



ESTUDI DELS SISTEMES DE SEGURETAT D'UN PROCÉS INDUSTRIAL

Document:

Memòria

Autor/Autora:

Eduard Sa Gonzalo

Director/Directora - Codirector/Codirectora:

Joan Valls Perez / Miguel Delgado Prieto

Titulació:

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i
Automàtica

Convocatòria:

Primavera 2022

TREBALL DE FI D'ESTUDIS



Resum

El desenvolupament industrial ha estat un gran avenç en la qualitat de vida del ser humà i ha permès un progrés sense precedents en les nostres vides. Ara bé, aquest desenvolupament no sempre ha tingut en compte els perills que generava. Si bé és cert que ha permès substituir feines pesades per màquines i agilitzar la producció fins a punts que temps enrere eren inimaginables, també ha creat nous problemes i perills que eren inexistents.

La indústria, a poc a poc, va agafant consciència dels perills que es generen en un entorn industrial, però això no acostuma a ser un punt principal a tenir en compte. Encara hi ha nombrosos casos d'accidents laborals que es podrien haver evitat si s'hagueren utilitzat els mètodes correctes definits en l'àmbit de seguretat de màquines. Posar en pràctica aquests mètodes pot suposar salvar vides o evitar lesions.

Aquest projecte pretén aplicar aquests conceptes en un entorn industrial, que va ser creat per usar en fires i esdeveniments demostratius, proporcionat per l'empresa ABB (Asea Brown Boveri), format per una cel·la amb un braç robòtic i una cinta transportadora, condicionats per diversos dispositius de seguretat ABB.

Mitjançant la programació es permetrà brindar a la cèl·lula de diferents funcionalitats, sempre enfocades a la seguretat, i controlar la cinta i el braç robòtic de manera segura. Mostrant així l'aplicació de la seguretat de màquines i les normatives que la componen, en un entorn industrial real.

Abstract

Industrial development has been a breakthrough in the quality of life of human beings, and has allowed for unprecedented progress in our lives. However, this development has not always taken into account the dangers it poses. While it has been possible to replace heavy work with machines and speed up production to points that were unimaginable long ago, it has also created new problems and dangers that were non-existent.

The industry is slowly becoming aware of the dangers that arise in an industrial environment, but there are still numerous cases of accidents at work that could have been avoided if the correct methods defined in the field of machine security would have been applied. Implementing these methods can save lives or prevent injuries.

This project aims to apply these concepts in an industrial environment, which was created for use in fairs and demonstration events, provided by the company ABB (Asea Brown Boveri), consisting of a cell with a robotic arm and a conveyor belt, conditioned by various ABB security devices.

The programming will allow the cell to provide different functionalities, always focused on security, and control the tape and the robotic arm safely. Thus showing the application of machine safety and the regulations that make it up, in a real industrial environment.





Índex

RESUM	2
ABSTRACT	2
ÍNDEX	4
ÍNDEX IL·LUSTRACIONS	5
ÍNDEX TAULES	6
LLISTA D'ABREVIATURES/GLOSSARI	7
1. INTRODUCCIÓ	8
1.1 OBJECTE.....	8
1.2 ABAST	8
1.3 REQUERIMENTS	9
1.4 JUSTIFICACIÓ	9
2. ANTECEDENTS I/O REVISIÓ DE L'ART	10
2.1. HISTÒRIA.....	10
2.2. CONCEPTES BÀSICS.....	10
2.2.1. <i>Marcat CE</i>	11
2.2.2. <i>Directiva màquines 2006/42/ CE</i>	11
2.2.3. <i>Normatives harmonitzades</i>	12
2.3. DISPOSITIUS SEGURETAT	21
2.3.1. <i>Relé seguretat</i>	21
2.3.2. <i>PLC</i>	22
2.3.3. <i>Resguards/tanques</i>	24
2.3.4. <i>Dispositius d'enclavament i bloqueig</i>	24
2.3.5. <i>Polsador d'emergència</i>	25
2.3.6. <i>Cortina/ barrera seguretat</i>	26
2.3.7. <i>Dispositiu de tres posicions</i>	27
2.3.8. <i>Dispositiu bimanual</i>	27
2.3.9. <i>Tina</i>	27
2.3.10. <i>Passarel·la comunicacions</i>	28
2.3.11. <i>Variador freqüència</i>	28
2.4. PROTOCOLS DE COMUNICACIÓ INDUSTRIAL	28
2.4.1. <i>Pluto Bus</i>	29
2.4.2. <i>AS-i</i>	29
2.4.3. <i>EthernetIP</i>	30
3. METODOLOGIA	31
4. DISSENY PROJECTE	32
4.1. ANÀLISI DE L'ENTORN	32
4.2. ANÀLISI DELS PERILLS	38
4.3. ESTUDI DE LES SOLUCIONS.....	40
4.3. ARQUITECTURA CONNEXIONAT DISPOSITIUS	42
4.4. ESTUDI FUNCIONALITATS DE LA CÈL·LULA	46
5. PROGRAMACIÓ	47
5.1. NORMATIVA APLICADA PROGRAMACIÓ SEGURETAT	47
5.2. ESTRUCTURA PLUTO MANAGER I PROGRAMACIÓ	52
5.3. PROGRAMACIÓ DEL PROJECTE	56
5.3.1. <i>Funcionalitats de la cèl·lula gràcies a la programació</i>	57

5.3.2.	<i>Funcionament general</i>	57
6.	VALIDACIÓ	66
7.	PRESSUPOST	67
8.	ANÀLISI I VALORACIÓ	68
8.1.	ANÀLISI RESULTATS	68
8.2.	VALORACIÓ I IMPLICACIONS SOCIALS	69
9.	CONCLUSIONS	69
10.	BIBLIOGRAFIA	70

Índex il·lustracions

IL·LUSTRACIÓ 1.	ESQUEMA REDUCCIÓ DE RISC.	13
IL·LUSTRACIÓ 2.	PASSOS ISO13849-1.	15
IL·LUSTRACIÓ 3.	DIAGRAMA CÀLCUL PLR.	16
IL·LUSTRACIÓ 4.	RELACIÓ ENTRE LES CATEGORIES, DC I MTTFD PER MESURAR EL PL.	17
IL·LUSTRACIÓ 5.	DIAGRAMA CATEGORIA 4.	18
IL·LUSTRACIÓ 6.	ESQUEMA FUNCIONAMENT CDS.	19
IL·LUSTRACIÓ 7.	CDS A UN RELÉ DE SEGURETAT.	20
IL·LUSTRACIÓ 8.	RELÉS SEGURETAT.	21
IL·LUSTRACIÓ 9.	PLUTO B42 ASI.	22
IL·LUSTRACIÓ 10.	ESQUEMA INTERN PLUTO B42 AS-I.	23
IL·LUSTRACIÓ 11.	RESGUARDS.	24
IL·LUSTRACIÓ 12.	EDEN.	25
IL·LUSTRACIÓ 13.	DALTON M12.	25
IL·LUSTRACIÓ 14.	KNOX.	25
IL·LUSTRACIÓ 15.	SMILE 11.	25
IL·LUSTRACIÓ 16.	SMILE 41.	26
IL·LUSTRACIÓ 17.	ORION 1.	26
IL·LUSTRACIÓ 18.	JSHD4.	27
IL·LUSTRACIÓ 19.	JSTD25.	27
IL·LUSTRACIÓ 20.	CONJUNT DISPOSITIUS TINA.	27
IL·LUSTRACIÓ 21.	PASSAREL·LA GATE-EIP.	28
IL·LUSTRACIÓ 22.	RELACIÓ NS-F1-P A UN VARIADOR.	28
IL·LUSTRACIÓ 23.	VISTA FRONTAL CÈL·LULA.	33
IL·LUSTRACIÓ 24.	VISTA LATERAL ESQUERRE CÈL·LULA.	34
IL·LUSTRACIÓ 25.	VISTA LATERAL DRET CÈL·LULA.	35
IL·LUSTRACIÓ 26.	DISPOSITIUS CÈL·LULA.	36
IL·LUSTRACIÓ 27.	QUADRE ELÈCTRIC.	37
IL·LUSTRACIÓ 28.	DIAGRAMA POTENCIA.	42
IL·LUSTRACIÓ 29.	DIAGRAMA CONNEXIÓ PLC-CINTA.	43
IL·LUSTRACIÓ 30.	DIAGRAMA COMUNICACIÓ AS-I.	44
IL·LUSTRACIÓ 31.	DIAGRAMA CONNEXIONAT SENYAL EMERGÈNCIA BRAÇ ROBÒTIC.	44
IL·LUSTRACIÓ 32.	DIAGRAMA COMUNICACIÓ PLC- BRAÇ ROBÒTIC.	45
IL·LUSTRACIÓ 33.	CONNEXIÓ DISPOSITIUS CDS.	46
IL·LUSTRACIÓ 34.	BLOC START.	48
IL·LUSTRACIÓ 35.	DIAGRAMA ESTATS BLOC START.	48
IL·LUSTRACIÓ 36.	BLOC OFFDELAY.	49
IL·LUSTRACIÓ 37.	BLOC TWOHAND.	49
IL·LUSTRACIÓ 38.	DIAGRAMA ESTATS BLOC TWOHAND.	49



IL·LUSTRACIÓ 39. BLOC EXTVARBLOCK	50
IL·LUSTRACIÓ 40. ASISAFEOUTPUT1.	50
IL·LUSTRACIÓ 41. DIAGRAMA ESTRUCTURA PROGRAMACIÓ SEGURETAT.	51
IL·LUSTRACIÓ 42. ESTRUCTURA PLUTO MANAGER.	52
IL·LUSTRACIÓ 43. I/O OPTIONS.	53
IL·LUSTRACIÓ 44. AS-I OPTIONS.	54
IL·LUSTRACIÓ 45. VARIABLES.	54
IL·LUSTRACIÓ 46. SEQÜÈNCIA EXEMPLE.	56
IL·LUSTRACIÓ 47. DIAGRAMA ESTAT D'EMERGÈNCIA	58
IL·LUSTRACIÓ 48. DIAGRAMA ACTIVACIÓ ELEMENTS FUNCIONALS.	59
IL·LUSTRACIÓ 49. DIAGRAMA SOL·LICITUD D'ACCÉS.....	60
IL·LUSTRACIÓ 50. SEQÜÈNCIA DE ESTATS SEGURETAT.....	61
IL·LUSTRACIÓ 51. SEQÜÈNCIA DEFINICIÓ D'ESTATS.	62
IL·LUSTRACIÓ 52. SEQÜÈNCIA PNEUMÀTICA.	63
IL·LUSTRACIÓ 53. SEQÜÈNCIA COMUNICACIÓ ROBOT 1.	64
IL·LUSTRACIÓ 54. SEQÜÈNCIA COMUNICACIÓ ROBOT 2.	65

Índex taules

TAULA 1. IDENTIFICACIÓ PERILLS	38
TAULA 2. IDENTIFICACIÓ PERILLS.	39
TAULA 3. GRAUS CONSIDERACIÓ RISC.	40
TAULA 4. PRESSUPOST.	67

Llista d'abreviatures/Glossari

Màquina: Conjunt de parts o components vinculats entre si associats a una aplicació determinada.

Mal ús previsible: mal ús de funcionament d'una màquina, però que pot ser previst prèviament.

Resguard: Barrera o delimitació física, dissenyat per a proporcionar seguretat.

Resguard fix: Resguard que només pot obrir-se o modificar la seva posició via eines.

Resguard mòbil: Resguard que pot obrir-se o tancar-se sense l'ús d'eines.

Perill: Quelcom que pugi causar danys, font de danys potencial o afectar negativament a la salut

Risc: Possibilitat que un perill causi danys i amb quina gravetat.

PL: Performance level.

SIL: Safety integrity level

Input o I o E: senyals d'entrades PLC

Output o O o S: senyal de sortida del PLC.

Interfície: connexió funcional entre dispositius/sistemes/programes que proporciona una comunicació de diferents nivells, permet l'intercanvi d'informació.[1]

Mestre/esclau: model de comunicació per dispositius de hardware on un dispositiu (mestre) té un control unidireccional sobre un o mes dispositius (esclaus). [2]

CDS o DYN: Circuit dinàmic seguretat.

1. Introducció

S'introdueix el projecte definint l'objecte, l'abast, els requeriments i la justificació d'aquest.

1.1 Objecte

L'objecte principal pel qual es decideix emprendre aquest projecte és l'interès personal en els sistemes de seguretat en un entorn industrial. És un tema que per les seves característiques no acostuma a considerar-se de gran importància, però que a poc a poc va agafant més pes. No només això, sinó, que és un requeriment obligat per a qualsevol instal·lació industrial actual. És per aquest motiu que el fet d'emfatitzar i desenvolupar un projecte d'aquestes característiques, permetrà obtenir uns coneixements fermes i necessaris per al futur.

El projecte basa el seu objectiu en el final recondicionament d'una cèl·lula de seguretat disponible a les instal·lacions ABB de Sant Quirze del Vallès. Aquesta ha estat creada per fer demostracions dels equips ABB en fires i esdeveniments demostratius. A causa del fet que en el moment de la seva fabricació no es va desplegar fins al punt desitjat, ara existeix la necessitat de completar aquest projecte per donar rendiment a la inversió inicial. El projecte pretén dur a terme la programació de tots els dispositius programables incorporats per a la seguretat i, d'aquesta manera, promocionar en futurs esdeveniments les solucions amb productes ABB i fer èmfasi en la seguretat que sovint no sol ser una prioritat de les empreses.

1.2 Abast

El projecte engloba diferents àmbits necessaris per a concloure amb èxit.

En primer lloc, hi ha la necessitat de revisar i, si és necessari, modificar les connexions de la màquina, tant la part de potència com la de control, partint sempre dels esquemes ja fets amb anterioritat.

Modificar, si s'escau, els esquemes elèctrics ja existents.

La programació del PLC de seguretat serà un altre àmbit important. Aquesta programació estarà basada en els estàndards corresponents. Tota la programació es farà respectant sempre les normatives existents per a PLC's de seguretat.

Els protocols de comunicació industrial adients per comunicar certs dispositius seran necessaris per a permetre un control exhaustiu de tots els dispositius.

La interacció d'un variador de freqüència amb un motor per controlar i protegir el seu funcionament.

La cèl·lula disposa d'un braç robòtic que serà supervisat per el PLC, serà necessari analitzar el risc que aquest genera i prendre les mesures adients per obtenir una cèl·lula segura.

1.3 Requeriments

La base del projecte parteix a partir d'una màquina amb el muntatge i les connexions realitzades. La resta d'aspectes com la programació, configuració, modificacions necessàries s'inicien des de zero.

Serà requerit obtenir una màquina segura una vegada es finalitzi el projecte. Aquesta màquina haurà de complir els estàndards que especifiquen les normatives referides a la seguretat de màquines.

Els softwares que seran utilitzats per al desenvolupament del projecte són els següents:

- Pluto Manager: Programació PLC seguretat.
- Eplan: Modificació esquemes elèctrics

1.4 Justificació

A les instal·lacions d'ABB disposen d'una cèl·lula d'automatització que va ser creada amb la finalitat de permetre les demostracions de les diferents solucions de producte de seguretat ABB. Per diversos motius, aquesta ha quedat en desús i ara sorgeix la necessitat de reobrir el projecte per amortitzar la inversió inicial.

L'objectiu no serà només tornar al punt de partida on funcionava la cèl·lula, sinó dotar a aquesta d'una millora respecte a la versió inicial. Amb la realització d'aquest projecte pretenem assolir el màxim rendiment de la instal·lació perquè pugui ser utilitzada com a estri de demostració a clients i fomentar les compres de les solucions ABB.

Una altra finalitat important és dotar el projecte de tots els documents necessaris, tant d'esquemes elèctrics com de programació i que aquests siguin correctes. Ara per ara, existeix una falta de documentació rellevant pel fet que la primera posada en marxa no es va fer en condicions òptimes. Les poques funcionalitats existents no estan documentades, per la qual cosa, a una persona aliena al projecte li és més senzill començar de zero que reprendre el projecte. Per aquest motiu, volem deixar tot ben documentat, ja que si en un futur cal fer alguna millora o reprendre el projecte, pugui ser des del punt on es va deixar en l'última modificació.

2. Antecedents i/o revisió de l'art

Aquest apartat permet posar en context la raó de ser del projecte i mostrar els avenços obtinguts al llarg de l'evolució de la industrialització del món mostrant i comentant algunes de les normatives i detallant alguns dels conceptes bàsics necessaris.

2.1. Història

La seguretat física sempre ha estat un fet delicat i a tenir en compte per a la vida del ser humà, tothom vol viure amb condicions òptimes i evitar qualsevol mena de dany físic. Ara bé, quan es tracta de la indústria i per generar aquesta seguretat cal una inversió de capital, la qüestió sembla perdre importància. És per això que hi ha hagut un període de temps massa llarg sense cap legislació ni regulació de la seguretat en l'entorn industrial. A conseqüència d'això, s'han perdut milers de vides o s'han produït danys irreversibles abans d'implantar cap regulació o llei.

Amb l'arribada de l'anomenada "era de la màquina", van augmentar de forma notable els accidents i les malalties laborals. En els segles XVII i XVIII les morts i mutilacions a les fàbriques eren habituals. No és fins a l'any 1833 que el govern anglès intervé, inspecciona els llocs de treball i es topa amb la realitat: mutilacions, jornades de catorze hores, morts, nens petits treballant, etc. Arran d'aquests fets, s'implementen millores en les condicions físiques com ara una bona ventilació, higiene i seguretat. Així i tot, no és fins a l'any 1850 que apareixen els primers resultats d'aquesta gestió. [3]

L'any 1867 la legislatura de Massachusetts, genera un seguit de normatives que impliquen no poder fer més de deu hores al dia, col·locar guardes de seguretat a les màquines de perill i regular el treball de dones i nens. Aquests fets que avui veiem com a normals, fa relativament poc no estaven regulats. Recentment, la seguretat de les màquines està agafant pes i això genera grans avenços en la seguretat de les persones. [3]

2.2. Conceptes bàsics

Actualment, el govern intenta regular tots els processos que impliquen l'elaboració d'una màquina segura per a les persones, però per obtenir aquesta seguretat cal tenir en compte un seguit de conceptes que inclouen tant lleis com estàndards de normatives.

En l'àmbit de seguretat de màquines, la llei aplicada és el Reial Decret 1644/2008, el qual es basa en la directiva de màquines 2006/42/CE. En cas de no complir la llei, el govern pot aplicar una sanció. [3]

La Unió Europea té com a un dels seus objectius principals establir un mercat interior o únic a Europa, que consisteix en un territori sense barreres internes per a una lliure circulació de bens, serveis, establiments, treballadors o capital.

En aquest el següent apartat enumerarem breument com afecten aquestes mesures al projecte.

2.2.1. Marcat CE

El marcat CE és un símbol que declara que el producte que s'està comercialitzant o que serà comercialitzat, ha superat un procés d'avaluació i compleix amb la directiva de seguretat de màquines. Directiva que s'explica posteriorment

El producte afectat per a aquest marcat CE no implica que sigui fabricat a la UE sinó que ha entrat al mercat comunitari complint la normativa.[3]

El fabricant de la maquinària o el representant autoritzat a la UE és l'encarregat de redactar aquesta declaració (marcat CE) prèviament a la seva comercialització, per tant, podem dir que és un autocertificat. Aquest fet podria permetre al fabricant posar el certificat sense acabar de complir la directiva, per la qual cosa, és responsabilitat del comprador fer la posterior verificació.[4] En cas de produir-se un accident un cop instal·lada la màquina, el primer responsable a qui se li demanaran explicacions serà l'últim comprador de la màquina. Si posteriorment es denuncia al fabricant és una altra qüestió legal, ja que l'accident pot venir de fàbrica o d'alguna modificació posterior. Per tant, volem remarcar que és molt important exigir al fabricant complir totes les mesures necessàries abans de la compra.

Sense aquest marcat no és possible comercialitzar la màquina a la UE.

És interessant remarcar que en el cas de presentar màquines o quasi màquines en fires, exposicions o esdeveniments similars no caldrà que compleixin la directiva sempre que existeixi un cartell visible advertint d'aquesta circumstància i explicant que no serà possible obtenir aquestes màquines sense abans adaptar-les a l'esmentada directiva. Per als actes de demostració de màquines no conformes caldrà adoptar les mesures de seguretat necessàries per garantir la integritat de les persones. [4]

2.2.2. Directiva màquines 2006/42/ CE

Aquesta directiva afecta els fabricants de maquinària i les màquines que seran comercialitzades per primera vegada. Un fabricant pot ser una persona física o jurídica que dissenya i/o fabrica una màquina basant-se en el decret corresponent. Un cop entès aquest concepte, es conclou que el concepte de fabricant no només fa referència a qui construeix, sinó que va més enllà en una vinculació legal.

Aquesta directiva ha realitzat diversos canvis al llarg dels anys amb el propòsit d'ampliar l'abast de la seguretat de màquines a diferents equips o conjunt d'equips següents:

- Màquina: conjunt de parts o components vinculats entre sí dels quals almenys un és mòbil, associats amb una aplicació determinada, proveït o destinat a ser-ho per un sistema d'acondicionament diferent a la força humana o animal. [4]
- Equips intercanviables : Dispositiu que després de ser posat en servei d'una màquina és acoblat pel propi operador en la màquina per modificar o aportar una nova funció, sempre que no sigui una eina. [4]
- Components seguretat: comercialitzats per separat per complir una funció de seguretat al ser utilitzats i que si són defectuosos o generen un error, no posin en perill la seguretat de les persones, sempre que no sigui necessari per al funcionament de la màquina, pugi ser reemplaçat per components normals. [4]
- Accessoris d'elevació: component o equip que no és part integrant de la màquina d'elevació, que permeti la premsió de la carrega, situat entre la màquina i la carrega, o sobre la pròpia càrrega, o que s'hagi previst per ser part integrant de la càrrega i que es comercialitzi per separat. [4]
- Dispositius amovibles de transmissió mecànica: component amovible destinat a la transmissió de potència entre una màquina automotora i una màquina receptora mitjançant la unió d'un suport fix. [4]

- Quasi màquines: conjunt que forma gairebé una màquina, però que no pot realitzar una aplicació determinada per si sol. Un sistema d'accionament és una quasi màquina. És destinada únicament a ser incorporada amb altres màquines o quasi màquines o equips per formar una màquina a la qual se li apliqui la directiva.[4]

Aquesta directiva en cap cas especifica com s'ha de protegir una màquina, sinó les accions que s'han de seguir a grans trets. Si el que es necessita són indicacions de com instal·lar els dispositius de seguretat, s'han de consultar les normatives harmonitzades.

2.2.3. Normatives harmonitzades

Com hem deixat entreveure en l'apartat anterior, existeixen les normatives harmonitzades, aquestes han sorgit per la necessitat de generar unes indicacions més concretes que no existeixen en la directiva de màquines. No són d'obligat compliment, però seguir-les es pressuposa que el projecte compleix amb el decret. Hi ha diferents tipus de normatives classificades de la següent manera:

- Tipus A: Indiquen conceptes bàsics, principis de disseny i aspectes generals aplicats a maquinària.
- Tipus B: es caracteritzen per entrar més en detall, amb indicacions de funcionament específiques.
- Tipus C: normativa que és específica per a un tipus concret de màquina que a causa de les seves característiques tenen una dificultat o risc elevat.

