



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

VI. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2025eko maiatzaren 28, 29 eta 30a
Bilbo, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 4.0

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Iturri ohandzeetako partikulen
jarraipenerako sistema optiko
baten garapena eta balioztatzea**

*Maidier Bolaños, Alvaro Cano,
Aimar Martín, Mikel Tellabide,
Miriam Arabiourrutia,
Haritz Altzibar eta Martin Olazar*

251-258 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.vi.03.31>

ANTOLATZAILEA



BABESLEAK



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO



LAGUNTZAILEAK



Iturri ohantzeetako partikulen jarraipenerako sistema optiko baten garapena eta balioztatzea

Maidier Bolaños, Alvaro Cano*, Aimar Martín, Mikel Tellabide, Miriam Arabiourrutia, Haritz Altzibar, Martín Olazar

Ingeniaritza Kimikoko Saila, Zientzia eta Teknologia fakultatea, Euskal Herriko Unibertsitatea

**alvaro.cano@ehu.eus*

Laburpena

Iturri ohantzea prozesu termokimikoetan erabiltzen den teknologia da, eta ohantze fluidizatu teknologiarekin alderatuz, tamaina eta propietate desberdinak dituzten partikulekin lan egiteko bereziki aproposa da. Gainera, teknologia horretan ematen den gas-solido kontaktu handia dela eta, materia- zein bero-transferentzia abiadura altuak lortzen dira. Hala ere, iturri ohantzearen garapen eta industria ezarpen zuzena burutzeko, beharrezkoa da sistemaren portaera hidrodinamikoa ulertzea. Hori dela eta, lan honen helburu nagusia gune diluituetako partikulak jarraitzeko xedea duen algoritmoa garatzea eta balioztatzea da. Horren bidez, partikulek iturrian burutzen duten hiru dimentsiodun desplazamendua eta abiadura aztertu dira. Hori burutzeko, bi kameraz osatutako sistema optiko bat egokitu da, errektorearen barruan hainbat posiziotan aldiuneko neurketa ahalbidetzen duena.

Hitz gakoak: Iturri ohantze konikoa, estereo PTV, hidrodinamika, partikulen desplazamendua, aldiuneko abiadura.

Abstract

Spouted bed technology is a gas-solid contact method particularly suitable for different thermochemical applications, as it allows handling particles of different sizes and properties. Furthermore, this technology allows great heat and mass transfer rates due to the high gas-solid contact. However, the scaling up of the spouted beds have some limitations that must be addressed by analysing their hydrodynamics, which allows a better understanding of the spouting behaviour. Therefore, the main aim of this study is to develop and validate an algorithm designed for tracking particles in the dilute region of the spouted bed. Accordingly, the three-dimensional displacement and velocity of the particles within the fountain have been analysed. To achieve this, an optical system consisting of two cameras has been installed to track particles and calculate particle velocity at several positions within the contactor.

Keywords: Conical spouted bed, stereo PTV, hydrodynamics, preferential path, particle velocity.

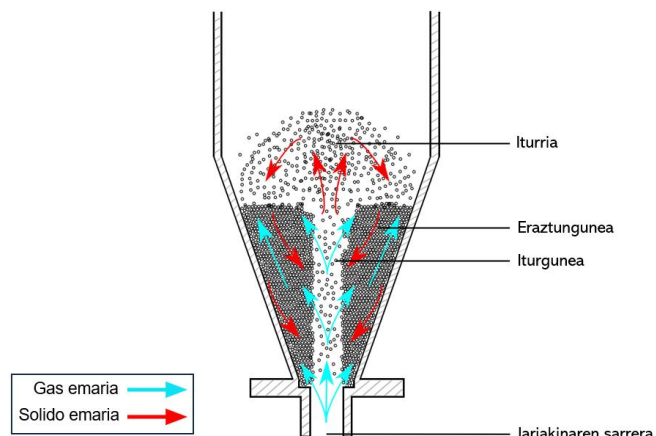
1. Sarrera eta motibazioa

Garia lehortzeko teknologia berritzaile gisa aurkeztuz, iturri ohantzearen kontzeptua 1954. urtean Gishler eta Mathur ikerlariak (Mathur et al., 1955) aipatu zuten lehen aldiz Kanadako Ikerketa Nazio-Kontseiluan. Teknologia horrek ohantzean zeharreko gas emariaren banaketa uniforme ahalbidetzen du eta beraz, ohiko gari-lehorgailuetan baino aire beroagoa elikatzea baimentzen du aleek inolako kalterik jasan gabe. Teknika horrek garia lehortzea baino aplikazio gehiago izan zitzaizkela ikusita, gas-solido kontaktu mota horren azterketa hidrodinamikoari garrantzi berezia jarri zitzaion. Izan ere, 1962. urtean lehenengo iturri ohantze komertzialak finkatu ziren Kanadan ilarrak, dilistak eta lihoa lehortzeko.

