea kalkulatuz gauzatuko da. Biraketa-abiadura bakoitzarentzat K-ren balio bat kalkulatuko da, honako adierazpen matematiko honen arabera. Erabili beharko den K-ren balioa hiru balioen batezbestekoa izango da:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{p_e}}$$

Horretarako, presio estatikoen batez besteko balioak hartuko dira, baita abiaduraren batez besteko balioa ere.

HAIZAGAILUAREN KURBA KARAKTERISTIKOEN LORPENA

1- Presioa neurtzeko gailuak behar den bezala kokatuta daudela egiaztatu behar da, xurgapen-hodiaren erdian, korronte-lerroekiko paralelo, eta fluxuarekiko aurrez aurre. Irisaren balbulak guztiz irekita egon behar du.

2- ±100 Pa-eko transduktorea erabiltzen da sarrera-presioa neurtzeko, hau da, hasieran erabili den berdina. Irakurketa honek lan-baldintza bakoitzari dagokion emaria ezagutzea ahalbidetuko du, emaria eta presio estatikoa erlazionatzen duen funtzioaren arabera, zeina aurreko atalean kalkulatua izan baita.

3- Haizagailuaren kurbak lortzeko, beharrezkoa da presio estatikoaren gehikuntza haizagailuan uretan gora eta uretan behera ezagutzea. Horretarako, haizagailua baino lehen eta ondoren kokatuta dauden presio estatikoaren hartuneak 1000 Pa-eko transduktorera konektatuko ditugu.

4- Potentziometroa biraraziko da, adierazle elektronikoak nahi den biraketa-abiadura adierazi arte. 8000 bira/min-ko biraketa-abiaduran lan egiten hasiko da.
5- Balbularen irekiera 1, 3, 5 eta 7 posizioen artean aldatuko da, eta horietako bakoitzarentzat dagozkien presioen balioak hartuko dira.
6- Aurretik deskribatu diren pausoak errepikatuko dira, biraketa-abiadura ezberdinetan. Beharrezkoak diren neurketak egin beharko dira N = 6000 bira/min eta 4000 bira/min-ko biraketa-abiaduretan.
7- Bete honako taula hau, lortutako datuekin:

***8. taula**. Biraketa-abiadura ezberdinetan kurba karakteristikoak kalkulatzeko datu esperimentalak.*

N **(bira/min)**	**Heldulekuaren posizioa**	***Sarrerako*** p_e **(Pa)**	Δp_e **(Pa)**
	1		
	3		
	5		
	7		

7. Emaitzak

Ikasleak datu-taula bat eraikiko du EXCEL orri batean. Taula horrek agerian utziko ditu datu esperimentalak, baita horiengandik kalkulatutako parametroak ere. Emaitza esperimentaletatik lortutako emaitzetatik abiatuta, honako grafiko hauek egin beharko dira:

- **1. grafikoa.** Abiadura-profila. Irudikatu grafiko bakar batean Pitot tutuaren posizioa abiaduraren menpe (m/s) adierazten duten grafikoak, biraketa-abiadura bakoitzarentzat. ***K*** konstantearen kalkulua [$m^3 \cdot h^{-1} \cdot Pa^{-1/2}$]. Lorturiko abiadura-profilen arabera, adierazi zein den xurgapen-hodian zehar ematen den erregimena, laminarra edo zurrunbilotsua.
- **2. grafikoa.** Emariaren adierazpen grafikoa sarrerako presio estatikoaren batezbestekoaren erro karratuaren menpe. ***K*** konstantearen kalkulua lortutako doikuntzaren arabera (zuzen baten malda). Konparatu aurreko atalean lortutako K balioarekin.
- **3. grafikoa.** Adierazi grafiko bakar batean xurgapen-hodiko eta bulkatze-hodiko presio estatikoaren diferentzia (Δp_e, Pa-etan) emariarekiko (m^3/s), aztertutako biraketa-abiadura bakoitzarentzat.

- **4. grafikoa.** Antzekotasuna: 8000 bira/min-an lortutako Δ_e-Q kurba erreferentziatzat hartuta eta antzekotasun-legeak aplikatuta, kalkulatu 6000 bira/min-an eta 4000 bira/min-ko kurba karakteristikoei dagozkien Δ_e-Q kurbak. Konparatu antzekotasuna aplikatuz lortutako kurbak esperimentalki lortutakoekin (3. grafikoa).

