



III. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

Kongresuko artikulu-bilduma

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

2019ko maiatzaren 27, 28 eta 29
BAIONA, EUSKAL HERRIA





(c) 2019 Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

Paueko eta Aturrialdeko Unibertsitatea, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Nafarroako Unibertsitateko Publikoa, Mondragon Unibertsitatea (MU), Deustuko Unibertsitatea (DU), Nafarroako Unibertsitatea eta ESTIA laguntzaileak izan dira edizio honetan.

(c) Egileak

Editoreak:

Olatz Arbelaiz, Urtzi Etxeberria, Ainhoa Latatu, Miren Josu Omaetxebarria

Artikuluak *Creative Commons Aitortu-PartekatuBerdin 3.0* lizentziapean daude

ISBNa: 978-84-8438-681-0 Lan osorako

ISBNa: 978-84-8438-686-5 5. liburukia

Harremanetarako: argitalpenak@ueu.eus

UEU. Erribera 14 1 D. 48005 Bilbo. Tel.: 94 679 05 46

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

Aurkibidea

Hitzaurrea.....	5
Batzordeak.....	7
Termoeconomia eraikinen sistema termikoetan, <i>Ana Picallo-Perez</i> eta <i>José María Sala-Lizarraga</i>	11
Nafarroako Erresumaren antolamentu militarra eta sistema defentsibo arkitektonikoa, <i>Begoña Yuguero Suso</i>	18
Elektrospinning bidezko PCL nanozuntzen lorpena larruazal-birsorkuntzarako, <i>Claudia Goenaga</i> , <i>Naiara Rodriguez-Florez</i> , <i>Alaitz Zabala</i> , <i>Estela Lapeira</i> eta <i>Lorea Buruaga</i>	26
Exekuzio Denboran barne egoera ikusi eta aldatzea ahalbideratzen duten UML Egoera Makinak: <i>Models@run.time</i> , <i>Miren Illarramendi</i> , <i>Leire Etxeberria</i> , <i>Xabier Elkorobarrutia</i> eta <i>Goiuria Sagardui</i>	34
Hemodinamikaren eredu zero-dimentsionalean adarkaduretako presio-galeraren garrantziaren inguruan: B-TACE tratamenduaren analisia, <i>Jorge Aramburu</i> , <i>Raúl Antón</i> , <i>Gorka S. Larraona</i> , <i>Juan Carlos Ramos</i> , <i>Alejandro Rivas</i> , <i>Bruno Sangro</i> eta <i>José Ignacio Bilbao</i>	42
Hernaniko (Gipuzkoa) Portalondo dorretxearen analisi historiko-konstruktiboa, <i>Oihana Santolaria</i>	49
3-PRS robot baten parametro dinamikoen identifikazioa Egiantz Handieneko estimazio-metodoaren bidez, <i>Julen Bacaicoa</i> , <i>Xabier Iriarte</i> eta <i>Jokin Aginaga</i>	56
Baloi pneumatiko baten zurruntasun estatiko bertikal zein horizontalean eragina duten parametroen azterketa, <i>Irati Mendia-Garcia</i> , <i>Nere Gil-Negrete</i> , <i>Ainara Pradera-Mallabiabarrena</i> eta <i>Francisco Javier Nieto</i>	64
Biziraupen Estimazio Modeloa Garraio Astuneko Aplikazioetan Erabiltzen Diren Superkondentsa- dorentzako, <i>Josu Olmos</i> , <i>Iñigo Gandiaga</i> , <i>Jon Crego</i> , <i>Xabier Agirre</i> , <i>Txomin Nieva</i> eta <i>Iosu Aizpuru</i>	72
eGobernua Europar Batasunean: erabilera-maila eta arrazoiak, <i>Ainhoa Yera</i> , <i>Olatz Arbelaiz</i> , <i>Oier Jauregi</i> eta <i>Javier Muguerza</i>	79
Bateriaren Zahartzeaz Kontziente den Energiaren Kudeaketako Estrategiaren Sentsibilitate-Analisia, <i>Jon Ander López-Ibarra</i> , <i>Nerea Goitia-Zabaleta</i> , <i>Haizea Gaztañaga</i> eta <i>Haritza Camblong</i>	87
Kaleetako begien algoritmo generatiboa. Hiri-segurtasuna, <i>Iñigo Galdeano Pérez</i>	92

Iruñeko Udaletxeko erloju mekaniko zaharraren zaharberritzea, <i>Adrian Claver, Jokin Aginaga, Xabier Iriarte eta Jesús María Pintor</i>	102
Bach-en obretan oinarritutako bertso doinuen sorkuntza automatikoa, <i>Izaro Goienetxea, Iñigo Mendialdua eta Basilio Sierra</i>	110
Kritikotasun mistoko denbora errealeko sistema banatuen sintesiaren optimizazioa, <i>Andoni Amurrio eta Ekain Azketa</i>	117
Euskaraz hitz egiten ikasten duten makina autodidaktak, <i>Asier López Zorrilla, Mikel de Velasco Vázquez eta Raquel Justo Blanco</i>	125
Iruzurreko portaeren detekzioa <i>crowd</i> motako etiketazioan, <i>Mikel de Velasco Vázquez, Asier López Zorrilla eta Raquel Justo Blanco</i>	133
Neurona-sareetan oinarritutako euskararako korreferentzia-ebazpena, <i>Gorka Urbizu, Ander Soraluze eta Olatz Arregi</i>	141
Sandwich biskoelastikoen nukleoaren lodieraren eragina igogailu baten erantzun dinamikoan, <i>Mikel Mendizabal, Jaione Iriondo, Leire Irazu, Xabi Hernández eta Maria Jesús Elejabarrieta</i>	148
Soinu-gertaera hiri espazioaren eraikuntza sinbolikoan, <i>Zigor Iturbe</i>	156

IKERGAZTE 2019

Nazioarteko Ikerketa Euskaraz

HITZAURREA

Duela 45 urte sortu zenetik, euskal komunitate zientifiko-intelektuala trinkotzea da UEUk duen helburu garrantzitsuenetakoa bat. Elkarren berri izatea ezinbestekoa da ezagutzak aurrera egin dezan, are gehiago gure kasuan, euskaraz lanean dihardugun ikertzaileak hain sakabanatuta egonda. Ildo horretatik, UEUk hainbat arlotako adituak bildu izan ditu zenbait ekimenetan azken hamarkadetan: Informatikari Euskaldunen Bilkurak (11 edizio) Historialari Euskaldunen Topaketak (5 edizio), Hizkuntzalari Euskaldunen Bilkura (3 edizio), Matematikari Euskaldunen Bilkura (3 edizio), Osasun Zientzietako eta Natur Zientzietako ikertzaileen bilkurak (3 edizio), besteak beste, horren adibide argiak dira.

Bilkura guzti horiei IkerGazte kongresua gehitu zitzaien 2015.eko maiatzean. Ikerketa, euskara, gazteak, disziplinarrekotasuna izan ziren bilgune haren osagai nagusiak. Durangon hasitako bideak, jarraipena izan zuen 2017.ean Iruñean. Eta heldu da 2019.a eta aurtengoan Baiona dugu topagune; maiatzaren 27, 28 eta 29an, Paueko eta Aturrialdeko Unibertsitatean, Errobiko Campusean (Université de Pau et des Pays de l'Adour, Campus de la Nive) elkartuko gara. Hirugarren edizio honek 2015.ean ziurgabetasun handiz hasitako bideak nolabaiteko oinarri sendoa baduela erakusten digu. Eta aurten, beste behin ere, ikergazteen eskutik jasotako ekarpen kopuruak IkerGazte behar beharrezkoa dela ematen digu aditzera.

“IkerGazte2019: Nazioarteko Ikerketa Euskaraz” goiburu duen kongresu horren artikulu-bilduma dugu hau. Izenburu honetan Ikerketa, Euskara eta Gaztetasuna bildu nahi izan ditugu. Ikusgarri egin nahi dugu Euskal Herriko ikertzaile gazteek egiten duten nazioarte mailako ikerketa. Maiz nazioartean erakutsi eta aurkezten dira lan horiek, Euskal Herrian eta euskaraz aurkezteko aukera izan gabe. Kongresu honen helburua komunitate-zientifiko euskaldunaren ikertzaileak bildu eta elkarren berri izatea da, arlo guztiak jorratuz; hasi humanitateetatik eta gizarte-zientzietatik, eta zientzia zehatz, natur zientzia, ingeniari, arkitektura eta osasun-arloetako gaietaraino. Nazioartean ingelesez argitaratu ohi diren lanak euskaraz ere argitaratzeko eta zabaltzeko aukeraren aldeko apustua da. Hirugarren edizio hau euskaraz egindako ikerketan mugari dela dakigu!

Honelako kongresu bat aurrera ateratzeko ezinbestekoa da bai banakoen lan eskerga, baita erakunde publiko eta pribatu ugariaren laguntza ere: UEUko lan-taldea, Iparraldeko Sostengu Taldea eta UEUkideak; Batzorde Zientifikoko ikertzaileak eta Batzorde Dinamizatzaileko ikergazteak; Unibertsitate eta Ikertalde laguntzaileak; aldizkari zientifikoak eta bestelako laguntzaileak. Aurten azpimarratzekoak dira IKER Euskara eta euskal testuen ikerketa-zentroaren aldetik eta Paueko eta Aturrialdeko Unibertsitatearengandin (UPPA) jasotako interesa eta babesa. Bestalde, Baionako Udalak eta Udalbiltzak sariak babestu dituzte. Horrez gain, hainbat pertsonak eta komunikabidek erakutsitako atxikimendua ere aipatu nahi dugu. Esker mila guztiei.

Egitarau interesgarri eta erakargarria da, arlo guztietako ekarpenak biltzen dituen; 49 ahozko aurkezpenak dira eta 53 poster modukoak. Guztira 102 komunikazio.

Hasieran, 111 komunikazio jaso ziren, baina gainbegiratze-prozesua gainditu ondoren 102 daude bilduma honetan.

Jakintza-arloei dagokionez hauek dira zenbakiak:

Giza Zientziak eta Arteak	19
Gizarte Zientziak eta Zuzenbidea	19
Zientziak eta Natura Zientziak	21
Ingeniaritza eta Arkitektura	20
Osasun Zientziak	23

Ikertzaileen filiazioari dagokionez, espero bezala, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU) da maizen aipatu dena, 76 ekarpenekin. Ondoren Mondragon Unibertsitatea (5 ekarpen), Nafarroako Unibertsitate Publikoa (4 ekarpen) eta Nafarroako Unibertsitatea (4 ekarpen) aurkitzen ditugu maizen. Paueko Unibertsitatetik ere 3 ekarpen bat egon dira, eta IKER ikerketa-zentrotik eta Bordeleko Unibertsitatetik, bana. Beste ekarpen batzuk ere ondoko unibertsitatetatik jaso dira: Bartzelonako Unibertsitatea, Madrigo Unibertsitate Publikoa eta Birmingham City University.

Unibertsitateei loturiko ikerketa-zentroak eta taldeak aipatzen dira ekarpenetako askotan, beheago aipatzen diren Ikertalde laguntzaileez gain, PIE, NU-Cima, NU-Tecnun, INAMAT Institutua, BioCruces Osasun Ikerketa Institutua, BCMaterials, Polymat, AZTI-Teknalia, Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA-CSIC), Estación Biológica de Doñana (CSIC), Ikerlan, chucarro Basque Center for Neuroscience edo CIC-energyGUNE agertzen dira besteak beste. Euskaltzaindia eta Gipuzkoako Foru Aldundia ere izan dira ikerketagune.

Euskal Herritik kanpoko erakundeei dagokienez, hauek dira lankidetzan aipatzen diren unibertsitate batzuk: Université de Toulon, UEU, Begoñako Andra Mari, Curtin University, Mineral Resources, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Institut de Biologie Paris Seine (NPS – IBPS).

Eta bi urtean behin errepikatzeari eutsiko diogu. Beraz, adi, Ikergazte2021 etorriko da-eta!

Olatz Arbelaitz, Urtzi Etxeberria, Ainhoa Latatu eta Miren Josu Omaetxebarria

BATZORDEAK

Batzorde Zientifikoa

Batzordeburua:

Miren Josu Omaetxebarria (UPV/EHU, UEU)

Urtzi Etxeberria (IKER Euskara eta euskal testuen ikerketa-zentroa)

Koordinatzailea:

Olatz Arbelaitz (UPV/EHU, UEU)

Idazkaria:

Ainhua Latatu (UEU)

Giza Zientziak eta Arteak

Itziar Aduriz (Bartzelonako Unibertsitatea, UEU)

Garazi Arrula (UPV/EHU, UEU)

Haizea Barcenilla (UPV/EHU, UEU)

Aritz Irurtzun (CNRS-IKER, UEU)

Kepa Korta (UPV/EHU)

Aitzpea Leizaola (UPV/EHU, UEU)

Elizabete Manterola (UPV/EHU, UEU)

Ismael Manterola (UPV/EHU, UEU)

Alazne Porcel (UPV/EHU)

Blanca Urgell (UPV/EHU)

Gizarte Zientziak eta Zuzenbidea

Josu Amezaga (UPV/EHU, UEU)

Aitor Bengoetxea (UPV/EHU, UEU)

Eneko Bidegain (MU, UEU)

K. Josu Bijuesca (Deustuko Unibertsitatea)

Lore Erriondo (UPV/EHU, UEU)

M^aLuz Esteban (UPV/EHU, UEU)

Mikel Iruskieta (UPV/EHU, UEU)

Xabier Landabidea (Deustuko Unibertsitatea, UEU)

Ixusko Ordeñana (UPV/EHU)

Iñaki Peña (Deustuko Unibertsitatea)

Zientziak eta Natur Zientziak

Elizabete Alberdi (UPV/EHU, UEU)

Arantza Aldezabala (UPV/EHU, UEU)

Estibaliz Apiñaniz (UPV/EHU, UEU)

Arturo Apraiz (UPV/EHU, UEU)

Itziar Aretxaga (INAOE)

Inmaculada Arostegui (UPV/EHU, UEU)

Jose Miguel Campillo (UPV/EHU, UEU)

Arturo Elosegi (UPV/EHU, UEU)

Nestor Etxebarria (UPV/EHU, UEU)

Maite Insausti (UPV/EHU)

Kizkitza Insausti (NUP)

Marian Iriarte (UPV/EHU)

Natxo Irigoien (NUP)

Josu Jugo (UPV/EHU, UEU)

Ingeniaritza eta Arkitektura

Gorka Azkune (Deustuko Unibertsitatea)
Haritza Camblong (UPV/EHU, ESTIA, UEU)
Unai Fernandez de Betoño (UPV/EHU, UEU)
Igor Peñalva (UPV/EHU)
Olatz Perez de Viñaspre (UPV/EHU, UEU)
Maialen Sagarna (UPV/EHU)
Ane Sarasola (UPV/EHU)
Arkaitz Zubiaga (University of Warwick)

Osasun Zientziak

Rafael Aldabe (CIMA, NU)
Jose Ramon Bilbao (UPV/EHU, Gurutzetako Ospitalea)
Koldo Callado (UPV/EHU, UEU)
Izaskun Elezgarai (UPV/EHU, UEU)
Felix Elortza (Biogune, UEU)
Karlos Ibarguren Olalde (Osakidetza)
Xabier Isasi (UPV/EHU, UEU)
Nerea Osinalde (UPV/EHU)
Izortze Santin (UPV/EHU)

Beste gainbegirale batzuk

Bakarne Altonaga (UPV/EHU, UEU)
Ander Altuna (UEU)
Noelia Andollo (UPV/EHU)
Aritz Bilbao (Deustuko Unibertsitatea)
Unai del Burgo (UPV/EHU, UEU)
Ibon Cancio (UPV/EHU, UEU)
Idoia Fernandez (UPV/EHU, UEU)
Vanessa García (UPV/EHU)
Unai Lopez-Novoa (Cardiff University)
Jose Martin (UPV/EHU, UEU)
Iñigo Mendialdua (UPV/EHU)
Bea Narbaiza (UPV/EHU)
Jose Antonio Pascual (UPV/EHU)
Igor Rodriguez (UPV/EHU)
Josean Rodriguez (UPV/EHU)
Ainara Sagarna (UPV/EHU)
Itziar San Martin (UPV/EHU, UEU)
Ander Soraluze (UPV/EHU, UEU)
Joseba Zalakain (Siis, Dokumentazio eta Ikerketa Zentroa)
Jon Zarate (UPV/EHU)
Mario Zubiaga (UPV/EHU, UEU)

Batzorde Dinamizatzailea

Haizpea Abrisketa (CNRS-IKER Euskara eta euskal testuen ikerketa-zentroa)
Begoña Altuna (UPV/EHU)
Joseba Fernandez de Landa (UPV/EHU)
Pauline Guelle (UPPA, IUV, UPV/EHU)
Nagore Elu (UPV/EHU)

Batzorde Teknikoa

Ane Sarasua (UEUko Idazkari nagusia)

- Idoia Torregarai (komunikazio arduraduna)
- Ainhoa Latatu (koordinatzaile akademikoa)
- Ander Altuna (hizkuntza zuzentzailea)

Ikerketa-talde laguntzaileak

- ELEBILAB. UPV/EHUren Elebitasunaren Laborategia.
- UPV/EHUko hizkuntzaren tratamendu automatikoaren inguruko IXA Ikerketa Taldea
- UPV/EHUko “Jokabidearen Ekologia eta Eboluzioa” ikerketa taldea.
- NOR. UPV/EHUko Ikus-entzunezko Komunikazio eta Publizitate Saileko Ikerketa Taldea.
- UPV/EHUko Neuropsikofarmakologia ikerketa taldea.
- UPV/EHUko Sinapsi-neuroanatomiaaren ultraegitura eta funtziorako laborategia.

Aldizkari zientifiko laguntzaileak

- ALDIRI. Arkitekturaren inguruko adizkaria
- BAT. Soziolinguistikan eta glotopolitikan espezializatutako aldizkaria.
- EKAIA. Euskal Herriko Unibertsitateko zientzia eta teknologi aldizkaria da.
- ELHUYAR ZIENTZIA ETA TEKNOLOGIA aldizkaria.
- JAKIN. Giza eta gizarte-zientzien alorreko kultur aldizkaria.
- OSAGAIZ. Osasun zientzien aldizkaria
- SENEZ. EIZIE elkarteak kudeatzen duen itzulpengintzako arloko aldizkaria.
- UZTARO. UEUk kudeatzen duen giza eta gizarte-zientziei buruzko aldizkaria.

Hizlari gonbidatuak

- Francesco d’Errico, CNRS-Bordeleko Unibertsitatean Ikerketa Zuzendaria eta Bergeneko Unibertsitatean irakaslea.
- Jesus Mari Txurruka, UPV/EHUko irakasle eta ikertzailea izandakoa. UEUkidea.
- Gwerfyn Wyn Roberts, Galeseko Bangor University-ko School of Health Sciences-eko irakasle titularra izandakoa.
- Josu Martinez, UPV/EHUko ikus-entzunezko Komunikazio saileko ikerlari eta irakaslea da, zinema arloan.

Tailerrak

- «Artikuluak, tesia eta bestelako dokumentu zientifikoak sortu LaTeXekin». Igor Ruiz Agundez. BilbaoTIK – Bilboko Udalaren Informatika Zentroa.
- «Prozedura feministak: ezagutza, ikerketa eta herrigintza». Miren Aranguren. Emagin Formazio eta Ikerketa Feminista Elkarteko kidea eta ikerketa proiektuen arduraduna.
- «Argitalpen zientifikoetarako mapen sorkuntza». Pili Martinez eta Aitor Bastarrika. Geomatika Aplikatua Ikerketa Taldeko partaideak eta UPV/EHUko Geoinformatikako Berezko Tituluko irakasleak.
- HITZALDIA: 1757ko lapurterazko gutunak: jarraipena. Xarles Bidegain. Paueko eta Aturrialdeko Unibertsitatean Euskal Literatura eta Euskal Mintzairako katedraduna, euskaltzain eta ikertzailea.
- Datuak ikusarazteko, Infografia. Joxan Apeztegia. BERRIAko infografista.
- Ikerkuntzan kontuan hartu behar diren gako juridikoak. Ion Turrillas. IKT abokatua, UPV/EHU.
- Zelan aletu zure ikerketa akademiatik harago. Uxune Martinez. Euskampus Fundazioko Kultura Zientifikoko eta Berrikuntza Unitateko Zabalkunde Zientifikorako arduraduna.

- Tailer-bisitak:
 - Euskal Herriko Laborantza Ganbara.
 - ESTIA Ingeniaritza Eskola.

Mahai-ingurua

«Baxoaren ondotik zer? Nazio garapenerako giltzak». Gidaria: Pauline Guelle (UPPA, IUV, UPV/EHU).

Termoekonomia eraikinen sistema termikoetan

Picallo-Perez, Ana eta Sala-Lizarraga, José María

*ENEDI ikerketa taldea, Makina eta Motore Termikoen Saila,
Bilboko Ingeniaritza Eskola, Euskal Herriko Unibertsitatea
ana.picallo@ehu.eus*

Laburpena

Gizarte jasangarri batean bizitzeko eraikinen energia-kontsumo handia ezinbestean murriztu behar da. Beraz, lan honetan exergia-analisia eta termoekonomia metodoak eraikinetan aplikatzen dira.

Exergia-metodoa oso erabilgarria da instalazioak, sistemak edota eraikin osoa diseinatzeko nahiz analizatzeko; exergiak ez duelako soilik energiaren kantitatea neurtzen, kalitatea ere neurtzen baitu. Exergia ekonomiarekin elkartzen bada termoekonomia tresna lortzen da zein sistemen azterketa sistematikoa eta optimizazioa egiten duen ekonomiaren ikuspegitik.

Aplikazio horiek eraikuntzen arloan ia ezezagunak dira; oso konplexua izateaz gain kontzeptu asko moldatu behar direlako. Lan honen jomuga, hain zuzen, eragozpen horiek gainditzea da.

Hitz gakoak: Eraikinen optimizazioa, exergia-suntsiketa, termoekonomia, energia-aurrezpena

Abstract

For a sustainable society, the high energy consumption in buildings must be reduced. Therefore, in this work, the exergy method and the thermoeconomic analysis are applied in buildings.

The exergy method is very useful for the design or analysis of facilities, systems or the entire building; exergy does not only measure the amount of energy, but also the quality. If exergy is combined with the economic analysis, Thermoeconomic science is created, which systematically examines and optimizes systems from an economic perspective.

These applications are almost unknown in the field of buildings, due to the complexity, the need of many concepts' adaptation, etc. The purpose of this work is to overcome these disadvantages.

Keywords: Optimization of buildings, exergy destruction, Thermoeconomics, energy savings

1. Energia eta eraikinak: uneko egoera

Egungo gizartearen bizitza-kalitatea eta ongizatea material- eta energia-kontsumo handiekin lotzen dira. Kontsumo horren zati handi bat hirugarren sektorean egiten da (egoitzetan eta zerbitzuetan) eta beste bat, garraio-sektorean. Bi talde horiek *sektore lausoa* eratzen dute eta horietan energia-kontsumoa mugatzeko beharrezko neurriak konplexuak dira.

Biztanleria hazten doalako eta ingurumen osasungarriak zein erosoak eskatzen direlako, eraikinen energia-kontsumoa nabari igo da azkenengo urteotan. Mundu mailan, eraikinek igortzen dute negutegi efektuko gasen heren bat eta hondakinen zein energia-kontsumoaren heren baten erantzule dira. Azken batean, eraikinek bizitza-ziklo osoan zehar energia behar dute, eraikuntzatik deuseztapenera. Energia zuzena eraikuntzan, operazioan, birgaitzean eta eraispenean erabiltzen da. Zeharkako energia, aldiz, etxebizitza eraikitzeko eta instalazioen materialak lortzeko behar da, (Sharma et al., 2011).

Hortaz, eraikinen kontsumoa murriztu behar da, batetik, energiaren beharra mugatzeko eta, bestetik, eraikuntza-sektorea hobetzeko.

1.1. Exergia eta eraikinak

Aurreko helburuak lortzeko, analisietan *exergia* parametroa barneratu behar da, eraikinen azalean zein instalazioetan.

Energia forma anitzetan topa daiteke, besteak beste: elektrizitate, bero, lan, eta abarreko moduetan. Energia horiek beste batzuetan bihurtzen dira energia-galerarik gabe. Hori da, hain zuzen, *termodinamikaren lehen printzipioa* edo energiaren kontserbazioa. Halere, energia mota bat ezin da ehuneko ehunean beste era batean eraldatu, hots, unitateko etekinarekin. Esaterako, beroaren zati bat baino ezin da lanean bihurtu eta gainerakoa foku hotz batean lagatzen da (Carnot). Jakina denez, baieztapen horretan oinarritzen da *termodinamikaren bigarren printzipioa*, lehenengoak ez baitu bihurgarritasun gertaerarik jazotzen.

Horrela, energia formak beste motetan eraldatzeko gaitasunari energiaren *kalitatea* deritzo. Beraz, energiaren kantitate batek kalitate ezberdina du beste era batean bilakatzeko ahalmenaren arabera. Mota guztien artean *lana* hartzen da erreferentziazat eta, ondorioz, energiaren kalitatea lanean bihurtzeko gaitasuna da.

Idea hori *exergia* kontzeptuarekin adierazten da zeinek lanean bihurtzeko ahalmena adierazten baitu. Energia era batzuk guztiz eraldatzen dira lanean, elektrizitatea kasurako, orduan energia oro da *exergia*. Bestalde, beste batzuk, beroa adibidez, ezin dira osotasunean bihurtu eta zati bat baino ez da *exergia*. Orobat (eta funtsezko ideia da) energia kontserbatzen bada ere, *exergia* ez da kontserbatzen; alegia, prozesu edo talde guztien energia bihurketetan *exergia* suntsitu egiten da. Horrela, nahiz eta energia ezin den sortu ez deuseztatu, kalitatea txikituz doa. Kalitate-galera hori talde eta prozesuen perfekzio faltarekin lotzen da eta termodinamikan *itzulezintasuna* deritzo.

Bada, energia-analisiaren oinarria lehen printzipioa da eta *exergia*-azterketak, ordea, bi printzipioetan du funtsa. Esanahi interesgarria duelako *exergiaren* metodologia bat dago zeinek prozesuak eta instalazioak aztertzen baititu. *Exergia-analisia* deritzo eta sistemak (eraikinak barne) diseinatzeko eta aztertzeko erabiltzen da.

Etxebizitzien eskariak kalitate maila ugari dauzka. Alde batetik, argiztapen eta etxeko tresnen energia elektrikoaren eskariak kalitate altua dauka; bestetik, beroa eta halako eskariak kalitate baxukoak dira. Lehenengoa asetzeko argindarra erabiltzen da eta bigarrena elikatzeke, ordea, gas naturala eta antzeko erregaiak. Bi iturriek daukate, halere, kalitate maila altua. Esan bezala, berotzeko edo hozteko energiek kalitate baxua daukate eta, hortaz, ez dago energia-iturriaren eta eskariaren arteko kalitateen egokitzapenik. Hori dela eta, *exergia*-suntsiketa handiak daude eta *exergia*-galerak (benetako galerak) energia-galerak baino askoz nabariagoak dira.

Arrazoi horiengatik, beroketa-sistema optimizatzeko hobe da *exergia* erabiltzea ohiko energia-balantzea baino. *Exergia*-galerak handiak badira, kalitate desegokiko energia erabili da eta, hortaz, beste sistema batzuk erabili behar dira. Eraikinek hobetzeko potentzial handia daukate, batez ere, energia-iturriaren eta eskariaren arteko lotura faltagatik. Orain arte kalitate baxuko demandak kalitate altuarekin asetu baitira.

1.2. Exergia eta termoeconomia

Ekonomia aldetik balioztatzeko kontzeptu garrantzitsua da baita ere exergia. Arkitektoen eta ingeniarien erronka sistema efizienteak egitea da, bai energia bai ekonomia bai ekologia ikuspegitik. Energia-narriatze mekanismoak ezagutzea funtsezkoa da horiek murrizteko eta euren eraginak baretzeko.

Instalazio baten ekoizpen-prozesua, esaterako berokuntza edo EUB, *ekonomiaren* ikuspegitik azter daiteke; horrela, baliabideen kostuak, taldeen inbertsioa, operazio- eta mantenu-kostuak, etab., kalkulatu dira baina, halere, ikuspuntu horrek ez ditu kostuak instalazioaren osagaietan banatzen. Bestalde, exergia-analisiak prozesu indibidualen etekina ebaluatzen du eta itzulezintasunak kokatzen eta zenbatesten ditu; dena den, ez du ekoizpen-prozesua ebaluatzen.

Exergia-analisisa ekonomiarekin bateratzen bada sistemak optimizatzeko tresna ahaltsua lortzen da. Gainera, nahiz eta ezaugarri oso ezberdineko produktu-sistema konplexuak izan, ekonomia eta exergia-metodoa nahastuz produktu guztiei kostuak esleiri dakieke, unitate fisikoetan zein monetarioetan. Zientzia berri hori *exergoeconomia* da (Tsatsaronis, 1987) eta, oro har, *termoeconomia* ere deitzen da.

Termodinamika ekonomiarekin lotzeko *exergia-suntsiketa* erabiltzen da, edota termino zabaletan, itzulezintasuna. Horrek energiaren erabilgarritasun-galera adierazten du, alegia, talde baten perfektio maila. Prozesu erreal oro itzulezina denez, baliabide naturalak kontsumitu eta betirako galtzen dira. Horrek kostua dakar (baliabideek kostua dutelako) eta energia-unitateetan edo monetarioetan neur daiteke. Horregatik, prozesu bat zenbat eta itzulezinagoa izan orduan eta baliabide natural gehiago kontsumituko ditu eta, ondorioz, handiagoa izango da produktuaren kostua. Beraz, termoekonomiak fluxuen eta itzulezintasunen kostu monetarioak kalkulatu dituzenez, ohiko energia-analisiak baino informazio gehiago ematen du.

2. Termoeconomia eraikinetan. Ikerketaren helburuak eta muina

Nahiz eta interes nabarmena izan, termoekonomiaren aplikazioa eraikinetan oraindik ikerketa mailan dago eta eguneroko praktikan gutxi erabiltzen da. Etxebizitzak eta, batez ere, instalazio termikoen aplikazioa arestikoa da eta alderdi metodologiko ugari egokitu behar dira; hein batean, ikerketa honen helburua horiek ebaztea da. Egun, termoeconomia eta exergia kontzeptua ez da instalazioen diseinua, mantenua eta kudeaketa hobetzeko profesionalen artean hedatu. Dena den, energiaren kontzeptuak eraikuntza arloan ezagutzen hasi dira eta gero eta ohikoagoa da kontsumo gutxiko etxebizitzak low-ex izendatzea (CosteXergy, 2011).

Eraikinen edo instalazio barruko fluxuen kostuak ezagutzeko eraketa prozesua aztertu behar da, lehen mailako baliabideetatik hasita bukaerako produktuetaraino. Lehenengo printzipioaren energia-analisiarekin ebatzi ezin bada ere (batez ere sistemak konplexuak badira), exergiak onura nabarmenak ditu, esaterako:

- Irizpide fisikoekin produktuen prezioa lortzen da.
- Galeren leku zehatzak detektatu eta kostuak ebaluatzen dira. Gainera, hobetzeko proposamen errentagarriak lortzen dira, alegia, energia-auditoretzak egiteko balio du.
- Bukaerako produktuen kostua murrizteko eta baliabideak aurrezteko erabakitze-aldagaiak optimizatzen dira, bai optimizazio globalean bai lekukoan.
- Efizientzia gabeziak antzeman eta eragin ekonomikoak kalkulatu dira, hots, termoeconomia-diagnostikoa egiten da.
- Diseinurako alternatibak eta operazio-erabakien alternatibak lortzen dira.

Hortaz, termoekonomiaren aplikaziorako hiru eremu nagusi daude. Lehenengo, *energia-auditoretza* dago, termoeconomia aplikatuz itzulezintasunak eta taldeen etekinak kalkulatzear gain, fluxuen kostuak (tartekoak zein bukaerakoak) ebaluatzen direlako.

Bigarren aplikazioa instalazioen *operazio-diagnostikoa* da eta etekinaren galera eta eragin ekonomikoa kalkulatzeko balio du. Informazio horrekin talde okerrak identifikatu eta instalazioaren gaineko eragina aztertzen da.

Azkenik, aplikaziorako hirugarren saila instalazioen *diseinua* da. Diseinu-optimizazioa egitura eta erabaki-aldagaiak hautatzean datza eta horrela produktuen bukaerako kostuak gutxiagotzen dira (EUB, berokuntza edo airearen girotzea); horiek segurtasun eta ingurumen-mugak, murrizketa finantzarioak, etab., dauzkate.

Beraz, exergia-analisia tresna aproposa da ingeniartza arloan, batez ere energia-efizientzia hobetzeko.

3. Termoeconomia eraikinetan. Ikerketa kasua

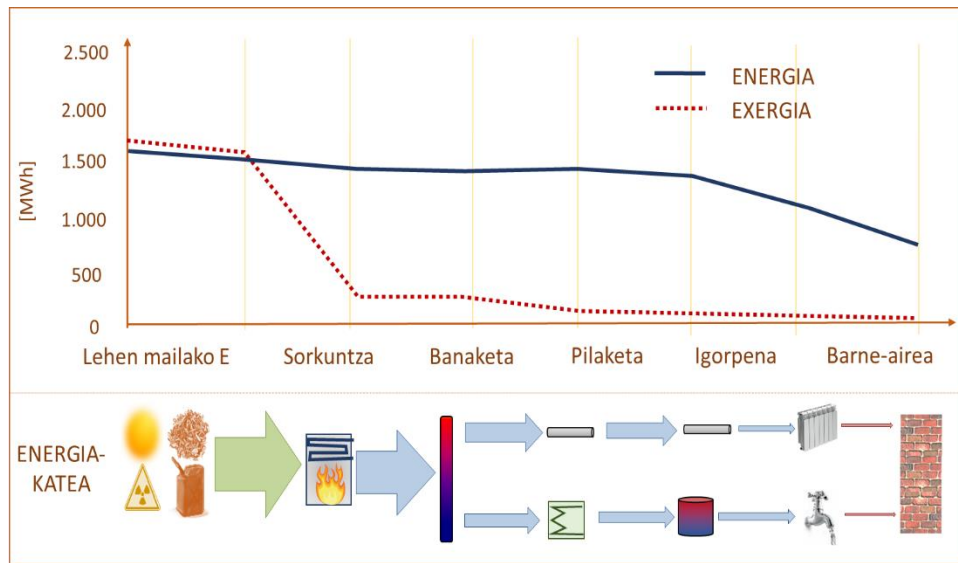
Arestiko teoriaren lekuko, Bilboko 4 etxebizitza-blokeen instalazio termikoa aztertuko da, era xumean, energia-auditoretzaren ikuspegitik; sistemak orobat, 566 bizilekuren berokuntza-eskaria eta EUB asetzen ditu, ikus 1. irudia (informazio zehatzerako irakurri Picallo-Perez et al., (2018)).

1. irudia. Instalazio zentralerako lau blokeen argazkiak



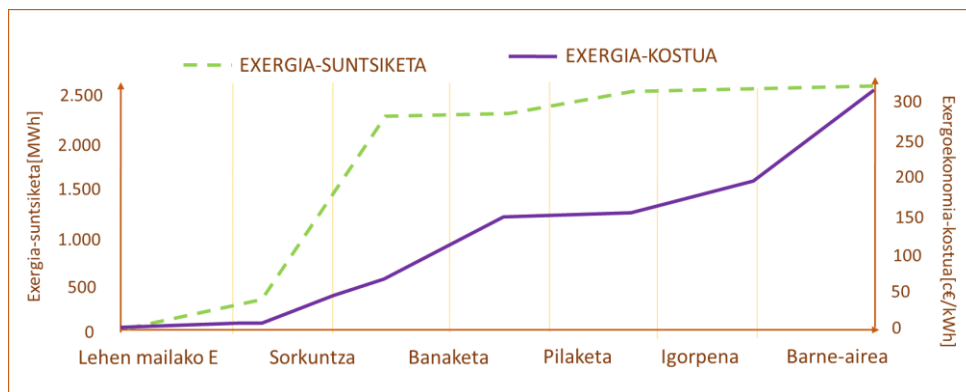
Instalazioaren exergia- eta energia-fluxuak 2. irudian aurkezten dira eta energia-katearen arabera banatu dira. Hasteko, lehen mailako energiatik/exergiatik abiatzen dira (erregai fosila); ondoren, sorkuntza, banaketa zein biltegitratze prozesuak jasaten dituzte; gero, igorpen-elementuak (erradiadoreak eta ur-txorrotak) igarotzen dituzte eta, azkenik, barne-airera doaz. Bi fluxuak murriztuz doaz eraldaketak pairatu ahala, baina, txikitzearen arrazoiak ezberdinak dira. Hauek dira zergatiak:

2. irudia. Energia- eta exergia-fluxuen profila



- Batetik, energia-fluxuaren urritzea bat dator bero-galerekin; alegia, prozesuak ez direnez idealak (marruskadura-galerak, isolamendu gabeziak, etab. daudelako), zati bat bero eran galtzen da. Begiratu, adibidez, sorkuntza faseko energia-galera: lehen mailako erregaiaren energia ia guztia bilakatzen da banaketa-energian (energia-etekina % 97 da). Hala izanik, kanpo-girora iristen den energia-fluxua da sartzen dena ken bero-galerak.
- Bestetik, bero-galerez gain, prozesu bakoitzean energia degradatuz doa eta hori exergia-fluxuarekin ikusten da. Halaber, sorkuntza-fasean erregaiaren energia-kalitate gehiengoa suntsitu egiten da bero-energian eraldatzean (exergia-etekina % 13 da). Gainera, katearen bukaeran irteera-energiak ez du exergiarik, lan egiteko ahalmena erabat deuseztatu delako.

3. irudia: Eraikin baten energia- eta exergia-fluxuen profila



Informazio sakonagoa lortzen da termoeconomia aplikatzean eta, besteak beste, energia-kateko exergia-suntsiketa zein -kostu pilatuak kalkula daitezke, ikus 3. irudia. Horrela, prozesuen puntu ahulak detektatzen dira eta optimizatu beharreko osagaiak hautatzen dira. Esan bezala, bihurtzen exergia-suntsiketa igoerak kostua handitzen du; azken batean, lana egiteko gaitasuna alferrik galtzen hari baita. Ikerketa kasuan, esaterako, sorkuntza prozesuko errektuntza taldeak ordezkatu beharko lirake energia-kalitate baxuagoko taldeekin; bero-berreskurapenerako taldeekin edota energia berriztagarrien taldeekin, adibidez.

4. Termoekonomiaren aplikazioa eraikinetan. Ondorioak

Prozesu industrialetan eta energia-plantetan exergia-kontzeptua aspaldi erabili izan den arren, egoitzetan zein hirugarren sektorean ozta-ozta erabili da.

Ondorioz, alde batetik, eraikinetan termoekonomiaren aplikazioa eskasa zelako eta, beste aldetik, kostuak kalkulatzeko, instalazioak diagnostikatzeko edota optimizaziorako tresna eraginkorra delako, azken urteotako ikerketak eraikinen exergia-aplikazioan oinarritu dira.

Horretarako, hiruhileko 3 egonaldi egin ziren (Berlineko TU Energia Ingeniaritza Institutuan, Palermo Unibertsitateko DEIMen eta Padova Unibertsitateko Ingeniaritza Industrialeko Departamentuan), 10 nazioarteko kongresuetan parte hartu zen (horietako batek artikulu onenaren saria jaso zuen) eta 5 JCR argitarapen egin ziren (Picallo-Perez et al., (2018), Picallo-Perez et al., (2018), Picallo-Perez et al., (2017), Picallo-Perez et al., (2017), Picallo-Perez et al., (2016)).

Are gehiago, liburu bat idatzi da (Sala-Lizarraga eta Picallo-Perez, 2019) eta bi argitarapen daude aldizkariaren ebaluazioaren zain (Picallo-Perez et al., Picallo-Perez et al.).

5. Etorkizunerako norabidea

Lan hau hemen bukatu arren, hainbat etorkizunerako ikerketa-lerroren abiapuntua da:

Ikerketaren aplikazio praktikoari dagokionez, termoeconomia software bat egingo da termoeconomia kostu-kontaketarako eta diagnostikorako. Programa hori giltzarria izango da eraikinen instalazio errealak kudeatzeko, mantentzeko eta optimizatzeko.

Beste ikuspegi bat termoeconomia-diagnostikoa hobetzea da edozein sistemetan aplikatzeko. Aireztapen sistemak, esaterako, oso sistema konplexuak direnez, horien jarrera termoekonomikoa era lausoan aztertuta dago. Beraz, sakonki analizatu behar da.

Horretaz aparte, ingurugiroko inpaktua kuantifika daiteke *ingurugiro-exergia* teoriarekin. Beraz, sistemaren energia-, ekonomia- eta ingurugiro-analisi orokorra lortuko da. Horretarako, bizitza-zikloaren datuak behar dira; alegia, analisisa sehaskatik hilerrira egin behar da.

Amaitzeko eta aurreko gogoetak kontuan hartuz, europar direktibek zein nazioko gobernu probintzialek exergia-analisiak barneratu beharko lituzkete. Modu horretan, mundu mailako beharrianak eta efizientzia hobekuntzak arinago lortuko dira.

6. Erreferentziak

Sharma, A. Saxena, A. Sethi, M. Shree, V. eta Varun, A. (2011): "Life cycle assessment of buildings: a review", *Renew. Sustain. Energy Review* 15 871-875.

Tsatsaronis, G. (1978): "A review of exergoeconomic methodologies, en Second Law Analysis of Thermal Systems", *American Society of Mechanical Engineers*, Nueva York, 81-87.

C24 CosteXergy (2011): "Analysis and Design of Innovative Systems for LOW-EXergy in the Built Environment", *Cost-European Cooperation in Science and Technology*.

Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M., Iribar-Solabarrieta, E., eta Hidalgo-Betanzos, J. M. (2018): "A symbolic exergoeconomic study of a retrofitted heating and DHW facility". *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27, 119-133.

Picallo-Perez, A., Hidalgo-Betanzos, J. M., eta Sala-Lizarraga, J. M. (2018): "New Exergetic Methodology to Promote Improvements in nZEB" *Application of Exergy. IntechOpen*.

- Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M., eta Escudero-Revilla, C. (2017): "A comparative analysis of two thermoeconomic diagnosis methodologies in a building heating and DHW facility". *Energy and Buildings*, 146, 160-171.
- Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M., Iribar-Solabarrieta, E., Odriozola-Maritorena, M., eta Portillo-Valdés, L. (2017): "Application of the malfunction thermoeconomic diagnosis to a dynamic heating and DHW" facility for fault detection. *Energy and Buildings*, 135, 385-397.
- Picallo-Perez, A., Escudero, C., Flores, I., eta Sala, J. M. (2016): "Symbolic thermoeconomics in building energy supply systems". *Energy and Buildings*, 127, 561-570.
- Sala, J. M. eta Picallo-Perez, A. "EXERGY ANALYSIS AND THERMOECONOMIC OF BUILDINGS – design and analysis for sustainable energy systems". *ELSEVIER*.
- Picallo-Perez, A., Sala, J. M., Tsatsaronis, G. eta Sayadi, S. "DYNAMIC ADVANCED EXERGY ANALYSIS IN BUILDING HEATING SYSTEMS –Dynamic Modelling, Avoidable/ Unavoidable, Endogenous/Exogenous and Mexogenous Exergy Destruction Assessment "
- Picallo-Perez, A., Lazzaretto, A. eta Sala, J. M. "Overview and Implementation of Dynamic Thermoeconomic & Diagnosis Analysis in HVAC&R Systems"

7. Eskerrak eta oharrak

- Esker-ona eman nahi zaio Eusko Jaurlaritzaren Etxebizitza Sailari eta azken urteotako Etxebizitza Zuzendariei; bereziki D Agustin de Lorenzori (Eusko Jaurlaritzako Eraikuntzaren Legediaren eta Kalitate Kontrolaren zuzendaria eta Eraikuntza Kalitatea Kontrolatzeko Laborategiaren zuzendaria (EKKL)).
- Lan hau beste lan batetik eratorria da: argitaratuko den "EXERGIA-ANALISIA ETA TERMOEKONOMIA ERAIKINETAN – energia sistemen diseinua eta analisisa" liburutik, hain zuzen.

Nafarroako Erresumaren antolamentu militarra eta sistema defentsibo arkitektonikoa

Yuguero Suso, Begoña

*Arkitekturako Saila, doktoregaia, Euskal Herriko Unibertsitatea EHU
begonayuguero@hotmail.com*

Laburpena

Testuan zehar ikusiko dugu nola antolatzen zen militarki Nafarroako Erresuma, bere jatorritik XVI. mendera. Horretarako, bere konposizio soziala aztertuko dugu, eta ikusiko dugu estamentu sozial bakoitzak zer inplikazio militar duen erresumaren defentsan. Aldi berean, zentratuko dugu gure begirada, erresumaren defentsarako arkitektura militarra osatzen zuten tipo diferenteetan.

Hitz gakoak: Nafarroako erresuma, Erdi Aroa, Militar, Gaztelu, Foruak

Abstract

Throughout the text, we will see how the Kingdom of Navarre was organized militarily, from its origin until the 16th century. To do this, we will break down its social composition and we will see what duties and military implications that each social level will have in the defence of the Kingdom. At the same time, we will focus our attention on the different types that made up the military architecture for the defence of the Kingdom.

Keywords: Kingdom of Navarre, Middle Age, Military, Castle, Fors (Jurisdictions)

1. Sarrera eta motibazioa

Nafarroako antolamendu militarra ulertzearen grina, Nafarroako Erret Gazteluak ikertzeko egiten ari garen Tesiaren parte da. Nafarroako Erret Gazteluak oso gutxi ikertuak izan dira. Eta ikertu izan direnengan beraien kontestu historikoa ulertu gabe eta era isolatuan egin da. Tesiaren bidez gazteluen ikerketa orokor bat egingo dugu, hau da, gazteluak bere osotasunean zuten erlazioa erakutsiko dugu, baita ere datu base sistema batez baliatuko gara GIS-a eraikiz. Eta pixkana pixkana, erret gazteluen artean dauden tipologia eta multzoak zehaztuz joango gara. Azkenik, erret gaztelu zehatz bat ikertuz, Arkitekturaren Arkeologia diziplinaren bitartez, eta baita fotogrametria irudien bitartez ere.

Oraingo honetan, Tesiaren atal bat aurkeztuz, Nafarroako Erdi Aroko taktika militarrek arkitekturaren zuen eragina ekarriko dizuegu. Erret gazteluen sistemaren diseinua nolakoa izan zen ulertzeko, ezin bestekoa baita gizartearen antolamendu politiko eta militarra ulertzea.

2. Arloaren egoera eta ikerketaren helburuak

Erret gaztelu nafarren inguruan ez da ikerketa askorik egin, esan dugu. Eta egin izan denean gutxitan ikertu dira benetan irauten duten arrastoak. Normalean, historiografiako eta dokumentazioko lanak izan ohi dira. Noizean behin arkeologiako indusketaren bat ere egin da gazteluren batean, oso gutxitan. Baina inoiz ez da kasu egin bere hormek esan behar dutenari.

Hortaz, Tesiaren helburua litzateke, Nafarroako erret gazteluak nola eta zergatik eraiki ziren ulertzea. Beraz, helburuak bi lirateke, alde batetik, erret gaztelu sarea zehaztea eta ulertzea, eta bestetik, hormak esan behar dutena entzutea. Gazteluen ikerketan beste ikuspuntu bat ematea da xede nagusia, elementu objektibo bakar batean oinarrituz, hots arkitekturaren. Gainera, zeharkako beste helburu bat da Arkeologiaren Arkitekturak baliatzen dituen metodoak praktikan jartzea, ondarea ikertzerakoan duten balioa erakusteko. Bertan erabiltzen den estratigrafia sistema, eta fotogrametriak oso baliozkoak izango baitira etorkizun laburrean, gure ondarea ondo ikertu eta babesteko.

3. Ikerketaren muina

Jatorritik Erresumaren desagertzera arte, gizarte nafarra hiru estatuen bidez gobernatzen zen, Eliza (edo beso eklesiastikoa), noblezia (edo beso militarra), eta hiriak edo *ruano*-ak (edo unibertsitateen besoa)(Jimeno Jurío, 1980: 434), eta horietan nekazariak ez zuten eserlekurik Gorteetan, eta beren jaun-andereek ordezkatzeko zituzten.

Honen ordezkaritza, errege-erreginek Foruei zin egin behar zieten koroatuak izan zitezen, eta horrela soilik, erresumako hamabi *rico-home*-ak, edo jakitun zaharrenek altxatzen zituzten errege-erreginak beraien ezkutuen gainean, zera oihukatuz, “Real, Real, Real!” (NFO/FGN1, 1869: lib. I, Tit. I, Kap. I).

Nafarroako Erresumak hiru zutabeetan oinarrituriko defentsa sistema, lehena derrigorrezko eta dohaineko zerbitzu militarra, bigarrena errege-erreginen basailuen zerbitzua, eta hirugarrena, erret gazteluak (Fernández de Larrea Rojas, 2013: 167). Beraz, armada txiki bat zuen soilik balio zuena erresuma defendatzeko fortifikazioen sarean babestuz (Monteano Sorbet, 1999: 213). Beraz, erresumak bi babes errekursu militar zuen, alde batetik erresuma osoko populazioaren derrigorrezko zerbitzu militarra, eta bestetik, fidelitate eta zerbitzu militarrenegatik jasotako ohoreak (Fernández de Larrea Rojas, 2013: 43-63).

3.1. Errege-Erreginak

Erresuma Karlomagno-ren kanpo mehatxu etengabearen sortu zen. Eta horregatik noblezia handi lur-jabeak ikusi zuen bere ondare lurak defendatzeko beharra, eta aginte militarra koordinatzeko, defentsa eta eraso zuzenduko zuen buruzagi bat hautatuz. Errealezia nafarra nola sortu zen azaltzen duen dokumentaziorik ez bada ere, badirudi jatorria noblezia handiaren arteko hitzarmen batean dagoela, konte eta baroiek “dux” bat hautatuko zuten eta “errege-erregina” deituko zioten. Horrela era parlamentarioko monarkia mota bat sortu zen. Baroi edo *rico-home*-ak errege-erreginekin partekatzen zuten boterea, eta beraien sortzezko kontseilariak dira. Handiki talde txiki honek errege-erreginak hautatzen zituzten, eta horiekin partekatzen zituzten gobernu atazak. (Jimeno Jurío, 1980: 430).

Errege-erreginak estatuaren eta erresumaren buruak ziren, eta hortaz, gerraren gidariak ziren, eta kanpaina armadetako buruak (Fernández de Larrea Rojas, 2013: 35). Bere funtsezko betebeharra Nafarroako estatuaren integritatea mantentzea da, horregatik errege-erreginak militarren buruak ziren, eta horien betebeharren artean, erret gaztelu guztiak gestionatzea zegoen. Horretarako, tenente gisa izendatzen zituzten buruzagi fidelenak. Erret gazteluak errege-erreginen esku zeuden, beraz estatuaren esku.

Erdi Aro Berantiarrean, gaztelu gehienak erret ondarearenak ziren, bai errege-erreginek eraikiak izateagatik, beharrek exijitzen zuten heinean, eta bai erosketa, permuta edo donazioz lortuak izateagatik (Martinena Ruiz, 1994: 119-120). Baziren erret gaztelu gutxi batzuk egoitza funtzioa zutenak, eta gainera, erret gaztelu guztiak eskuragarri egon behar zuten une oro, bere hormen barnean errege-erreginak eta beraien komitiba errezibitzeko (Martinena Ruiz, 1994: 150-153). Errege-erreginak itineranteak ziren, eta horregatik, beraiek zeuden lekua tenporalki erresumako hiriburu bihurtzen zen, Naiara, Tuter, Lizarra, Olite, baina batez ere Iruñea.

Gainera, estatuak Nafarroakoa Foru Orokorrean definitu ziren beste fortalezia batzuk zituen. Deskribatutako elementuen artean aurkituko ditugu, harresiak, dorreak, barbakanak, palisadak, hiriak, labeak, errotak eta usategiak. Guzti horiek lege batzuen arabera eraiki behar ziren. Ezin zen inolako fortalezia edo gaztelurik egin, ez horma edo barbakanarik erret hiri eta gazteluetan errege-erreginen baimenik gabe, ezta ere jaun-andereen baimenik gabe hiri seinorialetan edo gaztelu seinorialetan (NFO/FGN, 1869: Lib. I, Tit. III, Cap. I-II). Dorreei dagokienez, altuera ere lezean zegoen. Inolako dorrek ez zuen izan behar, zaldi baten gainean gizon batek lantzarekin heldu zezakeen altuera baino altuagoa. Baina errege-erregina edo jaun-andereen

¹ NFO/FGN, aipamen egiten dio Nafarroako Foru Orokorari, edizio honi, Illarregui, P.; Lapuerta, S. (1869). *Fuero General de Navarra*. Pamplona: Diputación Provincial de Navarra.

baimenarekin eraikiko balitz, orduan dorreak ahal zen altuen eta sendoen izan behar zuen (NFO/FGN, 1869: Lib. I, Tit. III, Cap. III).

1. irudia. Loarre erret gaztelua, Huesca (Egilearen argazkia 2017).



3.2. Goi Noblezia: *Rico-Home*-ak edo Baroiak

Noblezia Nafarroako Erresumako posizio altuena zen, eta guztiek militarrek izan behar zuten. Noblezia, aldi berean, maila diferentetan banatua zen, pribilegio eta betebeharren arabera, eta beraz, botere maila diferentea zuten. Hau da, noblezia hiru mailetan banatzen zen. Goikoa, hau da, *rico-home* eta baroiak, erdiko noblezia, hau da, zaldunak edo jauregidunak, eta azkenik, beheko noblezia, hau da, kapare eta infantzoiak. Azpimarratu behar da, ez dela odolkidetasunean oinarritzen zen noblezia, baizik eta etxean oinarritzen zela. Etxea zen izena eta *status*-a ematen ziona familiari. Are gehiago, etxearen izenak lekuari egiten zion aipamen. Hortaz, deitura gehienak toponimikoak dira². Horregatik, nabarmendu behar da, nobleziaren erroa lekuan zela, etxean.

Nobleziaren parterik altuenean *rico-home*-ak zeuden, erret gobernuaren parte zirenak, eta errege-erreginekin harreman zuzena zutenak. Halako boterea zuten, Nafarroako Foru Orokorrak aipatzen duela, inolako errege-erreginek ezin zuela Gortetik egin, erresumako *rico-home* naturalen aholkurik gabe, ezta gerra ez bake, beste errege-erregina batekin, ezta ere, tregoarik, ez erresumarentzako erabaki inportanterik hartu, hamabi *rico-home* edo lurraldeko jakitunen onespelik gabe (NFO/FGN, 1869: Lib. I, Tit. I, Cap. I). Hortaz, talde aberatsena eta boteretsuena zen, baina era berean urriena (Arbella, 1992: 134). *Rico-home*-ak gobernu funtzioak zituzten distritu edo tenentzietan. Eta bere kontseilua partekatzen zuten erresumako hierarkia eklesiastikoaren ordezkari gorenekin (Segura Urrea, 2006: 8-19).

Goi noblezia honi zegokion erret guardiari zuzenduriko milizia funtzioa (Yanguas y Miranda, 1843: 145-146). Beraien klase zeregina miliziarrena zen, gerra defentsiboa kanpoko agresioen kontra (*apellydo*-a) eta gerra ofentsiboa (ostea), mugetatik kanpo. Horretarako, mesnada (mesnaia) zerbitzua mantentzen zuten, maila eta kategoria sozial diferenteko jendez osatuak, hala nola zaldunak, ezkutariak, kapareak bai zaldizko eta bai oinezko (Jimeno Jurío, 1980: 431).

Noble guztiak bezala, erret ostean (gerra ofentsiboan) parte hartzera behartuak zeuden, baina ohoreak zituztenak eta ondorioz tenentziak gobernatzeko zituztenak erret ostean zerbitzatu behar zuten hiru aste bere kargu, eta ez hiru egun. Egun horretatik aurrera, *rico-home*-ek ordaintze konpentsatorio batzuk jasotzen zituzten, *caverias* deiturikoak (Segura Urrea, 2006: 25-26). Bai gerran edo torneo batean, nobleak derrigortuta zeuden bere errege-erreginak babesteko, bere zaldia errege-erreginei uzteko ere, hauek galdu izan balute (NFO/FGN, 1869: Lib. V, Tit. II, Cap. I).

Tenenteen funtzioa tenentzia bat gestionatu eta defendatzea zen. Normalean, tenentziak nukleo fortifikatu bat zuten eta lurralde distritu txiki bat. Horrela ziren ohikoenak, baina bazen

² Irantzuko Monasterioan XIII. mendean erregistratu eta Jose Maria Lakarra-k publikatutako deitura gehienak, toponimikoei egiten die aipamen (Estornés Lasa, B. (2018) Apellido. *Añamendi Entziklopedia* (Eusko Ikaskuntza, 2018). Hemendik errekonstruitua <http://aunamendi.eusko-ikaskuntza.eus/eu/deitura/ar-1383/>)

ere salbuespenik (Pescador Medrano, 1999: 108-109). Gazteluzainei erret gazteluen defentsaren ardura egozten zitzairen. Ardura absolutua zen, gazteluaren babesaren leialtasunaren alde bere biziarekin erantzun behar zuten. Gazteluetako goarnizioak funtsean erresumako indar permanente bakarrak ziren (Fernández de Larrea Rojas, 2013: 40-59). Arau orokor gisa, nobleziaren beheko estratutik zetozen, hau da, kapareak eta ezkutariak, baina kasu batzuetan zaldunak ziren eta goi nobleziakoak ere (Martinena Ruiz, 1994: 383).

Foru Orokorrean, ikus dezakegu *rico-home*-ek gaztelu seinorialak zituztela (NFO/FGN, 1869: Lib. II, Tit. IV, Cap. I). Armeria Liburuan, hitz berri bat ageri da “Armeria Buruak” deitua, gaztelu seinorial bati aipamen egiten ziona. Liburu honetan oso garbi hiru arma mota bereizten dira: jauregiena, buruak ala ez; hirietako leinuena eta arma pertsonalak (Menéndez Pidal; Martinena, 2005: 23). Armeria buru jauregiak inportanteenak ziren, hortik “buru” espezifikazioa erresumako noblerik inportanteenen etxebizitza izendatu eta diferentziatzeko kategoria juridikoa izan liteke.

Gaztelu seinorial guzti hauek, erret gazteluen babes sarea osatzen zuten. Eta bigarren maila batean badaude ere, horrek ez du esan nahi arkitektonikoki bere kalitate edo tamaina txikiago zenik. Are gehiago, batzuetan tamaina handiagoko gazteluak izatera heldu ziren. Eraikin militar guzti hauek, jaun-andere batzuen esku bazeuden ere, Nafarroako errege-erreginek laguntza eskatzen bazien, emateko prest egon behar zuten.

2. irudia. Latsaga armeria buru jauregia, Izura-Asme, Behe Nafarroan (Egilearen argazkia 2009).



3.3. Erdiko eta Behe Noblezia: Zaldunak-Jauregitarrak, eta Kapareak-Abarka Infantzoiak

Erdiko noblezia, zaldunak, ofizialki errege-erreginek armatzen dituzte, eta era berean arma-jende komitiba mantentzen dute (Jimeno Jurío, 1980: 431). Baina bere ohorea galtzen bazuten, publikoki degradatuak izan behar zuten, bere ezpataren lokarria moztuz, eta lurrera erortzen utziz (NFO/FGN, 1968: Lib. V, Tit. XII, Cap. I). Behe noblezia, kapareek eta abarka infantzoiek ere propietateak zituen, normalean bere nekazal ondasunetatik bizi ziren, eta pribilegio juridiko eta fiskalak zituzten ere (Arbella, 1992: 136-137).

Denek erret osterat joan behar zuten, errege-erreginak laguntzera, hiru egunetan zehar, beren kargu, eta beren behar guztiei aurre eginez. Hortik aurrera, bederatzi egunetan zehar, errege-erreginak gastu guztien kargu egiten ziren. Egun horiek iragan ondoren, etxera itzultzeko aukera zuten, errege-erreginek zor zieten ordaintzen ez bazieten ere. Baina bederatzi egun horien ondoren, erret gaztelua edo hiriak setiatua segitzen bazuten, gaztelua edo hiri berreskuratu arte beraien ondoan egon behar zuten (NFO/FGN, 1869: Lib. I, Tit. I, Cap. IV). Hiru egunetako dohaineko zerbitzua iragan ondoren, mesnaderia errezibitzen zuten (Segura Urrea, 2006: 26). Zaldunek erret tresor edo altxorretik soldata bat jasotzen zuten esku-dirutan, *caveria* edo mesnaderia deitua, urtean berrogei egunetan zehar, eta honek derrigortzen zituen, eta posible egiten zien gerra zaldi bat mantentzea, eta zegokion defentsa armamentua, zaldi-zela zuen ezkutari batez gain (Arbella, 1992: 135-36).

Goi nobleziak bezala, erdiko eta beheko nobleziak ere obligazioa zuen, bai gerran eta bai torneo batean, bere errege-erreginak babesteko, bere zaldiak errege-erreginei uztekoa ere, horiek eskatu bazuten (NFO/FGN, 1869: Lib. V, Tit. II, Cap. I).

Goi nobleziak bezala, erdiko nobleziaren etxebizitzak ere eraikin militarrek ziren, beraiek militarrek baitziren. Jauregi titulua zuten etxeen jabeak ziren, eta horietako fatxadetan armarrak jartzen zuten (Arbella, 1992: 136). Hala ere, beren jauregi eta dorreak, armeria buruak ez izatean, kasu honetan bai maila beheragokoak ziren, baina beti ez zen erraza izango arkitektonikoki bereiztea, baina bai juridikoki. Beren jauregi eta dorreen arkitekturak erantzuten zuen jabe bakoitzaren maila ekonomikoari.

3. irudia. Jauregi dorrea, Zerain, Gipuzkoa (Egilearen argazkia 2014).



Gazteluzain gehienak kapareak edo zaldunak ziren. Batzuetan, gazteluzain bezala leinu edo familia bereko jendeek segidan zihoazen. Jeneralean, bigarren mailakoak ziren, gutxitan aipatzen baitira oinetxeko jaun-andereak edo jauregitarrak (Martinena Ruiz, 1994: 384-385). Behe nobleziako gazteluzainek pertsonalki bizi behar zuten gazteluan, edo bertan pertsona leial bat jarri. Gazteluak jende, arma eta elikagaiez ongi hornitua egon behar zuen. Fabrikaren egoeraz okupatu behar zuten, bereziki horma eta dorreez. Eta azkenik, gaztelura itzuli behar zuten errege-erreginek hala eskatzen zutenean. Gainera, eraso kasuan heriotzara arte defendatu behar zuten. Gazteluzaina presoner erortzen bazen gaztelua defendatzen, bere ohorea salbatzen zuen. Traizio edo gaztelua defentsarik gabe errenditzen zen kasuak ekarriko luke zigor eredugarri bat, normalean laurdentze edo deskuartizamentu zigorra (Martinena Ruiz, 1994: 394-402).

3.4. Eliza

Nafarroako Elizak gobernu paper inportantea izan zuen, askotan nobleena bezainbat. Elizan aurki ditzakegu bi klase sozial, goikoa, hau da, klero sekularra, eta behekoa, hau da, klero erregularra. Nobleziak ez bezala, estamentu eklesiastikoa guztiei irekia zegoen (Arbella, 1992: 137).

Elizak gaztelu batzuk zituen, errege-erreginek edo jaun-andere handiek, XI. eta XII. mendeen artean, monasterioei eta ordena erlijiosoei egindako donazioen bidez lortutakoak, baina ez ziren oso ugariak. Denboraren poderioz, segidako errege-erreginek saiatu ziren baliabide guztiekin, fortalezia horiek berreskuratzen, eta horregatik negoziazio luzeak gertatu ziren (Martinena Ruiz, 1994: 132-134).

Estatu eklesiastikoko pertsona batzuk gazteluzain izaera zuten, normalean lotinant baten zerbitzura jotzen bazuten ere (Martinena Ruiz, 1994: 389). Eliza gotortuak, eraiki zitezkeen oin berrikoak edo xede belikoekin egokituz. Horietako gehiengoa harriz eraiki zenez, eta leku altuetan kokatzen zirenez, horrek bere defentsa errazten zuen. Landa lurraldean gatazketan zehar azaltzen diren fortalezia asko benetan eliza gotortuak dira. Gatazka bukatzerakoan, eliza hauek herriei itzuli behar bazitzairen ere, gerraren aurretik zeuden egoera berean (Monteano Sorbet, 1999: 237-238).

4. irudia. Andra Mari eliza erromaniko fortifikatua, Galdakao, Bizkaia (Egilearen argazkia 2009).



3.5. Hiritarrak eta Frankoak

Ruano edo hiritar izena ematen zitzaien *rua* edo kaletan bizi ziren hiri handietako biztanleei (Arbella, 1992: 140). XI. mendearen bukaeran, klase sozial berri bat azaldu zen, noble gerrarien eta nekazarien artean zegoena. Pirinioetako beste aldetik, hau da, Ultraportuetatik etorritako merkataritza-jardueretan espezialista ziren pertsonen asentamentua, erresumako erreaktibazio ekonomikoan bitala kontsideratu zen. Frankizia foruak eman zitzaizkien. Izaera pribilegiatu, libre edo frankoko hiri asentamentu berriak sortuz. Beraien libertate pertsonalaz karakterizaturik, franko edo *ruano*-ak garbi bereizi ziren nekazari umilengandik, talde pribilegiatu gisa altxatuz, ordura arte nobleziak soilik zuen postua okupatuz (Segura Urrea, 2006: 27-28).

Beren ekonomia ez zen nekazaritzan oinarritzen merkataritzan eta bankan baizik, ogia eta ardoaren salmentaren monopolioa lortuz (Jimeno Jurío, 1980: 433). Burgu frankoek, frankoak deitzen dira, ez atzerritarrek populatuak zirelako, baizik eta frankezuak zeudelako (Jimeno Jurío, 1980: 433). Frankoen hizkuntza ofiziala oktitaniera zen (Cierbide Martinena, 2011: 763), eta hortik, Ultraportuetatik etorritako jendea deitzea. Frankoak, autore askok frantziarrekin konfunditzen badituzte ere, ezin dute okzitaniar besterik izan, frankoak deituak libre zirelako, eta ez frantziarrak zirelako.

Nobleziaren abantailak zituzten hiru egunetara mugatzen zen dohaineko zerbitzu militarri dagokionez. Ez zen egokitzen hartzen frankoen mobilizazioa denbora gehiagoan zehar erregulatzea, beraien merkataritza eta artisau izaerarengatik, noblei exijitzen zitzaient formazio militarretik oso urrun. Etxeko jabeak bere asistentzia erabaki zezakeen, eta bere ordezkari bezala infante armatu bat bidali, eta desadostasun kasuan 60 soldatari isuna pagatu (Segura Urrea, 2006: 36-37). Zirkunstantzia normalean, hiri baten defentsa bertako biztanleek zegoen. Behar kasuetan soilik, indartzen zen defentsa kapitain baten esku koordinatutako tropa profesionalekin (Fernández de Larrea Rojas, 2013: 40).

3.6. Nekazariak eta Bilauak

Nafarroako populazioaren masa, handia talde sozial honek osatzen zuen, juridikoki errege-erreginen dependiente zirenak, eta neurri txikiago batean jaun-andere eklesiastiko edo laikoena (Segura Urrea, 2006:38). Bi talde sozial zegoen, alde batetik nekazari peitariak, auzotar eta etxe eta lurren jabe zirenak. Eta bestetik, nekazari-morroi eta jopuak, antzinako esklabuen oinordekoak, propietaterik ez zutenak, eta beraz, ez zuten auzotar pribilegiarik. XIII. mendetik aurrera, aldaketa bat gertatu bazen ere, eta bertan, nekazari-morroiak, maizter eta partzuer bihurtzen joan ziren (Jimeno Jurío, 1980: 433-434).

Badirudi guztiak adierazten duela landa eta nekazari komunitateek parte aktiboa hartu zutela borroka zibiletan. Badirudi herriaren inplikazioa gerran historiografiak jasotzen duena baino handiagoa zela (Monteano Sorbet, 1999: 246-247). Bilauek apareilu militarren erabilera ez zuten ezagutzen, eta zutik borrokatzen ziren, ezkutu eta makilarekin (Segura Urrea, 2006: 23). Nekazariak obligatuak zeuden beren zerbitzuak prestatzera bai gerra defentsiboetan, *apellydo*-a,

eta bai ofentsiboetan, ostea (Monteano Sorbet, 1999: 241). Ostera joatera obligatua zuten beren kargu, eta denbora mugarik gabe, beti ere beren jaun-andere edo errege-erreginek deitzen bazituzten, eta kontrako kasuan, 60 soldatako isuna pagatzen zuten. Salbuespen bakarra gaixotasun propioa edo bere kargu zegoen hurbileko ahaide batenagatik zen. Etxe bakoitzetik pertsona bakarra mobilizatu behar zuten. Gainera *apellydo*-ra joatera obligatuak zeuden (Segura Urrea, 2006: 50).

Hiri eta haranetako populazioa obligatua zegoen zerbitzuak prestatzera *bracero* edo peoi gisa erret gaztelu eta fortifikazioetan, janari truke. Bestalde, “hiri gotortuak”, herri kontseiluekin integroki ordaindu behar zituzten gotortze lanak, nahiz eta gehienetan erret laguntzak zituzten zerga salbuespen moduan (Monteano Sorbet, 1999: 235-236).

5. irudia. Barruti harresitua, Artaxoa, Nafarroa Garaia (Egilearen argazkia 2016).



3.7. Beste talde sozial batzuk

Gogoratu behar dugu, Erdi Aroko Nafarroan lan honetan abordatu ezin izan ditugun beste talde sozial batzuk zeudela, hala nola juduak, mudejarrak, agotak, ijitoak, arloteak, bidelapurak, e.a. Baina era berean betebeharrak zituzten. Juduak ez ziruditen defentsarako oso animatuak, eta Nafarroako komunitate islamikoa gehiago erlazionatzen zen erresumako intendentzia eta arma konponketarekin, trabuko artilleria eta tropen eta gazteluen fortifikazioekin (Fernández de Larrea Rojas, 2013: 88-89).

4. Ondorioak

Analisi labur honen ondoren, badirudi Nafarroa guztiz militarizatua zegoela, bai bere gizarteko kide bakoitza edozein zela bere klase soziala, eta bai bere lurraldea, bertan barreiatzen baitziren izaera diferenteko gaztelu eta fortifikazioak. Egiaztatu ahal izan dugunez, talde sozial guztiak obligatuak zeuden neurri handi edo txikian gerran edo osteetan. Hala ere, estatuaren pisu militarra errege-erreginen eta nobleengan erortzen zen, eta neurri handiago batean goi noblezian.

Erresumak armada permanente bat zuen, eta karakterizatzen zen erret gazteluetan zuen goarnizioarengatik, eta funtzionari militar kopuru batengatik, etorkizuneko gerrak gestionatzera eta prestatzera destinatutako zeudenak, eta edozein unetan gerrarako prest egon behar zuten. Gainontzeko klase sozialak, soilik mobilizatzen zituzten gerra inminente edo gerra mehatxu kasuan. Eta honek suposatzen zuen, erresumako ohiko armadari ezinbesteko babes. Beraz, gerra garaian, herrialde guztiak laguntzen zuen, modu batera edo bestera, erresumaren integritatearen defentsan.

Defentsa arkitektoniko militarri dagokionez, esan behar dugu paper nagusia erret gazteluena zela. Hauek erresumako lehen defentsa lerroa ziren, era ugariena, eta bertan inbertitzen ziren baliabide humano eta ekonomiko handiak. Hauen babes gisa, eta bigarren defentsa lerro gisa, Armeria Buru Jauregiak zeuden, eta *rico-home*-ak ere, gazteluak babesteaz gain, beraien militarrek jartzen zituzten erresumaren zerbitzura. Hirugarren lerroan, gainontzeko jauregi eta dorre seinorialak zeuden, lurralde nafar osoan zehar barreiatuak, eta militarki hornituak. Eta azkenik, laugarren defentsa lerro gisa, xede militarerako tenporalki erabiltzen

zen arkitektura zegoen, hiri eta fortifikazioak bai errege-erreginenak eta bai jaun-andereenak, eta eliza eta monasterio gotortuak, gerra garaian, gazteluak bezain sendo izan zitezkeenak.

Beraz, badirudi Nafarroako erresumaren defentsa, arkitektura militar dentsitate oso handia sortzean oinarritzen zen, kontingente militar gutxirekin defenda zitekeena. Etsaiarentzat ordea, honek suposatzen zuen denbora eta jende desgaste handia, denbora gutxiro fortalezia bat setiatu behar baitzuen eta bertan soldadu talde bat utzi, erretagoardia estaltzeko. Eta horregatik, eraso nahi zuten leku estrategikora iristeko, aurretik oztopoz beteriko bidea zuten.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunean erret gaztelu bat ikertzean, kontutan izan beharko da, kontestu baten barruan dagoela, ez direla elementu isolatuak eta antzekotasun handiko beste gaztelu batzuk daudela. Tesi honen ondorioz, errazago izango da gazteluen arteko erlazioak ulertzea eta ikustea. Gertatzen ohi da, ikertu behar den gazteluaren elementuak galduak izatea, eta premiazkoa da antzeko elementuak dituzten gazteluak ezagutzea, hortaz ikerketa honek bide hori erraztuko luke. Gainera aplikatzen den diziplinak Arkeologiaren-Arkitektura zabaltzea du helburu. Eta ikerketa mota honekin lortu daitezkeen informazioa erakutsi nahiko luke. Helburua litzateke, aurrerantzean ondarea ikertzerakoan Arkeologiaren Arkitekturaz baliatzea.

6. Erreferentziak

- Arbella, P.M. (1992). Las clases sociales en Navarra, minorías conflictivas en la Edad Media y Moderna (III-IV liburukia). *Cuadernos Canela*, 130-158 orr.
- Cierbide Martinena, R. (2011). Occitano Languedociano y Gascón en la Navarra Meridional, País Vasco Norte y Guipúzcoa. *Pirinioetako hizkuntzak: oraina eta lehena: Euskaltzaindiaren XVI. Biltzarra*. 761-772 orr.
- Estornés Lasa, B. (2018) Apellido. *Enciclopedia Auñamendi* (Eusko ikaskuntza, 2018). Hemendik berreskuratua <http://aunamendi.eusko-ikaskuntza.eus/eu/deitura/ar-1383/>
- Fernández de Larrea Rojas, J.A. (2013). *El Precio de la Sangre. Ejércitos y Sociedad en Navarra durante la Baja Edad Media (1259-1450)*. Madrid: Sílex Ediciones.
- Illarregui, P.; Lapuerta, S. (1869). *Fuero General de Navarra*. Iruñea: Nafarroako Diputazio Probintziala.
- Jimeno Jurío, J.M (1980). Las Clases Sociales en Navarra durante la Edad Media. *I Congreso, Semana de las Merindades*. Pamplona, 428-436 orr.
- Martinena Ruiz, J.J. (1994). *Castillos Reales de Navarra, siglo XIII-XVI*. Iruñea: Nafarroako Gobernua
- Menéndez Pidal, F. y Martinena, J.J. (2005). *Libro de Armería del Reino de Navarra*. Iruñea: Nafarroako Gobernua.
- Monteano Sorbet, P. (1999). *Los Navarros ante el Hambre, la Peste, la Guerra y la Fiscalidad. Siglos XV y XVI*. Iruñea: Nafarroako Unibertsitate
- Pescador Medrano, A. (1999). Tenentes y Tenencias del Reino de Pamplona en Álava, Vizcaya, Guipúzcoa, La Rioja y Castilla (1004-1076). *Vasconia* 29. Donostia: Eusko Ikaskuntza, 107-144 orr.
- Segura Urrea, F. (2006). *Nobles, Ruanos y Campesinos en la Navarra Medieval. Iura Vasconiae III*. Donostia: BZHAAF/FEDHAV, 9-57 orr.
- Yanguas y Miranda, J. (1843). *Adiciones al Diccionario de Antigüedades de Navarra*. Iruñea: Javier Goyeneche-ren Inprimategia.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan honetan ageri diren emaitzak, egun burutzen ari den “Erret Gaztelu Nafarren Ikerketa Arkitektoniko-Arkeologikoa” Tesiaren atal baten parte dira.

Elektrospinning bidezko PCL nanozuntzen lorpena larruazal-birsorkuntzarako

Goenaga, Claudia; Rodriguez-Florez, Naiara; Zabala, Alaitz; Lapeira, Estela eta Buruaga, Lorea
Mekanika eta ekoizpen industrialeko departamentua, Mondragon Goi Eskola Politeknikoa

claudia.goenaga@alumni.mondragon.edu

Laburpena

Larruazal-ultzerak osasun publikoarentzat mehatxu larriak dira, eta zaurien orbaintzea prozesu naturala bada ere, zauri-jantzi egoki batek prozesuan lagundu dezake. Lan honetan, elektrospinning teknika bitartez, polikaprolaktonazko (PCL) zauri-jantziak diseinatu dira, zeinei plaketa aberatsa den plasma (PRP) estaldura gehitu zaie. PCL biobateragarria eta biodegradagarria den polimero sintetikoa da. PRPak aldiz, lesioa sendatzeko oso garrantzitsuak diren hazkunde-faktoreak eskaintzen dizkio zauri-jantziari. PRParen adizio eraginkorra ahalbidetzeko, PCLeko zuntz-sareen funtzionalizazioa burutu da hau kontzentrazio desberdineko disoluzio alkalinoetan murgilduz. Horrela, kaltetutako azalgeruzen birsortzea eragingo duen zauri-jantzia garatu da.

Hitz gakoak: elektrospinning, PCL, PRP, nanozuntzak eta zauri-jantzia

Abstract

Skin ulcers are a serious threat to public health system, and, although wound healing is a natural process, a proper dressing can improve the healing process. In this work, platelet rich plasma (PRP) coated polycaprolactone (PCL) wound dressings have been designed by means of electrospinning. PCL is a biocompatible and biodegradable synthetic polymer. PRP, in turn, offers growth factors to the dressing, which are significant in the healing. To enable an effective addition of PRP, functionalization of PCL fibre meshes has been carried out by immersing them in alkaline dissolution of different concentrations. In this way, a novel wound dressing that aids in the regeneration of damaged skin layers has been developed.

Keywords: electrospinning, PCL, PRP, nanofibers and wound dressing

1. Sarrera

Azalaren edo mukosen haustura eragiten duen eta substantzien galera sorrazten duen traumatismo batek sortutako lesioa da ultzera. Horrela, ordura arte esterila zen barne zauriaren eta kanpokoaren arteko komunikazioa gertatzen da. Gaixo kopuru handia dela eta, larruazal-ultzerak osasun publikoarentzat eta ekonomiarako mehatxu larriak dira, zeinak adina edo sexua edozein izanik ager daitezkeen. Tamaina, sakonera eta hedaduraren arabera izango da tratamendua, eta kaltetutako azalaren osotasunak efektu psikologiko, sozial eta ekonomiko garrantzitsuak eragin ditzake.

Zaurien orbaintzea prozesu biologiko espezifikoa da, ehunen hazkuntza eta birsorkuntza fenomenoekin lotuta dagoena. Hala ere, ultzerek orbaintze-prozesuaren aurrean oso jarrera eskasa aurkezten dute. Zauri-jantzi egoki batek prozesua hobetu dezake, zauriaren ingurunean beharrezkoak diren baldintzak sorraziz. Baldintza horien artean aipagarrienak zauritik gehiegizko exudatuak xurgatzea, zauria trakzio mekanikoetatik eta bakterioen infiltrazioetatik babestea, gas eta fluido ezberdinen trukea ahalbidetzea, trauma sorraziz gabe kentzea posible izatea, ez-toxikotasuna eta ez-alergenotasuna eskaintzea eta hemostasia propietate azkarra izanik (Lionelli eta Lawrence, 2003). Halaber, zauri-jantziak orbaintzeari mesedea egiten dio eta zauriaren itxura hobetu egiten du, baita mina murriztu ere, gaixoaren ongizatea areagotuz eta zauriaren gunearen erabilera hobetuz.

Zauri-jantziak garatzeko egon daitezkeen metodo guztien artean, azkenengo mendeen elektrospinning teknikak interes handia sortu du. Polimero naturalen edo sintetikoaren soluzio polimeroetatik abiatuz eta indar elektrikoak erabiliz, nanometrotatik hainbat mikrometro-tako diametro-dun zuntzak lortzea helburu duen teknologia da elektrospinning-a (Sánchez et al., 2013). Teknika honen bitartez lorturiko zauri-jantziek dituzten propietateen artean, zauria sendatzeko beharrezkoa den ingurunea sortzeko dituzten gaitasunak azpimarratu daitezke. Gaitasun hauen artean daude, esate baterako, bolumenarekiko duen azalera handia, porositate aldagarria, tamaina eta itxura askotan doitzeko malgutasuna eta zuntzen konposizioa kontrolatzeko aukera (Tong et al., 2012).

Larruazal-birsorkuntzan nanozuntzak substratu fisiko bezala jokatu du erlazio zelularrean, ugaltzean eta desberdintzapenean. Zelulentzat ingurune egoki bat eskaintzeko asmoz, nanozuntzak biobateragarriak eta biodegradagarriak izan behar dira, eta espezifikazioen arabera egon behar dira diseinatuak (Park et al., 2007). Azkenengo hamarkadan, elektrospinning teknika medio erabili diren materialen artean hurrengoak erabili dira: azido poli(laktiko-ko-glikoliko)a (PLGA) bihotz-ehuna eraikitzeko (Zong et al., 2005); azido poli(l-laktiko)a (PLLA) hezur birsorkuntzarako (Shim et al., 2010); eta polikaprolaktona (PCL) nerbioen konponketarako (Jha et al., 2011), tendoi birsorkuntzarako (Bosworth et al., 2008) eta azaleko ehun ingeniartzarako (Chen et al., 2011).

PCLa, jatorri fosila duen eta Ameriketako Estatu Batuetako *Food and Drug Administration* (FDA) eta Europako CE-k balioztatutako (Augustine et al., 2015) biomateriala izanik, aplikazio ezberdin askotan da erabilgarria. Giza gorputzaren aurrean aurkeztu duen bioaktibitatea, propietate mekanikoak eta prozesagarritasun termoplastikoak, zauri-jantzien garapenerako hautagai egokian bihurtzen dute biopolimero sintetiko hau.

Lortutako zauri-jantziak zauria sendatzeko beharrezkoa den ingurune hezea sortzeko gai badira ere, zaurien sendaketa-prozesua bizkortzeko agente terapeutikoen tratamenduen estaldura erabili ohi da; honek sendaketa-prozesuabizkortzen duela ikusi baita. Hori dela eta, lan honetan agente terapeutiko bezala plaketan aberatsa den plasma (PRP) erabiltzea erabaki da. PRPak hazkunde-faktore maila altua dauka, zeinak plaketetatik jariatzen diren. Gainera, zelulen atxikipenaren parte hartzen duten proteinetan aberatsa da. Honek migrazio zelularrerako eta ehunen ugaltzerako beharrezkoa den egitura sortzea ahalbidetzen dio. PRPak hazkuntza-faktoreei zuzendutako zelulei eragiteaz gain, zelulen matrize extrazelularrean (ECM) ere eragiten du, ehunen konponketa eta/edo birsorkuntza modu globalean estimulatzeko (Rodríguez-Flores et al., 2011).

