

# Ingurumen Kutsaduraren Tratamendua

## Laborategiko praktiken gidoiak

Irene Sierra García



# **Ingurumen Kutsaduraren Tratamendua**

Laborategiko praktiken gidoiak

Irene Sierra García

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

*CIP. Unibertsitateko Biblioteka*

**Sierra García, Irene**

Ingurumen kutsaduraren tratamendua [Recurso electrónico]: laborategiko praktiken gidoiak / Irene Sierra García. – Datos. – Bilbao : Servicio Editorial. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, [2017]. – 1 recurso en línea : PDF (66 p.)

Modo de acceso: World Wide Web

ISBN: 978-84-9082-687-4

1. Contaminación – Medición – Manuales de laboratorio. 2. Contaminación – Análisis. 3. Medio ambiente, Ingeniería del.

(0.034)504.5(076.5)

UPV/EHUko Euskara Zerbitzuak sustatua eta zuzendua, Euskarazko ikasmaterialgintza sustatzeko deialdiren bitartez.

© Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua

ISBN: 978-84-9082-687-4

# Aurkibidea

## LABORATEGIKO PRAKTIKAK

<b>1. praktika</b>	
Energiaren ekoizpena eguzki-energiaren eta erregai-zelularen bidez . . . . .	5
<b>2. praktika</b>	
CO <sub>2</sub> bahitzeko absortzio-zutabearen analisia . . . . .	11
<b>3. praktika</b>	
Partikulen bereizketa, zikloi bat erabiliz . . . . .	19
<b>4. praktika</b>	
Sedimentazio-tanga . . . . .	25

## LABORATEGIKO PRAKTIKA OSAGARRIAK

<b>O.1. praktika</b>	
Energia eolikoa . . . . .	33
<b>O.2. praktika</b>	
Gasen neurketa . . . . .	38
<b>O.3. praktika</b>	
Eguzki-energia fotovoltaikoa . . . . .	40
<b>O.4. praktika</b>	
Ioi-trukaketa I . . . . .	53
<b>O.5. praktika</b>	
Ioi-trukaketa II. . . . .	58

# **Laborategiko praktikak**

## 1. praktika

# Energiaren ekoizpena eguzki-energiaren eta erregai-zelularen bidez

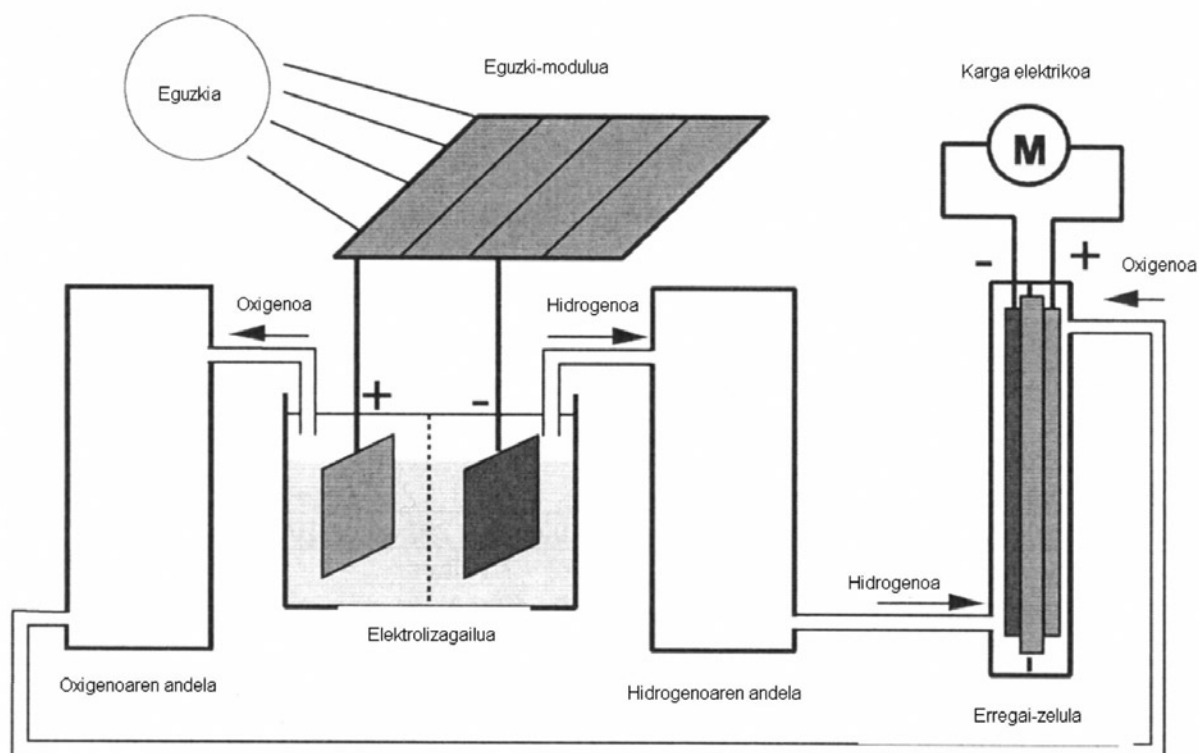
### 1.1. Helburua

Eguzki-energia erabiltzen duen instalazio baten funtzionamendua aztertzea, eta energia moten arteko eraldaketa behatzea.

### 1.2. Oinarri teorikoa

Ekipo esperimentalaren funtzionamendua honako hau da (1.1. irudia behatu):

1. Eguzki-moduluak argia korrante elektriko bilakatzen du.
2. Elektrizitate horrek ura hidrogenotan eta oxigenotan disoziatzen du, elektrolizagailuaren bidez.
3. Ekoiztako gasak elektrolizagailuaren andeletan meta daitezke.
4. Hidrogenoa eta oxigenoa erregai-zelulara elikatzen dira, eta korrante elektrikoa sortzen da.
5. Elektrizitateak motor elektrikoa mugiarazten du, eta horrek helizea.



**1.1. irudia.** Ekipo esperimentalaren adierazpen eskematikoa

### *Elektrolizagailua*

Elektrolisia da elektrizitatearen bidez substantzia baten osagaiak banatzen dituen prozesua. Uraren kasuan, hidrogenoa eta oxigenoa bereizten dira.

Elektrolizagailu edo upel elektrolitiko izeneko ekipoetan egiten da elektrolisia. Upel horiek bi elektrodoz osatuta daude (katodoa eta anodoa); horiek energia elektrikoa hornitzen dute. Elektrodoak elektrolito (likido edo solido) batez banatuta daude, zeinean disoziazio-erreakzioa gertatzen baita.

Polo negatiboari lotutako elektrodoa katodoa da, eta polo positiboari lotutakoa anodoa. Ioi negatiboak anodora inguratzen dira, eta ioi positiboak katodora. Elektrodoetan elektro-transferentziako erreakzioak gertatzen dira; hau da, anodoak elektroiak kentzen dizkio anioiari, eta katodoak elektroiak ematen dizkio katioiari. Azken batean, oxidazio-erredukzio erreakzioak gertatzen dira.

Uraren elektrolisia egiteko, ur distilatua erabili behar da; bestela, disolbatutako gatzek ere elektrolisia jasango lukete. Uraren kasuan, oxigeno anioia ( $O^{2-}$ ) anodora doa, eta oxigeno gasa ( $O_2$ ) eratzen da. Hidrogeno katioia ( $H^+$ ), berriz, katodora doa, eta hidrogeno gasa ( $H_2$ ) sortzen da.

Uraren erresistentzia elektrikoa gainditzeko (100 ohm/cm ur puruarentzat), elektrolitoak erabili behar dira. Gehien erabiltzen diren elektrolitoak azidoak ( $H_2SO_4$ ), baseak (NaOH) eta gatzak (NaCl) dira; horiek mesede egiten diote elektroien mugimenduari. Gure kasuan, mintz polimeriko solido bat erabiltzen da (PEM).

Elektrolisia deskribatzeko, *Faradayren legeak* erabiltzen dira.

Faradayren 1. legearen arabera, elektrolisian askatutako materialaren kantitatea zuzenki proportzionala da  $n$ -rekiko (mol kopurua), denborarekiko ( $t$ ) eta korrontearrekiko ( $I$ ). Hau da, garraiatutako karga elektrikoarekin ( $Q$ ) proportzionala da ( $n \cdot z \cdot Q$ ).

Faradayren 2. legeak  $Q$  kargaren eta askatutako materia kantitatearen arteko erlazioa ematen du:

$$Q = n \cdot z \cdot F \quad (1.1)$$

Beraz:

$$I \cdot t = n \cdot z \cdot F \quad (1.2)$$

non  $z$  partikula bat askatzeko elektrodoan trukatu beharreko elektroikopurua baita, eta  $F$  Faradayren konstantea (96.484 C/mol).

Elektrolizagailuaren funtzionamendua aztertzeko, *Faradayren eraginkortasuna* erabiltzen da. Faradayren eraginkortasuna da esperimentalki neurtutako hidrogeno bolumenaren eta hidrogeno bolumen teorikoaren arteko erlazioa:

$$\eta_F = \frac{V_{H_2 \text{ esperimentalak}}}{V_{H_2 \text{ teorikoa}}} \quad (1.3)$$

Faradayren 2. legeak (gas idealen ekuazioarekin batera) Faradayren eraginkortasunaren kalkulua ahalbidetzen du.

Faradayren eraginkortasunak adierazten du hornitutako korrontetik zenbat erabili den egin nahi den erreazioan. Balio hori % 100 inguruan ez badago, horrek esan nahi du bigarren mailako erreazioak gertatzen ari direla (korrosioa, adibidez). Ondorioz, energia gehiago hornitu behar da.

Elektrolizagailuaren funtzionamendua aztertzeko beste parametro bat da *elektrolizagailuaren eraginkortasun energetikoa*. Parametro hori ekoiztutako hidrogenoaren eduki energetikoaren eta hornitutako energia elektrikoaren arteko erlazioa da:

$$\eta_E = \frac{\text{Hidrogenoaren eduki energetikoa}}{\text{Energia elektrikoa}} = \frac{H_{0 H_2} \cdot V_{H_2 \text{ esperimentalak}}}{U \cdot I \cdot t} \quad (1.4)$$

$H$  da bero-ahalmena edo potentzia kalorifikoa, hau da, erregaiaren kantitate zehatz bat erretzean askatutako bero kantitatea. Gorenko bero-ahalmena  $H_0$  erabiltzen da errektuntzan sortutako ura likido eran dagoenean. Hidrogenoaren gorenko potentzia kalorifikoa 20 °C-tan 11.920 kJ/m<sup>3</sup> da.

Elektrolizagailuaren eraginkortasun energetikoa tentsioarekin aldatzen da. Fenomeno hori garrantzitsua da aplikazio teknikoetarako; izan ere, tentsioa handitzean hidrogeno gehiago sortzen da, baina eraginkortasun energetikoa murrizten da. Praktikan, beraz, lan egiteko punturik egokiena aurkitu behar da. Eraginkortasun energetikoa ahalik eta altuena izatea komeni da, energia elektrikoa garestia delako. Sistema komertzialek % 90 inguruko eraginkortasun energetikoa lortzen dute.

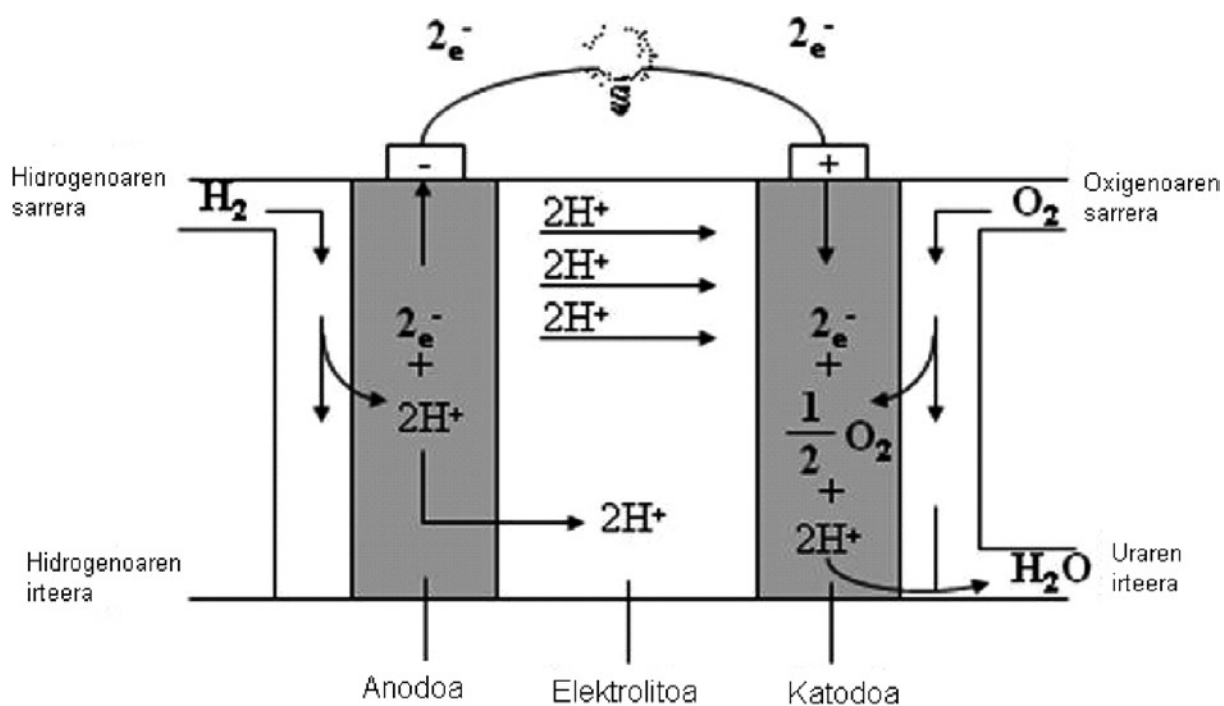


### Erregai-pila (erregai-zelula ere deiturikoa)

Bateriaren antzeko energia-eraldaketarako gailu elektrokimikoa da. Bien arteko ezberdintasuna honako hau da: erregai-pilan errektiboak era jarraituan sartzen dira; hau da, erregai-zelulak elektrizitatea sortzen du, erregai eta oxigenozko kanpo-iturri batetik abiatuta; bateriak, berriz, energia metatzeko ahalmen mugatua du. Gainera, baterian elektrodoek erreakzionatzen dute, eta bateriaren karga-egoerarekin aldatu egiten dira; erregai-zelulan, aldiz, elektrodoak katalitikoak eta egonkor samarrak dira.

Hidrogeno-zelulan erabiltzen diren errektiboak hidrogenoa (anodoaren aldean) eta oxigenoa (katodoan) dira. Hainbat erregai-zelula mota daude: alkalinoak, metanolezkoak, etab. Praktika honetan PEMFC zelula bat erabiliko da (*proton exchange membrane fuel cell*).

Zelula horren funtzionamendua 1.2. irudian erakusten da. Anodoan hidrogenoa disoziatzen da, protoiak eta elektroiak emanez. Protoiek mintza zeharkatzen dute, eta katodora joaten dira; elektroiak, berriz, kanpo-zirkuitu batean zehar higitzen dira (elektrizitatea sortuz). Katodoan, oxigeno molekulek protoiekin eta elektroiekin (kanpo-zirkuituaren bidez garraiatu direnak) erreakzionatzen dute, ura eratzeko.



1.2. irudia. PEMFC zelularen funtzionamenduaren adierazpena

### 1.3. Prozedura esperimentalak

*Ekipoa erabiltzeko segurtasun neurriak:*

*Ez ukitu eguzki-panela bero dagoenean!!*

*Kontuz sutze-iturriekin!! Hidrogenoarekin lan egiten ari gara!!*

*Sistema martxan jartzeko*

(Beharrezkoa bada bakarrik) Elektrolizagailua *ur distilatuz* bete, bi tapoien zuloetatik. Elektrolisia gertatzen den bitartean, ur kantitate txiki bat igarotzen da oxigenoaren aldetik hidrogenoaren aldera. Erabilera luzeetarako (funtzionamendu jarraitua), bi andelak maila desberdinean bete behar dira (oxigenoarena 0an eta hidrogenoarena 60an). *Oxigenoaren aldeko maila 60 ml baino baxuago badago, ur distilatuz bete behar da.*

**Elektrizitatearen ekoizpena eguzki-energiaren eta hidrogeno-zelularen bidez**

- Eguzki-modulua ondo argitu, 300 mA eta 2 A bitarteko korrante elektrikoa lortzeko. Horretarako, eguzki-modulua eta anperometroa konektatu. Ez gaingitu inoiz 4 A eta 2 V korrante zuzenarekin.
- Elektrolizagailua martxan jarri, kableak konektatuz.
- Elektrolizagailuan argi ikusi behar da gas-ekoizpena. Oxigenoa zelula-erdi batean eratzen da, eta hidrogenoa bestean.
- Pila bikoitzeko bi pilak seriean konektatu. Horretarako: 1. pilaren borne negatiboa 2. pilaren borne positiboarekin konektatu; 1. pilaren borne positiboa kargaren (helizearen) borne positiboarekin konektatu, eta 2. pilaren borne negatiboa kargaren borne negatiboarekin.
- Zenbait minutu igaro ondoren*, erregai-zelulak behar beste gas eduki behar du konektatutako karga korrante elektriko horritzeko.
- Erregai-zelulak sortutako korrante elektrikoaren intentsitatea eta tentsioa neurtu. Itxaron balioak egonkortu arte.

**Faradayren legeen egiaztapena**

- Elektrolizagailuaren hidrogenoaren irteera klip batekin itxi.
- Askatutako materia kantitatea vs denbora*. Intentsitate jakin eta konstante bat erabiliz (700 mA, gutxi gorabehera), denbora desberdinean eratutako hidrogeno kantitatea neurtu. Datuak minuturo hartuko dira, 10 minutu igaro arte.
- Askatutako materia kantitatea vs intentsitatea (korrontea)*. Argiaren erasotze-angelua aldatu, eta korrante-intentsitate desberdinetarako ekoiztutako hidrogeno-bolumena neurtu ( $t$  denbora konstante mantenduz = 4 minutu, adibidez).
- $V_{H_2}$  denboraren aurka irudikatu ( $I$  = konstante izanik), eta  $V_{H_2}$  korrantearen aurka ( $t$  = konstante izanik). Egiaztatu erlazioa lineala dela, eta, beraz, Faradayren legeak bete-tzen direla.

**Faradayren eraginkortasuna eta elektrolizagailuaren eraginkortasun energetikoa**

- Argiaren erasotze-angelua aldatu 600 mA-ko intentsitatea lortu arte, eta denbora-tarte batean (8 minutu, adibidez) eratutako hidrogeno-bolumena neurtu. Hiru neurri egin, eta kalkulak egiterakoan, hiruren arteko batezbestekoa hartu. Bete ezazu 1.1. taula.

**1.1. taula.** Eraginkortasunak kalkulatzeko datuak

Denbora (min.) =	$V_1$ (ml) =	$V_{\text{batezbestekoa}}$ (ml) =
Tentsioa (V) =	$V_2$ (ml) =	
Intentsitatea (A) =	$V_3$ (ml) =	

- l) Kalkulatu Faradayren eraginkortasuna eta elektrolizagailuaren eraginkortasun energetikoa.

Oharra: unitateen arteko baliokidetasuna:  $1 \text{ V} \times \text{A} \times \text{s} = 1 \text{ J}$

**Uraren deskonposizioa**

- m) Eguzki-modulua erabili 400 eta 600 mA bitarteko korrante konstantea ekoizteko.  
 n) Elektrolizagailua martxan jarri.  
 o) Elektrolizagailuaren irteera-hodiak itxi, bi klip erabiliz.  
 p) Eguzki-modulua eta elektrolizagailuaren arteko konexioa eten, elektrolizagailuaren hidrogenoaren aldean 60 ml-ko marka lortzen denean. Denbora-tarte horretan sortutako oxigeno-bolumena neurtu.  
 q) 1.2. taula bete, ekoitzitako gas-bolumenekin:

**1.2. taula.** Elektrolisian askatutako gas-bolumenen datuak

	Uraren deskonposizioa
H <sub>2</sub> bolumena	ml
O <sub>2</sub> bolumena	ml

- r) Elektrolisian askatutako gas-bolumenen arteko erlazioa kalkulatu. Egiaztatu uraren deskonposizioan bi hidrogeno parte sortzen direla askatutako oxigeno parte bakoitzarengatik ( $2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{O}_2$ ).

## 2. praktika

# CO<sub>2</sub> bahitzeko absortzio-zutabearen analisia

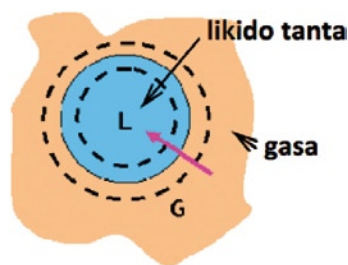
### 2.1. Helburua

CO<sub>2</sub>-ren absortzioa egitea zutabe bat erabiliz, eta horren eraginkortasuna kalkulatzeko.

### 2.2. Oinarri teorikoa

#### 2.2.1. Absortzioa

Gas fasean dagoen osagai bat (edo gehiago) likido batekin kontaktuan jartzean, likido fasera pasa daiteke (likidoan disolbagarria bada), 2.1. irudian erakusten den moduan. Eragiketa horri absortzio deritzen, eta gas faseko nahasteak bereizteko erabiltzen da. Erabiltzen den likidoa disolbatzailea da, eta fase batetik bestera igarotzen den osagaia solutua. Absortzio-eragiketaren aplikazioen artean, honako hauek daude: gas faseko kutsatzaileak ezabatzea, edo gas faseko osagai baliagarriak berreskuratzea.



