

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, Arantazu 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, berrerabilera, enpresa-hierarkia osoan elkarrengaitasuna, malgutasuna, iraunkortasuna eta hedagarritasuna areagotzeko. Alderdi horiek MEthodology for Industrial Automation (MeiA 4.0) metodologiarekin jorratzen dira. Metodologia horrek software-ingeniaritzaren praktika onenak aprobetxatzen ditu, baita automatizazio-ingeniaritzaren metodo eta estandar ondo hedatuak ere. Metodologiak kapsulatutako kontrol-osagaien multzo bat garatzeko gidak, txantiloak eta tresnak eskaintzen ditu. Osagai horiek elkarrekin lan egiten dute, bai ohiko produkzioari bai akatsen dituen produkzioari heltzeko, eta automatizazioaren hierarkian goiko mailekiko integrazioa bermatzen dute. Garapen-prozesu osoan automatizazioaren alorreko terminologia erabiltzen da, eta horrek produkzio-sistemaren garapenean, instalazioan eta funtzionamenduan parte hartzen duten guztien arteko komunikazioa hobetzen du. Kasu praktiko gisa, mihizatze-zelula baten kontrolaren garapena aurkezten da. Zelula hori osatzen duten lan-estazioak kontrolatzeko kapsula-unitate multzo batez osatuta dago, eta unitate horiek ekoizpen-helburuak lortzeko elkarrengaitasuna bermatzen dute. Metodologiaren aplikagarritasuna inguruko enpresetan ere frogatu da master amaierako lanen bidez.

HITZ GAKOAK: 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 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 an assembly cell is presented. The control system of the cell consists of a set of encapsulated units for the control of the workstations, which interact to achieve production objectives. The applicability of the methodology has also been demonstrated in local companies through the end of the master's degree works.*

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

1

***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, Arantazu.(2025). << Produkzio-sistema automatizatuen kontrola garatzeko MeiA metodologia >>, Ekaia, 49, xx-xx. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.27613>)

Jasoa: ekainak 12, 2025; Onartua: irailak 2, 2025

ISSN 0214-9001-e-ISSN 2444-3225 / © 2025 UPV/EHU



Obra Creative Commons Atribución 4.0 Internacional-en lizentziapean dago

1. SARRERA

Fabrikazioaren egungo erronken ondorioz, automatizazio industrialeko sistemak kontrolatzeko softwarea gero eta konplexuagoa da. 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 integrazio eskasa, automatizazio-ingeniarien kualifikazio eskasa 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-kontrolreko 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, elkarreragingarritasuna (horizontala eta bertikala enpresaren erabakiak hartzeko maila gorenekin), malgutasuna, mantentzea eta hedatzeko gaitasuna ahalbidetzeko edo errazteko.

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

Testuinguru horretan, artikulua honek *MEthodology for Industrial Automation (MeIA 4.0)* metodologia [9] aurkezten du, aurreko bertsio bat [10] eguneratzen duena fabrikazio adimendunaren ekimenera 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

