Ekaia, 2026, 49, 371-385
https://doi.org/10.1387/ekaia.27613

ekaia
ZIENTZIA eta TEKNOLOGIA ALDIZKARIA

ISSN 0214-9001 – eISSN 2444-3255

Produkzio-sistema automatizatuen kontrola garatzeko MeiA metodologia

(MeiA methodology for the development of the control of automated production systems)

Nagore Iriondo, Ekaitz Hurtado, Isabel Sarachaga, María Luz Álvarez, Arantzazu Burgos*

Sistemen Ingeniaritza eta Automatika Saila, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

LABURPENA: Automatizazio industrialeko sistemak kontrolatzeko softwarea gero eta konplexuagoa denez, garapen- eta dokumentazio-metodologiak behar dira. Helburua softwarearen modularitatea hobetzea da, zenbait ezaugarri hobetze aldera: berrerabilera, enpresa-hierarkia osoan elkarreragingarritasuna, malgutasuna, iraunkortasuna eta hedagarritasuna. Alderdi horiek MEthodology for Industrial Automation (MeiA 4.0) metodologiarekin jorratzen dira. Metodologia horrek software-ingeniaritzaren praktika onenak baliatzen ditu, baita automatizazio-ingeniaritzaren metodo eta estandar ondo hedatuak ere. Metodologiak *zenbait baliabide eskaintzen ditu* kapsulatutako kontrol-osagaien multzo bat garatzeko: gidak, txantiloiak eta tresnak. Osagai horiek elkarrekin lan egiten dute, bai ohiko produkzioari bai akatsak dituen produkzioari heltzeko, eta goiko mailekiko integrazioa bermatzen dute automatizazioaren hierarkian. Garapen-prozesu osoan automatizazioaren alorreko terminologia erabiltzen da, eta horrek hobetu egiten du komunikazioa produkzio-sistemaren garapenean, instalazioan eta funtzionamenduan parte hartzen duten guztien artean . Kasu praktiko gisa, mihiztatze-zelula baten kontrolaren garapena aurkezten da. Zelula horretako kontrol-sistema kapsula-unitate multzo batek osatzen du, zeinek lan-estazioak kontrolatzea duen zeregin, eta unitate horien elkarreraginaren bidez lortzen dira ekoizpen-helburuak. Metodologiaren aplikagarritasuna inguruko enpresetan ere frogatu da master amaierako lanen bidez.

GAKO-HITZAK: Industry 4.0, automatizazio-sistema industrialak, kontrol automatikorako softwarea, diseinu-metodologia, kontrolagailu logiko programagarriak.

ABSTRACT: *The increasing complexity of industrial automation control software requires development and documentation methodologies. The goal is to improve software modularity, reuse, interoperability, flexibility, durability and extensiveness throughout the business hierarchy. These aspects are addressed under the MEthodology for Industrial Automation (MeiA 4.0). This methodology takes advantage of the best practices of software engineering, as well as the most widespread methods and standards of automation engineering. The methodology provides guides, templates and tools for the development of a set of encapsulated control components. These components work together to address both conventional and defective production and ensure integration into the automation hierarchy with the higher levels. Throughout the development process, automation terminology is used, which improves communication between all participants in the development, installation and operation of the production system. As a practical case, the development of the control of a assembly cell is presented. The control system of the cell consists of a set of capsulated units for the control of the workstations, which interact to achieve production objectives. The applicability of the methodology in local companies has also been demonstrated by [a number of] final Master's degree projects.*

KEYWORDS: Industry 4.0, industrial automation systems, automation control software, design methodology, programmable logic controllers.

*** *Harremanetan jartzeko/Corresponding author:*** Nagore Iriondo. Sistemen Ingeniaritza eta Automatika Saila, Ingeniero Torres Quevedo Plaza, 1, Basurtu-Zorrotza (48013 Bilbo-Bizkaia). https://orcid.org/0000-0002-0274-894X, nagore.iriondo@ehu.eus

Nola aipatu/How to cite: Iriondo, Nagore; Hurtado, Ekaitz; Sarachaga, Isabel; Álvarez, María Luz; Burgos, Arantzazu (2026). «Produkzio-sistema automatizatuen kontrola garatzeko MeiA metodologia», *Ekaia*, 49, 2026, DOI: https://doi.org/10.1387/ekaia.27613

Jasoa: ekainak 12, 2025; Onartua: irailak 02, 2025

ISSN 0214-9001-eISSN 2444-3225 / © UPV/EHU Press

Lan hau *Creative Commons Aitortu-EzKomertziala-PartekatuBerdin 4.0 Nazioartekoa* lizentzia baten mende dago

1. **SARRERA**

Fabrikazioaren egungo erronken ondorioz, gero eta konplexuagoa da automatizazio industrialeko sistemak kontrolatzeko softwarea. Enpresek, batez ere txikiek eta ertainek, kontrol-softwarea sistematikoki garatu eta ebaluatu behar dute produkzio normala eta akats-egoerak kudeatzeko.

Automatizazio industrialeko softwarearen heldutasuna ebaluatu duten lanek erakusten dutenez, automatizazio modularreko softwarea oraindik ere erronka bat da praktika industrialean [1], [2]; gida egokiak behar dira software hori etorkizuneko fabrikazioaren eskakizunen arabera egituratzeko [3], eta zaila da software-ingeniaritzatik automatizazioaren eremura ondo ezarritako ikuspegiak inportatzea [4]. Hasiera batean kontuan hartu beharreko alderdiak aztertu dituzten lanak ere badira [5]: metodologiarik eta tresnarik eza, informazioaren teknologien (IT) eta teknologia operatiboen (OT) arteko integraziodesegokia, automatizazio-ingeniarien kualifikazio urria integrazio horri heltzeko, eta jabeen gidak erabiltzea estandar eta jarraibide komunitarioen ordez (adibidez, PLCopen).