Iturria: Jose Luis Ayastuy. *Ingeniaritza Kimikoaren Oinarriak*. UPV/EHU (sare argitalpena). 2008.

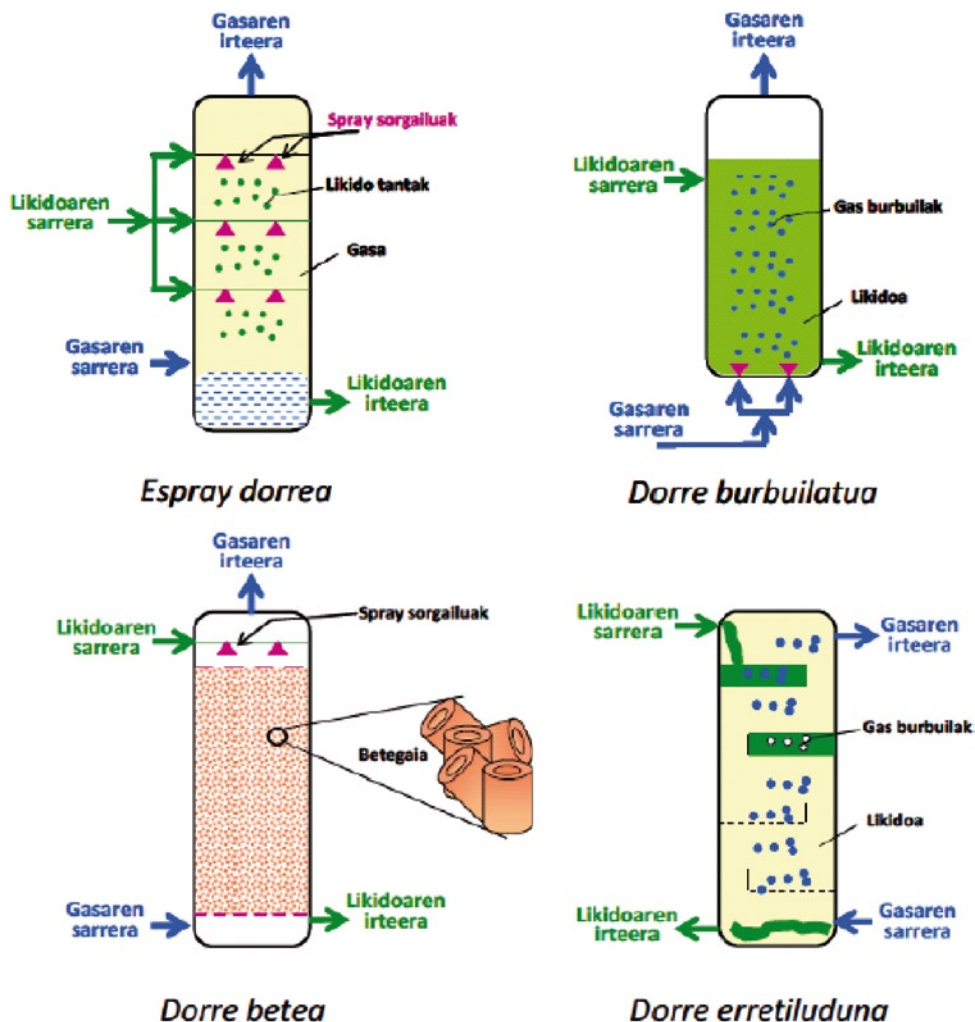
#### 2.1. irudia. Absortzio-prozesuaren irudikapen sinplifikatua

Alderantzizko prozesua desortzioa da (*stripping*, ingelesez). Eragiketa horretan, nahaste likidoa ukipenean jartzen da gas batekin (inertea, normalean), eta likidoan dagoen osagai bat (edo gehiago) gas fasera igarotzen da.

Benetako sistemetan solutu bat baino gehiago egon arren, disolbatzailea selektiboa bada, fase batetik bestera solutu bakarra garraiatzen dela jo daiteke. Absortzioa fisikoa edo kimikoa izan daiteke. Lehenengo kasuan, disolbatzaileak ez du solutuarekin erreakzionatzen. Masa-transferentzia areagotzeko, absortzio kimikoa erabiltzen da; horretan, bereziki aukeratutako disolbatzaileak solutuarekin erreakzionatzen du.

Absortzioa eta desortzioa fase arteko masa-transferentziatzko eragiketak dira. Masa-transferentziaren abiadura indar eragilearen arabera denez (solutuaren presio partzialaren eta lurrun-presioaren arteko diferentzia, kasu honetan), orekatik ahalik eta aldenduen lan egiten da. Era berean, fase arteko masa-transferentziarako abiadura proportzionala da fase arteko azalerarekiko. Horrela, eragiketa horiek egiterako orduan, ezinbestekoa da fase arteko azalera handitzea. Horregatik, fase arteko ukipenari mesede egiten dioten ekipa berezietan egiten dira absortzioa eta desortzioa.

Industrian, absortzioa edo desortzioa egiteko gehien erabiltzen diren ekipaok dira dorre beteak eta dorre erretiludunak, eskala handiko eragiketetan batez ere. Hala ere, badaude beste ekipa batzuk, hala nola esprai-dorreak edo burbuila-tangak; horiek eskala txikiko aplikazioetan erabiltzen dira, bereizte-maila handia behar ez denean. 2.2. irudian azaltzen dira ekipa horien eskemak.



Iturria: Jose Luis Ayastuy. Ingeniaritza Kimikoaren Oinarriak. UPV/EHU (sare argitalpena). 2008.

**2.2. irudia.** Absortzioa egiteko erabiltzen diren ekipaok

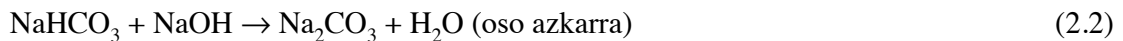
Dorre beteak zutikako dorreak dira, eta fase arteko azalera handiko materialez (betegarriz) beteta dute barrualdea. Ekipo horietan, likidoaren eta gasaren zirkulazioa paraleloan edo kontrakorrontean izan daiteke. Likidoak betegarria bustitzen du, eta gasez inguratuta dago.

Praktika honetan, modu erdijarraituan egingo da absortzio-prozesua. Hau da, zutabea likidoz (sodio hidroxidozko ur-disoluzio batez) beteta egongo da, eta gasa era jarraituan elikatuko da. CO<sub>2</sub>-ren absortzioaren jarraipena egiteko, etengabe neurtuko da irteerako pH-a.

### 2.2.2. CO<sub>2</sub>-ren absortzioa disoluzio alkalino batean

CO<sub>2</sub>-ren absortzioa bi mekanismoren bidez gerta daiteke: a) karbono dioxidoa eta hidroxilo ioia (OH<sup>-</sup>) erreakzionatzean, bikarbonatoak (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) eratzen dira lehenik, eta ondoren karbonatoak (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>); eta b) CO<sub>2</sub>-k urarekin erreakzionatzen du azido karbonikoa eratuz, eta, ondoren, NaOH-rekin erreakzionatzen du horrek.

a) pH > 10 denean, lehenengo mekanismoa da nagusi (erreakzio zuzena):



b) pH < 8 denean, mekanismo nagusia da azido karbonikoaren eraketa eta bere disoziazio-erreakzioa:



Gure kasuan, disoluzioa oso basikoa denez, lehenengo mekanismoaren bitartez gertatuko da absortzio-prozesua. Hau da, absortzio kimikoa izango dugu. Gainera, bi erreakzio gertatzen direnez (bata bestearen ondoren), bi aldaketa behatuko ditugu pH-aren bilakaeran (bakoitza erreakzio bati dagokio).

### 2.2.3. Zutabearen ahalmenaren eta eraginkortasunaren kalkulua

Karbono dioxido guztia xurgatu den ala ez zehazteko, zutabearen ahalmena eta eraginkortasuna kalkulatuko ditugu. Zutabearen ahalmena (2.6) ekuazioaren bidez kalkula daiteke. Erreakzionatu duen NaOH-ren kantitatea ezagutzen dugunez (pH-aren aldaketa neurtu dugulako), xurgatu den CO<sub>2</sub> kantitatea (molak) kalkula dezakegu.

$$\text{Ahalmena} = \frac{\text{Xurgaturiko CO}_2 \text{ molak}}{\text{Zutabearen bolumena}} \quad (2.6)$$

Prozesuaren eraginkortasuna (2.7) ekuazioa erabiliz kalkulatu da:

$$\text{Eraginkortasuna (\%)} = \frac{\text{Xurgaturiko CO}_2 \text{ molak}}{\text{Elikaturiko CO}_2 \text{ molak}} \cdot 100 \quad (2.7)$$

Zutabeen zehar igaro den  $\text{CO}_2$  kantitatea kalkula daiteke honako parametro hauek ezagutuz: gas-balarekin elikatu dugun emari bolumetrikoa eta saiakuntzaren denbora. Burbuiladun emari-neurgailu bat erabiliz neurtuko da gas-emaria; gas-emaria ezaguna bada, eta korrante horren presioa eta tenperatura ezagunak badira, elikatu diren  $\text{CO}_2$  molak kalkula daitezke.

### 2.3. Atal esperimentalak

#### 2.3.1. Materialak eta errektiboak

- Raschig eraztunez betetako absortzio-zutabea.
- $\text{CO}_2$  daukan botila, presio-erregulatuarekin.
- pH-metroa, zeinak zulatutako tapoi batean muntatutako elektrodoa baitu.
- Inbutua.
- Kronometroa.
- NaOH-zko disoluzioa prestatzeko:

1 L-ko matraxe aforatua  
NaOH («dilistak»)  
Fenolftaleinazko disoluzioa.

#### 2.3.2. Prozedura esperimentalak

##### ZUTABEA BETETZEKO DISOLUZIOA PRESTATZEA

Sodio hidroxidozko disoluzio diluitua (0,5 M) prestatu behar da. Horretarako, balantza batean NaOH-zko «dilista» kantitate egokia pisatu behar da, disoluzio horren litro bat prestatzeko. Disoluzioa prestatu aurretik, irakasleari erakutsi behar zaizkio egindako kalkuluak, bere oniritzia eman dezan.

NaOH-zko dilistak litro bateko matraxe aforatu batean jartzen dira, eta, ondoren, urez betetzen da, bolumenaren erdiraino. Matraxe irabiatzen da mugimendu zirkular baten bidez, NaOH-ren disoluzioa errazteko (disoluzioa berotu egingo da, prozesua exotermikoa baita; *kontuz ibili matraxearen hondoarekin, ez erretzeko!*). Bete matraxe urez, dagokion markaraino. Ondoren, itxi matraxe eta eman buelta hiru edo lau aldiz disoluzioa homogeneizatzeko.

Hartu disoluzio horren 150 ml, eta neurtu pH-a. Ondoren, gehitu fenolftaleina adierazleko disoluzioaren tanta batzuk. Adierazlea gehitu ondoren, itxaron minutu batzuk, kolorea mantentzen dela egiaztatzeko. Hala ez bada, errepikatu prozedura, desagertzen ez den kolore arrosa iluna lortu arte.

##### MUNTAIA ESPERIMENTALA PRESTATZEA ETA GAS-EMARIA ERREGULATZEA

Gas-emaria neurtzeko muntaia esperimentalak erakusten da 2.3. irudian. Hasi baino lehen, egiaztatu sistemaren huste-balbula itxita dagoela, eta absortzio-zutabea urez bete. Ondoren,  $\text{CO}_2$  daukan gas-botilaren giltza ireki, eta emaria erregulatu, 100 ml/min inguru lortzeko (errotametroan 20 jarri, gutxi gorabehera). Emaria neurtzeko, burbuila batek emari-neurgailuaren bi marken arteko espazioa (50 ml) betetzeko zenbat denbora behar duen neurtu behar da. Gas-emaria erregulatu ondoren, zutabea hustu, sistemaren huste-balbula irekiz. *Gas-emaria ez da eten behar.*



**2.3. irudia.** Gas-emaria neurtzeko muntaia esperimentalak

Zutabea hustu ondoren, berriro beteko da NaOH 0,5 M disoluzioarekin, inbutu bat erabiliz. Ondoren, pH-a neurtzeko, zutabearen goialdean dagoen tapoian sartuko da elektrodoa. Apuntatu disoluzioaren zenbat bolumen erabili duzuen. Horretarako, probeta bat erabili (hasierako eta bukaerako bolumenak neurtu, eta diferentzia hori izango da erabilitako bolumena).

#### ABSORTZIO-PROZESUAREN JARRAIPENA

CO<sub>2</sub>-ren absortzioa egiteko muntaia esperimentalak erakusten da 2.4. irudian, erabiltzen diren bi zutabeekin (gas-emaria neurtzeko zutabea ezkerrean, eta absortzio-zutabea eskuinaldean).





**2.4. irudia.** CO<sub>2</sub>-ren absortzioa egiteko muntaia esperimentalala

Absortzio-zutabea NaOH-zko disoluzioarekin bete duzueanean, hasi denbora kontatzen eta pH-a neurtzen (hartu datuak bi minuturo). Datuak hartu behar dira, pH-a denbora-tarte luzean konstante mantendu arte (60 minutu inguru).

Irudikatu pH vs denbora, saturazio-denbora zehazteko (bat dator pH-a egonkortzen den denborarekin), 2.5. irudian erakusten den moduan.



**2.5. irudia.** pH vs denbora irudikapena, zutabearen saturazio-denbora zehazteko

Saturazio-denboraren datua erabiliko dugu prozesu osoan zutabearen zehar pasatu den CO<sub>2</sub> kantitatea kalkulatzeko, honako adierazpen hauen bidez:

$$n_{\text{CO}_2} \text{ (mol)} = n_{\text{CO}_2} \text{ (mol/min)} \cdot t \text{ (min)} \quad (2.8)$$

$$\dot{n}_{\text{CO}_2} = \frac{P Q_{\text{CO}_2}}{R T} = \frac{P Q_{\text{osoa}} X_{\text{CO}_2}}{R T} \quad (2.9)$$

*Esperimentua bukatzea, eta erabilitako materiala biltzea eta garbitzea*

Neurketak egiten bukatzen duzuenean, CO<sub>2</sub> daukan gas-botilaren giltza itxi eta zutabearen huste-balbula ireki. Zutabearen tapoia kendu, pH-a neurtzeko elektrodoa ur distilatuz garbitu, eta pH-metroa itzali.

Bukatzeko, zutabea egokitu behar da. Horretarako, NaOH-zko disoluzioa kendu, eta, gero, zutabea ur distilatuz garbitu. Zutabea bete eta hustu egin behar da, lau-bost aldiz. Ziurtatu zutabearen ez dela NaOH-rik geratzen (begiratu likidoaren kolorea).

#### 2.4. Emaidza esperimentalak

*NaOH-zko disoluzioa (0,5 M) prestatzea*

NaOH pisua (g) =

pH<sub>esperotakoa</sub> =

pH<sub>hasiera</sub> =

*Emariaren erregulazioa*

Tenperatura =

P<sub>presio-erregulatzaila</sub> =

Marken arteko denbora (s) =

Q<sub>CO<sub>2</sub></sub> (l/min) =

*pH-aren denborarekiko eboluzioa*

**2.1. taula.** pH-aren denborarekiko eboluzioa irudikatzeko datuak

t (min.)	0	2	4	6	8	10	12	14	16
pH									
t (min.)	18	20	22	24	26	28	30	32	34
pH									
t (min.)	36	38	40	42	44	46	48	50	52
pH									
t (min.)	54	56	58	60	62	64	66	68	70
pH									
t (min.)	72	74	76	78	80	82	84	86	88
pH									

Irudikatu pH-a denboraren aurka (paper milimetratua edo excel erabiliz)

*Zutabearen ahalmenaren kalkulua*

$$pH_{\text{hasiera}} = \quad \quad \quad pH_{\text{saturazioa}} =$$

$$CO_2 \text{ (xurgatua)} = \quad \quad \text{mol}$$

$$\text{Absortzio-ahalmena} =$$

*Zutabearen eraginkortasunaren kalkulua*

$$t_{\text{saturazioa}} \text{ (min.)} =$$

$$CO_2 \text{ (elikatua)} = \quad \quad \text{mol}$$

$$\text{Eraginkortasuna (\%)} =$$

### 3. praktika

## Partikulen bereizketa, zikloi bat erabiliz

#### 3.1. Helburua

Zikloi baten funtzionamendua aztertzea eta ulertzea.

#### 3.2. Oinarri teorikoa

Zikloiak asko erabiltzen dira industrian, gas-korronte bateko partikula solidoak bereizteko. Partikulen bereizketa indar zentrifugoaren bidez gertatzen da. Gasa ontzi zilindriko batean sartzen da, sarrera tangente eta horizontal bat zeharkatu ondoren, eta zurrumbilo-korronte bat sortzen da zikloiaren barrualdean. Horrela, partikulak paretaren kontra bultzatzen dituen indar bat sortzen da, eta ontziaren paretatik hurbil dagoen gas-geruzan kontzentratzen dira solidoak. Partikulek paretarekin talka egiten dute, energia galtzen dute, eta haien jalkiera gertatzen da. Zenbait bira eman ondoren, gas-zurrumbiloaren noranzkoa aldatzen da, eta zikloiaren erdialdetik igotzen da. Gas garbia zikloiaren goialdetik ateratzen da; partikulak, aldiz, zikloiaren behealdean biltzen dira.

Zikloiak mantentzeko errazak dira, atal mugikorrik ez dutelako. Eragozpenen artean, honako hau aipa dezakegu: kontzentrazio, emari edo partikulen tamainaren aldaketan aurrean daukaten sentikortasun handia.

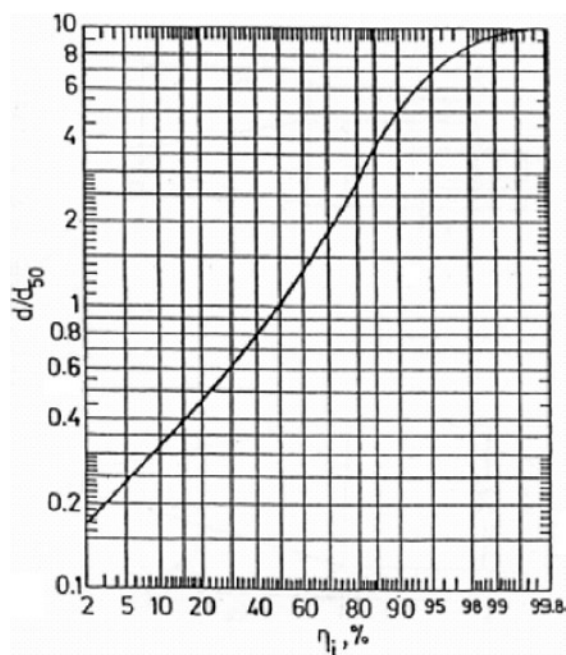
##### 3.2.1. Zikloiaren eraginkortasuna

Zikloi baten eraginkortasuna da irteeran jasotako partikulen masaren eta gasarekin batera zikloian sartu den partikulen masaren arteko erlazioa. Hau da, gasarekin sartu den partikula kantitatearen zer ehuneko banatu den adierazten du:

$$\eta = \frac{M_f}{M_i} \cdot 100 \quad (3.1)$$

non  $M_f$  zikloiak banatutako partikulen masa eta  $M_i$  zikloian sartzen den partikulen masa baitira.

Zikloiaren eraginkortasuna partikulen tamainaren funtzioa da, eta bere kalkulu teorikoa grafikoki egin daiteke. 3.1. irudian agertzen den moduan, eraginkortasuna  $d/d_{50}$  parametroaren funtzioa da;  $d$  partikulen diametroa da.



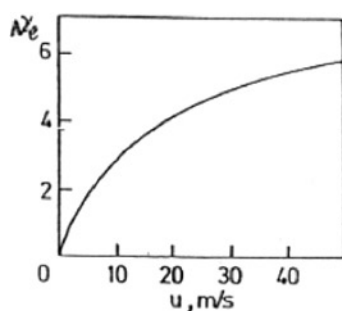
**3.1. irudia.** Zikloiaren eraginkortasuna kalkulatzeko grafikoa.

$d_{50}$  parametroa % 50eko eraginkortasuna lortzen den partikula diametroa da, eta honako adierazpen honen bidez kalkulatzen da:

$$d_{50} = \left( \frac{9\mu b}{2\pi N_e v \rho_s} \right)^{1/2} \quad (3.2)$$

non  $\mu$  gasaren biskositatea baita,  $b$  zikloiaren sarrerako ahoaren zabalera,  $v$  gasaren sarrerako abiadura,  $\rho_s$  partikulen dentsitatea, eta  $N_e$  gasak ematen duen bira kopurua biraketaren noranzkoa aldatu baino lehen.

