

Daniel Carayol Espasa

**Automatització i monitorització per Realitat
Augmentada de planta electropneumàtica**

**Treball Fi de Grau
dirigit per Joan Pere Fibla Biosca**

Grau d' Enginyeria en Electrònica Industrial i Automàtica



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2023

Índex

1. Introducció.....	6
2. Objectius i estructuració	6
2.1 Objectius.....	6
2.2 Estructura del projecte.....	7
2.3 Comunicacions.....	8
3. Planta pneumàtica	8
3.1 Funcionament i especificacions.....	9
3.1.1 Alimentador de peces.....	9
3.1.2 Braç rotatiu	10
3.1.3 Plataforma elevadora	12
3.1.4 Control del procés.....	14
3.2 Guia GEMMA.....	15
3.3 Elements físics	16
3.3.1 Connexió d'entrades i sortides físiques.....	16
3.3.2 Sistema pneumàtic.....	18
3.4 PLC.....	18
3.4.1 Variables.....	21
3.4.2 Controlador	23
3.4.2.1 General	23
3.4.2.2 Alimentador	24
3.4.2.3 Braç	26
3.4.2.4 Ascensor.....	28
3.4.2.5 Contactes	30
3.5 HMI	33
3.5.1 Interconnexió entre controlador i HMI	34
3.5.2 Pantalles.....	36
3.5.2.1 Pantalla 1	36
3.5.2.2 Pantalla 2	36
3.5.2.3 Pantalla 3	37
3.5.2.4 Pantalla 4	38
3.5.3 Finestres flotants	38
3.5.3.1 Ventana 1.....	38
4. Realitat augmentada.....	39
4.1 Node-Red	40
4.1.1 Instal·lació	40
4.1.2 Funcionament.....	43
4.1.2.1 Modbus Read	43

4.1.2.2	Function	45
4.1.2.3	Debug	45
4.1.2.4	Augmented Operator Variable.....	46
4.1.2.5	Augmented Operator Server	46
4.1.3	Execució i interfície	46
4.2	EcoStruxure Augmented Operator Advisor	47
4.2.1	Builder	48
4.2.2	Runtime.....	49
4.2.3	Aplicació mòbil	50
5.	Resultats.....	53
6.	Conclusions	55
7.	Referències	56
8.	Annexos.....	57

Índex de figures

Figura 1. Diagrama conceptual de connexions.....	7
Figura 2. Planta pneumàtica	9
Figura 3. Elements i passos de l'alimentador	10
Figura 4. Elements i passos del braç rotatiu	12
Figura 5. Elements de la planta elevadora.....	14
Figura 6. Passos de la planta elevadora	14
Figura 7. Guia GEMMA	15
Figura 8. Connexions conceptuals del Regleter	16
Figura 9. Connexions reals del Regleter	17
Figura 10. Pestanya de Propietats de SoMachine Basic.....	19
Figura 11. Pestanya Posada en funcionament de SoMachine Basic	20
Figura 12. Grafcet general.....	24
Figura 13. Grafcet de l'alimentador.....	25
Figura 14. Grafcet del braç inicial	26
Figura 15. Grafcet del braç, part 1.....	27
Figura 16. Grafcet del braç, part 2.....	28
Figura 17. Grafcet inicial de la plataforma elevadora	29
Figura 18. Grafcet de la plataforma elevadora	30
Figura 19. Contacte temporitzador de la cinta transportadora	30
Figura 20. Contactes dels comptadors globals	31
Figura 21. Contactes dels comptadors de peces individuals	32
Figura 22. Contactes de les actualitzacions els valors de les comptes	33
Figura 23. Configuració de la IP del PLC al Vijeo Designer	34
Figura 24. Configuració de la IP del HMI al Vijeo Designer.....	34
Figura 25. Configuració de la passarel·la al Vijeo Designer	35
Figura 26. Variables al Vijeo Designer.....	35
Figura 27. Pantalla 1	36
Figura 28. Pantalla 2	37
Figura 29. Pantalla 3	37
Figura 30. Pantalla 4.....	38
Figura 31. Configuració de l'acció d'obertura de Ventana 1	38
Figura 32. Ventana 1	39
Figura 33. Servidor funcionant al localhost.....	41
Figura 34. Manage palette	41

Figura 35. Llibreries Node-Red	42
Figura 36. Direcció de la carpeta Node-Red a substituir.....	42
Figura 37. Capses de AOA Schneider Electric.....	43
Figura 38. Flow del Node-Red	43
Figura 39. Característiques de la caixa Modbus Read	44
Figura 40. Característiques de l'autòmat a la caixa Modbus Read	44
Figura 41. Codi de la caixa function 1	45
Figura 42. Codi de la caixa function 8.....	45
Figura 43. Configuració de la caixa debug.....	46
Figura 44. Variables rebudes al Node-Red periòdicament	47
Figura 45. Pàgina principal de AOA Runtime.....	49
Figura 46. Configuració de AOA Runtime	50
Figura 47. Configuració App AOA	51
Figura 48. IP de la xarxa Wi-Fi.....	51
Figura 49. App AOA. Inici de sessió a la IP configurada.....	51
Figura 50. Realitat Augmentada sense càmera	52
Figura 51. Realitat Augmentada en funcionament. Disposició de llistes.....	53
Figura 52. Realitat Augmentada en funcionament. Llistes desplegades	54

1. Introducció

El món que ens envolta està ple de sistemes independents i automàtics que fan molt més senzilla la vida d'incomptables persones. Aquestes, encara que avui dia segueixin sent alienes a les facilitats en les que viuen, aprofiten moltes de les seves avantatges en molts sectors: comercials, industrials, serveis, etc. Aquesta tecnologia no solament és innovadora, sinó que també està obligada a millorar-se i optimitzar-se tant en l'estat de producció com a servei pel client final, així que el avenços i l'adaptació són els principis bàsics d'aquesta indústria.

Un d'aquests serveis que estan començant a coexistir junt amb la tecnologia més familiar ha sigut la Realitat Augmentada. Aquesta tecnologia es va dissenyar amb l'objectiu clar de millorar la qualitat de vida de moltes feines, des dels serveis fins la pròpia producció d'altres àmbits tecnològics, com per exemple els semiconductors.

Moltíssimes indústries tecnològiques ja han començat a implementar la monitorització dels processos de les seves plantes de producció mitjançant la Realitat Augmentada, fins el punt en què està començant a ser un element indispensable. Encara que l'aplicació d'aquesta tecnologia comença a ser la norma, l'educació i la preparació per utilitzar aquests dispositius no sembla seguir aquesta tendència. Per tal de proposar l'estudi i la implementació de la Realitat Augmentada dins el pla d'estudis d'enginyeria, en concret pel grau d'Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica, es va crear aquest projecte: implementar aquesta nova tecnologia a projectes ja contemplats o realitzats a les assignatures respectives, com per exemple l'assignatura d'Automatització.

El projecte elegit per implementar la Realitat Augmentada ha sigut la planta pneumàtica classificadora de peces, a l'aula del Laboratori 107, a la planta de laboratoris del Campus Sescelades, de la Universitat Rovira i Virgili. El resultat que es buscarà al projecte no serà solament implementar la Realitat Augmentada, sinó també explicar com fer-ho i quines avantatges hi ha amb el seu ús.

La planta pneumàtica es controlarà mitjançant un autòmat PLC, encara que també s'utilitzaran altres dispositius en paral·lel, com per exemple una pantalla per oferir a l'usuari una interfície amb la qual interactuar (HMI) i una IOT Box amb la qual executar la Realitat Augmentada.

2. Objectius i estructuració

2.1 Objectius

El projecte ha de complir certs requisits i aconseguir diversos objectius. En primer lloc, els requisits són clars: utilitzar el material disponible a l'aula de laboratori i confeccionar una memòria didàctica que pugui servir de guia per a que qualsevol enginyer o enginyera (amb coneixements bàsics d'Automatització i/o Perifèrics en instal·lacions d'automatització) pugui realitzar el mateix projecte amb els mateixos recursos i amb els mateixos resultats.

Per altre lloc, el projecte té dos objectius principals. El primer és aconseguir una planta pneumàtica autònoma funcional que sigui capaç de realitzar la seva tasca, concretament la classificació de peces segons el seu tipus en diferents caixes a partir d'un cartutx que alimenti de peces a la planta.

El segon objectiu és implementar la Realitat Augmentada a la planta pneumàtica i demostrar així les avantatges d'aquesta tecnologia, així com entendre el funcionament intern dels software d'aquest tipus de programes. A més a més, l'ús d'aquesta tecnologia al projecte vol demostrar que, encara que no hi hagi coneixements previs o educació específica

proporcionada per la universitat, l'ús de programes, funcions i dispositius externs i homologats és possible per qualsevol alumne que s'ho proposi.

Com és evident, la varietat de hardware i software a la indústria de l'automatització és prodigiosa però inabordable, així que per assegurar la compatibilitat entre tots els dispositius (tant hardware com software) del projecte s'ha optat per utilitzar aquells que pertanyen a l'empresa Schneider Electric, així com altres dispositius compatibles amb aquests.

2.2 Estructura del projecte

Per una millor comprensió de com estan interconnectats els elements, i degut a la varietat de hardware necessari, a continuació es mostra un esquema conceptual de les connexions entre cada part del projecte, així com la informació bàsica de cada element.

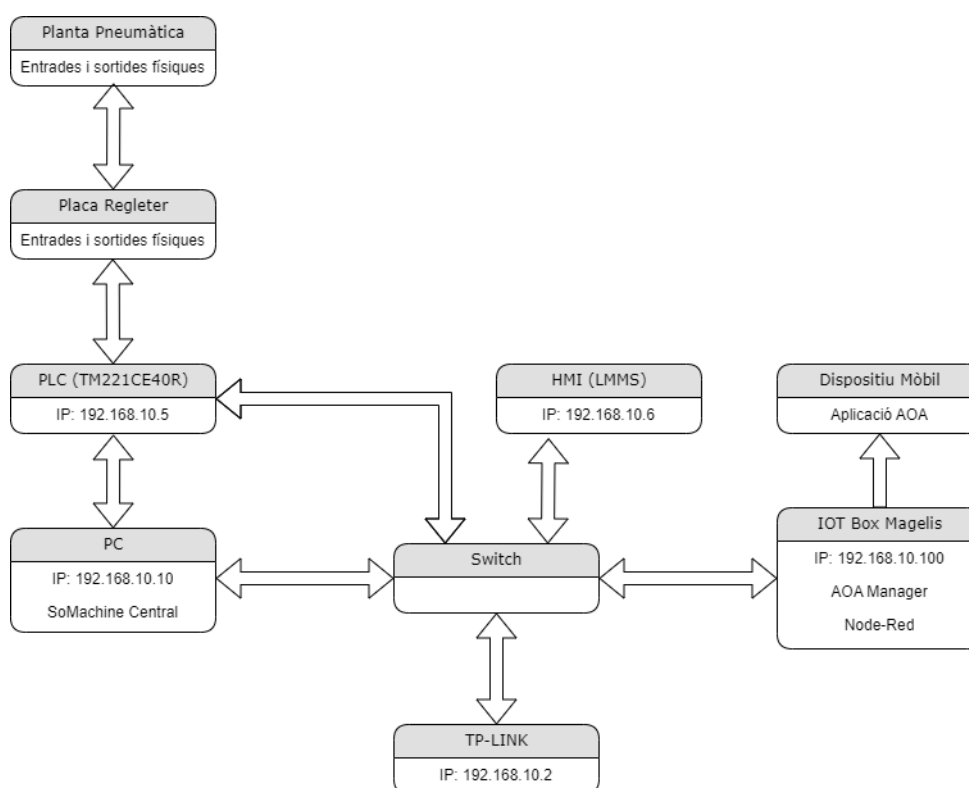


Figura 1. Diagrama conceptual de connexions

Per una part, es pot veure que l'element central del projecte és el PLC, el qual es connectarà via Ethernet a diversos elements mitjançant un Switch. D'aquesta manera, el PC principal pot comunicar-se tant amb el PLC, el HMI i la IOT Box Magelis. A més a més, el propi PLC està connectat a la vegada via USB al PC principal (per configurar en un principi les IPs), però també està connectat via Ethernet al Switch.

Per altre part, també cal comentar que el TP-LINK també es pot utilitzar per connectar cada element mitjançant una connexió Wi-Fi. És més, aquesta és la manera en què s'ha comunicat el PC principal amb el PLC i el HMI.

Pel que fa la connexió entre la planta pneumàtica física i el PLC, aquesta s'ha fet mitjançant una Placa Regletera que comunica les entrades i les sortides de la planta (sensors i actuadors).

Per últim, es pot veure que també s'utilitzarà un PC industrial, en concret la IOT Box Magelis, que serà l'encarregat d'executar el software necessari per la implementació de la Realitat Augmentada. Aquest funcionarà com servidor per poder enviar les dades necessàries al dispositiu de realitat augmentada (un *smartphone*), i estarà connectat via Ethernet al Switch.

2.3 Comunicacions

A continuació es mostra a una taula que resumeix els aspectes més importants de les comunicacions al projecte:

Taula 1. Resum de les IP

Element	IP
TM221CE40R	192.168.10.5
PC principal	192.168.10.10
HMI	192.168.10.6
IOT Box Magelis	192.168.10.100
TP-LINK	192.168.10.2
Xarxa Wifi	10.112.159.230

Més endavant, als apartats 3.4 i 3.5 respectivament, s'explicarà com configurar les passarel·les del TP-LINK. Com es pot observar també a la taula anterior, totes les IPs (la Wi-Fi és una excepció) comparteixen les mateixes primeres xifres, de la manera 192.168.10.XXX. Això és degut a que, al compartir la mateixa xarxa (i al tenir una màscara subxarxa de 255.255.255.0), s'exigeix que els elements de dins la xarxa tinguin les mateixes xifres als tres primers camps. Per tant, per diferenciar cada element dins de la xarxa, aquests tenen un diferent valor a l'últim camp. En cas que diversos elements arribessin a compartir la mateixa IP, hi hauria errors en les comunicació i s'impossibilitaria l'execució dels diferents software.

3. Planta pneumàtica

La planta física que efectuarà la classificació de peces és pneumàtica. Aquest sistema utilitza l'aire a pressió per fer que, mitjançant diferencials de pressió, certs elements (actuadors) efectuïn un treball en concret. Els actuadors pneumàtics que s'usaran en aquesta planta, per exemple, són els pistons de simple efecte.

Per altre part, la planta pneumàtica també compta amb diversos elements que serviran per seguir els processos i vigilar el correcte funcionament del conjunt. Exemples d'aquests tipus són els sensors digitals i els finals de carrera.

Per últim, també s'utilitzarà una cinta transportadora que s'activarà digitalment des del controlador (l'autòmat, o PLC), i per tant no és part del sistema pneumàtic.

La planta pneumàtica, així com tot el conjunt de sensors, actuadors, finals de carrera i el compressor principal, ha sigut proporcionada al complet per la Universitat Rovira i Virgili, concretament les instal·lacions de l'aula del Laboratori 107 del campus Sescelades. Aquesta planta disposa de tots els recursos necessaris pel funcionament mecànic i pneumàtic bàsic del projecte, així com també està a disposició tota la varietat de software i hardware adient.

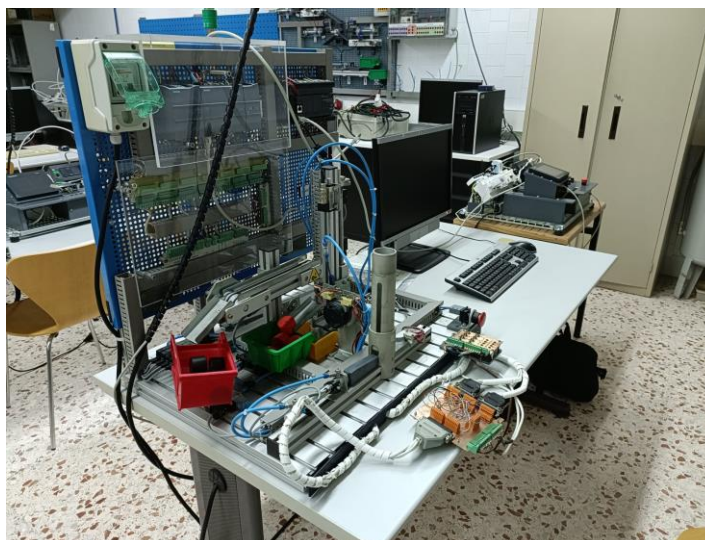


Figura 2. Planta pneumàtica

En els següents apartats s'explicaran en detall les propietats i especificacions tècniques de la planta pneumàtica i, més endavant, a partir de l'apartat 3.4 s'explicarà la programació de la planta via autòmat, així com també la implementació de diversos perifèrics.

3.1 Funcionament i especificacions

Com s'ha comentat als apartats anteriors, l'objectiu de la planta és classificar correctament un conjunt de peces mitjançant l'automatització de la planta, i el resultat de tot el procés ha de ser un sistema d'identificació i classificació per diferents tipus de peces. El filtre que s'encarregarà d'identificar les peces dictaminarà quin tipus de peces està processant, quina part de la planta s'ha d'usar, i per últim a quina caixa col·locar la peça.

Per dur-ho tot a terme, la planta ha de ser separada en diferents parts que s'encarregaran d'uns petits processos individuals que, amb una bona comunicació intrínseca, siguin capaços de treballar complementàriament i de la forma més òptima.

Les parts en les que s'ha estructurat la planta són:

3.1.1 Alimentador de peces

L'alimentador de peces és la primera part del procés, on un pistó col·locarà (o no, segons el cas del conjunt) una peça per introduir-la a la planta. Aquest pistó, així com també la resta de pistons de la planta, és de simple efecte, i per tant solament estarà actiu quan rebí la instrucció indicada, però retornarà a l'estat de repòs quan no rebí cap senyal (degut a la molla que posseeix).

L'element que proporciona peces a l'alimentador és un cartutx, en el qual les peces són introduïdes de forma externa en forma de columna. El propi pes de les peces fa que, una vegada el pistó sigui en posició de repòs, la peça més baixa es col·loqui dins la trajectòria de l'expansió del pistó.

Una vegada s'hagi pres la decisió d'activar el pistó, aquest empenyerà la peça fins una posició concreta, on s'identificarà si la peça ha sigut moguda correctament mitjançant un final de carrera. De la mateixa manera que es pot seguir la posició de la peça moguda, també es pot saber quina és la posició del pistó (en repòs o activat) mitjançant dos sensors

col·locats als extrems del mateix sensor. Tal i com es veurà més endavant, aquesta configuració de dos sensors per un mateix pistó es seguirà repetint cada vegada que es necessiti un pistó.

Donada la disposició del pistó i el cartutx de peces, quan el pistó està activat bloqueja l'entrada de més peces, i no permet la introducció d'una nova peça fins que aquest no torni al seu estat de repòs.

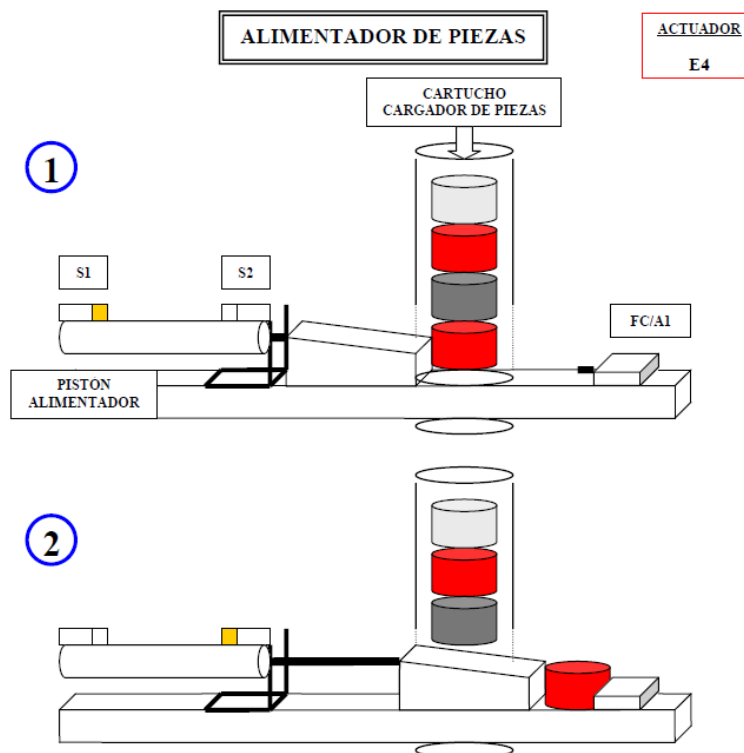


Figura 3. Elements i passos de l'alimentador

L'única especificació que hi ha respecte aquesta part de la planta és que el pistó solament pot subministrar una peça a la planta sempre i quan el braç rotatiu estigui en posició de seguretat. Això és degut a que si el pistó mou una peça i el braç està col·locat per "agafar" una peça, donades les dimensions del braç aquest i la peça xocarien i podrien malmetre el correcte funcionament mecànic del braç.

3.1.2 Braç rotatiu

El braç rotatiu s'encarrega de transportar les peces subministrades per l'alimentador fins la plataforma elevadora. Aquest sempre està molt condicionat per l'entorn, i per tant caldrà contemplar i dissenyar cadascuna de les situacions en què es pot trobar.

En primer lloc, el braç està format per dos finals de carrera i dos actuadors. Els finals de carrera indiquen si el braç es troba en la posició de l'alimentador o de la plataforma, i els actuadors mouen el braç rotatiu fins una posició o l'altra (evidentment, quan un actuator s'activi, l'altre no ho podrà fer). D'aquesta manera, i utilitzant també el final de carrera de l'alimentador de peces i els diversos sensors de la plataforma elevadora, el braç procurarà sempre de no molestar cap procés pròxim.

Per una banda, el braç té com primera especificació iniciar el procés en posició de seguretat, és a dir, en la posició de la plataforma. Això és degut a que quan entri una peça a la planta, aquesta no xoqui amb el braç en cap moment. A continuació, quan es detecti que hi ha una peça (mitjançant el final de carrera de l'alimentador), el braç rotarà fins la posició de l'alimentador.

