



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

V. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2023ko maiatzaren 17, 18 eta 19a
Donostia, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 3.0

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Kontrol banandu aurreratuan
oinarritutako HAIRL
emisometroaren automatizazioa**

*Jon Gabirondo López,
Mireia Sainz Menchón,
Iñigo Arredondo Lopez de Guereñu,
Josu M. Igartua Aldamiz,
Telmo Echániz Ariceta
eta Gabriel Alejandro López*

175-182 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.v.03.23>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Kontrol banandu aurreratuan oinarritutako HAIRL emisometroaren automatizazioa

Jon Gabirondo-López¹, Mireia Sainz-Menchón¹, Iñigo Arredondo², Josu M. Igartua¹,
Telmo Echániz³, Gabriel A. López¹

¹ Fisika Saila. UPV/EHU. Sarriena auzoa z/g, E-48940 Leioa

² Elektrizitatea eta Elektronika Saila. UPV/EHU. Sarriena auzoa z/g, E-48940 Leioa

³ Matematika Aplikatua Saila. UPV/EHU. Ingeniero Torres Quevedo enparantza 1, E-48013 Bilbo

jon.gabirondol@ehu.eus

Laburpena

Sistemen mantenua eta hobekuntza erronka da bai industria, baita zientzia arloetan ere. Gaur egungo teknologiaren garapenak ahalbidetzen du sistemak diseinatzea kontuan izateko bi faktore horiek, hots, sistema modularrago, independenteago eta bananduago egituratzen. ITER laborategia da egungo kontrol-paradigmen erreferenteetako bat, zeinak haren filosofiari buruzko lan ugari argitaratu dituen. Horiek jarraituz Euskal Herriko Unibertsitateko emisometria infragorriko laborategiaren eguneraketa egin da. Laborategi horren muina den HAIRL emisometroaren egoera eta funtzionamendua aztertu ostean, gailuaren hardwarearen eta softwarearen berrikuntza burutu da. Eguneraketaren bidez instrumentu modularra lortu da, datuen eskuragarritasuna bermatzen duena eta urrunetik arriskurik gabe kontrola daitekeena.

Hitz gakoak: Kontrol banandu aurreratua, automatizazioa, datu-jasoketa.

Abstract

System maintenance and improvement are a challenge in both industry and science. The development of current technology enables systems to be designed to consider these two aspects, namely, a more modular, autonomous and separate system structure. ITER Laboratory, which has published numerous works on its philosophy, is one of the references for the modern control paradigms. Those works have served as a reference to an update of the infrared emissometry laboratory of the University of the Basque Country. After analysing the condition and operation of the HAIRL emissometer, which is the core of this laboratory, the hardware and software of the device has been renovated. A modular instrument that ensures data availability and can be securely used from a distance has been acquired through upgrading.

Keywords: Advanced distributed control, automatization, data collection.

1 Sarrera eta motibazioa

Digitalizazioak paradigma-aldaketa bat sortu du industrian zein zientzian. Sentsore eta eragingailu digitalek lehenetik zeuden analogikoak ordezkatu dituzte, eskuz egiten ziren prozesu askoren automatizazioari eta behaketa-aurreratuari ateak irekiz. Hala ere, gailu berri horien ezarpena eta haien arteko integrazioa ez da behar bezain azkarra izan kasu askotan: fabriken eta laborategien prozesuak gelditzea kostu handiko eginkizuna da zentzu anitzetan. Normala da, beraz, komunikazio-protokolo eta estandar ezberdinak erabiltzen dituen tresneria aurkitzea instalazio berean, baita haiek kontrolatu edota behatzeko programa anitzekin lan egin behar izatea.

Euskal Herriko Unibertsitateko emisometria infragorriko laborategia, mundu-mailan erreferentea dena, aipatutako teknologien integrazioa eta lan-teknikak barneratu ditu optimoak ez diren jarduerak ekiditeko. Laborategi horren funtsezko gailua HAIRL (*High Accuracy Infrared Radiometer, Leioa*) emisometroa da, mende honetako lehenengo hamarkadan Zientzia eta Teknologia Fakultatean diseinatu eta eraiki zena (del Campo et al., 2006). Tresna horren bitartez emisibitate-neurketak burutzen dira, hau da, gainazal batek erradiazio elektromagnetikoa igortzeko duen gaitasuna kuantifikatzen du. Ezaugarri termofisikoa, direkzionala eta espektrala izanik, tenperatu-

rarekin, behatze-angeluarekin eta baita uhin-luzerarekin ere aldatzen da. Laginak berotzeko, biratzeko eta haiek igorritako erradiazioa uhin-luzeraren menpe kuantifikatzeko gai izan behar du horrelako neurketak burutzeko instrumentu batek, beraz.