En aquest projecte s'han seguit una sèrie de normatives :

ISO 13849-1: Seguretat en las parts de control i principis de disseny.

ISO 13849-2: Seguretat en les parts de control i validació.

ISO 13850: Parada emergència.

ISO 13851: Dispositius bimanuals.

ISO 13855: Normativa que indica com instal·lar barreres de seguretat i sensòrica.

ISO 13857: Distàncies de seguretat respecte a la maquinària per impedir possibles lesions.

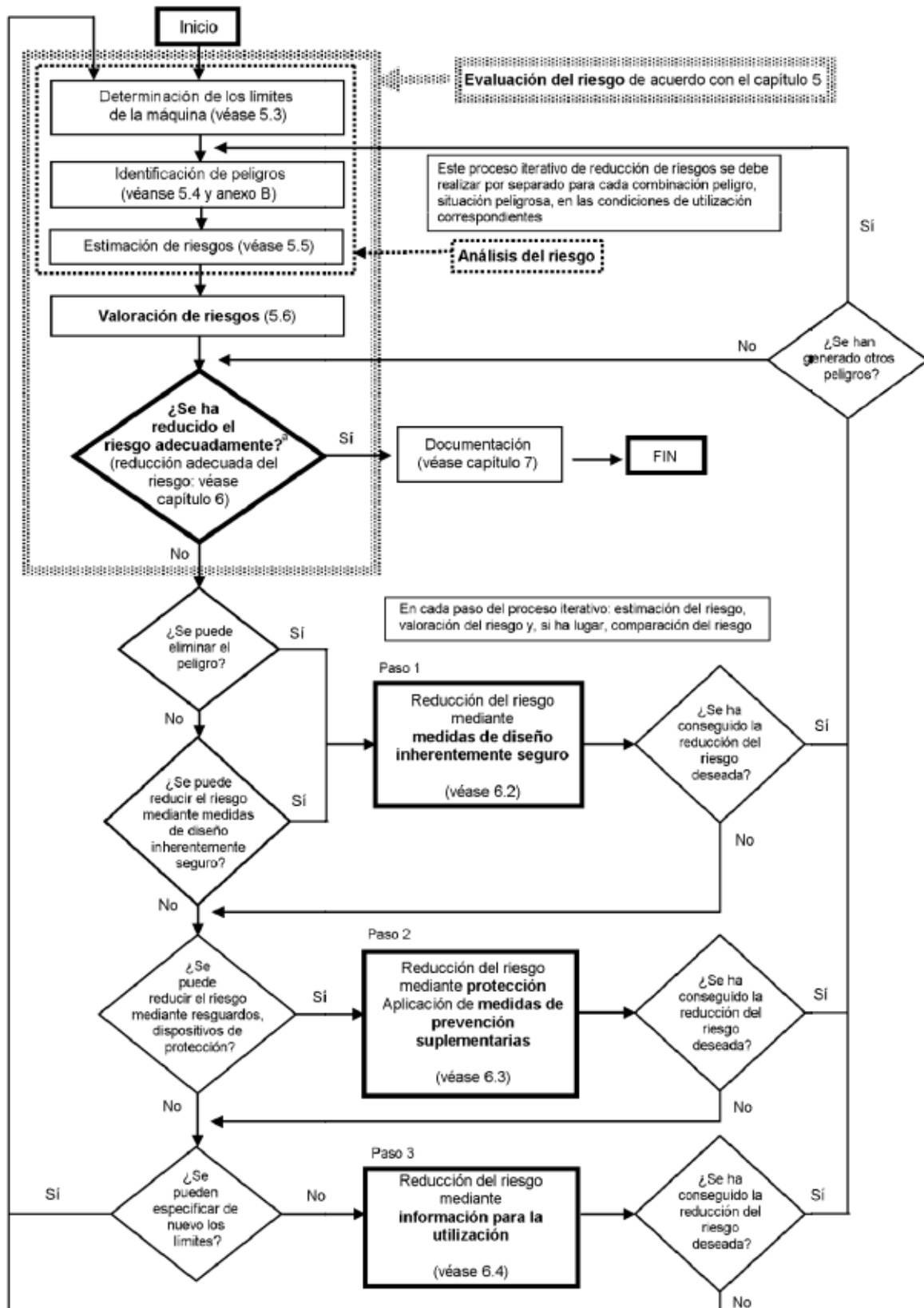
ISO 12100: Principis generals d'avaluació, reducció de riscos i disseny.

És important ampliar breument la informació d'alguna d'elles per poder entendre el desenvolupament del projecte i l'origen de les decisions.

2.2.3.1. ISO 12100

En aquesta normativa es comenten els principis que s'han de tenir en compte per al disseny de la seguretat d'una màquina, així com el procés d'avaluació i reducció de risc. A la Il·lustració 1. Esquema reducció de risc. es mostra de manera conceptual el procés a seguir per al disseny d'una màquina segura. [5]

Repetint aquest procés es permet obtenir un sistema segur o, per contra, que aquest sigui senyalitzat de manera adient. °



Il·lustració 1. Esquema reducció de risc.

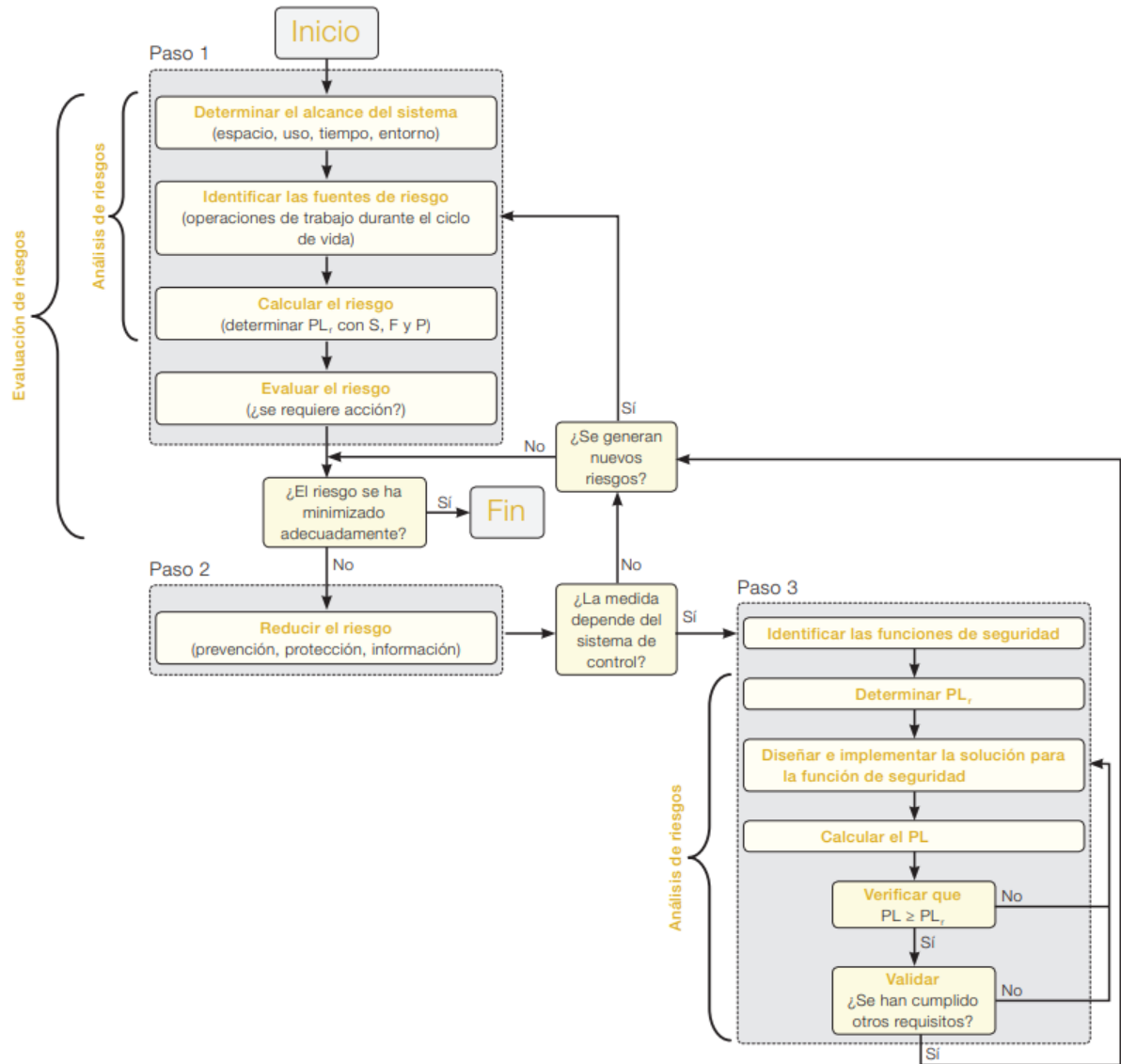
2.2.3.2.ISO 13849-1

Aquesta normativa proporciona indicacions i requisits per a la seguretat de les màquines i també indica quins passos cal seguir en el disseny i integració dels sistemes de control de la seguretat.

Existeixen dues escales possibles a seguir: PL i SIL. L'escala SIL (Nivell d'Integritat i Seguretat) només es pot utilitzar en solucions de seguretat elèctriques, electròniques o programables i s'utilitza en l'EN 62061. PL és l'escala que fa servir la normativa ISO 13849-1, és un concepte neutre quant a la tecnologia que es pot utilitzar en solucions de seguretat elèctriques, mecàniques, neumàtiques i hidràuliques.

El concepte PL correspon a una mesura de fiabilitat d'una funció de seguretat. Aquesta es divideix en cinc nivells que van del nivell PLa al PLe, on PLe és el nivell que proporciona la fiabilitat més gran i equival a aquella fiabilitat necessària quan el nivell de risc és màxim. Perquè el sistema compleixi els requisits, primer aquest s'ha d'avaluar i obtenir a quin nivell de risc PL es troba la màquina. Una vegada avaluat el sistema, s'obté el valor PLr (Nivell de prestacions requerit), aquest valor permetrà saber quin és el valor mínim de PL que s'ha d'obtenir un cop feta la instal·lació de seguretat. Per tant, haurem d'assegurar que $PLr \leq PL$. [6]

El mètode de treball de la ISO 13498-1 està definit com es mostra a la *II·lustració 2. Passos ISO13849-1*.



Il·lustració 2. Passos ISO13849-1.

(PAS 1)

En primer lloc (Paso 1), s'avaluen els riscos. Aquesta avaluació comença determinant l'abast de la màquina, és a dir, l'espai que ocupa la màquina i els operaris d'aquesta. A continuació, és necessari identificar totes les fonts de risc per a totes les operacions de treball durant el cicle de vida de la màquina, és aquí on obtindrem el PLr. Per aconseguir aquest valor PLr hem de seguir els passos que es mostren a la Il·lustració 3. Diagrama càlcul PLr. [6]

Entren en joc diversos factors: Gravetat del dany que pot provocar (G), freqüència i temps d'exposició (F) i possibilitat d'evitar el perill (P). [6]

Quan el risc és menor, el camí a escollir és el superior, és a dir, el que té el subíndex 1. En cas contrari, on el risc és major, el camí serà l'inferior (subíndex 2). Quan les tres bifurcacions (G, F, P) han estat realitzades, s'obté el valor d'una lletra. Aquesta lletra marcarà quin subíndex PL tenim i equivaldrà al PLr de la màquina analitzada. [6]

Finalment, l'avaluació de riscos inclou una valoració de riscos on es determina si s'ha de reduir el risc o si ja hi ha una seguretat suficient.

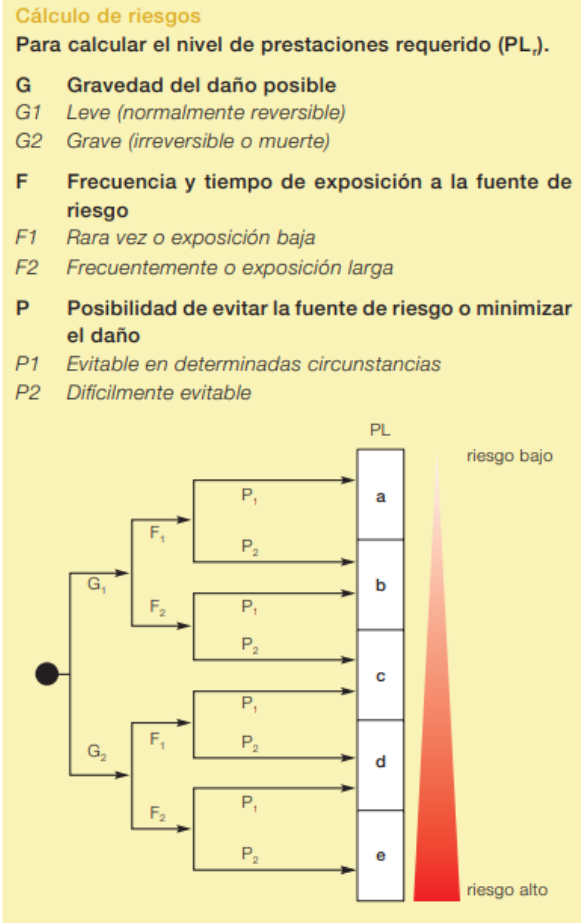
(PAS 2)

Si es determina que és necessari reduir el risc, s'ha de tenir en compte la prioritat a la directiva de màquines per seleccionar les mesures:

1. Evitar el risc ja en l'etapa de disseny.
2. Utilitzar dispositius de protecció i/o seguretat.
3. Informar de com s'ha de fer un correcte ús de la maquinària (manuais, cartells etc).

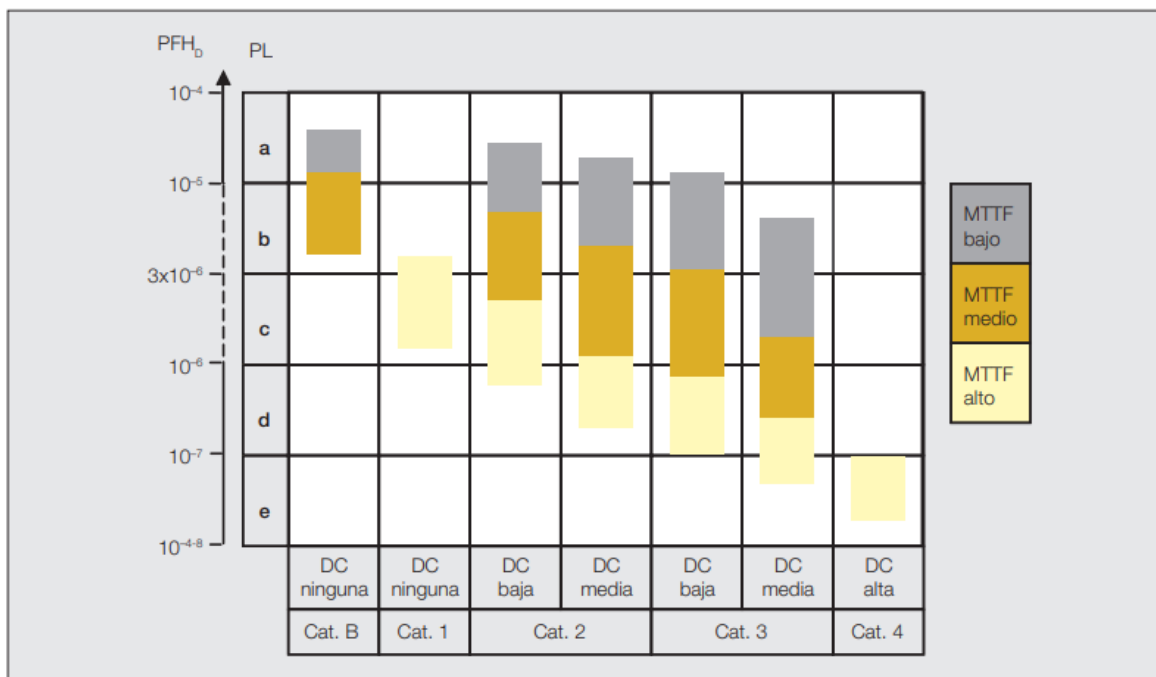
(PAS 3)

Una vegada obtingut el PLr, s'ha de dissenyar un sistema de seguretat amb un PL igual o superior a aquest. Cal destacar que un nivell de seguretat determinat (PLx) es mesura en base a diversos paràmetres. Aquests paràmetres s'obtenen analitzant aspectes de hardware i software.



Il·lustració 3. Diagrama càlcul PLr.

Per mesurar el nivell de seguretat d'una màquina cal tenir en compte la Il·lustració 4. Relació entre les categories, DC i MTTFd per mesurar el PL. [6]



Il·lustració 4. Relació entre les categories, DC i MTTFd per mesurar el PL.

Hi ha eines que permeten obtenir el resultat del nivell de seguretat com és el software “Sistema”, que en introduir les dades de cada component ja permet obtenir aquest resultat. Per poder introduir de forma correcta aquestes dades és important entendre què és cada valor.

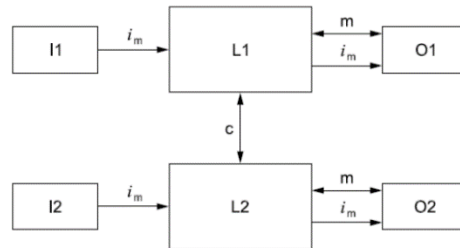
Categoria: avaluem l'estructura del component o components en el bloc per determinar la categoria (B, 1-4) a la qual correspon. Un dels requeriments per aconseguir la categoria 4 és que els errors individuals no poden provocar cap pèrdua de la funció de seguretat. Per exemple, per obtenir la categoria 4 amb contactors, el controlador ha de tenir dos canals de sortida, és a dir, dos contactors que poden tallar l'alimentació de la màquina individualment. Els contactors han de controlar-se connectant contactes de senyalització d'estat a una entrada de monitoratge del controlador, per exemple un relé o PLC de seguretat.[6]

MTTFd: temps mitjà fins a produir-se un error perillós. [6]

DC: Capacitat que té el sistema per detectar errors.[6]

CCF: el que vol dir “Fallos de Causa Comun”, en català “Errors de Causa Comuna”. Es coneix amb aquest terme quan una sèrie d'accions individuals no suposen un risc elevat, però si es produeixen de forma continuada, poden provocar una falla d'alguna funció de seguretat. Per evitar aquests casos, existeixen un seguit de recomanacions proporcionades per la normativa que es troben en l'annex F, estan distribuïdes en una taula i amb una puntuació associada. Per concloure que els requisits CCF es compleixen, cal obtenir 65 punts. Aquests valors són requerits per obtenir una categoria 2 o superior. [6]

Atès que la categoria 4 és la que aporta una major seguretat, és la que sempre s'intenta aconseguir, per la qual cosa a la Il·lustració 5. Diagrama categoria 4. es mostra l'esquema tipus que s'ha de seguir al connectar un sensor o element que detecta l'estat de seguretat (I), un controlador amb una lògica incorporada (L) i un dispositiu de sortida (O).[7]



Il·lustració 5. Diagrama categoria 4.

S'han de tenir en compte diversos aspectes rellevants en observar aquesta figura. Primer, ens fixem en els senyals I1 i I2, aquests senyals arriben cadascun a un processador diferent (L1 o L2). Aquests senyals poden provenir d'un mateix dispositiu o de dos de diferents que controlin un mateix element. En segon lloc, cal tenir en compte que un sol controlador ha de disposar de dos processadors diferents (L1 i L2), que funcionin de manera independent, ja que si un falla es pugui detectar i activar la funció de seguretat. Per acabar, tenim dos elements de sortida (O1 i O2), han de ser elements físicament diferents. Aquests han de permetre enviar un senyal de retorn per corroborar que el seu estat de funcionament és el correcte i que el sistema pot funcionar de forma segura.

Es requereix que en l'entrada un error no impliqui la pèrdua de la funció de seguretat i que es pugui detectar o, en cas de no fer-ho, que no es perdi la funció de seguretat. Pel que hi ha sistemes que compleixen amb aquests requeriments sense haver de recórrer al doble canal. En el cas d'ABB, es disposa del circuit dinàmic de seguretat, explicat a continuació.

Cal considerar que el nivell de seguretat complet d'una màquina serà la suma de cada funció de seguretat. Per això, el nivell complet de seguretat mai serà superior al mínim d'una funció de seguretat. Per exemple, si una funció de seguretat és PLC, la màquina mai podrà aconseguir un PLe.

2.2.3.2.1. Circuit dinàmic seguretat

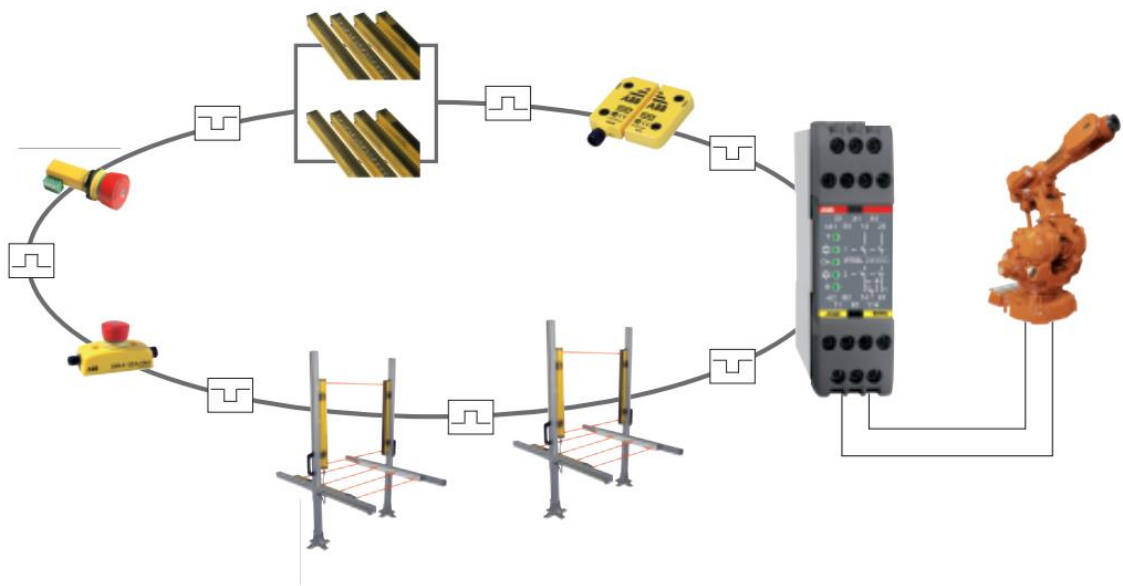
El circuit dinàmic de seguretat (CDS o DYN) és un sistema patentat per ABB que permet seriar dispositius de seguretat d'entrada i monitorar de manera segura l'estat del llaç obtenint el màxim nivell de seguretat.

