



11. GAIA

KANPO-JARIOA. JARIAGAIEN JARIOAN OINARRITUTAKO BEREIZTE-ERAGIKETAK

GAI HAU IKASTEAN GAITASUN HAUEK LORTU BEHARKO DITUZU:

1. Ohantzeen porositatea kalkulatzeko.
2. Partikulen muga-abiadura kalkulatzeko.
3. Ohantze fluidizatuen eragiketa ulertzeko.
4. Bereizketa hidraulikoa eragiketa diseinatzea.
5. Iragazketa eragiketa ulertzeko.
6. Jalkiera eta loditze eragiketak ulertzeko.

6. gaian hodian barruko jariagaien garraioa aztertu da, energiaren iraupenaren ikuspuntutik. Hala ere, ingeniari kimikoan, hainbat ekipotan jariagaia solidoa inguratuz jariatzen da. Jario mota horri **kanpo-jario** deritzo, eta gai honetan fenomeno eta fenomenoan oinarritutako bereizte-eragiketak azalduko dira. Adibidez, absortzioa gauzatzeko dorre beteek, ohantze finkoko errektoreek edo ohantze fluidizatuko errektoreek kanpo-jarioa daukate, jariagaia solidoa inguratuz jariatzen delako.

Kanpo-jarioan oinarritutako bereizte-eragiketak aplikazio zabala daukate industria kimikoan, iragazketa, jalkipena eta bereizketa hidraulikoa lekuko. Eragiketa horietan, grabitatearen indarrak eta flotazio-indarrez gainera, jariagaiaren eta solidoaren arteko marruskadura- eta inertzia-indarrek eragiten dute, eta ekipoen diseinua egiteko orduan berebiziko garrantzia daukate.

11.1 GAINAZAL SOLIDOAREN ETA JARIAGAIAREN ARTEKO MARRUSKADURA

Jariagai bat gainazal solido baten inguruan mugitzen bada, jariagaiari energia-galera eragiten dion marruskadura-indarra dago. 6. gaian azaldu da jariagaiaren likatasuna dela marruskadura sortzen duen faktorea. Esperimentalki behatzen denez, solidoaren eta jariagaiaren artean marruskadura-indar hau sortzen da:

$$F = -f_D \cdot A \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (11.1)$$

ρ jariagaiaren dentsitatea, v jariagaiaren eta solidoaren arteko abiadura erlatiboa —muga-geruzatik at—, A solidoaren eta jariagaiaren arteko topatze-azalera (aurrez aurrekoa) eta f_D marruskadura-zenbakia izanik. Ekuazioaren zeinu negatiboak adierazten du marruskadura-indarra eta jarioaren norabidea aurkakoak direla. A topatze-azalera solidoaren geometriaren arabera da. Jarioaren norabidean zorrozkak diren solidoek A txikia daukate (forma aerodinamikoak daukatela esaten da), eta kamutsak diren solidoek, berriz, A handia dutenez, marruskadura handiagoa sortzen diote jarioari.

Kanpo-jarioan Reynolds zenbakia partikula solidoaren diametro baliokidearekiko (d_p) definitzen da:

$$\text{Re}_p = \frac{d_p \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (11.2)$$

f_D marruskadura-zenbakia dimentsiogabea da, eta solidoaren formaren arabera da:

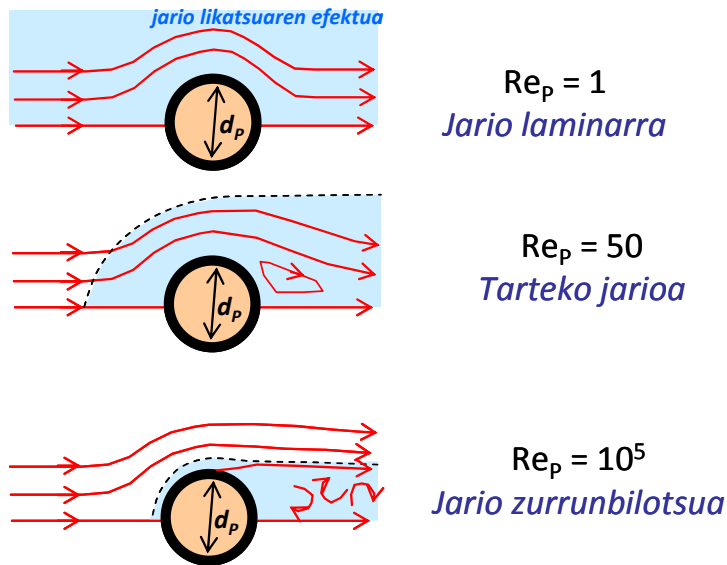
$$f_D = f(\text{Re}_p, \text{solidoaren geometria})$$

11.1 irudian, zilindroaren inguruko jarioan muga-geruza fluidodinamikoak duen eboluzioa agertzen da (zilindroaren goialdean gertatzen dena adierazten da soilik, ardatzetik ikusia, behekoa simetrikoa baita).

Re_p baxua denean, jarioa guztiz laminarra da, eta jario likatsuaren efektua eremu ilundu guztian agertzen da. Re_p handitu ahala, jario likatsuaren eremua txikitu egiten da. Zilindroaren atzealdean zurrunbiloak sortzen hasten dira. Re_p gehiago handitzean, jariagaiak daraman inertziagatik muga-geruzak ez dauka gainazal solidora itsatsita mantentzeko gaitasunik, eta bereizten hasten da. Jario likatsuaren eremua izugarri murrizten da, eta eremu horretan lorratzak sortzen dira.