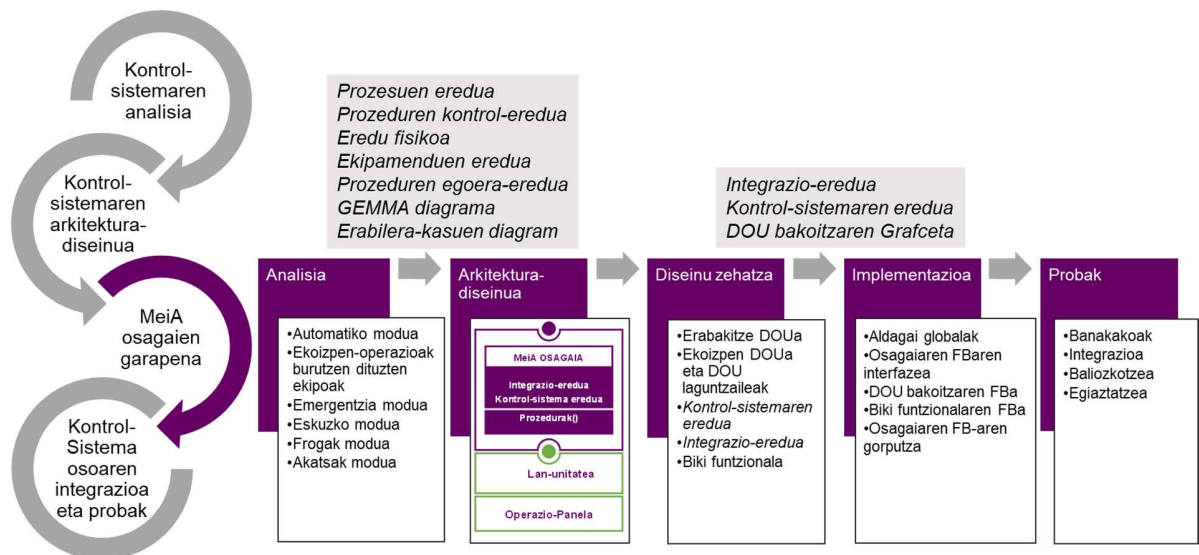
garatzeko, bai IEC 61131-3ren arabeko kodea sortzeko [6]. Gainera, metodologiak jarraibideak, txantiloak eta tresnak proposatzen ditu kontrol-software bat garatzeko. MeiA metodologia jarraituz, software hori kapsulatutako kontrol-unitateen (MeiA osagaiak) multzo bat da, eta elkarrekin lan egiten dute ekoizpen-helburuak lortzeko baita erabakiak hartzeko maila gorenekin integartzeko ere.

Artikuluaren egiturak MeiA 4.0 metodologia aurkezten duen atal bat jasotzen du, lau faseak deskribatuz. Hurrengo atalean, muntaketa eta biltegitratze lanak burutzen dituen FMS-200 zelularen kontrol-softwarearen garapena deskribatzen da. Sei MeiA osagai ditu, eta estrategia hierarkiko baten arabera kontrol-helburuak lortzeko elkarrengatzen dute. 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, beren funtzionaltasuna zerbitzu gisa eskaintzen dutenak, aplikazio-alderdi guztiak ezkututzen dituen interfaze baten bidez.

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



1. Irudia: Kontrol-sistemaren garapena

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

Kontrol-sistemaren analisia erabiltzailearen eskakizunetatik abiatzen da, ekoizpen-sistemaren helburua, helburu hori lortzeko eragiketak eta eragiketa horiek zein ordenatan egin behar diren deskribatzeko. Eskakizunetatik zehaztuko dira eragiketa-moduak, gainbegiratze-sistamarako 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-unitateak 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:

1. Taula: MeiA osagai bat eraikitzeke eta dokumentatzeko ereduak

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

- **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.

- 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 lengoia [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 dituen, eta osagaiaren egoera posibleen koordinazioa ere bere gain hartzen duena; *Produktzio-DOU*a, ekoizpen-eragiketak, haien arteko koordinazioa eta ekoizpen-parametroen hautaketa bezalako lanak burutzen dituen; eta *DOU laguntzailea*, hasierako eta segurtasun-baldintzak, martxan jartzeko baldintzak, abisuak eta antzeko zereginak betetzen dituen.
- 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, Oinarriko 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 biltegiatze lanak egiteko, eta garraio-sistema modular bat du, paletak unitate batetik bestera garraiatzeko. Produktuak muntatu beharreko lau pieza ditu: oinarria, errodamendua, ardatza eta estalkia. Multzo ezberdinak lor daitezke: bi altuera (altua edo baxua), bi materialeko ardatzak (aluminioa edo nylonezkoa) eta bi materialeko (aluminioa edo nylonezkoa), bi koloreko (argia edo iluna) eta bi altuerako (altua edo baxua) estalkiak daudelako.