Emisibitatea neurtzeak berebiziko garrantzia dauka industrian: temperatura altuetan edota hutsean gertatutako bero-transferentziak ezaugarritzeko ezinbestekoa da elkarrekintza horretan parte hartzen duten gainazalen emisibitateak jakitea, kasu horietan erradiazio infragorria baita beroa trukatzeko mekanismo nagusia. Urruneko temperatura-neurketak egiteko ere ezinbestekoa da neurtu nahi den horren emisibitatea jakitea. Esate baterako, pandemian zehar hain erabiliak izan ziren pirometro infragorriek gure azalaren emisibitatea jasotzen zuten parametro bezala eta, hori gabe, egindako neurketak guztiz okerrak izango lirake. Interes zientifiko eta industrial handiko ezaugarria ere bada, eguzki-plakak edota eguzki-kolektoreetan erabiltzen diren materialen ezaugarri nagusietako bat baita (Fuente et al., 2020; Dan et al., 2023).

2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

ITER CODAC (COnTrol, Data Access and Communication) sistema hartu da ereduztat aipaturiko hobekuntza burutzerako orduan (Lister et al., 2007). Fusio nuklearraren bitartez energia lortzea bilatzen duen nazioarteko esperimentua da ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*, ingelesez). Munduan zehar banatutako 50 erakunde baino gehiagoren lan-filosofia definitzen du CODAC sistemak eta bere helburu nagusia ITERa osatuko duten planta guztien funtzionamendua kontrolpean izatea da.

Instrumentazioari edota hardwareari dagokionez, hutsegiteei aurre egiteko gai diren egitura erredundanteak eraiki dituzte. Esate baterako, berogailu baten kontrola burutzeko kontrolagailu bakarra izan beharrean bi edo hiru kontrolagailu erabiltzen dituzte. Horrela, batek huts eginez gero, besteek burutu dezakete haren lana. Gailusare hori *interlock* sistema batez babesten dute (Luchetta et al., 2019). Sistemaren hutsegiteak detektatu eta haiei aurre egitea da horren helburua, sistema beti esperimentuarentzat eta langileentzat segurua den egoeran dagoela ziurtatuz. Estandarizazioaren aldetik ere lan handia egin dute: gailu eta ordenagailu guztiak sareko kableen bidez lotzen dira eta alde aurretik finkatutako protokoloak erabiltzen dituzte komunikatzeko, mantentze- eta eguneratze-lanak erraztuz.

Erabiltzen den softwareari ere berebiziko garrantzia ematen dio CODACek (Lister et al., 2008). Alde batetik, programazio-ingurune bakarraren bidez egiten dira komunikazio guztiak Dalesio et al. (1991). Bestetik, kode irekiko programetan oinarritzen da, kodea erakunde eta laborategien esku ipiniz eta bertako ikertzaile eta kideei parte-hartzeko aukera emanez.

Azken urteotan, batez ere Europa mailan, kode irekiko filosofiari oso lotuta dagoen mugimendua garatu da: *Open Data* edo datu-irekiak. Interes publikodun datuak erabiltzaile guztiei irekitzearen aldeko mugimendua da hori, nahi duenak horiek kontsultatu, partekatu, editatu eta haiekin lan egiteko aukera izan dezan. Esate baterako, Bizkaiko aldundiak 139 erakunde publikoek jasotako datuak www.opendatabizkaia.eus webgunean ipini ditu eskuragarri. Korrante horrek ere eragina izan du komunitate-zientifikoan eta geroz eta erakunde eta talde gehiagok partekatzen dituzte haien lanak modu irekian: ez bakarrik ikerkuntzen emaitzak, baizik eta baita datu gordinak eta haiek tratatzeko programak ere.

Hori guztia kontuan izanda, ikerkuntza-lan honen helburu nagusia izango da erreferentziazko laborategi eta erakundeetan egun gauzatzen ari diren aldagetak eskala txikiagoko ingurune zientifiko batean nola aplikatu aztertzea. Horretarako, HAIRL emisometroaren eguneraketaren zati bat azaltzen da. Hobekuntza hori maila guztietakoa izango da, filosofia berriez jabetzeko beharrezkoa baita gailu berriak instalatu eta softwarea eraikitzea. Gainera, garrantzia handia emango zaio gailuen arteko integrazioari, amaierako instrumentua erraz moldatzeko eta eguneratzeko modukoa izateko.

Haiek dira eguneraketa horren ondorioz lortutako onurak eta ondorioak:

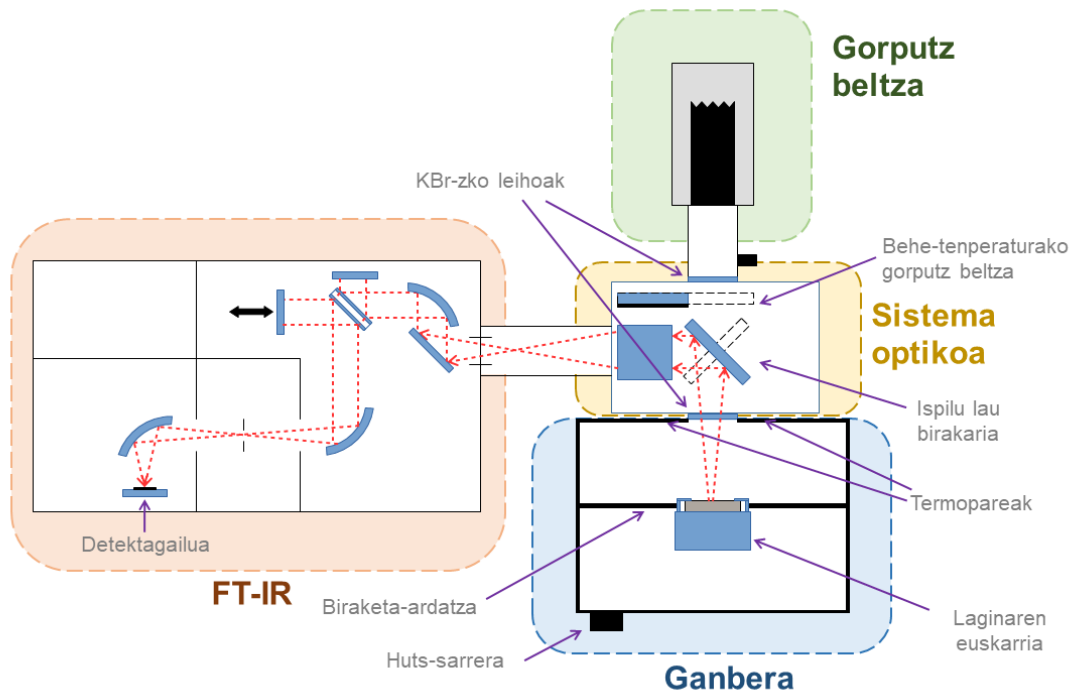
- Instrumentua osatzen duten gailuak erraz ordezkatzeko aukera izatea, bai hardwarearen ikuspuntutik baita softwarearen aldetik ere.
- Neurketei eta sistemaren egoerari dagozkien datuak uneoro eskuragarri izatea, bai esperimentuan lan egiten ari diren ikertzaileentzat baita gainbegiraleentzat ere.
- Modu seguru batean instrumentu osoa urrunetik behatu eta kontrolatzeko aukera izatea.

3 Ikerketaren muina

3.1 Emisometroa eta hasierako egoera

Egiturari dagokionez, emisometroa lau atal nagusietan bana daiteke: neurketak burutzen dituen Fourierren transformatuaren espektrometroa (FT-IR), erreferentziatzen erabiltzen den gorputz beltza, laginak neurtzea ahalbidetzen duen ganbera eta gorputz beltzaren ala laginaren erradiazioa FT-IRra bideratzen duen sistema optikoa. Atal horiek guztiak 1. Irudian ikus daitezkeen bezala kokatzen dira.

1. Irudia: HAIRL emisometroaren goitikako bista.

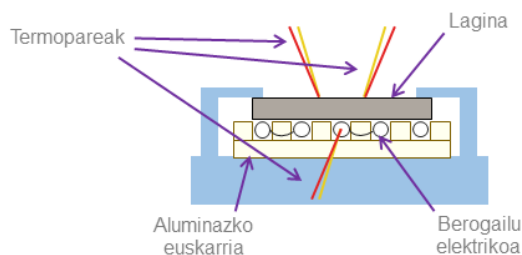


Sistema osatzen duten sentzore eta eragingailu-sistema ulertzeko lagungarria da neurketa-prozesuaren ohiko urratsak alde aurretik jakitea. Hasteko, laginaren gainazalean bi termopare soldatzen ditugu, neurtze-puntuaren alde banatan. Jarraian lagina berogailura atxikitzen dugu 2. Irudian ikusten den moduan eta berogailua ganbera barruko biraketa-ardatzari lotzen zaio. Orduan, ganbera itxi eta hutsa egiten dugu bertan punpa birakari eta turbomolekular bana erabiliz (nahi izanez gero airean edota bestelako gasen bat ganberan sartuz egin daitezke neurketak). Ganbera barruko presioa esperotakoa denean, lagina berotzen dugu.

Laginaren tenperatura aldatzeko erresistentzia elektriko bat erabiltzen da, haren azpian kokatzen dena. Berogailuaren kontrola PID komertzial batez egiten dugu, kontrol-begizta erresistentziaren alboan kokatutako sunda baten bidez itxiz. Berogailuaren bidez 1000 °C-tik gorako gainazal-tenperatura iritsi gaitzke, laginaren berezitasunek (dimentsioak, masak eta eroankortasun termikoak, adibidez) hala baimentzen badute.

Gainazaleko tenperatura nahi den puntuan egonkoritu ostean, lagina biratu eta FT-IRaren bitartez neurketa egiten da, gainazaleko eta ganberako tenperaturak jasotzen diren bitartean. Detektagailura iritsitako erradiazioa kuantifikatzen du FT-IRak eta kasu honetan erabilitako sentzoreak 1,43 μm eta 25 μm bitarteko uhin-luzera tartean neurtzeko ahalmena du. Datu horietatik emisibitatea kalkulatzeko ezinbestekoa da sistema optiko guztiaren erantzuna kalkulatzeko eta, horretarako, goi eta behe tenperaturako erreferentzien, gorputz beltzen, neurketak egiten dira. Laginari dagozkion neurketa guztiak egin ostean eta kalibrazio-neurketez baliatuz, emisibitatea kalkulatu da emisometroaren neurtze-prozesuari buruzko (de Arrieta et al., 2020) artikuluan azalduetako metodoa erabiliz. Lagin ez-metalikoen kasuan antzeko prozedura erabiltzen da, baina kasu horretan gainazaleko tenperatura aurreko erreferentzian azalduetako beste metodo baten bidez estimatzen da.

2. Irudia: Laginaren euskarriaren eskema.



Sistemaren behaketari eta kontrolari dagokionez, sei dira neurketa-prozesua aurrera eramatea ahalbidetzen duten sentso-re-multzo eta eragingailuak: laginaren berogailuaren kontrolagailua eta orientazioa aldatzeko motorra, laginaren gainazaleko eta ganberako tenperaturak neurtzeko termopareen irakurketa-txartela, ganberaren huts-maila neurtzeko presio-sentsoreak, erreferentziatzko gorputz beltza eta neurketak egiten dituen FT-IRa.

Hasiera batean, gailu bakoitzaren egoera oso ezberdina zen funtzionamenduari eta komunikazioari dagokionez. FT-IRak haren saltzaileak fabrikatutako txartel bat behar du lan egiteko eta txartel hori ISA izeneko busa duen ordengailuetan bakarrik konekta daiteke. Aipaturiko busa 80ko hamarkadan garatu eta estandarizatu zen eta 90eko hamarkadan berriagoa zen PCI-engatik ordezkatu zen. Instrumentua kontrolatzeko ordenagailuak zaharra izan behar zuen beraz eta horrek instrumentuaren gaitasunak mugatu eta mantentze-lanak zailtzen zituen.

Berogailua eta gorputz beltza serie bidez konektatzen ziren kontrol-ordenagailuarekin, bakoitza bere protokoloaren bitartez. Termopareen txartela USB bidez komunikatzen zen. Honakoa zen huts-sentsoreen eta motorren egoera: batetik, huts-sentsoreak guztiz analogikoak ziren; bestetik, nahiz eta fisikoki instalatuta egon, motorra ezin zen ordenagailutik kontrolatu eta, ondorioz, laginaren biraketa eskuz egiten zen. Horren ondorioz, ezinezkoa zen ganberako presioa behar bezala behatzea eta neurtze-baldintzei buruzko informazioa ez zen guztiz osoa (presioan aldaketarik egonez gero hortaz ohartu eta eskuz apuntatu behar zen). Gainera, ikertzaileak etengabe hartu behar zuen parte neurtze-prozesuan, eskuz lagina biratu eta FT-IRari neurtzeko aginduz.

Softwareari dagokionez, *Visual Basic 6* lengoia idatzitako programa monolitiko bakarrak kontrolatu eta behatzen zuen instrumentu osoa. Programa bera arduratzen zen gailuei aginduak emateaz eta beharrezko datuak bilteaz. Gailuren bat ordezkatzuz gero, programa aldatu eta birkonpilatu behar zen. Gainera, datuen tratamendua kalkulu-orrien bidez egiten zen. Kontrol-programak berak kalkulu-orrietan idazten zituen beharrezko datuak eta gelaxken arteko eragiketak eginez laginaren emisibitatea kalkulatu eta irudikatzen zen. Nahiz eta soluzio funtzionala izan, sar zitezkeen datuen kopurua oso mugatua zen (lagin baten zortzi neurketa baino ezin ziren tratatu fitxategi bakar batekin), datuak esportatzeko aukera gutxi ematen zituen eta irudikatze-baliabideak ere oso murrizak ziren.

3.2 Hardwarearen eguneraketa

Lan honetan egindako eguneraketa ITER CODACen irizpideei ahal bezainbeste jarraituz egin da. Hasteko, gailuen arteko komunikazioak orokortu dira. Kasu honetan, ahal diren gailu guztiak Ethernet kableen bidez (ordenagailuak sarera lotzeko erabiltzen direnak) konektatzea erabaki da. Oso kable arruntak dira, merkeak eta moldagarriak (abiadura ezberdinetakoak lor daitezke eta apantailatutako kableak ere eskuragarri daude interferentziak ekidin nahi diren kasuetarako). Gainera, eraikitze- eta mantentze-lanak errazten ditu horrek.