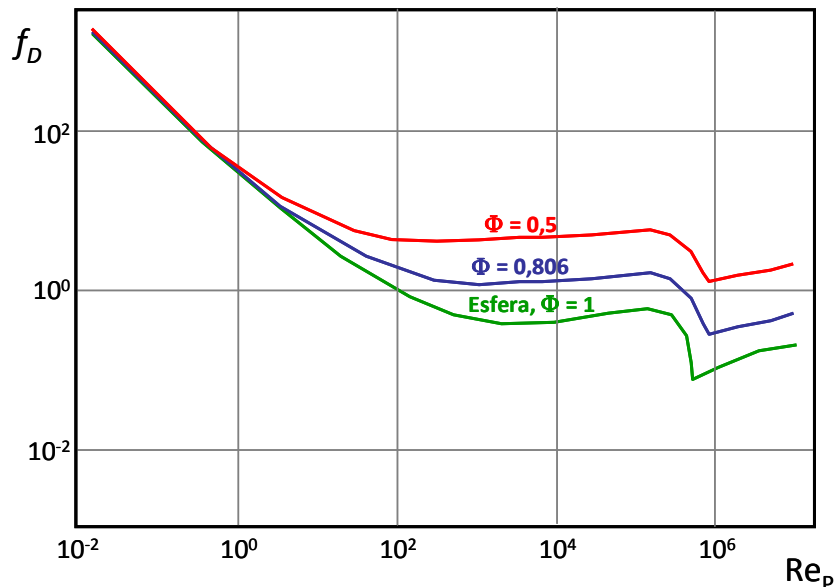
11.2 irudian, esferentzako f_D marruskadura-zenbakiaren eta Re_p -ren arteko erlazioa azaltzen da. Irudian ikusten denez, jario laminarra denean ($Re_p < 1$), Re_p handitu ahala marruskadura-zenbakia izugarri txikitzen da. Tarte horretan, Stokes-en erlazioa betetzen da:

$$f_D = \frac{24}{Re_p} \tag{11.3}$$



11.1 irudia. Zilindroa zeharkatzen duen jarioak Re_p -ren arabera duen eboluzioa (ilundutako azalera jario likatsuaeren efektua nabaritzen da).

Re_p handitzean, marruskadura-zenbakiaren txikitzea moteldu egiten da, eta 10^3 - 10^5 tartean ia balio konstantea hartzen du. $Re_p \approx 5 \cdot 10^5$ inguruan, bat-batean txikitu egiten da muga-geruza zurrunbilotsua bihurtzen denean, baina Re_p handitzean berriro handitu egiten da.

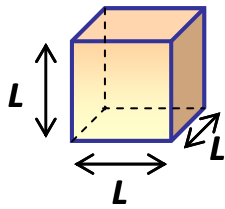


11.2 irudia. Partikulen marruskadura-zenbakiaren eboluzioa Re_p -ren eta esferikotasunaren arabera.

Ohantzeetako edo dorre beteetako partikulak ez dira esfera perfektuak, ordea. Partikulen geometria karakterizatzeko, **esferikotasuna** (Φ) erabiltzen da. Hala, marruskadura-zenbakia

vs Re_p grafikoak esferikotasunaren arabera eman daitezke. Definizioz, partikularen bolumen bereko esferak izango lukeen azaleraren eta partikularen benetako azaleraren arteko erlazioa —irudizko esferaren diametro baliokidea d_{BAL} — erabiliko da Re_p -ren kalkuluan.

Agerian dagoen bezala, esferaren esferikotasuna 1 da.



$$Bolumena = V = L^3$$

$$V_{Esfera} = L^3 = \frac{\pi}{6} (d_{BAL})^3$$

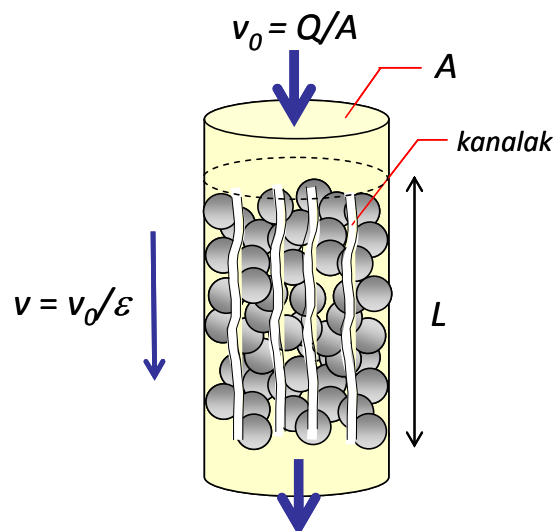
$$d_{BAL} = L \cdot \sqrt[3]{\frac{6}{\pi}} = 1,241 \cdot L$$

$$\Phi = \frac{4\pi \left(\frac{d_{BAL}}{2}\right)^2}{6 \cdot L^2} = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6}} = 0,806$$

L aldeko kuboaren esferikotasuna eta diametro baliokidea $\Phi = 0,806$ eta $d_{BAL} = 1,241 \cdot L$ dira, hurrenez hurren.

11.2 OHANTZE POROTSUEN BARNEKO JARIOA: GAINAZAL SOLIDOAREN ETA JARIAGAIAREN ARTEKO MARRUSKADURA

Sarri erabiltzen dira partikula solidoz betetako ohantzeak edo dorre beteak ingeniaritza kimikoko hainbat eragiketatan, erreakzio katalitikoak, absortzioak, lixibazioak, iragazketak eta abar egiteko. Sistema horietan partikula solidoek osatzen duten ohantze produna zeharkatzen du jariagaiak, eta, marruskaduraz, energia galtzen du.