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 garraio-eremuraino lekualdatu, eta oinarriaren posizioa egiaztatu. Oinarri okerra bada baztertuko da eta oinarria zuzena bada paletaren gainean jarriko da, bi zilindrok eta bentosa bidezko huts-sistema batek osatutako manipulazaila pneumatiko baten bidez. Bigarren unitatean (*S2 Robota*), robot batek biltegi banatetik errodamendua eta ardatza hartu eta oinarriari sartzeko ditu. Robotak bi pintza pneumatiko ditu. Hirugarren unitateak (*S3 Estalkia kokatzea*) estalki bat ateratzen du grabitate-elikagailu batetik, bere materiala, kolorea eta altuera egiaztatzen ditu sentsoreen bidez, estalki okerrak kentzen ditu eta zuzena sartzeko muntaketan. Zortzi posizioeko plater banatzaile batek, 45°-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. Hogeitamar 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.

Ondoren, kontrol orokorraren softwarea garatzeko lau faseak deskribatzen dira.

3.1. Kontrol-sistemaren analisia

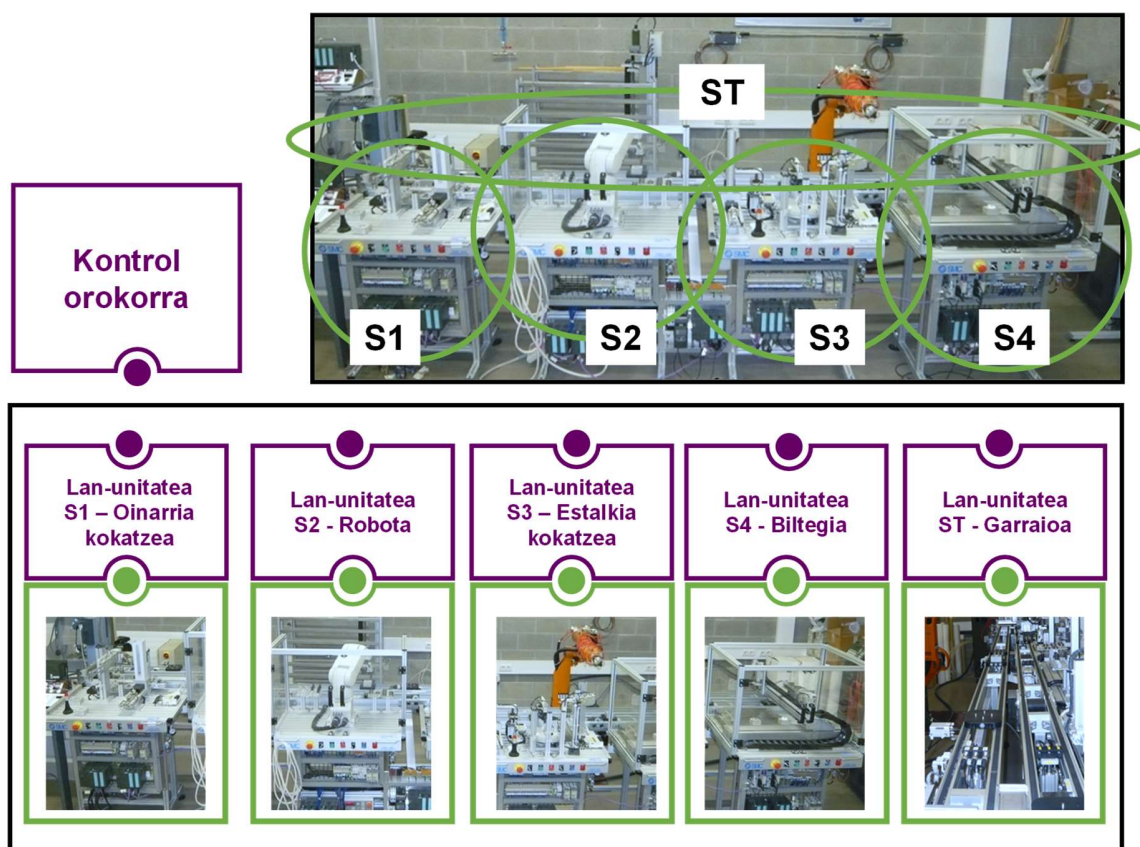
Erabiltzailearen eskakizunek analisian hasteko informazioa ematen dute (funtzionamendua, operazio moduak, abiapuntuko baldintzak, gainbegiratzeko beharrak eta seinaleak).