Una vegada col·locat a la posició de l'alimentador, s'activarà la ventosa situada a l'extrem del braç (encarada cap baix, cap a les peces). Una vegada activada, i per l'efecte Venturi, la ventosa xuclarà la peça i l'agafarà per poder-la transportar fins la posició de la plataforma elevadora. Si la situació de la plataforma elevadora és la indicada (és a dir, que sigui a la planta baixa i no hi hagi cap peça ni cap pistó activat), el braç rotarà fins la posició de la plataforma.

Un cop arribi el braç a la posició de la plataforma, es desactivarà la ventosa, i per tant la peça caurà a la plataforma (dissenyada concretament per poder suportar una peça de la mida indicada). Un cop el braç hagi deixat la peça, la plataforma voldrà col·locar la peça al seu lloc. Com és possible que la plataforma hagi d'elevat-se, i el braç es troba enmig del desplaçament, aquest s'ha de retirar fins la posició de l'alimentador.

Donat aquest cas, i per optimitzar el temps i els recursos, l'alimentador ja hauria d'haver subministrat una nova peça a la planta que ja hauria d'estar preparada per ser transportada pel braç. Per tant, un cop el braç ha deixat la peça a la plataforma i detecta una peça preparada a l'alimentador, aquest rota fins la posició de la nova peça. Quan el braç es situa a la posició de l'alimentador, la plataforma col·locarà la peça de la manera necessària (ja sigui elevat-se o no), i fins que aquesta no retorni a la seva posició de repòs (ser a la planta baixa, sense peça i el pistó en repòs), el braç no podrà transportar la nova peça a la plataforma i, per tant, repetir el cicle.

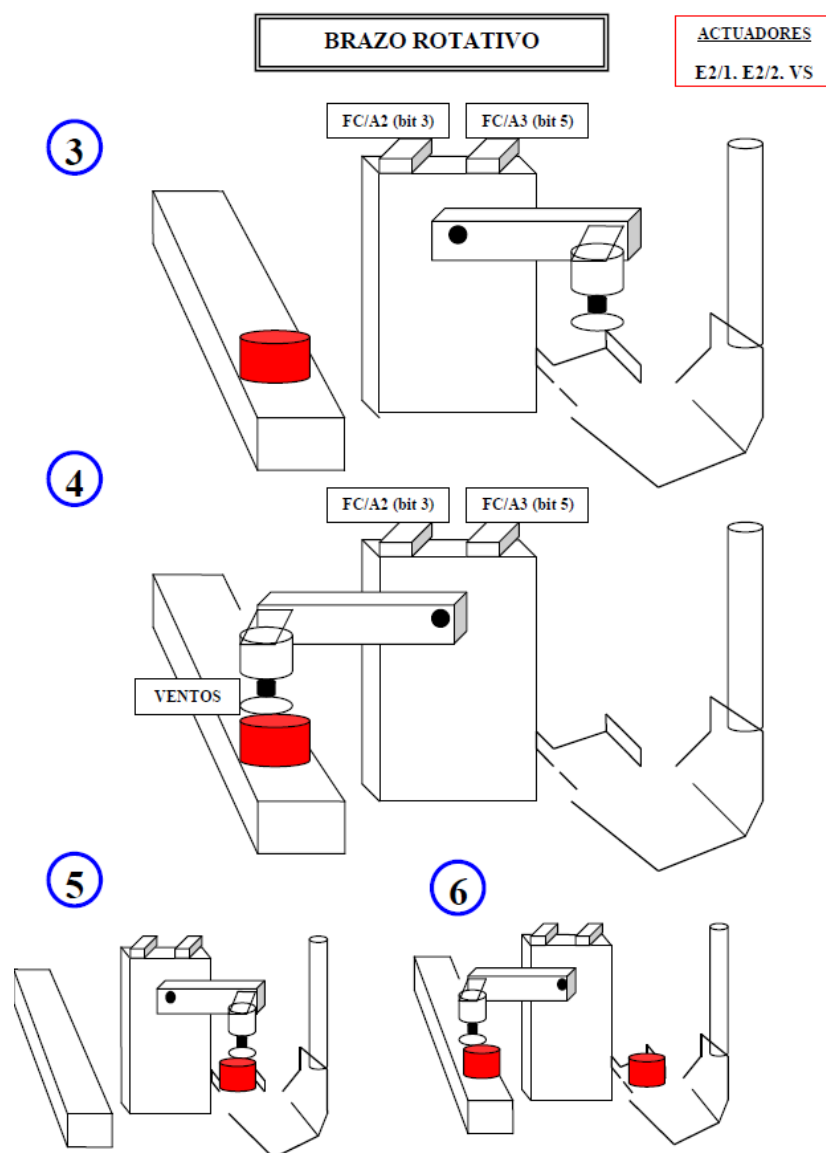


Figura 4. Elements i passos del braç rotatiu

3.1.3 Plataforma elevadora

La plataforma elevadora, o ascensor, és la tercera i última part de la planta pneumàtica, i s'encarrega d'enviar cada peça a la seva caixa corresponent. Per fer-ho, aquesta part necessita molts sensors i actuadors, així com també informació del moviment i la posició del braç.

Per una part, l'ascensor disposa de diversos sensors. Per una part, hi ha els sensors d'altitud, que indiquen a quina planta es situa la plataforma en cada moment. Hi ha un sensor per planta, i com és evident, dos sensors no s'activaran alhora degut a les dimensions de la plataforma.

Per altre part, també hi ha dos sensors que corresponen al pistó de la planta elevadora. Aquests indicaran la posició del pistó quan aquest hagi sigut activat per expulsar una peça i l'hagi col·locat a una caixa o l'hagi enviat a la cinta transportadora.

Per últim, hi ha un segon grup de sensors que s'ocupen de filtrar les peces per la seva correcta classificació. Aquests sensors són de diferents tipus, i cadascun extreu informació complementària de cada peça. Les possibles lectures dels sensors són les següents:

Taula 2. Selecció de peces

Sensor Capacitiu	Sensor Inductiu	Sensor òptic	Peça identificada	Caixa (Planta)
0	0	0	No hi ha peça	-
0	0	1	No hi ha peça	-
0	1	0	No hi ha peça	-
0	1	1	No hi ha peça	-
1	0	0	Peça Negra	Vermell (Alta)
1	0	1	Peça Vermella	Verd (Mitjana)
1	1	0	Combinació incorrecta	-
1	1	1	Peça Metàl·lica	Groc (Baixa)

Respecte els actuadors, hi ha quatre en total en aquesta part de la planta. Dos d'ells s'ocupen d'elevat o baixar la planta, i el tercer és el que activa la cinta transportadora. El quart correspon al pistó que s'encarrega d'expulsar la peça de la plataforma elevadora una vegada aquesta s'hagi situat a la planta indicada. Tal i com s'ha mencionat anteriorment, aquest també és un pistó de simple efecte.

Pel que fa al funcionament de l'ascensor en sí és molt senzill. Aquest té una única funció, i solament la podrà efectuar quan el braç estigui situat lluny de la plataforma. Aquesta, en primer lloc, identificarà mitjançant els sensors de la Taula 1 quin tipus de peça ha arribat, i elevarà la plataforma fins la planta desitjada. Independentment del cas en que es trobi respecte el tipus de peça, una vegada la plataforma estigui col·locada a la planta corresponent s'activarà el pistó que expulsarà la peça. En cas que sigui la planta baixa o la mitjana, la peça caurà directament a la seva caixa. Però, en cas que sigui la planta alta, no s'activarà el pistó fins que la cinta transportadora no s'hagi activat prèviament (i després de donar uns segons per arribar a la velocitat mitjana de la cinta). Un cop la cinta es mogui, el pistó empenyerà la peça i aquesta, moguda per la cinta, caurà a la caixa de dalt.

Una vegada s'hagi col·locat la peça, la plataforma baixarà i desactivarà el pistó (i la cinta en cas que l'última peça col·locada hagi sigut a la planta alta), de manera que, quan arribi a la planta baixa, la plataforma es trobi en estat de repòs perquè el braç pugui transportar una nova peça a classificar.

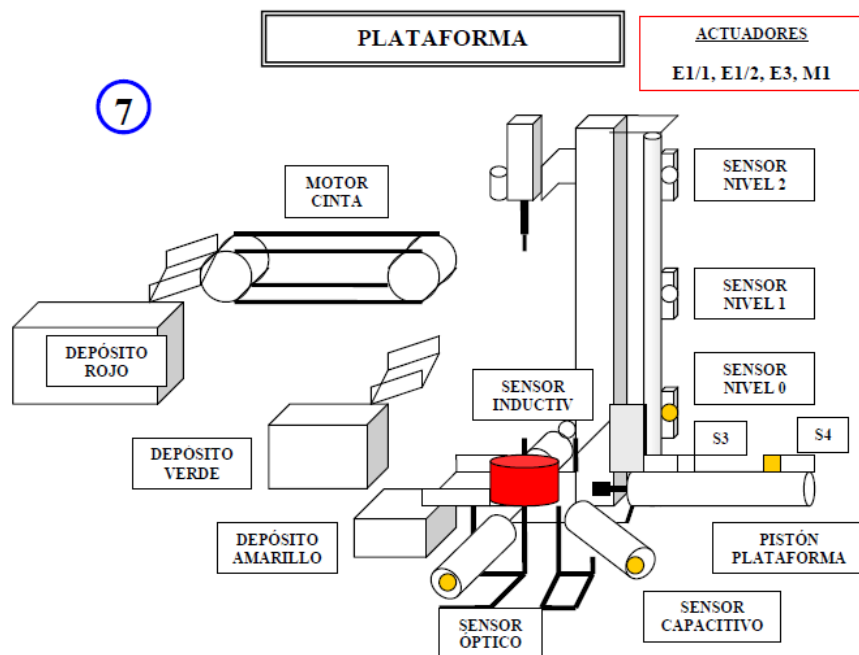


Figura 5. Elements de la planta elevadora

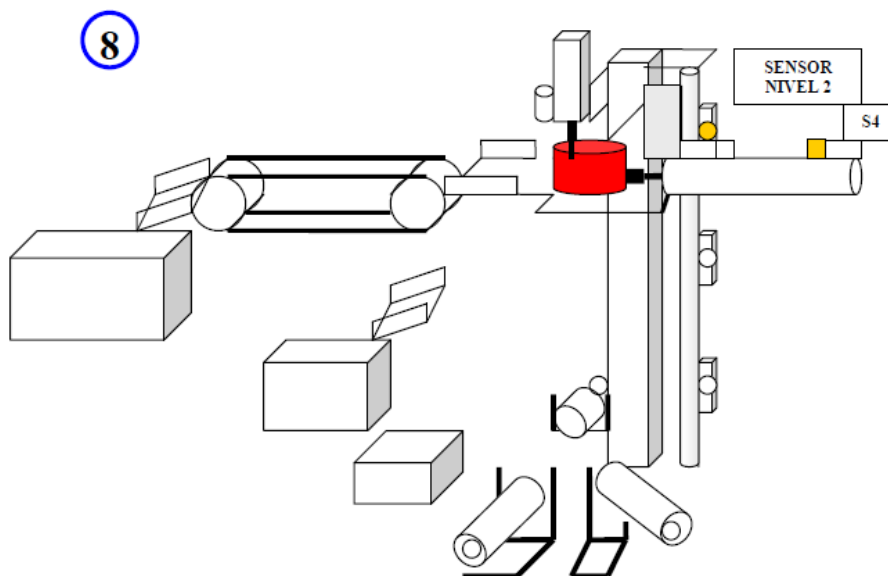


Figura 6. Passos de la planta elevadora

3.1.4 Control del procés

Per configurar el tipus de funcionament general de la planta, cal tenir un sistema de control remot des del qual un operari pot decidir quan activar, parar o desactivar la planta. Aquest control es fa des del dispositiu HMI que està connectat al PLC, però el funcionament de cada tipus de funcionament es pot definir prèviament.

Per una part, hi ha el funcionament normal, o l'estat de Marxa. Aquest pot ser premut després d'iniciar la màquina, d'una parada o d'una parada d'emergència. L'estat de Marxa fa funcionar la planta de manera normal, i seguirà de la mateixa manera fins que es decideixi canviar el funcionament a Parada, Parada d'Emergència, o Falta de peces. Aquest últim cas

és l'únic que no pot ser activat manualment ja que la pròpia planta s'ha d'encarregar de detectar la manca de peces al cartutx de peces, situat a l'alimentador.

A més a més, el mode de Marxa permet una inicialització de tota la planta en cas que l'últim mode de funcionament hagi sigut el de Parada d'Emergència. Això és degut a que no es pot assumir en cap cas l'estat en què estava la planta quan s'hagués iniciat la Parada d'Emergència, i per tant caldria reprendre cada element de la planta al seu estat de repòs. En cas que el mode anterior a la Marxa hagués sigut diferent, no caldria la inicialització de tot la planta, ja que la finalització d'aquesta en la resta de modes és la de repòs predefinit.

Per altre part, el mode de Parada és un mode de finalització de procés no immediat, ja que permet a la planta acabar el processat de les peces ja introduïdes a la planta (però impedeix la introducció de noves peces a la planta). Es pot retornar a l'estat de Marxa en qualsevol moment una vegada el mode sigui el de Parada.

De manera similar, el mode de Falta de peces també efectua una parada, i solament permetrà tornar al mode de Marxa quan hi ha peces disponibles al cartutx (és a dir, l'operador ja haurà d'haver subministrat noves peces).

Per últim, el mode d'Emergència paralitza completament la planta, i és imprescindible per aturar la planta en cas que s'hagi detectat un error en qualsevol procés que pogués malmetre cap element de la planta o el seu funcionament. Una vegada s'ha arribat a aquest mode, els operaris hauran d'extreure les peces aturades a mig procés manualment.

3.2 Guia GEMMA

Tal i com s'ha mencionat a l'apartat anterior, la planta disposa de diferents estats o modes de funcionament. Per tal de sintetitzar tot el contingut en un esquema senzill, s'ha dissenyat la seva guia GEMMA:

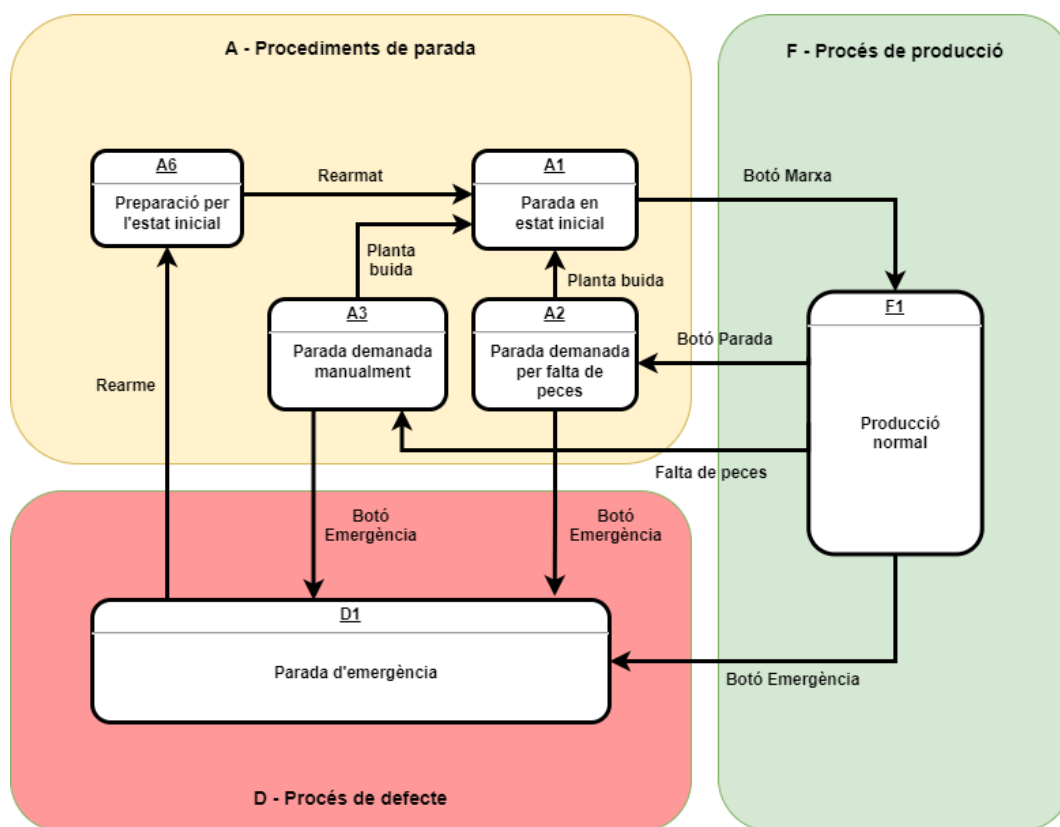


Figura 7. Guia GEMMA

3.3 Elements físics

Si bé en els apartats anteriors s'han definit les especificacions conceptuals del projecte, cal esmentar i definir també el conjunt d'elements físics que fan possible el funcionament de la planta pneumàtica. En concret, es fa referència als pistons de simple efecte, sensors, finals de carrera i motors elèctrics (pel que fa a la planta pneumàtica), com també l'entramat de senyals necessari per connectar i comunicar la planta amb el controlador (*regleter*).

3.3.1 Connexió d'entrades i sortides físiques

Com s'ha pogut veure a la Figura 1, per connectar les entrades i les sortides físiques de la planta pneumàtica amb les entrades i sortides digitals de l'autòmat és necessària una placa, o *regleter*. Aquesta placa permet connectar manualment mitjançant el cablejat els diferents pins d'ambdós elements, i per tant proporciona una maniobrabilitat molt important per corregir la comunicació entre ells en qualsevol moment.

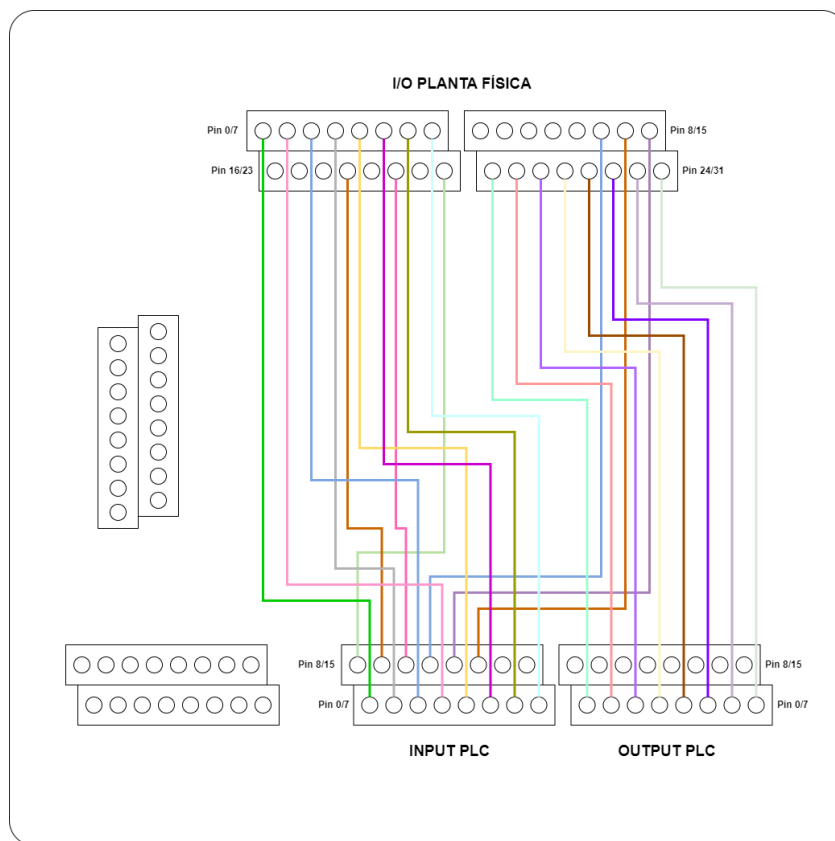


Figura 8. Connexions conceptuals del Regleter

Per una part, i tal i com es pot veure a la Figura 7, estan els 32 pins que pertanyen a les entrades i les sortides físiques de la planta pneumàtica. No s'usen la totalitat d'aquests, sinó solament una porció d'aquests, degut a la manera en què es va imprimir la pròpia placa. A més a més, cal remarcar que la disposició dels pins també està orientada a separar el tipus d'informació que es transmet: els pins compresos del 0 al 15 (aquests inclosos) són els diferents sensors, dels 16 al 23 els finals de carrera, i dels 24 al 31 les sortides, com per exemple són les electrovàlvules i els relés. A la Taula 2 està resumida la seva distribució.

Cal mencionar també que les senyals dels finals de carrera, situats entre els pins 16 i 23, són de dos tipus: les senyals amb contacte i sense contacte (NC i NO). La única diferència és el context on s'emet una senyal de valor 1 o 0: en el cas del contacte, emetrà un 1 quan existeixi un contacte amb el final de carrera; altrament, el sense contacte emetrà un 1 mentre no hi hagi contacte. Els pins utilitzats en aquest projecte han sigut els NC, amb contacte, però també es podrien utilitzar els pins 22, 20 i 18 per tenir al mateixa funcionalitat (òbviament, canviant també la programació del controlador).

Com que en aquest cas no s'ha volgut transmetre cap informació analògica, els ports respectius a la transmesa d'aquest tipus no ha estat utilitzada.

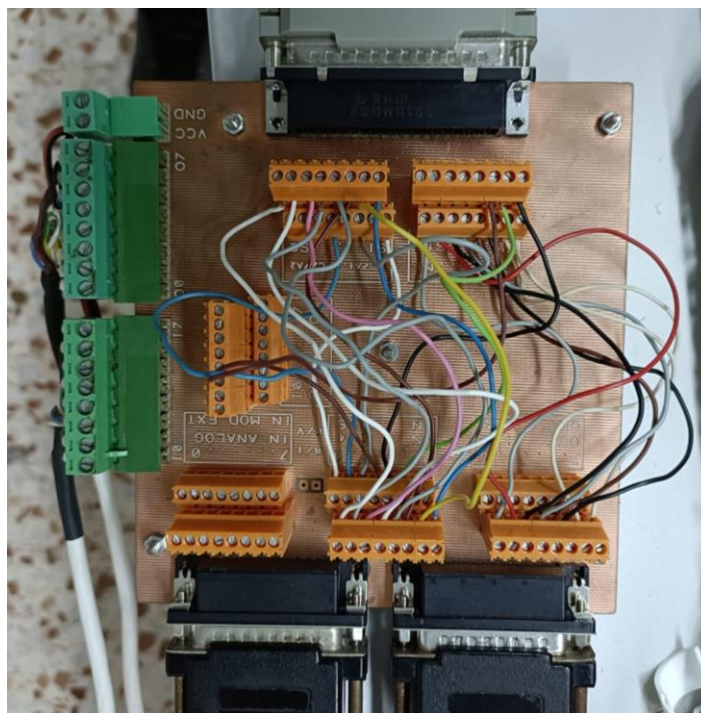


Figura 9. Connexions reals del Regleter

A la taula que hi ha a continuació estan localitzats i referenciats cada sensor i actuator de la placa:

Taula 3. Entrades i sortides físiques de la planta pneumàtica.