$N_e$  kalkulatzeko zenbait adierazpen existitzen dira, edo grafikoki baliozta daiteke, 3.2. irudia erabiliz:



**3.2. irudia.**  $N_e$  parametroa kalkulatzeko grafikoa

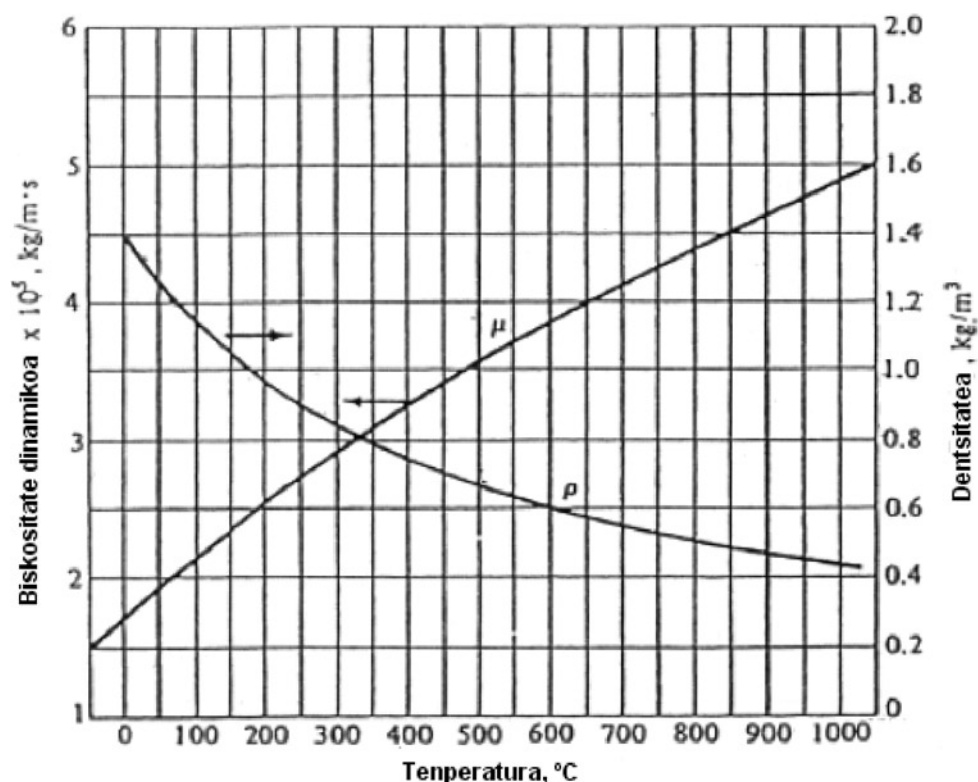
### 3.2.2. Presio-galera

Zikloietan gertatzen den karga-galera parametro garrantzitsua da, zuzenki erlazionatuta dagoelako operazio-kostuekin. Zikloiaren eraginkortasuna emariarekin handitzen da, baina karga-galera ere bai; ondorioz, energia-kontsumoa eta funtzionamendu-kostua handituko dira. Zikloia-  
ren presio-galera kalkulatzeko, honako adierazpen hau erabil daiteke:

$$\Delta P = k \frac{\rho v^2}{2} \quad (3.3)$$

$\rho$  gasaren dentsitatea eta  $k$  konstante bat dira.

Gasa airea bada, haren dentsitatea eta biskositatea balioztatzeko 3.3. irudia erabil daiteke:



**3.3. irudia.** Airearen dentsitatea eta biskositatea kalkulatzeko grafikoa

## 3.3. Atal esperimentalak

### 3.3.1. Materialak

- Saiakuntzak egiteko panela, zikloia eta errotametroa barne dituenak.
- Kronometroa.
- Inbutua.
- Balantza.
- Solidoak: harea (xehea eta larria).

### 3.3.2. Prozedura esperimentalak

#### Zikloiaren funtzionamendua behatzea

- a) Ekipoa piztu, botoi berdea sakatzuz.
- b) Solidoen emaria erregulatzeko balbula itxita dagoela, solidoen andean gutxi gorabehera 100 g harea (larria edo xehea) sartu.
- c) Xurgagailua martxan jarri, botoia sakatzuz.
- d) Erregulazio-balbula gorriaren posizioa aldatuz, 70-80 m<sup>3</sup>N/h-ko aire-emaria jarri. Oharra: kontuan izan errotametroak **baldintza normaletan** neurtzen duela emaria. Beraz, emaria laborategiko baldintzetara zuzendu behar da.
- e) Solidoak erregulatzeko balbula egokitu, nahi dugun solidoen emaria aire korrontearekin nahasteko. Erabilitako solidoen emaria balio maximoaren 1/4 izatea gomendatzen da, gutxi gorabehera. Ondoren, balbula barrurantz bultzatu.
- f) Behatu eta *azaldu* zer gertatzen ari den.
- g) Saiakuntza bukatu ondoren, solidoak jasotzeko andela garbitu, eta jasotako harea dago-kion ontzian sartu.

#### Gas garbiaren presio-galera neurtzea

- h) Airearen emaria erregulatzeko balbula eta solidoen emaria erregulatzeko balbula itxita daudela, xurgagailua martxan jarri.
- i) Airearen emaria erregulatzeko balbula pixkanaka ireki, eta emari ezberdinak jarri, errotametroarekin neurtuz. Hamar emari ezberdin erabili, bi emarien arteko tartea gutxi gorabehera 10 m<sup>3</sup>N/h izanik. Oharra: kontuan izan errotametroak **baldintza normaletan** neurtzen duela emaria. Beraz, emaria laborategiko baldintzetara zuzendu behar da.
- j) Emari bakoitzerako, zikloiaren sarrerako eta irteerako presioen arteko ezberdintasuna eta tenperatura idatzi (3.1. taula).
- k) Presio-galera vs emaria kurba irudikatu.
- l)  $k$  konstantea (ikus (3.3) ekuazioa) erregresio linealaren bidez kalkulatu (excel erabiliz, adibidez).

Emaitzak:

Airearen tenperatura (°C) =

Airearen dentsitatea (kg/m<sup>3</sup>) =

Zikloiaren sarrerako sekzioa (m<sup>2</sup>) =

Datuak: zikloiaren sarrerako ahoaren altuera = 6 cm; sarrerako ahoaren zabalera = 2 cm.

**3.1. taula.** Presio-galera vs emaria kurba irudikatzeneko datuak

Saiakuntza	Aire-emaria (m <sup>3</sup> N/h)	Aire-emari zuzendua (m <sup>3</sup> /h)	Sarrerako abiadura (m/s)	$\Delta P_{\text{zikloia}}$ (Pa)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

**Harea duen gasaren presio-galera neurtzea eta eraginkortasuna kalkulatzeko**

- m) Solidoen emaria erregulatzeko balbula itxita dagoela, solidoen andelean gutxi gorabehera 100 g harea (larria edo xehea) sartu. Oharra: solidoen kantitatea pisatu eta idatzi.
- n) Xurgagailua martxan jarri.
- o) Airearen emaria erregulatzeko balbula pixkanaka ireki, eta emari ezberdinak jarri, errotametroarekin neurtuz. Bost emari ezberdin erabili, 50-100 m<sup>3</sup>N/h tartean, bi emarien arteko tartea gutxi gorabehera 10 m<sup>3</sup>N/h izanik.
- p) Solidoak erregulatzeko balbula egokitu, nahi dugun solidoen emaria aire korrantearekin nahasteko. Erabilitako solidoen emaria balio maximoaren 1/4 izatea gomendatzen da gutxi gorabehera. Ondoren, balbula barrurantz bultzatu.
- q) Solidoak erregulatzeko balbularen posizioari dagokion partikulen kontzentrazioa kalkulatu behar da. Horretarako, solidoen emaria neurtu, andela husteko behar den denbora kronometro batekin neurtuz.
- r) Saiakuntza bakoitzean presio-galera eta tenperatura idatzi (3.2. taula).
- s) Saiakuntza bakoitza bukatzean jaso den partikula kantitatea pisatu, eta eraginkortasun esperimentalak kalkulatu.
- t) Eraginkortasun teorikoa kalkulatu, oinarri teorikoan azaltzen den moduan. Eraginkortasun esperimentalak eta teorikoa alderatu.
- u) Presio-galera vs partikulen kontzentrazioa kurba irudikatu.
- v)  $k$  konstantea erregresio linealaren bidez kalkulatu, l) atalean egin duzuen bezala. Zein ezberdintasun dago konstante horren balioaren eta gas garbiari dagokion konstantearen balioaren artean? Zergatik?

Emaitzak:

Airearen tenperatura (°C) =

Airearen dentsitatea (kg/m<sup>3</sup>) =



Solidoen masa (g) =

Solidoen andela husteko denbora (s) =

Solidoen emari masikoa (g/s) =

Zikloiaren sarrerako sekzioa (m<sup>2</sup>) =

Datuak: zikloiaren sarrerako ahoaren altuera = 6 cm; sarrerako ahoaren zabalera = 2 cm.

Harea: dentsitatea = 2,6 g/cm<sup>3</sup>, partikulen diametroa: harea larria = 955 μm, harea xehea = 711 μm

**3.2. taula.** Presio-galera vs emaria kurba irudikatzeko eta eraginkortasuna kalkulatzeko taula

Saiakuntza	Aire-emaria (m <sup>3</sup> N/h)	Aire-emari zuzendua (m <sup>3</sup> /h)	Sarrerako abiadura (m/s)	ΔP <sub>zikloia</sub> (Pa)
1				
2				
3				
4				
5				
Saiakuntza	Partikulen kontzentrazioa (kg/m <sup>3</sup> )	Part. hasierako masa (kg)	Banatutako part. masa (kg)	Eraginkortasun esperimentala (%)
1				
2				
3				
4				
5				
Saiakuntza	N <sub>e</sub>	d <sub>50</sub> (μm)	d/d <sub>50</sub>	Eraginkortasun teorikoa (%)
1				
2				
3				
4				
5				

## 4. praktika

# Sedimentazio-tanga

### 4.1. Helburua

Sedimentazio-prozesu jarraitu baten funtzionamendua ikustea eta ulertzea, eta zenbait parametroren eragina zehaztea.

### 4.2. Oinarri teorikoa

Jalkiera edo sedimentazio-prozesuan ura baino dentsitate handiagoa duten partikulak bereizten dira, grabitatearen eraginez. Jalkieraren ondorioz, andelaren goialdean likido garbia lortuko da; hondoan, aldiz, solidoen kontzentrazio altua duen lokatza jalkiko da.

Esekiduran dauden partikulen sedimentazioa hainbat eratan gerta daiteke, zenbait parametroren arabera: partikulen tamaina, dentsitatea eta kontzentrazioa, eta jariakinaren dentsitatea eta biskositatea.

Sedimentazio sinple edo diskretuan partikulen ezaugarriak ez dira aldatzen, jalkitzen diren bitartean. Partikulen itxura, tamaina eta dentsitatea konstante mantentzen direnez, sedimentazio-abiadura ere konstantea da.

Sedimentazio malutatzaila edo dekantazioa malutak daudenean gertatzen da. Ezegonkortutako partikula koloidalak elkartzean malutak eratzen dira, eta horiek jalkitzean, bidean aurkitzen dituzten partikula finagoak atxikitzen dituzte. Partikula horien tamaina, itxura eta dentsitatea aldatu egiten dira jalkitzean, eta, ondorioz, sedimentazio-abiadura ere bai.

Sedimentazio askea gertatzen da partikula esekien kontzentrazioa txikia denean eta haien arteko elkarrekintzarik ez dagoenean.

Sedimentazio trabatua edo eragotzia gertatzen da partikulen edo maluten kontzentrazioa handia denean, eta elkar atxikitzen direnean. Kasu horretan, nahaste osoa pistoi moduan jalkitzen da. Fase arte gainazal bat bereiz daiteke likido garbiaren eta partikulen artean.

*Prozesuaren eraginkortasuna*

Sedimentazio-prozesu baten eraginkortasuna esperimentalki kalkulatzeko, sarrerako eta irteteko solidoen kontzentrazioak erabili behar dira:

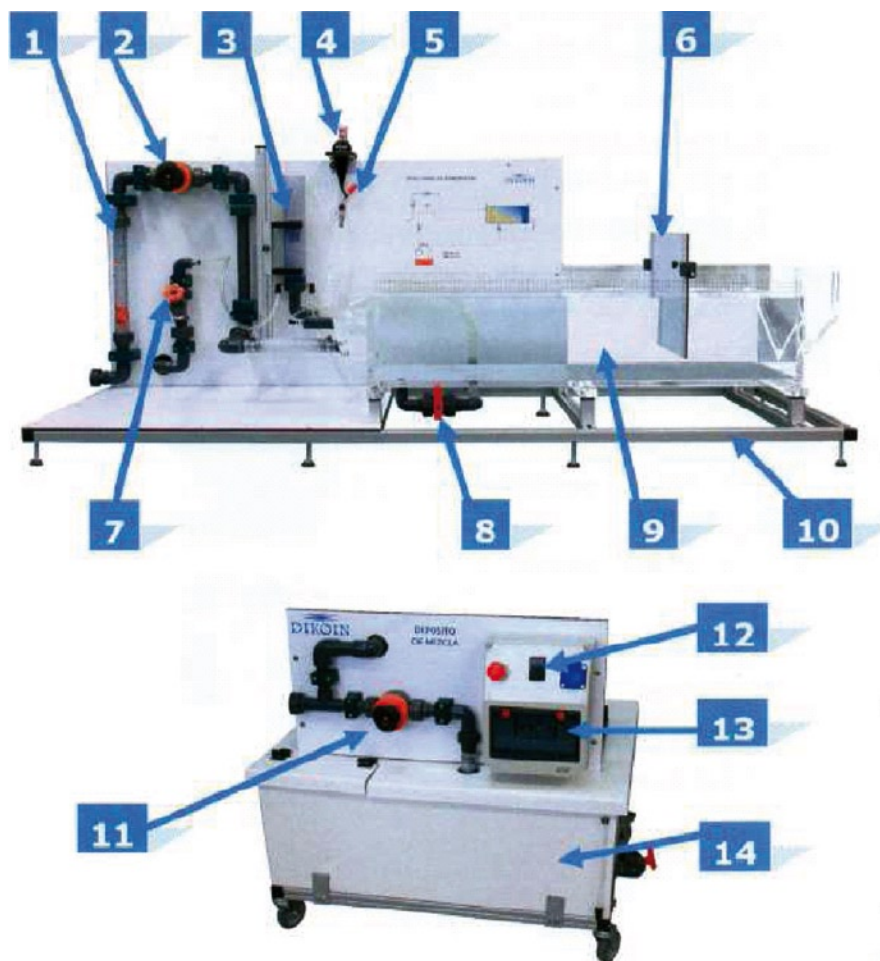
$$\eta = \frac{C_{sarrera} - C_{irteera}}{C_{sarrera}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

non  $C_{sarrera}$  sedimentazio-tangara elikatzen den partikula-kontzentrazioa baita, eta  $C_{irteera}$  andeletik irteten den likido garbiaren solido-kontzentrazioa. Kontzentrazioak neurtzeko Imhoff konoak erabiltzen dira.

**4.3. Atal esperimentalak**

*4.3.1. Ekipo esperimentalak*

Ikus 4.1. irudia. Bertan agertzen diren zenbakiak honako elementu hauek adierazten dituzte:



**4.1. irudia.** Sedimentazioa egiteko ekipu esperimentalak

1. Ur garbiaren emaria neurtzeko errotametroa
2. Ur garbiaren emaria erregulatzeko balbula
3. Altuera konstanteko andela
4. Koloratzailearen biltegia
5. Koloratzailearen emaria erregulatzeko balbula
6. Plaka deflektorea
7. Esekiduraren emaria erregulatzeko balbula
8. Tanga husteko balbula
9. Sedimentazio-tanga (80 litroko bolumena du)
10. Aluminiozko estruktura
11. Birzirkulazio-balbula
12. Etengailua
13. Kaxa elektrikoa
14. Nahasketa-andela

Ekipo esperimentalaz gain, honako material hau erabili behar da:

- Kronometroa
- Erregela graduatua
- Imhoff konoak (4)
- Eskuzko ponpa, ur-laginak hartzeko.
- $\text{CaCO}_3$

#### 4.3.2. *Prozedura esperimental*

##### EKIPOA MARTXAN JARTZEA

*Ekipoa urez betetzea.*

Lehenik eta behin, sedimentazio- eta nahasketa-andelak urez bete behar dira. Horretarako, honako prozedura hau jarraitu behar da:

- a) Ur-sare orokorrari loturiko txorrota ireki.
- b) Ur garbiaren emaria erregulatzeko balbula ireki (emari handi bat aukeratu).
- c) Sedimentazio-andela husteko balbula ireki, *nahasketa-andela beteta ez badago bakarrik*.
- d) Nahasketa-andelaren maila behatu (solidoak elikatzeke estalkia irekiz), *gainezka ez egiteko*.
- e) Nahasketa-andela urez beteta dagoenean, sedimentazio-andela husteko balbula itxi.
- f) Sedimentazio-andela beteta dagoenean, ur garbia erregulatzeko balbula itxi.

*Altuera konstanteko andela doitzea.*

- g) Azkoina lasaitu. *Kontuz ibili, gehiegi ez lasaitzeko! Bestela, aska daiteke.*



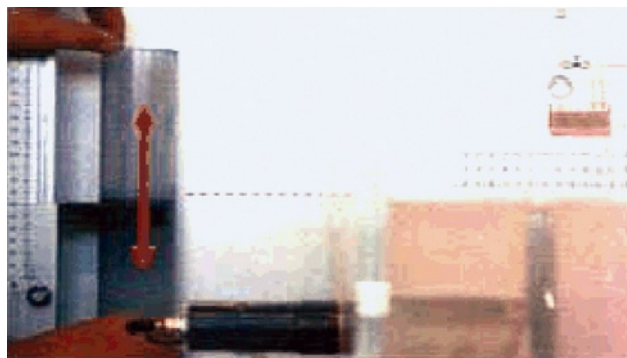
**4.2. irudia.** Altuera konstanteko andelaren azkoina nola lasaitu

- h) Altuera konstanteko andela bertikalki mugitu, erregela graduatuaren zero posiziora arte.



**4.3. irudia.** Altuera konstanteko andela nola kokatu

- i) Posizio horretan finkatu, azkoina estutuz.
- j) Posizio horretan eta sedimentazio-andela urez beteta dagoela, egiaztatu huste-hodiaren eta sedimentazio-andelaren likidoaren arteko altuera diferentzia zero dela. Horrela ez bada, briden artean dagoen hodia mugitu, ura barneko huste-hodiraino heldu arte (ikus 4.4. irudia). Une horretan, zero da huste-hodiaren eta sedimentazio-andelaren likidoaren arteko altuera diferentzia.



**4.4. irudia.** Altuera konstanteko andelaren posizioa egokia dela nola zehaztu

*Ponpa martxan jartzea.*

Ekipoa martxan jartzen den lehen aldi edo denbora luzean geldi egon bada, ponpa zebatu behar da. Horretarako, honako prozedura hau jarraitu behar da:

- k) Ponparen goialdean dagoen tapoi beltza askatu.
- l) Zulo horretatik ura isuri.
- m) Ponpa urez beteta dagoenean, tapoia berriz lotu.
- n) Ekipoa sare elektrikora konektatu.
- o) Diferentziala eta magnetotermikoa konektatu eta etengailua piztu.
- p) Birzirkulazio-balbula guztiz ireki, eta nahasketa-andelean ura nola mugitzen den behatu. *Kontuz! Ponpa martxan jarri baino lehen, altuera konstanteko andela igo.* Bestela, presioaren eraginez, gainezka egin dezake.

## SEDIMENTAZIO-PROZESUA BEHATZEA

- q) Sedimentazio- eta nahasketa-andelak urez beteta daudelarik, ponpa funtzionamenduan jarri. *Kontuz! Ponpa martxan jarri baino lehen, altuera konstanteko andela igo.* Bestela, presioaren eraginez, gainezka egin dezake.
- r) Birzirkulazio-balbula guztiz irekita dagoela, gehitu beharrezkoa den  $\text{CaCO}_3$  kantitatea. Horretarako, nahasketa-andelaren goialdean dagoen estalkia ireki.
- s) Nahasketa-andeletik datorren esekiduraren emari bat jarri. Horretarako, altuera konstanteko andela igo, altuera jakin bateraino. Esekiduraren emaria erregulatzeko balbula erabiliz, huste-hodiaren altueran utzi behar da altuera konstanteko andelaren likidoaren maila, gutxi gorabehera.
- t) Emaria kalkulatu, honako adierazpen hau erabiliz, H altuera konstanteko andelean dagoen likidoaren altuera izanik (erregela graduatuarekin neurtu):

$$Q(\text{L/h}) = 9.33 \sqrt{H(\text{mm})} \quad (4.2)$$

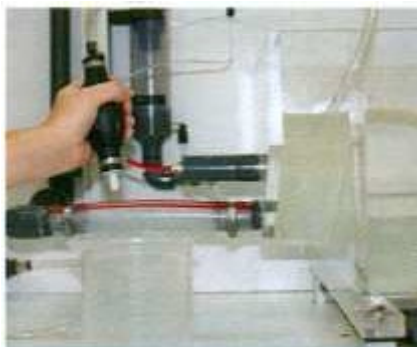
- u) Errotametro bertikalak sedimentazio-tangara heltzen den ur garbiaren emaria neurtzen du. Erregulazio-balbula erabiliz, jarri emari bat.
- v) Sedimentazio-tangara heltzen den emari osoa ur garbiaren (errotametroa) eta ur zikinaren (altuera konstanteko andela) batura da.
- w) Emari horren arabera, prozesu-denbora (erretentzio-denbora) bat izango dugu, hau da, ur-bolumen bakoitzak tangaren barruan teorikoki ematen duen denbora. Denbora hori kalkulatzeko, tangaren bolumenaren eta emari osoaren arteko erlazioa erabiliko dugu:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{80 \text{ L}}{Q} \quad (4.3)$$

- x) Ur garbiaren eta zikinaren emariak finkatu. Erabilitako emari osoa altua izan behar da, prozesu-denbora 15 minutukoa izateko, gutxi gorabehera.
- y) Koloratzailearen *tanta batzuk* gehitu, haren erregulazio-balbula irekiz. Koloratzailearen biltegian dagoen likidoaren bolumena baxua bada, ura gehitu.
- z) Sistema behatu eta *azaldu* zer gertatzen ari den (klarifikazioa, lokatzak, korronteen le-roak, etab.).