Kurba guztiak dagozkien polinomiora doitu behar dira, erregresioa ikusi beharko da, eta dagokien ekuazioa ere bai. Grafiko guztiek izenburua eduki beharko dute, eta baita ardatzen adierazpena ere dagozkien unitateekin. Grafiko horiek txostenean entregatu beharko dira, eta posible izan beharko da datu guztien jatorria ezagutu ahal izatea.

8. Ondorioak

Excel orrian bertan, ikasleek kurben joeren formak azaldu beharko dituzte, eta baita emaitza teoriko eta esperimentalen arteko diferentzia ere.

10. P8 PRAKTIKA. HAIZAGAILUAK 2: H. ERRADIALA

Fluidoen instalazioak eta makinak

1. Beharrezko ezagutzak

Jariakinen mekanika.

Makina hidraulikoa. Turbomakinak. Haizagailuak.

2. Laborategi aurretiko lana

Dokumentuen irakurketa, praktika ordubetean egin ahal izateko. Ikusi P8 praktikari dagokion bideoa.

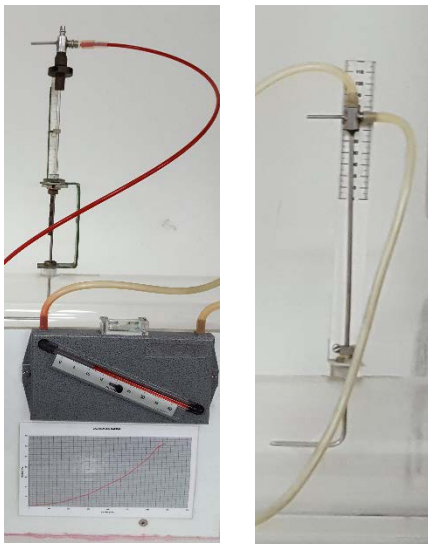
3. Helburuak

Haizagailu zentrifugo edo erradial baten ikasketa.

- Haizagailu zentrifugo baten funtzionamenduaren ikusketa.
- Prandlt tutu baten erabilera; emariaren neurketa eta xurgapen hodiko abiadura profilaren lorpena.
- Haizagailu zentrifugo baten kurba karakteristikoen lorpen esperimentala.
- Haizagailu axial baten erregulazioaren ikasketa, biraketa-abiaduraren aldakuntzaren bidez. Kurba karakteristikoen lorpena biraketa-abiadura ezberdinetan. Haizagailuei aplikaturiko antzekotasun-legeak.

4. Oinarri teorikoak

Praktika honetan Prandtl tutua erabiltzen ikasiko da, presio estatikoa, p_e, edo/eta dinamikoa, p_d, neurtzeko. Neurtutako presioa konexioak hodian zehar jartzeko moduaren araberakoa da.



36. irudia. *Prandtl tutua, presio estatikoa eta dinamikoa.*

36. irudiko ezkerreko argazkian agertzen den konexio motak presio estatikoaren neurria hartzea ahalbidetzen du. Eskuineko argazkia, ordea, presio dinamikoa neurtzeko prest dago. Hortaz, eta ondoren zehazten den ekuazio matematikoaren arabera, presio totala presio dinamikoaren eta estatikoaren batura da. Hala ere, presio totala Prandtl baten bidez ere neur daiteke (Pitot tutu bat balitz bezala erabiliz). Horretarako, konexio bakar bat egin beharko litzateke, Prandtl tutuaren goiko parteko hartunean erabiliz (hori ez da 36. irudian agertzen).

Neurketa elementu ezberdinak erabiliz, esperimentalki lor daitezke haizagailuaren funtzionamendu-puntu ezberdinak. Ondoren, puntu sorta hori kurba batera doituko da minimo karratu bidez.

$$Q = K_{\text{media}} \cdot p_e^{1/2}$$

$$\square$$

$$\Delta p_e(Q) = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2 \square$$

$$P_{\text{estática}}(Q) = P_e(Q) = Q \cdot \square p_e(Q) \quad / \quad P_{\text{dinámica}}(Q) = P_d(Q) = Q \cdot p_d(Q)$$

$$P_{\text{útil}} = P_e + P_d$$

$$\eta = P_{útil} / P_{absorbida}$$

Haizagailu zentrifugo baten funtzionamendua beste lan-baldintza batzuetan aurreikusteko, biraketa-abiadura desberdin batean esate baterako, ondoren azaltzen diren antzekotasun-legeak erabiltzen dira:

- Δp_e (Q) kurba N abiadura jakin batean ezagututa:

$$\Delta p_e (Q) = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2$$

- Haizagailu horren Δp_e (Q) kurba beste N' biraketa-abiadura batean, honako hau izango da:

$$\frac{\Delta p_e{}'}{\Delta p_e} = \frac{N^{2\prime}}{N^2} = \alpha^2$$

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{N'}{N} = \alpha$$

- Hortaz:

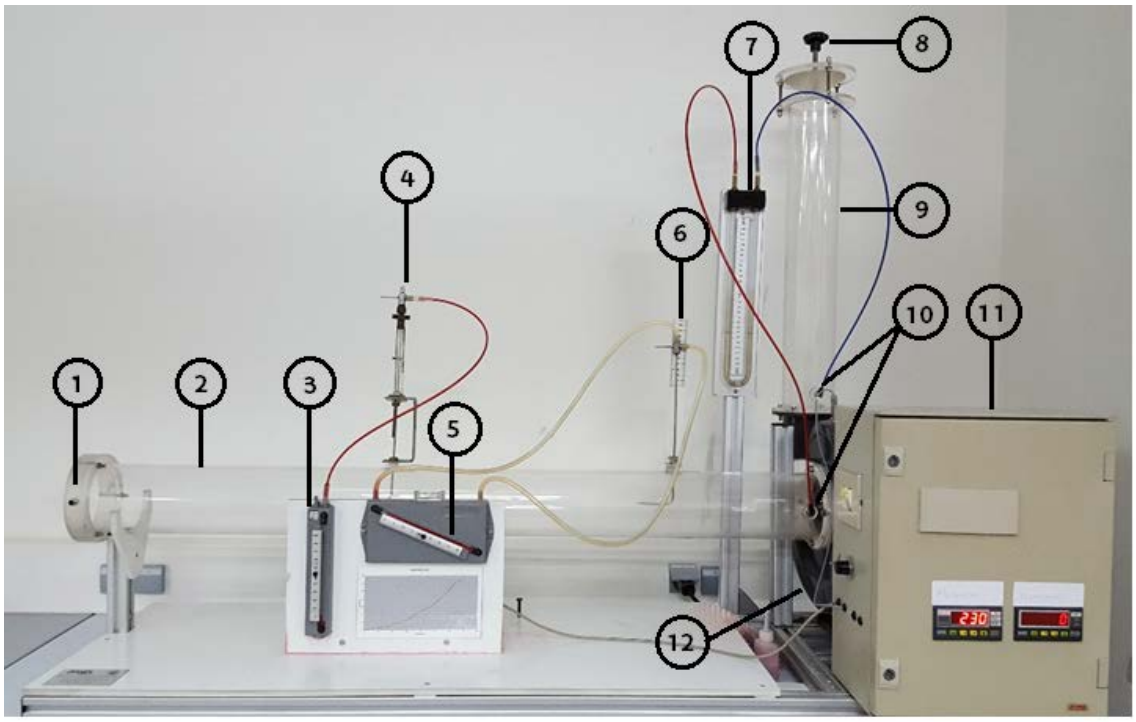
$$\Delta p_e{}' (Q') = A \cdot \alpha^2 + B \cdot \alpha \cdot Q' + C \cdot Q'^2$$

Haizagailu batekin lan egiten denean, abiadura-profilen zehaztapena da gauza interesgarrienetako bat. Horretarako, haizagailuaren zeharkako atala aztertu behar da, zeinean gainazal solidoak baitira fluxuaren muga zehazten dutenak. Hau da, fluxua gainazal solidoekin kontaktuan dagoenean, ez irristatzearen baldintza ase behar du, eta, ondorioz, bere abiadurak zero behar du izan. Fluxu-banaketa hodian zehar hiru norabidekoa eta hiru dimentsiokoa da. Kasu horretan hodia zuzena da, eta atal konstantea du; hortaz, norabide bakarreko fluxua espero daiteke, zeinak abiaduraren osagai nagusia ardatzarekiko paraleloa baitu.

5. Beharrezko ekipamendua eta instalazioaren deskribapena

1.- Hartune manometrikoa
2.- Xurgapen-hodia (ø = 120 mm)
3.- Manometro bertikala
4.- Prandtl tutua (1 neurgailua)
5.- Manometro okertua
7.- Ur-zutabe motako manometro diferentziala
8.- Erregulazio-balbula
9.- Bulkatze-hodia (ø = 100 mm)
10.- Hartune manometrikoak
11.- Kontrol-panela

6.- Prandtl tutua (2 neurgailua) 12.- Haizagailu zentrifugoa



37. irudia. *Haizagailu baten osagaiak.*

Ondoren, instalazioak dituen hainbat osagairen ezaugarri nagusiak zehazten dira:

Barne-diametroak:

- Xurgapen-hodia
  - Barne-diametroa = 112 mm
  - Kanpo-diametroa = 120 mm
- Bulkatze-hodia
  - Barne-diametroa = 94 mm
  - Kanpo-diametroa = 100 mm

Manometroak:

- 300 mm-ko ur-manometro diferentziala.
- 1000 Pa-eko manometro bertikala.
- 40 mm U. Z.-ko manometro okertua.

Beste elementu batzuk

- Maiztasun erregulatzailea.

Haizagailuaren ezaugarriak

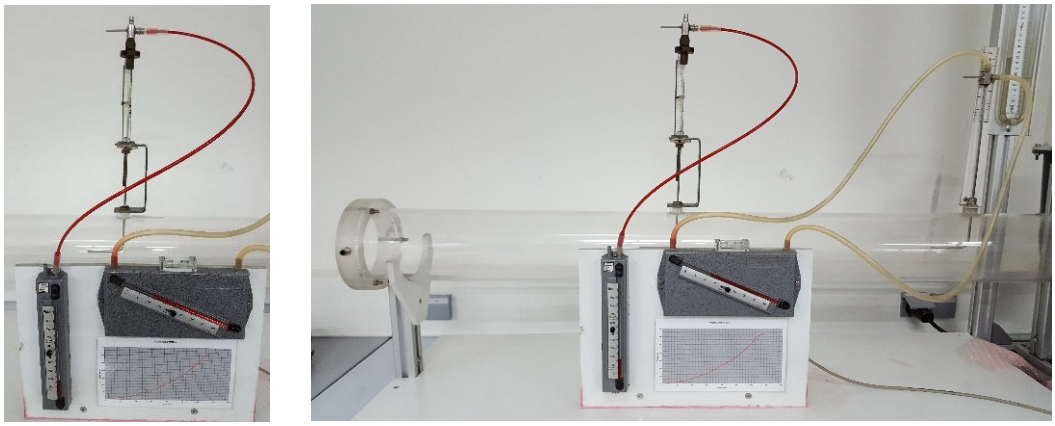
- Presio-gehikuntza: 150 mm U.Z.
- Emari maximoa 700 m^3/h
- Xurgatutako potentzia: 370 W
- Biraketa-abiadura: 2810 bira/minutu, 50 Hz-tan.

6. Prozedura esperimentala: praktika gauzatzea

Praktika gauzatzeko, honako prozedura hau jarraitu behar da: lehenengo, sarrerako presio-hartunearen kalibrazioa egin behar da, eta, ondoren, haizagailuaren kurba karakteristikoak eraiki.

PRESIO-HARTUNEAREN KALIBRAZIOA: *K* KONSTANTEAREN LORPENA

1- Presioa neurtzeko gailuak behar den bezala kokatuta daudela egiaztatu behar da, xurgapen-hodiaren erdian (56 mm), korronte lerroekiko paralelo eta fluxuarekiko aurrez aurre. Erregulazio-balbulak guztiz irekita egon behar du, eta presioa adierazten duten likidoen mailak zeroan.



38. irudia. *Presio estatikoa neurtzeko hartunea lehenengo Prandtl tutuaren bidez (1 neurgailua), eta presio dinamikoa bigarren Prandtl tutuaren bidez (2 neurgailua).*

2- Kontrol-panelean dagoen interruptorea sakatuz haizagailua pizten da. Potentzia-irakurketa doitzen dugu, adierazten diren unitateak kW-tan egon arte. Horretarako, potentzia-adierazgailuaren eskuin eskuan dagoen botoi berdea besterik ez da sakatu behar. Ondoren, maiztasun-erregulatzailea 8 zenbakian jartzen da.

39. irudia. *Haizagailuaren interruptorea eta maiztasun-erregulatzailea edo potentziometroa (ezkerra). Potentzia eta biraketa-abiaduraren neurriak hartzeko panela (eskuina).*

3- Presio estatikoak neurtzeko Prandtl tutuaren posizioa ez da aldatu behar (1 neurgailua), ezta presio dinamikoa neurtzeko Prandtl tutuaren konexioak ere (2 neurgailua). 1 neurgailuak adierazten duen presio estatikoaren neurria hartuko da. Horrez gain, 2 neurgailuak adierazten duen presio dinamikoa ere hartuko da, zeinaren posizioa aldatzen joango baita, ondoren azaltzen den bezala.

4- 2 neurgailua hodiaren ondora arte sartzen da, puntu hori «0» puntu edo hasierako puntutzat hartuz. Puntu horretan, presio estatikoa eta dinamikoa neurtzen dira.

5- 2 neurgailua progresiboki igoz (hasierako puntutik xurgapen-hodiaren erdiko posiziora arte 6 puntu, 56 mm), presio estatikoaren eta presio dinamikoaren neurketak egingo dira 2 neurgailuko posizio ezberdinetan, dagozkien balioak apuntatuz. Momentu oro neurgailuen posizioari so egin behar zaio; neurketa baliagarria izan dadin, fluxuaren korronte lerroekiko paralelo eta aurrez aurre mantendu behar da haien posizioa.

9. taula. *Datu esperimentalen neurketa. Sarrerako emariaren neurketa.*

N **(bira/min)**	**Irakurketa**	p_e **1 neurgailua (Pa)**	**2 neurgailua posizioa (mm)**	p_d **2 neurgailua (mm U.Z.)**
	1			
	2			
	...			

6- Emaria lortuko da aurreko abiadura-irakurketen batezbestekotik abiatuta, eta xurgapen-hodiko barne-diametroa jakinda.

$$Q = v \cdot S \qquad (barne - diametroa\ 112\ mm\ delarik)$$

7- Emari berri bat ezartzen da, biraketa-abiadura aldatuz. Horretarako, aurretik deskribatu den prozedura errepikatzen da potentziometroa 6 zenbakian kokatuz.

8- Haizagailuaren sarrerako presio-hartunearen emariarekiko kalibrazioa K konstantea kalkulatuz gauzatuko da. Biraketa-abiadura bakoitzarentzat K-ren balio bat kalkulatuko da, honako adierazpen matematiko honen arabera. Erabili beharko den K-ren balioa hiru balioren batezbestekoa izango da:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{p_e}}$$

Horretarako, presio estatikoen batez besteko balioak hartuko dira, baita abiaduraren batez besteko balioa ere (emariaren kalkulua). Lortutako bi K balioen arteko batezbestekoa egingo da.

HAIZAGAILUAREN KURBA KARAKTERISTIKOAK

1- Presioa neurtzeko gailuak behar den bezala kokatuta daudela egiaztatu behar da, xurgapen-hodiaren erdian, korronte-lerroekiko paralelo eta fluxuarekiko aurrez aurre. Iris-aren balbulak guztiz irekita egon behar du.

2- Kokatu potentziometroa 8 posizioan.

3- 1 neurgailua erabiliko da emaria zenbatekoa den jakiteko, aurreko atalean egin den kalibrazioari esker.

4- Haizagailuaren kurbak lortzeko, beharrezkoa da presio estatikoaren gehikuntza haizagailuan uretan gora eta uretan behera ezagutzea. Horretarako, ur-zutabedun manometro diferentziala erabiliko da.

5- Erregulazio-balbularen posizioa aldatuko da, gutxienez 8 posizio desberdin ezarriz, guztiz zabalduta dagoen posiziotik guztiz itxi arte.

6- Presio estatikoaren, (Pa), presio dinamikoaren (mm U. Z.), manometro diferentzialaren koten (mm U. Z.), potentziaren (kW) eta biraketa-abiaduraren balioak apuntatuko dira, balbula-irekiera bakoitzeko.

Aurreko ataleko datuetatik lortutako K-ren balioa erabiliko da, haizagailuan zehar dabilen emaria neurtu ahal izateko, aurretik zehaztu den K, p_e eta Q arteko erlazioa ezagututa.