Nom	Pin	Tipus	Entrada/Sortida	Referència
sAb	0	Sensor	Entrada	Sensor de posició baixa de l'ascensor.
sCa	1	Sensor	Entrada	Sensor capacitatiu.
sInd	2	Sensor	Entrada	Sensor inductiu.
sOp	3	Sensor	Entrada	Sensor òptic.
sp1r	4	Sensor	Entrada	Sensor de repòs del pistó de l'ascensor.
sp1a	5	Sensor	Entrada	Sensor d'activació del pistó de l'ascensor.
sp0a	6	Sensor	Entrada	Sensor d'activació del pistó alimentador.
sp0r	7	Sensor	Entrada	Sensor de repòs del pistó alimentador.
sVa	13	Sensor	Entrada	Sensor del buit de l'extrem del braç.
sAm	14	Sensor	Entrada	Sensor de posició mitjana de l'ascensor.
sAa	15	Sensor	Entrada	Sensor de posició alta de l'ascensor
fcB1	19	Final de carrera	Entrada	F. de carrera del braç en posició alimentador.

fc2	21	Final de carrera	Entrada	F. de carrera del braç en posició ascensor.
fca	23	Final de carrera	Entrada	F. de carrera de l'alimentador.
m1	24	Relé	Sortida	Relé activador de la cinta transportadora.
Valvula	25	Electrovàlvula	Sortida	Relé activador de crear buit a la vàlvula.
Pal	26	Pistó simple	Sortida	Pistó simple de l'alimentador.
Ppl	27	Pistó simple	Sortida	Pistó simple de l'ascensor.
ev2/1	28	Electrovàlvula	Sortida	Rota el braç a la posició de l'alimentador.
ev2/2	29	Electrovàlvula	Sortida	Rota el braç a la posició de l'ascensor.
ev1/2	30	Electrovàlvula	Sortida	Baixar ascensor.
ev1/1	31	Electrovàlvula	Sortida	Pujar ascensor.

3.3.2 Sistema pneumàtic

La totalitat de la planta, en concret les vàlvules, la xarxa pneumàtica que connecta els pistons i els actuadors i finals de carrera, és resultat de l'ús d'elements de l'empresa FESTO. Aquesta és una empresa especialitzada en la fabricació d'eines industrials per l'automatització de sistemes pneumàtics i electrònics. La planta pneumàtica està instal·lada dins el laboratori i no cal fer-hi modificacions.

Pel que fa la informació més genèrica de cada element, es comentarà a continuació el funcionament bàsic dels pistons, els sensors i els finals de carrera.

En primer lloc, tots els pistons de la planta pneumàtica és de simple efecte. És a dir, que quan no rebí senyal, el pistó romandrà en repòs, però quan entri una senyal d'activació el pistó, mitjançant un diferencial de pressió, s'expandirà. Una vegada el pistó s'hagi expandit i deixi de rebre la senyal d'activació, la molla interna comprimirà el pistó fins la posició de repòs.

En segon lloc, per tota la planta estan repartits diferents sensors. Aquests poden ser digitals (com per exemple els que s'utilitzen per conèixer la posició de cada pistó), finals de carrera (per detectar la posició del braç rotatiu, l'altura de la planta elevadora i les peces col·locades per l'alimentador) i els sensors discriminators.

Respecte aquests últims, són 3 sensors que funcionen diferents. Per una part, el sensor inductiu detecta la presència d'elements metàl·lics mitjançant un camp magnètic, el qual indueix corrents elèctriques quan un objecte metàl·lic entra dins.

Per altre part, el sensor òptic detecta la presència de color mitjançant el llançament d'un feix de llum i la consecutiva lectura de la refracció de la llum mitjançant un fotodetector. Amb aquest sensor es poden diferenciar les dues peces no metàl·liques: les vermelles i les negres.

Per últim, el sensor capacitatiu detecta la presència d'objectes mitjançant canvis de capacitància. Aquest sensor crea un camp elèctric entre l'elèctrode actiu del sensor i l'objecte a llegir, semblant al funcionament del sensor inductiu, però llegeix els canvis a la capacitància quan aquest objecte interfereix dins el camp elèctric i, per tant, modifica la lectura de la capacitància.

3.4 PLC

L'autòmat utilitzat en aquest projecte ha sigut el model TM221CE40R, de l'empresa Schneider Electric. El PLC és l'element que, a través de totes les senyals entrants i sortints, haurà de controlar la planta pneumàtica de manera programada i automàtica. Existeixen molts tipus de PLC, però aquest és un dels models del qual disposava el laboratori d'automatització amb major compatibilitat.

Aquest posseeix una tarja SD, un port USB i una varietat molt gran d'entrades i sortides, tant analògiques com digitals (encara que en aquest projecte solament s'utilitzin les digitals). Aquest model permet connectar-se al PC principal mitjançant el port USB, però a la vegada també pot connectar-se via Ethernet a altres dispositius, com per exemple el Switch.

Aquest controlador es pot programar amb diversos software especialitzats, però el més òptim és el propi de Schneider Electric: SoMachine. Des d'aquest programa principal es poden modificar i programar diversos dispositius i amb diferents llenguatges de programació, cadascun amb el seu software respectiu.

El TM221CE40R ha de ser programat mitjançant el software SoMachine Basic, ja que la programació bàsica de Controller està destinada a altres dispositius. Cal remarcar això ja que existeixen diverses maneres de programar el controlador, però la única viable per aquest model és el software Basic.

Per començar, cal crear un projecte i especificar els dispositius que s'utilitzaran: el model del PLC i, en aquest cas, també la pantalla HMI (model HMIS5T).

Una vegada creat el projecte ja es pot accedir als diferents elements del projecte: Controller, HMI i configuracions varies. Per accedir al controlador mitjançant el software Basic, cal clicar a la pestanya superior on apareix aquest mateix nom. En cas contrari, si s'accedeix a la pestanya gran Controller, el software de programació serà diferent i incompatible amb l'autòmat.

En el cas de l'aplicació del PC principal que posa a disposició el laboratori, aquest posseeix la llicència de la versió millorada del SoMachine Central, el SoMachine Expert. Cal tenir en compte aquest fet ja que, en el suposat cas que es guardi o es generi un projecte en aquest software, solament podrà ser obert en l'entorn de SoMachine Expert. Per tant, no serà possible obrir el projecte en altres dispositius que no tinguin aquest software i la llicència necessària.

Una vegada dins del software SoMachine Basic es veuran diferents pestanyes del projecte: Propietats, Configuració, Programació, Visualització i Posada en funcionament.

En primer lloc s'accedirà a la pestanya Configuració, on s'hauran de definir les direccions IP del PLC i del Switch al que estarà connectat l'autòmat:

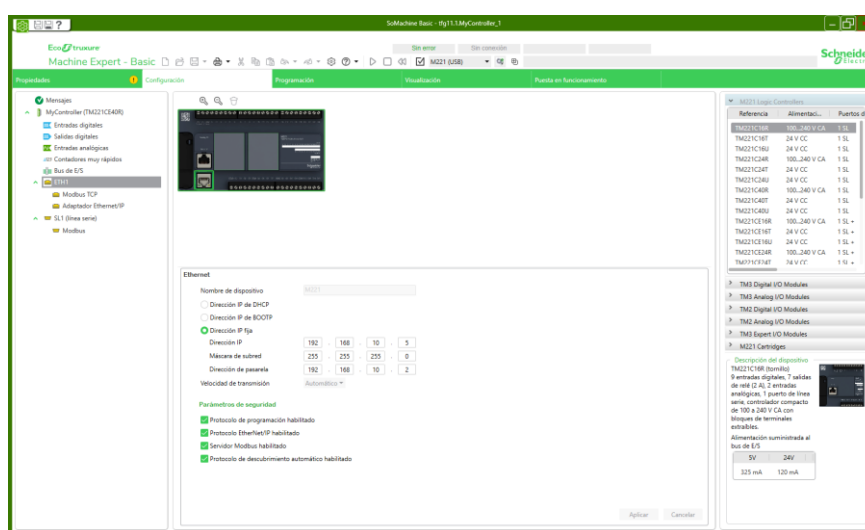


Figura 10. Pestanya de Propietats de SoMachine Basic

A la imatge anterior es pot veure que la IP de l'autòmat és 192.168.10.5 (que és la IP preestablerta de l'autòmat), que la màscara subxarxa és 255.255.255.0 (és a dir que, tal i com s'ha comentat amb anterioritat, tots els dispositius de dins la xarxa han de compartir els primers tres camps), i que la direcció de la passarel·la del Switch és 192.168.10.2. Pel que fa a la resta de paràmetres de seguretat, es poden deixar els preestablerts.

A la columna de l'esquerra es poden observar les entrades i les sortides del controlador. Es pot accedir a qualsevol d'aquestes pestanyes per saber com estan configurades, així com les marques o senyals que estan vinculades.

Per últim, a la columna de l'esquerra es pot veure una llista de controladors. En cas que s'hagi creat un projecte amb un model de PLC incorrecte, sempre es pot afegir qualsevol nou dispositiu des d'aquella llista.

Deixant la pestanya de Configuració enrere, a la pestanya de Posada en funcionament es podrà configurar quin és el PLC al qual carregar el programari de l'enginyer o enginyera, així com també simular el propi codi sense la connexió a un dispositiu.

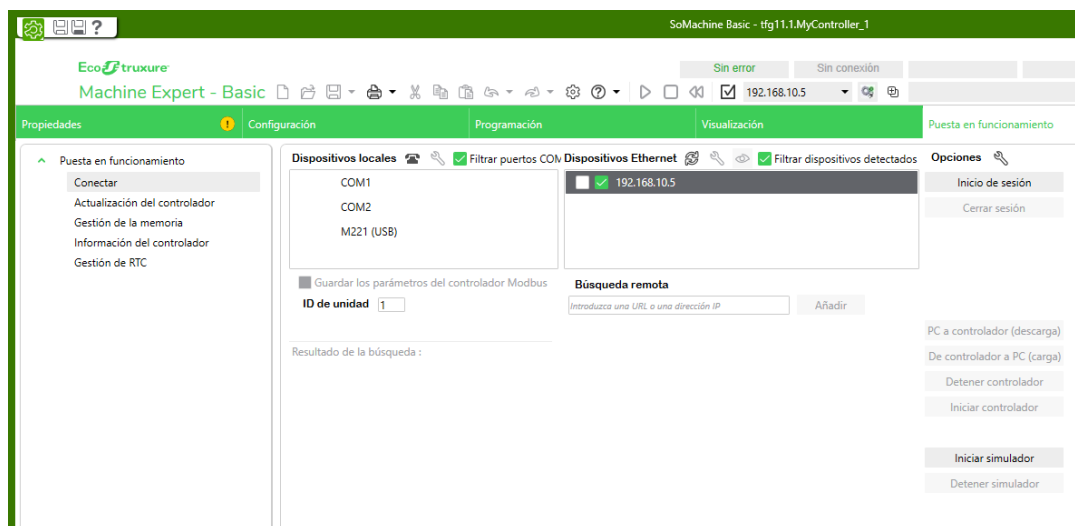


Figura 11. Pestanya Posada en funcionament de SoMachine Basic

A la imatge anterior es poden observar dos camps diferenciats: la detecció i selecció de dispositius al centre, i la llista d'accions a la dreta.

Pel que fa a la selecció dels dispositius, al quadre esquerra apareixen els dispositius locals (on es pot veure que s'ha detectat el controlador mitjançant la connexió USB), i al quadrant de la dreta apareix la direcció IP del mateix PLC (ja que està detectat mitjançant la connexió Ethernet). Es podria seleccionar qualsevol dels dos elements, ja que al cap i a la fi són el mateix. En cas que un d'ells donés problemes, es podria usar l'altre tipus de connexió.

Després, respecte a la llista d'accions de la columna de la dreta, apareixen inicialment com disponibles el Inici de sessió i Iniciar simulador. El primer és el que inicia la connexió amb l'autòmat, i el segon permet simular a nivell local el software programat. Aquest últim és molt útil per comprovar prèviament el correcte funcionament del codi, però les entrades digitals han de ser activades manualment i, per tant, no és fiable en termes temporals sempre i quan el temps sigui un element indispensable.

Si s'inicia la sessió a l'autòmat seleccionat al camp central, aquest es connectarà al PLC. Una vegada connectat, es podrà descarregar el codi programat al PLC o a la inversa, és a dir, carregar al PC el codi guardat dins el PLC. En aquest cas, com no es coneix quin és el

codi que s'haurà guardat prèviament al PLC i s'ha d'actualitzar amb el codi corresponent per complir els objectius del projecte, sempre s'utilitzarà la descàrrega.

Una vegada s'hagi descarregat el codi del programa al PLC, es pot iniciar el controlador. Aquest indicarà a l'autòmat que actuï com controlador real, i per tant llegirà les entrades i, en conseqüència, activarà o desactivarà les sortides digitals.

Si s'ha iniciat el controlador, sempre es podrà detenir en qualsevol moment. S'aconsella que, si no s'ha d'usar més el PLC com controlador, es tanqui la sessió amb el botó de Tancar sessió.

Per últim, però no menys important, està la pestanya de Programació. Aquí es on es programaran els diferents POU's, és a dir, els diferents arxius (que poden utilitzar llenguatges de programació diferents) que tindran la lògica del programa. A l'apartat 4.4.2 s'explicarà com s'ha programat tot el codi.

3.4.1 Variables

Arrel de les connexions de la placa de l'apartat 3.2.1, també cal definir com s'anomenen els bits d'informació procedents i, a la vegada, destinats a l'autòmat.

A la taula que hi ha a continuació estan especificats totes variables utilitzades al projecte. Cal remarcar també que les entrades i sortides del PLC coincideixen amb les connexions de la placa *regleter*, i és imprescindible que sigui així perquè no sorgeixin problemes a l'hora de processar la informació procedent de la planta pneumàtica.

Taula 4. Marques, entrades i sortides del controlador

Nom	Tipus	Direcció
CONT_A	Comptador	%C0
CONT_B	Comptador	%C1
CONT_C	Comptador	%C2
CONT_GEN	Comptador	%C3
CONT_GLOB_A	Comptador	%C4
CONT_GLOB_B	Comptador	%C5
CONT_GLOB_C	Comptador	%C6
CONT_GLOB	Comptador	%C7
SP0R	Entrada	%I0.2
SP1R	Entrada	%I0.3
SAB	Entrada	%I0.5
SAM	Entrada	%I0.6
SAA	Entrada	%I0.7
SP1A	Entrada	%I0.10
FCA	Entrada	%I0.16
FCB1	Entrada	%I0.17
SP0A	Entrada	%I0.18
FCB2	Entrada	%I0.19
SVA	Entrada	%I0.20
SOP	Entrada	%I0.21
SIND	Entrada	%I0.22
SCA	Entrada	%I0.23
BOTT_M	Marca	%M0
MA	Marca	%M1
BOTT_E	Marca	%M2

EM	Marca	%M3
REARME	Marca	%M4
BOTT_P	Marca	%M5
PA	Marca	%M6
NOU_TRAM	Marca	%M11
MARCA_C0	Marca	%M12
MARCA_A0	Marca	%M13
MARCA_B01	Marca	%M14
MARCA_B1	Marca	%M15
MARCA_A1	Marca	%M16
MARCA_B2	Marca	%M17
MARCA_B3	Marca	%M18
MARCA_C7	Marca	%M19
MARCA_C8	Marca	%M20
MCONT_A	Paraula de memòria	%MW0
MCONT_B	Paraula de memòria	%MW1
MCONT_C	Paraula de memòria	%MW2
MCONT_GEN	Paraula de memòria	%MW3
MCONT_G_A	Paraula de memòria	%MW4
MCONT_G_B	Paraula de memòria	%MW5
MCONT_G_C	Paraula de memòria	%MW6
MCONT_GLOB	Paraula de memòria	%MW7
M1	Sortida	%Q0.0
VALVULA	Sortida	%Q0.1
PPL	Sortida	%Q0.2
PAL	Sortida	%Q0.3
EV2_2	Sortida	%Q0.4
EV2_1	Sortida	%Q0.5
EV1_2	Sortida	%Q0.6
EV1_1	Sortida	%Q0.7
CONTV_A	Paraula de sistema	%SW213
CONTV_B	Paraula de sistema	%SW214
CONTV_C	Paraula de sistema	%SW215
CONTV_GEN	Paraula de sistema	%SW216
CONTV_GLOB_A	Paraula de sistema	%SW217
CONTV_GLOB_B	Paraula de sistema	%SW218
CONTV_GLOB_C	Paraula de sistema	%SW219
CONTV_GLOB	Paraula de sistema	%SW220
TIMER_1	Temporitzador	%TM0
TIMER_2	Temporitzador	%TM1

Com es pot veure a la taula anterior, existeixen tres instàncies diferents de cada comptador. Això és degut a la forma de funcionar el propi software del PLC: per una part, els comptadors no poden ser usats com variables llegibles, i per tant s'ha de crear una memòria individual i única per cadascun (del tipus Paraula de memòria). Aquestes variables, que són distingibles per ser de la forma MCONT_X, són les utilitzades per mostrar la informació a la pantalla HMI, però no poden ser utilitzades pel mòdul de realitat augmentada. És per això que també s'ha hagut d'utilitzar més variables, però del tipus Paraula de sistema. Aquest tipus és llegible des del software Node-Red, executat des de la IOT Box Magelis i connectat via Ethernet.

A més a més, també es pot comprovar que s'ha mantingut la mateixa terminologia per declarar les entrades i sortides del PLC, per facilitar així la comprensió de les connexions procedents de la placa.

3.4.2 Controlador

Com s'ha explicat anteriorment, al controlador és on s'hi troba la programació de l'autòmat. El controlador suporta diferents llenguatges (diagrama de contactes, diagrames de blocs funcionals, text estructurat, etc.), i tots són compatibles entre ells. Cadascun dels llenguatges posseeix un conjunt d'elements propis i, fins i tot, únics, i per tant l'ús simultani de diferents llenguatges ha sigut essencial.

L'estructura del projecte ha sigut partida en diferents diagrames funcionals seqüencials (GRAFCET), amb el suport de diagrames de contactes (LD) a l'hora de fer comprovacions d'estat o transicions. El motiu de la separació de cada part de la planta en un diagrama propi és estrictament funcional, essent així més fàcil de simplificar, sintetitzar i analitzar el comportament individual de cada part.

Com es veurà més endavant, s'ha usat un Grafcet general des del qual es pot identificar el context del funcionament de la planta (per més informació, retornar a l'apartat de Guia GEMMA) i tres Grafcets localitzats en els tres mecanismes principals de la planta. A més a més, en funció del recompte de peces i els estats del POU Ascensor, s'ha utilitzat un POU de diagrama de contactes global per tal de fer la compta de peces i l'assignació dels valors desitjats per la transmissió de dades als elements HMI i IOT Box.

A continuació es comentaran tots els diagrames programats a l'apartat de Programació del SoMachine Basic:

3.4.2.1 General

El GRAFCET general de la planta controla l'estat de funcionament de tot el conjunt a la vegada que administra i modifica aquest segons les entrades que introdueixi l'usuari per la pantalla HMI.

L'estat inicial és l'espera per defecte, i no s'activarà la planta fins que no s'hi premi el botó Marcha. Una vegada s'ha premut aquest, la planta iniciarà un funcionament normal de manera indefinida fins que no es premin el botó Parada o Parada de Emergència (o detecti que no hi ha peces al dipòsit).

Si es dona el primer cas, la planta entrarà en parada, és a dir, acabarà de processar l'última peça que hagi entrat i, una vegada finalitzi, esperarà a que es torni a prémer el botó Marcha. Quan el sistema entra en parada, aquest reinicia la compta de peces processades actuals, però manté la compta global.

Per altre lloc, si es dona el segon cas, la planta entrarà immediatament en parada d'emergència, interrompent així totes les seccions de la planta a la vegada. Solament es podrà tornar al funcionament normal després de confirmar via pantalla que totes les peces han sigut extretes de la posició en que s'haguessin quedat en meitat del procés anterior. Una vegada confirmat, la planta es rearma automàticament a les posicions inicials, i una vegada preparada es permet pitjar el botó Marcha. Així com fa la parada, també es reinicien les comptes de les peces processades en el procés anterior, però es mantenen les globals. També es pot prémer el botó d'emergència després d'haver premut el de parada.

El tercer i últim cas es dona quan la pròpia planta detecta que s'ha quedat sense peces al dipòsit alimentador. Donada aquesta situació, el sistema entra en parada de forma automàtica i notifica a l'usuari mitjançant una finestra al HMI, indicant que és necessari reomplir el dipòsit. Com en els casos anteriors, entrar en aquest estat reinicia la compta de peces actuals, però no les globals.