Es genera un senyal que consisteix en un senyal polsant amb freqüència de 200 Hz i amplitud de 5 V, el qual es pot utilitzar tant en relés de seguretat com en PLC de seguretat.

Els dispositius que són dins d'aquest circuit reben aquest senyal i, si tot és correcte, l'inverteixen per enviar-lo al següent dispositiu. D'aquesta manera, indicant al controlador la quantitat de dispositius connectats, sap quina polaritat del senyal ha d'esperar.

A causa del fet que aquest senyal és polsant, permet al sistema verificar que el senyal és correcte cada 5ms i poden detectar així qualsevol mena d'anomalia.

A la Il·lustració 6. Esquema funcionament CDS. es pot observar el funcionament del senyal del circuit dinàmic. [7]

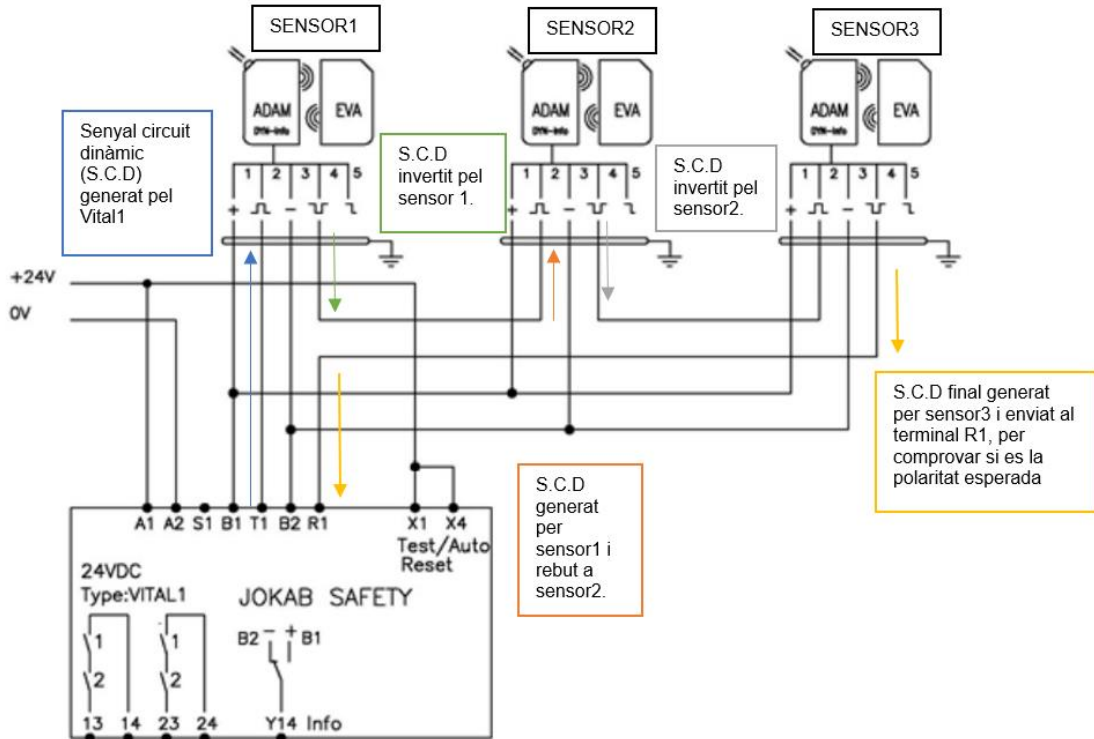


Il·lustració 6. Esquema funcionament CDS.

A continuació i per permetre comprendre millor aquest concepte, mostrem la Il·lustració 7. CDS a un relé de seguretat., on observem l'esquema de connexions de tres sensors (Eden) seriatos a un relé de seguretat (Vital1), els quals utilitzen un únic canal (terminals T1 i R1) per crear aquest llaç de seguretat.

El senyal del circuit dinàmic del relé Vital1 es genera des del terminal T1, on "viatja" per tots als sensors i retorna al terminal R1.

Per tant, el primer sensor Eden (Adam i Eva), rep el senyal generat pel Vital1 des de T1 al seu terminal 2, on si tot és correcte, inverteix el senyal i l'envia al següent pel seu terminal 4; el següent dispositiu rep el senyal invertit de l'anterior i repeteix el procés, així successivament fins que el senyal arriba al terminal del Vital1, R1, on espera una polaritat concreta. Si aquesta no és correcta, el relé de seguretat actua de manera pertinent a aquest resultat.



Il·lustració 7. CDS a un relé de seguretat.

Hi ha certes qüestions que cal encara deixar clares:

En el cas de produir-se un curtcircuit entre R1 i T1, el relé detectaria que el temps que ha trigat el senyal a tornar ha estat massa curt i activaria la funció de seguretat.

En el cas de fer un pont al dispositiu, el senyal rebut no seria l'esperat i, per tant, activaria la funció de seguretat.

Si un dels dispositius seriat, en aquest cas sensors, fallés, el sensor no enviaria el senyal de forma correcta al següent sensor, en conseqüència, no arribaria el senyal esperat al controlador i activaria la funció de seguretat.

Donat el cas d'alguna altra situació de "trampejar" el sistema de manera intencionada, no es consideraria dins d'un mal ús raonablement previst, per la qual cosa, no s'aplicaria l'anàlisi de riscos i serien responsabilitat de l'operari/persona els resultats obtinguts.

No tots els dispositius estan preparats per a poder funcionar amb circuit dinàmic, per això existeixen els adaptadors Tina, els quals permeten adaptar el senyal del dispositiu en qüestió per tal de poder implementar-lo al circuit dinàmic.

2.3. Dispositius seguretat

Pel que fa als sistemes de seguretat, no s'acostumen a emprar dispositius catalogats/nomenats com a convencionals a causa del fet que aquests tenen més possibilitats d'error i això pot implicar danys a les persones que treballen dins l'entorn. És per això que és de gran importància diferenciar els dispositius de seguretat dels que no ho són.

Algunes característiques dels dispositius de seguretat són:

- Tassa d'error més baixa.
- Modulable, és a dir, que permeten intercanviar peces pròpies dels dispositius més fàcilment.
- Duplictat. Sovint el hardware està duplicat, com els canals d'entrades, sortides, etc.
- Capacitat de monitorar l'estat de l'equip.

Explicuem a continuació els diferents equips que englobaran el projecte.

2.3.1. Relé seguretat

A efectes pràctics, és gairebé igual que un relé convencional. Aquest funcionament es basa en el fet que el relé en estar alimentat, activa les seves sortides. El relé de seguretat té la mateixa funcionalitat, però amb una sèrie d'extres afegits:

- L'equip s'alimenta per activar l'electrònica, però això no implica que s'activin les seves sortides (en la majoria dels casos).
- Una vegada l'electrònica està alimentada, l'equip monitora les entrades que té i analitza així si els dispositius d'entrada es troben en estat segur o per contra, cal activar la funció de seguretat.
- Lògica duplicada en els casos que se certifica una categoria 3 o 4. Activa la funció de seguretat en cas que una d'aquestes difereixi del resultat de l'altra o triqui massa temps.
- Sortides duplicades, activades cadascuna per una CPU.

Aquests relés solen tenir una quantitat de funcions de seguretat limitada i preprogramada. En alguns casos es pot modificar, però sempre dins de les limitacions intrínseques de l'equip. Per norma general, no permeten la programació com la d'un PLC. ABB disposa de dues gammes de relés de seguretat. Una d'elles per a treballar amb el circuit dinàmic, el Vital1, i una altra per a treballar amb dispositius de doble canal, el Sentry. Tots dos compleixen amb les més altes prestacions i permeten aconseguir el nivell de seguretat més elevat. Es pot veure una imatge d'aquests a la Il·lustració 8. Relés seguretat.



Il·lustració 8. Relés seguretat.

2.3.2. PLC

S'entén com a PLC (Programable Logic Controller) un dispositiu que permet executar una lògica programada per automatitzar un procés incloent processos com activació i desactivació d'elements, càlcul i processament de dades...

Per tant, com en el cas anterior, un PLC de seguretat a efectes pràctics tindrà les mateixes funcions que un PLC convencional, però amb alguns extrems que permeten catalogar-lo com a dispositiu més segur i fiable. Segons la quantitat de característiques que compleixin, obtindran un nivell de seguretat més elevat o menys.

- CPU duplicada.
- Entrades duplicades.
- Sortides duplicades.
- Tasses d'error inferiors a un PLC convencional.
- Terminals modulables.

Aquests equips solen tenir una programació limitada a funcions de seguretat o bé disposen d'una programació senzilla per evitar errors.

A diferència dels PLC convencionals, un PLC de seguretat ha de seguir una sèrie de pautes a l'hora de realitzar la programació, definides a la ISO13849-1.

- Explicació i documentació del programa.
- Blocs predefinits.
- Ordre a la programació.
- Crear una xarxa per a cada sortida, activació única.
- Validació programa.
- No salts calculats, només condicionals.

2.3.2.1. PLUTO

Els dispositius de la gamma Plutó utilitzen dos microprocessadors que controlen i monitoritzen cada funció de seguretat. Cada entrada del sistema està connectada per separat a cada processador, tenen la seva pròpia memòria i executen el seu propi programa. Els processadors contínuament comparen els resultats entre sí per assegurar la integritat de les dades. Cada sortida de seguretat està connectada a dos processadors i no es pot activar llevat que ambdós hagin comprovat que es compleixen les condicions lògiques del programa d'aplicació.

La comunicació industrial per a aquests dispositius es fa via "Pluto Bus", protocol sèrie que permet connectar fins a 32 Plutos en Bus i establir una comunicació entre ells de manera segura. [8]

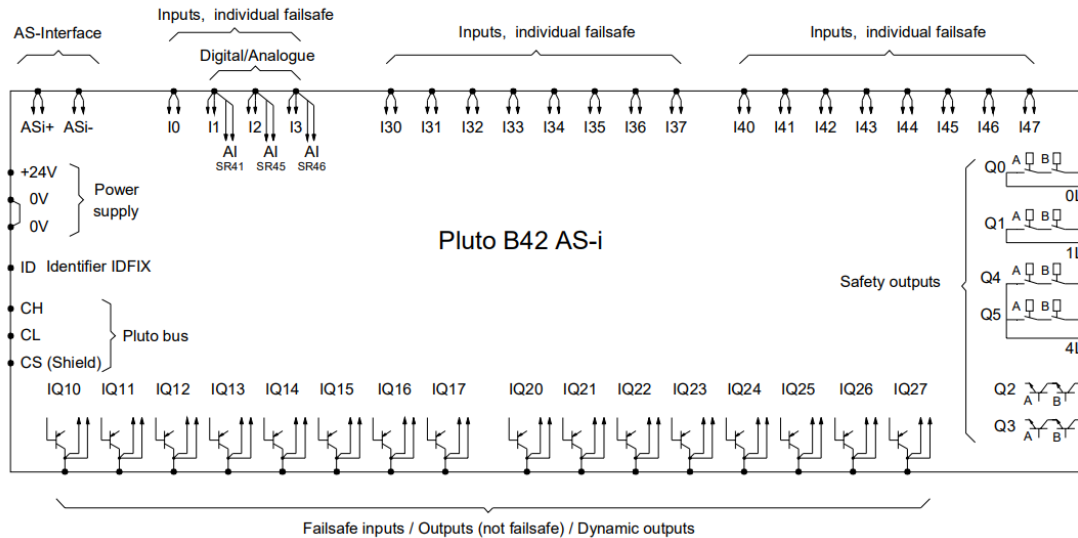
Per a aquest projecte s'utilitza la gamma de PLC de seguretat Pluto, en concret el model B42 Asi, Il·lustració 9. Pluto B42 Asi.

Aquest model permet també establir una comunicació en AS-i bus, permeten llegir entrades o activar sortides dels esclaus del bus AS-i. Com es mostra a la Il·lustració 10. Esquema intern Pluto B42 AS-i. només cal utilitzar dos terminals, ASi+ i ASi-.



Il·lustració 9. Pluto B42 Asi.

A continuació, mostrem internament el Pluto B42 AS-i, II·lustració 10. Esquema intern Pluto B42 AS-i.[8]



II·lustració 10. Esquema intern Pluto B42 AS-i.

Aquesta gamma de producte disposa dels terminals IQ, els quals permeten treballar com entrades o sortides no segures depenent de com es configuren.

Disposen de terminals modulables, és a dir, permet un canvi de terminals molt ràpid i senzill .

Els PLC's de seguretat de la gamma PLUTO estan dissenyats per complir amb les exigències de la directiva de màquines de la UE (2006/42/CE).

El software utilitzat per al PLC, "Pluto Manager", permet configurar i programar els PLC's de seguretat de la gamma Pluto segons els requisits indicats a la normativa de seguretat de màquines, utilitzant llenguatges gràfics especificats a la normativa estàndard IEC 61131-3 (normativa referent a la programació de PLC's).

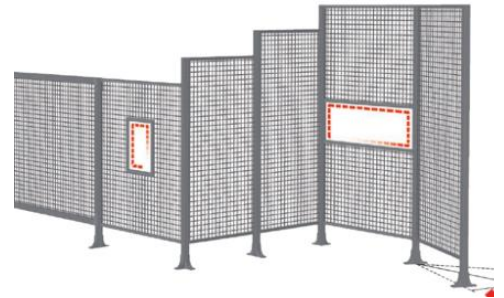
2.3.3. Resguards/tanques

Com a resguard s'entén una barrera física (Il·lustració 11. Resguards.), una tanca, la qual forma part de la màquina i permet proporcionar seguretat impedit el pas a una certa zona que es considera de perill.

N'existeixen dos tipus: fixes i mòbils. Els resguards fixos són aquells que permeten eliminar el perill mitjançant una barrera física, simplement rodejant la zona que es vol protegir i aquesta no pot ser oberta a no ser que s'emprin eines o es forci l'obertura.

Per una altra banda, els resguards mòbils tenen la mateixa funció que els fixes a efectes pràctics, però permeten l'accés a aquesta zona mitjançant una porta o una obertura. Solen estar equipats amb dispositius d'enclavament i bloqueig per assegurar la seguretat.

En aquest projecte s'utilitzen ambdós tipus, un resguard fix, que forma la cèl·lula amb un resguard mòbil que permet l'accés a dins per modificar o testejar els dispositius interiors



Il·lustració 11. Resguards.

2.3.4. Dispositius d'enclavament i bloqueig

Sol ser comú la confusió entre aquests dos termes. Un dispositiu d'enclavament és bàsicament un resguard mòbil monitorat per algun component. Aquest dispositiu d'enclavament pot complementar-se amb algun dispositiu de bloqueig de seguretat, però la seva funció no es basa en aquest bloqueig, sinó en permetre monitorar de manera segura un resguard mòbil, assegurant així que està en la posició desitjada. Existeixen diversos productes ABB com podria ser el sensor de posició Eden (utilitzat al projecte) o el sensor Dalton, entre d'altres. Tots aquests usen una tecnologia diferent que depèn de la necessitat de cada aplicació.

Per una altra banda, un element de bloqueig permet bloquejar o impossibilitar l'obertura d'un resguard mòbil sense un control extern; és a dir, per poder desbloquejar l'obertura caldrà algun senyal extern que indiqui que es pot obrir amb seguretat, com un polsador, activació PLC... Existeixen dos tipus de bloqueig: el bloqueig de seguretat i el bloqueig de procés:

- Bloqueig procés: aquest tipus de bloqueig permet protegir la maquinària. En cas que la màquina estigui en funcionament i es faci una petició d'accés, aquesta farà una parada controlada per no malmetre cap dispositiu. Si la màquina ja està parada, s'hi podrà accedir.
- Bloqueig de seguretat: Bloqueig que protegeix les persones que treballen en l'entorn. L'element que bloqueja l'accés requereix alimentació per obrir-se, en cas de no estar alimentat es bloqueja. Per tant, en cas que la màquina pateixi una pèrdua d'alimentació, l'accés continua bloquejat.

A continuació, s'explica resumidament el funcionament de dos dispositius utilitzats al projecte.

2.3.4.1. EDEN

És un sensor de seguretat utilitzat com a dispositiu d'enclavament per a portes i supervisió de posició segura. Consta de dues parts: Adam i Eva, com s'observa a la Il·lustració 12. Eden.. Adam detecta la presència d'Eva sense contacte mecànic i, per tant, sense cap desgast, evitant així la necessitat de dos sensors per obtenir un elevat nivell de seguretat. La tecnologia usada per a aquesta detecció és RFID. Durant el procés de vinculació entre Adam i Eva, Adam aprèn el codi que identifica Eva per associar la seva detecció de posició segura. Hi ha possibilitat d'utilitzar una Eva genèrica, per la qual cosa hi ha diverses amb aquest mateix codi, o una amb un únic codi, per evitar possibles bypass. [9]



Il·lustració 12. Eden.

2.3.4.2. DALTON

Dispositiu d'enclavament electromecànic Il·lustració 13. Dalton M12. destinat a bloquejar portes/escotilles. Sol ser usat per evitar l'accés i interrupcions no desitjades.

Si es combina amb un Eden, es té un nivell de seguretat més elevat, ja que permet la detecció de posició del resguard.



Il·lustració 13. Dalton M12.

2.3.4.3. KNOX

Knox, Il·lustració 14. Knox. és un pany que permet obtenir el nivell més alt de seguretat. Permet monitorar les dues posicions del dispositiu, porta bloquejada o desbloquejada, que pot utilitzar-se tant com de bloqueig de seguretat com de procés. La funció de bloqueig es controla elèctricament i és biestable, és a dir, manté la seva posició (bloquejada/desbloquejada) en cas de perdre la tensió. El senyal de bloqueig és segur tant en curtcircuits com en trencadisses del cable. El funcionament de la maneta és com el d'una porta normal, la maneta interior permet obrir en cas d'emergència en estat bloquejat



Il·lustració 14. Knox.

2.3.5. Polsador d'emergència

Permeten realitzar parades segures en una màquina o d'una part amb risc de la màquina. Requereix que una persona l'activi físicament polsant el bot. És un recurs d'emergència en cas d'alguna situació perillosa en què calgui parar la màquina. ABB té una àmplia gamma d'aquest producte, alguns tenen la possibilitat de ser compatibles amb el circuit dinàmic de seguretat, com és el cas del Smile 11 Il·lustració 15. Smile 11.



Il·lustració 15. Smile 11.

En el projecte disposem també de la Smile 41, Il·lustració 16. Smile 41. És una caixa-conjunt de polsadors. Polsadors preparats per ser connectats a les IQ del Pluto i funcionar amb circuit dinàmic. Conte un polsador d'emergència que al ser polsat indicarà que la màquina ha de realitzar una aturada d'emergència. Conte també un contacte de clau, aquest té la mateixa funció que un polsador.



Il·lustració 16. Smile 41.

2.3.6. Cortina/ barrera seguretat

Els dispositius optoelectrònics es caracteritzen per formar-se d'un element emissor i d'un altre de receptor, treballen amb un senyal infraroig emès per l'emissor i rebut pel receptor. En cas que el receptor detecti que aquest senyal es talla, ha de portar la màquina a un estat segur.

Una propietat rellevant d'aquests equips és la resolució, la qual cosa determina l'element que ha de detectar. Les resolucions típiques detecten dits (14 mm), mans (30 mm) o cossos (50-120 cm). Els elements amb més resolució (14 i 30 mm) es denominen cortines de seguretat, i els de major espaiat, barrera de seguretat.

Poden tenir funcionalitats avançades com pot ser el muting, o el EDM. Aquest últim permet monitorar i actuar sobre l'element de sortida sense necessitat d'un controlador intermedi.

El muting permet anul·lar zones o parts amb l'objectiu de poder dur a terme determinades operacions sense necessitat d'aturar la màquina.

Des d'ABB es disposa de la gamma Orion, Orion1 serà la utilitzada al projecte, Il·lustració 17. Orion 1.



Il·lustració 17. Orion 1.

2.3.7. Dispositiu de tres posicions

Dispositiu que se sol conèixer com a “comandament d'home mort”. JSDH4, Il·lustració 18. JSDH4., és un actuator de dos canals amb un polsador de tres posicions dissenyat per ser utilitzat en zones perilloses on altres dispositius no poden ser utilitzats o no són pràctics. Com a dispositiu independent ha de ser connectat a un controlador (PLC o relé de seguretat) amb entrades duplicades i detecció de curtcircuit per obtenir un nivell alt de seguretat. S'habilitaran els contactes segurs del JSDH4 per permetre que la màquina estigui en funcionament només si el polsador es troba en la posició intermèdia. La funció de anti-cheat permet detectar que aquesta posició intermèdia no ha estat trampejada mitjançant la combinació d'un sensor de capacitat i un acceleròmetre. Se sol complementar d'un sensor Eden que permet detectar quan aquest dispositiu ha estat agafat i tret de la seva posició de resguard.



Il·lustració 18. JSDH4.

2.3.8. Dispositiu bimanual

Dispositiu bimanual de seguretat que permet assegurar que l'operari és fora de la zona de perill durant el funcionament de la màquina. Els contactes de seguretat permetran el funcionament quan els dos siguin polsats a la vegada, habilitant així el funcionament de la màquina. Al projecte s'utilitzarà el JSTD25, Il·lustració 19. JSTD25., a vegades utilitzarem el nom de “Safeball” per fer-ne referència.



Il·lustració 19. JSTD25.

2.3.9. Tina

Els dispositius Tina, Il·lustració 20. Conjunt dispositius Tina., permeten adaptar el circuit de seguretat dinàmic als components tradicionals amb contactes mecànics que no estan preparats, com parades d'emergència, interruptors, etc. Existeixen diferents versions, en funció del tipus de component de seguretat al que estigui connectat el circuit Vital o Pluto. En aquest projecte s'utilitza la versió nomenada Tina 7A.[10]



Il·lustració 20. Conjunt dispositius Tina.

2.3.10. Passarel·la comunicacions

Una passarel·la o gateway en anglès és un dispositiu que actua d'interfície de connexió entre dispositius. El seu propòsit es permetre la comunicació d'informació del protocol de comunicació utilitzat a la xarxa principal, al protocol usat en la xarxa de destí.

En el projecte s'utilitzaran les Pluto gateways, en concret la Gate-EIP. Il·lustració 21. Passarel·la Gate-EIP., que permeten una comunicació segura de doble canal, entre el PLC Pluto, que utilitza el protocol de comunicació Pluto Bus, amb tot altre tipus de protocols, en el cas del projecte EthernetIP.



Il·lustració 21. Passarel·la Gate-EIP.

2.3.11. Variador freqüència

El variador de freqüència permet obtenir un control total sobre el motor, aquest podria ser contemplat com un element de control, més que de seguretat, però es creu convenient fer-ne menció, ja que té un paper important en el projecte.

Controla en tot moment la velocitat del motor al qual està connectat, per tant, regula l'electricitat que li arriba i permet així subministrar la demandada específicament per a l'aplicació (redueix el consum entre un 20% i un 70%).