Aitzinamendu honetan aukera ikusi da elektrospinning bitartez ultzeren sendaketa ahalbidetu edo erraztuko duten elementuak sortzeko, eta PRP-estaldura izango duten PCL-eko zauri-jantzietan egin da apustua. PRP-a lortzeko eta zuntzetan estaldura osatzeko Osakidetzako Transfusio eta Giza-Ehunen Euskal Zentroarekin (TGEEZ) kolaboratu da.

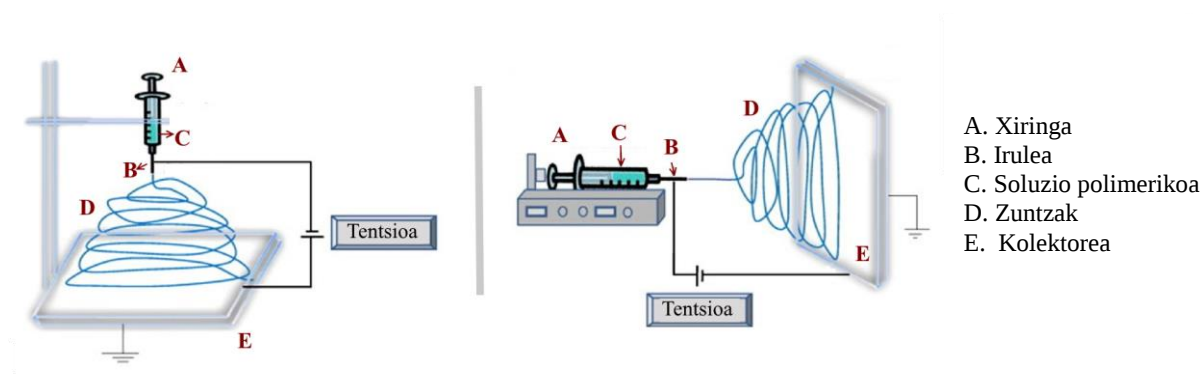
2. Helburuak

Proiektu honen helburu nagusia erabateko berriztapena, kaltetutako azal-geruzen birsortzea barne, eskaintzen duen polikaprolaktonazko (PCL) nanozuntzen-sareen sorkuntza da. Horretarako elektrospinning teknikaren analisia, PCL nanozuntz-sareen eraketa egonkorra eta hauen tratamendua gauzatuko dira, nanozuntzetan PRP-estalduraren gehiketa burutu ahal izateko.

3. PCL nanozuntzen lorpena eta optimizazioa

Elektrospinning ekipoak hiru atal nagusi ditu; irulea, tentsio altuko elikadura-iturria eta kolektorea (ikus 1. irudia). Tentsio altuko elikadura-iturriaren bidez, xiringan aurkitzen den eta iruletik ateratzen den soluzio polimerikoari polaritate bateko karga ezartzen zaio. Balio kritiko bat gainditzean, likidoaren aldarapen indar elektrikoak gainazal-tentsio indarra gainditzen du eta soluzio polimerikoaren isuria orratzaren aurrean kokatutako eta kontrako polaritatea duen kolektore batengana da erakarria (Univerza eta Mariboru, 2013). Zuntz lehorrak metatzen dira kolektorean, disolbatzailearen lurrunketa kolektorearengana bidaian zehar gertatzen baita.

1. irudia. Elektrospinning muntaketa bertikala (ezker) eta horizontala (eskuin) (Zhu eta Chen, 2013)



Elektrospinning teknikan soluzioari, prozesuari edo/eta inguruneari dagozkion parametroak har daitezke kontuan (ikus 1. taula). Parametro hauen manipulazio egokiaren arabera, morfologia eta diametro ezberdineko nanozuntzak edota tantak lor daitezke. Lan honetan, helburua tantarik gabeko zuntzak lortzea litzateke.

1. taula. Elektrospinning teknikaren parametroak

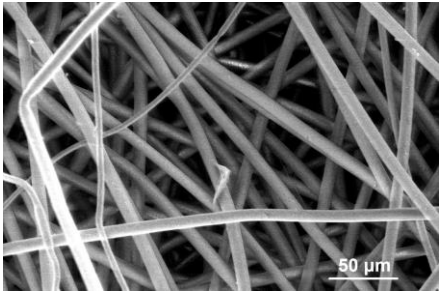
Parametroa	Aldagaiak	Ezaugarriak
Soluzioaren parametroak	Soluzioaren kontzentrazioa	↑ Zaildu egiten du soluzioaren bidaia kapilarretik
		↓ Polimero zuntzak kolektoreira iritsi baino lehen tantetan banatzen dira
	Biskositatea	↑ Zurrustaren sorpena zailtzen du
		↓ Ez dago jarraipena zuntzen sorkuntzan; tantak edo tantadun zuntzen eraketa
	Soluzioaren eroankortasuna	↑ Kargak garraiatzeko ahalmen handia. Eroankortasuna areagotzean, zuntzaren diametroa txikiagotzen da
		↓ Zurrustaren elongazioa ez da nahikoa tanta gabeko zuntzak eratzeko
Prozesuaren parametroak	Gainazal-tentsioa	↑ Prozesuaren inhibizioa zurrusten ezegonkortasunak eta tanten sorketa direla eta
		↓ Tanta gabeko zuntzak
	Potenzial-diferentzia	↑ Disolbatzailearen lurrunketa azkarra eta diametroen murrizketa
		↓ Bultzada txikia kolektorearenganako bidaian. Ez dira zuntzik osatuko
	Emaria	↑ Zuntzen diametroa handitu egiten da. Tantadun zuntzen sorkuntza
		↓ Disolbatzaileak lurruntzeko denbora nahikoa izango du
Inguruneke parametroak	Irulea eta kolektorearen arteko distantzia	↑ Bere pisua dela eta, apurtu daitezke. Soluzioaren luzapen handiagoa, diametro txikiagoko zuntzen bilketa
		↓ Disolbatzailearen lurrunketa ez da osorik ematen, zuntz hezeen jasoketa
	Tenperatura	↑ Zuntzen diametroa txikitu egiten da, lurrunketa-tasa handituz
	Hezetasuna	↑ Lortutako zuntzetan diametroen areagotzea eta poroen sorkuntza posiblea

Aipagarria da soluzioaren kontzentrazioa zuntzen lorpenean lehen abiapuntua dela. Izan ere, badago kontzentrazio kritiko bat non hortik behera ez den zuntzik lortzen, eta bai aldiz, gorako balioetan. Kontzentrazio kritiko horretan polimero kateen arteko interakzio fisikoak zuntzak txertotik kolektorenganako bidean pasatzen duen elongazioa jasateko eta tantetan ez hausteko nahiko sendoak direla kontsideratzen da. PCL zuntzen lorpenarako kloroformoan % 12 pisu portzentaia erabili da. Kloroformoaren erabilera segurua kontsideratzen da, disolbatzailea osorik lurruntzen denez kolektorearenganako bidean, ez baita honen arrastorik gelditzen bukaerako produktuan. Hortaz,

zelulekin interakzioa mantenduko duen material bakarra PCLa izango da, zeina, esan bezala, biobateragarria den.

Lehen pausua, parametroak konbinatuz tantarik gabeko nanozuntzak sortzea izan da. Lortutako zuntz-sarea homogenea, leuna eta elastikoa izan da, zeinak ez dituen ez gune hezeak ez polimeroren tantarik aurkezten eta kolektoretik erraz erauzi daitekeen. SEM irudien bidez (ikus 2. taula) zuntzen morfologiak aztertuz, zuntz porotsu eta homogeenak lortu direla ondorioztatu daiteke. Zuntz-sare hau eta bere propietateak erreferentzia gisa hartu dira.

2. taula. Erreferentziatzat hartu den zuntz-sarearen SEM irudia eta hau lortzeko ezarritako parametroak

Parametroak	Ezarritako balioa	Nanozuntzen SEM irudia	Kontaktu-angelua
Aplikaturako tentsioa	9,5 kV		
Emaria	1,75 ml/h		
Irulea eta kolektorearen arteko distantzia	21,5 cm (bertikalean)		
Hezetasun erlatiboa	Giro-hezetasuna		

Behin zuntzak osatuta, hauek PRP-a xurgatzeko duten ahalmena aztertu da. PCLa material hidrofobikoa denez, biopolimero honen zuntz-sareek kontaktu-angelu handia (hidrofobitatearen neurri erlatiboa) aurkezten dute; batez bestekoa 85° izanik, hain zuzen ere. Baldintza hauetan PRParen eransketa asko zaildu daiteke.

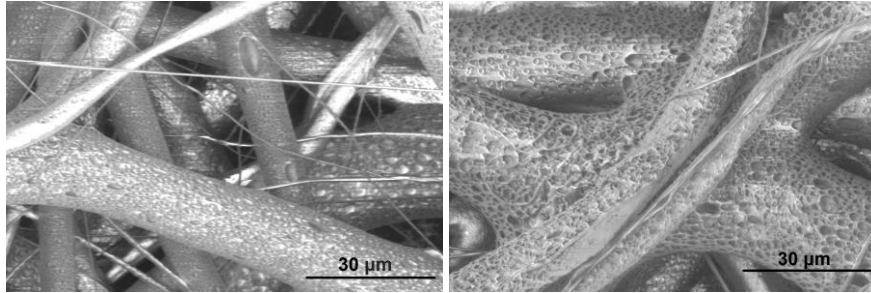
Ikerketen arabera, zuntzen morfologia erregulatuz, hala nola, hauen porositatea, zimurtasuna edo zirrikutasuna, zuntzen propietateak eta jokaera aldatu eta hobetu daitezke (Zaarour et al., 2018). Ondorioz, alde batetik, hezetasun maila ezberdinetan lortutako nanozuntzen propietate hidrofoboak aztertu dira; eta bestetik, nanozuntzen funtzionalizazio kimikoak, sodio hidroxido (NaOH) disoluzioetan murgilduz, duen eragina aztertu da. Nanozuntzen diametro eta poroen tamaina ImageJ software irekia erabiliz neurtu da. Nanozuntz-sare bakoitzeko 20 neurketa egin dira. Kontaktu-angelua neurtzeko, nanozuntzetara ur-destilatu tanta bat bota eta tanta honi argazkia ateratzen neurtu da.

3.1. Hezetasun mailaren eragina

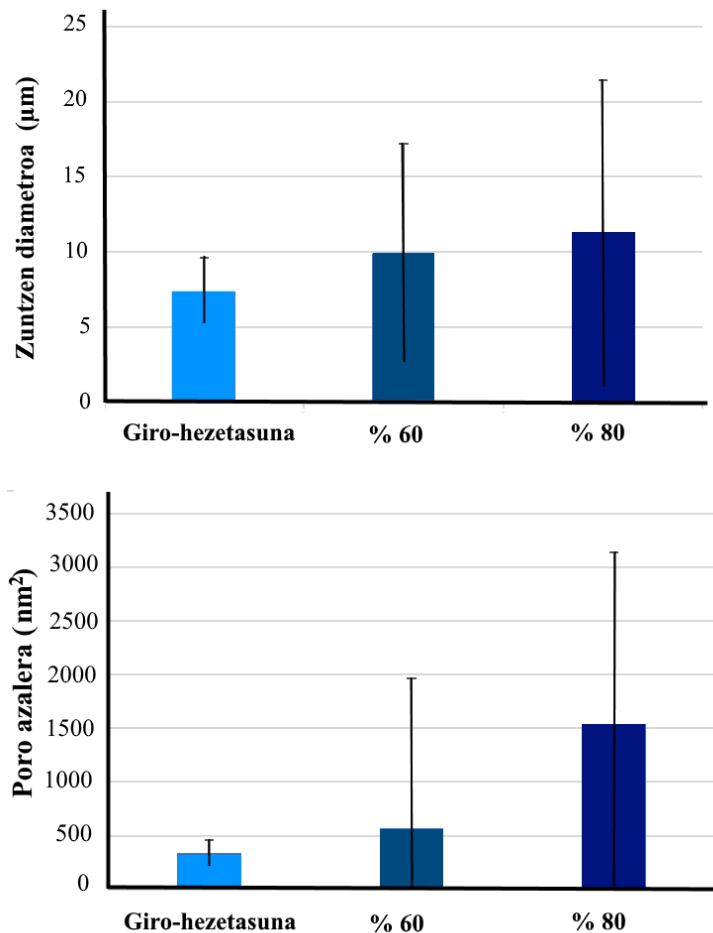
Zuntz berri hauen tamaina eta morfologiari dagokionez, nanozuntz ezberdinak jaso dira giro-hezetasunean eta hezetasun erlatiboa % 60-ra eta % 80-ra areagotzean. Hezetasun erlatiboa altua izatean azaleko poroak bistakoak dira (ikus 2. irudia). Hezetasun erlatiboa areagotzean poro kopurua eta diametroa handitu dira (ikus 3. irudia). Beraz, hezetasun mailak gora egin ahala, diametro handiagoko eta porotsuagoak diren zuntzak lortzen direla ondorioztatu da. Aipatzekoa da, erreferentziazko laginak aurkezten zituzten zuntz erregular eta homogeenak aurkitu ordez, ordenarik gabeko, adarkaduradun eta morfologia ezberdineko zuntzak ikusi direla.

Hezetasun erlatiboa % 80-ra areagotzean, zuntzetan, 90° -ko kontaktu-angelua lortu da. Honek PCLak hidrofobikoa izaten jarraitzen duela adierazten du, eta beraz, PRP-estaldura gehitzeko arazoak aurkeztuko lituzkela.

2. irudia. Azaleko poroak % 60 (ezker) eta % 80 (eskuin) hezetasun erlatiboan, hurrenez hurren



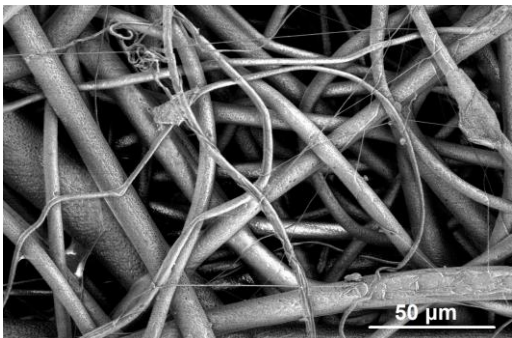
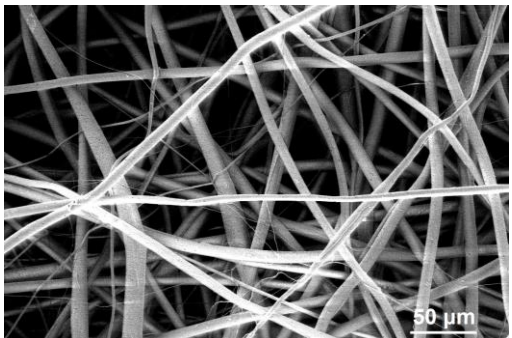
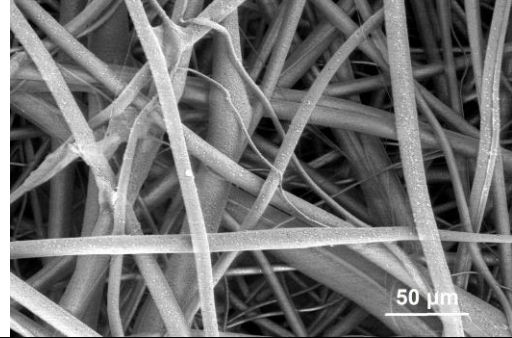
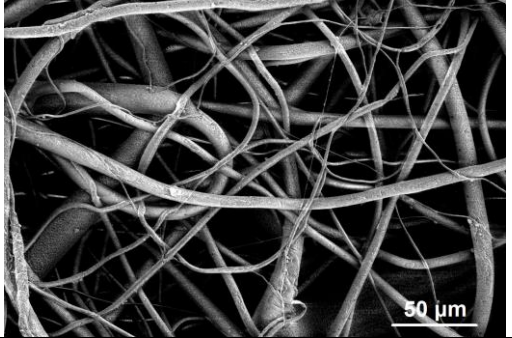
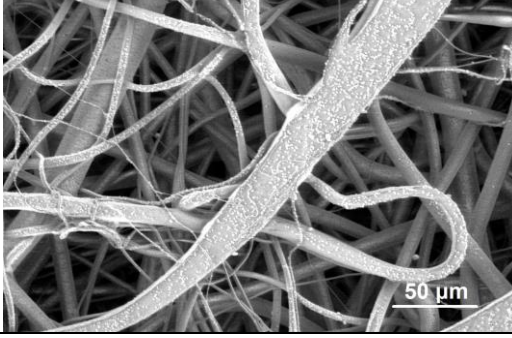
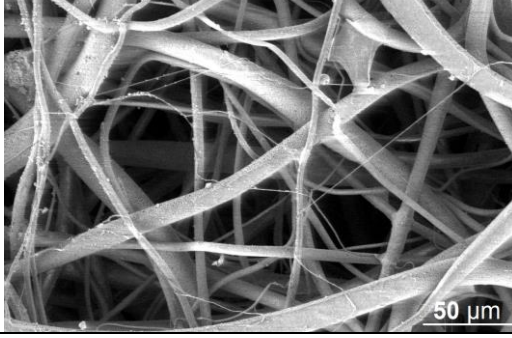
3. irudia. Hezetasun erlatibo ezberdinetan lortutako batez besteko diametroak (goian) eta poroen azalera (behean)



3.2. Funtzionalizazio kimikoa

Gainazal baten hidrofobitasuna gainazal honen azaleko energia askea areagotzean txikitzen da. Funtzionalizazio kimikoa oso erabilia izan da zelulekin interakzio hobeak lortzeko, degradazio denbora murrizteko, gainazala hidrofiliagoa bihurtzeko edo PCLen gainazaleko hezegarritasuna handitzeko (Park et al., 2007). Beraz, lortutako nanozuntzak NaOH soluzioan murgildu dira. Erabilitako soluzioen kontzentrazioak 1 M eta 3 M izan dira eta zuntzak bertan murgildutako denbora 30 min, 3 h eta 24 h izan da. Lagin bakoitza, murgiltze-denbora pasa eta gero, ur destilatuarekin garbitu eta giro-tenperaturan lehortzen utzi da. Lortutako zuntzak beheko taulan ikus daitezke (ikus 3. taula).

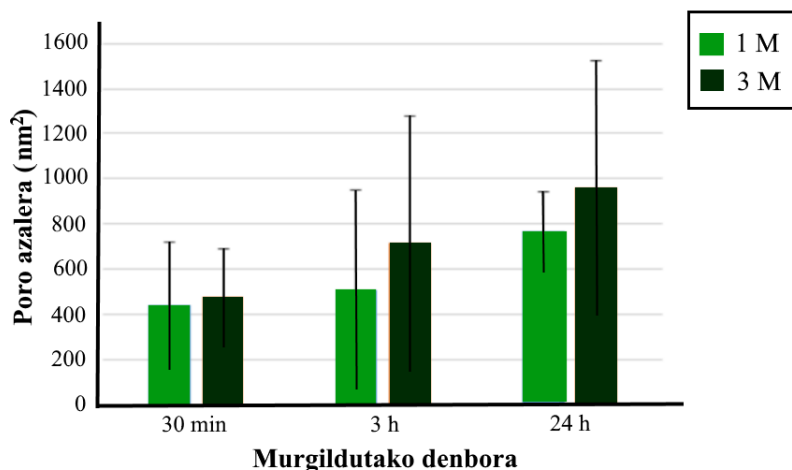
3. taula. NaOH tratamendua eta gero lortutako zuntzak

Murgildutako denbora	Murgildutako soluzioa	
	1 M	3 M
30 min		
3 h		
24 h		

Aipagarria da nola, gaingiroki, PCL zuntzen diametroa ia iraunkor mantendu den NaOH tratamendua ondoren bai 1 M eta 3 M soluzioetarako, nahiz eta murgilketa denbora ezberdinak egon diren. Honek garrantzia handia dauka, tratamendu alkalino ostean zuntzen diametroa drastikoki gutxituko balitz, hauen propietate mekanikoak asko aldatuko liratekelako eta zuntzak ez liratekelako gai izango bere funtzioa behar bezala betetzeko. Zuntzen morfologiari dagokionez, poroen azaleran aldaketak agerikoak izan dira (ikus 4. irudia).

Oro har, lagina zenbat eta denbora gehiago murgilduta egon, orduan eta azalera porotsuagoa duela ikusi da. Halaber, zenbat eta kontzentratuagoa izan soluzioa, orduan eta poro azalera handiagoa neurtu da. Aipatzekoa da tratamendua eta gero zuntzen porositateak gora egin badu ere, lortutako poroak ez direla hezetasun erlatibo altuekin lan egitean lortutako poroak bezain handiak, poro hauen distribuzioa nahiko konstante mantentzen dela eta aurrekoak baino forma erregularragoa aurkezten dutela. Bereiztekoa da kiribilduagoko zuntzak lortzen direla tratamendu ostean, zuntzen gainazala zimurtsuagoa sorraziz.

4. irudia. Denbora ezberdinez murgildutako zuntzen poroen azalera



Propietate hidrofobikoari dagokionez, kontaktu-angelu txikiagoak lortu dira; murgiltze-denborak gora egin ahala, eta soluzioa zenbat eta kontzentratuagoa izan, orduan eta kontaktu-angelu txikiagoak neurtu dira (ikus 4. taula). Hortaz, NaOH tratamendua burutu ostean, eta zuntzak bertan denbora nahikoz murgilduta egonda, lortutako zuntzak hidrofiliakoak bihurtzea ahalbidetzen da.

4. taula. Tratamendua eta gero lortutako kontaktu-angeluen balioak

Murgildutako soluzioa	Murgildutako denbora	Kontaktu-angelua
1 M	30 min	83°
	3 h	77°
	24 h	58°
3 M	30 min	82°
	3 h	66°
	24 h	51°

4. Ondorioak

PCL zuntzak hidrofoboak dira eta ez dute PRP-estaldura onartuko. Lan honetan ikusi denez, prozesuan zehar hezetasun maila areagotuz zuntz porotsuak lortzen dira, zeinak zuntzen eta zelulen arteko interakzioa hobetu beharko lukete. Hala ere, porositate honek ez du zuntzen hidrofobitatea aldatzen eta PRP-estaldurari uko egiten jarraitzen diote zuntzek. NaOH tratamendu alkalino ostean, ordea, zuntzak nabarmenki hidrofiliakoagoak bilakatzen dira. Honek, zuntzak PRP-estaldura onartuko dutela adierazten du, eta behin estaldura zuntzetan erantsita egotean, hauek erabateko berriztapena, kaltetutako azal-geruzen birsortzea barne, eskaintzeko gai izango direla. Zuntzen eta zelulen arteko interakzioak hobetuko direla uste da eta nanozuntzak erlazio zelularrean, ugaltzean eta desberdintzapenean, baita ehun birsorkuntzan substratu fisiko bezala jokatzeko espero da. Hau da, NaOH tratamendu ostean lortutako zauri-jantzien errendimendu biologikoa hobetzea espero da.

5. Etorkizunerako planteatzeko den norabidea

Hurrengo pausua, Transfusio eta Giza Ehunen Euskal Zentroaren kolaborazioarekin zauri-jantzi hauek PRP gehitzean duten jokaera biologikoa aztertzea eta definitzea izango da. Hala

ere, orain arte lortutako zauri-jantziek abantailak eskaintzen badituzte ere, prozesu geldoa da PRP gehiketa. Odolaren zentrifugazioa dela eta lortzen diren plaketen hazkuntza- faktoreen aplikazio intradermikoan datza, eta lortzeko erabiltzen den odola gaixo berarena da. Elektrosinning medio PRP zuntzak lortzean zauri-jantziaren eraketa prozesua bizkortuko dela uste da, dena (zauri-jantzia eta PRP gehiketa) prozesu bakarrean egingo baita. Aldi berean, tratamendu eraginkorragoa eskainiko duela uste da, zauri-jantziak izango dituen plaketa kopurua, eta hortaz, izango duen hazkuntza-faktore kopurua, handiagoa izango baita. Hauek, lesio baten aurrean, odolaren galera saihesten dute eta ehunen birsorkuntza ahalbidetzen duten substantzia ezberdinak garraiatzen dituzte, lortutako zauri-jantziak ehun birsorkuntzarako aukera erakargarrian bihurtuz.

6. Erreferentziak

Augustine R, Kalarikkal N, eta Thomas S (2015): Clogging Free Electrospinning of Polycaprolactone Using Acetic Acid/Acetone Mixture. *Journal Polymer-Plastics Technology and Engineering* 55, 518-529.

Bosworth L.A, Clegg P, eta Downes S (2008): Electrospun nanofibres of polycaprolactone, and their use for tendon regeneration. *J Polym Environ* 20, 879–886.

Chen, H., Huang, J., Yu, J., Liu, S., eta Gu, P. (2011), Electrospun chitosan-graft-poly (ϵ -caprolactone)/poly (ϵ -caprolactone) cationic nanofibrous mats as potential scaffolds for skin tissue engineering. *Int. J. Biol. Macromol* 48, 13–19.

Jha, B.S., Colello, R.J., Bowman, J.R., Sell, S.A., Lee, K.D., Bigbee, J.W., Bowlin, G.L., Chow, W.N., Mathern, B.E., eta Simpson, D.G. (2011), Two pole air gap electrospinning: Fabrication of highly aligned, three-dimensional scaffolds for nerve reconstruction. *Acta Biomater* 7, 203–215.

Lionelli, G.T., eta Lawrence, W.T. (2003), Wound dressings. *Surg. Clin. North Am* 83, 617–638.

Park, J.S., Kim, J.-M., Lee, S.J., Lee, S.G., Jeong, Y.-K., Kim, S.E., eta Lee, S.C. (2007), Surface hydrolysis of fibrous poly(ϵ -caprolactone) scaffolds for enhanced osteoblast adhesion and proliferation. *Macromolecular Research* 15, 424–429.

Rodriguez-Flores, J., Palomar-Gallego, M.Sa., eta Torres-García-Denche (2011), Plasma rico en plaquetas: fundamentos biológicos y aplicaciones en cirugía maxilofacial y estética facial. *Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial* 34, 8-17.

Sánchez, L.M.D., Rodríguez, L., eta López, M. (2013), Electrospinning: la era de las nanofibras. *Revista Iberoamericana de Polimeros* 14, 10-27.

Shim, I.K., Jung, M.R., Kim, K.H., Seol, Y.J., Park, Y.J., Park, W.H., eta Lee, S.J. (2010), Novel three-dimensional scaffolds of poly(L-lactic acid) microfibers using electrospinning and mechanical expansion: Fabrication and bone regeneration. *J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater* 95, 150–160.

Tong, H.-W., Zhang, X., eta Wang, M. (2012), A new nanofiber fabrication technique based on coaxial electrospinning. *Materials Letters* 66, 257–260.

Univerza eta Mariboru (2013), Electrospinning: Nanofibre Production Method. *Tekstilec* 56, 4–12.

Zaarour, B., Zhu, L., Huang, C., eta Jin, X. (2018), Controlling the secondary surface morphology of electrospun PVDF nanofibers by regulating the solvent and relative humidity. *Nanoscale research letters* 13:285.

Zhu, N., eta Chen, X. (2013): *Biofabrication of Tissue Scaffolds. Advances in Biomaterials Science and Biomedical Applications*. IntechOpen, London, Erresuma Batua.

Zong, X., Bien, H., Chung, C.-Y., Yin, L., Fang, D., Hsiao, B.S., Chu, B., eta Entcheva, E. (2005), Electrospun fine-textured scaffolds for heart tissue constructs. *Biomaterials* 26, 5330–5338.

Exekuzio Denboran barne egoera ikusi eta aldatzea ahalbideratzen duten UML Egoera Makinak: Models@run.time

Illarramendi, Miren, Etxeberria, Leire; Elkorobarrutia, Xabier eta Sagardui Goiuria

Mondragon Goi Eskola Politeknikoa S.Coop. Software eta Sistemen Ingenieritza Arrasate
millarramendi@mondragon.edu

Laburpena

Egungo ingurune industrialetan, gailu desberdinak kontrolatzen dituzten sistema txertatuen softwareak geroz eta konplexuago, sendoago eta fidagarriago izan beharra dauka. Egoera honi aurre egiteko moduetako bat kontrolleko software horren portaera deskribatzen duen eredu, exekuzio denboran eskuragarri egotea da (models@run.time). Artikulu honetan, kontrol sistemak eredu bidez deskribatu ondoren, eredu horietan oinarrituaz software osagaiak modu automatiko batean sortuko dituen plataforma bat aurkeztuko da. Bere balio erantsi nagusia, software osagaiak hauek exekuzio denboran euren barne informazioa eskaintzeko gaitasuna da, berauek deskribatzeko erabili den eredu linguai berbera erabiliaz gainera. Horretaz gain, aurreikusi gabea den edo errore egoera baten aurrean, software osagai hauek eraldatzeko gaitasuna ere izango dute. Eraldatze hau, aurrez definitua izan den portaera seguru batera izango da.

Hitz gakoak: Models@runtime, Exekuzio denborako eraldatzea, Sistema Txertatuak, UML Egoera Makinak.

Abstract

In current industrial environments, the software of embedded systems have to cope with the increasing complexity and robustness requirements at runtime. One way to manage these requirements is having the software component's behaviour model available at runtime (models@run.time). In this paper, we present a model-driven approach to generate software components which are able both to provide their internal information in model terms at runtime and adapt their behaviour automatically when an error or an unexpected situation is detected. Thanks to this introspection ability at runtime, the software components are able to adapt automatically from their normal-mode behaviour to a safe-mode behaviour which was defined to be used in erroneous or unexpected situations at runtime.

Keywords: Models@runtime, Runtime Adaptation, Embedded Systems, UML State Machines.

1. Sarrera eta motibazioa

Sistema Ziberfisikoak, prozesu fisikoak eta konputazio, kontrol zein komunikazio digitalak bateratzen dituzten sistemak dira. Sistema hauek, Derler *et al.* (2012)-ek azaltzen duen moduan, sistema txertatuez eta sareez osatuta daude eta sentore eta aktadore bidez prozesu fisikoak monitorizatu eta kontrolatzen dituzte.

Sistema Ziberfisikoen konplexutasunak eta presentziak ikagaragarritzko gorakada izan du azken urteetan. Egunero gure eskura ditugun gailu gehienetan aurkitu genitzake. Beraz, euren izan ditzaketen akatsek ondorio benetan larriak ekarri ahal ditzakete. Sistema Ziberfisikoen garapenak, maiz, ebentuetan oinarritutako arkitektura patroia jarraitzen dute. Sistema hauen logika modelatzeko berriz, askotan, Unified Modeling Language (UML)-an oinarritutako Egoera Makinen formalismoa erabiltzen da. Gainera, Model Driven Engineering (MDE) paradigma jarraituaz, software konponenteen azken kodea modu automatiko baten sortzeko gaitasuna ere badaukagu horretarako ditugun erremintak erabiliaz.

Hala ere, azken kode hori automatikoki sortzeak ez dizkigu arazo guztiak kenduko. Exekuzio denboran ere, software osagaien portaera egokia dela ziurtatu beharra dugu. Models@run.time planteamenduak, MDE bidez sorturiko modeloak exekuzio denboraren inguruetan ere erabiltzea bilatzen du. Exekuzio denboran software osagaien eredu edo modelo eskuragarri izatea exekuzio denboran egiaztapenak egin ahal izateko lehenengo pausoa

da; eta hurrengo pausua, behin errore edo aurreikusi gabeko egoera bat antzematean, software osagai horren modeloaren eguneraketa bat egitea. Honela, sistemaren fidagarritasun maila handitu egiten da.

Sistemen fidagarritasuna handitzea helburu hartuta, lan honetan, UML- Egoera Makinetan oinarrituaz eta models@run.time planteamentua jarraituaz, sistema ziberfisikoak kontrolatuko dituzten software osagaien kodea automatikoki sortzeko gai den RESCO (Reflective State-Machines based observable software COmponents) izeneko plataforma bat aurkeztuko dugu. Osagai hauek, introspektzio eta eraldatze gaitasuna izango dute exekuzio denboran. Honela, egoera desegoki batez jabetzean edo aurreikusi gabeko egoera baten aurrean, sistema eraldatu egingo da egoera seguru batera. Hona hemen, lanaren ekarpen nagusiak:

1. Exekuzio denboran behatzeko, egiaztatze eta eraldatzeko gaitasuna duten software osagaiak sortzeko plataforma eta berauek egiaztatze eta eraldatzeko gai den kanpo egiaztatzaile sistema,
2. Software garatzaileari eskainitako laguntza: berak ez dauka azken kodea eskuz ikutu beharrik, portaeraren modeloa diseinatu besterik ez du egin behar UML Egoera Makinak erabiliaz. Exekuzio denboran introspektzio eta eraldatze gaitasuna izateko beharrezko azpiegiturak, automatikoki sortzen dira.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Exekuzio denboran egiaztapenak egiteko modu bat, software kontroladoreak berak bidaltzen dituen informazio trazarak behatzea da. Traza zuzenen kopuruak finitua izan behar du eta exekuzio denboran egiaztapenak egiten ari den sistemak ezagutu behar ditu. Sistema honek, traza zuzen bezala definiturik ez dagoen bat jasotzean, traza urratze egoeran sartzen da eta eraldatze prozesua hasieratzen du.

Kanpo egiaztapen sistemak software osagaia monitorizatu ahal izateko exekuzio denborako trazarak behar dituzenez, software osagaien kodea instrumentatu beharra daukagu. Horretarako, aukera desberdinak ditugu:

- Iturburu Kodea instrumentatu: teknika hau erabiliaz, iturburu kodea bera aldatzen da behar den lekuan kodea erantsiaz (konpilazio garaian aktibatu edo desaktibatze aukera gehituaz).
- Modelo edo Eredua instrumentatu: teknika hau erabiliaz, exekuzio garaian behatzea nahi ditugun elementuak espezifikatzen dira modeloan. Ondoren, kodea automatikoki sortzean, trazarak sortzeko beharrezko kodea ere automatikoki sortuko da.

Gure soluzioan, bigarren aukera hau erabili dugu.

Lan honen bidez detektatu ahal izango ditugun akats eta erroreak honako hauek dira:

- ausazko hardware akatsak: bit inbertsioak, errore aldakorrak,...
- ausazko software akatsak: heisenbug-ak,...
- gainerako software akatsak: garapen fasean, balidazio eta egiaztapen prozesuak pasatu ondoren, ezkutuan geratzen diren erroreak,
- aurreikusi gabeko ingurumen akatsak: diseinu eta garapen prozesuan aintzat hartu ez direnak.

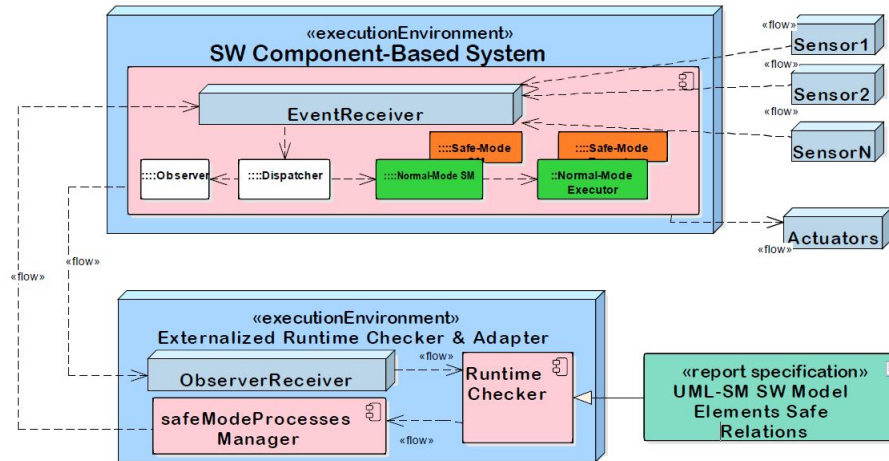
Exekuzio denboran egiaztapenak egiteko modu desberdinak daude. Hauetako bat, software kontrolaren eredu edo modeloko elementuak erabiliaz da (momentuko egoera, ebentua, hurrengo egoera,...). Honen abantaila, diseinu eta garapen faseetan eta exekuzio denboran lenguaia berbera erabiltzea da.

Modelua exekuzio denboran mantendu ahal izateko, software osagaiak behatua izateko gaitasuna eskeini behar du. Honetarako, software osagaiak introspektzio ezaugarria izan behar du. Introspektzioak, exekutatzeko ari den programaren monitorizazioa egitea ahalbideratzen du eta honen helburua exekuzio denboran erroreak identifikatu, lokalizatu eta analizatzea izango da James *et al.* (2010)-ek dioen moduan.

Eraldatzeari dagokionez, Gomaa *et al.* (2017)-an esaten duten bezala, bi modu nagusi daude softwarea dinamikoki eraldatu ahal izateko: planifikatua eta ez planifikatua. Gure soluzioa, planifikatu gabekoen artean kokatzen da. Eraldatze mota hau, espero ez den ebentua edo errore egoera batetik abiarazten da. Ez da aurrez momentu jakin batean egitea pentsatu den eraldaketa bat.

Garlan eta Schmerl (2002)-en lanean bezala, gure soluzioan ere egiaztapen eta eraldatze sistema kanpoan dago. Hori dela eta, behatutako software osagaiak informazio trazarak bidali behar ditu bertara. Kanpo sistema hau izango

1. irudia. Soluzioaren Arkitektura: Kontrolatzailea eta Kanpo Egiatzatzaile/Eraldatzailea



da akats, errore edo aurreikusi gabeko egoerak detektatuko dituen eta dagokion kasuan eraldatze prozesua martxan jarriko duena. 1. irudiak, soluzioaren arkitektura erakusten digu.

3. RESCO: Introspektzio eta Eraldatze gaitasuna duten Software osagaiak sortzea

Atal honetan, introspektzio eta eraldatze gaitasuna duten software osagaiak sortzeko planteamentua aurkeztuko dugu. Horretarako, UML Egoera Makinak diseinatzeko lengoia oinarritzen da gure soluzioa eta models@runtime lan ildo jarraitzen du. Behin metodologia aurkeztuta, egindako lanaren balidazio experimentalaz azalduko da.

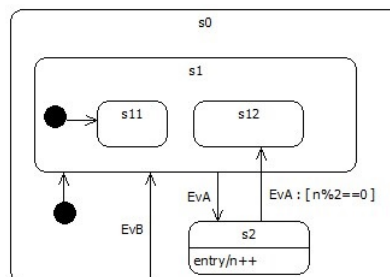
3.1. RESCO software osagaiak: sortze prozesua eta ezaugarriak

Prozesua modu errazago batean ulertu asmoz, 2. irudian agertzen den adibidea hartuko dugu. Egoera honen irudikapena, RESCO-ren baitan, 3. irudian agertzen da. Egoerak, zuhaitz formako objektu egitura baten bidez adierazten dira eta egitura honek, software kontrolaren egoerak isladatzen ditu. Egoera bakoitzak, bere portaeraren espezifikazio darama atxekiturik. Beraz, objektu egitura hau aldatzen badugu, benetan software konponente edo kontrolaren modeloa bera aldatzen gabilta.

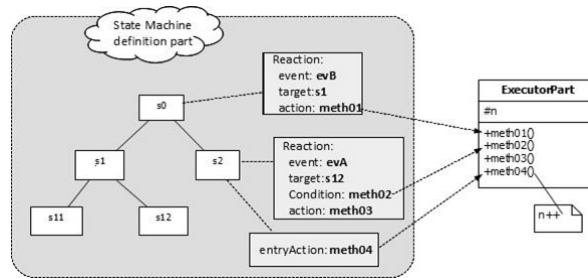
Egoera makina horretatik abiatuta, ondorengo puntuetan software osagaiak automatikoki sortzeko metodoa eta pausuak azalduko dira. Laburbilduz, 4. irudian agertzen da prozesu hau.

Lehenengo, kontrolaren portaera diseinatzen da UML Egoera Makinak erabiliaz. Honetarako, Papyrus erreminta erabili da eta behatuak izango diren egoerak anotatu beharko dira. Eraldaketa posible izan dadin, portaera normala eta larrialdietakoa (safe-mode) diseinatuko dira. Erroreren bat edo uste gabeko egoeraren bat detektatzean, larrialdietako egoerara pasatuko da sistema automatikoki.

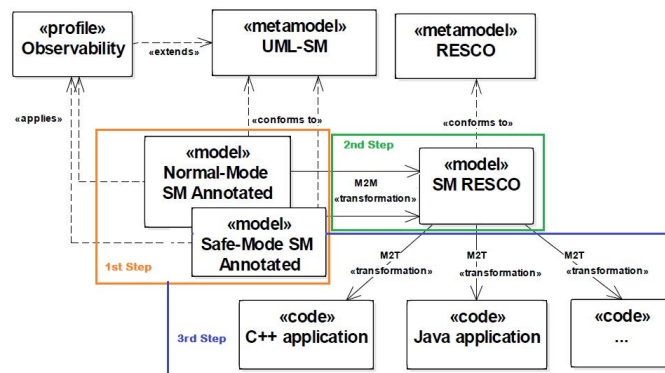
2. irudia. Egoera makina, adibidea



3. irudia. Egoera makinaren irudikapena RESCO plataforman



4. irudia. Eredutako/Modelo-etan oinarritutako workflow-a



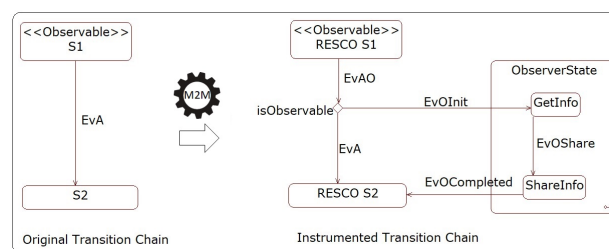
Bigarren pausuan, RESCO-ri dagokion modeloa sortuko da automatikoki. Modelo hau, instrumentatua izango da eta ATL erreminta erabiliaz model-to-model (M2M) transformazioa egingo da. Azken pausuan, RESCO-ri dagokion modeloa iturburu kodera transformatua izango da Acceleo erreminta erabiliaz. Azken honek, model-to-text (M2T) transformazioa egiten du.

Gure soluzioa, instrumentazioa modelo mailan egitea denez, plataformarekiko erabat independentea da. Bagherzadeh *et al.* (2017)-ek aurkezturiko lanean bezala, guk ere M2M transformazioa erabiltzen dugu introspektzioa eta eraldatzea posible izan dadin modeloa instrumentatuaz. Gure planteamentua formalizatu ahal izateko, trantsizioetan gertatzen diren akzio eta baldintzetako konputazioak bakarrik izan ditugu kontutan.

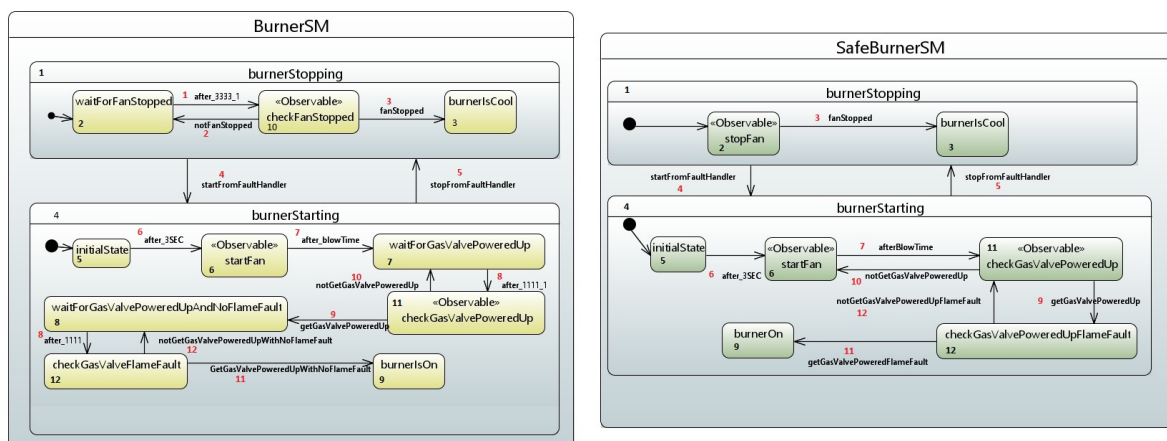
5. irudiak trantsizioak nola gauzatzen diren adierazten du. Ezker aldean, software osagaia *S1* egoeran egonik, *EvA* ebentua gertatzen deneko jatorrizko trantsizioa agertzen da. Eskuinaldean aldiz, modeloa instrumentatu ondorengo baliokidea den trantsizioa agertzen da. Bigarrenean, aukera puntu bat gehitu da eta exekuzio garaian jasotako trazaren arabera hartzen den erabakiaren ondoren aukera horretako bide bat edo beste bat jarraituko du.

Kanpo egiaztatzaile eta eraldatze sistemak, errore edo aurreikusi gabeko egoera baten aurrean, eraldatze sistema martxan jartzen du. Horretarako, safeAdapt ebentua bidalik dio kaltetutako software osagaiari. Behin software osagaiak ebentu hori jasotzean, larrialdi egoerarako diseinatua duen egoera makinara eraldatzeko prozesua martxan jarriko du eta bere portaera aldatua izango da.

5. irudia. Modeloaren Instrumentazioa: Transformazio Erregela.



6. irudia. Erregailuaren egoera normala eta larrialdiko egoera adierazteko UML Egoera Makinak



3.2. Ebaluazio Enpirikoa

Lana ebaluatzeko erabili den erabilpen kasua, Whispergen (Pradip (2016)) izeneko gailu komertzialaren kontrolako softwarean oinarritzen da. Bertatik, erregailuaren software osagaia hartu dugu eta beronekin egin ditugu aprobak.

Beraz, 6. irudian agertzen den Erregailuaren kontrola gauzatu dugu RESCO plataforma erabiliaz, eta konparazio batzuk egin ahal izateko SinelaboreRT 3.7.2.2 (Mueller (2018)) erreminta (denbora errealeko sistemak garatzeko erreminta), eta Sparx Systems Enterprise Architecture (EA) 11 (Systems (2015)) erreminta generikoa ere erabili dugu. Aukeratutako Erregailu kontrolaren portaera normala modelatu ahal izateko, 13 egoera sinple, 2 egoera konposatu, 13 trantsizio eta 13 ebentututuen UML Egoera Makina diseinatu dugu. Larrialdi kasuetarako berriz, 7 egoera sinple, 2 egoera konposatu, 9 trantsizio eta 9 ebentututuen.

Egindako ebaluazioaren helburu nagusiak ondorengoak izan dira: (1) exekuzio denboran software kontrolaren barne egoera ikusi ahal izatea egoera makinaren elementu bidez, (2) RESCO plataformarekin sortutako software konponenteek exekuzio denboran duten introspektzio eta eraldatze gaitasunak egiaztatzea eta (3) soluzioaren gainkarga neurtzea. Honela, sistema ziberfisikoen kontrolen fidagarritasun maila gehituko duten software konponenteak sortzeko gai garela egiaztatuko dugu. Hemen horretarako definitu ditugun Ikerketa Galderak (IG):

IG1. Posible al da software osagaiaren modeloa ateratzea exekuzio denboran jasotako trazak analizatuaz?

IG2. Erabili al genezake exekuzio denborako informazio hau egiaztapenak eta eraldaketak egiteko?

IG3. RESCO plataformarekin sortutako software osagaien errendimendua beste erreminta komertzial batzuekin sortutakoen adinako ona al da (EA v11 eta SinelaboreRT v3.7.2.2)?

Hiru galdera hauei erantzuna emateko, 10 experimentu definitu ditugu. Emaizta fidagarriak izateko, experimentu bakoitza 1000 aldiz errepikatu dugu. 1. taulak, experimentu bakoitzaren ezaugarriak erakusten dizkigu. SM1 egoera makina jatorrizko Erregailu kontrola da. SM2-SM7 egoera makinak artifizialki sortu ditugu errendimendua hobeto neurtu asmoz. Honela, tamaina eta konplexutasun desberdineko egoera makinak izan ditugu experimentazioan.

Beldjehem (2013) eta Genero *et al.* (2003) lanak kontutan hartuaz, egoera makinaren tamaina eta konplexutasuna neurtzeko ondorengo metrikak erabili ditugu: Egoera Sinpleen Kopurua (ESK, tamaina neurtzeko), Egoera Konposatu Kopurua (EKK, tamaina neurtzeko) eta McCaberen Zenbaki Ziklomatikoa (Egituraren Konplexutasuna neurtzeko). Metrika hauek, egoera makinaren kasura egokitu dira.

3.2.1. Emaizak

Lehenengo galdera erantzuteko, SM1 egoera makina hasieratu eta 10.000 ausazko ebentututuen bidali dizkiogu. Kanpo monitorizazio eta eraldatze sistemak, Erregailu kontrolaren trazak (egoera makinaren modelatze elementu bidez osatuak) jaso ditu exekuzio denboran eta informazio guzti hau gorde dugu. Informazio hori aztertuz, Erregailu kontrolaren portaera atera dugu. Experimentu hau gauzatzeko orduan, egoera guztiak behatuak izan dira exekuzio denboran. Emaizta gisara, lista 1-an exekuzio denboran jasotako traza batzuk ikusi genitzaie. Traza hauek

1. taula. Experimentuak

Egoera Makina	Ikerketa Galdera	Behaketa %	ESK	EKK	McCabe	Akats injekzioa
SM1	IG1, IG3	100	13	2	13	EZ
SM1	IG2	100	13	2	13	BAI
SM1	IG3	50	13	2	13	EZ
SM1	IG3	0	13	2	13	EZ
SM2	IG3	0	25	4	26	EZ
SM3	IG3	0	49	4	52	EZ
SM4	IG3	0	113	9	117	EZ
SM5	IG3	0	25	5	26	EZ
SM6	IG3	0	49	11	52	EZ
SM7	IG3	0	113	26	117	EZ

interpretatuaz (egoera, ebentu zenbakiak), 6. irudian dagoen jatorrizko egoera makina atera genezake.

```

EvId 4; CurrentState 2;NextState 4; FatherState 1;
EvId 6; CurrentState 5;NextState 6; FatherState 4;
EvId 7; CurrentState 6;NextState 7; FatherState 4;
EvId 8; CurrentState 7;NextState 11;FatherState 4;

```

Listing 1: Exekuzio denboran jasotako traza batzuk

Bigarren galderari dagokionez, kanpo egiaztatze eta eraldatze sistema erabili dugu. Sistema hau, Arcaini *et al.* (2014)-en lanean oinarrituta diseinatu dugu eta honek, momentu horretan exekutatzen dabilen kontrolaren trazak konparatzen ditu aurrez egiaztatze sisteman konfiguratuta daukagun informazioarekin.

Hutsegiteen aurkako detekzio ahalmena neurtzeko, akats injekzio kanpainak egin ditugu iturburu kodea aldatuaz Libfiu (Libfiu) erreminta bidez. Lehenengo experimentazio fasean, ez dugu eraldatze sistema aktibatu, akatsak detektatzeko ahalmena bakarrik neurtu bait dugu. 6 akats injektatu ditugu ausazko hardware, software eta aurreikusitako gabeko ingurumen akatsak emulatu ahal izateko. Libfiu liburutegia erabiliaz, akats mota desberdinak emulatu ditugu (ausazko akatsak, probabilitate desberdina dutenak, beti gertatzen diren akatsak, ...). Ondorioz, kanpo egiaztatze sistemak akats guztiak detektatu ditu soluzioaren aplikagarritasuna egiaztatuaz. Lista 2-an, exekuzio denboran detektatutako bi akats agertzen dira:

```

EvId 8; CurrentState 7;NextState 8; FatherState 4;
EvId 8; CurrentState 8;NextState 7; FatherState 4;

```

Listing 2: Exekuzio denborako akatsdun trazak

Experimentuaren bigarren atalean, eraldatze prozesua aktibatu dugu eta sistema birabiarazi. Ondoren, aurreko experimentuko akats berdinak injektatu ditugu baina oraingoan, lehenengo akatsa detektatzean, jatorrizko egoera makina desaktibatu eta larrialditakoa aktibatu da. Beraz, kontrolaren portaera automatikoki aldatu da exekuzio denboran eta kanpo egiaztatze sistemak trazak jasotzen jarraitu du. Behin experimentazioa amaitzean, traza hauek aztertu ditugu eta ez dugu akatsdun trazarik topatu. Aldiz, behin akatsa detektatu ondorengo trazak larrialdiko egoera makinari dagozkionak direla ikusi dugu. Lista 3-ak larrialditako egoera makinaren trazak erakusten dizkigu.

```

EvId 3; CurrentState 2;NextState 3; FatherState 1;
EvId 7; CurrentState 6;NextState 11; FatherState 4;

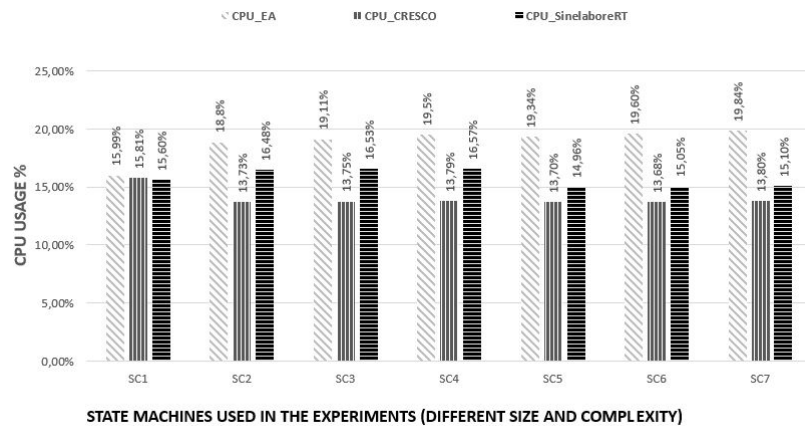
```

Listing 3: Exekuzio denborako larrialdi egoera makinaren trazak

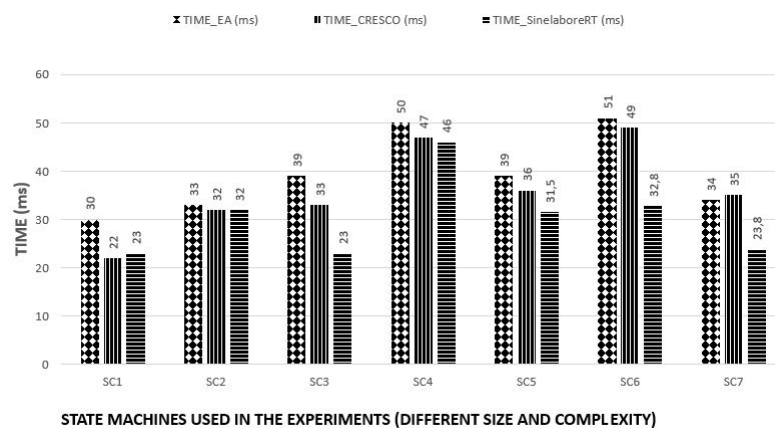
Azkenik, erreminta desberdinekin sortutako software osagaien errendimendua neurtu dugu bai denboran (mili-segunduak) eta baita CPU-aren erabilera portzentaian ere.

Lehenengo, RESCO beraren gainkarga neurtu dugu. Horretarako, SM1 egoera makina bera % 0, % 50 eta % 100-eko behaketa portzentaiarekin exekutatu dugu. Behaketa maila % 0 denean, 22 milisegundukoa izan da exekuzio denbora, % 50-ekin 272, eta egoera guztiak behatu ditugunean aldiz 411. Experimentu guztietan 1.000 ebentu erabili ditugu. Beraz, behaketa maila handitzean, errendimenduak nabarmen behera egiten du RESCO-rekin sortutako software osagaietan. Fidagarritasun maila ordea, igo egiten da.

7. irudia. CPU erabilera SinelaboreRT, EA eta RESCO erremintentzat (behaketa portzentaia % 0).



8. irudia. Denborak SinelaboreRT, EA eta RESCO erremintentzat (behaketa portzentaia % 0).



7 eta 8 irudiek azken IG-ren emaitzak erakusten dizkigute. Experimentu hauetan 1.000 ebentu erabili ditugu eta RESCO-ren kasuan, behaketa portzentaia % 0-ra jarri dugu. Denbora erantzunari dagokionez, SinelaboreRT erreminta izan da erantzunik hoberena izan duena. Hala ere, RESCO-ren emaitzak nahiko antzekoak izan dira, eta pixkat hobeak egoera makinaren konplexutasun maila baxua denean. CPU-aren erabilpenari dagokionez, emaitza guztiak nahiko antzekoak dira. Honen arrazoia experimentazio guztiak antzeko egoeran egin izana izan daiteke.

Egoera makina artifizialak kontutan hartuaz (SM2-SM7), RESCO eta EA erreminten kasuan, tamaina eta konplexutasuna handitzean errendimenduak txarrera egiten du eta txikitu egiten da: exekuzio denborak gora egiten du nahiz eta CPU-aren erabilpen portzentaia asko ez aldatu. SinelaboreRT-ren kasuan ere, egoera makinaren tamaina eta konplexutasuna handitzean, exekuzio denborak ere gora egiten du, baina kasu honetan aldaketa txikiagoa da. Aipatu beharra dago, azken erreminta hau denbora errealeko sistemetzako egin dagoela.

4. Ondorioak

Lan honetan, lehenengo, software osagaiak automatikoki sortzeko ereduaren oinarritutako planteamentu bat aurkeztu da. Soluzioa UML Egoera Makinetan oinarritzen da eta sortutako osagaien euren barne egoera exekuzio denboran emateko ahalmena dute. Gainera, informazio hori, beraiek modelatzeko erabili diren termino berberetan adierazten dute. Guzti honez gain, egoera makina hauek exekuzio denboran eraldatu ere egin daitezke.

Guzti hau egiaztatu ahal izateko, ebaluazio empiriko bat gauzatu da. Honela, RESCO bidez sortutako software osagaien introspektzio gaitasuna dutela frogatu da lehenengo. Ondoren, akatsak topatzeko gai den kanpo egiaztatzailerik bat ere frogatu dugu. Akatsak topatzeaz gain, hori gertatzean, software osagaia eraldatzeko prozesua martxan jartzeko gai dela ere ikusi dugu. Emaitzek erakutsi digute guzti hau posible dela.

Bukatzeko, sortutako plataformaren errendimendua ere neurtu dugu, baita erreminta komertzial batzuekin (EAv11 eta SinelaboreRT) konparatu ere. Izan kontutan, RESCO bidez sortutako software osagaiak direla exekuzio denboran informazio trazak emateko gaitasuna duten bakarrak, besteek ez diote introspektzio ahalmenik gehitzen sortutako software osagaiari.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunean, egindako ebaluazioa beste kasu erreal batzuetan egitea ere nahiko genuke. Beste erreminta komertzial batzuekin konparaketak egiten jarraitzea ere bada egin beharreko beste lan bat.

Soluzioak exekuzio denboran eraldaketa egitea ahalbideratzen du. Etorkizunean ordea, eraldaketa hori bera aurreikusi gabe eta dinamikoki exekuzio denboran sortutako egoera makinetara egiteko ahalmena gehituko genioke. Guzti hau kontutan hartuta eta Mazak *et al.* (2016) lanean inspiratuaz, etorkizuneko lan ildo interesgarri bat Process Mining (PM) teknikak integratzea litzateke.

Erreferentziak

- Arcaini, Paolo, Angelo Gargantini, eta Elvinia Riccobene. 2014. Offline model-based testing and runtime monitoring of the sensor voting module. *Communications in Computer and Information Science*.
- Bagherzadeh, Mojtaba, Nicolas Hili, eta Juergen Dingel. 2017. Model-level, platform-independent debugging in the context of the model-driven development of real-time systems. In *Proceedings of the 2017 11th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering*, 419–430. ACM.
- Beldjehem, Mokhtar. 2013. A granular hierarchical multiview metrics suite for statecharts quality. *Advances in Software Engineering* Volume 2013.13.
- Derler, Patricia, Edward A. Lee, eta Alberto Sangiovanni Vincentelli. 2012. Modeling cyber-physical systems. volume Special issue on CPS, 13–28. IEEE.
- Garlan, David, eta Bradley Schmerl. 2002. Model-based adaptation for self-healing systems. In *Proceedings of the first workshop on Self-healing systems*, 27–32. ACM.
- Genero, Marcela, David Miranda, eta Mario Piattini. 2003. Defining metrics for uml statechart diagrams in a methodological way. In *International Conference on Conceptual Modeling*, 118–128. Springer.
- Gomaa, Hassan, Emad Albassam, eta Daniel A Menascé. 2017. Run-time software architectural models for adaptation, recovery and evolution. In *MODELS (Satellite Events)*, 193–200.
- James, Mark, Paul Springer, eta Hans Zima. 2010. Adaptive fault tolerance for many-core based space-borne computing. In *European Conference on Parallel Processing*, 260–274. Springer.
- Libfiu. Libfiu: faultinjection in userspace.
- Mazak, Alexandra, Manuel Wimmer, eta Polina Patsuk-Bösch. 2016. Execution-based model profiling. In *International Symposium on Data-Driven Process Discovery and Analysis*, 37–52. Springer.
- Mueller, Peter. 2018. sinelabore. Technical report.
- Pradip, Prashant Kaliram. 2016. Commissioning and performance analysis of whispergen stirling engine. Technical report, University of Windsor.
- Systems, Sparx. 2015. Enterprise architecture v11. Technical report, Sparx Systems (<http://sparxsystems.com/products/ea/>).

6. Eskerrak eta oharrak

Proiektu hau MGEP-eko Sistema Txertatuen taldeak garatu du eta Eusko Jaurlaritzaren Hezkuntza, Unibertsitate eta Ikerketa sailak lagundua izan da Ikerketa Taldeak (Grupo de Sistemas Embebidos) eta TEKINTZE (Elkartek 2018) dirulaguntzen bidez. Europako H2020 ikerketa eta innobazio programaren barruan aurkitzen den ECSEL Joint Undertaking, eta Nazio mailako dirulaguntza iturriak ere baliatu dira Productive 4.0 proiektuan (grant agreement no. GAP-737459 - 999978918) lana eginez.

Hemodinamikaren eredu zero-dimentsionalean adarkaduretako presio-galeraren garrantziaren inguruan: B-TACE tratamenduaren analisia

Aramburu, Jorge¹; Antón, Raul¹, Larraona, Gorka S.¹; Ramos, Juan Carlos¹;
Rivas, Alejandro¹; Sangro, Bruno² eta Bilbao, José Ignacio²

(1) Universidad de Navarra, TECNUN Escuela de Ingenieros, Donostia.

(2) Clínica Universidad de Navarra, Iruña.

jaramburu@tecnun.es

Laburpena

Hemodinamikaren ereduaren erabilera gibeletako minbizien hainbat tratamenduren optimizazioa ahalbidetu dezake; adibidez, B-TACE tratamendua. B-TACE tratamendua arteria kolateralei esker ematen den odol-fluxuaren banaketaren aldaketan oinarritzen da. Odol-fluxuaren banaketan aldaketak ematen diren kasuetan, garrantzitsua izan daiteke efektu hori kontuan izatea hemodinamikaren ereduaren. Artikulu honetan, hemodinamikaren azterketa egiten da eredu zero-dimentsional baten bidez B-TACE tratamenduaren kasu baterako, eta aztertzen da odol-fluxuaren banaketaren aldaketaren efektuak ereduaren duen eragina. Emaitzek erakusten dute garrantzitsua dela efektu hau kontuan hartzea.

Hitz gakoak: adarkadura, presio-galera, hemodinamika, arteria hepaticoa, B-TACE

Abstract

Hemodynamics modeling has the potential to become a powerful tool for optimizing transcatheter intraarterial treatments for liver cancer. Some of these treatments, e.g., balloon-occluded transarterial chemoembolization (B-TACE), relies on a blood flow redistribution through collateral arteries. When a blood flow redistribution takes place, it might be important to add the resistive effect of the redistribution to the model. In this paper, we present a case in which the blood flow during B-TACE is modeled with a zero-dimensional model, and the influence of including the redistribution resistance is assessed. Results show that it is important to add the redistribution resistance to the model.

Keywords: bifurcation, head loss, hemodynamics, hepatic artery, B-TACE

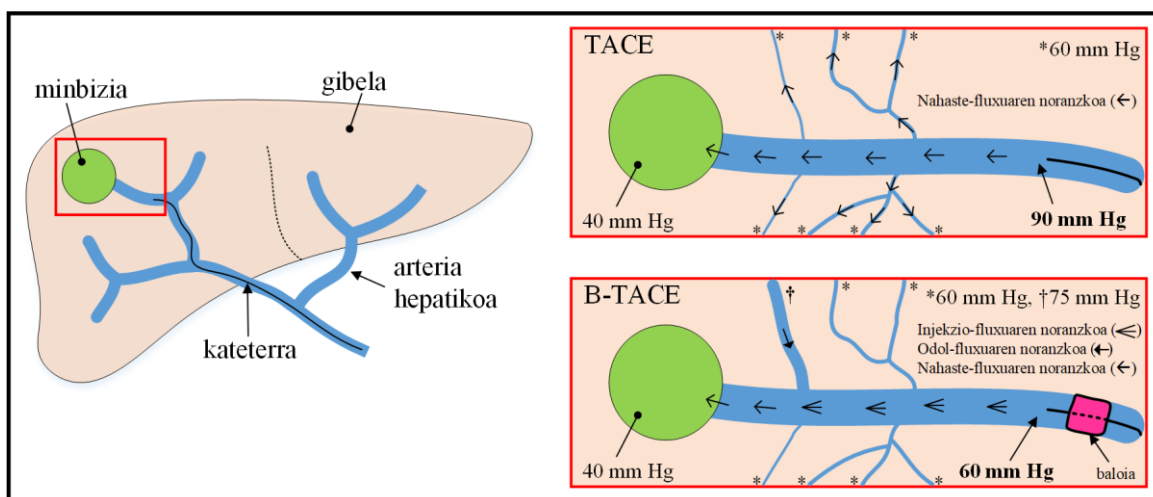
1. Sarrera eta motibazioa

GLOBOCAN datu-basearen arabera, mundu mailan, gibeletako minbiziak 745.500 heriotza eragin zituen 2012an eta minbizi-mota hau hilgarrirenetan bigarren sailkatua izan zen (Torre et al., 2015). Gibeletako minbizien artean, ohikoena kartzinoma hepatozelularra da (Llovet et al., 2016). Minbizi mota hau tratatzeko, azken urteotan arteria barruan kokatutako kateter bidezko tratamenduek gorakada handia jasan dute. Tratamendu hauen artean daude gibeletako erradioenbolizazioa eta arteria bidezko kimioenbolizazioa (TACE) (Sangro eta Salem, 2014). Tratamendu hauetan produktu antitumoralak injektatzen dira kateter baten bidez eta produktu hauek gune tumoralera bideratzen dira arterietako odol-fluxuarekin. TACE tratamenduaren kasuan, produktu antitumoralak lipiodol izeneko produktu oliotsu bat da. Aurrena, lipiodola injektatzen da gune tumoralera; gune tumoralak lipiodolez beteta dagoenean, partikula batzuk injektatzen dira arteria txikiak buxatzeko eta odol-fluxua gune tumoralera ekiditeko. Horrela, lipiodolaren efektua areagotu egiten da eta minbizi-zelulen nekrosia (minbizi-zelulen hilketa oxigeno faltarengatik) ahalbidetzen da.

Azken urteotan, TACE mota berri bat sortu da, *balloon-occluded transarterial chemoembolization* (B-TACE) deritzona (Imai et al., 2014). Tratamendu honetan erabiltzen den kateterrak muturrean baloi txiki bat du, zeina puztu egiten den arteria buxatzeko. Nahiz eta arteria buxatu, odol-fluxua mantendu egiten da gibelaren noranzkoan, arteria kolateralek odol-fluxua mantentzen laguntzen baitute. Arteria kolateralak dira arteria mota batzuk egoera normalean odol-fluxu oso txikia eramaten dutenak, baina egoera berezietan odol-fluxua bere gain hartzeko gaitasuna dutenak; arteria kolateralen berezitasun honetaz baliatzen da B-TACE tratamendua.

Arteria hepaticoa buxatzean, arteria kolateralen ezaugarriari esker, baloitxoaren muturraren ostean presio bat garatzen da. Arteria kolateralek odol asko eroan badezakete, muturreko baloiaren aurretik eta ondoren izango dugun presioa antzekoa izango da. Arteria kolateralek odol gutxi har badezakete, muturreko baloiaren ondoren dugun presioa muturreko baloiaren aurretik dugun presioa baino askoz txikiagoa izango da. Tratamendu hau Irie et al.-ek (2013) sortu zuten eta haien ikerketak zioen baloiaren osteko BOASP presioak (*balloon-occluded arterial stump pressure*) 64 mm Hg baino txikiagoa izan behar zuela B-TACE tratamendua modu egokian burutu ahal izateko. Arteria hepaticoko odolaren presioa 90 mm Hg ingurukoa da, batez beste. 1. Irudian ikus daiteke B-TACE tratamendua irudi bidez azaldua. Irudi nagusian gibela, arteria hepaticoa eta minbizia ikus daitezke. Minbiziaren inguruan zoom eginez gero honakoa ikus daiteke TACE eta B-TACE tratamenduetarako. Goian: TACE tratamendua. Kasu honetan, odola eta injekzioaren nahastea minbizi-gunera eta gune osasuntsura doa. Behean: B-TACE tratamendua. Kasu honetan, aldiz, nahastea minbizi-gunera bideratzen da, baloi-bidezko arteria buxadurak odol-fluxua berbideratu baitu. Fluido baten fluxuak beti presio handiko gunetik presio gutxiagoko gunerako noranzkoa du. Adibide honetan, B-TACE tratamenduak emaitza positiboak ematen ditu, nahastea minbizi-gunera bakarrik bideratu baita.

1. irudia. B-TACE tratamenduaren azalpena.



Tratamendu hauen ikerketa pil-pilean dago azken urteotan (Imai et al., 2014), eta fluidoaren mekanikaren ikuspuntutik gure ekarpenak egiten saiatu gara lan honen bidez.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Hemodinamikaren ereduak ingeniaritza biomedikoaren esparruan ikerketa-tresna garrantzitsuak dira (Formaggia et al., 2009). Adibidez, gailu endobaskularren diseinurako edota hemodinamikaren eta patologien arteko harremana ikertzeko (De et al., 2010).

Ikerketa honetan, B-TACE tratamenduaren simulazioak egin dira. B-TACE tratamendua arteria hepaticoa kokatutako kateter baten bidez egiten den tratamendu bat da eta arteria kolateralei esker ematen den odol-banaketa aldaketan oinarritzen da. Lehenago ere egin izan dira simulazio bidezko ikerketak arteria hepaticoa kokatutako kateter baten bidez egiten diren tratamenduen inguruan eta odol-banaketa aldaketaren inguruan. Zehazki, kateterraren kokapena, kateter mota, eta abar aztertzea izan dira erradioenbolizazioa ikertzeko hemodinamikaren eredu tridimentsionalak (3D) erabiliz (Aramburu et al., 2018). Gibeletako odol-banaketa aldaketaren inguruan, hemodinamikaren eredu zero-dimentsionalak (0D) eta 3D ereduak ere erabili izan dira hepatektomiak eragindako odol-banaketak aztertzeko (Debbaut et al., 2012; Ho et al., 2012).

Ikerketaren helburua da aztertzea eta kuantifikatzea adarkaduretako erresistentziaren eragina arteria hepaticoko hemodinamikaren 0D ereduaren. Horretarako, bi eredu sortu dira. Batetik,

adarkaduren erresistentzia kontuan hartzen ez duen 0D eredua. Bestetik, odolaren banaketan aldaketa jasan duen adarkaduren erresistentzia kontuan hartzen duen 0D eredua.

3. Ikerketaren muina

Artikulu honetan erabili den metodologia Aramburu et al. (2019) lanean oinarrituta dago. Aipatutako lanean, helburu nagusia zen arteria hepatikoaren 3D ereduen *computational fluid dynamics* (CFD) simulazio batekin 0D eredua definitzea eta 0D ereduen inguruan simulazioak eginez kateterraren kokapen egokiena modu azkar batean definitzea, 0D ereduen simulazioak 3D ereduenak baino arinagoak baitira konputazionalki. Artikulu horretan ikusten ez dena da zenbaterainoko garrantzia duen adarkaduretako erresistentzia gehitzeak. Adarkaduretako erresistentziaren garrantzia artikulu honetan ikusiko dugu.

Horretarako, gibleko 8. segmentuan minbizia duen eta B-TACE tratamendua jasoko duen paziente baten arteria hepatikoa aztertuko dugu hemodinamikaren ikuspuntutik, haren 3D hemodinamikaren ereduan oinarritutako 0D eredua sortuko dugu, buxadura kasu bi aztertuko ditugu 0D ereduen bitartez eta adarkaduretako erresistentzia kontuan hartzearen garrantzia aztertuko dugu. Gibleko zortzi segmentuak ikusteko eta minbiziaren kokapena 8. segmentuan ikusteko, ikus 2. irudia (a)-ko koadrotxoa.

3.1. Eredua zero-dimentsionalaren definizioa hemodinamikaren baldintza normaletarako

Arteria hepatikoaren odol-fluxuaren ezaugarrien deskribapena

Arteria hepatikoa 2. irudia (a)-n ikus daitekeen paziente baten MeVis (MeVis Medical Solutions AG, Bremen, Germany) iruditik hartu da. Arteria hau Michels-en (1966) klasifikazioaren arabera III. motakoa da, eskuineko arteria hepatiko ordezkaturik baitu. Gibelaren 8. segmentuan minbizia duen paziente baten ezaugarriak hartu dira literaturatik, errealista den kasu bat aztertzeko. Arteriaren inguruko informazio zehatzagoa Aramburu et al. (2019) lanean aurki daiteke.

Eredua zero-dimentsionala

0D eredua 2. irudia (c)-n ikus daiteke. Aramburu et al. (2019) lanean argudiatzen den bezala, arteria hepatikoa erresistentzia hidraulikoz eta hauek lotzen dituzten lotutako nodoez osatutako eredu baten bidez definitu daiteke. Erresistentziei balioak emateko, 3D ereduen simulazioa burutu da baldintza normaletarako eta erresistentziak (R) kalkulatu (1) ekuazioa erabiliz.

$$R = \Delta P / Q \quad (1)$$

non ΔP [mm Hg] eta Q [mL/min] arteria-adar baten muturren arteko presio-diferentzia eta adarra zeharkatzen duen odol-fluxua diren. CFD simulazioaren ezaugarriak 3.4 atalean azaltzen dira.

3.2. Adarkaduretako erresistentziak hemodinamikaren baldintza berezietarako

Arteria nagusi bat buxatzean (B-TACE tratamenduan egiten dena), odol-fluxua arteria kolateraletatik berbideratzen da eta fluxuak norabide-aldaketa garrantzitsuak izan ditzake (ikus 1. irudiko adibidea). Horren ondorioz, presio-galerak eman daitezke (eta ematen dira) odol-fluxuan. Fenomeno hori kontuan hartzeko, odol-fluxua berbideratzeko erabiltzen diren adarkaduretan erresistentziak (R_a) gehitu behar dira. Erresistentzia hauek arteriaren 0D ereduko arteria kolateralen adarkatzeetan gehitu behar dira; kasu honetan, '2' eta '6' nodoetan (ikus 2. irudia (c) nodo zenbatuak ikusteko). Erresistentzia hauen kalkularen garapena Aramburu et al. (2019) lanean aurki daiteke. Garrantzitsuena da aipatzea adarkatzeetako erresistentzia hauek odol-fluxuaren funtzioak izango direla ($R_a = R_a(Q)$). Horregatik, 0D ereduen ekuazioak ebazteko metodo iteratibo bat erabili beharko da.

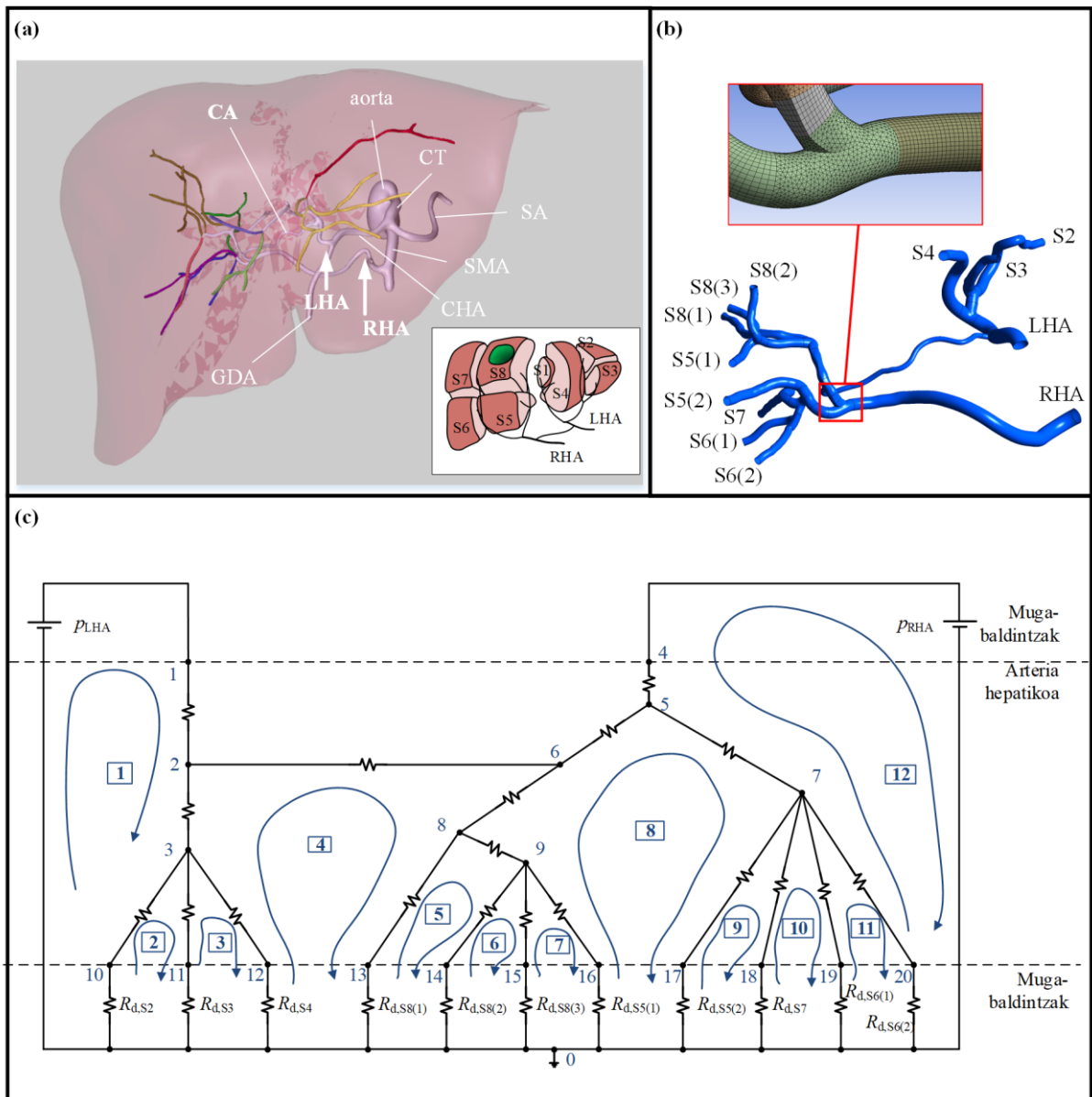
3.3. Eredu zero-dimentsionalaren simulazioa bi kateter kokapenerako

Behin 0D ereduak R eta $R_a(Q)$ definituta, kateterrarentzako bi kokapen zehaztu dira:

- Kateterra eskuineko arteria hepaticoa (RHAn).
- Kateterra ezkerreko arteria hepaticoa (LHAn).

0D ereduaren simulazioa prozesu iteratibo baten bidez burutu da, Aramburu et al. (2019) lanean azaldua.

2. irudia. Ikerketan jarraitu beharreko pausak. (a) Pazientearen arteria hepaticoen eta hemodinamikaren azterketa. Pazientearen arteria hepaticoa eta gibeletako segmentuak eta minbiziaren kokapena zehazten dira. (b) Oinarritzko egoeraren 3D ereduaren simulazioa(k) R eta $R_a(Q)$ zehazteko. 3D ereduak eta irteerak hornitzen dituzten segmentuen azalpena. (c) 0D ereduaren simulazioak buxadura egoerentzako. 0D ereduak azaltzen da, nodo zenbatuekin eta 0D ereduaren muga-baldintzekin.



3.4. Eredu tridimentsionalaren simulazioak bi kateter kokapenerarako

Aurreko atalean esan bezala, kateterra RHAn eta LHAn kokatu da eta bi kasu hauek aztertu dira. Hemodinamikaren 3D ereduaren simulazioetarako, odola fluido isoterma, konprimaezina

eta ez-newtondarra da, eta odol-fluxua masaren eta higidura-kantitatearen kontserbazioaren ekuazioek (Batchelor, 2000) definitzen dute, fluxu laminarrean. CFD simulazioak egin ahal izateko, odol-fluxuaren mugimendua deskribatzen duten ekuazioez gain, arteriaren geometria tridimentsionala eta muga-baldintzak behar dira. Geometria tridimentsionala bolumen txikitan banatu behar da (hots, diskretizazio prozesua) eta muga-baldintzak definitu behar dira, hau da, odol-fluxuak geometriaren mugetan dituen ezaugarriak (abiadura edo presioa). Horrela, CFD simulazioetan, odol-fluxuaren ekuazio diferentzialak garapen matematikoen bitartez ekuazio algebrako bihurtzen dira eta diskretizatutako geometriako bolumen txikietan ebazten dira ordenagailu bidez. Lan honetan erabili den arteria hepaticokoaren geometria eta diskretizatutako geometriaren atal bat 2. irudia (b)-n ikus daitezke. Erabili diren muga-baldintzak Aramburu et al. (2019) lanean ikus daitezke. Lan honetan, ANSYS Fluent® 18.1 (ANSYS Inc., Canonsburg, PA, USA) softwarea erabili da simulazioetarako.