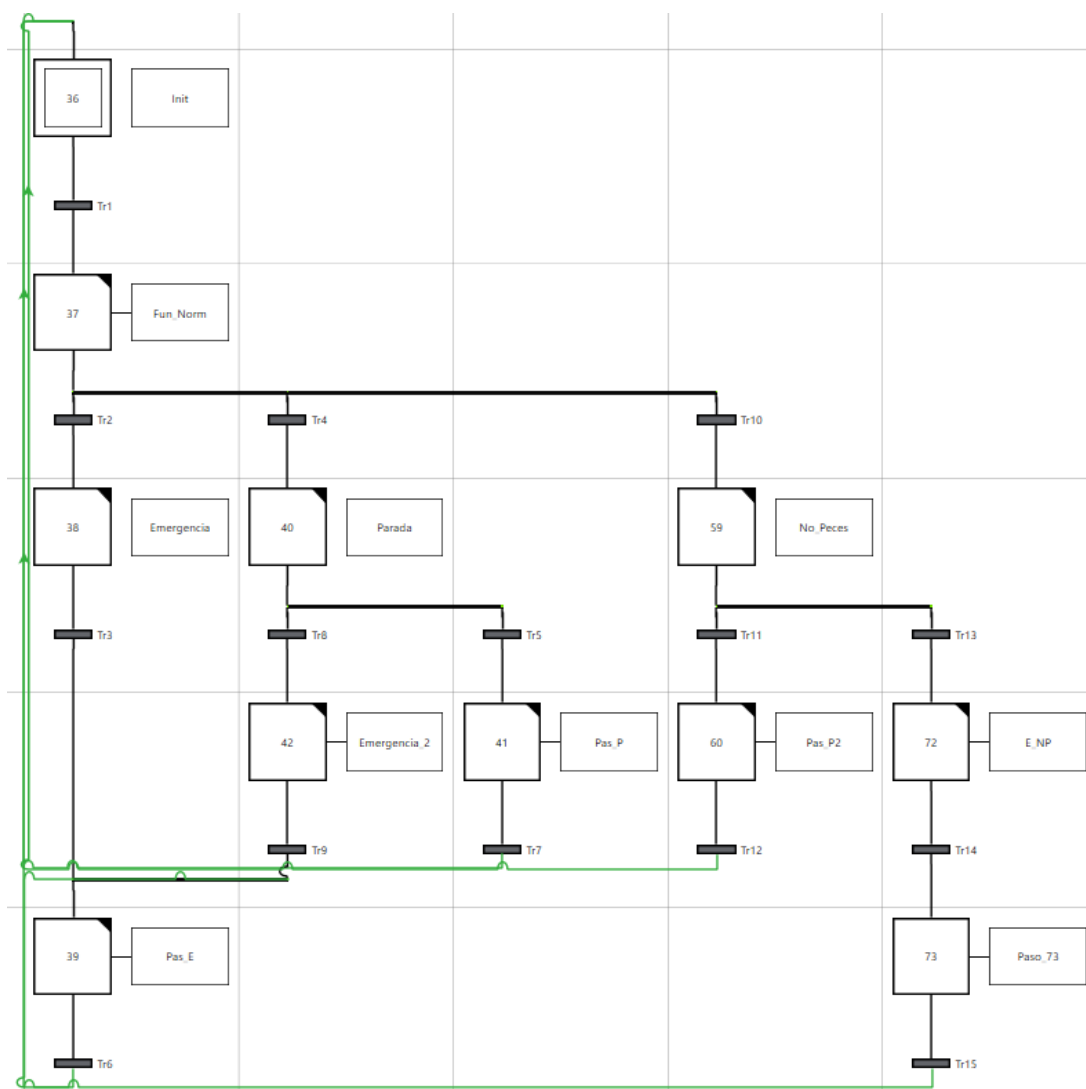


Figura 12. Grafcet general

3.4.2.2 Alimentador

El GRAFCET de l'alimentador consisteix en dos estats que permuten sempre i quan la planta funcioni en règim normal. El primer estat és el de repòs, on el pistó està comprès, i el segon estat és el d'activació, on el pistó s'expandeix i permet al braç recollir la peça detectada per el final de carrera de l'alimentador.

Donada l'estructuració de la planta, l'alimentador és l'únic element manipulable per l'usuari (per la marca de marxa) i, per tant, de la qual depèn la resta de la planta, ja que iniciarà el procés de classificació sempre que s'hi hagi proporcionat una peça.

Com es pot veure a la imatge següent (i també es veuran a la resta d'estats dels altres GRAFCETs), existeix un estat d'emergència assignat a cada estat normal al qual es transicionarà immediatament quan la marca d'emergència EM sigui activada. El GRAFCET romandrà en aquest estat fins que no s'hagi rearmat la planta, moment en el qual es retornarà a l'estat inicial.

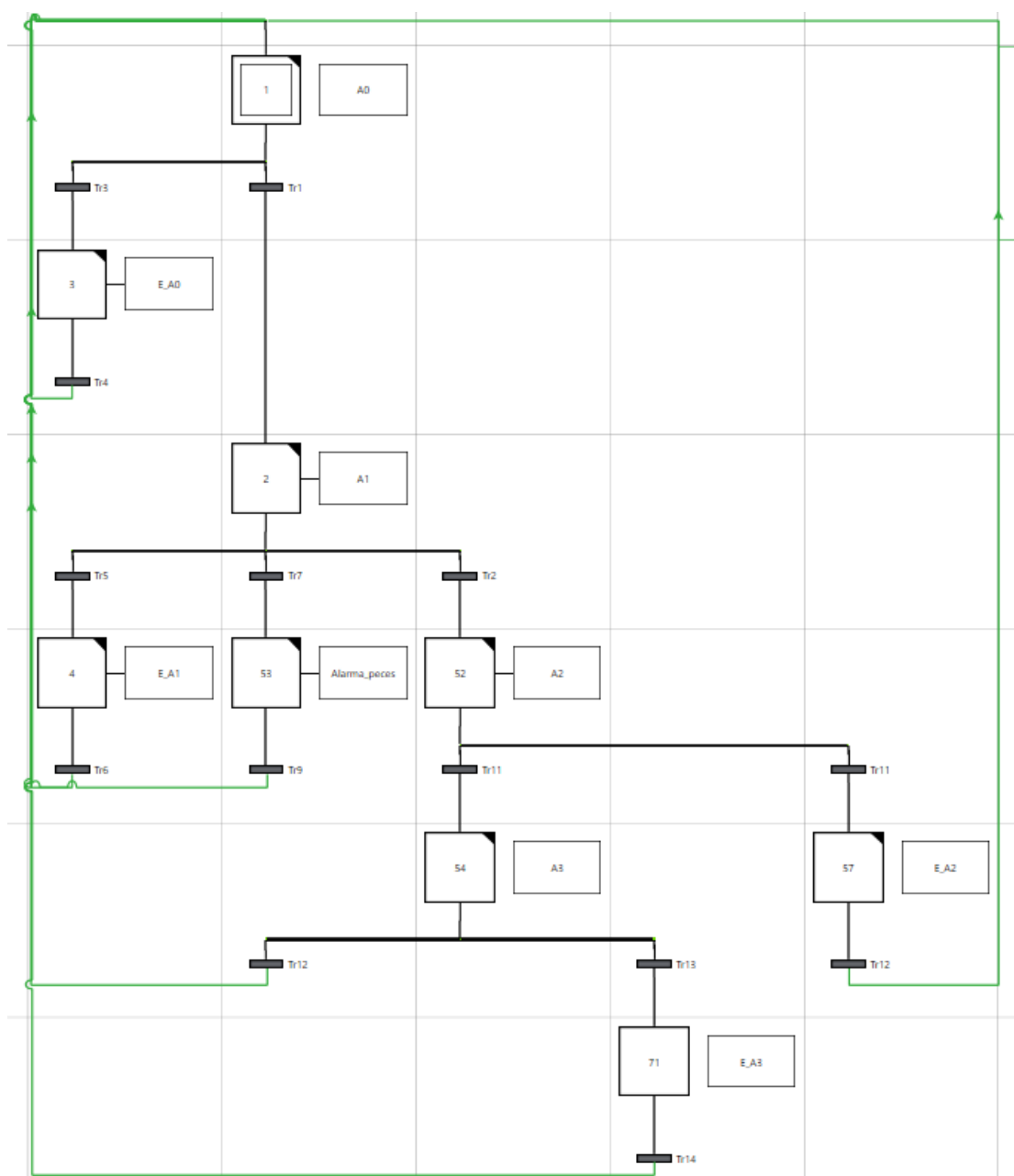


Figura 13. Grafset de l'alimentador

Cal remarcar que l'alimentador és l'encarregat de detectar si queden peces al dipòsit, i en cas que s'exhaureixin aquestes el Grafset de l'Alimentador no continuarà pels estats A2 i posteriors, sinó que canviarà a l'estat Alarma_peces (número 53).

També cal mencionar que, deguda la naturalesa de la programació dels estats Marxa i Parada, l'alimentador és l'encarregat de proporcionar peces segons l'estat de funcionament. Sempre que estigui en estat de Marxa, la marca MA estarà activada i, per tant, permetrà el processat de peces. Però, si l'operari decideix entrar en mode de Parada, aquesta marca MA es desactivarà i, en conseqüència, no permetrà la introducció de noves peces a la planta pneumàtica. D'aquesta manera, modificant aquesta marca, l'alimentador parà entrar al sistema en un estat o un altre, ja que depenen d'ell i la seva aportació de peces.

3.4.2.3 Braç

El GRAFCET del braç ve condicionat per la proporció de peces de part de l'alimentador, i és a la vegada el més important i més perillós. Per una part, sempre haurà de prioritzar estar el més allunyat possible de la part de l'ascensor, ja que aquests dos poden xocar sense la prevenció correcta. Per altre, el braç solament podrà transportar peces de l'alimentador fins la base de l'ascensor (sempre que aquest segon sigui a la planta baixa).

Aquesta necessitat de preveure els estats possibles del conjunt dels tres sistemes de la planta i com poden interactuar entre ells fan que el SFC del braç sigui el més condicionat pel seu context, necessitant en cada estat les condicions dels sensors pròxims i que aporten informació rellevant.

En primer lloc, el Grafcet Braç té una seqüència d'inici preparada per col·locar correctament el braç per la inicialització de cada component de la planta. Aquesta seqüència es comprèn des de l'estat B_INICI_0 fins l'estat B0, i el seu funcionament és molt simple: primer es farà moure el braç rotatiu fins la posició de l'alimentador i, una vegada la planta elevadora pugui haver baixat fins la seva posició més baixa, es mourà de nou el braç fins la posició de l'ascensor. Aquesta seqüència d'inicialització està sincronitzada amb la de l'ascensor per tal de no produir xocs entre les dues seqüències d'inici.

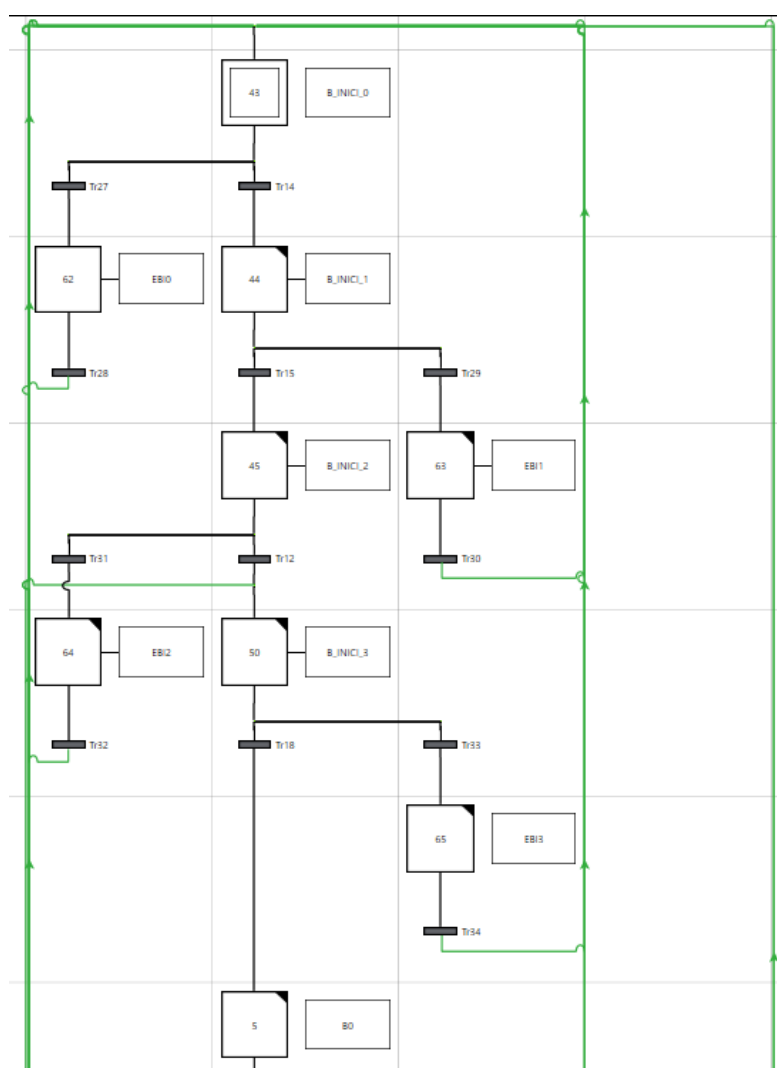


Figura 14. Grafcet del braç inicial

Pel que fa als estats B0 endavant, és una seqüència senzilla: el braç rota fins l'alimentador quan detecti una peça col·locada i preparada per ser transportada, l'agafa mitjançant la vàlvula i aplicant l'efecte Venturi, i la porta fins la planta elevadora o ascensor. Una vegada ha deixat la peça a la planta elevadora, i també detecti una peça preparada a l'alimentador, aquest retornarà a l'estat B0 per tornar a fer el cicle.

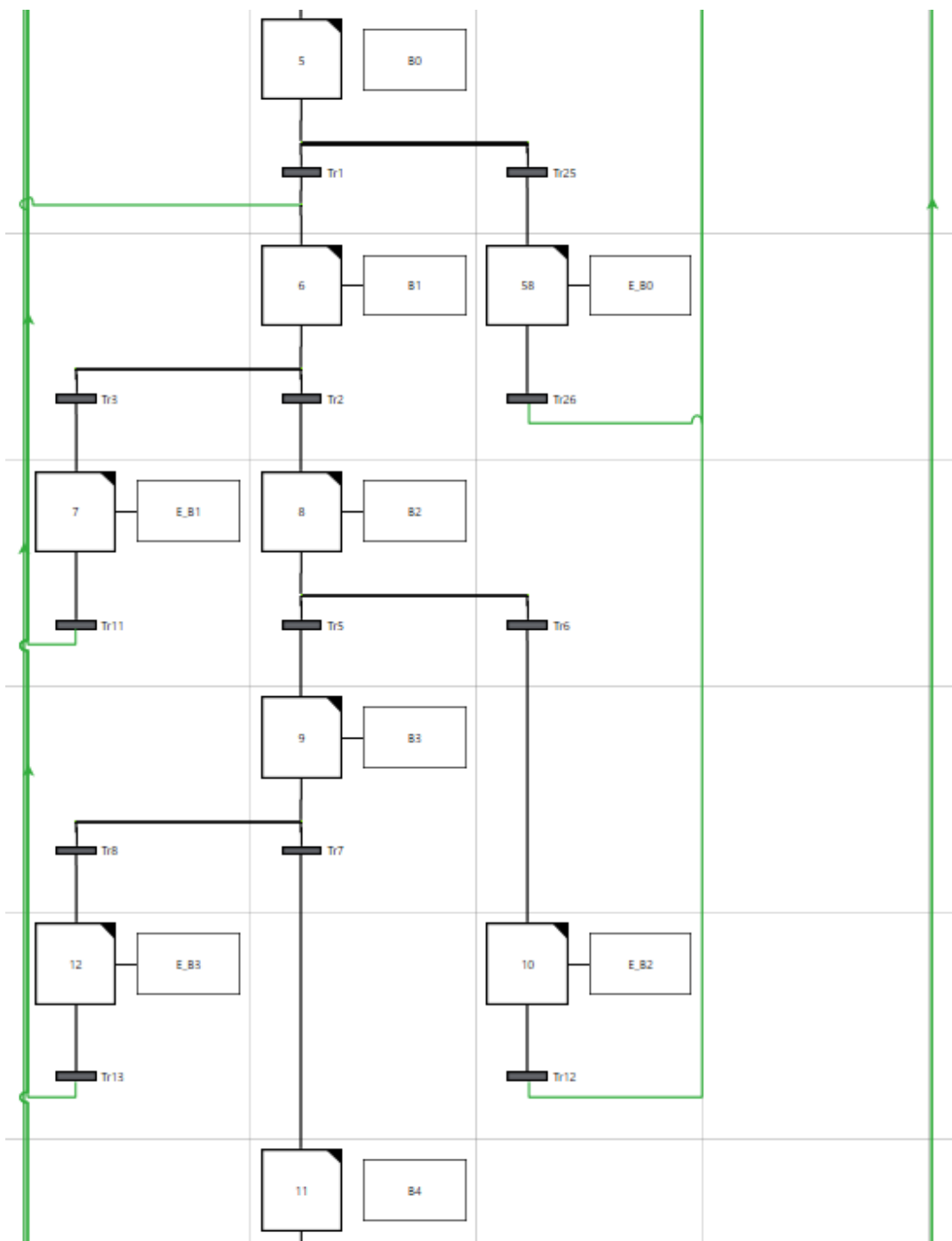


Figura 15. Grafcet del braç, part 1

També es pot donar el cas en què el braç, una vegada deixi una peça a la planta elevadora, mai tingui una peça preparada a l'alimentador per transportar. És a dir, que la planta entri en Falta de peces o en Parada. Si es dona aquest cas, el braç entrarà a l'estat B5

i B6, que s'encarregaran d'apartar el braç de la planta elevadora perquè aquesta pugui col·locar la última peça transportada.

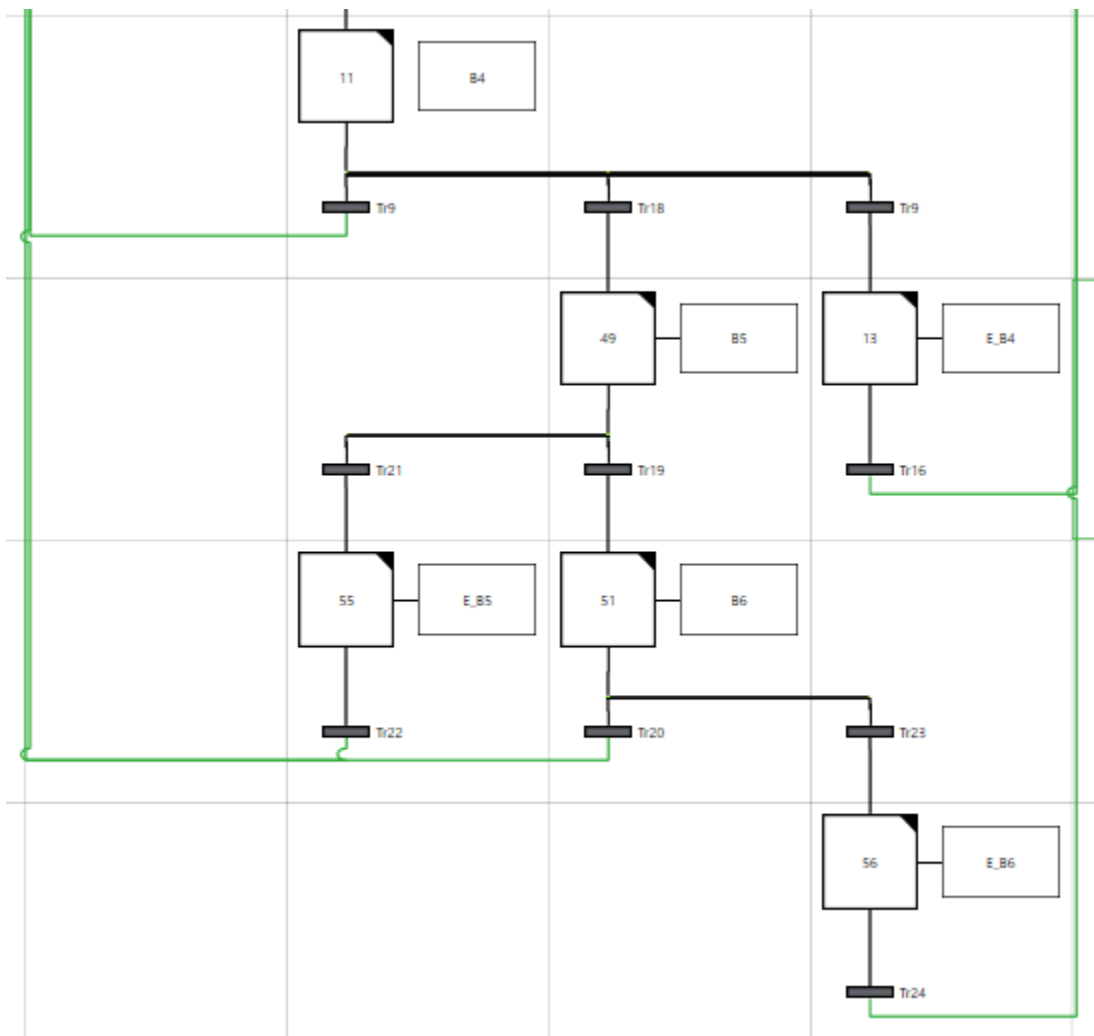


Figura 16. Grafcet del braç, part 2

3.4.2.4 Ascensor

El GRAFCET de l'ascensor es divideix en dos seccions ben diferenciades: la primera, la seva col·locació a la planta baixa com estat de repòs amb comprovacions preventives de l'entorn (és a dir, la seva seqüència d'inici), i la segona, que és l'anàlisi de la peça que rep i la consegüent col·locació.

La seqüència d'estats compresos entre C_INICI_1 i C01 s'encarreguen de col·locar l'ascensor a la planta baixa, comprovant en primera instància que el braç no estigui en una posició pròxima. Una vegada col·locada la plataforma a la planta baixa, espera a rebre una peça per analitzar-la (és a dir, canviar a l'estat C1). Segons com sigui aquesta peça (discriminació i selecció de peces descrites a la Taula 1), la transició d'estat serà a C2, C3 o C6, essent planta baixa, mitjana o alta, respectivament.