11.3 irudia. Ohantze produn finkoaren barneko jariagaiaren jarioa aztertzeko Kozeny-ren hurbilketa. Q (jariagaiaren emari bolumetrikoa), A (hodiaren sekzioa), L (ohantzearen altuera), ϵ (ohantzearen porositatea), v_0 (ohantzerik gabe jariagaiak izango lukeen abiadura), v (ohantzean zehar jariagaiaren abiadura).

Ohantze produnen ezaugarri nagusia hustasuna edo **porositatea** eta **solidoen frakzioa** dira (ϵ eta $1 - \epsilon$, hurrenez hurren):

$$\epsilon = \frac{\text{bolumen hutsa}}{\text{ohantzearen bolumena}}$$

$$1 - \varepsilon = \frac{\text{solidoen bolumena}}{\text{ohantzearen bolumena}}$$

Ohantze produna zeharkatzean jariagaiak marruskaduragatik jasaten duen energia-galeraren azterketa teorikoa egiteko, Kozeny-ren hurbilketa erabiliko da. Hurbilketa horren arabera, ohantze produnaren barneko jariagaiaren jarioa kanal bihurtunetsu paraleloetan gertatzen da, eta barne-jarioan aplikatutako ekuazioak jariagaiaren karga-galera kalkulatzeko erabil daitezke.

$Re_p < 1$ denean (jario laminarra), Kozeny-ren ekuazioa erabil daiteke:

$$\frac{\Delta P}{L} = \mu \left[\frac{150(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3 \cdot d_p^2} \right] \cdot \frac{Q}{A} \quad (11.4)$$

$Re_p > 10^3$ denean (jario zurrumbilotsua), Carman-en ekuazioa erabil daiteke:

$$\frac{\Delta P}{L} = \left[\frac{1,75 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho}{\varepsilon^3 \cdot d_p} \right] \cdot \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad (11.5)$$

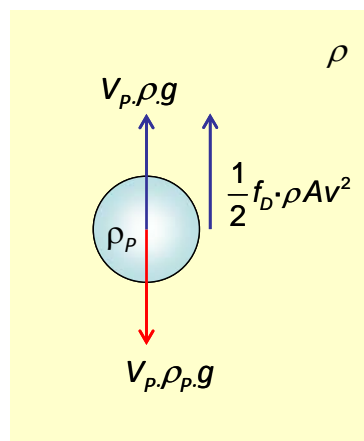
Ergun-en ekuazioa tarte guztietarako erabiltzen da:

$$\frac{\Delta P}{L} = \mu \left[\frac{150(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3 \cdot d_p^2} \right] \cdot \frac{Q}{A} + \left[\frac{1,75 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho}{\varepsilon^3 \cdot d_p} \right] \cdot \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad (11.6)$$

Agerian geratzen denez, jario laminarrean, ΔP abiadurarekiko proportzionala da, eta jario zurrumbilotsuan, berriz, v^2 -rekiko proportzionala da, barne-jarioan gertatzen den bezala (ikus 6.33 eta 6.34 ekuazioak).

11.3 PARTIKULEN MUGA-ABIADURA JARIAGAIETAN

Demagun m masako, ρ_p dentsitateko, V_p bolumeneko eta d diametroko partikula esferikoa ρ dentsitateko jariagai batean grabitatearen eraginaz erortzen dela (11.4 irudia). Partikulari indar hauek eragiten diote: partikularen pisua, Arkimedesen bultzada-indarra eta mugimenduari jariagaiak jartzen dion marruskadura. Partikula esferikoa bada, partikularen masa $V_p \cdot \rho_p$ da.



11.4 irudia. Partikularen mugimendua jariagaiaren muinean.

Newton-en bigarren legearen arabera, partikularen gain eragiten duten indarren erresultanteak mugimendu kantitatearen aldaketa eragiten du $\left(\sum F = \frac{d}{dt}(m \cdot v) \right)$. Hasiera

batean, indarren erresultantea nulua ez denez, gero eta abiadura handiagoa hartzen du, baina, horren ondorioz, marruskadura-indarra ere handiagoa da (abiaduraren karratuarekiko aldatzen baita). Indarren erresultantea zero den unetik aurrera, abiadura konstantea izango du. Abiadura horri **muga-abiadura** deritzo, eta bereizketa-ekipo gehienetan egoera ez-geldikorreko tartea oso laburra izaten denez, abiadura horrekin erortzen direla onar daiteke. Abiadura hori da, adibidez, hegazkinetik jauzi egin eta denbora gutxira paraxutistek hartzen dutena.

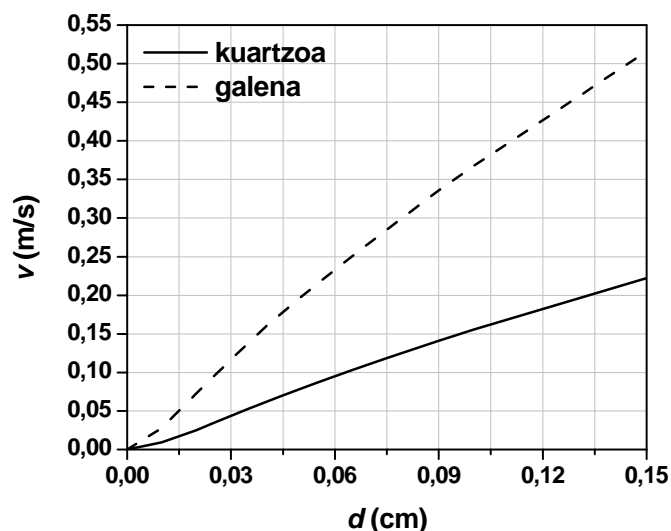
Egoera geldikorrean, beraz, $0 = (\rho_p - \rho) \cdot V_p \cdot g - \frac{1}{2} f_D \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$ da. Eta, hortik, partikularen muga-abiadura (v_∞) lor daiteke:

$$v_\infty = \sqrt{\frac{2g(\rho_p - \rho)V_p}{f_D \rho A}} \quad (11.7)$$

Partikula esferikoen kasuan, marruskaduran agertzen den azalera (partikularen topatze azalera) $A = (\pi/4) \cdot d^2$ da, eta partikularen bolumena $V_p = (1/6) \cdot \pi d^3$ denez, $V_p/A = (2/3) \cdot d$ da. Ekuazioan ordezkatzeko bada, adierazpen hau lortzen da muga-abiadura kalkulatzeko:

$$v_\infty = \sqrt{\frac{4g(\rho_p - \rho)d}{3f_D \rho}} \quad (11.8)$$

Jariagai batean libreki erortzen ari den partikula baten muga-abiadura partikularen dentsitatearen eta partikularen diametroaren arabera da: zenbat eta handiagoak izan biak, orduan eta azkarrago erortzen da. 11.5 irudian, galenaren eta kuartzoaren muga-abiaduraren kurbak adierazten dira partikulen tamainaren arabera.



11.5 irudia. Galenaren eta kuartzoaren muga-abiadura partikula-diametroaren funtzioan.

Orain arte aipatutako ekuazioek libreki erortzen den partikularen muga-abiadura kalkulatzeko balio dute, hau da, **jalkiera libre** edo idealerako; hala ere, kasu gehienetan, partikula multzo handia egoten denez, batera erortzen ari diren partikulen artean elkarreragina dago, erortzea edo jalkitzea oztopatzen baitute. Partikula astunak arinak baino azkarrago jalkitzen direnez, partikula arinak desplazatu egiten dira partikula astunen

beherazko mugimenduan. Jalkitze mota hori **jalkiera oztopatua** da. Beraz, arestian lortutako ekuazioak aplikagarriak izan daitezken, zuzenketa egin behar da, benetako jalkiera-abiadura horrela kalkulaturakoa baino txikiagoa izaten baita.

Jariagaiz eta solidoz osatutako nahastearen likatasun eta dentsitate eraginkorrak (biak porositatearen araberakoak) erabiltzen badira, jalkiera oztopatua eta jalkiera librean kalkulaturako muga-abiadurak erlaziona daitezke:

$$v = v_{\infty} \cdot \varepsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\varepsilon)} \quad (11.9)$$

11.4 OHANTZE FLUIDIZATUEN BARNEKO JARIOA

Ohantze produnak finkoak edo fluidizatuak izan daitezke. Lehenengoetan, partikula solidoak finko daude; ohantze fluidizatua, berriz, jariagaiak solidoak arrastatzen ditu. Horrelako ekipoetan jariagaia behealdetik elikatzen da, ohantzeko partikulak gorantz arrastatu ditzan. Horrelako ekipoak erreakzio katalitikoak egiteko erabiltzen dira; izan ere, jariagaiaren eta katalizatzaile-partikulen arteko ukipen egokia gertatzen denez, temperatura hobeto kontrola daiteke.