EMARIAREN ERAGINA PROZESUAREN ERAGINKORTASUNEAN

- aa) Ur zikina bakarrik erabiliko dugu. Horrela, hasierako kontzentrazioa nahasketa-andelarena izango da. Horretarako, ur garbiaren balbula itxi, beheko nahasketa-andelean da goen esekidura sedimentazio-tangan zuzenean sartzeko.
- bb) Plaka deflektorea posizio batean finko utzi (apuntatu zein den posizioa).
- cc) Ur zikinaren emari altu bat jarri, altuera konstanteko andela igoz. Erabilitako emaria altua izan behar da, prozesu-denbora 20-30 minutukoa izateko, gutxi gorabehera.
- dd) Prozesu-denbora igarotzen denean, ur-laginak hartu (litro bat) andelaren sarreran eta irteeran, eskuzko ponpa erabiliz.



**4.5. irudia.** Ur-laginak nola hartu, eskuzko ponpa erabiliz

- ee) Ur-laginak Imhoff konoetan isuri. Ordu bat itxaron behar da, solido eseki jalkigarriak jalki daitezten.
- ff) Sedimentazio-prozesuaren eraginkortasuna kalkulatu, (4.1) ekuazioa erabiliz.
- gg) Emari ezberdin bat erabili, emariaren eragina zein den zehazteko.

Plakaren posizioa (horizontala eta bertikala) =

**4.1. taula.** Emariaren eragina zehazteko taula

Saiakuntza	Emaria (l/h)	Prozesu-denbora (min)	Hasierako kontz. (ml/l)	Amaierako kontz. (ml/l)	Eragink. (%)
1					
2					

PLAKA DEFLEKTOREAREN KOKAPENAREN ERAGINA PROZESUAREN ERAGINKORTASUNEAN

- hh) Hasierako emaria finkatu (aurretik erabilitako bat aukeratu).
- ii) Plaka deflektorea beste posizio batean jarri (horizontalki edo bertikalki mugituz), eta aurreko ataletako prozedura berdina jarraitu (ur-laginak hartu eta eraginkortasuna kalkulatu). *Aurreko ataletan egindako esperimentu baten datuak erabili.* Horrela, esperimentu berri bakarra egin beharko zenukete. Denbora badaukazue, beste saiakuntza bat egin dezakezue, plaka beste posizio batean kokatuz.

Emaria = l/h

Prozesu-denbora = min

**4.2. taula.** Plaka deflektorearen kokapenaren eragina zehazteko taula

Saiakuntza	Plakaren posizioa	Hasierako kontz. (ml/l)	Amaierako kontz. (ml/l)	Eragink. (%)
3 (aurretik egindako saiakuntzaren emaitzak)				
4				
5				



# **Laborategiko praktika osagarriak**

## O.1. praktika

# Energia eolikoa

### O.1.1. Helburua

Energia eolikoaren oinarriak ulertzea, eta haize-sorgailu baten funtzionamendua ikustea.

### O.1.2. Oinarri teorikoa

Energia eolikoa aire-masen desplazamenduan oinarritzen da. Aire-masen mugimendua gertatzen da tenperatura-aldaketen ondorioz sortzen den presio-diferentziagatik. Baldintza horiek erabiliz energia lor daiteke, haizearen energia zinetikoa energia elektriko bilakatzen duen zeharkako prozesu baten bidez.

Pala bat haize-laster batean jartzen bada, aerodinamikaren printzipioen arabeko inklinazio egokiarekin, aurrealdean gainpresioa sortzen da, eta, atzealdean, depresioa. Ondorioz, akzio aerodinamikoko indar bat sortzen da, eta haizearen energia zinetikoa potentzia mekaniko bilakatzen da.

Fisikaren arabera, haizetik zenbat eta energia zinetiko gehiago erauzi, orduan eta gehiago moteltzen da haizea haize-sorgailuaren irteeran. Hau da, bere abiadura txikiagoa da turbina zeharkatu ondoren. Beraz, energia zinetikoa erauzteko muga bat dago. Haizearen energia osoa erauziko bagenu, airea zero abiadurarekin geratuko litzateke. Horrela, airea ez litzateke turbinatik aterako, ezta aire berria sartuko ere, eta, ondorioz, ez genuke energiarik lortuko. Beste muturrean, airea abiadura berdinarekin irteten bada, ez da energiarik erauziko. Bi egoera horien artean, Betz-en legeak ezartzen du energia zinetikoaren % 59 bakarrik bihur daitekeela energia mekaniko.

Aerosorgailu erabilienean haize-norabidearekiko posizio horizontalean dute biraketa-ardatza. Haize-sorgailu horiek abantailak dituzte ardatz bertikalekoekin alderatuz, hala nola etekin eta potentzia balio altuagoak. Hala eta guztiz ere, ardatz horizontaleko aerosorgailuei haizearekiko orientazio-sistema bat gehitu behar zaie, ezin baitute edozein norabiderekina funtzionatu, ardatz bertikalekoek ez bezala. Ardatz horizontaleko haize-sorgailuen palek bi posizio izan ditzakete haizearekiko. Horien artean erabiliena haizealde («a barlovento») izeneko da. Bertan, haizea aurrez aurre sartzen da haize-sorgailuan, eta orientazio-sistema atzeko partean kokatzen da (praktika honetan erabilitako sistema da).

Haizearekiko orientazioa honako prozedura hauen bidez egin daiteke: (a) haize-orratz bat gehituz, lema gisa (potentzia txikiko makinetan erabiltzen da); (b) serbosistema bat erabiliz; horrek haize-orratz edo antzeko tresna duen detekzio-sistema elektronikoa du, eta aerosorgailuaren alboetan dauden eta motor laguntzaileak akoplatuta dituzten erroto txikien bidez egiten du orientazioa (makina handietan erabiltzen da).

Errotoak ekortutako azalerak ( $\pi D^2/4$ ), haizearen abiadurarekin batera, lortutako potentzia mugatzen du, honako adierazpen honen bidez:

$$P = K D^2 v^3 \quad (\text{O.1.1})$$

non:

$P$ : Potentzia, W.

$K$ : Etekin-koefizientea, makina txikietan 0,2 inguru.

$D$ : Helizearen diametroa, m.

$v$ : Haizearen abiadura, m/s.

Palen antolamenduari dagokionez, igarobide finko eta aldakorreko aerosorgailuak bereizten dira. Igarobide finkoko aerosorgailuetan konstantea da palen inklinazioa, ez dago haizearen abiaduraren menpe. Igarobide aldakorreko haize-sorgailuetan, berriz, palen inklinazioa haizearen abiaduraren menpekoa da, baldintza atmosferiko errealek egokitzeko asmoz. Igarobide aldakorreko aerosorgailuek (parke eolikoetan erabiliak) etekina optimizatzen dute haize-abiadura tarte osoan. Gainera, oso modu eraginkorrean konpontzen dute errotoaren balaztatzea, funtzionamendu nominalari dagokiona baino abiadura handiagoa duten haizeen aurrean.

Energia mekanikoa energia elektriko bilakatzen da, haize-sorgailuari erantsitako sorgailu elektriko baten bidez. Potentzial elektrikoaren sorgailua bi eratakoa izan daiteke: (a) dinamoa, korronte zuzena lortzeko (potentzia baxuko aerosorgailuen kasuan); (b) motor sinkrono edo asinkrono, korronte alferno monofasiko edo trifasikoa lortzeko (aerosorgailu handietan).

Makina eolikoetan, hiru haize-abiadura kontuan hartzen dira: (a) abiarazte-abiadura edo minimoa, errotoa biratzen hasten den haizearen abiadura; (b) abiadura nominala, potentzia nominalari dagokiona; (c) gelditze-abiadura, makinaren egonkortasuna arriskuan jartzen duen haizearen abiadura handia, balaztatze-ekintza automatikoa eragiten duena.

### O.1.3. Atal esperimentalak

#### O.1.3.1. Ekipo esperimentalak

Ekipo esperimentalak haize-tunel bat da, neurketa eta kontrolerako elementuekin. Haize-tunelaren esperimentazio-gunera doan fluxu laminar uniformeak sortzen da, eta aerosorgailura bideratzen da. Ekipo esperimentalak honako elementu hauez osaturik dago:

#### A) AIRE FLUXUAREN SORGAILUA

Airea mugimenduan jartzen duen elementua haizagailu industriala da. Ekipo honek abiadura-aldagailu elektronikoa du, eta 9000 m<sup>3</sup>/h-ko fluxu maximoa sortzen du. Haizagailuak 60 cm-ko diametroan palak ditu, eta bere kontsumo elektriko maximoa 800 W da.

Emari laminarra lortzeko, zurrunbilotasun-maila baxuko emaria, alegia, erle-panel bat ezarri da fluxu sorgailuaren eta esperimentazio-gunearen artean. Sareta horren bidez, haizagailuaren palek sortutako emariaren zehar-uniformetasun eza konpontzen da, eta norabide bakarrean bideratzen da.

#### B) ANEMOMETROA

Haizearen abiadura neurtzeko erabiltzen da. Praktika honetan erabilitako anemometroa ardatz bertikal bati lotutako esferaerdi-formako hiru piezaz osatua dago. Horiek haizea jaso eta ardatza birarazten dute. Kubeta-sistema hori korrante zuzeneko sorgailu bati lotuta dago. Sorgailuak biraketa-abiadurarekiko (eta, ondorioz, baita haize-abiadurarekiko ere) zuzenki proportzionala den tentsio elektrikoa sortzen du.

#### C) HAIZE-SORGAILUA

Fluxu laminarra haize-tunelaren beste muturrera heltzen da. Emari horren dentsitatea alda daiteke, haizagailuaren palei lotutako motorraren abiadura aldatuz.

Gune horretan aerosorgailu bat jarri da, bere funtzionamendua aztertzeko. Haizearen abiadurak eragina dauka sorgailuaren biraketa-abiaduran, eta, ondorioz, baita lortutako korrante elektrikoan ere.

Haize-sorgailuaren ezaugarriak honako hauek dira:

Palen diametroa = 50 cm.

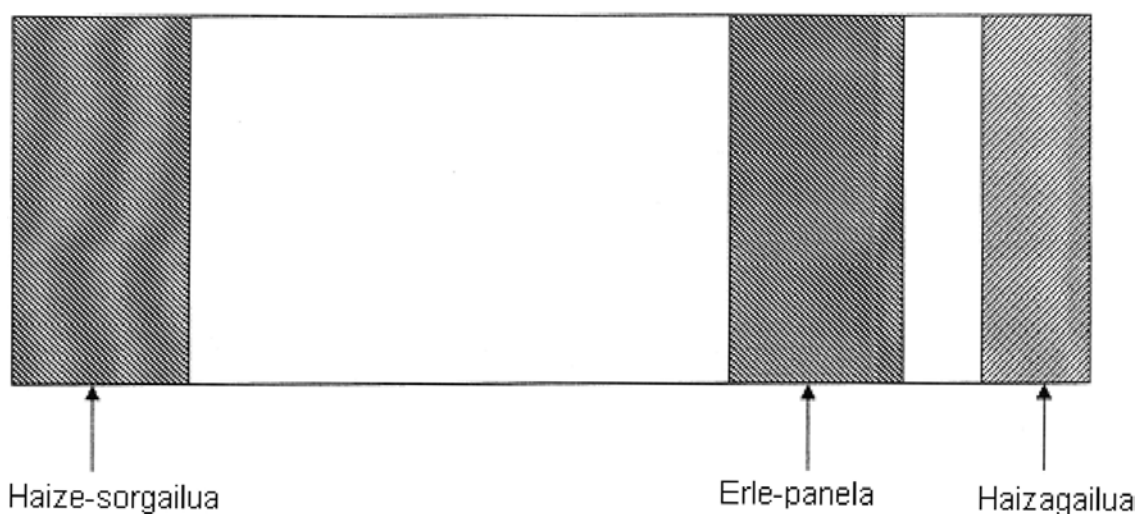
Irteerako tentsio maximoa = 12 V DC.

Airearen abiadura minimoa = 3 m/s (10,8 km/h).

Abiadura nominala = 12 m/s (43,2 km/h).

Potentzia elektrikoa maximoa = 40 W.

Mekanismo baten bidez aerosorgailuaren posizioa alda daiteke 0-30° aire-fluxuarekiko, palen orientazioaren aldaketa simulatuz.



**O.1.1. irudia.** Ekipu esperimentalaren osagaiak nola kokatzen diren

D) KONTROLERAKO GUNEA

Ekipoaren albo batean kontrolerako osagaiak jarri dira:

*Tentsio eta korrontearen kontrola*

Bi instrumentu analogikoen bidez, haize-sorgailuak sortutako tentsioa eta erresistentzia bat jartzean lortutako korrontea neurtzen dira.

*Airearen abiadura*

Anemometroak instrumentu analogiko bati ematen dio informazio elektrikoa, abiadura m/h-tan kuantifikatzeko. Anemometroaren eta neurgailuaren arteko lotura bi emeen bidez egiten da.

*Karga erresistiboak*

Karga bat kokatu da, etengailu batekin batera, kontsumoak haize-sorgailuan duen eragina aztertzeko. Karga hori, 12 V, 10 W-ko lanpara elektriko batez osatuta dago.

*Haizagailuaren abiadura-aldagailua*

Abiadura aldatzeko agintea du, % 0 eta 100 bitarteko eskalarekin.

O.1.3.2. *Prozedura esperimentalak*

EKIPOA ERABILTZeko SEGURTASUN-NEURRIAK (ARRISKU MEKANIKOA):

*Ez ukitu haize-sorgailuaren edo haizagailuaren palak* ekipoa sare elektrikora konektatuta badago, edo itzalita dagoelarik biraka jarraitzen badu.

Ekipoaren albo batean kokatu, kontrol-gunearen ondoan. Barruan dauden ekipoa leihoan zehar ikus daitezke.

Haize-sorgailuaren orientazioa aldarazten duen mekanismoa mugitu behar denean, kontu handiz egin.

- a) Ekipoa esperimentalaren osagaiak identifikatu eta bere funtzioarekin erlazionatu: haizagailua, erle-panela, kanpo-anemometroa, aerosorgailua, kontrol-gunea.
- b) Aerosorgailuaren posizioa aldatzeko mekanismoa erdiko posizioan jarri (0°).
- c) Anemometroa haize-abiadura neurtzeko gailuaren emeekin konektatu, polaritatea errespetatuz. Ondoren, haize-tunelaren aurrealdean kokatu, aerosorgailuaren ondoren, aire-fluxua jasotzeko. Oharra: albo batean kokatu, aerosorgailuaren presentziaren eragina ahal den neurrian minimizatzen.
- d) Ekipoa sare elektrikora konektatu.
- e) Esperimentalki lortu ekipoa lan egiteko *haizearen abiadura-tartea*. Horretarako, haizagailuaren abiadura erregulatuak mutur batetik bestera mugitu, eta haize-abiaduraren eta sortutako tentsio elektrikoaren neurriak hartu.

$$\begin{array}{ll} V_{\min} = & \text{km/h} \\ V_{\max} = & \text{km/h} \end{array} \quad \begin{array}{ll} U_{\min} = & V \\ U_{\max} = & V \end{array}$$

non:

$V$  = anemometroarekin neurtutako haizearen abiadura.

$U$  = dagokion neurgailuan adierazitako aerosorgailuaren tentsioa.

- f) Alderatu lortutako abiadura minimoa haize-sorgailuaren ezaugarrietan agertzen denarekin.
- g) Esperimentalki lortu *haize-sorgailuak emandako tentsioa eta korrontea karga-egoera desberdinetan*. Atal honetan, kontuan izan behar da kargak sartzearen ondorioz sortzen den balaztatze-efektua. Aerosorgailuaren irteerako tentsioaren balioa kargaren egoeraren menpe dago (maximoa da kargarik gabe, eta murriztu egingo da korrontea sortzen duen karga sartzen denean). Horretarako, haizagailuaren tarteko abiadura bat aukeratu (karga desaktibatuta dagoela eta aerosorgailuaren posizioa erregulatzeko mekanismoa  $0^\circ$  posizioan dagoelarik) eta sortutako tentsioa neurtu:

$$U_{\text{tartekoa}} = V$$

Karga aktibatu (12 V-ko lanpara), eta lanpara pizten dela egiaztatu. Honako balioak idatzi:

$$\begin{array}{ll} U_{\text{Ltartekoa}} = & V \\ I_{\text{Ltartekoa}} = & A \end{array}$$

Oharra. *Egiaztatu lanpara pizten dela. Hala ere, gerta daiteke denbora gutxiren buruan amatatzen hastea, aerosorgailuaren balaztatze-efektua dela eta.*

Bi karga-egoeretan lorturiko balioak alderatu. Lortutako emaitzak azaldu.

- h) Aztertu *aerosorgailuak haize-frontearekin duen erlazioa*. Horretarako, ekipoa martxan jarri, haizagailuaren abiadura maximoarekin, karga deskonektatuta dagoela eta orientatzeko sistema  $0^\circ$  posizioan. Honako balio hau idatzi:

$$U_{\max} = V$$

Haize-sorgailuaren mekanismoa  $30^\circ$  eskuin posizioan jarri, itxaron aerosorgailuak bere lan-baldintzak aldatu arte (egoera egonkorra lortu arte), eta ikusi parametroen balioetan izan diren aldaketak.

Aurreko prozedura zenbait aldiz errepikatu (lerrokadura-angelu ezberdinekin), emaitza argia lortu arte. Grafikoki irudikatu. Emaitzak azaldu.

**O.1.1. taula.** Aerosorgailuak haize-frontearekin duen erlazioa zehazteko datuak

Aerosorgailuaren posizioa ( $^\circ$ )	$U_{\max}$ (V)
0	
+ 30	

## O.2. praktika

# Gasen neurketa

### O.2.1. Helburua

Kutsatzaile atmosferikoen kontzentrazioen denborarekiko eboluzioa aztertzea hainbat lekutan, eta legediak ezarritako balio maximoekin alderatzea.

### O.2.2. Oinarri teorikoa

Karbono dioxidoa, karbono monoxidoa, hidrokarburoak eta antzeko konposatuen kontzentrazioa ezagutzea oso garrantzitsua da, bizilekuetan bereziki. Gas horien kontzentrazioa oso handia izan daiteke garajeetan, pertsona ugari dauden lekuetan, tabernetan, etab. Adibidez, karbono dioxidoaren kontzentrazioak (bizilekuen aire kalitatea zehazteko parametroa) onargarria den mugabaliotik gorako balioak izan ditzake ikasgela askotan. Horregatik, gelak aireztatu behar dira goizean, klaseak hasi aurretik, baita amaitzen direnean ere. Kontzentrazio egokiak gainditzen badira, honako arazo hauek sor daitezke: buruko mina, eraginkortasunaren eta arretaren jaitsiera, etab.

Karbono monoxidoaren kasuan, oso garrantzitsua da garajeetako kontzentrazioa neurtzea; izan ere, legediak detektagailuak instalatzera behartzen du, ibilgailuen isurketen ondorioz izan daitezkeen pilaketak saihesteko. Garaje gehienek aireztatze-sistema automatikoak dituzte; horiek martxan jartzen dira CO-aren kontzentrazioa osasunerako kaltegarria denean. Karbono monoxidoak, kontzentrazio altuetan arnasten denean, heriotza eragin dezake, eta zenbait erregairen (hala nola gasa, gasolina, kerosenoa, ikatza, petrolioa, tabakoa edo zura) errekuntza osatugabearen ondorioz sortzen da. Tximiniek, galdarek edo erregaia erretzen duten etxeko tresnek (hala nola berogailuek eta gas-galdarek) ekoitz dezakete, ondo funtzionatzen ez badute. Geldi egonda motorra piztuta daukaten ibilgailuek ere isurtzen dute.

### O.2.3. Prozedura esperimentalak

Praktika honetan, aireko CO, CO<sub>2</sub> eta hidrokarburoen kontzentrazioaren denborarekiko eboluzioa neurtuko da, hainbat lekutan: garajeetan, laborategian eta fakultateko ikasgela batean (eskola-aldaketetan egin neurketak). Horretarako, neurgailu eramangarri bat izango duzue.

Neurgailuaren funtzionamendua:

- a) Gezia sakatu neurgailua pizteko. Itxaron segundo batzuk martxan jarri arte. Airea ponpatu minutu batzuetan (entxufea badago bakarrik). Gasen kontzentrazioak irakurri.
- b) Zaratarekin amaitzeko, gezia berriro sakatu.
- c) Neurgailua amatatzeko, triangelua duten botoiak aldi berean sakatu.
- d) Neurgailuarekin amaitzen duzueanean, utzi kargatzen.

Emaitzak:

- a) Irudikatu gas bakoitzaren denborarekiko eboluzioa leku bakoitzean.
- b) Alderatu lortutako balioak legediak ezarritako balioekin/gomendatzen diren balio maximoekin (bilatu gasen muga-balioak).



## O.3. praktika

# Eguzki-energia fotovoltaikoa

### O.3.1. Helburua

Eguzki-energia fotovoltaikoaren oinarriak ulertzea, eta instalazio elektriko fotovoltaiko baten funtzionamendua behatzea. Horretaz gain, instalazio baten aurretiko diseinua egitea.

### O.3.2. Oinarri teorikoa

#### O.3.2.1. *Eguzki-energia fotovoltaikoa*

Jatorri fotovoltaikoa duen eguzki-energia berriztagarria bi fenomenoetan oinarritzen da. Bata naturala da, erreakzio nuklearren ondorioz sortutako Eguzkitiko erradiazioa, alegia. Bestea, zelula fotovoltaikoa, teknologiaren ondorio da. Zelula fotovoltaikoak energia elektromagnetikoa energia elektriko bihurtzen du zuzenki. Energia elektriko hori aparailuak elikatzeke erabil daiteke.