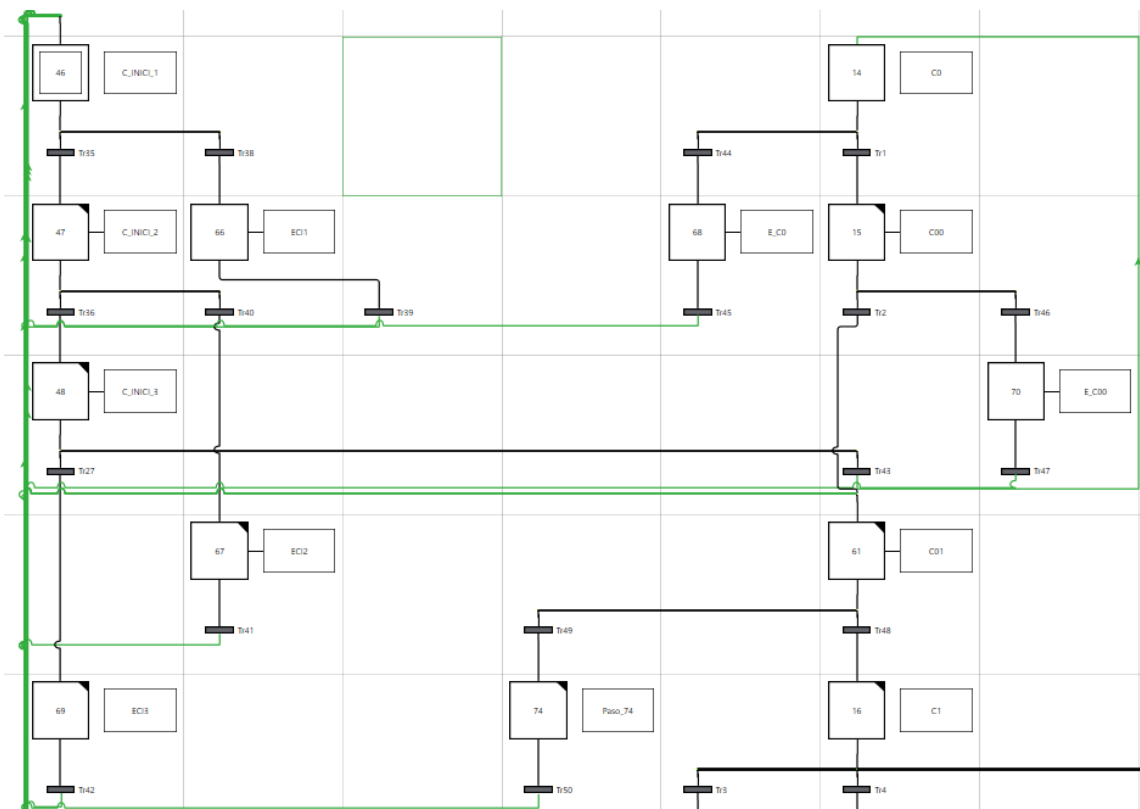


Figura 17. Grafset inicial de la plataforma elevadora

Una vegada la plataforma, o ascensor està col·locada a l'altura corresponent (senyalitzada pels sensors d'altura), es dispensarà la peça a la caixa corresponent. Tant les caixes mitjana com baixa estan col·locades de manera que un accionament del pistó de la plataforma elevadora pugui empènyer fàcilment la peça a la seva respectiva caixa, però el cas de la caixa més alta és diferent.

En el cas de la màxima altura, la peça haurà de ser transportada per una cinta transportadora fins la caixa. Per fer-ho, cal activar la cinta (mitjançant la marca m1), empènyer la peça, esperar un temps definit i, un cop la peça caigui dins la caixa, parar la cinta.

Com es pot comprovar a la Figura 17, les tres branques que s'encarreguen de l'anàlisi de la peça i la seva col·locació s'asseguren al seus respectius finals que la plataforma elevadora es trobi a la planta més baixa, encara que l'estat de repòs també ho faci. Això és degut a que no es pot assegurar que el retorn a l'estat inicial sigui sempre després de col·locar una peça, ja que es pot entrar en estat de parada d'emergència en el procés anterior. Donada la pèrdua de context, el més aconsellable és fer baixar la plataforma indistintament de l'origen, procurant així una precaució extra.

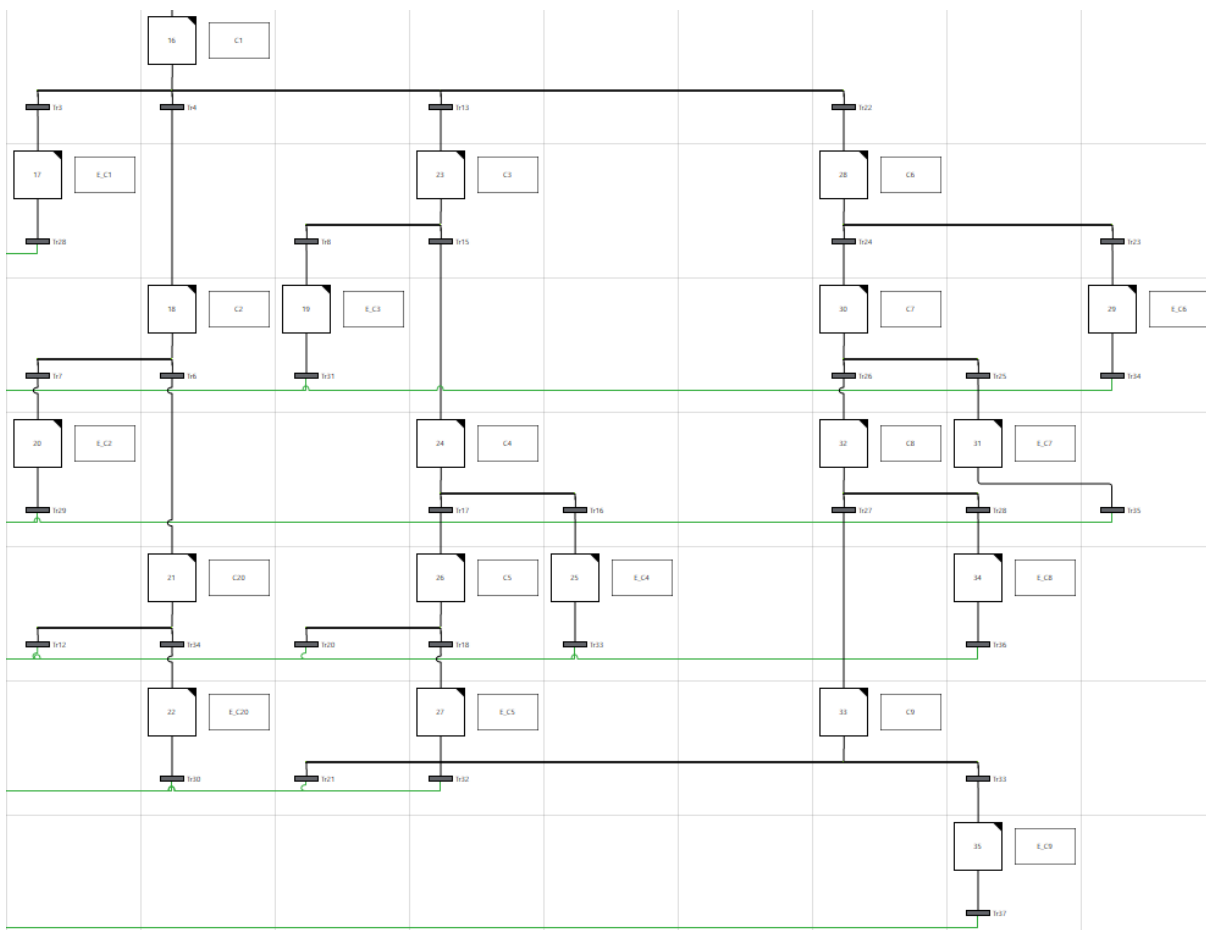


Figura 18. Grafcet de la plataforma elevadora

Una vegada la seqüència arriba a un dels estats C20, C5 i C9, s'indica al POU Contactes que es faci la compta de la peça processada adequada segons el seu tipus.

3.4.2.5 Contactes

Aquest últim POU és l'element complementari als Grafquets anteriors. En concret, la seva finalitat és realitzar una transició i actualitzar les memòries de les compta de peces, tant actuals com globals.

Per una part, està la transició Rung0, que és l'encarregada d'activar la cinta transportadora durant un temps concret. Aquesta transició s'ha hagut de fer en aquest POU global ja que, si aquesta es feia dins el Grafcet Ascensor, no s'aconseguia reiniciar la compta del temps i, per tant, la cinta transportadora solament s'iniciava una vegada per, a partir de llavors, romandre desactivada.



Figura 19. Contacte temporitzador de la cinta transportadora

Per altre part, estan les actualitzacions dels valors de les comptes de peces de cada caixa, tant a nivell actual com global. Per fer aquestes comptes, i donades les característiques del sistema de memòria de SoMachine i el tipus de dades que es poden compartir entre el controlador, el Vijeo Designer i el AOA, s'ha de prendre un seguit de passos addicionals.

En primer lloc, cal guardar els valors dels comptadors (un total de vuit) a unes marques de la memòria (objectes de memòria) que es podran compartir amb el Vijeo Designer, i també s'haurà de fer el mateix però guardant les dades com objectes del sistema (marques tipus %MWx). Aquest darrer cas és necessari per compartir dades entre el PLC i la realitat augmentada.

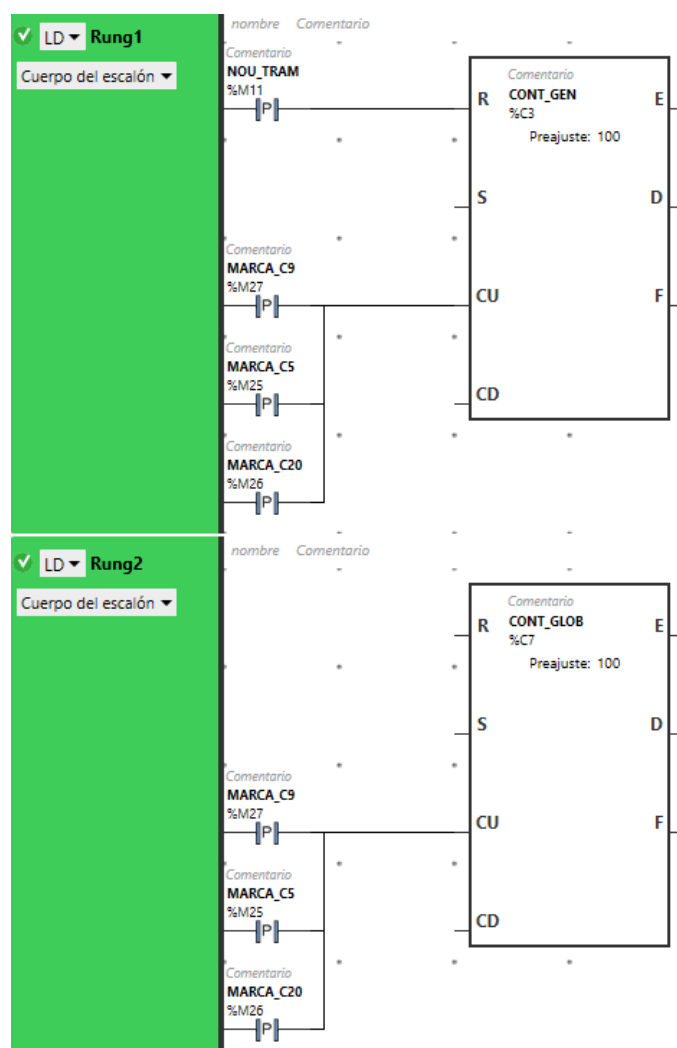


Figura 20. Contactes dels comptadors globals

Com es pot veure, l'actualització de cada compta és quasi idèntica que la resta. Els únics elements que les poden diferenciar, al menys pel que fa a les comptes totals, és la possibilitat de reiniciar la compta, que és una característica única del comptador de peces actuals. Es pot apreciar a la imatge anterior que, per afegir una compta d'una nova peça processada, es necessita un pols, o flanc ascendent, de la marca d'estat C9, C5 O C20. Aquests són els estats finals de cada branca de la seqüència del Graficet Ascensor, i per tant indiquen que una nova peça ha sigut col·locada a la seva caixa.

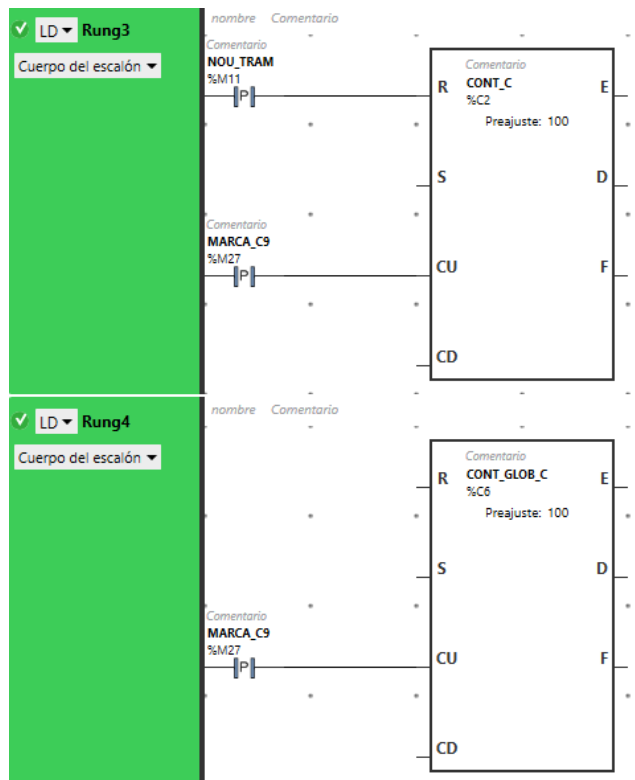


Figura 21. Contactes dels comptadors de peces individuals

Com es pot veure a la imatge anterior, la compta de peces de cada caixa és molt simple: cada vegada que s’arribi al final de la branca respectiva a un tipus de peça, s’activarà la marca d’estat adequat, i per tant sumarà una nova compta. Igualment, el recompte de peces actuals sempre pot ser reiniciat si es dona el cas d’entrar en un Nou Tram, és a dir, que sorgeixi una Parada, una Parada d’Emergència o una Falta de peces.

La resta de comptes de cada tipus de peça és exactament igual, però amb l’adaptació de la marca que indica la col·locació de la peça del seu tipus.



Figura 22. Contactes de les actualitzacions els valors de les comptes

Per últim, estan les assignacions de les comptes a la memòria, on les dades es compartiran en diversos dispositius, com poden ser la pantalla HMI o la realitat augmentada. Per una part, cada vegada que hi hagi un nou pols o flanc ascendent d'un dels estats de compta s'actualitzaran certes dades. L'actualització de les dades és molt senzilla, ja que simplement cal assignar a la dada el valor del comptador a què fa referència. L'únic que tal tenir en compte és que el valor del comptador no es pot usar directament, sinó que s'ha d'adaptar com una variable amb el sufix %CX.V, on aquest .V fa entendre al software que es vol utilitzar nombre de comptes del propi comptador com variable.

3.5 HMI

El HMI, sigles de Human Machine Interface, és el conjunt de sistemes en formes de panells que permet a l'usuari interactuar i comunicar-se amb un sistema, com per exemple un PLC. Existeixen molt tipus de software d'aquest tipus, i donat que s'està realitzant el projecte a l'entorn de Schneider Electric, s'usarà el seu software propi: Vijeo Designer.

El Vijeo Designer ve inclòs a la versió de SoMachine Central v4.3, i per tant permet així interactuar i comunicar-se amb el controlador d’una manera més directa i senzilla.

3.5.1 Interconnexió entre controlador i HMI

Per comunicar el controlador (és a dir, el codi programat a SoMachine Basic) i l’HMI (Vijeo Designer), cal especificar al projecte de Vijeo a quin controlador estarà connectat. En aquest cas, el controlador és un Modbus TCP/IP, i es pot configurar a la finestra Projecte situada a l’esquerra, fent click dret a l’Administrador de E/S, Nou controlador. Una vegada afegit aquest controlador, cal especificar la IP d’aquest controlador, que en aquest cas és 192.168.10.5 (IP del PLC).

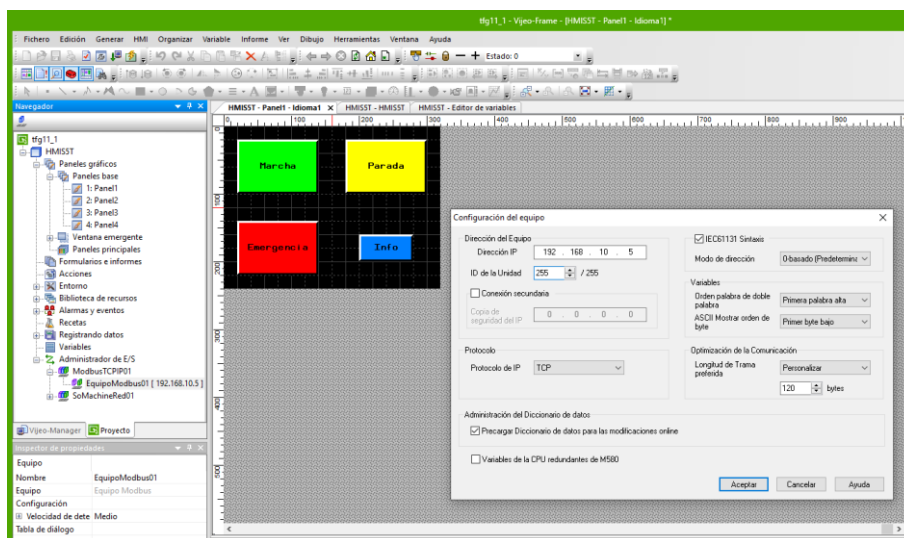


Figura 23. Configuració de la IP del PLC al Vijeo Designer

Per altre part, la direcció IP destí del propi HMIS5T ha de ser la del dispositiu HMI que es voldrà utilitzar. La IP en concret del dispositiu és la 192.168.10.6.

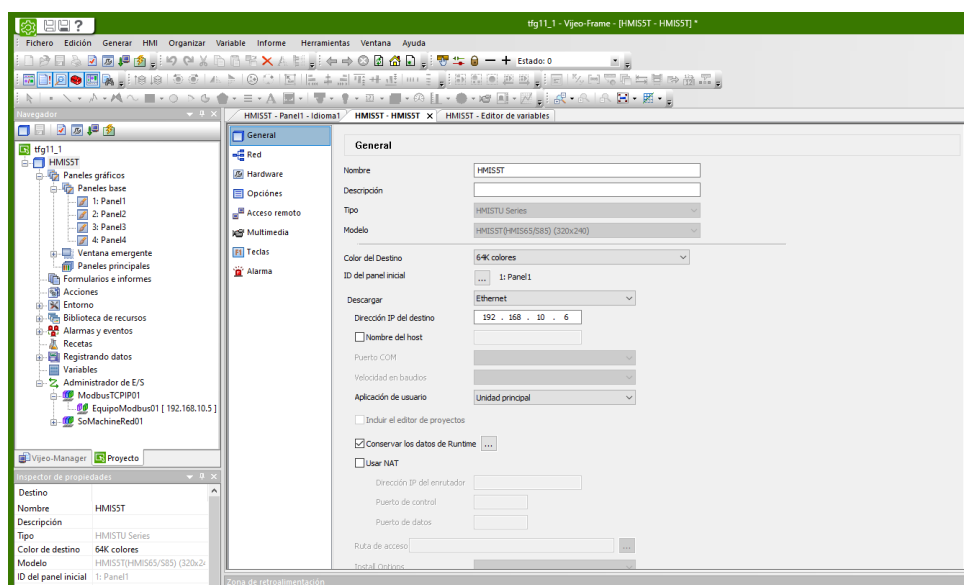


Figura 24. Configuració de la IP del HMI al Vijeo Designer

A l'apartat de Red, situada a continuació de General, cal indicar també la Porta d'enllaç predeterminada, és a dir, indicar la direcció IP del Switch que s'està usant per comunicar a la vegada tots els dispositius via Ethernet. La direcció IP del Switch és 192.168.10.2.

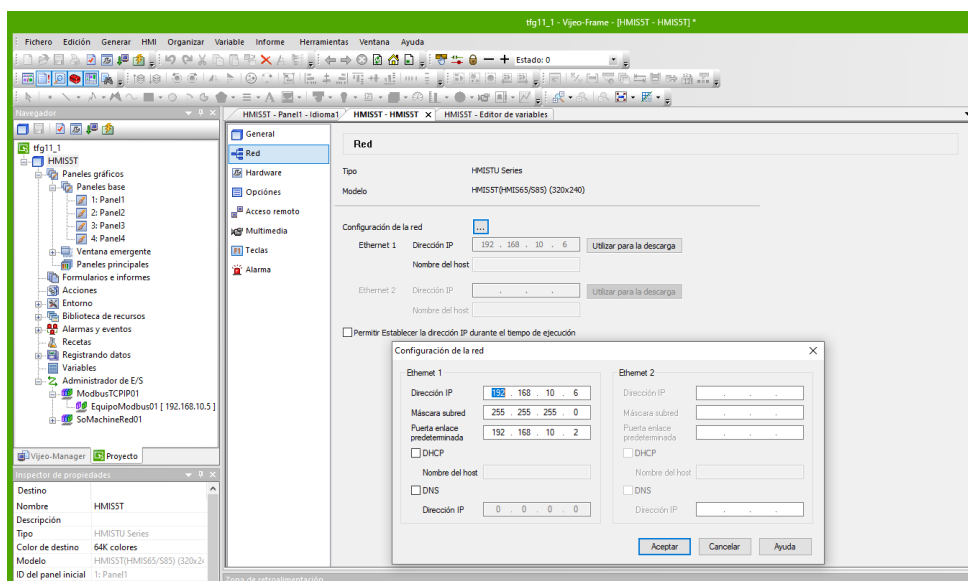


Figura 25. Configuració de la passarel·la al Vijeo Designer

Una vegada configurades les IPs, s'ha d'importar el conjunt de variables del controlador que seran modificades o consultades a l'HMI. Això es pot fet mitjançant l'apartat Variables, vinculant les marques del projecte SoMachine Basic. Per poder utilitzar les marques del projecte, caldrà exportar primer el projecte des del SoMachine Basic.

Una vegada seleccionat el projecte, es poden elegir les marques, entrades i sortides que es volen. En aquest cas, les marques on hi ha guardades les dades dels comptadors no s'hi poden afegir directament, i per tant cal crear-les i configurar-les individualment.