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 desaktibatzen Reset sakagailuarekin eta larrialdiko gelditze-sakagailuaren desblokeoarekin egiten da.



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 osagaiak eta kontrol orokorraren MeiA osagaiak osatzen dute.

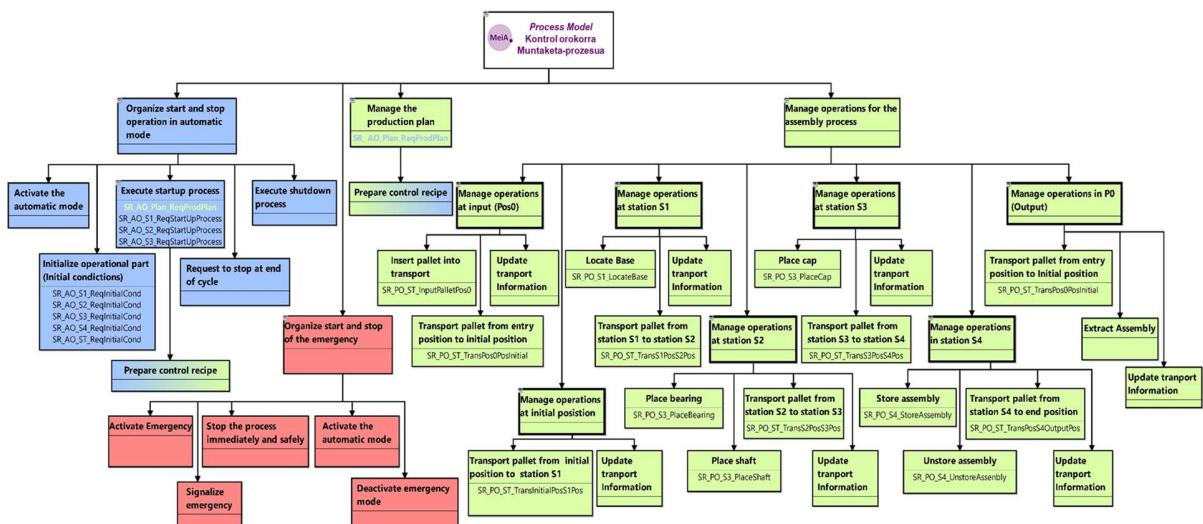
3.3 MeiA osagaien garapena

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-sistamarako, eta operazioen eta produktuen trazabilitatea; (5) elkarreragiten duten seinaleak, alde batetik, kontrol orokorrek, 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 euren DOU laguntzaileen bidez. Kontrol orokorraren operazio horiek guztiak bere *prozesuen eredian* ikus daitezke (4. Irudia). Operazio horietako batzuk zerbitzu-eskaera bihurtuko dira unitateen osagaiatzat.