Eguzkiak, Lurretik hurbilen dagoen izarrak, erreakzio nuklear elektromagnetikoak sortzen ditu espektro zabalean; horren zati bat ikusgarria da gizakiarentzat. Energia hori bere berezko abiadurarekin mugitzen da (argiarena), eta lur-gainazalean eragiten du. Atenuazio fenomeno oso garrantzitsua da; izan ere, iristen den energia kantitatea distantziaren karratuarekin alderantziz proportzionala da. Definizioz, eguzki-konstantea atmosferaren kanpoaldean eragiten duen energia da,  $1,37 \text{ kW/m}^2$ . Hala ere, atmosferako ur-lurrinak eta esekiduran dagoen hautsak galera handiak eragiten dituzte. Hala, instalazioen kalkuluetan erabiltzen den konstantearen batez besteko balioa lurrazalean  $1 \text{ kW/m}^2$  da, eguzkia zenitean dagoenean.

Lurra elipse bat deskribatzen du Eguzkiaren inguruan. Horregatik, Eguzkia-Lurra distantziak, eta, ondorioz, eguzki-konstanteak aldaketa txikiak jasaten ditu urtaroetan. Dena den, zehaztasuna behar denean, ezinbestekoa da irradiazio-taulak erabiltzea; urteko aldi bakoitzari dagokion balioa adierazten da horietan.

Instalaturako eguzki-moduluek ahalik eta energia gehien ekoizteko kontuan hartu behar den beste alderdi bat inklinazioa da. Baldintza hori honako adierazpen honen bidez adierazten da:

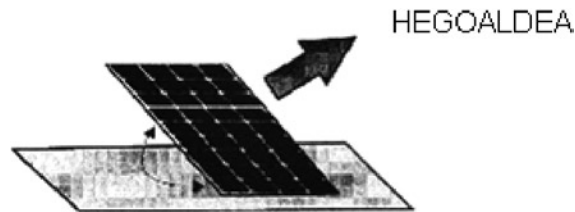
$$I' = I \cos \alpha \quad (\text{O.3.1})$$

non:

$I'$ : Energia erresultantea.

$I$ : Eguzki-konstantea.

$\alpha$ : Eguzki-panelen erradiazioarekiko inklinazio-angelua.



**O.3.1. irudia.** Modulu fotovoltaiko baten orientazioaren irudikapena

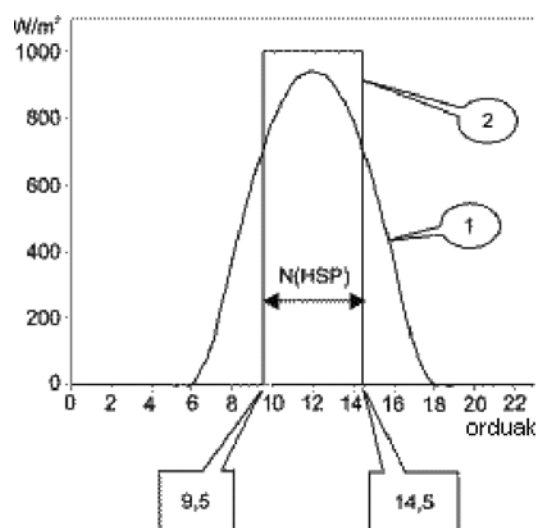
Orientazio parametroak honako hauek dira:

- Azimut: horizontearen gaineko mugimenduari dagokio; posiziorik onena hegoalderantz da Ipar hemisferioan, eta iparralderantz Hego hemisferioan.
- Inklinazioa: Lur-planoaren gaineko angeluari dagokio; urteko batez besteko balioa lekua-ren latitudea da.

Instalazio fotovoltaikoak dimentsionatzeko, beharrezkoa da puntako eguzki-orduak (HSP) parametroa ezagutzea. Parametro horren definizioa honakoa hau da: lur gainazalera iristen den energia-maila  $1 \text{ kW/m}^2$  den denbora-tartea. Horrela, HSP zenbakia honako adierazpen honen bidez kalkulatzen da:

$$\text{Puntako eguzki-orduak} = \text{eguneko guztizko erradiazioa} (\text{W} \cdot \text{h/m}^2) / 1.000 \text{ W/m}^2$$

0.3.2. irudiak eguzki hipotetiko baten eragina adierazten du. Grafikoki, kurbaren azpiko azalera berdina dira, biek guztizko energia erasotzaile berdina adierazten dutelako. Eguzki hipotetiko horrek ( $1.000 \text{ W/m}^2$ -koa) behar duen denbora HSP zenbakia izango da. Adibide honetan 5 HSP dira.



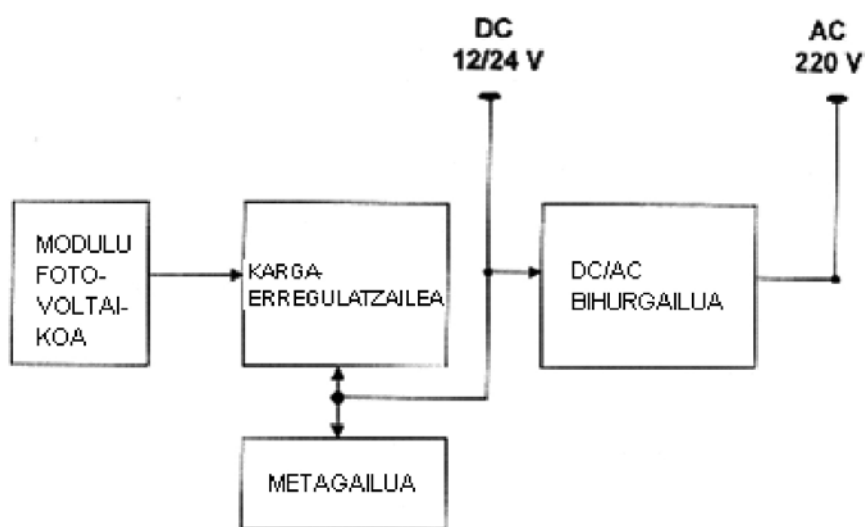
**O.3.2. irudia.** Eguzkitiko erradiazioaren orduko banaketa, kasu erreal (1) eta hipotetiko (2) batean

Panel fotovoltaikoak makurtuta badaude, inklinazio horri dagozkion HSPak kalkulatu behar dira. Hau da, makurdura horri dagokion guztizko energia erasotzailea kalkulatu behar da, eta HSP baliokideak kalkulatu. Tauletan, makurdura-angelu desberdinei dagozkien datuak agertzen dira.

### O.3.2.2. Instalazio fotovoltaikoak

Instalazio fotovoltaikoak bi motatan banatzen dira: argindar sarera konektatutakoak eta konektatu gabekoak (edo autonomoak). Nabarmen desberdinak dira, elektrizitatea hornitzeko moduan, bai osaera (nola proiektatzen diren) bai merkatu (nori zuzenduta dauden) aldetik ere.

Eguzki-instalazio *isolatuek* (sarera konektatuta ez daudenek) O.3.3. irudian adierazten diren osagaiak dituzte.

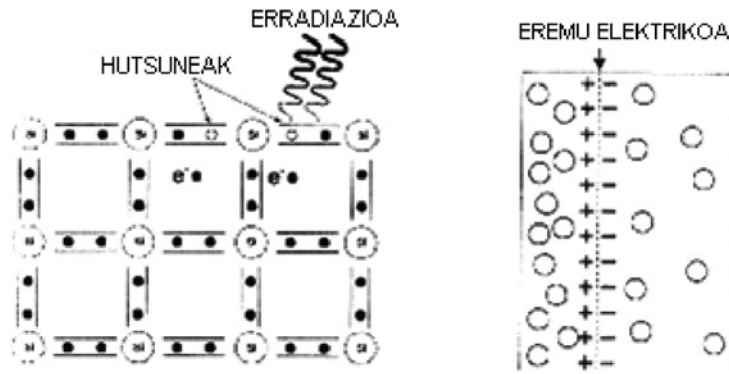


**O.3.3. irudia.** Instalazio fotovoltaiko isolatuen osagai nagusiak

### MODULU FOTOVOLTAIKOAK

Eguzki-zelula edo zelula fotovoltaikoa da argia energia elektrikoan eraldatzen duen transduttorea. Modulu komertziala zelulen multzo integratua da, eta hornitzen duen tentsioagatik eta korronteagatik bereizten da.

Eguzki-zelulak erdieroaleez osatuta daude, silizioz normalean; horietan efektu fotoelektrikoa gertatzen da. Fenomeno hori erdieroalearen balentzia-elektroiei energia transmititzean datza (eguzkitik datozen fotoien bidez), haien loturak apurtzeko asmoz. Apurto egiten den lotura bakoitzeko elektroiei aske bat geratzen da. Elektroiei hori erdieroalean zehar higi daiteke, eta korronte elektrikoa sortzen du. Apurtutako loturaren elektroiei gabeziari elektroiei-hutsune edo zulo esaten zaio, eta erdieroalean zehar mugitzeko gaitasuna dauka. Elektroien eta zuloen kontrako norabideetako mugimenduak korronte elektrikoa sortzen du; horrek gailuaren kanpoaldetik zirkulatzen du, eta energia sortzen du.



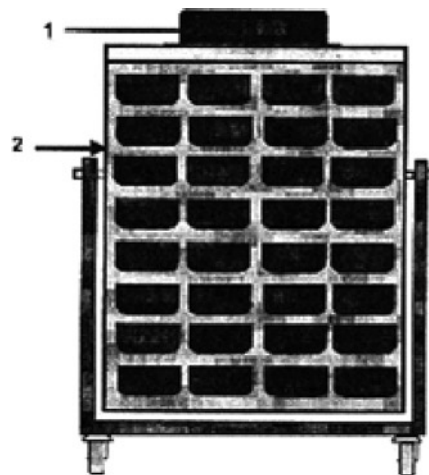
**O.3.4. irudia.** Efektu fotovoltaikoaren irudikapena

Elektroien eta zuloen mugimenduaren ondorioz potentzial-diferentzia sortzen da erdieroalearen muturren artean; horrek sorgailu elektrikoaren izaera ematen dio gailuari. Sortutako energia proportzionala da argi erasotzailearekiko.

Zelula fotovoltaikoak, modulu fotovoltaikoetan (FV) multzokatuta, zenbait ezaugarri elektrikorik bidez definitzen dira:

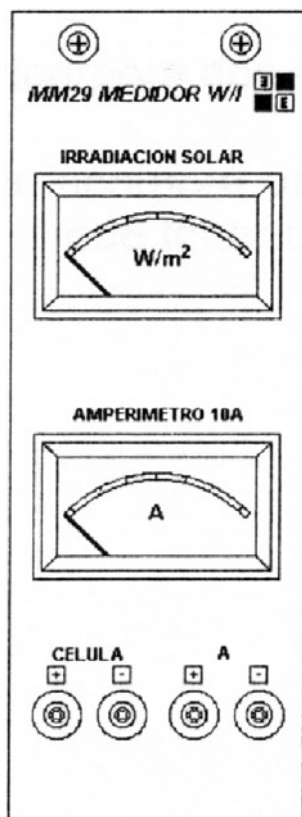
- *Zirkuitu irekiko tentsioa.* Panelaren potentzial-diferentzia kanpo-kargatik konektatuta ez dagoenean; hau da, kanpo-zirkuitua irekita dagoenean. Egoera horretan, ez dago kanpo-korronte elektrikorik terminalen artean.
- *Eraginkortasuna.* Moduluaren parametro garrantzitsuenak da, eraldaketa fotoelektrikoan lortutako etekina adierazten baitu. Ekoitzitako potentziaren eta argi-iturriaren (Eguzkiaren) energia erasotzailearen arteko zatidura da.
- *Muturreko potentzia nominala.* Moduluak hornitutako potentzia da, bere gainazala erasotzen duen energia  $1 \text{ kW/m}^2$  denean, eta giro-tenperatura  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  denean.

Praktika honetan erabiltzen den SOLARTEC-80B ekipo esperimentalak SP4 modulua du. Sistema mugikor horrek 40-50 W eta 12 V-ko eguzki-modulua du, baita eguzki-irradiazioa neurtzeko zelula kalibratua ere.



**O.3.5. irudia.** Eguzki-modulua eta sistema mugikorra. 1) Zelula kalibratua 2) Modulu fotovoltaikoa

Gainera, ekipoak MM29 modulua dauka, irradiazioa ( $W/m^2$ -tan) eta korrante zuzena neurtzeko (O.3.6. irudia).



**O.3.6. irudia.** Irradiazioa eta korrante zuzena neurtzeko MM29 modulua

#### KARGA-ERREGULATZAILEA

Garrantzi handiko osagai bat erregulatzailer izeneko da. Unitate elektronikoko horri moduluen tentsioa aplikatzen zaio, eta metagailuaren eta erabilera-zirkuituen arteko energia-transferentzia kontrolatzen du. Erregulatzailerak funtsezko lau lerro edo konexio ditu:

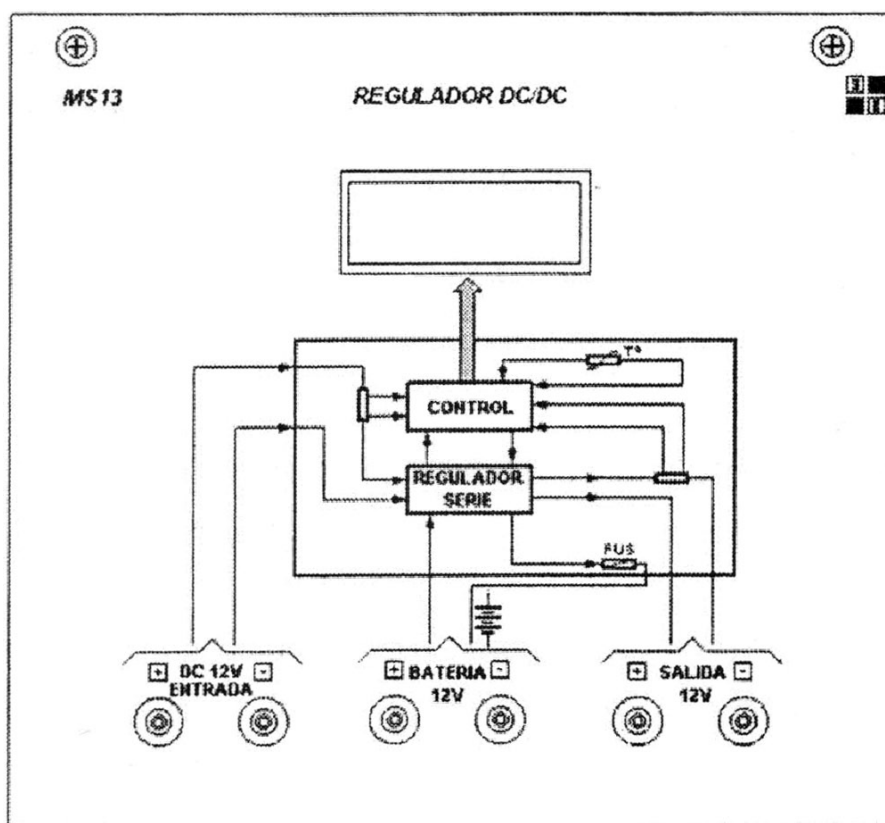
Sarrera-tentsioa: moduluetatik datorren tentsioa aplikatzen zaio zirkuitu erregulatzaileraren sarrerari.

Irteera-tentsioa (erabilera-tentsioa): 12 edo 24 V-tan (edo beste balio batean) egonkorturiko tentsioa; energia metagailutik dator, erregulatzailerak energia metagailura igarotzea ahalbidetzen baitu, horren egoeraren arabera.

- Bateria: eskaria gainditzen duen energia metatzeko erabiltzen da, edo hornitzeko, kontrako kasuan (gauzez, adibidez).
- Kontrola: lerro horren bidez erregulatzailerak egoera desberdinei buruzko informazioa ematen du, hala nola metagailuaren egoera, irteera-tentsioa, karga, deskarga, etab.

Laburbilduz, metagailuaren karga kontrolatzen duen gailua da erregulatzailerak. Erabilitako energia azken horretatik hartzen da beti.

Praktika honetan erabilitako ekipoak MS13 modulu elektronikoa dauka (O.3.7. irudia), bateriaren karga erregulatzeko (eguzki-panelak hornitutako energiarekin).



O.3.7. irudia. Bateriaren karga erregulatzeko MS13 modulua

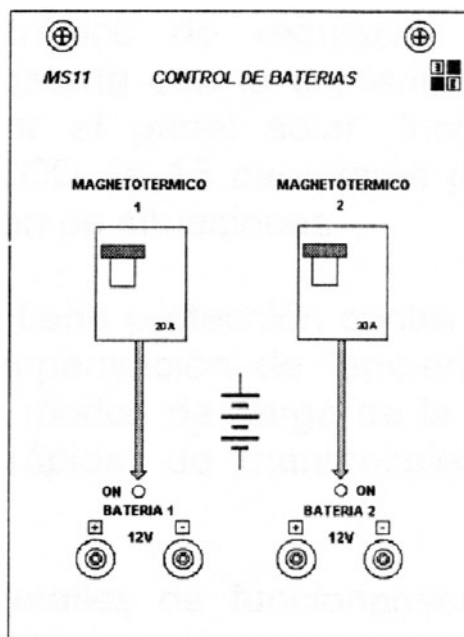
## METAGAILUA

Metagailua instalazioko energia metatzeko osagaia da, kontsumorik ez dagoenean, edo kontsumitzen den kantitatea bilketa-sistemak hornitutakoa baino txikiagoa denean. Era berean, energia-erreserba da, moduluak sortutako energia eskaera baino baxuagoa denean.

Metagailuen kontzeptu garrantzitsu batzuk honako hauek dira:

- *Autodeskarga*. Metagailua erabiltzen ez bada, deskargatzeko joera dauka. Ohiko balioa honako hau da: % 3 hilabete batean.
- *Deskarga-sakonera*. Guztiz beteta dagoen metagailu batetik deskarga bakarrean kontsumitutako energiaren balioa, ehunekotan adierazita. Metagailuak ez du inoiz jasan behar % 70 baino handiagoko deskarga-prozesurik, kalteak ekiditeko.
- *Karga-egoera*. Eguzki-metagailu baten elementu bakoitzaren tentsio izendatua 2 V-koa da. Hala ere, tentsio erreala metagailuaren karga-egoeraren funtzioa da. Tentsioa murrizten da bateria deskargatzen den neurrian, eta handitzen da kargatzen ari denean.

Erabilitako ekipo esperimentalak MS11 modulua dauka (O.3.8. irudia), bi baterien kontrola egiteko (bakarra erabiltzen da).

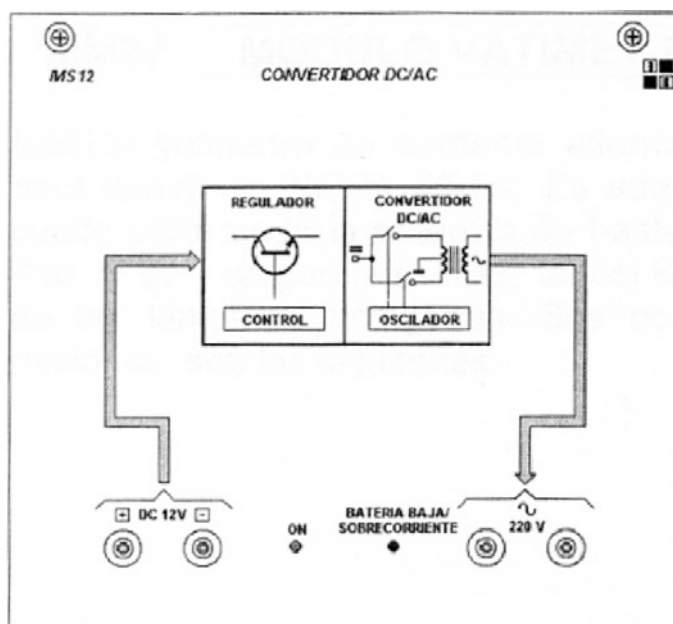


**O.3.8. irudia.** Bi bateriak kontrolatzeko MS11 modulua

DC/AC BIHURGAILUA

Maiztasun eta anplitude balio normalizatuak dituen korrante alternoa beharrezkoa da etxetresna elektrikoak elikatzeko. Horregatik, instalazio fotovoltaikoetan korrante zuzena alterno (DC/AC) bilakatzen duen bihurgailua edo inbertsorea erabiltzen da.

Praktika honetan erabiltzen den SOLARTEC-80B ekipo esperimentalak MS12 modulua dauka (O.3.9. irudia), sarrerako 12 V-ko tentsio zuzena tentsio alterno sinusoidal bilakatzeko.



**O.3.9. irudia.** Korrante zuzena alterno bihurtzeko MS12 modulua

**O.3.3. Prozedura esperimentalak**

- a) Ekipo esperimentalaren osagaiak identifikatu eta bere funtzioarekin erlazionatu: elementu mugikorra (modulu fotovoltaikoa, zelula kalibratua eta orientazioa aldatzeko elementuak, albo batean kokatuta), ekipo esperimentalaren moduluak, eta elementu mugikorraren eta moduluen arteko konexioak egiteko kable multzoa.

**Modulu fotovoltaikoaren kokaleku hoberenaren determinazio teorikoa**

- b) Zehaztu zein den modulu erabiltzeko kokaleku egokiena hiri zehatz batean (zuek aukeraturakoa) erabili ahal izateko. Horretarako, erabili CENSOL programa (ordenagailuan instalatuta dago).

**Irradiazioaren neurketa panel fotovoltaikoaren angelu ezberdinetarako**

- c) Konektatu modulu fotovoltaikoaren PANEL irteera MM29 moduluen SENSOR sarrearekin.
- d) Neurtu lortutako irradiazioa eta idatzi bere balioa ( $\text{W/m}^2$ -tan). Argi naturala nahikoa ez bada, erabili foku finko (*bakarra*).
- e) Prozedura errepikatu, modulu fotovoltaikoaren inklinazioa aldatuz. Horretarako, elementu mugikorraren alboetan dauden heldulekuak mugitu, modulu askatu arte.
- f) Grafikoki irudikatu lortutako irradiazio-maila moduluen inklinazioaren balio desberdinetarako.