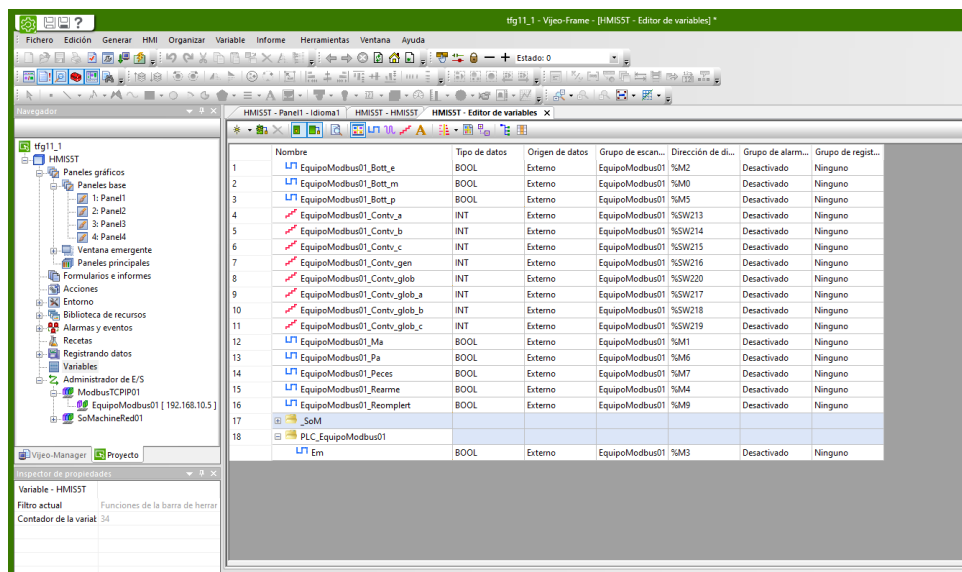


Figura 26. Variables al Vijeo Designer

Una vegada s'ha configurat tant el controlador com les marques que es necessitaran, es pot dissenyar la interfície.

3.5.2 Pantalles

La interfície està plantejada com un estat seqüencial, entrades de la qual són introduïdes per l'usuari, en aquest cas l'operari. Cadascuna de les pantalles és un estat, i el disseny de cada pantalla proporciona informació diferent segons el context.

A continuació s'explicarà breument la funcionalitat de cada pantalla:

3.5.2.1 Pantalla 1

Pantalla inicial o principal. Aquesta mostra els tres botons que modifiquen l'estat de funcionament de la planta automàtica (Marxa, Parada i Parada d'Emergència), i a més a més també inclou un botó d'Informació que obre una altra pantalla.

El botó de Marxa, tal i com diu la pròpia etiqueta, habilita la marca MA, que permet la introducció de peces al procés. Aquest botó també inhabilita les marques EM (Emergència) i PA (Parada).

El botó de Parada produirà la inhabilitació de la marca MA i l'habilitació de la marca PA, i per tant parará la introducció de peces a la planta però permetrà acabar el procés de les peces ja introduïdes prèvies a la parada. En qualsevol moment es pot prémer el botó Marxa per reprendre l'entrada de peces, ja que aquest estat no és restrictiu.

El botó de Parada d'Emergència produirà una parada general a tot el procés, independentment de l'estat en què es trobés cada part de la planta. Aquest botó inhabilita tant les marques MA com PA, i habilita la marca EM. Al prémer aquest botó, la pantalla canviarà a la Pantalla 2.

El botó d'Informació provocarà un canvi a la Pantalla 3, la qual mostrarà informació rellevant del procés actual.

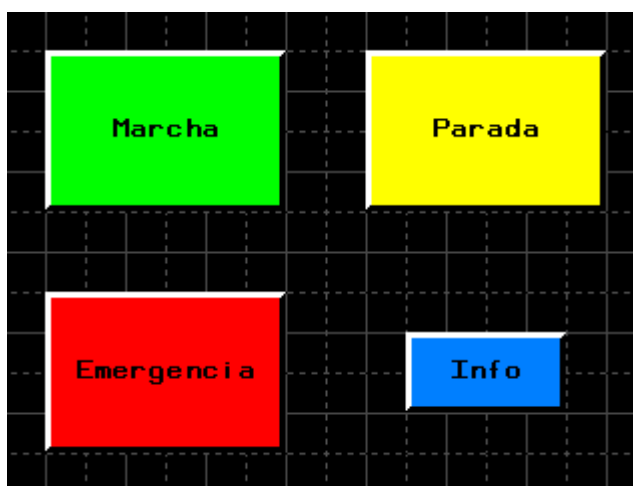


Figura 27. Pantalla 1

3.5.2.2 Pantalla 2

La Pantalla 2 es mostrarà després d'haver premut el botó Emergència de la Pantalla 1. Aquesta pantalla consisteix en notificar a l'usuari que la planta ha entrat en estat d'emergència i, per tant, cal rearmar (retornar a un estat de repòs ordinari) la planta. Aquest

reinici solament s'ha de poder fer sempre i quan totes les peces restants del procés interromput anteriorment, i per tant és responsabilitat de l'operari retirar les peces sobrants abans de rearmar la planta.

Una vegada s'hagi premut el botó Proceder, es retornarà a la Pantalla 1.

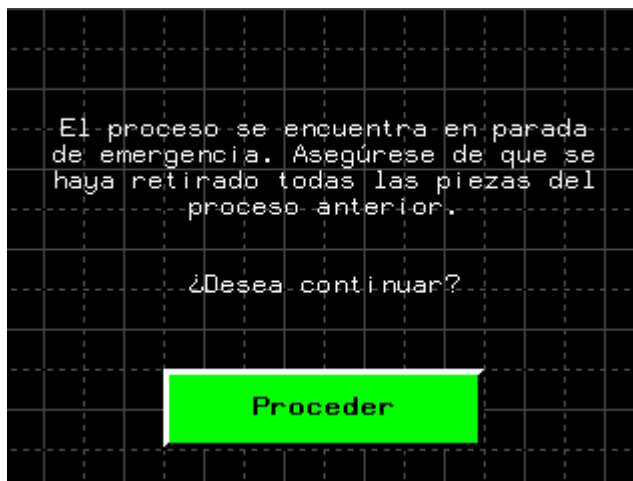


Figura 28. Pantalla 2

3.5.2.3 Pantalla 3

La Pantalla 3 es mostrarà després de prémer el botó Informació de la Pantalla 1. Aquesta pantalla representa de maneres diferents les comptes de les peces processades per la planta actualment, és a dir, des de l'última parada o parada d'emergència. Els valors de la columna esquerra mostra la quantitat de peces classificades per l'ascensor, diferenciant el tipus de peça, així com també es mostra el sumatori total de peces.

Per altre part, a la part dreta de la pantalla es mostra un gràfic circular que representa la proporció de cada tipus de peça processada respecte el total. Aquests valors es reinicien cada vegada que la planta entra en estat de parada o parada d'emergència, i per tant solament són útils per processos petits.

A la part inferior dreta està el botó de retorn a la Pantalla 1, i a la part superior dreta hi ha el botó Recuento Global, i al prémer aquest es mostrarà la Pantalla 4.

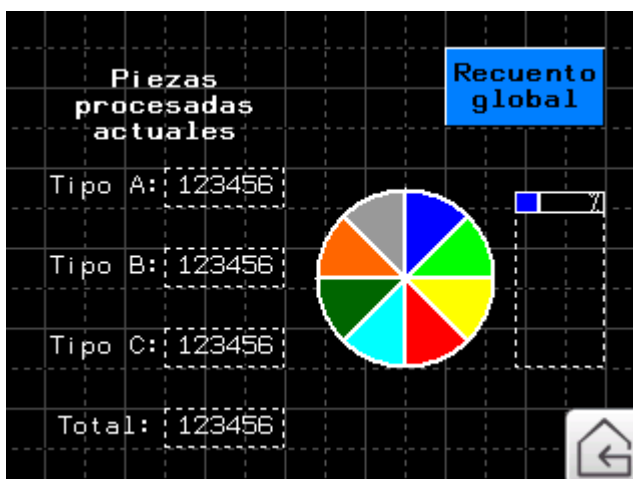


Figura 29. Pantalla 3

3.5.2.4 Pantalla 4

La Pantalla 4 funciona exactament igual que la Pantalla 3, però les dades que mostra són el recompte de les peces processades totals, independentment de les parades que pugui sofrir la planta. L'única manera de reiniciar aquests valors globals és desconnectant l'autòmat o reiniciant-lo, perdent així tot el context guardat fins llavors.

El botó situat a la part superior dreta canvia la pantalla a la Pantalla 3.

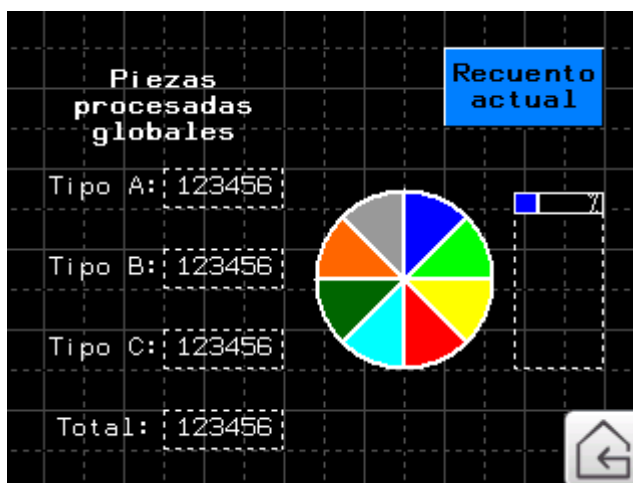


Figura 30. Pantalla 4

3.5.3 Finestres flotants

3.5.3.1 Ventana 1

Aquesta finestra flotant apareix quan la planta detecta que no hi ha més peces preparades per introduir al procés. Aquesta detecció es produeix mitjançant un temporitzador: si no es detecta una peça al final de carrera de l'alimentador abans d'un temps concret, la planta interpreta que no hi ha peça per classificar. En tal cas, la planta iniciarà una parada de la mateixa manera que ho faria si s'hagués premut el botó Parada.

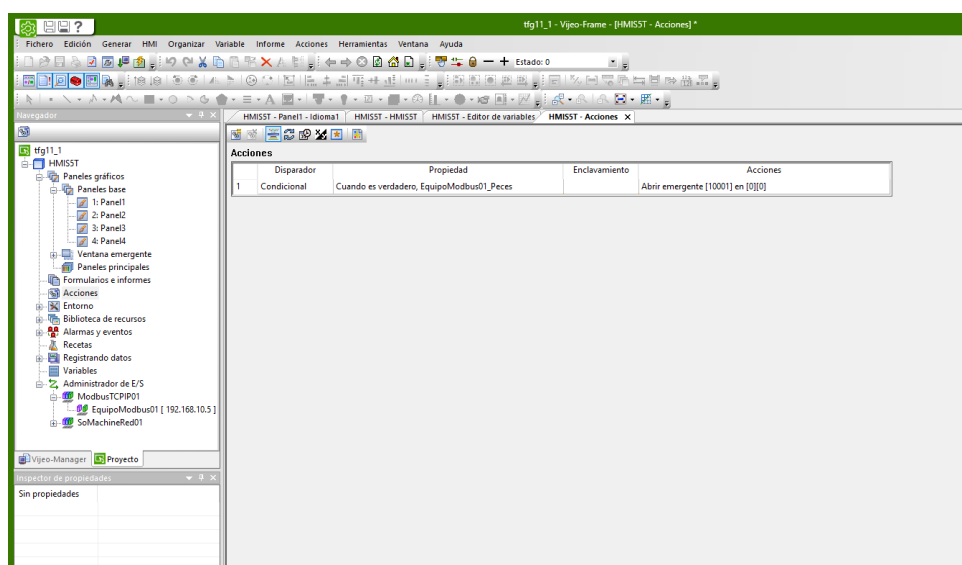


Figura 31. Configuració de l'acció d'obertura de Ventana 1

Aquesta finestra dóna dues opcions. Deguda la seva naturalesa bloquejant, fins que no es premi el botó Reabastecido no desapareixerà, però també es pot donar el cas en que, iniciat el procés de parada, aparegui (o s'introdueixi per les condicions exteriors i independents de la planta) un problema o error, i per tant podria donar-se el cas de realitzar una Parada d'Emergència. Per tal motiu, també existeix el botó Emergencia, que realitza aquesta mateixa funció, però no fa desaparèixer la finestra.

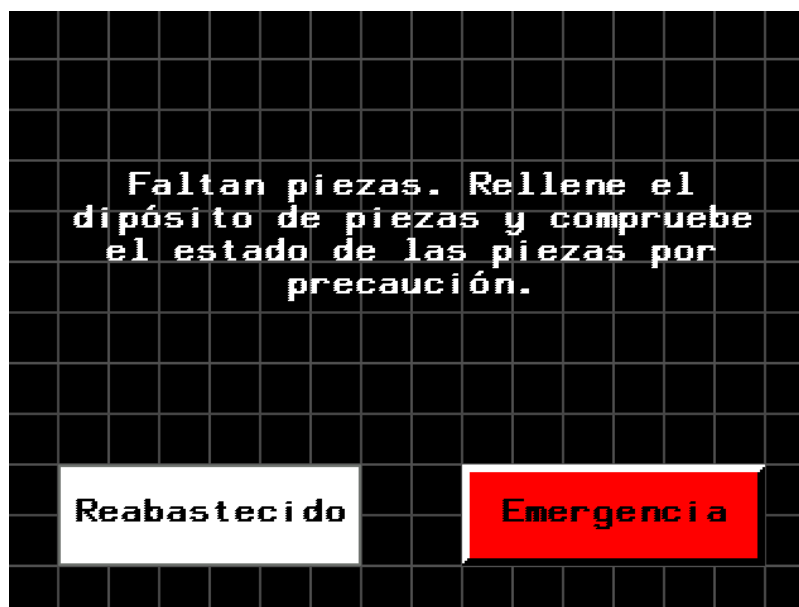


Figura 32. Ventana 1

4. Realitat augmentada

La realitat augmentada (RA) és una tecnologia que permet la interacció entre els ambients virtuals i el món físic real. La RA possibilita enllaçar la realitat amb un software mitjançant una interfície pràctica, a través de la qual una persona pot rebre informació directa i sincronitzada del seu entorn.

La RA, a diferència de la realitat virtual, utilitza el món tridimensional real com punt de referència sobre el qual construir recursos accessibles i entenedors pels usuaris, a través de la interpretació dels objectes reals. Aquest objectes, o tot el context físic visible, és prestat als software de RA com plantilla base sobre la qual el propi programa identifica i relaciona informació i elements. La informació pot ser molt variada, així com també pot ser variat la quantitat i el tipus d'elements que es vol observar i supervisar.

Mitjançant la tecnologia hologràfica, els programes de RA permeten un control en l'espai controlat i segur sense interactuar físicament amb els objectes o sistemes observats. El seguiment és gradual i adaptatiu, és a dir, es pot relacionar i interpretar de totes les maneres possibles per l'usuari destí. Això vol dir que no solament es pot rebre i diferenciar la informació processada, sinó que aquesta també pot ser classificada o esquematitzada segons quin tipus d'operari la utilitzi.

Pel que fa aquest projecte, s'ha implementat una RA basada en marcadors. Aquest tipus de RA es basa en el reconeixement d'imatges definides i des de la qual el propi software compararà en temps real la semblança entre la disposició de la imatge establerta amb el que capti el dispositiu tecnològic destí, és a dir, la càmera de vídeo d'un telèfon mòbil estàndard.

La finalitat d'aquesta implementació és observar en temps real el comptatge de peces processades i guardades per la planta pneumàtica de manera complementaria a la informació mostrada pel HMI.

Per poder utilitzar la tecnologia de RA al projecte cal afegir un seguit de software que, en el seu conjunt, permeten comunicar el PLC amb la RA per transmetre les dades en temps real. Els software mencionats són el Node-Red i el EcoStruxure Augmented Operator Advisor (AOA).

4.1 Node-Red

El Node-Red és una interfície de programació que permet connectar diferents elements digitals, com poden ser PLCs, APIs o serveis online. Aquesta eina permet la edició des del navegador de manera gratuïta mitjançant l'ús de *flows*, amb diverses funcionalitats incorporades (com per exemple el *debug*) i una execució simple i senzilla.

El Node-Red es necessita per comunicar el PLC amb el software de RA mencionat anteriorment, el AOA. Per fer-ho, en primer lloc es necessita un dispositiu capacitat per executar el Node-Red i el AOA Runtime, una part del software RA. Degut a les limitades capacitats de l'ordinador base en què s'executen els programes de SoMachine, és necessària la utilització d'un PC industrial, en concret IOT Box Magelis (propietat de Schneider Electric).

Aquest PC industrial Magelis té ports Ethernet i USB, així com també es pot connectar a xarxes Wi-Fi. L'ús d'aquest dispositiu no pot ser més òptim, ja que aquesta IOT Box està específicament dissenyada per tractar i processar moltes dades de forma eficient i disposa de tots els recursos necessaris per l'aplicació de la RA al projecte en qüestió. Els recursos necessaris són l'Ethernet i la connexió Wi-Fi.

Per connectar el PC principal amb la IOT Box Magelis es necessitarà un cable Ethernet. Aquest cable estarà connectat entre la pròpia IOT Box i el Switch. Per aquesta connexió es transmetran les dades de la memòria del PLC fins el PC Magelis, i després el propi Magelis reenviarà aquestes dades a la aplicació mòbil de la RA mitjançant una xarxa Wi-Fi.

Pel que fa a la comunicació amb el PC principal, cal recordar que la IP de la IOT Box i la de l'ordinador principal han de coincidir (192.168.10.XXX, on el valor XXX identifica quin element és i, per tant, no es pot repetir per diversos dispositius).

4.1.1 Instal·lació

El software Node-Red es necessita instal·lar a l'ordinador que funcionarà com servidor principal. En aquest cas, és la IOT Box Magelis. Per obtenir el programa executable de l'instal·lador, simplement cal buscar a la pàgina web oficial de Node-Red i instal·lar una versió compatible del software amb l'equip on s'instal·li.

Una vegada s'hagi instal·lat el programa, caldrà accedir al programa instal·lat anomenat *Node.js command prompt*. Aquest programa obrirà la consola de Windows, on s'hi haurà d'escriure "npm install -g -unsafe-perm node-red". Aquesta comanda instal·la completament el software de Node-Red que permet utilitzar la computadora com servidor. La pròpia consola de Windows notificarà quan s'hagi instal·lat tota la resta del software.

Una vegada arribat a aquest punt, el software de Node-Red necessari ja estarà instal·lat a la nostra computadora. A partir d'aquest punt, ja es podrà utilitzar la unitat com servidor (*localhost*), i es podrà inicialitzar aquest servidor amb la comanda "node-red" dins la

consola. Es podrà saber quan s'haurà iniciat correctament el servidor per la següent informació a la consola:

```
[info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
[info] Starting flows
[info] Started flows
```

Figura 33. Servidor funcionant al localhost

A partir d'aquí, i sempre i quan no es tanqui el servidor ni l'ordinador que està executant Node-Red, el servidor romandrà obert a la direcció URL indicada anteriorment (encara que la URL sempre sigui la mateixa per tots els ordinadors, al referir-se a sí mateixes dins la direcció URL). A continuació, s'ha d'accedir a aquesta direcció per iniciar el Node-Red al navegador.

A la pàgina web que apareixerà al cercar la URL anterior és on es programaran els diferents *flows* que transmetran la informació fins el software de RA. En primer lloc, s'han d'instal·lar els diferents elements necessaris per la transmissió de dades. Aquests elements es poden instal·lar a la pestanya *Manage palette*, tal i com es veu a continuació:

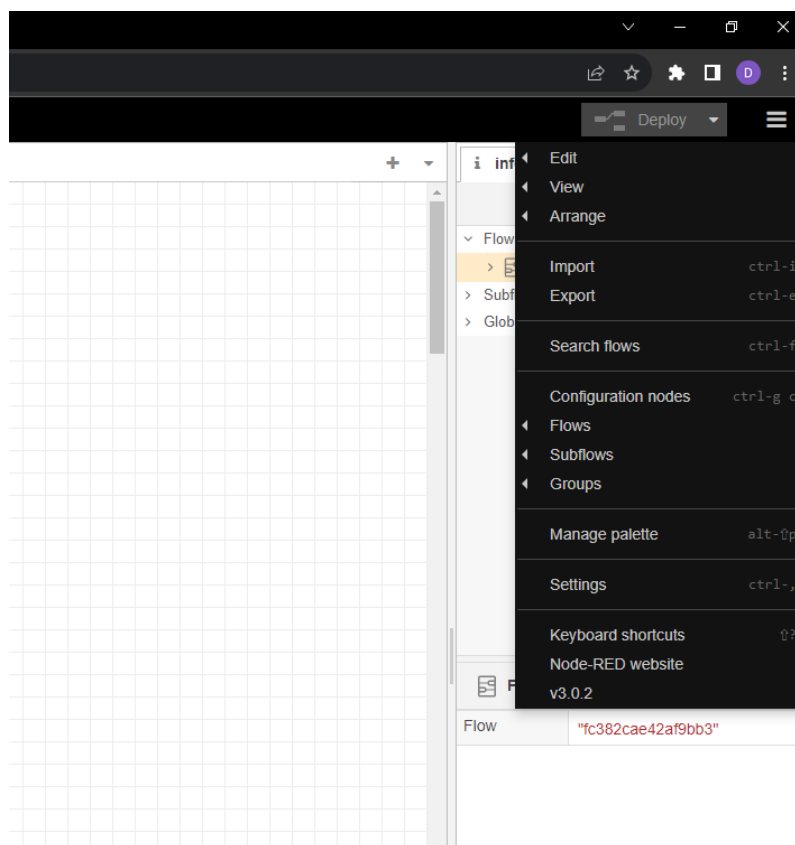


Figura 34. Manage palette

Una vegada es sigui dins la *Manage palette* s'han d'instal·lar les diferents llibreries que contenen les "caixes" necessàries. Tal i com es comentarà més endavant, la forma de programar els *flows* és mitjançant la unió de caixes, essent cadascuna per una finalitat diferent.

En concret, cal instal·lar les següents llibreries:

- >  node-red
- >  node-red-contrib-modbus
- >  node-red-contrib-modbus tcp

Figura 35. Llibreries Node-Red

Una vegada fet això, si es torna la pàgina principal de *flows* es podran veure a la part esquerra de la pantalla les diferents pantalles pertanyents a cada llibreria: *Modbus Response*, *Modbus Read*, *Modbus Server* i *Modbus Write*.

La segona i última part de la instal·lació és necessària per poder utilitzar el software de RA de Schneider Electric. En versions anteriors, tant el Node-Red com el propi software de RA estaven inclosos i implementats a les llicències, però en les versions actuals cal modificar les carpetes de memòria del software Node-Red. Els passos que es seguiran estan indicats a la pròpia guia de Schneider Electric.

En primer lloc, cal tancar el servidor Node-Red, i es pot fer mitjançant la comanda *Ctrl + C* a la consola de Node-Red. Una vegada parat el servidor, cal accedir a la carpeta on s'hagi instal·lat el software EcoStruxure Augmented Operator Advisor (funcionament del qual està explicat a l'apartat 4.2).

Una vegada s'ha accedit a la carpeta mencionada, cal copiar el directori de la carpeta "node-red-augmented-operator". Aquesta carpeta conté les "caixes" pròpies de Schneider Electric que permet la transmissió de dades des del servidor del Node-Red fins a la RA. Com s'ha mencionat abans, aquesta llibreria no ve inclosa al *Manage Palette* del Node-Red, i s'ha d'afegir manualment.

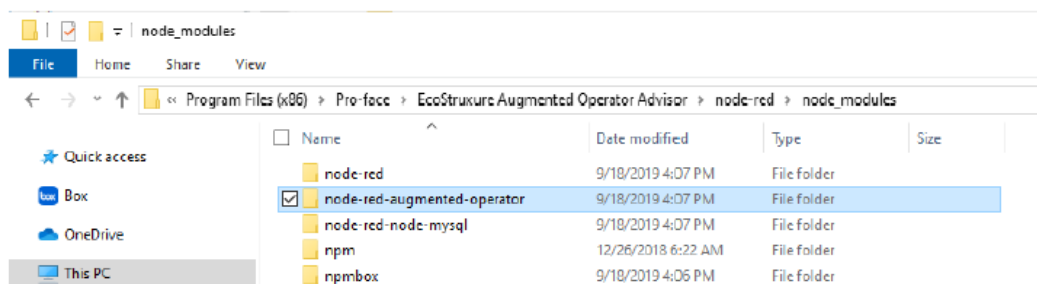


Figura 36. Direcció de la carpeta Node-Red a substituir

Per tant, una vegada copiat el directori, cal enganxar-lo dins la carpeta *nodes* dins la carpeta d'instal·lació de Node-Red a l'ordinador. La carpeta *nodes* no hauria d'aparèixer fins que no s'hagués instal·lat alguna altra llibreria, així que per això abans de tot s'han instal·lat les tres quatre primeres llibreries.

Una vegada fet això, si es torna a iniciar el servidor Node-Red i s'accedeix a la URL d'abans, a la llista de caixes situades a la esquerra de la pantalla haurien d'aparèixer dues noves caixes, tal i com es pot veure a continuació:

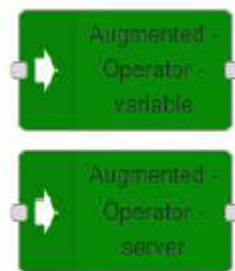


Figura 37. Capses de AOA Schneider Electric

Si aquest és el cas, s’haurà instal·lat correctament tot allò necessari pel correcte funcionament del Node-Red.

4.1.2 Funcionament

El diagrama de *flows* que s’ha utilitzat per la transmesa de dades és el següent:

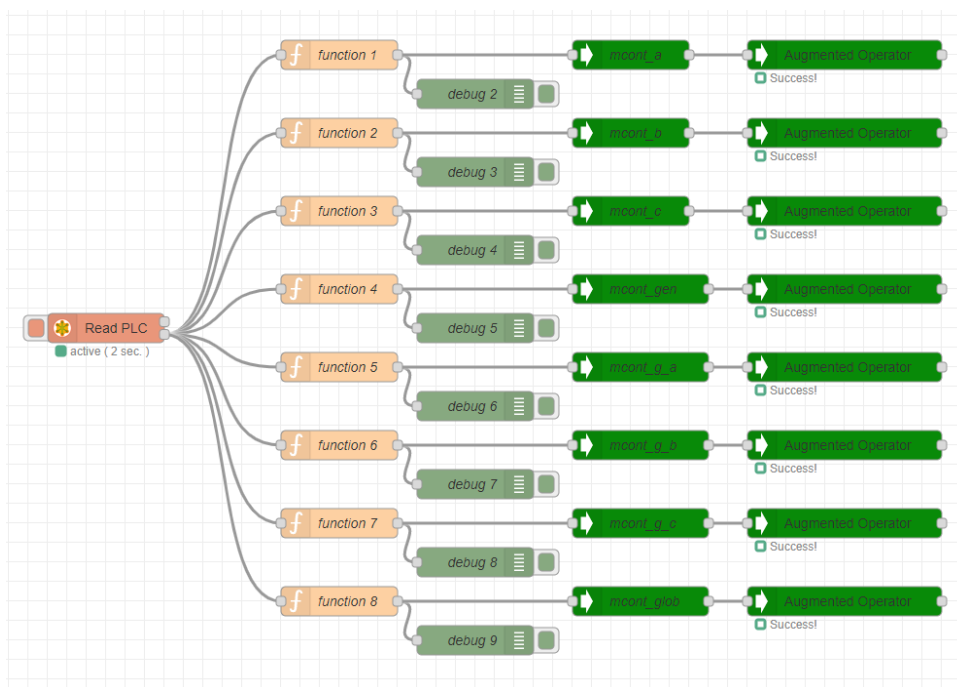
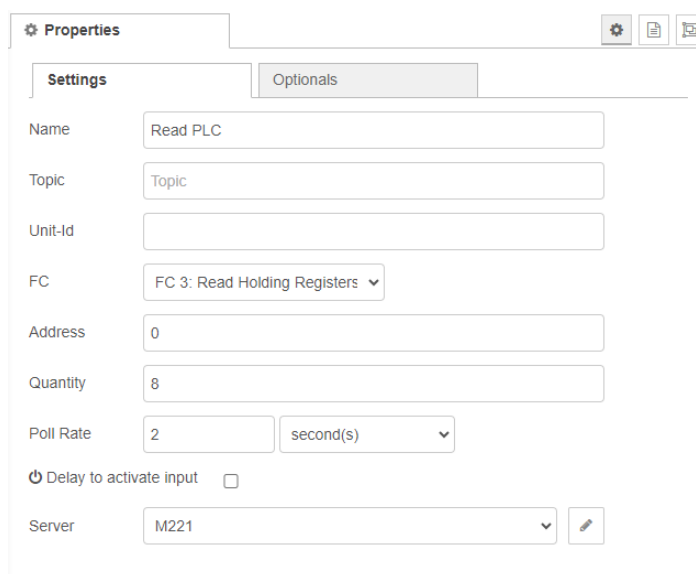


Figura 38. Flow del Node-Red

A continuació, es definirà com funciona cada caixa i per a què serveix:

4.1.2.1 Modbus Read

Aquesta caixa s’encarrega de definir quin tipus d’element està proporcionant dades al servidor, així com també parametritzar quantes dades arriben, de quin tipus són i com estan estructurades.



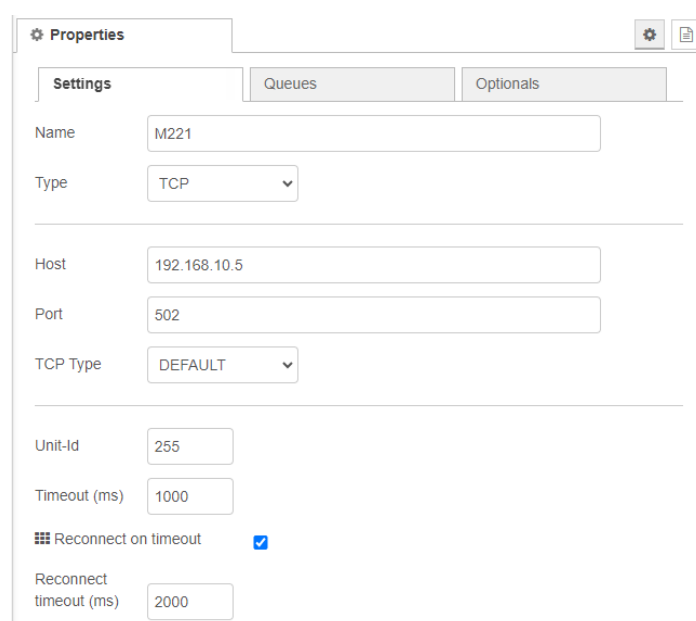
The screenshot shows a 'Properties' window with a 'Settings' tab. The fields are as follows:

- Name: Read PLC
- Topic: Topic
- Unit-Id: (empty)
- FC: FC 3: Read Holding Registers
- Address: 0
- Quantity: 8
- Poll Rate: 2 second(s)
- Delay to activate input:
- Server: M221

Figura 39. Característiques de la caixa Modbus Read

Les propietats que caracteritzen la caixa *Modbus Read* són les mostrades a la imatge anterior. En primer lloc, i tal i com passarà amb la resta de caixes, té un nom propi, que usualment representa la pròpia finalitat de la caixa. En segon lloc, el FC indica quin tipus de lectura o escriptura de dades es realitzarà. En aquest cas, com que el contingut que es vol transmetre està a les direccions de memòria del PLC, es seleccionarà el mode FC 3: Read Holding Registers.

En tercer lloc, s'ha d'indicar primera adreça on es guarda la informació, i a continuació quina és la quantitat de bytes que es llegirà. Abans que res, cal recordar que les dades que es volen transmetre són *words*, i per tant s'ha de tenir cura amb com es tracten les adreces al Node-Red. Concretament, donada la forma en què s'estructura la memòria RAM del PLC, s'haurà d'indicar que *Adress* és 0, ja que és la adreça del primer *word*, i *Quantity* és 8, ja que es volen passar 8 *words*. D'aquesta manera, la caixa *Modbus Read* estarà preparada per rebre la informació guardada a les direccions de memòria indicades.



The screenshot shows a 'Properties' window with a 'Queues' tab. The fields are as follows:

- Name: M221
- Type: TCP
- Host: 192.168.10.5
- Port: 502
- TCP Type: DEFAULT
- Unit-Id: 255
- Timeout (ms): 1000
- Reconnect on timeout:
- Reconnect timeout (ms): 2000

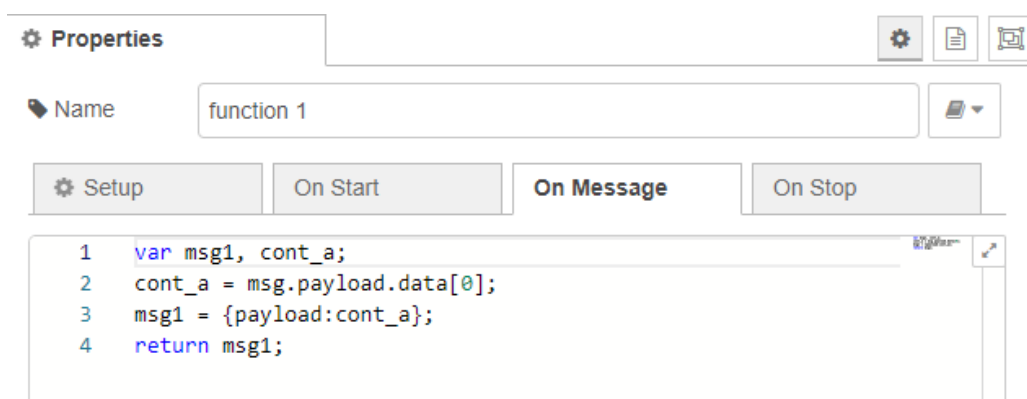
Figura 40. Característiques de l'autòmat a la caixa Modbus Read

Per últim, cal indicar també a la caixa quin és el tipus del PLC que extraurà les dades. En aquest cas, tal i com s'ha indicat a l'apartat 3.4, el PLC és del tipus TCP, model M221. S'ha d'indicar també quina és la seva direcció IP, i a quin port estarà connectat.

4.1.2.2 Function

La caixa *function* és una caixa buida que es programa en llenguatge Java. Aquesta servirà per seleccionar certs elements del bus de dades que prové de la caixa *Modbus Read*, però per fer-ho s'ha de programar.

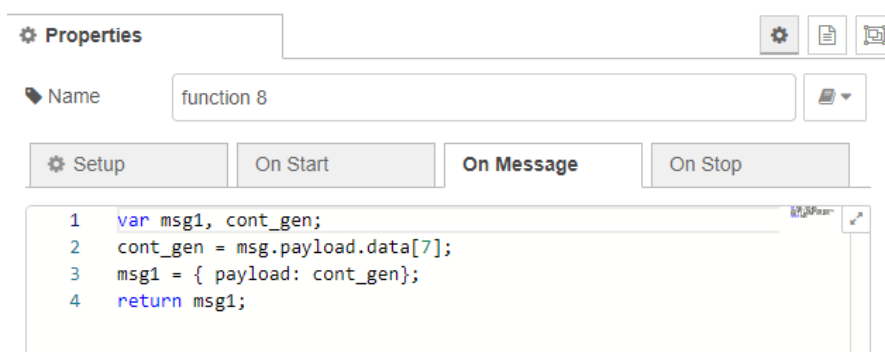
El codi és el següent:



```
1 var msg1, cont_a;
2 cont_a = msg.payload.data[0];
3 msg1 = {payload:cont_a};
4 return msg1;
```

Figura 41. Codi de la caixa function 1

El codi en sí és senzill: ha de seleccionar un byte y retornar-lo. S'utilitzaran diverses caixes del tipus *function*, i cadascuna d'elles seleccionarà un byte diferent.



```
1 var msg1, cont_gen;
2 cont_gen = msg.payload.data[7];
3 msg1 = { payload: cont_gen};
4 return msg1;
```

Figura 42. Codi de la caixa function 8

4.1.2.3 Debug

La caixa *Debug* permet visualitzar per pantalla el valor del missatge que es seleccioni, i és molt útil per comprovar si el valor de les diferents variables és correcte de manera directa.

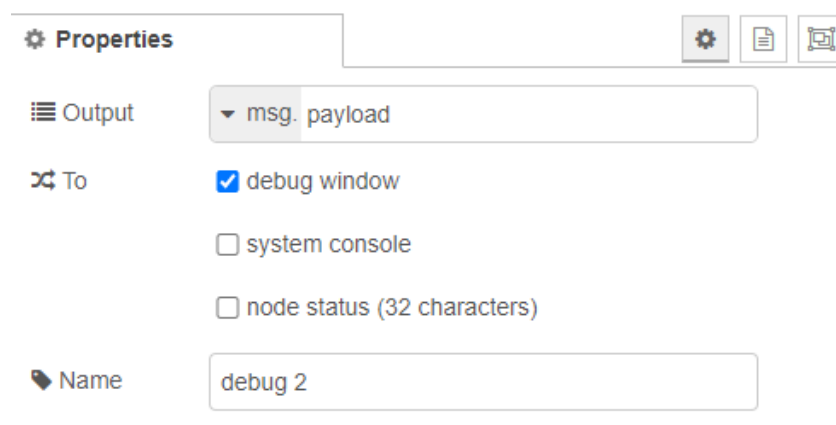


Figura 43. Configuració de la caixa debug

4.1.2.4 Augmented Operator Variable

Aquesta caixa pròpia de Schneider Electric s'encarrega de rebre un missatge i guardarlo en una variable local, on el propi tipus pot ser seleccionat manualment. Cal remarcar que per assegurar el correcte funcionament del conjunt és molt recomanable declarar les variables pel mateix nom que s'utilitzava respectivament al SoMachine Basic.

4.1.2.5 Augmented Operator Server

Aquesta caixa s'encarregarà de transmetre la variable local de la caixa anterior al software de RA.

4.1.3 Execució i interfície

Una vegada s'hagi iniciat la planta pneumàtica, és a dir, quan s'executi la programació del SoMachine Basic, a sota de la caixa *Read PLC* apareixerà una casella que indicarà la connectivitat amb el PLC. Si és correcta, aquesta casella serà verda, i apareixerà el missatge *active* i, per tant, la connexió segura i estable.

A més a més, a sota de les caixes de *Augmented Operator Server* apareixerà el missatge *Success!*, que indica que la variable en qüestió també està preparada per ser transmesa via servidor.

Per comprovar directament els valors que el PLC està enviant al Node-Red, caldrà accedir a la pestanya *debug*, situada a l'extrem dret de la pantalla. Si es prem la pestanya, apareixerà una llista on la informació que arribi s'anirà afegint de manera ordenada. A la imatge següent es pot veure un exemple:

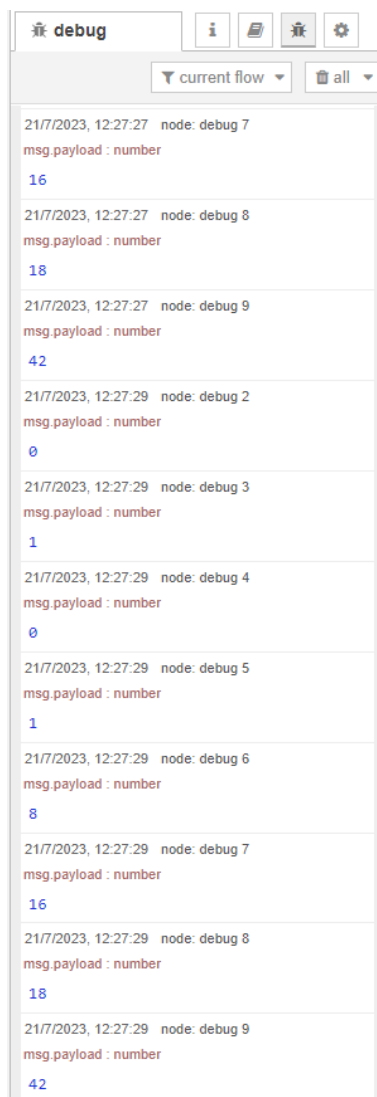


Figura 44. Variables rebudes al Node-Red periòdicament

Com es pot observar, cadascuna de les caixes *debug* indica quin és el valor que envia cada caixa de *function* i, encara que el nom de cada *debug* sigui una numeració, els valors que rep són els mateixos que apareixen a la pantalla HMI i, per tant, també els que ha processat el controlador.

Per assegurar-se que els valors són correctes, cal recordar que els valors del *debug 2* fins el 5 són els corresponents al nombre de peces classificades a l'últim procés, essent l'últim valor la suma dels tres anteriors; de la mateixa manera, la resta de valors indiquen la compta total de peces col·locades. Com es pot comprovar, la suma de peces cada caixa és el valor del quart element (en aquest cas, 1 peça col·locada a l'últim procés, 42 peces col·locades en total).

4.2 EcoStruxure Augmented Operator Advisor

Aquest software, propietat de Schneider Electric, és el que farà possible la Realitat Augmentada. El funcionament del propi programa és senzill, però està estructurat en tres parts ben diferenciades: el Builder, el Runtime i la App.

El primer és la secció on es programarà des del navegador de l'ordinador la aplicació mòbil pel dispositiu amb què s'usi la RA. Aquest software no necessita estrictament una llicència, ja que mitjançant l'ús de la versió de prova de 40 dies es pot usar igualment, encara que amb certes limitacions.

El segon és la part més important i, per tant, necessita una llicència. Aquest software serà el que utilitzarà les variables del Node-Red i les retransmetrà a la aplicació mòbil.

El tercer és la pròpia aplicació del mòbil, i aquesta és gratuïta i es pot descarregar a la Play Store.

4.2.1 Builder

Per accedir al AOA Builder s'haurà d'enregistrar un usuari a la pàgina oficial de Schneider Electric. Després, cal dirigir-se a la pàgina de EcoStruxure Augmented Operator, i a la secció de *Presentación* s'haurà de clicar l'enllaç de *Acceso a software en línea para crear proyectos*. D'aquesta manera, s'obrirà una nova pestanya on, una vegada s'identifiqui un usuari, aquest podrà utilitzar el software en línia. Com s'ha comentat abans, es pot utilitzar la prova temporal de 40 dies, encara que aquesta versió no permet importar projectes aliens i, per tant, caldrà crear des de zero tot el projecte.

El que es podrà observar a la pàgina web del Builder Online és que hi ha diverses pestanyes, i en cadascuna d'elles es pot programar un aspecte diferent de la mateixa aplicació. Cal remarcar abans de tot que la programació de tota la aplicació és mitjançant blocs, és a dir, que serà molt intuïtiva i senzilla.

En primer lloc, s'haurà de crear el projecte, que podrà tenir un nom qualsevol, on també es podrà elegir quin o quins idiomes estaran permesos. Una vegada es premi Validar, el projecte ja estarà creat.

Per una part, a l'apartat *Áreas* es definirà cada espai on es vulgui que interactuï la RA. En aquest cas, com solament es vol veure la compta de les peces i on estan col·locades, amb una serà suficient.

Encara dins de *Áreas*, a la finestra de *Escenas* és on s'inseriran les fotografies base que utilitzarà la RA per guiar-se a l'espai tridimensional. Per inserir-hi les imatges, cal arrastrar-les a la secció de la dreta de la pantalla.

Una vegada inserides les imatges necessàries, a la pestanya *Variables* es declararan totes les variables. Cal recordar que el nom i el tipus de cada variable ha de coincidir amb el nom i el tipus de les variables declarades al Node-Red.

A continuació, s'ha de pulsar l'apartat de *Escenas* superior, on es donarà forma a la escena mitjançant la col·locació de la informació desitjada. Per fer-ho, en aquest projecte s'ha optat per les Llistes. Aquests elements permeten l'agrupació de diferents continguts, en aquest cas les variables de les comptes de cada caixa, tant actual com global, separades per caixa.

Per utilitzar les Llistes, solament cal afegir una llista a cada element (en aquest cas una llista per caixa i una altra llista separada per indicar el sumatori de peces col·locades en l'últim procés i en total) per, després, incloure les variables que es vulgui. Cada llista es pot modificar en lloc, color, nom i contingut.

Una vegada col·locades i definides cada llista, es pot exportar el projecte. Aquest serà un document en format .rar, i serà necessari al software Runtime.

4.2.2 Runtime

El software de AOA Runtime és l'element que farà possible la transmesa de dades del Node-Red cap la aplicació mòbil. Aquest software necessita una llicència, i no té una versió de prova.