A la Il·lustració 22. Relació n_s - f_1 - p a un variador. s'observa la fórmula que permet obtenir el valor de velocitat:

$$n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p}$$

n_s = velocitat
 f_1 = freqüència
 p = num. par de pols

Il·lustració 22. Relació n_s - f_1 - p a un variador.

Com que no és possible canviar el nombre de pols, el valor que varia per modificar la velocitat és la freqüència. Es té un control del punt de treball en tot moment, per tant, es controla en tot moment la velocitat, el par motor i l'arrencada.

Solen ser usats en aplicacions pesades que demanden controlar el motor en tot moment. En el cas del projecte, el variador controla una cinta transportadora, la qual en realitat no és una càrrega pesada i que, per tant, es podria controlar mitjançant arrencadors suaus, els quals simplement controlen l'arrencada i l'aturada del motor. Però en definir la cinta com un perill alt, s'ha cregut convenient aplicar un controlador a l'altura d'aquest perill. És per aquest motiu, l'existència del variador al projecte.

2.4. Protocols de comunicació industrial

En els processos industrials són indispensables el que coneixem com a protocols de comunicació, ja que són els que permeten l'intercanvi de dades i informació entre els equips i l'usuari.

De forma resumida, un protocol de comunicació industrial és un conjunt de normes que permeten a dues identitats que es troben en un mateix sistema establir una comunicació

amb l'objectiu de passar informació de diverses variables. Actualment, en el mercat existeixen un gran nombre de protocols i cadascun permet uns avantatges diferents dels

altres; com per exemple, velocitat de transmissió de dades o distàncies entre dispositius, quantitat de dades, etc.

En aquest projecte s'utilitza el protocol AS-i, el protocol EthernetIP i el Pluto Bus per permetre monitorar una sèrie de dispositius i així assegurar la seguretat de l'entorn. A continuació, farem una petita introducció per tenir el conceptes bàsics de cadascun.

2.4.1. Pluto Bus

El protocol Pluto Bus es és l'utilitzat per als PLC de seguretat Pluto. Aquest és un tipus de CAN de comunicacions creat per ABB destinat a la seguretat. Quan parlem de CAN de comunicacions ens referim al fet que és un protocol basat en la tipologia bus sèrie. Aquest permet oferir gran immunitat a les interferències i habilitat per a l'autodiagnosi. El medi físic d'aquest és un cable de parell trenat amb una velocitat de transmissió de 1 Mbps.

2.4.2. AS-i

L' AS-i és un bus de comunicacions que permet controlar diferents sensors i actuadors sense la necessitat d'utilitzar les sortides/entrades del PLC, per tant, permet tenir més dispositius controlats des d'un mateix PLC.

S'obté una velocitat de transmissió de 167Kbps i permet controlar fins a un màxim de 32 dispositius per mestre. [11]

És a dir, en AS-i només existeix un mestre en tota la xarxa de dispositius, aquest mestre consulta i actualitza les dades de tots els esclaus que són dins la xarxa.

Els components bàsics per a la xarxa AS-i són:

- Un mestre AS-i, el qual s'encarrega de recollir les dades de la xarxa i enviar-li al PLC i viceversa. Ell mateix organitza el tràfic de dades al cable AS-i i, en cas necessari, posa les dades dels sensors i actuadors a disposició del PLC. Permet també transmetre paràmetres de configuració als esclaus, supervisar la xarxa constantment i subministrar dades de diagnòstic. [11]
- Els esclaus reconeixen els bits de dades enviats pel mestre i retornen les seves pròpies dades. Un mateix mestre pot controlar fins a 62 esclaus.[11]
- És necessari un cable AS-i, aquest s'encarrega de transmetre les dades de tota la xarxa i distribueix l'alimentació dels dispositius connectats dins la xarxa (cable groc). Per a l'alimentació dels actuadors és necessària una font d'alimentació auxiliar (cable negre). [11]
- La font d'alimentació AS-i permet transmetre dades i subministrar energia als dispositius de la xarxa. És per això que les dades transmeses a la xarxa s'envien en forma d'impulsos. S'encarrega també de modular la tensió de la xarxa. [11]

2.4.3. EthernetIP.

És un estàndard de xarxa de comunicació capaç de manejar grans quantitats de dades a velocitats de 10 Mps o 100Mbps i no té un límit d'elements controlats, a diferència d' ASI. Sol ser utilitzada en robots, dispositius, adaptadors d'entrades i sortides (E/S). És un protocol fàcil de configurar, d'operar, mantenir i ampliar.

En general, EthernetIP és simplement una implementació del protocol industrial comú. Va ser dissenyada per comunicar-se a través de l'Ethernet estàndard usat a les nostres

xarxes domèstiques i comercials. La "IP" significa Protocol Industrial. Una de les qüestions més debatudes ha estat com millorar el que es coneix com a determinisme, la capacitat de determinar o garantir que un missatge arribi dins del marc de temps desitjat. Encara que hi hagi alguns altres protocols de comunicació més deterministes que EthernetIP, els avenços a la tecnologia del protocol i l'augment de velocitat han permès que aquest sigui acceptat com un estàndard industrial útil. [12]

3. Metodologia

Aquest apartat permetrà detallar els passos que s'han seguit per al desenvolupament del projecte, detallant tot allò que es cregui necessari.

El projecte s'ha basat en un seguit de passos que han format el seu disseny.

A causa del fet que el projecte disposa de contingut que l'estudiant no havia vist prèviament, s'ha enfocat el projecte en dues parts.

La primera part del projecte s'ha basat en la formació i aprenentatge, on s'han pogut veure i treballar els següents continguts, ja documentats prèviament:

- Formació i explicació de les normatives i funcionalitats dels sistemes de seguretat.
- Formació dispositius ABB: Petites formacions interactives i teòriques d'uns 20 minuts dels productes Jokab (gama de seguretat ABB).
- Familiarització amb documentació de la instal·lació, esquemes, notes tècniques, etc.
- Projectes petits basats a interconnectar diferents dispositius que són presents a la cèl·lula per veure i entendre el seu funcionament a petita escala.

Una vegada assolida aquesta primera part de formacions, el projecte ha estat totalment enfocat a aconseguir el recondicionament de la cèl·lula, on s'ha procedit de la següent manera:

- Anàlisi de l'entorn.
- Anàlisi de perills.
- Estudi de les solucions
- Recondicionament a nivell elèctric i documentació
- Estudi funcionalitats
- Programació
- Validació
- Memòria

Quant a la realització de la memòria, aquesta s'ha fet en paral·lel al desenvolupament del projecte.

No obstant, en primer lloc s'ha plantejat la raó de ser del projecte, és a dir, la necessitat de trobar solucions a un problema. Aquesta raó de ser es basa en recondicionar una cèl·lula de seguretat que ha quedat en desús al llarg dels anys i fer-la totalment funcional i segura.

Per tant, el problema queda definit com els risc que pot generar el funcionament actiu d'aquesta cèl·lula al personal humà que treballa dins l'entorn, cosa que implica definir una solució per tal de concloure el projecte amb èxit.

El seguit de normatives vigents corresponents a la seguretat de màquines han definit el camí d'actuació i implementació de la solució, ja que era necessari que aquesta solució complís amb els estàndards marcats pel govern. Les normatives ISO 12100 i ISO 13849-1 han estat les que més pes han tingut, ja que documenten com realitzar el disseny i integrar els sistemes de seguretat.

4. Disseny projecte

En aquest apartat detallarem els passos que hem seguit per al desenvolupament i disseny del projecte.

4.1. Anàlisi de l'entorn

A continuació, es mostren els dispositius que formen la cèl·lula i com aquesta està distribuïda físicament, per tal d'ensenyar l'entorn en què es troba. La connexió entre dispositius es detalla en punts posteriors.

A la Il·lustració 23. Vista frontal cèl·lula. **Error! Reference source not found.** es mostra una vista frontal de la cèl·lula en què s'aprecia el següent:

- (1) El quadre principal de la cèl·lula.
- (2) Conjunt de polsadors que permeten interactuar amb la cèl·lula i actuen també com a senyalitzadors lluminosos, es comuniquen amb el PLC via AS-i. Aquest apart de disposar de polsadors, disposa també d'un contacte amb una clau (com la típica porta d'un habitacle).
- (3) Dispositiu JSDH4, combinat amb un sensor Eden per permetre monitorar la posició en la qual es troba JSDH4.
- (4) Dispositiu Knox, el qual permet bloquejar o desbloquejar la porta.
- (5) Indicador lluminós per a permetre indicar en quin estat es troba la màquina.



Il·lustració 23. Vista frontal cèl·lula.

A la següent Il·lustració 24. Vista lateral esquerra cèl·lula es pot veure un lateral de la màquina Il·lustració 24. Vista lateral esquerra cèl·lula. En ella s'observa l'única zona oberta de l'entorn, la qual esta controlada i delimitada per (3).

Podem apreciar el següent:

- (1) Polsador d'emergència.
- (2) Un dispositiu bimanual de seguretat
- (3) Cortina de seguretat amb el seu emissor i receptor, delimita la zona de seguretat que no pot ser traspassada.
- (4) Braç robòtic.
- (5) Equip de 4 ventoses, que permeten la subjecció de l'element que es disposi sobre la superfície. En el cas de la cèl·lula un paper, per a que el robot faci un dibuix.

Aquest entorn en específic permet simular una zona de treball crític, on entren en joc els dos dispositius nombrats anteriorment (2) i (3). Aquests permeten definir el límit que no pot ser traspassat de la zona segura.



Il·lustració 24. Vista lateral esquerra cèl·lula.

A la Il·lustració 25. Vista lateral dreta cèl·lula. es pot apreciar l'altre lateral de la cèl·lula.

Els dispositius (1) (2) (3) estan connectats creant un circuit dinàmic. Així doncs:

- (1) Sensor Eden que permet detectar si porta (5) està en posició de seguretat o no.
- (2) Conjunt de pulsadors que permeten interactuar amb la cèl·lula, segons la programació que es realitzi.
- (3) Dispositiu nomenat com a Dalton, el qual permet bloquejar/desbloquejar el resguard mòbil (4), i a més, conté d'un sensor Eden afegit que detecta en quina posició es troba el resguard.
- (4) Resguard mòbil que permet accedir a la cinta transportadora.
- (5) Aquest resguard primerament es va contemplar com a resguard mòbil, però a causa de la seva poca funcionalitat, finalment es contempla com a resguard fix.



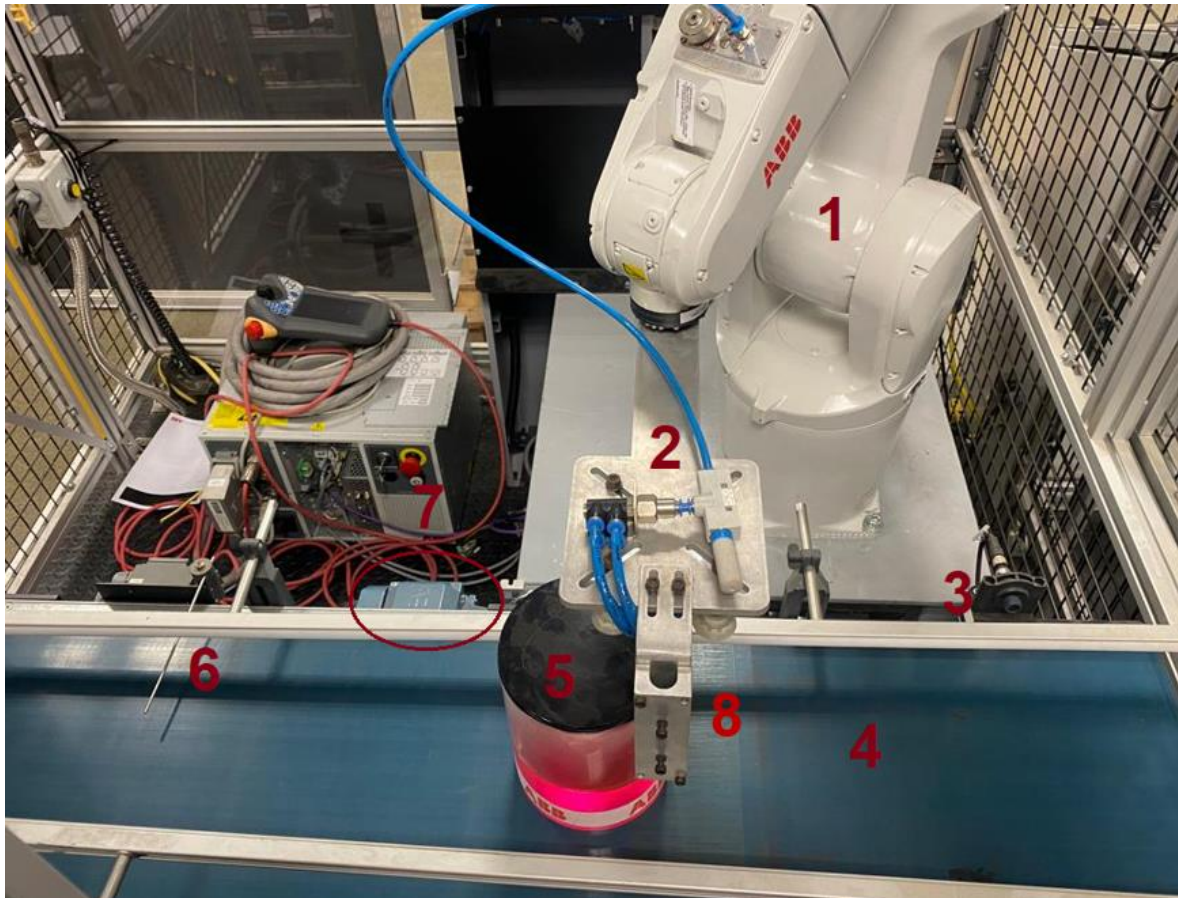
Il·lustració 25. Vista lateral dret cèl·lula.

Els elements que donaran funcionalitat a la cèl·lula i es consideraran com perills elevats són una cinta transportadora i un braç robòtic que es troben a la Il·lustració 26. Dispositius cèl·lula. L'objectiu principal que es mostrarà al projecte es la interacció dels elements de seguretat amb ambdós dispositius funcionals.

A la Il·lustració 26. Dispositius cèl·lula. es pot observar:

- (1) Braç robòtic.
- (2) Equip de ventoses que permeten al robot interactuar (agafar/deixar/modificar posició) amb el material que es trasllada per la cinta.
- (3) Sensor de presència que permet monitorar quan hi ha objecte o no al principi de la cinta.
- (4) la cinta transportadora
- (5) Element transportat per la cinta.
- (6) Sensor final de carrera, el qual permet monitorar quan l'element transportat arriba al final de la cinta.
- (7) Motor que genera el moviment de la cinta.
- (8) Suport que permet inserta un boli com a element terminal del robot.

L'encarregat de controlar al motor es el variador de freqüència d'ABB ACS355.



Il·lustració 26. Dispositius cèl·lula.

Seguidament a la Il·lustració 27. Quadre elèctric., s'observa el quadre principal de la cèl·lula, on s'hi troben tota una sèrie de dispositius que permeten la monitorització o protecció de les solucions, com poden ser elements de protecció elèctrica, fonts d'energia, PLC, relés etc.



Il·lustració 27. Quadre elèctric.

4.2. Anàlisi dels perills

Per a acotar exhaustivament els perills que genera la màquina s'analitzen cada un d'ells i es proposen un seguit de solucions que son d'obligació implementar per a aconseguir un entorn segur.

Es realitza les següents taules, Taula 1. Identificació perills, Taula 2. Identificació perills.

IDENTIFICACIÓ PERILLS	
Breu descripció activitat	Perills associats
<ul style="list-style-type: none"> • Entrar a la cèl·lula per modificar o moure l'objecte que es troba a la cinta. • Entrar per mostrar els equips que es troben a l'interior. • Arrencament bruscat de la cinta transportadora i descontrol del material transportat. • Actuació errada del braç robòtic. • Actuació errada dels sistemes pneumàtics. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amputació de membres • Atrapament • Colpeig

Taula 1. Identificació perills

EVALUACIÓ DE RISCOS							
Num. de ítem	Perill	Persones possibles afectades	G	F	P	Classificació de risc	Mesures control proposades
1	Atrapament Amputació de membres Colpeig	Operaris Clients Expositors	5	4	6	Molt elevat PLr=e	<ul style="list-style-type: none"> • Es rodejarà tota la zona de perill amb resguards fixes i mòbils. • S'implementaran dispositius de seguretat que permetin actuar o detectar en vers al perill. • Els resguards mòbils utilitzaran elements d'enclavament i bloqueig que aportin el més elevat nivell de seguretat Ple. • L'obertura dels resguards serà equipada amb dues cortines fotoelèctriques i un polsador bimanual. • Es dotarà al motor que controla la cinta d'un variador de freqüència per a obtenir un control exhaustiu del procés. • Tots els elements estaran controlats per el PLC de seguretat, ja sigui directament o per protocol de comunicacions industrials. • La part pneumàtica serà controlada per electrovàlvules, on aquestes seran controlades per al PLC. • Es protegirà elèctricament tots els dispositius. • S'indicarà en tot moment via senyalitzadors lluminosos en quin estat es troba la cèl·lula. • S'implementarà dos tipus de parades d'emergència o controlades.

Taula 2. Identificació perills.

Els graus de cada consideració, G (gravetat de dany rebut), F (freqüència d'exposició) i P (possibilitat d'evitar el perill) han sigut definits seguint la següent Taula 3. Graus consideració risc. [4]

G1	Sin daños significativos	P1	Muy remoto	0,0001%	F1	Muy raro	<1%
G2	Primeros auxilios mínimos.	P2	Improbable	0.001%	F2		1%
G3	Requiere atención profesional.	P3	Remoto	0.01%	F3		25%
G4	Requiere hospitalización.	P4	Ocasional	0.1%	F4		50%
G5	Fatal.	P5	Probable	1%	F5		75%
G6	Fatalidad múltiple.	P6	Frecuente	10%	F6	Continuo	100%

Taula 3. Graus consideració risc.

4.3. Estudi de les solucions

Una vegada avaluats els riscos possibles, comentem les solucions ja implementades que permeten garantir la seguretat dins l'entorn de la cèl·lula.

Seguidament, es narra com han estat tractats tots els problemes que generaven un perill en la màquina.

El perill principal que ha hagut de ser tractat és l'abast dels dos dispositius funcionals de la cèl·lula (cinta i braç robòtic, que són considerats com a perills elevats) a les persones que són dins la zona de perill i per tant poden acabar malmeses físicament.

Per a solucionar aquesta qüestió es rodeja tota la zona de perill de la màquina amb resguards fixos i mòbils. Això permet delimitar físicament la zona de perill a la qual no es pot accedir. Els únics punts d'accés seran aquells que tinguin resguards mòbils.

No obstant el problema i la solució plantejats anteriorment, és necessari tenir accés a la zona de perill per a possibles modificacions, manteniment etc, per això, no tots els resguards seran fixos, cosa que genera un perill si aquest accés no està controlat.

Per obtenir un accés controlat a través dels resguards mòbils, aquests són equipats de dispositius de bloqueig com el dispositiu Dalton o el dispositiu Knox, que no permetran l'accés a la zona de perill si aquesta no és segura. Perquè sigui possible l'accés, serà necessari realitzar una petició mitjançant un polsador extern i en cas que les condicions siguin òptimes, els dispositius de bloqueig permetran l'obertura del resguard mòbil, duent a terme l'acció corresponent d'aturada controlada. La posició d'aquests resguards mòbils serà monitorada per sensors que detectaran si estan oberts o tancats (Eden). En cas d'obrir algun dels resguards sense estar en les condicions idònies, l'equip detectarà aquest error i la màquina es durà a un estat segur immediatament, duent a terme una aturada d'emergència. Ambdós components permeten obtenir un Ple.

Per tant, els dispositius Knox i Dalton permetran bloquejar o desbloquejar el resguard mòbil, i el dispositiu Dalton permetrà monitorar la posició d'aquest resguard.

En cas que hi hagi algun perill, sigui detectat per l'operari o bé pels dispositius de seguretat, la màquina s'haurà de dur a un estat d'emergència. Per supervisar tant les posicions dels resguards mòbils com que no hi hagi cap error. Hi ha implementats un seguit de dispositius de seguretat que permeten, actuar, prevenir o detectar qualsevol perill que pugui sorgir abans que aquest causi algun dany a les persones.

Alguns exemples d'aquests dispositius són: polsadors d'emergència (Smile 11), senyalitzadors lluminosos, sensors de posició, conjunt de polsadors (Smile 41)... Els

dispositius Tina seran els encarregats d'adaptar els senyals dels dispositius convencionals que no permeten el funcionament amb el circuit CDS.

Amb els dispositius Eden podem monitorar posicions i saber si els resguards estan en un estat segur per tant, actuar en cas contrari, com ja s'ha comentat.

En tot moment serà necessari indicar visualment en quin estat es troba la màquina perquè el personal sàpiga si és en un estat segur.

Per tant, s'implementen uns senyals lluminosos que indicaran si la màquina està en estat correcte (pampallugues verdes), en funcionament (verd fix), estat de petició d'accés (pampallugues grogues), reguards desbloquejats (groc fix) o en estat d'emergència (vermell).

Existeix una zona que no ha estat delimitada físicament per cap resguard físic i que per tant, és oberta. Aquesta necessita ser monitorada per no permetre que es traspassi sense una autorització prèvia.

És equipada amb dues cortines fotoelèctriques i un polsador bimanual. Aquestes cortines permetran tenir un control total de la zona oberta, en cas de traspassar-la sense una prèvia petició d'accés, la màquina serà portada a un estat segur mitjançant una aturada d'emergència. El dispositiu bimanual està pensat per a interactuar amb el braç robòtic i permetre que aquest faci una seqüència mentre està actiu aquest polsador bimanual.

Les cortines Orion seran les encarregades de delimitar la zona oberta.

El polsador bimanual serà el JSTD25.

L'element cinta transportadora es contempla com un perill elevat, el qual té implementat un motor per realitzar el moviment de la cinta. És necessari monitorar el comportament d'aquest motor per reduir els riscos.

El motor que controla la cinta serà controlat per un variador de freqüència i aquest pel PLC. La cinta es considerarà com un element d'alt risc. Per això és necessari obtenir un control exhaustiu sobre aquesta mitjançant un variador de freqüència. Aquest permetrà controlar en tot moment el comportament del motor, i protegir-lo per brindar a la màquina d'un grau més de seguretat.

El variador serà el model ACS355.

Un altre factor a tenir en compte és que la màquina compta amb un equip pneumàtic que s'ha de controlar si es vol fer una màquina segura.

S'implementaran electrovàlvules que controlaran aquest equip pneumàtic, i aquestes seran controlades per el PLC.

Tots els dispositius que esmentats i que permeten tenir una màquina segura han de ser controlats per algun dispositiu que els indiqui com actuar, ja que per si sols no són capaços de funcionar. El PLC de seguretat Pluto B42 ASi, serà l'encarregat de proporcionar aquest control. No tots els dispositius seran comunicats pel mateix protocol. La gran majoria seran connectats via entrades/sortides del PLC, però també es podrà observar el protocol AS-i. Per comunicar el robot amb el PLC es farà via Ethernet IP, a través d'una passarel·la que permet comunicar els dos dispositius.