Iturri ohantzea jariakina eta solido partikulak kontaktuan jartzea ahalbidetzen duen gas-solido ukipen metodoa da. Gasaren presioak ohantzeak sortzen duen presioa gainditzen duenean, gasak lehentasunezko erdiko bidea sortzen du eta iturri ohantze erregimena hasten da. Erdian sortutako bideari iturgunea deritzo eta hori inguratzen duen guneari eraztungunea. Gasak partikulak arrastatzen ditu iturgunean zehar ohantzearen gainetik irten arte, eta partikulaz osaturiko iturria sortzen da. Ardatz axialetik hurbil gorantz mugitzen diren partikulek iturriaren nukleoa osatzen dute, baina grabitate indarraren ondorioz, goranzko abiadura txikituz doa euren norabidea aldatuz, eta ohantzearen gainazalera jausten dira. Hori dela eta, iturrian behera mugitzen diren partikulek iturriaren periferia osatzen dute. Azkenik, partikulak eraztungunean zehar behera egiten dute eta iturgunera itzultzen dira. Modu honetan, partikulek mugimendu ziklikoa burutzen dute iturri ohantzean eta beraz, hiru zonalde ezberdintzen dira (1. irudia): iturgunea, iturria eta eraztungunea.

Lehenengo biek gune diluitua osatzen duten bitartean, eraztungunea gune dentsoari dagokio (Epstein et al., 2010).

1.irudia. Iturri ohandzearen eskema (Tellabide, 2020 (Aldaera)).



Eraztugunean zehar beheara mugitzen diren partikulak kontaktorearekiko paralelo desplazatzen dira, baina gune diluituetako partikulek zorizko hiru dimentsiodun ibilbideak egiten dituzte. Hori dela eta, iturri ohandzearen errendimendua optimizatzeko funtsezkoa da partikulek sistemaren barnean egiten duten ibilbidea zein abiadura zehaztea.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Gaur egun, gas-solido erreaktore ezberdinen diseinu eta operazio-kostuak murrizteko asmoz, sistemaren portaera aurreikusten duten oinarri teorikodun simulazio-eredu ugari aurki daitezke. Hala ere, eredu horietan datu esperimental zehatzak elikatu behar dira sistemaren propietateak ziurtasunez auresateko. Datu esperimentalak analisi hidrodinamikoan bidez lor daitezke, hala nola, iturkuntza abiadura minimoa (iturkuntza erregimena ahalbidetzen duen gasaren abiadura minimoa), operazioko presio galera edota solidoaren abiadura puntuala.

Aurretik, zuntz optikoa erabiliz, ikerketa taldean hainbat azterketa hidrodinamiko burutu dira iturri ohandtze koniko zein ohikoetan (geometria zilindrikoa), hala nola, partikulen abiaduraren osagai bertikalaren neurketa (Olazar et al., 1995), gune hilen azterketa (San José et al., 1996) eta solidoen ziklo-denboren distribuzio zein solidoen norabideen zehaztapena (San José et al., 2004). Gaur egungo talde ikerketetan, abiadura handiko kamera bakarra eta PTV (*Partikulen Jarraipenaren bidezko Abiaduraren neurketa*) metodoa erabiltzen dira partikula irregularren eta esferikoen jarraipena egiteko (Atxutegi et al., 2019), iturri ohandtzearen gune dentsoa eta diluitua mugatzeko, partikula finen fluxuaren patroia identifikatzeko (Tellabide et al., 2021) edota ohandtzearen simetriaren analisisia egiteko (Tellabide et al., 2022).

Hala ere, kamera bakarra erabiltzearen eragozpen nagusia partikulen sakoneraren inguruko informazio eza da. Soilik kamera bakar baten erabilerak, grabaketa planoaren bi dimentsioko irudiak lortzea ahalbidetzen du grabaketa planoari perpendikularra den osagaia aintzat hartu gabe. Izan ere, iturri ohantzeko gune diluituetan desplazatzen diren partikulek (batez ere iturrian) hiru dimentsiodun ibilbideak burutzen dituzte, eta horien ezagutza ezinezkoa bilakatzen da kamera bakarra erabiltzean. Hori dela eta, lan honen helburu nagusia iturria osatzen duten partikulen hiru dimentsiodun posizioa ezagutzea ahalbidetzen duen metodoa garatzea da. Horretarako, bi kameraz osatutako grabazio sistema eta irudien tratamendua burutuko duen algoritmoa garatu dira.