Una vegada instal·lats tant el software com la llicència necessària, s'obrirà l'aplicació Runtime. El que es veurà és el següent:

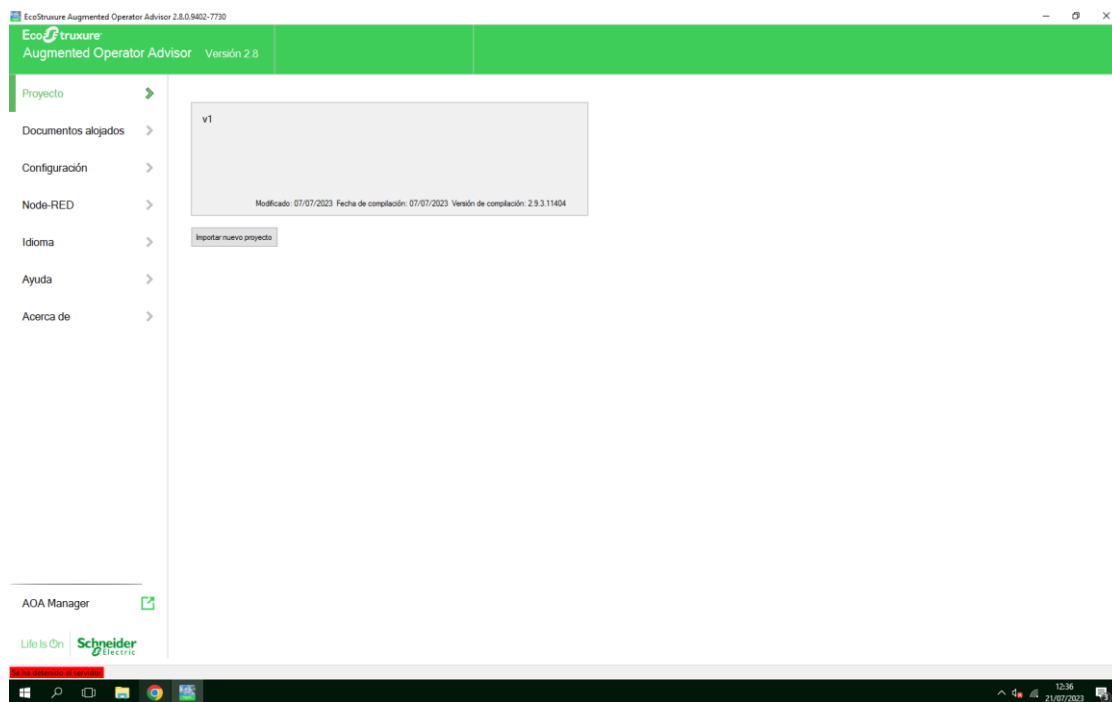


Figura 45. Pàgina principal de AOA Runtime

A l'esquerra es pot observar un seguit de finestres: les que s'usaran són les de *Proyecto*, *Configuración* i *Node-Red*.

En primer lloc, a la finestra *Proyecto* és on s'importarà el document .rar del projecte creat al AOA Builder anteriorment. El que s'estarà fent així és carregar al servidor el projecte, o projectes, que podrà executar l'aplicació mòbil.

En segon lloc, a la finestra *Configuración* és on es faran les comprovacions prèvies del servidor. Per fer-ho, cal prémer el botó *Diagnostico*.

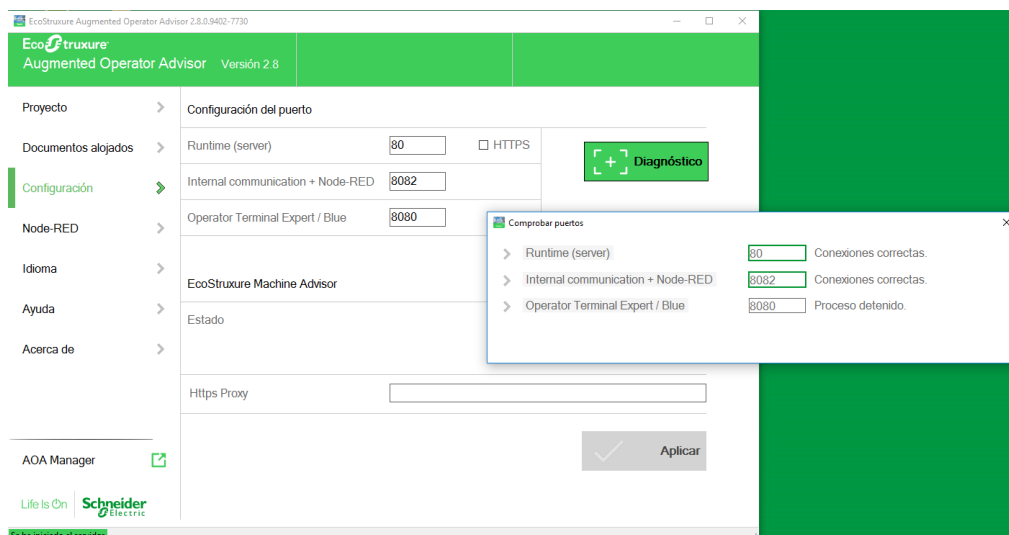


Figura 46. Configuració de AOA Runtime

Si el resultat del diagnòstic és igual al de la imatge anterior, el servidor estarà preparat per iniciar-se. Existeix la possibilitat que, si no s'utilitza la IOT Box Magelis, el port 80 del Runtime (el primer element de la pestanya resultant del diagnòstic) estigui de color vermell. Això indicaria que el Runtime no té accés al port 80 de l'ordinador on s'estigui executant i, per tant, caldria modificar els permisos relatius a aquest port.

Una vegada comprovada la viabilitat del servidor, s'ha d'accedir a la pestanya *Node-Red*. A aquesta pestanya apareixerà el port del Node-Red, en concret el 1880. Una vegada es premi el botó *Aplicar*, situat a l'esquerra del número del port, s'iniciarà el servidor Wi-Fi al qual s'haurà d'accedir des de l'aplicació mòbil.

4.2.3 Aplicació mòbil

Una vegada instal·lada l'aplicació EcoStruxure Augmented Operator Advisor, s'haurà d'obrir-la. Dins de l'aplicació apareixeran dos capsos bàsiques que no s'usaran, ja que el que es vol és afegir el servidor que s'ha creat a la IOT Box mitjançant el Runtime anteriorment.

Per fer-ho, caldrà prémer el botó con apareix el signe de la suma. Una vegada clicat, apareixerà una finestra on s'haurà d'escriure als diversos camps certa informació. Al camp de *Etiqueta* s'haurà de posar un identificador del projecte, que pot ser qualsevol nom. El camp de *Descripció* es pot deixar en blanc, i al camp de *Usuario predeterminado* s'escriurà admin. També s'haurà de seleccionar el mode *Remoto*.



Figura 47. Configuració App AOA

Al següent apartat, al camp de *Nombre del host* caldrà escriure la IP de la Wi-Fi de la IOT Box. En aquest cas, la IP de la Wi-Fi és 10.112.159.230. A la dreta de la IP de la Wi-Fi cal posar també el port, que en aquest cas és 80. D'aquesta manera, s'està identificant manualment el servidor al que es vol connectar l'aplicació mòbil.

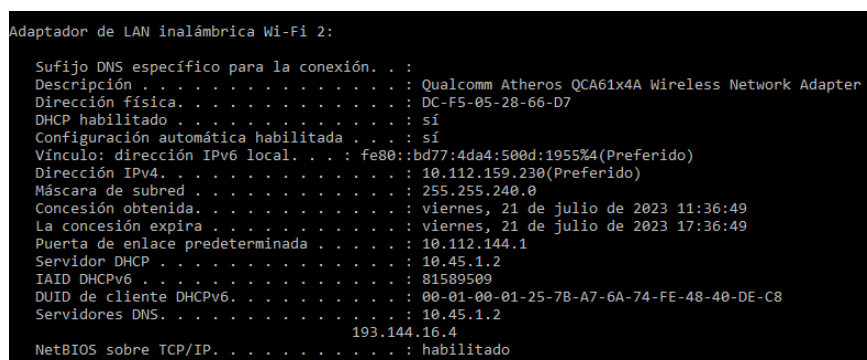


Figura 48. IP de la xarxa Wi-Fi

Una vegada el premi *Guardar*, es tornarà a la pantalla inicial on, aquesta vegada, apareixerà una nova capsa amb la identificació que se li hagi donat abans. Si es prem aquesta capsa, s'haurà d'iniciar sessió. En aquest cas, la contrasenya és la mateixa que per iniciar sessió a la IOT Box Magelis: etse3DEEEA.

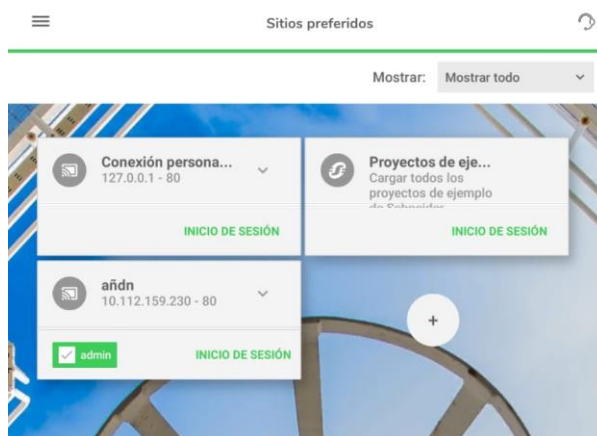


Figura 49. App AOA. Inici de sessió a la IP configurada

Una vegada s'hagi introduït la contrasenya, es prem *Inicio de sesión*. Si tot s'ha fet correctament, després d'un petit temps hauria d'aparèixer una pantalla en blanc amb la imatge d'una escena. Aquesta pantalla mostra els projectes que s'han importat al Runtime anteriorment.

Si es selecciona la escena, apareixerà a pantalla completa la escena amb les llistes creades al Builder, i es podrà interactuar amb aquestes llistes per veure el seu contingut. El problema és que d'aquesta manera no s'utilitza la càmera per identificar l'escenari en tres dimensions: per tant, no és una aplicació de Realitat Augmentada.

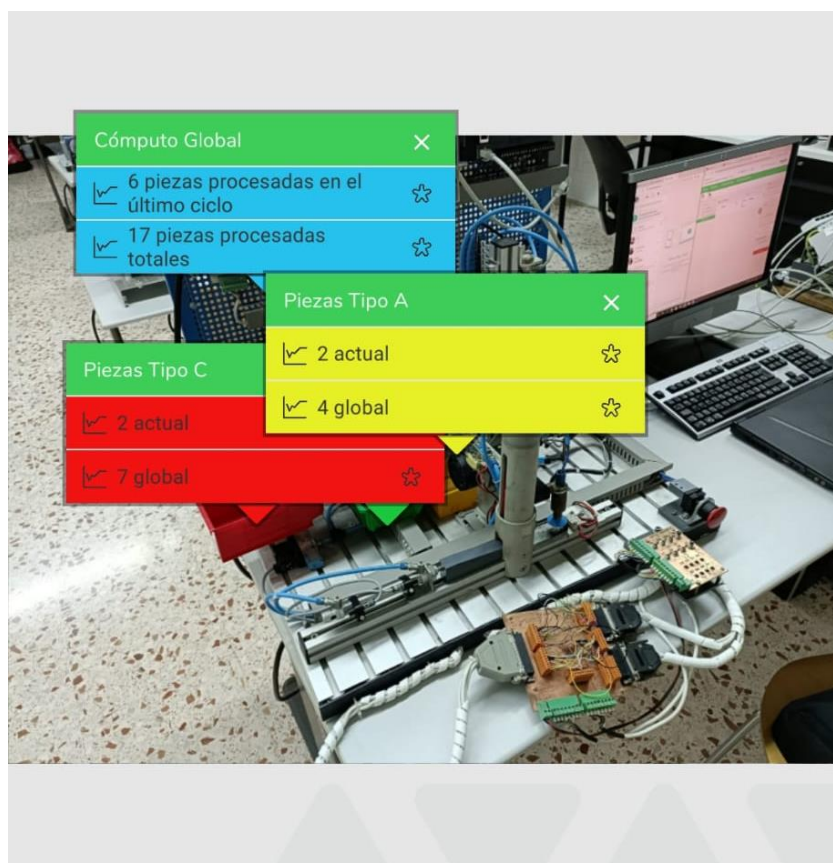


Figura 50. Realitat Augmentada sense càmera

Per utilitzar la RA, cal prémer el botó verd on apareix una càmera. Una vegada s'hagi premut, s'activarà la càmera i, quan la IA del software detecti una semblança notable entre el que capti la càmera i una escena, sobre la càmera apareixerà la interfície de RA. Aquesta interfície serà allò programat al Builder, que en aquest cas són les diferents llistes que indiquen les peces processades a cada caixa.

Cal remarcar que en qualsevol moment es pot modificar la qualitat de la imatge i la resolució de la càmera, però la pròpia aplicació ja avisa que com major sigui la resolució més probabilitats hi haurà que la IA no pugui detectar les escenes programades. Per tant, com recomanació, la càmera haurà de deixar-se en una resolució òptima, que normalment és la usada inicialment per la pròpia aplicació.

5. Resultats

Els resultats del conjunt, tant de la planta pneumàtica com de la Realitat Augmentada, han sigut satisfactoris. La planta classifica amb exactitud totes les peces que se li subministren, el compte de les peces col·locades és correcta i l'aplicació del mòbil on es realitza la supervisió amb Realitat Augmentada funciona perfectament.



Figura 51. Realitat Augmentada en funcionament. Disposició de llistes

En primer lloc, la planta pneumàtica és capaç de detectar la falta de peces per tal de posar-se automàticament en mode de pausa, així com també reacciona a qualsevol comandament manual que faci l'usuari mitjançant la pantalla HMI.

En segon lloc, l'ús de la interfície humà-màquina és senzill i intuïtiu: per una part, els modes de funcionament són fàcils de comprendre i, per l'altra, l'usuari pot navegar entre les finestres d'informació per conèixer el total de peces classificades per la planta, tant a nivell local com global. A més a més, per la pantalla HMI també apareixen les advertències de l'estat de la planta (en cas que entri en Parada d'Emergència o Parada per falta de peces).

En tercer lloc, l'aplicació mòbil de Realitat Augmentada funciona amb normalitat. El dispositiu pot detectar el context físic de la planta i afegir la interfície de dades en forma de llistes, amb les quals l'usuari també pot interactuar. Els períodes de les actualitzacions dels valors són relativament curts, així que pràcticament el seguiment dels comptes amb la Realitat Augmentada és immediat.

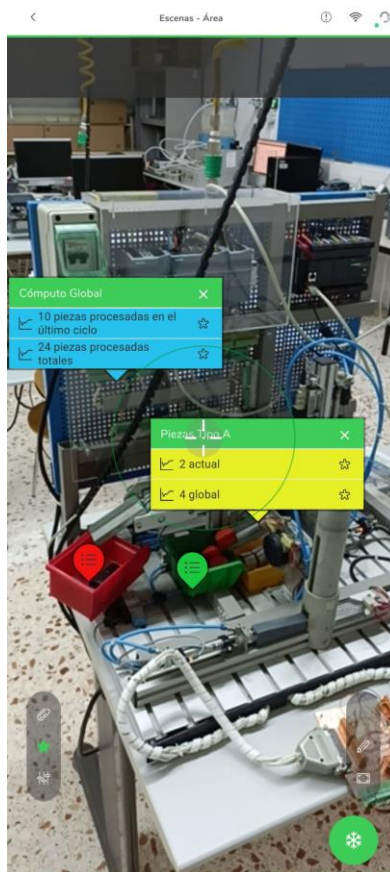


Figura 52. Realitat Augmentada en funcionament. Llistes desplegades

Tot i que les prestacions del projecte siguin les esperades i arribin als objectius inicials, existeixen certs elements que són possiblement els més probables en causar problemes al conjunt del projecte. Per una part, s'ha detectat una variància periòdica en la posició del sensor capacitatiu. Aquest tendeix a rotar sobre sí mateix sobre el seu axial, de manera que es desenrosqui i acabi fent lectures errònies. La fixació d'aquest component hauria de ser revisada manual i periòdicament, ja que si fa lectures errònies la planta es paralarà i no podrà col·locar peces.

Per altre part, la qualitat de l'aplicació mòbil de Realitat Augmentada no segueix el nivell dels dispositius mòbils més actuals. La càmera de l'aplicació recomana (encara que, a efectes pràctics, força) la utilització de resolucions baixes, ja que per resolucions massa altes pel software les lectures de l'entorn (per comparar similituds amb les escenes programades) poden arribar a ser errònies i ser incapaç de detectar la situació a l'espai tridimensional.

Pel que a fa a les possibles millores del projecte, aquestes no solament són nombroses en quantitat, sinó que també en qualitat. Per una banda, la sofisticació del funcionament de la planta pneumàtica es pot augmentar significativament: es poden eliminar i reagrupar certs estats dels Grafsets per fer més senzilla la comprensió del flux d'estats, es pot afegir una marxa consecutiva a la Parada d'Emergència, un funcionament pas a pas o manual, i la detecció de problemes o situacions controlades durant els diferents processos de cada part de la planta pneumàtica.

Per altre banda, la interfície HMI també es pot modificar de tal manera que, en primer lloc, avisi de problemes en certes parts del procés (peça mal col·locada, error de lectura d'un sensor). En segon lloc, també es podria actualitzar la manera en què es veuen les comptes

de les peces col·locades: en lloc de mostrar els gràfics percentuals, es podria generar una taula automàtica que cada vegada que s'acabi un procés local, informés de la durada de l'últim procés, incloent també el motiu de la finalització del procés, la mitjana de peces col·locades per minut, etc. A més a més, donades les prestacions del software, inclús es podria generar un informe escrit el qual pogués ser presentat per les supervisions periòdiques, com si d'un procés d'una fàbrica convencional es tractés.

Per últim, la Realitat Augmentada té moltíssimes possibilitats que no s'han implementat en aquest projecte: es poden referenciar documents, pàgines web, comandar el funcionament de la planta, etc. Com que aquest projecte ha sigut una aproximació a aquesta tecnologia, no s'ha aprofundit molt en aquest aspecte, però la varietat de les possibles millores és molt ampla.

6. Conclusions

Els processos automàtics són una constant en la societat moderna. Moltes estructures bàsiques de producció es sustenten en aquesta tecnologia, i la seva implementació i millora ha suposat un gran avenç a nivell global. La Realitat Augmentada, per altre part, ha sorgit per coexistir en aquest context i millorar la qualitat del treball i dels processos, essent avui dia una eina quasi indispensable en qualsevol indústria.

Aquest projecte es va iniciar amb el propòsit de provar aquesta adaptació i millora, amb la implementació de la Realitat Augmentada a una planta pneumàtica classificadora de peces. Els resultats no solament han sigut satisfactoris, sinó que també s'ha demostrat que, amb suficient esforç i constància, qualsevol estudiant d'enginyeria amb suficients coneixements és capaç d'utilitzar aquesta nova tecnologia en àmbits més familiars.

El desenvolupament del projecte en cap moment ha sigut fàcil, ni molt menys insatisfactori. La clau d'aconseguir els objectius ha sigut estructurar tot el projecte en diferents elements diferenciats i amb objectius propis que, amb les correctes comunicacions entre elles, forma tot un conjunt funcional.

D'entre les reflexions que se'n poden fer després de realitzar aquest projecte, la més important ha sigut la planificació i l'adaptabilitat davant cada problema o repte que ha sorgit durant la seva confecció. El tracte de tecnologies ja conegudes i estudiades no ha sigut un fet que hagi exclòs la trobada de problemes tècnics, així com també ho ha sigut l'ús de noves tecnologies i dispositius. De manera rigorosa, tots els problemes, independent de la seva naturalesa, origen o causa, han sigut avaluats, estudiats i resolts.

Com a conclusió final, es pot considerar que el projecte no solament ha assolit els seus objectius, sinó que també ha suposat una millora substancial a nivell individual al respecte i l'admiració de l'especialitat d'automatització i les noves tecnologies. El canvi de perspectiva que ha aportat aquest projecte ha sigut molt valuós, i ha suposat un canvi sobre com s'entén la indústria que ens envolta.

Agraeixo a tots els tècnics responsables del laboratori 107 del Campus Sescelades la seva ajuda, així com també al propi campus la facilitació del tot el material necessari pel desenvolupament del projecte. Per últim, però no menys important, també agraeixo l'esforç i la dedicació del meu tutor per la supervisió d'aquest projecte: aquest ha sigut un treball constant i coordinat que, sense la seva ajuda, no hauria pogut ser possible.

7. Referències

1. "Node-RED". Node-RED. Accedit el 29 de maig de 2023. [En línia]. Disponible: <https://nodered.org/>
2. "Installing Node.js via package manager | Node.js". Node.js. Accedit el 29 de maig de 2023. [En línia]. Disponible: <https://nodejs.org/en/download/package-manager#windows-1>
3. "EcoStruxure Augmented Operator | Schneider Electric España". Schneider Electric Global | Global Specialist in Energy Management and Automation. Accedit el 15 de juny de 2023. [En línia]. Disponible: <https://www.se.com/es/es/product-range/64507-ecostruxure-augmented-operator/#overview>
4. "SoMachine – Guía de programación". Schneider Electric España". Schneider Electric Global | Global Specialist in Energy Management and Automation. Recuperat el 5 de abril de 2023. [En línia]. Disponible: <https://www.se.com/es/es/download/document/EIO000000071/>
5. "Hoja de características del producto – Modicon M221_TM221CE40R". Schneider Electric Global | Global Specialist in Energy Management and Automation. Accedit el 5 de abril de 2023. [En línia]. Disponible: <https://www.se.com/es/es/product/TM221CE40R/controlador-modicon-m221-con-ethernet-40-es-de-tipo-rel%C3%A9/>
6. "Vijeo Designer – Manual de formación". Schneider Electric Global | Global Specialist in Energy Management and Automation. Accedit el 7 de abril de 2023. [En línia]. Disponible: <https://studylib.es/doc/8298007/manua-formaci%C3%B3n---vijeo-designer-5.1-v1.2>
7. "Uso de Node-Red con Augmented Operator Advisor – Advantec Technical Support". Schneider Electric Global | Global Specialist in Energy Management and Automation. Accedit el 31 de maig de 2023. [En línia]. Disponible: <https://ckm-content.se.com/ckmContent/sfc/servlet.shepherd/document/download/0691H0000F9sBpQAJ>
8. "Guía de Puesta en Marcha AOA V2". Schneider Electric Global | Global Specialist in Energy Management and Automation. Accedit el 15 de maig de 2023. [En línia]. Disponible: <https://www.scribd.com/document/652916549/Guia-de-Puesta-en-Marcha-AOA-V2-Copia>

8. Annexos