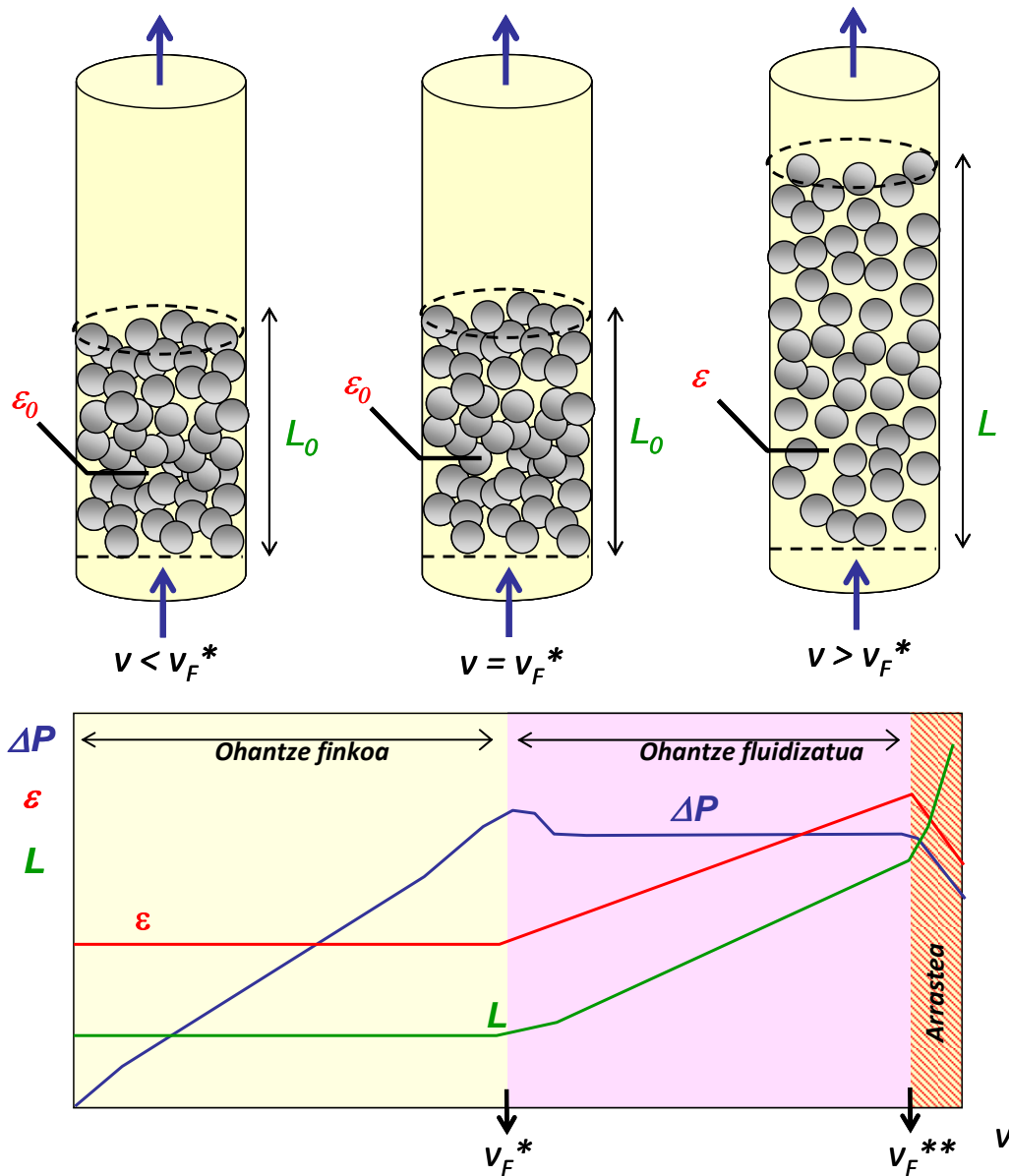
11.6 irudian, jariagaiaren abiadura oso handia ez bada, ezin izango ditu partikula solidoak arrastatu, eta ohantzea finko mantenduko da, presio-galera proportzionalki handituko da (jario laminarra delako) eta porositatea eta ohantzearen luzera konstante mantenduko dira. Partikulen muga-abiadura berdintzen den abiaduraz elikatzean (v_F^* , **fluidizaziorako abiadura minimoa**), partikulak arrastatzen hasiko da jariagaia, eta ohantze fluidizatua izeneko portaera hasiko da. Abiadura handitzen bada, ΔP ia ez da handituko, baina porositatea eta altuera proportzionalki handituko dira. Elikadura-abiadura oso handia bada, partikulak ohantzetik kanpora arrastatzeko arriskua dagoenez, saihestu beharreko egoera da. Fluidizaziorako abiadura minimoa (v_F^*) eta maximoa (v_F^{**}) kalkulatzeko Ergun-en ekuazioko adierazpena erabiliko da.

$$v_F^*: \quad g(\rho_p - \rho) = \frac{1,75 \cdot \rho \cdot (v_F^*)^2}{d_p \cdot \varepsilon^3} + \frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon) \cdot v_F^*}{d_p^2 \cdot \varepsilon^3} \quad (11.10)$$

$$v_F^{**}: \quad \text{Re}_p < 1 \quad v_F^{**} = \frac{g \cdot (\rho_p - \rho) \cdot d_p^2}{18 \cdot \mu} \quad (11.11a)$$

$$1 < \text{Re}_p < 500 \quad v_F^{**} = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho) \cdot d_p}{3 \cdot \rho \cdot f_D}} \quad \therefore f_D = \frac{18}{\text{Re}_p^{3/5}} \quad (11.11b)$$

$$\text{Re}_p > 500 \quad v_F^{**} = \sqrt{\frac{3 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho) \cdot d_p}{\rho}} \quad (11.11b)$$



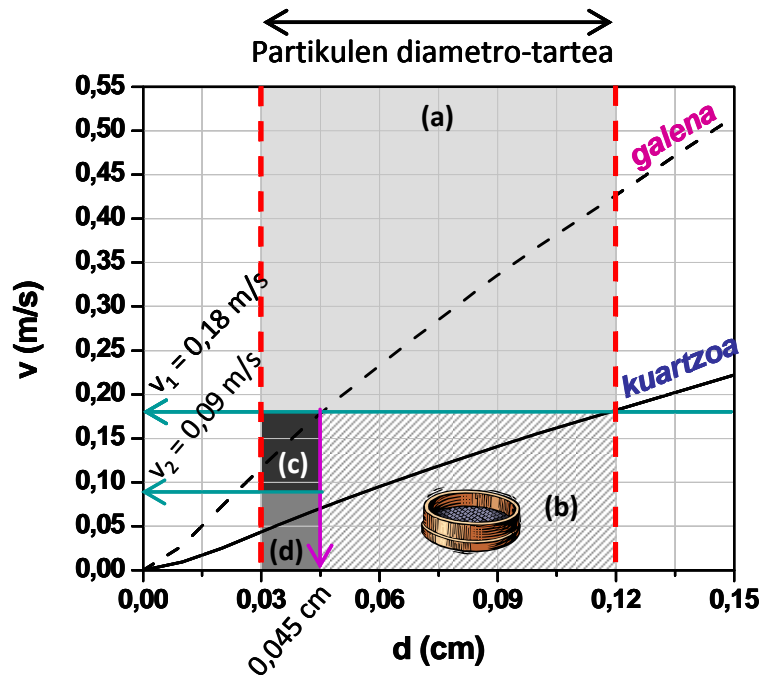
11.6 irudia. Ohantze fluidizatuaren porositatea, ohantzearen altuera eta jariagaiak jasaten duen presio-galera jariagaiaren abiaduraren funtzioan.

11.5 JARIAGAIEN JARIOAN OINARRITUTAKO BEREIZTE-ERAGIKETAK

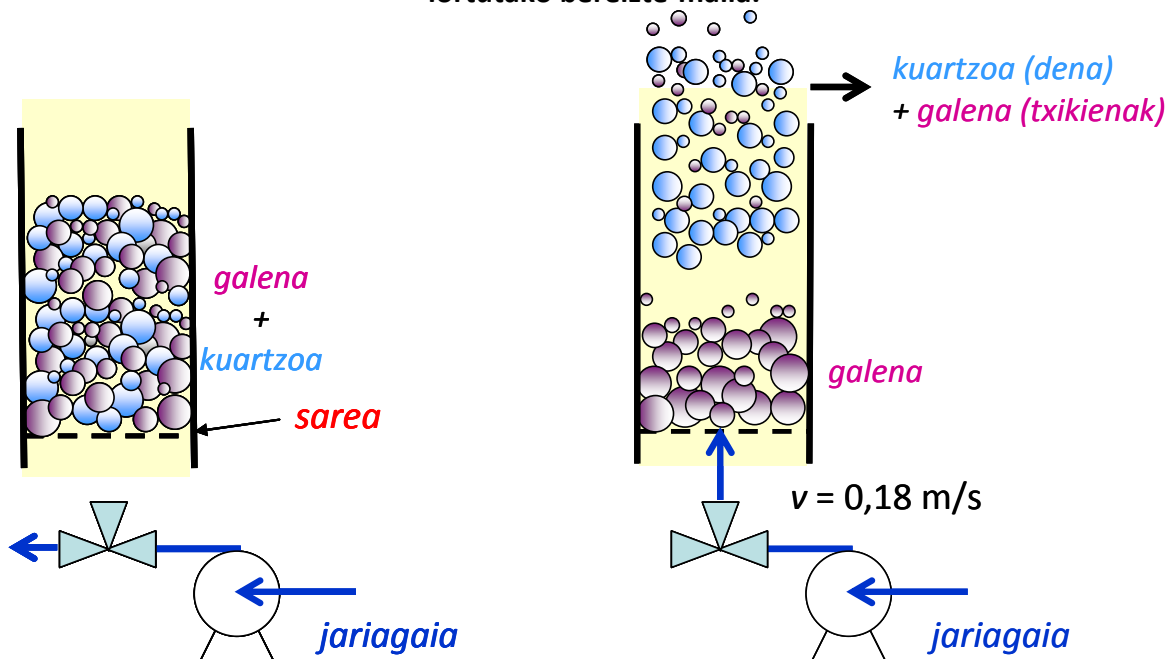
Jariagaiak eta solidoek osatutako nahaste heterogeneoak bereizteko, hainbat eragiketa erabiltzen da industria kimikoan, zein baino zein garrantzi handiagokoa. Besteak beste, bereizketa hidraulikoa, jalkipena eta iragazketa aipa daitezke.

11.5.1 Bereizketa hidraulikoa

Dentsitate desberdineko partikula solidoak bereizteko erabiltzen da; adibidez, meategietan. Jariagai bat ekipoaren beheadetik elikatzen da abiadura jakin batekin, bi solidoak bata bestetik bereizteko, muga-abiadura desberdina baitute.



11.7 irudia. Galenaren eta kuartzoaren muga-abiadurak, eta bereizte hidraulikoan lortutako bereizte-maila.



11.8 irudia. Galenaren eta kuartzoaren nahastea bereizketa hidraulikoz banatzeko sistema.

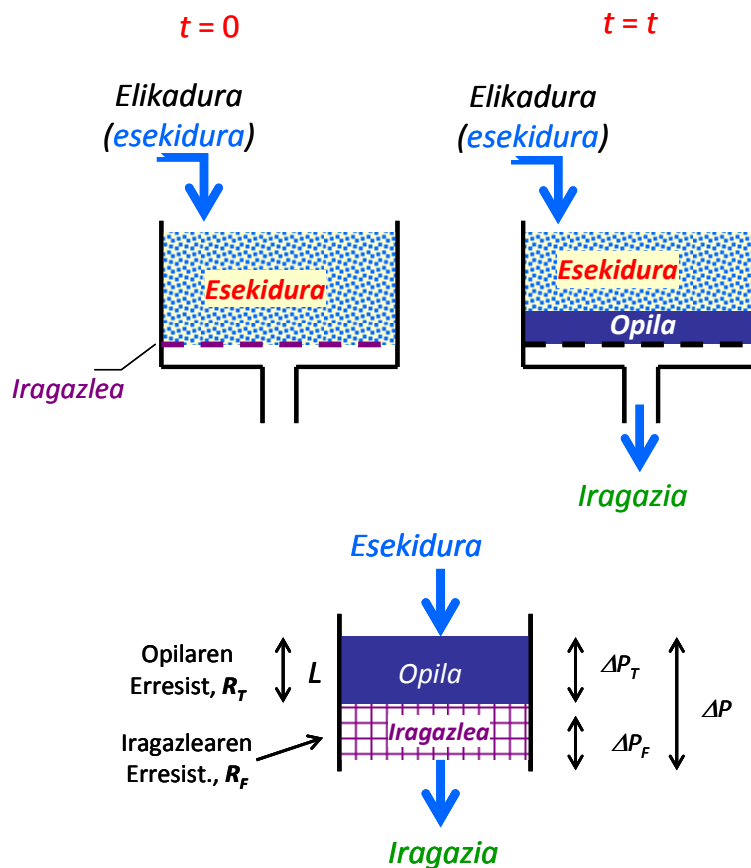
Demagun dentsitate desberdineko partikula sorta bat bereizi egin behar dela (galena eta kuartzoa). Materialen dentsitateak $\rho_{\text{GALENA}} (7.500 \text{ kg/m}^3) > \rho_{\text{KUARTZOA}} (2.650 \text{ kg/m}^3)$ dira, eta bi materialen partikulak $d^* \leq d \leq d^*$ muturreko diametroen tartekoak dira ($0,0003 \leq d \leq 0,0012 \text{ m}$). 11.7 irudian, bi materialen muga-abiadurak irudikatu dira.

Nahastea 11.8 irudian agertzen den ekipoa sartu eta jariagaia (ura, adibidez) zirkularazten da behetik gora, $v_1 = 0,18 \text{ m/s}$ -ko abiaduraz. 11.7 irudian ikusten den bezala, $0,00045 < d < 0,0012 \text{ m}$ tarteko galena partikula guztien muga-abiadura $0,18 \text{ m/s}$ baino handiagoa den bezala, partikula horiek (galena soilik) ohanzearen azpian geldituko dira ((a) eremua); beste

partikula guztiak [0,0003-0,00045 m tarteko galena-partikulak eta 0,0003-0,0012 m tarteko kuartzo-partikulak] ekipoa gora arrastatzen ditu urak, eta aldamenetik kanporatzen dira. Zatiki hori 0,00045 m-ko diametroko bahe batekin bereizten bada, alde batetik, 0,00045-0,0012 m tarteko kuartzoa lortzen da ((b) eremua), eta, bestetik, 0,0003-0,00045 m tartean kuartzoaren eta galenaren nahastea lortzen da. Prozedura berari jarraitzen bazaio abiadura ($v_2 = 0,09$ m/s) erabiliz, bi konposatuak erabat bereiztea lor daiteke ((c) eta (d) eremuak).

11.5.2 Iragazketa

Iragazketaz, likidoan esekita dauden solidoak inguru iragazle batetik pasaraztean bereizten dira. Ohantzeko partikulen artean eta inguru iragazlearekin dauden indarren ondorioz, partikulak euskarri fisikoan atxikita geratuko dira, eta ohantzearen irteeran jariagai garbia lortuko da. Jariagaiak ohantzea zeharkatzeko energia mekanikoa behar du, ohantzeak sortzen duen marruskadura gainditu ahal izateko. Sarreraren eta inguru iragazlearen irteeraren arteko presio-diferentzia edo indar zentrifugoa izan daitezke horren eragile. Hemen, presio-diferentzian oinarritutako iragazketa-eragiketak azalduko dira.



11.9 irudia. Iragazketa. Iragazleak eta opilak jartzen duten erresistentzia eta marruskadurak eragindako energia-galerak.

Azken horien artean, hutsezko iragazketa eta presiopeko iragazketa daude. Lehenek iragazlearen irteeran huts-ponpa batekin hutsa egiten dute, eta azkenek, berriz, esekidura presio handian elikatzen dute ponpen bidez.

Esekidura elikatzen hastean, jariagaiak iragazlearen erresistentzia (R_F) bakarrik gainditu behar du, eta ΔP_F presio-erorketa sortzen dio. Baina partikula solidoak iragazlean atxikitzen diren une berean, opila sortzen doa, eta horrek erresistentzia gehigarria sortzen du (R_T). Iragazketa egin ahala, opila eta opilak eskaintzen duen erresistentzia hazi egiten dira, nahiz

eta R_F konstantea den. Horregatik, iragazketa-denborak aurrera egitean, opilak eta iragazleak sortzen duten presio-erorketa ($\Delta P = \Delta P_F + \Delta P_T$) handituz doa.

Iragazketa elkarren kontrako bi modutan egin daiteke:

-presio konstantepean: esekiduraren sarrerako presioaren eta iragazlearen irteerako presioaren arteko diferentzia konstante mantentzen da eragiketan. Horregatik, indar eragilea konstante mantendu baina presio-erorketa handitu egiten denez, denboran aurrera egin ahala, iragaziaren emaria gutxituz doa.

-emari konstantepean: eragiketa jarraituak egitean iragaziaren emari konstantea lortu nahi izaten da. Hori horrela izan dadin, eragiketan indar eragilea handitu behar da.

Hau da presio konstantean diharduen iragazle baten diseinu-ekuazioa:

$$\left(\frac{dV}{dt}\right) = \frac{w \cdot \mu \cdot \alpha}{\Delta P \cdot (V_f + V_e)} \cdot \frac{1}{A^2} \quad (11.12)$$

A iragazlearen azalera, V_f iragazi-bolumena, V_e iragaziaren bolumen baliokidea (iragazleak adinako erresistentzia egiten duen opilaren lodiera lortzeko iragazi-bolumena), α opilaren erresistentzia espezifiko eta w opilean gelditzen den solido-masa iragazitako bolumen unitateko izanik.