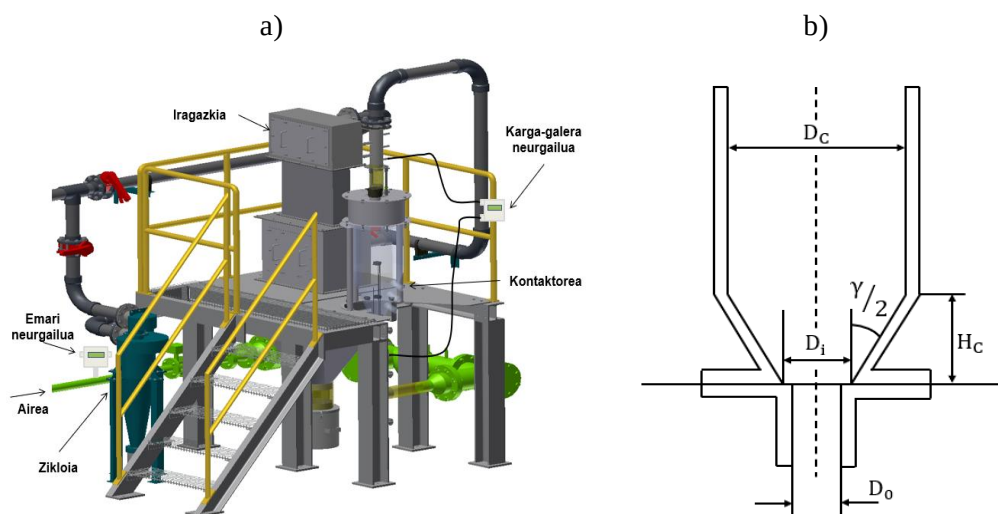
3. Ikerketaren muina

3.1. Materiala eta jarraitutako metodologia

Lan honetan burututako saiakuntzak aurrera eramateko 2.a irudian erakusten den planta pilotua erabili da. Plantaren osagai nagusiak haizagailua, zikloia, iragazkia, kontaktorea, karga-galeraren neurgailua eta emari neurgailua dira.

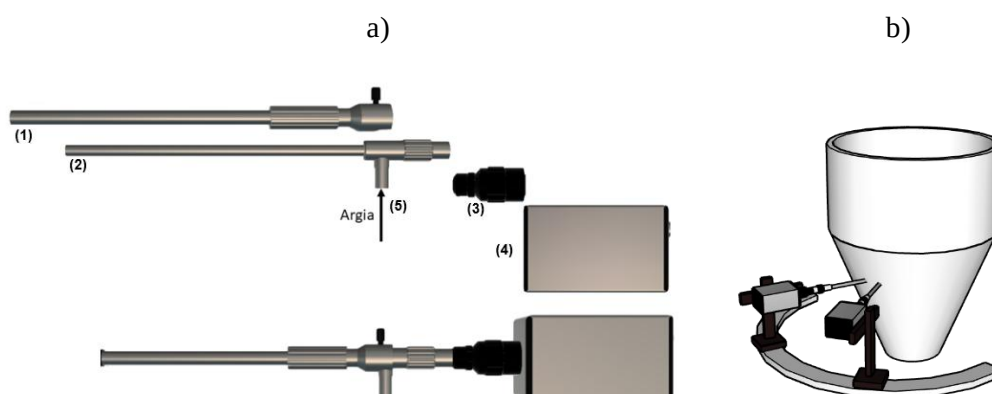
Erabilitako kontaktore konikoaren faktore geometrikoak (2.b irudia) eta euren balioak hurrengoak dira: kontaktorearen angelua (γ), 36° ; aireren sarrerako diametroa (D_0), 0.04 m; kontaktorearen oinarriaren diametroa (D_i), 0.062 m; kontaktorearen zati zilindrikoan diametroa (D_C), 0.36 m; eta sekzio konikoaren altuera (H_C), 0.45 m.

2. irudia. a) Planta pilotuaren eskema orokorra eta b) kontaktorearen faktore geometrikoak.



Mugimenduan dauden partikulak grabatzeko erabiltzen den sistema optikoa 3. irudian azaltzen da. Sistema hori abiadura handiko bi kameraz (AOS SPRI) osatuta dago. Kamera bakoitza egokigailu optiko, endoskopio, babes hodi eta argi iturri batez osatutako sistema boreskopiko batera akoplatzen da, 3.a irudia. Kamerak erraildun sistema erdizirkular batez eta errail zuzenez osatutako sistema batean kokatzen dira, kamerak edozein norabidetan mugitzea ahalbidetzen duena. Kameretako bat kamera nagusia izango da, aurretiko ikuspegia grabatuko duena. Bigarren kamera, aldiz, lehenengo kamerarekin 40° angelua osatuz eta endoskopioen puntak bat etorriz kokatuko da. 3.b irudian sistema optikoa adierazi da kontaktorearen barnean.

3. irudia. a) Sistema boreskopikoaren osagaiak: (1) babes hodia, (2) endoskopioa, (3) egokigailu optikoa, (4) kamera eta (5) argi iturria, eta b) kontaktore eta sistema optikoaren perspektiba isometrikoa.



Ohantzearen hidrodinamika aztertzeko aukeratu den materiala alumina da. Aukeraketaren arrazoi nagusia detekzioaren erraztasunean datza, izan ere, alumina partikulak erregularrak, esferikoak, zuriak, opakoak eta handiak ($\bar{d}_p = 3.5 \text{ mm}$) dira. Alumina jada erabilia izan da kamera bakarreko ikerketetan (de Brito et al., 2021).

Sistema optikoa baliatuz, alumina partikulen mugimendua grabatu da kontaktore barnean. Erabilitako ohantze estatikoaren altuera 0.2 m-koa da, 2.7 kg aluminari dagokiona. Era berean, iturkuntza erregimen egonkor eta konstantea ziurtatzeko asmoz, iturkuntzarako abiadura minimoa baino 1.3 aldiz handiagoa den gasaren abiadura lan egin da, $125 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ -ko emarian hain zuzen. Grabaketak kontaktorearen oinarritik 0.34 m-ko altueran burutu dira. Izan ere, altuera hori iturriaren erdialdean kokatzen da, bertan baitago partikulen norabide banaketa handiena.