Els equips hauran de ser protegits elèctricament perquè en cas de sobretensió o curtcircuit no es malmetin i per tant, puguin fer mal a l'operari. Per això, els equips seran protegits via elements de protecció elèctrica.

4.3. Arquitectura connexionat dispositius

Un cop vista físicament l'estructura de la cèl·lula, és important comprendre com estan interconnectats els equips. S'han elaborat una sèrie de diagrames que mostren aquestes connexions.

Primerament, es comenta breument a partir de la Il·lustració 28. Diagrama potència. com ha estat connectada la part d'alimentació dels dispositius i la protecció d'aquesta.

- (1) Magneto tèrmic que permet protegir elèctricament la instal·lació, el qual rep 400V AC directament de la xarxa elèctrica.
- (2) Magneto tèrmics que són destinats també a la protecció elèctrica, sent aquests d'un calibre més petit que (1) treballant amb 230V AC, i protegint als diferents dispositius.
- (3) Braç robòtic,
- (4) Endoll afegit al quadre global per si és necessària una alimentació externa com pot ser d'un PC.
- (5) Compressor d'aire del robot.
- (6) Font d'alimentació de tots els dispositius de sensorica, PLC i relés que no formen part d'AS-i.
- (7) Font d'alimentació per al dispositius connectats al bus de comunicacions AS-i.
- (8) Variador de freqüència que permet controlar al motor.



Il·lustració 28. Diagrama potència.

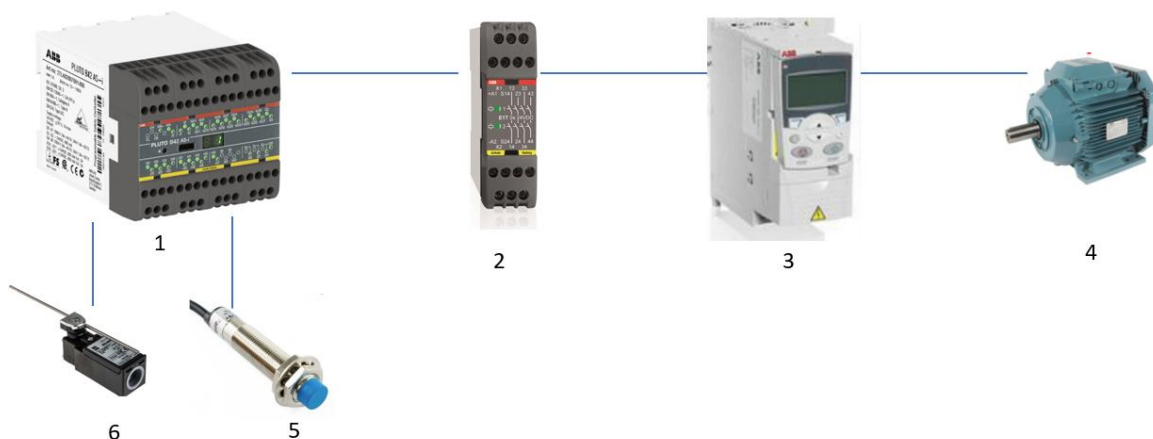
Una vegada vist com està distribuïda la potència, mostrem les interconnexions dels dispositius.

El projecte està controlat únicament per un PLC, en concret el PLC Pluto B42 As-i. Aquest PLC permet connectar els dispositius via entrades/sortides o per protocols de comunicacions industrials, en concret AS-i i Pluto Bus. Està complementat per 3 relés de seguretat externs que funcionen com a mòduls d'expansió. Es complementa també amb

una passarel·la que permet connectar el braç robòtic i el PLC mitjançant el protocol de comunicacions Ethernet IP.

Seguidament, es veurà en detall totes aquestes característiques nomenades.

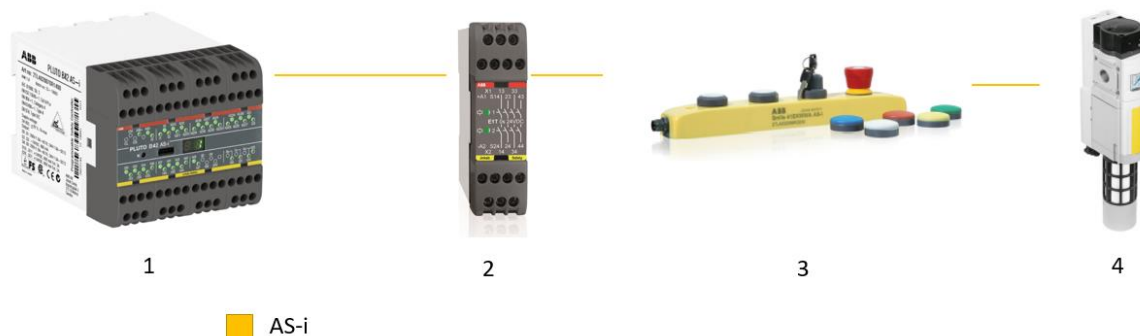
Primerament a la Il·lustració 29. Diagrama connexió PLC-Cinta. es pot veure el diagrama de connexió que s'ha seguit per controlar el motor de la cinta transportadora (4). (1) és el PLC, el qual habilita al relé de seguretat (2) quan totes les condicions de seguretat són les òptimes. Quan (2) està habilitat de forma segura, permet l'activació de (3), que és el variador de freqüència que controla al motor (4). És a dir, si no hi ha cap senyal de perill/risc que provingui externament d'algun dispositiu de seguretat actiu/passiu, el motor podrà funcionar correctament gracies al variador de freqüència on aquest variador de freqüència serà habilitat pel relé de seguretat (2). Hi ha dos dispositius més que entren en joc (6) i (5). (5) és un sensor de presència que està destinat a detectar si hi ha o no presència d'objecte a la cinta. És una entrada que es declara al programa del PLC que permet condicionar l'acció d'activació de la cinta. (6) és un final de carrera, que està situat al final del recorregut de la cinta i s'activa quan l'objecte de la cinta el toca, per tant, permet indicar quan l'objecte ha arribat al final de la cinta. És també una entrada que es declara al PLC i que via codi permetrà aturar la cinta una vegada activat.



Il·lustració 29. Diagrama connexió PLC-Cinta.

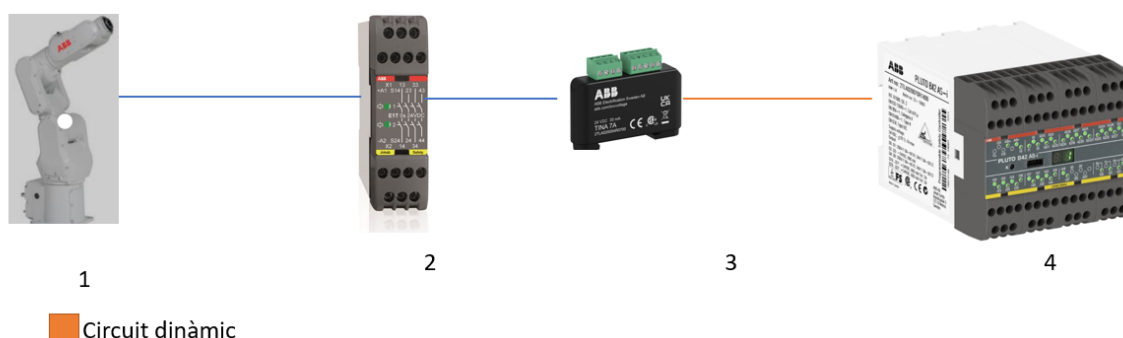
Seguidament, a la Il·lustració 30. Diagrama comunicació AS-i s'observen les connexions dels equips connectats al bus AS-i. Ambdós supervisats pel relé de seguretat (2). (4) és un dispositiu pneumàtic que regula l'aire provinent del compressor i posteriorment el subministra a l'equip de ventoses. Per tant, (1), que és el PLC de seguretat, monitora els elements (3) i (4) via comunicació AS-i. (3) és un conjunt de polsadors lluminosos, que es

declaren com a entrades del PLC, per actuar de la forma que es cregui convenient en l'entorn de programació.



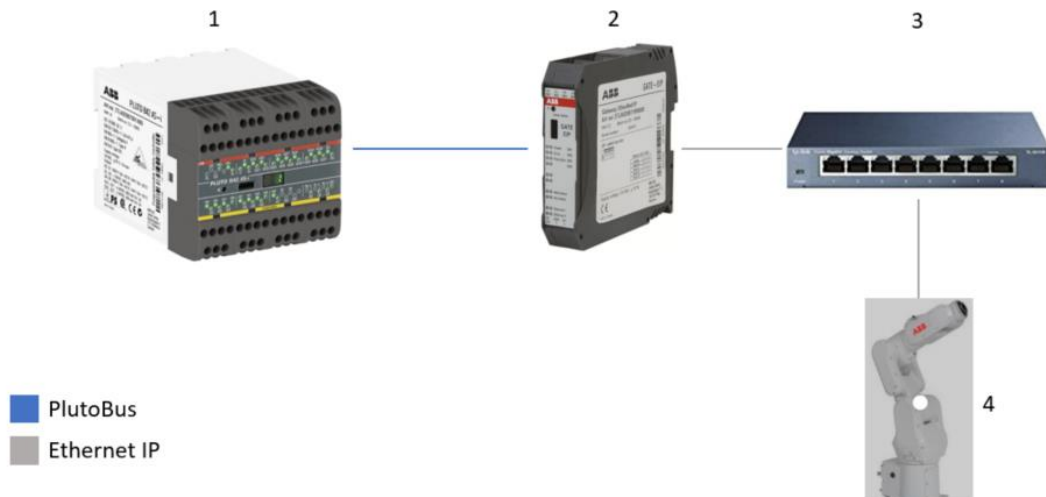
Il·lustració 30. Diagrama comunicació AS-i

La Il·lustració 31. Diagrama connexionat senyal emergència braç robòtic. mostra la connexió realitzada per a l'habilitació del senyal d'emergència que genera el braç robòtic al PLC. (1) es el braç robòtic que en cas d'emergència genera un senyal que envia a (2), (2) es el relé de seguretat. (3) es el dispositiu Tina 7A, que permet adaptar aquesta senyal d'emergència ara provinent de (2) a una senyal de circuit dinàmic, per a que arribi a (4) el PLC de seguretat, i aquesta pugi ser declarada com a una entrada segura de circuit dinàmic, per a ser tractada en l'entorn de programació del PLC.



Il·lustració 31. Diagrama connexionat senyal emergència braç robòtic.

La Il·lustració 32. Diagrama comunicació PLC- braç robòtic mostra com s'han interconnectat el braç robòtic i el PLC perquè el PLC pugui monitorar-lo. Es fa via el protocol de comunicacions Ethernet IP i per això s'utilitza una passarel·la (2) que permet fer d'interfície de comunicació entre aquests dos dispositius. El PLC (1) comunica via el protocol Pluto Bus amb la passarel·la i el braç robòtic (4) comunica amb la passarel·la per EthernetIP. (3) És el switch que comunia (2) i (4). D'aquesta manera, el PLC i el robot podran compartir un seguit de variables, tan generades des del PLC com des del robot, que condicionaran via programació la forma d'actuar de la màquina.

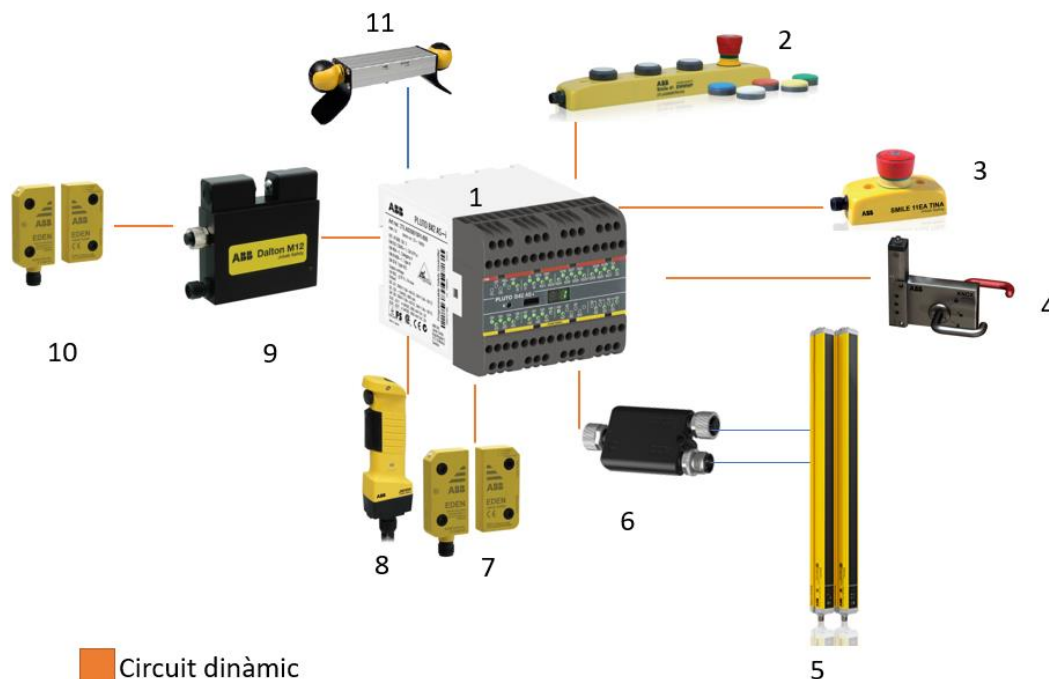


Il·lustració 32. Diagrama comunicació PLC- braç robòtic

Seguidament a la Il·lustració 33. Connexió dispositius CDS. S'observa el conjunt de dispositius restants que controla el PLC, la majoria menys (11) són utilitzats amb circuit dinàmic.

- Els dispositius (2) i (3) actuen com a simples polsadors.
- El dispositiu (4) Knox, és el que permet el bloqueig o desbloqueig de la porta de la màquina.
- (5) són les cortines de seguretat, on (6) adapta la seva a un senyal de circuit dinàmic.
- (8) i (7) es complementen, (7) és el sensor Eden i permet controlar la posició en la qual es troba (8), ja que es un comandament d'home mort que pot agafar-se i per tant moure's de la posició inicial.
- (9) i (10) són els únics dispositius que formen un mateix circuit dinàmic. (10) permet controlar la posició en la qual es troba el resguard mòbil que bloqueja (9), (9) permet bloquejar o desbloquejar el resguard mòbil.
- (11) és un polsador bimanual, on per donar un senyal d'OK han de ser polsats els dos extrems del dispositiu.

Tots ells seran entrades al PLC que permetran crear condicions per al codi de programació. Només (4) i (9) també actuaran com a sortides, ja que via codi s'indicarà quan deuen bloquejar/desbloquejar el resguard que controlen.



Il·lustració 33. Connexió dispositius CDS.

4.4. Estudi funcionalitats de la cèl·lula

La cèl·lula té una sèrie de funcionalitats que permeten mostrar les possibilitats dels productes de seguretat d'ABB. A continuació es detallen totes les seves funcionalitats del hardware, cosa que implicarà implementar-les al software.

- Parada d'emergència: Hi ha una gran varietat de sensors i elements passius que tenen la funció de supervisar la seguretat de la cèl·lula, incloent-hi elements actius com el polsador d'emergència. Si algun element d'aquests detecta que existeix algun risc, s'ha de dur la màquina a un estat segur de manera immediata.
- Parada controlada: A diferència de la parada d'emergència, aquesta és una parada que com el seu nom, és controlada, és a dir no serà brusca. Aquesta serà sol·licitada externament per polsadors, i la màquina actuarà de la manera convenient per no realitzar un atur brusca que podria danyar els dispositius.
- Bloqueig de procés: Existeixen dos bloquejos de procés a la cèl·lula, una porta i una finestra. La porta disposa d'un dispositiu de bloqueig que permet l'obertura o no de la porta. La finestra incorpora un dispositiu de bloqueig i un d'enclavament que és un sensor que funciona per RFID (Eden).
- Control via PLC de seguretat: Permet saber quan la màquina està llesta per arrancar, és a dir, que es troba en un estat segur. Si el PLC de seguretat no detecta que la cèl·lula es troba en un estat segur, ni la cinta ni el robot podran actuar.
- Comunicació amb diferents protocols: La màquina dotarà de la comunicació via EthernetIP, la qual permetrà comunicar el robot amb el PLC. AS-i serà l'altre protocol de comunicació que entrarà en joc.
- Supervisió dels elements funcionals: Aquests actuaran acord amb el PLC de seguretat, en cas de sorgir algun perill seran aturats d'immediat.

5. Programació

En aquest apartat mostrem com ha sigut la programació del projecte i com aquesta ha estat plantejada gràcies a les normatives definides.

5.1. Normativa aplicada programació seguretat

La programació de seguretat ha seguit les indicacions comentades a la ISO 13849-1. Ha suposat un element clau del projecte, ja que per a poder implementar tots els dispositius que componen la solució del projecte, ha sigut necessària una programació compacta que coordinés tots els elements.

Les directrius en la programació a seguir que la norma ISO 13849-1 defineix són:

- Seguretat
- Simplicitat
- Claredat
- Accessibilitat
- Documentació

S'ha creat un document excel on es daten totes les entrades i sortides del controlador i a quin element físic fan referència cada una, aquest document es troba al document adjunt d'annexos com "Llistat variables PLC".

La programació de seguretat es planteja d'una manera subtilment diferent de la de control. Aquesta executa l'acció sempre que les condicions siguin òptimes i quan aquestes deixen de ser-ho, l'acció ja no s'executa, duent la màquina a un estat segur. En la programació de control, l'acció s'activaria en funció de si x esdeveniments s'han complert, com per exemple l'activació d'un sensor inductiu que detecta presència d'objecte i dona ordre al robot perquè el reculli o realitzi l'acció indicada. Un exemple per a seguretat podria ser en una cèl·lula on un resguard és obert, no estem en condicions òptimes i els contactors de potència estan desactivats. Una vegada el resguard tancat i totes les altres condicions siguin correctes (cap polsador de seguretat activat, etc.) els contactors de potència ja poden ser activats. És una petita diferència, però permet que en cas de deixar de funcionar el PLC de seguretat, s'aturi la màquina sense la necessitat del seu funcionament.

Actualment, existeixen molts fabricants de PLC's de seguretat, cada un d'ells tenen diferències entorn de la programació, però la lògica a seguir sol ser la mateixa.

En el cas d'aquest projecte, com ja s'ha comentat, s'utilitza el PLC de seguretat Pluto. Se segueix la lògica Ladder amb l'ajuda d'alguns blocs predefinits.

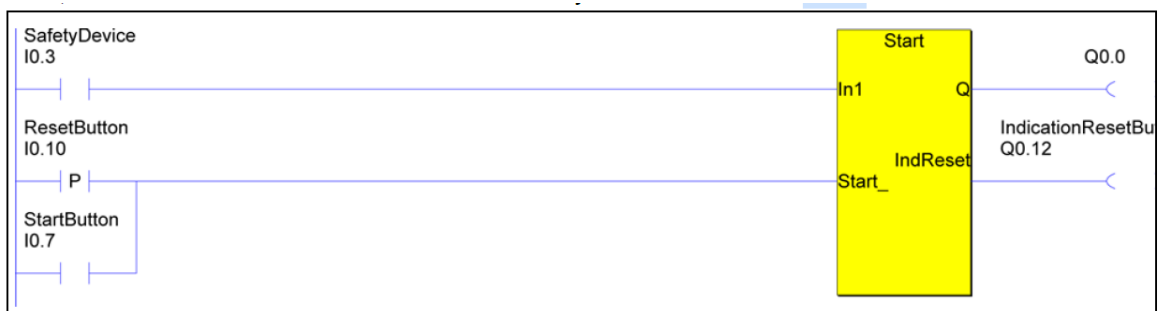
La norma ISO 13849-1 defineix un seguit de regles i recomanacions, tenint en compte que la programació d'un PLC de seguretat ha d'assegurar que l'aplicació a controlar manté el nivell de seguretat PLr adequat en tot moment del seu cicle de vida, això implica seguir les següents recomanacions:

1. La utilització de programes tipus (plantilles) o per blocs funcionals. [13]

Sempre que sigui possible utilitzar biblioteques de blocs funcionals validats. Es recomana l'ús llenguatges de programació summament gràfics, com el Ladder (l'utilitzat en el projecte). El software incorpora llibreries de blocs de funció preprogramats i de funcions específiques per a dispositius Jokab (gamma dispositius seguretat ABB).

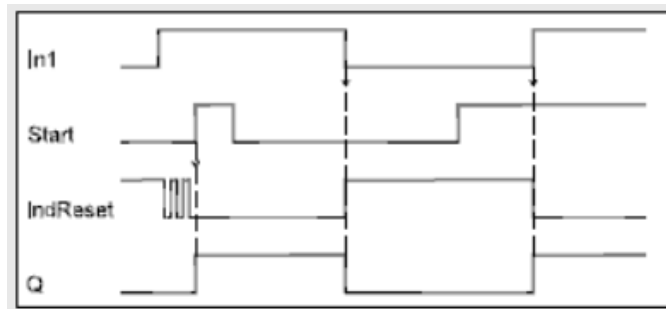
A continuació es mostren alguns dels utilitzats al programa.

- a. A la Il·lustració 34. Bloc Start. , treballem amb el bloc predefinit “Start”. Aquest bloc permet controlar l'estat de la sortida (Q) a través de dues entrades In1 i Start_. Q només serà activa quan aquestes dues entrades estiguin actives. [13]Es comenta seguidament la funció de cada part del bloc:
- b.
- In1 és l'entrada principal, a la qual es pot connectar la sortida d'un dispositiu de seguretat o la sortida d'algun altre bloc o memòria.
 - Start_ és una condició d'inici que pot ser utilitzada com una entrada monitorada o de reinici.
 - IndReset és una sortida per a indicació. S'activa quan el bloc està apagat i In1 està apagat. Parpelleja quan el bloc està llest per activar-se amb Start_.
 - Q és la sortida principal que s'activarà quan les dues entrades estiguin activades, és a dir quan In1 i Start_ compleixin les condicions d'activació.



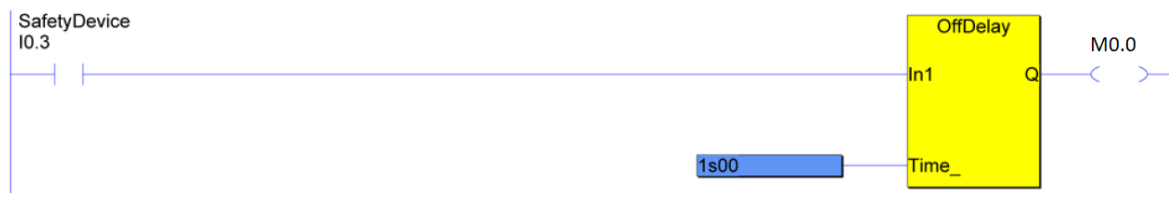
Il·lustració 34. Bloc Start.