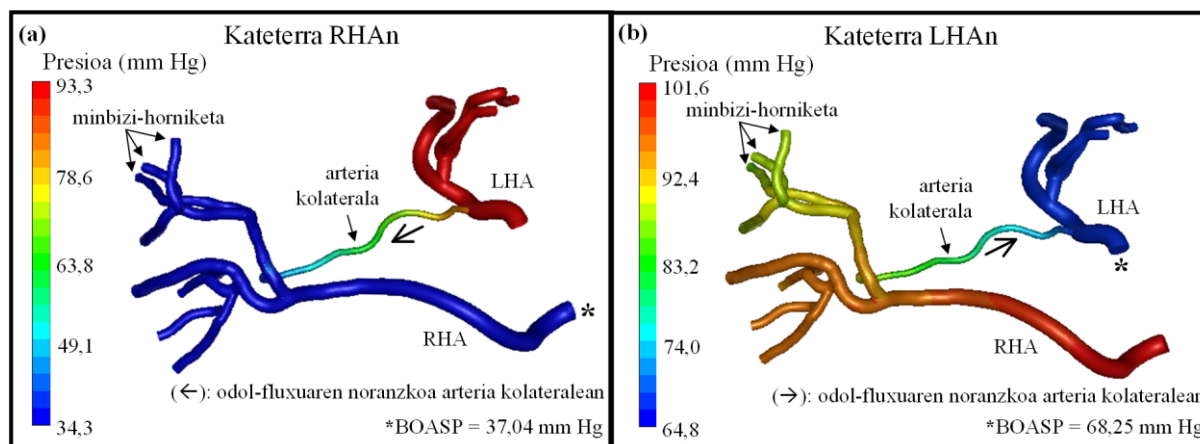
3.5. Emaitzak eta emaitzen eztabaida

1. Taulak erakusten ditu simulazioen emaitzak. Artikulu honetarako erakutsiko eta aztertuko diren emaitzak BOASP presioarenak dira. Aztertu diren bi egoerak RHAren buxadura eta LHAren buxadura dira. Kasu bakoitzean, 0D ereduaren eta 3D ereduaren simulazioak egin dira. 0D ereduaren bi simulazio egin dira: bata $R_a(Q)$ gehitu gabe eta bestea $R_a(Q)$ gehituta. 3. Irudiak erakusten ditu presioaren emaitzak buxadura egoeren 3D ereduaren simulazioentzako.

1. taula. BOASP presioa kateterra RHAn eta LHAn kokatzean. Simulazioak: 0D ereduarena $R_a(Q)$ gehitu gabe, 0D ereduarena $R_a(Q)$ gehituta eta 3D ereduarena. Parentesi artean erakusten da 0D eta 3D ereduaren BOASParen arteko diferentzia %tan (3D ereduarekiko).

BOASP	0D eredu R_a gabe	0D eredu R_a gehituta	3D eredu
Kateterra RHAn	92,07 mm Hg (% 148,3)	36,5 mm Hg (% 1,45)	37,04 mm Hg (% 0)
Kateterra LHAn	92,23 mm Hg (% 35,1)	68,16 mm Hg (% 0,13)	68,25 mm Hg (% 0)

3. irudia. 3D ereduaren simulazioen emaitzak. (a) Odol-fluxuaren presioa kateterra RHAn kokatzean, eta (b) odol-fluxuaren presioa kateterra LHAn kokatzean.



3. Irudia (a)-n ikus daiteke RHA buxatuta dagoela eta odol-fluxuak LHatik bakarrik hartzen duela gibelaren noranzkoa (RHA buxatuta baitago). Odol-fluxuak bere ibilbideko norabidean aldaketa handiak jasaten ditu arteria kolateralaren adarkatzeetatik igarotzean. Horrek presio-galerak eragiten ditu (ikus adarkatzeetako kolore-aldaketa [= presio-aldaketa]). 0D ereduaren presio-galera hori kontuan hartzean, 0D ereduak eta 3D ereduak emaitza oso antzekoa ematen dute BOASP presiorako; 1. taulan ikus daitezkeen % 1,45 eta % 0,13-ko aldea 0D eta 3D ereduaren artean RHAn eta LHAn buxaduretako, hurrenez hurren. Aldiz, adarkatzeetako erresistentzia kontuan hartzen ez denean, BOASP presioaren balioak 0D ereduaren eta 3D ereduaren oso desberdinak dira; 1. taulan ikus daitezkeen % 148,3 eta % 35,1-ko aldea 0D eta 3D ereduaren artean RHAn eta LHAn buxaduretako, hurrenez hurren. Nahiz eta baldintza normaletan

odolak ez duen norabide-aldaketa esanguratsurik jasango, garrantzitsua dirudi fluxuaren berbideraketa ematen den kasuetan adarkatzeen erresistentzia gehitzea.

3. irudiak aukera ematen du emaitzak ikuspuntu klinikotik aztertzeko. Odol-fluxuaren ikuspuntutik, Irie et al. (2013) lanaren arabera, BOASP presioak < 64 mm Hg izan behar du B-TACE tratamendua modu egokian burutzeko. Kasu honetan, kateterra RHAn kokatzean bakarrik ematen da egoera hau. Gainera, kasu honetan, segurtasun-irizpideak erabilita, RHAn kokatu behar da kateterra, arteria kolateraleko fluxua minbiziaren kokapenaren noranzkoan baita; aldiz, kateterra LHAn kokatzean, odol-fluxua gune osasuntsuen noranzkoan da. Ikus 3. irudian arteria kolateraleko odol-fluxuaren noranzkoa adierazten duten gezitxoak. Gainera, nahaste-fluxuaren ikuspuntutik, tratamendua LHAtik egiteak emaitza negatiboak emango litzuke, nahastea gune osasuntsuetara bakarrik joango baitzen (ikus 3. Irudia (b)). Beraz, kasu honetan, kateterra RHAn kokatuko litzateke B-TACE tratamendua burutzeko.

4. Ondorioak

Kasu honetarako ikusi den bezala, oso garrantzitsua da 0D ereduetan adarkaduren erresistentzia gehitzea odolaren banaketan aldaketak dauden kasuetan. Kateterrak kokatu diren kokapenetarako, 0D eta 3D ereduak kalkulatuak BOASParen aldeak hauek izan dira: RHA eta LHA buxatuta, hurrenez hurren, erresistentzia gehitu gabe, aldeak % 148,3 eta % 35,1 izan dira; erresistentzia gehituta, % 1,45 eta % 0,13.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Gure ikerketa-taldeak azken urteotan gibleko minbiziaren tratamenduak hobetzeko hemodinamikaren ereduak garatzen dihardu eta helburua da etorkizunean eredu hauekin medikuen egunerokotasunean erabilgarriak izango diren ereduak garatzea. Horretarako, ereduaren konplexutasunaren eta emaitzak lortzeko azkartasunaren arteko oreka aurkitu beharko da.

6. Erreferentziak

- Aramburu, J., Antón, R., Rivas, A., Ramos, J. C., Sangro, B., eta Bilbao, J. I. (2018), Liver radioembolization: An analysis of parameters that influence the catheter-based particle-delivery via CFD, *Curr Med Chem*, [Epub ahead of print].
- Aramburu, J., Antón, R., Rivas, A., Ramos, J. C., Larraona, G. S., Sangro, B., eta Bilbao, J. I. (2019), A methodology for numerically analysing the hepatic artery haemodynamics during B-TACE: a proof of concept, *Comput Methods Biomech Biomed Eng*, [Epub ahead of print].
- Batchelor, G. K. (2000): An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press, Cambridge.
- De, S., Guilak, F., eta Mofrad, M. R. K. (2010): Computational modeling in biomechanics, Springer, Dordrecht.
- Debbaut, C., De Wilde, D., Casteleyn, C., Cornillie, P., Van Loo, D., Van Hoorebeke, L., Monbaliu, D., Fan, Y. D., eta Segers, P. (2012), Modeling impact of partial hepatectomy on the hepatic hemodynamics using a rat model. *IEEE Trans Biomed Eng*, 59, 3293-3303.
- Formaggia, L., Quarteroni, A., eta Veneziani, A. (2009): *Cardiovascular mathematics*, Springer, Milan.
- Ho, H., Sorrell, K., Barlett, A., eta Hunter, P. (2012): Blood flow simulation for the liver after a virtual right lobe hepatectomy, in Ayache, N., Delingette, H., Golland, P., Mori, K., Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2012, Springer Berlin, Heidelberg, 513-520.
- Irie, T., Kuramochi, M., Takahashi, N. (2013), Dense accumulation of lipiodol emulsion in hepatocellular carcinoma nodule during selective balloon-occluded transarterial chemoembolization: Measurement of balloon-occluded arterial stump pressure. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 36, 706-713.
- Imai, N., Ishigami, M., Ishizu, Y., Kuzuya, T., Honda, T., Hayashi, K., Hirooka, Y., Goto, H. (2014), Transarterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma: a review of techniques. *World J Hepatol*, 6, 844-850.

- Llovet, J. M., Zucman-Rossi, J., Pikarsky, E., Sangro, B., Schwartz, M., Sherman, M., eta Gores, G. (2016), Hepatocellular carcinoma, *Nat Rev Dis Prim*, 2, 16018.
- Michels, N. A., (1966), Newer anatomy of the liver and its variant blood supply and collateral circulation, *Am J Surg*, 112, 337-347.
- Sangro, B., eta Salem, R. (2014), Transarterial chemoembolization and radioembolization, *Semin Liv Dis*, 34, 435-443.
- Torre, L. A., Bray, F., Siegel, R. L., Ferlay, J., Lortet-Tieulent, J., Jemal, A. (2015), Global cancer statistics, 2012. *CA Cancer J Clin*, 65, 87-108.

7. Eskerrak eta oharrak

Artikulu honetan azaldu dena TERUMO EUROPE, NV enpresarekin egindako proiektu batean oinarrituta dago. Autoreek Antonio Aranzabal Katedra-Fundazioaren laguntza ere eskertu nahi dute.

Hernaniko (Gipuzkoa) Portalondo dorretxearen analisi historiko-konstruktiboa

Santolaria, Oihana

Arkitektura saila. Donostiako Arkitektura Goi Eskola Teknikoa.

Euskal Herriko Unibertsitatea EHU/UPV

oihana.santolaria@ehu.eus

Laburpena

Hernanin (Gipuzkoa) Portalondo dorretxea, bere jatorrian (XIV. mendea), Euskal Herrian eraikitako dorretxe multzoaren helburua, tipologia eta morfologiari dagokio. Gaur egun bizitegi-eraikina da, hiribilduaren jardueran erabat integratuta dagoena. Hiru lokal ditu, bi etxebizitza eta ganbara / estudio bat. Lan honetan, dorretxe honen eraikuntza-analisi historikoaren emaitzak modu eskematikoan aurkezten dira, eraikin baten etengabeko egokitzapenaren adibide gisa, gizarte-bilakaeratik sortutako eskaeretara, Behe Erdi Arotik gaur egunera arte.

Gako hitzak: analisi historiko konstruktiboa, Portalondo dorretxea

Abstract

The origins, (14th century), purpose, typology and morphology of the Portalondo tower house in Hernani (Gipuzkoa) are the same as all tower houses built in the Basque Country. It is currently a residential building, fully integrated into the town's activity. It contains three business premises, two apartments and a loft/studio. In this paper, we schematically present the findings from the historic building analysis of this tower house as an example of the continuous adaptation of a building to the requirements arising from social developments, from the Late Middle Ages to the present day.

Keywords: Historic building analysis, Portalondo tower house

1. Sarrera eta motibazioa

Eraikin historikoarekiko interesa hirietan finkatu zen XX. mendearen bigarren erdialdean, bizi-maila handitzeagatik eta ondare historikoari buruzko balorazioarekin aberastu baitzen, ezaugarri aberasgarri gisa. Eraikin monumentalak, katedralak edo jauregiak, ikerketa zabal bat jasan dute denboran zehar; bestalde, konplexutasun arkitektonikoa handirik ez duten eraikuntzetan zentratutako azterlanak egin berri dira, eta, leku eta denbora jakin bati dagozkion tipologiatzat aztertu dira (Linazasoro, 1978, Arizaga, 1990). Kategoria honetan dorretxeei eskainitako estudioak sartuko lirateke (De Aginagalde, 1997; González, 2004; Llanos, 2006, Azpiazu eta Alberbide, 2012).

Portalondo dorretxea Probintzial Monumentu Historiko-Artistikotzat katalogatuta dago, 1964ko urtarrilaren 17ko Ministro Aginduen arabera (BOE, 29.2.64). 222 m²-ko lursaila da, eta eraikin gotortua da, eta horren ezaugarri orokorrak dira, hain zuzen ere, Gipuzkoako XIV-XVI. mendean egin ziren garaiko eraikinenak: oinplano lauangeluarra, eraikuntza altueran errazten duena, harrizko horma lodiak, harrizko eskantzuduna, bao estu eta luzeak, itsu leihoak, zurezko egitura, itsura doia, eta, gaur egun, hiru altuera ditu, eta, lau isurkiko estalkia.

Nahiz eta idatzitako frogarik ez izan, tradizioak dio dorretxe honen eraikuntza Alcegaiko Jaunei dagokiola; Alcegararren presentzia Hernanin ondo dokumentatua dago (De Guerra, 1928, Murugarren, 1970). Baieztapen hori bateragarria da XV. mendeko egoera historikoarekin, oiñaztar eta ganboatarren arteko bando-gerraren testuinguruan. Martin Perez de Alcega, Ahaide Nagusia, edo Hernaniko hiribilduaren leinu-burua, oinaztarrekin parte hartu zuen aktiboki; horrela, 1332. Urtean Hernani setiatu zuten bando horretako kideei babesa emateagatik (Fernandez de Larrea, 2000). Helburu horrekin, Ahaide Nagusiek izaera defentsiboko bizitegi-egoitzak eraiki zituzten, dorretxeak hain zuzen ere, hiribilduetako gune defentsibo estrategikoetan. Dorretxe honen kokapenak, hiribilduaren kanpo perimetroan, eta bere izendapenak, Portalondo, defentsako harresiaren parte zela, eta horren sarreraren baten ondoan kokatua zegoela adierazten digu. 1456. Urtean Bando gerrari amaiera eman zitzaion, eta, ondorioz, 1457.ean, hainbat dorretxe suntsitu zituzten, eta besteak desmotxatu.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

XX. mendean euskal dorretxeen alde konstruktiboak eta funtzionalak interesa piztu zuten ikertzaileen artean. Irizar arkitektoak (1929) eraikin horien izaera militarra nabarmentzen zuen, horien gabezia arrazoitu, gotorlekuaren goiko solairuen desagertzearekin. Ondorengoko lanek, lurralde-mailako arkitekturaren arkeologiaren arlokoak, adierazten dute Murgako dorrea (Araba), Martiartu eta Madariaga (Bizkaia) harrietan zuzenean asentatzen direla, landutako zimenduen beharrik gabe. Dorre horietan egiaztatu zen oinplanoaren modulua habeek izan zezaketen luzerarekin bat egiten zutela, eta horrek, aldi berean, pago edo haritz enbor batek izan zezakeen luzerarekin; honek baldintzatzen zuen, hain zuzen ere, eraikinaren beste proportzioak (Azcarate de Garcia, 2004).

Ikerketa honen helburua da Portalondoko dorretxeak jasan dituen gertaera konstruktiboen sekuentzia bat osatzea, eta, aldaketa horiek dorretxearen gaur egungo egoeran izan duten influentzia finkatzea.

3. Ikerketaren muina

3.1. Hernaniko hirigune historikoa

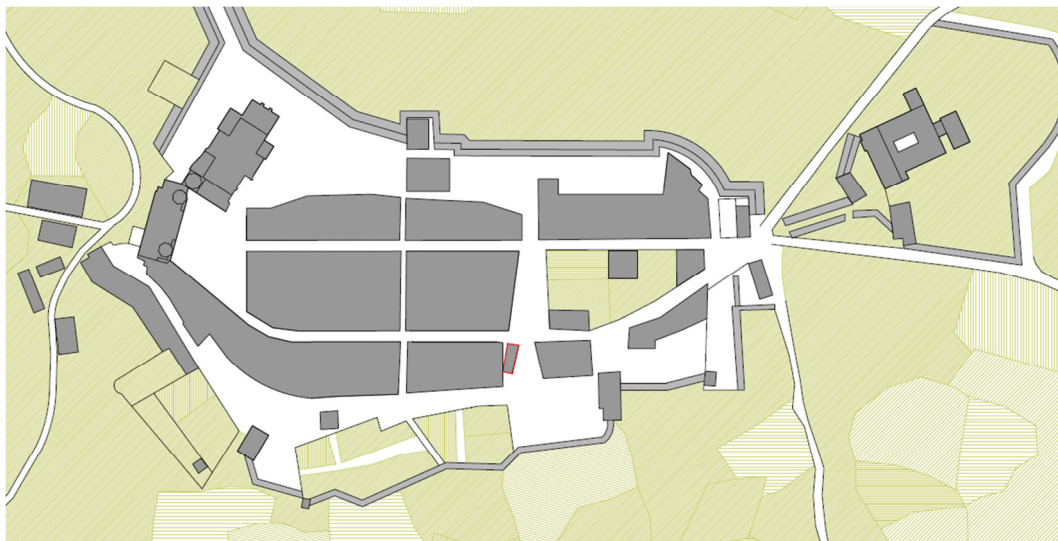
Hernaniko Hirigune Historikoa XIV. Mendeko hiribilduaren eraketa-guneari dagokio, sortu zeneko hiri-azalera 1,8 Ha ingurukoa izanik. Harresi batek zedarritzen zuen, non sarrerako bost ate zeuden (1. irudia). Planoan, dorretxearen kokapen periferikoa ikus daiteke, Nafarroatik hirira sartzeko 3. ataria kontrolatuz. Frantziar armadak Hernani suntsitu zuen 1512an eta, etxeen eraikuntza-material ia gehiena egurrezkoa zenez, erabateko erretzea izan zen; Portalondoko dorretxea bakarrik kontserbatu zen, harriz eraikia. Hernanik etengabe jasan zituen okupazio, arpilatze eta suntsiketak, ondorengo gertakizunen ondorio: oinordetza gerra (1719), konbentzio gerra (1794), independentzia gerra (1813) eta gerra karlistak (1876), eta, beste kalteren artean, dokumentazio historikoaren zati handi bat suntsitu zuten.

1. irudia. XIV. mendeko Hernaniko gune harresituaren planoak



Hernani berreraiki zenean, XVI eta XVII. mendeetan zehar, harresitutako esparrua iparralderantz zabaldu zen, Kale Nagusia eta Andrekale kalea luzatuz, zeharkako kale bat eta plaza bat gehituz. Garai hartan, San Joan Bataiatzailearen eliza eta lehenengo udaletxea eraiki ziren, eta horretarako, harresiaren zati bat hartu zen, eta bi eraikinetako hormak hiribildua hegoalderantz ixten zuen harresi berrian sartu ziren. Hiribilduaren handitze horrek Portalondoko egoera erlatiboari eragin zion, hiri-bilbean (2. irudia) integratu zen. Garai honetan sortutako hiri-morfologia gaur egunera arte iraungo du (Santolaria, 2017).

2. irudia. XIX. mendeko Hernaniko guneko harresituaren planoak



3.2. Metodologia

Ikerketa ondoz ondoko hiru fasetan egin da: ikerketa dokumentala, in situ egindako datuak lortzea eta eraikuntzaren bilakaera historikoa ezartzeko bildutako informazioa aztertzea.

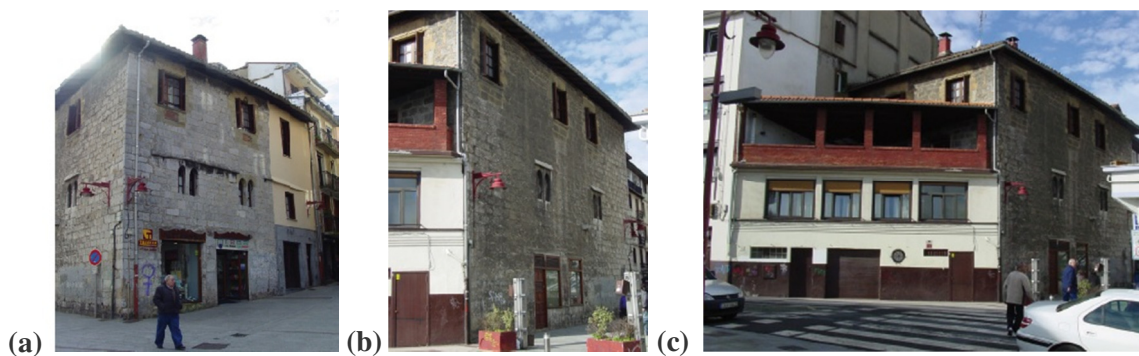
Ikerketa dokumentalean Gipuzkoako Foru Aldundiaren katastroko informazioa jaso da, eta hainbat iturritatik informazio historikoa kontsultatu da, besteak beste, Hernaniko Udal Artxiboa, eta bertatik lortutako 1829tik egindako obra-espeditenteak aztertu dira. Aurkitutako hiribilduaren lehen planoak azken guda karlistatik datozkigu (1872-76), eta agerian uzten dute bai Portalondoko fatxada, bai parroikia-elizakoa, kanoi karlisten suteetatik babestuak izan zirela, baina udaletxea ezin izan zuten babestu, eta eraitsi egin zuten, baita hiribilduaren dokumentazio historikoaren zati handi bat ere. Planoan ikus daitekeenez, dorretxeak alboko eraikinari atxiki arte handitu egin zuela eraikina, eta fatxada nagusia kaleko gainerako eraikinekin lerrokatuta geratu zen. Udalak 1911n zabaldu eta berrikusi zuen beste plano batek erakusten du Portalondok oin-plano berri hori mantentzen duela. Hirugarren plano batean, 1942an datatua, "Zabalguneko proiektua eta Hernanin eta Lasarten barnealdea berritzeko proiektua" izenekoan barne, ikus daiteke eraikina luzetara handitu dela, atzeko fatxada ondoko etxeen ilarara lerrokatuz.

Dokumentazio historikoaren analisiak aukera ematen du dorretxearen konposizio arkitektonikoan hiru estatu ezberdin ezartzeko, eraiki zenetik XX. mendera arte, eta eraikuntza-jarduketan hiru sekuentzia, egun horretatik aurrera.

3.3. Deskribapena

Dorretxeak Andrekaleko Erdi Aroko lotizazioa errematatzen du. Gaur egun, oin trapezoidala eta hiru altuera ditu. Fatxada nagusiak eta albokoak izkina osatzen dute, biak kareharritzko harlanduz eginak. 3(a). irudian ikus daitekeenez, fatxada nagusiak bi zati bereizi ditu: jatorrizko eraikuntzari dagokiona, kareharritzko harlandu grisez osatutakoa, eta hurrengoa, harea koloreko emokadura eta pinturaz estalitako harlanduaz. Atzealdeko fatxadak oinplano triangeluarra du, argi eta garbi bereizita hasierako eraikuntzatik, hiru solairurekin, Portalondoko altuera izatera iristen ez dena (3.c irudia).

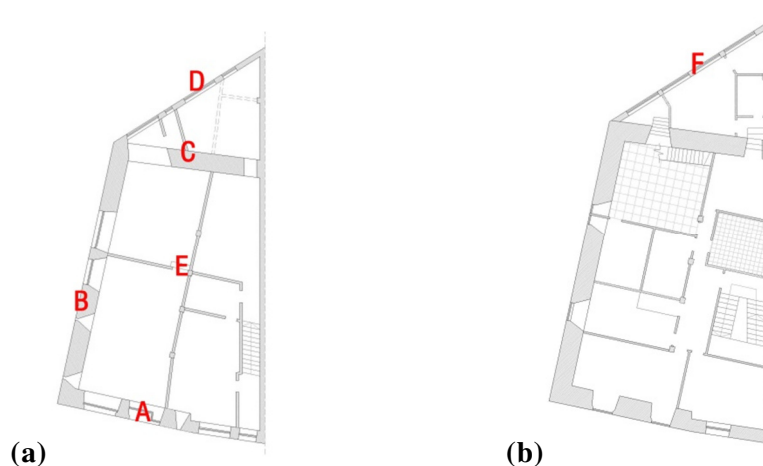
3. irudia. Portalondoko fatxadak: Nagusia (a), albokoa (b) eta atzekoa (c)



3.4. Emaizak

1. Eraikuntza. Ez dago dorretxea eraikitzeko datari buruzko idatzizko daturik. Testuinguru historikoagatik, hiribilduaren planoan kokaturik (harresiarekin bat eginda eta atarietako bat kontrolatuz) eta tipologia gotiko-errenazentista, badirudi, XIV. mendean, Hernaniko fundazioaren paraleloa dela. Portalondo dorre exentua izan zen, oinplano angeluzuzenekoa ($10\text{ m} \times 16\text{ m}$), 4 (a). irudiaren egitura-eskeman ikus daitekeenez. Konparazio-helburuekin, 4 (b) irudian egungo egiturazko eskema erakusten da, eta 1. taulan egitura horien eraikuntza-elementuen dimentsioak.

4. irudia. Portalondoko egitura elementuen dimentsioak: Beheko solairua (a) eta lehenengoa (b)



1. taula. Egitura elementuen dimentsioak

EGITURA ELEMENTUA	NEURRIAK
A Fatxada	e= 120 cm
B Fatxada	e= 120 cm
C Horma	e= 120 cm
D Horma	e= 55 cm
E Zutabea	30 cm x 30 cm
F Fatxada	e= 30 cm

Fatxada originalen hormak 120 cm-ko lodiera du. Lodiera horiek 30 cm-koak dira, Portalondo handitzeko eraikitako hormetan.

Nabarmentzeko beste puntu garrantzitsu bat sarrera-eskaileren egoera da. Euskal dorrean bi sarrera egotea ohikoa zen, bat beheko solairuarentzat, non estabulak eta upeltegiak egongo liratekeen, eta beste bat lehen solairurako (edo solairu noblea). Patin edo kanpoko eskailera baten bidez iritsiko litzateke. Portalondon ezin da egiaztatu patinaren existentzia, ziurrenik alboan egongo litzateke gerora eraikuntzan sartu zen hutsunearen zatian, eta, gaur egun, etxebizitzetara sartzeko atari bat osatzen duena, 4. irudian ikus daitekeen bezala.

2. Desmotxea, bigarren solairuan aldaketak. Fatxaden azterketak (3 eta 5 irudiak) adierazten du dorreak aldaketak izan zituela azken solairuan, bandoen borroketan inplikaturako beste dorre batzuekin gertatu zen bezala (Fernández de Larrea, 2000). Ekintza honek azken solairua kendu zuen, dorretxearen defentsarako elementu gehienak biltzen zituen. 5. irudian fatxada nagusiei eta albokoei dagozkien altxaerak ageri dira, eta 2. taula bi fatxadetan irekitako baoen kopurua eta dimentsioak adierazten ditu. Bigarren solairuko baoak desberdinak direla ikus daiteke, forma, tamaina eta material ezberdinak, lehenengo solairukoekin alboratuz. Dorrearen lehenengo solairuan, hauts-babes leunen azpian, mainela duten leiho ojibal bikiak daude (50 cm), arkitektura gotikoaren ezaugarri direnak, kareharritzko hormak irekiaz. Bigarren solairuan laukizuzen formako bao zabalagoak daude (120 cm), eta hareharritzko inguruak dituzte. Dorretxea berreraiki zenean hutsuneak ireki ziren eta/edo lehendik zeudenak zabaldu ziren, gerlari-ezaugarriak bazter utzi eta eraikinari argitasun eta aireztapen gehiago emanez.

5. irudia. Altxaerak: Nagusia (a) eta albokoa (b)



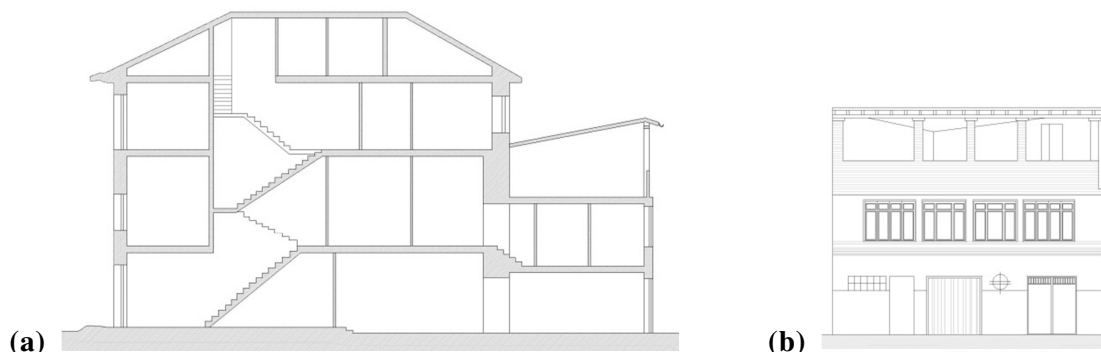
2. taula. Fatxada nagusiko eta alboko baoak

FATXADA	SOLAIRUA	NEURRIAK (zabalera x altuera) zm tan			
Fatxada nagusia: Andrekalet	Beheko oina	217 x 200	209 x 220	180 x 20	100 x 260
	Lehenengo oina	2 x (50 x 140)	2 x (50 x 140)		120 x 160
	Estalkipeko oina	120 x 180	120 x 180		100 x 240
Alboko fatxada: Atziet	Beheko oina	93 x 260	136 x 170		150 x 170
	Lehenengo oina	2 x (50 x 140)		2 x (50 x 140)	
	Estalkipeko oina	120 x 180	120 x 180		120 x 180

3. Alboko handitzea. Aztertutako dokumentazio grafikoaren arabera, zabaltze hori XIX. mendearen bukaeran edo XX.aren hasieran egin zela pentsa daiteke. Horretarako, Portalondoko alboko fatxada eraitsi egin zen, 120 cm-ko lodierako kareharritzko harlanduzkoa zena, eta 55 cm-ko lodiera zuen batengatik ordezkatu zen eta 30 x 30 cm-ko lau zutabe jarri ziren ere. Alboko kanpoko eskailera ezabatu zen eta eraikinaren sarrera modura ate bat eraiki zen fatxada berrian eta goiko solairuetara iritsi ahal izateko ataria eraiki zen.

4. Atzealdea handitzea. 1940 aldera egin zen, hiru solairuko eraikuntza bat gehituz, 85 m²-ko triangelu-formako oinplanoa duena, eta eraikinaren gainerako zatia baino altuera txikiagoa (3 c irudia). 6. irudian Portalondoko oraingo sekzioa eta atzealdeko altxaera ageri dira. Ikus daitekeenez, jatorrizko dorrearen atzeko fatxada ez zen eraitsi, non bi bao ireki ziren lehenengo solairuaren parean, bien arteko sarbidea ahalbidetzeko.

6. irudia. Ebaketa (a), atzeko altxaera (b)



5. Jasodura bat eraikitzea, etxebizitzetan eta lokaletan subdibiditzeak. 1950etik aurrera hainbat obra egin ziren eraikinean, eta garrantzitsuena etxearen altxatzea da, Urcola arkitektoaren "Portalondo etxea eraberritzeko eta igotzeko proiektua"ren arabera, etxea altxatzea. Lanak 1977an amaitu ziren. Eraberritze planoetan, hiru merkataritza-lokal daude, fatxada nagusietatik eta alboko fatxadetatik sarrera dutenak; eta laugarren lokal bat garajeetarako, atzeko fatxadan sarrera duena.

6. Eraberritze lanak. 1957tik hainbat lizentzia eskatu ziren beheko solairua merkataritza erabilerara egokitzeke. 1980 eta 2000 bitartean, estalkian mantentze lanak egin ziren eta etxebizitzetan barru-barruko errehabilitazioa egin zen, sukaldeetan eta komunetan erreformak barne. Obra horietan zehar, hutsune bat agertu zen, ordura arte ezkutuan egon zena fatxadaren hormaren barruan (7 a Irudia), eta harrizko piezarekin lotzen da, fatxadan (7 b. irudia). Antzina, Montaña dorrean (Muzquiz) (Martin eta Zubizarreta¹), antzeko elementu bat aurkitu da, arku beheratua duen leiho bat bezala deskribatua, eta harrizko harraska angeluzuzen bat du, alboan zulo bat duena, fatxadatik ura kanporatzeko. Itxura denez, Portalondo eta Montaña dorretxeetan aurkitutako elementu horiek berdinak dira. 1986an estalkia konpontzeko eta barne-egitura indartzeko lanak egin ziren (6 c. Irudia).

2002. urtean, fatxada zaharberritu egin zen: harrikatua harriraino, junturak eta harria garbitu, eta harea masarekin eta zementu hidrofugatuarekin junturak berregin. Udalak emandako lizentziaren arabera, atarira sartzeko eremuari beste tratamendu bat aplikatu behar zitzaion, jatorrizko eraikinagatik bereizteko. 3.a irudian erreforma horren emaitza ikus daiteke.

6. irudia.(a) Barruko hutsunea fatxada horman, (b) kanpoko isurketa harria, (c) egitura-errefortzua



¹ www.muzkiz.com/biblioteca/Documentos/Montano.pdf

4. Ondorioak

Eraikinak izandako aldaketa nagusienak gizarte aldaketekin lotuta daude, landa artisautzako gizarte batetik, egungo gizarte industrial eta komertzialaren bilakaerarekin. Besteak beste, hauek nabarmentzen dira:

- Dorretxea alboko eraikinekin lerrokatzea, hasierako eraikuntzaren aldameneko lursailak sartuz.
- Etxebizitzaren banaketa. Hasiera batean, eraikina etxebizitza bakar bat zen, eraberritzeen ondorioz, solairuak banatu ziren eta solairu bakoitza etxebizitza bati esleitu zitzaion.
- Solairu baten altxara eraikitzea.
- Egiturazko elementuak aldatzea: 120 cm-ko lodiera duen alboko fatxada eraistea, eta 55 cm-ko lodierako horma jartzea. Atzeko fatxadan bi bao irekiko dira, XX. mendeko lokalera sartzeko eskailerak jartzeko.
- Fatxadetako hutsuneak irekitzea: bigarren solairuan, etxebizitzari argi eta aireztapen gehiago emateko, eta beheko solairuan, merkataritza-lokalen sarbideak eta erakusleihoak sortzeko.
- Punturen batean egurrezko egitura indartu da altzairuzko piezekin.
- Gaur egun, eraikina kontserbazio egoera onean dago, hutsune puntual batekin.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Arkitektura-ondarea kontserbatzeko ezinbestekoa da administrazioaren jarrera aktiboa izatea bere defentsan, eraikuntzen ezagutza sakonean oinarrituta, duela gutxi arte ezezaguna zena. Beste garai batzuetako jarduerak atzeraezinak dira eta eraikina desitxuratu egin dute. Garrantzitsua da interes historikoko eraikinen eraikuntza-egoera aztertzea. Batzuek, berriz, hainbat narriadura dituzte, eta horien iraupena arriskuan dago. Ikerketa hau norabide horretan doa.

6. Erreferentziak

- Arizaga, B. (1990). *Urbanística medieval (Guipúzcoa)*. Ed. Kriselu, Donostia-San Sebastián.
- Azkarate, A.; García, I. (2004). *Las casas-torre bajomedievales. Análisis sistémico de un proceso de reestructuración espacial/territorial*. Arqueología de la Arquitectura, 3, 7-37.
- Azpiaz, R. M.; Alberbide, X. (2012). *Arquitectura Civil. Historia de un proceso Artístico y Cultural en Euskal Herria*. Etor-Ostoa, Lasarte-Oria.
- De Aginagalde, F. B. (1997). *Gipuzkoako dorretxeak eta leinuak*. Gipuzkoako Foru Aldundia. Kultura eta Euskera Departamentua, Donostia.
- De Guerra, J. C. (1928). *Ensayo de un padrón histórico de Guipuzcoa según el orden de sus familias pobladoras*, Joaquín Muñoz-Baroja de la primitiva Casa Baroja.
- Fernández de Larrea, J. A. (2000). *Los señores de la guerra en la Guipúzcoa bajomedieval*, en *Los señores de la guerra y de la tierra: Nuevos textos para el estudio de los Parientes Mayores guipuzcoanos (1265-1548)*, Diputación Foral de Guipúzcoa, San Sebastián-Donostia, 20-43.
- González, C. J. M. (2004). *Torres de las Encartaciones*. Dip. Foral de Bizkaia, Bilbao.
- Irizar, J. (1929). *Las casas vascas*. Biblioteca Vascongada Villar. Bilbao.
- Linazasoro, J. I. (1978). *Permanencias y arquitectura urbana. Las ciudades vascas de la época romana a la Ilustración*. Ed. Gustavo Gili, S. A. Bilbao.
- Llanos, A. (2006). *Una arquitectura defensiva. Castillos y Torres Fuerte del País Vasco*. Departamento de Cultura del Gobierno Vasco. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria-Gazteiz
- Murugarren, L. (1970). *Hernani: su Historia e Instituciones*, Caja de Ahorros Municipal de San Sebastián.
- Santolaria, O. (2017). *Evolución histórico-constructiva de los edificios residenciales del Casco Histórico de Hernani*. Tesis Doctoral. UPV/EHU Donostia-San Sebastián.

3-PRS robot baten parametro dinamikoen identifikazioa Egiantz Handieneko estimazio-metodoaren bidez

Bacaicoa, Julen, Iriarte, Xabier eta Aginaga, Jokin

Ingeniaritza Mekaniko Aplikatuaren eta Konputazionalaren ikerketa-taldea

(IMAC) Nafarroako Unibertsitate Publikoa

julen.bacaicoa@unavarra.es

Laburpena

Artikulu hau Sistema Dinamikoen Identifikazioaren arloan kokatzen da, hain zuzen ere ikerketa-ildo honetan: 3-PRS robot baten parametro dinamikoen estimazioa, *Karratu Txiki*en metodoa (*Least Squares method*, LS) eta *Egiantz Handieneko* metodoa (*Maximum Likelihood method*, ML) erabiliz. Artikulu honetan, lehenik, eredu zinematikoa eta eredu dinamikoak garatu dira; bigarrenik, ekuazio dinamikoak kalkulatu dira *Potentzia Birtualen Printzipio*aren bidez, eta eredu murriztua egin da; eta, azkenik, parametro dinamikoak erdietsi dira LS eta ML metodoen bidez. Behin parametro dinamikoak estimatu ondoren, horien ondoriozko neurketak sistema mekanikoari zenbateraino doitzen zaizkion begiratu da, eta ML estimazio-metodoa erabili behar ote den egiaztatu da, neurtu den zarataren magnitudea kontuan hartuta.

Hitz gakoak: Parametro dinamikoen identifikazioa, Karratu Txikien estimazio-metodoa, Egiantz Handieneko estimazio-metodoa, 3-PRS robota

Abstract

This paper is focused on the Identification of Dynamic Systems, especially on the estimation of the dynamic parameters of a 3-PRS Robot using the methods of the Least Squares (LS) and Maximum Likelihood (ML). In this paper cinematic and dynamic models have been developed, then by means of the Principle of the Virtual Powers the dynamic equations have been obtained with the reduced model and finally through the LS and ML methods the dynamic parameters were achieved. Once the dynamic parameters have been estimated, it has been checked whether the estimate fits the measurements and the use of the ML estimation method has been ensured depending on the magnitude of the noise measurement.

Keywords: Dynamic parameters identification, Least Squares estimation, Maximum Likelihood estimation, 3-PRS robot

1. Sarrera eta motibazioa

Parametro dinamikoen identifikazioaren helburua da sistema mekanikoen eredu matematikoen barnean dauden zenbait parametro estimatu edo balioestea. Prozesu hori egiteko, sistemaren erantzuna eta planteatutako eredu matematikoa konparatzen dira. Sistemaren sarrerak eta irteerak zuzenean lortzen dira neurri esperimentalen bidez.

Sistema mekaniko baten portaera deskribatzen duten magnitude fisiko konstanteak parametro zinematikoetan eta dinamikoetan bereizten dira, magnitudeen izaeraren arabera. Parametro zinematikoak luzera eta angelu konstanteak dira, eta sistemaren geometria deskribatzen dute. Kasu askotan, nahikoa informazio zehatz izaten dugu eskura parametroei buruz, gehienetan sistemen fabrikatzaileek berek ematen dutelako; halakoa da, hain zuzen, robot industrialen kasua. Parametro dinamikoak, bestalde, solidoen termino inertzialez osatuta daude –masak, grabitate-zentroen posizioak eta inertzia-tentsioak–, bai eta pare zinematikoen marruskadura definitzen duten marruskadura-parametroez ere. Parametro zinematikoen kasuan ez bezala, normalean ez da izaten informazio zehatzik parametro dinamikoari buruz; kasu batzuetan, zailegia izaten delako esperimentera neurtzea, eta, beste batzuetan, aldaketa adierazgarriak jasan ditzaketelako sistema mekanikoaren bizitzan zehar.

Identifikatu beharreko parametroak parametro inertzialei bakarrik badagozkie, lortutako eredu matematikoak linealak izaten dira parametro horiekiko. Hortaz, zenbakizko metodo sinpleak erabil daitezke parametroak kalkulatzeko, *Karratu Txiki*en estimazio-metodoa besteak beste. Ebazpen-metodo horrek kostu konputazional txikia du, eta konbergentzia, berriz, bermatua du; beraz, beti aurkituko du emaitza bat.

Artikulu honetan, sistema mekaniko baten parametro dinamikoak estimatzeko modu bat proposatzen da, *Egiantz Handien*eko estimazio-metodoa erabiltzen duena. Beraz, artikularen motibazioa zera da: egiaztatzea, parametro dinamikoak kalkulatzeko, Egiantz Handieneko metodoa aplikatzeko modukoa ote den beste estimazio-metodo ohikoagoen aldean, eta jakitea zein baldintzatan erabili behar den ML estimazio-metodoa eta zeinetan LS metodoa. Izan ere, sistema mekanikoaren posizio-neurketen zarata aintzat ez hartzekoa bada, parametroen estimazioa LS metodoaren bitartez egin daiteke; zarata aintzat hartzekoa bada, aldiz, beste estimazio-metodo batzuk erabili behar dira. ML metodoa, esate baterako, parametro dinamikoak kalkulatzeko ez ezik, esperimentuan zehar sistema mekanikoak egindako mugimendua estimatzeko baliatu da.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Parametro dinamikoak identifikatzeko lehenbiziko lanetan, roboten eredu dinamikoak parametro dinamikoekiko linealki adieraztea lortu zen. Kanade-k eta Khoslak (1985), adibidez, kate irekiko roboten ekuazioak parametroekiko linealki adieraztera iritsi ziren *Newton-Euler* formulazioa erabiliz. Aurrerago, Sheuk eta Walker-ek (1991) eta Grotjahn et al.-ek (2004) parametro dinamikoekiko eredu linealak idatzi zituzten *Lagrangeren biderkatzaileen* metodoa eta *Potentzia Birtualen Printzipioa* (*Principle of Virtual Power*, VPP) erabiliz.

Gatozen, orain, adibide zehatzetara. Sistema robotikoaren eredu dinamikoa eraikiz eta kalkulatu beharreko parametroetan marruskadura-eredu ez-linealak erabiltzea saihestuz, $\mathbf{K}(\mathbf{q}_i, \dot{\mathbf{q}}_i, \ddot{\mathbf{q}}_i)\boldsymbol{\phi} = \boldsymbol{\tau}_i$ ekuazio-sistema lortzen da, non i azpiindizeak i -garren momentuekin bat egiten duen. $\mathbf{K}$ matrizea eta $\boldsymbol{\tau}$ bektorea zenbait momentutan ebaluatu ondoren, ereduaren sistema osoa lortzen da.

$$\mathbf{W}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})\boldsymbol{\phi} = \boldsymbol{\chi} \quad (1)$$

non $\mathbf{W}$ behaketa-matrizea den, zeinak sistema robotikoaren ekuazio dinamikoek definitzen duten mugimenduaren informazioa baitu; bestetik, $(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$ mekanismoa mugatzeko erabili diren koordenatu orokortuez osatua dago (eta haien denborazko lehen bi deribatuez); eta $\boldsymbol{\chi}$ bektorea kanpoko indarrez eta momentuez. $\boldsymbol{\phi}$ bektoreak sistemaren parametro dinamikoak biltzen ditu, zeinak solido bakoitzaren parametro inertzialak eta kontuan hartutako marruskadura-ereduaren koefizienteak baitira.

Eredu dinamikoa, parametrizazio-baldintza jakin batzuen mende dagoenean, parametro dinamikoekiko lineala da. Solido baten parametro inertzialak elementu hauez osaturik daude: solidoaren masa (m), solidoen grabitate-zentroaren (GZ) posizioa finkatzeko lehen hiru inertzia-momentuak (m_x, m_y, m_z) eta solidoen inertzia-momentuak (I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}) eta inertzia-biderkadurak (I_{xy}, I_{xz}, I_{yz}). Azken bi horiek GZ ez den baina zinematikoki ezaguna den beste puntu batean egon behar dute definituta, horren posizioa ezezaguna baita hasiera batean.

1. ekuazioan planteatutako sistema lineala ebatz liteke parametro dinamikoaren estimazioa lortzeko. Hala ere, $\mathbf{W}$ matrizearen heina maximoa bada bakarrik egin daiteke hori. Izan ere, parametro inertzial batzuk normalean ez dira ekuazio dinamikoetan agertzen edo ekuazio dinamikoetan multzokatuta agertzen dira. Hortaz, haien konbinazio linealak soilik du eragina sistemaren dinamikan. Parametroen zenbakizko adierazpenak zehazteko, Gautier-ek (1991) *Balio Singularretako Deskonposizioa* (*Singular Value Decomposition*, SVD) eta *QR faktORIZAZIOA* oinarritutako bi metodo garatu zituen.

$\mathbf{W}$ matrizearen zutabeak haien artean linealki independenteak ez direnez, ezinezkoa da parametro dinamiko guztiak zehaztea; beraz, parametro dinamiko horien konbinazio linealak zehazten dira, *Oinarritako Parametro* deritzenak.

Behin eredu dinamikoaren eraikuntza-faseak burutu eta eredu hori oinarritzko parametroetara murriztu eta gero, hurrengo urratsa esperimentuak diseinatzea da. Diseinatze-fasean, esperimentuan eragingailuek zer ibilbide egin behar duten erabakitzen da. Azkenik, ibilbidea parametrizatu eta optimizatu egiten da, parametro dinamikoen behagarritasuna maximoa izan dadin.

Sistemaren parametro dinamikoak estimatzeko, metodo bat baino gehiago balia daitezke. Erabilienetako bat indarren estimazio-errorearen karratua minimizatzen duena da, hots, *Karratu Txikiaren* (LS) estimazio-metodo deritzona.

Bestalde, robot serieen parametro dinamikoak estimatzeko, *Egiantz Handieneko Printzipioa* (ML) erabili zuten lehen aldiz Swevers et al.-ek (1997). Metodo horrek robotaren parametro dinamikoaren balioak eta ibilbidea doitzen dituzten parametroen balioak aukeratzeko, egindako neurketen ausazko laginaren probabilitatea maximizatzeko. Geroago, Olsen et al.-ek (2002) eta Abdellatif et al.-ek (2005) *Egiantz Handieneko* estimazio-metodoa erabili zuten, KUKA IR 361 eta PKM PaLiDa roboten parametro dinamikoak kalkulatzeko, hurrenez hurren.

Beraz, lan honen helburu nagusia da *Karratu Txikiaren* estimazio-metodoaren bidez eta *Egiantz Handienekoaren* bidez lortutako emaitzak alderatzea; bigarrenik, egiaztatzea kalkulaturako parametroak egindako neurketei doitzen ote zaizkien, bai eta parametro dinamikoaren desbiderapena kalkulatzeko ere, iragarri ahal izateko zenbateko zehaztasunarekin estimatu diren; eta, azkenik, zehaztea zein baldintzatan hobesten den ML estimazio-metodoa erabiltzea eta zeinetan LS estimazio-metodoa baliatzea.

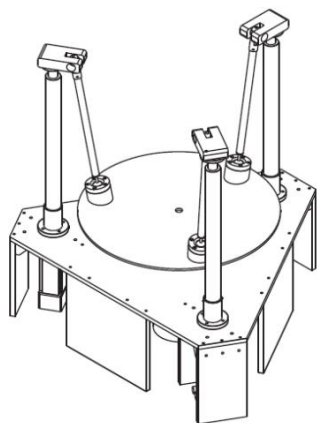
3. Ikerketaren muina

Atal honetan, ikerketan erabilitako estimazio-metodoak eta 3-PRS robotaren modelizazioa deskribatzen dira. Gehiago sakondu nahi bada, artikulua honen oinarri den gradu amaierako lanean eskuratu daiteke informazio gehiago (Bacaicoa, 2017).

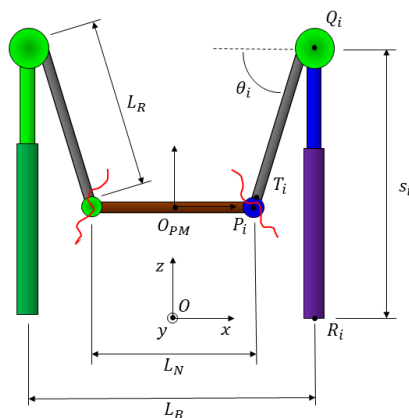
3.1. 3-PRS robota, akotazioa eta eredu zinematikoa

3-PRS robota 3 askatasun maila dituen manipulazile paraleloa da, eta oinarri-plataforma batez eta plataforma mugikor batez osatuta dago. Plataforma horiek hiru kate zinematikoz lotuak daude, eta kate bakoitzak pare prismatikoa bat (P), biraketa-pare bat (R) eta pare esferikoa bat (S) dauzka. Pater-ek eta George-k (2012) dioten moduan, oso ohikoa da halako robotak erabiltzea osagai elektronikoekin lan egitean edota makina-erremintako prozesuetan.

1. irudia. 3-PRS robotaren geometria



2. irudia. 3-PRS robotaren akotazioa



Akotazioa O erreferentzia inertzialetik hasten da, eragingailuen azpiko R_i puntuak kokatzen dira (i -garren kate zinematikoarentzat, non $i = 1, 2, 3$ den), oinarri-plataformaren L_B triangelu aldekidetaren aldearen luzera baliatuz. Puntu horietatik biraketa-pareen (Q_i) puntuetaraino, (s_1, s_2, s_3) koordenatu orokortuen bidez egiten da akotazioa. Modu berean, eragingailuen eta barren arteko biraketa erlatiboa $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ koordenatuen bidez adierazten da. Barren muturretan dauden T_i puntuak kokatzeko, L_R parametro geometrikoa erabili da. Azkenik, plataforma mugikorra erreferentzia inertzialetik akotatu da bere zentro geometrikoaren (O_{PM}) definizioarekin, (x, y, z) koordenatu kartesiarren eta (ψ_1, ψ_2, ψ_3)

Eulerren biraketa-angeluen bidez. Beste alde batetik, plataforma mugikorraren erpinak (P_i) triangelu aldeakidearen L_N aldearen luzeraren bidez kokatu dira. Beraz, *Koordenatu Orokortuen* bektorea hau da:

$$\mathbf{q} = (s_1, s_2, s_3, \theta_1, \theta_2, \theta_3, x, y, z, \psi_1, \psi_2, \psi_3)^T \quad (2)$$

Ekuazio zinematikoei dagokienez, kate zinematikoak irekita daudenez pare esferikoetan, lotura-ekuazio geometrikoen bidez ziurtatzen da itxita egongo direla. Horretarako, inposatu egiten da bi bideetatik berdina izango dela posizio-bektoreen batuketa erreferentzia inertzialetik (O) P_i puntuetaraino. Gainera, eta asmo berarekin, gauza bera ziurtatu da abiadura eta azelerazio mailetan ere, abiaduraren eta azelerazioaren ekuazio zinematikoak baliatuz, hurrenez hurren.

3.2. 3-PRS robotaren eredu dinamikoa

Eredu dinamikoak eraikitzeko, solido guztietan parte hartzen duten tortsore guztiak definitu behar dira, bai eta haien aplikazio-puntua eta puntu horiei loturiko abiadura birtuala ere. Gero, *Potentzia Birtualen Printzipioa* aplikatuz, 3-PRS robotaren lotura-ekuazioak eta ekuazio dinamikoak lortzen dira, eta, azkenik, murriztu egiten da eredu dinamikoa.

3-PRS robotaren parametro dinamikoak hauek dira: solidoen parametro inertzialak eta pare zinematikoetan kontsideratu diren marruskadura-ereduen koefizienteak. Solido bakoitzari 10 parametro inertzial dagozkio: horietako bat solidoaren masa da; beste hiru lehen inertzia-momentuari erreferentzia egiten dion grabitate-zentroa zehazteko dira; eta gainerako seiak solidoaren inertzia-tentsorearen osagaietatik datoz.

Solido bakoitzaren parametro inertzialak definitu dira; plataforma mugikorraren kasuan, O_{PM} puntutik egin dakien erreferentzia haien grabitate-zentroari eta inertzia-tentsoreari; eta i -garren barraren kasuan, berriz, Q_i puntuetatik egiten zaie erreferentzia. Bi kasuetan, solidoarekiko zurrana den erreferentzia-sistema batean ari gara. Eragingailuak lurzoruarekiko finko mantentzen direnez eta haien luzetarako norabidean bakarrik desplazatzen direnez, masa osoa eraman da alboko barretara. Hortaz, eragingailuen lehen inertzia-momentuak eta inertzia-tentsorearen osagaiak ez dira ekuazio dinamikoetan agertuko. Beraz, ez dira identifikatuko eragingailuei dagozkien parametro inertzialak. Azkenik, kontuan hartuta eragingailuek barrekiko zurrana den sistemaren X ardatzean bakarrik egin dezaketela bira, ereduaren ekuazio dinamikoetan ez dira agertuko ezta ere horien inertzia-momentuen (I_{yy}, I_{zz}) eta inertzia-biderkaduren osagaiak (I_{xy}, I_{xz}, I_{yz}).

3-PRS robotaren eredua murriztean, eta kontuan hartuta $\mathbf{W}$ behaketa-matrizearen zutabe batzuk beste batzuekiko dependentzia lineala daukatela, $\mathbf{W}$ matrizea honela deskonposa daiteke: $\mathbf{W}_{ind}$ behaketa-azpimatrizen independenteak eta $\mathbf{W}_{dep}$ matrize dependenteak, eta horiekin erlazionaturiko $\boldsymbol{\phi}_{ind}$ parametro dinamiko independenteak eta $\boldsymbol{\phi}_{dep}$ parametro dependenteak. Hala, estima daitezkeen $\boldsymbol{\phi}_B$ robotaren *Oinarritzko Parametroen* adierazpena lortzen da, 3. ekuazioak adierazten duen moduan.

$$\mathbf{W}\boldsymbol{\phi} = [\mathbf{W}_{ind} | \mathbf{W}_{dep}] \begin{pmatrix} \boldsymbol{\phi}_{ind} \\ \boldsymbol{\phi}_{dep} \end{pmatrix} = [\mathbf{W}_{ind} | \boldsymbol{\beta} \mathbf{W}_{ind}] \begin{pmatrix} \boldsymbol{\phi}_{ind} \\ \boldsymbol{\phi}_{dep} \end{pmatrix} = \mathbf{W}_{ind} [\mathbf{I} + \boldsymbol{\beta}] \boldsymbol{\phi} = \mathbf{W}_B \boldsymbol{\phi}_B = \boldsymbol{\tau} \quad (3)$$

non $\mathbf{W}_B$ sistema murriztuaren behaketa-matrizea den ($\mathbf{W}_B = \mathbf{W}_{ind}$ bada), $\mathbf{I}$ identitate matrizea, eta $\boldsymbol{\beta} = \mathbf{W}_{dep} \mathbf{W}_{ind}^{-1}$ behaketa-azpimatrizen erlazionatzen dituen matrizea.

3.3. Sistemaren eszitazioa: Ibilbide optimoak

Artikulu honetan erabilitako ibilbidearen parametrizazioa Swevers et al.-ek (1996) proposatu zuten, eta *Fourierren* serie mugatuen bitartez egiten da. Hala, i -garren koordenatu independentearen posizioa parametrizatua geratzen da, 4. ekuazioak adierazten duen moduan. Era berean, koordenatu independenteen abiadura eta azelerazioak ondoz ondoko denboraren deribatua ginez lortzen dira.

$$\mathbf{q}_i(t) = a_{i0} + \sum_{j=1}^{N_H} [a_{ij} \sin(j\omega t) + b_{ij} \cos(j\omega t)] \quad (4)$$

non N_H *Fourierren* serie mugatua definitzeko erabili den harmoniko kopurua den, eta w oinarritzko pultsazioa ($w = 2\pi/T_f$, T_f oinarritzko periodoa bada). Seriearen mendeko a_{i0}, a_{ij}, b_{ij} ibilbide-parametroak $\boldsymbol{\delta} = (a_{i0}, a_{1j}, b_{1j}, \dots, a_{1N_H}, b_{1N_H})$ *Ibilbidearen Parametroen* bektorean multzokatu dira.

3.4. Parametro dinamikoen estimazioa Karratu Txikiaren metodoaren bidez

Hasiera batean, eragingailuen ibilbidea linealki adierazten denez $\boldsymbol{\delta}$ -ekiko, $\mathbf{q}_{k,i} = \mathbf{F} \cdot \boldsymbol{\delta}$ ekuazio-sistema ebatziz kalkulatu dira horiek; non $\mathbf{F}$ matrizea *Fourierren* serie mugatuaren sinuez eta kosinuz osatuta baitago, eta azpiindizeek i -garren koordenatu independenteari eta k -garren neurriari egiten baitiote erreferentzia, hurrenez hurren.

Aurreko sistema lineala ebatzi ondoren, parametro dinamikoen lehen hurbilketa egiteko moduan dago *Karratu Txikiaren* estimazio-metodoaren bidez, $\boldsymbol{\tau}_m$ eragingailu bakoitzean neurtutako indarrak eta $\mathbf{W}_B$ sistema murriztuaren behaketa-matrizea baliatuz. Har dezagun kontuan eredu dinamikoa parametroekiko lineala dela; orduan, minimizazio-arazoa adierazpen hau ebatziz lortu daiteke:

$$\hat{\boldsymbol{\phi}}_{LS} = (\mathbf{W}_B^T \mathbf{W}_B)^{-1} \mathbf{W}_B^T \boldsymbol{\tau}_m \quad (5)$$

3-PRS robotaren ibilbide-parametroen ($\hat{\boldsymbol{\delta}}_0$) eta parametro dinamikoen ($\hat{\boldsymbol{\phi}}_{LS}$) lehen estimazioak lortu ondoren, $\boldsymbol{\vartheta}_0$ bektorean multzokatu dira, eta ML estimazio-metodo prozesu iteratiboaren hasierako bektorea izango da.

3.5. Parametro dinamikoen estimazioa Egiantz Handieneko metodoaren bidez

Egiantz Handieneko metodoan oinarritutako sistemen identifikazioak marko estatistikoan du funtsa. Horrenbestez, ohikoa da suposatzea $\mathbf{q}_m(k)$ neurtutako koordenatu independenteak eta $\boldsymbol{\tau}_m(k)$ eragingailuetan neurtutako pareak, $k = 1$ -etik N arte (non N robotean egindako neurketa kopurua baita), hondatuta daudela, zero batezbesteko ($\mu = 0$) zarata gausstar independenteen ondorioz. Zarata aldagaiak $\mathbf{n}_q(k)$ eta $\mathbf{n}_\tau(k)$ bidez izendatuko dira, hau da:

$$\mathbf{q}_m(k) = \mathbf{q}(k) + \mathbf{n}_q(k) \quad (6a)$$

$$\boldsymbol{\tau}_m(k) = \boldsymbol{\tau}(k) + \mathbf{n}_\tau(k) \quad (6b)$$

non $\mathbf{q}(k)$ eta $\boldsymbol{\tau}(k)$ benetako koordenatu independenteak eta indarren balio ezezagunak diren, hurrenez hurren.

$\boldsymbol{\phi}_{ML}$ parametro dinamikoak ML metodoaren bidez estimatzeko, $\boldsymbol{\phi}$ bektorea estimatu behar da, zeinak $\mathbf{q}_m(k)$ eta $\boldsymbol{\tau}_m(k)$ neurketen probabilitatea maximizatzen baitu. Demagun neurketen zarata independentea eta gausstarra dela; orduan, Π -z izendatutako funtzio koadratikoa minimizatu behar da.

$$\Pi(\mathbf{q}_m, \boldsymbol{\tau}_m | \boldsymbol{\phi}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_{qi}^2(k)}{\sigma_{qi}^2} + \frac{n_{\tau i}^2(k)}{\sigma_{\tau i}^2} \right) \quad (7)$$

non σ_{qi}^2 eta $\sigma_{\tau i}^2$, $q_i(k)$ artikulazioan eta $\tau_i(k)$ eragingailuaren parean neurtutako zaraten i -garren bariantzak baitira, hurrenez hurren. Horiek konstanteak eta ezagunak direla joko da.

Aurreko irizpidearen minimizazioa *Karratu Txikiaren* optimizazio ez-linealaren arazo bat da, 1. ekuazioa kontuan hartuz gero. Inplementazio praktikoa egiteko, $\mathbf{n}_q(k)$ eta $\mathbf{n}_\tau(k)$ kalkulatu behar dira $\boldsymbol{\phi}$ -ren estimazio bakoitzerako, baldin eta $\mathbf{q}_m(k)$ eta $\boldsymbol{\tau}_m(k)$ neurketak badira. Hori ezin da egin oraingo

formulazioarekin; izan ere, $\mathbf{q}(k)$ koordenatuak eta $\boldsymbol{\tau}(k)$ eragingailuen pareak ezin dira kalkulatu $\boldsymbol{\phi}$ soilik jakinik. Horregatik, $\boldsymbol{\phi}$ parametro dinamikoaren bektorea, hau da, probabilitate handieneko optimizazio arazoaren askatasun mailak islatzen dituen bektorea, ibilbidearen parametrizazio batekin zabaldu behar da, $\boldsymbol{\delta}$ ibilbidearen parametroen bektorea baliatuz.

Parametrizazio hori robotaren eszitazioa optimizatzearekin erlazionatua dago, eta aukera ematen du *Egiantz Handieneko* irizpidea honela birformulatzeko:

$$\Pi(\mathbf{q}_m, \boldsymbol{\tau}_m | \boldsymbol{\vartheta}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^n \left(\frac{(e_q(\boldsymbol{\delta}, k))^2}{\sigma_{qi}^2} + \frac{(e_\tau(\boldsymbol{\vartheta}, k))^2}{\sigma_{\tau i}^2} \right) \quad (8)$$

non:

$$e_q(\boldsymbol{\delta}, k) = q_{mi}(k) - q_i(\boldsymbol{\delta}, k) \quad (9a)$$

$$e_\tau(\boldsymbol{\vartheta}, k) = \tau_{mi}(k) - \tau_i(\boldsymbol{\vartheta}, k) \quad (9b)$$

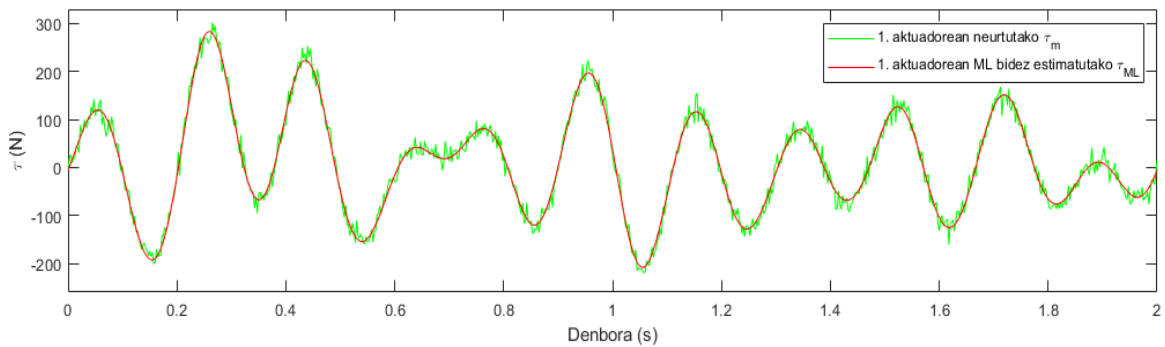
$$\boldsymbol{\vartheta} = [\boldsymbol{\phi}^T \boldsymbol{\delta}^T]^T \quad (9c)$$

Azkenik, Matlab softwarearen *fminunc* zenbakizko metodoa erabiliz, minimizatu egin da irizpide koadratikoa $\boldsymbol{\vartheta}$ -rekiko, $\mathbf{q}_m(k)$ neurtutako koordenatu eta $\boldsymbol{\tau}_m(k)$ eragingailu bikote-multzo baten arabera. Minimizazio-prozesu iteratiboan, $(\|\hat{\boldsymbol{\vartheta}}_{j-1} - \hat{\boldsymbol{\vartheta}}_j\|) < TOL = 10^{-7}$ konbergentzia-irizpidea erabili da, non azpiindizeak j -garren iterazioa definitzen duen baldin eta $j = 1, \dots, N_{iter}$ bada.

3.6. Emaizak

Lehenik eta behin, 3-PRS robotaren $\boldsymbol{\phi}_{ML}$ parametro dinamikoaren bektorea estimatu da *Egiantz Handieneko* metodoaren bidez (ML). Bigarrenik, eredu dinamikoa balioztatzeari ekin zaio, hau da, datu esperimentalez eraiki eta identifikatutako ereduak balidatzeari. Horretarako, aztergai den sistemaren irudikapena egiaztatu da; hots, identifikaziorako erabili ez den beste esperimendu baten datuak erabiliz, konparatu egin dira neurtu diren irteerak eta estimatu direnak. Hala egiaztatu da doitasun nahikoarekin irudikatzen ote duen ereduak sistema mekanikoa.

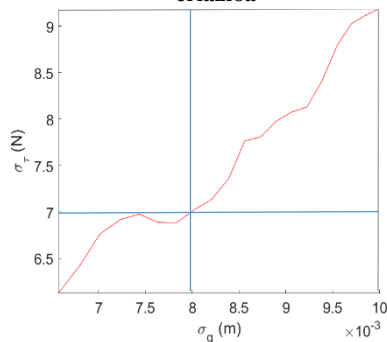
3. irudia. Neurtutako τ_m eta ML bidez estimatutako parametro dinamikoak eragindako τ_{ML}



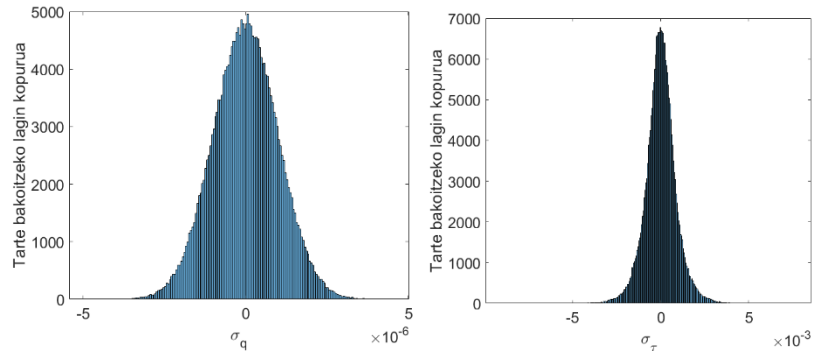
Bestalde, esperimendua egitean ibilbideak zenbaitetan errepikatzen direnez, aukera dago posizioen eta indarren neurketen errorea estimatzeko. Hortaz, posizio-neurketen desbiderapen tipikoa aski txikia bada, ez da aintzat hartu beharrik, eta, parametro dinamikoak estimatzeko, 5. ekuazioan planteatutako ekuazio-sistema ebatzi behar da. Hala ere, posizio-neurketen desbiderapenari buruz hitz egitean, txikia zer den zehaztu behar da; izan ere, magnitude desberdinak dituzte, eta desbiderapena ezin da zuzenean konparatu indar-neurketen errorearekin.

Azkenik, metodo analitikoak erabiliz, zaila da jakitea posizioen zaratak nolako eragina duen indarregan. Hortaz, esperimentu birtual bat egin da, *Monte Carlo* metodoa deritzona, Raychaudhuri-k (2007) deskribatzen duen moduan. Metodo horretan, zenbait simulazio birtual errepikatzen dira: ereduaren sarrerak (q) *pixka bat* aldatzen dira zarataren bitartez, eta ereduaren irteerak (τ) nola aldatzen diren aztertzen da. Behin simulazio askoren sarrera- eta irteera-balioak aztertu ondoren, horien desbiderapen tipikoak kalkulatu dira, eta, hala, zehaztu daiteke indarren desbiderapen tipikoak zenbateko mendekotasuna duen posizioen desbiderapen tipikoekiko. Esperimentu birtual horien bidez, batetik, posizioen eta indarren zaraten arteko erlazioa lortzen da, 4. irudian ageri den moduan, eta, bestetik, posizioen eta indarren zaraten banaketa estatistikoaren histogramak irudikatzen dira (5. irudian).

4. irudia. Posizioen eta indarren zaraten desbiderapenen arteko erlazioa



5. irudia. Zaraten banaketaren histogramak



(a) Posizioen zarata $\sigma_q = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ -rako

(b) Indarren zarata $\sigma_\tau = 7,5 \text{ N}$ -erako

4. Ondorioak

Ikerketa-lan honetatik ondorio asko atera daitezke, baina hauek dira nagusiak:

- Lehenik eta behin, *Karratu Txikiaren* estimazio-metodoak (LS) eta *Egiantz Handieneko* estimazio-metodoak (ML) antzeko emaitzak ematen dituzte baldintza esperimental beretan: neurtutako posizio-koordinatuen errorea ez da aintzat hartzekoa neurtutako kanpo-indarren errorearekin alderatuz gero. Lehenengo eragingailuaren kasuan, 3. iruditik ondorioztatzen da ϕ_{ML} parametro dinamikoaren bektorearen bidez estimatutako indarraren (τ_{ML}) eta neurtutako indarraren (τ_m) bektoreak baliokideak direla. Beraz, *Egiantz Handieneko* metodoaren bidez (ML) estimatu den eredu dinamikoa balioztatuko dugu.
- Bigarrenik, *Monte Carlo* metodoa erabiliz, zera frogatu da: baldin eta posizioen neurketen zarata gausstarra baldin bada, nola aldatzen den beste banaketa estatistiko bat duen indar baten zarata (5. irudia eta 5.b irudia); proposatutako eredu dinamikoa ez-lineala delako q koordenatu orokortuekiko.
- Hirugarrenik, egiaztatu da zein erlazio dagoen posizioen eta indarren zaraten desbiderapen tipikoen artean (4. irudia). Beraz, eragingailuen posizio-neurketen zaratek indar-neurketen zaratan zenbateko eragina izan duten estimatu da. 3-PRS robotaren benetako posizio-neurketen desbiderapen tipikoak emandako indar-neurketen desbiderapen tipikoa txikiagoa balitz benetako indar-neurketen desbiderapen tipikoa baino, baieztatu egingo litzateke eragingailuen errore-neurketak aintzat ez hartzekoak direlako hipotesia.
- Laugarrenik, *Egiantz Handieneko* estimazio-metodoa ez da metodorik egokiena 3-PRS robot baten parametro dinamikoak estimatzeko. Horrenbestez, ez da metodo hain sofistikatu erabili beharrik askatasun mailen erroreak zehaztasunez neurtzen direnean. 3-PRS robotaren parametro

dinamikoak estimatzeko, beraz, *Karratu Txiki*en estimazio-metodoa hobesten da, errazagoa baita.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

*Egiantz Handi*eneko estimazio-metodoa frogatu, eta parametro dinamikoaren bektorea estimatu ondoren, ikusi da zenbait hobekuntza egin daitezkeela etorkizunean. Hona hemen aurrerantzean egin daitezkeen zenbait lan:

- Datu esperimentalen ibilbidearen parametrizazioa, *Fourier*ren serie finituekin egin ordez, *spline* bidez egitea, ibilbidea hobeto doitzeko eta abiadura baxuko tokietan erroreak saihesteko. Zarata txertatzen duten zenbakizko metodoak erabili beharrean *spline*ak erabiliko balira, deribatze moduko adierazpen analitikoak emango lituzkete abiadura eta azelerazioak lortzeko.
- Askatasun mailen posizio-neurketetako zarata aintzat hartzekoa den manipulatzailerako paraleloetan, *Egiantz Handi*eneko estimazio-metodoa erabiltzea parametro dinamikoak balioztatze, eta manipulatzailerako horietan metodoa aplikagarria ote den egiaztatzea.

6. Erreferentziak

- Abdellatif, H., Heimann, B. eta Grotjahn, M.. (2004): *Identification of friction and rigid-body dynamics of parallel kinematic structures for model-based control*. Multibody System Dynamics vol. 11 no. 3. 273-294.
- , (2005): *Statistical Approach for Bias-free Identification of a Parallel Manipulator Affected by Large Measurement Noise*. 44th IEEE Conference on Decision and Control. 3357-3362.
- Bacaicoa, J. (2017), Gradu Amaierako Lana: *Identificación de parámetros dinámicos de un Robot 3-PRS por Máxima Verosimilitud*. Nafarroako Unibertsitate Publikoa.
- Chen, K., Beale, D.G. eta Wang D. (2002): *A new method to determine the base inertial parameters of planar mechanisms*. Mechanism and Machine Theory, vol. 37 no. 9. 971-984.
- Gautier, M. (1991): *Numerical calculation of the base inertial parameters of robots*. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 8 no. 4. 485-506.
- Kanade, T eta Khosla, P.K. (1985): *Parameter identification of robot dynamics*. 24th IEEE Conference on Decision and Control. 1754-1760.
- Raychaudhuri, S. (2007): *Introduction to Monte Carlo Simulation*. 40th Conference on Winter Simulation. 91-100.
- Mayeda, H., Yoshida, K. eta Osuka, K. (1990): *Base parameters of manipulator dynamics models*. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 6 no. 3. 312-321.
- Olsen, M., Swevers, J. eta Verdock, W. (2002): *Maximum Likelihood Identification of a Dynamic Robot Model: Implementation Issues*. International Journal of Robotics Research, vol. 21 no. 2. 89-96.
- Pater, Y.D. eta George, P.M. (2012): *Parallel Manipulators Applications*. Modern Mechanical Engineering, vol. 2. 57-64.
- Sheu, S. eta Walker, M.W. (1991): *Identifying the independent inertial parameter space of robot manipulators*. International Journal of Robotics Research, vol.10 no. 6. 668-683.
- Swevers, J., Ganseman, C., De Schutter, J. eta Van Brussel, H. (1996): *Experimental robot identification using optimised periodic trajectories*. Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 10 no. 5. 561-577.
- , (1997): *Optimal Robot Excitation and Identification*. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 13 no. 5. 730-740.

7. Eskerrak eta oharrak

Gure eskerrik onenak ikerketa-lan hau bultzatu eta lagundu duten IMAC ikerketa-taldeko kideei.

Artikulu honetan laburbiltzen da egilearen gradu amaierako lan honen parte bat: “*Identificación de parámetros dinámicos de un Robot 3-PRS por Máxima Verosimilitud*”.

Baloi pneumatiko baten zurruntasun estatiko bertikal zein horizontalean eragina duten parametroen azterketa

Mendia-Garcia, Irati¹; Gil-Negrete, Nere^{1,2}; Pradera-Mallabiabarrena, Ainara¹
eta Nieto, Francisco Javier^{1,2}

¹Nafarroako Unibertsitatea-Tecnun Ingenieritza eskola, Mekanika eta Materialen saila, Donostia ²CEIT-IK4 Technology Center, Division of Transport and Energy, Donostia
imendia@tecnun.es

Laburpena

Baloi pneumatiko komertzial baten zurruntasun estatiko bertikal zein horizontala aztertzea helburu duen ikerketa proiektua da. Batetik, Festo EB-145-60 baloi komertziala eskura izanik, Instron makina hidraulikoaren bitartez, entsegu estatiko eta 0-400Hz bitarteko entsegu dinamikoak egin dira. Bestetik, eta era paraleloan, Abaqus erreminta erabiliz, baloi beraren FEM (*Finite Element Model*) eredua egin da, datu esperimentalekin balidaturiko elementu finituetan oinarritutako modeloa hain zuzen ere. Azkenik, simulazio ezberdinak eginez, baloi pneumatikoa definitzen duten eraikitze parametroek (zuntzen inklinazio angeluak batez ere) zurruntasun estatikoan duten eragina aztertu da.

Hitz gakoak: Baloi pneumatikoa, zurruntasun estatiko bertikal eta horizontala, modelizazioa, eraikitze-parametroak

Abstract

Vertical and horizontal static stiffness of Festo EB-145-60 commercial air spring is analyzed in the present research project. On the one hand, experimental measurements of the static and dynamic stiffness of the air spring are done in an Instron hydraulic testing machine in a range of 0-400 Hz. On the other hand, in parallel, a FEM (Finite Element Model) model is developed in ABAQUS, which is validated by comparing with experimental measurements. Finally, different simulations are carried out which allow establishing the influence of construction parameters (more precisely the angle at which fibers are disposed) on the dynamic behavior of the air spring.

Keywords: Air spring, vertical and horizontal static stiffness, modelling, construction-parameters

1. Sarrera eta motibazioa

Ingeniariek, beren egunerokotasunean, gizakion ongizatea bermatu eta hobetzeko lanean dihardute. Horren adibide gisa, ikerketa lan hau trenen segurtasunean eragin zuzena duen elementu baten azterketan oinarritzen da: baloi pneumatikoa. Trenetan erabiltzen diren baloi pneumatikoak kotxea kanpoko bibrazioetatik isolatzeko erabili ohi dira, bigarren mailako esekiduran, pasa-ez pasa filtro baxu gisa lan eginez (Sañudo, 2014). Ezjakintasun handia dago baloiaren eraikitze parametroek baloiaren zurruntasunean eta bibrazioen dinamikan duten eraginaren inguruan (Evans et al., 2009). Ikerketa honen motibazioa hutsune horri erantzun bat ematen saiatzea litzateke.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Gaur egun, literaturan ugariak dira frekuentzia bajutan (20 Hz bitarte) baloi pneumatikoen jarrera azaltzeko erabiltzen diren modeloak. Badira batzuk baloi pneumatikoa oinarritzko eredu mekanikoetara hurbiltzen dutenak, masa, malguki eta motelgailuz osaturiko sistemetara; Simpact modeloa, Vampire modeloa, Berg modeloa esate baterako (Alonso et al., 2017; Presthus, 2002; Nieto et al., 2008). Beste batzuk berriz, termodinamikako legeen bitartez baloiaren sistemaren portaera fisikoa azaltzen dute (Mazzola et al., 2014). Hortaz gain, badira zenbait eredu ezaugarri/berezitasun ezberdinak aztertu eta interesgarri egiten dituztenak (Alonso et al., 2017; Chang, 2008). Orain arte izendatu diren modelo hauek guztiek baloiak berak, malguki laguntzaileak, tutuek, tangak, metagailuak, balbulak, konpresoreak, bogiak eta kotxeak duen eragina aztertzen dute, baina baloiaren beraren eraikitze parametroek edo geometriak duten eragina ez dute kontutan hartzen. Gainera, orokorrean modelo hauek guztiek zurruntasun bertikala besterik ez dute kontuan hartzen.

Hori dela eta, ezinbestekoa da elementu finituetako modelo eraginkor bat izatea, zurruntasun horizontala ere aztertzeko aukera eskaintzen duena eta sistemako oinarritzko elementuez gain baloiaren eraikitze parametroek duten eragina aztertu ahal izateko balio duena. Arlo honetan zenbait ikerketa aurkitu daitezke, baloiaren zuntzen eta estrukturan arteko erlazioa aztertu nahi dutenak eskala desberdineko hurbilketak erabiliz (ikusi, adibidez, Von Eitzen et al., 2013). Era berean, modelo hau frekuentzia eremua areagotzeko xedearekin eraiki beharko litzateke. Jakina da errail-gurpil kontaktua bibrazio eta zarata iturri nagusia dela, trenaren konpartimentura esekidura elementuen bitartez transmititu ohi dela eta sistemaren egitura bibrazio barrutia 0-400 Hz bitartekoa dela. Hau honela izanik, baloiak frekuentzia eremu berean maiztasun natural bat izango balu bibrazioak izugarri handituko lirateke. Orain arte, literaturan, ez da baloiaren eragin dinamikoa 400 Hz arte aztertu.

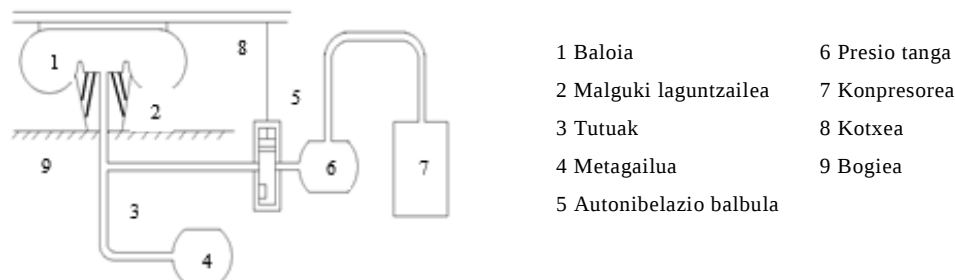
Ikerketa honen helburu nagusia baloi pneumatikoaren FEM eredua eraiki eta balioztatzea litzateke, bai bertikalki eta baita horizontalki ere zurruntasun estatiko zein dinamikoa aztertu ahal izateko eta bibrazio erak ezagutzeko asmotan.

3. Ikerketaren muina

3.1. Ikerketaren deskribapena

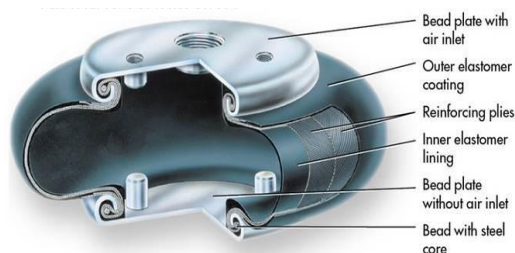
Aurrez aipatu bezala, baloi pneumatikoak kotxea kanpoko bibrazio eta zarata isolatzaile moduan erabili ohi dira. Baloi pneumatikoak, izenak dioen moduan, bere barnean presio jakin batean airea sartu edo ateraz, globo bat balira bezala, puztu edota hustu egiten dira, frekuentzia jakin bateko bibrazioak xurgatuz. Sistemak era eraginkor batean funtziona dezan atal ezberdinak bereiz daitezke, 1. Irudian ikus daitezkeen bezala (A. Orvnäs, 2010); autonibelazio balbulak kotxearen desplazamendu bertikala neurtuz, konpresorearen laguntzaz presio tangatik tutuen bitartez airea presio zehatz batekin baloira bideratzen du. Sistema pneumatikoak akatsen bat izango balu, malguki laguntzailea izango zen bogie eta kotxearen arteko distantzia kontrolatzeaz arduratuko zena. Ahal den heinean behintzat, ibilgailuaren frekuentzia natural bertikala hertzio batekoa izatea komeni da, gizakiok maiztasun horrekin ibiltzen baikara eta gure organoek oszilazio hori baitute. (Presthus, 2002).

1. irudia. Bigarren mailako esekidura pneumatikoaren eskema (Eraldatua, A. Orvnäs, 2010)



Baloiaren barne estruktura erreparatuz, 2. Irudian, bi atal nagusi nabarmendu daitezke; batetik, baloia bera elastomeroz egina dagoen globo bat dela zein Nyloneko zuntz bidez irmotuta dagoen, eta bestetik; kanpoaldean altzairuzko bi plaka, gorputza kaxa eta bogiera estekatzen dutenak. 3. Irudia berriz, barne egituraren zuntzak nolakoak diren erakusten dituen argazki bat da.