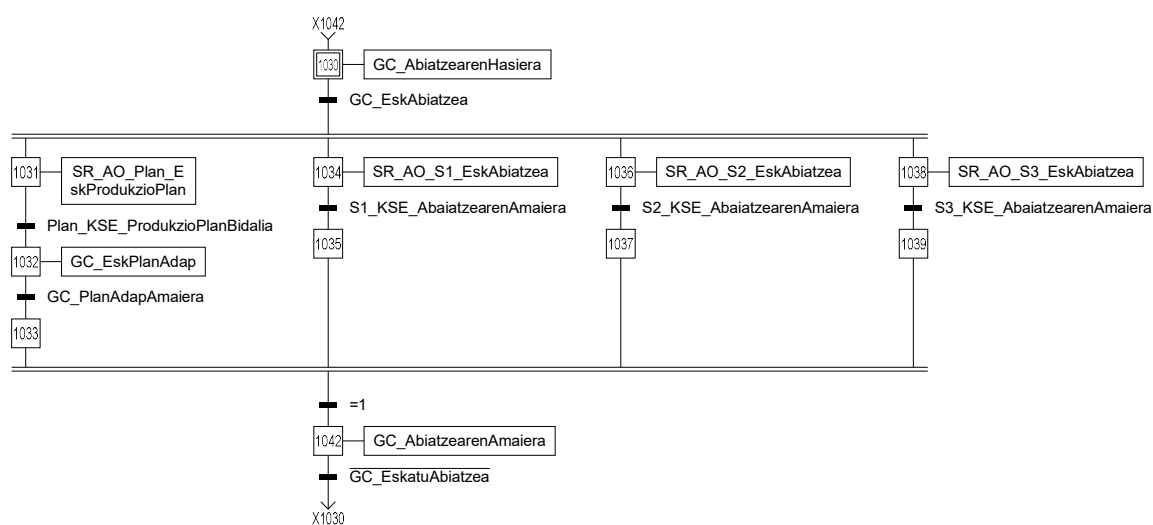
4. Irudia: Kontrol orokorraren *prozesuaren eredia*

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 beraien helbideekin, HMIA, planifikatzailea eta ikuskatze-sistema. Bestalde, KSE ereduak operazio-moduen eragiketak (automatikoa eta larrialdia) eta horiek ezartzen dituzten prozedurak biltzen ditu, kontrol-seinaleekin, eta baita ere lan-unitateetako biki funtzionalen osagaiekin jarduteko seinaleak ere.

3.3.3 Diseinu zehatza

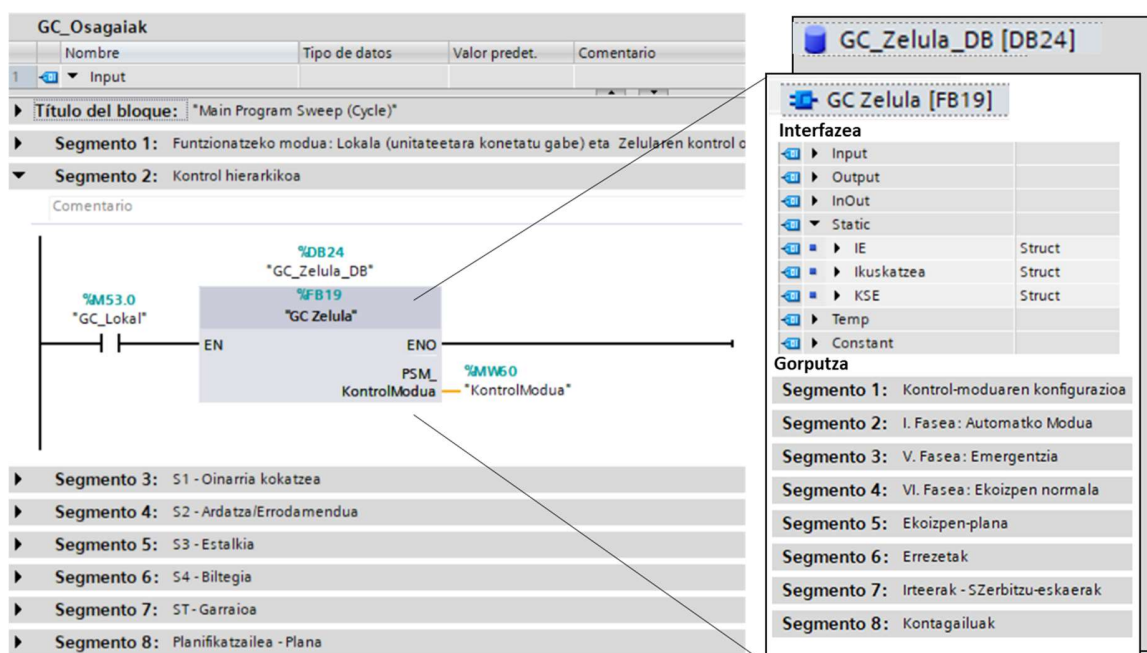
Prozeduren kontrol-ereduan zehaztutako prozedura bakoitzaren DOUa GRAFCET espezifikazio-lengoaia erabiliz eraikitzen da. Prozedura horiek *prozesuaren ereduan* bildutako operazioak egiten dituzte. Beraz, prozedura horiek unitateen osagaiek burutzen dituzten zerbitzu-eskaera multzo bat osatzen dute. Adibidez, 5. Irudiak DOU laguntzaile baten diseinu zehatza aurkezten 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 eredu 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 Implementazioa