A la següent Il·lustració 35. Diagrama estats bloc Start.es mostra el diagrama d'estats on es pot veure plasmat el comportament descrit anteriorment.



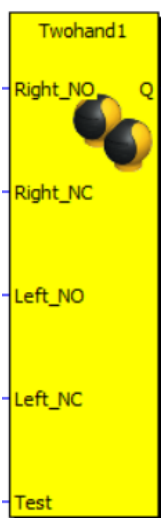
Il·lustració 35. Diagrama estats bloc Start.

- c. El bloc de la Il·lustració 36. Bloc OffDelay, observem un temporitzador a la desconexió. És a dir, la sortida (Q) s'activarà quan l'entrada (in1) estigui activa. Quan l'entrada deixi d'estar activa, la sortida romandrà activa el temps que s'hagi indicat en Time_, una vegada passat aquest temps la sortida es desactivarà.
- In1 és l'entrada, on el contacte pot ser la sortida d'un dispositiu de seguretat.
 - Time_ és el valor de temps que es voldrà temporitzar la sortida (Q)-
 - Q és la sortida del bloc, la qual serà activada per In1 i quan In1 es desactivi romandrà activa el temps definit en Time_.



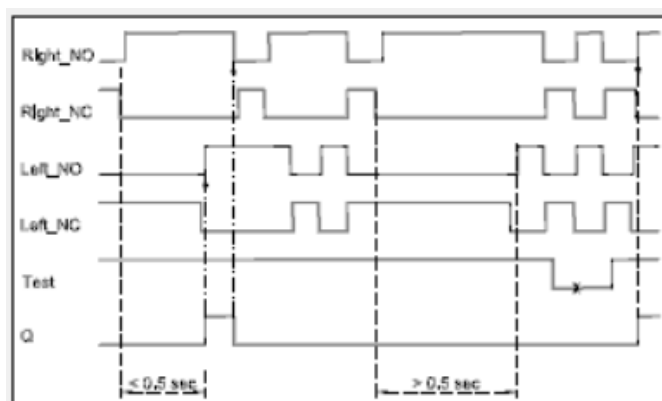
Il·lustració 36. Bloc OffDelay

- d. A la Il·lustració 37. Bloc Twohand. s'observa el bloc creat per monitorar l'element bimanual JSTD25, on les entrades Right fan referència al polsador de la dreta i les Left fan referència al polsador esquerre. Si els quatre senyals són correctes, s'activa la sortida "Safeball_ok".



Il·lustració 37. Bloc Twohand.

El seu comportament es veu plasmat en el següent diagrama d'estats, de la Il·lustració 38. Diagrama estats bloc Twohand.

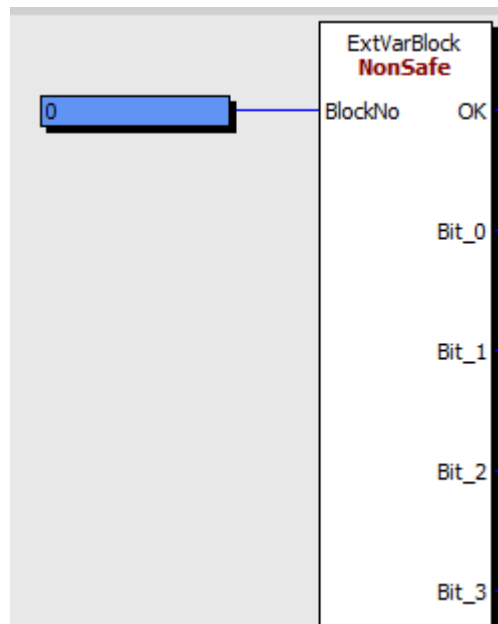


Il·lustració 38. Diagrama estats bloc Twohand.

- e. A la següent Il·lustració 39. Bloc ExtVarBlockes veu el bloc que permet llegir variables de dispositius externs que provenen de passarel·les, HMI's, etc. i les vincula amb el PLC.

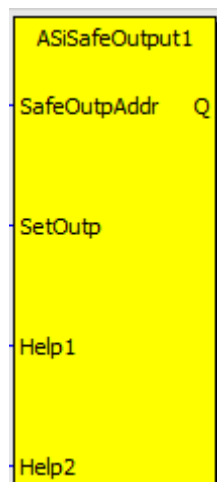
Amb l'entrada "BlockNo", assignem al bloc el numero que volem del 0...3. OK és una sortida fictícia que sol estar activa. Ha de ser connectada a una marca (M), marca global (GM) o sortida (Q).

Bit_0..15 son sortides que poden controlar M, GM o Q, d'acord amb el que transmeti el dispositiu exterior.



Il·lustració 39. Bloc ExtVarBlock

- f. La Il·lustració 40. ASiSafeOutput1.muestra un bloc destinat al protocol AS-i.
A SafeOutpAddr s'assigna la direcció de la sortida AS-i que es vol monitorar i s'activa quan Q és activada.
SetOutp és la input/entrada per activar o desactivar Q.
Help1 i Help2 funcionen com a contactes auxiliars de reset.
Q és la sortida que s'activarà en cas que el bloc permeti la seva activació.

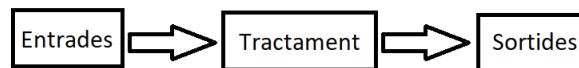


Il·lustració 40. ASiSafeOutput1.

2. El disseny de l'aplicació lògica ha de contemplar la partició del programa en mòduls o segments amb la finalitat d'identificar les parts principals a les "entrades", "tractament" i "sortides". [13]

La programació es divideix en tres grups, Il·lustració 41. Diagrama estructura programació seguretat.:

- Entrades, on s'adquireix la informació dels diferents sensors de seguretat mitjançant entrades segures.
- Tractament de la informació, aquest tractament és requerit per realitzar les funcions de seguretat que condueixen a un estat segur.
- Sortides, control dels accionadors mitjançant sortides de seguretat.

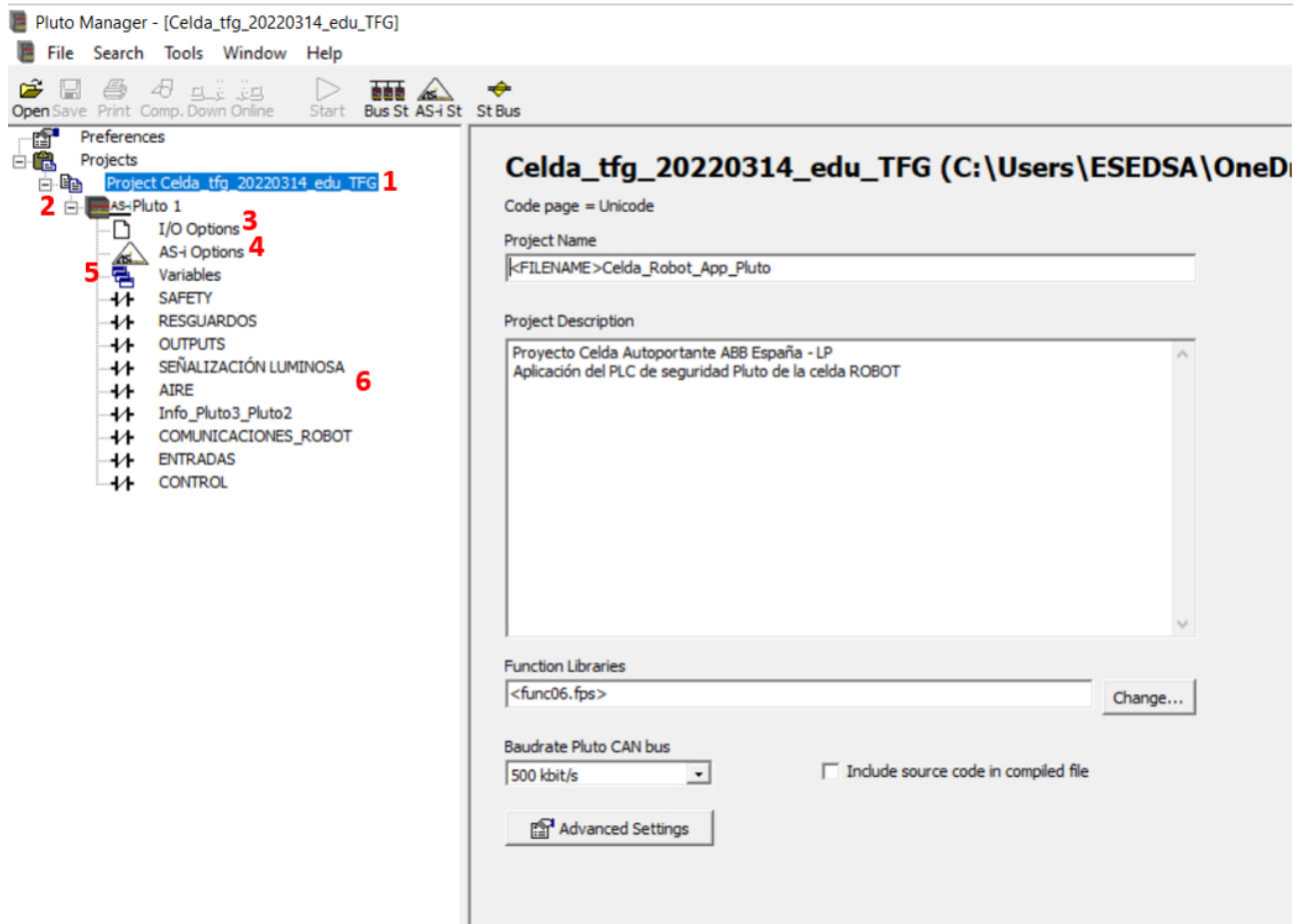


Il·lustració 41. Diagrama estructura programació seguretat.

3. La documentació ha de ser completa, editable, explícita i comprensible. Han de ser documentats tots els apartats, mòduls i funcions del codi, així com tot el cicle de vida i les activitats de modificació de l'aplicació.[13]
4. Es recomana que cada variable de sortida s'executi únicament en un sol punt de la programació. És una recomanació a tenir en compte, encara que per complexitats de codi a vegades no sigui possible.[13]

5.1. Estructura Pluto Manager i programació

El software segueix l'estructura de la Il·lustració 42. Estructura Pluto Manager.



Il·lustració 42. Estructura Pluto Manager.

1. Projecte en el qual estem treballant: El nom que apareix és generat per l'autor del projecte. El software permet treballar amb diversos projectes alhora sense haver d'estar canviant de finestra. Això suposa un avantatge per diverses raons. D'una banda, permet tenir projectes separats en una instal·lació amb diversos Plutos i treballar en paral·lel. D'altra banda, permet major agilitat per a copiar trossos d'altres programes. Moltes funcions de seguretat es repeteixen canviant els senyals, tenint diversos programes oberts s'agilita la cerca i rèplica d'aquestes.
2. Número de Pluto: En aquest projecte com ja s'ha dit, s'utilitza un Pluto B42 AS-i. Aquest projecte només utilitza un Pluto, però és possible, en projectes de major magnitud, ampliar el nombre fins a 32.
3. I/O options: En aquest apartat es configuren els senyals que espera cada entrada o com han d'actuar les entrades/sortides (IQ), es mostra a la Il·lustració 43. I/O Options.

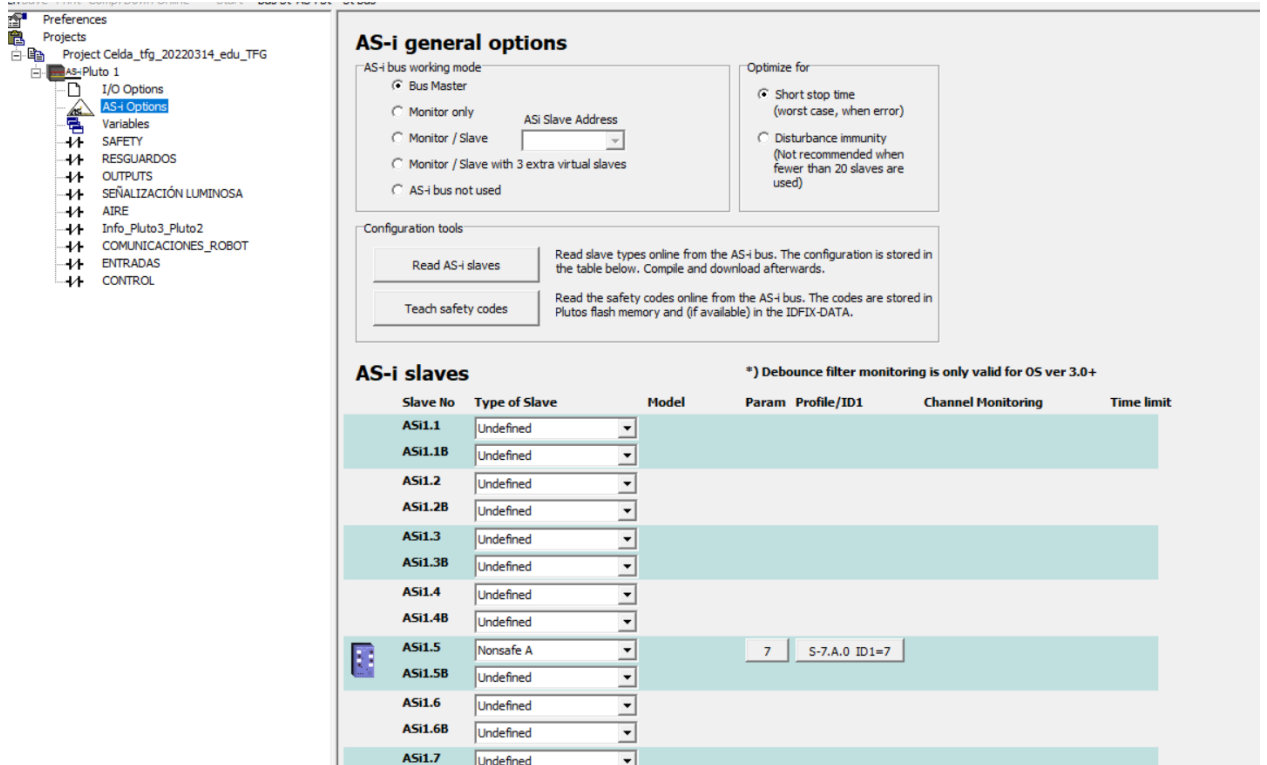
Signal	Type of signal	Shape/Level	Options	
I1.0	Input	Static	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.1	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.2	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.3	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.30	Input	Static	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.31	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.32	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.33	Input	C_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.34	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.35	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.36	Input	Static	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.37	Input	Static	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.40	Input	A_Pulse	<input checked="" type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.41	Input	A_Pulse	<input checked="" type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.42	Input	Static	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.43	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.44	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.45	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.46	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
I1.47	Input	B_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt

Signal	Type of signal	Shape/Level	Options	
IQ1.10	Output	A_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
IQ1.11	Light button	A_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
IQ1.12	Light button	A_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
IQ1.13	Light button	A_Pulse	<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt
IQ1.14	Undefined		<input type="checkbox"/> Non_inv	<input type="checkbox"/> No_filt

Il·lustració 43. I/O Options.

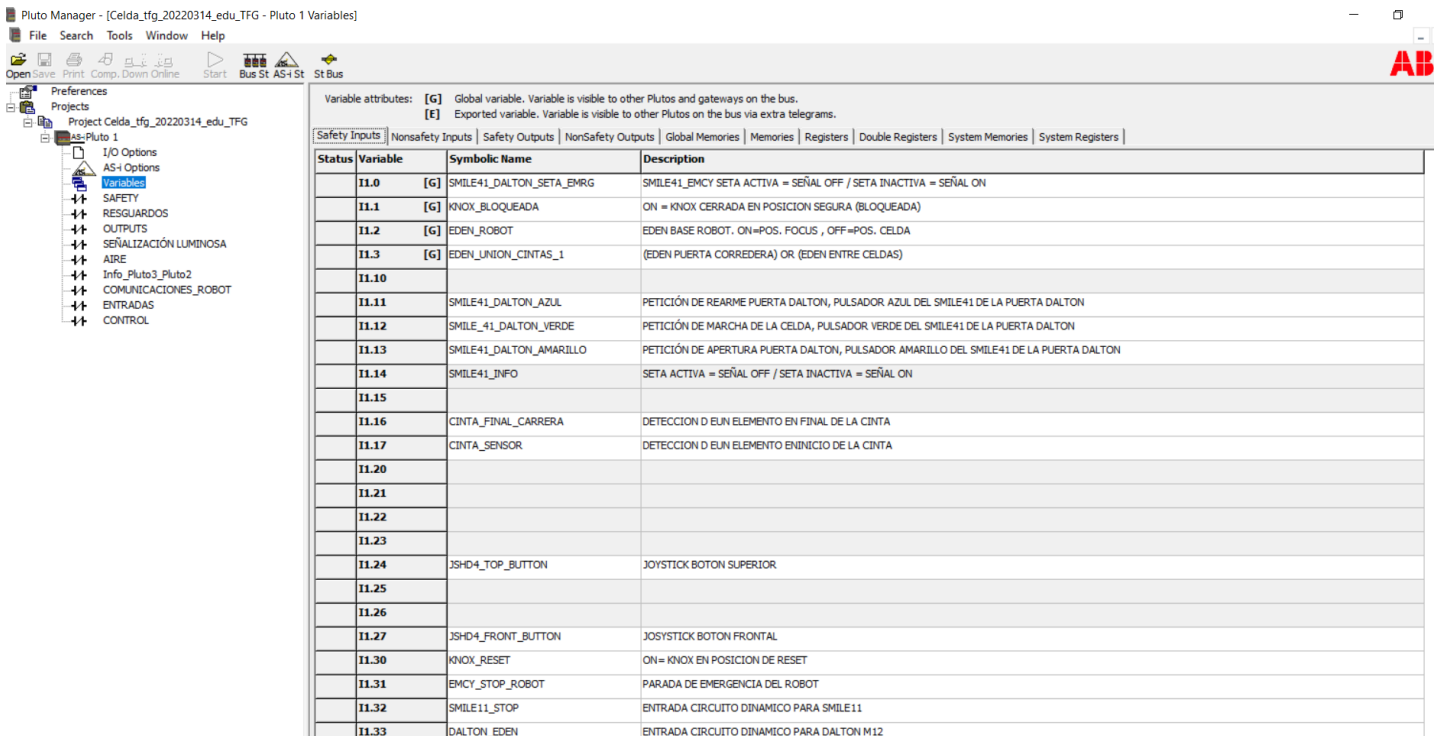
A la columna “type of signal” s’indica amb quin tipus de senyal es treballarà, la columna “Shape/Level” permet definir quin tipus de senyal espera l’entrada. Això permet indicar si es treballa amb circuit dinàmic o no. Es configuren primer les sortides perquè generin aquest senyal dinàmic, tant pot ser “A_pulse”, “B_pulse” o “C_pulse”, i s’indica a l’entrada si s’espera senyal dinàmic i quin tipus o estàtic. A més, per al circuit dinàmic hi ha la opció d’indicar si el senyal que arribarà estarà invertit o no, en funció de si el nombre de dispositius és parell o imparell.

- AS-i Options: En aquest apartat es defineixen els dispositius que estan controlats pel bus AS-i. S’han de configurar un seguit de paràmetres, però com a idea principal, es definiran les direccions de les entrades i sortides dels dispositius, ara controlats pel bus AS-i, Il·lustració 44. AS-i Options.



Il·lustració 44. AS-i Options.

- Variables: En aquest, Il·lustració 45. Variables., es posen els noms a les connexions físiques per poder-hi treballar de forma més fàcil i es llisten totes les variables creades. Permet també generar una petita descripció de la funció de cada variable.



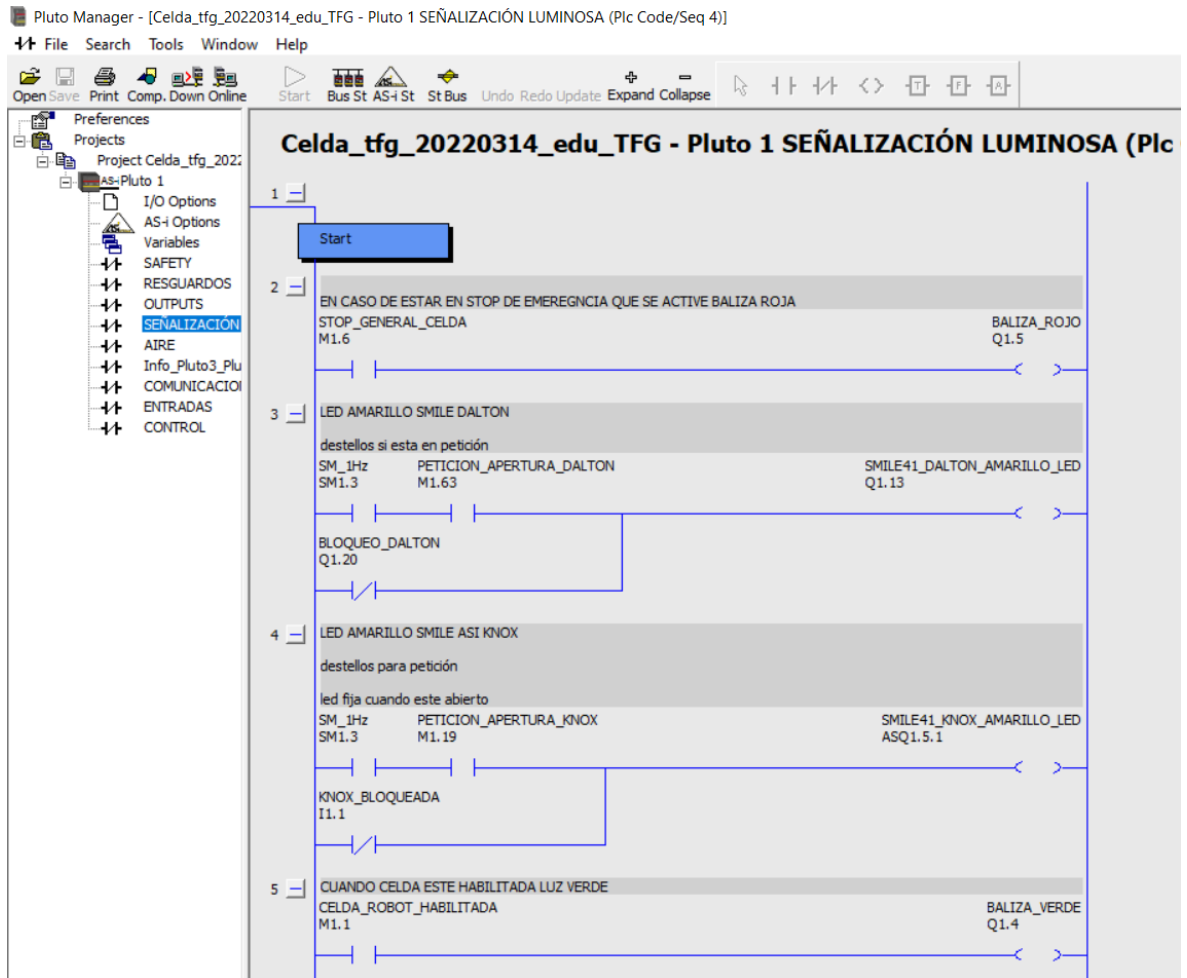
Il·lustració 45. Variables.