*Oharra.* Argiztapen artifiziala erabili baduzue, lortutako kurbak ez dauka esanahi fisikorik, foku puntu arbitrario batean foku mantendu delako. Beraz, irradiazio balio maximoa moduluen edozein inklinazioarekin lortuko da (ez da lekuko latitudeari dagokion balioarekin lortuko).

**O.3.1. taula.** Irradiazio-maila moduluen inklinazioarekin nola aldatzen den zehazteko taula

Inklinazioa (°)	Irradiazioa ( $\text{W/m}^2$ )

**Modulu fotovoltaikoaren tentsioaren neurketa hutsean**

- g) Modulu fotovoltaikoak hornitutako tentsioa kargaren funtzioa da, eta, neurri txikiagoan, giro-tenperaturarena. Hutsean, karga (erresistentzia) gabe, tentsioa maximoa da, eta 20 V-tik



hurbil dauden balioak lor daitezke, 12 V nominalen orde. Atal honen helburua da fenomeno hori egiaztatzea. Horretarako, konektatu modulu fotovoltaikoa (PANEL) eta MM28 modularen DC 30 V sarrera.

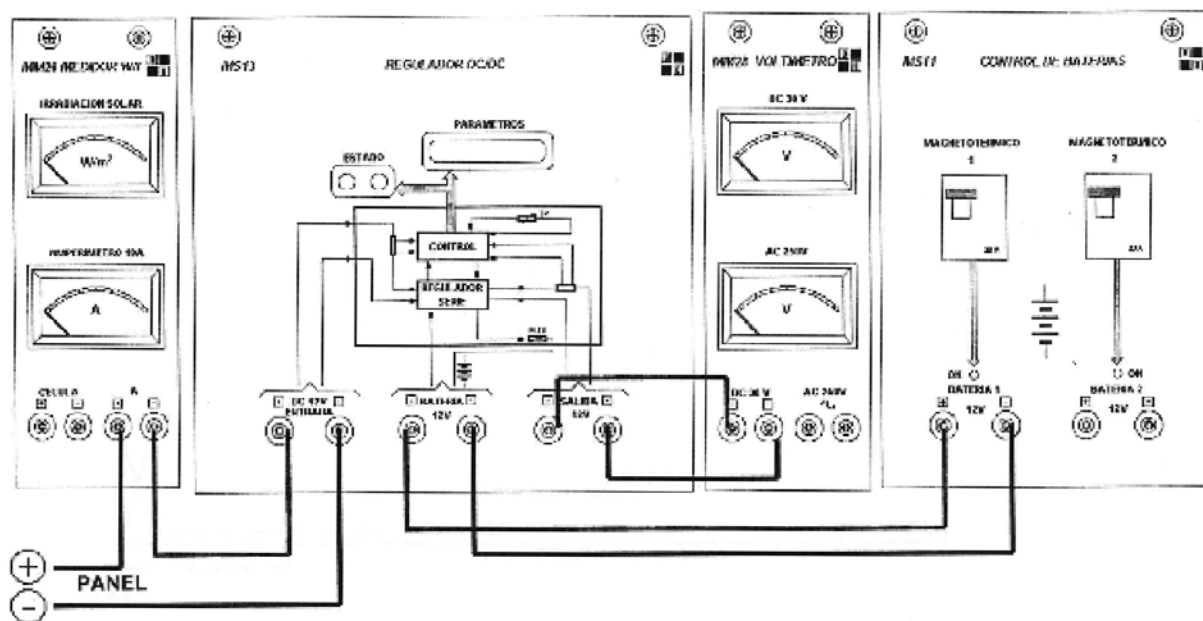
- h) Jarri modulu fotovoltaikoa energia maximoa lortzen den inklinazioarekin. Neurtu hutsean hornitzen duen potentzial-diferentzia, eta idatzi bere balioa. Argiztapen naturala nahikoa ez bada, *bi foku* finko erabili (kokatu ahalik eta irradiazio-maila altuena lortzeko moduan).

$V =$

*Oharra.* Zirkuitu irekiko tentsioa (hutsean) ez da nahasi behar tentsio izendatuarekin. Azken horrek *ohiko erabilera tentsioa* adierazten du; hau da, modularen egokitasuna tentsio hori duten sistemetan erabiltzeko.

### Bateriaren erregulazioa eta karga

- i) Egiaztatu 12 V, 17 A-ko bateria MS13 modularen MAGNETOTERMICO 2-ri dagozkion kabletan instalatuta dagoela, polaritatea errespetatuz. Ondo dabilela frogatzeko, eragin etengailu magnetotermikoa eta ikusi ON jartzen den led-a pizten dela. Ondoren, magnetotermikoa desaktibatu.
- j) Konektatu moduluak O.3.10. irudian erakusten den moduan.



O.3.10. irudia. Panel fotovoltaikoaren hornitutako korrontea neurtzeko konfigurazioa

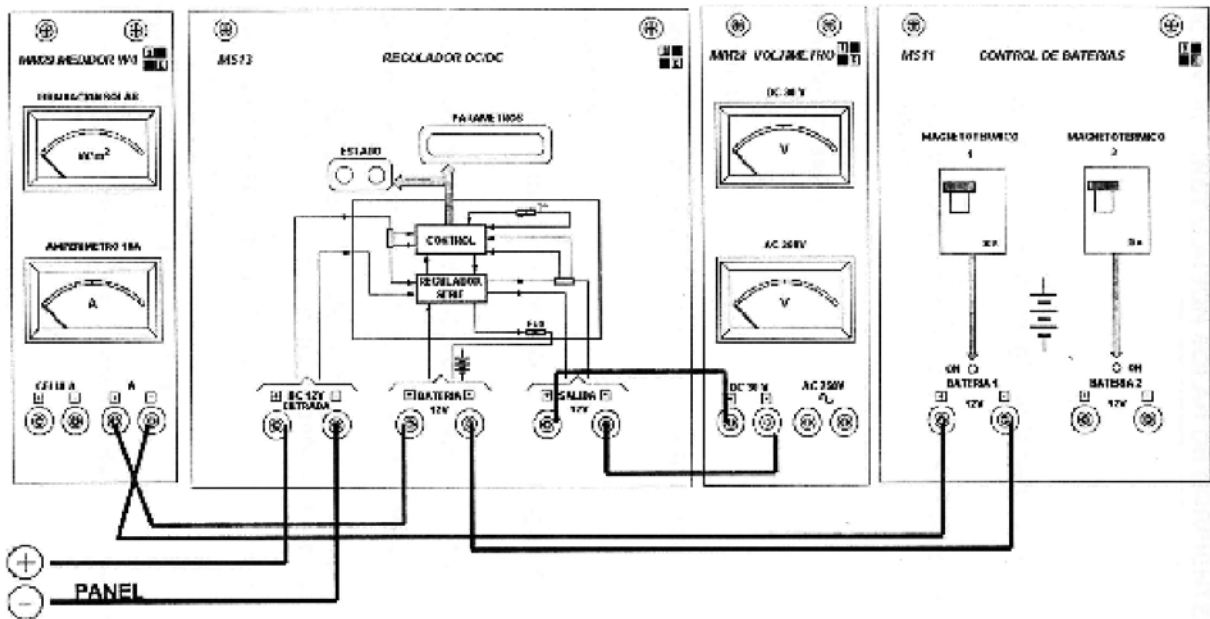
- k) Aktibatu MAGNETOTÉRMICO 2, bateria zirkuituan jartzeko.
- l) Neurtu panel fotovoltaikoaren hornitutako korrontea MM29-ko neurgailuaren bidez, eta idatzi bere balioa.

$I_{\text{panel}} =$

- m) Neurtu MS13 modulu erregulatzaileak hornitutako tentsio erregulatu, MM28 modulua erabiliz, eta idatzi bere balioa. Fokuak kokatu lorturiko balioa 0,5 A (gutxi gorabehera) izateko. Konparatu MS13 moduluen pantailan agertzen den balioarekin.

$$V_{sal} =$$

- n) Azaldu MS13 moduluen pantailak emandako argibideak, CONFIGURACIÓN DEL ENTRENADOR eskuliburua kontsultatuz. Zer gertatzen ari da sisteman?
- o) Aldatu instalazioa O.3.11. irudiak erakusten duen moduan, bateriaren karga-korrontea neurtu ahal izateko.

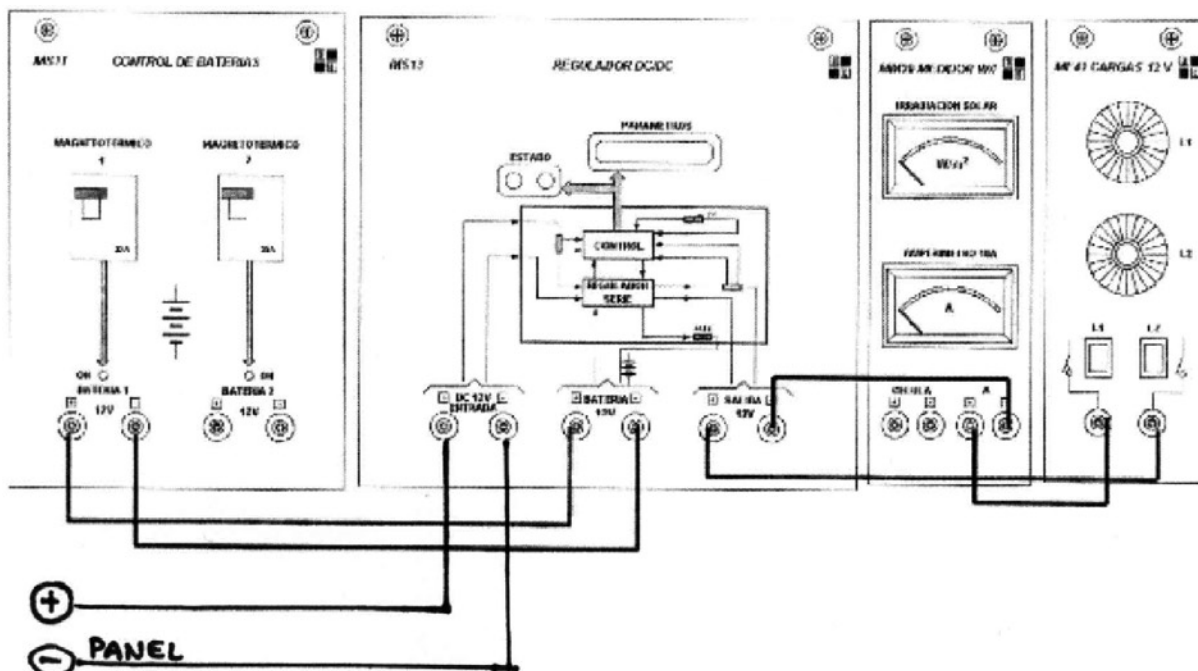


**O.3.11. irudia.** Bateriaren karga-korrontea neurtzeko konfigurazioa

- p) Aktibatu MS11 moduluen MAGNETOTÉRMICO 2.
- q) Neurtu bateriaren karga-korrontea, MM29 moduluen amperemetroaren bidez, eta idatzi bere balioa. Konparatu MS13 moduluen pantailak emandako balioarekin.

### Korronte zuzeneko eguzki-instalazioa

- r) Moduluak O.3.12. irudian adierazten den moduan konektatu, kontuan izanik:
- Egiaztatu MAGNETOTÉRMICO 2 desaktibatuta dagoela.
  - Egiaztatu ME41 moduluen L1 eta L2 etengailuak itzalita daudela.



O.3.12. irudia. Bateriaren karga-korrontea neurtzeko konfigurazioa

- s) Egiaztatu lanparak itzalita daudela eta anperemetroak ez duela markatzen korrontearen igarotzea.
- t) Aktibatu MS11 moduluaren MAGNETOTÉRMICO 2, eta ME41 moduluaren L1 etengailua. Interpretatu MS13 moduluaren pantailan agertzen den informazioa. Zer gertatzen da lanpara piztu aurretik eta ondoren? Zein da korrontearen norabidea? Nondik hartzen da lanpara pizteko energia? Lanpara piztu eta itzali behar beste aldiz, gertatzen dena ulertu arte.
- u) Egiaztatu anperemetroak lanpararen kontsumoa adierazten duela (50 W-koa da 12 V-tan). Egiaztatu  $P = V \times I$  betetzen dela.
- v) Errepikatu aurreko prozedura, baina kasu honetan L2 ere piztuz. Horrela, kontsumoa 100 W izatera pasatuko da.

### Eguzki-instalazio fotovoltaiko baten kalkulua CENSOL programa erabiliz

- i) CENSOL programan sartu eta menu nagusian «solar fotovoltaica» aukeratu.
- ii) Kokalekua aukeratu. Kokalekua aukeratzean, honako datuak agertzen dira: latitudea, H (eguneroko batez besteko erradiazioa) eta HSP (puntako eguzki-orduak).
- iii) Aukeratu moduluaren inklinazioa, aurreko atal batean zehaztutakoa (bat dator lekuko latitudearekin). Inklinazioa aldatzean HSP aldatzen da. Zergatik?
- iv) Eguneroko kontsumoaren taula (O.3.2. taula) bete,  $W \times h$ -tan. Datuak O.3.4. eranskinean daude.
- v) Aukeratu sistemaren etekin globala (eskuzkoa). Etekinaren balioa jartzean, honako balio hauek agertzen dira hilabete bakoitzerako: P (eguneroko kontsumoa asetzeko behar den potentzia) eta F (erabil daitekeen energia/eguneroko kontsumoa).
- vi) Aukeratu instalatuko den potentzia FV. Lortu diren datuen arabera, instalatu beharreko potentzia aukeratzen da. Ez bada baliorik aukeratzen, programak baliorik txarrena har-

tuko du (normalean abenduari dagokio,  $F = 1$  delako, hau da, produkzioa = kontsumoa; beste hilabeteetan, energia soberan egongo da). Instalaturako potentziaren eragina  $F$  faktorean erraz ikus daiteke, emaitzen taularen azpian dagoen barra erabiliz. Zer adierazten du  $F$  faktoreak? Zein da bere esanahia? Zer suposatzen du  $F = 1$  baino txikiagoa izateak? Posible al da  $F = 1$  baino txikiagoko  $F$  balioak ematen duen potentzia FV instalatzea etxebizitza isolatu batean (sare elektrikorako konexioa lortzerik ez dagoenean)? Eta sare elektrikorako konexioa duen etxebizitza batean? Aukeratu potentzia FV-ren balio desberdinak eta irudikatu hilabete bakoitzaren  $F$  balioak grafiko berdinean. Aukeratu instalatu beharreko potentzia balio bat, kontuan hartuz etxebizitza bat *autohornitzeko* instalazioa diseinatuko dela.

- vii) Sartu sistema osatzen duten elementuen parametroen balioak. Datuak O.3.4. eranskinan daude.
- viii) Kalkulatu instalatu beharreko panel fotovoltaiko kopurua (seriean eta paraleloan).
- ix) Kalkulatu instalatuko den metagailuaren (bateriaren) metatze-ahalmena, eta programak kalkulatu du zenbat metagailu instalatu behar diren (seriean eta paraleloan).

#### O.3.4. eranskina. Instalazio fotovoltaikoa diseinatzeko informazioa

Aurreikusitako eguneroko kontsumoa kalkulatzeko informazioa O.3.2. taulan erakusten da.

**O.3.2. taula.** Aurreikusitako eguneroko kontsumoa kalkulatzeko datuak

Osagaia	Kontsumoa (W)	Funtzionamendua (h/egun)	Energia (Wh/egun)
Egongelako lanpara	7	3	
Sukaldeko lanpara	7	2	
Logelako lanparak	5	1	
Sarrerako lanparak	5	5	
Telebista	45	2	
Etxetresna elektrikoa	2	10	
GUZTIRA			

Sistemaren parametroen balioak:

- Panel FV
  - Muturreko potentzia: 40-50 W
  - Tentsio izendatua: 12 V
  - Etekin globala: % 20
- Metagailua (bateria)
  - Tentsio izendatua: V
  - Temperatura (°C): 15-20 °C

— Korrante zuzeneko zirkuitua

Tentsio izendatua: V

Metagailuaren metatze-ahalmena kalkulatzeko formula:

$$C (A \cdot h) = \frac{\text{Aurreikusitako kontsumo elektrikoa (W} \cdot \text{h)} \cdot \text{autonomia egunak}}{\text{Modulu fotovoltaikoaren tentsioa (V)} \cdot (\text{deskarga} - \text{sakonera})} \quad (\text{O.3.2})$$

Bateriak izan behar duen metatze-ahalmena kalkulatzeko datuak:

Aurreikusitako autonomia-egunak:

Modulu fotovoltaikoen tentsioa: 12 V

Deskarga-sakonera: % 70

Oharra: *bi elementu seriean kokatzen direnean, haien tentsioak batzen dira eta korrontea (intentsitatea) berdina da; bi elementu paraleloan kokatzen direnean, tentsioa berdina da eta korrontea batzen da.*

Beraz, zirkuituaren tentsioa = panelaren tentsioa, panelak paraleloan jartzen badira, eta zirkuituaren tentsioa > panelaren tentsioa, seriean kokatzen badira. Bateriekin berdin egiten da.

## O.4. praktika

# Ioi-trukaketa I

### O.4.1. Helburua

Uraren desmineralizazioa aztertzea, eta katioi-trukagailu baten eta anioi-trukagailu baten trukatzeko-ahalmena alderatzea.

### O.4.2. Oinarri teorikoa

Ioi-trukaketa prozesu naturala da. Prozesu horretan, solido baten gainazalari atxikitako ioiek karga berdineko beste ioi batzuk ordezkatzeko dituzte. Azken horiek solidoarekin kontaktuan dauden disoluzio batean daude. Ordezkaturako ioiak gainazalean itsasten dira (hau da, erakarpen elektrostatiakoaren bitartez lotuta geratzen dira), eta hasieran gainazalean zeudenak disoluziora pasatzen dira. Prozesu horrek aurrera jarraitzen du bi ioi moten (gainazalean eta disoluzioan daudenak) kontzentrazio erlatiboek oreka lortu arte. Prozesua itzulgarria da; beraz, trukaketaren norabidea kontzentrazio erlatiboaren arabera da.

Ioi-trukaketaren adibide praktikoa errazena ura biguntzea da. Prozesu horretan, uraren  $\text{Ca}^{2+}$  ioiak (gogortasunaren sortzaileak) trukatzeko-materialean dauden  $\text{Na}^+$  ioiez ordezkatzeko dira. Oreka lortzen denean (hau da, materialaren trukatzeko-ahalmena agortu denean), trukatzeko-materiala erregeneratu daiteke, gatz sodiko bat aplikatuz (sodio kloruroa, adibidez) gainazaleko  $\text{Na}^+$  ioien kontzentrazioa berreskuratzeko.

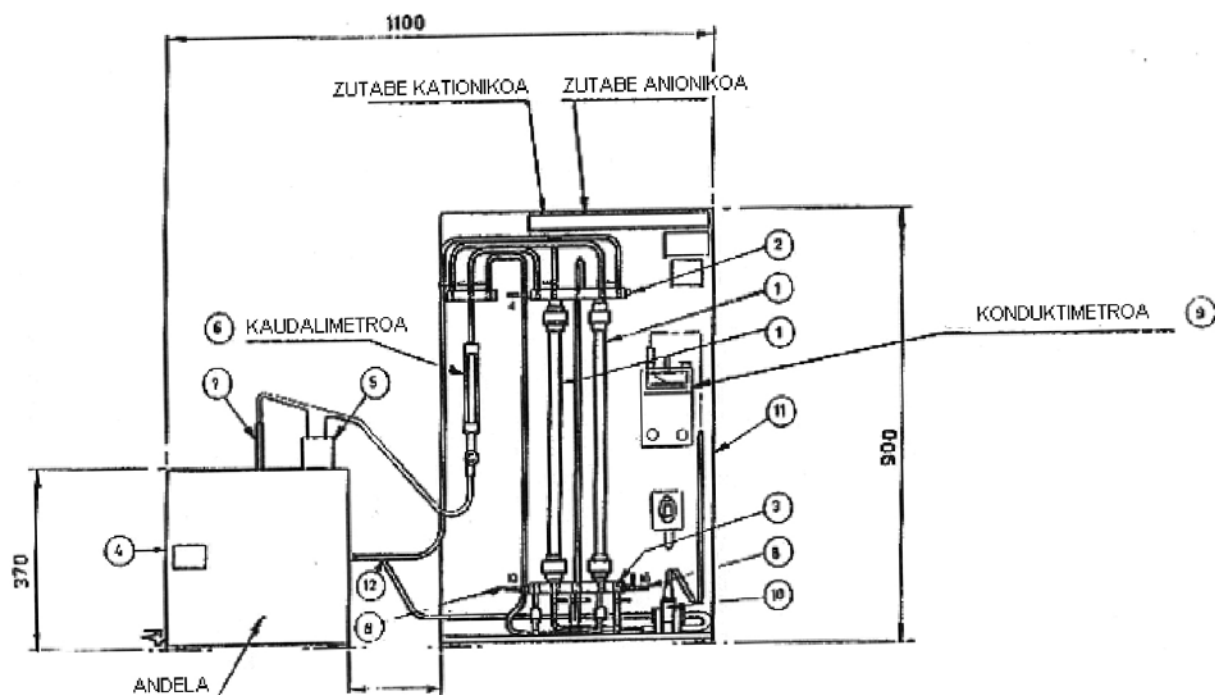
Ioi-trukaketarako material egokiak erabiltzen badira, bi edo etapa gehiagotan, gatz disolbatu guztiak elimina daitezke, *desmineralizazio* izenez ezagutzen den prozesuan.