Grabaketak posizio erradial desberdinetan egin dira, ardatz axialetik abiatuta eta kanpoalderantz 0.01 m desplazatuz saiakuntza bakoitzean. Saiakuntzak grabatzen hasi baino lehen grabaketa posizio bakoitzean kameraren kalibraketa bat egin behar da. Horren bidez hainbat parametro desberdin lortzen dira, garrantzitsuena oinarritzko matrizea izanik. Matrize horrek kamerek objektu batekiko duten posizioari buruzko informazioa ematen du, bi kameretan detektatutako partikulak erlazionatu ahal izateko funtsezkoa dena. Kalibraketa burutu ostean haizagailua abiarazten da emari konstantepean lan egiteko.

Grabaketetako irudiak *MATLAB* software matematikoaren bidez tratatu dira, lortutako bideoen irudiak banan-banan aztertzeke aukera ematen baitu. Garatutako algoritmoaren bitartez, bi kameraren arteko partikulen parekatzea eta solidoen hiru dimentsioko posizioa kalkulatu da. Algoritmoak neurtutako partikulen posizioetatik abiatuta, posible da iturri ohantzearen hidrodinamika aztertzeke funtsezkoak diren zenbait parametro zehaztea, hots, partikulen ibilbide, norabide eta abiadura, besteak beste.

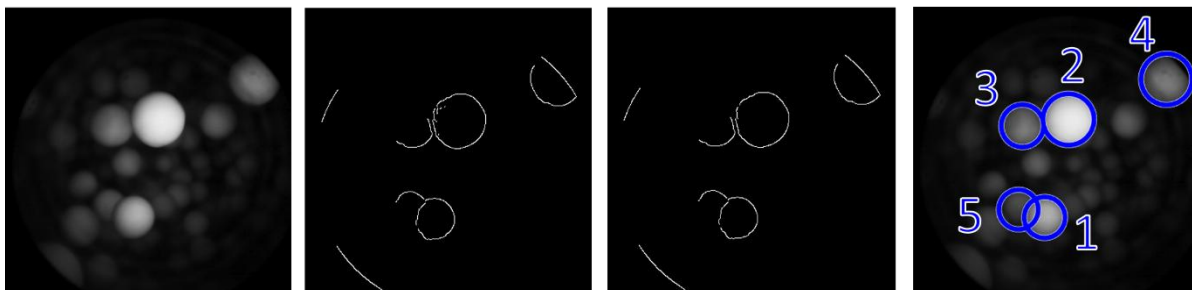
3.2. Algoritmoa

Garatutako algoritmoak bi eginkizun nagusi ditu. Alde batetik bi aldiuneko irudietan hautematen diren partikulen arteko parekatzea eta, bestetik, partikulen hiru dimentsioko posizioaren zehaztapena.

3.2.1. Partikulen detekzio eta parekatzea

Kameraren bidez lorturiko irudi guztiei aurretratatamendu etapa bat aplikatzen zaie. Nahiz eta erabilitako kamerek gris eskalan grabatzen duten, irudiak *MATLAB*-en elikatu daitezkeen formatua aldatzen zaie. Aldaketa horretan RGB formatua ematen zaie eta irudi bakoitza hirukoiztu egiten da (RGB kanal bakoitzerako irudi bat). Hori dela eta, lehenengo pausua *rgb2gray* komandoaren bidez irudi bakoitza gris eskalara bihurtzea da, hau da, aurreko pausuan irudi bakoitzean sorturiko gainerako bi irudiak ezabatzen dira. Hurrengo pausua partikulen ertzak detektatzea da, eta horretarako *edge* komandoa erabiltzen da. Komando horrek gradientearen maximo lokala bilatzen du *canny* metodoaren bidez. Gradientea distribuzio gaussiarra duen filtro baten bidez kalkulatu da eta *edge* komandoak filtroaren propietateak (zabalera adibidez) irudiaren beharretara egokitzeko aukera ematen du. Jarraian, irudiak izan dezakeen zarata ezabatzen da pixel tamaina zehatz bat baino txikiagoa den objektuak ezabatuz. Azkenik, *imfindcircles* komandoa erabiltzen da irudian dauden partikulak detektatzeko eta horien zentroaren koordinatuak ezartzeko. Komando horrek aurretik ezarritako erradioa (pixeletan) duten zirkuluak bilatzen ditu. Azpimarragarria da detekzioaren eraginkortasuna txikitu ez dadin, beharrezkoa dela posizio erradial bakoitzean *MATLAB*-eko komandoaren sentikortasun parametroa aldatzea. Azaldutako prozesua 4. irudian azaltzen da pausoz pauso. Behin irudi bakoitzean partikulek duten posizioa ezagututa abiadura kalkula daiteke.

4. irudia. Irudi baten aurretratatamenduaren pausuak.