Hi ha diverses pestanyes que indiquen els diferents tipus de variables amb les quals el PLC pot treballar. És interessant per al projecte conèixer les diferents propietats de cada una per treure el màxim partit del controlador. [14]

- Safety Input: Són les entrades segures, aquestes són globals. Això vol dir que sense necessitat de configuració addicional, les variables globals es comparteixen amb tots els equips connectats a la xarxa Pluto Bus. De manera que altres Pluto poden utilitzar-les per a les seves funcions de seguretat, mantenint el nivell de seguretat.
- Safety output: Són les sortides segures, també globals. Funcionen de la mateixa manera que les entrades. Ara bé, per activar-les s'ha de fer via programació.
- Non safety Output: Sortides no segures, són les variables IQ que han sigut declarades com a sortides.
- Global memòries: Són variables globals internes, és a dir, no existeixen físicament, en ser globals es comparteixen de la mateixa manera que les comentades anteriorment, tenen el tamany d'un bit.
- Memories: Tenen les mateixes característiques d'ús que les global memories, però amb la diferència que aquestes no són globals i per tant, no es comparteixen amb altres Pluto.
- Registers: Són variables d'un tamany de 16 bits, no són globals.
- Double registers: Són variables d'un tamany de 32 bits, no són globals.
- System Memories: Són variables que contenen funcions ja programades dins del Pluto. Un exemple seria una variable que permet generar un senyal intermitent (SM_Flash) per generar pampallugues en un senyal de sortida lluminós.
- System Registers: Variables que contenen funcions ja programades del Pluto. Un exemple és que permet enviar un numero d'error depenent de l'error que hagi sorgit en el PLC, per així poder identificar de forma àgil què ha passat.

6. Seqüència:

Cada seqüència està formada per un seguit de xarxes com es veu a la Il·lustració 46. Seqüència exemple. Les seqüències s'executen de forma ordenada, no existeix un límit màxim ni mínim definit de seqüències, sempre i quan la programació sigui clara. Tanmateix, és recomanable estructurar el programa en diverses seqüències per permetre una millor comprensió i ordre.



Il·lustració 46. Seqüència exemple.

Cada xarxa o línia de programació permet realitzar una funció, és a dir, a partir de x entrades es poden activar x sortides. Es poden utilitzar també blocs predefinitos, que per exemple poden tenir la funció de temporitzar.

En aquest projecte tant la programació de seguretat com la de control seran controlades pel mateix PLC. La major part del codi es destina a la programació de seguretat, excepte les tres últimes seqüències, que són destinades a controlar la pneumàtica, el braç robòtic i la cinta.

5.2. Programació del projecte

Vistes les característiques bàsiques de l'entorn de programació i tenint present les principals premisses de les normatives comentades, es narra el funcionament i les funcionalitats que s'han obtingut a la màquina gràcies a la programació.

En aquest apartat, es mostrarà com finalment tots les qüestions tractades en el projecte s'uneixen i agafen la forma final desitjada per obtenir una cèl·lula de seguretat òptima i segura.

5.2.1. Funcionalitats de la cèl·lula gràcies a la programació

Un cop plantejats els problemes i les solucions necessàries, aquestes s'han d'aplicar. La majoria han pogut ser aplicades gràcies a la programació del PLC de seguretat. La programació ha permès donar les funcionalitats necessàries als diversos dispositius elèctrics perquè tinguin un comportament o altre sempre enfocats a la seguretat. Aquesta s'ha fet sempre seguint les guies de les normatives ja comentades per fer un programa el més compacte i segur possible.

A continuació, es detallen les solucions obtingudes gràcies a la programació i enfocades a disminuir els perills existents:

El perill generat a causa de l'abast dels dos dispositius funcionals ha estat solucionat rodejant tot el perímetre implicat per resguards mòbils i fixos. Gràcies a la programació podem monitorar l'estat dels resguards mòbils i decidir quan aquests permeten l'accés a la zona de perill. Pel que fa al codi de programació, la cèl·lula no serà segura i per tant, no podrà funcionar fins que tots els dispositius de bloqueig impedeixin l'accés a la zona.

Per supervisar que no hi hagi cap perill, s'han implementat un seguit de dispositius (polsadors d'emergència, sensors, etc.), com ja s'ha comentat en l'apartat de 3.2.1, que també condicionaran l'estat de la cèl·lula i garantiran la seguretat.

El braç robòtic estarà en tot moment en comunicació amb el PLC, per la qual cosa si sorgeix algun error, es comunicarà immediatament al PLC i la màquina entrarà en estat d'emergència.

Tanmateix, per seguretat s'ha hagut d'afegir una condició més que permetés habilitar el funcionament de la cèl·lula, que és el contacte de la clau del conjunt de polsadors situats a la porta de la cèl·lula. Això permetrà que només el personal autoritzat pugui interactuar amb la màquina.

La zona oberta de la cèl·lula, tal com es comenta a l'apartat 3.2.1, es troba delimitada per unes cortines i equipada d'un polsador bimanual per supervisar el risc d'atrapament o colpeig del braç robòtic. Via programació, les cortines generaran un senyal d'emergència només si el braç robòtic és cridat per fer la rutina d'interacció amb aquesta zona. Si no és així, no existeix perill perquè aquest no té l'abast suficient per arribar a fer cap dany. Serà possible saber quan el braç es troba en una situació que pot generar perill gràcies a un sensor de posició implementat al robot. Aquesta pot no ser la millor solució pel que fa a seguretat perquè si falla el sensor, es perd aquesta seguretat. El més convenient seria que el braç robòtic generés un senyal indicant en quin posició està, cosa que no és possible, ja que no es va implementar al software del robot a l'hora de comprar-lo.

Per tant, tots aquests factors esmentats permetran iniciar/aturar/permitre el funcionament de la màquina gràcies a la programació.

5.2.2. Funcionament general

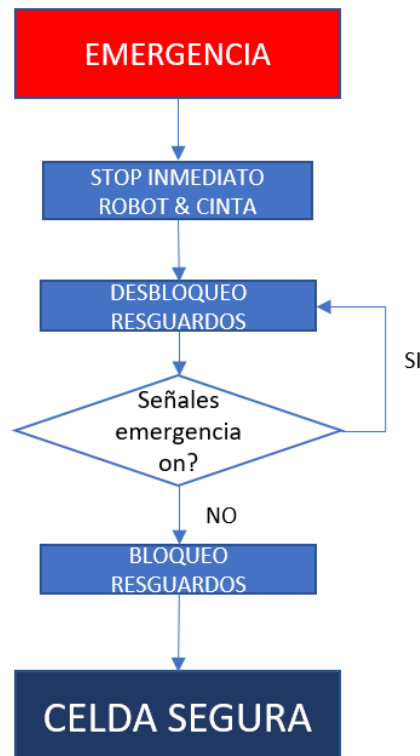
A continuació, s'exposen les funcionalitats obtingudes via programació per tenir una visió general de la solució amb l'ajut de diagrames.

*Els diagrames estan fets en castellà per poder-los mostrar al personal que treballarà amb la màquina i que no domina la llengua catalana.

La cèl·lula està condicionada per un seguit de senyals de seguretat que generen els dispositius en cas de no estar en el seu estat segur. Alguns exemples són els polsadors d'emergència, els sensors que monitoritzen la posició dels resguards, etc.

Com s'observa a la Il·lustració 47. Diagrama estat d'emergència, si es genera qualsevol senyal programat com a senyal d'emergència, aquest atura immediatament els elements funcionals (cinta i braç robòtic) i porta la màquina a un estat d'emergència. És igual en quin

punt del procés de funcionament es trobi, aquest serà el senyal més restrictiu i actuarà per sobre de tots els altres. Una vegada aturats, els elements de bloqueig es desbloquegen fins que el senyal d'emergència desapareix per permetre interactuar, si cal, dins la zona de perill. Una vegada el senyal d'emergència ha desaparegut, es tornen a bloquejar els resguards i per tant, la màquina es troba de nou en un estat segur.



Il·lustració 47. Diagrama estat d'emergència

Com es mostra a la Il·lustració 48. Diagrama activació elements funcionals., si tots els elements que componen la màquina es troben en el seu estat segur, la màquina espera l'ordre d'arrancada, que es genera via els dos polsadors verds sempre que la clau es trobi en posició d'habilitació.

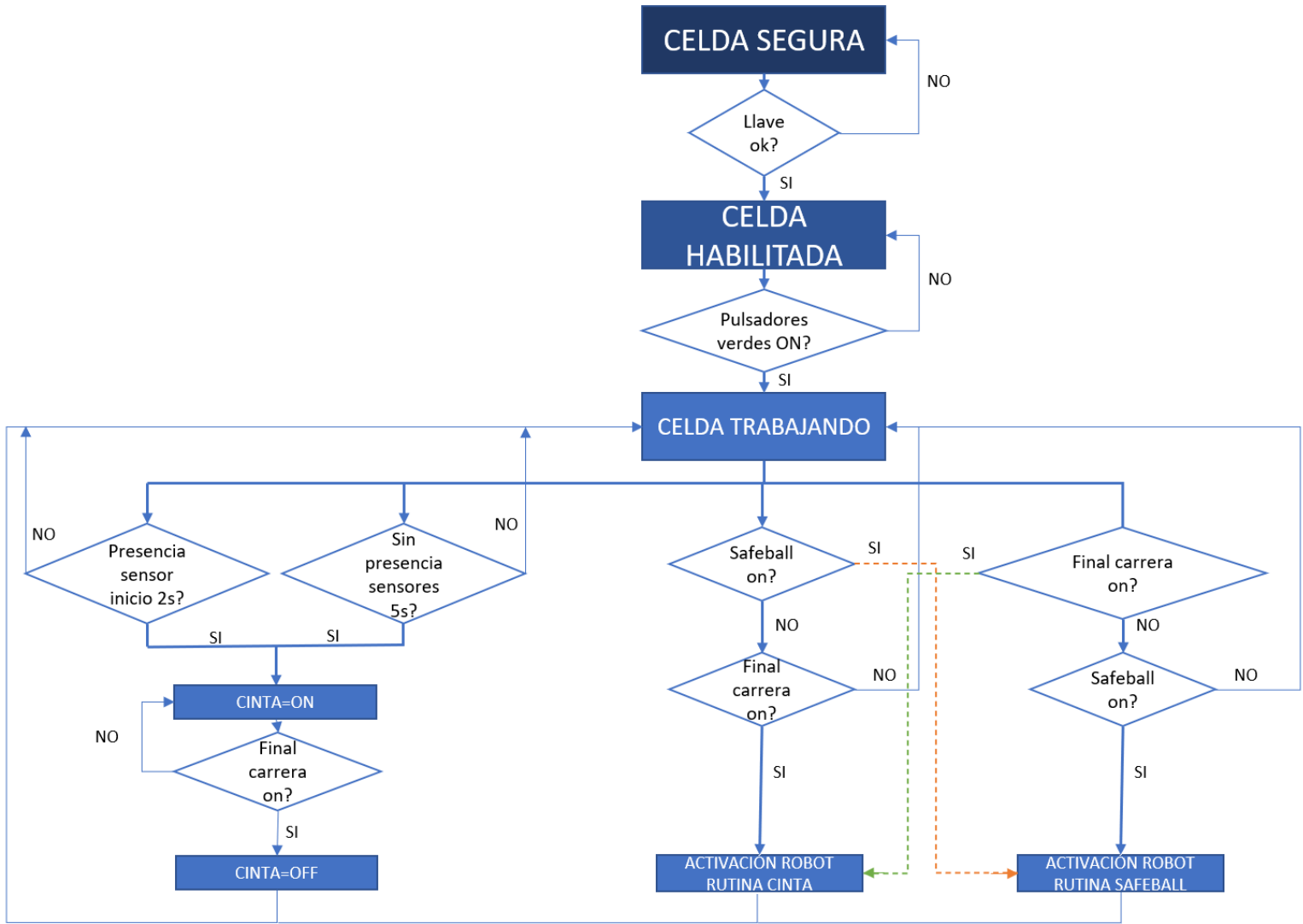
Un cop la màquina està en funcionament, s'activa la cinta que transporta el cilindre amb líquid. Aquest es transporta fins al final de la cinta, on una vegada arribat al final, activa l'element de final de carrera perquè el braç robòtic realitzi la rutina d'interacció programada amb la cinta (rutina nomenada com "Activación robot rutina cinta"). Existeix també la rutina d'interacció amb la zona oberta de la cèl·lula (rutina nomenada com "Activación robot rutina safeball"). Aquesta es durà a terme quan els polsadors bimanuals (nomenats com safeball), estiguin polsats, i hagi acabat la rutina d'interacció amb la cinta.

Cap de les dues rutines té prioritats sobre l'altra, és a dir, si el braç robòtic està realitzant "Activación rutina cinta" i es polsa el dispositiu bimanual, primer acabarà de realitzar la rutina anterior i una vegada acabada, realitzarà la següent.

A continuació, expliquem les funcionalitats de cada rutina:

- Funcionament "Activación robot rutina cinta": el braç robòtic agafarà mitjançant la succió el cilindre transportat per la cinta quan aquest es disposi al final (indicat pel sensor de final de carrera) i el tornarà a deixar a l'inici de la cinta. Aquest procés es repetirà en cas que no es generi cap interrupció.

Funcionament "Activación robot rutina safeball": el braç robòtic es disposarà a la zona oberta de la cinta, on aquest realitzarà un seguit de moviments. En cas que es traspassi el límit delimitat per les cortines de seguretat, es generarà un senyal d'emergència i la màquina entrarà en estat d'emergència immediatament

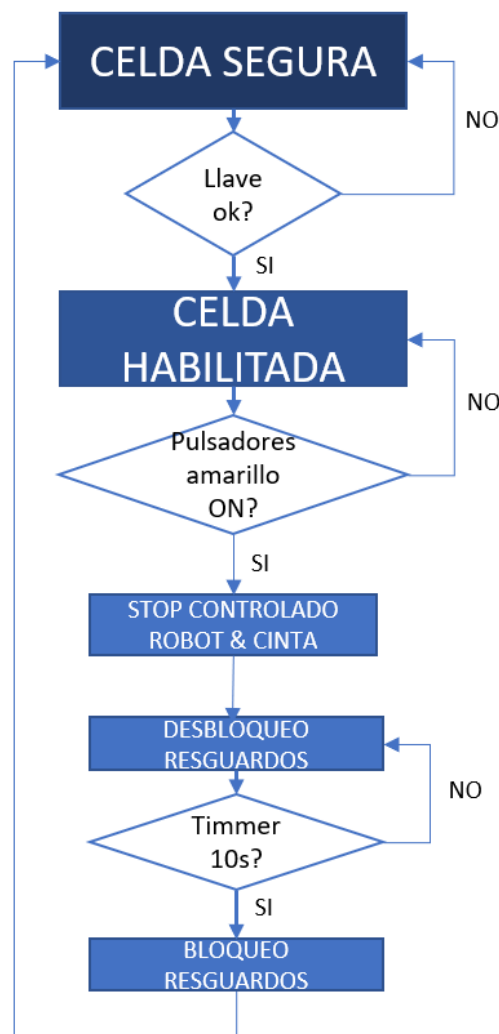


Il·lustració 48. Diagrama activació elements funcionals.

Tot aquest procés pot ser interromput per dos estats.

El més restrictiu, ja comentat i exposat via diagrama anteriorment, és el generat per algun senyal d'emergència, el que implica aturar tota la màquina immediatament.

Per altra banda, l'estat de sol·licitud d'accés que es mostra a la Il·lustració 49. Diagrama sol·licitud d'accés., és generat pels pulsadors grocs dels Smile 41 i permet entrar dins l'entorn de perill de forma segura. Quan aquest es genera, la cinta s'atura, però el braç robòtic acaba l'acció que està realitzant i seguidament es posa en la seva posició de "home" (posició d'atur segura del braç robòtic). Un cop aturats la cinta i el robot, es permet l'entrada desbloquejant els resguards. Aquests seran bloquejats de nou al cap de deu segons si els resguards es tanquen. Una vegada bloquejats els resguards, la cèl·lula tornarà a ser segura



Il·lustració 49. Diagrama sol·licitud d'accés.

Pel que fa a la senyalització, s'indica en tot moment en quin estat es troba la cèl·lula mitjançant senyalitzadors lluminosos. La situació d'emergència se senyalitzarà amb vermell. Quan la màquina estigui preparada per entrar en l'estat de treball, se senyalitzarà amb verd pampallugues i quan es trobi en funcionament, amb verd fix. Quan se sol·liciti una petició d'entrada se senyalitzarà amb groc pampallugues i quan s'obrin els resguards, amb groc fix.

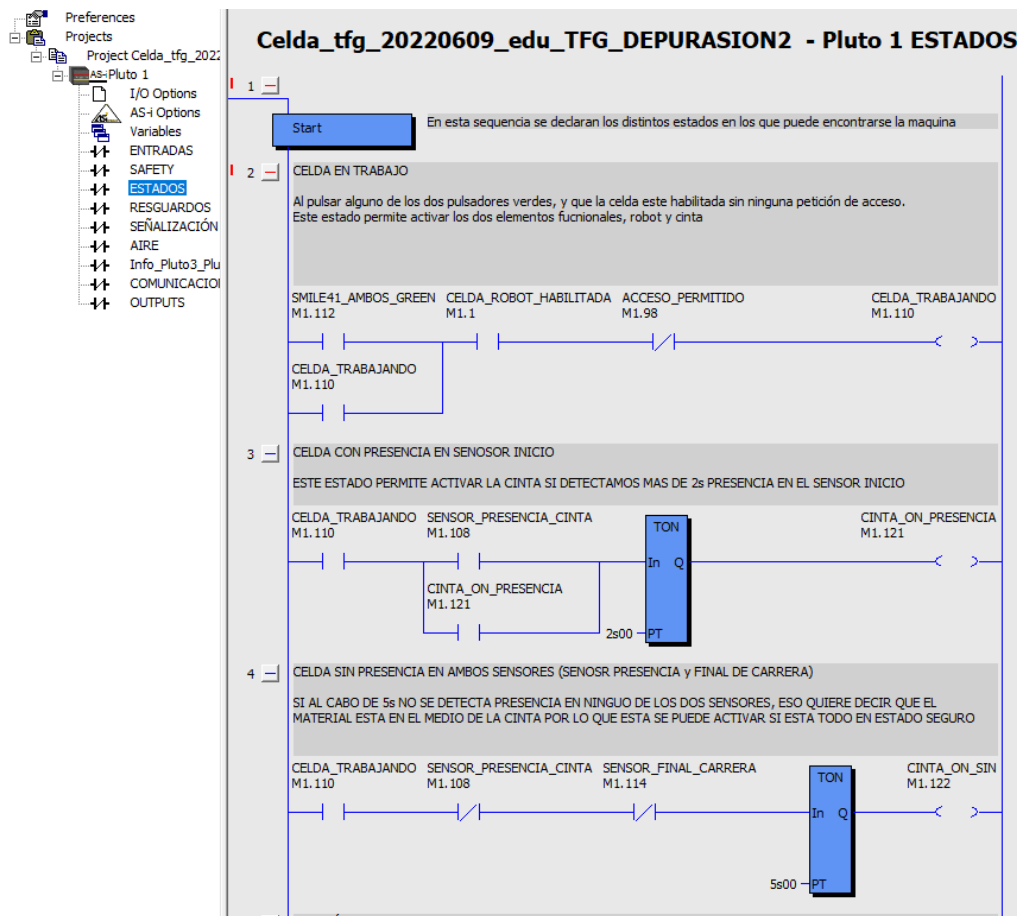
Tenint present les funcionalitats globals de la màquina, es comenten a continuació algunes parts del codi. Aquesta ha sigut estructurada en diferents seqüències que permeten seguir una lògica i ordre. Es comentaran les que es creuen de més interès:

- La seqüència nomenada "safety" que s'observa a la II·lustració 50. Seqüència de estats seguretat. II·lustració 50. Seqüència de estats seguretat., permet declarar els dos estats més restrictius que condicionen la cèl·lula, i que formen la seguretat d'aquesta. En primer lloc, la marca M1.53 és la que indica quan la cèl·lula està segura, és a dir, que no hi ha cap senyal d'emergència. Una vegada la cèl·lula habilitada, existeix una condició més, que el contacte de clau de la botonera de la porta estigui correcte. Així doncs, si es compleixen totes aquestes condicions, es pot assegurar que la cèl·lula és segura. Totes dues condicions seran las que si no estan actives, no permetran en cap cas el funcionament de la màquina.



II·lustració 50. Seqüència de estats seguretat.

- A la següent seqüència nomenada "estados", es generen els diferents estats en què es pot trobar la màquina, excepte els comentats en el paràgraf anterior. Com les guies de la normativa indiquen, per a activar qualsevol acció, primer s'han de complir les condicions de seguretat necessàries. En aquesta seqüència es generen tot un seguit d'estats que garanteixen la seguretat de la màquina i posteriorment, aquestes permeten habilitar o deshabilitar altres funcions. Per deixar clar el concepte, CELDA_TRABAJANDO (M1.110), serà activat quan algun dels polsadors verds (M1.112 o M1.110) facin contacte i, el més important, la cèl·lula es trobi en estat d'habilitació (M1.1).



Il·lustració 51. Seqüència definició d'estats.

Un cop la programació de seguretat realitzada, es generen les seqüències que permetran el control de la pneumàtica, la cinta i el braç robòtic.