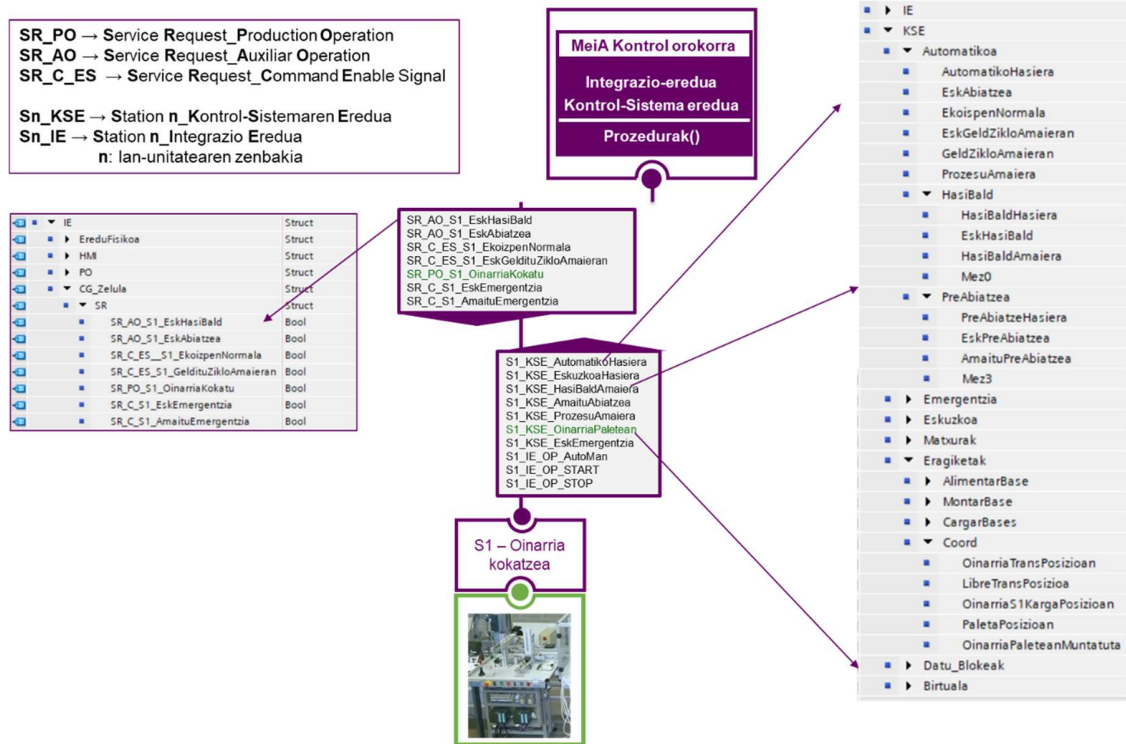
6. Irudiak FB motako POU-a erakusten du, TIA Portalen (Siemens) implementatutako kontrol orokorraren osagaiari dagokiona. Unitateen osagaiarekin ez bezala, ez dago sarrera/irteerarik FB-aren interfazean, ez dagoelako lotura fisikorik unitateekin.



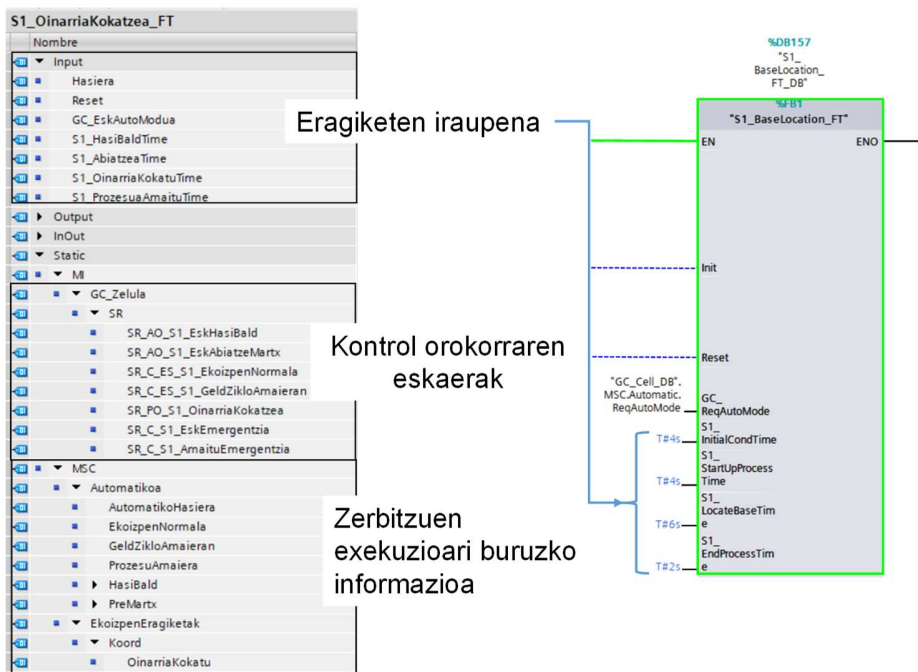
6. Irudia: Kontrol orokorraren MeiA osagaiaren implementazioa

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

Bestalde, unitatearen osagaiko biki funtzionala FB motako POU batean implementatzen da, kontrol orokorraren osagaiaren FBtik independentea dena. 8. Irudian biki funtzionalaren osagaiak S1 lan-unitaterako duen bloke-interfazea erakusten da. Bertan, sarrerak eragiketa-denborak dira, IE ereduak zerbitzu-eskaerak biltzen ditu eta KSE ereduak zerbitzuen exekuzioei buruzko informazioa jasotzen du. Biki funtzionalak unitatearen osagaiaren banakako, integrazio-, egiaztatze- eta baliozkotze-probak egiteko erabili dira.