2. irudia. Baloiaren material geruzak (Festo katalogoa, 2018)



3. irudia. Baloiaren barne egitura



Merkatuan badira baloi pneumatikoez gain erabiliak diren beste zenbat esekidura elementu; malguki helikoidalak, tortsio barrak, baleztak eta kautxu-metal malgukiak kasurako (Bruni et al., 2011). Tren-industrian eragingailu pneumatikoak erabiltzearen arrazoi nagusia indar-deformazio erlazioa jasandako kargaren menpe ez dagoela da eta ondorioz, karga maila ezberdinentzako esekidura altuera konstante mantendu daitekeela. Nahiz eta puntadun elementuek materiala zulatu dezaketen edota lan tenperatura maximoa beste esekidura mota batzuen baxuagoa izan, konponbide egokitzat hartzen da. Gainera, baloia inklinazio maila ezberdinetan jar daiteke, honek baloiaren zurruntasun bertikal nahiz alboko zurruntasunaren ezagutza sendoa izatea eskatzen du (Evans et al., 2009 eta Bruni et al., 2013). Behar honi aurre egin nahian, ikerketa lan hau baloi pneumatiko baten zurruntasun bertikal estatiko zein dinamikoan eragina duten parametroen azterketan oinarritzen da.

3.2. Esperimentazioa

Trenetan erabili ohi diren baloien dimentsio handiak direla eta, eskala txikiagokoa den Festo EB-145-60 baloi komertziala erabili da laborategiko entseguak egiteko. Baloiak 90 mm-ko altuera nominala du eta 145 mm-ko diametroa. Instron markako MHF251 eragingailu hidrauliko komertziala erabili da entseguak egiteko, LVDT (*Linear variable differential transformer*) motako ± 25 mm ibiltartea duen indukzio posizio sentsorea eta ± 20 kN indar neurgailuarekin. 4.irudia, baloia entsegu makinan muntatuta eta giroko presio atmosferikoan egonda ateratako argazkia da. Muntaketa era dela eta, entsegu guztiak norabide bakarrean egin dira, norabide bertikalean hain zuzen ere. Entsegu guztiak goiko plaka era kontrolatuan mugituz burutu dira.

4. irudia. Entseguetako baloi pneumatikoa Instron MHF25 makinan muntatuta



Lehen aipatu bezala, baloi pneumatikoen ezaugarri nagusia indar-deformazio erlazioa jasandako kargaren menpe ez dagoela da. Ezaugarri hau horrela dela ikusteko eta fabrikatzaileak ematen dituen kurbak errealitatearekin bat datozela baieztatzeko, entsegu estatiko bat egin da, baloia hiru presio maila jakinetarako puztuaz (2, 4 eta 6 bar). Bertatik lortutako emaitzak ondorengoak dira:

1. taula. Konparaketa estatikoa

Presioa [bar]	Katalogoko Indarra [kN]	Neurtutako Indarra [kN]	Akatsa [%]
2	1000	1045	4,5
4	2100	2177	3,6
6	3150	3146	0,2

Entsegu estatikoekin jarraituz, zurruntasun estatiko bertikala ezagutzeko asmoz, behin baloia presio nominalean puzturik egonda, baloiaren goiko plaka 5 mm-ko joan-etorriak egitera behartu da. Zurruntasun estatikoaren balioa ($K_{\text{estatikoa}}$) neurturiko indarra (F) eta inposatutako desplazamendua (x) zatituz lortzen da (ikus 2.taula):

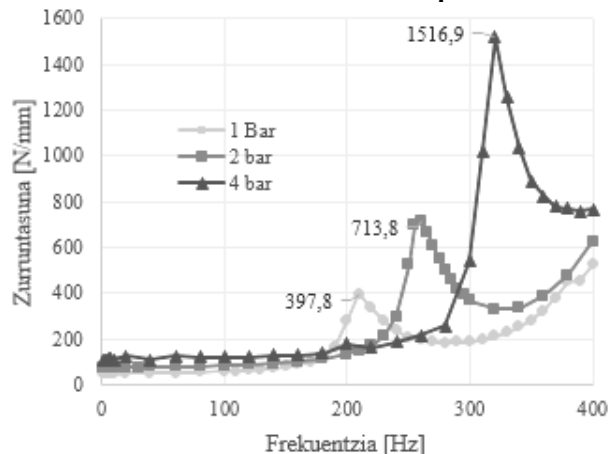
$$K_{\text{estatikoa}} = F / x \quad (1)$$

2. Taula. Konparaketa dinamikoa

Presioa [bar]	Zurruntasun estatiko bertikala [N/mm]	Lehen Maiztasun naturala [Hz]
1	-	210
2	51,3	260
4	88,7	320
6	127,3	aztertutako mugaz kanpo

Azkenik, baloiaren portaera dinamikoa aztertzeko, gorputza anplitude eta presio ezberdineko 0-400 Hz bitarteko seinale sinusoidalekin kitzikatu da, baloiaren lehen maiztasun naturalari buruz bi ondorio nagusi ateraz (ikus 2. taula): batetik, baloiak 0-400 Hz maiztasun eremuan modu estrukturalak dituela, eta bestetik, presioak duen garrantzia handia dela, presio maila altuagoek frekuentzia naturala eta erantzunaren anplitudea ere areagotu egiten dutelarik (ikus 5. irudia).

5. Irudia. Zurruntasun dinamiko esperimentalak

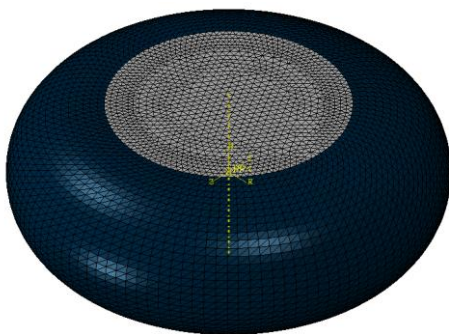


3.3. Modelizazioa (FEM)

Modelizazioaren helburua errealitatearekiko baliokide den alegiazko eredu bat sortzea da. Aztertzeke dagoen kasuan, ABAQUS erremintaren bitartez (ABAQUS, 2018), elementu finituetan oinarrituta baloi pneumatiko baten modelo bat egin nahi da, baloiaren benetako ezaugarriak deskribatzeko gai dena (datu esperimentalekin balioztatuko dena) eta aldi berean, eraikitze parametroei balore ezberdinak emanda haren efektua ikusteko balioko duena.

Baloiaren kanpo dimentsioak fabrikatzailearen data orritik hartu dira eta barneko zuntzen ezaugarriak lortzeko baloi bera moztu eta aztertu da. Gutxi gorabehera, Nylonezko zuntzez osaturiko bi geruza bereiz daitezke, 60° eta -60° inklinazioarekin hurrenez hurren. Hortaz gain, zuntzen diametroa 0,5 mm ingurukoa dela ikusi da eta elkarren arteko distantzia 1 mm. Datu hauekin guztiekin eta baloiaren materialak; altzairua ($E=2 \cdot 10^{11}$ Pa, $\nu=0,3$, $\delta=7850$ kg/m³), kautxua ($E=2 \cdot 10^7$ Pa, $\nu=0,495$, $\delta=1000$ kg/m³) eta Nylona ($E=1,13 \cdot 10^{10}$ Pa, $\nu=0,33$, $\delta=7850$ kg/m³) direla kontuan harturik *shell* erako modeloa egin da, zuntzak *rebar* funtzioaren bidez sartuta. Modeloak denera 13202 S4 motako elementu dauzka. 6. irudiak, baloiaren FEM modeloa erakusten du, gris kolorez esekidura plakak eta urdinez baloiaren gorputz nagusia.

6. irudia. Baloiaren FEM modeloa



Baloiaren portaera nolakoa den ezagutzeko asmoz, hiru simulazio gauzatu dira:

- Puzte-analisisa: Altzairuzko bi xaflak estekatuz baloia airez betetzean datza, lan presio baldintzetan baloiaren deformazioa nolakoa den jakiteko.
- Desplazamendu-analisisa: Behin baloia lan presioarekin puztuta dagoela, beheko xafla estekatuta mantenduz, goiko xafla mm gutxi batzuk (x) bertikalki gora-behera (edo

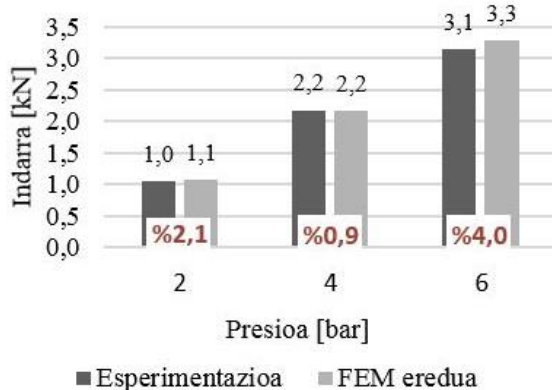
horizontalki ezker-eskuin) mugitzean datza, konprimatu eta traxionatuz, indarra (F) neurtuz zurruntasun estatikoa ($K_{\text{estatikoa}}$) kalkulatzeko: F / χ .

- Analisi-modala: Baloia lan presio eta posizioan egonda, maiztasun naturalak kitzikatzuz, frekuentzia naturalak eta moduen forma nolakoak diren jakiteko.

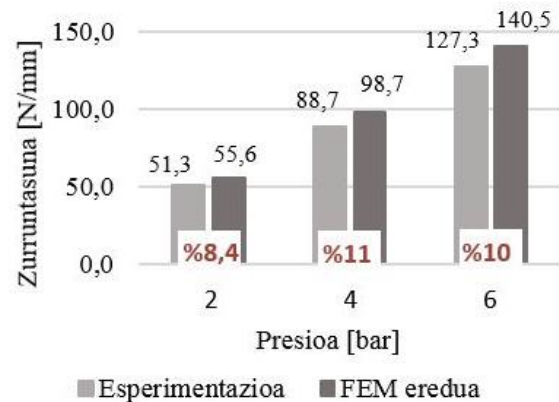
3.4. Balidazio prozesua

FEM modeloa egokitzen hartzeko, entsegu esperimentaletan lortutako balioak eta ABAQUSeko ereduak kalkulaturako emaitzak bat datozela aztertu behar da. 7 eta 8 irudiek, presio hornitze balio ezberdinetarako (2, 4, 6 bar), baloiaren beheko xaflan neurtutako indarra eta zurruntasun estatikoaren eboluzioa islatzen dute. Bi kasuetan, presioa handituz doan heinean, bai indarra eta baita zurruntasuna ere handitu egiten dira. FEM ereduaren simulazioen bidez lortutako emaitzek %5 baino akats txikiagoarekin iragartzen dute indarra eta %10 inguruko akatsarekin zurruntasun estatiko bertikala.

7. irudia. Puzte analisiko indarra entseguak vs ereduak



8. irudia. Zurruntasun bertikala entseguak vs ereduak



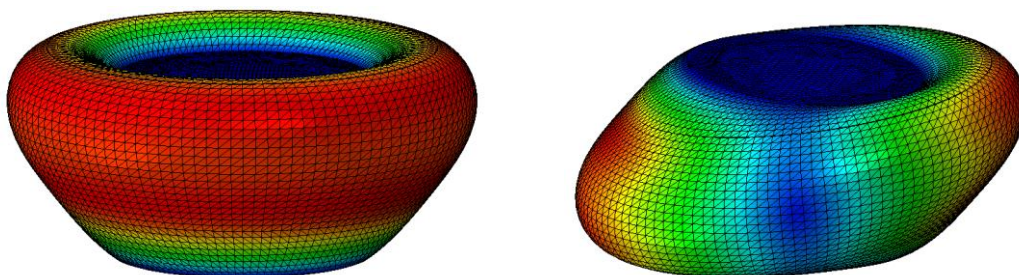
Maiztasun naturalei erreparatu, aztergai den frekuentzia eremuan (400 Hz bitarte), esperimentalki erresonantzia frekuentzia modu bakarra topatu da, lehen modu bertikala hain zuzen ere. Presioa handitzen bada, maiztasun naturala ere handitu egiten da eta aztertu diren kasu guztietarako, FEM eredu eta esperimentazio-bankuan neurturiko datuek %10 baino akats txikiagoa dute:

3. taula. Maiztasun naturalak

Presioa [bar]	Maiztasun natural esperimentala [Hz]	Maiztasun natural FEM [Hz]	Akatsa [%]
2	260	225,67	9,7
4	320	306,81	4,1

Jarraian, ABAQUSen garatutako ereduaren bitartez, lehengo bi moduak nolakoak diren azal daitezke; 9. Irudian, ezkerrean lehen modua (bertikala) eta eskuinean bigarren modua (horizontala).

9. irudia. Baloia lehenengo bi modu naturalak, FEM



3.5. Sentikortasun analisia

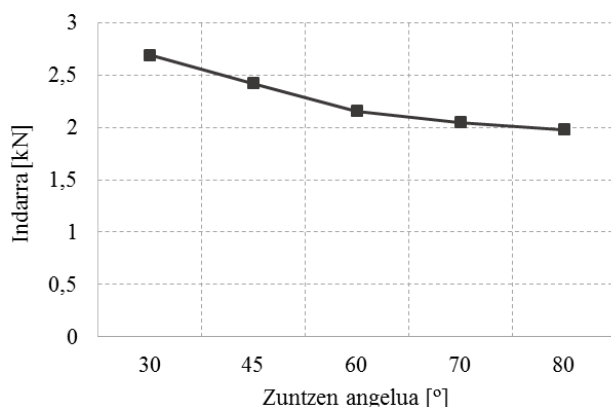
Sentikortasun analisi gisa zuntzen orientazio edo angeluak duen eragina aztertu nahi izan da, baloiaren portaeran influentzia handia izan dezakeelakoan. Zuntzen orientazio angelua 0° denean, zuntzak diametralki kokaturik daude, angelua 90° koa denean berriz, bertikal edo meridianoki.

10. Irudian, 4 bareko puzte presiorako zuntzen angelua aldatzean baloian agertzen den indarra erakusten da. Angelu handietarako baloiaren azalera efektiboa (A_e) txikiagoa da, izan ere, zuntzek ez dute baloiaren diametroa handitzen uzten, trakzioan lan egiten dute, eta ondorioz indarra txikiagoa izango da:

$$F = P \cdot A_e \quad (2)$$

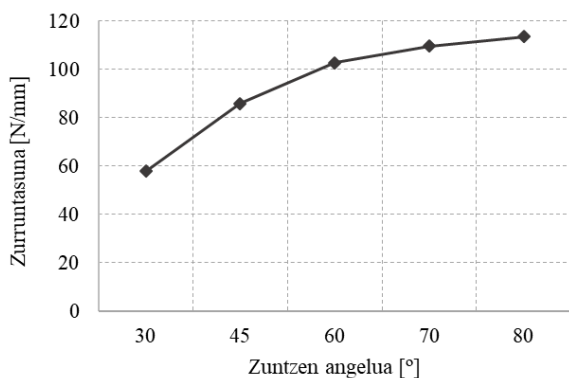
non F indarra den eta P -k presioa adierazten duen.

10. irudia. 4bar presiorako puzte indarra

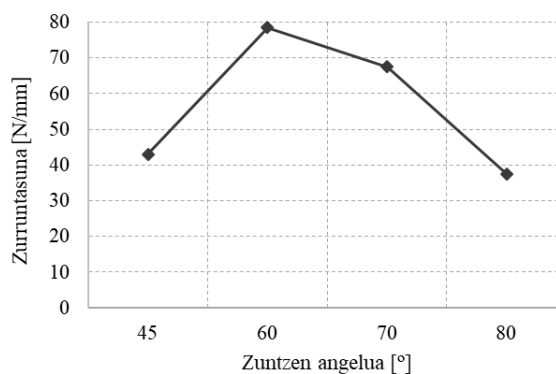


Lehen aipatu bezala, baloiaren zurruntasun estatiko bertikal zein horizontalean zuntzen orientazioak duen eragina ikertu nahi da. Horretarako azterketa bi zatitan banatu da, jarrera bertikalaren analisia eta horizontalaren analisia. Eta aldi berean, kasu bakoitzerako aztergai den norantzako zurruntasun estatikoa eta moduarekin bat datorren frekuentzia miatu dira. Adibide gisa, 11. irudiko grafikak presio nominala 4 bar kasurako eginak dira baina gainerako presioetan joera berdina da.

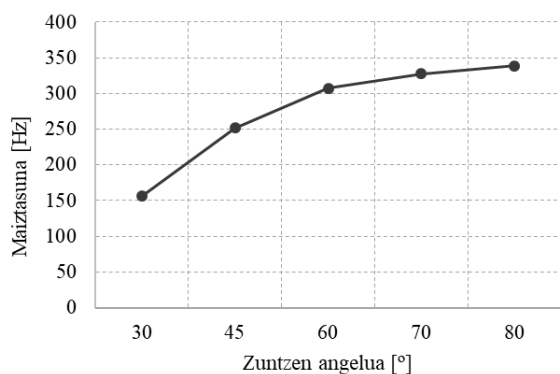
11. irudia. Zuntzen orientazio angeluaren influentzia zurruntasun eta maiztasunean: (a) zurruntasun estatiko bertikala, (b) zurruntasun estatiko horizontala, (c) lehen maiztasun naturala, (d) bigarren maiztasun naturala



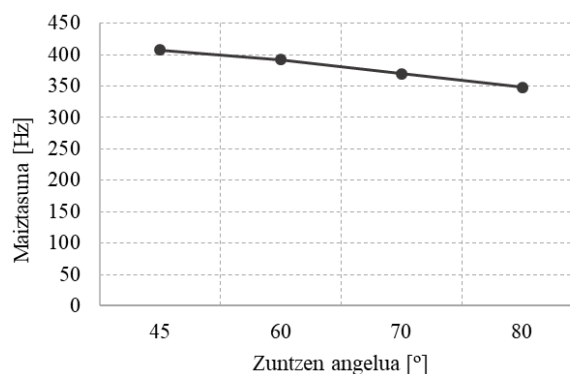
(a) Zurruntasun estatiko bertikala



(b) Zurruntasun estatiko horizontala



(c) Lehen maiztasun naturala



(d) Bigarren maiztasun naturala

Angelua handiagoa den heinean, zuntzen posizioa bertikalagoa da, hori dela eta, zurruntasun estatiko bertikala areagotu egiten da (11a) eta lehen maiztasun naturala ere handitu egiten da (11c). Portaera horizontala errepikatuz berriz, zurruntasuna 60° arte handituz doa, hor maximoa izanik eta zuntzak bertikalago jartzen diren neurrian zurruntasuna gutxitu egiten da (11b). Maiztasunari dagokionez, angelua handiagotarako bigarren maiztasunaren balioak behera egiteko joera du (11d).

4. Ondorioak

Artikulu honetan, trenetan erabili ohi diren baloi pneumatiko eskalatu baten datu esperimentalekin eta ABAQUS erremintarekin eginiko FEM eredu balioztatua erabiliz, baloiaren errefortzu zuntzek zurruntasun estatiko bertikal eta horizontalean duten eragina aztertu da. Entseguetako baloiak (Festo EB-145-60) 0,5 mm diametroa duten, horizontalarekin 60° osatzen duten eta elkarren artean 1 mm-ko tartea duten nerbioz osaturik dago.

Ondorio nagusia, eskala txikiko baloi pneumatikoak gutxienez, 0-400 Hz maiztasun eremuan modu estrukturalak dituela da. Eskala handian berdina gertatuko balitz, trenaren lan maiztasun eremuan bibrazioak izugarri handituko lirarteke.

Bestetik, baloiko barne indarrak zein zurruntasun estatikoa ere, lan presioaren menpeko direla egiaztatuta da eta ereduak %5 eta %10 akatsarekin aurreikusteko gai da.

Bukatzeke, sentikortasun analisian ondorio nagusia zuntzen orientazio angeluak duen garrantzia da. Puzte presio jakin bateko indarrari dagokionez, angelu handiagoek indarra gutxitu egiten dute. Era berean, angelu handiagoek, zurruntasuna handitzen dute bertikalean; aitzitik, horizontalean 60°tan joera aldatuta bat nabari da. Hortaz gain, angelua handitzen den heinean lehen maiztasun naturala (bertikala) handitu egiten da, bigarren maiztasun naturalean berriz (horizontala) efektu hau alderantzizkoa da.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Ikerketa lanaren amaierako helburu nagusia, trenen esekiduran erabiltzen diren baloi tamaina berberaren modeloa garatu eta balioztatzea litzateke. Honela, eredu fidagarri bat izanda, tren garraio industrian bigarren mailako esekiduran egiten diren prototipo kopurua murriztu egingo lirarteke, honek dakartzan denbora eta gastu murrizketekin.

Horretarako, baloiaren portaera estatikoa aztertzeaz gain, efektu dinamikoen eragina kontuan hartzen duen FEM eredu bat sortu eta balidatzea erronka polita izan daiteke, ikasketa bai bertikal eta baita horizontala ere egitea. Ildo beretik, zurruntasun horizontalean angelu txikiak duen eragina sakonago aztertu beharko litzateke. Bestalde, baloia ez ezik, bigarren mailako esekidura osatzen duten elementu guztien influentzia eta barneko airea kontuan hartzen duen eredu zabalagoa egitea proposatzen da.

Hortaz gain, ikerketa artikulu honetan aipatzen den FEM eredutik abiatuta eta ildo beretik jarraituz, baloi pneumatikoaren eraikitze parametroen sentikortasun analisi zabalagoa egitea ideia ona izan daiteke; hau da, materialek, tamainak, zuntzen azalerak eta beren arteko tartearak... sisteman duten eragina aztertzea. Horretarako, baloi beraren datu geometriko gehiago eta zehatzagoak lortzea posible balitz, eredia doitu ahalko litzateke.

6. Erreferentziak

- A. Alonso, J.G. Giménez, J. Nieto eta J. Vinolas, (2010): *Air suspension characterisation and effectiveness of a variable area orifice*, *Vehicle System Dynamics*, vol. 48 (Supplement), pp. 271-286
- ABAQUS (2018): Simulia User Assistance 2018
- S. Bruni, J. Vinolas, M. Berg, O. Polach, S. Stichel, "Modelling of suspension components in a rail vehicle dynamic context", *Vehicle System Dynamics* 49(7) (2011) 1021-1072
- F. Chang, Z.-H. Lu, (2008): *Dynamic model of an air spring and integration into a vehicle dynamics model*, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, part D: *Journal of Automobile Engineering*, vol. 222, pp. 1813-1825
- J. Evans, M. Berg, (2009): *Challenges in simulation of rail vehicle dynamics*, *Vehicle System Dynamics* 47(8) 1023-1048
- FESTO, (2018): Cilindros de fuelle. Characteristics of commercial air-springs provided by manufacturer
- N. Gil-Negrete, F.J. Nieto, A. Pradera-Mallabiarrena eta J. Gonzalez-Prada, (2018): *On the dynamic stiffness of air springs at medium-high frequencies*, *Proceedings of ISMA 2018 Conference*, 17-19 September, Leuven (Belgium), pp. 3567- 3580
- L. Mazzola eta M. Berg, (2014): *Secondary suspension of railway vehicles-air spring modelling: Performance and critical issues*, *Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 228, No. 3, pp. 225-241
- A.J. Nieto, A.L. Morales, A. González, J.M. Chicharro, P. Pintado, (2008): *An analytical model of pneumatic suspensions based on an experimental characterization*, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 313, pp. 290-307
- A. Orvnäs, (2010): *Methods for Reducing Vertical Carbody Vibrations of a Rail Vehicle: A Literature Survey*, KTH Engineering Sciences
- M. Presthus, (2002): *Derivation of air spring model parameters for train simulation*, MSc Thesis, Lulea University of Technology
- A. Sañudo, (2014): *Development of a new methodology for the analysis of structure-borne vibration in railway vehicles*, Ph.D. Thesis, University of Navarra
- A. Von Eitzen, U. Weltin, T. Brüger, T. Steinweger, M. Flamm, (2013): *Modelling of cord-rubber composites of bellow air-springs*, *Constitutive Models for Rubber VIII*, Gil-Negrete & Alonso (eds), Taylor & Francis Group, pp. 631-636

7. Eskerrak eta oharrak

Egileek Eusko Jaurlatzirari eskerrak eman nahi dizkiote UNIMODEL proiektuari emandako diru laguntzarengatik. Egindako ikerketa lana proiektu beraren *Investigación en la metodología de modelo de coste universal aplicada a vehículos ferroviarios*, *módulo de Ruido y Vibraciones*, T2.1 Transmisión de vibraciones – modelo de balones neumáticos atalaren barnean kokatzen da.

Biziraupen Estimazio Modeloa Garraio Astuneko Aplikazioetan Erabiltzen Diren Superkondentsadoreentzako

Olmos, Josu^{1,3}; Gandiaga, Iñigo¹; Crego, Jon¹; Agirre, Xabier²; Nieva, Txomin² eta Aizpuru, Iosu³

¹Ikerlan Technology Research Centre

²CAF Power and Automation, Parque Tecnol'ogico de San Sebasti'an,

³Mondragon Unibertsitatea, Elektronika Departamendua

jolmos@ikerlan.es

Laburpena

Kutsadurak sortutako arazoen eraginez, azken hamarkadan efizientzia handiagoko garraio aukeren beharra areagotu da. Testuinguru honetan, metatze elektrikoko sistemekin bultzatutako garraioek aukera oso aproposa aurkezten dute. Efizientzia handiko eta metatze sistemen bidez bultzatzen diren garraioen adibide argi bat tranbiak dira. Hala ere, eskuragarri dauden metatze teknologiek merkatu mailan berme altuagoa eskaini ahal izateko, pairatzen duten zahartzea aurreikustea garrantzitsua da. Hain zuzen ere, lan honek mota honetako aplikazioetan erabiltzen diren superkondentsadoreen biziraupena estimatzeko modelo bat aurkezten du. Modeloa baldintza errealistetan burututako froga esperimentaletan oinarriturik garatu eta balidatu da. Azkenik, ikerketa kasu bat aztertu da benetako tranbia baten operazio profila erabiliz.

Hitz gakoak: Superkondentsadorea, biziraupen estimazio modeloa, garraio astuneko aplikazioak.

Abstract

Due to the high pollution levels, in the last few years the need of improving the efficiency of the transportation sector has increased. In this context, transport applications powered by electric storage systems emerge as a very convenient solution. Tramways are a clear example of high efficient transport applications powered by energy storage systems. Nevertheless, in order to achieve a higher reliability in the market, it is important to properly foresee the ageing effect that the existing storage systems suffer. This paper presents an ageing model to estimate the lifetime of supercapacitors, which are widely used in the mentioned transport applications. The model is developed and validated based on experimental tests developed in real application conditions. Finally, a study case is analyzed applying the operation profile of a real tramway to the proposed model.

Keywords: Supercapacitor, ageing model, high-duty applications.

1. Sarrera eta motibazioa

Azken urteetan, mundu mailan aurre egin beharreko erronka garrantzitsu bat hiri eta hiriarteko garraioak sortutako kutsaduraren murrizketa da. Helburu hau epe laburrean lortu ahal izateko, jada existitzen diren mugikortasun aukerak mantendu egin behar dira. Egoera honek efizientzia handiagoko garraio aukeren beharra areagotu du. Testuinguru honetan, tranbiak aukera oso aproposa aurkezten dute, batez ere eragiten duten bidaiariko kontsumo baxua dela eta (Ceraolo eta Lutzemberger, 2014). Hala ere, garraio mota honek baditu ere bere desabantailak. Besteak beste, inbertsio kostu altuak edo funtzionamendurako beharrezkoa den katenariaren ikusmen inpaktua aipa daitezke. Desabantaila hauek tranbien eskala handiagoko merkaturatzea eragozten dute.

Kableek eragiten duten arazoari aurre egiteko planteamendu eraginkor bat ibilgailu barneko metatze sistemen (ingelesez Onboard Energy Storage System, OESS) erabilera da (Ceraolo eta Lutzemberger, 2014). Publikazio batzuek jada azpimarratu dutenez (Reynaud *et al.*, 2018), azken urteetan zehar tranbietan OESS-ak integratzeko joera altua dago, eta etorkizun oparoa aurreikusten da. Adibidez, CAF Power & Automation enpresak tranbietarako EVODRIVE eta FREEDRIVE metatze sistemak proposatzen ditu, hurrenez hurren efizientzia energetikoa eta

kateneriarik gabeko ibilbidea ahalbidetzeko helburuekin (Obando *et al.*, 2017). Era berean, beste hainbat hornitzaileek ere mota honetako metatze sistemak proposatu dituzte. Besteak beste, Bombardier-Primovek Nanjingeko tranbian (Txina), Alstomek Nizako tranbian (Frantzia) edo Skodak Eskişehirko tranbian (Turkia) instalatutakoak azpimarra daitezke.

Testuinguru honetan, garrantzitsua da metatze teknologia desberdinen aipamena egitea. Azken hamarkadan interes handia sortu da bateria eta superkondentsadoreen garapenaren inguruan, besteak beste energia berriztagarrien eta garraio elektrikoaren mugak gainditzeko aproposak bilakatu baitira (Ajuria *et al.*, 2017). Superkondentsadoreak, geruza bikoitzeko superkondentsadore izenez ere ezagunak (ingelesez Electric Double Layer Capacitor, EDLC), tranbiak bezalako garraio astuneko aplikazioetarako teknologia oso erakargarria dira. Gaur egun ibilgailu elektrikoetan oso erabiliak diren Litio-ioizko bateriekin konparatuz, potentzia espezifiko altua (karga eta deskarga azkarrak egiteko ahalmena) eta bizi iraupen luzea (10 urte eta 1.000.000 ziklo baino gehiago) eskaintzen dute (Campillo *et al.*, 2016; Ratniyomchai *et al.*, 2014).

Dena den, EDLC-ak bezalako metatze teknologiek etorkizun oparoa izan dezaten, garrantzitsua da fidagarritasun maila altua eskaini eta bermatzea, batez ere zahartze prozesuarekin erlazionaturik dagoena (German *et al.*, 2014). Helburu hau lortzeko, degradazio prozesuak aurreikusi eta estimatzea tresna oso garrantzitsua bilakatu da, hainbat publikazioetan zehaztu den moduan (Reynaud *et al.*, 2018; Obando *et al.*, 2017). Orrialde hauetan aurkeztu den komunikazioak jakintza-arlo honetan ekarpen berri bat egiten du, ikerketa benetako aplikazioen baldintza egoerara hurbilduz.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Aurreko atalean azpimarratu den moduan, EDLC teknologia heldutasun maila altura iritsi da azken hamarkadan. Dena den, oraindik merkatu mailan fidagarritasun altuagoa eskaini ahal izateko, hauek pairatzen duten zahartzea aurreikustea lagungarria da.

Zahartzea estimatu ahal izateko, lehenik degradazio prozesua ulertu behar da. Beste metatze sistemen antzera, EDLC-ek biltegitratze denbora eta ziklatzearen eraginez kapazitate galera eta barne erresistentziaren igoera sufritzen dute. Kapazitate edo barne erresistentzia balio zehatzetara iristean, EDLC-aren bizitza amaitu dela kontsidera daiteke. Biltegitratze denbora bidezko degradazioan tentsioak eta tenperaturak eragin zuzena daukate, hainbat ikerketek azpimarratu duten moduan (El Mejdoubi *et al.*, 2016; Bohlen *et al.*, 2007). Beste aldetik, ziklatze bidezko degradazioan intentsitatearen efektua aipatu daiteke eragile garrantzitsu gisa (German *et al.*, 2014; Gallay *et al.*, 2012).

EDLC-aren biziraupena estimatzen duen modelo bat garatzeko, aipatutako parametroen efektua kuantifikatu behar da. Helburu hori lortzeko bideetako bat froga esperimentalak garatzea da. Literaturan hainbat dira laborategiko saiakuntzen emaitzak aurkeztu dituzten publikazioak. El Mejdoubi *et al.* autoreek (2016) publikazioan biltegitratze denboran oinarritutako degradazioaren efektua aztertzen dute. Horretarako, frogak tentsio eta tenperatura balio altuetan garatzen dituzte, degradazioa azeleratu eta esperimentazio denbora 20 egunetara laburtu ahal izateko. Antzerako lana egin dute Bohlen *et al.* autoreek (2007) publikazioan, non tentsio eta tenperaturaren efektua aztertzen duten 100 egun irautean duten frogak azeleratuetan. Beste aldetik, Gallay *et al.* autoreek (2012) publikazioan biltegitratze eta ziklatze bidezko degradazioan eragina duten parametroak aztertzen dituzte. Aurreko lanen antzera, tenperatura eta tentsio altuak erabiltzen dituzte frogaren luzera 167 egunetara mugatuz. Azkenik, Kovaltchouk *et al.* autoreek (2015) publikazioan beste lan batzuetako frogak biltzen dituzte biltegitratze eta ziklatze bidezko degradazio modelo bat lortzeko. Hala ere, frogak tenperatura zein tentsio balio altuetan daude burututa.

Laburtuz, arloko egoeraren azterketan egiaztatu da EDLC-en frogak esperimentalak aurkeztu dituzten publikazio gehienek epe motzeko saiakuntzak garatu dituztela, gehien bat kontuan izanik EDLC-ek 1.000.000 ziklo eta 10 urte arte iraun ditzaketela. Froga azeleratuetan lortutako emaitzak baldintza errealistagoetara moldatu daitezkeen eztabaidagarria da.

Testuinguru honetan, lan honek EDLC-tarako bizitza estimazio modelo berri bat proposatzen du. Lanaren ekarpen nagusia, arloko egoeran aztertutako publikazioekin konparatuz, modeloa baldintza errealisteko frogak esperimentaletan oinarriturik garatu dela da. Biltegitratze eta ziklatze bidezko degradazio frogak denbora luzean zehar garatu dira tentsio, tenperatura eta intentsitatearen efektuak aztertzeko helburuarekin. Ondoren, bizitza estimazio modelo balioesteko, lortutako emaitzak fabrikatzaileak emandako datuekin alderatu dira. Azkenik, benetako tranbia baten operazio profila erabili da ikerketa kasu erreal bat aztertzeko.

3. Ikerketaren muina

Atal honetan, batetik, EDLC-entzako biziraupen estimazio modeloa garatzeko prozesua aurkezten da. Hartutako suposizioak, burututako froga esperimentalak eta modeloaren eraikuntza azalduko dira. Bigarrenik, biziraupen modeloarekin lortutako emaitzak fabrikatzaileak emandako datuekin balioztatuko dira. Azkenik, ikerketa kasu moduan, modeloa Kaohsiung-eko tranbiaren operazio profilari aplikatuko zaio, bertan erabiltzen diren EDLC-en bizitza estimatzeko helburuarekin.

3.1. Garatutako Biziraupen Estimazio Modeloa

Modeloaren garapenerako, EDLC-en biziraupena Redox erreakzioaren ratioarekiko alderantzizko proportzionala dela kontsideratu da (Alcicek *et al.*, 2007). Aurreko atalean azaldu diren tentsio (V), tenperatura (T) eta intentsitatearen (I_{rms}) efektuak indibidualizatu egin dira, (1) ekuazioan aurkezten den moduan:

$$t_{EDLC} = f(V, T, I_{rms}) = f_1(V) \cdot f_2(T) \cdot f_3(I_{rms}) \quad (1)$$

non t_{EDLC} EDLC-aren biziraupena [urteak] den.

Faktore bakoitzaren eragina kuantifikatzeko, gelaxka mailako biltegitratze eta ziklatze bidezko degradazio frogak garatu dira. Biltegitratze bidezko degradazio frogen helburua T eta V -ren efektuak indibidualizatzea izan da. Beste aldetik, ziklatze bidezko degradazio frogetan I_{rms} -ren efektua aztertu da. Horrela, ziklatzearen eraginez degradazioa zenbat areagotzen den kuantifikatu da. Hau kontuan izanik, modu honetan berridatzi daiteke (1) adierazpena:

$$t_{EDLC} = f(V, T, I_{rms}) = \frac{t_{bilt}(V, T)}{K_{azel}(I_{rms})} \quad (2)$$

non K_{azel} ziklatzearen eraginezko degradazioaren azelerazio faktorea [-] den ($K_{azel} \geq 1$, zenbat eta altuagoa, degradazio handiagoa eta biziraupen motzagoa), eta t_{bilt} tentsio eta tenperatura jakin batean biltegitratuta egoteagatik EDLC-ak duen biziraupena [urteak] den.

Saiakuntza esperimentaletan degradatu diren EDLC gelaxkak Maxwell 3000 F 2,7 V (BCAP3000) dira. Gelaxkaren ezaugarri nagusiak 1. Taulan erakusten dira. Horretaz gain, 2. eta 3. Tauletan garatutako biltegitratze eta ziklatze bidezko degradazio frogen laburpenak aurkezten dira, hurrenez hurren. Ikusten denez, T hiru baldintzetan aztertu da (10/25/45 °C), V bost egoeretan (0,5/1,0/1,5/2,0/2,5 V) eta I_{rms} beste hiru baldintzetan. Azken parametroari dagokionez, 50 A karga eta deskarga, 100 A karga eta deskarga, eta 250 A karga eta 100 A deskarga zikloetan aztertu da, 3. Taulan zehazten den tentsio tartean.

1. taula. Maxwell 3000 F Gelaxkaren Ezaugarriak

Ezaugarria	Balioa
Tentsio Nominala [V]	2,7
Kapazitate Nominala [F]	3.000
Metatutako Energia [Ah]	3,04
Operazio Tenperatura [°C]	-40/65
Pisua [kg]	0,51

2. taula. Biltegitratze Bidezko Degradazio Frogen Matrizea

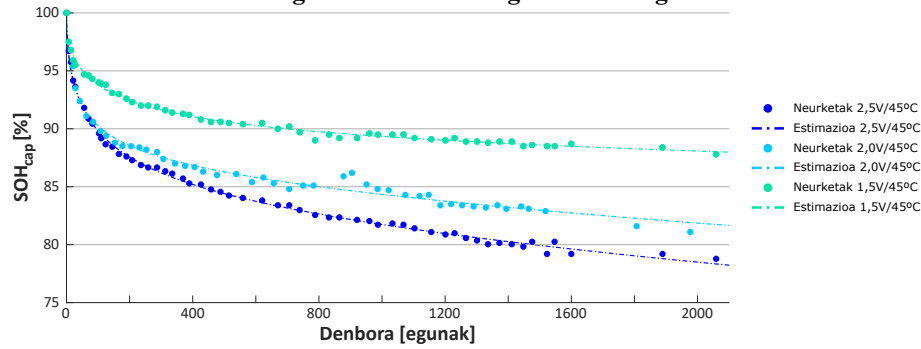
T[°C] / V[V]	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
10	x				
25	x	x	x	x	x
45			x	x	x

3. taula. Ziklatze Bidezko Degradazio Frogen Matrizea

T[°C] / I[A]	50/50	100/100	250/100
45	1,55-2,55 V	1,25-2,5 V	1,35-2,7 V

Degradazio frogak urteetan zehar luzatu egin dira, biltegitratzearen kasuan 2.000 egun ingurura (5 urte eta 6 hilabete) iritsiz, eta ziklatzearen kasuan 1.000.000 ziklo baino gehiago burutuz. 1. Irudian frogen emaitzen adibide

1. irudia. Biltegitratze Bidezko Degradazio Frogen Emaitzak



bat irudikatzen da, hain zuzen ere, 45 °C-tan biltegitratuta dauden gelaxken emaitzak. Degradazioa kapazitatearen osasun egoeraren bidez (ingelesez State Of Health, SOH) adierazten da, zeinak bizitza hasierarekiko kapazitate galera zehazten duen. Emaiza hauek kapazitate galeraren estimazio kurbak lortzea ahalbidetzen dute, aipatutako irudian erakusten den moduan. Halaber, estimazio kurben bidez gelaxken bizitza amaierako unea kalkulatu daiteke.

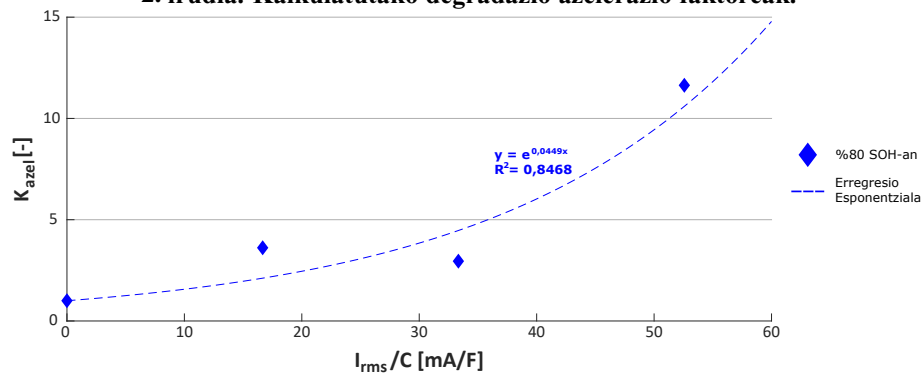
Biltegitratze frogetan lortutako emaitzetan oinarrituz, eta antzerako publikazioetan aurkeztutako adierazpenak kontuan izanik (El Mejdoubi *et al.*, 2018; Gallay *et al.*, 2012), t_{bilt} aldagaiarentzat ondorengo ekuazioa (3) proposatzen da, kontuan izanik bizitzaren amaiera % 80-ko SOH-ra iristean zehazten dela:

$$t_{bilt}(V, T @ \%80 SOH) = \eta \cdot \left[\frac{V_{ref}}{V} \right]^n \cdot \exp \left[\frac{Ea \cdot (T_{ref} - T)}{\delta \cdot \beta \cdot T} \right] + \alpha \cdot \exp \left[\frac{Ea \cdot (T_{ref} - T)}{\delta' \cdot \beta \cdot T} \right] \quad (3)$$

non V eta V_{ref} terminalaren tentsioa eta EDLC-aren tentsio nominala [V] diren, hurrenez hurren; Ea aktibazio energia [eV]; β Boltzmann-en konstantea ($\beta = 8,617 \times 10^{-5}$ eV/K); T eta T_{ref} EDLC azaleko tenperatura eta erreferentzia tenperatura [K] hurrenez hurren; eta δ , δ' , η eta n parametro konstanteak [-], froga esperimentalen emaitzen bidez parametrizatu direnak.

Ziklatze frogei dagokionez, 3. Taulan adierazten den baldintzetan EDLC-aren degradazio kurbak lortu dira. Emaiza hauetatik degradazioaren azelerazio faktorea kalkulatu da, kontsideratuz EDLC-aren bizitza % 80-ko SOH-an amaitzen dela. Kalkulatutako K_{azel} balioak 2. Irudian aurkezten dira, saiakuntza bakoitzean aplikatutako I_{rms} balioaren arabera irudikatu direnak. I_{rms} balioa gelaxken kapazitatara (C) normalizatu da.

2. irudia. Kalkulatutako degradazio azelerazio faktoreak.



Kontsideratuz intentsitaterik gabe K_{azel} aldagaiaren balioa 1 dela, ekuazioa lortutako emaitzei doitzeko erregresio esponentziala aplikatu da, grafikoan irudikatzen den moduan. Lortutako adierazpena ondoko ekuazioan aurkezten da:

$$K_{azel}(I_{rms} @ \%80 SOH) = \exp \left[\frac{\lambda \cdot I_{rms}}{C} \right] \quad (4)$$

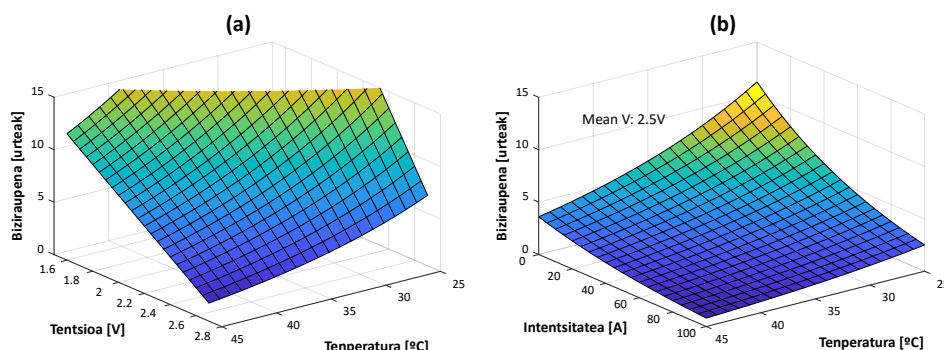
non I_{rms} EDLC-an neurtutako RMS intentsitatea [A] den; C neurtutako EDLC-aren kapazitatea [F] den; eta λ parametro konstante bat [-] den.

Ondorengo ekuazioan EDLC-rako biziraupen modeloa aurkezten da (5), aurretik aurkeztutako (2), (3) eta (4) adierazpenetan oinarrituz:

$$t_{EDLC}(V, T, I_{rms} @ \%80 SOH) = \left[\eta \cdot \left[\frac{V_{ref}}{V} \right]^n \cdot \exp \left[\frac{Ea \cdot (T_{ref} - T)}{\delta \cdot \beta \cdot T} \right] + \alpha \cdot \exp \left[\frac{Ea \cdot (T_{ref} - T)}{\delta' \cdot \beta \cdot T} \right] \right] \cdot \exp \left[\frac{\lambda \cdot I_{rms}}{C} \right]^{-1} \quad (5)$$

3. Irudian erakusten da zein biziraupen ematen dituen modeloak V , T eta I_{rms} balio desberdinetarako. Ikusten denez, modeloa baliagarria da tentsio, tenperatura eta intentsitate tarte handi batean estimazioak egiteko.

3. irudia. Estimaturako biziraupenak: (a) Biltegiatze egoeran (b) Ziklatze egoeran.



3.2. Modeloaren Balidazioa

Modeloa balidatzeko helburuarekin, lortutako biziraupen estimazioak fabrikatzaileak emandako datuekin (Kreczanik *et al.*, 2014) konparatu dira (4. Taula). Ikusten denez, proposaturako modeloaren iragarpenak nahiko gertu gelditzen dira fabrikatzailearen estimazioetatik (% 2,7-ko errore maximoa).

4. taula. Modeloaren Balidazioa

Estimazioak @ V = 2,7 V; I = 0 A	T = 45 °C	T = 35 °C	T = 25 °C
Fabrikatzailea [egunak]	612	1.221	2.446
Modeloa [egunak]	628	1.249	2.453
Errorea [%]	2,7	2,3	0,3

3.3. Ikerketa Kasua: Kaohsiung-eko Tranbia

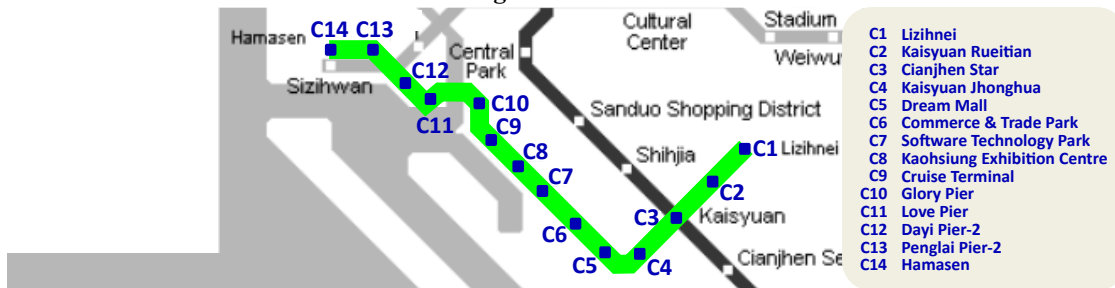
Ikerketa kasu bat aztertzeko helburuarekin, proposaturako degradazio modeloa benetako tranbia baten operazio profilari aplikatu zaio. Erabilitako operazio profila Kaohsiung-eko (Taiwan) tranbiak burutzen duena da. Tranbia hau CAF enpresak garatu du, eta mundu mailan %100 katenariarik gabeko operazioa eskaintzen duen lehen tranbia izan da. Katenaria gabeko ibilbidea burutu ahal izateko, tranbia honek EDLC-ez osatutako OESS bat dauka integraturik.

Tranbiaren ibilbideari dagokionez, 8,6 kilometroz eta 14 estazioz dago osaturik, 4. Irudian erakusten den moduan. Estazio bakoitzean karga azkar bat aplikatzen da bidaiariak tranbiatik jaitsi eta igotzen diren bitartean. Horrela, estazio bakoitzean EDLC-ek karga maila berreskuratzen dute. EDLC-en tentsioaren bilakaera 5. Irudian erakusten da, karga puntuen kokapenarekin batera. 5. Irudiko operazio profila aurkeztutako biziraupen modeloan (5) aplikatzerakoan, 9,5 urteko bizitza estimazioa lortu da EDLC-entzako.

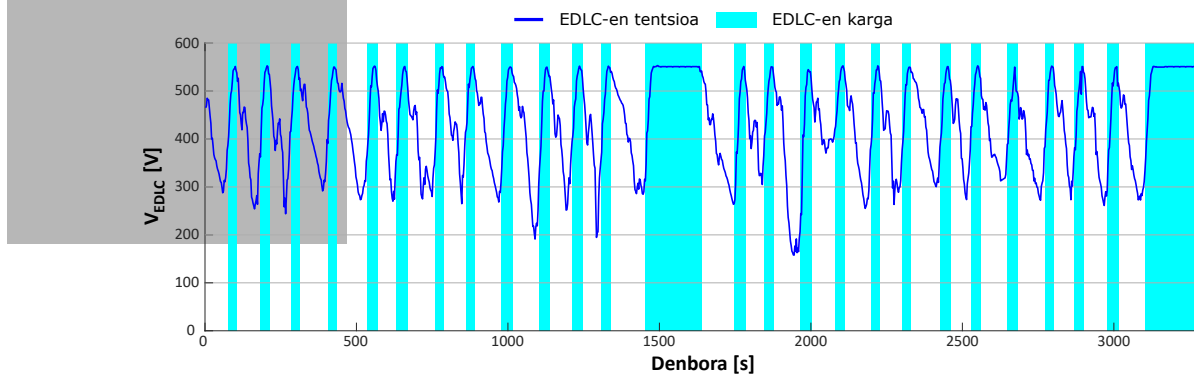
4. Ondorioak

Lan honek superkondentsadoreen biziraupena estimatzeko modelo bat aurkeztu du. Modeloa baldintza errealistetan burututako froga esperimentaletan oinarriturik garatu da, eta tentsio, intentsitate eta tenperaturaren efektuak

4. irudia. Kaohsiung-eko tranbiaren ruta: Lizihnei-Hamasen-Lizihnei



5. Irudia: EDLC-en tentsioa eta karga puntuen kokapena.



indibidualki kontsideratzen ditu. Behin modeloa eraikita, fabrikatzaileak emandako datuekin balidatu da, % 2,7-ko errore maximoa lortuz proposatutako baldintzetan. Azkenik, ikerketa kasu bat aurkeztu da, benetako tranbia baten operazio profila modelora aplikatuz eta 9,5 urteko estimazioa lortuz.

Garatutako bizitza estimazio modeloa mota desberdineko aplikazioetara egokitu daiteke. Garraio astuneko aplikazio desberdinetan operatzen duten EDLC-en bizitza estima dezake, adibidez, tranbia edo autobus hibridoetan erabiltzen direnak. Era berean, eskaera maila baxuagoa erakusten duten aplikazio geldikorretan erabilitako EDLC-en bizitza ere estima dezake, adibidez etengabeko elikatze sistemetan (ingelesez Uninterrupted Power Systems, UPS) erabilitakoak.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Garatutako modeloak ez du EDLC-ak erabiltzen ez direnean gertatzen den kapazitate berreskurapena kontuan hartzen. Modeloaren doitasuna hobetzeko asmoz, prestazio hobekuntza hau kontuan hartzen duen modelo bat garatu beharko litzateke. Horretaz gain, behin aplikazio erreal batean instalatuta (Kaohsiung-eko tranbia adibidez), modeloa erabat balioztatzeko asmoz OESS-aren egoeraren jarraipen bat egitea proposatzen da. Azkenik, biziraupen modeloan oinarrituta, tranbia bezalako garraio astunen operazio, azpiegitura eta OESS kostuak optimizatzen dituen tresna bat garatu daiteke.

6. Erreferentziak

- Ajuria, Jon, Edurne Redondo, eta Eider Goikolea. 2017. Superkondentsadoreak: Energia Biltzeko Gailuak. *EKAIA Euskal Herriko Unibertsitateko Zientzi eta Teknologi Aldizkaria* Ale Berezia (2017).97–113.
- Alcicek, G., H. Gualous, P. Venet, R. Gallay, eta A. Miraoui. 2007. Experimental study of temperature effect on ultracapacitor ageing. *2007 European Conference on Power Electronics and Applications, EPE*.
- Bohlen, Oliver, Julia Kowal, eta Dirk Uwe Sauer. 2007. Ageing behaviour of electrochemical double layer capacitors. *Journal of Power Sources* 173.626–632.

- Campillo, Jose Miguel, Laura Oca, eta Jon Andoni Barrena. 2016. Superkondentsadoreak: Etorkizuneko energia-metagailuak. *Elhuyar Aldizkaria* 321.53–55.
- Ceraolo, M., eta G. Lutzemberger. 2014. Stationary and on-board sotrage systems to enhance energy and cost efficiency of tramways. *Journal of Power Sources* 264.128–139.
- El Mejdoubi, Asmae, Hicham Chaoui, Jalal Sabor, eta Hamid Gualous. 2018. Remaining Useful Life Prognosis of Supercapacitors under Temperature and Voltage Aging Conditions. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 65.4357–4367.
- , Amrane Oukaour, Hicham Chaoui, Hamid Gualous, Jalal Sabor, eta Youssef Slamani. 2016. Prediction Aging Model for Supercapacitor's Calendar Life in Vehicular Applications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 65.4253–4263.
- Gallay, R., M. Al Sakka, A. Oukaour, H. Gualous, B. Boudart, eta B. Tala-Ighil. 2012. Calendar and cycling ageing of activated carbon supercapacitor for automotive application. *Microelectronics Reliability* 52.2477–2481.
- German, R., P. Venet, A. Sari, O. Briat, eta J. M. Vinassa. 2014. Electrochemical Double Layer Capacitors (supercapacitors) ageing impacts and comparison on different impedance models. *EPE Journal (European Power Electronics and Drives Journal)* 24.6–13.
- Kovaltchouk, Thibaut, Bernard Multon, Hamid Ben Ahmed, Judicaël Aubry, eta Pascal Venet. 2015. Enhanced Aging Model for Supercapacitors Taking into Account Power Cycling: Application to the Sizing of an Energy Storage System in a Direct Wave Energy Converter. *IEEE Transactions on Industry Applications* 51.2405–2414.
- Kreczanik, Paul, Pascal Venet, Alaa Hijazi, eta Guy Clerc. 2014. Study of Supercapacitor Aging and Lifetime Estimation According to Voltage, Temperature, and RMS Current. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 61.4895–4902.
- Obando, Andres F., Victor I. Herrera, Haizea Gaztañaga, Begoña Gallardo, Txomin Nieva, eta Maider Varela. 2017. Optimization Methodology of Infrastructure and Onboard Energy Storage System for Cost-Reduction in Tramway Lines Design. In *2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 1–7. IEEE.
- Ratniyomchai, Tosaphol, Pietro Tricoli, eta Stuart Hillmansen. 2014. Recent developments and applications of energy storage devices in electrified railways. *IET Electrical Systems in Transportation* 4.9–20.
- Reynaud, Jean François, Maitane Garmendia, eta Txomin Nieva. 2018. Comprehensive integration of On-board Energy Storage systems in tramways: Birmingham tram case study. In *5th International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference*.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan hau BIKAINTEK 2018 programaren barruan garatu da, CAF Power & Automation eta IKERLAN zentro teknologikoaren elkarlanaren ondorioz.

eGobernua Europar Batasunean: erabilera-maila eta arrazoiak

Ainhoa, Yera; Arbelaitz, Olatz; Jaruegi, Oier eta Muguerza, Javier

Donostiako Informatika Fakultatea UPV/EHU

ainhoa.yera@ehu.eus

Laburpena

Ezagunak dira Informazioaren Teknlogiek gizarteko hainbat alorretan ekarri dituzten aldaketak. Gobernuek ere teknologia hauetaz baliatu nahi izan dute eta ahalegin handiak egin dituzte azken urteetan herritarrei informazioa eta zerbitzuak eskaintzeko erabiltzen dituzten bideak aldatu eta eGobernua ezartzeko. Badakigu aldiz, zerbitzuak eskaintzeak ez duela haien erabilera ziurtatzen. Testuinguru horretan, lan honek helburu du Eurostatek jasotako CSIS (Community Statistics and Information Society) inkestak abiapuntu izanik, Europako herrialdeetan eGobernuaren erabilera erreala zein den aztertu, eta horrekin harremana duten faktoreak identifikatzea. Horretarako, datu-meatzaritza prozesu oso bat garatu eta ondorioak ateratzeko ikasketa automatikoko teknikak erabili ditugu. Ikerketak adierazi digu, eGobernuaren erabilera-maila oso desberdina dela herrialde desberdinetan, neurri batean gai garela automatikoki bereizteko eGobernua erabiltzen duten hiritarrak erabiltzen ez dutenetatik, eta erabilerarekin lotura duten faktoreak aldatu egiten direla herrialdearen erabilera-mailaren arabera.

Hitz gakoak: eGobernua, Europa, datu-meatzaritza, Informazio Gizartea

Abstract

Information Technologies brought about well known changes in different areas of society. Governments have also wanted to take advantage of these technologies and have made in recent years great efforts to change the ways used to provide information and services to citizens and thus, establish eGovernment. It is known that the provision of services does not guarantee their use. In this context, the aim of this work is to identify the real use of E-government in European countries, based on Eurostat CSIS (Community Statistics and Information Society) surveys, and to identify the related factors. To this end, we carried out a complete data mining process and used machine learning techniques to conclude. The results suggest that: the level of eGovernment use is very different depending on the countries, to some extent the system can differentiate E-government users from not users, and finally, the factors related to use vary according to the level of use of the country.

Keywords: E-government, Europe, data mining, Information Society

1. Sarrera eta motibazioa

Azken urteetan informazioaren teknologiak gizarteko alor guztietara zabaltzen dira eta gobernua ez da zabalkunde horretatik at gelditzen. Horrela, eGobernu kontzeptua agertu da. Layne eta Lee (2001) lanean esaten denaren arabera, eGobernua, teknologia digitalen erabilera datza, bereziki Webaren oinarri duten aplikazioak, gobernuko zerbitzu eta informazioa modu eraginkorrean banatu eta gizarte osoarentzat irisgarriagoa izan dadin. Esan liteke ia munduko gobernu guztiak teknologien zabalkundea aintzat hartu eta haien gobernu-prozesuetan eGobernua sartzen ari direla (Alshehri eta Drew, 2010). eGobernuaren garapena gobernuaren estrategien parte garrantzitsu bihurtzen ari da Griffin eta Halpin (2007) eta hori dela eta, instituzioek herritarrei informazioa eta zerbitzuak eskaintzeko erabiltzen dituzten bideak aldatzen ari dira.

eGobernuaren onura nabarmenetako bat da jendeak aurrez aurreko hitzordurik gabe, eta administrazioko eraikinerako fisikoki joan gabe egin ditzakeela tramiteak eta ondorioz, alde batetik mugitzeko zailtasunak dituzten pertsonen zerbitzuaren atzipena errazten zaie eta bestetik, zerbitzuak beti daude eskuragarri. Hau da, asteko zazpi egunetan eta 24 orduz. Horrez gain, eskaintzen diren zerbitzuak erabiltzailearen arabera egokituak ere izan daitezke: hizkuntza, aniztasun funtzionala duten pertsonen egokituak, etab. (Gonzalez eta Llopis, 2007). Era kontrajarrian, Internetarako sarbiderik ez duten pertsonen edo Webaren nabigatzeko zailtasunak dituztenek, ezin izango dituzte

zerbitzu hauek erabili. Hori horrela izanik, eGobernuan egindako ahaleginak alferrikakoak izan daitezke baldin eta helburutzat duten populazioaren segmentu handi batek ez badu sistema atzitzeko gaitasunik (Esteves eta Joseph, 2008). Eskaintako zerbitzua hiritarrentzat hobea izan zedin, 2016an Europar parlamentuak webguneak eta mugikorretarako aplikazioak irisgarriago egiteko jarraibideak definitu zituen (European Parliament and Council of the European Union, 2016) eta horretarako Webaren edukiaren irisgarritasun-gidalerroak (Web Content Accessibility Guidelines. WACAG 2.0, W3C World Wide Web Consortium (2008)) jarraitzea gomendatzen zuen. Zoritxarrez, estandarrak ziurtatzea ona izan arren, honek ez du ziurtatzen sistemak benetan irisgarriak izango direla eta ezta jendeak erabiliko dituenik ere.

Eurostatek zabaldutako datu orokorren arabera, 2018. urtean, Europako biztanleen % 52 Internet erabiltzen zuten erakunde publikoekin elkarrekintzak izateko: informazioa lortu, formularioak eskuratu eta dokumentu ofizialak helarazteko adibidez. Zenbaki orokor horiek informazio gutxi ematen dute eta bide horretan azterketa sakonago bat proposatu dugu lan honetan, Eurostatek berak bildu eta zabaldutako mikrodatuetan oinarritzen dena. Alde batetik, Europar Batasunean herrialdez herrialde eGobernuaren erabilera-maila berdina ote den aztertuko dugu. Eta bestetik, erabilera-maila horretan eragiten duten faktoreak zeintzuk diren ondorioztatzen saiatuko gara. Horretarako 2009-2015 urteen artean Eurostatek eskuratutako inkestak prozesatu eta ikasketa automatikoko teknikak erabiliko ditugu.

Hurrengo atalean uneko egoera eta lan hau motibatzen duen hainbat arrazoi ageri dira. 3 Atalean ikerketaren muina dago: erabilitako datuak eta prozesaketa deskribatzen dira lehenengo, eGobernu erabilera-maila neurtzeko sortu dugun indizea deskribatzen dugu ondoren eta azkenik, eGobernua erabili edo ez erabiltzeko arrazoiak zeintzuk izan daitezkeen bilatzeko erabilitako teknikak eta emaitzak deskribatzen dira. Artikuluarekin amaitzeko, 4 Atalean lan honen odorioak eta etorkizuneko lana deskribatzen ditugu.

2. Arloko egoera, eta helburuak

Badaude eGobernuaren egoera zein den neurtzeko erabiltzen diren indizeak. Izan ere, Nazio Batuek definitzen duten EGDI (Egovernment Development Index) indizeak, administrazio nazionalen haien zerbitzuak eskaintzeko informazioaren eta komunikazioaren teknologiak erabiltzeko duten ahalmena eta borondatea neurtzen du eta zabalgi onartuta dago mota honetako indize erabiliena dela. Hala ere, badira indize honi ahulguneak topatu dizkioten ikertzaileak. Kabbar eta Dell (2013) autoreek adierazten dute indizearen azterketa kritiko gutxi egin dela eta, Nazio Batuen Erakundeak (NBE) eGobernuaren garapena adierazteko emandako balio absolutu batek, ez duela zertan lagungarri izan herrialde bat dituen gaitasunen arabera zer moduz ari den ondorioztatzeko. EGDI gaur egungo ordenazio teknika estandar gisa eta influentzia handiko balio gisa errekonozitzen duten arren, argi dute EGDIk ez duela ematen Barne Produktu Gordina (BPG) desberdina duten herrialdeen arteko konparaketa egiteko aukerarik. Haien proposamena EGDI kalkulatzeko BPG kontutan hartzea da. Horrez gain, Seri eta Matteucci (2014) lanean ere EGDIren muga metodologikoak azpimarratzen dituzte autoreek. Denboran zehar herrialde desberdinen arteko konparaketak egiteko zailtasunak aipatu eta haien analisirako beste indize bat, Capgemini indizea, erabiltzen dute.

Beste ikertzaile batzuk, Jämi eta Jie (2017) E-participating indizea (EPI), erabiltzen dute, NBEk definitutako indize laguntzailea, eGobernu sistemen arrakasta neurtzeko. Ikerlarien arabera, EGDI eGobernuaren garapen-mailak konparatzeko erabiltzen den arren, azpiegiturak eta webguneak eraiki eta online zerbitzuak eskaintzeak adierazten duen gauza bakarra da gobernuak zein neurritan dauden prest zerbitzu horiek jendarteari eskaintzeko. Izan ere, eGobernuaren arrakasta-maila ezagutzeko, indize horiekin neurtzeaz gain, hiritarrek eskaintako tresnak erabiltzen ote dituzten neurtu beharko litzateke haien ustez. Testuingurua hau izanik uste dugu indize teorikoetatik haratago merezi duela erabilera-datu errealean oinarritutako azterketa egiteak.

3. Ikerketaren muina

Lan honetan, Eurostatek egindako inkesta batzutan oinarrituz (Eurostat, 2004), Europar eGobernuak eskaintzen dituen tresnak zein neurritan erabiltzen diren eta erabili edo ez erabiltzeko arrazoiak batzuk zeintzuk izan daitezkeen ondorioztatzen saiatu gara. Horretarako, lehen urrats gisa Eurostatek bildutako inkestak aurreprozesatu eta haietatik aldagaiak eratorri ditugu. Bigarren urratsa, eGobernuaren erabilera adierazten duen aldagaian oinarrituta herrialdeak sailkatuko dituen indize bat definitzea izan da, EGEI (eGobernuaren Erabilera Indizea), eta azkenik, gainerako aldagaiak eGobernuaren erabilera duten eragina aztertu da.

3.1. Eurostateko CSIS inkestak

Gure ikerketarako erabili dugun datu-multzoaren jatorria Eurostat, Europar Batasuneko estatistiken agentzia da. Hain zuzen ere Informazioaren gizarteari buruz 2009-2015 tartean haiek egindako inkestak, *Eurostat's Community Statistics on information Society* (CSIS) (Eurostat, 2004), erabili ditugu, aurre-prozesatu, EGEI kalkulatu eta ondorioak ateratzeko. Inkesta hauen emaitzak 2002. urtetik aurrera urtero jaso ditu Eurostatek gutxienez Europar batasuneko herrialde guztietarako. Datu-bilketa Europar Parlamentuko (EC) 808/2004 (European Parliament and Council of the European Union, 2004) araudiaren arabera egiten da eta mikrodatuak Eurostat helaraztea derrigorrezkoa da. Horrela, inkesta-kopuru handia biltzen da. Izan ere, Eurostatetik jaso genituen datuetan 2009-2015 urteen arteko 523.934 inkesta daude guztira. 1. Taulan ikus daitekeen moduan herrialde eta urtearen arabera jasotako inkesta kopurua oso aldakorra da. Italia da diferentziaz inkesta gehien dituen herrialdea (133.698) eta kopuru txikiena duena Malta (5.327) non inkesta kopurua Italian baino 25 bider txikiagoa den. Herrialdeen tamaina kontuan hartzen badugu aldiz, 2015ean Italiak Maltak baino 138 bider populazio handiagoa zuen. Beraz, proportzioan Maltan inkesta asko jaso direla esan daiteke. Testuinguru honetan nabarmentzekoa litzateke adibidez, Erresuma Batuak duen biztanle kopuru handiarekin konparatuta jaso den inkesta kopuru txikia. Badira hainbat herrialde 2009 edo/eta 2010 urteetan inkestak falta dituztenak baina horiekin ere gainerako guztiekin batera egin dugu lan.

1. taula. Herrialde bakoitzean 2009-2015 tartean aztertutako CSIS inkesta kopurua.

Herrialdea	Eurostatetik jasotako CSIS inkesta-kopurua urteka							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	guztira
Austria (AT)	4.634	4.620	3.178	3.454	3.371	3.291	3.455	26.003
Belgika (BE)	4.049	4.109	3.872	3.899	4.000	3.794	0	23.723
Bulgaria (BG)	2.832	3.325	4.876	4.064	4.682	5.167	4.847	29.793
Txipre (CY)	1.562	1.601	1.879	2.350	2.234	2.677	2.609	14.912
Txekiar Errep. (CZ)	4.233	4.682	4.119	5.514	5.606	5.265	5.439	34.858
Danimarka (DK)	3.399	3.100	2.942	2.974	3.071	3.128	3.044	21.658
Estonia (EE)	2.751	3.043	2.946	3.604	3.792	2.763	1.919	20.818
Grezia (EL)	1.538	1.568	1.865	1.482	1.813	2.080	2.522	12.868
Espainia (ES)	8.586	9.268	9.295	8.312	8.509	8.837	9.076	61.883
Finlandia (FI)	1.989	2.053	2.164	2.141	2.107	1.967	2.072	14.493
Frantzia (FR)	2.180	3.323	4.819	6.517	5.675	4.831	6.711	34.056
Kroazia (HR)	0	0	1.522	1.386	1.403	1.575	1.628	7.514
Hungaria (HU)	4.092	4.373	4.793	4.811	4.656	4.844	4.593	32.162
Irlanda (IE)	4.321	4.520	3.683	6.653	6.815	6.054	5.401	37.447
Italia (IT)	18.133	18.461	19.143	18.611	19.229	19.539	20.582	133.698
Lituania (LT)	6.551	6.484	6.150	5.931	5.947	6.450	4.262	41.775
Luxenburgo (LU)	1.126	1.204	1.060	1.297	1.134	1.072	1.132	8.025
Latvia (LV)	0	4.252	4.742	4.043	4.264	3.533	4.306	25.140
Malta (MT)	583	634	812	709	852	881	856	5.327
Holanda (NL)	3.304	3.323	3.392	3.563	3.459	2.954	3.435	23.430
Norvegia (NO)	878	803	856	778	842	854	902	5.913
Polonia (PL)	5.746	6.568	6.341	6.080	5.285	10.642	4.844	45.506
Portugal (PT)	2.578	2.745	2.799	3.126	3.415	3.689	3.992	22.344
Errumania (RO)	4.731	5.688	6.154	6.216	7.819	8.570	9.405	48.583
Suedia (SE)	3.207	2.976	2.124	1.033	1.110	1.067	966	12.483
Eslovenia (SI)	1.136	1.213	1.235	1.210	1.384	1.318	1.157	8.653
Eslovakia (SK)	2.682	3.025	2.930	3.357	3.593	3.320	3.233	22.140
Erresuma Batua (UK)	0	0	2.003	1.884	2.125	2.185	2.193	10.390

Eurostateko CSIS inkestek, etxeek eta norbanakoek duten informazio eta komunikazio teknologien (IKT) atzipena eta erabileraren inguruko datuak jasotzen dituzte. Atzipenari dagozkion hainbat datu, hala nola Internetarako sarbidea, konputagailua, etab. etxe mailan aztertzen dira, eta erabilerari dagozkionek aldiz, pertsonen erantzunak hartzen dituzte kontuan. Inkestek badituzte urtero errepikatzen diren gai batzuk eta IKTen inguruko momentuko gertaera edo fenomenoaren inguruan puntualki egiten diren beste galdera batzuk. Badaude urteroko sei gai nagusi: IKTetara sarbidea, konputagailuen erabilera, Interneten erabilera, eGobernua, eMerkataritza eta eGaitasunak.

Horiez gain, inkestek pertsonen informazio demografikoa eta osagarria biltzen dute: adina, sexua, bizilekua zein ingurutan dagoen, diru-sarrerak, ikasketa-mailak eta lanbidea. Guk egin dugun azterketarako, 2009-2015 urteetan errepikatu ziren IKTen inguruko zazpi galderak eta datu demografikoak erabili ditugu. Inkestak aztertu ondoren, galderak eta haiei emandako erantzunak aldagai moduan kodetu ditugu. Sortutako aldagaien zerrenda eta deskribapena 2. Taulan ageri dira. Bertan, erabili den kode zehatza menpeko aldagaiarentzat soilik ageri da, baina gainerakoentzat erantzun posible guztiak ageri dira.

2. Taulako azken lerroan nabarmenduta ageri da eGobernuaren erabilera (EGE) praktikoa aztertzea helburu duen ikerketa honetan menpeko aldagaia. Aldagai hau lortzeko erabiltzaileek zerbitzu publikoekin edo/eta administrazioekin Internet bidez dituzten harremanen inguruko galderak erabili dira. Galdera horietan erabiltzaileari administrazioekin Internet bidez egiteko hiru motatako eragiketei buruz galdetzen zaio: informazioa eskuratzea, formularioak jaistea eta betetako formularioak igotzea. Aldagaia kodetzeko, erabiltzaileak horietako zein aukera erabiltzen duen hartu da kontuan eta lau balio posible kodetu dira: (1) bat ere eragiketarik ez badu egiten (B), (2) informazioa eskuratzen badu (IE), (3) informazioa eskuratu eta formulario ofizialak jaisten baditu (IE+FJ) eta (4) informazioa eskuratu, formularioak jaitxi, eta bete ondoren sistemara bidaltzen baditu (IE+FJ+BFB).

2. taula. CSIS inkestetatatik aukeratutako IKTen inguruko galderak aldagai bihurtuta.

Kodea	Deskribapena	Balioa eta/edo Deskribapena
E.HAUR_K	Etxeko haur kopurua	1/ 2/ 3/ 4 edo gehiago
E.DI_SAR	Diru-sarreraren kuartilla	Baxuena/ Bigarrena/ Hirugarrena/ Altuena
ADINA	Adin-tartea	Adin-tarte desberdinak
SEXUA	Generoa	Gizonezkoa/ Emakumezkoa
IK_MAILA	Ikasketa-maila	LMH/ DBH-BAL/ Unibertsitate-maila/ EE
LAN_EG	Lan-egoera	Lanean/ Lanik gabe/ Ikaslea/ Pentsionista/ EE
LAN_IKT	Lanbideak IKTekin zerikusia ote duen	IKT langilea/ Ez IKT langilea
LAN_ESK	Lanbideak eskulana eskatzen ote duen	Eskulana egiten du/ Ez du eskulanik egiten
INT_SAR	Internetara sarbidea	Bai/ Ez/ Ez daki/ EE
KONP_E	Konputagailuaren erabilera	Azken 3 hilabetetan/ 3 hil.-urtebete/ Sekula/ EE
KONP_E_M	Konputagailuaren erabilera-maiztasuna	Egunero/ Astero/ Hilero/ EE
INT_E	Interneten erabilera	Azken 3 hilabetetan/ 3 hil.-urtebete/ Sekula/ EE
INT_E_M	Interneten erabilera-maiztasuna	Egunero/ Astero/ Hilero/ EE
INT_EROS	Internet bidezko erosketak	Azken 3 hilabetetan/ 3 hil.-urtebete/ Sekula/ EE
EGE	eGobernuaren erabilera	1: B/ 2: IE/ 3: IE + FJ/ 4: IE + FJ + BFB

* EE: Erantzunik ez, LMH:Lehen Mailako Hezkuntza, DBH-BAL: Bigarren Mailako Hezkuntza-Batzilergoa, B: Bat ere ez, IE: Informazioa eskuratu, FJ: Formularioak jeitxi, BFB: Betetako formularioak bidali

3.2. eGobernu erabileraren indizea: EGEI

eGobernuaren erabilera-mailak neurtzeko EGEI izeneko indizea definitu dugu. Indize hau eGobernuaren erabilera adierazten duen aldagaiaren balioetan (EGE) oinarrituz kalkulatzen dugu, hain zuzen ere eGobernuko zerbitzuak neurriren batean erabiltzen dituztenen ($k \in 2, 3, 4$) eta erabiltzen ez dutenen ($i=1$) arteko ratio gisa. 1. Ekuazioan adierazten den moduan kalkulatu dugu EGEI indizea. Kasu honetan, erabiltzea zentzurik lausoenean neurtu nahi izan dugu. Alegia, EGEI indizea kalkulatzekoan, eGobernuko tresnak informazioa irakurtzeko soilik erabiltzen diren kasuan ere, erabili egiten direla kontsideratzen da.

$$EGEI = \frac{\sum_{k=2}^4 \#EGE_k}{\#EGE_1} \quad (1)$$

3. Taulan herrialde bakoitzari dagokion EGEI indizearen balioa eta kalkulatzeko erabili ditugun balioak, alegia EGE galderaren balio posible bakoitzerako emandako erantzun kopurua ($\#EGE_k$), ageri dira. Herrialdeak eGobernua gehien erabiltzen dutenetatik gutxien erabiltzen dutenetara ordenatu ditugu, EGEIren balioan oinarrituz. Espero zitekeen moduan aldeak handiak dira herrialdeen artean. Nabarmenezkoa da alde batetik Danimarka kasu berezi gisa, non erantzun dutenen artean sei bider gehiago diren eGobernuko aplikazioak erabiltzen dituztenak ez dituztenekin konparatuta. Iparraldeko herrialdeetan eta Holandan, eGobernuko erabiltzaileak erabiltzen ez dutenen bikoitza edo gehiago dira (erabilera-maila altua $EGEI \geq 2$). Badago beste herrialde multzo bat, 13 herrialdek

3. taula. Aztertutako 28 herrialdeetarako eta 2009-2015 tarterako, inkestetan EGE galderaren erantzun kopurua balio posible bakoitzerako ($\#EGE_k$, $k \in \{1,2,3,4\}$) eta EGEI indizea.

	2009-2015				
Herrialdea	# EGE_k				EGEI
	1	2	3	4	
DK	2.955	3.718	1.701	13.284	6,33
NO	1.263	1.003	771	2.876	3,68
FI	3.564	2.656	1.656	6.617	3,07
SE	3.285	2.573	2.085	4.540	2,80
NL	7.231	3.986	1.278	10.935	2,24
FR	11.844	5.263	4.497	12.452	1,88
LU	2.948	1.083	1.982	2.012	1,72
SI	3.222	1.690	1.896	1.845	1,69
AT	9.747	4.993	4.451	6.812	1,67
EE	8.202	4.251	394	7.971	1,54
LV	10.589	7.706	1.263	5.582	1,37
ES	26.320	11.815	7.409	16.339	1,35
IE	16.406	2.677	1.647	16.717	1,28
HU	14.802	5.803	3.127	8.430	1,17
SK	10.210	5.250	2.769	3.911	1,17
BE	11.525	4.528	2.303	5.367	1,06
MT	2.636	723	776	1.192	1,02
EL	6.375	2.842	949	2.702	1,02
CY	7.678	1.799	2.247	3.188	0,94
PT	11.689	2.784	921	6.950	0,91
LT	2.3661	4.532	329	13.253	0,77
UK	6.132	1.614	529	2.115	0,69
CZ	2.1731	6.969	2.169	3.989	0,60
HR	4.786	949	752	1.027	0,57
BG	18.996	5.231	1.809	3.757	0,57
PL	29.955	6.473	3.708	5.370	0,52
IT	88.551	13.377	13.555	18.215	0,51
RO	39.003	5.751	1.268	2.561	0,25

osatutakoa, zeinetan eGobernua erabiltzen dutenen kopurua eta erabiltzen ez dutenena antzekoak diren, (erabilera-maila ertaina $1 \leq EGEI < 2$). Azkenik, badago beste talde nabarmen bat 10 herrialdez osatutakoa, eGobernua erabiltzen dutenen kopurua erabiltzen ez dutenena baina txikiagoa dutenena (erabilera-maila baxua $EGEI < 1$). Azken hauen artean muturreko kasua da Errumania, non erabiltzen dutenak, erabiltzen ez dutenena laurdena diren.

3.3. eGobernu erabilera eta beste aldagaien arteko erlazioa

Aurreko azpiatalean ikusi ahal izan dugu, eGobernu erabilerrari dagokionean oso portaera desberdina dutela aztertutako 28 herrialdeek. Hori horrela izanik, eGobernuaren erabilera-maila desberdinak dituzten sei herrialde hautatuko ditugu EGE aldagaia eta erabiltzaileek emandako gainerako galderen arteko erlazioa aztertzeko: erabilerririk handiena duten Danimarka (DK) eta Norvegia (NO), eGobernu erabiltzaileak eta ez erabiltzaileak orekatuak dituzten Malta (MT) eta Grezia (EL) eta azkenik, eGobernu erabiltzaile gutxien dituzten Italia (IT) eta Errumania (RO).

Hasierako urrats gisa, 14 aldagai independenteren eta menpeko aldagaiaren (EGE) arteko korrelazioa aztertu dugu Pearson erabiliz. Horrela, herrialde horietan, inkesta bidez neurtu dituztenen artean eGobernuaren erabilerran eragin handiena duten faktoreak zeintzuk diren ezagutu ahal izango dugu. Ondorio orokor gisa, esan dezakegu sei herrialdeetan ez dagoela menpeko aldagaiarekin korrelazio-maila altua duen ($|r| > 0.5$) aldagairik. Korrelazio-maila ertaina ($0.3 \leq |r| < 0.5$) dutenak ageri dira aldiz, eta gainera, hauek aldatu egiten dira herrialdez herrialde. Azterketa herrialde guztiak kontutan hartuz egingo bagenu, EGEREkin korrelazio handiena ($|r| = 0.34$) duen aldagaia INT_EROS da. Honen bidez, esan genezake Internet bidez erosketak egiteko ohitura gutxi duten pertsonen,

eGobernua ez erabiltzeko joera nabarmena dutela, edo alderantziz, Internet bidezko erosketak egiteko ohitura dutenek, eGobernua erabiltzeko joera gehiago dutela. Bestalde, eGobernuaren erabilerarekin ia korrelazio-maila ertaina du IK_MAILA aldagaiak ($|r| = 0.27$); alegia, ikasketa-maila altua duten hiritarrek joera dute eGobernuko tresnak erabiltzeko. Aldagai demografikoek aldiz, oro har ez dute loturarik menpeko aldagaiarekin.

Koka gaitezen herrialde multzoetan azterketa egiteko. Kasu honetan ere ez da menpeko aldagaiarekin korrelazio altua duen aldagairik ageri, baina korrelazio ertaina dutenak bai. (1) Erabilera-maila handiena duten herrialdeetan, Danimarka eta Norvegiar alegia, ez dago eGobernuaren erabilerarekin, EGE, korrelazio-maila ertaina duen aldagairik. Korrelazio-maila altuenak, lanbideak IKTekin zerikusia izateak (LAN_IKT, $|r| = 0.23$) eta Internet bidezko erosketek (INT_EROS, $|r| = 0.22$) lortzen dituzte. (2) eGobernuko erabilera eta erabilera eza parekoak dituzten herrialdeetan, Maltan eta Grezian alegia, badirudi ikasketa-maila ere garrantzitsua dela bertako biztanleek eGobernua erabil dezaten. Zenbat eta handiagoa, orduan eta joera gehiago eGobernua erabiltzeko. Alegia ikasketa-maila (IK_MAILA) eta Interneteko erosketak (INT_EROS) dira menpeko aldagaiarekin, EGerekin, korrelazio ertaina duten bi aldagaiak. (3) Azkenik, eGobernu erabilera-maila baxuena duten herrialdeen kasurako ez dago korrelazio ertaina duen aldagairik. Korrelazio baxua duten aldagaien artean altuenak aztertzen baditugu, kasu honetan ere ikasketa-maila (IK_MAILA, $|r| = 0.26$) eta Internet bidezko erosketak egiteko ohitura (INT_EROS $|r| = 0.23$) dira lotura gehien duten aldagaiak.

3.4. eGobernu erabiltzaileak bereiztea: ikasketa automatikoa

Atal honetan urrats bat gehiago egingo dugu aurrera, ikasketa automatikoko algoritmoak erabiliko ditugu eGobernua erabiltzen duten hiritarrak erabilpenik gabekoetatik bereizteko gai ote garen aztertzeko, eta bestalde, erabiltzea edo ez erabiltzearekin lotuta egon daitezkeen arrazoi konplexuagoak (aurreko atalean topatutakoak baino konplexuagoak, aldagai-multzoen konbinaketa) bilatzeko. Horretarako, alde batetik EGE aldagaiaren kodeketa aldatu dugu: $EGE = 0$ izango da baldin eta herritarrek ez badute eGobernua erabiltzen eta $EGE = 1$ baldin eta erabiltzen badute, erabilera-maila edozein izanda ere. Horrez gain, azalpena ematen duten sailkatzaileak erabili ditugu, RIPPER (Cohen, 1995) erregela-multzoak eta C4.5 (Quinlan, 2014) erabaki-zuhaitzak hain zuzen ere. Esperimentuak Witten eta Hall (2011) liburuan aurkeztzen den Weka software ingurunean egikaritu ditugu, RIPPERen eta C4.5aren inplementazioak diren JRIP eta J48 erabiliz. Sailkatzaileak defektuzko parametroak erabiliz eraiki ditugu eta haien eraginkortasuna neurtzeko hamar iteraziodun balioztatze gurutzatua (10-fold cross-validation) metodoa erabili dugu. Sailkatzaileen eraginkortasuna neurtzeko, precision, recall, F-measure eta asmatze-tasa erabili dugu.

4. Taula: Hautatutako sei herrialdeetarako JRIP eta J48 sailkatzaileen emaitzak.

Herrialdea	Precision		Recall		F-Measure		Asmatze-tasa	
	JRIP	J48	JRIP	J48	JRIP	J48	JRIP	J48
DK	0.86	0.86	0.88	0.88	0.86	0.86	0.88	0.88
NO	0.78	0.78	0.80	0.81	0.77	0.77	0.80	0.81
MT	0.67	0.68	0.67	0.68	0.67	0.68	0.67	0.68
EL	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
IT	0.69	0.69	0.71	0.71	0.69	0.69	0.71	0.71
RO	0.77	0.78	0.81	0.81	0.76	0.76	0.81	0.81

4. Taulako emaitzen arabera, sailkatzaileen bidez lortu dugu herrialde guztietan eGobernua erabiltzen duten herritarrek erabiltzen ez dutenetatik bereizteko gai den sistema. Bereizketa hori arrakasta handiagoz lortzen da erabilera-maila altua eta baxua duten herrialdeetan. Erabilitako bi algoritmoekin antzeko emaitzak lortu dira, baina J48 zuhaitzen azalpenen konplexutasun maila handiari erreparatuz, JRIP-en erregelak azaltzea erabaki dugu. Multzo bakoitzean asmatze-tasa handiena lortu duen JRIP sailkatzailea hautatu dugu eta haren erregelak aztertu eGobernua erabili edo ez erabiltzeko arrazoi zehatzagoen bila. 1., 2. eta 3. Irudietan ikus ditzakegu lortutako erregelak. JRIP algoritmoak erregelak baldintza-multzo gisa ematen ditu eta erregela bakoitzari klase bat esleitzen dio ($EGE=0/1$). Azken erregela defektuzkoa da, aurreko baldintzak betetzen ez diren kasua, alegia. Erregela bakoitzaren amaieran, parentesi artean alboko barra aurreko eta osteko zenbakiek hurrenez hurren, erauzitako kasu kopuru totala eta errorea adierazten dute.

1. Irudiko erregelak argi adierazten dute, Danimarkan eGobernuaren erabilerarekin ($EGE=1$) lotura gehien duen faktorea Interneten erostea dela ($INT_EROS=1$). Alegia, eGobernua ez dute erabiltzen ($EGE=0$), Interneten ez erosteko ohitura beste faktore batzuekin konbinatzen dutenek, batez ere, Interneten erabileraren maiztasun txikia ($INT_E_M=1$) edo/eta ikasketa-maila baxua dutenek ($IK_MAILA=1$).

1. irudia. JRIPeK Danimarkarako (DK) sortutako erregela-multzoa.

```
(INT_EROS = 1) and (INT_E_M = 1) => EGE=0 (559.0/184.0)
(INT_EROS = 1) and (INT_E_M = 9) => EGE=0 (188.0/32.0)
(INT_EROS = 1) and (INT_E_M = 2) and (IK_MAILA = 1) and (LAN_EG = 4) => EGE=0 (187.0/84.0)
(INT_EROS = 1) and (INT_E_M = 2) and (IK_MAILA = 1) and (SEXUA = 2) and (LAN_ESK = 1) => EGE=0 (43.0/19.0)
(INT_EROS = 1) and (IK_MAILA = 1) and (LAN_IKT = 9) and (ADINA = 2) => EGE=0 (258.0/109.0)
=> EGE=1 (20423.0/2148.0)
Number of Rules : 6
```

2. Irudiko erregelak argi adierazten dute, Grezian eGobernuaren erabilerarekin lotura gehien duten faktoreen artean aurreko kasuan bezala Interneten erostea ageri da, baina Greziaren kasuan badirudi faktore demografiko batek, ikasketa-mailak, ere eragin nabarmena duela. Salbuespenak salbuespen, Interneten erosteko ohiturarik ez dutenek (INTER_EROS=1) edo/eta ikasketa-maila baxua edo ertaina dutenek (IK_MAILA=1/2), ez dute eGobernua erabiltzeko joerarik (EGE=0) eta horien artean, beti ez bada ere, 25 urtetik behera izateak (ADINA=2) edo/eta Interneten erabileraren maiztasun txikia izateak (INT_E_M=1/2) ere eragina du. Badira erregela zehatzetan ageri diren beste aldagai batzuk ere, baina agerpen puntualagoak dituzte horiek.

2. irudia. JRIPeK Greziarako (EL) sortutako erregela-multzoa.

```
(INT_EROS = 1) and (IK_MAILA = 1) => EGE=0 (1559.0/346.0)
(INT_EROS = 1) and (IK_MAILA = 2) => EGE=0 (4196.0/1527.0)
(INT_EROS = 1) and (INT_E_M = 2) and (E_DI_SAR = 4) => EGE=0 (166.0/48.0)
(INT_EROS = 1) and (INT_E_M = 1) => EGE=0 (197.0/64.0)
(INT_EROS = 1) and (LAN_IKT = 9) and (KONP_E_M = 2) and (E_DI_SAR = 3) => EGE=0 (55.0/16.0)
(INT_EROS = 1) and (KONP_E_M = 2) and (E_DI_SAR = 1) => EGE=0 (45.0/14.0)
(INT_EROS = 1) and (LAN_IKT = 9) and (ADINA = 2) => EGE=0 (61.0/22.0)
(IK_MAILA = 1) and (LAN_IKT = 9) and (ADINA = 2) => EGE=0 (140.0/38.0)
(IK_MAILA = 2) and (ADINA = 2) and (LAN_IKT = 0) => EGE=0 (85.0/30.0)
(IK_MAILA = 2) and (INT_E_M = 2) and (SEXUA = 2) and (LAN_EG = 4) => EGE=0 (33.0/10.0)
(IK_MAILA = 2) and (INT_E_M = 1) => EGE=0 (56.0/15.0)
=> EGE=1 (6275.0/1912.0)
Number of Rules : 12
```

3. Irudiko erregelak argi adierazten dute, Errumanian eGobernuaren erabilerarekin lotura duten faktoreak gehiago direla Danimarka eta Grezian ageri zirenak baino. Kasu honetan, aurreko bietan ez bezala, lehenengo erregela multzoa, sei erregelak eGobernua erabiltzen dutenei dagozkie (EGE=1) eta defektuzkoa aldez, erabiltzen ez dutenei (EGE=0). Kasu honetan, eGobernua erabiltzeko garrantzitsua ezinbestekoa da ikasketa-maila altua izatea (IK_MAILA=3) eta lanbidea ez egotea eskulanarekin lotua (LAN_ESK=0) eta ia ezinbestekoa Internet maiz erabiltzea (INT_E_M=3), eta lanbidea ez egotea Informazioaren Teknologiekin lotuta (LAN_IKT=0).

3. irudia. JRIPeK Errumaniarako (RO) sortutako erregela-multzoa.

```
(LAN_ESK = 0) and (IK_MAILA = 3) and (INT_EROS = 3) => EGE=1 (1453.0/570.0)
(LAN_ESK = 0) and (IK_MAILA = 3) and (LAN_IKT = 0) and (INT_E_M = 3) and (SEXUA = 1) and (ADINA = 4) => EGE=1 (395.0/182.0)
(LAN_ESK = 0) and (IK_MAILA = 3) and (LAN_IKT = 0) and (INT_E_M = 3) and (INT_EROS = 2) => EGE=1 (191.0/76.0)
(LAN_ESK = 0) and (IK_MAILA = 3) and (LAN_IKT = 0) and (INT_E_M = 3) and (E_DI_SAR = 3) and (E_HAUR_K <= 0) => EGE=1 (414.0/198.0)
(LAN_ESK = 0) and (LAN_IKT = 0) and (INT_E_M = 3) and (IK_MAILA = 3) and (E_DI_SAR = 4) and (E_HAUR_K <= 0) and (ADINA = 5) and (KONP_E_M = 3) and (INT_SAR = 0) => EGE=1 (300.0/149.0)
(LAN_ESK = 0) and (LAN_IKT = 0) and (INT_E_M = 3) and (IK_MAILA = 3) and (E_HAUR_K >= 2) and (SEXUA = 2) and (ADINA = 3) => EGE=1 (22.0/7.0)
=> EGE=0 (45808.0/7987.0)
Number of Rules : 7
```

4. Ondorioak eta etorkizuneko lana

Lan honetan Eurostatek jasotako CSIS inkestak (Eurostat, 2004) abiapuntu hartuz, datu-meatzaritza prozesu oso bat gauzatu dugu Europako herrialdeetan eGobernuaren erabilera erreala zein den azertu, eta horrekin harremana duten faktoreak identifikatzeko asmoz. Horretarako, datuak prozesatu ondoren, EGEI (eGobernuaren Erabilera Indizea) definitu dugu eta hari esker ondorioztatu ahal izan dugu eGobernuaren erabilera-maila asko aldatzen dela herrialde batetik bestera, hiru tarte definituz: (1) erabilera-maila altua, eGobernuko erabiltzaileak erabiltzen ez dutenen bikoitza edo gehiago direnean (2) erabilera-maila ertaina, bi multzoak parekatuta daudenean, eta (3) erabilera-maila baxua eGobernuko erabiltzaile multzoa erabiltzen ez dutenena baino txikiagoa denean.

Ondoren, aldagaien arteko korrelazioak aztertuz, eta RIPPER erregela-multzoak erabiliz bi helburu lortu ditugu. Lehenengoa, eGobernua erabiltzen duten pertsonak erabiltzen ez dutenetatik bereizteko gai den sistema. Eta bigarrena, eGobernuaren erabilerarekin lotura duten faktore nagusiak identifikatzea. Testuinguru honetan nabarmentzekoa da erabilera-maila altua duten herrialdeetan Internet eta gainerako eZerbitzuen erabilera-ohiturek dutela eragin nabarmena eGobernua erabili edo ez erabiltzeko, eta erabilera-maila jaisten doan heinean, bizi-baldintzekin zerikusi gehiago duten beste faktore batzuk agertzen direla, hala nola, ikasketa-maila, lanbide-mota eta abar.

Ikerketa honek eGobernuaren erabilerarekin European gertatzen denaren ideia bat eman digu eta gaian sakontzeko bidea irekitzen du. Alde batetik, EGEI definitzerakoan eGobernua erabiltzea modu lausoan ulertu dugu eta badago modu zorrotzagoan ulertzea, hau da, soilik muturreko erabilera ematea ontzat. Bestalde, eGobernuko erabiltzaileak erabilerarik gabekoetatik bereizteko beste sailkatzaile batzuk erabiltzea ere badago, asmatze-tasa handiagoak lortzeko edo eta azalpenetan gehiago sakontzeko.

5. Erreferentziak

- Alshehri, M., eta S. Drew. 2010. Challenges of e-government services adoption in saudi arabia from an e-ready citizen perspective. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 66.1053–1059.
- Cohen, William W. 1995. Fast effective rule induction. In *In Proceedings of the Twelfth International Conference on Machine Learning*, 115–123. Morgan Kaufmann.
- Esteves, J., eta R.C Joseph. 2008. A comprehensive framework for the assessment of egovernment projects. *Government information quarterly* 25.118–132.
- European Parliament and Council of the European Union, 2004. Regulation (ec) no 808/2004 of the european parliament and of the council.
- European Parliament and Council of the European Union, 2016. Directive (eu) 2016/2102 of the european parliament and of the council of 26 october 2016 on the accessibility of the websites and mobile applications of public sector.
- Eurostat, 2004. Individuals using the internet for interaction with public authorities, dataset code: tin00012. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/tin00012>.
- Gonzalez, R., Gasco J., eta J. Llopis. 2007. E-government success: some principles from a spanish case study. *Industrial Management & Data Systems* 107.845–861.
- Griffin, D., Trevorrow P., eta E. Halpin. 2007. *Developments in e-government: a critical analysis.*, volume 13 of *Innovation and the Public Sector*.
- Jadi, Y., eta L. Jie. 2017. An efficiency measurement of e-government performance for united nation ranking index. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering* 11.279–282.
- Kabbar, E., eta P. Dell. 2013. *Weaknesses of the E-Government Development Index*, 111–124. Vienna: Springer Vienna.
- Layne, K., eta J. Lee. 2001. Developing fully functional e-government: A four stage model. *Government Information Quarterly* 18.122 – 136.
- Quinlan, J Ross. 2014. *C4. 5: programs for machine learning*. Elsevier.
- Seri, P., Bianchi A., eta N. Matteucci. 2014. Diffusion and usage of public e-services in europe: An assessment of country level indicators and drivers. *Telecommunications Policy* 38.496–513.
- W3C World Wide Web Consortium, 2008. Web content accessibility guidelines (wcag) 2.0.
- Witten, I.H., Frank E., eta M.A. Hall. 2011. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 3rd edition.

6. Eskerrak eta oharrak

Lan honek finantzaketa jaso du hainbat iturri desberdinetatik. Hala nola Eusko Jaurlaritzako hezkuntza saileko unibertsitateak eta ikerketa atalak sustengatzen duen ADIAN ikerketa taldetik (erreferentzia IT980-16), Euskal Herriko Unibertsitatetik (PIF15/143 beka) eta azkenik, Espainiako Gobernuko Ekonomia eta Lehiakortasun ministeriatik, ERDFak lagunduta (eGovernAbility, TIN2014-52665-C2-1-R).

Bateriaren Zahartzeaz Kontziente den Energiaren Kudeaketako Estrategiaren Sentsibilitate-Analisia

López-Ibarra, Jon Ander^{1,2}; Goitia-Zabaleta, Nerea^{1,3}; Gaztañaga, Haizea¹
eta Camblong, Haritza^{2,4}

¹ IKERLAN Technology Research Centre. Pº J.M. Arizmendiarieta 2, 20500 Arrasate-Mondragón (Gipuzkoa).

² Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). GIE, Europa plaza 1, 20018 Donostia-San Sebastián (Gipuzkoa).

³ Mondragon Unibertsitatea. Loramendi Kalea 4, 20500 Arrasate-Mondragón (Gipuzkoa).

⁴ ESTIA Institute of Technology. Izarbel Teknogunea, 64210, Bidarte (Lapurdia).

jonander.lopez@ikerlan.es

Laburpena

Artikulu honen helburua bateriaren zahartzeaz kontziente den energiaren kudeaketako estrategia baten sentsibilitate-analisia aurkeztea da. Energiaren kudeaketako estrategia baten hasierako diseinua garrantzitsua da, efizientzia-helburuak bete ditzatezen. Proposatzen den estrategia logikala ausoko kontrol-algoritmoa da, zeinaren bazkidetza-funtzioak eta irteera programazio dinamiko baten optimizazioan oinarrituta dagoen. Sentsibilitate-analisia operazio-kostuen alorrean eta bateriaren bizitzan zehar burutu da. Estrategia hau seriean konfiguraturako autobus hibrido batean inplementatua izan da. Identifikaturako aldagai sentikorrek ibilgailuaren elementu osagarrien potentzia-eskaera eta bidaiari-kopurua izan dira. Bi ondorio nagusi lortu dira analisi honetatik. Batetik, estrategia elementu osagarrien potentzia-eskaerarekiko sentikorrakoa dela. Bestetik, diseinuko hasierako baldintzak bateria zahartzen den heinean aldatzen direnez, strategiaren eguneraketaren beharra ikusten da.

Hitz gakoak: Energiaren kudeaketa, logika lausoa, autobus hibrido elektrikoa, osasun-egoera, energia biltegitratze sistema.

Abstract

The aim of this paper is to present the sensitivity analysis of a battery ageing conscious energy management strategy. The initial design of an energy management strategy is a significant point, in order to fulfil the efficiency goals. The proposed energy management strategy is a fuzzy logic control algorithm, which membership functions and output are tuned by dynamic programming optimisation. The sensitivity study has been based on analysing the operation costs within the battery lifetime. This strategy has been implemented in a series hybrid electric bus. The vehicle auxiliary power and passengers have been identified as sensitive variables. Two main conclusions have been obtained from the analysis. Firstly, the strategy is more sensitive with respect to auxiliaries demanded power. Secondly, due to the fact that the conditions used for the initial design vary within the battery lifetime, a strategy updating need is observed.

Keywords: Energy management, fuzzy logic, hybrid electric bus, state of health, energy storage systems.

1. Sarrera eta motibazioa

Gaur egun, garraio publikoa beharrezko aldaketa jasaten ari da soluzio ekologiko eta jasangarrietaruntz. Bi faktore nagusik gidatzen dute eboluzio hau, igorritako kutsadura hazten ari den kontzientziak, batez ere hiriguneetan, eta litiozko baterien prezio murrizketak (2010 geroztik ia % 79-a ¹). Hala ere, autobus hibrido eta elektrikoen inplementazioa prozesu erronkagarri bat da, inbertsio-kostu handiak behar baitira autobus konbentzionalekin konparatuz.

Ikerketa batzuek bateriaren prezioak autobusaren prezio totalan duen eragina azpimarratzen dute, % 39-

¹<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-12-05/latest-bull-case-forelectric-cars-the-cheapest-batteries-ever>

kobalioetara iritsiz (Bi *et al.*, 2015). Horretaz gain, bateriek potentzia-elektronikako sistemek baino bizitza murrituagoa dute, bateria autobusaren bizitzan botila-lepo izanik. Gainera, bateria-sistema ordezkatzeko beharrezkoa izateak, ibilgailuaren bizialdiaren gastuan eragina du, jabetzaren erabateko kostua handituz (Dufo-López, 2015; Du *et al.*, 2018). Hori dela eta, bateriaren degradazioa ibilgailuaren operazioarekin hertsiki erlazionatuta dagoela esan daiteke.

Autobus fabrikatzaileentzat, efizientzia-helburuak betetzeko, garatutako hasierako energiaren kudeaketako estrategia faktore garrantzitsua da. Hala ere, erabilitako estrategiaren hasierako baldintzak autobusaren bizitzan zehar aldatzen dira. Beraz, estrategiak baldintza aldakor hauen aurrean erantzuteko eta ahalik eta efizienteen operatzeko, estrategiaren eguneraketaren beharra ikusten da. Honetarako, influentzia gehien dituzten faktoreak identifikatu behar dira, bateriaren degradazioarekin duten eboluzioa aztertuz.

Modu honetan, bateriaren gain influentzia gehien dituzten faktoreak behin analizatuta, bateriaren zahartzea era egokiago batean kontrolatzea ahalbidetuko du, estrategia hobetuz. Ondorioz, bateriaren degradazioaren operazio-kontrolak jabetzaren erabateko kostuaren hobekuntza ekarriko du. Horrela, garraio publikoa erakargarriagoa eta bideragarriagoa bihurtuz, non, zeharka, honen erabilera sustatzen den.

2. Arloko Egoera eta Helburuak

Propultsio-sistema hibridoetara dagokienez, hainbat energia kudeaketa estrategia proposatu dira erregai kontsumoa murrizteko. Estrategia hauek, era berean, baterien kapazitate galerak murrizteko eta baterietan bizitza luzeagoa lortzeko diseinatu dira, esaterako (Tang *et al.*, 2015; Tang eta Rizzoni, 2016). Azpimarratu beharra dago estrategia hauek ez dutela bateriaren osasun-egoera (ingelesez State of Health, SOH) kontsideratzen input bat bezala. Osasun-egoera informazio baliotsua da, baterien bizitza maximizatzeko aukera ematen baitu epe luzean.

Osasun-egoerak informazio baliotsua ematen du, luzaroan bateriaren zahartzea kontrolatzea errazten baitu. Du *et al.* autoreen (2018) publikazioan, energiaren biltegitratze-sistema hibridoan oinarritzen den autobus hibridoetarako estrategia proposatzen da, bateriaren degradazioa eta erabateko kostuak murrizteko helburuarekin. Aldiz, lan honetan bateriaren bizitza luzatzeko, potentziaren kudeaketa soil a egiten da, influentzia gehien dituzten faktoreak aztertu gabe.

Lan honen helburua, bateriaren degradazioa kontrolatzeko proposatutako energia kudeaketa strategiaren sentsibilitate-analisia burutzea da. Honela, bateriaren zahartzean eragin handien dituzten faktoreak identifikatu eta ikertuko dira.

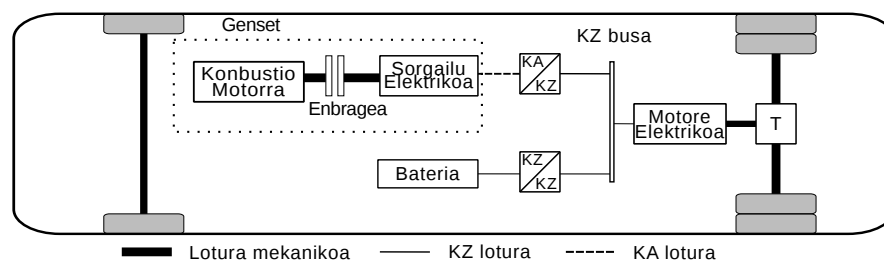
3. Ikerketa Muina eta Ondorioak

Atal honetan, ikerketa-lan honen azterketa kasua, proposatutako energia kudeaketaren estrategia eta emaitzak azalduko dira.

3.1. Azterketa Kasua

Artikulu honetan aurkeztutako kasua seriean konfiguratutako hiribus hibrido elektriko baten aplikazioa da. Mota honetako autobusen trakzioa, motore elektriko baten bidez elikatzen da, ikus 1. irudia. Gainera, konfigurazio honetan, motor elektrikoak beharrezkoa duen potentzia "Genset" (ingelesez *Genset*, GS) eta bateria-sistemaren bidez hornitzen da.

1. irudia. Seriean konfiguratutako hiribus hibrido elektrikoak.



Azterketa-kasu honen ibilgailuaren parametroak zerrendatuta daude 1. Taulan (Herrera *et al.*, 2018). Bestalde, autobusean eragina duten baldintza aldakor gisa bidaiari-kopurua eta elementu osagarriak identifikatu dira. Sentsibiltate-analisia egiteko, hiru kasu aztertu dira eta 2. Taulan azaltzen dira.

1. taula. Potentzia-trenaren elementuen ezaugarriak.

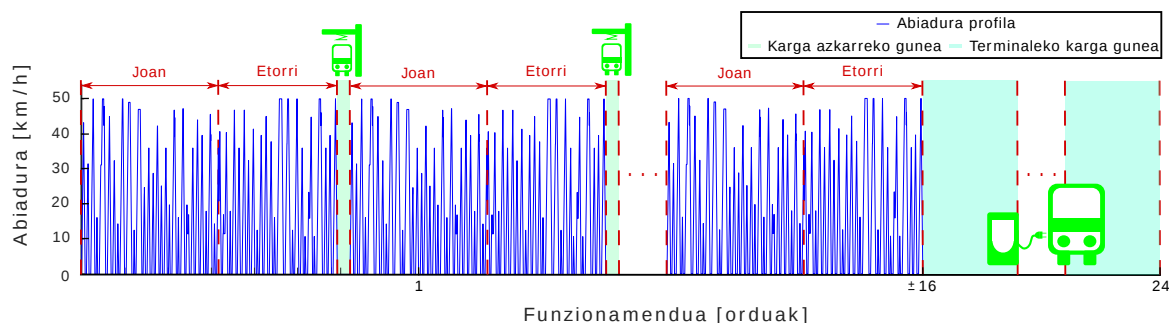
Elementua	Unitatea	Balioa
Motor Elektrikoa	Potentzia [kW]	196.5
Genset-a	Potentzia [kW]	160
Battery Pack	Tentsioa [V]	650
	Energia [kWh]	24

2. taula. Sentsibiltate-analisirako datuak.

Kasua	Bidaiari-kopurua [-]	Elementu osagarriak [kW]
Oena	0	10,5
Oinarrizko kasua	18	13,75
Okerrena	70	16,25

Matlab-eko simulazioa burutu da. Simulazio honetarako, Donostiako 28. autobus-linea erabili da erreferentzia moduan. Azpimarratu beharra dago autobus hibrido elektriko honetan erabilitako bateria joan-etorri bakoitzeko karga azkarren bidez kargatzen dela, azken bidaiari izan ezik, terminalean kargatzen baita. Azkenik, gidatze-profila 2. irudian irudikatzen da.

2. irudia. Gidatze-profila.



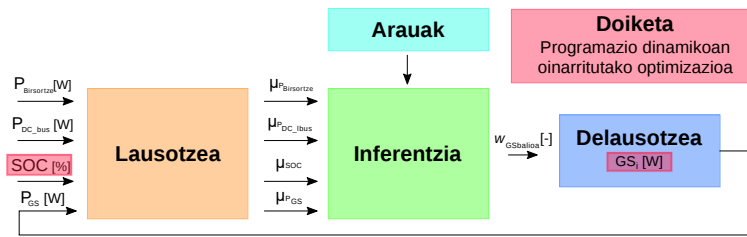
3.2. Proposatutako Energia Kudeaketaren Estrategia

”Genset”-aren eta bateriaren arteko potentzia-banaketa era apropos eta efizientean egitea konplexua da. Erregaiaren kontsumoa murrizteko hainbat faktore hartu behar baitira kontuan. Gainera, bateriaren degradazioa kudeatu nahi bada, potentzia-banaketa kudeaketeko ariketa azaltzen da. Horretarako, batetik, teknika aurreratuak eta aplikazioaren eta bateriaren ezagutza aurreratuak beharrezkoak dira. Bestetik, erregai kontsumoaren murrizketa eta bateriaren erabileraren kudeaketaren artean bidezko proportzioa zehaztu behar dira.

Testuinguru honetan, aipatutako arazoaren soluzio bezala, arauetan oinarritutako logika lausoko enegia kudeaketa estrategia proposatzen da. Logika lausoa erabiltzearen arrazoi nagusia operazio errealean gertaera aldakor deseberdinetara moldatzeko gaitasuna da, operazio errealak erantzun aldagarri ez-linealak ematen baititu. (Herrera *et al.*, 2018).

Beraz, logika lausoan oinarritutako bateriaren zahartzeaz kontzientea den energia kudeaketa estrategia proposatu da. Hurrengo azpiatalean, proposatutako strategiako logika lausoko bazkidetza-funtzioak eta doiketarako erabilitako optimizazioa deskribatzen dira. 3. irudian proposatutako logika lausoaren bloke diagrama deskribatzen da.

3. irudia. Logika lausoaren bloke diagrama.

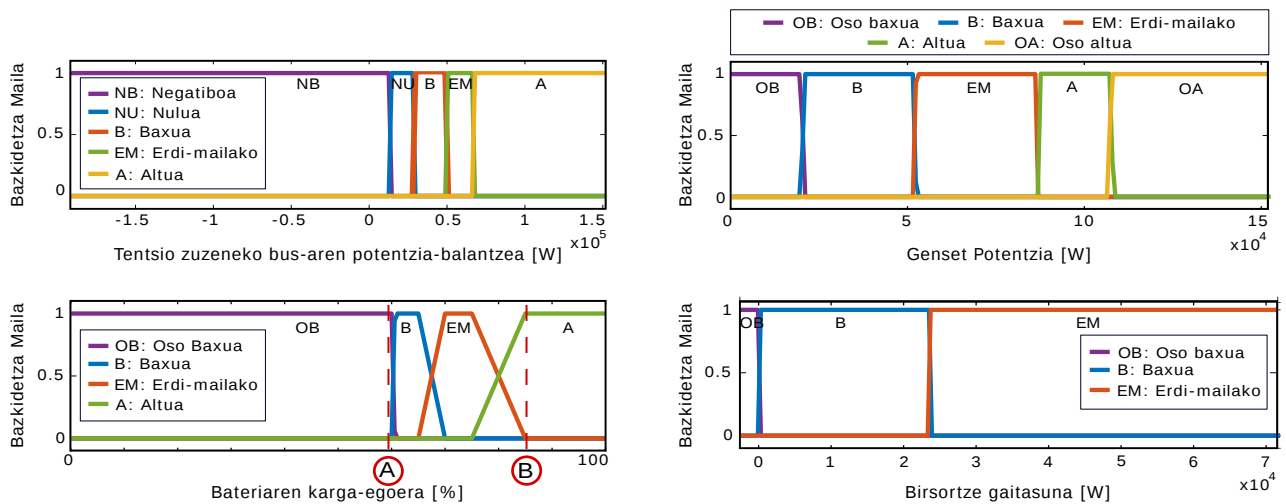


3.2.1. Logika Lausoko bazkidetza-funtzioak

Proposatutako estrategia, "Sugeno" (Takagi eta Sugeno, 1985) logika lausoko inferentzia sisteman oinarritzen da, kostu konputazional murriztua behar baitu. Erabilitako bazkidetza-funtzioak 4. irudian zehazten dira eta honela definitu dira:

- "Genset" potentzia ($P_{GS}(k-1)$ [W]): sarrerako datua aurreko "Genset" potentziaren balioa izango da, "Genset"-aren ustekabeko potentzia-eskaera ekiditeko helburuarekin.
- Birsortze gaitasuna (P_{Bir} [W]): sarrerako datua bateriaren karga maximoaren potentzia eta tentsio zuzeneko bus-eko birsortze potentziaren arteko diferentzia da, bateriaren birsortze karga maximizatuz.
- Tentsio zuzeneko bus-aren potentzia-balantzea (P_{KZbus} [W]): tentsio zuzeneko bus-aren potentzia-balantzeak definituko du, potentzia-eskaera aztertze helburuarekin.
- Bateriaren karga-egoera (ingelesez State of Charge, SOC) (SOC): Sarrera bateriaren momentuko karga-egoera da, bateria kargatu edo deskargatu behar den analizatzeko.

4. irudia. Logika lausoaren bazkidetza funtzioak.



3.2.2. Logika Lausoko Doiketa

Proposatutako energia kudeaketa estrategiaren doiketa, aplikazioaren ezagutza aurreratuan eta gidatze-profilaren lineaz kanpoko optimizazioan oinarritzen da. Tentsio zuzeneko bus-aren potentzia-balantzea [W], "Genset" potentzia [W] eta birsortze gaitasunaren [W] bazkidetza-funtzioak aplikazioaren ezagutza aurreratuaren arabera doitu dira. Bestalde, karga-egoera [%] programazio dinamikoan lortutako operazioaren balio optimoekin moldatu da.

Aurredefinituriko gidatze-profila programazio dinamikoaren optimizazioaren bidez optimizatu da. Optimizazioa ondorengo gastu funtzioarekin erlazionatzen da (J), erregai kontsumoaren murrizketarako (Sundström eta Guzzella, 2009):

$$J = \sum_{i=0}^{N-1} \Delta m_f(U(i)) \cdot T_s \quad (1)$$

non, $\Delta m_f \cdot T_s$ denbora-pauso bakoitzean ($T_s=1$ s) kontsumitutako erregai masa den, potentzia-banaketa faktoreak determinaturik (U) eta ibilbidearen luzera (N) den (Lopez *et al.*, 2018). Ondorioz, optimizatutako parametroa potentzia-banaketa faktorea da.

SHEB konfigurazioan, potentzia-banaketa faktorea potentzia-eskaeraren ($P_{esk} [W]$) zatiketa da, zeina "Genset" ($P_{GS} [W]$) eta bateria ($P_{BT} [W]$) artean zatitzen den.

$$P_{esk}(i) = \begin{cases} P_{GS}(i) = P_{esk}(i) \cdot (1 - U(i)) \\ P_{BT}(i) = P_{esk}(i) \cdot U(i) \end{cases} \quad (2)$$

Optimizazioa bateriaren erabilera maximizatzeko eta erregai kontsumoa minimizatzeko diseinatu da, aurredefinituriko karga-egoera minimo batera iristeko helburuarekin. Karga-egoera minimo hau, kargatzaile azkarrean 2,5 minututan erabilgarri dagoen potentziarekin birkargatu daitekeen energia kantitatearen arabera kalkulatu da. Optimizazio honetatik lorturiko karga-egoera optimotik, karga-egoera balio minimo eta maximoak lortu dira. Puntu hauek, 4. Irudian dauden A (karga-egoera minimoa) eta B (karga-egoera maximoa) puntuak definitzeko erabili dira

3.2.3. Logika Lausoko Irteera

Proposatutako energia kudeaketa estrategiaren irteera "Genset" potentzia [W] da. "Sugeno" deritzon logika lausoko inferentzia sisteman oinarritzen denez, irteera-balioa estatistika funtzioekin ² deslausotzen da. Diseinu honetan erabilitako estatistika funtzioa batzbesteko haztatua da. Datu bakoitzak ekarpen maila bat dauka definitutako batzbesteko haztatuen kalkuluan. Ondorioz, irteera kalkulatzeko, konstante bakoitzaren kontribuzioa beharrezkoa da. Kontribuzio hauek, errorearen hedapena deitzen den beste funtzio estatistiko batekin kalkulatu dira, Ek. (3). Kasu honetan, logika lausoko arauak (k_{araua_n}) "Genset" potentzia balio bakoitzean ($k_{GSbalioa}$) kontribuzio maila bat dute.

$$k_{GSbalioa} = \sqrt{k_{araua_1}^2 + k_{araua_2}^2 + \dots + k_{araua_n}^2} \quad (3)$$

Kontribuzio maila lortu ondoren, batzbesteko haztatua aplikatu daiteke, "Genset" ($GS_{irteera}$) irteera-balioa lortzeko. Ondorengo formularen bidez, "Genset" irteeraren balioa kalkulatu da:

$$GS_{irteera} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{GSi} \cdot GS_i)}{\sum_{i=1}^n k_{GSi}} \quad (4)$$

non, $GS_i [W]$ "Genset" konstanteak diren, n konstante kopuruarekin definituta eta k_{GSi} konstante bakoitzaren balioek definitzen duten.

GS_i programazio dinamikoan optimizatutako balioekin doitu da. Kasu honetan, "Genset" optimizatuaren balio minimo, kuantil 25, 50 eta 75 eta balio maximoen bidez doitzen da.

3.3. Lortutako Emaitzak eta Analisi

Atal honetan, proposaturiko estrategiaren sentsibilitate-analisi bat jarduten da. Analisi honetarako, autobusaren elementu osagarrien potentzia-eskaera eta bidaiari-kopurua identifikatu dira puntu sentikor gisa. Hauen eragina ebaluatzeko, 2. Taulan aurkeztutako azterketa egoera ezberdinen simulazioak jorratu dira.

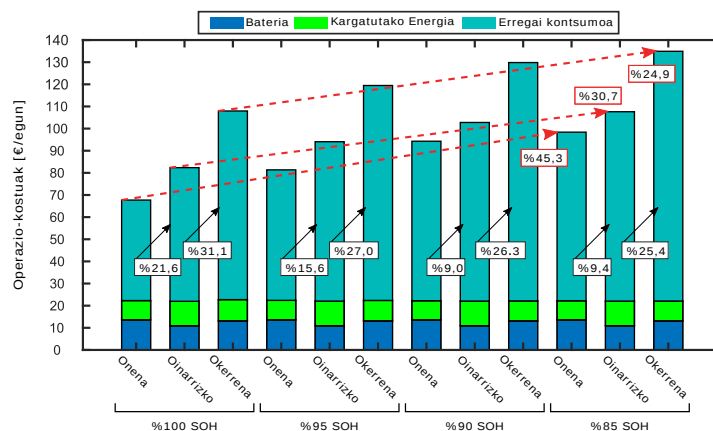
3.3.1. Elementu osagarrien potentziarekiko sentsibilitate-analisia

Lehen analisi honetan, energia kudeaketa estrategiak elementu osagarrien potentziaren sentsibilitate-analisia aurkezten da 5. irudian. Oinarritzko kasua erreferentzia gisa hartuz, kasurik onenarekiko operazio kostuak % 21,6-raino garestitzen dira. Okerreneko kasuarekin alderatuz, oster, % 31,1-erainoko murrizketa lortzen da. Horretaz

²<https://es.mathworks.com/help/fuzzy/sugfis.html>

gain, bateriaren osasun-egoera okertzen den heinean, hiru kasuen arteko diferentzia murrizten dela hauteman da. Kasu bakoitza bere buruarekin alderatuz, bateriaren bizitza murrizten doan heinean, operazio kostuak garestitzen dira % 45,3, % 30,7 eta % 24,9 kasurik onenean, oinarritzko kasuan eta kasurik okerrenean, hurrenez hurren.

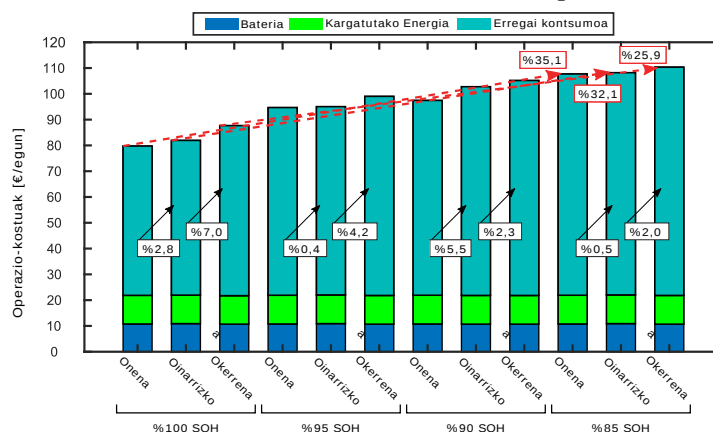
5. irudia. Elementu osagarrien potentziarekiko sentsibilitate-analisia.



3.3.2. Bidaiari-kopuruarekiko sentsibilitate-analisia

Bigarrenik, aurkeztutako estrategiaren sentsibilitate-analisia gauzatu da bidaiarien aldakortasunaren arabera. Aurkeko analisisian bezala, oinarritzko kasua muturreko kasuekin konparatu da, ikus 6. irudia. Alde batetik, kasu onenean, autobusak bidaiaririk gabe bidaiatzen du. Bestetik, kasu okerrenean, autobusak beregan eraman ditzakeen bidaiari-kopuru maximoarekin operatzen du. Ikerketa honetan ere, oinarritzko kasua onenaren eta okerrenean tartean gelditzen da, non gehienez % 2,8-ko kostu igoera eta % 7,0-ko jaitsiera dituen, hurrenez hurren. Nabarmena da baita ere bateriaren bizitza murrizten den heinean, hiru kasuen arteko kostu diferentzia murrizten dela. Kasu bakoitzaren bilakaera ikertuz, bateria zahartzen doan heinean, operazio kostuak garestitzen dira % 35,1, % 32,1 eta % 25,9 kasurik onenean, oinarritzko kasuan eta kasurik okerrenean, hurrenez hurren.

6. irudia. Sentsibilitate-analisia bidaiari-kopurua aldatuz.



3.4. Ondorioak

Ikerketa honetan bateriaren zahartzeaz kontziente den energiaren kudeaketako estrategiaren sentsibilitate analisia aurkeztu da operazio-kostuen alorrean. Sentsibilitate-analisi honetarako bi puntu sentikor identifikatu dira: elementu osagarrien kontsumoa eta bidaiari-kopurua. Puntu sentikor bakoitzean, muturreko oinarritzko base batekin konparatzen dira. Elementu osagarrien potentzia-eskaerari dagokionez, kasurik onenean operazio-kostuek % 21,6-rainoko jeitsiera dute eta, kasurik okerrenean, % 31,1-erainoko igoera. Bestalde, bidaiari-kopurua aztertuz, kasurik onenak % 2,8-ko murrizketa du eta, aldiz, kasu okerrenean % 7,0-ko igoera, oinarritzko kasuarekin konparatuz.

Gainera, bi puntu sentikor horietan, bateria zahartzen doan heinean, hiru kasu hauen arteko operazio-kostuen diferentzia txikiagotzen da.

Azpmarratzekoa da ere, kasu bakoitzean operazio-kostuek igoera jasaten dutela bateriaren bizitza murrizten den heinean. Hori ez gertatzeko, estrategia eguneratu behar dela ondorioztatzen da, operazio-kostuak jeitsi daitezkeen.

Azkenik, bi sentibilitate-analisiak konparatuz, nabarmena da estrategia potentzia elementu osagarrien aldaketekiko sentikorrakoa dela. Alde batetik, oinarritzko kasua kasu onenarekin konparatuz, % 21,6-eraino garestitzen da, bidaiarien analisiko % 2,8-ko kostu igoeraren kontra. Bestetik, oinarritzko kasua kasu okerrenarekin konparatuta, % 31,1-erainoko murrizketa lortzen da, bidaiarien ikerketako % 7,0-ko kostu jeitsierarekin alderatuz.

4. Etorkizuna

Ikerketa honek hasiera batean diseinatutako estrategia epe luze batean eguneratzeko ildotik jarraituko du. Eguneraketa honek autobusaren operazio-kostuak murrizteko eta bateriaren bizitza luzatzeko helburua izanik.

5. Erreferentziak

- Bi, Zicheng, Lingjun Song, Robert De Kleine, Chunting Chris Mi, eta Gregory A. Keoleian. 2015. Plug-in vs. wireless charging: Life cycle energy and greenhouse gas emissions for an electric bus system. *Applied Energy* 146.11–19.
- Du, Jiuyu, Xiaobin Zhang, Tianze Wang, Ziyu Song, Xueqing Yang, Hewu Wang, Minggao Ouyang, eta Xiaogang Wu. 2018. Battery degradation minimization oriented energy management strategy for plug-in hybrid electric bus with multi-energy storage system. *Energy* 165.153–163.
- Dufo-López, Rodolfo. 2015. Optimisation of size and control of grid-connected storage under real time electricity pricing conditions. *Applied Energy* 140.395 – 408.
- Herrera, V. I., A. Milo, H. Gaztañaga, J. Ramos, eta H. Camblong. 2018. Adaptive and non-adaptive strategies for optimal energy management and sizing of a dual storage system in a hybrid electric bus. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 1–13.
- Lopez, Jon Ander, Victor Isaac Herrera, Aitor Milo, eta Haizea Gaztañaga. 2018. Energy Management improvement based on Fleet Learning for Hybrid Electric Buses. In *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 2–7, Chicago, IL, USA, USA. IEEE.
- Sundström, Olle, eta Lino Guzzella. 2009. A Generic Dynamic Programming Matlab Function. *18th IEEE International Conference on Control Applications, Saint Petersburg, Russia* 1625–1630.
- Takagi, Tomohiro, eta Michio Sugeno. 1985. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* SMC-15.116–132.
- Tang, Li, eta Giorgio Rizzoni. 2016. Energy management strategy including battery life optimization for a HEV with a CVT. *2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific, ITEC Asia-Pacific 2016* 549–554.
- , —, eta Simona Onori. 2015. Energy management strategy for HEVs including battery life optimization. *IEEE Transactions on Transportation Electrification* 1.211–222.

6. Eskerrak/Aipamenak

Lan hau partzialki babestuta egon da Gipuzkoako Foru Aldundiagatik, On-Mobility proiektupean (Gipuzkoako Zientzia, Teknologia eta Berrikuntza Sarea Programa). Lan hau "Ecological Vehicles and Renewables Energies 2019" kongresura aurkeztutako lanaren jarraipena da.

Kaleetako begien algoritmo generatiboa. Hiri-segurtasuna

Galdeano Pérez, Iñigo

*Diziplinarteko Estrategia Zientifikoak Ondarean eta Paisaian (DEZOP) Doktorego
Programa eta Udalbiltza partzuergoaren Ikerbiltza programa
igaldeano002@ikasle.ehu.eus*

Laburpena

Lan honetan Zaintza Natural Pasiboa kalifikatzeko algoritmo generatibo baten bitartez diseinu arkitektonikoaren potentzial kriminologikoa aztertzen da, non Zaintza Naturala Krimenaren Prebentzioa Ingurumen Diseinuaren Bitartezko metodologiaren lehen mailako gidalerroa baita. Delitua fenomeno sozial gisa ulertuz, biztanleria eta hiri ingurunea bereizezinak direla onartuz eta eskuhartze eremua Bilbo Metropolitarraren Lurralde Plan Partzialaren ezker eta eskuin aldeko herriak izanez, lan honetan Ordenagailuz Lagundutako Diseinuaren aplikazio software berriek diseinatzaile, ingeniari eta arkitektoei zabaltzen dizkieten aukerak erakusten dira.

Hitz gakoak: Arkitektura, Hirigintza, Segurtasuna, Algoritmoa

Abstract

This work investigates the criminological potential of the architecture through the design of a generative algorithm which qualifies the Passive Natural Surveillance, a guideline of the Crime Prevention Through Environmental Design methodology. Understanding the crime as a social phenomenon, accepting the indivisibility of the person and the environment and investigating the right and the left side of the Bilbao Metropolitan Area, this paper shows the possibilities granted by the new Computer Aided Design software to the designers, engineers and architects.

Keywords: Architecture, Urbanism, Security, Algorithm

1. Sarrera eta motibazioa

Behin batean basoa beldurgarria zen. Lamien, gauekoen eta sorginen basoa zen. Aiton-amonen eta ipuin kontalarien kondairen basoetan etsaiak eta tranpak edonon ezkutatzen ziren. Pertsonaia basoan barrentzen zenean, beldur ginen. Bagenekielako zerbait gerta zitekeela, bagenekielako zerbait gertatuko litzatekela. Kontaera geldotzen zen. Ahotsak larriagotzen ziren. Txarrena espero genuen, txarrena zelatatzen ari zelako.

Behin batean etxe artean, herri txikietan, hirietan seguru sentitzen ginen, gure mundua zelako. Baina hamarkada gutxi batzuetan dena aldatu da. Gure gizarteko aldaketarik azkar eta erraldoiena pairatu dugu. Gaur, basoa eder eta argitsu bihurtu da. Desira eta ametsen gunea. Berriz, gure hiriak itsusia, zikina eta grisa da.

Azken hamarkadetan, nagusiki azken 50 urtetan, hiriak, truke eta bizikidetzaren oinarria, bere potentzial komertziala ohartu du eta ongizate, komunitate eta orekaren printzipioak aldendu ditu onura eta probetxu ekonomikozko printzipioak jarraitzeko. Hiriak saldu da. Hiriak saldu dugu.

Pobreak periferietara bidali ditugu, etxe berri eta berdinetara. Hiriguneak bulego, banku, fastfood, multinazional eta etxebizitza aberatsez josi ditugu. Iluntzean hiriguneak husten dira, arriskutsu bilakatuz. Gaur, jende askori bakarrik ibiltzeak beldurra ematen dio, hiriak gure arbasoen basoa bihurtu delako (Tonucci,1996).

Kondairak aparte, Erromako erorialdia eta XI. mendearen artean mendebaldeko hiriak mende bortitz eta zalantzarik pairatu zituen, edozein une azken unea izan zitekeelako. Hori dela eta, babesaren beharra gainerakoen artean gailendu zen eta hiriak haien biztanleei segurtasuna eskaintzeko sortu ziren (Mumford, 1938).

Paradoxikoki segurtasun mailarik altuena lortu dugunean nazioarteko postulatu teoriko guztiek diote hiriak segurtasun ezaren habitat bihurtu direla.

Historia materialismo feminista arkitektonikotik (Hayden, 1984) irakurriz gero, trantsizio hau azaldu daiteke. Behinola merkatu egunean eguneroko edo etxeko beharrak asetzen ziren. Zoritxarrez, XVII. menderako hirietan egun guztiak merkatu egunak ziren. Erosketak gero eta ez funtsezkoagoak ziren, eta ekoizle eta kontsumitzaile ere gero eta anonimoagoak. Mendez mende eredu kapitalista azkar hedatu zen eta gaur egun azkenean, jabetza pribatuak langileria eta gizartea ez ezik hiri ere alienatu du. Gaur, etxebizitzatik kanpo topatzen ditugun espazio publikoak gure heterotopiarik beldurgarrienak dira. Besteen hiriak. Ez-hiriak (Augé, 1993).

Hots, gure belaunaldiak elektrizitatearen aurreko iluntasuna ahaztu omen du. Duela ez asko, mundua iluna zen. Ehun kandela beharko lirateke bonbilla baten argiztapena sortzeko. Areago, gaur hozkailuko argiak XVIII. mendeko etxe batek baino argiztapen gehiago dauka (Bryson, 2010). Gure kaleak inoiz baino argitsuagoak dira, inoiz baino seguruagoak dira. Baina paradoxikoki, nahiz eta kaleak argi, funtzionario armatu, bideokamera, sentsore, identifikazio algoritmo eta pribatutasun murrizketek bete, hiri-segurtasunaren binomioa oximoron bihurtu dugu.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Hiri errealitate berri honetan arkitekturak badu zeresanik, segurtasuna kale eta espazio publikoko funtsezko zeregina delako. Eta ulertu behar da gaurko militarizazioak ez duela bakea bermatuko, ez delako existitzen polizia kopuru nahikorik hiri alienatu bat babestu ahal izateko (Jacobs, 1962).

70eko hamarkadatik segurtasuna gai politiko nagusi bezala gailendu da eta harrezkero botere ekonomiko eta sozial berri honetan garaitzeko gaitasun, baliabide eta denbora dauzkatenek sentimendu subjektibo hau manipulatzan dute. Gaur, eskolak klasiko eta positibista aldenduz, ukaezina da segurtasuna posizio sozialaren eta generoaren eskutik datorrela.

Beraz ikerketa honek, militarizazio honen alternatiba arkitektonikoak bilatzeko, forma, genero eta segurtasunari buruz dihardu. Hau da, nahiz eta arkitektoniko eta morfologikoa izan, marko teoriko eta dialektiko feminista eta kriminologiko batean sostengatzen da. Hirugarren olatu feministan eta hirugarren eskola kriminologikoan.

Beste aldetik, ikerketa honen ikuspegiak eta aplikazio eremuak Euskal Herrian gaurkotasun, egokitasun eta adierazgarritasun soziala bilatzen dituzte, euskal hirigintzako arautegian ‘segurtasun’ terminoa 2016an lehen aldiz agertu zelako. Euskal-Hiria Kongresuko Lurralde Antolamenduaren Gidalerroen (LAG) aurrerapenean. Laburki eta kapitulu berri batean agertu zen; ‘10.1 Zeharkako Gaiak: Genero Ikuspegia’.

Ondorioz, deskribatutako markoak kontuan hartuz ikerketaren helburu nagusia da diseinu arkitektonikoaren potentziala aztertzea segurtasunaren arloan. Zehazki, algoritmo generatibo bat parametrizatzen da hiri eremu desberdinen Zaintza Natural Pasiboa kalifikatzeko.

3. Ikerketaren muina

Non gauden eta nora goazen jakin badakigu, ikus badezakegu eta besteek gu ikus bagaitzakete, entzun badezakegu eta besteek guri entzun badezagukete hiri ingurunea seguruagoa izango da. Eta seguru sentitzen garenean, hobeto gaudela nabaritzen dugu, lasaiago, ez horren nekaturik. Libreago sentitzen gara, autonomia gehiagorekin. Hiritar guztiek espazio publikoan berdintasunez parte hartzeko segurtasunaren pertzepzio hau izatea ezinbesteko baldintza da, seguru sentitzeak oinarritzko eskubidea delako (Albeniz et al., 2010).

Jane Jacobsek hiri diseinu seguruen oinarriak erneki azaldu zituen ‘Hiri Amerikar Handien Heriotza eta Bizitza’ liburuan. Laburbilduz, hiriak eta kaleak bizirik daude. Belarri eta begiak dauzkate (Jacobs, 1962).

Baina hiria saldu zenetik, alienatua izan zenetik itsu eta gorra da. Ez-hiriei komunitateak suntsitu dituzte, herriaren begi eta belarriak suntsitu dituzte eta kapitalak haien ordean anaia handiaren begi eta belarriak ezartzen dizkigu. Kaleek ikusi behar dutelako. Entzun behar dutelako. Baina ezin dugu ahaztu, poliziaren eskuhartzean oinarritutako konponbideak, osasunean ebakuntzak bezalakoak direla; beharrezkoak, baina saihestu beharrekoak (Román, 2002).

Hirietan bi begi mota daude; aktiboak eta pasiboak. Gure auzoetako biztanleen begi eta belarriei gain, zeinek Zaintza Natural Aktiboa osatzen baitute, eraikuntzen begi eta belarri arkitektonikoak topa ditzakegu. Eraikinek begiak dituztelako. Leihoak begiak izan litzatekelako, Zaintza Natural Pasiboaren begiak.

Begi pasiboak zeren leihoaren beste aldean pertsona bat egon edo ez egon arren betiereko zaintza sentimendua sorrarazten baitigute. Nahiz eta inor ikusi, ikusiak izaten sentitzen ari garelako. Adibidez, gure auzoetan horma opaku baten ondoan edo beirate eta erakusleioez beteriko fatxada baten ondoan ibiltzeak sentipen desberdinak sorrarazten dizkigu.

Arkitekturan betiereko zaintza sentimendu hau aspalditik ustatua izan da, bai erdiko ikuskapen espetxeetan Jeremy Benthamen panoptikoa jarraituz, bai fabriketan non patronalaren eta langilearen arteko harreman asimetrikoak islatzen baitira.

Gaur, begi pasibo hauek, leihoak edo ateak zenbatu daitezke, kokatu daitezke eta teknologia berrien bitartez, algoritmo generatibo baten bitartez ikusten dutena neur dezakegu.

3.1. Krimenaren Prebentzioa Ingurumen Diseinuaren Bitartez

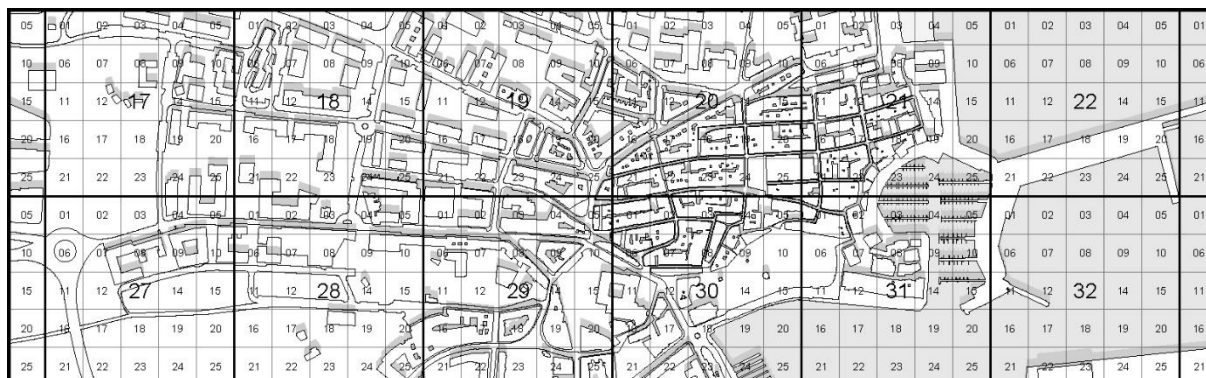
Forma, genero eta segurtasunari buruz dihardugunean, ez dago errezeta konkreturik hiri ingurune segurua eraikitzeko. Gai konplexua da. Hori dela eta, nahiz eta azken hamarkadetan kaleetako begiek izen asko izan, ikerketa hau nazioarteko metodologia zehatz batean zentratzen da. Australian, Kanadan, Estatu Batuetan, Herbeheretan, Erresuma Batuan, Hegoafrikan, Txilen eta beste herri askotan ezarritako Krimenaren Prebentzioa Ingurumen Diseinuaren Bitarteko metodologian. CPTED metodologia ingelesezko siglen arabera (Crime Prevention Through Environmental Design).

Metodologia horrek Zaintza Naturaleaz gain lehen mailako beste lau lurralde antolaketarako kontzeptu ditu eta bere siglek azaltzen duten bezala krimenen prebentzioa bilatzen dute diseinu arkitektonikoaren bitartez (Fennelly, 2013):

- 1) Sarreraren Kontrol Naturala
- 2) Zaintza Naturala
- 3) Lurralde Errefortzua
- 4) Mantentze Lanak
- 5) Parte Hartze Komunitarioa

Gidalerro hauek globalak, osagarriak eta disziplina anaitzekoak dira, ez dira baldintza edo eskakizun bereiziak Lurralde Antolamenduaren Gidalerroetan xedatutako estandarrak bezala. Gainera, nahiz eta herri bakoitzean era batean aplikatu, nahiz eta urtez urte aldatu, gidalerro hauek hiri eredu zehatz bati erantzuten die, hiri eredu zehatz bat osatzen dutelako (Atlas, 2013). Metodologia honetan gidalerro bakoitzak besteen beharra du eta bat falta izanez gero, hiri eskuhartzeak ez zuen izango ez kohesiorik, ez pragmatismorik (Sevillano, 2018).

2. irudia. Bermeoko lauki sarearen zatia, 1:1000 eskalan.

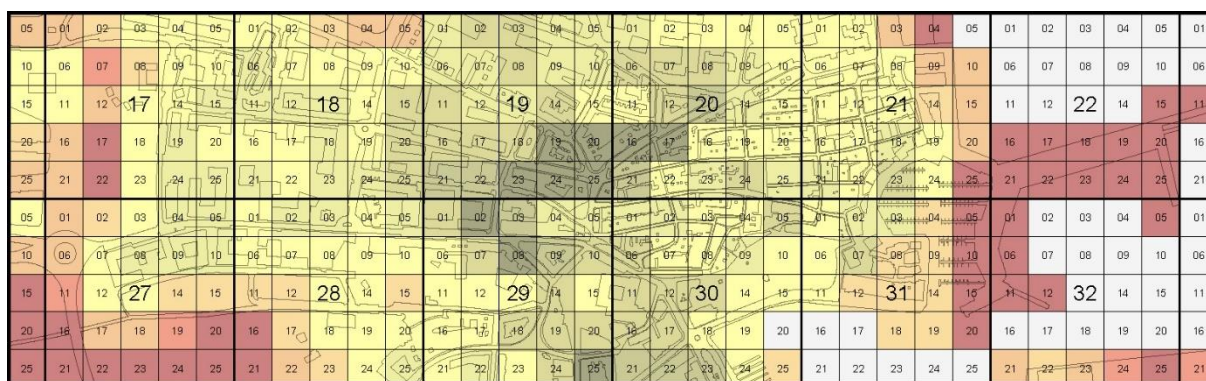


Behin lauki sarea irudikatuta, algoritmoak begi pasibo guztien ikuseremua kalkulatzen eta irudikatzen du. Hau da, leiho eta ate guztien koordinatuak identifikatzen ditu, eta haien altuera, neurriak eta erabilerak kontuan hartuz ikuspuntu bakoitzari ikuseremuaren erradioen neurriak kalkulatzen dizkio.

Eta azkenik, algoritmo berak irudikatutako begi pasiboen ikuseremuak eta lauki sarearen datuak uztartzen ditu lauki bakoitzaren ikusgaitasuna kalkulatzeko. Alde batetik, espazio publikoaren azalera neurtzen dira. 50 bider 50 lauki sarea izan arren, lauki bakoitzak azalera erabilgarri desberdin bat daukalako. Eta beste aldetik, lauki bakoitzean ikuseremuen azalera neurtzen eta batzen dira. Besterik ez, ikusgaitasuna kalkulatzeko bi datu hauek uztartzen dira.

Printzipioz emaitzak zenbakizkoak dira, baina erraz ulertarazteko algoritmoak koloredun eskala batean adierazten ditu, JPEG formatuan. Horrela, Bermeoko adibidean ikusten den bezala, laukia berdea ateratzen bada, eremu horrek Zaintza Natural Pasibo optimoa edukiko du. Eta berriz, gorria ateratzen bada, txarra.

3. irudia. Bermeoko Zaintza Natural Pasiboaren maparen zatia, 1:1000 eskalan.



Argi dagoenez, gero eta algoritmo konplexuagoa orduan eta emaitza errealagoak lortuko dira. Hala ere, bilatzen dena ez da hiperrealismoa baizik eta hiritar ororentzako ulergarriak diren mapak. Hiri segurtasunari buruz dihardugunean hiritar guztien partehartze komunitarioa ezinbesteko baldintza delako. Beraz, koloredun eskalaren sinplifikazioan informazioa galdu arren, haur eta adinekoen parte hartzea errespetatzen da. CPTED metodologiaren beste gidalerroak errespetatzen dira.

4. Ikerketaren egoera eta ondorioak

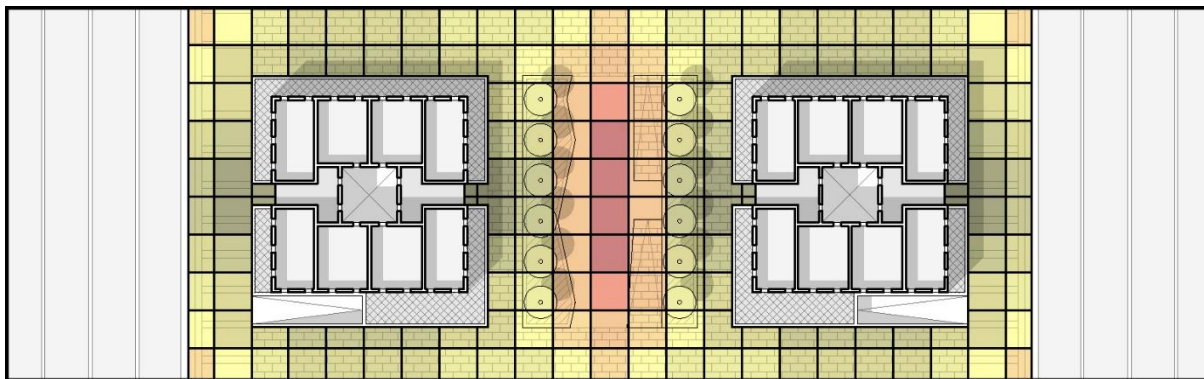
Udalaren interesagatik eta herriaren tamainagatik algoritmoaren programazio probak, eskalak eta parametroak Bermeoko herrian garatu ziren. Berriz, probak eta algoritmo desberdinak baztertu eta gero, Zaintza Naturalaren potentziala eta aukeratutako algoritmoaren bideragarritasuna aztertze eremu handi eta heterogeneoagoa hartzea erabaki zen.

Gaur egun, ikerketaren azken fasearen argitaratuak ez izan diren ondorioak antolatzen eta transkribatzen ari dira. Azken fase honetan, herri eta eskualdeko emaitza partzial eta orokorren irakurketarako polizia eta udal talde guztiekin bilerak antolatu izan dira, non morfologiaren arteko konparazioak sortzeaz gain, hiri eremu berri, komertzio, azpiegitura, ekipamendu eta beste lurralde osagaien garrantzia eta eragina aztertu eta eztabaidatu baitziren.

Ikerketaren azken fasean, gizarte eragile desberdinekin ospatutako bileretan, emaitza partzial eta orokorrak eztatidatzeaz gain algoritmo generatibo honen erabilera berriak aztertu ziren. Parametrizazioaren aldaketak, eskala berriak, osagai desberdinak eta abar.

Azken finean, algoritmo generatiboak behar eta nahien arabera egokitu daitezkeen parametroz beteriko sareak dira.

6. irudia. Zaintza Natural Pasiboaren batezbestekoa, 1:100 eskalan.



Beste aldetik, polizientzako Zaintza Natural Pasiboaren mapak eta datu kriminologiko georreferentziatuen uztarketa oso interesgarria izan da. Era berean, udal Berdintasun Saitetan, Hiri Debekatuaren Mapen parte hartze prozesuetarako edo puntu beltzen identifikaziorako zaintza mapak osagai eta laguntza bihur daitezkeela ondorioztatu zen.

Gainera, parametrizazio hau analisirako ez ezik diseinurako ere erabil daiteke, eta eraikuntza prozesua hasi baino lehen diseinatutako proiektu desberdinen Zaintza Natural Pasiboaren kalifikazioak aztertu eta konparatu daitezke. Bai arkitekturan, bai hirigintzan diseinu algoritmikoaren aukerak kontaezinak dira.

Bukatzeko, ospatutako bileretatik ateratako ondorio bezala esan daiteke, 2016tik euskal hirigintzan teknologia berriak eta segurtasuna gailentzen ari direla. Apurka, gero eta ohikoagoak izango direla. Gero eta arau zurrunagoak izango ditugula. Baina arautegiak baino lehen, hiriak desalienatzeari ekin behar diogula. Herritik, eta unibertsitatetik ere, hiriak berreskuratu behar ditugula, gaur gure heterotopiarik beldurgarrienak direlako. Besteen hiriak. Ez-hiriak.

6. Erreferentziak

- Albeniz, A. (2010): Hiri analisirako manuala. Generoa eta eguneroko bizitza, Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia, Donostia.
- Atlas, R. I. (2013): 21st Century Security and CPTED: Designing for Critical Infrastructure Protection and Crime Prevention, CRC Press, New York.
- Auge, M. (1993): Non-Places Introduction to an Anthropology of Supermodernity, Verso, London.
- Bryson, B (2010): At Home. A Short History of Private Life, Doubleday, London.
- Fennelly, L (2013): Crime Prevention Through Environmental Design, Butterworth-Heinemann, London.
- Hayden, D. (1984): Rediseñando el sueño americano, W.W. Norton, New York.
- Jacobs, J. (1962): The death and life of great American cities, Random House, New York.
- Mumford, L. (1938): The Culture of Cities, Harcourt Brace, New York.
- Román, M. et al. (2002): Mapa de la Ciudad Prohibida para las Mujeres. Una experiencia de participación con las mujeres jóvenes, Area de Igualdad del Ayuntamiento de Basauri, Basauri.
- Sevillano, J. (2018): Ciudad, seguridad y delito. La prevención del crimen mediante el diseño ambiental, Editorial Club Universitario, Alicante.
- Tedeschi, A. (2014): AAD Algorithms-Aided Design. Parametric strategies using grasshopper, Le Penseur Publisher, Milano.
- Tonucci, F. (1996): La citta dei bambini, Laterza, Bari.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan hau Diziplinarteko Estrategia Zientifikoak Ondarean eta Paisaia (DEZOP) Doktorego Programan garatzen ari den ikerketatik eratorria da. Orain arte, Arcadia 5 nazioarteko kongresuan

(Donostia, 2018), MoMoWo nazioarteko sinposioan (Turin, 2018) Kritika Ekonomia Politikoaren EHUKo nazioarteko kongresuan (Bilbao, 2018) eta MoMoWo nazioarteko 3. Kongresuan (Oviedo, 2017) azaldutako ikerketatik eratorria.

Azkenik, esker ona adierazi nahiko genioke Udalbiltza partzuergoaren Ikerbiltza programari doktoregaiaren eta udalen zein eragileen arteko bitartekaritza zerbitzuagatik.

Iruñeko Udaletxeko erloju mekaniko zaharraren zaharberritzea

Claver, Adrian; Aginaga, Jokin; Iriarte, Xabier eta Pintor, Jesús María
Ingeniaritza Mekaniko Aplikatua eta Konputazional (IMAC) ikerketa-taldea
Nafarroako Unibertsitate Publikoa. Arrosadia campusa
claver.100460@unavarra.es

Laburpena

Erloju mekanikoak doitasunezko mekanismoak dira, engranaje, espekaz eta eragingailuz osatuak. Halakoa da Iruñeko udaletxean ia 150 urtez ordua eman zuen erloju mekanikoa. 1827. urtean eraiki zuten, Iruñeko udaletxean jarri zuten 20 bat urte beranduago, eta bertan eman zuen ordua 1991n ordezkatu zuten arte. Hemen azaltzen dugun lanaren bitartez, erlojua zaharberritzeari ekin diogu, eta martxan jarri dugu berriz ere, mekanismo konplexu honek utzi digun ondare teknologikoa balioan jartzeko helburuarekin. Zaharberritze-lanak bukatutakoan, Iruñeko Planetarioan egongo da erakusgai.

Hitz-gakoak: dorre-erloju monumentalak, zaharberritzea, ondare historikoa, yereguitar erlojugileak

Abstract

Mechanical clocks are accurate mechanisms composed of gears, cams and actuators. Such a mechanism has struck the hour during 150 years in the Town Hall of Pamplona. Built in 1827, about 20 years later it was brought to the City Hall and it was functioning until its replacement in 1991. This clock has been restored and started up, with the aim of highlighting the technological heritage given by such complex mechanism. The clock will be exposed at the Planetarium of Pamplona.

Keywords: Monumental tower clocks, restoration, historic heritage, Yeregui clock-makers family

1. Sarrera eta motibazioa

Dorre-erloju monumentalak, herri guztietako elizetan edo udaletxeetan izaten diren altxor mekanikoak dira. Doitasunezko mekanismo ikusgarriak dira, engranaje, espekaz eta eragingailuz osatuak, eta grabitate-indarra dute energia-iturri. XVII. mendean pendulu-erlojua asmatu zenetik XX. mendearen erdialdean erloju elektronikoak asmatu ziren arte, dorre-erloju monumentalek herri eta hirietako erritmoa markatu zuten mundu osoan zehar. Euskal Herrian ere hala izan da, eta Yeregui abizeneko erlojugileen familia dugu horren adibide nagusietako bat. Yeregui Elkartearen erlojuen historia berreskuratu, eta haien ondare teknologiko eta kulturala balioan jartzeko sortu zen. Yeregutarrak bost belaunaldiz aritu dira erlojugintzan. Familia horrek egindako erlojuen artean, Iruñeko udaletxeko erlojua dago, Juan Manuel Yeregui 1827. urtean eraikitakoa (ikus 1. irudia). Hori da, hain zuzen ere, lan honekin zaharberritu eta martxan jarri den erlojua.

1.irudia. Zaharberritu den erlojuaren mekanismoa.



2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Makinen eta Mekanismoen Historiaren jakintza-arloak (MMH) duen helburua garai guztietako ingeniartza-lanen azterketa eta zabalkundea da. Arloa jorratzeko, IFToMM federazioak (International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science) MMHko Batzorde Iraunkorra sortu zuen 1973an (Ceccarelli, 2004). Azken hamarkadetan, ingeniari eta ikertzaile askok landu dute MMH arloa, mekanismo historikoen funtzionamendua sakon aztertzeko, eta, besteak beste, orain arte egindako lanen eragin historikoa ezagutzera emateko eremu teknikoan eta kulturalean. Horren lekuko ditugu mekanismo historikoen berreraikuntza birtualak (Yan eta Hsao, 2007; Villar-Ribera et al., 2011) eta errealak (Aginaga García et al., 2016; López García et al., 2004), zeinak unibertsitate askotan egin baitira.

Ikerketa-lan honetan, berreraikuntza birtuala egin ordez, 150 urtez martxan egon den erloju baten zaharberritze-prozesua azaldu nahi dugu, Iruñeko udaletxeko erloju mekanikoarena, hain zuzen ere. 1827. urtean eraiki zuten, eraikin horretan egon da urtez urte ordua ematen 1991. urtean ordezkatu zuten arte. Ordutik 2018ra arte, geldirik egon zen, eta iaz hasi ziren erlojua zaharberritzen. Zaharberritze-lanen helburu nagusia erlojua berriz martxan jartzea da, leku publiko batean funtzionatzen edo “bizirik” erakutsi ahal izateko.

3. Ikerketaren muina

Atal honetan, historian kokatuko dugu zaharberritu den erlojua. Gero, erloju zaharra berritzeko prozesua, haren funtzionamendua eta egin behar izan ditugun kalkuluak azalduko ditugu.

3.1. Erloju mekanikoen sorrera

Denbora neurtzeko metodoak mota askotakoak izan dira historian zehar: eguna eta gaua edo urtaroak neurtzekoetatik hasi, eta gaur egun erabiltzen diren erloju elektronikoetaraino.

Erloju mota zaharrenen artean, harea-erlojua, eguzki-erlojua eta klepsidra daude. Gauza jakina da eguzki-erlojua K.a. XX. mendean hasi zirela erabiltzen Txinan eta Indian. Eguzki-izpien eraginez hegaxka batzuek sortzen duten itzalarengatik jakin daiteke zer ordu den; beraz, eguraldiaren mende daude erabat halako erlojuak. Harea-erlojua ere oso ezaguna da; klepsidra, aldiz, ez hainbeste. Urez betetako ontzi graduatuak dira klepsidrak, eta Erdi Aroan erabiltzen ziren (Irureta, 1996).

Klepsidra moduko erlojuetan, urak bi eginkizun betetzen zituen: alde batetik, urak berak sortzen zuen erlojua mugitzen zuen indarra, grabitatearen eraginez; bestetik, urak erortzean edo ihes egitean zeukan abiadura konstanteak erritmo eta funtzionamendu erregularra ematen zion erlojuari. Erloju mekanikoak jaio zirenean, ordea, banandu egin ziren bi eginkizun horiek: alde batetik, grabitateak sortzen zuen erlojua mugitzeko indarra, zintzilik zeuden masa batzuegan baitzuen eragina; bestetik, ihesgailu izeneko elementua sortu zuten (gaztelaniaz, escape) erlojuaren erritmoa edo abiadura markatzeko. XIII. mendean ihesgailu hori asmatu izana izan zen, hain zuzen ere, erloju mekanikoen jaiotzaren giltza (Pérez Álvarez, 2015).

Ez dago argi lehenengo erloju mekanikoak noiz sortu ziren, baina bai XIII. edo XIV. mendean izan zela. Orduko erlojuen ihesgailuak ardatz batek eta foliot izeneko elementu batek osatzen zituzten. Nahiz eta erloju haiek aurrerapauso nabarmena izan, ez ziren oso zehatzak, foliot izeneko elementuaren oszilazioak perturbazio handiak izan zitzaizkela (Stoimenov, 2012). 1656. urtean, Huygensek pendulu bat jarri zuen foliot elementuaren ordez, eta erlojuen doitasuna nabarmen handitu zuen: egunean ordu batzuetako errorea izatetik minutu batzuetakoa izatera pasatu zen. Horiek horrela, dorre-erloju monumentalak sortu ziren, eta adibide bat Iruñeko udaletxeko erloju zaharra da, Juan Manuel Yereguik eraikia.

3.2. Yeregui familiaren historia

Aipatu bezala, yereguitarren historia bost erlojugile belaunaldik osatzen dute. José Francisco Yeregui Zabaleta izan zen familiako lehen erlojugilea. Leitzan jaioa, hasiera batean arotza zen lanbidez, baina erlojuenganako jakin-minak errementari eta erlojugile izatera bultzatu zuen.

Bere herriko elizako erlojua aztertu ondoren, egurrezko erloju bat egin zuen, ordu beteak eta erdiak jotzen zituen. Iruñeko azoka batean erakutsi zuen, eta jendeak burdinazko erloju bat egitera animatu zuen. Hori dela eta, José Francisco Leitzatik Arruitzera joan zen, hango sutegi batean errementari lanbidea ikastera. Familia atzean utzi, eta bi urte egin zituen Arruitzen, eta, han zegoelarik, Beteluko elizarako ordulari bat egiteko eskatu zioten. Ordularia egiteko lana eskritura publiko baten bidez itundu zuten 1796ko apirilaren 15ean. Erloju hark bazuen bitxikeria bat: arratsaldeko hiruretan, kanpaiak 33 aldiz jo behar zuen, Kristoren heriotza eta haren adina gogorarazteko. Erloju hori 1962. urtera arte egon zen martxan.

José Franciscoren ostean, haren seme Juan Manuelen lanak etorri ziren. Lan ezagunena 1827an egindako erlojua da. Hasiera batean Iruñeko San Lorentzo elizan egon zen arren, 1849 aldera Iruñeko udaletxera eraman zuten. Erloju hori da, hain zuzen ere, artikuluko honetan azaltzen den proiektuan zaharberritu dena.

Yereguitarren hurrengo erlojugilea Juan Manuelen iloba izan zen. Juan Jose 1819. urtean jaio zen, eta ez dago informazio handirik hari buruz, baina gauza jakina da Alzaga eta Aurizberri herrietako erlojuak egin zituela. Bere seme Bonifacio ere erlojugile lanetan aritu zen, eta Martzillako, Saldiasko, Gaintzako eta Hiriberriko erlojuak egin zituen. Bonifacioren lehengusu Benito eta Serapio ere erlojugileak izan ziren. Azkenik, yereguitarren azken erlojugilea Andrés izan zen, Bonifacioren semea, zeinek Izurdiagako, Igoako eta Latasako erlojuak eraiki baitzituen. Juan Garmendia Larrañaga historialariaren esanetan, 70etik gora erloju egin zituzten yereguitar guztien artean (Garmendia, 1970).

3.3. Iruñeko erlojua

Lan honetan zaharberritu den erlojuak Iruñeko udaletxeko ordua eman zuen 1991ra arte, hau da, 150 bat urtez egon zen martxan. Ez dakigu zehatz-mehatz noiz jarri zuten erlojua udaletxearen fatxadan, baina, udaletxeko txostenei esker, zehaztasunez dakigu 1991. urteko irailaren 25ean kendu zutela handik.

Dorre-erloju monumental deritzon erloju motetako bat da, pendulu bidez funtzionatzen duena. Penduluaren eginkizuna erlojuaren erritmoa egokitzea da, penduluaren luzerak zehazten baitu funtzionamendu-zikloaren iraupena. Erlojua mugitzeko energia-iturria grabitatea da; izan ere, pisu bat bultzatzen du, zeina egurrezko zilindro bati –gurpil inperial deritzon piezari– lotua baitago soka baten bidez. Engranaje-sistema baten bitartez, pisuaren mugimendu uniformea pendulari transmititzen zaio. Era berean, engranaje-trenak ordua ematen duten orratzak mugiarazten ditu.

Nahiz eta erlojuaren osagai gehienak fabrikatu ziren bezala dauden, hainbat elementu aldatu zituzten urteak joan urteak etorri egindako konponketa eta zaharberritzeetan. Horren adibide argiak dira errodamenduak. Erlojuak brontzezko kojiniteak izango zituen jatorrian, errodamenduen erabilpena ez baitzen XX. mendera arte normalizatu. Hala ere, jatorrizko kojiniteek arazoak emango zituzten noski, eta haien ordezkari errodamenduak jarri zituzten.

2.irudia. Egilearen sinadura eta data



Erlojua zein urtetan jarri zuten ezin zehaztu bada ere, badago hari buruzko bestelako informazio. Juan Garmendia historialariak hau esan zuen erlojuari buruz: "Errementari onen

beste erlojuen artean aipatuenetakoak auek ditugu: Iruñako San Lorentzo elizko eta 1849-a ezkerro Iruñeko udaletxean arkitzen dana." (Garmendia, 1970).

3.4. Erlojuaren osagaiak eta funtzionamendua

Erlojuaren osagaiak eta funtzionamendua azaltzen hasi aurretik, aipatu beharra dago 3 atalez osatuta dagoela: batetik, erlojua mugiaraziko duen atala, mugimenduaren atala; eta, bestetik, kanpaien soinuaz arduratuko direnak, orduen soinuaren mekanismoa eta ordu laurdenen soinuarena.

Atal bakoitzak bere gurpil inperiala du, eta horietako bakoitzak pisu bat du zintzilik, zeinek gurpila mugiarazten baitu grabitate-indarrak bultzatuta. Mugimenduaren atalean, gurpilak mugimendua transmititzen dio engranaje-tren baten bitartez ihes-gurpila deituriko beste bati, eta azken horrek gauza bera egiten dio penduluari. Beste bi ataletan, gurpil inperialaren mugimendua kanpaia jotzen duen eragingailuari transmititzen zaio, eta aldi bakoitzari dagokion kanpai-hotsen edo -kolpeen kopurua ematen du.

Mugimendu horiek lortzeko, erlojuaren mekanismoa zenbait ardatzez eta engranaje osatuta dago. Engranaje bakoitzaren hortz kopurua 1. taulan ikus daiteke, tal bakoitzaren transmisio-erlazioarekin batera.

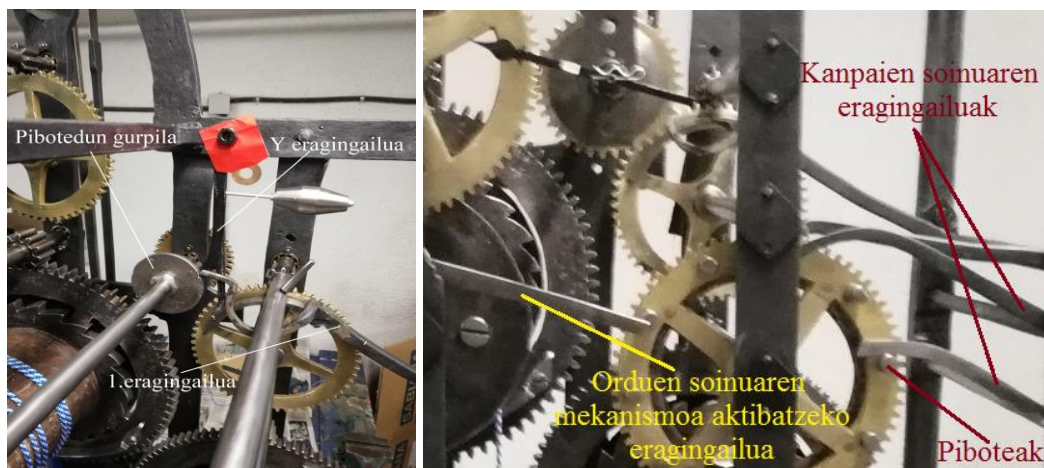
1. taula. Erlojuaren tal bakoitzaren gurpilen hortz-kopuruak eta transmisio-erlazioak.

Mugimenduaren mek.		Orduen soinuaren mek.		Ordu laurd. soinuaren mek.	
Trans. erlazioa (i)	504	Trans. erlazioa (i)	546	Trans. erlazioa (i)	840
Gurpila	Z	Gurpila	Z	Gurpila	Z
Inperiala (inp)	80	Inperiala (inp)	78	Inperiala (inp)	96
Inp. piñoia (prcinp)	10	Inp. piñoia (prcinp)	8	Inp. piñoia (prcinp)	8
Lehenengoa (rc1)	72	Lehenengoa (rc1)	64	Lehenengoa (rc1)	70
1. piñoia (prc1)	8	1. piñoia (prc1)	8	1. piñoia (prc1)	7
Bigarrena (rc2)	56	Bigarrena (rc2)	56	Bigarrena (rc2)	56
2. piñoia (prc2)	8	2. piñoia (prc2)	8	2. piñoia (prc2)	8
Eskape (esk)	30				
Minutuena (min)	36				

Mugimenduaren atalaren azken gurpilari ihes-gurpil deritzo. Gurpil horrek aingura izeneko pieza mugituko du, eta azkeneko horrek biraketa mugimendu jarraitua oszilazio mugimendu bilakatuko du. Hau da, penduluaren mugimendu periodikoa aingurak kontrolatzen du, oszilazio bakoitzean energia kantitate txiki bat askatuz.

Soinuen mekanismoak askatzeko, minutuen gurpilaren ardatzean pibotedun gurpil bat dago. Gurpil orrek Y itxurako eragingailu bat bultzatuko du (ikus 3. irudia), eta eragingailu horrek, aldi berean, ordu laurdenen engranaje-trena blokeatzen zuen beste eragingailu bat. Engranaje-trena aske geratzen denean, beste eragingailu batzuk mugiaraziko ditu, ordu laurdenen atalaren lehenengo gurpilak dituen pibote batzuei esker, eta eragingailu horiek kanpaien soinua sortuko dute poleen bitartez. Behin mekanismo hori askatu eta laurden guztiak eman dituenean, lehenengo gurpilean dagoen pibote luzeago batek soinuen bi mekanismoak konektatzen dituen eragingailua bultzatuko du, eta, hala, orduen mekanismoa askatuko du. Orduen kanpaien soinua sortzeko, orduen mekanismoaren lehenengo gurpilak pibote batzuk ditu, eragingailu batzuk mugiaraziko dituztenak, minutuen gurpilaren piboteek bezala. Bi mekanismo horiek azelera ez daitezen eta kanpai-jotzeen tarteak berdinak izan daitezen, benterol izeneko frenatzeko piezak erabiltzen dira, inertzia-bolante gisa aritzen direnak.

3.irudia. Soinuaren mekanismoen aktibazio sistemak.



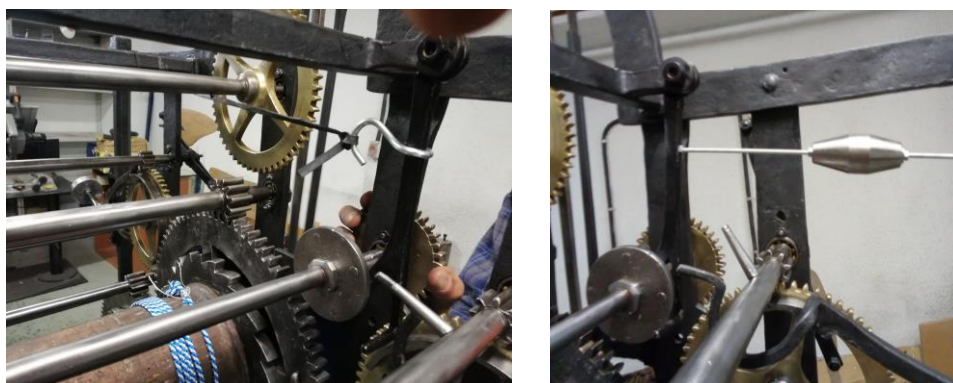
3.5. Zaharberritze prozesua

Zaharberritze-prozesuaren hasierako helburua erlojua berriro martxan jartzea zen, eta erlojua bizirik gordetzea. Horretarako, garrantzitsua zen bere funtzionamendua ondo aztertu, eta beharrezkoak ziren konponketa eta moldaketak egitea.

Zaharberritze-prozesuarekin hasteko, lehenengo, proba batzuk egin genizkion funtzionamendua egokia ote zen aztertzeko. Orduan egoera txarrean zegoenez, mugitzea kostatzen zitzaion, baina funtzionamendu egokia zuen, eta desmuntatzen hastea erabaki genuen. Erlojua desmuntatzeko, lehenik eta behin, mugimenduaren atala desmuntatu genuen, goitik behera eta aingurarekin kontu handia izanik. Ondoren, soinuaren bi mekanismoak desmuntatu genizkion, prozesu berari jarraituz. Behin atal guztiak desmuntatuak eta banatuak zeudela; garbitzeko, mekanismoaren piezak eta egitura bereizi genituen. Mekanismoaren piezak esmerilean eta disko-makinan jarri, eta arrabotekin leundu genituen, eta, gero, leuntzeko pasta batzuk aplikatu genizkien. Egitura, berriz, eskuz lisatu genuen, eta, gero, margo geruza berri bat aplikatu genion. Pieza guztiak garbi zeudenean, berriz muntatu genuen erlojua beste proba batzuk egin ahal izateko. Probatetik ondorioztatu genuen erlojuaren funtzionamendua askoz leunagoa zela, baina ordu laurdenen mekanismoan arazo bat zegoela.

Arazoa Y itxurako eragingailuaren (ikus 3. irudia), ordu laurdenen mekanismoaren lehenengo eragingailuaren eta minutuen ardatzeko pibotedun gurpilaren arteko elkarrekintzan zegoen. Horregatik, hainbat proba egin genizkion pieza horien funtzionamendua ulertzeko. Y itxurako eragingailua ez zen jatorrizko posizioa bueltatzen, eta bigarren gurpilaren pibotea ez zen Y itxurako eragingailuarekin blokeatzen. Horren ondorioz, erlojua gelditu egiten zen. Bi aukera planteatu genituen arazoari aurre egiteko: goma bat edo kontrapisu bat jartzea, 4. irudiak erakusten duen moduan.

4.irudia. Arazoa konpontzeko planteatu ziren 2 aukerak.



Konponbide horien arazoa zen elementuak gehitu behar genizkiola erlojuari; zaharberritze-lana, ordea, elementu gehigarriak gabe egin nahi genuen. Horiek horrela, Altsasuko erlojugileari aholkua eskatu genion, eta Y itxurako eragingailua eta lehenengo eragingailua zuzentzea erabaki genuen, hori baitzen garai hartako erlojugileen lan egiteko modua. Behin pieza horiek zuzenduta (ikus 5. irudia), erlojuak funtzionamendu egokia zeukala egiaztatu genuen.

5.irudia. Azkeneko konponketa.

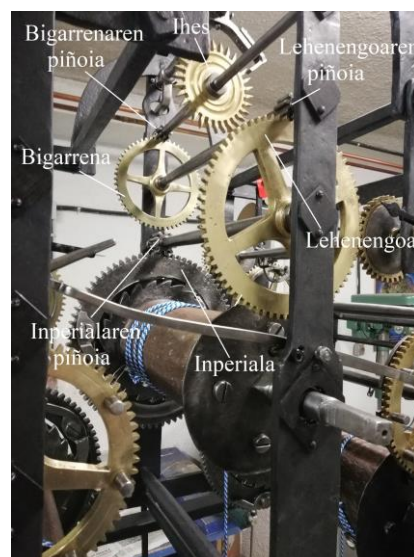
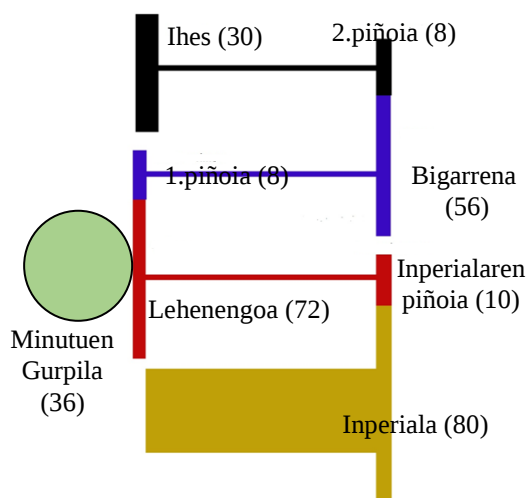


3.6. Erlojuaren zikloaren denbora eta prezisioa

Gorago aipatu den moduan, penduludun erlojuak aurrerapauso garrantzitsua ekarri zioten denbora neurtzeko doitasunari, penduluaren oszilazioak erlojuaren erritmoa zehazten baitu. Hain zuzen ere, erlojuaren doitasuna ezartzen duen parametroa penduluaren luzera da, hau da, penduluaren grabitate-zentroaren kokapena. Izan ere, metalezko pendulu batek jasaten duen dilatazioak bere luzera handitzen du, eta grabitate-zentroaren kokapena jaitsi. Horrek erlojuaren zikloaren denbora aldatzen du, periodoa esate baterako, eta ordua emateko doitasuna murriztu.

Iruñeko udaletxeko erlojuaren kasuan, bere zikloaren denbora eta penduluaren luzera kalkulatuko ditugu. Lehenik, jakin behar dugu mugimenduaren atalaren engranajeen banaketa nolakoa den eta zenbat horts dituzten.(ikus 6. irudia)

6.irudia. Engranaje-trenaren eskema eta irudia.



Penduluaren luzera teorikoa jakiteko, minutuen gurpilaren abiadura angeluarra kalkulatu behar dugu. Erlojuak ordua ondo emateko, gurpil horrek bira bat eman beharko du ordu bakoitzean ($\omega_{\min} = 1$ bira/h), eta datu horretatik abiatuz penduluaren luzera teorikoa lor dezakegu. Engranaje-trenari abiadura angeluarraren eta hortz kopuruaren arteko erlazioa aplikatuz, ihes-gurpilaren abiadura kalkulatu dezakegu, $\omega_1 \cdot Z_1 = \omega_2 \cdot Z_2$ formula ezagunaren bidez eta 1. taulan agertzen diren hortz kopurua (Z) erabiliz:

$$\omega_{rc1} = \omega_{\min} \cdot Z_{\min}/Z_{rc1} = 0,5 \text{ bira/h} \quad (1)$$

Mugimenduaren lehenengo gurpiletik 2. piñoiraren engranaje-tren konposatuaren formula erabiliz, sarrera ardatzetik irteera ardatzerainoko transmisio-erlazioa (i) kalkulatu dezakegu:

$$i = \omega_{irt}/\omega_{sar} = \omega_{prc2}/\omega_{rc1} = \pi Z_{sar}/\pi Z_{irt} = (Z_{rc1} \cdot Z_{rc2})/(Z_{prc1} \cdot Z_{prc2}) = 72 \cdot 56/8 \cdot 8 = 63 \quad (2)$$

Transmisio-erlazio horrekin, ihes-gurpilaren abiadura kalkulatu dugu:

$$\omega_{esk} = \omega_{prc2} = \omega_{rc1} \cdot i = 0,5 \cdot 63 = 31,5 \text{ bira/h} \quad (3)$$

Hortz bakoitzeko oszilazio bat daukagunez, penduluak ordu batean egin beharreko oszilazioak (n_{pend}) honela kalkulatu genituzke:

$$n_{pend} = \omega_{esk} \cdot Z_{esk} = 31,5 \text{ bira/h} \cdot 30 \text{ hortz/bira} = 945 \text{ hortz/bira} = 945 \text{ oszilazio/h} = 0,2625 \text{ oszilazio/s} \quad (4)$$

Azkenik, oszilazio baten periodoa lortu dugu:

$$T = 1/n_{pend} = 3,8095 \text{ s.} \quad (5)$$

Jakinda penduluaren periodoa bere luzerarekin erlazioa daitekeela, erloju zehatza izateko penduluak zenbateko luzera behar duen kalkulatu genezake:

$$T = 2\pi (L/g)^{1/2} \quad (6a)$$

Ekuzio horren emaitza, $L = 3,6$ m, erlojuak Iruñeko udaletxean zegoenean izango zuen luzera da. Izan ere, dorre altu batean kokatua zegoen erlojua, eta litekeena da handik zintzilik pendulu handi bat egotea. Zoritxarrez, erlojuaren kokapen berrian, hots, Iruñeko Planetarioan, penduluari ezin zaio horrelako luzerarik eman: zulo sakon bat egin beharko genuke erlojuaren penduluari halako luzera emateko. Hortaz, eta zaharberritze-lanaren helburua bisitariak erlojuaren mekanismoaren funtzionamendua ikustea denez, laburragoa emango zaio penduluari, 1,86 m-koa alegia. Luzera horrekin, erlojuak ezingo ditu orduak zenbatu, baina bisitariak aukera izango dute erlojua martxan eta bizirik ikusteko. Behin luzera berria erabaki denean, aurreko kalkulak kontrako noranzkoan errepika ditzakegu erlojuaren zikloaren iraupen berria kalkulatzeko. Luzera berriarekin penduluak izango duen periodoa ondorengoa da:

$$T = 2\pi (L/g)^{1/2} = 2\pi (1,86/g)^{1/2} = 2,7395 \text{ s} \quad (6b)$$

Behin periodoa ezagututa, periodo horrek orduko zenbat hortz izango dituen kalkulatu daiteke; eta, bestetik, kontuan hartuta orduko zenbat hortz; eta, bestetik, kontuan hartuta orduko zenbat hortz dituen eta ihes-gurpilak 30 hortz dituela, ordu batean zenbat bira emango dituen kalkulatu daiteke.

$$T = \frac{3600 \text{ s/h}}{N \text{ hortz/h}} = 2,7395 \text{ s} \rightarrow N = 1314,1 \text{ hortz/h} \rightarrow 43,8 \text{ bira/h} \quad (7)$$

Azkeneko datu horretaz baliatuz, kalkulu teorikoetan erabili diren transmisio-erlazioak erabiliko ditugu minutuen gurpilak zenbateko abiadura duen kalkulatzeko. Engranaje-tren osoaren transmisio-erlazioa erabiliz, hau izango da minutuen gurpilaren abiadura: $\omega_{\min} = 1,3904$ bira/h.

Beraz, bira bat emateko beharko duen denbora hau da: $60/\omega_{\min} = 43$ minutu eta 9 segundo. Lehen aipatu den moduan, erlojuak izango duen kokapen berria dela eta, behar baino bizkorrago mugituko da, zaharberritze-prozesua bukatu eta gero.

4. Ondorioak

Erlojua zaharberritzeko prozesua arrakastaz egitea lortu genuen, eta, hainbat konponketa egin behar izan genizkion arren, erlojua martxan dago berriz ere, eta bizirik. Iruñeko Planetarioan egongo da bisitariak ikusteko moduan. Kokapen berri horretan, pendulari ezin zaio behar duen luzera eman; beraz, doitasun galera handia izango du, eta ez da ordua emateko gai izango. Hala ere, ia 200 urte dituen mekanismo bat funtzionatzen ikusteak liluratu egingo ditu bisitariak.

Lehen, garrantzi handia zuten halako erlojuek, herritarrek ordua jakiteko modu bakarra baitzen; gaur egungo jendeak, aldiz, ez du ezagutzen erloju mekanikoen historia eta garrantzia. Hori dela eta, Iruñeko udaletxeko erloju zaharra berritzearen helburua ez zen bakarrik erlojua martxan jartzea baizik eta baita guregana heldu zaigun ondare teknologikoa balioan jartzea ere. Izan ere, aintzat hartu behar dugu garai bateko erlojugileek egindako lana, eta ezagutzera eman eta zabaldu egin behar dugu orduz geroztik ailegatu zaigun informazioa.

Hala ere, aipatu beharra dago ez dugula informazio asko eskuratu, eta zaila dela jakitea erlojuen benetako historia nolakoa izan zen eta datak zehaztasunez baieztatzea. Horren adibide argia da lan honetan zaharberritu den erlojua: gauza jakina da noiz kendu zuten udaletxeko dorretik; ez, ordea, non eta noiz jarri zuten lehenbizikoz.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Erlojua zaharberritzeko egindako ikerketak yereguitarren eta erlojuen historia aberasteko eta ezagutzera emateko balio du. Historia ikuspuntu teknologikotik ikertzea oraindik ez dago goi mailako ikerketa gisa onartua. Halako ikerketei balioa emateko, garai bateko ingeniariak ikertzen jarraitu beharra dago. Erlojuen kasuan, jakitera eman behar da, bai testuinguru teknikoan bai ez-espezializatuetan ere, erloju mekanikoei zer-nolako garrantzia zuten eta zer funtzio betetzen zuten herri guztietan erabiltzen ziren garaian.

6. Erreferentziak

Aginaga García, J., V. Pérez de Ciriza Gárriz, A. Plaza Puértolas, eta J.M. Pintor Borobia. (2016), Nuevas Tecnologías aplicadas a la difusión de Mecanismos Históricos: Impresión 3D del Artificio de Juanelo Turriano. In XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Elche (España), 436-443.

Ceccarelli, M. (2004): On the IFToMM Permanent Commission for History of MMS. In Proceedings of the International Symposium on History of Machines and Mechanisms, Cassino (Italia), 11-26.

Garmendia Larrañaga, J. (1970): *Euskal esku-langintza - Artesanía Vasca*, Eusko ikaskuntza, Donostia.

Irureta Azkune, O. (1996), Erlojuak, *Elhuyar aldizkaria*, 54-55.

López García, R., A.J. Cañabate López, R. Dorado Vicente, eta G. Medina Sánchez. (2004): Estudio histórico-tecnológico del carro que apunta al sur, In XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Elche (España), 412-419.

Pérez Álvarez, V. (2015), The role of the mechanical clock in medieval science, *Endavour*, 39, 1, 63-68

Stoimenov, M. , Popkonstantinović, B. , Miladinović, L. eta Petrović, D. (2012), Evolution of Clock Escapement Mechanisms, *FME Transactions*, 40, 1, 17-23

Villar-Ribera, R., F. Hernández-Abad, J.I. Rojas-Sola, eta D. Hernández-Díaz. (2011), Agustín de Betancourt's telegraph: Study and virtual reconstruction. *Mechanism and Machine Theory*, 46, 820-830.

Yan, H-S., eta K-H. Hsiao. (2007), Reconstruction design of the lost seismoscope of ancient China, *Mechanism and Machine Theory* , 42, 1601-1617.

<http://www.yereguielkarte.eus>

Bach-en obretan oinarritutako bertso doinuen sorkuntza automatikoa

Goienetxea, Izaro¹; Mentialdua, Iñigo² eta Sierra, Basilio¹

¹ Konputazio Zientzia eta Adimen Artifiziala Saila. Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

² Lengoaia eta Sistema Informatikoak Saila. Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

izaro.goienetxea@ehu.eus

Laburpena

Lan honetan Bach konpositorearen obretan oinarritutako bertso melodiak sortu dira. Horretarako *Txoriak eta txoriburuak* bertso doinuaren koherentzia egitura lortu da, Bachen corpus batetik sortutako eredu estatistiko bat erabiliz bertan nota berriak sartzeko. Sailkapen prozesu bat ere gehitu da, sortutako melodia berriek Bach-en ezaugarri melodikoak dituztela egiaztatzeko. Horretarako 20 doinu berri sortu dira, eta guztiak Bach-en klasean sailkatuak izan dira, aurkeztutako metodoa baliozkotuz.

Hitz gakoak: Musikaren errepresentazio sinbolikoa, musika sorkuntza automatikoa, konpositoreen sailkapena

Abstract

This work presents the automatic generation of bertso melodies in the style of Bach. To do so, the coherence structure of the bertso melody Txoriak eta txoriburuak is extracted to sample new notes in it with the guidance of a statistical model built from a corpus of pieces composed by Bach. A classification step is added to make sure that the generations are in the style of Bach, for which 20 new melodies have been generated. All the generated melodies have been classified as Bach pieces, which validates the presented process.

Keywords: Symbolic music representation, music generation, composer classification

1. Sarrera eta motibazioa

Musikaren sorkuntza automatikoaren inguruko interesa orain dela urte asko piztu zen, 1840ko Lovelace eta Babbage-ren lehen konputagailuaren sorrerarekin batera (Cope, 1991), baina musika era automatikoan konposatzeko ideia konputagailuen sorrera baino are lehenagokoa da. Ideia honen adibide bat *Musikalisches Würfelspiel* edo dado-joko musikalak dira, ustez Mozartek 1792an argitaratutakoa bezalakoak (Hedges, 1978). Joko hauetan dadoa bota eta ateratzen zen zenbakiaren arabera musika segmentu bat aukeratzen zen aurretik zegoenaren atzean jartzeko, horrela pieza osoak sortuz konposizioaren inguruko ezagutzarik izan beharrik gabe.

20. mendean hainbat musika tresna sortu ziren soinu era automatikoan sortzen zutenak; sistema formalak, ausazko prozedurak edo naturako fenomeno fisikoen arabera. Era automatikoan sortutako lehen konposizioak 1950eko hamarkadako erdialdekoak dira, *Adimen Artifiziala* kontzeptua sortu zen garaikoak, Lejaren Hiller eta Leonard Isaacson-ek sortuak 1955-56 urteetan (Edwards, 2011). Lehen pausu hauen ondoren hainbat metodo garatu dira musikaren sorkuntzarako: ezagutzan oinarritutako sistemak, metodo ebolutiboak, sistema fraktalak edo eredu estatistikoak esaterako (Fernández eta Vico, 2013). Musikaren hainbat errepresentazio ere erabili dira sorkuntzarako, eta bi modu nagusi desberdintzen dira: audioen sorkuntza eta errepresentazio sinbolikoaren sorkuntza.

Musikaren errepresentazio sinbolikoan oinarritutako eredu estatistikoak hainbat musika estilo modelatzeko erabili dira, horretarako planteamendu ezberdinak garatuz (Sundberg eta Lindblom, 1976; Thomas *et al.*, 2013; Thornton, 2011; Conklin, 2013). Eredu estatistikoaren abantaila nagusietako bat corpus batetik ikasitako ezaugarri musikalak gordetzen dituztela da. Ezaugarri hauek gero sekuentzia musikal berriak sortzeko erabili daitezke, corpusaren estilo berekoak izango direnak (Conklin, 2003; Dubnov *et al.*, 2003; Allan eta Williams, 2004).

Hainbat teoria garatu dira pieza bat ulergarria izan dadin bere estrukturak bete behar dituen ezaugarrien inguruan. Arnold Schoenberg-ek (Schoenberg *et al.*, 2006) zioen lege batzuk bete behar direla musika idazterako orduan; lege akustikoak eta denbora eta soinuaren konbinaketatik eratortzen diren legeak. Berak zioen entzuleak

entzuten duena ulertu dezan pieza bateko figura musikalak antzeman behar dituela eta baita beraien artean nola erlazionatzen diren ere.

Beste teoria batzuek diskurtso musikala hizkuntzalaritzarekin alderatzen dute, eta baita garunak hauek ulertze-ko duen ahalmenarekin ere (Anagnostopoulou, 1997). Lan hauek diotenez, hizkuntzalaritzan bezala beharrezkoa da pieza musikaletan ere erlazionatuta dauden segmentuak aurkitzea diskurtso koherente bat sortu ahal izateko, eta ezagutzen dugun erlaziorik oinarritzeko errepikapena da. Izan ere, jakina da ia musika mota guztiek izaten dituztela errepikapenak piezen barruan (Leach eta Fitch, 1995), bai noten sekuentzienak eta baita abstrakzio maila altuagoko taldeenak ere, eta errepikapen hauek dira musikari esanahia ematen diotenak (Meyer, 1957).

Hainbat lan garatu dira automatikoki sortutako musikari koherentzia emateko saiakeran. Lan hauetako batzuk musikaren estruktura semiotikoaren deskribapenean oinarrituta daude, non estruktura honetan pieza bateko antzeko segmentuak errepresentatzen baitira etiketa edo sinbolo berdinen bidez (Bimbot *et al.*, 2012). Pieza baten estruktura semiotikoa atera ondoren prozesu bera alderantziz aplikatu daiteke; antzekoak izan behar diren segmentuen errepresentazioa daukan estruktura erabili bertan nota berriak sartzeko, beti ere segmentuek izan behar dituzten antzekotasunak errespetatuta.

Azken ideia horretan oinarrituz, bertso melodia berriak sortzen dituen lana aurkeztu da (Goienetxea eta Conklin, 2018). Lehenengo pausuan melodia berriaren estruktura semiotikoa, edo koherentzia estruktura, lortzen da. Horretarako aurretik existitzen den bertso bat txantilo moduan erabilita honen barruan erlazionatuta dauden segmentuak lortzen dira, hau da, pieza barruan dauden errepikapenak, transposizioak edo erlazio abstraktuagoak. Behin koherentzia estruktura lortuta, bigarren pausuan, pieza berriaren barruan nota berriak sartzen dira koherentzia estruktura errespetatuz. Bertsoen corpus batetik eraikitako eredu estatistiko bat erabiltzen da pieza berriko noten egokitasuna neurtzeko.

Artikulu honetan lan hori oinarritzat hartu da, genero bateko pieza bat txantilo moduan hartu eta beste genero batetik eredu estatistikoa eraikita bi generoen ezaugarriak konbinatzen dituzten doinu berriak sortzeko. Kasu honetan Bach konpositore klasiko ezagunaren ezaugarri estilistikoak dauzkaten bertso melodiak sortzea izango da helburua.

2. Arloko egoera

Musikaren sorkuntza automatikoa hainbat planteamendu garatu dira, eta nahiz eta ez den taxonomia finkorik definitu metodo hauek sailkatzeko, gehienetan ezagutzen (edo erregetan) oinarrituak, ebolutiboak, ikasketa automatikoko metodoak edo hibrido bezala sailkatzen dira.

Ezagutzen oinarritutako metodoek aurretik definitutako argumentu edo erregelak erabiltzen dituzte estilo edo genero bereko musika berria konposatzeko. Metodo hauen adibide dira gramatiketan oinarritutako ereduak. Eredu hauek pieza berriak sortzeko gai dira erregelak erabiliz. Erregela horiek goi mailako sinboloak sinbolo zehatzen (hitzak) sekuentzia moduan hedatzen dituzte. Erregelak eskuz definituak izan daitezke, edo genero edo mota bereko piezen corpus batetik ikasiak. Musikaren sorkuntzarako erabilitako gramatikaren adibide bat da Chemillier-en jazz-eko akordeak sortzen dituen metodoa (Chemillier, 2004).

Metodo ebolutiboak populazio bateko indibiduen optimizazioan oinarritzen dira, ugalketa eta ebaluazio funtzioak erabiliz belaunaldiz belaunaldi indibiduo hobeak izateko. Honelako metodoak musika sorkuntzako ataza ezberdinetan erabili dira, *GenJam*-en (Biles, 2007) jazzean inprobisatzeko sistema interaktiboan esaterako. Beste adibide bat *MetaCompose* da (Scirea *et al.*, 2016), zeinak osagaietan oinarritutako sistema bat baitauka denbora errealeko inprobisaziorako. Konposizioa hiru zatitan egiten du: akorde sekuentziaren sorrera, akorde hauei ongi doakien melodia baten eboluzioa eta melodia/akorde konbinazioaren akonpainamendua.

Ikasketa automatikoko teknikak ezagutza corpus batetik ikasten dute, aurretik definituta izan beharrean. Eredu estatistikoak dira teknika hauen adibide bat, zeinetan corpusaren ezaugarri ezberdinak errepresentatu baitaitezke gero sortzen diren doinuei probabilitateak esleitzeko.

Eredu estatistikoak hamaika lanetan erabili dira melodien sorkuntza eta harmonizaziorako, lehenengo Markoven erduetatik (Brooks *et al.*, 1956) deep learning-ean oinarritutako eredu berrietaraino (Briot *et al.*, 2017). Whorley eta Conklinen esaterako (Whorley eta Conklin, 2016), eredu estatistikoak erabiltzen dituzte lau parteko harmonizazioen sorkuntzarako. Herremans *et al.*-ek 2014-ko lanean lehen ordenako eredu estatistikoak erabiltzen dituzte lehen espezieko kontrapuntuko corpus baten ezaugarri melodiko eta harmonikoak deskribatzeko. Padilla eta Conklin autoreek berriz, 2018an Palestrinaren mezak sortzeko metodo bat garatu zuten. Horretarako eredu estatistikoen konbinazio bat erabiltzen zuten musikaren ezaugarri estilistikoak antzemateko eta piezetan patroiak

bilatuz honen koherentzia estruktura sortzen zuten. Estruktura hori erabiltzen zuten gero musika berriaren sorkuntza gidatzeko.

Collins *et al.* autoreek 2014-ko lanean ere pieza baten koherentzia estruktura lortu eta hau gero musika berriaren sorkuntzan erabiltzen dute. Estrukturaren sorrerarako patroï geometrikoak bilatzen dituzte. Era honetan estrukturan segmentuen arteko errepikapen eta transposizio erlazioak islatzen dira. Goienetxea eta Conklin-ek 2018-ko lanean abstrakzio maila bat gehitu diote koherentzia estrukturari, kontorno melodiko bereko segmentuak ere kontuan hartuz, eta interbaloetan oinarritutako eredu estatistiko bat erabili dute bertso doinu berriak sortzeko.

3. Doinuen sorkuntza

Sarreran aipatu den bezala, lan honen helburua bertso doinu berriak sortzea da, baina Bach-en estiloan. Ez dago aurretik definitutako erregelarik estilo hau nolakoa den deskribatzen duenik, beraz, eredu estatistiko bat erabili da estiloa deskribatu ahal izateko.

Doinu berriak sortzeko prozesuan bertso doinu ezagun bat erabili da txantiloï bezala, eta honen koherentzia estruktura sortu da (Goienetxea eta Conklin, 2018) lanean aurkeztutako metodoa erabiliz. Metodo honek piezaren eduki melodikoa soilik sortzen duenez, lan honetan ere txantiloïaren jatorrizko erritmoa mantendu da. Ondoren Bach-en piezez osatutako corpus bat erabili da, honen eredu estatistikoa lortu eta txantiloïaren estrukturan nota berriak sartzeko. Sortutako piezak benetan Bach-en zantzurik baduten ziurtatzeko (Goienetxea *et al.*, 2018) lanean aurkeztutako sailkatze ereduak erabili da. Eredu hori Beethoven, Haydn eta Bach konpositoreen piezak desberdintzeko erabili zen, emaitza onak lortuz.

Erabilitako corpusak eta jarraitutako pausoak azaltzen dira ondoren.

3.1. Corpusak

Lan honetan bi corpus erabiltzen dira, biak Stanford unibertsitatean dagoen Center for Computer Assisted Research in the Humanities (CCARH) taldeak sortuak eta KernScores¹ webgunetik eskuratuak. Lan honetan musikaren erre-presentazio sinbolikoa erabiliz lan egiten denez gero, bi corpusetako piezak MIDI formatu estandarrean eskuratu dira. Formatu honek partitura batean aurkitu daitekeen informazio guztia dauka; ahots desberdinetako notak, neurriak, tonalitatearen informazioa... Hemen azaldutako corpusak pieza polifonikoez daude osatuak, hau da, ahots bat baino gehiago dauzkatenak.

Lehenengo corpusa, corpus_B deituko duguna, Bach konpositorearen 694 piezek osatzen dute. Corpus hau erabiliko da Bach-en estiloan oinarritutako bertsoak sortzeko.

Bigarren corpusa, corpus_D deituko duguna, aurreko corpusaren hedapena da eta Bach-en 694 piezez gain, Beethovenen 190 eta Haydenen 254 piezez dago osatua. Guztira 1138 pieza ditu. Corpus hau sortutako bertsoak sailkatzeko erabiliko da.

3.2. Koherentzia estruktura

Txantiloï moduan *Txoriak eta txoriburuak* bertso doinu ezaguna erabili da (bertsozale elkartearen datubasetik eskuratu da)². Doinu honetan erlazionatuta dauden segmentuak bilatzeko doinuaren hainbat erre-presentazio erabili dira, abstrakzio maila ezberdinen gainean patroïak bilatu ahal izateko. 1. Irudian doinuaren lehen hiru konpasak ikus daitezke hiru erre-presentazio ezberdinekin. Nota bakoitzaren pitch zenbakia (pitch), noten arteko interbaloak (int) eta noten arteko kontornoaren erre-presentazioa (cont) erabili dira. Kontorno honek bi noten arteko kontorno melodikoa gora (u) edo behera (d) doan edo mantendu egiten den (eq) adierazten du.

Erre-presentazio bakoitzerako patroïen bilaketarako algoritmo bat erabili da (Ayres *et al.*, 2002). Algoritmo horrek erre-presentazio bakoitzean dauden sekuentzia errepikatuak aurkitzen ditu, patroï direlakoak. Ondoren patroï hauek ordenatu egiten dira daukaten interes mailaren arabera eta txantiloïa estaltzeko erabiltzen dira. (Goienetxea eta Conklin, 2018) lanean azaldu bezala, lehenik interes altueneko patroïetatik hasiko da txantiloïa estaltzen baina uneko patroïak jada estalita dagoen notarik balu, patroï hau baztertu eta hurrengo patroïra joko da, ez baita baimentzen bi patroï ezberdinek nota bera estaltzea.

¹<http://kern.ccarh.org/>

²<https://bdb.bertsozale.eus/es>

1. irudia. Txoriak eta txoriburuak doinuaren lehen hiru konpasak erabili diren errepresentazio ezberdinekin



pitch:	62	67	69	71	71	72	74	72	71	67
int:	⊥	5	2	2	0	1	2	-2	-1	-4
cont:	⊥	u	u	u	eq	u	u	d	d	d

2. Irudian lan honetan txantilo moduan erabili den doinua ikus daiteke bere koherentzia estruktura nabarmenduta duelarik. Egitura honetan patroiak eta hauei esleitu zaizkien etiketak nabarmentzen dira. Patroi bakoitzaren etiketan patroia hau zer errepresentaziotan aurkitu den adierazten da. Adibidez, pitch : X etiketa daukaten patroiak pitch errepresentazioan aurkitu dira, eta noten errepikapenak errepresentatzen dituzte. cont : X etiketa daukatenek berriz, melodiaren kontornoan aurkitutako patroiak errepresentatzen dituzte. Mota honetako patroia bat ikus daiteke irudian, cont : C patroia, bi aldiz instantziatuta dagoena partituran, eta instantzia hauetako noten norabidea deskribatzen duena.

2. irudia. Txoriak eta txoriburuak doinuaren partitura bere koherentzia estrukturalako patroiak nabarmenduta



3.3. Eredu estatistikoa

Lan honetan Bach-en estiloan sortutako bertsoak lortu nahi direnez, erabilitako eredu estatistikoa corpus_B-ren gainean sortu da, corpus honen ezaugarri melodiko bat deskriba dezan. Kasu honetan, oinarritzat hartu den lanean bezala, interbaloetan oinarritutako trigramak erabili dira corpusaren deskribapenerako.

Behin koherentzia estruktura eta eredu estatistikoa sortu direnean doinu berriak sortzen dira, Stochastic Hill Climbing izeneko optimizazio metodoa erabiliz. Metodo horrek ausaz sortutako nota sekuentzia bat hartzen du abiapuntu moduan, eta era iteratiboan piezan aldaketak egiten ditu. Aldaketa bakoitzaren ondoren pieza berriaren probabilitatea kalkulatu da. Probabilitate hau piezak aldaketaren aurretik zeukana baino altuagoa bada aldaketa onartua izango da, bestela aurreko egoerara itzuliko da pieza, aldaketa ezeztatuz. Azpimarratu behar da prozesu guztian zehar koherentzia estruktura errespetatzen dela; koherentzia estrukturalako patroia batean parte hartzen duen punturen batean aldaketa bat egiten bada, patroia horren agerraldi guztiak eguneratu behar dira.

3.4. Sortutako piezak

20 doinu berri sortu dira *Txoriak eta txoriburuak* doinuaren koherentzia estruktura eta Bach-en piezetan oinarritutako eredu estatistikoa erabiliz. Lan honetan melodiaren sorkuntza soilik egiten denez, doinuaren berezko eritmoa mantendu egin da. 3. Irudian sortutako doinu batzuen adibideak erakusten dira. Nahiz eta eduki melodikoa jatorrizkoaren oso desberdina izan, ikus daiteke sortutako doinu berriek 2. Irudian azalduko koherentzia egitura errespetatzen dutela, egitura hau osatzen duten patroien arteko erlazioak errespetatzen baitira.

Sortutako bi adibide hauek beraien artean oso desberdinak direla ere nabarmena da, nahiz eta erabiltzen diren noten tarteak eta tonalitatea jatorrizko doinuaren berak diren, hori sorkuntza prozesuan finkatu delako.

3. irudia. Sortutako pieza berrien adibideak



Sortutako doinuak oso luzeak ez direnez, ez da oso erraza Bach-en estiloa bistaz antzematea, baina aurkitu daitezke bertso doinuaren oso orokorrak ez diren noten arteko jauzi batzuk. Hala ere, esan daiteke sortutako doinua zuzena dela eta bertsoetan aritzeko erabil daitekeela.

4. Sailkapena

Sortutako doinu berriak Bach-en obren antzik baduten aztertzeke konpositore klasikoaren obren sailkapenaren inguruan egindako lana erabili da (Goienetxea *et al.*, 2018). Lan honetan piezak errepresentatzeko matrizeak erabiltzen ziren, zeinetan posizio bakoitzean interbaloen arteko trantsizioen probabilitateak azaltzen baitziren. Behin pieza bakoitzaren matrizeen errepresentazioa lortuta, konpositoreak desberdintzeko hainbat sailkatzaile desberdin erabili ziren, eta emaitzarik hoberenak *SMO* eta *Multilayer Perceptron* sailkatzaileekin lortu ziren.

Lan horretan bezala, hemen sortutako doinu berriak matrize moduan errepresentatu dira, eta emaitza hobereak lortu zituzten bi sailkatzaileen Weka³ softwareko inplementazioa erabili da doinu berri horiek sailkatzeko. Sailkatzaileak corpus_D corpusean entrenatu dira, eta Bach, Haydn edo Beethoven-en obren artean sailkatu dituzte sortutako doinuak. Erabilitako bi sailkatzaileek Bach-en obra bezala sailkatu dituzte sortutako 20 doinuak, benetan konpositore honen obrek dituzten ezaugarri melodikoak bertso doinu berrietan islatzea lortu dela baieztatuz.

5. Ondorioak eta etorkizuneko lana

Lan honetan bi generoen arteko nahasketa kontsidera daitekeen musika sorkuntzako metodoa azaldu da. Horretarako bertso doinu ezagun baten koherentzia estruktura atera da, doinuaren barruan agertzen diren erlazioetatutako segmentuen analisi baten ondoren. Bach konpositorearen obrez osatutako corpus bat ere erabili da eredu estatistikoko

³<https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

bat sortu eta koherentzia estrukturaren barruan nota berriak sartzeko, honela bertso baten estruktura eta Bach-en obren ezaugarri melodikoak dituzten doinu berriak sortu dira. Doinuek benetan Bach-en musikaren antzik ba ote duten aztertzeko Bach, Haydn eta Beethoven-en piezak desberdintzeko gai diren bi sailkatzaile erabili dira. Sailkatzaileen emaitzetatik ondorioztatu daiteke sortutako bertso doinuek Bach-en konposizioen antza badaukatela.

Etorkizunerako lana hemen aurkeztu dena zabaltzea izango da, hainbat konpositoreren estiloan musika sortuz, eta, era berean, benetan estiloa errespetatzen dutela ziurtatzea. Hau egiterakoan kontuan izan behar da zenbait konpositoreren artean desberdintzerako orduan arazoak egon daitezkeela, konpositore baten lanak beste baten influentzia izan dezakeelako. Ondorioz, obra batzuek bi konpositoreen ezaugarri melodikoak izan ditzakete. Lan honetan Bach-en obran oinarritutako doinuak bakarrik sortu direnez, eta sailkapenean kontuan hartu diren gainerako konpositoreekin erlazio ezagunik izan ez zuenez, arazo hau ekidin da. Lan honetan aztertu ez den arren, interesgarria litzateke erabilitako koherentzia egiturak sailkapenaren emaitzan eragin dezakeen aztertzeari ere.

6. Erreferentziak

- Allan, M., eta C. K. I. Williams. 2004. Harmonising chorales by probabilistic inference. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25–32.
- Anagnostopoulou, C. 1997. Cohesion in Linguistic and Musical Discourse. In *Proceedings of the 3rd European Society for the Cognitive Sciences of Music Conference*, Uppsala, Sweden. ESCOM.
- Ayres, Jay, Jason Flannick, Johannes Gehrke, eta Tomi Yiu. 2002. Sequential Pattern Mining Using a Bitmap Representation. In *Proceedings of the Eighth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '02, 429–435, New York, NY, USA. ACM.
- Biles, John A. 2007. *Improvising with Genetic Algorithms: GenJam*, 137–169. London: Springer London.
- Bimbot, Frédéric, Emmanuel Deruty, Gabriel Sargent, eta Emmanuel Vincent. 2012. Semiotic structure labeling of music pieces: Concepts, methods and annotation conventions. In *13th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR)*, 235–240, Porto, Portugal.
- Briot, Jean-Pierre, Gaëtan Hadjeres, eta François Pachet. 2017. Deep learning techniques for music generation - A survey. *CoRR* abs/1709.01620.
- Brooks, F. P., A. L. Hopkins Jr., P. G. Neumann, eta W. V. Wright. 1956. An experiment in musical composition. *IRE Transactions on Electronic Computers* EC-5.175–182.
- Chemillier, M. 2004. Toward a formal study of jazz chord sequences generated by steedman's grammar. *Soft Computing* 8.617–622.
- Collins, Tom, Robin Laney, Alistair Willis, eta Paul H. Garthwaite. 2014. Developing and evaluating computational models of musical style. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*.
- Conklin, Darrell. 2003. Music Generation from Statistical Models. In *Proceedings of the AISB 2003 Symposium on Artificial Intelligence and Creativity in the Arts and Sciences*, 30–35, Aberystwyth, Wales.
- . 2013. Multiple Viewpoint Systems for Music Classification. *Journal of New Music Research* 42.19–26.
- Cope, David. 1991. *Computers and Musical Style*. Madison, WI, USA: A-R Editions, Inc.
- Dubnov, Shlomo, G. Assayag, O. Lartillot, eta G. Bejerano. 2003. Using machine-learning methods for musical style modeling. *Computer* 36.73–80.
- Edwards, Michael. 2011. Algorithmic Composition: Computational Thinking in Music. *Communications of the ACM* 54.58–67.
- Fernández, Jose David, eta Francisco Vico. 2013. AI Methods in Algorithmic Composition: A Comprehensive Survey. *Journal of Artificial Intelligence Research* 48.513–582.
- Goienetxea, Izaro, eta Darrell Conklin. 2018. Melody transformation with semiotic patterns. In *Music Technology with Swing*, ed. by Mitsuko Aramaki, Matthew E. P. Davies, Richard Kronland-Martinet, eta Sølvi Ystad, 477–488, Cham. Springer International Publishing.
- , Iñigo Mendiadua, eta Basilio Sierra. 2018. On the use of matrix based representation to deal with automatic composer recognition. In *AI 2018: Advances in Artificial Intelligence*, ed. by Tanja Mitrovic, Bing Xue, eta Xiaodong Li, 531–536, Cham. Springer International Publishing.

- Hedges, Stephen A. 1978. Dice music in the eighteenth century. *Music & Letters* 59.180–187.
- Herremans, Dorian, Kenneth Sørensen, eta Darrell Conklin. 2014. Sampling the extrema from statistical models of music with variable neighbourhood search. Athens, Greece. ICMC/SMC.
- Leach, Jeremy, eta John Fitch. 1995. Nature, Music, and Algorithmic Composition. *Computer Music Journal* 19.23–33.
- Meyer, L. B. 1957. Meaning in Music and Information Theory. *Journal of Aesthetics and Art Criticism* 15.412–424.
- Padilla, Victor, eta Darrell Conklin. 2018. Generation of two-voice imitative counterpoint from statistical models. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence* 5.22–32.
- Schoenberg, A., P. Carpenter, eta S. Neff. 2006. *The Musical Idea and the Logic, Technique, and Art of Its Presentation*. Indiana University Press.
- Scirea, Marco, Julian Togelius, Peter Eklund, eta Sebastian Risi. 2016. *MetaCompose: A Compositional Evolutionary Music Composer*, 202–217. Cham: Springer International Publishing.
- Sundberg, Johan, eta Björn Lindblom. 1976. Generative Theories in Language and Music Descriptions. *Cognition* 4.99–122.
- Thomas, Nicolas Gonzalez, Philippe Pasquier, Arne Eigenfeldt, eta James B. Maxwell. 2013. A Methodology for the Comparison of Melodic Generation Models Using Meta-Melo. In *Proceedings of the 14th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR*, 561–566, Curitiba, Brazil.
- Thornton, Chris. 2011. Generation of Folk Song Melodies using Bayes Transforms. *Journal of New Music Research* 40.293–312.
- Whorley, Raymond P., eta Darrell Conklin. 2016. Music generation from statistical models of harmony. *Journal of New Music Research* 45.160–183.

6. Eskerrak

Lan hau egiteko Eusko Jaurlaritzaren Ikerketa Taldeen Laguntzaren (IT900-16) eta Espainiako Ekonomia eta Lehiakortasun Ministerioaren TIN2015-64395-R (MINECO / FEDER) dirulaguntza jaso da.

Kritikotasun mistoko denbora errealeko sistema banatuen sintesiaren optimizazioa

Amurrio, Andoni¹ eta Azketa, Ekain¹

Ikerlan. Sistema Txertatu Fidagarriak

aamurrio@ikerlan.es

Laburpena

Denbora errealeko sistemen sintesia aplikazioen epe guztiak beteko direla bermatzen duten kokapen eta planifikazioak zehaztean datza. Gaur egungo sistema ziberfisiko askoren diseinua kritikotasun mistoko sistemetan oinarritzen denez, beharrezkoa da partizioen erabilpena egokitzen diren teknika berrien garapena, eta bide horretan ekin zaio doktoretza tesi honi. Testu honetan tesiaren ikuspegi orokorra azalduko da, bere helburuak, metodologia, gaur eguneko egoera eta eman beharreko hurrengo pausoak erakutsiz.

Hitz gakoak: Denbora errealeko sistemak, optimizazioa, planifikazioa, kritikotasun mistoko sistemak

Abstract

The synthesis of real-time systems entails the determination of a deployment and a scheduling that guarantee meeting all deadlines of applications. Given that nowadays the design of many cyberphysical systems is based on mixed criticality systems, it is necessary to develop new techniques adapted to the use of partitioning, and with that aim this PhD thesis has been taken up. In this text an overall view of the thesis is presented, showing its objectives, methodology, current status and future works to be performed.

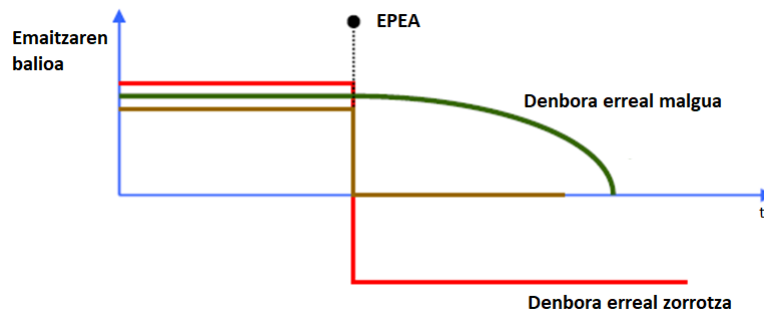
Keywords: Real-time systems, optimization, scheduling, mixed criticality systems

1. Sarrera eta motibazioa

Softwarea ekoizpen prozesu tradizionaletara gehitzearen ondorioz, guztiz murgilduak gaude laugarren industria iraultzan (4.0 industria). Testuinguru horretan maiz azaltzen dira sistema ziberfisikoetan funtsatutako teknologiak: konputazio, gordetze eta komunikazio gaitasunak biltzen dituzten sistema informatikoak dira, mundu fisikoko elementuen eta edozein motatako gailuen sentorizazio eta kontrolerako erabiltzen direnak. Ezaugarri horiengatik guztiengatik, sistema horiek denbora errealeko sistemak izatera behartuta daude, zeinetan lortutako emaitzak ez diren bakarrik euren balioen zuzentasunean oinarrituko: emaitzak softwareari inposaturiko epe jakin batzuen barruan sortu behar dira. Gainera, denbora errealeko sistemak denborarekiko aldakorra den ingurunearekin erlazionatutako estimuluek gidatzen dituztenez, askotan, oso denbora tarte estuetan gertatu behar dira erreakzioak.

Epeak ez betetzeak sor ditzaken kalteen arabera, bi motatako denbora errealeko sistema nabarmentzen dira: zorrotzak eta malguak (Liu, 2000). Denbora errealeko sistema zorrotzetan epeak ez betetzekotan, sistemak guztiz huts egiten du eta kalte larriak jaso daitezke, esaterako, hegazkinetako kontrolagailu baten softwareak beharrezko prozesamendua garaiz egiten ez badu, pertsonen bizitzak arrisku larrian jartzen dira. Eperen bat ez baldin bada betetzen, eta, hala ere, sistemaren errendimendu orokorrak zuzena izaten jarraitzen badu, denbora errealeko sistema malgu bat dela esaten da. Haien adibide argiak edozein tresnatako (ordenagailuak, autoak...) soinu sistemak dira; gerta daiteke epe gutxi batzuk ez betetzea, eta horrek audio seinaleen kalitatearen degradazioa eragitea, baina ez da beste inongo ondorio kaltegarriarik zein arriskutsurik sortuko. 1 irudian denbora errealeko sistema baten irteerak denborarekiko daukaten balioa adierazten da. Argi ikus daiteke nola sistema malgu batean, behin epea gaindituta, irteerak balioa galduz doala gutxinaka. Zorrotzetan, aldiz, inposaturiko epea aurrera emaitzari balio negatiboa ematen zaio, ez betetzeak dakartzan ondorio arriskutsuak adierazteko. Tarteko maila bat bereiz daiteke, zeinetan emaitzak zero balioa hartzen duen, beraz, inongo baliorik ez badu ere ez litzateke ondorio latzik emango epea gainditzean.

1. irudia. Denbora errealeko sistema motak (J.A. de la Puente, UPM)



Oro har, denbora errealeko sistemek ezaugarri hauek bete behar dituzte:

- Denbora determinismoa. Ekintzak denbora tarte jakinetan ematen dira. Sistemek zuzen erantzun behar dute egoera guztietan, bai eta kasurik txarrenetan ere.
- Aldiberekotasuna. Denbora errealeko sistemek kontrolatzen dituzten gailuen konponenteek aldi berean egiten dute lan. Beraz, konponente guztiez arduratu behar da behar beste kontrol ekintza sortuz.
- Fidagarritasuna eta segurtasuna. Edozein errore sistemaren huts egitea ekar dezake, eta, kasu jakin batzuetan, egoera arriskutsuak. Ahal den neurrian erroreak gertatzea ekidin behar da; hala eta guztiz ere portaera desegokiak gertatzen badira, sistema modu seguru batera pasatzea bermatu behar da.

Sistema ziberfisikoen ohiko egiturak direla eta, denbora errealeko sistemak banatuak dira gehienetan. Arkitektura banatuak nodo prozesatzaile batek baino gehiagok osatzen dituzte, komunikazio sare baten (edo gehiagoren) bitartez konektatuta. Prozesadoreetan atazak exekutatzen dira, eta heterogeneoak izan daitezke, nukleo-arkitekturaren (nukleo bakarrekoak edo anitzekoak), memoria baliabideen edota beste edozein hardware baliabideren erabilgarritasunaren arabera. Diseinu eskema hori darabilten sistemen abantaila nagusia baliabideen partekatzea da, eta ezinbestekoa da ekintza oro modu koordinatuan egitea, nodoen arteko komunikazioen bidez. Komunikazio hori sarean zehar doazen mezuek ahalbidetzen dute. Hori guztia posible izateko prozesadoreetan denbora errealeko sistema eragileak erabiltzen dira (Real Time Operating System, RTOS).

Lehen esan bezala, denbora errealeko sistema batean gertaturiko erroreek ondorio latzak sor ditzakete. Sistema osatzen duen konponente jakin batek behar duen segurtasun maila zehazteko, “kritikotasuna” deritzon terminoa erabiltzen da. Honen baitan fidagarritasunaren alde anitz jotzen dira, esate baterako, erabilgarritasuna eta zuzentasuna, bai eta beharrezkoak diren segurtasun eta babes neurriak ere. Errore posibleak identifikatzeko eta halakorik gertatzearen maiztasun minimo bat ezartzeko, “segurtasun funtzionala” erabiltzen da, eta eremu espezifikoetako estandarren arabera maila ezberdinak definitu dira. Ingelesez *Safety Integrity Level* (aurrerantzean SIL) esaten zaie, oinarritzko segurtasun maila SIL1 eta gorenekoa SIL4 izanik (International Electrotechnical Commission, 2000). Iraganeko kritikotasun ezberdineko konponenteak nodo ezberdinetan kokatzen ziren, ez-segurtasuneko funtzionaltasun batean emandako errore batek kritikotasun altuagoko bat arriskuan jarri ez zezan. Horrek ekipamendu heterogeneo asko erabiltzea zekarren, kostuek gora egiteari bidea emanez, bai sistemen garapenean, habiaratzean eta mantenuan ere. Kostuak murrizteko xedearekin, gaur egungo joera SIL ezberdineko funtzionaltasunak plataforma berdinetan kokatzea da, baliabideak partekatuz. Horrela, kritikotasun mistoko sistemak sortu dira (Crespo *et al.*, 2014).

Kritikotasun mistoko sistemetan, ezinbestekoa da kritikotasun maila ezberdineko konponenteen artean erabateko isolamendua lortzea. Beraz, beraien exekuzioak guztiz independentea izan behar du, bai espazioan bai denboran ere, eta, horretarako, partizioak erabiltzen dira. Batetik, denbora partizioek sistemako konponenteen denbora propietateak arriskuan jartzea ekiditen dute. Konponente bakoitzari denbora tarte jakin batzuk esleitzen zaizkio, eta haietatik at edozer exekutatzea guztiz galarazita daukate. Kontrol aplikazioetan, ezinbestekoa da konponente bakoitzak eragiketa guztiak aurrera eramateko behar beste denbora edukitzea. Bestetik, partizio espazialak konponente jakin bati esleitzen zaizkion memoria zatiak dira, non bakoitzaren atazak eta datuak gordeta dauden. Horrela, beste konponenteen arteko baimengabeko irakurri/idatzi eragiketak saihesten dira.

Denbora errealeko sistema banatuetan kasurik txarrenetan ere epe guztiak bete daitezkeen atazak noiz exekutatzen

diren eta mezuak noiz bidaltzen diren zehazteari planifikazioa deitzen zaio, eta kasu ez-tribialetan problema konplexu bat da. Aldi berean kokapena ere zehaztu nahi bada, hots, atazak zein prozesadoretan eta mezuak zein saretan zehar bidaltzen diren, ebazkizunaren konplexutasuna NP-zaila izatera heltzen da (Tindell *et al.*, 1992). Prozesu osoari sintesia deritzo, eta gaur egun mota honetako problemei denbora polinomikoan soluzio optimoak ematen dizkieten algoritmorik ez da ezagutzen. Hortaz, bilaketa eta optimizazio algoritmoak erabiltzen dira: algoritmo horiek soluzio optimoak zein azpi-optimoak lor ditzakete. Ikerkuntza lan honetan mota horretako algoritmo bat garatuko da.

IKERLAN euskal zentro teknologikoak denbora errealeko sistema ziberfisikoen alorrean (trenak, hegazkinak, industria-kontrol aurreratua...) nabarmentzen diren enpresekin egiten du lan, bere ikerketa lanetatik sorturiko emaitzak aplikatzen zaizkien garapen berritzaileak eratzen. Lehen aipatu den moduan, kontrol sistema aurreratuak geroz eta konplexuagoak dira, eta horren ondorioz enpresek euren soluzioak berdimentsionatzera eta berdiseinatzera behartuta daude, baldintza eta funtzionaltasun berriei egokitzeko. Egoera horren kasu paradigmatico bat tren-industrian gertatu da; izan ere, ETCS estandararekin (ERA, 2007) bat egiten duten seinaleztapen aplikazioen implementazioak teknika multzo tradizionalak erabiliz egin izan dira, eta nahiz eta gaur egun euren betekizun basikoak bete, denbora errendimenduaren aldetik zein eskalabilitate funtzionalaren aldetik nabarmen hobe daitezke. Tesi honen soluziotik, segurtasun funtzionalaren zertifikazioaren arazo jakin bati erantzuna emateaz gain, partizioetan oinarritutako sistemen sintesira aplika daitekeen oinarri teknologikoa sortuko da, sistema ziberfisiko hedatu mota askotan aplikagarria izango dena.

2. Ikerketaren helburuak

Doktoretza tesin honen helburu nagusia partizioetan funtsatutako denbora errealeko sistema banatuen sintesirako teknika optimizatuak ikertzea da, gaur egungo sistema ziberfisikoen erakusle diren denbora eta segurtasun funtzionalako baldintza guztiak bete daitezen. Horretarako jarraian aipatzen diren helburu partikularrei ekingo zaie:

- Sistema ereduaren formalizazioa: ikerketa lan honen emaitzak esparru errealean erabiltzeko bideratua dagoenez, sistema ereduak ezaugarri guztiak (denbora erreala, kritikotasuna...) adierazteko gai izatea oso garrantzitsua da.
- Arloko egoeraren analisia: behin sistema eredu oso bat definituta, orain arte honekin bat datozen sistemen sintesia nola egin den analizatuko da.
- Bilaketa eta optimizazio algoritmoaren garapena: sistemaren sintesia, hots planifikazioa eta kokapena, burutzen duen algoritmo bat zehaztu eta inplementatuko da, denbora baldintza guztiak beteko diren bermearekin.
- Proposatutako soluzioen balioztatzea: algoritmoak proposatutako emaitzen jarduna industri kasu errealean frogatuko dira.

3. Ikerketaren muina

Aurreko ataleko helburu partikularrak aintzat hartuta, ikerkuntza lan hau zenbait lan-sortatan antolatu da. Jarraian, bakoitzaren oinarritzko ideiak azalduko dira, bai eta bakoitzaren gaur egungo heldutasun gradua ere.

3.1. Sistema ereduak

Sistema baten ezaugarriak edota portaerak ulertzeko, iragartzeko eta kontrolatzeko egiten diren errepresentazio sinplifikatuei sistema ereduak deitzen zaie. Tesi honetan, lantzen den sistema mota dela eta, Kantabriako Unibertsitatean garaturiko MAST (Modelling and Analysis Suite for real-Time applications)¹ tresna sortarekin lan egingo da. Tresna horien oinarria sistemen denbora portaera deskribatzeko gai den eredu bat da, eta planifikazio, analisi eta simulazio algoritmo anitz garatu da hartan oinarrituta. Gaur egun MAST-2 (Harbour *et al.*, 2013) garapen fasean dago, partizioetan oinarritzen diren sistemak modelatzeko, besteak beste.

Sistemaren ikuspegi orokor bat izateko oso lagungarria da sistemaren arkitektura fisikoa eta logikoa deskribatzea, betiere gogoan izanda aplikazio errealek izan ditzaketen ezaugarri, muga eta xehetasunak.

¹<https://mast.unican.es/>

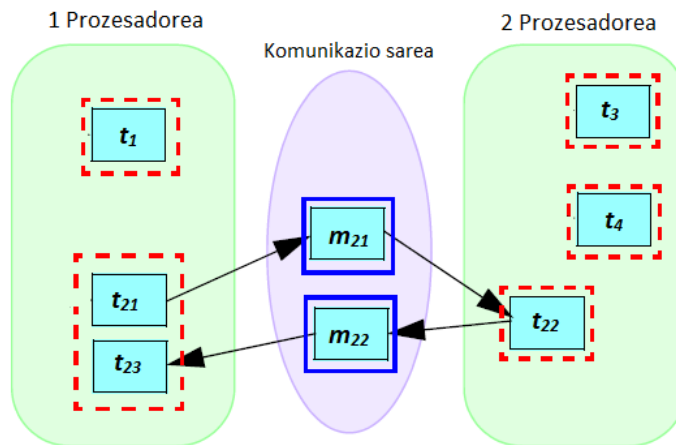
- Arkitektura fisikoa

Denbora errealeko sistema banatuen arkitektura fisikoa prozesadoreek eta komunikazio sareek osatzen dute. Prozesadoreak heterogeneoak dira: denak nukleo bakarrekoak izango dira, baina haien prozesamendu abiadurak desberdinak izan daitezke. Bakoitzak bere memoria baliabide mugatuak edukiko ditu. Prozesadoreen baitan, partizioen exekuzioa gauzatzeko behar den planifikazioa ezarriko da, eta bi prozesadore edo gehiagoren arteko komunikazioa ahalbidetzeko komunikazio sareak erabiltzen dira. Aplikazio motaren arabera, komunikazio sare bat baino gehiago egon daiteke.

- Arkitektura logikoa

Sistema honen arkitektura logikoa prozesadoreetan exekutatzen diren atazek eta sareetan zehar bidaltzen diren mezuek osatzen dute. Ataza bat prozesadore batean planifikatzen den unitate minimoa da, eta era berean mezua sarean planifikatzen den unitatea da. Beraien lehentasunak, epeak eta kasu txarreneko exekuzio (transmisio, mezuen kasuan) denborak dira euren ezaugarriarik aipagarrienak. Ataza batek beste bat aktibatu dezake, eta era berean hark beste bat; hala, kate-moduko sekuentziak sortzen dira. Atazen arteko komunikazioa mezuen bidez egiten da, eta prezidentzia erlazio horietatik puntatik-puntarako fluxuak eratzen dira. Sistema banatu bat izanik, fluxu bereko atazak prozesadore ezberdinetan exekutatu daitezke. 2. irudian arkitektura logikoaren eta fisikoaren adibidea bat azaltzen da. Bertan, bi prozesadore komunikazio sare baten bitartez konektatu dira, zenbait ataza independente eta puntatik-puntarako fluxu batez osaturiko aplikazio bat exekutatzeko.

2. irudia. Denbora errealeko fluxuen exekuzio banatua



Partizio eredua ere definitu beharra dago. Sarreran aipatu da partizio espazialak konponenteei esleitzen zaien memoria gune pribatuak direla. Aurreko irudian, lauki gorriek partizio espazial bat adierazten dute; hortaz, atazak prozesadore berdinean exekutatzen diren arren, ez dute memoria gunerik partekatuko euren arteko isolamendua mantenduz. Planifikazioaren ikuspuntutik horrek ez dauka eraginik; bai ordea denbora partizioek. Izan ere, atazen exekuzioa denbora partizioetan funtsatuta egoteak planifikazio eskema jakin bat erabiltzera behartzen du: planifikazio hierarkikoa, hain zuzen ere. Horrek zera esan nahi du: prozesadore bakoitzean hainbat denbora partizio definitzen da, eta horien exekuzioa ziklikoki errepikatuko da. Denbora partizio bakoitzaren barnean atazak euren lehentasunaren arabera exekutatuko dira.

Oro har behar-beharrezkoa da sistema ereduaren zehaztea hurrengo lanetarako, eta zenbat eta zehaztasun gehiago definitu hasierako faseetan, orduan eta ezusteko implementazio arazo gutxiago sortuko da gerora. Lerro hauetan oinarritzko azalpenak eman badira ere, formalizazio lanak sakontasun gehiagoz gauzatu dira.

3.2. Arloko egoera

Tesi honen testuinguruan, arloko egoera jasotzen duen artikulua bat idatzi da (Amurrio *et al.*, 2019). Bertan 70 ekarpenen baino gehiagoren erreseina egin da, denbora errealeko sistema banatuen kokapena eta planifikazioa hamaika aldiz jorratu den seinale.

Lan batzuetan, (Gutiérrez eta González Harbour, 1995) kasu, atazei lehentasunak esleitzen zaizkie planifikazioa burutzeko. Beste batzuek, ordea, atazen exekuzio zikliko bat zehazten dute, zehaztutako ordenean periodikoki exekuta daitezen, hala nola (DiNatale eta Stankovic, 1995) lanean. Aipaturiko lanetan ez da ataza eta mezuen kokapena ebazten, bai ordea (Monnier *et al.*, 1998) lanean, non atazen exekuzio ziklikoa definitzeaz gain zein prozesadoretan exekutatzen diren ere zehazten den. Ohikoa da sintesi algoritmoek denbora errealeko betekizunak errespetatuz zenbait parametro hoberenatzeari; (Azketa *et al.*, 2011) lanean bai kokapena bai planifikazioa jorratzen dira, memoria eta prozesadore baliabideak minimizatzen dituen konfigurazioa bilatzen aldi berean. Partizioak darabiltzaten sistemak aintzat hartzen dituzten ekarpenak oso gutxi dira: (Deroche *et al.*, 2016) eta (Chen *et al.*, 2016) lanetan denbora partizioen planifikazioa soilik zehazten duen algoritmoak garatu dituzte, haien baitan dauden ataza eta mezuen kokapen eta planifikazioaz aipatu gabe. Azkenik, (Tămaş-Selicean eta Pop, 2011) lanean tesi honetan definitu den sistema eredura gehien egokitzen den eredua aurkezten da. Izan ere, ataza eta mezuen kokapena eta planifikazioa zehazten dira, eta, aldi berean, denbora partizioen exekuzioaren planifikazioa zehazten da. Dena den, ez du prozesadoreen eta sareen sintesia aldi berean jorratzen, eta definitu den sistema ereduarekin ere zenbait desberdintasun topatu dira.

NP-zaila den ebazkizun bat izanik, bilaketa eta optimizazio algoritmoak erabiltzen dira soluzio optimoak zein azpioptimoak lortzeko. Algoritmo horiei problema jakin bati soluzio bat emateko zehazki diseinatzaren direnean *Heuristikoak* deitzen zaie. Bestalde, ebatzi nahi den problemarekiko independenteak diren arauak aplikatzen dituztenei *Metaheuristikoak* esaten zaie. Metaheuristiko aipagarri batzuk dira, besteak beste, algoritmo genetikoak, tabu bilaketa edota tenplaketa simulatua.

3.3. Otsoaren optimizazio algoritmoa

Optimizazio edo hobereneratze matematikoa ebazkizun jakin batek eduki ditzakeen soluzio posible edo hautagai guztietatik onena aurkitzean datza, hots, helburuko funtzio bat minimizatu edo maximizatzen duten problemen azterketa eta ebazpena da. Testuinguru horretan garatu beharreko algoritmoaren betebeharrak nagusia partizioetan oinarritzen den denbora errealeko sistema banatu baten kokapen eta planifikazio optimizatu bat lortzea da. Horretarako algoritmoak zenbait erabaki hartu behar du. Atazak prozesadoreetan eta mezuak sareetan kokatu behar dira, eta ataza bakoitzari lehentasun bat esleitu behar zaio. Partizioak ere sortu behar dira: batetik, atazak partizio espazioetan kokatuko dira euren kritikotasun mailaren arabera; bestetik, denbora partizioak definitu behar dira, bakoitzaren exekuzioaren hasiera eta iraupena zehaztuz. Denbora partizio guztiak barne hartzen dituen eta periodikoki errepikatuko den exekuzio ziklo bat ere definitu beharra dago.

Hoberenatzeko problemak ebazteko lehenengo urratsa berau konposatzen duten elementuen karakterizazioa da, hau da, aldagai, betekizun eta kasuan kasuko baldintzak optimizazioaren ikuspuntutik adieraztea. Zaila da optimizazioaren taxonomia zehatz bat ematea, baina *NEOS Guiden*² azaltzen den perspektibaren arabera, problema hori balio diskretuak har ditzaken ebazkizun deterministen artean kokatzen da. Baldintza eta betekizun guztiak ekuazio eta inekuazio linealez osatutako funtzioen bidez adieraziko dira, eta aldagai batzuk bakarrik osoak izango direnez, programazio lineal oso mistoko problema bat bezala definitu da. Lan honetako helburuko funtzioaren hoberenatzeari betekizun eta baldintza guztiak errespetatuz sistemaren epe guztiak betetzea lortzen duen konfiguratzeko orokorra aurkitzean datza. Oraingoz ez da helburuko funtzio hori garatu.

Optimizazioa aurrera eramateko denbora errealeko sistemen alorrean inoiz erabili gabeko metaheuristiko bat frogatuko da: Otsoaren optimizazio algoritmoa, ingelesez *Grey Wolf Optimizer* (GWO) (Mirjalili *et al.*, 2014). Testu honetan ez da gehiegi sakonduko algoritmoaren garapenean, bere osotasunean ulertzeko ezagutza matematiko sakonak behar baitira. Hortaz, hemen emango diren oinarritzko azalpenak osatzeko, algoritmoa garatzen den artikularen erreferentziara jotzea gomendatzen da.

GWO algoritmoak otsoen egitura sozial eta ehiza teknikan du oinarria. Otsoak 5 eta 12 kideko taldeetan bizi ohi dira, egitura sozial hierarkizatu bat eratuz. Nagusiari alpha (α) esate zaio, arra zein emea izan daiteke eta berak hartzen ditu beharrezko erabakiak ehizari zein bizilekuari dagokionez. Hierarkiaren bigarren mailan betak (β) daude eta erabakiak hartzen laguntzen dute alpha otsoari. Ondoren deltak (δ) daude, eta omegak (ω), azkenik, hierarkian mailarik baxuenean daude. Otsoek taldeka ehizatzen dute beti, eta hiru fasetan oinarritzen den estrategia jakin bat jarraitzen dute: lehena harrapakinaren aztarnei jarraitzea eta gerturatzea da, bigarrena ehizakia inguratzea eta nekarazi gelditzen den arte, eta azkenik eraso zuzena. Bai egitura sozial hori bai ehiza estrategiak matematikoki modelatu daitezke, bilaketa eta optimizazio algoritmo bihurtzeko.

Algoritmo honetako bilaketa eragileak otsoak dira. Otso bakoitzari soluzio hautagai bat dagokio: α otsoa

²<https://neos-guide.org/>

topatutako soluzio hautagai onena izango da, β otsoa bigarren onena, δ hirugarrena eta beste soluzio hautagai guztiak ω -k izango dira. Ebazkizunak eduki dezakeen soluziorik onena ehizakia da, beraz t iterazio bakoitzean bilaketa eragile guztiek euren posizioak eguneratu behar dituzte ehizakiarekiko, azken hura bilaketa espaziotik ausaz mugitzen delarik, otso batek soluziorik onena topazen duen arte, edo iterazio kopuru jakin batera heldu arte. Gainera, otsoen egitura soziala dela eta, otsoen mugimenduetan harrapakinaren posizioaz gain hierarkian gainetik dauden otsoen posizioek ere eragina daukate. Honako adierazpen hauek otso bakoitzak ehizakiarekiko eta beste otsoekiko burutzen duen inguratze mugimenduak irudikatzen dituzte:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (1)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (2)$$

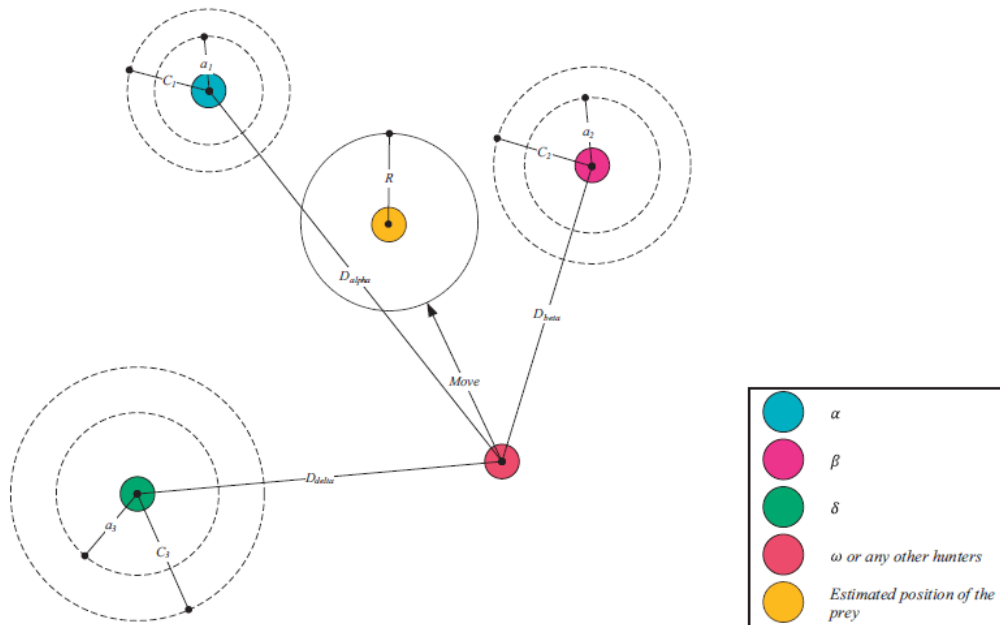
$\vec{X}_p$ ehizakiarekiko posizio bektorea da, eta $\vec{X}$ bilaketan diharduen otso bakoitzarena. $\vec{A}$ eta $\vec{C}$ otsoen mugimenduak zehazten dituzten koefiziente bektoreak dira, eta haien arabera bi mugimendu mota bereizi daiteke: erasoa eta bilatzea. Erasoa ehizakiaren posiziorantz mugitzean datza, eta aldi berean ausazko bilaketa mugimenduak ere egin behar dira beste soluzio (ehizaki) hobeago bat bilaketa espazioan agertuko delakoan. Beraz, $\vec{A}$ eta $\vec{C}$ horrela kalkulatu dira:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (3)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (4)$$

non $\vec{a}$ iterazio bakoitzeko linealki txikituz doan bektorea eta $\vec{r}_1$ eta $\vec{r}_2$ $[0,1]$ tarteko ausazko balioak har dezaketen bektoreak diren. Ondorioz, $|\vec{A}| \geq 1$ ematen denean otsoak ehizakiarekiko urruntzen dira beste soluzioren

3. irudia. ω otso baten mugimendua bilaketa espazioan zehar (Mirjalili *et al.*, 2014)



bat topatzeko asmoz eta $|A| < 1$ denean ehizakira hurbiltzen dira. Horrela, funtzioen maximo zein minimo lokalak ekiditen dira. 3 irudian, α , β eta δ otsoen eta ehizakiaren ustezko posizioarekikoa den ω otso baten mugimendua irudikatu da.

Algoritmo horren inplementazioa edozein programazio lengoaiatan inplementatu daiteke, eta eskuragarri dagoen laguntza baliabide kopuruarengatik lehenengo probak *Javan* egitea erabaki da. Hona hemen GWO algoritmoaren sasikodea:

```
Otsoen populazioa hasieratu  $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 
a, A eta C hasieratu
Bilaketa eragile bakoitzaren egokitasuna kalkulatu
 $X_\alpha$  = Bilaketa eragile onena
 $X_\beta$  = Bigarren bilaketa eragile onena
 $X_\delta$  = Hirugarren bilaketa eragile onena
while (t < iterazio kopuru maximoa)

    for (bilaketa eragile bakoitzarentzat)
        Otso bakoitzaren posizioa eguneratu
    end for

    Eguneratu a, A eta C
    Bilaketa eragile bakoitzaren egokitasuna kalkulatu
    Eguneratu  $X_\alpha$ ,  $X_\beta$  eta  $X_\delta$ 
    t=t+1
end while
return  $X_\alpha$ 
```

3.4. Soluzioen balioztatzea

Ikerketa honetan proposatu diren eredu eta algoritmoak aplikazio industrial errealetan erabiliko dira; beraz, beti kontutan hartuko da bideratze hori diseinu faseetatik euren inplementazio eta balioztatzerako benetako tren seinaleztapenerako aplikazio bat inplementatzen duen demostradore bat garatuko da, zeinetan partizioen exekuzioa sinkronoki emango den, eta segurtasunaren zertifikaziorako baldintza guztiak beteko diren. Aurreko faseetan garatutako optimizazio algoritmoa bertan aplikatuko da, ondorioz aplikazio osoaren gaur egungo erantzun-denborak murriztuko direlakoan. Konfidentzialtasun aferengatik ez da honetan gehiago sakonduko.

4. Ondorioak

Lan honetan partizioetan funtsatutako denbora errealeko sistema banatuen sintesiari buruzko ikuspegi orokor bat erakutsi da. Ebazkizuna NP-zaila denez, bilaketa eta optimizazio algoritmoak erabili behar dira emaitza optimo edo azpi-optimoak lortzeko. Hemen *Grey Wolf Optimizer* teknika metaheuristikoa azaldu da, zeina ez den mota horretako problemak ebazteko inoiz erabili.

Aplikazio errealak adierazteko gai den sistema eredu generiko bat zehazki definitu da. Horrek garrantzi handia du lan honetako emaitzak industrian aplikagarriak izan daitezen. Bestalde, arloko egoera sakonki aztertu eta gero, bi ondorio argi nabarmendu daitezke: batetik, denbora errealeko sistemen sintesia askotan landu den gai bat da. 1992. urtean lehenbiziko ekarpena egin zen, eta gaur egun oraindik teknika ezberdinak sortzen edota besteak hobetzen dituzten lanak aurkezten dira punta-puntako komunikazio hedabide espezializatueta. Bestetik, tesi honetan proposatu den sistema motaren sintesia ez da inoiz burutu, egileek dakitenez, beraz horrek soberan justifikatzen du tesiari ekin izana.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Oro har, kokapen eta planifikazio jakin batek sistemaren denbora baldintzak betetzen dituela ziurtatzeko ezinbestekoa da ataza eta mezu guztien kasu txarreneko denbora erantzunak kalkulatzeko. Denbora horiek kalkulatzeko ahalbidetzen duten matematika-metodoei planifikagarritasun-analisi teknikak deritze. Ataza eta mezu guztien kasu txarreneko denbora erantzunak ez badituzte haien epeak gaititzen, sistema planifikagarria dela esaten da. Beraz, eman beharreko hurrengo urratsa lehen definitutako sistema ereduarekin bat datorren denbora analisi teknika bat

garatzea izango da. Kantabriako unibertsitatean partizioetan funtsatutako sistementzako teknika bat garatu duten jada, eta erabiliko den aplikazioaren ezaugarrietara egokitu beharra dago, bai eta optimizazio algoritmoarekin zein sareen denbora analisia egiten duten teknikekin bateratu ere. Denbora analisi teknika hau ez da inoiz erabili partizioak darabiltzaten denbora errealeko sistemen sintesia optimizaziorako.

6. Erreferentziak

- Amurrio, Andoni, Ekain Azketa, J Javier Gutierrez, Mario Aldea, eta Jorge Parra. 2019. Una revisión de técnicas para la optimización del despliegue y planificación de sistemas de tiempo real distribuidos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*.
- Azketa, Ekain, Juan P Uribe, Marga Marcos, Luis Almeida, eta J Javier Gutierrez. 2011. Permutational genetic algorithm for the optimized assignment of priorities to tasks and messages in distributed real-time systems. In *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Embedded Software and Systems*.
- Chen, Jinchao, Chenglie Du, eta Pengcheng Han. 2016. Scheduling independent partitions in integrated modular avionics systems. *PloS one* 11.
- Crespo, Alfons, Alejandro Alonso, Marga Marcos, A Juan, eta Patricia Balbastre. 2014. Mixed criticality in control systems. *IFAC Proceedings Volumes* 47.12261–12271.
- Deroche, Emilie, Jean-Luc Scharbarg, eta Christian Fraboul. 2016. Communication-aware scheduling on an ima architecture. *ACM SIGBED Review* 13.23–24.
- DiNatale, Marco, eta John A Stankovic. 1995. Applicability of simulated annealing methods to real-time scheduling and jitter control. In *Real-Time Systems Symposium, 1995. Proceedings., 16th IEEE*, 190–199. IEEE.
- ERA, European Railway Agency. 2007. Ertms/etcs functional requirements specification frs.
- Gutiérrez, J Javier., eta M. González Harbour. 1995. Optimized priority assignment for tasks and messages in distributed hard real-time systems. In *Parallel and Distributed Real-Time Systems, 1995. Proceedings of the Third Workshop on*, 124–132. IEEE.
- Harbour, Michael González, J Javier Gutiérrez, José M Drake, Patricia López Martínez, eta J Carlos Palencia. 2013. Modeling distributed real-time systems with mast 2. *Journal of Systems Architecture* 59.331–340.
- International Electrotechnical Commission. 2000. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems. *IEC 61508*.
- Liu, JWS. 2000. Real-time systems. *Prentice Hall*.
- Mirjalili, Seyedali, Seyed Mohammad Mirjalili, eta Andrew Lewis. 2014. Grey wolf optimizer. *Advances in engineering software*.
- Monnier, Yannick, J-P Beauvais, eta A-M Deplanche. 1998. A genetic algorithm for scheduling tasks in a real-time distributed system. In *Euromicro Conference, 1998. Proceedings. 24th*, volume 2, 708–714. IEEE.
- Tămaş-Selicean, Domiţian, eta Paul Pop. 2011. Design optimization of mixed-criticality real-time applications on cost-constrained partitioned architectures. In *Real-Time Systems Symposium (RTSS), 2011 IEEE 32nd*.
- Tindell, Ken W, Alan Burns, eta Andy J. Wellings. 1992. Allocating hard real-time tasks: an np-hard problem made easy. *Real-Time Systems* 4.145–165.

7. Eskerrak eta oharrak

Eskerrak eman nahi dizkiot Ikerlan ikerketa zentroko Euskara Batzordeari, 1994. urtean sortu zenetik euskararen alde eginiko lanagatik. Beraiegandik etorri zaigu doktoregaioi IkerGazten parte hartzeko lehenengo bultzada. Kongresu honetako antolatzaile den Udako Euskal Unibertsitateari ere nire esker ona adierazi nahi diot, Euskal Unibertsitatea sortzeko bidean emandako urrats guztiengatik.

Bestalde Kantabriako Unibertsitateko zuzendariei, J. Javier Gutierrez eta Mario Aldeari, eskerrak eman nahi dizkiet.

Testu honetan azaldutakoa 2018. urteko otsailean hasitako doktoretza tesiaren testuinguruan landu da.

Euskaraz hitz egiten ikasten duten makina autodidaktak

López Zorrilla, Asier; deVelasco Vázquez, Mikel eta Justo Blanco, Raquel

Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU

asier.lopezz@ehu.eus

Laburpena

Lan honetan sare neuronalen bidez euskaraz hitz egiten ikasten duen elkarriketa sistema automatikoa aurkezten dugu. Horretarako, Turingen testaren ideia era konputazionalan inplementatzen duten sare neuronal sortzaile aurkariak erabili ditugu. Normalean erabiltzen diren ingelesezko corpusak baino bi magnitude ordena txikiagoa den euskarazko corpus batekin halako sareak entrenatzea badagoela frogatzen dugu. Amaitzeko, euskararen morfologia kontuan hartzen duen aurreprozesamendua erabiltzea komenigarria dela erakusten dugu. Dakigunaren arabera, sare neuronaletan oinarrituta dagoen euskarazko lehen elkarriketa sistema aurkezten dugu.

Hitz gakoak: elkarriketa sistema automatikoak, sare neuronalak, sare neuronal sortzaile aurkariak, euskara

Abstract

This work presents a neural dialogue system capable of learning Basque. To this end, we build upon generative adversarial networks which implement the idea of the Turing test. We demonstrate that training such a dialogue system with corpora two orders of magnitude smaller than usual English corpora is feasible. Finally, we also found that preprocessing the Basque language according to its morphology helps training these neural models. To the best of our knowledge, this is the first attempt to develop a neural dialogue system in Basque.

Keywords: dialogue systems, deep learning, generative adversarial networks, Basque

1. Sarrera eta motibazioa

Elkarriketa sistema automatikoek pertsona eta makinaren arteko komunikazioa eta interakzioa ahalbidetzen dute, lengoia naturalaren bidez. Oro har, bi motatako elkarriketa sistema desberdintzen dira: helburudunak eta helbururik gabekoak edo eremu irekikoak. Lehenengo kategorian erabiltzailearen nahi espezifikoak asetzeko eraikitako sistemak sartzen dira. Adibidez, busen ordutegiak eta lineak kontsultatzeko (Olaso Fernández eta Torres, 2017) eta jatetxeetan edo hoteletan erreserbak egiteko (Bordes eta Weston, 2016) balio duten sistemak helburudunak dira. Hauetaz gain, azken urteotan hedatu diren laguntzaile birtualak, hala nola Siri, Cortana, Google Assistant edo Alexa, elkarriketa sistema helburuduntzat ere har ditzakegu, normalean euren lana erabiltzailearen aginduak burutzea baita, esate baterako dei bat egitea edo Interneten biharko eguraldiaren iragarpena bilatzea.

Beste aldetik, eremu irekiko elkarriketetan ez dago alde zehatzik definitutako helbururik ezta gairik. Hau da, erabiltzaileak eta makinak ez diote elkarri hitz egiten helburu espezifiko batekin; interakzioa bera naturala eta zentzuduna izatea da helburua. Horretarako, sistemak esaldi ahal bezain logiko, koherente eta informatzaileekin erantzun behar dio erabiltzaileak esaten duenari. Beste modu batean esanda, sistemak era gizatiarrean hitz egin behar du. Lan honetan elkarriketa sistema mota horietan zentratuko gara.

Era gizatiarrean hitz egitearen ideiarekin lotuta, Alan Turing matematikariak 1950. urtean bere test famatua aurkeztu zuen: Turingen testa (Turing, 1950). Testaren ideia nagusia honakoa da: sistema automatiko bat kalitatezkoa edo adimenduna dela esateko, sistema hori eta pertsona bat elkar bereiztekin izan behar dute haiekin hitz egiterako orduan. Sistema batek halako propietatea betetzen duen egiaztatzeko, Turingek hainbat epaile zenbait makinekin hitz egiten jartzea proposatu zuen, makina batzuen atzean sistema automatikoak eta besteen atzean pertsonak daudelarik. Egoera horretan epaileek ehuneko altu¹ batean usteko balute sistema automatikoa pertsona bat

¹ Eztabaida handia dago sistema batek Turingen testa gainditzeko behar duen portzentajearen inguruan. Erreferentzia gisa, 2011. urtean Indian Institute of Technology Guwahati institutuan ospatutako Turingen test batean, epaileek pertsonak pertsona moduan sailkatu zituzten ebaluazioen % 63,3-an.

dela, orduan sistema hori erabat adimenduna dela esan liteke.

Denbora pasa ahala, Turingen testa gainditzearen ideiak gero eta ikerketa gehiago bultzatu zituen adimen artifizialaren arloan. Adibidez, 1966. urtean ELIZA programa (Weizenbaum, 1966) aurkeztu zuten MIT-eko ikerlariek. Programaren funtsa hitz gakoak detektatzean eta horien arabera aurredefinitutako esaldi bat aukeratzean datza. Algoritmo hori sinplea izan arren, hainbat epailek pertsonatzat hartzea lortu zuen.

Hurrengo hamarkadetan ikerketek aurrera jarraitu zuten arren, benetan Turingen testa gainditzeko gai zen sistemarik ez zen lortu. 2011. urtean Turingen test batean inoiz lortu diren emaitzarik onenak Cleverbot sistemak² lortu zituen, berarekin hitz egin zuten 1.334 epaileetatik % 59,3-ak pertsonatzat hartu zuenean. ELIZA-k ez bezala, Cleverbot-ek ez ditu aurredefinitutako esaldiak erabiltzen. Horren ordez urteetan zehar pertsonekin edukitako elkarrizketak erabiltzen ditu erantzuterako orduan. Hitz gutxiekin esanda, esaldi bati erantzuteko Cleverbot-ek esaldi hori edo antzeko bat esan duenean zein erantzun jaso duen bilatzen du, eta erantzun horretaz abiatuz sortzen du bere erantzuna. Ideia hau interesagarria bada ere, konputazionalki nahiko konplexua da, denbora zein memoriaren ikuspegitik, datu-base oso handi batean bilaketak egitea baitakar. Are gehiago, datu-basea gero eta handiagoa izan, orduan eta denbora eta memoria gehiago beharko du halako sistema batek erantzun bat lortzeko.

Eragozpen horiek saihesteko, baita adimen artifizialaren beste arloetan izan duten emaitzengatik, azken urteetan sare neuronalak elkarrizketa sistemak eraikitzeke teknologia nagusia bilakatu dira. Sare neuronalak datuetatik eredu konputazional konplexuak lortzeko balio duten paradigma konputazional bat dira, bereziki eraginkorra datuen kantitatea oso handia denean. Ulertzekoa da, beraz, arloko autore gehienek ingelesez dauden datu-baseekin lan egitea, normalean hauek baitira handienak, eta hortaz sare neuronalak hobeto funtzionatu dutelako. Baina, zer gertatzen da baliabide gutxiagoko hizkuntzekin? Ba al dago sare neuronaletan oinarrituriko elkarrizketa sistema automatikoak eraikitzerik euskaraz?

Lan honetan erakusten dugu baietz, badagoela. Normalean erabiltzen diren datu-baseak baino bi magnitude ordena txikiagoak diren datu-baseak erabiliz modu koherente eta zentzudunean euskaraz hitz egiten duen elkarrizketa sistema automatikoa aurkezten dugu.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Sare neuronalen bidezko eremu irekiko elkarrizketa sistemak itzulpen automatikorako erabiltzen diren sareetan oinarritzen dira, hots, sekuentziatik-sekuentziarako sareetan (Sutskever *et al.*, 2014; Cho *et al.*, 2014) (*Sequence to sequence networks* ingelesez). Sare neuronal horiek luzera arbitrarioko bektore segida bat har dezakete sarrera moduan, eta era berean beste luzera arbitrarioko segida bat sortu. Hala, eremu irekiko elkarrizketak sortzearen problema transdukzio problema bat bezala planteatzen badugu, sare horiek erabili ditzakegu. Hori egiteko, sarrera erabiltzaileak esandako hitzen segida izango da, eta irteera sistemaren erantzunari dagozkion hitzen sekuentzia.

Sare horiek entrenatzeko, edo euren parametroak doitzeko, ikasketa metodo gainbegiratuak erabili ohi dira, aipatutako sarrera-irteera bikoteez osaturiko corpusen bat erabiliz. Adibidez, lan honetan filmen azpituuluak erabiliko ditugu corpus hau eratzeko: sarrera bakoitza aktore batek esandako esaldi bat izango da, eta dagokion irteera beste aktore batek emandako erantzuna. Metodologia hau erabiliz emaitza interesgarriak lortu ahal diren arren, askotan horrela entrenatutako sareek informaziorik gabeko erantzun orokorrak sortzeko joera dute, hala nola *I don't know* edo *I'm sorry*³ (Sordani *et al.*, 2015; Serban *et al.*, 2016). Tuan eta Lee autoreek (2019) adierazten duten moduan, ikasketa metodo gainbegiratuak irteera bakarra esleitzen diote sarrera bakoitzari, baina horrek ez ditu elkarrizketen propietateak behar bezala jasotzen. Izatez, hitz egiten dugunean, norbaitek esan duenari erantzuteko hamaika esaldi ezberdin erabili ahalko genituzke, guztiak onargarriak. Horrela, esaldi askoren erantzuna izan daitezkeen esaldi generikoak probabilitate handiarekin sortzen ditu sareak.

Arazo hori konpontzeko, ikasketa gainbegiratuaren ordez sare sortzaile aurkariak (*Generative adversarial networks* ingelesez) (Goodfellow *et al.*, 2014) erabiliko ditugu lan honetan. Sare sortzaile aurkariak Turingen testaren ideia era konputazionalan aplikatzea ahalbidetzen dute. Kasu honetan, erantzunak sortzen dituen sareari (sare sortzailea hemendik aurrera) ez zaio adieraziko zein irteera dagokion sarrera bakoitzari. Horren ordez, beste sare batek, sare diskriminatzaileak, ebaluatuko ditu sare sortzaileak emandako erantzunak, zein punturaino gizatiarrak diren esanez, Turingen testaren epaile batek egingo lukeen modu berean. Sare sortzailearen helburua sare diskriminatzaileak berari emandako ebaluazioa ahal bezain beste hobetzea izango da. Sare diskriminatzailearena, aldiz, pertsonen sortutako eta sare sortzaileak sortutako esaldien artean bereiztea izango da. Modu honetan, bi sareak

²<https://www.cleverbot.com/>, azken bisita 2019ko martxoaren 22an.

³Arazo hori deskribatzen duten lanek ingelesez egiten dituztenez saiakuntzak, ingelesez ere ipini ditugu haiek erakutsitako adibideak.

iteratiboki entrenatuko dira; sortzailea saiatuko da diskriminatzaileak hura pertsonatzat hartzen, diskriminatzaileak sortzailearen eta pertsonen artean bereizten ikasten duen bitartean.

Halako optimizazio prozesua burutzea, dena den, ez da sinplea, sareak entrenatzeko normalean erabiltzen diren gradienteetan oinarritutako optimizazio metodoak ez baitira zuzenean aplikagarriak. Xehetasunetan sartu gabe, sare diskriminatzailearen irteera ez da diferentziagarria sare sortzailearen parametroekiko, sortzaileak sortutako hitzak diskretuak dira eta (Yu *et al.*, 2017). Errefortzu bidezko ikasketa erabili daiteke gradienteetan oinarritutako metodoen ordez (Li *et al.*, 2017; Hori *et al.*, 2019), baina horrek entrenamenduaren konbergentzia zaildu dezake (Sutton *et al.*, 1998). Beste aukera bat *straight-through Gumbel-softmax* (Bengio *et al.*, 2013; Jang *et al.*, 2016) zenbateslearen bidez gradientearen hurbilketa bat egitea da, Lu *et al.* (2017) eta Shetty *et al.* (2017) autoreek erakusten duten moduan. Azkenik, lan honetako autoreek guztiz diferentziagarria den sare sortzaile aurkari bat aurkeztu berri dute (López Zorrilla *et al.*, 2019)⁴, hitzen errepresentazio bektorial hurbilduak erabiltzen dituen, ondoren azalduko dugun moduan.

Testuinguru honetan, lan honen ekarpenak hiru dira: alde batetik, López Zorrilla *et al.* autoreek (2019) proposatutako sare sortzaile aurkaria balioztatzen dugu, ingelesez gain euskaraz ere eraginkorra dela frogatuz; bigarrenik, modu koherente eta zentzudunean hitz egiten duen sare neuronaletan oinarritutako elkarrizketa sistema automatikoa euskaraz eraikitzea badagoela frogatzen dugu; eta amaitzeko lematizazio prozesu baten bidez corpusaren tamaina txikiagoagatik sortutako desabantailak nola leundu daitezken erakusten dugu.

3. Ikerketaren muina

Atal honetan, hasteko, erabilitako sare neuronalen egiturak azalduko ditugu. Ondoren, bi sareen parametroak doitzeko erabilitako algoritmo iteratiboa aurkeztuko dugu. Jarraitzeko, euskaraz dagoen corpusa nola aurreprozesatu dugun deskribatuko dugu. Azkenik, burututako saiakuntzak eta lortutako emaitzak erakutsi eta aztertuko ditugu.

3.1. Sare sortzaile eta diskriminatzailea

Sare sortzailea sekuentziatik-sekuentziarako sare bat da, *long short-term memory* (LSTM) (Hochreiter eta Schmidhuber, 1997) kodetzaile eta deskodetzaile errekurrente independenteekin (Sutskever *et al.*, 2014) eta arreta modulu batekin (Bahdanau *et al.*, 2015; Luong *et al.*, 2015). Sare honek T luzera arbitrarioko hitzen errepresentazio bektorialen (Mikolov *et al.*, 2013) segida bat hartuko du sarrera moduan: $\mathbf{v} = \mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_T$. Sarrera hori prozesatu ostean, irteera moduan beste τ luzera arbitrarioko segida bat bueltatuko du, elementu bakoitza sareak sortzakeen hitz guztien arteko probabilitate-banaketa delarik: $\mathbf{p} = \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_\tau$.

Bestalde, sare diskriminatzailea beste bi kodetzaile errekurrentez osaturik dago, guztiz konektatutako geruza batzuez jarraituak, Kannan eta Vinyals autoreen (2017) antzera. Kodetzaile bakoitzak esaldi bat hartzen du sarrera moduan. Batek erabiltzailearen mezua $\mathbf{v}$ prozesatuko du, eta besteak erantzuna $\mathbf{u}$. Sistemaren irteera 0 eta 1-en arteko zenbaki erreal bat, a , izango da, erabiltzailearen mezuari emandako erantzuna zein punturaino gizatiarra den adierazten duena. Irteera zenbat eta baxuagoa, orduan eta gizatiarragoa izango da erantzuna, sarearen irizpidearen arabera. Bi sarrerak, berriz ere, hitzen errepresentazio bektorialen moduan hartuko ditu sareak.

Bi sareen gainontzeko xehetasunak (López Zorrilla *et al.*, 2019) lanean aurkitu daitezke.

3.2. Ikasketa algoritmoa

Bi sareak entrenatzeko, hiru optimizazio prozesu era iteratiboan burutuko ditugu. Lehenago aipatu dugun bezala, alde batetik sare sortzailea entrenatuko dugu diskriminatzaileak hura pertsonatzat hartzeko, hau da, diskriminatzailearen irteera minimizatzeke. Bigarrenik, diskriminatzailea entrenatuko dugu sare sortzaileak sortutako erantzunak eta corpusetik hartutako erantzunak desberdintzeko. Amaitzeko, Li *et al.* autoreen (2017) legeez, sare sortzailearen parametroak ikasketa metodo gainbegiratuaren bidez doituiko ditugu ere, prozedura guztiaren konbergentzia bermatzeko.

Hiru optimizazio prozesu hauek definitzeko, horietako bakoitzean gradienteetan oinarritutako optimizazio metodoekin minimizatuko ditugun galera-funtzioak zehaztuko ditugu.

⁴Apirilean argitaratuko da lana.

Sare sortzailearen parametroen egiantz handieneko estimazioa

Sare sortzailearen parametroak ikasketa gainbegiratuaren bidez doituko ditugu egiantz handieneko estimazio baten bidez. Hau da, corpuseko sarrera-irteera bikote bakoitzarentzat, sareak sarrera prozesatzean irteera desiratua sortzeko duen probabilitatea maximizatuko dugu. 1 ekuazioan agertzen den galera-funtzioa erabiliko dugu.

$$L_{EH} = \frac{1}{|\mathcal{C}|} \sum_{\mathbf{v}, s \in \mathcal{C}} \frac{1}{|s|} \sum_{t=1}^{|s|} -\log \mathbf{p}_t[s_t], \quad (1)$$

non $\mathcal{C}$ $\mathbf{v}$ sarreretatik eta s irteera desiratuak osatutako corpusa den, s_t irteera desiratuaren t -garren hitzari dagokion indizea, eta $\mathbf{p}_t[s_t]$ sareak t -garren denbora unean s_t hitzari esleitutako probabilitatea den. Sarearen irteera, $\mathbf{p}$, $\mathbf{v}$ sarreraren funtzioa da noski, baina mendekotasun hori ez dugu esplizituki adierazi notazioa ez korapilatzeke.

Sare diskriminatzailearen galera-funtzioa

Sare diskriminatzailearen entrenamendua burutzeko lehenik eta behin corpus berri bat sortu beharko dugu, $\mathcal{C}_D$, $\mathcal{C}$ corpusetik abiatuz eta sare sortzailea erabiliz. Diskriminatzaileak pertsonen emandako eta sare sortzaileak sortutako erantzunen artean desberdintzen ikasi behar duenez, bi eratako laginak behar ditu euren artean diskriminatu ahal izateko. Horretarako, bi motatako hirukoteak osatuko dugu $\mathcal{C}_D$ corpusa. Hirukote bakoitza erabiltzaileak bidalitako mezu batez, erantzun batez eta 0 edo 1 izan daitekeen etiketa batez osatuta egongo da. Lehenengo motako hirukoteek gizakiek emandako erantzunak edukiko dituzte, eta beraz etiketa 0 izango da. Hirukote hauek lortzeko $\mathcal{C}$ corpuseko bikoteak erabili genituen zuzenean. Bestalde, bigarren motako hirukoteek sare sortzaileak sortutako erantzunak edukiko ditu, eta ondorioz etiketaren balioa 1 izango da. Hirukote hauek eratzeko, $\mathcal{C}$ corpusetik hartu dira erabiltzailearen mezuak, gero hauek sare sortzaileari pasa sarrera moduan, eta sarearen irteera erabili erantzun moduan. $\mathcal{C}_D$ eraiki ondoren, entropia gurutzatuko galera-funtzioa erabili dugu sare diskriminatzailearen parametroak doitzeko (2 ekuazioa).

$$L_D = \frac{1}{|\mathcal{C}_D|} \sum_{\mathbf{v}, \mathbf{u}, l \in \mathcal{C}_D} -[l \cdot \log a + (1 - l) \cdot \log (1 - a)], \quad (2)$$

non $\mathbf{v}$ erabiltzailearen mezuaren hitzen errepresentazio bektorialen segida den, $\mathbf{u}$ erantzunarena, l erantzuna pertsona batena edo sare sortzailearena den adierazten duen eskalarra, eta a diskriminatzailearen irteera. Berrir ere, a -k $\mathbf{v}$ eta $\mathbf{u}$ -rekiko duen mendekotasuna ez dugu esplizituki adierazi.

Sare sortzailearen galera-funtzio aurkaria

Azkenik, sare sortzailea diskriminatzailearen irteera minimizatzeke galera-funtzioa definitzea erraza da, diskriminatzailearen irteera bera baita, 3 ekuazioan ageri den bezala.

$$L_S = \frac{1}{|\mathcal{C}_S|} \sum_{\mathbf{v} \in \mathcal{C}_S} a, \quad (3)$$

non $\mathcal{C}_S$ corpusa $\mathcal{C}$ corpusean dauden sarrera mezuez osatuta dagoen, $\mathbf{v}$ horietako bakoitza delarik. a diskriminatzailearen irteera da.

3 ekuazioko galera-funtzioa gradienteetan oinarritutako optimizazio metodoekin minimizatu ahal izateko, a sare sortzailearen parametroekiko diferentziagarria izan behar du. Sare sortzaileak $\mathbf{v}$ sarrera $\mathbf{p}$ irteeran era guztiz diferentzialean transformatzen du. Era berean, sare diskriminatzaileak bere bi sarrerak, $\mathbf{v}$ eta $\mathbf{u}$, era guztiz diferentzialean transformatzen ditu a irteeran. Hortaz, diferentziagarritasuna ez galtzeko $\mathbf{p}$ $\mathbf{u}$ -n transformatu behar da transformazio diferentziagarri baten bidez. $\mathbf{p}$ -ko elementu bakoitza, hots, $\mathbf{p}_t$, sareak esan ditzakeen hitz guztien arteko probabilitate-banaketa bat da. Normalean $\mathbf{p}_t$ -ko maximoaren argumentua hartuko genuke sareak t -garren denbora unean esan duen hitza bezala. Baina argmax operazioa ez da deribagarria.

Arazo horri irtenbidea emateko, López Zorrilla *et al.* autoreen (2019) prozedura berdina erabiltzen dugu lan honetan. $\mathbf{p}_t$ -ri dagokion errepresentazio bektoriala, $\mathbf{u}_t$, lortzeko, $\mathbf{p}_t$ -ko k elementurik handienak hartzen ditugu, *top-k* operazio baten bidez. Horrela elementu horien $\tilde{\mathbf{p}}_t$ balioak eta $\mathbf{k}_t$ indizeak lortzen ditugu. Jarraian $\tilde{\mathbf{p}}_t$ normalizatzen dugu *softmax* normalizazio batekin, $\hat{\mathbf{p}}_t$ lortuz. Azkenik, $\mathbf{u}_t$ kalkula dezakegu $\mathbf{k}_t$ indizeei dagozkien hitzen errepresentazio bektorialen arteko batz besteko aritmetiko haztatua eginez, pisuak $\hat{\mathbf{p}}_t$ direlarik.

Goi mailako optimizazio algoritmoaren deskribapena

Erabiliko diren hiru galera-funtzioak deskribatu ondoren, hauek iteratiboki minimizatzeko prozedura zehaztuko dugu. Hasteko, sare sortzailearen parametroak ez ditugu ausaz hasieratuko. Horren ordez, hainbat iteraziotan zehar doituiko ditugu hasieran, 1 ekuazioko egiantz handieneko galera-funtzioa minimizatuz. Behin sare sortzaileak kalitate onargarriko esaldiak sortzen dituela, $\mathcal{C}_D$ corpusa bere erantzunekin eta $\mathcal{C}$ -ko pertsonen erantzunekin hasieratuko dugu, eta sare diskriminatzailea lehenengo aldiz entrenatuko dugu.

Ondoren algoritmoaren begizta nagusia hasten da. Horretan, sare sortzailea eta diskriminatzailea iteratiboki entrenatzen dira. Sare sortzailea entrenatzeko galera-funtzio aurkaria (3 ekuazioa) eta egiantz handieneko galera-funtzioak (1 ekuazioa) txandakatzen dira. Prozedura osoan zehar, sare sortzailearen entrenamendu prozesu bakoitzaren amaite ostean, hainbat sarrera ausaz aukeratzen dira $\mathcal{C}$ -tik eta sare sortzaileak sortutako erantzunak $\mathcal{C}_D$ -ra gehitzen dira, eta diskriminatzailea entrenatzen da hainbat iteraziotan zehar. Prozeduraren konbergentzia bermatzeko, diskriminatzailea entrenatzerakoan probabilitate handiagoarekin hartzen dira $\mathcal{C}_D$ -n sartutako erantzun berriagoak.

3.3. Euskararen aurreprozesamendua eta lematizazioa

Esan dugunez euskarazko corpus batekin entrenatuko ditugu sareak. Ingelesa ez bezala, euskara hizkuntza eranskaria da egitura morfologikoaren aldetik. Hau da, euskarak monema independenteak elkartuz sortzen ditu hitzak. Horrela, askotan euskaraz hitz batekin esan daitekeena ingelesez hainbat hitz erabiliz adierazi behar da. Adibidez, ingelesezko “*to the cinema*” euskaraz “*zinemara*” bezala itzuliko litzateke, edo “*because of the baby*” “*haurraren*gatik” bezala. Sareen ikuspegitik hitz bakoitza token independente bat denez, sareak ez ditu ikusten euskaraz gertatzen diren hitzen arteko erlazioak, euskararen prozesamendu automatikoa zailduz. Hasiera batean behintzat, sarearentzat “*haurraren*gatik” eta “*haurraren*” hitzak “*haurraren*gatik” eta “*daitezke*” bezain ezberdinak dira.

Honek hitzen errepresentazioa zailtzen du bi sareen sarreran, baita sare sortzailearen irteeran ere. Sareen sarretan, hitzen egituraren arreta jartzen duten errepresentazio bektorialak erabiliko ditugu hitzen arteko erlazio horiek sortzeko, *Fastext* (Bojanowski *et al.*, 2016) esate baterako. Dena den, irteeran ezin da arazoa horrela konpondu, sare sortzaileak hitzen arteko probabilitate-banaketa bat sortzen duelako. Honi irteera ematen saiatzeko, hitzen lexemak kasu marketatik eta postposizioetatik banatzea proposatzen dugu. Zehazki, izen, izenordain, izenondo eta determinanteak bananduko ditugu lan honetan. Hitzen lexema eta kategoria gramatikala topatzeko, Agerri *et al.* autoreek (2014) eraikitako kode irekiko lematizadorea erabiliko dugu. Izen, izenordain, izenondo edo determinante baten lexema eta postposizioa banatuko diren ala ez erabakitzeko, baldintza simple bat erabiliko da. Halako hitz baten bukaera postposizio baten berdina balitz, orduan hitza lexema eta postposizioan bananduko dugu. Adibidez, “zeruko” hitza “zeru” lexeman eta “-ko” postposizioan banatuko genuke. Hogeita bi postposizio hartu genituen kontuan: “-ri”, “-ei”, “-ekin”, “-ekin”, “-ren”, “-en”, “-n”, “-tik”, “-dik”, “-rik”, “-ra”, “-tara”, “-rengana”, “-engana”, “-rantz”, “-raino”, “-z”, “-rako”, “-ko”, “-entzat”, “-tzat” eta “-gatik”.

Lematizazioaz gain, izen propioak <izen> tokenera bihurtuko ditugu, normalean pertsonen izenak baitira, eta beraz, funtzio berdina dutelako esaldietan. Era berean, zenbakiak <zenbaki> tokenera bihurtuko dira.

3.4. Saiakuntzak eta emaitzak

Orain arte azaldutako sareak, ikasketa algoritmoa eta euskararen aurreprozesamendua balioztatzeko, OpenSubtitles (Lison eta Tiedemann, 2016) corpusaren euskarazko bertsioarekin entrenatuko dugu deskribatutako elkarrizketa sistema. Corpus horretatik milioi bat sarrera-irteera bikote atera daitezke, ingelesezko bertsioan baino 420 aldiz gutxiago. Corpusa 3.3 atalean azaldutako metodologiarekin aurreprozesatuko dugu, ondorioz hitz desberdinen kopurua berrehun milatik ehun milara jaitsiz. Normalean egiten den bezala, hitz horietako azpimultzo bat baino ez dugu kontuan hartuko saiakuntzetarako: maiztasun handieneko 15.000 hitzak. Gainontzekoak corpusetik kenduko dira. Aurreprozesamenduaren efektua erakusteko, corpus aurreprozesatua zein aurreprozesatu gabearekin entrenatuko ditugu sareak.

Kasu bietan, dena den, hiper-parametro berdinak erabiliko ditugu sareen arkitekturan eta baita ikasketa algoritmoan. Hiper-parametro horietako inportanteenak jarraian aipatzen ditugu. Sare errekurrente guztiak, hau da, sare sortzailearen kodetzailea, deskodetzailea, eta sare diskriminatzailearen bi kodetzaileak, bi LSTM geruzaz osatuta daude. Sare sortzailearen geruzak 1.028 zelda dituzte, eta diskriminatzailearenak 128. Adam optimizazio metodoa (Kingma eta Ba, 2014) erabiliko dugu 3.2 ataleko hiru galera-funtzioak minimizatzeko, 512 tamainako *batch*-ak erabiliz. Hitzen errepresentazio bektorialak *Fastext* metodologiarekin hasieratuko dira. Sare sortzailea 50.000 iteraziotan zehar entrenatuko dugu, ikasketa begizta hasi baino lehen. Hori 500 aldiz errepikatu dugu ondoren. Iterazio bakoitzean sare sortzailea zein diskriminatzailea 40 iterazioetan zehar entrenatuko da.

Liu *et al.* autoreek (2016) adierazten duten moduan, ebaluazio automatikoak ez dira komenigarriak elkarrizketa sistemen kalitatea neurtzeko. Hortaz, entrenatutako sistemen funtzionamendua erakusteko, zenbait sarrerako mezuen aurrean emandako erantzuna erakusten dugu emaitza modura. Erreferentzia bezala, metodologia berdinarekin ⁵ baina OpenSubtitles corpusaren ingelesezko bertsioarekin entrenatutako sareak emandako erantzunak ere erakusten ditugu. Erantzun guztiak 1 taulan ageri dira.

1. taula. Mezu ezberdinen aurrean elkarrizketa sistemek emandako erantzunak. A ingelesez entrenatutako sistema da, B euskaraz aurreprozesamenduarekin entrenatutakoa eta D aurreprozesamendurik gabekoa.

Sarrera mezua	Sistemaren erantzuna
A: hi ! B: kaixo ! D: kaixo !	hello , <person> . kaixo , <izen> naiz , <izen>-ren semea naiz . kaixo , kaixo .
A: I love you B: maite zaitut D: maite zaitut	you know , I think maybe we could talk ... nik ere maite zaitut . maite zaitut
A: who is she ? B: nor da neska hori ? D: nor da neska hori ?	she 's my girlfriend , <person> , and ... <izen> da neska . nor da neska ?
A: what's the color of the sky ? B: zein da zeru -ko kolorea ? D: zein da zeruko kolorea ?	it 's a beautiful blue sky zeru urdin iluna da . zein da zure kolore faboritua ?
A: do n't worry B: ez kezkatu D: ez kezkatu	I do n't want to hear about it. ez dut ulertzen zergatik egin duen hau zu -tzat , <izen> ? ez dut ahaztuko
A: could you come with us there ? B: toki hori -tara lagunduko diguzu ? D: toki horretara lagunduko diguzu ?	I 'll come with you . bai , horixe uste dut nik ere . jakina baietz
A: I forgot it . B: ahaztu egin zait . D: ahaztu egin zait .	I did n't know you were coming . <izen> . zer ?
A: can you see anything ? B: zerbait ikusten ? D: zerbait ikusten ?	I see you in the mirror . ez , ez ez .
A: it was a plane crash . B: hegazkin istripu bat izan zen . D: hegazkin istripu bat izan zen .	I was in the hospital <izen> larri zaurituta zegoen eta bere etxe -ra bueltatu zen . sute bat izan zen .
A: did he wake up again ? B: jaiki al da berriz ? D: jaiki al da berriz ?	no he did not, but he did n't sleep . zer esan nahi du horrek ? astelehenean atera behar duzu .
A: yesterday I saw you in the mountains . B: atzo mendi -tik ikusi zintudan . D: atzo menditik ikusi zintudan .	and now I see you ikusi zintudan <zenbaki> aldi -n . zer ?
A: see you B: agur D: agur	see you later , <person> . agur , aita . agur , ene erregea

⁵Ingelesez corpusaren tamaina handiagoa denez, sareak ere handiagoak dira eta iterazio gehiagotan entrenatu dugu. Zehaztasunak (López Zorrilla *et al.*, 2019) erreferentzian ematen dira.

4. Ondorioak

1 taulan ikusi daitekeen moduan, sare neuronal sortzaile aurkarien bidez euskaraz era nahiko koherente eta zentzudunear hitz egiten duen elkarriketa sistema automatikoa lortu dugu. Ingelesarekin konparatuz euskaraz dauden baliabideen tamaina askoz txikiagoa izan arren, sare neuronalen bidezko metodologiak erabiltzea badagoela frogatu dugu. Horretarako, euskararen morfologia kontuan hartzea inportantea dela erakutsi dugu ere. Izen, izenordain, izenondo edo determinanteak lexema eta postposizioetan banatzea komenigarria da, sareak era eraginkorrago batean prozesatzen baitu lengoaia. 1 taulari begira, aurreprozesu horrekin sareak esaldi konplexuagoak sortzeko joera duela esan dezakegu.

Amaitzeko, lan honekin proposatu berri dugun (López Zorrilla *et al.*, 2019) eta testuarekin era guztiz diferentzialean lan egin dezakeen sare sortzaile aurkarien arkitektura baliozkotzen dugu, elkarriketa sistema automatikoak euskaraz eraikitzeke aproposa dela egiaztatuz.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Dena den, lan honetan aurkeztutako metodologia eta ideiak asko garatu behar dira benetan pertsona baten moduan euskaraz hitz egiten duen sistema lortzeko. Izatez, ingelesez ere oraindik urrun gaude halako sistemak sortzeko. Oraingoz baliabide handiagoko eta txikiagoko lengoaiarekin sortutako sistemak parekatzea da gure hurrengo helburua. 1 taulan ageri den moduan, ingelesez entrenatutako sare sortzaile aurkaria era zentzudunagoan eta gizatiarreagoan hitz egiten du euskarazko sistemarekin konparatuz.

Diferentzia hauek murrizteko, ezagutzaren transferentzia (*transfer learning* ingelesez) egiteko teknikak erabiltzeko asmoa daukagu. Ezagutzaren transferentziaren ideia nagusia corpus handiagoei baina eginkizun ezberdin baterako entrenatutako ereduak eredu berriak sortzeko erabiltzea da. Kasu honetan, beraz, ingelesez sortutako sarea euskarazko sistema hobetzeko erabiltzea izango da gure helburua.

6. Erreferentziak

- Agerri, Rodrigo, Josu Bermudez, eta German Rigau. 2014. Ixa pipeline: Efficient and ready to use multilingual NLP tools. In *LREC*, volume 2014, 3823–3828.
- Bahdanau, Dzmitry, Kyunghyun Cho, eta Yoshua Bengio. 2015. Neural machine translation by jointly learning to align and translate. *CoRR* abs/1409.0473.
- Bengio, Yoshua, Nicholas Léonard, eta Aaron Courville. 2013. Estimating or propagating gradients through stochastic neurons for conditional computation. *arXiv preprint arXiv:1308.3432*.
- Bojanowski, Piotr, Edouard Grave, Armand Joulin, eta Tomas Mikolov. 2016. Enriching word vectors with subword information. *arXiv preprint arXiv:1607.04606*.
- Bordes, Antoine, eta Jason Weston. 2016. Learning end-to-end goal-oriented dialog. *CoRR* abs/1605.07683.
- Cho, Kyunghyun, Bart van Merriënboer, Çağlar Gülçehre, Dzmitry Bahdanau, Fethi Bougares, Holger Schwenk, eta Yoshua Bengio. 2014. Learning phrase representations using RNN encoder–decoder for statistical machine translation. In *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, 1724–1734, Doha, Qatar. Association for Computational Linguistics.
- Goodfellow, Ian, Jean Pouget-Abadie, Mehdi Mirza, Bing Xu, David Warde-Farley, Sherjil Ozair, Aaron Courville, eta Yoshua Bengio. 2014. Generative adversarial nets. In *Advances in neural information processing systems*, 2672–2680.
- Hochreiter, Sepp, eta Jürgen Schmidhuber. 1997. Long short-term memory. *Neural computation* 9.1735–1780.
- Hori, Takaaki, Wen Wang, Yusuke Koji, Chiori Hori, Bret Harsham, eta John R Hershey. 2019. Adversarial training and decoding strategies for end-to-end neural conversation models. *Computer Speech & Language* 54.122–139.
- Jang, Eric, Shixiang Gu, eta Ben Poole. 2016. Categorical reparameterization with gumbel-softmax. *arXiv preprint arXiv:1611.01144*.
- Kannan, Anjuli, eta Oriol Vinyals. 2017. Adversarial evaluation of dialogue models. *arXiv preprint arXiv:1701.08198*.

- Kingma, Diederik P, eta Jimmy Ba. 2014. Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint arXiv:1412.6980*.
- Li, Jiwei, Will Monroe, Tianlin Shi, Sébastien Jean, Alan Ritter, eta Dan Jurafsky. 2017. Adversarial learning for neural dialogue generation. *arXiv preprint arXiv:1701.06547*.
- Lison, Pierre, eta Jörg Tiedemann. 2016. Opensubtitles2016: Extracting large parallel corpora from movie and tv subtitles.
- Liu, Chia-Wei, Ryan Lowe, Iulian Serban, Michael Noseworthy, Laurent Charlin, eta Joelle Pineau. 2016. How not to evaluate your dialogue system: An empirical study of unsupervised evaluation metrics for dialogue response generation. In *EMNLP*.
- Lu, Jiasen, Anitha Kannan, Jianwei Yang, Devi Parikh, eta Dhruv Batra. 2017. Best of both worlds: Transferring knowledge from discriminative learning to a generative visual dialog model. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 314–324.
- Luong, Minh-Thang, Hieu Pham, eta Christopher D Manning. 2015. Effective approaches to attention-based neural machine translation. *arXiv preprint arXiv:1508.04025*.
- López Zorrilla, Asier, Mikel deVelasco Vázquez, eta M. Inés Torres. 2019. A differentiable generative adversarial network for open domain dialogue. In *Proceedings of the International Workshop on Spoken Dialogue Systems Technology (IWSDS)*.
- Mikolov, Tomas, Kai Chen, Gregory S. Corrado, eta Jeffrey Dean. 2013. Efficient estimation of word representations in vector space. *CoRR* abs/1301.3781.
- Olaso Fernández, Javier Mikel, eta M. Inés Torres. 2017. User experience evaluation of a conversational bus information system in spanish. In *8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications*.
- Serban, Iulian V, Alessandro Sordoni, Yoshua Bengio, Aaron Courville, eta Joelle Pineau. 2016. Building end-to-end dialogue systems using generative hierarchical neural network models. In *Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence*.
- Shetty, Rakshith, Marcus Rohrbach, Lisa Anne Hendricks, Mario Fritz, eta Bernt Schiele. 2017. Speaking the same language: Matching machine to human captions by adversarial training. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*.
- Sordoni, Alessandro, Michel Galley, Michael Auli, Chris Brockett, Yangfeng Ji, Margaret Mitchell, Jian-Yun Nie, Jianfeng Gao, eta Bill Dolan. 2015. A neural network approach to context-sensitive generation of conversational responses.
- Sutskever, Ilya, Oriol Vinyals, eta Quoc V Le. 2014. Sequence to sequence learning with neural networks. In *Advances in neural information processing systems*, 3104–3112.
- Sutton, Richard S, Andrew G Barto, eta others. 1998. *Introduction to reinforcement learning*, volume 135. MIT press Cambridge.
- Tuan, Yi-Lin, eta Hung-Yi Lee. 2019. Improving conditional sequence generative adversarial networks by stepwise evaluation. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*.
- Turing, Alan M. 1950. Computing machinery and intelligence. *Mind* LIX.433–460.
- Weizenbaum, Joseph. 1966. ELIZA— a computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM* 9.36–45.
- Yu, Lantao, Weinan Zhang, Jun Wang, eta Yong Yu. 2017. Seqgan: Sequence generative adversarial nets with policy gradient. In *AAAI*, 2852–2858.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan honen egileok gure esker ona adierazi nahiko genioke Eusko Jaurlaritzari, Euskal Herriko Unibertsitateari eta baita Europar Batzordeari, PRE.2017_1_0357 eta PIF17/310 zenbakidun diru laguntzekin, eta H2020 SC1-PM15 programako RIA 7 deialdiko 769872 zenbakidun diru laguntzarekin, hurrenez hurren, ikerketa hau babestegatik.

Iruzurrezko portaeren detekzioa *crowd* motako etiketazioan

de Velasco Vázquez, Mikel; López Zorrilla, Asier eta Justo Blanco, Raquel

Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU

mikel.develasco@ehu.eus

Laburpena

Lan honek *crowd* motako etiketazioan agertu daitezkeen kalitate baxuko etiketak detektatzea du helburu. Proposatutako metodologia balioztatzeko, saiakuntzak ataza zail eta subjektibo batekin egin ditugu: emozioen detekzioarekin. Iruzurrezko langileak topatzeko zenbait neurri proposatu dira, etiketatze denboran, langileen arteko adostasunean eta langileen erantzunen banaketan oinarriturikoak. Neurri bakoitza baliagarria dela frogatu dugun arren, gure ondorio nagusia neurriak batzerakoan iruzurrezko langileak detektatzeko probabilitatea handitzen dela da.

Hitz gakoak: Metodo gainbegiratuak, Etiketazioa, Iruzurrezko jokaera, Jendetza, Subjektibotasuna

Abstract

This work aims at detecting low quality labels in crowdsourcing annotation tasks. We validate our proposal carrying out experiments in a difficult and subjective task: emotion recognition. We have developed several measures in order to detect fraudulent behaviour, including measures related to the labelling time, worker inter-agreement and the distribution of the answers. Not only do we show that each of the described measures is helpful but we also demonstrate that mixing them is the best way to go.

Keywords: Supervised learning, Annotation, Fraudulence behaviour, Crowdsourcing, Subjective

1. Sarrera eta motibazioa

Adimen artifizialaren barruan, metodo gainbegiratuak (*supervised methods*), etiketaturiko data kantitate handiak erabili ohi dituzte eredu sendoak sortzeko. Hala ere, etiketatze prozesua, askotan, esfortzu, denbora eta diruaren beharra duen lana da. Tradizionalki, lan espezifikorako heziak izan diren etiketatzaile adituak erabiltzen dira prozesu honetarako, baina halako etiketatzaileak aurkitzea nahiko zaila da, prozesu konplexua eta garestia bihurtuz. Gainera, ataza subjektiboetan, emozioen analisian adibidez, jende askoren iritzia etiketatzaile adituen iritzia baino interesgarriagoa izan daiteke.

Azken urteetan, *crowdsourcing*-a (jendetza bitartez sortutako etiketazioa) etiketazioak egiteko eraginkorragoa den alternatiba berria bilakatu da. Izatez, informazioaren berreskurapenean, hizkuntza naturalaren prozesamenduan, zein beste eremutara lotuta dauden arlo ezberdinetan erabili ohi da. Crowdsourcing plataformen artean, Amazoneko Mechanical Turk¹ edo SamaSource² aipa daitezke. Metodologia honek, etiketatze lana etiketatzaile anitz ezberdinekin burutzea ahalbideratzen du, etiketazio lan oso bat mikro-lan askotan zatituz. Gainera kasu askotan langile askoren iritzia kontuan hartzea onuragarria izan daiteke.

Lan honetan, oso subjektiboa den ataza batekin lan egin dugu, audio-hizketa segmentuetan emozioen detekzioan hain zuzen ere. Emozioak anbiguotasunik gabe definitu ezin direnez (Ortony eta Turner, 1990), jende anitzen iritzia oso interesgarria eta baliotsua da. Anbiguotasun horrek iritzien arteko desadostasuna sor dezake, entzulearen pertzepzioarengatik ala ingurune kulturalarengatik sortutakoa adibidez (Gurney, 1884; Scherer, 1999). Hori dela eta, etiketatze prozesua burutzeko metodarik aproposena crowdsourcing-ekin egitea da, ahal bezain beste iritzi kontuan hartzeko.

¹www.mturk.com

²www.samasource.org

Dena den, ondoren azalduko diren arrazoiengatik, crowdsourcing-ak kalitate baxuko etiketak sor ditzake. Kalitate baxuko etiketen kausa nagusia langileen jarreraren ondorioa da. Horregatik, lan hau jarrera desegoki bat duten langileak detektatzera bideratuta dago. Iruzurrezko langilak topatzeko zenbait neurri proposatzen ditugu, etiketatze denboran, langileen arteko adostasunean eta langileen erantzunen banaketan oinarriturikoak.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Crowdsourcing-a nahiko hedatuta egon arren eta datu bilketa zein datu-etiketak balioztatze baliagarria izan arren, metodo honekin lortutako emaitzen kalitatea oraindik dudatan dago. Izan ere, komunitateak arlo honetan ahalegin handiak egin arren (Eickhoff eta de Vries, 2011; Gennaro *et al.*, 2010; Gadiraju *et al.*, 2015), datuen fidagarritasuna neurtzea ez da bat ere erraza. Eickhoff autoreen (2013) lanaren arabera hainbat langile desegoki aurki daitezke: gutxiengo baldintzak betetzen ez dituzten langile ezgaituak alde batetik, erantzun okerrak emanez esperimientua baliogabetzen saiatzen diren langile maltzurak bestetik, eta lanari beharrezko aditasuna jartzen ez dioten langile adigabeak azkenik.

Fidagarriak ez diren langileak antzemateko biderik arruntena *gold-standard* deritzon aurredefinitutako mikro-lanak mikro-lan arruntekin nahastea da. Era honetan, erantzun ezaguneko galdera bat oker erantzuten duten etiketatzaileak baztertzen dira. Metodo hau lan askotarako fidagarria izan arren, ez da baliozkoa kasu guztietan, galdera irekiak duten lanetarako, adibidez. Era berean, langile maltzurak *gold-standard* lana sahisteko era berriak bilatu ditzakete, kontu berrietan informazioa bererabiltzeko testen galderak ikasiz (Rothwell *et al.*, 2015) besteak beste. Gainera, ataza subjektiboetan, *gold-standard* metodoak ez dauka zentzu askorik, anbiguotasun gabeko kasuak aukeratzea, berez, ariketa subjektiboa delako. Adibidez gure ataza eta audioaren transkripzioa erabat desberdiak dira. Audioaren transkripzioan gertatzen ez den bezala, gurean ezin da objektiboki jakin zein den egiazko etiketa.

Gold-standard metodologia desegokia den kasuetarako beste irtenbide batzuk garatu dira. Adibidez, Filatova autoreek (2012) lanean ironia eta sarkasmoa etiketatzean, gehiengoaren botazioan oinarritutako algoritmo bat erabili zuten kalitatea kontrolatzeko (Ipeirotis *et al.*, 2010). Dena den, gehiengoaren botazioa erabiltzeko eta kalitate kontrol ona ziurtatzeko, mikro-lan bakoitzeko etiketa ugari behar dira eta horrek etiketazioa lan garestitzen du. Ipeirotis *et al.* autoreen (2010) lana etiketatzaileen arteko adostasunean oinarrituta dago, eta Dawid eta Skene autoreen (1979) lanean inspiratuta dagoen itxaropen-maximizatze algoritmo bat erabiltzen du. Hala eta guztiz ere, etiketatzaileen arteko adostasunak huts egin dezake langile maltzurak detektatzeko, sistema automatikoen bidez erantzunen atzean dagoen banaketa ikasi dezaketelako. Arazo honi irtenbidea emateko, Raquel Justo autoreek (2017) laneko errore-tasa kalkuluan oinarritzen den algoritmo bat proposatzen dute.

Etiketatzailen arteko adostasun neurketen artean bateratzeko lanak egon arren (Klaus, 2011), neurri desberdinen artean nahasmen handia dago. Dakigunaren arabera, ez dago ataza subjektiboko datuen kalitatea neurtzeko fidagarria den metodorik. Hori dela eta, lan honetan zehar iruzurrezko langileen detekzioarako hainbat neurri proposatzen ditugu eta euren konbinazio lineala erabat ereaginkorra dela erakusten dugu.

3. Iruzurrezko langileen detekzioa

Atal honetan, hasteko iruzurrezko langileak topatzera bideratuta dauden neurriak azaltzen ditugu. Geroago, neurri hauek guztiak zein testuingurutan balioztatu diren azalduko dugu. Azkenik, saiakuntzetan lortutako emaitzak erakusten ditugu.

3.1. Data-kalitatearen neurraketa

Crowdsourcing teknikak erabiliz lortutako etiketazioen osteko analisia egiteko, denboran oinarritutako neurraketa simpleetatik etiketatzaileak beraien artean duten adosmena neurtzen duten neurrietara arteko neurriak aztertu genituen. Neurri hauek adierazteko, hau da lanean zehar erabiliko dugun notazioa:

- **Etiketatzaille bat** edo **langile bat** adierazteko, l indizea erabiliko da. Adb. n_l , l langileak egindako mikro-lanen kopurua izango zen.
- **Mikro-lan** bakoitza adierazteko, s indizea erabiliko da. Adb. n_s , mikro-lan bakoitzeko erantzunen kopurua izango zen. Gure ikerketaren barruan, segmentu bakoitza 5 aldiz erantzun da.
- **Galdera bakoitzaren erantzun posibleak** adierazteko, e indizea erabiliko da. Adb. n_e , e erantzun posiblea zenbat aldiz hautatu den.

3.1.1. Etiketatze denboran oinarritutako neurketak

Denborarekin erlazionatuta dauden bi informazio desberdin erabili ditugu. Alde batetik, langile bakoitzak etiketatzen eman duen gehiengo denbora (T_l), eta bestetik, mirko-lan bakoitzaren etiketa sortzeko behar izan duen denbora (t_e), hau da etiketa bakoitza sortzeko erabilitako denbora. Datu hauekin, langile bakoitzeko hiru neurketa desberdin kalkulatzeko erabili ditugu:

1. Lanaldian emandako denborarik luzeena (T_l). Neurri honek mikro-lanen artean 10 minutuko etenaldirik gabe lan egin duen gehienengo denbora adierazten du.
2. Mikro-lan bat burutzeko erabilitako bataz besteko denbora, (1) formulaz azaltzen den bezala.

$$\bar{t}_l = \frac{\sum t_{ls}}{n_l} \quad (1)$$

3. Mikro-lan bat burutzeko erabilitako denboraren desbiderapen estandarra, (2) formulaz azaltzen den bezala.

$$\sigma(t_l) = \sqrt{\frac{1}{n_l} \sum (t_{ls} - \bar{t}_l)^2} \quad (2)$$

3.1.2. Etiketatzaileen arteko adostasunean oinarritutako neurketak

Crowdsourcing teknikak erabiliz ateratako datuen adostasuna kalkulatzeko hainbat lan egin dira, (Bennet *et al.*, 1954; Scott, 1955; Cohen, 1960; Krippendorff, 2004) adibidez. Neurri hauek etiketazio guztiak batera duten adostasuna neurtzen dute. Guk langileak deskribatzeko neurriak bilatzen ditugunez, adostasun neurri hauek ez dira zuzenenan aplikagarriak. Raquel Justo autoreen (2017) lana jarraituz langile mailako neurri bat definituko dugu adostasun neurri batetik abiatuz.

Modu honetan, (3) ekuazioan agertzen den bezala langile mailako adostasun neurria kalkulatzeko da, langile guztiekin kalkulaturako adostasuna (A) eta langile bat gabe kalkulaturako adostasuna (A_l) erabiliz.

$$\Delta A_l = \frac{A - A_l}{n_l} \quad (3)$$

Bi langileen arteko adostasuna neurtzeko modurik sinpleena ehuneko adostasuna ala antzemandako adostasuna da, (4) ekuazioan ikusten den bezala.

$$A_o = \frac{1}{n_I} \sum_{i \in I} agr(s_{l_1 i}, s_{l_2 i}) \quad (4)$$

non I bi langile etiketaturiko mikro-lanen arteko ebakidura ($S_{l_1} \cap S_{l_2}$) den; n_I bi langileak etiketaturiko mirko-lan kopurua; eta $agr(s_{l_1 i}, s_{l_2 i})$, l_1 langileak i mikro-lanerako emandako emaitzaren eta l_2 langileak i mikro-lan berdinerako emandako emaitzaren adostasun funtzioaren emaitza.

Galdera ezberdinetarako, adostasun funtzio ezberdinak izan ditzakegu, erantzun posibleen artean dauden erlazioen arabera. Adibiderik errezena hurrengoa da:

$$agr_{i,k} = \begin{cases} 1 & : \text{bi langileek etiketa bera jartzen badute} \\ 0 & : \text{bi langileek etiketa ezberdina jartzen badute} \end{cases} \quad (5)$$

Hala ere, erantzun posibleak ordenaren bat jarraitzen badute, adostasun funtzio egokiago bat sor dezakegu, gehiengo adostasuna 1 eta gutxiengo adostasuna 0 izanik. Adibidez, hiru erantzun posibleak eskala batean irudikatu ahal badira, “Askot”, “Gutxi” eta “Ezer ez” esate baterako, funtzio egoki bat hurrengoa liteke (6):

$$agr_{i,k} = \begin{cases} 1 & : \text{bi langileak etiketa bera jartzen badute} \\ 0.5 & : \text{etiketa bakar bat "Gutxi" bada} \\ 0 & : \text{beste kasuetan} \end{cases} \quad (6)$$

Antzemandako adostatsuna literaturan aurkezten den adostasun neurri hedatuena izan arren (Artstein eta Poesio, 2008), ez du adostasunak ausaz gertatu daitezkeela kontuan hartzen. Hori dela eta, antzemandako adostasuna ausazko adostasunarekin egokitu ahal da, 7 ekuazioan ageri den Krippendorff autoreek (2004) lanean azalduriko α neurria bezala.

$$\alpha = \frac{A_o - A_e}{1 - A_e} \quad (7) \quad A_e = \sum_{i \in I} P(i|l_1) \cdot P(i|l_2) \quad (8)$$

non A_e itxarondako ausazko adostasuna den. Itxarondako adostasuna, (8) ekuazioari jarraituz, ausaz erantzuten duten bi langileen artean (l_1 eta l_2) dagoen adostasuna neurtzen du, I bi langileek etiketaturiko mikro-lan berdinaren multzoa izanik.

Krippendorff autoreen (2004) lanean ageri den moduan, α koefizientea (9) formularen arabera kalkulatu dezakegu. (10) formularen o_{e_c, e_k} balioak kalkulatzeko formularen bidez, e_c eta e_k erantzun posibleen artean antzemandako desadostasuna kalkulatzeko da. Bestalde, (11) formularen e_c erantzun posibleko antzemandako desadostasuna kalkulatzeko da. (9) formularen ikusten den agr_{e_c, e_k} -rako, (5) eta (6) adosmen funtzioak erabil daitezke, kasuaren arabera.

$$\alpha = 1 - \left(\sum_{c \in E} o_{e_c} - 1 \right) * \sum_{c \in E} \sum_{k \in E} \frac{o_{e_c, e_k} * agr_{e_c, e_k}}{o_{e_c} * o_{e_k} * agr_{e_c, e_k}} \quad (9)$$

$$o_{e_c, e_k} = \sum_{s \in S} \frac{n_{e_c s} * n_{e_k s}}{n_s - 1} \quad (10)$$

$$o_{e_c} = \sum_{k \in E} o_{e_c, e_k} \quad (11)$$

Krippendorff autoreek (2004) lanean azalduriko α nola kalkulatzeko jakin eta gero, aurretik aipatutako ΔA_l kalkulatzeko α balioarekin ($\Delta \alpha_l = \frac{\alpha - \alpha_l}{n_l}$). $\Delta \alpha_l$ -ren balio negatiboak adostasunaren hobekuntza adierazten du. Beraz $\Delta \alpha_l$ zenbat eta txikiagoa izan orduan eta handiagoa izango da adostasuna.

$\Delta \alpha_l$ -k langile baten eragina neurtzen du, hala ere, beste adostasun eta elementu batzuk baita neurrian eragina dute. Hori dela eta, Raquel Justo autoreek (2017) lanean proposaturiko β_l neurria erabili dugu ere. β_l neurriak langile baten eta mikro-lan berberak etiketaturiko beste langileen arteko antzemandako adostasuna neurtzen du, (12) formularen agertzen den bezala.

$$\beta_l = \frac{1}{|S_l|} \sum_{s \in S_l} \sum_{m \in L_s - l} \frac{agr_{m, l}}{|L_s| - 1} \quad (12)$$

non S_l , l langileak egindako mikro-lan multzoa den; L_s , s mikro-lana egin duten langileak eta $agr_{m, l}$, (5) zein (6) adostasun funtzioa izan daiteke, kasuaren arabera.

3.1.3. Erantzunen banaketetan oinarritutako neurketak

Beste alde batetik, oso interesgarria izan daiteke, ausazko erantzunak zein erantzun bakarra erantzuten duten langileak detektatzea. Horretarako langile bakoitzak etiketaturiko datuen banaketa (b_l), langile guztiek batera etiketaturiko datuen banaketarekin (B) konparatzen duen metodo bat proposatzen dugu. Metodo honek banaketen distantzia neurtzen du (13).

$$d = \text{distantzia}(b_l, B) \quad (13)$$

Gure lanean bi distantzia mota desberdinekin lan egin dugu. d_1 distantzia euklidear arrunta da (14) eta d_2 distantziak probabilitate banaketan magnitude orden desberdineko elementuak egotea gehiago zigortzen du (15).

$$d_1(b_l, B) = \sum_{e \in E} (\mathbf{l}_e - \mathbf{B}_e)^2 \quad (14)$$

$$d_2(b_l, B) = \sum_{e \in E} \left(\frac{\max(\mathbf{l}_e, \mathbf{B}_e)}{\min(\mathbf{l}_e, \mathbf{B}_e)} - 1 \right) \quad (15)$$

non b_l langilearen probabilitate banaketa den eta $\mathbf{B}$ langile gusztien probabilitate banaketa den, $\mathbf{l}_e$, eta $\mathbf{B}_e$ haien probabilitate banaketaren elementu bat izanik.

3.2. Ataza definizioa eta etiketatze prozesua

Aurreko atalean azaldutako neurri guztiak emozioak etiketatzeko lan batean aztertu nahi ditugu. Horretarako, crowdsourcing teknikak erabili dira “La Sexta Noche” corpusa emozioz etiketatzeko. “La Sexta Noche” telebista sailean emozio naturalak agertzen direnez, nahiko arraroa da mutur-emozioak aurkitzea, zalanztazko etiketak sortuz. Beste alde batetik, sei orduko telesaiak direnez, emozio bakarra aurkitu daitekeen tarteetan segmentatu behar dira. Segmentu horien luzera emozio bat adierazteko bezain luzeak eta emozioa aldaketa bat ez agertzeko bezain laburrak izan behar dute. Hortaz, “La Sexta Noche” corpusa 3 eta 5 segundu arteko segmentuetan banatu dugu, crowdsourcing-en bidez etiketa emozionala jartzeko.

Banatu dugun segmentu bakoitzaren emozioa adierazteko hainbat eredu aurki daitezke. Alde batetik emozioen eredu kategorikoa daukagu (Ekman, 1992), eta bestetik eredu dimenzionala (Gunes eta Pantic, 2010; Russell eta Mehrabian, 1977). “La Sexta Noche” telesailaren mintzagaien artean, politika, gertaera eta berriak zein eztabaidak maiz agertzen direla kontuan hartuz eta esperimentu txiki batzuk aurre-eginez, 10 emozio ezberdineko bilduma sortu genuen corpus hau etiketatzeko. Sortutako bildumarekin eredu kategoriko eta beste galdera batzuekin eredu dimenzionalako galdetegia sortu genuen:

1. Nola hantzematen duzu hizlaria?
 - Aztoratuta
 - Zertxobait aztoratuta
 - Neutrala
2. Bere gogo egoera hurrengo da:
 - Positiboa (atsegina / eraikitzailea)
 - Zertxobait positiboa
 - Neutrala
 - Zertxobait negatiboa
 - Negatiboa (desatsegina / kolaboragaitza)
3. Nola ikusten duzu hizlaria egoera horretan?
 - Egoera kontrolatzen
 - Ez du egoera kontrolatzen ezta jarrera defentziboan egoten
 - Egoera defensiboan
4. Aukeratu hizlariaren emozioa hoberen deskribatzen duen aukera:

• Lasaia / Axolagabe	• Alaia	• Haserre
• Azpértuta / Nekatuta	• Interesdun	• Tentsoa
• Hunkituta	• Kezkatuta	
• Harrituta	• Lotsatia	

Galdetegia definitu eta gero, ikerketa taldearen baliabideen artean dagoen CrowdZientzia³ crowdsourcing plataformarekin (Justo *et al.*, 2016) etiketatu dugu. Plataforma hau erabiltzeko arrazoiak artean: 1) Amazoneko Mechanical Turk plataforma bakarrik Estatu Batuetan dagoela erabilgarri; 2) beste plataforma batzuek, Sama-Source bezala, gaztelania mintzatzen dutenen artean %20 baino gutxiago espainarrak direla, eta ataza honetarako Espainian jaio diren pertsonak baliagarriagoak dira Amerikako gaztelainarekin dagoen diferentziagatik; eta 3) gure arteko etiketatze probak egiteko etiketatzailerik finko batzuk edukitzea ahalbidetzen digula daude.

³Komunitate zientifikorako erabilgarri, muga zehatz batzuen artean. <https://crowdzientzia.ehu.eus>

3.3. Saiakuntza eta emaitzak

Aurreko ataletan azaldutako neurriak kontuan hartuta, CrowdZientzia plataformarekin sortutako datuak aztertuko ditugu. Datu hauek corpusetik auzaz aukeratutako 5.500 segmentuetatik datoz eta etiketak sondoak izateko segmentu bakoitza 5 aldiz etiketatzea nahikoa zela erabaki genuen, 27.500 mikro-lan sortuz. Mikro-lan guztiak egiteko 129 langilek parte hartu zuten, baina langile guztiek ez zuten lanaren proportzio bera etiketatu. Gutxien etiketatu zuen langileak mikro-lan bakarria etiketatu zuen, 2081 mikro-lan etiketatu zituen lan gehien egin zuen langileak, eta batez bestekoa 213 mikro-lan izan ziren. Langileei Amazoneko txeeekin ordaintzea erabaki genuen.

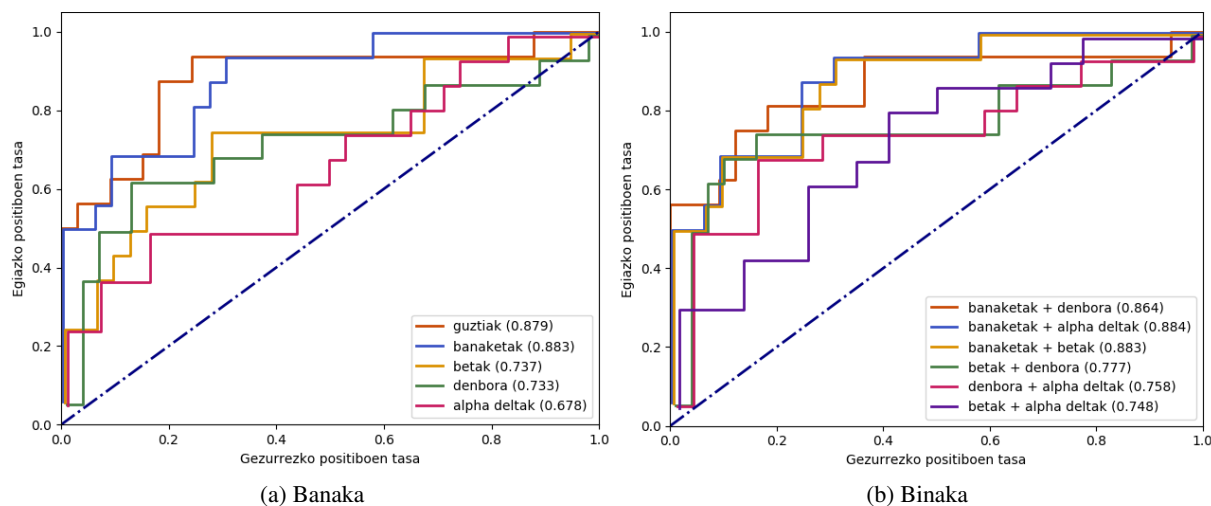
3.1 ataleko neurriak konparatzeko, aztertutako neurriren batean 20 langile txarren artean zeuden langileak hartu genituen (45 langile, langile gehienek neurri askotan txarrenetarikoen artean zeudelako) eta eskuz klasifikatu genituen iruzurrezko langile ala langile egoki bezala. Honetarako, aipatutako langile bakoitzaren lana bi pertsonen artean aztertu eta iruzurrezko langilea ala langile egoki bezala sailkatzea eztabaidatu genuen. Ikerketa honetan, 6 iruzurrezko langile eta zalantzazko 10 iruzurrezko langile aurkitu genituen (3.2 atalean azaldutako galdetegiaren galdera batzuk txarto egiten zutela dirudielako).

Ondoren, aztertutako 45 langileak (6 iruzurrezko langile eta 39 langile egoki) zeinbait sailkatzaile linealekin doitu genituen. Sailkatzaileak neurri multzo ezberdinekin doitzeari probatu genuen. Hau da, neurriak lau multzo ezberdinetan banatu genituen, multzo bakoitzean 3.2 atalean azaldutako galdera bakoitzeko eta 3.1.1, 3.1.2 eta 3.1.3 ataletan azaldutako neurri mota ezberdinetarako neurri bat jarri genuelarik. Lehenengo, bigarren eta hirugarren galderako neurrientzat (6) funtzioa erabili dugu eta laugarren galderarako (5) funtzioaren moldapen bat.

- Alde batetik **denbora**-multzoa, 3.1.1 atalean azaldu ditugun denbora luzeena T_l , bataz besteko denbora $\bar{t}_l$ eta erabilitako denboraren desbiderapen estandar $\sigma(t_l)$ neurriekin.
- Bestetik, 3.1.2 atalean, kalkulaturiko $\Delta\alpha_l$ balioa erabiliko dugu **alpha deltak**-multzorako.
- 3.1.2 ataletik ere, β_l neurria erabili da **betak**-multzoa sortzeko.
- Azkenik, 3.1.3 atalean azaldutako d_1 eta d_2 distantziak erabili dira **banaketak**-multzoa sortzeko.

Sailkatzaileen errendimendua neurtzeko, ROC kurba⁴ eta ROC kurbaren azpialdeko azalera kontuan hartu dira.

1. irudia. Neurri multzo ezberdinekin ateratako ROC kurba



1a irudiari begiratzuz, ROC kurbaren azpialdeko azalerarik handiena lortutako multzoa *banaketak* multzoa izan da, 0.883 balioarekin. Beraren azpitik *betak* (0.737), *denbora* (0.733) eta azkenik *alpha deltak* (0.678) multzoak daude. Dena den, multzo guztiak batuz, marka hobetzen dugula konprobatu dezakegu, *guztiak* multzoa 0.879 markarekin. 1b irudian berriz, sortutako multzoak binaka batu ditugu, multzo berriak bakarka baino hobeagoak direla konprobatzeko.

⁴ROC kurba, erantzun egokien eta alarma faltsuen ehunekoen erlazioa irudikatzen duen erlazioa da.

4. Ondorioak

Lan honek aztertutako neurrien baliagarritasuna aztertzea du helburu, horregatik ez da sailkatzaile on bat doitzera denbora gehiegi eman.

Burututako lanaren arabera, erabilitako denbora neurriak, adostasun neurriak eta erantzunen banaketa neurriak, langileen iruzurrezko portaera antzemateko baliagarriak direla ondorioztatu dezakegu, neurri guztiak batera ROC kurbaren azpialdeko azalera handitzeaz gain, edozein neurri mutzo ezberdin batzerakoan bakarka baino ROC azalera handiagoa lortzen delako.

Honen salbuespen bakarra banaketak gehi betak multzoa da, banaketak bakarrik erabiltzean lortzen den marka berdina lortzen delako.

Neurrien interesa alde batera utzita, oso subjektibodun atazarekin lan egiterakoan crowd bidezko etiketazioak baliagarriak direla konturatu gara, etiketatze lan osteko iruzur detektatze lanak egin behar izan arren. Denbora tarte txiki batean mikro-lan asko bete daitezkelako, adostasun onargarri bat lortuz. Hala ere, deskribatutako neurrietaz lagunduta, detektatutako iruzurrezko langileak egindako lana ezabatzerakoan, etiketen arteko adostasuna igotzen dela konprobatu dugu, eta horren ondorioz, kalitate hobeagoko corpus bat sortu daiteke.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

1a eta 1b irudiei begira 4. ataleko ondorioak atera ditugu, baina hau izan daitekeenaren susmo bakar bat da. Azken finean lan honetako datuak erabili ditugu bakarrik eta aztertutako neurriak bakarrik kasu honetan horrela erantzutea gerta daiteke. Horregatik, 3.1 atalean azaldutako neurri guztien azterketa sakon bat etorkizunean egiteko asmoa dugu, objektibodun zein subjektibodun etiketazio lan ezberdinekin. Baina subjektibodun lanetan arreta handiagoa jartzea espero dugu, gutxiago aztertu den eremu zail bat delako.

Beste alde batetik, iruzurrezko langileak detektatzea lortu arren, ezin da kalitatezko corpus bat sortu ahal dela ziurtatu. Hori dela eta, ateratako datuekin eredu konputazionalak sortzea ikerketa bide berri bat izango litzateke. Hala eta guztiz ere, corpora sortzerakoan kontuan izan diren langile kopurua aztertzeko susmoa dugu. Iruzurrezko langileak kentzerakoan datuen arteko adostasuna igotzen den arren, etiketa gutxiago lortzen dira. Horregatik datu kopuraren eta datu kalitatearen arteko oreka lortu behar da.

Azkenik, azaldu ez den arren, gero eta gehien kolaboratu duten langileak gero eta iruzurrezko langileak izateko probabilitatea daukatela dirudi. Gertaera hau etiketatzea ataza neketsua delako izan daiteke, eta etiketa kopuru batetik pasatzerakoan langileek erantzun bera aukeratzerako joera dutela antza ematen du. Hori dela eta, hurrengo saiakeretan langile bakoitzari mikro-lan kopuru maximo bat egiteko ahalmena ezarriko diegu, nekatzeko denboraren probabilitatea murrizteko.

6. Erreferentziak

- Artstein, Ron, eta Massimo Poesio. 2008. Inter-coder agreement for computational linguistics. *Computational Linguistics* 34.555–596.
- Bennet, E. M., R. Alpert, eta A. C. Goldstein. 1954. Communications through limited response questioning. *Public Opinion Quarterly* 18.303–308.
- Cohen, J. 1968. Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin* 70.213–220.
- Cohen, Jacob. 1960. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement* 20.37–46.
- Davies, M., eta J. L. Fleiss. 1982. Measuring agreement for multinomial data. *Biometrics* 38.1047–1051.
- Dawid, A. P., eta A. M. Skene. 1979. Maximum likelihood estimation of observer error-rates using the em algorithm. *Applied Statistics* 28.20–28.
- Dhall, Abhinav, Roland Goecke, Simon Lucey, eta Tom Gedeon. 2011. Acted facial expressions in the wild database.
- Eickhoff, Carsten de Vries, Arjen P. 2013. Increasing cheat robustness of crowdsourcing tasks. *Information Retrieval* 16.121–137.

- Eickhoff, Carsten, eta Arjen P. de Vries. 2011. How crowdsourcable is your task? In *Workshop on Crowdsourcing for Search and Data Mining (CSDM)*, Hong Kong, China.
- Ekman, Paul. 1992. An argument for basic emotions. *Cognition & emotion* 6.169–200.
- Filatova, Elena. 2012. Irony and sarcasm: Corpus generation and analysis using crowdsourcing. In *Proc. of LREC 2012, Istanbul, Turkey, May 23-25, 2012*, 392–398.
- Fleiss, J.L., eta others. 1971. Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychological Bulletin* 76.378–382.
- Gadiraju, Ujwal, Ricardo Kawase, Stefan Dietze, eta Gianluca Demartini. 2015. Understanding malicious behavior in crowdsourcing platforms: The case of online surveys. In *Proceedings of the ACM CHI 2015, Seoul, Republic of Korea*, 1631–1640.
- Gennaro, Rosario, Craig Gentry, eta Bryan Parno. 2010. Non-interactive verifiable computing: Outsourcing computation to untrusted workers. In *Proc. of CRYPTO'10, Santa Barbara, CA, USA*, 465–482.
- Gunes, Hatice, eta Maja Pantic. 2010. Automatic, dimensional and continuous emotion recognition. *International Journal of Synthetic Emotions (IJSE)* 1.68–99.
- Gurney, Edmund. 1884. What is an emotion? *Mind* 9.421–426.
- Ipeirotis, Panagiotis G., Foster Provost, eta Jing Wang. 2010. Quality management on amazon mechanical turk. In *Proc. of the ACM SIGKDD*, 64–67, New York, USA.
- Justo, Raquel, José M. Alcaide, eta M. Inés Torres. 2016. Crowdsience: Crowdsourcing for research and development. In *Proc. of IberSpeech'2016, Portugal*, 403–410.
- Klaus, Krippendorff. 2011. Computing krippendorff's alpha-reliability.
- Krippendorff, Klaus. 2004. *Content analysis: An introd. to its methodology*. Sage.
- . 2007. Computing Krippendorff's Alpha Reliability. Technical report, University of Pennsylvania, Annenberg School for Communication.
- Mohammad, Saif M, eta Peter D Turney. 2013. Crowdsourcing a word–emotion association lexicon. *Computational Intelligence* 29.436–465.
- Ortony, Andrew, eta Terence J Turner. 1990. What's basic about basic emotions? *Psychological review* 97.315.
- Raquel Justo, M Inés Torres, José M Alcaide. 2017. Measuring the quality of annotations for a subjective crowdsourcing task. In *Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis*, 58–68. Springer.
- Rothwell, Spencer, Ahmad Elshenawy, Steele Carter, Daniela iraga, Faraz Romani, Michael Kennewick, eta Bob Kennewick. 2015. Controlling quality and handling fraud in large scale crowdsourcing speech data collections. In *Proc. of Interspeech 2015, Dresden, Germany, September 6-10, 2015*, 2784–2788.
- Russell, James A, eta Albert Mehrabian. 1977. Evidence for a three-factor theory of emotions. *Journal of research in Personality* 11.273–294.
- Scherer, Klaus R. 1999. Appraisal theory. *Handbook of cognition and emotion* 637–663.
- Scott, W. A. 1955. Reliability of content analysis: The case of nominal scale coding. *Public Opinion Quarterly* 19.321–325.
- Tarasov, Alexey, Sarah Jane Delany, eta Charlie Cullen. 2010. Using crowdsourcing for labelling emotional speech assets.
- Valstar, Michel, Björn Schuller, Kirsty Smith, Timur Almaev, Florian Eyben, Jarek Krajewski, Roddy Cowie, eta Maja Pantic. 2014. Avec 2014: 3d dimensional affect and depression recognition challenge. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Audio/Visual Emotion Challenge*, 3–10. ACM.

7. Eskerrak eta oharrak

Egileok gure esker ona adierazi nahiko genioke Euskal Herriko Unibertsitateari, Espainako gobernuako TIN2017-85854-C4-3-R zenbakidun diru laguntzari eta H2020 Europako Batzordeko SC1-PM15 programako RIA 7 deialdiko 769872 zenbakidun laguntzari, hurrenez hurren, ikerketa hau babesteagatik.

Neurona-sareetan oinarritutako euskararako korreferentzia-ebazpena

Urbizu, Gorka; Soraluze, Ander eta Arregi, Olatz

IXA taldea. Euskal Herriko Unibertsitatea.

gurbizu002@ikasle.ehu.eus

Laburpena

Lan honek euskararako korreferentzia-ebazpenean egindako lanari jarraipena ematea du helburu, korreferentzia-ebazpenerako neurona-sareetan oinarritutako sistema bat eraikiz. Horretarako polonierarako eraikitako sistema bat hartu da abiapuntutzat, eta euskarara egokitu. EPEC-KORREF corpusetik abiatuta, aipamen-bikoteak eta hauen ezaugarriak erauzi dira eta neurona-sarea entrenatu da aipamen-bikoteak korreferenteak ote diren erabakitzeko. Jarraian, neurona-sarearen iragarpenetatik korreferentzia-klusterrak sortu eta ebaluatu egin dira. CoNLL metrikari % 41,20 puntuko F1 balioa lortu da eta lortutako emaitza baxuak corpusaren tamaina txikiagatik direla ondorioztatu da.

Hitz gakoak: korreferentzia-ebazpena, ikasketa-sakona, neurona-sareak, euskara

Abstract

This work aims to continue with the previous work done in coreference resolution for Basque language, building a system for coreference-resolution based on neural networks. For this purpose, a system for Polish has been used and adjusted for Basque. Mention-pairs and their features were extracted from the EPEC-KORREF corpus, to train the neural network model at the task of deciding if the pair is coreferent or not. After that, the coreference clusters were built from the output of the neural network, and these were evaluated. 41.20% F1 points of the CoNLL metric were obtained and it was concluded that the low results obtained were due to the small size of the corpus.

Keywords: coreference-resolution, deep learning, neural networks, Basque language

1. Sarrera eta motibazioa

Hizkuntzaren prozesamendua (NLP - *Natural Language Processing*) informatika, adimen artifiziala eta hizkuntzalaritza diziplinen arteko arloa da. Hizkuntzaren ulermena behar duten hizkuntzaren prozesamenduko atazetan korreferentzia-ebazpena oinarritzeko urratsa da.

Testu bateko bi espresio testualek objektu berbera adierazi edo erreferentziatzen dutenean, bi espresio horien artean korreferentzia erlazio bat dagoela esan ohi da. Testu batean ager daitezkeen espresio testual horien arteko korreferentzia-erlazioak ebaztea helburu duen atazari korreferentzia-ebazpena deritzo (Grishman eta Sundheim, 1995).

Argiago ikusteko azter dezagun ondorengo adibidea:

(1) **Nazio Batuen Erakundea** izan zen **bitartekari** eta **hark** hartu zuen prozesuaren ardura.

Nazio Batuen Erakundea, *bitartekari* eta *hark* espresio testualek NBEari erreferentzia egiten diotenez, korreferenteak direla edo korreferentzia-erlazioa dutela esan dezakegu.

Ataza honetan sarri erabiltzen diren bi termino *entitatea* eta *aipamena* dira. Entitatea mundu errealeko pertsona, objektu edo erakunde bat litzateke; aipamena berriz, entitate bati erreferentzia egiten dion hitz multzo edo espresio testuala da.

Termino horiek hobeto ulertzeko, lehengo adibidera itzul gaituzten:

(2) [**Nazio Batuen Erakundea**] izan zen [**bitartekari**] eta [**hark**] hartu zuen [**prozesuaren ardura**].

Adibide honetan aipamenak kortxete artean daudenak dira, lehenengo hirurak, [Nazio Batuen Erakundea], [bitartekari] eta [hark] entitate berdinari egiten diote erreferentzia, beraz, korreferenteak dira eta korreferentzia multzoa edo klusterra osatzen dute. Bestalde, [prozesuaren ardura] aipamenak entitate ezberdin bati egiten dio erreferentzia, beraz, ez da gainerakoekin korreferentea.

Korreferentzia-ebazpena bi azpi-atazatan banatu ohi da, aipamen-detekzioa eta erreferentzien ebazpena (Pradhan *et al.*, 2011). Lehenik aipamen-detekzioa egiten da, testuan zehar entitateren bati erreferentzia egiten dioten espresio testualak identifikatuz. Ondoren, aipamenak multzokatu behar dira, entitate berdinari erreferentzia egiten diotenak klusterretan elkartuz.

Korreferentzia-ebazpen automatikoa garrantzitsutzat jotzen da, oro har, testu ulermen sakona dakarren hizkuntzaren prozesamenduko ataza oro burutzeko (Clark, 2015). Besteak beste, informazio erauzketan, testuen laburpenean, galdera-erantzun sistemetan, sentimenduen analisisian eta itzulpen automatikoan aplikatzen da.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

2.1. Korreferentzia-ebazpena

Orain dela hamarkada batzuk korreferentzia-ebazpena lantzen hasi zenetik, hainbat teknika aplikatu dira ataza ebazteko, erregela bidezko sistemak lehenik, gerora ikasketa automatikokoak eta berriki ikasketa sakonekoak. Erregelatan oinarritutako sistemen artean, esanguratsuen Stanfordeko korreferentzia-ebazpenerako sistema determinista da (Lee *et al.*, 2013). Ordurako, ikasketa automatikoan oinarritutako sistemak hasiak ziren emaitza onak ematen, horien artean BART (*Beautiful Anaphora Resolution Toolkit*) (Versley *et al.*, 2008) sistema aipa dezakegu.

Azken urteetan hizkuntzaren prozesamenduan neurona-sareek arrakasta handia izan dute, eta korreferentzia-ebazpenean ere, artearen egoeran emaitzarik onenak lortzen dituzten sistemek, teknologia hori darabilte. Neurona-sareetan oinarritutako sistema gehienek ikasketa automatikoko sistemen antzera funtzionatzen dute, ikasteko eta sailkatzeko atalak neurona-sareekin ordezkaturik. Sistemek aipamen-bikoteak korreferente edo ez-korreferente gisa edo aipamenak entitateka klusterretan sailkatu ohi dituzte. Aipamenen detekzioa eta ikasketarako ezaugarriak garapen neketsuko erregela bidezko tresnekin lortzen dira. Eredu hau darabilten lan esanguratsuenak Clark eta Manning (2016) eta Wiseman *et al.* (2016) dira.

Lee *et al.* (2017) lanean aldiz, korreferentzia-ebazpenerako muturretik muturrerako neurona-sarea aurkezten dute, aipamen-detekzio automatikorik eta ezaugarriak erauzteko tresnen beharrik gabe. Neurona-sarea gai da ataza burutzeko behar duen informazioa testutik ikasteko, eta hori eginik aipamen-detekzioan eta ezaugarriak erauztean dauden errorearen propagazioa saihesten da. Sistema horren neurona-sareetan oinarritutako arkitektura konplexua aurretik sortutako sistema guztiei gailendu zaie. Lee *et al.* (2018) artikuluan lanari jarraipena ematen diote, aipamenak entitateka multzokatzeko neurona-sareak erabiliz eta neurona-sareen inguruko ikerketetan lortu diren azken berrikuntzak aplikatuz.

Neurona-sareen aurreko korreferentzia-sistemetan ezaugarri semantikoak erabiliz ezagutza semantikoa integrazteko saiakerak egin dira arrakasta handirik lortu gabe. Neurona-sareen bitartez ikasitako hitzen errepresentazio distribuzionalekin berriz, ezagutza semantikoa arrakastaz integratzea lortu da (Clark eta Manning, 2016).

Ingelesa ez den beste hizkuntzetarako ere neurona-sareetan oinarritutako korreferentzia-ebazpenerako sistemak hasi dira garatzen. Clark eta Manning (2016) artikuluan txinerarako sistema aurkezten da, Park *et al.* (2016) lanean korearrerakoa eta Niton *et al.* (2018) lanean polonierarakoa.

2.2. Euskararako korreferentzia-ebazpena

Euskararen ezaugarriak erreparatuta, esan daiteke eranskaria (sintagma batzuk postposizioen bitartez osatzen dira), buru-azkena (sintagmen burua amaieran ageri da), ordena librekoa (esaldiaren egitura malgua da) eta pro-drop (ize-nordainak isilik ageri daitezke) hizkuntza dela. Ezaugarri horiek tarteko, korreferentzia-ebazpenerako euskararako tresna propioak garatzeko beharra ikusi da.

Lehenik erregelatan oinarritutako aipamen-detektatzaile bat garatu zen, gerora eraikitako sistemek darabiltena (Soraluze *et al.*, 2017b). Ondoren, Soraluze *et al.* (2015) lanean, ingeleserako diseinatutako erregelatan oinarritutako Stanfordeko sistema (Lee *et al.*, 2013) egokitu zem korreferentzia-ebazpena euskarazko testuetan egiteko. Jarraian, hobekuntzak proposatu zituzten, Wikipedia eta Wordnet baliabide semantikoak gehituz (Soraluze *et al.*, 2017a).

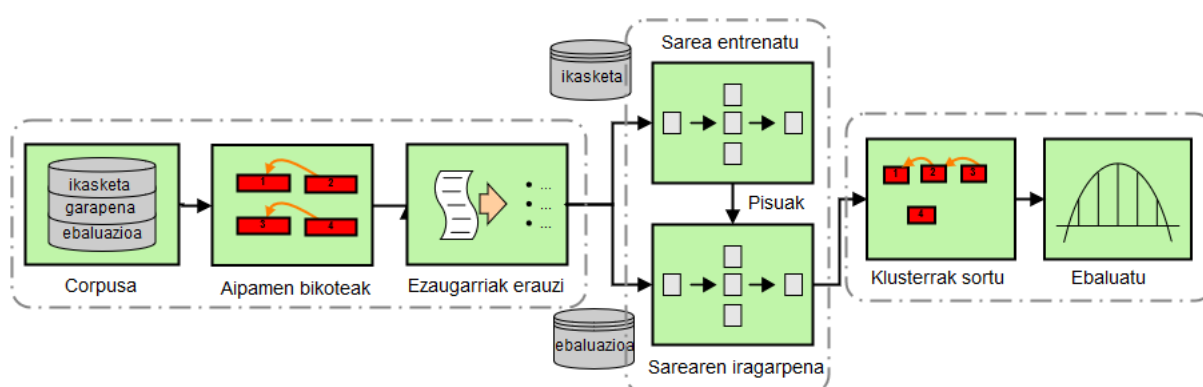
Soraluze *et al.* (2016) lanean, ikasketa automatikoan oinarritutako sistema bat plazaratzen dute, ingeleserako diseinatutako *BART* korreferentzia-ebazpenerako sistema (Versley *et al.*, 2008) euskararen ezaugarrietara egokituz. Azkenik, Wikipediatik erauzitako ezagutza entziklopedikoa gehitu zaio (Soraluze *et al.*, 2017b).

Lan honek Soraluze (2017) tesi lanari jarraipena ematea du helburu, euskararako korreferentzia-ebazpenerako neurona-sareetan oinarritutako sistema bat eraikiz. Horretarako polonierarako eraikitako sistema bat (Niton *et al.*, 2018) hartu da abiapuntutzat, neurona-sareekin erregelatan oinarritutako sistemaren antzeko emaitzak lortu dituztelako, baliabide aldetik polonierak ingelesak baino corpus txikiagoa duelako eta bi hizkuntzak eranskariak eta ordena librekoak direlako.

3. Ikerketaren muina

Neurona-sareetan oinarrituta euskararako eraiki den korreferentzia-ebazpenerako sistema azalduko da jarraian. Sistema hiru atal nagusitan banatzen da, aurreprozesaketa, neurona-sarea eta ebaluazioa. Ikus 1 irudia.

1. irudia. Korreferentzia-ebazpenerako sistemaren eskema



3.1. Aurreprozesaketa

Aurreprozesaketaren abiapuntua, EPEC-KORREF (Ceberio *et al.*, 2018) corpusa da, 45.000 hitz eta 12.000 aipamen dituen. Corpus honek aipamenak eta korreferentzia erlazioak eskuz anotatuta ditu, korreferentzia-ebazpenerako baliagarriak izan daitezkeen beste ezaugarri askorekin batera. EPEC (Aduriz *et al.*, 2006) corpusaren azpi-corpusa da eta euskarazko *Egunkaria* egunkariako albisteez osatuta dago. Corpusa ikasketa, garapena eta ebaluazioa ataletan banatua dator.

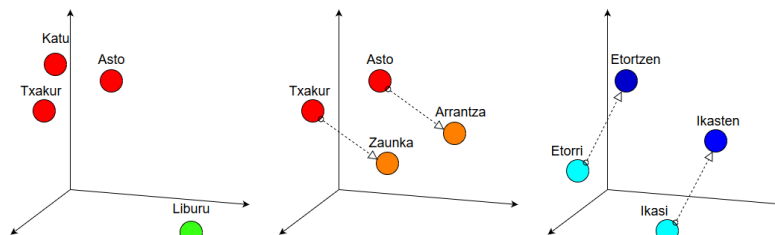
Aurreprozesaketarekin jarraitzeko, corpuseko aipamenak hartu eta bikoteak sortzen dira. Ikasketa atalean, eskuz anotatutako aipamenak erabili dira, eta bikoteak sortzeko, aipamen bakoitza bere aurrekariarekin (bikote positiboa) eta aipamenaren eta aurrekariaren artean daudenekin (bikote negatiboa) parekatu da. Ebaluazioa atalean, aldiz, aipamen-detektatzaile automatikoa (Soraluze *et al.*, 2017b) baliatu da testuan zehar entitatearen bati erreferentzia egiten dieten aipamenak identifikatzeko. Ondoren, aipamen bakoitza aurreko zortziekin parekatu da, aurrekaria hauen artean topatzen baita kasuen % 97an (Goenaga *et al.*, 2012).

Aipamen-bikoteak sortuta ditugunean, aipamen horien ezaugarriak erauzi behar dira, neurona-sarea entrenatzeko sarrera osatuko duten zenbakizko balioak sortzeko.

Ezaugarri horien artean, aipamen bakoitzeko hitzen errepresentazio distribuzionalak dira nagusi. Hitzen errepresentazio distribuzionalak, hitzen esanahia gordetzen duten zenbakiz osatutako bektoreak dira, eta generoa, numeroa, eta beste hainbat ezaugarri biltzen dituzte. 2. irudian ikus dezakegunez, antzeko hitzak espazio berean multzokatzen dira, eta animalia eta hauen hotsen arteko erlazioak (txakur-zaunka, asto-arrantza), eta aditz forma ezberdinenak (etorri-etortzen, ikasi-ikasten) biltzeko gai dira. Horiek, 160 miloi hitzeko corpuseko (Wikipedia + Elhuyar Web Corpus) hitzen testuinguruan agertzen diren hitzetatik ikasi dira, eta 50 dimentsiotako zenbakizko bektoreetan kodetu, word2vec¹ tresnarekin. Honetaz gain, aipamen bakoitzaren numeroa eta pertsona, aipamenen arteko distantzia eta horiek ea hitz/lema/buru berdinak dituzten bezalako ezaugarriak ere erabili dira.

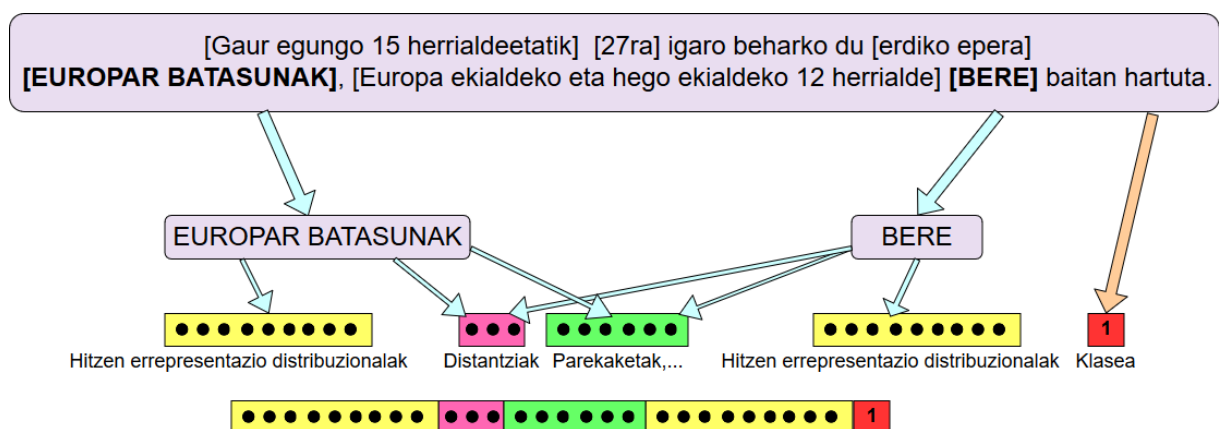
¹<https://github.com/danielfrg/word2vec>

2. irudia. Hitzen errepresentazio distribuzionalak



Guztira, 1.147 dimentsioko bektorea sortu da aipamen-bikoteko (3. irudia), eta honekin batera aipamen-bikotea korreferentea den edo ez (1 edo 0) adierazten duen klasea pasatzen zaio sarreran neurona-sareari ikasteko.

3. irudia. Aipamen-bikotearen bektorea



3.2. Neurona-sarea

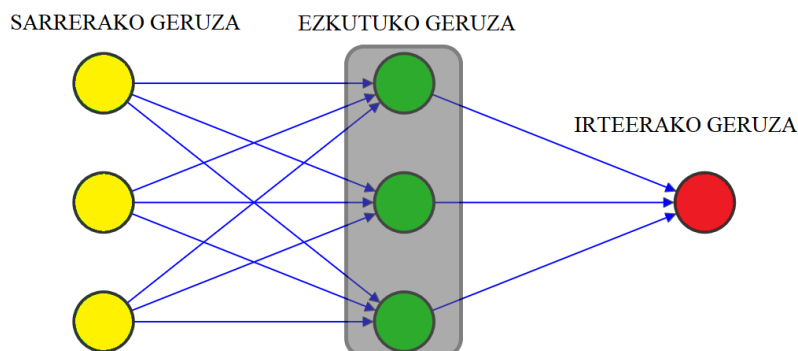
Garuneko neurona-sare biologikoen portaera imitatzen duten neurona-sareak (*neural networks*), ataza ezberdinak burutzeko gai dira adibideetatik ikasiz. Neurona-sareak, sarreran jasotzen duen seinalea prozesatzeko eta bidaltzeko gai diren neuronez osatuta daude. Neuronen arteko konexioek pisu bat dute, eta hauen arabera prozesatuko dira seinaleak. Sarea, dagokion ataza ikasteko, pisuak doitzen joango da, unean ikasteko dituen adibideetara egokituz.

Normalean, neuronak geruzetan antolatzen dira eta ezkutuko geruzak eta irteera geruza bereizten dira. Ezkutuko geruzak sarrera eta irteeraren artean daudenak dira eta kutxa beltz moduan funtzionatzen dute, barruan gertatzen dena erabiltzailearentzat opakua izanik. Irteerako geruza neurona batek edo gutxi batzuk osatzen dute, eta hauek emaitza itzultzen dute. Neurona-sare simple baten arkitekturaren eskema 4. irudian ikus dezakegu.

Lan honetan erabili den neurona-sarea, berriz, ezkutuko 3 geruzadun sare trinko bat da, polonierarako sistemak bezala, 500, 300 eta 100 neurona ditu geruza bakoitzean. Irteerako geruzak, aldiz, neurona bakarra du, 0 eta 1 arteko zenbaki bat itzultzen duena (korreferenteak izateko probabilitate gisa har genezake). Geruza eta neurona kopuruekin proba ezberdinak egin dira, baina ez da hobekuntzarik hauteman. Epoch (iterazio kopurua) eta mini-batch (ikasketan sareari aldiko pasatako instantzia kopurua) hiperparametroak ere doitu dira, 2 eta 64 balioetan finkatuz. Pisuak hasieratzea berriz, ausaz egin da, polonierarako entrenatutako neurona sarearen pixuak erabiliz ez baita hobekuntzarik egon.

Neurona-sarea, ikasketa ataleko aurreprozesatutako instantziekin entrenatuko da. Ikasketaren emaitza neuronon arteko pisuak dira, neurona-sareak aipamen-bikote berriak korreferenteak diren erabakitzeke erabiliko dituenak.

4. irudia. Neurona-sarearen arkitekturaren eskema



3.3. Ebaluazioa eta emaitzak

Korreferentzia-ebazpenerako atazan, neurona-sarearen zehaztasuna ebaluatzeko, ikasteko erabili ez diren testuetan aplikatzen da sistema.

Neurona-sareak, corpuseko ebaluazioa ataleko instantzientzat iragarpen bat bueltatzen du, 0 eta 1 arteko balio bat, aipamen-bikoteak korreferente diren edo ez erabakitzeke. Jarraian, sistemak korreferenteak izateko probabilitate altua emandako aipamenak kluster berean sartuko dira. Azkenik, lortutako emaitzak ebaluatu dira korreferentzia-ebazpenerako ohikoa den ebaluatzailearekin (Pradhan *et al.*, 2014).

Korreferentzia-ebazpenerako sistemen kalitatea neurtzeko, eta sistema ezberdinen arteko konparaketa egin ahal izateko ebaluazio metrika ezberdinak erabiltzen dira. MUC loturetan oinarritutako metrika da, hau da, urrepatroiko eta sistemak lortutako korreferentzia-loturak konparatzen ditu (Vilain *et al.*, 1995). B^3 metrikak aipamenak konparatzen ditu loturen orde, doitasun eta estaldura globalak, aipamen bakoitzaren balioetatik lortzen dira eta ondorioz aipamenetan oinarritutako metrika dela esaten da (Bagga eta Baldwin, 1998). $CEAF_e$ metrikak ϕ antzekotasun balioa erabiltzen du bi entitateen arteko antzekotasuna neurtzeko, beraz entitateetan oinarritutakoa dela esan daiteke (Luo, 2005). CoNLL metrika, aurreko hiruen batezbesteko aritmetikoa da, eta metrika nagusizat hartzen da. 1. taulan laburbiltzen dira proiektu honetan korreferentzia-ebazpena atazan neurona-sareetan oinarritutako sistemak lortutako emaitzak. MUC metrian lortutako balio baxua azpimarratzekoa da, sistemak korreferentzia-erlazio gutxi sortzen dituela adierazten duena. Neurri honek eragin handia du CoNLL metrian, eta ondorioz lortu den F1 balioa % 41,20 puntukoa da.

1. taula. Lortutako emaitzak

	MUC	B^3	$CEAF_e$	CoNLL
Neurona-sareak	9,32	58,40	55,87	41,20

Neurona-sareetan oinarrituta eraikitako sistemarekin lortutako emaitzak, aurretik sortutako erregelatan (Soraluze *et al.*, 2015) eta ikasketa automatikoan (Soraluze *et al.*, 2016) oinarritutako sistemen emaitzak baino baxuagoak dira euskararako. Aipatutako korreferentzia-ebazpenerako sistemekin egindako konparaketa 2. taulan dago ikusgai.

2. taula. Euskararako korreferentzia-ebazpenerako sistemen konparaketa

Sistema	MUC	B^3	$CEAF_e$	CoNLL
Erregelatan oinarritutakoa	42,95	62,97	62,04	55,98
Ikasketa automatikoa	40,98	61,66	60,00	54,21
Neurona-sareak	9,32	58,40	55,87	41,20

4. Ondorioak

Neurona-sareetan oinarritutako euskararako lehen korreferentzia-ebazpenerako sistema eraiki da. Sistema honekin CoNLLn % 41,20 puntuko F1 balioa lortu da, aurretik sortutako erregelatan eta ikasketa automatikoa oinarritutako sistemekin lortutako emaitzak baino baxuagoa.

Korreferentzia-ebazpenerako erregelatan oinarritutako sistemek corpus txikia erabili arren, emaitza onak eman ditzakete, sistema adimendunak darabilen ezagutza eskuz sortutako erregelekin osatzen baita. Ikasketa automatikoko sistemek, erregeletan oinarritutakoek baino corpus handiagoa eskatzen dute, sistemak datuetatik ikasten duelako, baina corpus ez oso handiekin ere emaitza onak eman ditzakete. Ikasketa sakonean ordea, neurona-sareak entrenatzeko datu gehiago behar da, lan honetan erabili den EPEC-KORREF euskarazko corpora txikia da, eta lortu diren emaitza kaxkarren erantzule nagusia dela ondorioztatu da. Kokatzearen, polonierazko corpora EPEC-KORREF corpora baino 10 aldiz handiagoa da eta neurona-sareekin erregelatan oinarritutako sistemaren antzeko emaitzak lortu dituzte; ingeleserako erabili ohi den corpora euskarazkoa baino 20 bat aldiz handiagoa da eta artearen egoeran dauden emaitzak lortu dira. Corpora handituta, CoNLL metrikari % 50a gainditzea espero daiteke, beste teknologien emaitzetara gerturatuz.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Lan ildo honi jarraipena emateko, lehenik eta behin corpusaren tamaina handitzeko beharra ikusten da, gutxienez corpusaren tamaina bikoiztu beharko litzateke, hobekuntzarik dagoen ikusteko, eta ahal dela EPEC corpus osoa (300.000 hitz) etiketatu. Etiketatze hau modu erdi-automatikoa egin daiteke, aipamenak eta korreferentzia erlazioak aipamen detektatzailea eta Standfordeko sistema erabiliz etiketatu eta ondoren zuzenduz.

Bestalde, azken urtean neurona-sareen arkitektura konplexuagoak erabiliz, hobekuntza nabarmenak lortu dira hainbat hizkuntzatan. Lee *et al.* (2018) lanean aurkeztzen den arkitekturaren moduko bat eraikitzeak, euskararako ere emaitzak hobetu ditzakeela uste da.

Azkenik, euskarazko corpora handitzeaz eta arkitektura aldatzeaz gain, hizkuntza arteko sistema bat eraiki daiteke (Kundu *et al.*, 2018; Cruz *et al.*, 2018); baliabide askoko hizkuntza batean (ingelesean adibidez) korreferentzia-ebazpenerako sistema bat entrenatuz, eta ondoren sistema hau euskarako korreferentzia-ebazpenerako baliatuz. Hizkuntza batetik ikasitako ezagutza bigarren hizkuntza bati aplikatuta emaitza onak lortu baitira hizkuntzaren prozesamenduko ataza ezberdinetan.

6. Erreferentziak

- Aduriz, Itziar, Maxux Aranzabe, J Arriola, Aitziber Atutxa, Arantza Diaz-De-Illaraza, Nerea Ezeiza, Koldo Gojenola, Maite Oronoz, Aitor Soroa, eta Ruben Urizar, 2006. Methodology and steps towards the construction of epec, a corpus of written basque tagged at morphological and syntactic levels for the automatic processing.
- Bagga, Amit, eta Breck Baldwin. 1998. Entity-based cross-document coreferencing using the vector space model. In *Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and 17th International Conference on Computational Linguistics-Volume 1*, 79–85. Association for Computational Linguistics.
- Ceberio, Klara, Itziar Aduriz, Arantza Díaz de Ilarraza, eta Ines Garcia-Azkoaga. 2018. Coreferential relations in basque: the annotation process. *Journal of psycholinguistic research* 47.325–342.
- Clark, Kevin, 2015. Neural coreference resolution.
- , eta Christopher D Manning. 2016. Improving coreference resolution by learning entity-level distributed representations. *arXiv preprint arXiv:1606.01323*.
- Cruz, André Ferreira, Gil Rocha, eta Henrique Lopes Cardoso. 2018. Exploring spanish corpora for portuguese coreference resolution. In *2018 Fifth International Conference on Social Networks Analysis, Management and Security (SNAMS)*, 290–295. IEEE.
- Goenaga, Iakes, Olatz Arregi, Klara Ceberio, Arantza Díaz De Ilarraza, eta Amame Jimeno. 2012. Automatic coreference annotation in basque. In *I. HENDRICKX, S. KÜBLER & K. SIMOV (arg.), TLT11 Proceedings of the Eleventh International Workshop on Treebanks and Linguistic Theories. Lisboa: Edições Colibri*, 115–126. Citeseer.
- Grishman, R, eta B Sundheim. 1995. Coreference task definition. version 2.3. In *Proceedings of the Sixth Message Understanding Conference (MUC-6), Columbia, Maryland, USA*, 335–344.

- Kundu, Gourab, Avirup Sil, Radu Florian, eta Wael Hamza. 2018. Neural cross-lingual coreference resolution and its application to entity linking. *arXiv preprint arXiv:1806.10201*.
- Lee, Heeyoung, Angel Chang, Yves Peirsman, Nathanael Chambers, Mihai Surdeanu, eta Dan Jurafsky. 2013. Deterministic coreference resolution based on entity-centric, precision-ranked rules. *Computational Linguistics* 39.885–916.
- Lee, Kenton, Luheng He, Mike Lewis, eta Luke Zettlemoyer. 2017. End-to-end neural coreference resolution. *arXiv preprint arXiv:1707.07045*.
- , Luheng He, eta Luke Zettlemoyer. 2018. Higher-order coreference resolution with coarse-to-fine inference. *arXiv preprint arXiv:1804.05392*.
- Luo, Xiaoqiang. 2005. On coreference resolution performance metrics. In *Proceedings of the conference on human language technology and empirical methods in natural language processing*, 25–32. Association for Computational Linguistics.
- Niton, Bartłomiej, Paweł Morawiecki, eta Maciej Ogrodniczuk. 2018. Deep neural networks for coreference resolution for polish. In *LREC*.
- Park, Cheoneum, KyoungHo Choi, Changki Lee, eta Soojong Lim. 2016. Korean coreference resolution with guided mention pair model using deep learning. *ETRI Journal* 38.1207–1217.
- Pradhan, Sameer, Xiaoqiang Luo, Marta Recasens, Eduard Hovy, Vincent Ng, eta Michael Strube. 2014. Scoring coreference partitions of predicted mentions: A reference implementation. In *Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 2: Short Papers)*, 30–35, Baltimore, Maryland. Association for Computational Linguistics.
- , Lance Ramshaw, Mitchell Marcus, Martha Palmer, Ralph Weischedel, eta Nianwen Xue. 2011. Conll-2011 shared task: Modeling unrestricted coreference in ontonotes. In *Proceedings of the Fifteenth Conference on Computational Natural Language Learning: Shared Task*, 1–27. Association for Computational Linguistics.
- Soraluze, Ander, 2017. *Korreferentzia-ebazpena euskarazko testuetan*. University of The Basque Country tesia.
- , Olatz Arregi, Xabier Arregi, eta Arantza Díaz de Ilarraza. 2017a. Enriching basque coreference resolution system using semantic knowledge sources. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Coreference Resolution Beyond OntoNotes (CORBON 2017)*, 8–16.
- , Olatz Arregi, Xabier Arregi, eta Arantza Díaz de Ilarraza. 2017b. Improving mention detection for basque based on a deep error analysis. *Natural Language Engineering* 23.351–384.
- , Olatz Arregi, Xabier Arregi, Arantza Díaz de Ilarraza, Mijail Kabadjov, eta Massimo Poesio. 2016. Coreference resolution for the basque language with bart. In *Proceedings of the Workshop on Coreference Resolution Beyond OntoNotes (CORBON 2016)*, 67–73.
- , Olatz Arregi, Xabier Arregi, eta Arantza Díaz de Ilarraza. 2015. Coreference resolution for morphologically rich languages. adaptation of the stanford system to basque. *Procesamiento del Lenguaje Natural*.
- Urbizu, Gorka, 2018. Neurona-sareetan oinarritutako korreferentzia-ebazpen automatikoa. <http://hdl.handle.net/10810/29107>.
- Versley, Yannick, Simone Paolo Ponzetto, Massimo Poesio, Vladimir Eidelman, Alan Jern, Jason Smith, Xiaofeng Yang, eta Alessandro Moschitti. 2008. Bart: A modular toolkit for coreference resolution. In *Proceedings of the 46th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics on Human Language Technologies: Demo Session*, 9–12. Association for Computational Linguistics.
- Vilain, Marc, John Burger, John Aberdeen, Dennis Connolly, eta Lynette Hirschman. 1995. A model-theoretic coreference scoring scheme. In *Proceedings of the 6th conference on Message understanding*, 45–52. Association for Computational Linguistics.
- Wiseman, Sam, Alexander M Rush, eta Stuart M Shieber. 2016. Learning global features for coreference resolution. *arXiv preprint arXiv:1604.03035*.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan hau Urbizu (2018) gradu amaierako lanetik eratorria da.

Sandwich biskoelastikoen nukleoaren lodieraren eragina igogailu baten erantzun dinamikoan

Mendizabal, Mikel¹; Iriondo, Jaione¹; Irazu, Leire¹; Hernández, Xabi² eta Elejabarrieta, Maria Jesús¹

¹Mekanika eta Ekoizpen Industrial, Mondragon Unibertsitatea

²Orona, Hernani

mikel.mendizabale@alumni.mondragon.edu

Laburpena

Bibrazioak ahultzeko helburuarekin sandwich biskoelastiko meheen erabilera zabalki balioztatua izan da. Mintz itsasgarri biskoelastikoz eta azal metalikoz osaturiko sandwich egiturek ezaugarri dinamiko hobetuak dituzten konposite egitura meheak osatzen dituzte. Nukleo biskoelastikoari esker, sandwicharen moteltze gaitasuna asko handitzen da, panel metaliko soilekin konparatuz. Lan honetan, igogailu baten zenbakizko eredua aurkezten da, sandwich biskoelastikoak erabiliz nukleoaren lodierak igogailuaren erantzun dinamikoan duen eragina aztertzeko helburuarekin. Analisiaren emaitzek mintz biskoelastikoaren lodierak igogailuaren erantzun bibrakorra zehazten duela erakusten dute.

Hitz gakoak: Sandwich biskoelastiko; Modulu konplexu; Zenbakizko eredu; Igogailu

Abstract

The use of thin viscoelastic sandwiches in terms of vibration attenuation has been widely validated. Sandwich structures composed of viscoelastic adhesive films and metallic constraining layers result in thin composite structures with improved dynamic capabilities. Due to the viscoelastic core, the damping capacity of the sandwich is considerably increased compared to metallic panels. In this work, a numeric model of a lift using viscoelastic sandwiches is presented, in order to evaluate the influence of the core thickness on the dynamic response of a lift. The results show that the thickness of the viscoelastic film determines the vibrational response of the lift.

Keywords: Viscoelastic sandwich; Complex modulus; Numerical model; Lift

1. Sarrera eta motibazioa

Material biskoelastiko bidezko moteltze teknika pasiboak bibrazio estrukturalak kontrolatzeko eta energia akustikoak disipatzeko teknika merkeak dira. Material biskoelastikoa bi geruza zurrunen artean kokatu daiteke, sandwich egitura bat osatuz, non material biskoelastikoa ebakidura moduan deformatzen den, energia disipatuz. Egitura hauek oso interesgarriak dira piezen masa kritikoa den aplikazioetan, edota erresistentzia-pisu eta zurruntasun-pisu erlazio altuak lortu nahi diren aplikazioetan; industria aeronautiko, automozio, trenbide eta itsas industrietan, esaterako (Rao, 2003).

Gaur egun, sandwich egiturak osatzeko erabiltzen diren material biskoelastiko konbentzionalak mikra tamainako mintz biskoelastiko itsasgarriengatik ordeztuak izaten ari dira (Irazu eta Elejabarrieta, 2015; Martinez eta Elejabarrieta, 2010; Martinez eta Elejabarrieta, 2011). Mintz itsasgarri hauek eta azal metalikoak erabiliz, zurruntasun-pisu eta moteltze-pisu erlazio altuko sandwich egiturak lortzen dira. Gainera, sandwicharen lodiera totala xafla metalikoen lodieraren oso antzekoa denez, metalezko xafla eraldaketa prozesu konbentzional bidez egin daitezke. Ezaugarri hau oso interesgarria da, honi esker geometria konplexuko moteltze handiko piezak fabrikazio urrats gutxiagorekin lortu daitezkelako, kostuak eta denbora murriztuz.

Bestalde, legediak zarata eta bibrazio mailen inguruan gero eta erregulazio zorrotzagoak inposatzen dituela kontuan izanik, NVH (ingelesezko *Noise, Vibration and Harshness*-etik datorrena, hau da, zarata, bibrazio eta zakartasuna) portaeraren garrantzia ezin da mezpreatu, eta funtsezko bereizgarria bihurtu da (Jonckheere et al., 2012).

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Gaur egun, igogailuetako kabinak eraikitzeke panel metalikoak erabiltzen dira. Zurruntasun aldetik propietate egokiak eskaintzen dituzten arren, metalak ez dira materialik onenak bibrazioak ahultzeari dagokionean. Beraz, eta aurreko atalean azaldutako arrazoiengatik, mintz biskoelastikoz osaturiko sandwich egiturak material konbentzionalen alternatiba interesgarria izan litezke, igogailu eta bestelako garraio bertikaleko aplikazioetan.

Igogailuko kabinako bibrazioen moteltze egokia lortzeko, sandwich egiturek izan beharreko diseinua aztertzea beharrezkoa da. Hori dela eta, lan honen helburu nagusia sandwich biskoelastikoen nukleoaren lodierak igogailu baten erantzun dinamikoan duen eragina aztertzea da. Horretarako, lodiera ezberdineko geruza biskoelastikoz osaturiko hiru sandwich egitura mehe aztertzen dira analisi honetan.

Alde batetik, materialaren karakterizaziorako, aurretiko lan batean (Irazu eta Elejabarrieta, 2015) eginiko saiakuntza esperimental bat erabiltzen da. Ondoren, sandwich probeten zenbakizko ereduak aurkezten eta balioztatzen da ABAQUS 6.14 software-a erabiliz, eta sandwich egituraz eraikitako igogailuaren erantzun dinamikoa kalkulatu da horrekin. Azkenik, hiru sandwich ezberdinen erantzun dinamikoa konparatu da, nukleoaren lodierak igogailuaren kabinako bibrazioen ahultzean duen eragina zehazteko.

3. Ikerketaren muina

3.1. Materiala

Propietate geometriko eta fisikoak

Aztertutako sandwich egitura simetrikoa da, eta azal metalikoz eta mintz biskoelastikoz osatua dago. Material biskoelastiko ezberdinak erabiltzen dira honelako egituretan: Neoprenoa edo polikloroprenoa (Leibowitz eta Lifshitz, 1990, Lifshitz eta Leibowitz, 1987), polimero akrilikoak (Araújo et al., 2010, Hamdaoui et al., 2015, Felipe Filho et al., 2017) eta PVB edo polibiniloa (Hamdaoui et al., 2015), esaterako.

Gure kasuan, aurretiko lan batean (Irazu eta Elejabarrieta, 2015) poliesterra oinarrian zuten bi itsasgarri ezberdin konparatu ziren. Biek zurruntasun antzekoa badute ere, bigarrenak moteltze askoz handiagoa du. Sandwich egiturak erabiltzearen helburu nagusia bibrazioak ahultzea izanik, lan honetan moteltze handiko itsasgarria erabiltzea erabaki da. Bestalde, AISI 316 altzairu herdoilgaitza (MatWeb) erabili da azal metaliko moduan.

Sandwich egituraren eta bere osagaien propietate geometriko eta fisikoak, balioztatzerako erabili direnak, 1. taula eta 2. taulan ikus daitezke, hurrenez hurren. H -k lodiera adierazten du, b -k zabalera, eta ρ -k dentsitatea. Kontuan izan $(\cdot_e)$ eta $(\cdot_v)$ azpiindizeek zati elastiko eta biskoelastikoei egiten dietela erreferentzia.

1. taula. Sandwicharen propietate geometriko eta fisikoak

Sandwich		
H ($\pm 0,002$ mm)	b ($\pm 0,1$ mm)	ρ ($\pm 0,05$ g/cm ³)
0,472	9,9	7,37

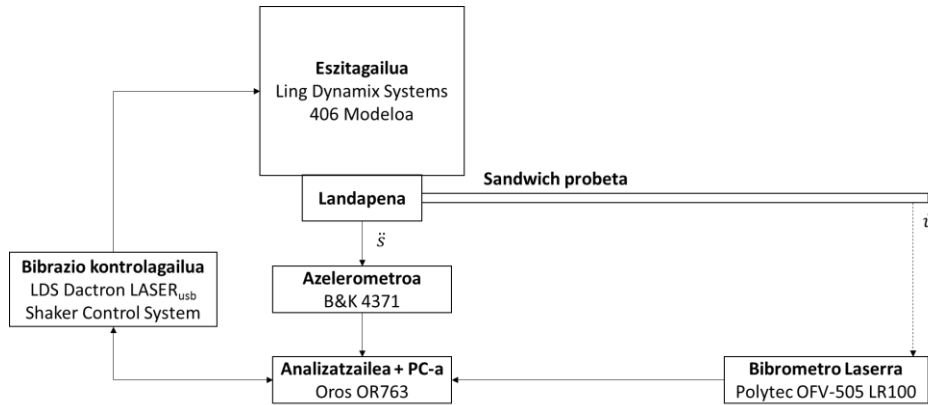
2. taula. Sandwicharen osagaien propietate geometriko eta fisikoak

Azal metalikoa		Geruza biskoelastikoa	
H_e ($\pm 0,002$ mm)	ρ_e (g/cm ³)	H_v (± 2 μ m)	ρ_v (g/cm ³)
0,216	7,96	41	1,13

Materialaren karakterizazioa

Bai azal metalikoak bai nukleo biskoelastikoa erresonantziadun bibrazio behartuen saiakuntza baten bidez karakterizatu dira. Prozedura esperimental osoa aurretiko lan batean dago deskribatua (Irazu eta Elejabarrieta, 2015). Saiakuntza honetan probetak maiztasun tarte zabal batean eszitatzen dira, tarte horretako erresonantzia maiztasunak aurkitzeko. 1. irudian saiakuntza esperimentalaren eskema ikus daiteke.

1. irudia. Saiakuntza esperimentalaren eskema



Saiakuntza esperimentalean, *Cantilever* eran kokatutako sandwich habearen erantzun dinamikoa neurtzen da. Ertz finkoan mugimendu bat eragiten zaio probetari eszitagailu elektrodinamiko bat erabiliz, eta azelerometro batekin neurtzen da bertako azelerazioa ($\ddot{s}$). Aldi berean, ertz librearen abiadura ($\dot{u}$) bibrometro laser baten bidez neurtzen da. Ertz finko eta librearen azelerazioen arteko erlazioak erakusten du sandwicharen erantzuna, transferentzia funtzio (T) bezala ezagutzen dena (1).

$$T^*(\omega) = \frac{U^*(\omega)}{S^*(\omega)} \quad (1)$$

non $U^*(\omega)$ eta $S^*(\omega)$ abiaduraren deribatuaren Fourier-en transformatua eta ertz finkoan aplikatutako mugimenduaren Fourier-en transformatua diren, hurrenez hurren. Transferentzia funtziotik abiatuz, sandwich egituraren eta bere mintz biskoelastikoaren propietateak lortzen dira. Material biskoelastikoen kasuan, modulu konplexuak (E^*) tentsio eta deformazioaren arteko erlazioa adierazten du, bibrazio egoera batean. Modulu honek bi propietate biltzen ditu: metatze modulua (E'), materialak metatzen duen energia, zati elastikoari dagokiona; eta galera modulua (E''), materialak disipatzen duen energia, zati biskosoari dagokiona (2).

$$E^* = E' + iE'' \quad (2)$$

Ekuazio horretan, i -k unitate irudikaria adierazten du. Metatze eta galera moduluen arteko erlazioa galera faktore (η) bezala definitzen da (3). Galera faktoreak materialaren moteltzea adierazten du.

$$\eta = \frac{E''}{E'} \quad (3)$$

Sandwich egituren kasuan, nukleo biskoelastikoak ebakiduran egiten du lan. Ebakidura esfortzuen kasuan, E^* , E' eta E'' propietateak G^* , G' eta G'' bezala idazten dira, hurrenez hurren.

Saiakuntza esperimentalaren bidez, sandwich egituraren metatze modulua eta galera faktorea kalkulatu dira, ondorengo ekuazioak erabiliz (4,5):

$$E' = \frac{12\rho L^4 f_n^2}{H^2 C_n^2} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{\Delta f_n}{f_n} \quad (5)$$

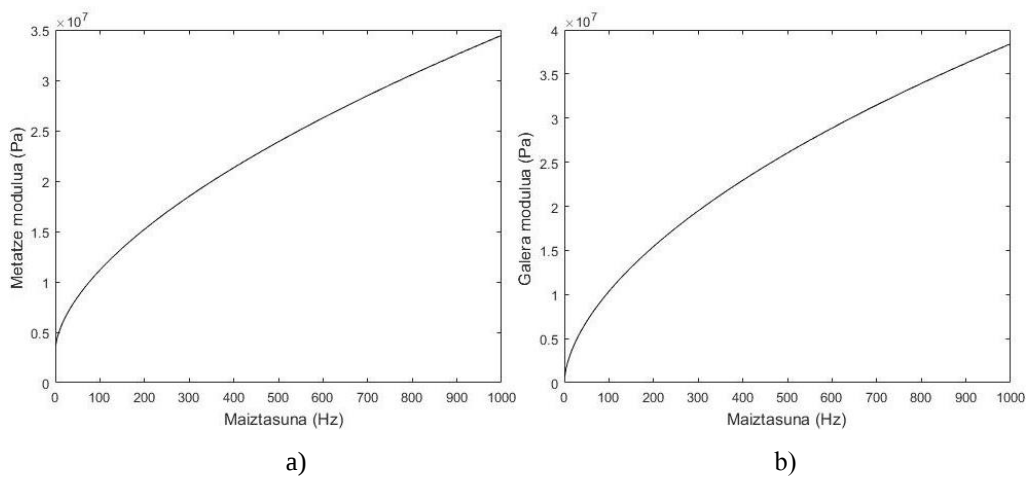
Lehen esan bezala, ρ -k sandwicharen dentsitatea adierazten du eta H -k bere zabalera. L -k probetaren luzera adierazten du eta C_n , n bibrazio moduari dagokion koefiziente bat da, ASTM E 756-05 arauan zehaztua (ASTM, 2005). f_n probetaren maiztasun naturala da, transferentzia funtziotik ondorioztatzen dena, funtzioak maximoa duen puntuari dagokion maiztasuna izanik. Azkenik, Δf_n ere transferentzia funtzioak ematen duen propietatea da, puntu maximoaren balioa 3 dB murrizten den maiztasun tartea.

Sandwicharen propietateak ezagututa, mintz biskoelastikoaren ebakidurako modulu konplexua kalkulatu daiteke, egituraren dimentsio totalak eta osagai bakoitzaren dimentsio eta propietateak kontuan izanik.

Beraz, prozedura hori jarraituz sandwich egituren karakterizazioa gauzatu da. Alde batetik, metalaren moteltzea material biskoelastikoarena baino askoz ere txikiagoa denez, bere portaera elastikoa dela kontsideratzen da, moteltzearen balioa 0 izanik. Saiakuntzako emaitzetatik, metalaren modulu elastikoa 205,7 GPa-ekoa dela kalkulatu da. Itsasgarriak, ordea, portaera biskoelastikoa du, eta bere portaera dinamikoa deskribatzeko, lehen azaldutako propietateak kalkulatu dira, G' eta G'' , alegia.

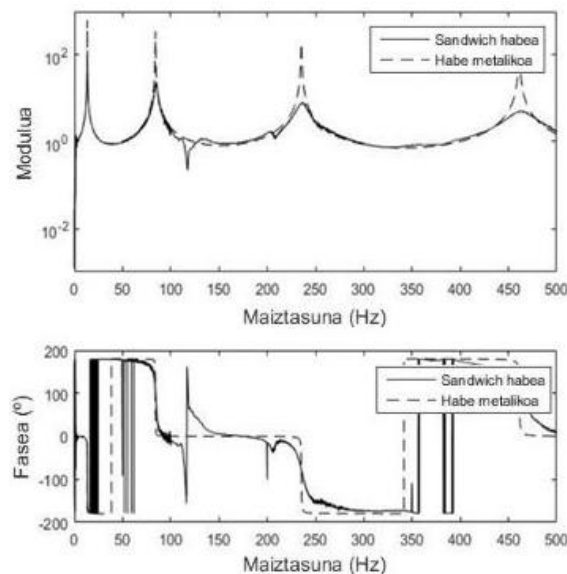
Hainbat eredu daude material biskoelastikoen propietateak modelizatzeko, eta lau parametroko deribatu frakzionarioen ereduak izan da lan honetan erabili dena (Nashif et al., 1985, Jones, 2001). Eredu honetan, Zener-en eredu klasikoaren orokortze bezala ere ezagutua, deribatu ez osoak edo frakzionarioak erabiltzen dira. Materialaren portaera deskribatzeko lau parametro bakarrik doitu behar direla da bere abantaila nagusia, parametro horiek propietate fisikoekin zerikusia dutelarik. Eredu horrekin zehazturiko ebakidura modulu konplexua 2. irudian ikus daiteke.

2. irudia. Doitutako ebakidura modulu konplexua (a) metatze modulua eta (b) galera modulua



Aurreko irudietan ikusten den bezala, itsasgarriaren maiztasunarekiko menpekotasun handia dela eta, zurruntasuna zein moteltzea nabarmen handitzen dira maiztasuna areagotzean. Material biskoelastikoak duen eragina ikusteko, 3. irudian, sandwich probetaren eta lodiera bereko habe metaliko baten arteko konparaketa ikus daiteke.

3. irudia. Sandwich habearen eta habe metalikoaren transferentzia funtzioak



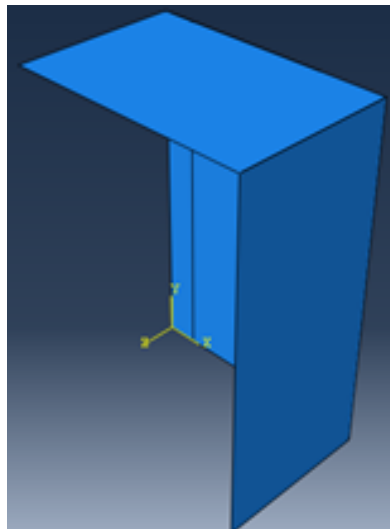
Aurreko irudian ikusten da bi kasuetan maiztasun naturalak oso antzekoak direla, funtzioaren maximoak ia maiztasun berdinetan ematen direlako. Maximo horiei dagozkien anplitudeak, ordea, asko murrizten dira sandwich egituren kasuan, moteltzea handitzen dela adieraziz. Ondorioz, itsasgarri biskoelastiko bat sandwich konfigurazioan erabiltzeak bibrazioen ahultze handia dakar, zurruntasunean ia inolako aldaketarik eragin gabe.

Igogailuaren zenbakizko eredua

Igogailuaren zenbakizko eredua ABAQUS software-aren bidez garatu da. Software honek elementu finituen metodoa erabiltzen du ingeniartzako aplikazio desberdinen inguruko kalkuluak egiteko, bai estatikoak, baita, kasu honetan bezala, dinamikoak ere. Sandwich egiturentzat hiru geruzako eredu bat egin beharrea (bi azal metaliko eta mintz biskoelastikoa bakoitza bere aldetik), geruza bakarreko eredu homogeneousatu bat egin da, S8R xafla elementuak erabiliz. S8R elementuak laukizuzen formako elementuak dira, 8 nodoz osatuak, nodo bakoitzak 6 askatasun gradu dituelarik. Eredu baliokidea egiteak propietate homogeneousatuak esperimentalki kalkulatu beharra dakar, baina nodo kopuru totala gutxitzen da, kalkuluen denbora asko murriztuz, eta lehen hurbilketa bezala balio du.

Orokorrean, igogailu baten neurri estandarrak 2,2 m x 1,5 m x 1 m ingurukoak izaten dira. Simetria kontsideratuz, eta eredua errazteko helburuarekin, igogailuaren laurden bat modelizatu da. 4. irudian ikus daiteke igogailuaren eredua.

4. irudia. Igogailuaren eredu dinamikoa



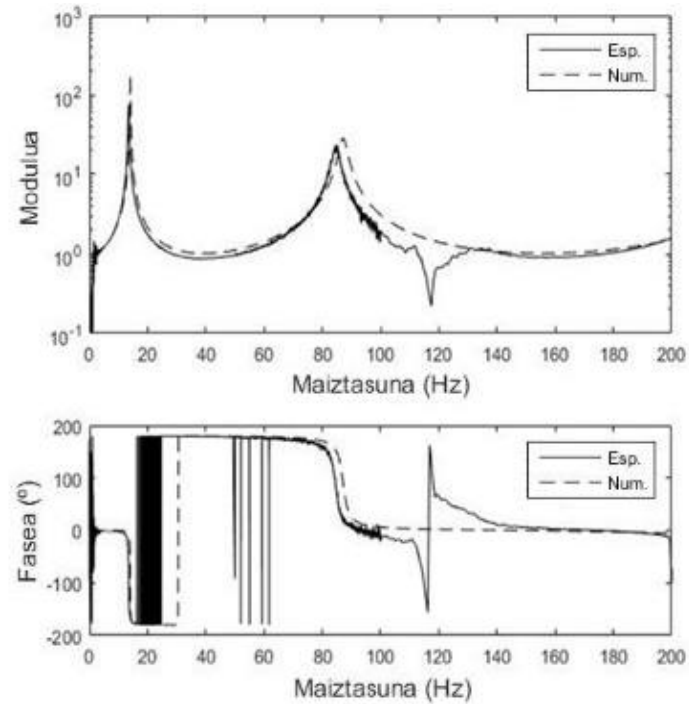
Ohiko konfigurazioan, bidaiarien kabina errail artean gidatua izaten da, eta errailen eta kabinaren arteko kontaktua alboko paneletan ematen da. Horregatik, eraikitako ereduan, sandwich egiturak alboko paneletan erabili dira, kabinaren gainontzeko ataletan altzairuzko panelak jarriz. Eszitazio iturri bezala 10 mm-ko desplazamendu bat kontsideratu da, 100 Hz-rainoko maiztasun tartean, eta mugimendu horretan oinarrituta alboko aurpegiaren eta aurrekoaren arteko transferentzia funtzioa kalkulatu da.

Hiru sandwich egitura aztertu dira, lodiera ezberdineko nukleoekin; lodiera hauek 25, 100 eta 250 μm izanik. Eskuragarri zeuden neurketa esperimentalak direla eta, ereduaren balioztatzea 41 μm -ko nukleo biskoelastikoa, 170 mm-ko luzera eta 10 mm-ko zabalera dituen sandwich egitura bat erabiliz egin da. Aipatzekoa da bibrazio linearrak kontsideratu direla analisisian, eta bibrazioen ahultzea transferentzia funtzioa erabiliz kalkulatu dela.

3.3. Emaitzak eta eztabaida

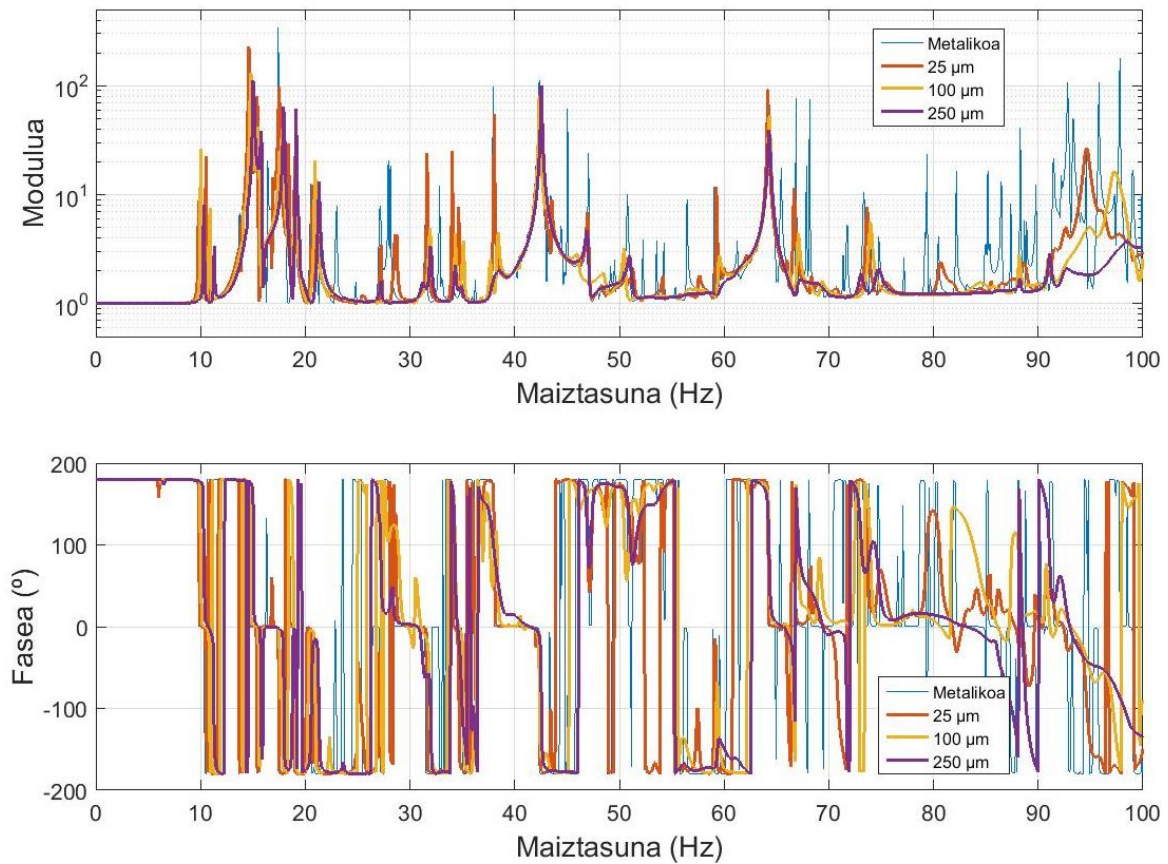
41 μm -ko lodierako nukleodun sandwich bat erabiliz balioztatu da eredua. 5. irudian, ABAQUS bidez lorturiko eta saiakuntza esperimentalaren bidez lorturiko sandwich egituraren transferentzia funtzioen arteko korrelazioa ikus daiteke. 200 Hz-rainoko maiztasun tartea aztertu da.

5. irudia. Transferentzia funtzio experimental eta numerikoak



Bi transferentzia funtzioen artean korrelazio ona ikusi denez, eredu balioztatua izan da. Ondorioz, sandwich egituren eredu hori erabiliz, igogailuaren kabinaren eredu eraiki da. 6. irudian, hainbat lodierako nukleoak erabiliz eraikitako hiru kabinen transferentzia funtzioen konparaketa ikus daiteke.

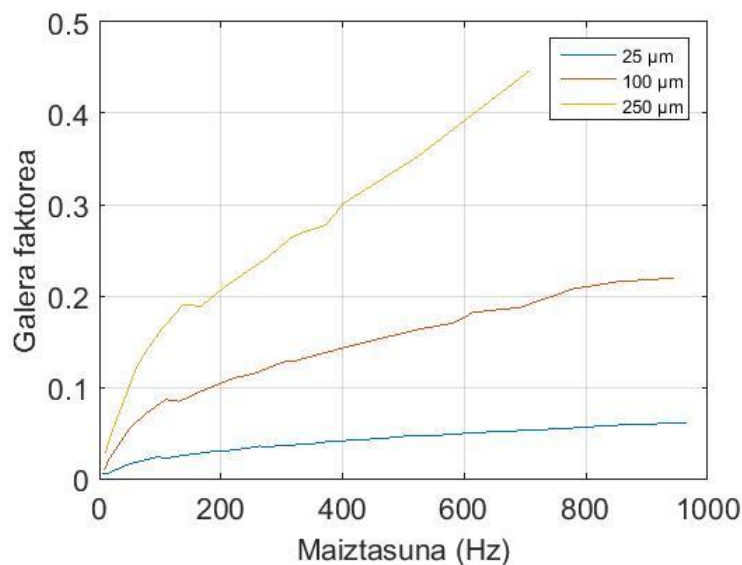
6. irudia. 25 μm , 100 μm eta 250 μm -ko lodieradun sandwicheko kabinen transferentzia funtzioak



Igogailuaren hormen azalera sandwichen lodierarekin konparatuta oso handia denez, egitura oso malgua da. Horren ondorioz, bibrazio modu asko ikus daitezke maiztasun tarte txiki batean, eta hiru funtzioen konparaketa apur bat nahasia bihurtzen da.

Maiztasun baxuetan, hiru lodieratako sandwichen moteltzea oso antzekoa da, egitura metalikoarena gehiegi hobetu gabe. Honen arrazoa hobeto ulertzeko, 7. irudian hiru lodiera hauetako nukleodun sandwich probeten galera faktorearen balioak ikus daitezke. Lehenago aipatu den bezala, material biskoelastikoek menpekotasun handia dute maiztasunarekiko. Horregatik, 7. irudian ikus daiteke nukleoaren lodiera handituz probetaren moteltzea asko areagotzen dela maiztasun altuetan. Maiztasun baxuetan, ordea, moteltze oso baxua dute hirurek.

7. irudia. 25 μm , 100 μm eta 250 μm -ko lodieradun sandwich probeten galera faktorea



Kabina mailara itzuliz, maiztasun baxuetan hobekuntzarik antzematen ez den arren, 6. irudian ikus daiteke maiztasun altuagoetan (70 Hz-tik aurrera) ikusten dela lodiera ezberdineko nukleoa erabiltzearen eragina. Nukleoaren lodiera handitu ahala, sandwicharen moteltze ahalmena areagotu egiten dela ikusten da. Ondorioz, esan daiteke 100 Hz-rainoko tartean, bibrazio nagusiak ematen diren tartean, ahultzearen areagotzea esanguratsua bihurtzen dela nukleoaren lodiera handitu ahala.

4. Ondorioak

Honako hauek dira azterketa honetan lortu diren ondorio nagusiak:

- Nukleo biskoelastikodun sandwich baten bibrazioen ahultzea frogatu da.
- Habearen zenbakizko transferentzia funtzio eta esperimentalen korrelazioan oinarrituta, igogailuaren zenbakizko eredu balioztatu da.
- Igogailuaren bibrazio ahultzea areagotu egiten da nukleoaren lodiera handitu ahala.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Analisi honetan aztertutako sandwich egiturak material jakin batekoak izan dira. Ez da aztertu azal metaliko edo nukleo biskoelastiko bezala beste material batzuk erabiltzearen eragina. Ondorioz, interesgarria izango litzateke material ezberdinak aztertzea, igogailuaren erantzun dinamikoan nola eragingo luketen ikusteko.

Izan ere, analisi honekin lortu nahi dena igogailuetako sandwich panelen optimizazioa da. Kasu bakoitzean komeni den bibrazioen ahultzea lortzeko, material egokienak eta euren dimentsio optimoak zeintzuk diren jakitea izango litzateke azterketa honen azken helburua.

6. Erreferentziak

- Araújo, A.L.; Soares CMM; Soares CAM eta Herskovits, J. (2010), "Optimal design and parameter estimation of frequency dependent viscoelastic laminated sandwich composite plates", *Composite Structures*, 92, 2321-2327.
- ASTM E 756-05 (2005), "ASTM E 756-05: Standard test method for measuring vibration damping properties of materials".
- Felippe Filho, W.N.; Barbosa, F.; Roitman, N.; Magluta, C. eta Borges, F.C. (2017), "Experimental and numerical evaluation of viscoelastic sandwich beams", *REM – International Engineering Journal*, 70, 281-287.
- Hamdaoui, M.; Robin, G.; Jrad M. eta Daya, E.M. (2015), "Optimal design of frequency dependent three-layered rectangular composite beams for low mass and high damping", *Composite Structures*, 120, 174-182.
- Irazu, L. eta Elejabarrieta, M.J. (2015), "The influence of viscoelastic film thickness on the dynamic characteristics of thin sandwich structures", *Composite Structures*, 134, 421-428.
- Jonckheere, S.; Vivolo, M.; Pluymers, B.; Vandepitte, D. eta Desmet, W. (2012), "Combined experimental-numerical characterisation of the vibro-acoustic properties of lightweight panels", *9th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics*.
- Jones, D.G. (2001): *Handbook of viscoelastic vibration damping*, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.
- Leibowitz, M. eta Lifshitz, J.. (1990), "Experimental verification of modal parameters for 3-layered sandwich beam", *International Journal of Solids and Structures*, 26, 175-184.
- Lifshitz, J.M. eta Leibowitz, M. (1987), "Optimal sandwich beam design for maximum viscoelastic damping", *International Journal of Solids and Structures*, 23, 1027-1034.
- Martinez-Agirre, M. eta Elejabarrieta, M.J. (2010), "Characterisation and modelling of viscoelastically damped sandwich structures", *International Journal of Mechanical Sciences*, 52, 1225-1233.
- _____ (2011), "Dynamic characterization of high damping viscoelastic materials from vibration test data", *Journal of Sound and Vibration*, 330, 3930-3943.
- MatWeb, Material Property Data, "AISI 316 Stainless Steel, annealed plate".
<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=3a413dabd215462da3408e6e8b761349>
- Nashif, A.D.; Jones, D.I.G.; Henderson, J.P. (1985): *Vibration damping*, Wiley, New York.
- Rao, M. (2003), "Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes", *Journal of Sound and Vibration*, 262, 457-474.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan hau AVISANI (DPI2015-71198-R, espainiar gobernua), AVISANI (PI_2016_1_0026, Eusko Jurlaritz) eta CONMATEC (KK-2018/00026, Eusko Jurlaritz) proiektuen eta Replasa S.A.-ren bidez partzialki lagundua izan da.

Soinu-gertaera hiri espazioaren eraikuntza sinbolikoan

Iturbe, Zigor
Arkitektura Saila EHU
zigor.iturbe@ehu.eus

Laburpena

Ikerketa honetan zehar soinu-gertaeraren ulermena arkitekturan eta, bereziki, hiri plangintzan aldagai bezala txertatzeko beharrari ekin zaio. Espazio publikoan (edo beste edozein espaziotan) harremanak izatea jarduera bat garatzea dakar, modu batera edo bestera soinua eragiten duen erabilera bat. Soinu gertakari hau espazio batetan gauzatutako ekintza baten ondorioa izango da non, arkitektura, hiritarra eta giroaren arteko bitarteko gailua bezala azaltzen den.

Hiritarrak inguratzen dion soinu gertakizunari aurre egiteko modua ulertzeak, zarata borrarero eta hiritarra biktima den soinu paisaiaren dilema penala gainditzera lagundu lezakeen marko bat eskaini dezake?

Hitz gakoak: soinu-paisaia, hiri plangintza, arkitektura, akustika.

Abstract

Throughout this research, the need to introduce the understanding of the sound event as a variable to be taken into account in the development of architecture, and especially urban planning, is addressed. Relate in the public space (or any space) involves developing an activity, a use that produces sound to a greater or lesser extent. This sound event will be the consequence of an action carried out in a space, where architecture is presented as a device that mediates between the citizen and the environment.

Understand the way in which the inhabitant faces the sound event that surrounds him, could offer a framework that helps to overcome the criminal dilemma of the sound landscape where the noise is the executioner and the inhabitant the victim?

Keywords: soundscape, urban planning, architecture, acoustics.

1. Sarrera eta motibazioa / momentuko egoera

Paisaiaren definizioak onartutako anitz ikuspegiez luze idatzi bada ere, bere ikusizkoaren izaeran duela oinarri nagusia agerian geratzen da beste behin ere EAE-n onartutako Paisaiaren Dekretuan.

Alde batetik “1997ko otsailaren 11ko 28/1997 dekretuak onartutako Euskal Autonomia Erkidegoko Lurralde Antolamenduaren Gidalerroetan, [...] ikuspen-eremuak katalogatzeko beharra [...]” adierazterakoan, paisaiaren ikusizko balioez soilik ari da.

Ekainaren 3ko 2014/90 Dekretuak berriz, bere 4. Artikuluaren 2. Puntuko “a” atalean Paisaien Katalogoen osagaiak deskribatzean banaketa nabarmena egiten da ikuspen-irizpideak eta pertzepzioirizpideen artean. Banatu daitezken irizpideak al dira? Pertzepziozko irizpideak ikusizkoak ez diren beste guztiak al dira? Ikusizkoa maila handiagoko kategoria batetan jartzen al da berarentzat aipamen berezia egitean eta beste zentzumenak “bestelako”-en artean biltzean?

Era berean Dekretuaren 7. Artikularen 2. puntuan paisaia integratzearen azterlanetarako jaso beharreko edukiak aipatzean ikusgarritasuna bereziki aipatzen da.

Paisai baten azterlana egiterakoan, hau osatzen duten balio guztiak ahal den heinean aintzat hartu beharko balira ere, egun, ikusizko irizpideek izaten dute lehentasuna hemen. Indarrean sartutako dekretuak bestelako pertzepzio-eremuei atea irekitzen badie ere, zentzumen orori berdintasunez so egitea urruti xamar geratzen zaigu oraindik, aztertutako eremu bakoitzean bereziki interesatzen zaigun paisaia-eremu bat jasotzen saiatzen garelarik.

Azken hamarkadan bereziki protagonismoa hartu duen paisai mota bat, Soinu Paisaia dugu. Arte plastikoek eta musikak bereziki kulturalki duten eraginkortasuna dela eta lortu dute bestelako diziplinek ere honi so egitea. Honek gure hirietako Zarataren Mapa Estrategikoak egitera eraman gaitu, zeintzuk zirkulazioaren (autoak, autobusak, trenak, hegazkinak...) zarata duten irizpide nagusi. Baina batez ere Zarataren Legeak gidatzen duen irizpide bat da hau, paisai hauen alderdi estetiko eta kualitatiboak baztertuta geratuz, zarata "gaizkile" eta hiritarra "biktima" den lege-esparru batetan eraikitako paisaia kudeatzeko gailuak aurkezten zaizkigularik.

Bizitako paisai jakin bat ulertzeko, berau definitzen duen giroa [ambiance] ulertzea ezinbestekoa dela onartuz gero, giro hau osatzen duen soinu paisaiari arreta jartzea ezinbesteko dela adierazten du Jean Paul Thibaud hirigileak (Thibaud, 2011; 43-53 / 2013; 62-70) besteak beste. Bestalde, zarataren definizioa alderdi kuantitatiboetan soilik neurtzean, paisaia edo soinu paisaia Kode Penalaren eremura daramagu, adierazpen askatasuna urratuz kasu askotan (Labelle, B. 2010).

Bideratu edo lagundu lezake Paisaiaren Hitzarmen/Dekretuak hirietako Soinu Paisaientzat gidalerroen irizpide bat ezartzen zarata eta isiltasunaren dilemma penala gaindituz?

"Ambiance"

Giroa, gaitutako espazio-denbora dela esan dezakegu ikuspegi sentsorial batetik ikusita. Honek hurbilketa sozio-estetiko bat biltzen du zeinek eguneroko hiri atmosfera ezberdinak jasotzen laguntzen digun. Giroaren parte gara eta sentitu beharreko zerbait da hau, eta ezin dugu distantziatik begiztatu. Beste era batera esanda, giroak egoerarekin bere osotasunean harreman zuzenean jartzen gaituena da eta ondorioz pertzepziora garamatza. Pertzepzio hau ezin da gertatzen den baldintza konkretuetatik banandu. Horregatik, jarrera analitiko bati soilik jarraitzen badiogu ondoz ondoko zein banakako parametroak aztertzen, ezin dezakegu jaso zer den egoera jakin bat osotasun kontziente eta bateratu bat egiten duena. (Thibaud, J.P., 2011; 203-215)

John Dewey-ek garatutako esperientziaren filosofiari jarraituz heldu diezaiokegu gai honi. Egoerek osatzen dute esperientzia mota guztien oinarritzko unitatea eta inguratzen gaituen esperientzatutako mundua bezala definitu daiteke hau. "egoera" hitzarekin izendatzen duguna ez da isolatutako objektu bat edo gertakizun bat edo gertakizunen multzo bat. Guk inoiz ez dugu esperientziatzen isolatutako objektu ezta isolatutako gertakizunen gaineko epaiketa formalik, testuinguruaren osotasun batekin harremanetan baizik. Hau da beranduago "egoera" deituko duguna (Dewey 1938; 66). Beraz, egoera bat ezin da isolatutako edo banatutako elementuetara sinplifikatua izan. Honek nahitaez osoari eta bere atalei zentzua ematen dien batasun bat dakar. Egoera bat osotasun testuinguru baten lerroan definitzea bilatzeak, egoera zerk bateratzen duen galdetzerakaramatza. Galdera honi erantzuteko Dewey-ek "barrentze kalitatea"-ren (Dewey, 1931) kontzeptua ondorioztatzen du, hau, giroaren kontzeptua ulertzeko jarraibide garrantzitsuenetako bat izan daitekelarik.

"The three dynamics of urban ambiances" (Thibaud, J.P., 2011) testuan Jean Paul Thibaud hirigile eta soziologoak giroa prozesu hirukoitz baten ondorio dela azaltzen digu: egokitzea, bariazioa eta alterazioa. Prozesu hauek era berean ari dira beti lanean giro jakin batetan, baina bata bestea eragiteko gaitasuna aldakorra da giro betetik bestera, giro batzuk eraldatze hau hobeto onartzen dutelarik, inprobisazioa eta

bariazioa hobeto onartuz. Testuinguruaren irekidura edo itxidura handiago edo txikiago baten kontua da hau, edo beste era batera esanda, giza jardueren bizi indarra integratu, areagotu edo neutralizatzeko giroak duen gaitasun erlatiboa. Gure ingurunearekiko zenbait harreman mota txandakatu, orekatu edo polarizatzeko giro batek duen gaitasuna “testuinguru oszilazioa” terminoaz izendatua izan da. (Thibaud 2011;43-53)

Agerian geratzen den ondorioetako bat da, arkitekturan, mundu materiala eta ez-materiala ezin ditzakegula modu erradikalean banandu, forma espazialak denborazko dinamikatik alegia. Objektu arkitektonikoaz edertasun terminoetan hitz egin beharrean, inguruneari egunerokotasunaren esperientzia areagotzeko txertatutako sistema baten gaitasunaz aritzea zentzuzkoagoa dirudi. Bestalde, arkitektura, gure egunerokotasuneko keinu eta erabilera arruntek piztutako gaia da, zein gure etxebizitzaren senak errotutako estetikan gorpuzten den. Tim Ingold antropologoaren hitzetan: “Mundua bizi izatean ez dugu bere gain eragiten edo ez dizkiogu gauzak egiten munduari berari. Gure ekintzek ez dute mundua eraldatzen, munduaren eraldatzearen atal eta zati bera dira.” (Thibaud 2011;43-53)

2. Baztertutako hiriaren soinuak?

Hiri egituraren izaera fisikoa soilik kartografiatu beharrean, geografo kulturalak hiriko toki ezberdinetan kulturalki eraikitako esanahiari egiten diote so. Izaera sinboliko hau tokian tokiko soinu paisaian islatuta geratzen da besteak beste, beronen epaiketa estetiko bat egitea baimentzen digularik. Luze idatzi da soinu paisaiaren katalogazioaz R. Murray Schafer-en “The Tuning of the World” liburua 70. hamarkadan plazaratu zenetik. Bi multzo nagusitan banatzen ditu idazleak soinu paisaiak: batetik “hi-fi soundscapes” soinu guztiak argi eta garbi entzun eta identifikatu daitezken soinu giroak non soinuaren mozorrotzea gertatzen ez den. Soinu paisai hauek naturalaren, organikoaren eta orokorrean, atsegina den komunitatearen adierazle bezala azaltzen ditu autoreak. Eta bestetik, “lo-fi soundscapes”, hiri modernoaren gainezkatutako soinu giroaz aritzeko, distantzia eta perspektibarik adierazten ez duen soinu giroa non oraina soilik adierazten duen. Azken hauek nahigabeko soinuak dituzte bere baitan, hau Schaferrek zarata definitzeko modua izanik. (Schafer, M. 1977)

Zarata nahigabeko soinuak izatearen definizioa elektro-akustika eta komunikazioaren teoritik ondorioztatutakoa dela esan genezake, non igorritako edozein seinaleren asaldatzeari zarata deitzen zaion. Definizio mekaniko hau zaila da zuzenean ingurune egoerara eramatea. Zarataren ideia edo kontzeptua irregularra, konplexua eta inprobisatua denarekin bat datorren heinean, erabilgarriagoa litzateke hiri soinu espazioaz aritzea nahigabeko soinuaz aritzea baino. Ez al da hiri soinu espazioa ahotsak eta soinuek elkar moztu eta nahasten diren tokia modu irregular, konplexu eta ustekabea? Baztertu beharreko zarata al da hau? Hirigintzaren funtsezko elementu bat zarata (irregularra eta konplexua dena) gertatu daitekela da. Ez gertakizun konstante bat bezala, baina ez litzateke hiri soinu giroa egongo zarata inoiz gertatuko ez balitz giro horretan. Beraz, hiri soinu giroaren mehatxu zuzena zarata bera baino soinuaren homogeneizazioa litzatekela ondorioztatu dezakegu. Schaferrek soinu giro garbiagoak aldarrikatzen dituen bitartean, soinu giro pluralak aldarrikatzeak zentzuzkoagoa dirudi. Zarata bere baitan egokitzea lortzen duen ingurumena sozialki barneratzaileagoa den ingurumena dela esan genezake. (Thibaud, J.P. 2002/2005 | Augoyard, J.F., 1993)

Gaur egun hirietako soinu giroa kudeatzeko darabiltzagun gailuak, zaingo polizialean oinarritutako marko juridiko batetan azaltzen zaizkigu, ‘gaizkile’ eta ‘biktima’-ren antzezlan bideratzeko gidoia. Alde batetik Zarataren Legeak alderdi kuantitatiboak arautu nahi ditu osasun eta entzumenaren irizpide biologikoak erabiliz, kontutan hartu gabe ezarritako neurri maila horien barnean gertatutako soinuek, neurri maila horiek gainditutako soinuek baino kalte gehiago eragin dezaketela askotan, soinuek gizakion jokabidea bideratzeko duten ahalmena dela eta. Bestetik, Paisaiaren Europako Hitzarmena eta EAE-ko Lurralde Antolamenduko Gidalerroak ditugu Ingurumen Sailarekin batera soinuaren alderdi kualitatiboak neurtu eta kudeatzeko. Azken hauetan paisai edo ingurune jakin bat babesteaz hitz egiten da hasiera betatan ‘ona’ eta ‘txarra’ zein diren epaitu gabe. Baina kulturalki zaila zaigu defendatzea soinu paisai industrial bat edo alde zaharreko taberna giroetako kale soinuak

babestu beharreko zerbait dela. Babestu beharreko soinu paisaiak ari garenean beti datorkigu gogora soinu paisai naturala, isila, lasaia, baina espazio akustikoa harremanen espazio bat da. Horregatik soinu paisaiaren dilema penala gainditzeko entzule aktiboak dira beharrezko, norberekiko kontzientzia hartzen duten heinean, sortutako zarataren erantzule direnak (Labelle, 2010). Hezkuntzan du jarrera honek oinarria, Europa iparraldeko zenbait herrialdetan erakutsi den bezala. Bestalde entzutearen kultura hobeago baten ardatza ez da zarata gutxiago ekoiztea. Beharrezkoa dugu 'besteak' sortutako soinu batzuk ere beharrezkoak direla ulertzea, beste asko ez badira ere.

3. Ikerketaren helburuak

Lan honetan Bilboko Alde Zaharra eta berau inguratzen duen Erriberako errepidearen azterketa dira xede. Honetarako, lehenik, lekuko *kartofonia* (kartografiaren soinu-zuko aldaera) bat gauzatzen da proposatutako zenbait ibilbide eta puntuetan (J. P. Thibaud, 2001; 79 | Augoyard, J.F., 2007) jasotako soinupasartez osatutakoa, aipatutako gunean zehar sakabanatuta daudenak eta, soinu-objektuen (P. Schaeffer, 1966) eta soinu efektuei (J. F. Augoyard & H. Torgue, 2005) esker, tokiko soinu paisaiari dagokionez mapa kualifikatu bat elaboratzea baimentzen diguna.

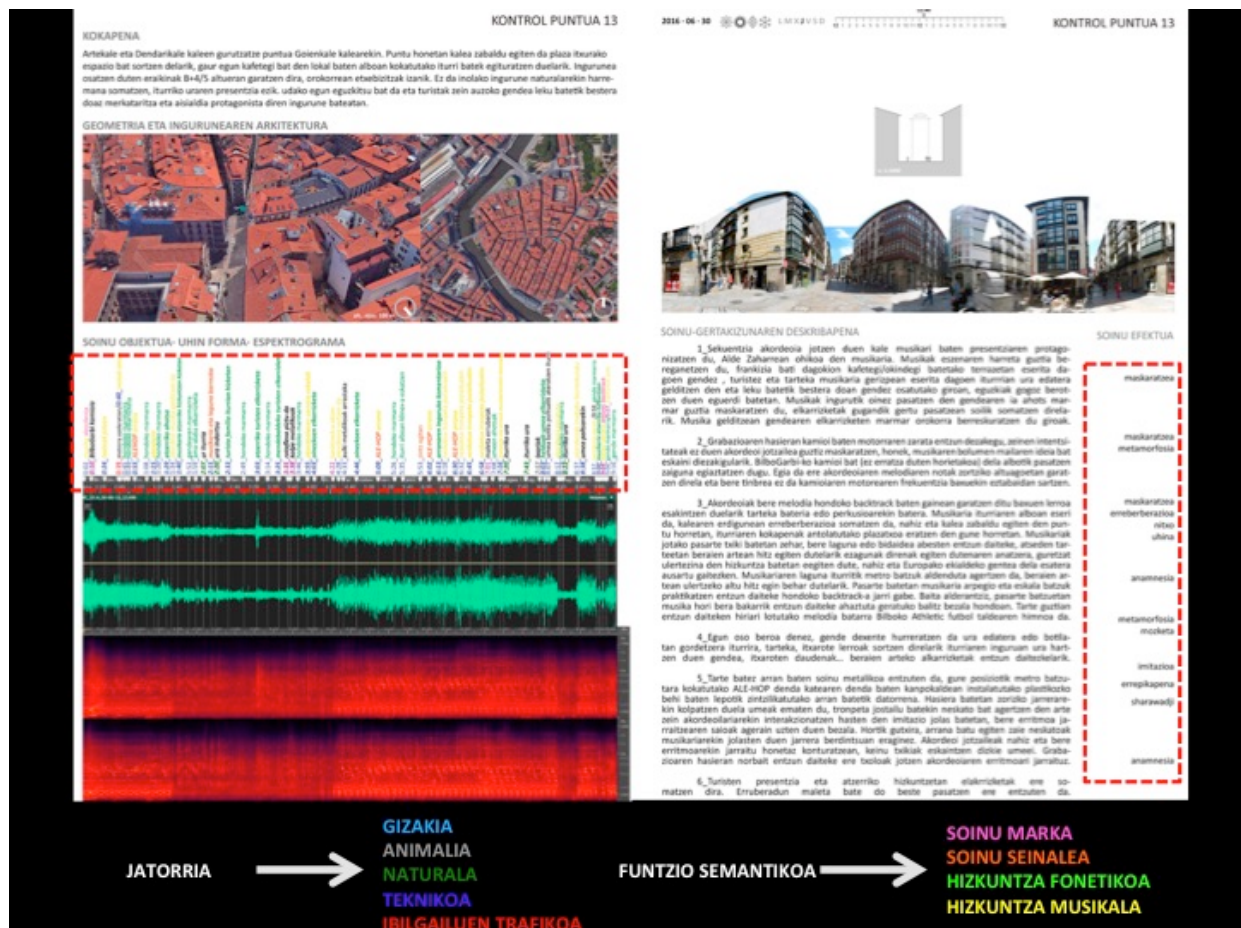
Behin informazio hau aztertuta, aukeratutako soinu-atalen arteko batzuk testatzen dira ikertutako eremuko (Alde Zaharra) bizilagun eta erabiltzaileen artean, alde aurretik egindako analisiaren gidalerroen adierazgarri diren bilduma bat osatzen dutenak. *Berraktibatutako entzutearen* (J. F. Augoyard, 2001; 127) bitartez, eremuko bizilagunei beraien inguruneke soinu-gertaera aurkezten zaie taldean egindako elkarriketa gidatu bat bideratuz, eremuko erabiltzaile eta bizilagunak inguratzen dituen egunerokotasuneko soinu-gertaera nola hautematen duten jasotzea bilatzen delarik, erabiltzaileak bizi duen soinu paisaiara egindako pertzepziozko hurbilketa hori nola eraikitzen den ulertzeko helburuarekin.



4. Metodologia

Erabilitako analisi-proposamena bi metodologiaren bidegurutzean sostengatzen da batez ere. Batetik soinu-ingurunearen hautematea dago puntuetako eta deskribatutako ibilbideen (Thibaud, 2001) analisiaren bitartez, eta bestetik, analizatutakoa egiaztatzea eremuko erabiltzaile eta biztanleak nahasiz *Berrakibatutako entzutearen* metodoaren bidez taldeko elkarrizketetako errealizazioaren bitartez (JAugoyard, J.F. 2001). Gainera, *Deskribatutako-entzutean* analisi prozesuan (finkatutako Kontrol Puntuaren zein egindako Ibilbideen bitartez) jasotako soinu-tipoen oinarritzko sailkapena egiten da.

Pierre Schaefer-ek sortutako soinu-objektuaren kontzeptua aplikatuko da, "giza hautematearen objektu akustiko" bezala definitzen duena [P. Sachaeffer, 1966]. Bere garaikidea den Murray Schafer-entzat "soinu-paisaiako partikula autonomo txikiena" [M. Schafer, 2013;185] ere izango da. Sailkapenaren bidez antzekotasunez, kontrastez eta puntu edo ibilbide bakoitzeko modelo jakinez ohartuko gara. Interpretazio hau soinu-gertaera edo soinu-eszena bakoitzean gertatutako soinuektuaren identifikazioarekin osatuko da. Hamasei efektu nagusien sailkapena ezagututa gidatuko gara J. F. Augoyard-ek eta H. Torgue-k "Sonic Experience. A guide to everyday sounds" (Augoyard, JF / Torgue, H, 2006) liburuan analizatutakoak, hiri-espazioa (eta arkitektoniko), soziologia, eguneroko kultura, akustika eta estetika musikala erlazioz atzartutako espazioan soinu-gertaeraren zeharkako eta diziplina anitzeko ideia bat lortzeko.



5. Ikerketaren muina eta ondorioak

Mota honetako erremintak, non herritarrari gai baten inguruan zuzenean galdetzen zaion, joera dutenak gero eta ohikoagoak izateko hiri-planeatzean, bereziki erabilgarriak dira biztanlearen zuzeneko parte-hartzea aldagai garrantzitsua izanik, ingurunea eraldatzeko gaitasuna dutenean eta, beraz, ingurune hori, harreman hori, enpatia hori berreraikitze gaitasuna dutenean. Erabilgarriak dira gero eta protagonismo gehiago hartzen duten auzoen parte-hartze prozesuetan, nahiz eta alde batetik, ebazpen tekniko baten beharrianetara mugatzen diren Legeen eskakizunengatik kasu gehienetan, subjektibotasunaren kutxatilara desplazatuak direnak, ustezkora, umezurtz dagoen gaia balitz bezala, jakintza arlo batek ere ez heldu ezingo balio bezala.

Kale musikariek sortutako eragozpen arazoen kasuak, adibidez, lehen aipatzen genuen ildotik esku-hartzearen beharra agerian uzten du. Presio akustikoaren mailaren gainditzera mugatu ezin den arazoaz ari gara hemen, luzatutako denbora batean zehar entzundako musika beraren errepikapen faktorea bihurtzen da Alde Zaharreko biztanleen buruhauste handiena, aipaturiko artistek kokatzea ohiko duten tokietan bereziki. Gainera, entzulea atsekabetzen duen musika modu jarraian jasatearen gertaera dago.

Kale musikaria, zeinen kalean jotzeko eskubidea udal-ordenantzetan jasotzen den, eta konponbide bat eskatzen duen bizilagunaren arteko bizikidetasuna, ezin da ebatzi neurketa teknikoetan soilik oinarritutako soinu-mapa baten eraikuntzarekin, musikari eta bizilagunaren artean harreman sozial bat ematen delako non estetika musikala epaitua den. Bestalde, hiritarra bere etxebizitzaren barneko soinu-giroan preso uzten duen konponbide teknologikoa proposatzeak, hiri girotik guztiz isolatuta honekin elkarreragina dena edo ezer absolutu batetara mugatzen delarik, bizilagunak auzoko bizitzarekin harremana izateko gaitasuna murriztu egiten du.



Egoera honetako antolamenduari ekiten saiatzeak eztabaidara dakar baita ere elkarriketatutakoetako batzuen apeua, hiriko kaleetan musikaren presentziaren eskasia Europako beste hiri batzuekin konparatuz alegia. Baita ekin geniezaioke kale-musikaren kontuari *muzak*-ak garatutako kontzeptuen ildotik, Alde Zaharraren erabilera emankorra nabarmenki komertziala den heinean. (Crawford, M. 1992) Merkataritzarena eta kale musikariarena elkar-elikatzen diren bi jarduera dira, batak besteari deitzen dio. Beraz, musika-estilo jakina inposatzetik abiatu gabe, bai musikariek bai merkatariek eta biztanleek, bere lehentasunak adieraztea hauek aldagai bihurtu ondoren antolamendu posible bateko gidalerroak marraztu ditzaten, egungo egoera bizikidetzaren egoera harmonikoago batetara eraman dezake enpatiaren bitartez. Posiblea izango litzateke kale musikarien presentzia eta distribuzioa tokiko biztanleen gustu musikalen eta komertzioen lerrokatzearen arabera antolatzea? Alde biek adostutako mapa bat finkatu daiteke?

6. Etorkizunera planteatutako norabidea

Mota honetako ikerketa lanek, berez, ez dute gatazkaren soluziorik planteatzen, baina edozein esku-hartze gauzatzeko aurre-pausoetan kokatzen dira, soinu-inguruneari ekiteko orduan zeri aurre egin behar diogun identifikatzeko balio dezakete. Soinu-errealitatea ez bada ikuspuntu *holistikotik* ulertzen, non erabiltzailearen hautematea aldagaia den, ezin izango dugu soinu-gertaerarekin erlazionatutako arazoaren fokuari heltzen dion esku-hartze egokia bideratu, izan ere, ezingo dugu ezta jakin arazoa bera existitzen den ere.

Azkenik, etorkizunean aztertu daitezken zenbait ikerketa lerro daudela aipatu dezakegu. Esaterako, “*botellón*” fenomenoak duen eragina sortzen duen zarata molestiarekiko. Honen inguruan gazteen kontzientziazioa bideratzeko semaforo akustikoak erabiltzeak, semaforo horien erabilera bera zalantzan jarriko luke kontrolerako gailu bilakatzen diren heinean zeren, modu xehe batetan azaltzen direla ematen badu ere, hiritarra eta administrazioaren arteko botere harreman bat eraikitzen du. Puntu honetan egungo aisialdiaren eredia bera ere eztabaidara ekarri genezake.

Berrogeialdi akustikoko guneak proposatzea erreminta bat izan liteke, hiriko gune kaltetuenek jasandako zaraten molestiari dagokionez, oreka bat izatea bermatzera bidean. Bestalde, kultura eta aisiako ekintzen distribuzioa, gehienetan hiri erdigunean garatzen direnak, hiriko beste auzoetara hedatzeak eskaintza kulturala deszentralizatzea baimendu lezake, “lehen mailako” eta “bigarren mailako” auzoak izatearen ideia disolbatuz, hiritarrek jasandako zaraten kalteak orekatzen diren heinean.

7. Erreferentziak/bibliografia

- Augoyard, J. F. *La Sonorización Antropológica Del Lugar*. In *13th Congress of antropological and ethonological sciences*. Mexico City, 1993.
- Augoyard, J. F. *L'entretien sur écoute réactivée*. In *L'espace urbain en méthodes*. Edition Parenthesis, 2001, 127.
- Augoyard, J. F. *Sonic Experience: A Guide to Everyday Sounds*. Montreal: McGillQueen's University press, 2006.
- Augoyard, J. F. *Step by Step : Everyday Walks in a French Urban Housing Project*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2007.
- Crawford, Margaret. *The World in a Shopping Mall*, 1992.
- Dewey, J. *Context and thought*. University of California Publications in Philosophy. Berkeley: University of California Press, 1931.
- Dewey, J. *Experience and education*. The Kappa Delta Pi Lectures Series. New York: Collier etc., 1938
- LaBelle, Brandon. *Acoustic Territories : Sound Culture and Everyday Life*. New York: Continuum, 2010.
- Schaeffer, Pierre. *Traité Des Objets Musicaux, Essai Interdisciplines* Pierres Vives. Paris,: âEditions du Seuil, 1966.
- Schafer, R. Murray *El Paisaje Sonoro Y La Afinación Del Mundo*. Barcelona: Intermedio, 2013.
- Thibaud, J. P. *Les Parcours Commentés*. In *L'Espace Urbain En Méthodes*, edited by Editions Parenthèses, 79-99. Marseille, 2001.
- Thibaud, J. P. *Regards En Action. Ethnométhodologie Des Espaces Publics*. Grenoble: A la Croisée, 2002.
- Thibaud, J. P. *The Sonic Composition of the City*. In *The Auditory Culture Reader*, edited by Berg publishers, 329-341, 2005.
- Thibaud, J. P. *The Sensory Facbric of Urban Ambiances*. In *The senses & society* 6, no.2 (2011): 203-215.
- Thibaud, J. P. *The Three Dynamics of Urban Ambiances*. In *Sites of Sound: Of Architecture and the Ear Vol. 2*, edited by Errant Bodies Press, 43-53. Berlin, 2011.
- Thibaud, J. P. *Commented City Walks*. In *Wi:Journal of Mobile Culture* 07, no. 01 (2013).

Artikulu hau Donostiako Arkitektura Goi Eskola Teknikoan 2017ko irailean defendatutako Doktoretza Tesian (*Pertzepziozko hurbilketa bat soinu-ingurune urbanora. Aldaera metodologikoa Bilboko Alde Zaharrean*) oinarrituta dago.