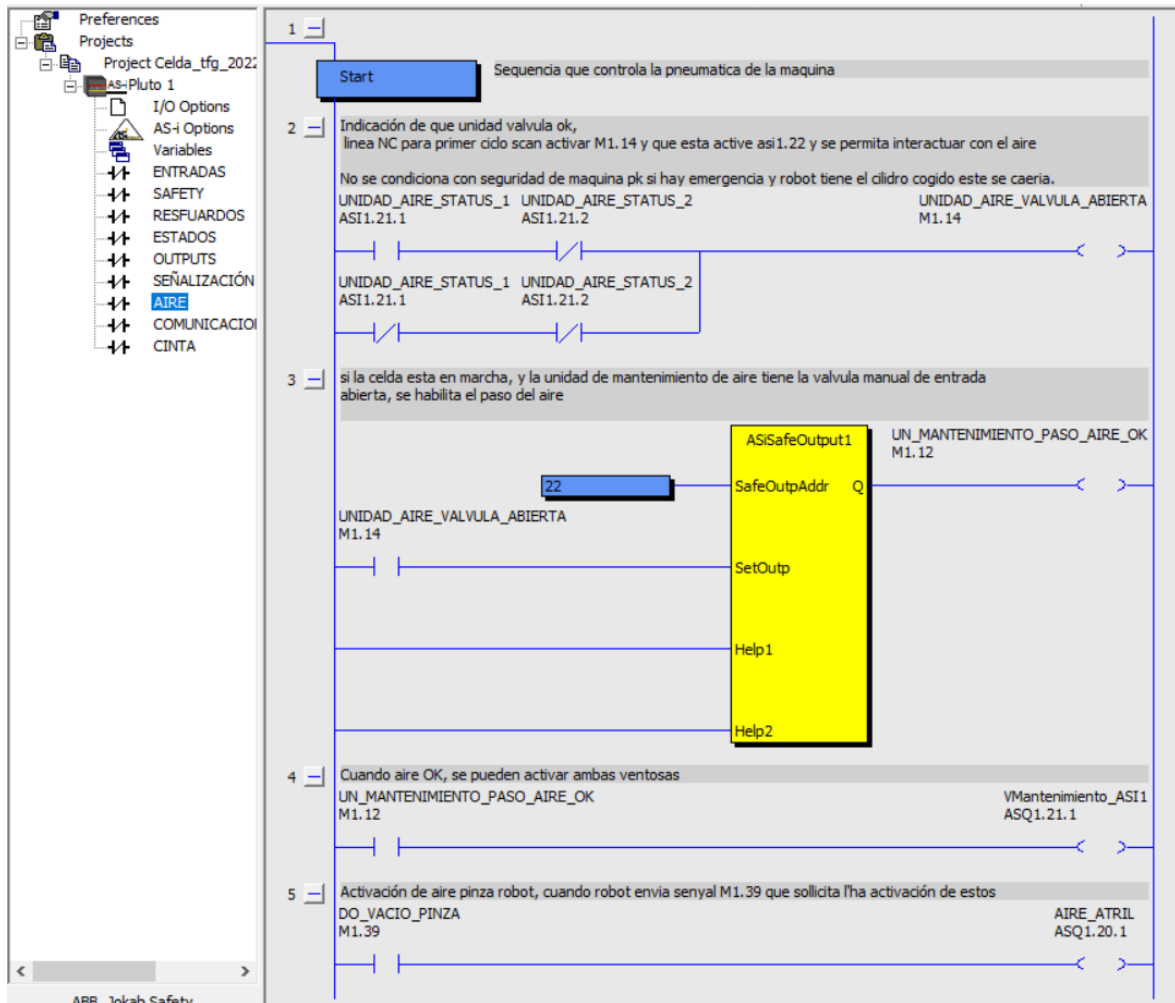
A la Il·lustració 52. Seqüència pneumàtica es mostra la seqüència que ens ha permès controlar l'equip pneumàtic i com s'han tractat els senyals del protocol AS-i. A la primera línia de codi (2), M1.14 indica si la unitat que subministra l'aire està activada.

- AS-i 1.21.1 estarà en activa quan la clau de pas de la unitat es trobi oberta i per tant, deixi passar l'aire.
- AS-i 1.21.2 estarà activa quan la clau de pas de la unitat es trobi tancada i per tant, no es pugi subministrar l'aire a la màquina.

A la línia (3) trobem el bloc ja explicat, el qual activarà M1.12 i ASi1.22 (SafeOutAddr). Aquesta última variable si no està activa, no permet posar en funcionament l'equip pneumàtic, ja que si està desactivada serà perquè no s'està subministrant aire a la màquina.

Amb la línia (4) activem ASQ1.21.1, que es la sortida que habilita l'equip pneumàtic.

Des de la línia (5) s'activarà l'equip de ventoses de la pinça del robot, la seva direcció és la referent a ASQ1.20.1, quan des del robot s'indiqui que s'han d'activar perquè aquest es disposa a agafar el cilindre.



Il·lustració 52. Seqüència pneumàtica.

A continuació, comentem un seguit de variables, que es creu convenient tractar per entendre com es realitza la comunicació PLC<-->Braç robòtic. Fan referència a la seqüència “comunicaciones_robot” de la Il·lustració 53. Seqüència comunicació robot 1.

Quant a la interacció del braç robòtic-PLC, aquesta s’ha fet via EthernetIP mitjançant una passarel·la, que ha permès comunicar el protocol PlutoBus del PLC amb el protocol del EthernetIP del robot.

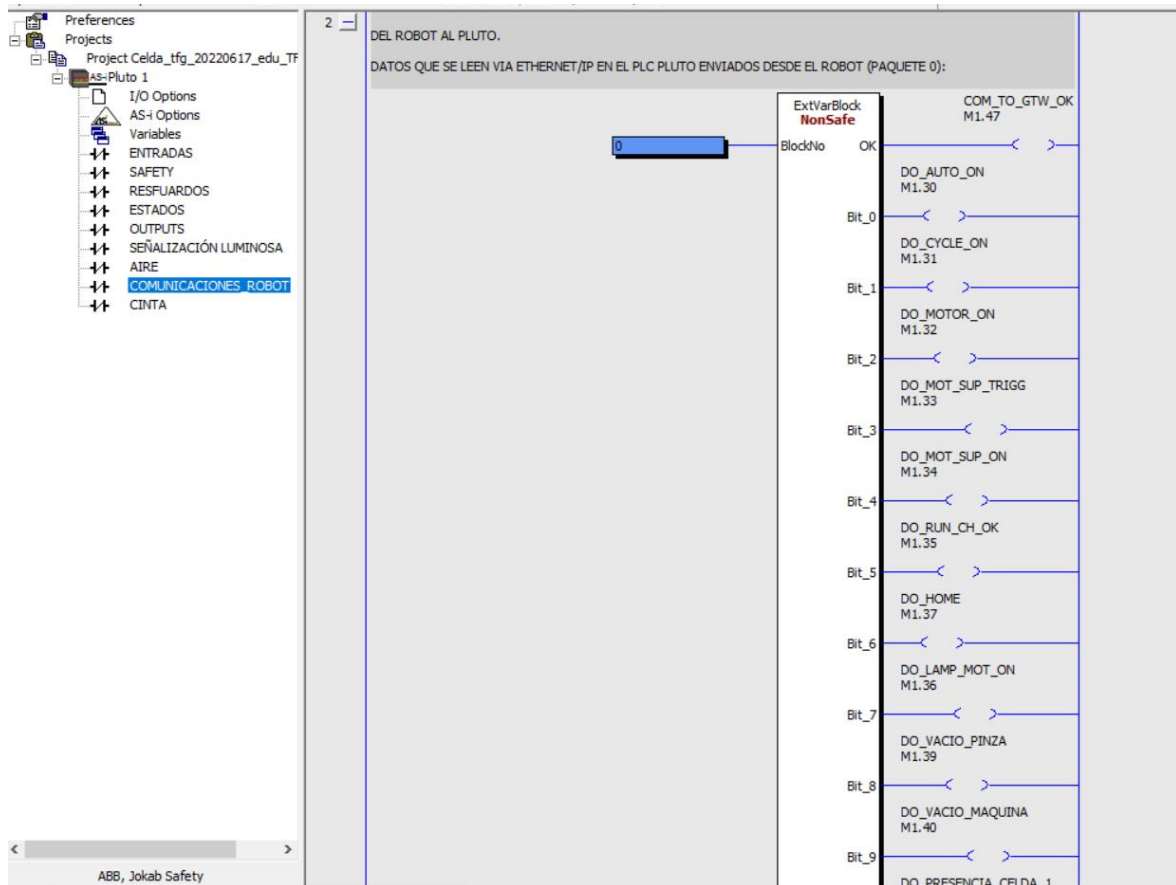
El braç robòtic envia una sèrie de variables al PLC, aquestes són recollides mitjançant el bloc de la Il·lustració 53. Seqüència comunicació robot 1. . Comentem a continuació les que afecten el nostre codi:

DO_HOME: indica quan el braç robòtic es troba en la seva posició de “home”.

DO_VACIO_PINZA: indica quan l’equip de ventoses ha d’activar-se. És l’encarregada al codi d’activar l’equip de ventoses de la pinça del robot.

DO_AUTO_ON: indica quan el robot està treballant de manera automàtica i per tant, pot actuar seguint la programació.

DO_MOTOR_ON: indica quan el robot ha activat els seus motors.



Il·lustració 53. Seqüència comunicació robot 1.

Des del PLC es generen un seguit de variables que s'envien al braç robòtic, és necessari tractar-les al codi de programació per obtenir un funcionament correcte del braç, com s'observa en la Il·lustració 54. Seqüència comunicació robot 2.. Les comentem a continuació:

DI_SELECTOR_ACTIVO: habilita que el robot pugui entrar en funcionament.

DI_INICIO_MARCHA: és necessari que estigui activa perquè el robot estigui en funcionament. Quan la cèl·lula sigui segura, s'activarà via programació.

DI_PIEZA_FIN: és la variable que indica quan el cilindre que transporta la cinta ha arribat a activar el final de carrera i per tant, el braç ha de dirigir-se a agafar-lo.

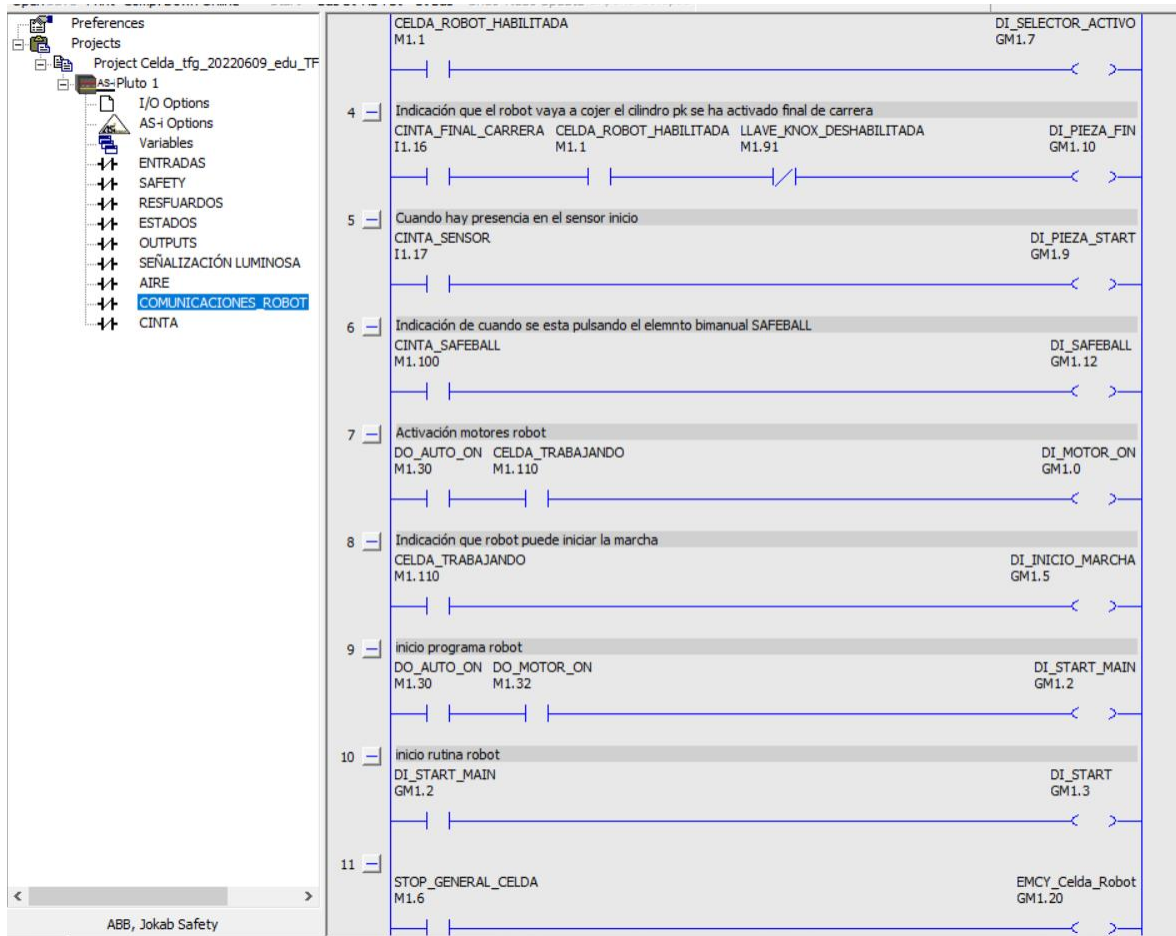
DI_PIEZA_START_ és la variable que indica quan hi ha presència al sensor de l'inici de la cinta.

DI_SAFEBALL: és la variable que indica quan els polsador bimanual safeball està activat.

DI_START_MAIN: variable que indica al robot que comença de nou el programa. Inici del cicle de màquina des del principi.

DI_START: variable que indica al robot que pot iniciar de nou la rutina que estava realitzant. Inici de màquina des del punt de parada últim.

EMCY_Celda_Robot: variable que indica al robot quan la cèl·lula es troba en un estat d'emergència i que per tant, aquest ha de parar de forma immediata.



Il·lustració 54. Seqüència comunicació robot 2.

6. Validació

La validació del projecte s'ha basat en constatar que s'ha obtingut una màquina segura que complís amb les normatives vigents, ja que aquest era el requeriment principal. Aquesta ha obtingut una validació positiva, gracies a que tots els avanços que s'han anat realitzant han sigut enfocats i validats tenint en compte les normatives. No només s'ha realitzat una validació al final del projecte, sinó que la validació s'ha fet a mesura que aquest avançava. Així doncs, el funcionament de la validació ha estat plantejat com un procés de prova-error a mesura que es desenvolupava el projecte. Això ha permès separar els diversos errors que han sorgit.

Detallem a continuació algunes de les validacions que s'han realitzat:

- En fer les primeres proves de tots els dispositius instal·lats, vam trobar que alguns estaven en mal estat degut al pas del temps, això generava certs errors a l'hora de tractar els senyals des del PLC i va generar en un primer moment un cert desconcert de quina era la causa. Finalment, vam arribar a la conclusió que el problema provenia de l'estat físic dels dispositius i els vam canviar per uns de més actuals. Permeten així que tots els dispositius funcionessin de manera correcta i permetessin obtenir el grau més alt de seguretat.
- El desenvolupament de la primera fase del codi de programació va ser plantejat com una programació de control, per la qual cosa, va haver de refer-se i plantejar-se com una programació de seguretat, per a complir amb les guies de les normatives.
- La màquina es monitoritzada per al PLC el que implica que aquesta es segura en tot moment, permeten obtenir funcions de seguretat com, aturades immediates en cas d'emergència, senyalització de l'estat en que es troba, peticions d'accés segures, etc.
- Encara que no era l'objectiu principal del projecte que el braç robòtic fos funcional, finalment ha estat possible (perquè el temps ho ha permès) treballar amb el robot. Aquest té certes variables que es comparteixen amb el PLC (via EthernetIP) que han hagut de ser tractades d'una manera concreta per habilitar el seu funcionament.
- Per a la implementació del braç robòtic al codi, aquest va haver de modificar-se, ja que el plantejament variava subtilment i generava un grau més de dificultat.

7. Pressupost

Degut al fet que el projecte es basava en la remodelació, no en la creació des de zero de la cèl·lula, la inversió ha estat considerablement menor. En la Taula 4. Pressupost. es mostren les despeses totals, al document adjunt "Pressupost" es desglossa cada una d'elles.

Descripció	Quantiat [u]	Cost unitari [€]
Despeses enginyeria	1	7.200,00 €
Despeses material	1	150,00 €
Total sense I.V.A		7.350,00 €
Benefici Industrial (6% sense I.V.A)		441,00 €
IVA (21%)		1.636,11 €
TOTAL		9.427,11 €

Taula 4. Pressupost.

Il·lustració 54. Seqüència comunicació robot 2.

8. ANÀLISI I VALORACIÓ

Es fa un anàlisi dels resultats obtinguts i una valoració tenint en compte les implicacions socials del projecte.

8.1. Anàlisi resultats

La màquina funciona complint els objectius marcats a l'inici del projecte, ha estat possible afegir el funcionament del braç robòtic, fet que en un primer plantejament es va descartar per dificultat i falta de recursos.

Les funcionalitats que s'han analitzat i valorat son les següents:

- Ha estat possible distingir la parada d'emergència de la parada controlada, cada una d'elles aplicada a diferents situacions.
- La màquina és segura en tot moment, en cas que hi hagi qualsevol imprevist, aquesta actuarà immediatament.
- Les comunicacions funcionen correctament i s'obté en tot moment un control de tots els dispositius mitjançant l'intercanvi de dades entre ells.
- Els dispositius de bloqueig permeten en tot moment la monitorització dels resguards, cosa que fa possible limitar la zona de perill.
- La zona oberta de la cèl·lula està perfectament controlada per l'equip de cortines.
- El PLC monitora en tot moment el variador de freqüència que controla la cinta. No s'ha cregut necessari en aquest cas fer una distinció entre parada d'emergència o controlada. Degut al fet que la cinta treballa amb una velocitat reduïda i és un transcurs molt curt, s'ha descartat realitzar una parada en rampa.
- L'equip de ventoses és controlat en tot moment per les electró-vàlvules, monitoritzades des del PLC.
- La programació ha estat feta seguint les guies de la normativa, per tant, es pot concloure que s'ha realitzat una programació de seguretat satisfactòria.
- L'estat de la màquina està en tot moment senyalitzat via senyalitzadors lluminosos.
- Com ja s'ha dit, ha estat possible interactuar amb els dos elements funcionals de la cèl·lula, la cinta i el braç robòtic, de manera segura, ambdós monitoritzats pel PLC.

8.2. Valoració i implicacions socials

El projecte pretén difondre i mostrar la importància de la seguretat de les màquines. Tradicionalment, la indústria no ha tingut prou en compte aquest aspecte, de vegades a causa del desconeixement i d'altres, per una visió equivocada de les implicacions que suposa l'aplicació d'aquestes mesures de seguretat. Aquest projecte ha volgut demostrar que invertir en seguretat no és costós ni complicat i comporta beneficis per a les empreses. En definitiva, un funcionament segur i eficient de les màquines pot ser més senzill del que es pensa. És important complir els estàndards normatius, però no cal ser un expert teòric en l'aplicació de lleis.

El treball contempla també qüestions com ara la programació, els protocols de comunicació i el funcionament de certs dispositius amb la finalitat d'oferir un grau més elevat de coneixements tècnics.

L'estudi ha volgut mostrar l'abast real de l'aplicació de la cèl·lula de seguretat, és per aquest motiu que s'ha cregut convenient ensenyar l'aplicació d'aquest producte en una maquinària en funcionament dotant el projecte d'elements visuals i demostratius.

9. CONCLUSIONS

Aquest projecte permet valorar la importància de la seguretat i comprovar que mitjançant la tecnologia és possible complir amb les normatives i lleis que cal aplicar per convertir el lloc de treball en un entorn segur i facilitar a les empreses les eines per poder-ho aconseguir. El camp de la seguretat és molt desconegut, cosa que fa plantejar la necessitat de bons especialistes que treballin en aquest àmbit, una branca professional amb una interessant projecció de futur.

El projecte engloba diferents parts que conformen el món de l'automatització i per això s'ha incidit en diverses qüestions tractades de manera individual per entendre la seva funció dins la totalitat del projecte.

S'ha constatat que existeixen un gran nombre de normes harmonitzades o lleis relacionades amb l'àmbit de la seguretat que sovint són feixugues i difícils d'entendre. Algunes normes són específiques, com és el cas de les barreres i les distàncies de seguretat, però molts cops són ambigües i no està clar com cal aplicar-les, especialment pel que fa a nivells alts de seguretat en projectes de gran envergadura.

A mesura que han sorgit els problemes inherents al projecte, s'ha vist que són necessaris una sèrie de coneixements teòrics i pràctics per poder solucionar aquests entrebancs. Si no, el projecte es pot complicar i no arribar a la finalitat proposada.

Aquest treball universitari s'ha fet paral·lelament a un projecte per a l'empresa ABB, això ha obligat a tenir molta cura del resultat pràctic, que és en definitiva el que interessa a l'empresa, però també a desenvolupar diversos aspectes teòrics i reflexionar sobre el desenvolupament de la feina i sobre la finalitat del projecte. Això ha fet que l'aprenentatge teòric i pràctic es complementin i enriqueixin.

La conclusió final és que una empresa que compta amb sistemes de seguretat avançats genera confiança en el client i fa que els treballadors se sentin satisfets i orgullosos de formar-ne part. S'ha volgut demostrar que la tecnologia pot oferir a les empreses solucions factibles de portar a terme per aconseguir un entorn segur.

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] "Interfaz - Wikipedia, la enciclopedia libre." <https://es.wikipedia.org/wiki/Interfaz> (accessed Jun. 21, 2022).
- [2] "Maestro-esclavo – Techinfo." <https://techinfo.wiki/maestro-esclavo/> (accessed Jun. 21, 2022).
- [3] "¿Qué es el mercado CE? - IDEPA." <https://www.idepa.es/internacionalizacion/enterprise-europe-network-asturias/asesoramiento/marcado-ce/que-es-el-marcado-ce?inheritRedirect=true> (accessed Jun. 21, 2022).
- [4] I. Fraser, "Guia para aplicación de la directiva 2006/42/CE," Jan. 01, 2010. https://srvsbniisphp-universitatpolit.netdna-ssl.com/cdn_propintegral/sites/default/files/noticia/41511/field_adjuntos/guide-appl-2006-42-ec-2nd-201006es.pdf (accessed Jun. 21, 2022).
- [5] "Safety of machinery-Relationship with ISO 12100-Part 1: How ISO 12100 relates to type-B and type-C standards Sécurité des machines-Relation avec l'ISO 12100-Partie 1: Relation entre l'ISO 12100 et les normes de type B et type C COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT Published in Switzerland," 2022.
- [6] ABB, "EP Catálogo de Beneficios: Jokab Safety Seguridad en sistemas de control según la norma EN ISO 13849-1." <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1TXA172002B0701&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch> (accessed Jun. 21, 2022).
- [7] "ABB safety products catalog." <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC010001C0202&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (accessed Jun. 21, 2022).
- [8] "Pluto Hardware Manual." <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC172001M0210&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch&DocumentRevisionId=F> (accessed Jun. 21, 2022).
- [9] "Eden - Sensores, interruptores y bloqueos de seguridad (Dispositivos de seguridad) | ABB." <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/dispositivos-de-seguridad/sensores-interruptores-y-bloqueos-de-seguridad/eden> (accessed Jun. 21, 2022).
- [10] "Tina - Accessories (Safety Products) | ABB." <https://new.abb.com/low-voltage/products/safety-products/accessories/tina> (accessed Jun. 21, 2022).
- [11] "AS-Interface." <https://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/as-interface.htm> (accessed Jun. 21, 2022).
- [12] "EtherNet/IP: características, qué es, diferencias, topología y más, ¡Veá!" <https://www.dynaparencoders.com.br/blog/es/ethernet-ip-caracteristicas-que-y-diferencias-topologia-y-mas/> (accessed Jun. 21, 2022).
- [13] "BGIA Report 2/2008e." [Online]. Available: www.dguv.de
- [14] "Pluto Programming Manual." <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC172002M0214&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (accessed Jun. 22, 2022).