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

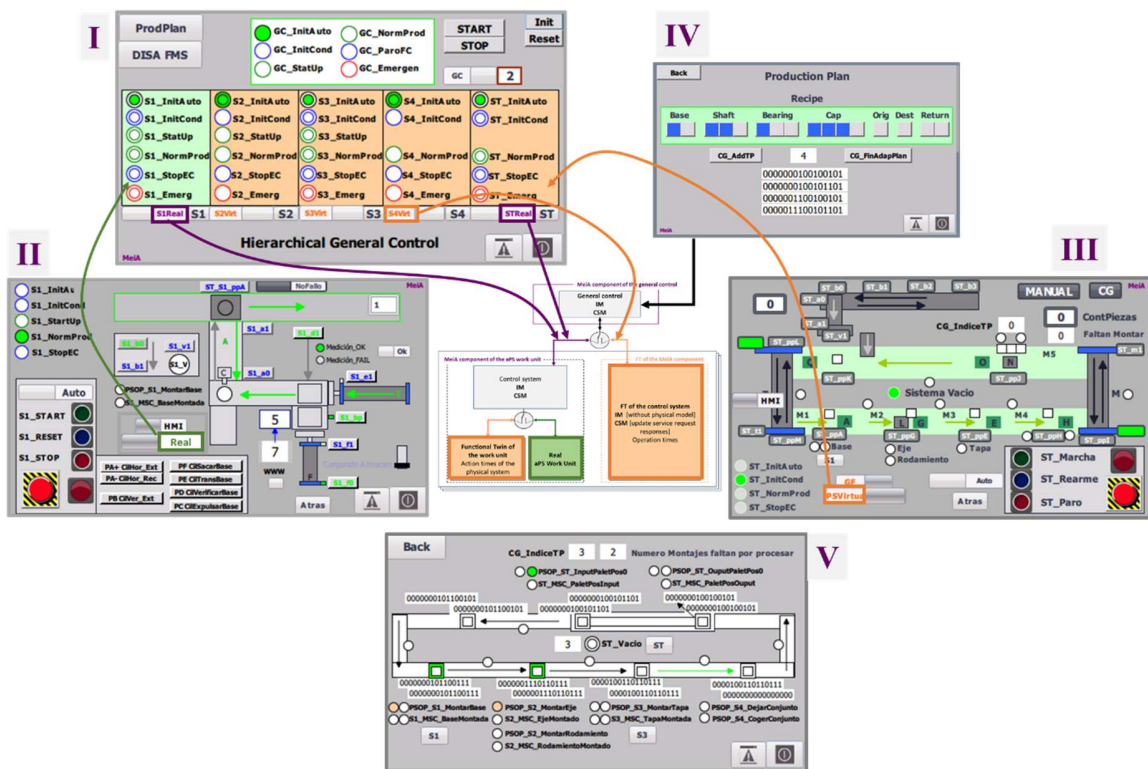


8. Irudia: S1 lan-uniteterako MeiA osagaiaren biki funtzionalaren bloke-interfazea

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 (I. irudiaren behealdean) biki funtzionalaren edo unitatearen osagaiarekin lan egitea hautatzeko. Horrela, irudian erakusten den exekuzio horretan, MeiA osagaiak unitate fisikoak kontrolatzen dituzte bi kasutan (S1 eta ST, letra morez) eta biki funtzionalak beste hiru kasuetan (S2, S3 eta S4, letra laranja).



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 (I pantailan - hondo berdez) edo biki funtzionalarekin (I pantailan - hondo laranja) lan egitea hautatzeko. Adibide honetan, S1 unitatearen

osagaiak benetako lan-unitatearekin funtzionatzen du (II pantaila), eta ST unitatearen osagaiak, berriz, biki funtzionalarekin (III 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 IV. pantaila erabiliz sartu behar da. Produkzio-planaren exekuzioa V. pantailan azalduko da.

ONDORIOAK

MeiA 4.0 diziplinarteko metodologia bat da, automatizazio industrialeko sistematarako kontrol-softwarearen garapena eta dokumentazioa gidatzen dituen. Alderdi operatiboetan eta ingeniartzako alderdietan zentratzen den arren, garatutako softwarearen malgutasuna, hedagarritasuna, segurtasuna eta mantengarritasuna ere kontuan hartzen ditu.

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

Lan-estazioak kontrolatzeko unitateek, MeiA osagaietan kapsulatuta daudenek, produkzio-helburuak gauzatzen laguntzen dute, baita hutsegite-egoeratan 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 ingeniartzako irakaskuntzetan txertatu da, industrian sartuko diren pertsonen behar dituzten prestakuntza-beharrei aurre egiteko.

3. 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'Etude 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>.