***10. taula**. Biraketa-abiadura ezberdinetan kurba karakteristikoak kalkulatzeko datu esperimentalak.*

N (bira/min)	**Balbularen posizioa**	**p_e 1 neurgailua (Pa)**	**p_d 2 neurgailua (mm U. Z.)**	**Δp_e (mm U. Z.)**	**$P_{xurgatutako}$ (kW)**
	1				
	2				
	...				

7- Aurretik deskribatutako pausoak errepikatu behar dira biraketa-abiadura ezberdinetan. Horretarako, neurketa berriak egingo dira haizagailuaren potentziometroaren balioa 6 posizioan kokatuz.

7. Emaitzak

Ikasleak datu-taula bat eraikiko du EXCEL orri batean. Taula horrek agerian utziko ditu datu esperimentalak, baita horiengandik kalkulatutako parametroak ere. Emaitza esperimentaletatik lortutako emaitzetatik abiatuta, honako grafiko hauek egin beharko dira:

- **1. grafikoa.** Abiadura-profila. Irudikatu grafiko bakar batean 2 neurgailuaren posizioa (mm) abiaduraren menpe (m/s) adierazten duten grafikoak, biraketa-abiadura bakoitzarentzat. K konstantearen kalkulua [$m^3 \cdot h^{-1} \cdot Pa^{-1/2}$]. Lorturiko abiadura-profilen arabera, adierazi zein den xurgapen-hodian zehar ematen den erregimena, laminarra edo zurrunbilotsua.
- **2. grafikoa.** Emariaren adierazpen grafikoa sarrerako presio estatikoaren batezbestekoaren erro karratuaren menpe. K konstantearen kalkulua lortutako

doikuntzaren arabera (zuzen baten malda). Konparatu aurreko atalean lortutako K balioarekin.

- **3. eta 4. grafikoak.** Adierazi grafiko bakar batean xurgapen-hodiko eta bulkatze-hodiko presio estatikoaren diferentzia (Δp_e, Pa-etan) emariarekiko (m^3/s). Egin grafiko bat aztertutako biraketa-abiadura bakoitzarentzat.
- **5. grafikoa.** Xurgapen-hodiko presio dinamikoaren eta presio dinamikoaren arteko diferentzia, eta presio totala ($p_e + p_d$, [Pa]-etan), emariaren arabera, potentziometroaren 8. posiziorako.
- **6. grafikoa.** Antzekotasuna: potentziometroak 8 posizioan lortutako Δp_e-Q kurba erreferentziatzat hartuta eta antzekotasun-legeak aplikatuta, kalkulatu potentziometroaren 6. posizioari dagokion kurba karakteristikoa, Δp_e-Q kurba. Antzekotasuna aplikatuz, konparatu lortutako kurbak esperimentalki lortutakoekin (4. grafikoa).

Kurba guztiak dagozkien polinomiora doitu behar dira, erregresioa ikusi egin beharko da, eta baita dagozkien ekuazioak ere. Grafiko guztiek izenburua eduki beharko dute, eta baita ardatzen adierazpena ere dagozkien unitateekin. Grafiko horiek txostenean entregatu beharko dira, eta posible izan beharko da datu guztien jatorria ezagutu ahal izatea.

8. Ondorioak

Excel orrian bertan, ikasleek kurben joeren formak azaldu beharko dituzte, eta baita emaitza teoriko eta esperimentalen arteko diferentzia ere.

11. BIBLIOGRAFIA

- AGÜERA SORIANO, José. ***Mecánica de Fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas***. Ciencias argit., 1992.
- MATAIX, C. ***Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas***. del Castillo argit., 1982.
- GILES, R.V. ***Mecánica de fluidos e Hidráulica***. Mc Graw Hill.
- STREETER, V.L. eta WYLIE, E.B. ***Mecánica de los fluidos***. Mc Graw Hill. 9. argit.. 1999.
- GERHART, P., GROSS, R. eta HOCHSTEIN, J. ***Fundamentos de Mecánica de Fluidos***. Addison.Wesley Americana. 1995.
- GARCIA TAPIA, NICOLAS. ***Ingeniería Fluidomecánica***. Argit.: Secretariado de publicaciones e intercambio científico de la Universidad de Valladolid. 1998.
- SHAMES, IRVING H. ***Mecánica de Fluidos*** (3. argit.). Mc Graw Hill. 1995.