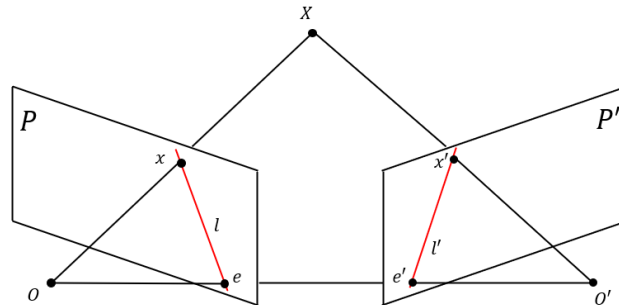


Jarraian irudi parearen (momentu bereko kamera bakoitzaren irudien) arteko parekatzea hasten da. Algoritmoak bi parekatze desberdinekin egiten du lan. Batetik, denbora-parekatzea, hau da, partikula bakarra edo partikula kopuru zehatz baten identifikazioa eta parekatzea denboran zehar, ikerketa taldean aurretik aztertu dena (Atxutegi et al., 2019). Bestetik, bi kameraren arteko parekatzea (estereo-parekatzea) baliatzen du algoritmoak, kasu honetan geometria epipolarraren bidez gauzatzen dena.

Geometria epipolarrak bi irudien arteko korrespondentzia deskribatzen du eta eszenaren sakontasunari buruzko informazioa lortzeko oinarri matematikoak ezartzen ditu. 5. Irudian

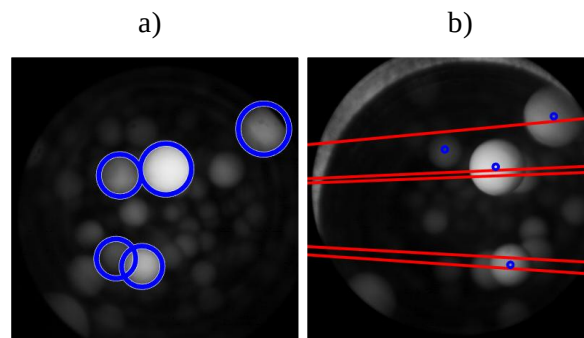
geometria epipolarraren elementu nagusiak azaltzen dira. O eta O' grabazio kameraren erdigune optikoak dira. Bi erdigune optikoak lotzen dituen lerroari oinarri-lerroa deritzo. Lerro horrek P eta P' planoak (kameraren planoak) e eta e' puntuetan mozten ditu, epipoloak deritzenak. X , aldiz, grabaketa planoaren puntu jakin bat da, zentro optikoekin batera plano epipolarra osatzen duena. P eta P' planoak aurretiko perspektibatik ikusiz gero, grabaketa puntua eta kamera bakoitzaren gune optikoa lotzen dituen lerroak (OX eta $O'X$ lerroak) puntu bat bezala proiektatzen dira kameraren planoan, x eta x' . Plano batean epipoloa eta X puntuaren proiektzioa elkartzen dituen lerroari lerro epipolarra deritzo, l ezkerreko kameraren planoan eta l' eskumako kameraren planoan. Geometria epipolarrari esker irudien arteko parekatzea errazten da, bi irudien puntuen arteko elkarrekotasunaren bilaketa lerro epipolarraren gainean burutzen delako, bilaketa plano osoan zehar egin beharrean.

5. irudia. Geometria epipolarraren irudikapena (Orozco et al., 2017 (Aldaera)).



Geometria epipolarra algoritmoan aplikatu ahal izateko beharrezkoa da aurretik aipaturiko oinarrizko matrizea. Matrize horren bidez kamera nagusian detektaturiko partikulen lerro epipolarren adierazpen matematikoa zehaztu daiteke. Modu honetan, bigarren kameran detektatutako partikulen zentroak lerro epipolarren gainean aurkitzen badira, bi kameraren arteko partikula beraren parekatzea lortzen da. Beraz, geometria epipolarrean oinarritutako parekatzeak algoritmoak bigarren kameran identifikatutako zentroideen eta kalkulaturiko lerro epipolarren arteko distantzia minimoa bilatzea du oinarritzat. 6.a irudian kamera nagusian lortutako irudian detektatzen diren partikulak ageri dira, eta 6.b irudian euren lerro epipolarrak irudikatu dira bigarren kameraren irudian.

6. irudia. a) Kamera nagusian detektatutako partikulak eta b) detektatutako partikulen lerro epipolarren irudikapena.



3.2.2. Hiru dimentsioko analisia eta abiaduraren kalkulua

Lortutako zentroideei eta kalibraketan lortutako parametroei esker, partikulak parekatu eta haien posizioa zehazten da. Partikula baten une desberdinetako koordinatu tridimentsionalak lortzeak haren abiadura eta ibilbidea kalkulatzeko aukera ematen du. Era berean, partikula kopuru esanguratsu bat detektatzeak aztertutako eremuko partikulen ibilbide nagusia, desplazamendu-angelua eta batez besteko abiadura zehaztea ahalbidetzen du.