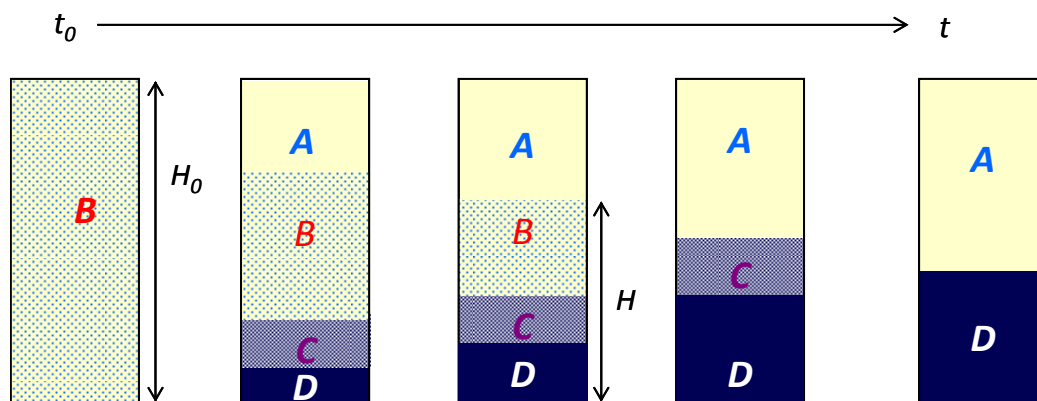
Opila konprimagarria bada, erresistentzia aldakorra izango du. Oro har, adierazpen honen arabera da:

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \Delta P^n \quad (11.13)$$

Partikula zurrunarentzako $n = 0$ izanik.

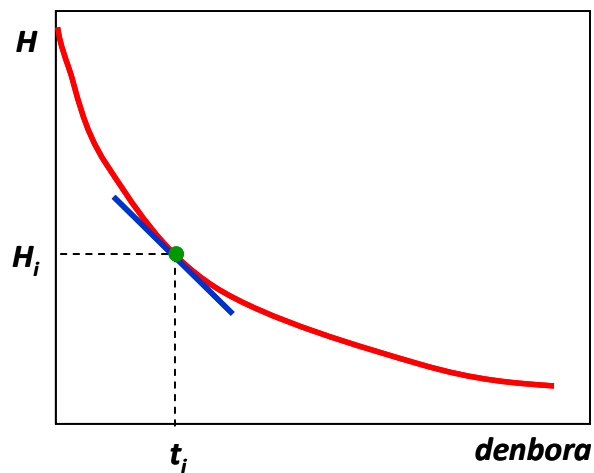
11.5.3 Jalkiera eta loditzea

Esekidura bat bereizteko erabiltzen den eragiketa da. Geldikor dagoen esekidura bateko partikula solidoak jariagaian erortzen dira (jalkitzea), eta goialdean likido garbiko eremua eta behealdean solido kontzentratuko eremua sortzen dira. Esekidura baten jalkiera-prozesua azaltzen da 11.10 irudian. Hasieran, partikula guztiek jalkiera librea daukate: (B) eremua. Haren gainean likido garbiaren eremua (A) agertzen da. Denborak aurrera egin ahala, H modu konstantean txikitzen da, eta (D) eremu berri bat sortzen da, jalkitako partikulez osatua. Era berean, (B) eta (D) eremuen artean trantsizio-eremu bat (C) sortzen da. Aurrerago, (B) eta (C) eremuak desagertuz doaz, eta (D) eremuaren konpresioa hasten deneko uneari denbora kritiko deritzo.

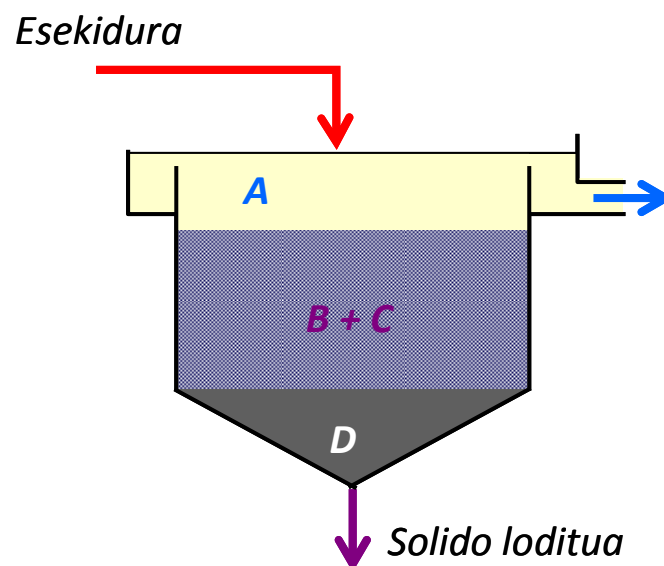


11.10 irudia. Esekidura baten jalkiera denboran zehar.

Sarri, solidoen artean elkarrekintzak gertatzen dira, eta partikulak oso txikiak badira, jalkiera oztopatu egiten da. Horrelako kasuetan, jalkiera laguntzeko partikulen malutapena eragiten da, eta partikulen koloide handiagoak lortzen dira (adibidez, FeCl_3 malutazailea gehitzen zaio esekidurari).



11.11 irudia. Jalkipen-zinetikaren lorpena. t_i denboran H_i denean. Une horretako jalkipen-abiadura kurbaren ukitzailearen malda da.



11.12 irudia. Jalkiera-lodigailua.

Ekipo horien diseinua egiteko orduan, ezinbestekoa da 11.10 irudiko zinetika jakitea, elika daitezkeen emariak eta ekipoaren dimentsioak kalkulatzeko. 11.12 irudian agertzen den ekipoaren diseinua egiteko, probetan egindako saiakuntzarekin jalkipenaren zinetika lortu behar da (11.11 irudia).