Industriako profesionalek softwarea garatzeko eta dokumentatzeko metodologiak behar dituzte, IEC 61131-3 [6] arauaren araberako industria-kontroleko softwarearen bizi-ziklo osoari behar bezala aurre egiteko. Arau honek softwarea modu sistematikoan garatzeko eta ebaluatzeko aukera ematen du, aplikazioaren eskakizun funtzionalak eta ez-funtzionalak betetzeko. Softwarearen modularitatea hobetzea izan behar dute helburu, berrerabilera ahalbidetzeko edo errazteko, bai eta elkarreragingarritasuna (horizontala eta bertikala enpresaren erabakiak hartzeko maila gorenekin), malgutasuna, mantentzea eta hedatzeko gaitasuna.

Artearen egoeraren analisiak agerian uzten du ez dagoela softwarearen bizi-ziklo osoa jorratzen duen metodologiarik proposatzen duen lanik. Bereziki, azterketa- eta diseinu-faseak lantzen dira gutxien industria-profesionalek automatizazio-proiektuak automatikoki sortzeko erabiltzen dituzten garapen integratuko ingurune komertzialetan eta kode irekikoetan [7]. Aldiz, fase horiek aipatu ohi dira ikerketa-lanetan informazioaren azken teknologiak erabiltzen dituzten ikerketa-lanetan [8], baina automatizazio-ingeniarientzat ulertzeko zailak diren ikuspegiak dira.

Testuinguru horretan, artikulu honek *MEthodology for Industrial Automation (MeiA 4.0)* metodologia [9] aurkezten du, aurreko bertsio bat [10] eguneratzen duena fabrikazio adimendunaren ekimenen arauak txertatzeko. Metodologia horrek kontrol egituratuko softwarea garatzen du, software-ingeniaritzaren jardunbide onenak eta automatizazio-ingeniaritzaren metodo eta estandar ondo hedatuak baliatuz. Laguntza-azpiegitura gisa, tresnak eskaintzen ditu bai IEC 61512 [11] eredu estandarrak garatzeko, bai IEC 61131-3ren araberako kodea sortzeko [6]. Gainera, metodologiak

jarraibideak, txantiloiak eta tresnak proposatzen ditu kontrol-software bat garatzeko. MeiA metodologia jarraituz, software hori kapsulatutako kontrol-unitateen (MeiA osagaiak) multzo bat da, eta elkarrekin lan egiten dute ekoizpen-helburuak lortzeko, baita erabakiak hartzeko maila gorenekin integratzeko ere.

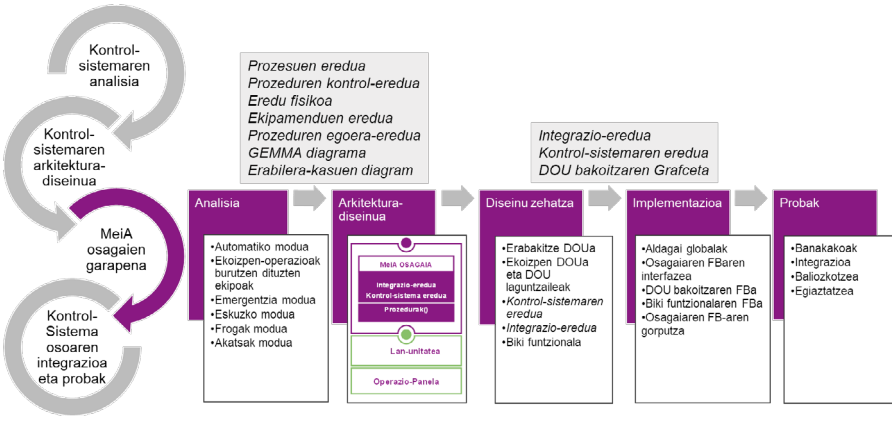
Artikuluaren egiturak MeiA 4.0 metodologia aurkezten duen atal bat jasotzen du, lau faseak deskribatzen dituena. Hurrengo atalean, muntaketa- eta biltegiratze-lanak egiten dituen FMS-200 zelularen kontrol-softwarearen garapena deskribatzen da. Sei MeiA osagai ditu, eta elkar eragiten dute estrategia hierarkiko baten arabera kontrol-helburuak lortzeko. Azkenik, artikulua ondorioen atal batekin amaitzen da.

2. MeiA 4.0 METODOLOGIA

MeiA 4.0 metodologiak eraldaketa digitalerako teknologiak eta softwarearen garapena kontrolatzeko metodologiak konbinatzen ditu Industria 4.0 paradigmaren testuinguruan. Horrela, ekoizpen-sistema automatizatu baten kontrol-sistema MeiA osagaien multzo gisa ulertzen du, haien funtzionaltasuna zerbitzu gisa eskaintzen duena, aplikazio-alderdi guztiak ezkutatzen dituen interfaze baten bidez.

Kontrol-sistemaren garapen-zikloa 1. irudiaren ezkerraldeko zirkulu bertikalek adierazten dute, eta lau fase ditu:

— Kontrol-sistemaren analisia, helburuak eta xedeak identifikatzeko.
— Diseinu arkitektonikoa MeiA osagaiak identifikatuz.
— MeiA osagai horien garapena.
— Integrazioa eta kontrol-sistema probatzea.



1. irudia. Kontrol-sistemaren garapena.

Kontrol-sistemaren analisia erabiltzailearen eskakizunetatik abiatzen da, ekoizpen-sistemaren helburua eta helburu hori lortzeko eragiketak deskribatzeko, bai eta eragiketa horiek zein ordenatan egin behar diren. Eskakizunetatik zehaztuko dira eragiketa-moduak, gainbegiratze-sistemarako behar den informazioa, ekoizpen-sistemaren trazabilitatea eta lotutako seinale guztiak. Deskribapen zehatz horrek aukera ematen du kontrol-sistema osatuko duten MeiA osagaien multzoa identifikatzeko.

Kontrol-sistemaren ***diseinu arkitektonikoa*** kontrol-estrategiaren araberakoa da. Demagun ekoizpen-sistema N lan-unitatek osatzen dutela. Kontrol hierarkiko baterako, adibidez, kontrol-arkitekturak $N + 1$ MeiA osagai izango ditu, unitate bakoitzeko osagai bat eta kontrol orokorrerako osagai gehigarri bat. Arkitekturak osagai horien arteko harremanak adieraziko ditu.

Hirugarren faseak osagai horiek garatzea dakar. Hurrengo atalean zehatzago deskribatuko den fase honek 1. irudiko lauki horizontalek adierazten dituzten bost garapen-urrats ditu:

— ***Osagaiaren analisiak***, funtzionatzeko moduen bidez [10], zazpi eredu eskaintzen ditu (1. taula). Eredu horien artean daude RAMI 4.0 erreferentziazko arkitekturaren IEC 61512 arauak [11] proposatutakoak, GEMMA gidak [12] eta erabilera-kasuen diagramak.
— ***Diseinu arkitektonikoak*** egoeraren informazioa antolatzen du bi eredutan eta kontrol-softwarearen eragiketa guztiak egiten dituzten prozeduretan. Integrazio-ereduak (IE) unitatearen egoera eta ingurunearekin dituen loturak antolatzen ditu, eta Kontrol Sistemaren Ereduak (KSE) beraren kontrol-softwarearen egoera jasotzen du.

1. taula. MeiA osagai bat eraikitzeko eta dokumentatzeko ereduak.

Eredua	Deskripzioa
Prozesuaren eredua	Egin beharreko operazioak.
Prozeduren kontrol-eredua	Identifikatutako operazioak egiten dituzten prozedurak (*Design Organization Unit-DOU*).
Eredu fisikoa	Ekipamendu fisikoa eragiketen arabera multzokatzen du.
Ekipamenduen eredua	Operazioak egiten dituzten prozeduren eta prozedura horiek gauzatzen dituen ekipo fisikoaren arteko erlazioa.
Prozeduren egoera-eredua GEMMA diagrama	Osagaiaren egoera posibleak deskribatzen dituzte kontrol ikuspegi batetik.
Erabilera-kasuen diagrama	Osagaiaren portaera deskribatzen du, aktoreekin edo interesatuekin izandako elkarrekintzei erantzuteko.

— Ereduen eta eragiketak burutzen dituzten prozedura horien ***diseinu zehatza***, bai eta unitatearen portaera kontrolatua simulatzen duen Biki Funtzionala [13]. Prozedura horien diseinu zehatza egiteko, GRAFCET modelatzeko lengoaia [14] erabiltzen da. Ondorioz DOU (*Design Organization Unit*) multzo bat sortzen da, prozedura bakoitzarentzako DOU bana. Hiru DOU mota bereizten dira: *Erabakitze-DOU*a, operazio-modu bakoitzaren abiaraztea eta gelditzea kudeatzen dituena, eta osagaiaren egoera posibleen koordinazioa ere bere gain hartzen duena; *Produkzioko DOU*a, ekoizpen-eragiketak, haien arteko koordinazioa eta ekoizpen-parametroen hautaketa bezalako lanak burutzen dituena; eta *DOU laguntzailea*, hasierako eta segurtasuneko baldintzak, martxan jartzeko baldintzak, abisuak eta antzeko zereginak betetzen dituena.
— Osagaiaren ***inplementazioa*** IEC 61131-3 arauan proposatutako software ereduari jarraituz automatizazio-proiektu baten bidez [6] burutzen da. DOU bakoitza POU (*Program Organization Unit*) batean inplementatzen da, FB (*Functional Block*) motakoa. Programazioa, diseinu zehatzaren isla dena, arau honetan proposatzen diren lengoaiak erabiliz kodetzen da.
— Osagaiaren ***baliozkotzea*** burutzeko, banakako probak, integrazio-probak eta egiaztapen-probak egiten dira. Lan-unitate fisikoak simulatzeko biki funtzionalak erabil daitezke. Biki funtzionala software-osagai berrerabilgarrien multzo batetik diseinatzen da, Oinarrizko Osagai Funtzionalak (BFC-*Basic Functional Components*) izenekoa [13]. Osagai horiek eredu fisikoaren kontrola edo ekipamendu-moduluen funtzionaltasuna simulatzen dute.

Azkenik, osagai guztien ***integrazioa*** modu inkrementalean egiten da, azkenean kontrol orokorraren osagaia probatuz, lehenik biki funtzionalekin eta gero lan-unitate errealekin. Ikuspegi honek aukera ematen du ekoizpen-sistemaren kontrol sistema osoa probatzeko.

3. APLIKAZIOA: MUNTAKETA-ZELULA BATEN KONTROL-SISTEMA GARATZEA

Kasu honek FMS-200 muntaketa-zelularen kontrol softwarearen garapena aztertzen du. Zelula hau lau unitatek osatzen dute, produktu baten muntaketa- eta biltegiratze-lanak egiteko, eta garraio-sistema modular bat du, paletak unitate batetik bestera garraiatzeko. Produktuak muntatu beharreko lau pieza ditu: oinarria, errodamendua, ardatza eta estalkia. Zenbait multzo lor daitezke, aukeran daudelako bi altuera (altua edo baxua), bai eta bi materialetako ardatzak (aluminiozkoa edo nylonezkoa), eta estalkiak ere bi materialetakoak (aluminioa edo nylona), bi koloretakoak (argia edo iluna) eta bi altueratakoak (altua edo baxua).



2. irudia. Produktua eta piezak.

Prozesua lehenengo unitatean hasten da (*S1 Oinarria kokatzea*), non produktuaren euskarri izango den oinarria elikagailu batetik atera eta kargatzeko guneko palet baten gainean jartzen den. Horretarako, hainbat zilindro daude, eragiketa hauek egiten dituztenak: biltegiko oinarria atera, oinarria garraioeremuraino lekualdatu, eta oinarriaren posizioa egiaztatu. Oinarri okerra bada, baztertu egingo da eta, oinarria zuzena bada, paletaren gainean jarriko da, bi zilindrok eta bentosa bidezko huts-sistema batek osatutako manipulatzaile pneumatiko baten bidez. Bigarren unitatean (*S2 Robota*), robot batek biltegi banatatik errodamendua eta ardatza hartzen ditu eta oinarrian sartu. Robotak bi pintza pneumatiko ditu. Hirugarren unitateak (*S3 Estalkia kokatzea*) estalki bat ateratzen du grabitate-elikagailu batetik; haren materiala, kolorea eta altuera egiaztatzen ditu sentsoreen bidez, estalki okerrak kentzen ditu eta zuzena sartzen du muntaketan. Zortzi posizioko plater banatzaile batek, 45º-ko biraketarekin, piezen trukea egiten du postuen artean. Estalkiak grabitatezko elikagailu batean daude, eta zilindro batek bat ateratzen du. Sentsore batek egiaztatzen du estalkia ondo atera eta kokatu dela. Laugarren unitatean (*S4 Biltegia*), multzoak gordetzen dira, guztiz edo erdizka muntatuta. Hogeita hamar multzo gordetzeko gaitasuna du. Garraio-sistema modular batek (*ST Garraioa*) paletak mugitzen ditu unitateen artean eta paleten sarrera eta bilketa kudeatzen du. Unitate guztiek operazio-panel bana dute hiru sakagailurekin (Start, Stop eta Reset), automatikoa/eskuzkoa hautatzaile bat (Auto/Man), alarma-adierazlea eta larrialdiko gelditze-sakagailua.

Hurrengo azpiatalean, kontrol orokorraren softwarea garatzeko lau faseak deskribatzen dira.

3.1. **Kontrol-sistemaren analisia**

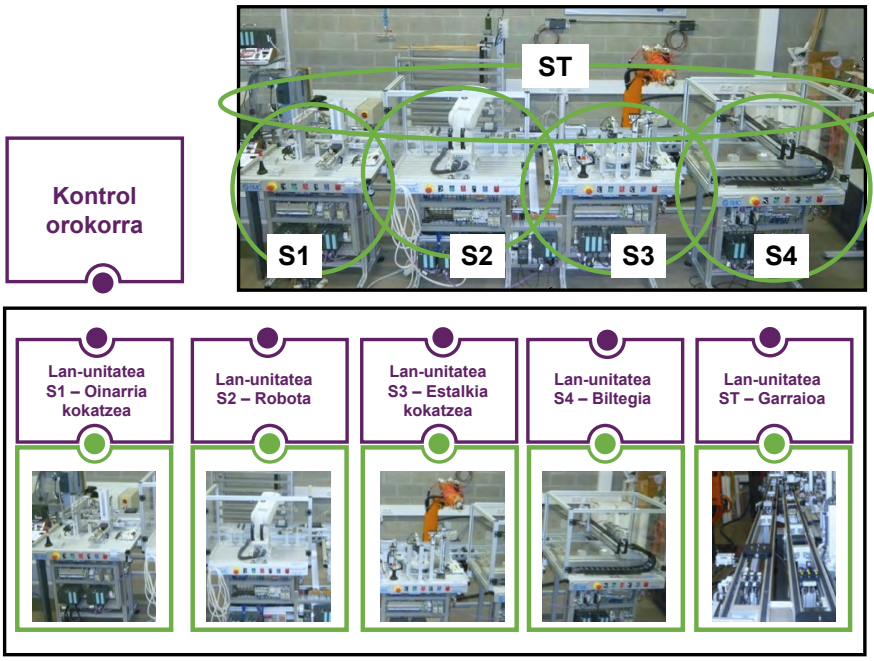
Erabiltzailearen eskakizunek analisia hasteko informazioa ematen dute (funtzionamendua, operazio-moduak, abiapuntuko baldintzak, gainbegiratzeko beharrak eta seinaleak).

Sinpletasunagatik, zelula kontrolatzeko sistemaren operazio automatikoa eta larrialdikoa bakarrik erakutsiko dira. Modu automatikoa edozein

unitateren hasierako sakagailutik edo ikuskatze-sistematik eska daiteke, baldin eta unitate guztiek automatikoa/eskuzkoa hautatzailea badute. Operazio-modu hau hasteko, unitate guztiak hasierako egoeran egon behar dira eta ekoizpena hasteko prest.

Ekoizpen bitartean geldialdia eskatu nahi bada (ziklo-amaierako geldialdia), edozein unitateko gelditze-sakagailuaren bidez edo zaintza-sistematik egin daiteke. Eskaera horrek prozesuan dauden produktuak osatzea dakar, baina sisteman ez da palet berririk sartuko.

Kontrol orokorretik larrialdi-modua eskatzeak unitate baten edo batzuen berehalako geldialdia dakar. Larrialdi-modua edozein unitateko larrialdiko gelditze-sakagailutik ere eska daiteke, eta horrek unitate horren berehalako geldialdia segurtasunez egitea dakar. Larrialdia konpondu ondoren, modu hori desaktibatzeko, Reset sakagailua eta larrialdiko gelditze-sakagailuaren desblokeoa erabiltzen dira.



3. irudia. Kontrol sistemaren arkitektura.

3.2. **Kontrol-sistemaren diseinu arkitektonikoa**

3. irudian, zelularen argazkia dago, unitateak zirkulu berdez bereizita. Beraz, kontrol-sistemaren arkitektura bost lan-unitateen MeiA osagaiek eta kontrol orokorraren MeiA osagaiak osatzen dute.

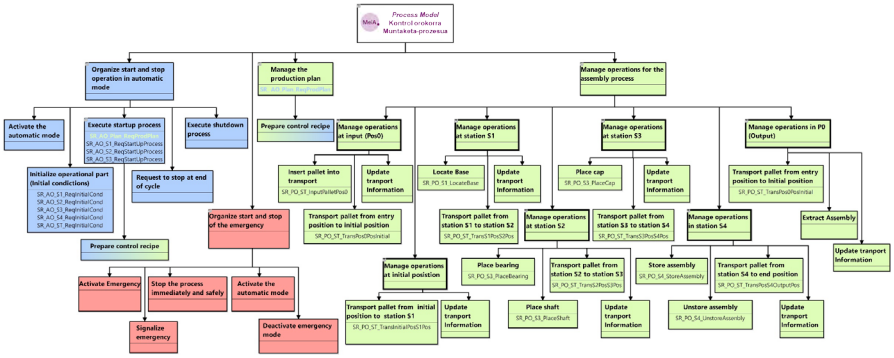
3.3. **MeiA osagaien garapena**

Abiapuntutzat hartzen da aldez aurretik lan-unitateei dagozkien osagaiak MeiA metodologia berari jarraituz garatu direla. Kontrol orokorraren osagaiak, ordea, beste berezitasun batzuk ditu; beraz, atal hau beraren garapenean zentratzen da, jarraian deskribatutako urratsen bidez.

3.3.1. *Analisia*

Erabiltzaileen eskakizunetatik abiatuz, informazio hau jasotzen da: (1) kontrol orokorraren osagaiak lan-unitateen osagaiei muntaketa egiteko eskatu behar dizkien operazioei buruzkoa; (2) automatiko eta larrialdiko operazio-moduak; (3) abiatze-baldintzak eta produkzio-plana. (4) unitateen osagaiei buruzko informazioa ikuskatze-sistemarako, eta operazioen eta produktuen trazabilitatea; (5) elkarreragiten duten seinaleak, alde batetik, kontrol orokorrarekin, zerbitzu bat egin ondoren beraren zerbitzuak eskatzeko eta erantzuna jasotzeko, eta, bestetik, kontrol orokorrak beste sistema batzuekin.

Kontrol orokorraren osagaia produkzio-operazioak gauzatzeaz arduratzen da, planifikatzaileak emandako produkzio-plana osatu eta operazio-moduak kudeatuz. Planifikatzaileak lan-unitateetan egiten diren lanak agintzen ditu, produkzioko DOUen bidez. Produkzioa burutzeko, lan-unitateen erabaki-DOUak ezeztatzen ditu, kontrol orokorrak operazio-moduak kudea ditzan beren DOU laguntzaileen bidez. Kontrol orokorraren operazio horiek guztiak bere *prozesuen ereduan* ikus daitezke (4. irudia). Operazio horietako batzuk zerbitzu-eskaera bihurtuko dira unitateen osagaientzat.



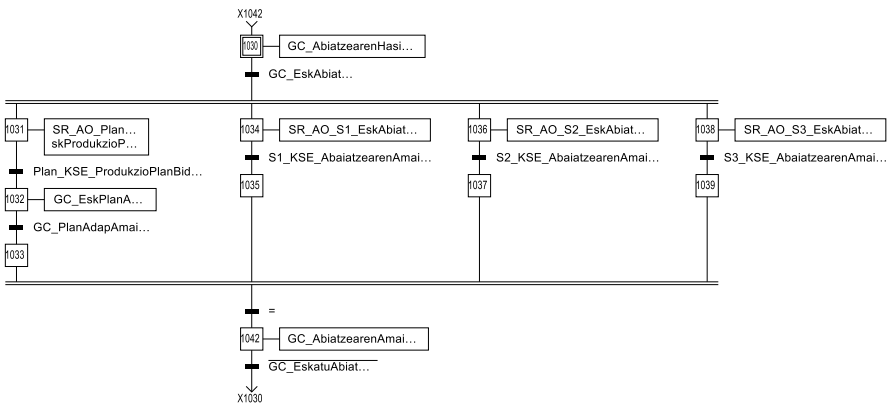
4. irudia. Kontrol orokorraren prozesuaren eredua.

3.3.2. *Arkitekturaren diseinua*

Lan-unitate baten osagaiaren IE ereduak eredu fisikoa du integratuta, baina kontrol orokorraren osagaiaren IE ereduak ez du eredu fisikorik, baizik eta bost unitateen osagaiak beren helbideekin: HMIa, planifikatzailea eta ikuskatze-sistema. Bestalde, KSE ereduak operazio-moduen eragiketak (automatikoa eta larrialdia) eta haiek ezartzen dituzten prozedurak biltzen ditu, kontrol-seinaleekin, eta baita lan-unitateetako biki funtzionalen osagaiekin jarduteko seinaleak ere.

3.3.3. *Diseinu zehatza*

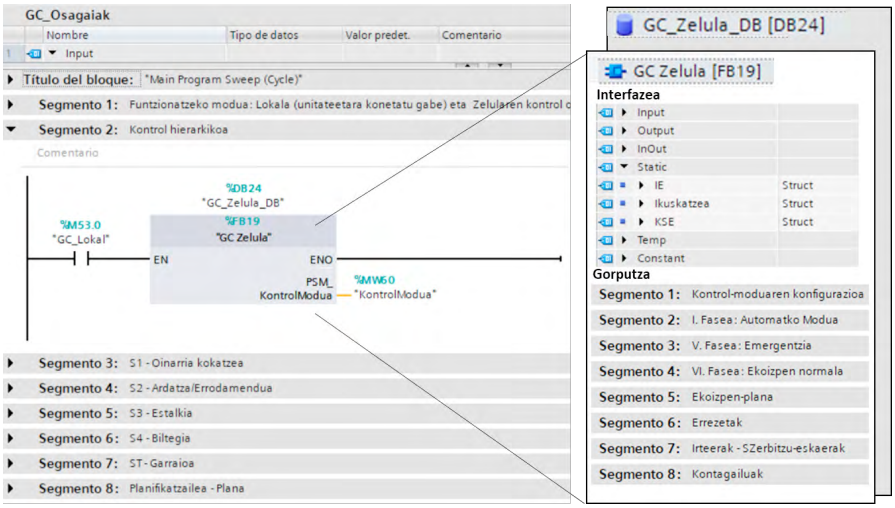
Prozeduren kontrol-ereduan zehaztutako prozedura bakoitzaren DOUa GRAFCET espezifikazio-lengoaia erabiliz eraikitzen da. Prozedura horiek *prozesuaren ereduan* bildutako operazioak egiten dituzte. Beraz, prozedura horiek unitateen osagaiek burutzen duten zerbitzu-eskaera multzo bat osatzen dute. Adibidez, 5. irudiak DOU laguntzaile baten diseinu zehatza erakusten du, *Abiatze* prozesua izenekoa. Prozedura honek produkzio-plan bat eskatzen dio planifikatzaileari (*SR_AO_Plan_EskProdukzioPlan*) eta errezeta multzo bihurtzen du ekoizpen-planeko produktuak ekoizteko (grafcet-aren ezkerreko adarra), eta «abiarazte-prozesua» izeneko zerbitzuak (grafcet-aren beste adarrak) eskatzen dizkie martxan jartzeko prozedura behar duten unitateen osagaiei (*SR_AO_S1_EskAbiatzea*, *SR_AO_S2_EskAbiatzea* eta *SR_AO_S3_EskAbiatzea*). Lan-unitate batek eskatu zaion zerbitzua amaitu duenean, KSE eredua eguneratuko da (*S1_KSE_AbiatzearenAmaiera*, *S2_KSE_AbiatzearenAmaiera eta S3_KSE_AbiatzearenAmaiera*), kontrol orokorrak zerbitzuaren amaiera egiaztatu ahal izateko.



5. irudia. Abiatze-prozesuaren DOUa.

3.3.4. *Inplementazioa*

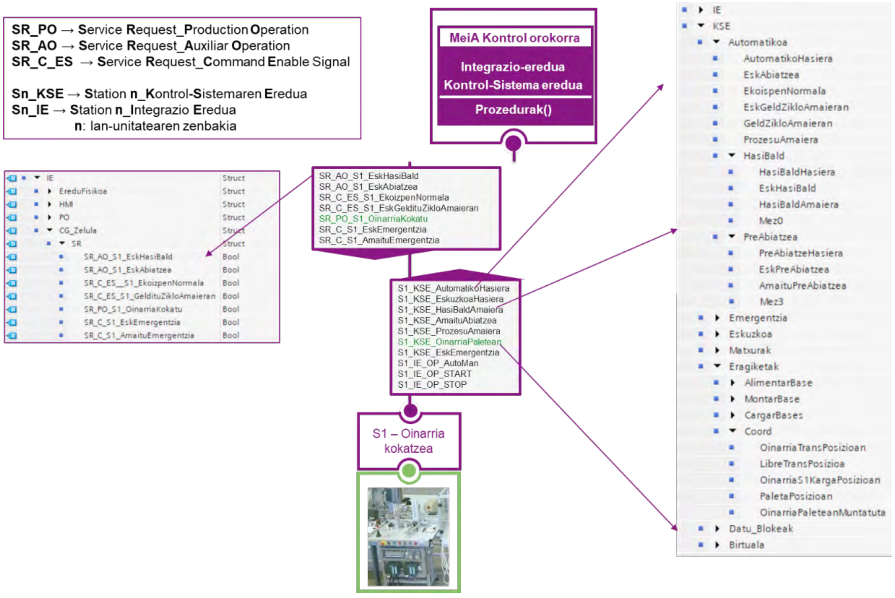
6. irudiak FB motako POUa erakusten du, TIA Portal plataforman (Siemens) inplementatutako kontrol orokorraren osagaiari dagokiona. Unitateen osagaiarekin ez bezala, ez dago sarrera/irteerarik FBaren interfazean, ez dagoelako lotura fisikorik unitateekin.



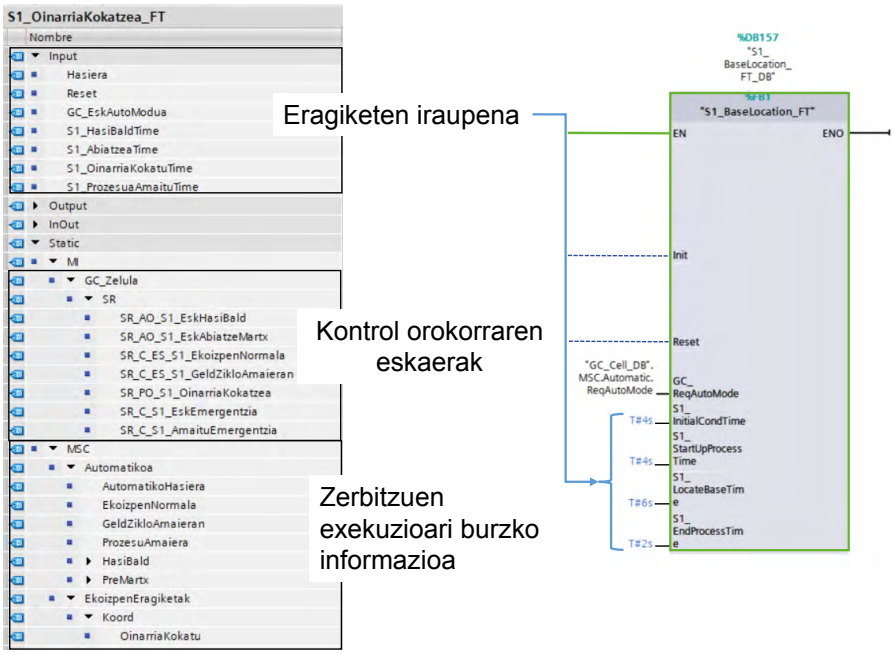
6. irudia. Kontrol orokorraren MeiA osagaiaren inplementazioa.

7. irudian, kontrol orokorraren osagaiak *S1 Oinarria kokatzea* unitatearen osagaiari eska diezazkiokeen zerbitzu-eskaerak agertzen dira (*SR* hasiera dutenak). Horrek, gero, lehenengoari bidaltzen dizkio eskaeren erantzunak (*S1* hasiera dutenak), eta nola gauzatzen diren eskaera eta erantzun horiek kasu honetan. Horrela, kontrol orokorrak idatziz eskatzen du zerbitzua unitatearen osagaiaren IE ereduan, zerbitzuaren exekuzioaren egoerari buruzko informazioa bere KSE eredua irakurriz lortzen duen bitartean. Kontrol orokorrak unitateko operazio-panelaren informazioa ere behar du, IE eredua irakurriz lortzen duena.

Bestalde, unitatearen osagaiko biki funtzionala FB motako POU batean inplementatzen da. 8. irudian biki funtzionalaren osagaiak S1 lan-unitaterako duen bloke-interfazea erakusten da. Bertan, sarrerak eragiketadenborak dira, IE ereduak zerbitzu-eskaerak biltzen ditu eta KSE ereduak zerbitzuen exekuzioei buruzko informazioa jasotzen du. Biki funtzionalak erabili dira osagaiaren banakako probak eta integrazio-, egiaztatze- eta baliozkotzekoak egiteko.



7. irudia. Kontrol orokorraren osagaiak S1 unitatearen osagaiari eskatzen dizkion zerbitzuak eta erantzunak.

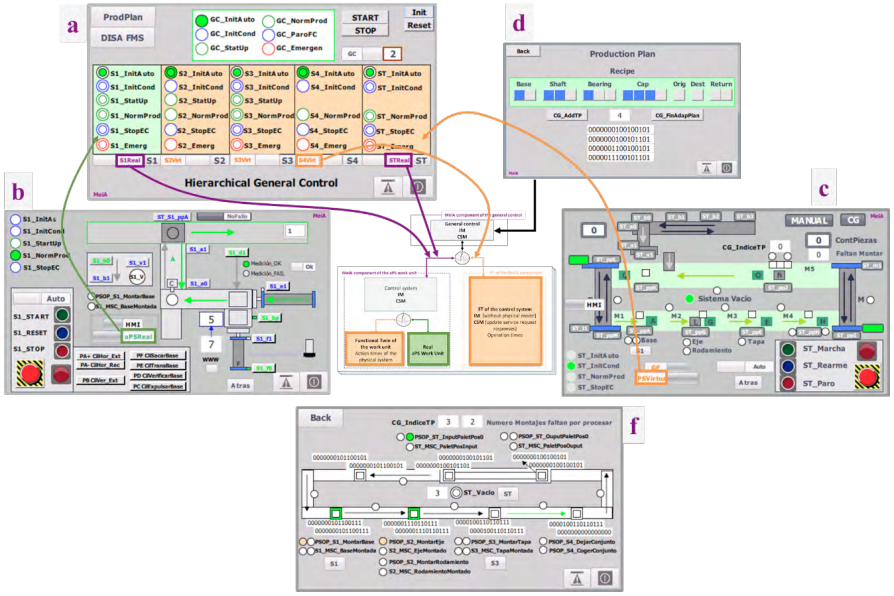


8. irudia. S1 lan-unitaterako MeiA osagaiaren biki funtzionalaren bloke-interfazea.

3.4. **MeiA osagaiak integratzea eta kontrol-sistema osoa probatzea**

Bost unitateen osagaiak eta haien biki funtzionalak kontrol orokorraren osagaia integratu eta probatzeko erabili dira. Zehazki, zelularen kontrol-sistemaren funtzionamendu automatikoa eta larrialdikoa baliozkotu dira.

Integrazio eta proba prozeduretan kontrol orokorraren HMIa erabiltzen da (9. irudia). Pantailan bost unitateen (*S1 Oinarria kokatzea, S2 Robota, S3 Estalkia kokatzea, S4 Biltegia, ST Garraioa*) osagaiak agertzen dira kontrol orokorraren osagaira konektatuta. Bakoitzak etengailu bat du (9a. pantailaren behealdean) biki funtzionalaren edo unitatearen osagaiarekin lan egitea hautatzeko. Horrela, irudian erakusten den exekuzio horretan, MeiA osagaiek unitate fisikoak kontrolatzen dituzte bi kasutan (S1 eta ST, letra morez) eta biki funtzionalak beste hiru kasuetan (S2, S3 eta S4, letra laranjaz).



9. irudia. MeiA osagaiak integratzeko eta zelularen kontrol-sistema probatzeko HMIa.

Etengailu bakoitzaren ondoan, lan-unitate bakoitzaren HMIra sartzeko botoi bat dago. Lan-unitatearen HMIan etengailu bat dago, lan-unitate fisikoarekin (9a pantailan-hondo berdez) edo biki funtzionalarekin (9a pantailan-hondo laranjaz) lan egitea hautatzeko. Adibide honetan, S1 unitatea-

ren osagaiak benetako lan-unitatearekin funtzionatzen du (9b pantaila), eta ST unitatearen osagaiak, berriz, biki funtzionalarekin (9c pantaila).

Exekuzioaren konfigurazioa ezarri ondoren, hau da, unitateen eta haien biki funtzionalen artean zeinekin lan egingo den aukeratu ostean, zelularen kontrola hasten da. Lehenik eta behin, lan-unitate guztien hasierako baldintzak betetzea eskatzen du. Gero, lan-unitateak abiarazteko prozesua eskatzen du, eta produkzio-plana 9d pantaila erabiliz sartu behar da. Produkzio-planaren exekuzioa 9e pantailan azalduko da.

4. **ONDORIOAK**

MeiA 4.0 diziplinarteko metodologia bat da, automatizazio industrialeko sistemetarako kontrol-softwarearen garapena eta dokumentazioa gidatzen dituena. Alderdi operatiboetan eta ingeniaritzako alderdietan zentratzen den arren, kontuan hartzen ditu, horrez gain, garatutako softwarearen malgutasuna, hedagarritasuna, segurtasuna eta mantengarritasuna.

Euskarri-azpiegiturak gidalerroak, txantiloiak eta tresnak eskaintzen ditu, enpresei gaitasun digitalak handitzen lagun diezaieketenak, batez ere ETE-ei. Software-osagaiak IEC 61131-3 arauaren arabera inplementatzen dira, hori baita profesionalek industrian erabiltzen dutena. Hala ere, garapen-prozesu osoan domeinu-terminologia erabiltzen da, eta horrek hobetu egiten du produkzio-sistemaren garapenean, instalazioan eta funtzionamenduan parte hartzen duten guztien arteko komunikazioa.

Lan-estazioak kontrolatzeko unitateek, MeiA osagaietan kapsulatuta daudenek, produkzio-helburuak gauzatzen laguntzen dute, baita hutsegite-egoeretan edo plangintza berri bat egin behar denean ere. Egoera horiek direla-eta, baliteke enpresa-hierarkian goragoko mailetako erabakiak hartu behar izatea, eta horrek osagaiaren informazio-ereduek eskaintzen duten IT-OT integrazioa eskatzen du.

MeiA 4.0 metodologia ingeniaritzako irakaskuntzetan txertatu da, industrian sartuko diren pertsonek behar dituzten prestakuntza-beharrei aurre egiteko.

ESKER ONA

Lan honek ELKARTEK KK-2025/00035 proiektuaren babesa jaso du.

BIBLIOGRAFIA

[1] VOGEL-HEUSER, B., NEUMAN, E.-M., FISCHER, J. 2022. «Maturity levels for automation software engineering in automated production systems». IEEE 20th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), IEEE, 618-623. doi:10.1109/indin51773.2022.9976112

[2] WILCH, J. , FISCHER, J., LANGER, N., FELGER, M., BENGEL, M., VOGEL-HEUSER, B. 2022. «Towards automatic generation of functionality semantics to improve PLC software modularization». *Automatisierungstechnik* 70(2), 181-191. doi:10.1515/auto-2021-0138

[3] BINDER, C., NEUREITER, C., LÜDER, A. 2021. «Towards a domain-specific approach enabling tool-supported model-based systems engineering of complex industrial internet-of-things applications». *Systems* 9(2), 21. doi:10.3390/systems9020021

[4] VOGEL-HEUSER, B., NEUMANN, E. M., FISCHER, J. 2021. «Micose4aps: Industrially applicable maturity metric to improve systematic reuse of control software». *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology* 31(1), 1-24. doi:10.1145/3467896

[5] VOGEL-HEUSER, B., FISCHER, J., NEUMANN, E. M., KREINER, M. 2021. «Success factors for the design of field-level control code in machine and plant manufacturing - an industrial survey». *Research Square.* doi:10.21203/rs.3.rs-168613/v1

[6] IEC «61131-3:2013. Programmable controllers - Part 3: Programming languages». https://webstore.iec.ch/publication/4552

[7] WIESMAYR, B., ZOITL, A. & Rabiser, R. Assessing the usefulness of a visual programming ide for large-scale automation software. *Soft Syst Model* 22, 1619-1643, (2023). [6] Álvarez, M. L., SARACHAGA, I., BURGOS, A. eta IRIONDO, N. 2024. «Gemelos funcionales para validar el software de control». *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 21, 159-170.

[8] BINDER, C., NEUREITER, C. & LÜDER, A. Towards a domain-specific approach enabling tool-supported model-based systems engineering of complex industrial internet-of-things applications. *Systems* 9, 21 (2021).

[9] BURGOS, A., SARACHAGA, M. I., ÁLVAREZ, M. L., IRIONDO, N., 2022. Metodología MeiA 4.0. *Txostena. ResearchGate.* https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22961.66400

[10] ÁLVAREZ, M. L., ESTÉVEZ, E., SARACHAGA, I., BURGOS, A. eta MARCOS, M. 2013. «A novel approach for supporting the development cycle of automation systems». *Int J Adv Manuf Technol,* 68 (1), 711-725.

[11] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 1997. «IEC 61512-1: Batch control-part 1: Models and terminology». *Tech. Rep., IEC.* https://webstore.iec.ch/publication/5528

[12] ADEPA. 1981. « Gemma (guide d'Étude des modes de marches et d'arrêts) ». Tech. Rep.

[13] ÁLVAREZ, M. L., SARACHAGA, I., BURGOS, A., IRIONDO, N. 2024. «Gemelos funcionales para validar el software de control». *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial,* 21(2), 159-170. https://doi.org/10.4995/riai.2024.20830

[14] IEC. «IEC 60848: Grafcet specification language for sequential function charts». 2013. Tech. Rep. https://webstore.iec.ch/publication/3684