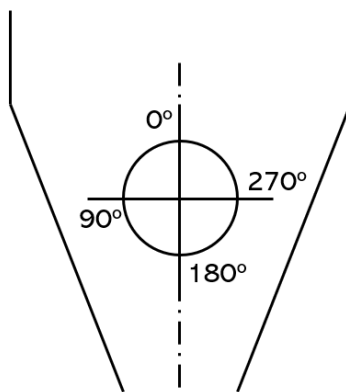
3.3. Ikerketaren emaitzak

3.3.1. Partikulen desplazamendu-angelua

Aurretik azaldu den moduan, iturrian partikulek ibilbide parabolikoa burutzen dute. Hortaz, posizio erradial bakoitzean partikulen desplazamendu angeluen banaketa aztertu da. Erabilitako

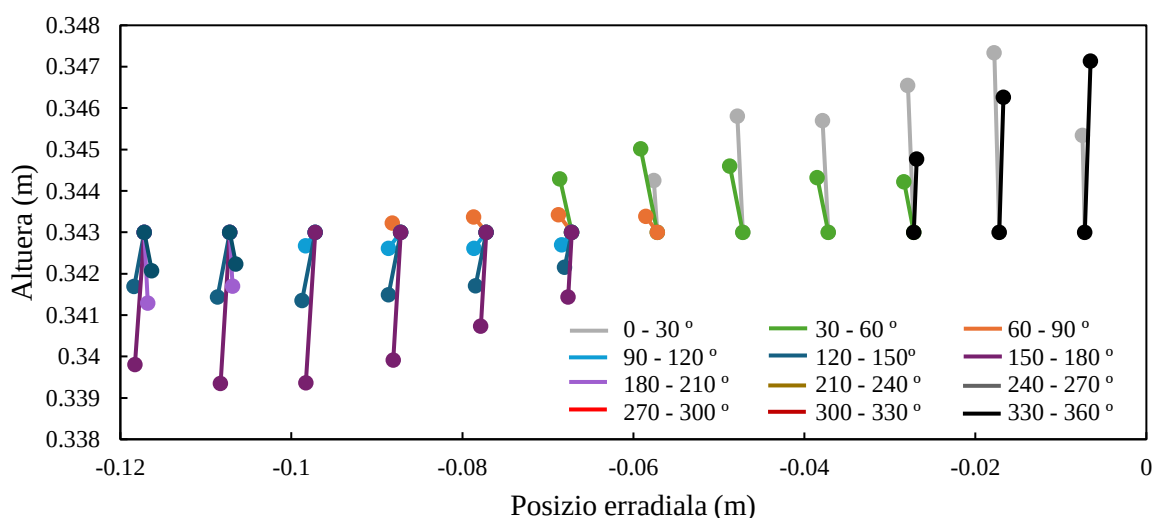
erreferentzia sistemaren arabera, 7. irudia, iturriaren zehar bertikalki gora doazen partikulek 0° -ko angelua eta bertikalki behera doazenek 180° -ko angelua izango dute.

7. irudia. Angeluen zehaztapenerako erreferentzia sistema.



Lortutako emaitzak 8. irudian adierazi dira, eta horien interpretazioa errazteko asmoz, partikulak 30° -ko tarteetan sailkatu eta irudikatu dira. Lerro bakoitzaren luzera detekzio kopuruaren adierazgarri da, hau da, zenbat eta zuzen luzeagoa, orduan eta detekzio kopuru handiagoa behatu da norabide horretan. Gainera, posizio erradial bakoitzean erakutsi diren norabideek gutxienez posizio horretan detektatutako partikulen % 10-ek jarraitzen dute.

8. irudia. Lehenetsun angeluen bilakaera iturriaren posizio erradialarekiko.



Emaitzak aztertuz, kontaktorearen erdiko ardatzetik (posizio erradiala = 0 m 8. irudian) hurbilen dagoen posizio erradialean partikulek goranzko norabidean desplazatzeko joera dute. Izan ere, kontaktorearen ardatz axialetik hurbil mugitzen diren partikulak iturgunetik aireak arrastatuta datozeinei dagokie, eta beraz, goranzko ibilbidea burutzen dute. Hala ere, grabaketa puntua ardatzetik urruntzen den heinean, $0-30^\circ$ tarteko detekzioak murriztu eta $30-60^\circ$ tartekoak handitzen dira. Beraz, zenbat eta ardatzetik urrunago egon partikulek orduan eta joera parabolikoagoa aurkezten dutela ondorioztatzen da. Tarteko posizioetan, bereziki $r = -0.067$ m-tan, goranzko eta beheranzko norabidea duten partikulen detekzio kopurua antzekoa da, iturriaren nukleo eta periferiaren arteko interfasea gertu aurkitzen dela seinale. Izan ere, posizio horretatik aurrera, partikulek beheranzko norabidea daramate batez ere. Era berean, posizio erradial handienetan kontaktorearen ardatz axialeranzko norabidea duten partikulak detektatu dira, hormaren aurkako edo partikulen arteko talken ondorio izan daitezkeenak.