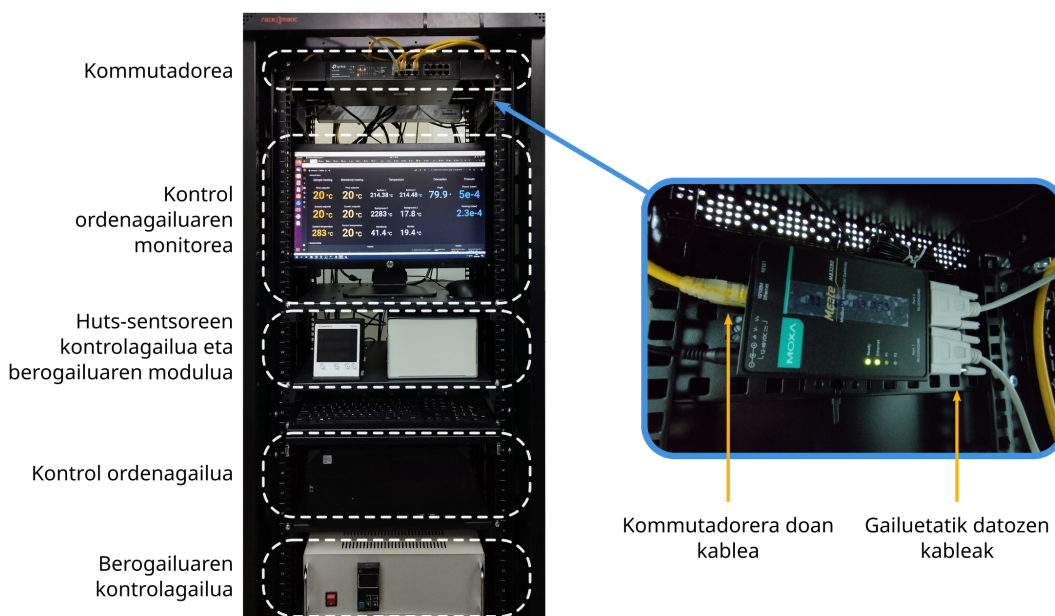
Komunikazio-protokolozat TCP/IP hautatu da, oso hedatua dagoelako eta luzaroan mantenua izango duelako (gaur egungo sareko konexio gehienak, Interneta barne, protokolo horretan oinarritzen dira). Horrela, tresna bakoitzak IP helbide bana jasotzen du eta kontrol-ordenagailuak helbide horiek erabiliko ditu haiekin komunikatzeko. Gainera, posible da kontrol-ordenagailu berri bat ipintzea: ordenagailu zaharra FT-IRa bakarrik kontrolatzeko erabiliko da eta sarearen bitartez komunikatuko da kontrol-ordenagailu berriarekin. Ordenagailu berriak ez du inolako txartel berezirik izango, nahikoa izango baita haren txartel nagusiak dakarren Ethernet ataka erabiltzea gainerako gailu guztiarekin komunikatzeko.

Bi ordenagailuak eta beste gailuak elkarrekin lotzeko konmutadore (*switch*, ingelesez) bat erabili da. Malgutasun handia ematen du planteamendu horrek: gailu berri bat instalatzeko nahikoa izango da egokigailu bat lortzea (behar izanez gero), konektatzea eta dagokion kodea idaztea. Motorra, berogailua eta gorputz beltza, serie bidezko

komunikazioak dituztenak, kable-bihurgailu batzuen bitartez konektatu dira bertara. Huts-sentsore berriak erosi dira, ordenagailutik behatzeko aukera ematen dutenak. Nahiz eta berriak izan horiek ere serie bidezko komunikazioa zutenez, egokigailu batekin konektatu da haien kontroladorea kommutadorera. Serie protokoloek RS232/422/485 kableen luzera mugatua dute, adibidez, ez da komenigarria RS232 serieko komunikazioa egiteko 15m baino luzeago izatea. Muga hori egokigailuen bidez ekiditen da egitura moldagarriagoa ahalbidetuz. Termopareen txartela Ethernet bidez TCP/IP protokoloa erabiliz irakur daitekeen beste gailua bategatik ordezkatu da.

Lehendik aipatutako gailu guztiak zein kontrol-ordenagailu berria armairu bakarrean batu dira, 3. Irudiko ez-kerraldeko argazkian ikusten denez. Armairuaren goialdean kommutadorea dago eta bertara lotuta ikusten dira gainerako makinetatik datozen Ethernet kableak. Kontrol-ordenagailua eta FT-IRa kontrolatzeko ordenagailua ere bertara konektatzen dira eta, horrela, kontrol-ordenagailuak ataka bakar bat erabilita kontrola eta beha ditzake gailu guztiak. Horren ondorioz kontrol-ordenagailua nahi den tokian koka daiteke edota beste ordenagailu batetik datu-jasoketa eta kontrola egin daitezke. Horren azpian ordenagailuaren monitorea dago eta bertan ikertzaileek sistema behatzeko erabili ohi duten interfazeetako bat ageri da. Jarraian huts-sentsoreen kontroladorea eta berogailuaren modulu etako bat dago. Hurrengo apalean kontrol-ordenagailu berria aurkitzen da, berogailuaren kontrolagailuaren gainean kokatuta dagoena. Irudiko eskuinaldeko argazkian egokitzaileen detaileak ikus daitezke, serieko konektioak Etherneteko TCP/IP protokolora bihurtzen dituztenak. Egokitzaileek bina serie sarrera dituzte eta bana Ethernet irteera, kommutadorera lotzen direnak.

3. Irudia: Gailu guztiak biltzen dituen armairua.



Gailuen arteko komunikazioan lortutako abstrakzioak hainbat aukera zabaltzen ditu. Eguneraketaren ostean posiblea izango litzateke kontrolagailu edota sentsore erredundanteak ipintzea. Instrumentua bera ez denez oso konplexua eta eskura ditugun baliabideak mugatuak direnez, kasu honetan ez da gailurik bikoiztu oraingoz. Aldiz, interlock bat instalatu da berogailuaren hutsegiteak kontrolatzeko. Horren bitartez, kontrol-termopareetan edota berogailuaren erresistentzian arazorik egonez gero eta haren tenperatura etengabe handituz gero interlock-ak haren elikadura etengo du erresistentziaren tenperaturak muga bat pasatzen duenean. Horrela instrumentua egoera seguru batera itzuliko da bera bakarrik, gizakiongan edota laginengan eragin ditzakeen kalteak minimizatuz. Are gehiago, tresneria guztia elektrikoki lurrera lotuta daudela ziurtatu gara, erabiltzaileentzat kaltegarriak izan daitezkeen deriba elektrikoak ekidinez.

Tresnerian egindako eguneraketak hasieran planteatutako hainbat helburu betetzen ditu. Izan ere, HAIRLa osatzen duten gailuen ordezkapena errazten dute finkatutako komunikazio-moduak eta egindako aldaketek, eta behar

bezalako softwarea garatuz gero, instrumentuaren urrutiko-kontrola eta behaketa ahalbidetu eta datuen eskuragarritasuna bermatuko dute. Erabiltzaileentzat eta instrumentuarentzat kaltegarriak izan daitezkeen egoerak ekidingo dira hartutako segurtasun neurrien ondorioz.

3.3 Softwarearen eguneraketa

Softwarean egindako aldaketek hiru helburu nagusi izan dituzte. Hasteko, enpresa pribatuena ez den kode irekiko programazio-lengoaia baten bidez softwarea estandarizatzea, kode guztia lengoaia berean idatziz. Jarraian, instalatutako gailu berriekin komunikatzeko kodea berreraikitzea, betiere ITER CODACek finkatutako filosofiari jarraituz. Azkenik, datuen eskuragarritasuna bermatzea, bai neurketak burutzen diren bitartean baita amaierako datuekin lan egiterako orduan ere.

Lehen helburua betetzeko Python3 programazio-lengoaian berridatzi da softwarea (Van Rossum eta Drake, 2009). Lengoaia bakarria erabiltzeak kodearen garapena eta mantentze-lanak azkartu eta errazten ditu. Python erabiltzeak onura gehigarriak ditu gainera: batetik, Visual Basic 6 eta kalkulu-orrien makroekin alderatuta, lengoaia irekia da eta edozein makinatan erabil daiteke; bestetik, gaur egun oso zabaldua den lengoaia da, azken urteotan gehien hazi denetakoa eta, ondorioz, erabilera oso anitzetarako erabil daiteke komunitateak garatutako liburutegi ugarien bidez (Nagpal eta Gabrani, 2019). Python-en bidez hardwarearekin komunika gaitzake, haren datuak datu-base batean bildu eta kontsultatu eta haiekin kalkuluak eta irudiak presta ditzakegu. Programazio-lengoaia interpretata denez, denbora mugak izan ditzake aplikazio azkarretan. Hala ere, gure kasuan, kontrolatu beharreko sistemaren dinamika mantsoa denez (minutuak behar dira laginak berotzeko eta FT-IRaren neurketek 50 segundu inguru irauten dituzte), programazio-lengoaiaaren abiadura ez da garrantzitsua. Beste aldetik, gure sistemarako oso aproposa da Python erabiltzea, neurketa baten lan-fluxu osoa programatzeko aukera eskaintzen baitu. Azkenik, aipatu behar da kalkulu-orriekin lan egiteko liburutegiak ere existitzen direla eta, beraz, aurretik erabilitako datuen tratamendurako programetikiko bateragarritasuna mantentzeko daitekeela.

Komunikazioari dagokionez, argi dago hardwarean egindako errotikako aldaketak gailuekin komunikatzeko softwarearen berrikuntza behar izan duela. Bi dira sortutako programa nagusiak: instrumentu osoaren egoera aldatzea ahalbidetzen duen kontrol-programa eta egoera hori jasotzeko erregistradorea. Tresna ezberdinei aginduak bidaltzea da lehenaren eginkizun bakarria. Adibidez, "lagina 100 °C-tara berotu" edota "lagina 10° biratu" moduko aginduak exekutatzeko. Bigarrenak aldiz, sentsoreek jasotako datuak biltzen ditu zehaztutako periodo batean. Laginaren gainazaleko tenperatura segunduro neurtzen da, esate baterako. Irakurritako datu horiek denbora-serieak jasotzeko erabiltzen den datu-base batean idazten ditu erregistradoreak. Datu-basea *InfluxDB* izeneko plataforman egin da, industria eta zientzia munduan oso erabilia dena eta Python-en bidez irakurri eta idatz daitekeena (Naqvi et al., 2017).

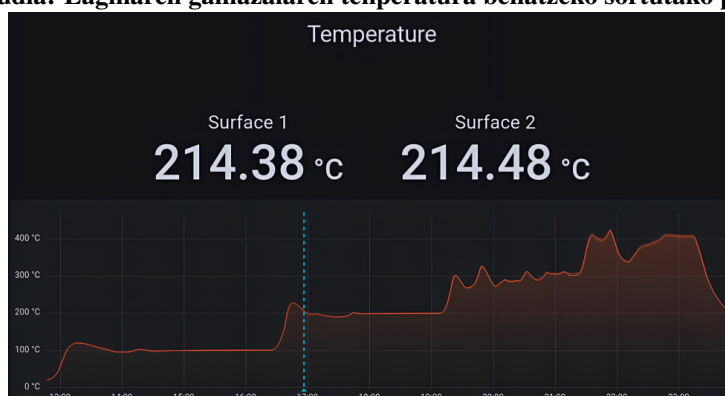
Argi dago bi programa horiek eta tresneriak elkarri eragin behar diotela. Integrazio hori modu modular eta abstraktu batean planteatu da, makinak eguneratzerako orduan kodea bera traba bat izan ez dadin: gailu bakoitzarentzat interfazetat balioko duten funtzioak sortu dira eta programa nagusiek funtzio horiek erabiltzen dituzte. Adibidez, REST API bat eraiki da FT-IRa kontrolatzen duen ordenagailuarekin sarearen bidez komunikatzeko eta instrumentu horri aginduak bidaltzeko. Lortutako abstrakzioaren ondorioz, nahikoa da interfaze-funtzio horiek eguneratzea beste programetan ezer egin gabe.

Datuen eskuragarritasuna hobetzerako orduan, garatutako kontrol-programa sarean erabiltzeko modukoa egi-tea izan da. Horrela, esperimendua urrutetik kontrola daiteke, laborategian egon gabe. Instrumentuaren egoeraren berri emateko *Grafana* plataforman garatutako aplikazio bat sortu da, web nabigatzaileen bidez kontsulta daitekeena. Datu-basean jasotako datuak nahi den erara irudikatzeak aukera ematen du Grafanak, konfiguragarriak diren paneletan nahi den informazioa erakutsiz. Adibide bezala, instrumentuaren egoera orokorra behatzeko erabiltzen diren panelak baita laginaren gainazaleko tenperaturaren garapenaren kasu bat ikus daitezke 4. Irudian. Aldiune batean laginaren gainazaleko termopareek neurtutako tenperaturak agertzen dira panelaren goialdean, eta horren azpian tenperaturaren garapena irudikatzen da denboraren menpe.

Azpimarratu behar da InfluxDB eta Grafanan oinarritutako behatze-sistema beste erakunde batzuetan ere erabiltzen dela. Esate baterako, antzeko inplementazio bat erabiltzen dute CERN-aren *ATLAS Distributed Computing* (ADC) konputazio-sistema banandua behatzeko (Beermann et al., 2020). Lan honetan proposatutakoa, beraz, ez da bakarrik laborategi txiki eta ertainetarako baliagarria, baizik eta erakunde eta sistema handiekin lan egiteko ere eskala daiteke.

Amaitzeko, eLog programa ere eskuragarri jarri da. ELog laborategiko koaderno elektronikoko bat da, nabigatzailearen bitartez datuak jaso eta kontsultatzeko aukera ematen duena. Horrela taldeko kide guztiek erraz kontsulta

4. Irudia: Laginaren gainazalaren tenperatura behatzeko sortutako panela.



dezakete laborategian egindako lanak, esperimentuak eta baita simulazioak ere.

Esperimentuen informazioa jaso eta gordetzeko metodo berriaren ondorioz datuak tratatzeko eta haiek bistaratzeko programa berria eraiki behar izan da, kalibratze-metodo ezberdinak onartzen dituen eta datu kopuru handiagoekin lan egin dezakeena. Gainera, finkatutako protokolo eta garatutako tresnek Open Data-ren inguruan lan egiten hasteko aukera ematen dute.

Amaitzeko esan behar da proiektu honek eragina izango duela komunitatean. Programen garapenean kode irekiko hainbat liburutegi zuzendu dira eta sortutako programen azken bertsioak kode irekikoak izango dira, arloko beste ikertzaileen esku ipiniz.

4 Ondorioak

HAIRL emisometroaren egitura eta harekin lan egiteko modua aldatu dute egindako aldaketek. Instrumentuaren modularitatea hobetu da komunikazio-kanalen berrikuntza integralaren ondorioz. Garatutako softwareak eragin handia izan du gailuaren ohiko erabileran: baimendutako edonork eskura izango ditu esperimentuaren datuak, bai amaierakoak baita neurtze-prozesuari dagozkionak ere. Gainera, gailua modu seguru batean kontrola eta beha daiteke urrutitik.

5 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Lan honetan aurkeztutako eguneraketak aukera ematen du etorkizunean HAIRL emisometroa hobetu eta garatzen jarraitzeko. Gailuei dagokionez, mahai gainean jarriko da egitura erredundanteak ipintzea eta sentsore berriak jartzea (berogailura sartzen den korronea neurtzeko amperometroa, adibidez). Softwarearen ikuspuntutik tresnariaren funtzionamendu egokia ziurtatzeko kodea ere gehituko da, interlock-ak saltatu aurretik instrumentuarentzat arriskutsuak izan daitezkeen egoeran detektatu eta ekiditeko.

Eguneraketa honek errotik aldatzen du HAIRL emisometroaren ohiko funtzionamendua, aurretik erabiltzen ziren metodoak aurrera eramateko tresnak finduz eta metodologia berrien atea irekiz. Ondorioz, neurketa-metodoak berrikusiko dira, orain arte ezin zitezkeen materialentzako metodo berriak sortuz. Epe luzean, egindako neurketen trazabilitatea bermatzea izango da laborategiaren helburu nagusia.

Erreferentziak

Beermann, T., Alekseev, A., Baberis, D., Crépe-Renaudin, S., Elmsheuser, J., Glushkov, I., Svatos, M., Vartapetian, A., Vokac, P., & Wolters, H. (2020). Implementation of ATLAS Distributed Computing monitoring dashboards using InfluxDB and Grafana. In *EPJ Web of Conferences*, volume 245, 03031. EDP Sciences.

Dalesio, L. R., Kozubal, A., & Kraimer, M. (1991). Epics architecture. Technical report, Los Alamos National Lab., NM (United States).

Dan, A., Sainz-Menchón, M., Gabirondo-López, J., Echániz, T., Fuente, R., López, G., & Barshilia, H. (2023).

- Emissivity measurements of W/TiAlN/TiAlSiN/TiAlSiON/TiAlSiO₂-based multilayer spectrally selective absorbers at high temperature. *Solar Energy*, 252:403–412.
- de Arrieta, I. G., Echániz, T., Fuente, R., Campillo-Robles, J. M., Igartua, J. M., & López, G. A. (2020). Updated measurement method and uncertainty budget for direct emissivity measurements at the University of the Basque Country. *Metrologia*, 57(4):045002.
- del Campo, L., Pérez-Sáez, R. B., Esquisabel, X., Fernández, I., & Tello, M. J. (2006). New experimental device for infrared spectral directional emissivity measurements in a controlled environment. *Review of scientific instruments*, 77(11):113111.
- Fuente, R., Echániz, T., de Arrieta, I. G., Urcelay-Olabarria, I., Igartua, J. M., Tello, M. J., & López, G. A. (2020). High accuracy infrared emissivity between 50 and 1000 °C for solar materials characterization. In *MATEC Web of Conferences*, volume 307, 01043. EDP Sciences.
- Lister, J., Farthing, J., Greenwald, M., & Yonekawa, I. (2007). The ITER CODAC conceptual design. *Fusion Engineering and Design*, 82(5):1167–1173. Proceedings of the 24th Symposium on Fusion Technology.
- Lister, J., Farthing, J., Greenwald, M., & Yonekawa, I. (2008). The status of the ITER CODAC conceptual design. *Fusion Engineering and Design*, 83(2-3):164–169.
- Luchetta, A., Pomaro, N., Manduchi, G., Taliercio, C., Rigoni, A., Svensson, L., Paolucci, F., & Labate, C. V. (2019). Progress in the design of MITICA control and interlock systems. *Fusion Engineering and Design*, 146:1528–1532.
- Nagpal, A. & Gabrani, G. (2019). Python for data analytics, scientific and technical applications. In *2019 Amity international conference on artificial intelligence (AICAI)*, 140–145. IEEE.
- Naqvi, S. N. Z., Yfantidou, S., & Zimányi, E. (2017). Time series databases and influxdb. *Studienarbeit, Université Libre de Bruxelles*, 12.
- Van Rossum, G. & Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace, Scotts Valley, CA.

6 Eskerrak eta oharrak

Egileek Eusko Jaurlaritzari eskerrak ematen dizkiote ikerketa-proiektuen bidez (IT-1714-22, PIBA-2021-1-0022) eta M. Sainz-Menchón ikertzailearen doktorego aurreko bekaren bidez (PRE-2022-1-0086) lan hau finantziatu izanagatik. J. Gabirondo-Lópezek Euskal Herriko Unibertsitateari eskerrak eman nahi dizkio bere ikerkuntza doktorego aurreko beka baten bitartez (PIF21/06) finantziatzeagatik.