### O.4.3. Atal esperimentalak

#### O.4.3.1. Ekipo esperimentalak

Ikus O.4.1. irudia. Ondoren adieraziko diren zenbaki guztiak diagramarekin erlazionatuta daude.

Uraren desmineralizazio-prozesurako diseinatu izan den ekipoak bi zutabe bertikal ditu (1), 15 mm-ko diametroan. Zutabe horiek panel batean (11) instalatuta daude, eta katioi- eta anioi-trukaketarako erretxinak dituzte, hurrenez hurren. Zutabeen goiko (2) eta beheko aldean (3) balbulak dituzten kolektoreak daude, zutabeetan zeharreko fluxuak goranzko eta beheranzko noranzkoetan kontrolatzeko.



**O.4.1. irudia.** Ioi-trukaketa egiteko ekipoaren irudikapena

Zutabeetan zehar igarotzen diren likidoak ekipoaren ezkerrean dagoen andelean (4) biltzen dira, eta ponparen (5) eta kaudalimetroaren (6) bitartez sartzen dira. Likidoak aukeratzeko, andelaren aurrealdean dagoen hodia (7) altxatu eta mugitzen da. Zutabeak zeharkatu ondoren, efluenteak beheko tankera doaz, edo analizatzeko bil daitezke, kontrolerako balbulei (8) konektatutako hodiak erabiliz. Ekipoak irteera-lerroan kokatutako zelula bati (10) konektatutako konduktimetro (9) bat dauka, ur desmineralizatua kontrolatzeko.

Praktika honetan erabiliko diren materialak honako hauek dira:

- Desmineralizatuko den ura (C andelean dago); hori katioi-trukagailuan zehar beheranzko noranzkoan igaroko da, eta ondoren anioi-trukagailuan zehar.
- Disoluzio erregeneratzaileak (HCl, % 5eko kontzentrazioarekin; eta NaOH, % 5eko kontzentrazioarekin). A eta B andeletan gordetzen dira, eta katioi- eta anioi-trukaketarako zutabeetan zehar pasaraziko dira, beheranzko noranzkoan.
- Ur distilatua (D andelean dago). Zutabeetan zehar goranzko noranzkoan pasaraziko da, edozein sedimentu garbitzeko eta erretxinaren barnean dagoen airea askatzeko.

**KONDUKTIMETROAREN ERABILERA**

Konduktimetroa erabiltzeko, [X1] posizioan jarri ezkerreko etengailua. Eskuineko etengailua erlojuaren noranzkoan mugitu, eroankortasuna irakurri arte. Biderkatu irakurketa etengailuaren posizioak adierazten duen balioarekin, disoluzioaren eroankortasuna lortzeko.

**pH-METROAREN ERABILERA**

pH-metroaren zelula sentikorra uretan egon behar da beti. Neurketa bat egiteko, zelula ur distilatutik atera eta neurtu beharreko laginean sartu. Pantailan pH aukera agertu behar da; horretarako, sakatu pH jartzen duten botoia beharrezkoa bada.

**O.4.3.2. Prozedura esperimentalak****Erretxina kationikoaren garbiketa kontrakorrontean**

- a) Ireki O.4.2.a) irudian agertzen diren balbulak.
- b) Zutabe kationikoa kontrakorrontean garbituko da. Horretarako, ponpa D andean sartu eta etengailuari eman. Kaudalimetroa pixkanaka ireki (erlojuaren kontrako noranzkoan). Erabilitako emariak (30 ml/min, gutxi gorabehera) ez du ohantzea % 50 baino gehiago zabaldu behar. Garbitu 15 minutuz. Garbitzean, zutabearen dagoen edozein solido eta/edo burbuila eliminatu behar da.

**Erregenerazio kationikoa**

- c) Ireki O.4.2.d) irudian agertzen diren balbulak.
- d) Trukagailu kationikoa erregeneratu. Azidoa pasarazi, 30 ml/min emariarekin (15 min).
- e) Azidoaren ondoren, ur distilatua pasarazi noranzko berdinean, azidoaren gehiegizkoa eliminatzeko. Ponpak eman dezakeen emari altuena erabili (80 ml/min gutxienez).
- f) Ur distilatua zutabearen zehar pasarazi baino lehen ponpa garbitu, geratzen den azidoak D andela ez kutsatzeko. Horretarako, ontzi batean dagoen ur distilatua ponpatu, eta beste ontzi batean bildu (atera plastikozko hodia eta errotametroa itxi, likido guztia plastikozko hoditik ateratzeko). Ponpa garbitu ondoren, egiaztatu azidorik ez dagoela; horretarako, ontzi batean dagoen likidoa ponpatu (plastikozko hodia berriro jarrita dagoela) eta bere pH-a neurtu (5,0 baino handiagoa izan behar da).
- g) Likidoak hartzeko hodia D andean sartu ondoren, egiaztatu ur distilatua ez dela azidoarekin kutsatu (lagin bat hartu prezipitatu-ontzi txikiarekin). Kutsatu bada, andela eta ponpa ur distilatuz garbitu.
- h) Efluentearen pH-a neurtu (10. balbula irekiz) eta ur distilatuz garbitu, pH-aren balioa 5,0 baino handiagoa izan arte (1,5 ordu gutxi gorabehera).

**Erretxina anionikoaren garbiketa kontrakorrontean**

- i) Ireki O.4.2.b) irudian agertzen diren balbulak.
- j) Zutabe anionikoa kontrakorrontean garbituko da. Horretarako, ponpa D andean sartu eta etengailuari eman. Kaudalimetroa pixkanaka ireki (erlojuaren kontrako noranzkoan). Erabilitako emariak (30 ml/min, gutxi gorabehera) ez du ohantzea % 50 baino gehiago zabaldu behar. Garbitu 15 minutuz. Garbitzean, zutabearen dagoen edozein solido eta/edo burbuila eliminatu behar da.



### Erregeneratze anionikoa

- k) Ireki O.4.2.e) irudian agertzen diren balbulak.
- l) Trukagailu anionikoa erregeneratu. NaOH-zko disoluzioa pasarazi, 30 ml/min emariarekin (15 min).
- m) Azidoaren ondoren, ur distilatua pasarazi noranzko berean, disoluzio erregeneratzaile gehiegizkoa eliminatzeko. Ponpak eman dezakeen emari altuena erabili (80 ml/min gutxienez).
- n) Ur distilatua zutabean zehar pasarazi baino lehen ponpa garbitu, geratzen den baseak D andela ez kutsatzeko. Horretarako, ontzi batean dagoen ur distilatua ponpatu, eta beste ontzi batean bildu (atera plastikozko hodia eta itxi errotametroa, likido guztia plastikozko hoditik ateratzeko). Ponpa garbitu ondoren, egiaztatu baserik ez dagoela; horretarako, ontzi batean dagoen likidoa ponpatu (plastikozko hodia berriro jarrita dagoela) eta bere pH-a neurtu (9,0 baino baxuagoa izan behar da).
- o) Likidoak hartzeko hodia D andelean sartu ondoren, egiaztatu ur distilatua ez dela disoluzio basikoarekin kutsatu (lagin bat hartu prezipitatu-ontzi txikiarekin). Kutsatu bada, andela eta ponpa ur distilatuz garbitu.
- p) Efluentearen pH-a neurtu (irteerako hoditik laginak hartuz) eta ur distilatuz garbitu, pH-aren balioa 9,0 baino baxuagoa izan arte (1,5 ordu gutxi gorabehera).

### Desmineralizazioa

- q) O.4.2.f) irudian agertzen diren balbulak ireki. Erabili 50 eta 70 ml/min arteko emaria.
- r) Fluxua hasten deneko denbora apuntatu, eta eroankortasuna 5 minuturo neurtu. Laginak 20 minuturo atera 10. balbulatik eta pH-a neurtu.

**O.4.1. taula.** Eroankortasuna eta pH-aren datuak denborarekiko

Denbora (min)	0	5	10	15	20	25	30	35
Eroankortasuna								
pH								

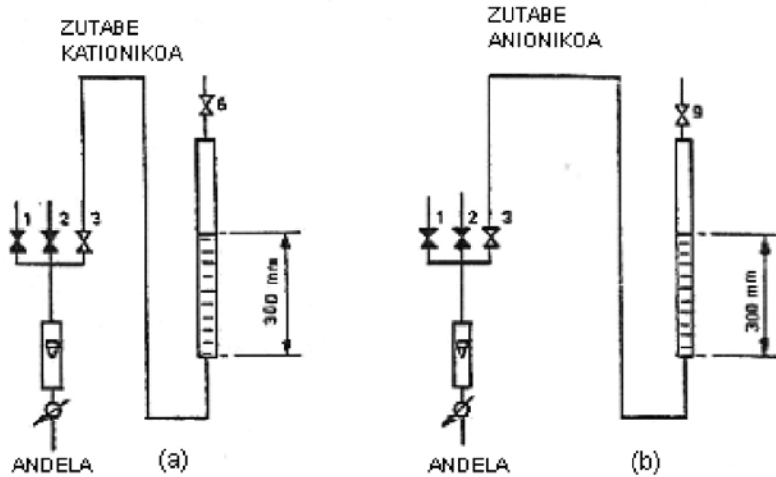
- s) Apuntatu ur desmineralizatuaren eroankortasuna igotzen hasten den denbora; hau da, erretxina bat agortu den haustura-puntua. Puntu hori lortzen denean, hartu ahal bezain laster lagin bat 10. balbulatik eta neurtu bere pH-a. pH hori aurretik lortutakoak baino handiagoa bada, horrek esan nahi du trukagailu kationikoa agortu dela. Gomendagarria da beste lagin pare batekin egiaztatzea. Baieztatzen bada, esperimentua une horretan bukatu behar da.
- t) Trukagailu kationikoaren efluentearen pH-aren balioak txikia izaten jarraitzen badu, al-diz, amaierako efluentearen eroankortasuna igotzeak adierazten du trukagailu anionikoa agortu dela.

### Emaitzak

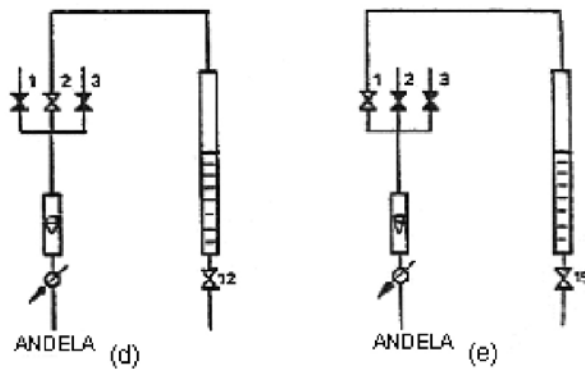
- u) Desmineralizazio esperimentuan, haustura-denbora pH-a neurtuz zehazten da (katioi-trukagailuaren kasuan) edo eroankortasuna neurtuz (anioi-trukagailuaren kasuan). Azaldu. Zer gertatzen da trukagailu bakoitzean? Zer aldatzen da agortzen direnean?

- v) Kalkulatu desmineralizatu den ur kantitatea, kontuan hartuz erabili den emaria eta haustura-puntura arte igarotako denbora.
- w) Eman ur desmineralizatuaren kalitatearen datuak (pH eta eroankortasuna). Alderatu jatorrizko urarekin.

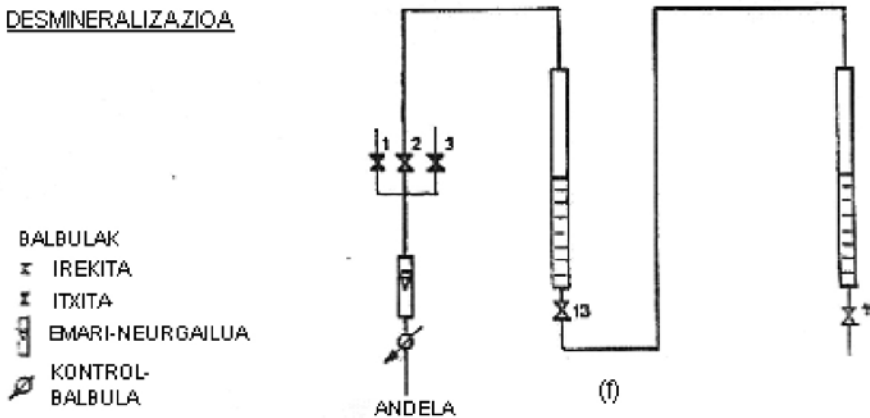
GARBIKETA KONTRAKORRONTEAN



ERREGENERAZIOA



DESMINERALIZAZIOA



- BALBULAK
- ⌘ IREKITA
- ⌘ ITXITA
- ⌘ EMARI-NEURGAILUA
- ⌘ KONTROL-BALBULA

- O.4.2. irudia.** Balbulen posizioa etapa ezberdinetan.  
 a) Erretxina kationikoaren garbiketa kontrakorrontean.  
 b) Erretxina anionikoaren garbiketa kontrakorrontean.  
 d) Erregenerazio kationikoa. e) Erregenerazio anionikoa. f) Desmineralizazioa

## O.5. praktika

# Ioi-trukaketa II

### O.5.1. Helburua

Ioi-trukaketarako erretxina batez osaturiko ohandze finko baten portaera aztertzea.

### O.5.2. Oinarri teorikoa

#### O.5.2.1. *Ioi-trukaketa*

Ioi-trukaketa jariakin-solido materia transferentzian oinarritutako bereizketa-eragiketa da. Prozesu horretan, solido baten gainazalari atxikitako ioiek karga berdineko beste ioi batzuk ordezkatzeko dituzte. Azken horiek solidoarekin kontaktuan dagoen disoluzio batean daude. Ordezkatutako ioiak gainazalean itsasten dira (hau da, erakarpen elektrostatiakoaren bitartez lotuta geratzen dira), eta hasieran gainazalean zeudenak disoluziora pasatzen dira. Prozesu horrek aurrera jarraitzen du, bi ioi moten (gainazalean eta disoluzioan daudenak) kontzentrazio erlatiboek oreka lortu arte. Prozesua itzulgarria da; beraz, kontzentrazio erlatiboaren arabera da trukaketaren norabidea.

Ioi-trukaketarako erretxinak hidrokarburorik katez osaturiko egiturak dira, eta kate horiei lotuta ioi talde askeak daude. Ioi talde mugiezinen karga kontraioi izeneko ioien kargarekin orekatzen da. Kontraioi horiek aske daude, eta disoluzioan dauden ioiekin trukatzeko dira. Ioi horiek katioiak (ioi positiboak) direnean, prozesuari katioi-trukaketa deritza, eta anioiak (ioi negatiboak) direnean, berriz, anioi-trukaketa.

Ioi-trukaketaren adibide praktikoa errazena ura biguntzea da. Prozesu horretan, uraren  $\text{Ca}^{2+}$  ioiak (gogortasunaren sortzaileak) trukatzeko-materialean dauden  $\text{Na}^+$  ioiez ordezkatzeko dira:



non R erretxinaren anioi-gune mugiezinen bat baita.

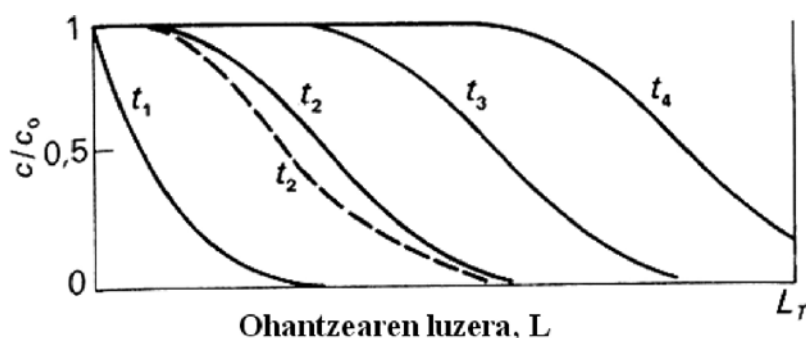
Oreka lortzen denean (hau da, materialaren trukatzeko-ahalmena agortu denean), trukatzeko-materiala erregeneratu daiteke, gatz sodiko bat aplikatuz (sodio kloruroa, adibidez) gainazaleko  $\text{Na}^+$  ioien kontzentrazioa berreskuratzeko.

Ioi-trukaketarako material egokiak erabiltzen badira, bi edo etapa gehiagotan, gatz disolbatu guztiak elimina daitezke, *desmineralizazio* izenarekin ezagutzen den prozesuan.

### O.5.2.2. Ioi-trukaketa ohantze finkoan

Trukaketa ionikoa prozesu erdijarraitua izan ohi da. Prozesu horretan, erretxinaz osaturiko ohantze finkoa erabiltzen da, eta ohantzean zehar disoluzio bat pasarazten da. Funtzionamendu-erregimena ez da egonkorra, ioien kontzentrazioa etengabe aldatzen baita sistemako puntu bakoitzean. Normalean, instalazioak bi ohantze berdinez osatuta daude; horrela, bata funtzionatzen ari denean, bestea erregenerazio-prozesua jasaten ari da.

Prozesua hasten denean, materia-transferentziaren zatirik handiena ohantzearen sarreratik hurbil gertatzen da, jariatzen trukagailuarekin harremanetan jartzen den lekuan. Denbora pasatu ahala, sarreratik hurbil dagoen solidoa asetzen (saturatzen) joango da, eta sarreratik urrunago gertatuko da materia-transferentzia. Horrela, kontzentrazio gradiente bat sortuko da ohantzean (O.5.1. irudia). Kontzentrazio-aldaketarik handiena gertatzen den gunea materia-transferentziako gunea da. Gune hori erabili gabeko erretxinaren gunearen eta gune asearen artean kokatzen da, eta bere mugak  $c/c_0 = 0,95 - 0,05$  bitartean hartzen dira.

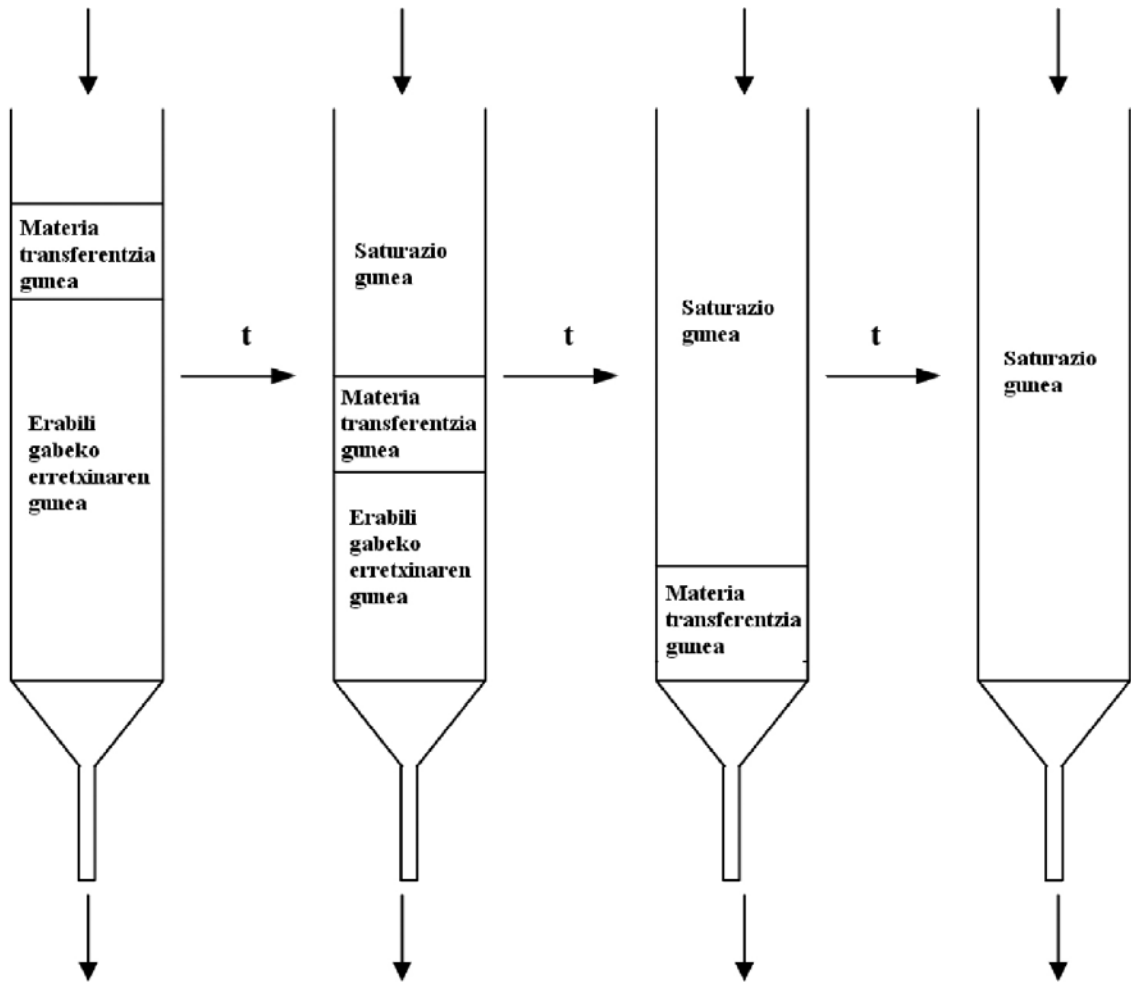


**O.5.1. irudia.** Ohantzearen kontzentrazio-profilak denboran zehar

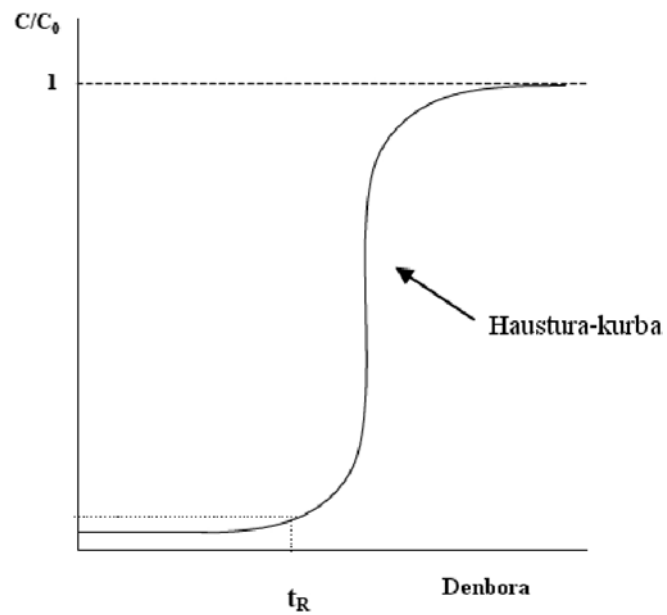
Ioi-trukaketak aurrera egin ahala, materia-transferentziako gunea ohantzean zehar mugitzen da, beheko muturrera heldu arte (O.5.2. irudia). Une horretatik aurrera, irteerako disoluzioak trukatu beharreko ioien kantitate gorakorrak izango ditu.