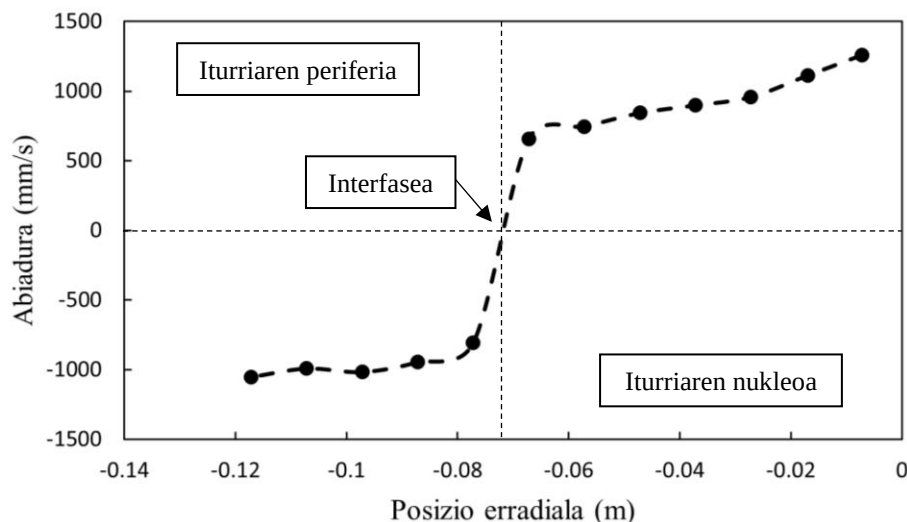
3.3.2. Abiadura profil erradiala

Atal honetan partikulen abiaduren profil erradiala aztertu da aurreko atalean definitutako lehenetsun angeluetan. Partikulen abiadura kalkulatzeko 1. ekuazioa baliatu da.

$$v = \sqrt{v_y^2 + v_x^2 + v_z^2} \quad (1)$$

9. irudian posizio erradial bakoitzeko norabide nagusiaren batez besteko abiadura adierazi da. Lan honetan, abiadura negatiboari beheranzko norabidean mugitzen diren partikulei esleitu zaie, eta abiadura positiboari aldiz, goranzko mugimendudun partikulei. Iturri ohandzearen operazio era bereizgarria dela eta, non gasa ohandzearen oinarriaren erdi guneko zulotik bideratzen den, ardatz axialetik hurbilen dauden partikulek abiadura handiagoa erakusten dute. Horren arrazoia posizio horretan gasaren eta solidoaren arteko energia trukaketa eta momentu indarrei egotzi dakioke. Efektu hori ikerketa taldean behatu da kamera bakarreko partikula finen jarraipenean (Tellabide et al., 2021). Bestalde, iturriaren periferiako partikulen abiadura apur bat handituz doa kontaktorearen paretara hurbildu ahala. Izan ere, zonalde horretako partikulek deskribatzen duten ibilbide parabolikoa antzekoa da eta hori dela eta, erradioan zeharreko abiadura ez da asko aldatzen. Azkenik, -0.072 m-ko posizio erradialean lortutako partikulen batez besteko abiadura zero da. Izan ere, posizio erradial horretan aurkitzen diren partikulak iturriaren nukleoaren eta periferiaren arteko interfasea aurkitzen dira eta horien abiadura nulua da.

9. irudia. Abiaduren profil erradiala.



4. Ondorioak

Lan honetan, bi kameraz osatutako partikulen jarraipenerako sistema optikoa eta algoritmoa garatu dira. Horien bidez, gune diluituan zehar desplazatzen diren partikulen ibilbidea zehaztu eta abiadura kalkulatu dira iturri ohandzeko iturriaren altuera zehatz batean.

Desplazamendu angeluari dagokionez, ardatz axialetik hurbil detektatu diren partikulek goranzko ibilbideak dituzte, batez ere $0-30^\circ$ angelu tartean. Ostera, ardatz axialetik urrundu ahala, partikulek beheranzko ibilbideak erakusten dituzte, maiztasun handieneko angeluak $150-180^\circ$ tartekoak izanik. Gainera, kontaktoreko hormatik hurbil desplazatzen diren partikulek ardatz axialeranzko norabidea erakusten dute, partikula-horma eta partikula-partikula talken ondorio izan daitekeena.

Partikulen abiadura profil erradialari erreparatuz, abiadura handiak behatu dira iturriaren ardatzetik hurbil iturgunetik gora datorren airearen arraste indarragatik. Hala ere, kontaktorearen hormara hurbildu ahala, partikulen abiadura txikitzen doa zero izan arte, iturriaren nukleoa eta periferiaren arteko interfasearen posizioari dagokiona. Azkenik, posizio horretatik urrundu ahala, iturriaren periferiari dagozkion partikulen abiadura negatiboak behatu dira, eta samar handitzen dira ardatz axialetik aldentzean.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Bi kameraz osatutako sistema optikoaren bitartez iturri ohandzeen iturrian solidoen aldiuneko abiaduraren eta norabidearen analisia burutzeak aurrerapauso esanguratsua adierazten du teknologia honen azterketa hidrodinamikoan. Izan ere, lan honetan egin diren ekarpenak etorkizuneko hurrengo ikerketak ahalbidetuko ditu:

- **Porotasuna:** iturri ohandzeek dituzten ezaugarriengatik porotasun ezberdineko zonaldeak sortzen dira. Gune diluituetan gas-solido kontaktu gehiena gertatzen da,

aplikazioetarako gune garrantzitsuak bilakatuz. Hori dela eta, ezinbestekoa da solido kontzentrazioa edo porotasuna aztertzea, horrek baldintzatuko baitu aplikazio ezberdinen eraginkortasuna. Lan hau bolumen zehatz bateko partikulak kuantifikatzeko aurre pausua da, porotasuna neurtzeko ezinbestekoa.

- **Partikulen errotazioa:** forma irregularreko partikulek errotazio mugimendua erakusten dute aireak sortutako momentu indarregatik. Modu honetan, jariakinak solidoari transferituriko energiaren zati batek errotazio mugimendua sorrarazten du. Horrek erregimen multifasikoen hidrodinamikan eragin handia du, kasu batzuetan operazio baldintza egonkorrak mugatuz. Kamera baten bidez lorturiko bi dimentsiodun proiektzioetan oso zaila da errotazioa neurtzea eta beraz, beharrezkoa da bi kameren bidez burutzea. Modu honetan, lan honetan garaturiko kodea eta sistema optikoak partikulen errotazioa aztertzeko abiapuntua izan daiteke.

6. Erreferentziak

- Atxutegi, A., Tellabide, M., Lopez, G., Aguado, R., Bilbao, J., & Olazar, M. (2019). Implementation of a borescopic technique in a conical spouted bed for tracking spherical and irregular particles. *Chemical Engineering Journal*, 374, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.143>
- De Brito, R. C., Tellabide, M., Atxutegi, A., Estiati, I., Freire, J. T., & Olazar, M. (2021). Draft tube design based on a borescopic technique in conical spouted beds. *Advanced Powder Technology*, 32(11), 4420-4431. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2021.10.004>
- Epstein, N., & Grace, J. R. (Eds.). (2010). *Spouted and spout-fluid beds: fundamentals and applications*. Cambridge University Press.
- Mathur, K. B., & Gishler, P. E. (1955). A technique for contacting gases with coarse solid particles. *AIChE Journal*, 1(2), 157-164. <https://doi.org/10.1002/aic.690010205>
- Olazar, M., San Jose, M. J., Llamas, R., Alvarez, S., & Bilbao, J. (1995). Study of local properties in conical spouted beds using an optical fiber probe. *Industrial & engineering chemistry research*, 34(11), 4033-4039. [10.1021/ie00038a044](https://doi.org/10.1021/ie00038a044)
- Orozco, R. R., Loscos, C., Martin, I., & Artusi, A. (2017). HDR multiview image sequence generation: Toward 3D HDR video. In *High Dynamic Range Video* (pp. 61-86). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809477-8.00003-0>
- San José, M. J., Olazar, M., Llamas, R., Izquierdo, M. A., & Bilbao, J. (1996). Study of dead zone and spout diameter in shallow spouted beds of cylindrical geometry. *The Chemical Engineering Journal and The Biochemical Engineering Journal*, 64(3), 353-359. [https://doi.org/10.1016/S0923-0467\(97\)80006-1](https://doi.org/10.1016/S0923-0467(97)80006-1)
- San Jose, M. J., Olazar, M., Izquierdo, M. A., Alvarez, S., & Bilbao, J. (2004). Solid trajectories and cycle times in spouted beds. *Industrial & engineering chemistry research*, 43(13), 3433-3438. [10.1021/ie030668x](https://doi.org/10.1021/ie030668x)
- Tellabide Vecina, M. (2020). *Partikula finen tratamendurako iturri bilgailudun ohandze konikoen hidrodinamika*.
- Tellabide, M., Estiati, I., Atxutegi, A., Altzibar, H., Aguado, R., & Olazar, M. (2021). Fine particle flow pattern and region delimitation in fountain confined conical spouted beds. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.01.006>
- Tellabide, M., Estiati, I., Atxutegi, A., Altzibar, H., Bilbao, J., & Olazar, M. (2022). Bed symmetry in the fountain confined conical spouted beds with open-sided draft tubes. *Powder Technology*, 399, 117011. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.11.055>

7. Eskerrak eta oharrak

Lan hau MCIN/AEI/10.13039/50-1100011033-ak finantzaturako PID2022139454OB-I00 dirulaguntzari eta Eusko Jaurlaritzak finantzaturako IT1645-22, KK-2023/00060 eta PUE_2024_1_0006 dirulaguntzei esker burutu da. Horrez gain, proiektuak Europar Batasunaren HORIZON H2020-MSCA-2023-SE-01, ID: 101182827 programaren finantzaketa jaso du. Maider Bolaños-ek eskerrak ematen ditu Euskal Herriko Unibertsitatearen aldetik jasotako doktorego-bekagatik (PIF21/69). Alvaro Cano-k eta Aimar Martín-ek eskerrak ematen dituzte Eusko Jaurlaritzaren aldetik jasotako doktorego bekengatik (PRE-2024-1-0048 eta PRE-2024-1-0117).