Haustura-denbora ( $t_r$ ) deritzo eragiketa hasi denetik irteerako korrontean (efluentean) onar daitekeen kontzentrazio maximoa lortu arte igaro den denborari. Une horretan, korrontea bigarren ohantzera bideratuko litzateke, eta aurrekoa erregeneratuko litzateke.

Ohantzetik irteten den efluentearen kontzentrazioaren bilakaera adierazten duen kurbari haustura-kurba deritzo (O.5.3. irudia). Haustura-kurba ezagutzea ezinbestekoa da trukaketa ionikoko ohantze finko baten diseinua egiteko, eta gehienetan esperimentalki lortu behar da.



**O.5.2. irudia.** Kontzentrazioaren bilakaera ioi-trukaketarako ohanze batean



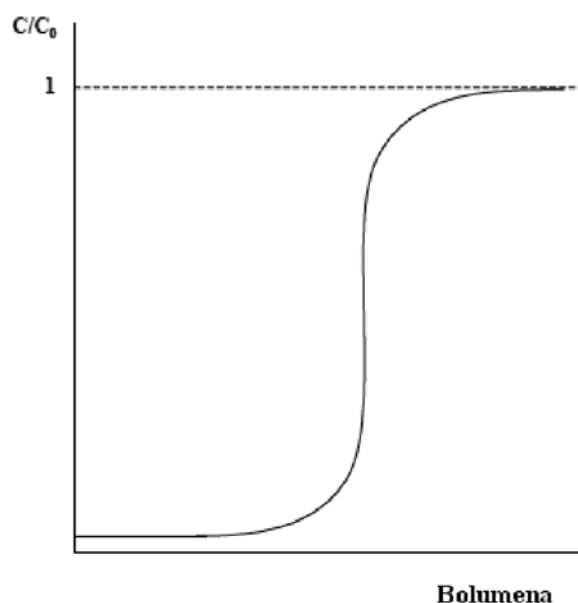
**O.5.3. irudia.** Efluentearen kontzentrazioa-denboraren diagrama

O.5.2.3. *Erretxinaren truke-ahalmena*

Erretxinaren truke-ahalmena da erretxina pisu-unitate batek har dezakeen ioi-kontzentrazioa. Atxikitako solutu  $m_{eq}/g$  erretxina lehor bezala adierazi ohi da. Erretxinaren ahalmena funtsezko parametroa da trukatzailea hautatzeko.

Erretxinaren truke-ahalmenaren kalkulua egiteko (baldintza zehatz batzuetan), jakin behar da zein den erretxinak atxikitako solutu kantitate osoa. Balio hori sistemaren haustura-kurba erabiliz kalkula daiteke, haustura-kurbaren eta sarrerako disoluzioaren kontzentrazioari dagokion lerro horizontalaren artean dagoen gunearen azalera kalkulaturik (O.5.4. irudia). Honako adierazpen hau erabiliz, erretxinaren ahalmena kalkula daiteke, baldintza zehatz batzuetan:

$$q_0 = \frac{\text{Haustura - kurbaren gaineko azalera (l)} \times C_0 (\text{meq/l})}{\text{Erretxinaren pisua (g)}} \quad (\text{O.5.2})$$



**O.5.4. irudia.** Erretxina baten ahalmenaren kalkulua

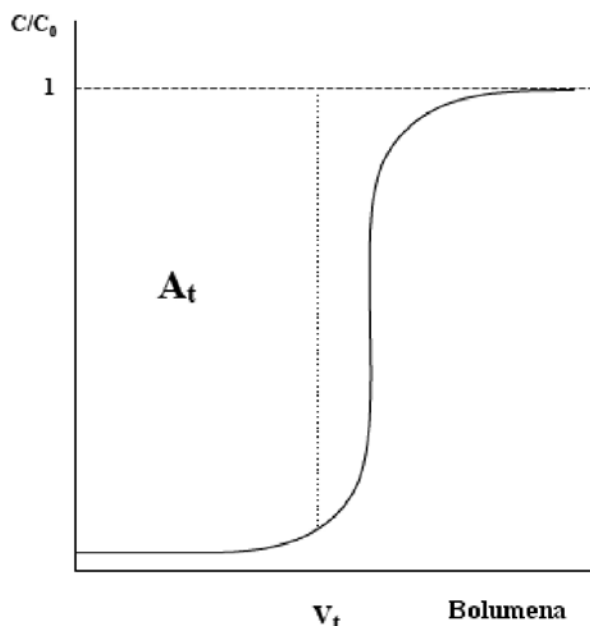
O.5.2.4. *Erabilitako ohantzearen frakzioa*

Haustura-puntuan edo edozein eragiketa-denboran erabilitako ohantzearen frakzioa kalkula daiteke puntu horretan atxikitako solutu kantitatea eta erretxinaren ahalmena erabiliz.

$$\text{Erabilitako ohantzearen frakzioa} = \frac{\text{Atxikitako solutu kantitatea (meq)}}{q_0 (\text{meq/g}) \times \text{erretxinaren pisua (g)}} \quad (\text{O.5.3})$$

Denbora jakin batean atxikitako solutu kantitatea kalkulatzeko, haustura-kurbaren eta sarrerako disoluzioaren kontzentrazioari dagokion lerro horizontalaren artean dagoen gunearen azalera kalkulatu behar da (O.5.5. irudia).

$$\text{Atxikitako solutu kantitatea (meq)} = A_t \times C_0 \quad (\text{O.5.4})$$



**O.5.5. irudia.** Denbora jakin batean atxikitako solutu kantitatearen kalkulua

#### O.5.2.5. Ez erabilitako ohantzearen luzera

Honako adierazpen hau erabiliz kalkula daiteke ez erabilitako ohantzearen luzera:

$$\begin{aligned} \text{Ez erabilitako ohantzearen luzera} &= \text{Ohantzearen luzera} - \\ &- (\text{Erabilitako ohantzearen frakzioa} \times \text{Ohantzearen luzera}) \end{aligned} \quad (\text{O.5.5})$$

### O.5.3. Atal esperimentalak

#### O.5.3.1. Ekipo esperimentalak

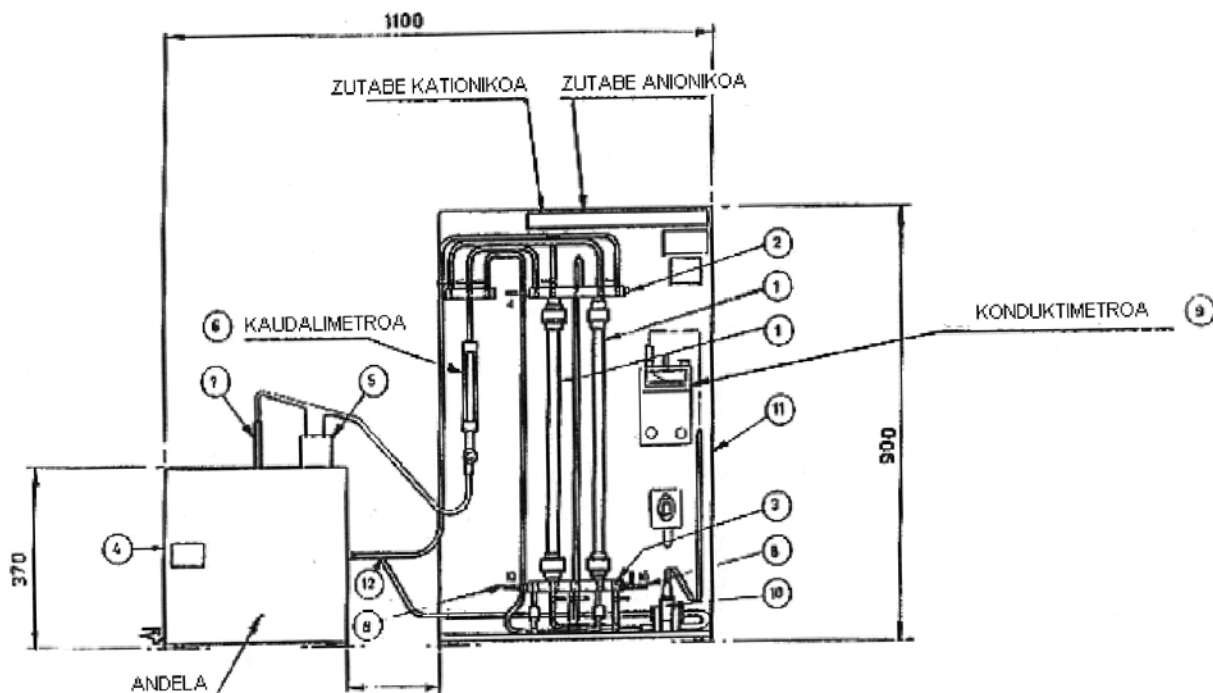
Ikus O.5.6. irudia. Ondoren adieraziko diren zenbaki guztiak diagramarekin erlazionatuta daude.

Uraren desmineralizazio-prozesurako diseinatua izan den ekipoak bi zutabe bertikal ditu (1), 15 mm diametrodunak. Zutabe horiek panel batean (11) instalatuta daude, eta katioi- eta anioi-trukaketarako erretxinak dituzte, hurrenez hurren. Zutabeen goiko (2) eta beheko aldean (3) balbulak dituzten kolektoreak daude, zutabeetan zeharreko fluxuak goranzko eta beheranzko noranzkoetan kontrolatzeko.

Zutabeetan zehar igarotzen diren likidoak ekipoaren ezkerrean dagoen andean (4) biltzen dira, eta ponparen (5) eta kaudalimetroaren (6) bitartez sartzen dira. Likidoak aukeratzeko, andelaren aurrealdean dagoen hodia (7) altxatu eta mugitu egiten da. Garrantzitsua: ez ditugu andelak erabiliko, ontziak baizik. Ziurtatu ontziak garbi daudela erabili baino lehen.

Zutabeak zeharkatu ondoren, efluenteak beheko tankera doaz, edo analizatzeko bil daitezke, kontrolerako balbulei (8) konektatutako hodiak erabiliz. Ekipoak irteera-lerroan kokatutako zelula bati (10) konektatutako konduktimetro (9) bat dauka, ur desmineralizatua kontrolatzeko.

Irteerako efluentea analizatzeko eroankortasuna neurtuko da. Ioi-en kontzentrazioa eroankortasunarekiko proportzionala denez, eroankortasun normalizatuak erabiliko dira, kontzentrazio normalizatuari dagozkienak ( $\lambda/\lambda_0 = C/C_0$ ).



**O.5.6. irudia.** Ioi-trukaketa egiteko instalazio esperimentalak

Praktika honetan, honako materialak erabiliko dira. Saiakuntza bakarra egingo da, eta irakasleak erabakiko du zein esperimentu egin behar duen talde bakoitzak.

a) Katioi-trukaketa

- Disoluzio erregeneratzailea (HCl, 0,085 M kontzentrazioarekin). Katioi-trukaketarako zutabearen zehar, beheranzko noranzkoan pasaraziko da.
- Ur distilatua, sistema garbitzeko eta disoluzio erregeneratzailearen arrastoak kentzeko.
- Elikadura, NaOH 0,085 M. Katioi-trukatzailean zehar, beheranzko noranzkoan pasaraziko da.

b) Anioi-trukaketa

- Disoluzio erregeneratzailea (NaOH, 0,085 M kontzentrazioarekin). Anioi-trukerako zutabearen zehar, beheranzko noranzkoan pasaraziko da.
- Ur distilatua, sistema garbitzeko eta disoluzio erregeneratzailearen arrastoak kentzeko.
- Elikadura, HCl 0,085 M. Anioi-trukatzailean zehar, beheranzko noranzkoan pasaraziko da.



Konduktimetroaren erabilera:

Konduktimetroa kalibratu, laborategian dauden argibideak jarraituz. Neurketa bat egiteko, sakatu S/cm jartzen duen botoia.

pH-metroaren erabilera:

pH-metroaren zelula sentikorra uretan egon behar da beti. Neurketa bat egiteko, zelula ur distilatutik atera eta neurtu beharreko laginean sartu. Pantailan pH aukera agertu behar da; horretarako, pH jartzen duen botoia sakatu, beharrezkoa bada. Apuntatu pantailan agertzen den balioa.

Oharra: pH jartzen duen argia finko badago, amaitu da pH-metroaren irakurketa (ez du eten-gabe neurtzen). Beste neurri bat egin behar bada, sakatu berriro pH jartzen duen botoia.

### O.5.3.2. *Prozedura esperimental*

Irakasleak erabakiko du zein zutabe (kationikoa edo anionikoa) erabili behar duen talde bakoitzak.

Garrantzitsua: erretxinak ez dira inoiz lehor egon behar; ziurta ezazu ohantzea beti dagoela likidoan murgilduta.

### ERRETXINAREN ERREGENERAZIOA

- a) Ireki beharrezko balbulak (O.5.7. irudia): O.5.7.d) irudikoak zutabe kationikoaren kasuan eta O.5.7.e) irudikoak zutabe anionikoa erregeneratzeko.
- b) Trukatzailea erregeneratu, 0,085 M kontzentrazioa duen disoluzioa pasaraziz. Zutabe kationikoa erregeneratzeko HCl erabiliko da, eta zutabe anionikoaren kasuan, NaOH. 50 ml/min emaria erabili, irteerako efluentearen pH-a (edo eroankortasuna) konstantea eta sarre-rako disoluzioaren berdina izan arte (30 min gutxi gorabehera).
- c) Disoluzio erregeneratzailearen ondoren, pasarazi ur distilatua noranzko berdinean, disoluzio erregeneratzailearen gehiegizkoa eliminatzeko. Garrantzitsua: ur distilatua zutabe zehar pasarazi baino lehen, ponpa garbitu, geratzen diren disoluzio erregeneratzailearen arrastoek uraren ontzia ez kutsatzeko. Horretarako, xurgatzen duen hodian dagoen likido guztia atera eta ontzi batean bildu (errotametroa itxi, ponpa martxan jarri, eta xurgatzen duen hodia likidotik atera). Barruan zegoen likidoa atera ondoren, egiaz-tatu erabilitako disoluzioaren arrastorik ez dagoela; horretarako, ontzi batean dagoen ur distilatua birzirkulatu, eta bere pH-a neurtu. Prozesu hori 4-5 aldiz errepikatu, pH-aren balio konstantea lortu arte (4,5 inguru HCl erabili denean, eta 9,5 inguru NaOH-aren kasuan).
- d) Ponpa garbitu ondoren, ur distilatua elikatu, 50 ml/min emariarekin. Sistema ur distilatuz garbitu, irteerako pH-a ponpa garbitzean lortutakoaren antzekoa izan arte (30 minutu inguru).

### IOI-TRUKAKETA

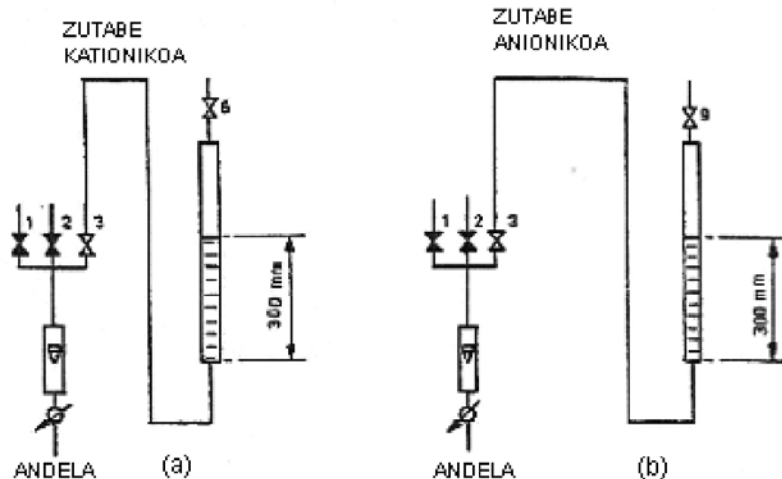
- a) Ireki beharrezko balbulak: O.5.7.d) irudikoak zutabe kationikoaren kasuan, eta O.5.7.e) irudikoak zutabe anionikoa erregeneratzeko (aurreko berdina dira).

- b) Haustura-kurba irudikatzeko datuak lortuko dira orain. Horretarako, NaOH elikatuko da katioi-trukaketa egiteko, eta HCl anioi-trukaketa egiteko, 40 ml/min emariarekin (disoluzioen kontzentrazioa 0,085 M da). Disoluzioa elikatzen hasten denean, zero denbora hartu eta efluentearen eroankortasuna (eta pH-a) 30 segundoro neurtu, sarrerako disoluzioaren eroankortasuna ( $\lambda$ ) lortu arte.

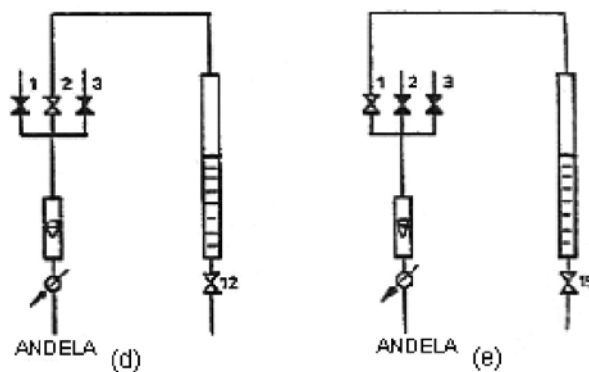
### **Emaitzak**

- a) Irudikatu sistemaren fluxu-diagrama (blokeak erabiliz) eta azaldu zer gertatzen den zutabearen (erreakzioak). Azaldu zergatik aldatzen diren eroankortasuna eta pH-a erretxina agortzen denean. Azaldu zertarako egiten den erregenerazio-prozesua, eta fase horretan gertatzen dena.
- b) Irudikatu eroankortasun-balioen zatidura elikatutako bolumenaren aurka, eta, hala, lortu sistemaren haustura-kurba. Irudi honetaz baliatuz, eta erabilitako emaria ezaguna denez, kalkulatu sistemaren haustura-denbora. Haustura-denbora da zutabetik ateratzen den efluentear haustura-kontzentrazioa lortzeko (sarrerako kontzentrazioaren % 20) behar duen denbora.
- c) Haustura-kurba erabiliz eta zenbakizko integrazioaren bidez, kalkulatu esperimentuan erabilitako erretxinaren ahalmena ((O.5.2) ekuazioa), haustura-puntuan atxikitako solutu kantitatea ((O.5.4) ekuazioa), haustura-puntura arte erabilitako ohantzearen frakzioa ((O.5.3) ekuazioa) eta ez erabilitako ohantzearen luzera ((O.5.5) ekuazioa). Alderatu lortutako erretxinaren ahalmenaren balioa eta bibliografian agertzen diren ohiko balioak.

GARBIKETA KONTRAKORRONTAN

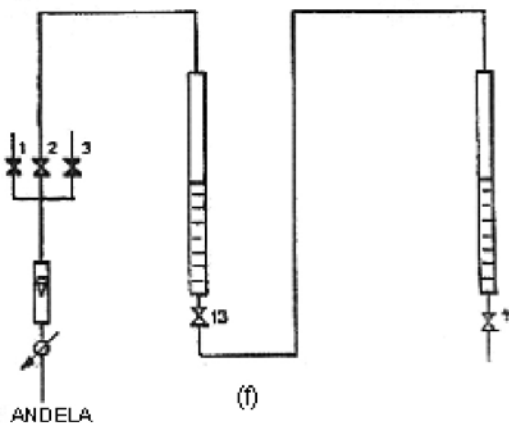


ERREGENERAZIOA



DESMINERALIZAZIOA

- BALBULAK
- ⊥ IREKITA
- ≡ ITXITA
- ⊕ EMARI-NEURGAILUA
- ⊗ KONTROL-BALBULA



**O.5.7. irudia.** Balbulen posizioa etapa ezberdinetan. a) Erretxina kationikoaren garbiketa kontrakorrontean. b) Erretxina anionikoaren garbiketa kontrakorrontean. d) Erregenerazio kationikoa. e) Erregenerazio anionikoa. f) Desmineralizazioa

**UNIBERTSITATEKO ESKULIBURUAK**  
**MANUALES UNIVERSITARIOS**

**INFORMAZIOA ETA ESKARIAK • INFORMACIÓN Y PEDIDOS**

UPV/EHUko Argitalpen Zerbitzua • Servicio Editorial de la UPV/EHU  
argialetxea@ehu.eus • editorial@ehu.eus  
1397 Posta Kutxatila - 48080 Bilbo • Apartado 1397 - 48080 Bilbao  
Tfn.: 94 601 2227 • [www.ehu.eus/argitalpenak](http://www.ehu.eus/argitalpenak)

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea