

Arnau Rooney Montserrat

**DISSENY I PROGRAMACIÓ DEL QUADRE ELÈCTRIC DE CONTROL DE UNA
PLANTA DE EMMAGATZEMATGE DE GRA**

TREBALL DE FI DE GRAU

dirigit per Dr. Ernest Gil Dolcet

Grau de Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2023

Índex

1	Introducció i objectius	5
2	Antecedents	6
3	Descripció de la Planta	7
3.1	Vista General	7
3.2	Elements de la Planta	8
3.2.1	<i>Elements Mecànics de la Planta</i>	8
3.2.2	<i>Motors Trifàsics</i>	11
3.2.3	<i>Actuadors</i>	12
3.2.4	<i>Sensors</i>	12
4	Descripció del Esquema Multifilar del Quadre Elèctric	13
4.1	Descripció del Software EPLAN Electrical P8	13
4.2	Alimentació i Proteccions	14
4.2.1	<i>Relé de Emergència</i>	15
4.3	Potència	15
4.3.1	<i>Motor Simple</i>	16
4.3.2	<i>Motor Amb Inversió</i>	16
4.3.3	<i>Motor E/T</i>	17
4.3.4	<i>Motor E/T Amb Inversió</i>	18
4.3.5	<i>Actuador 24 VCC</i>	19
4.4	Control	19
4.4.1	<i>PLC, targetes E/S i HMI</i>	20
4.4.2	<i>Entrades</i>	20
4.4.3	<i>Sortides</i>	21
4.5	Càlcul de Amperatges i Seccions	22
4.5.1	<i>Seccions de Cable Internes</i>	23
4.5.2	<i>Seccions de Cable Externes</i>	24
4.5.3	<i>Amperatges dels Magneto-tèrmics, Diferencial i Font d'Alimentació</i>	25
5	Especificació dels Elements i Muntatge del Quadre Elèctric	25
5.1	Descripció del Software EPLAN Pro Panel	25
5.1.1	<i>Magneto-tèrmics, Diferencial i Font d'Alimentació</i>	26
5.1.2	<i>Elements dels Blocs de Motor</i>	27

5.1.3	PLC, Targetes E/S i HMI.....	29
5.1.4	Emergència	30
5.1.5	Miscel·lània.....	30
5.1.6	Mecànica.....	31
5.1.7	Etiquetat.....	32
5.2	Muntatge del Quadre	32
5.2.1	Descripció de les Eines.....	32
5.2.2	Metodologia i Ordre de Muntatge	33
5.3	Verificacions del Correcte Funcionament del Quadre.....	34
6	Programa PLC	34
6.1	Descripció del Software Machine Expert	34
6.2	Configuració de Xarxes	35
6.3	Llistat de Entrades, Sortides i Variables Globals.....	36
6.4	Estil de Programació i Estructura General.....	38
6.4.1	Control de Emergència	38
6.4.2	Control de Motors.....	39
6.4.3	Control de Raseres.....	40
6.4.4	Control de Vàlvules	42
6.4.5	Fallo PKZ Seqüències.....	46
6.4.6	On_Off	46
6.4.7	Balisa	47
6.4.8	Sensors	47
6.4.9	PKZs.....	48
6.5	Descripció del Funcionament del Mode Automàtic	49
6.5.1	Seqüència 1	51
6.5.2	Seqüència 2	54
6.5.3	Seqüència 3	57
6.5.4	Seqüència 4	59
6.5.5	Seqüència 5	61
6.5.6	Seqüència 6	63
6.5.7	Seqüència 7	65
6.5.8	Seqüència 8	67
7	Programa HMI.....	69

7.1 Pantalla General	69
7.2 Botons Centrals	70
7.3 Pantalla Sensors	70
7.4 Pantalla Tèrmics	71
7.5 Pantalla Manual	71
7.5.1 Pantalla Vàlvules	72
7.5.2 Pantalles Raseres	72
7.5.3 Pantalles Motors	73
7.6 Pantalles Automàtic	74
7.6.1 Pantalles Seqüències 1-7	75
7.6.2 Pantalla Seqüència 8	76
7.7 Pantalles Emergents	77
8 Posada en Marxa	78
9 Conclusió	80
10 Bibliografia	81
11 Llistat de Material i Presupost	82
12 Esquema elèctric	84
13 Disseny 3D del armari	95
14 Llistat de entrades i sortides	99
15 Annexos	101
15.1 Annex 1	101
15.2 Annex 2	102
15.3 Annex 3	103

1 Introducció i objectius

A mesura que augmenta la necessitat de millorar l'eficiència dels processos agrícoles, cada cop més els agricultors necessiten implementar solucions modernes al sector. Aquest Treball de Fi de Grau se centra en la integració de sistemes d'automatització industrial en aquest àmbit. El projecte està desenvolupat per a una empresa agrícola amb seu al Pla d'Urgell, que està construint una planta d'emmagatzematge de gra. Prèviament, una segona empresa a la qual pertanyo havia mecanitzat la fàbrica. La meva responsabilitat recau en la part elèctrica i d'automatització, mitjançant la creació d'un quadre elèctric amb PLC i la implementació d'un sistema d'Interfície Humà-Màquina (HMI) incloent la programació d'aquests.

Aquest treball té els següents objectius:

- **Disseny i Implementació del Quadre Elèctric**

Desenvolupar un quadre elèctric adaptat específicament a les necessitats de la planta. Aquest component ha de proveir l'alimentació necessària amb seguretat i fiabilitat, formant la base de l'automatització.

- **Selecció i Integració del PLC**

Seleccionar un PLC adequat i integrar-lo de manera efectiva al quadre elèctric. Aquesta integració és clau per a proporcionar un control eficient i en temps real sobre els components del sistema, aconseguint una sincronització perfecta amb els requeriments de la planta.

- **Desenvolupament i Optimització del Programa PLC**

Elaborar el software de control per al PLC, considerant les particularitats de la planta d'emmagatzematge. Optimitzar la programació per a assegurar una gestió eficaç dels motors, sensors i altres dispositius, permetent una integració harmoniosa amb la mecanització ja existent.

- **Desenvolupament de la Interfície Humà-Màquina (HMI)**

Dissenyar i implementar una interfície intuïtiva i funcional que permeti als operadors supervisar i controlar el sistema de manera eficient. La HMI ha de proporcionar informació en temps real i facilitar la interacció amb el PLC per a una gestió òptima.

- **Posta en Marxa**

Realitzar la implementació del sistema automatitzat a la planta d'emmagatzematge. Aquest pas implica la connexió del quadre elèctric, la verificació de la connexió amb els dispositius i la posada en marxa efectiva del PLC per garantir el funcionament integrat del sistema.

2 Antecedents

Abans de la meua implicació en aquest projecte, l'empresa mecanitzadora contractava una empresa estrangera per a gestionar la part elèctrica i d'automatització en les seves plantes. Aquest projecte s'ha hagut d'adaptar a alguns estàndards que s'utilitzaven i que l'empresa per la qual treballa ha considerat que no s'haurien de modificar amb la finalitat de mantenir una coherència i continuïtat amb els estàndards establerts per aquesta empresa estrangera. Per exemple, s'ha mantingut que gran part del material fet servir és de la marca Schneider, ja que si s'hagués canviat a una altra marca (ex. Siemens) s'hauria hagut de comprar un nou software de programació del PLC i HMI (ex. TIA Portal).

Cal destacar que, abans d'aquest projecte, he acumulat experiència mitjançant la realització de postes en marxa i la realització de revisions i ampliacions en plantes on la part elèctrica i d'automatització havia estat gestionada per aquesta empresa estrangera.

Dins d'aquest context, el projecte actual representa una oportunitat per aprofundir en aquesta línia d'automatització, incorporant la meua experiència prèvia i adaptant els estàndards establerts per l'empresa estrangera amb la qual ja s'ha treballat anteriorment.

3 Descripció de la Planta

3.1 Vista General

En el moment d'iniciar el projecte se m'entrega aquest plànol, realitzat per un company de l'oficina, el qual representa la planta, els seus corresponents.

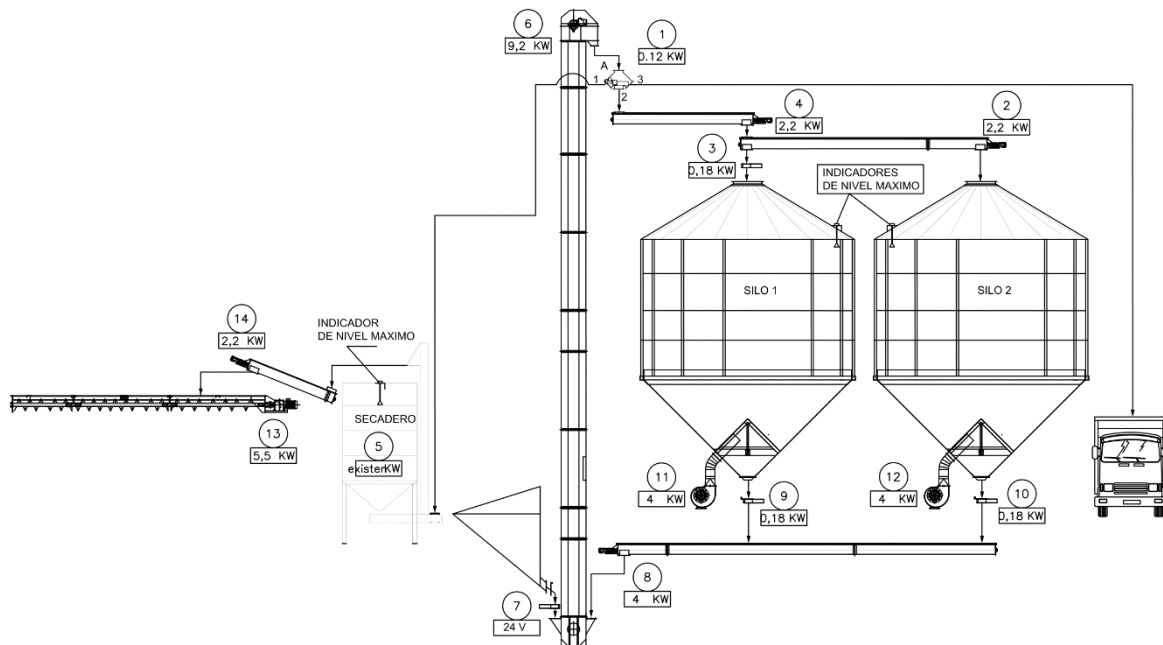


Figura 1 Plànol General de la Planta¹

En aquest esquema general podem veure els 4 elements principals i més importants de la planta. La tremuja de recepció (la forma triangular que es pot observar sobre el número 7), les dues sitges i l'assecador. La resta d'elements són els que va instal·lar l'empresa encarregada de la mecanització i serveixen per a transportar el material a emmagatzemar d'un lloc a l'altre.

El material es diposita a la tremuja i es pot guardar a una sitja, a l'assecador o a un camió. Al buidar una sitja el material s'envia a una d'aquestes tres opcions i en el cas de l'assecador el material s'envia a una nau externa. Al dibuix es pot veure les diferents rutes que hi ha i per quins elements de la planta passaria el material.

3.2 Elements de la Planta

3.2.1 Elements Mecànics de la Planta

A la figura 1 es pot observar una sèrie de cercles amb els números de l'1 al 14 a dins. Aquests marquen cada un dels elements mecànics a considerar a l'hora de realitzar una automatització. D'aquí en endavant ens referirem a cada un d'aquests elements seguint els estàndards establerts per l'empresa. Cada referència començarà amb una lletra seguida del

¹ Aquest plànol ha estat dibuixat per una persona de l'oficina de l'empresa mecanitzadora. El plànol complet es troba a l'annex 2 (pg. 101).

número assignat en la figura 1. La lletra defineix el tipus d'element, es pot veure a la taula 1 que vol dir cada lletra:

Lletra	Designació
V	Vàlvula
A	Rosca sense fi
R	Rasera
T	Ventilador/Turbina

Taula 1 Assignació de lletres de referència

A continuació es descriuen els diferents elements:

- **Vàlvula V1**

Tal com s'observa a la figura 2² es tracta d'una vàlvula de tres vies, la qual té una entrada i tres possibles sortides. A l'interior hi ha dues pales, cada una d'elles gira sobre el seu respectiu eix. Aquestes dues pales són les que formen el camí que seguirà el gra cap a una de les sortides de la vàlvula.

El dibuix de la figura 3 mostra les pales situades de forma que el gra caurà per la sortida de la dreta. Si la pala que està en diagonal gires en sentit horari fins a situar-se en vertical el gra sortiria per l'obertura central i si la pala de la dreta gires en sentit horari fins a topar amb l'altra pala, sortirà per la sortida de l'esquerra.

Cada un dels eixos es mou gràcies a un motor de 0,12 kW. Els eixos compten amb una petita barra (2 cm aproximadament) soldada perpendicularment a ells, així mitjançant quatre sensors inductius es poden detectar els finals de carrera de cada una de les dues pales.

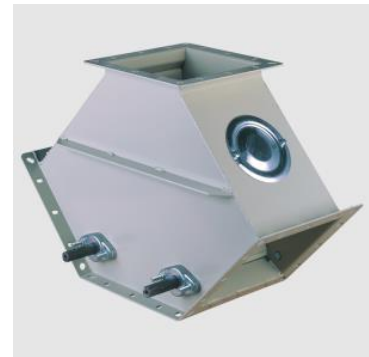


Figura 2 Imatge de la vàlvula

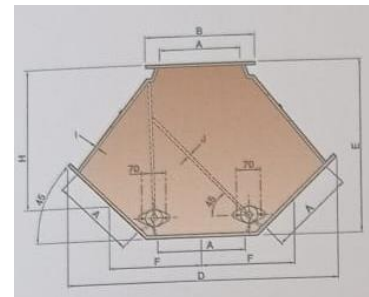


Figura 3 Esquema de la vàlvula

- **Rosques A2, A4, A8, A13 i A14**

Es tracta d'un conducte amb un eix en forma d'espiral al centre que gira gràcies a un motor trifàsic (2,2 kW per a les A2, A4 i A14, 4 kW per a l'A8 i 5,5 kW per a l'A14).

A la figura 4³ es pot observar una rosca sense la seva tapa superior. A la instal·lació la rosca aniria completament



Figura 4 Imatge de la rosca

² Aquesta imatge no pertany a una vàlvula del model instal·lat a la planta, sinó un de semblant, degut a la poca documentació que facilita l'empresa fabricant.

³ Aquesta imatge no pertany a les rosques instal·lades a la planta, sinó a una de semblant, degut a la poca documentació que facilita l'empresa fabricant. A part les rosques instal·lades no són totes del mateix model.

tancada, amb una obertura superior a un extrem per a l'entrada de gra i una inferior per a la sortida.

- **Raseres R3, R9, R10**

És una obertura quadrada la qual es pot tancar o obrir mitjançant una xapa metàl·lica que es desplaça per una via i mitjançant engranatges s'enllaça amb un eix mogut per un motor de 0,18 kW.

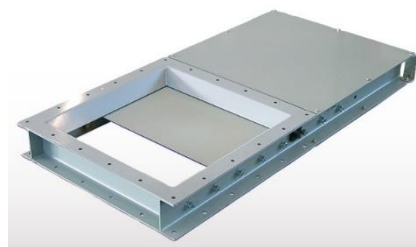


Figura 5 Imatge de la rasera

La rasera compta amb dos finals de carrera mecànics.

- **Rasera R7**

Aquesta rasera es igual que les anteriors però en comptes de un eix i engranatges es mou directament amb un actuador lineal. No compta amb finals de carrera ja que no són necessaris gràcies als actuadors.

- **Elevador E6**

Un elevador de la marca Kongstilde, model KBE 80. Consisteix en una banda amb cangilons, com la que es pot veure a la figura 6, situada dins de l'estructura metàl·lica que s'observa a la figura 7⁴. La banda està tensada per dos eixos giratoris a cada extrem de l'elevador estant el superior connectat a un motor de 9,2 kW que fa funcionar tota la màquina.

El gra entra per l'obertura inferior i de mica en mica va sent recollit per cada un dels cangilons que van pujant fins a arribar a l'eix superior sofriran un gir de 180° i deixaran caure el gra per l'obertura de sortida. El cangiló tornarà a baixar fins baix per a recórrer una altra palada de gra.



Figura 6 Imatge de la banda del elevador

Aquest model d'elevador té una capacitat de 80 tones per hora (per a una densitat de 700 kg/m³, el comú per al gra).



Figura 7 Imatge de l'elevador

- **Ventiladors T11 i T12**

Dos ventiladors Sodeca CMR-1240-2T, accionats per un motor de 4 kW que fa girar la turbina a 2900 r/min. Estan dissenyats per a generar un cabal màxim d'11100 m³/h.



Figura 8 Imatge del ventilador

⁴ Aquesta imatge no pertany a un elevador del model instal·lat a la planta, sinó un de semblant, degut a la poca documentació que facilita l'empresa fabricant.

- **Assecador**



Figura 9 *Imatge de l'assecador*

Assecador de la marca segués sèrie PRT 200 amb capacitat per a 25 m³ dissenyat per a l'asseccament de gra. Compta amb el seu propi quadre elèctric per a controlar el seu funcionament, inclosa la sortida i entrada de gra. A diferència de la resta de la instal·lació aquest element era de la propietat de l'empresa agrícola i havia estat usat en altres campanyes de collita.

- **Sitges**



Figura 10 *Imatge de les sitges*

Dues sitges dissenyades, fabricades i montades per la empresa BMM, una potència en el sector. Tenen una capacitat de 250 tonelades cada una.

3.2.2 Motors Trifàsics

Tots els motors de la planta són trifàsics, a la taula 2 es poden observar les propietats principals de cada un d'ells. Tenim una línia de 400 V, per tant, els motors de voltatge 230/400 V aniran connectats en estrella i els de 400/660 V en estrella-triangle per a evitar una tensió de pic inicial massa elevada.

A excepció de T11 i T12, tots els motors compten amb un reductor.

Designació	Potència (kW)	Cosinus de Fi	Revolucions (min ⁻¹)	Voltatge(V)	Corrent (A)
V1.M1	0,12	0,70	1350	230/400	0,68/0,40
V1.M2	0,12	0,70	1350	230/400	0,68/0,40
A2	2,2	0,81	1440	230/400	8,09/4,65
R3	0,18	0,73	1400	230/400	0,96/0,5
A4	2,2	0,81	1440	230/400	8,09/4,65
A8	4	0,77	1455	230/400	14,5/8,4
R9	0,18	0,73	1400	230/400	0,96/0,5
R10	0,18	0,73	1400	230/400	0,96/0,5
T11	4	0,87	2925	230/400	12,8/7,4
T12	4	0,87	2925	230/400	12,8/7,4
A14	2,2	0,81	1440	230/400	8,09/4,65
A13	5,5	0,82	1465	400/690	11/6.3
E6	9,2	0,88	1470	400/690	16,7/9,85

Taula 2 Característiques dels motors (per a 50 Hz)

3.2.3 Actuadors

Només trobem un actuator a la planta. Aquest és un actuator lineal de 10 cm, model 121000-11002420 de la marca Linak. Compta amb una força màxima de 750 N, funciona a 24 VDC i té un corrent màxim de 2,2 A.

És l'encarregat d'obrir la rasera G7.



Figura 11 Imatge del actuator

3.2.4 Sensors

- Sensors de nivell

Troblem tres sensors de nivell a la planta, un a l'assegador i un a cada un de les sitges. Es tracten d'uns sensors pendulars de la marca Filsa, model MS-1.

Els sensors pendulars són molt comuns en sitges. Com el seu nom indica consten d'un pèndol (en aquest model de 500 mm de llargada) que en moure's de la seva posició vertical tanca un contacte elèctric. Aquest tipus de sensor és ideal per a les instal·lacions de gra perquè aprofiten el talús natural que es forma en dipositar el gra fent que el pèndol s'inclini.

El circuit elèctric d'aquest sensor té tres bornes, dos per alimentar a 24 volts continus i un per a la sortida (ON quan el pèndol està en posició vertical).



Figura 12
Imatge del sensor pendular

- **Finals de carrera mecànics**

Són sis finals de carrera de les raseres, hi ha dos a cada una exceptuant R7 que no en té. De la marca Pizzato, model FD 538-M2-EX4, són sensors comuns, amb un contacte NC i un contacte NO, tots dos lliures de tensió. Els contactes canvien d'estat quan algun element mecànic fa rotar la peça metàl·lica.



Figura 13 *Imatge del final de carrera mecànic*

- **Sensors inductius**

Sensors inductius comuns, quatre en total, fan la funció de final de carrera de les dues pales de la vàlvula V1, dos sensors per a cada pala. De la marca AECO, model SI18-B5 NC AD3, el sensor compta únicament amb un contacte normalment tancat lliure de tensió. Tenen una distància de commutació molt curta (5 mm), necessària perquè no es detecti l'eix de gir en comptes de la barra que indica el final de carrera.

4 Descripció del Esquema Multifilar del Quadre Elèctric

4.1 Descripció del Software EPLAN Electrical P8

El software Eplan Electrical P8 és un programari complex orientat al disseny elèctric. La seva popularitat global entre els professionals del sector és una mostra de la seva eficàcia, posicionant-se com una de les opcions preferides. Destaca per, un cop inicialment configurat, simplificar el procés de creació d'esquemes elèctrics. L'eina integra eficaçment el disseny i la documentació, abordant la complexitat inherent dels projectes elèctrics moderns. Eplan Electrical P8 utilitza un sistema de macros on es pot tindre un registre molt extens de cada un dels components pertanyents a l'esquema dissenyat.

El programari se centra a facilitar la gestió de projectes elèctrics i garantir la coherència durant tot el procés de desenvolupament, comptant amb un sistema d'errors similar al d'un software de programació que ajuda a detectar incoherències en el disseny. A més, la seva capacitat d'integració amb PLC és un element clau.

El seu gran desavantatge és que té una corba d'aprenentatge bastant elevada si es vol fer servir el software correctament, cosa que no és necessària si no es necessita tindre una documentació molt extensa o una compatibilitat amb algun altre programari d'EPLAN. Simplificadament, el programa és molt complex, però per a només dibuixar un esquema elèctric no ho és.

La seva elecció per al meu treball de fi de grau ha estat motivada per la seva capacitat per simplificar i optimitzar el procés de disseny, ignorant el desavantatge de la dificultat, ja que ja tenia experiència en el software i era una molt bona oportunitat per continuar aprenent-lo.

4.2 Alimentació i Proteccions

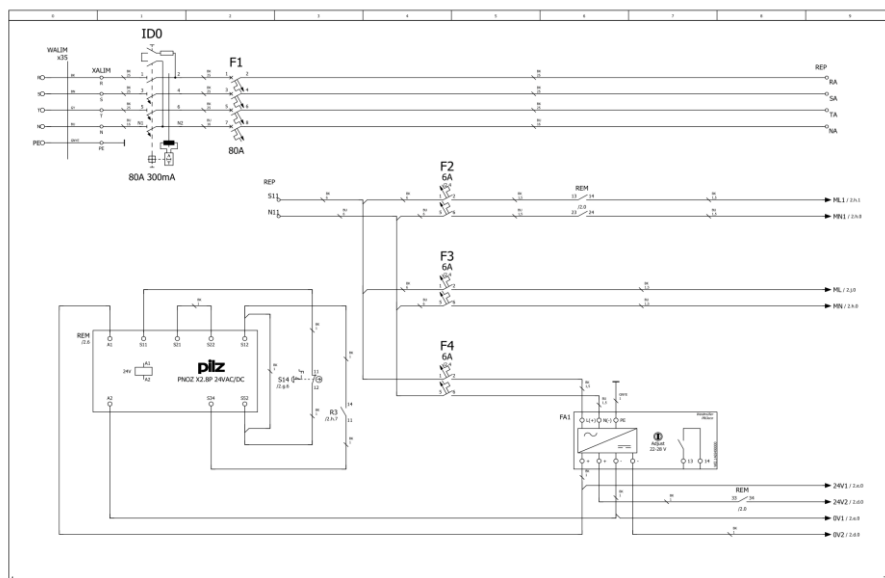


Figura 14 Esquema d'alimentació i proteccions⁵

⁵ Aquest plànol forma part de l'esquema elèctric. El plànol ampliat es troba l'apartat 12 (pg. 83).

El primer pas realitzat a l'esquema elèctric ha sigut el disseny de la repartició de línies incloent la protecció necessària de cada una d'elles, la figura 14 es pot observar el plànol corresponent. A la banda superior esquerra se situa l'alimentació del quadre, protegida per un diferencial ID0 i per l'interruptor de protecció general F1. La sortida de F1 va a parar a un bloc de distribució anomenat REP on naixeran totes les línies secundàries d'alimentació.

D'una de les fases i el neutre de REP surten tres línies monofàsiques protegides per F2, F3 i F4. La línia protegida per F2 és la utilitzada per a activar els contactors dels motors (s'han triat uns contactors de 220-230 VAC de bobina). La línia de F4 s'ha dissenyat per a alimentar miscel·lània (un endoll i una balisa) i la de F3 per a la font d'alimentació de 24 VCC.

La font d'alimentació compta amb 4 pins, dos de 24 V i dos de 0 V, dels quals surten dues línies de corrent continu. La primera alimenta el relé d'emergència, PLC, HMI, mòduls de E/S i els senyals d'entrada del sistema (contactes dels guarda-motors, sensors, polsador d'emergència...). La segona línia alimenta a l'actuador d'alimentació 24 VCC i als relés que formen part de l'activació de motors. A la primera línia se li han assignat els noms de 24V1 i 0V1 i a la segona 24V2 i 0V2.

4.2.1 Relé de Emergència

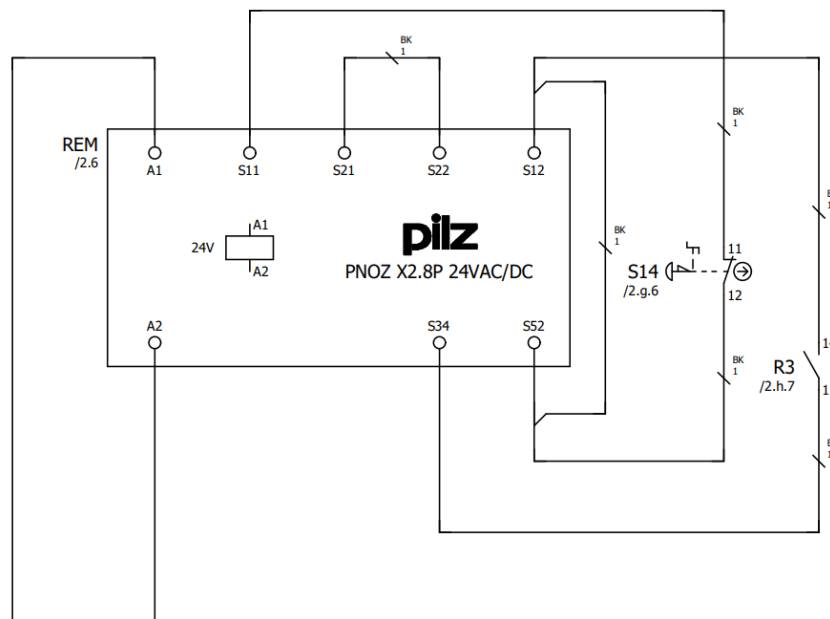


Figura 15 Esquema de connexions del relé d'emergència⁶

A la figura 15 s'observa l'esquema de connexions triades per al relé d'emergència, un component de seguretat que talla les línies escollides un cop premut el polsador d'emergència. Aquest s'ha d'alimentar a 24 VCC entre A1 i A2 i pot tindre diverses configuracions⁷.

Les connexions visibles a la figura 15 són les necessàries per a la configuració de parada d'emergència amb restabliment. Això significa que quan es prem el polsador S14 es tallen

⁶ Es pot trobar més informació del model del relé d'emergència a l'apartat 5.1.4 pg. 29.

⁷ Es pot trobar més informació de les diferents configuracions a l'annex 3 (pg. 102).

els contactes i encara que es deixi de prémer no es recuperarà la connexió. Per a retornar al funcionament normal s'ha de tancar el contacte de R3 un cop S14 jo no està premut. La implementació d'aquest relé i la configuració escollida permet una millora de la seguretat de la instal·lació, la qual estaria protegida encara que hi hagués un error en el PLC o en el programa d'aquest en el tractament de l'emergència.

Les connexions que s'han de tallar un cop premut el pulsador S14 serien les protegides per F2 (d'ara endavant ML1 per la fase i MN1 per al neutre) i 24V2. Això s'ha escollit així perquè al tallar aquestes connexions no arribaria tensió a cap contactor ni relé encarregat d'encendre els motors ni a l'actuador de 24 VCC, però mantenint l'alimentació del PLC, HMI i altres components que no s'haurien de desactivar en una emergència.

4.3 Potència

Un quadre elèctric de control es pot dividir en dues parts principals: control i potència, sent aquesta última la primera a tenir en compte a l'hora de dissenyar. És la part que engloba tot el cablejat i components (majoritàriament PKZs i contactors) per on passarà el corrent necessari per a alimentar els motors i actuadors que faran el treball mecànic de la planta.

En el quadre dissenyat tota la part de potència neix dels bornes les fases R, S i T del bloc de distribució REP i va a parar a cada un dels 13 blocs de motor. Un bloc de motor és el grup d'elements que formen la part de potència d'un sol motor, i en aquest projecte podem trobar quatre tipus diferents, cada un d'ells enfocat a les diferents necessitats dels motors trifàsics que podem trobar a la planta. A continuació s'expliquen cada un dels tipus que podem trobar al quadre⁸:

4.3.1 Motor Simple

El motor simple és el tipus més bàsic de bloc de motor format només per un guarda-motor i un contactor. Aquesta estructura s'aplica per a motors que només necessiten una direcció de gir, com per exemple un elevador, a excepció d'aquells que necessiten una arrancada en estrella-triangle (normalment 5 kW o superior). Els motors simples que podem trobar a la planta són els de les rosques A2, A4, A8 i A14 i els ventiladors T11 i T12.

El cablejat d'aquest bloc de motor és molt senzill, es connecta cada una de les fases d'alimentació a l'entrada del PKZ, de la sortida del PKZ a l'entrada del contactor i de la sortida del contactor als bornes U, V i W del motor (en aquest cas passant primer per borneres). Tot això sense creuar les fases tal com es mostra a la figura 16.

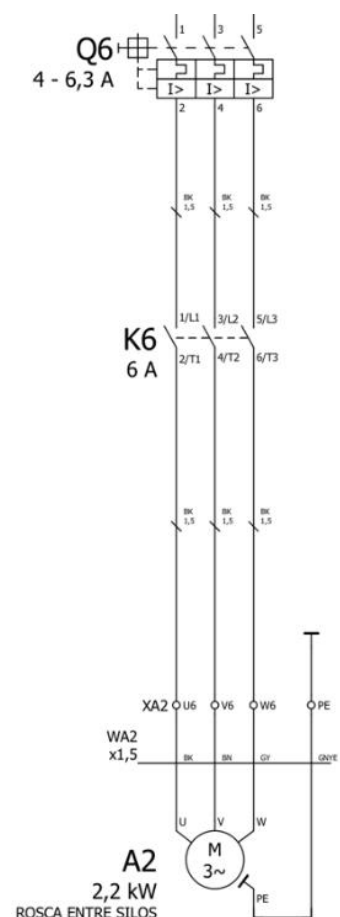


Figura 16 Esquema de bloc de motor simple

⁸ En aquests apartats s'expliquen els tipus d'elements i connexions que porta cada bloc de motor, per a una anàlisi més detallada dels models i tipus de PKZ, contactor i altres elements de potència utilitzats en cada un dels motors de la planta consultar l'apartat 5.1.2 (pg. 26).

Les nomenclatures dels components del bloc segueixen els estàndards generals, sent Q+número per als PKZ i K+número per als contactors.

4.3.2 Motor Amb Inversió

Un motor amb inversió és el que necessita funcionar en dos sentits de gir diferents, com per exemple una rasera. Els motors amb inversió que podem trobar a la planta són els de les raseres R3, R9 i R10 i la vàlvula V1.

Està format per un guarda-motor i dos contactors. Cada un dels contactors té assignat un sentit de gir, el que té assignat el sentit normal té la nomenclatura K+número+a i el que té assignat el sentit invertit K+número+b. Per seguretat s'ha d'evitar que els dos contactors estiguin encesos alhora, això s'aconsegueix amb un cablejat en sèrie d'una bobina amb un contacte NC de l'altre contactor (això s'ha de fer amb les dues bobines).

El cablejat de potència d'aquest bloc parteix del d'un motor simple, on tots els components es cablegen igual (sent Kna el contactor) però s'afegeix un segon contactor (Knb). Aquest últim es cableja connectant cada un dels bornes amb el seu equivalent a Kna a excepció del primer i tercer borne d'entrada, que es creuen, tal com s'observa a la figura 17. El cablejat es fa d'aquesta forma perquè un canvi de sentit d'un motor trifàsic s'obté canviant una fase per qualsevol de les altres dues.

4.3.3 Motor E/T

Els motors amb arrancada en estrella-triangle són els motors que necessiten una arrancada suau (majoritàriament els motors que superen els 5 kW). Els motors amb arrancada en estrella-triangle que podem trobar a la planta són els de l'elevador E6 i la rosca A13, tot i que aquest últim compta una inversió de gir i, per tant, un connexionat més complex explicat al següent apartat.

Aquest bloc està format per un guarda-motor, tres contactors i un timer. El primer contactor, encarregat de connectar l'alimentació amb el motor, té la nomenclatura K+número+a, el segon contactor, el que estableix la connexió en triangle,

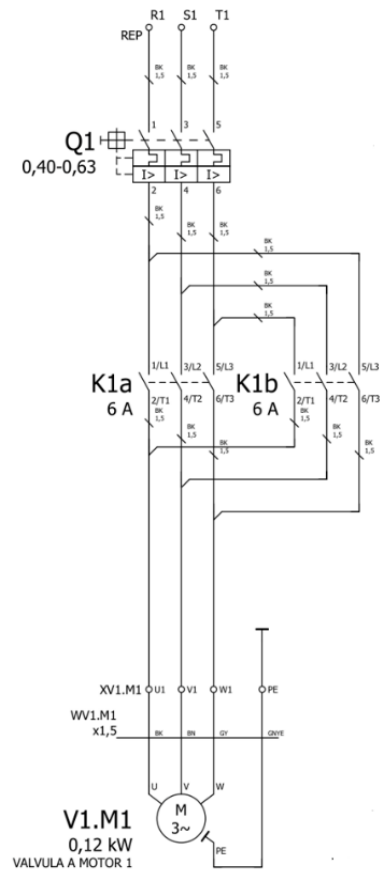


Figura 17 Esquema de bloc de motor amb inversió

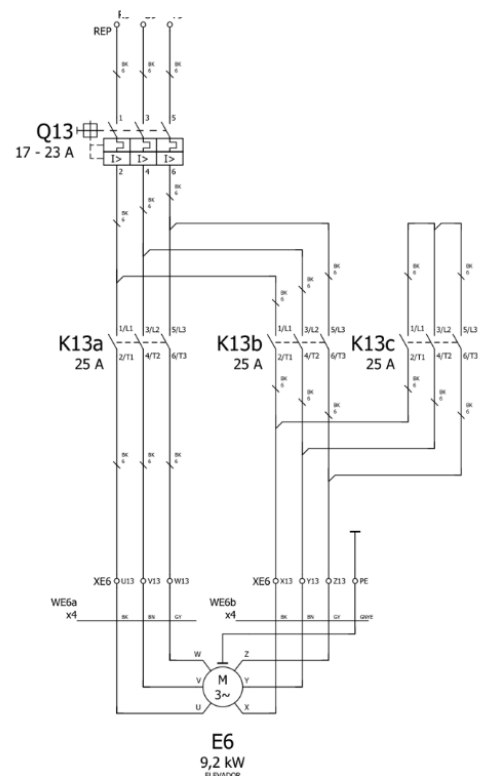


Figura 18 Esquema de bloc de motor amb arranc E/T

Aquest bloc està format per un guarda-motor, quatre contactors i dos timers. Els dos primers contactors, utilitzats per a la inversió de gir tenen la mateixa nomenclatura que en el bloc de motor corresponent, Kna i Knb. El tercer i el quart contactor, són Knc i Knd, sent el primer dels dos l'encarregat de la connexió en triangle i el segon el de la connexió en estrella. Igual que en els anteriors blocs s'ha d'evitar que els dos contactors d'alguna de les dues parelles estiguin activats alhora, això s'aconsegueix plantejant el connexionat de control d'igual manera que en els blocs anteriors.

En aquest bloc comptem amb dos timers, encarregats de la gestió de l'arrancada E/T. Un d'ells és activat per Kna i l'altre per Knb, però tots dos fan la mateixa funció a l'hora de desactivar i activar Knc i Knd¹⁰.

El cablejat de potència d'aquest bloc és una combinació dels dos anteriors, on Kna i Knb es cablegen d'igual manera que Kna i Knb del bloc d'inversió de gir i Knc i Knd es cablegen d'igual manera que Knb i Knc del bloc d'arrancada E/T normal, tal com es mostra a la figura 19.

4.3.5 Actuator 24 VCC

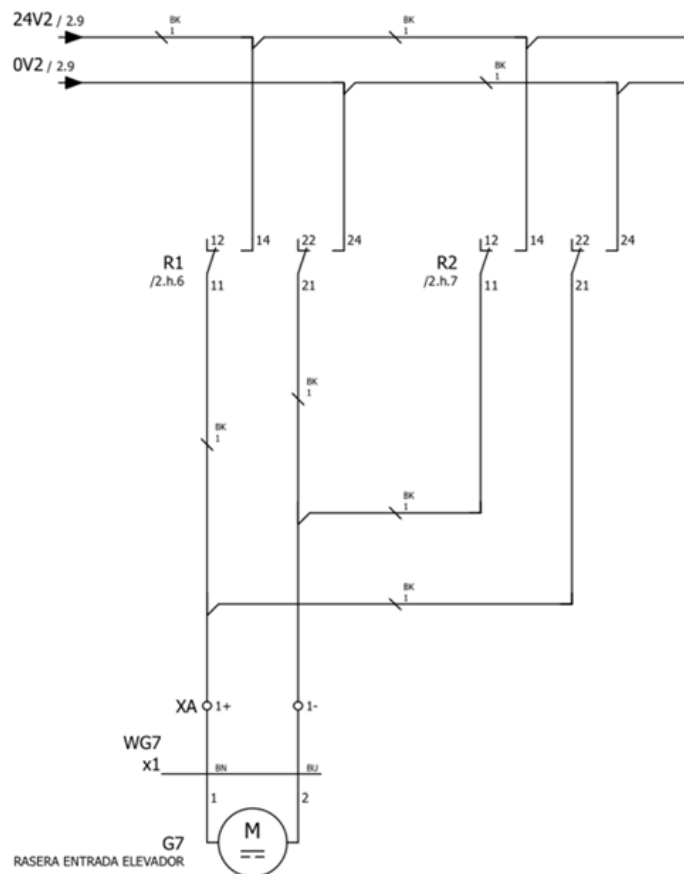


Figura 20 Esquema de bloc del actuator

A excepció de la resta de motors, l'actuator de la rasera G7 està alimentat a 24 volts continus. Això fa que canviï per complet el plantejament del seu bloc de motor, ja que no té tres fases

¹⁰ Aquest connexionat es pot observar a la figura 23, apartat 4.4.3, pg. 21

sinó un positiu i un negatiu i no necessita un PKZ. L'alimentació de l'actuador tampoc surt de REP sinó de la font d'alimentació, concretament de 24V2 i 0V2.

Tal com es mostra a la figura 20, el bloc compta amb dos relés, R1 i R2, els quals tenen dos contactes commutats (per a les necessitats del projecte els relés només necessiten 1 contacte NO, però comunament es fabriquen amb contactes commutats). Cada un d'ells està connectat d'igual manera amb la línia d'alimentació, però R1 té el primer contacte connectat al positiu de l'actuador i el segon al negatiu, mentre que R2 els té invertits. Així s'aconsegueix que la rasera s'obri activant un relé i es tanqui activant l'altre.

4.4 Control

Com ja s'ha mencionat anteriorment, el quadre es divideix en dues parts: control i potència. En la secció de control, es despleguen estratègies i dispositius destinats a dirigir i supervisar les diverses funcions del sistema elèctric. A diferència de la secció de potència, que s'encarrega de gestionar la distribució i el flux de corrent per alimentar motors i actuadors, la secció de control assumeix el paper crucial de coordinar aquestes operacions.

S'implementa un sistema de control eficient que reguli les diferents variables i comportaments dels motors i actuadors. Mitjançant l'ús de controladors lògics programables (PLC), sensors i altres dispositius de supervisió, es pot optimitzar el rendiment dels motors trifàsics i assegurar un funcionament coordinat i precís de la planta industrial.

La majoria d'elements de control (PLC, HMI, relés...) s'alimenten a una tensió de 24 VCC (provinent de la font d'alimentació), a excepció dels contactors que s'alimenten a 230 VAC (provinents de F2). Les connexions necessàries per a aquest circuit de control s'especifiquen a continuació:

4.4.1 PLC, targetes E/S i HMI

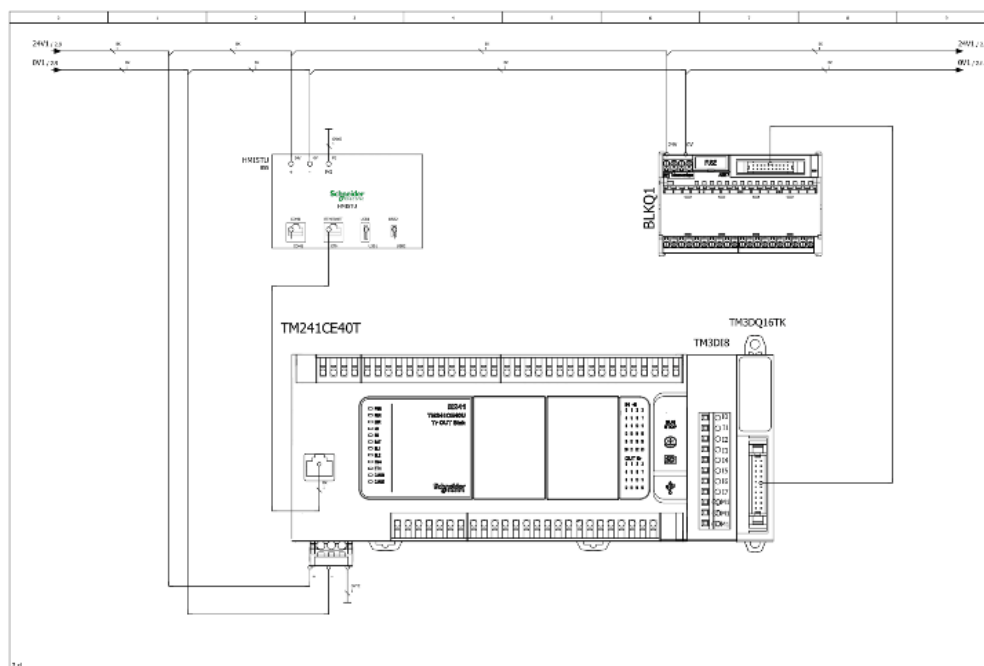


Figura 21 Esquema de connexions de PLC, HMI i targetes de E/S

Les parts principals del circuit de control es poden veure a la figura 21 i són el PLC, l'HMI, una targeta d'entrades i una targeta de sortides que va associada a un bloc de relés.

El PLC (a l'esquema TM241CE40T) i l'HMI (HMISTU) van alimentats a 24 VDC i connectats a terra. Aquests tenen cada un un port Ethernet que serviran per a comunicar-se a través d'un cable Ethernet.

Les targetes d'entrada i de sortida (TM3DI8 i TM3DQ16TK) estan dissenyades pel fabricant per anar connectades lateralment amb el PLC. Les targetes compten amb un port mascle a l'esquerra i el PLC i les targetes tenen un port femella a la dreta, aquests ports es connecten al col·locar-se cada element de la manera com estan dibuixats a la figura 21.

La targeta de sortida no té bornes on es puguin connectar els cables del circuit de control sinó que té un port especial on es connecta un cable específic del fabricant que connecta la targeta amb el bloc de relés que compta amb un port idèntic. Aquest bloc, a més, ha d'anar alimentat a 24 VDC a través d'uns bornes amb cargol.

El conjunt compta en total amb 32 entrades, 24 del PLC i 8 de la targeta, i amb 32 sortides, 16 del PLC i 16 de la targeta d'entrada i el bloc de relés. A continuació s'explica com van connectades aquestes entrades i sortides.

4.4.2 Entrades

En el conjunt d'entrades podem trobar quatre tipus: guarda-motors, finals de carreres, sensors de màxim i la seta d'emergència. Els dos primers estan connectats al PLC i els dos últims a la targeta d'entrada.

Tant el PLC com la targeta tenen tres bornes amb la denominació COM que han d'anar connectats als 0 V de la font d'alimentació que actuaran com a referència. A cada un dels bornes d'entrades anirà connectat a un contacte NO o NC que comunica amb una connexió als 24 V de la font, així quan aquests contactes commutin provocarà que es llegeixi un voltatge de 24 VDC entre COM i el borne d'entrada corresponent.

Els contactes dels guarda-motors i de la seta d'emergència van connectats directament, mentre que els sensors i finals de carrera passen per unes borneres, ja que lògicament aquests se situen fora del quadre i això facilitarà la instal·lació a camp.

Hi ha 5 entrades que queden lliures i, per tant, s'han connectat a unes borneres anomenades XTRAI per a facilitar el cablejat si en un futur s'ha de fer algun afegit a la instal·lació.

L'esquema de connexions de les entrades es pot observar a l'apartat 12 pàgina 89 i a l'apartat 14 pàgina 88 es poden observar a on van connectades les diferents entrades del sistema.

4.4.3 Sortides

La repartició de les sortides és la següent: els contactors dels motors trifàsics de connexió en estrella van al bloc de relés i la resta (contactors de blocs en estrella-triangle, relés de l'actuador, relé de la balisa...) van connectats al PLC.

Les connexions del bloc de relé són les més senzilles. El bloc té 4 bornes d'entrada de voltatge (1, 2, 3 i 4) que connectaran amb els bornes de sortida quan s'activi un relé. Aquests estan connectats a la línia ML1 perquè aquestes sortides rebin 230 VAC.

Cada un dels bornes de sortida aniran connectats a l'A1 d'una bobina de contactor, les quals aniran connectades per A2 a la línia neutra MN1 per a tancar el circuit. Les bobines de contactors dels blocs d'inversió de gir no aniran connectats directament sinó que estaran connectades en sèrie amb un contacte NC del contactor del sentit oposat.

Les connexions del bloc del PLC són més complexes. Una de les raons és perquè a aquest mòdul no pot treure una tensió de 230 VAC directament, ja que funciona amb transistors en comptes de relés i aquesta tensió els cremaria. Llavors, el bloc de sortides s'alimenta a 24 VCC a través dels pins V0+, V0-, V1+, V1-, V2+, V2-, V3+ i V3-, els quals van connectats a 24V1 (+) i 0V2 (-). Això provoca que per les bobines que necessiten 230 VAC s'hagi de col·locar un relé. Aquests relés tenen l'A1 de la bobina connectada a la sortida del PLC i l'A2 a 0V2.

Una altra raó que complica el connexionat de control és perquè aquí és on trobem el control de les arrancades en estrella-triangle, però, també van connectades quatre sortides simples que són les següents:

- R1 i R2: relés de l'actuador de G7
- R3: relé de restabliment del relé d'emergència
- R7: relé de la balisa

Pel que fa a les connexions en estrella-triangle en tenim dues, una de simple i una amb inversió de gir. Aquestes també van connectades a un relé de 24 VDC.

- Estrella-triangle simple

El contacte del relé es connecta a la línia ML1 per un costat i per l'altre costats surten tres connexions:

- K13a, bobina del contactor de marxa d'E6
- K13c en sèrie amb el contacte NC de TMR13 i el contacte NC de K13b
- K13b en sèrie amb el contacte NO de TMR13 i el contacte NC de K13c

Això provoca que quan la sortida està activa el contactor de marxa estigui sempre encès i el contactor d'estrella també ho estigui inicialment. Un cop passen uns segons el timer canvia l'estat dels contactes i provoca que s'activi el contactor de triangle i es desactivi el d'estrella. Els contactes NC dels contactors eviten que puguin estar els dos contactors encesos a la vegada.

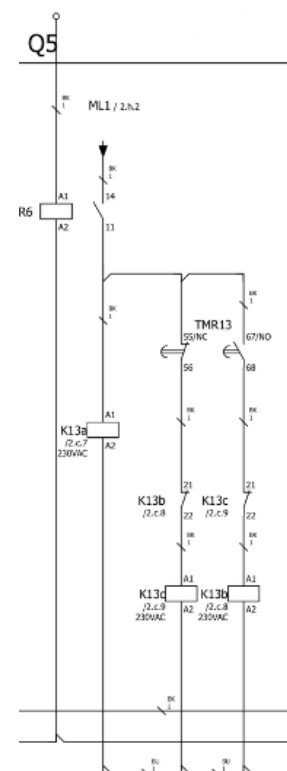


Figura 22 Esquema de control de estrella-triangle simple

reducció d'1,60 dels amperatges, ja que a les canals no hi anirà només un conductor i, en conseqüència, es genera més calor.

Secció (mm ²)	Corrent màx (A)	Corrent màx amb reducció (A)
35	110	68,8
25	88	55,0
16	70	43,8
10	52	32,5
6	37	23,1
4	30	18,8
2,5	22	12,9
1,5	16	9,4

Taula 3 Seccions interiors

De la taula 3 s'han tret totes les seccions la part de potència, mentre que la part de control és molt més senzilla. Majoritàriament, els corrents de control no superen els 100 mA a excepció de les alimentacions del PLC o HMI que ronden els 1,5 A. Aquests corrents tan petits poden ser suportats perfectament amb un cable de secció 1 mm² que ha sigut el triat per a tot el cablejat de control.

Tornant a la potència, per reglament la secció mínima és 1,5 mm², per tant, encara que els motors tinguin amperatges inferiors a 1 A no es pot utilitzar un cable d'1 mm². A la taula 4 es poden observar les seccions de les fases de cada motor son.

Designació	Potencia (kW)	Corrent (A)	Secció (mm ²)
V1.M1	0,12	0,40	1,5
V1.M2	0,12	0,40	1,5
A2	2,2	4,65	1,5
R3	0,18	0,5	1,5
A4	2,2	4,65	1,5
A8	4	8,4	1,5
R9	0,18	0,5	1,5
R10	0,18	0,5	1,5
T11	4	7,4	1,5
T12	4	7,4	1,5
A14	2,2	4,65	1,5
A13	5,5	11	2,5
E6	9,2	16,7	6

Taula 4 Seccions interiors dels motors

Per raons explicades més endavant, al quadre hi ha dues barres de distribució que tenen connectades tres motors cada una. A aquestes barres els hi arriba corrent a través d'uns cables que han d'estar dimensionats per a la suma dels amperatges dels tres motors, resultant que una barra necessita un cable de 4 mm² i l'altre un cable de 10 mm².

D'una manera similar es calculen els cables d'alimentació, sumant tots els amperatges dels motors obtenim un corrent de 67,15 A que segons l'REBT necessita una secció de 35 mm². També s'han de tenir en compte els corrents de consum de la font d'alimentació o de les línies de 230 VAC, però com que aquestes totes sumades no són molt més de 5 A i sabent que la simultaneïtat dels motors no és del 100% i, per tant, mai s'arribarà a aquests 67,15 A calculats, es pot considerar correcte l'elecció dels 35 mm².

4.5.2 Seccions de Cable Externes

Les seccions de cable externes només inclouen les mànegues dels motors. Aquestes no estan dins d'una canal a l'armari i, per tant, segons l'REBT les seves seccions permeten més amperatge. A part, les agrupacions de cables són menors a fora de l'armari que dins i, com a resultat, la reducció d'1,6 aplicada a l'interior de l'armari baixa a 1,40.

Secció (mm ²)	Corrent màx (A)	Corrent màx amb reducció (A)
16	80	50
10	60	37,5
6	44	27,5
4	34	21,3
2,5	25	14,7
1,5	18	10,6

Taula 5 Seccions exteriors

A la taula 6 es poden veure les seccions de les fases de cada motor.

Designació	Potència (kW)	Corrent (A)	Secció (mm ²)
V1.M1	0,12	0,40	1,5
V1.M2	0,12	0,40	1,5
A2	2,2	4,65	1,5
R3	0,18	0,5	1,5
A4	2,2	4,65	1,5
A8	4	8,4	1,5
R9	0,18	0,5	1,5
R10	0,18	0,5	1,5
T11	4	7,4	1,5
T12	4	7,4	1,5
A14	2,2	4,65	1,5
A13	5,5	11	2,5
E6	9,2	16,7	4

Taula 6 Seccions exteriors dels motors

4.5.3 Amperatges dels Magneto-tèrmics, Diferencial i Font d'Alimentació

Per a protegir els cables de sobretensions s'han de triar les seves proteccions tenint en compte el corrent que passarà pels conductors:

- **ICP (80 A)**

El corrent màxim que hi haurà en el quadre s'ha calculat que és gairebé 70 A, els models comercials que poden suportar aquest corrent són de 80 A.

- **Diferencial (80 A)**

Passa el mateix que amb l'ICP.

- **Magneto-tèrmics de les línies de 230 VAC (6 A)**

Aquestes línies tenen un consum molt baix, cap s'acosta a un corrent de 5 A, però els interruptors comercials de menor amperatge són de 6 A, per tant, s'han de triar aquests.

- **Font d'alimentació (10 A)**

Tenim tres grans consums, l'actuador, el PLC i l'HMI. Consumeixen 2,2 A, 1,5 A i 1,5 A respectivament. Els altres consums són molt petits, inferiors a 100 mA i tots junts no sumen més de 2 A, per tant, el corrent màxim de la font és 10 A.

5 Especificació dels Elements i Muntatge del Quadre Elèctric

5.1 Descripció del Software EPLAN Pro Panel

El software Eplan Pro Panel és un programari complex orientat al disseny d'armaris elèctrics. Es combina amb Eplan Electrical P8, els dos softwares estan programats per a treballar simultàniament en què un aporta la part del disseny elèctric i l'altre el disseny 3D del armari i els seus components.

Pro Panel compta amb un entorn 3D on a partir de STEPs (arxius comprimits de dibuixos 3D) de cada un dels elements que conté un armari es construeix una visió general de l'armari. El resultat final acaba tenint el disseny de les parets i portes de l'armari, les plaques de muntatge, raïls DIN i canaletes, components, cablejat, polsadors, balises... També compta amb un sistema d'errors que ajuda a detectar incoherències en el disseny.

Cada un dels components elèctrics del disseny té assignat un símbol de l'esquema elèctric dissenyat anteriorment, cosa que permet que Pro Panel creï un sistema de encaminat automàtic en el que es pot observar per on passarien els cables de l'armari (aquestes rutes de cablejat poden ser modificades per l'usuari). Això permet, a part de planificar les rutes prèviament a la construcció de l'armari, extreure una llista de la quantitat de metres necessaris de cada color i secció de cable per a la construcció de l'armari.

Les possibilitats que ofereixen els dos programaris combinats són moltes, i per això són els escollits per gairebé totes les empreses dedicades al disseny de quadres o armaris elèctrics. El seu gran desavantatge és que té una corba d'aprenentatge. Anteriorment, s'ha comentat que això no és un problema en el cas del disseny de l'esquema elèctric, però sí que ho és per al disseny 3D, ja que es necessita molt més coneixement dels programes.

Malgrat això s'ha escollit per al meu treball de fi de grau perquè ja tenia una petita experiència que em permetria utilitzar els programaris per a les meves necessitats.

5.1.1 Magneto-tèrmics, Diferencial i Font d'Alimentació

El primer pas per a dissenyar l'armari es assignar un STEP a cada un dels components del esquema elèctric, el que comporta triar el model de aquest component. En aquest i els següents apartats es mostraran els models triats per a cada un dels elements de l'armari.

- ICP general (F1)

A9N18372 forma part de la gamma de proteccions de la marca Schneider, Acti9. És un interruptor automàtic 4P amb 4 pols protegits, corrent nominal 80 A i corba de tret C. És muntable en carrils DIN.



Figura 24 Imatge de F1

- Diferencial (ID0)

A9R14480 forma part de la gamma de proteccions de la marca Schneider, Acti9. És un interruptor automàtic 4P amb corrent nominal 80 A,



Figura 25 Imatge de F1

sensibilitat 300 mA i classe de protecció AC. És muntable en carrils DIN.

- **Interruptors monofàsics (F2, F3 i F4)**

A9F77206 forma part de la gamma de proteccions de la marca Schneider, Acti9. És un interruptor automàtic 2P amb 2 pols protegits, corrent nominal 6 A i corba de tret C. És muntable en carrils DIN.



Figura 26 Imatge del interruptor monofàsic

- **Font d'alimentació (FA1)**

1469490000 forma part de la gamma de fonts d'alimentació de la marca Weidmüller, Pro Eco. Proporciona una tensió nominal de 24 VCC, variable de 22 a 28, amb un corrent màxim de 10 A. Compta amb un led que indica en vermell quan hi ha sobrecorrents o curtcircuits, els quals la mateixa font està protegida, i marca en ambar quan el corrent supera els 9 A. L'alimentació es monofàsica, variable de 100 a 240 V i el corrent d'entrada pot variar entre 3,5 i 1,5 A. És muntable en carrils DIN.



Figura 27 Imatge del interruptor monofàsic

5.1.2 Elements dels Blocs de Motor

- **Guarda-motors**

La gamma de PKZs de la marca Schneider GV2 està dedicada a la protecció de motors trifàsics fins a 15 kW. Cada un dels diferents models de la gamma té un rang d'amperatges diferent per a poder ajustar-los al corrent necessari per a cada aplicació. A la taula 7 es pot observar el model específic triat per a cada motor i el rang de corrent que aquest suporta.



Figura 28 Imatge del PKZs

Designació	Potencia (kW)	Corrent (A)	Model	Corrent PKZ (A)
V1.M1	0,12	0,40	GV2ME04	0,40 – 0,63
V1.M2	0,12	0,40	GV2ME04	0,40 – 0,63
A2	2,2	4,65	GV2ME10	4 – 6,3
R3	0,18	0,5	GV2ME04	0,40 – 0,63
A4	2,2	4,65	GV2ME10	4 – 6,3
A8	4	8,4	GV2ME14	6 - 10
R9	0,18	0,5	GV2ME04	0,40 – 0,63
R10	0,18	0,5	GV2ME04	0,40 – 0,63
T11	4	7,4	GV2ME14	6 - 10
T12	4	7,4	GV2ME14	6 - 10
A14	2,2	4,65	GV2ME10	4 – 6,3
A13	5,5	11	GV2ME16	9 - 14
E6	9,2	16,7	GV2ME21	17 - 23

Taula 7 Taula de PKZ corresponent a cada motor

- **Contacte auxiliar**

GV2AE11 és un model de contacte auxiliar per a diverses gammes de la marca Schneider, inclosa GV2. Té un contacte obert i un contacte tancat que s'activen quan es baixa l'interruptor dels PKZs. Es col·loca



Figura 29 Imatge del contacte auxiliar

a la part superior dels guarda-motors, a una clavilla inicialment oculta per una tapa de plàstic que s'ha de retirar.

- Contactors

La gamma de contactors de la marca Schneider TeSys D és la més indicada per a les necessitats d'aquest projecte. Hi ha diversos models, les diferències entre ells són la intensitat màxima admesa i els tipus de bobina. Els utilitzats a l'armari són els contactors de bobines de 230 VAC. A la taula 8 es pot observar el model específic triat per a cada motor i el corrent màxim que aquest suporta. Cal recordar que el número de contactors en un bloc no és fix, a la taula també es pot veure aquesta data per a cada motor.



Figura 30 Imatge del PKZs

Designació	Corrent (A)	Model	Cantitat	Corrent cont. (A)
V1.M1	0,40	LC1D06P7	2	6
V1.M2	0,40	LC1D06P7	2	6
A2	4,65	LC1D06P7	1	6
R3	0,5	LC1D06P7	2	6
A4	4,65	LC1D06P7	1	6
A8	8,4	LC1D12P7	1	12
R9	0,5	LC1D06P7	2	6
R10	0,5	LC1D06P7	2	6
T11	7,4	LC1D12P7	1	12
T12	7,4	LC1D12P7	1	12
A14	4,65	LC1D06P7	1	6
A13	11	LC1D18P7	4	18
E6	16,7	LC1D25P7	3	25

Taula 8 Taula de contactors corresponent a cada motor

- Timers

LADT2 és un timer de la marca Schneider dissenyat per a utilitzar-se amb la gamma TeSys D. Tenen un disseny que encaixa amb unes ranures dels contactors, quedant un conjunt molt elegant. El timer té dos contactes, un NO i un NC. En quant el contactor s'activa els contactes del timer canvien d'estat amb un retard dels segons escollits en la rodeta central.



Figura 31 Imatge del timer

- Elements per a simplificar el cablejat

Schneider ofereix diversos productes que permeten estalviar cablejat. Un dels més interessants és una connexió entre el PKZ i el contactor, amb un disseny que resulta en un acabat final que sembla que el conjunt dels tres components sigui tot un. Aquesta peça es pot observar en la figura 32.

Una altra manera d'estalviar cablejat són les barres de distribució, aquestes van connectades a la part superior dels guarda-motors podent-ne connectar fins a 5 PKZ diferents en el

model mes gran. Les barres connecten les fases equivalents de cada un dels guarda-motors, simplificant el muntatge i estilitzant el resultat final. Aquestes barres necessiten un borner extra, com el que es pot veure a la figura 34, per a l'entrada de tensió a cada una de les fases.



Figura 32 Imatge GV2AF3

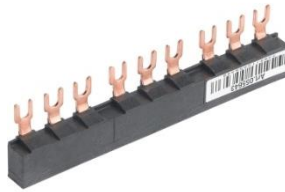


Figura 33 Imatge GV2G345



Figura 34 Imatge GV1G09

5.1.3 PLC, Targetes E/S i HMI

- PLC

El TM241CE40T és un PLC de la marca Schneider. Aquest controlador lògic proporciona 24 entrades i 16 sortides de transistor PNP. És un controlador lògic amb un voltatge d'alimentació / sortida nominal de 24 VDC. Les connexions integrades són port mini USB B, enllaç sèrie no aïllat amb interfície RJ45 i RS232 / RS485 i ethernet amb RJ45. Té 8 MB per al programa, 64 MB per a la memòria RAM del sistema, 128 MB de memòria flaix incorporada per a la còpia de seguretat dels programes d'usuari i una capacitat de memòria de targeta SD de 16 GB.



Figura 35 Imatge del PLC

- Targeta de entrades

El mòdul TMDI8 és un dels mòduls de expansió compatibles amb la gamma de PLC M241. Aquests mòduls van connectats pels laterals del controlador lògic i queden compactats de tal manera que el conjunt sembla un únic element. Aquest mòdul d'entrades proporciona 8 entrades. És un mòdul d'entrada amb un voltatge d'entrada de 24 VDC i un consum de corrent de 24. Està equipat amb un terminal de caragol extraïble i intercanviable.



Figura 36 Imatge TMDI8

- Targeta de sortides

Igual que l'anterior targeta, TM3DQ16TK és un dels mòduls d'expansió compatibles amb la gamma de PLC M241. Proporciona 16 sortides de transistor amb lògica positiva. És un mòdul amb una tensió de sortida de 24 VCC i un consum de corrent de 20 mA. Les seves sortides han d'anar connectades a un connector especial que les comunicarà amb un altre mòdul compatible amb el connector. Aquest connector es un cable anomenat ABFT20E100.



Figura 37 Imatge TM3DQ16TK

- **Bloc de relés**

El bloc de relés ABE7R16T111 és compatible amb la targeta de sortides anterior. Consta de 16 relés que funcionen com a sortides amb bobines de 24 VCC i suporten un voltatge fins a 240 VAC en els contactes.



Figura 38 Imatge ABE7R16T111

- **HMI**

L'HMISTU855 compta amb una pantalla tàctil petita. S'alimenta amb 24 VCC, té una pantalla de color de 5,7 polzades amb 320 x 240 píxels i 32 MB d'EPROM. També inclou ports USB: 1 host + 1 mini-B, 1 port RS232C / RS485 i 1 port Ethernet TCP/IP. Gràcies a la seva fixació amb un orifici de 22 mm de diàmetre, no és necessari cap encunyació rectangular en el panell.



Figura 39 Imatge de l'HMI

5.1.4 Emergència

- **Relé d'emergència**

PNOZ X2.8P (777301) és un relé d'emergència de la marca Pilz. Compta amb 3 contactes que es mantenen oberts quan es considera que hi ha una emergència i es troben tancats en funcionament normal, a part d'un altre de funcionament contrari.



Figura 40 Imatge del relé de emergència

El seu circuit de control s'alimenta a 24 VCC i disposa de diversos pins que segons estiguin connectats es poden aconseguir diferents funcionalitats del relé. Les diferents funcionalitats del relé i com s'hauria de connectar per a obtenir-les es pot observar a l'annex 3.

- **Seta d'emergència**

XB4BS8444 es una seta de emergència amb desbloqueig de gir amb dos contactes NC.



Figura 41 Imatge de la seta de emergència

5.1.5 Miscel·lània

- **Repartidor**

Distribuïdor per a quatre fases (R, S, T i neutre) amb un orifici per a l'entrada de 25 mm² per cada una d'elles. Cada una de les quatre barres del repartidor té 11 orificis per a la sortida de cables de màxim 16 mm².



Figura 42 Imatge del repartidor

- **Relés**

Al projecte hi ha dos tipus de relés, els de doble contacte i els de simple. Els dos models són de Weidmüller i de la mateixa gamma. Són relés de bobines de 24 VDC i que permeten fins a 250 VAC i 5 A als contactes. El model d'un contacte és DRI314024LTD i el de contacte doble DRI424024LTD. Els relés necessiten una base amb bornes per a poder connectar els cables que són SDI 2CO per a dos contactes i SDI 1CO per a un contacte.



Figura 43 Imatge del relé

- **Balisa**

RALSR0 es una balisa de la marca Rodman de color taronja i amb alarma sonora. Funciona amb un voltatge de 230 VAC i consumeix 5 W.



Figura 44 Imatge de la balisa

- **Bornes**

Un dels elements més importants de l'armari són els bornes, necessaris per a facilitar la connexió de tots els elements externs un cop instal·lat a camp.

Les bornes triades són de la marca Weidmüller i hi ha dos tipus bàsics, les normals i les de terra. A part d'aquesta variació també podem trobar diverses mides de bornes depenent de la secció del cable que ha d'anar-hi connectat. A la taula 9 es pot veure els diferents models de bornes i la quantitat utilitzada en la construcció del quadre. A les figures 45 i 46 es poden veure imatges dels models de màxim 6 mm² de la borne normal i de terra respectivament.



Figura 45 Imatge de borne normal



Figura 46 Imatge de borne de terra

Model	Secció màx (mm ²)	Tipus	Quantitat
1020000000	2,5	Normal/Gris	75
1010000000	2,5	Terra	12
1020200000	6	Normal/Gris	6
1010200000	6	Terra	1
1020500000	35	Normal/Gris	4
1010500000	35	Terra	1

Taula 9 Taula de bornes

5.1.6 Mecànica

Un cop establerts els components corresponents a cada un dels elements de l'esquema elèctric, només queda un pas per a començar a muntar l'armari, escollir el model del mateix armari i els seus accessoris. Prèviament a triar-la, es fa un petit croquis inicial de com aniran col·locats els components, així es pot tindre una idea de les dimensions necessàries de l'armari.

- Armari

NSYSM20840P és un armari de 2 m d'altura, 80 cm de llarg i 40 cm de profunditat. Inclou la placa passa-cables inferior i la placa de muntatge de 1886x285 mm de superfície útil.



Figura 47 Imatge de l'armari

- Sòcol

Tot armari elèctric necessita un sòcol, els models compatibles amb l'armari són NSYSPF8200 i NSYSPF8100, sent el primer lateral i el segon frontal. Es muntaran els dos, ja que es triarà a la instal·lació de camp per on han d'entrar els cables.

- Rails DIN i canaletes

La placa de muntatge necessita mecanitzar-se prèviament per a la col·locació dels components elèctrics i cables. El raíl DIN triat és el Weidmüller 0383400000. Les canaletes són de la marca Unex, de quatre mides diferents 60.40.77 (60x40 mm), 80.60.77 (80x60 mm) i 80.80.77 (80x80 mm).

5.1.7 Etiquetat

Per a facilitar la instal·lació i el manteniment de l'armari s'han d'etiquetar correctament tots els components. Amb una dymo s'imprimiran adhesius que marcaran cada un dels components, però les bornes i els cables necessiten accessoris.

Per a etiquetar un grup de bornes es col·loca un separador com el de la figura 48 a sobre del grup, el qual tindrà col·locat una etiqueta com la de la figura 49 amb un adhesiu de la dymo.

Per a etiquetar els cables s'utilitzaran les etiquetadores unex com els de la figura 50, que van impresos amb un número o lletra i col·locant-ne més d'un s'escriu la referència necessària.



Figura 48 Imatge de 249-116



Figura 49 Imatge de 249-119



Figura 50 Imatge de números Unex

5.2 Muntatge del Quadre

Un cop triats tots els components ja només queda assemblejar-los tots junts. Prèviament, per a no anar a cegues durant la construcció, es dissenya un model en 3D de l'armari. Es poden observar els plànols 2D extrets d'aquest model a l'apartat 13, pàg. 94.

5.2.1 Descripció de les Eines

Per a la construcció de l'armari fan falta les següents eines:

- **Trepant:** És necessari un trepant per a perforar la porta i la placa de muntatge. Al trepant s'utilitza amb una corona de 22 mm de diàmetre per als forats de la pantalla i la seta d'emergència. Per a perforar la placa de muntatge i també els carrils DIN fa falta una broca del diàmetre necessari per als reblons usats per a fixar els carrils DIN i canaletes.
- **Rebladora (Remachadora en castellà):** És necessari per a poder col·locar els reblons que fixen els carrils DIN i les canaletes a la placa de muntatge.
- **Pelacables automàtic:** Com el seu nom indica, eina per a pelar cables, al ser automàtic accelera molt la feina.
- **Premsaterminals:** Eina per a premsar els terminals als cables i que quedin fixats.
- **Alicates de tall:** Alicates usades per a tallar els cables.
- **Tornavisos:** Joc de tornavisos de diverses mides per a poder caragolar els terminals dels components correctament.

5.2.2 Metodologia i Ordre de Muntatge

Aquests són els passos seguits per a la construcció de l'armari:

- **Perforar la porta i col·locar la balisa**

Realitzar les dues perforacions de 22 mm de diàmetre necessàries a la porta. Perforar amb la broca els orificis necessaris per a fixar la balisa i passar els cables necessaris a l'exterior.

- **Col·locar els raïls DIN i les canaletes a la placa de muntatge**

Amb la placa desmuntada i en horitzontal, tallar les canaletes a la mida necessària i col·locar-les a la placa de muntatge de la manera que està dibuixada en els esquemes del disseny de l'armari. Les canaletes ja venen perforades, amb la broca i el trepant perforar la placa de muntatge coincidint amb els forats de les canaletes. Un cop perforada la placa de muntatge col·locar un rebló i fixar-lo amb la rebladora. Col·locar els reblons necessaris perquè cada una de les peces de canaleta quedi ben fixada a la placa. Un cop fixades totes, repetir el procediment amb els raïls DIN. Aquests no venen perforats pel que s'hauran de perforar prèviament amb la broca.

- **Col·locar la placa de muntatge a l'armari**

Alçar-la verticalment i col·locar-la a dins de l'armari ficant-la amb els caragols que venen amb l'armari.

- **Col·locar els components elèctrics**

Col·locar els components elèctrics als raïls DIN tal com es mostra als dissenys previs. Col·locar l'HMI i la seta d'emergència a la porta.

- **Cablejar**

Cablejar, seguint l'esquema elèctric, tots els components. Tots els cables s'han de pelar amb el pelacables (a excepció dels de més de 10 mm² que es pelen amb les alicates) i seguidament col·locar un terminal i premsar-lo. A més, etiquetar tots els cables que van als bornes d'entrada del quadre amb les etiquetadores Unex.

- **Detalls finals**

Etiquetar tots els components amb els adhesius de la dymo, tapar les canaletes i amb brides i macarrons passacables organitzar els cables que puguin haver quedat per fora.

5.3 Verificacions del Correcte Funcionament del Quadre

El procediment triat per a comprovar el funcionament és molt senzill. El programari Machine Expert (explicat al següent apartat) té una opció de simulació on es pot llegir les entrades i modificar les sortides de PLC a temps real. Es pot verificar l'armari utilitzant aquesta eina.

Es connecta l'armari a una font trifàsica i es connecta el PLC a un portàtil amb el Machine Expert en mode simulació. Es comprova una per una les sortides, activant-les per simulació i comprovant que es produeix la reacció esperada. Per exemple, la sortida de la balisa és molt senzilla, si s'activa la balisa és que està tot ben cablejat. En altres sortides (motors) no és tan senzill i s'ha de mesurar amb un multímetre que a les bornes de sortida arriben 400 V entre cada fase.

Amb les entrades del PLC es realitza un procediment similar. A les bornes d'entrada es crea un pont amb un cable, similar al que crearia un sensor de contacte NC, i es comprova que a la simulació es donin valors correctes en posar el pont i en treure'l.

Si es detecta algun error, es comprova que tots els cables pertanyents a l'error trobat estiguin ben caragolats, si l'error persisteix, amb un multímetre en mode de detecció de curtcircuits i, seguint l'esquema, es van timbrant les connexions relacionades amb l'error fins a trobar el cable erroni.

6 Programa PLC

6.1 Descripció del Software Machine Expert

Machine Expert és un programari de Schneider Electric dissenyat per a la programació i configuració de PLCs. Aquesta eina proporciona un entorn de desenvolupament integrat que permet als enginyers i tècnics crear aplicacions de control industrial de manera eficient. Algunes de les funcionalitats destacades d'aquest software inclouen:

- **Suport Multi-Plataforma:** Machine Expert és compatible amb diferents PLCs de Schneider Electric, incloent-hi el TM241 utilitzat en aquest treball.
- **Biblioteca de Blocs de Funcions:** Amb una extensa biblioteca de blocs de funcions predefinitos, els usuaris poden accelerar el desenvolupament de programes, ja que no han de construir tot des de zero. Aquesta característica és especialment útil per a tasques recurrents.
- **Simulació Integrada:** Machine Expert permet simular el comportament del programa abans de carregar-lo al PLC. Això ajuda a identificar i corregir errors sense afectar el sistema en temps real.
- **Connectivitat i Compatibilitat:** El software ofereix suport per a diferents protocols de comunicació industrial, facilitant la integració amb altres dispositius i sistemes.

6.2 Configuració de Xarxes

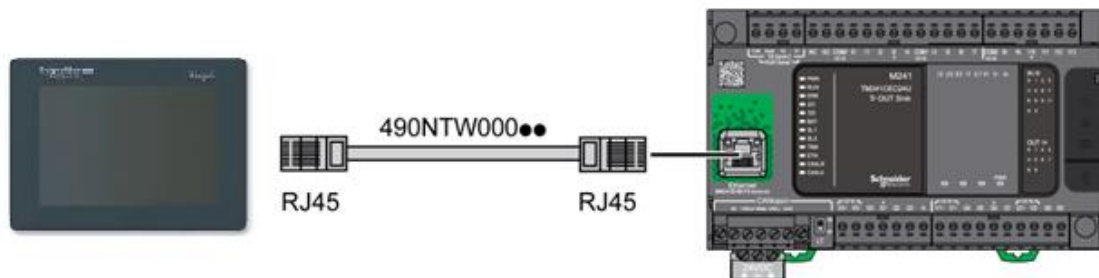


Figura 51 Esquema de comunicació PLC-HMI

El primer pas a realitzar prèviament a la programació del PLC és establir les comunicacions d'aquest. En aquest projecte trobem la possibilitat més senzilla, ja que el PLC només ha de comunicar-se amb l'HMI amb un cable Ethernet.

Per a configurar el PLC correctament, Machine Expert demana tres paràmetres:

- **IP del PLC:** 10.10.139.78
- **Màscara de subxarxa:** 255.255.255.0
- **Gateway:** 0.0.0.0

El valor de la gateway és el valor per defecte, no vol dir que sigui la indicada. En aquest cas, com que no hi ha cap connexió remota no és necessari especificar-la.

Tot i que no es fa des de Machine Expert també és necessari especificar els mateixos paràmetres per a l'HMI el qual té la mateixa màscara de subxarxa i la mateixa gateway. La

IP de l'HMI és 10.10.139.40, sent els tres primers números iguals al PLC perquè estiguin dins de la mateixa subxarxa.

6.3 Llistat de Entrades, Sortides i Variables Globals

A les figures 52, 53, 54 i 55 es troba el llistat de les variables assignades a les entrades i sortides del PLC. Les variables corresponents a entrades comencen per ix i les corresponents a les sortides per qx.

ixV1_M1		I0
ixV1_M2		I1
ixG3		I2
ixG9		I3
ixG10		I4
ixA2		I5
ixA4		I6
ixA14		I7
ixA8		I8
ixT11		I9
ixT12		I10
ixA13		I11
ixE6		I12
ixV1_SC1		I13
ixV1_SO1		I14
ixV1_SC2		I15
ixV1_SO2		I16
ixG3_SC		I17
ixG3_SO		I18
ixG9_SC		I19
ixG9_SO		I20
ixG10_SC		I21
ixG10_SO		I22
		I23

Figura 52 Variables de entrada TM241

ixLH1		I0
ixLH2		I1
ixLH3		I2
		I3
ixPE		I4
		I5
		I6
		I7

Figura 54 Variables de entrada TM3D18

		Q0
qxA13a		Q1
qxA13b		Q2
		Q3
		Q4
qxE6		Q5
		Q6
		Q7
		Q8
qxG7a		Q9
qxG7b		Q10
qxRST_PE		Q11
qxBaliza		Q12
		Q13
		Q14
		Q15

Figura 53 Variables de sortida TM241

qxV1_M1a		Q0
qxV1_M1b		Q1
qxV1_M2a		Q2
qxV1_M2b		Q3
qxG3a		Q4
qxG3b		Q5
qxG9a		Q6
qxG9b		Q7
qxG10a		Q8
qxG10b		Q9
qxA2		Q10
qxA4		Q11
qxA14		Q12
qxA8		Q13
qxT11		Q14
qxT12		Q15

Figura 55 Variables de sortida TM3DQ16TK

A continuació, es mostren les variables globals del programa, aquestes no només són globals per al PLC, sinó que també són accessibles per al HMI. No només això, sinó que aquestes variables és l'única via de comunicació entre els dos components.

```

//Sequencias
//Sequencia 1
a_iseq1:    BOOL;
a_pseq1:    BOOL;
seq1_ini:   BOOL;
seq1_act:   BOOL;
seq1_par:   BOOL;
seq1_PKZ:   BOOL;
//Sequencia 2
a_iseq2:    BOOL;
a_pseq2:    BOOL;
seq2_ini:   BOOL;
seq2_act:   BOOL;
seq2_par:   BOOL;
seq2_PKZ:   BOOL;
//Sequencia 3
a_iseq3:    BOOL;
a_pseq3:    BOOL;
seq3_ini:   BOOL;
seq3_act:   BOOL;
seq3_par:   BOOL;
seq3_PKZ:   BOOL;
//Sequencia 4
a_iseq4:    BOOL;
a_pseq4:    BOOL;
seq4_ini:   BOOL;
seq4_act:   BOOL;
seq4_par:   BOOL;
seq4_PKZ:   BOOL;
//Sequencia 5
a_iseq5:    BOOL;
a_pseq5:    BOOL;
seq5_ini:   BOOL;
seq5_act:   BOOL;
seq5_par:   BOOL;
seq5_PKZ:   BOOL;
//Sequencia 6
a_iseq6:    BOOL;
a_pseq6:    BOOL;
seq6_ini:   BOOL;
seq6_act:   BOOL;
seq6_par:   BOOL;
seq6_PKZ:   BOOL;
//Sequencia 7
a_iseq7:    BOOL;
a_pseq7:    BOOL;
seq7_ini:   BOOL;
seq7_act:   BOOL;
seq7_par:   BOOL;
seq7_PKZ:   BOOL;
//Sequencia 8
a_iseq8:    BOOL;
a_pseq8:    BOOL;
seq8_:      BOOL;
seq8_ini:   BOOL;
seq8_act:   BOOL;
seq8_par:   BOOL;
seq8_PKZ:   BOOL;
seq8_dr:    BOOL;
seq8_iz:    BOOL;

//all
on:          BOOL;
b_man:      BOOL;
man:        BOOL;
aut:        BOOL;
tiempo:     TIME:=T#10S;

//A2
b_A2_M:     BOOL;
b_A2_P:     BOOL;
A2_OK:      BOOL;
A2_ON:      BOOL;
A2_FGM:     BOOL;
//G3
b_G3_A:     BOOL;
b_G3_C:     BOOL;
b_G3_P:     BOOL;
G3_OK:      BOOL;
G3_ON:      BOOL;
G3_ON_norm: BOOL;
G3_ON_inv:  BOOL;
G3_abierto: BOOL;
G3_cerrado: BOOL;
G3_FGM:     BOOL;
//A4
b_A4_M:     BOOL;
b_A4_P:     BOOL;
A4_OK:      BOOL;
A4_ON:      BOOL;
A4_FGM:     BOOL;
//G7
b_G7_A:     BOOL;
b_G7_C:     BOOL;
b_G7_P:     BOOL;
G7_ON:      BOOL;
G7_ON_norm: BOOL;
G7_ON_inv:  BOOL;
G7_abierto: BOOL;
G7_cerrado: BOOL;
G7_FGM:     BOOL;
//A8
b_A8_M:     BOOL;
b_A8_P:     BOOL;
A8_OK:      BOOL;
A8_ON:      BOOL;
A8_FGM:     BOOL;
//E6
b_E6_M:     BOOL;
b_E6_P:     BOOL;
E6_OK:      BOOL;
E6_ON:      BOOL;
E6_FGM:     BOOL;
//G9
b_G9_A:     BOOL;
b_G9_C:     BOOL;
b_G9_P:     BOOL;
G9_OK:      BOOL;
G9_ON:      BOOL;
G9_ON_norm: BOOL;
G9_ON_inv:  BOOL;
G9_abierto: BOOL;
G9_cerrado: BOOL;
G9_FGM:     BOOL;

//Valvula_3v
a_via:      INT;
via_V1:     INT;
//Emergencia
b_rst_pe:   BOOL;
PE:         BOOL;
//Sensores
SIL1_H:     BOOL;
SIL2_H:     BOOL;
SEC_H:      BOOL;
almr_sens:  BOOL;
fallo_sens: BOOL;
//Termicos
almr_term:  BOOL;
fallo_term: BOOL;
//V1_M1
b_V1_M1_A:  BOOL;
b_V1_M1_C:  BOOL;
b_V1_M1_P:  BOOL;
V1_M1_OK:   BOOL;
V1_M1_ON:   BOOL;
V1_M1_ON_norm: BOOL;
V1_M1_ON_inv:  BOOL;
V1_M1_abierto:  BOOL;
V1_M1_cerrado:  BOOL;
V1_M1_FGM:     BOOL;
//V1_M2
b_V1_M2_A:  BOOL;
b_V1_M2_C:  BOOL;
b_V1_M2_P:  BOOL;
V1_M2_OK:   BOOL;
V1_M2_ON:   BOOL;
V1_M2_ON_norm:  BOOL;
V1_M2_ON_inv:  BOOL;
V1_M2_abierto:  BOOL;
V1_M2_cerrado:  BOOL;
V1_M2_FGM:     BOOL;

//A2
b_A2_M:     BOOL;
b_A2_P:     BOOL;
A2_OK:      BOOL;
A2_ON:      BOOL;
A2_FGM:     BOOL;
//G3
b_G3_A:     BOOL;
b_G3_C:     BOOL;
b_G3_P:     BOOL;
G3_OK:      BOOL;
G3_ON:      BOOL;
G3_ON_norm: BOOL;
G3_ON_inv:  BOOL;
G3_abierto: BOOL;
G3_cerrado: BOOL;
G3_FGM:     BOOL;
//A4
b_A4_M:     BOOL;
b_A4_P:     BOOL;
A4_OK:      BOOL;
A4_ON:      BOOL;
A4_FGM:     BOOL;
//G7
b_G7_A:     BOOL;
b_G7_C:     BOOL;
b_G7_P:     BOOL;
G7_ON:      BOOL;
G7_ON_norm: BOOL;
G7_ON_inv:  BOOL;
G7_abierto: BOOL;
G7_cerrado: BOOL;
G7_FGM:     BOOL;
//A8
b_A8_M:     BOOL;
b_A8_P:     BOOL;
A8_OK:      BOOL;
A8_ON:      BOOL;
A8_FGM:     BOOL;
//E6
b_E6_M:     BOOL;
b_E6_P:     BOOL;
E6_OK:      BOOL;
E6_ON:      BOOL;
E6_FGM:     BOOL;
//G9
b_G9_A:     BOOL;
b_G9_C:     BOOL;
b_G9_P:     BOOL;
G9_OK:      BOOL;
G9_ON:      BOOL;
G9_ON_norm: BOOL;
G9_ON_inv:  BOOL;
G9_abierto: BOOL;
G9_cerrado: BOOL;
G9_FGM:     BOOL;

//G10
b_G10_A:    BOOL;
b_G10_C:    BOOL;
b_G10_P:    BOOL;
G10_OK:     BOOL;
G10_ON:     BOOL;
G10_ON_norm:  BOOL;
G10_ON_inv:  BOOL;
G10_abierto:  BOOL;
G10_cerrado:  BOOL;
//T11
b_T11_M:    BOOL;
b_T11_P:    BOOL;
T11_OK:     BOOL;
T11_ON:     BOOL;
T11_FGM:    BOOL;
//T12
b_T12_M:    BOOL;
b_T12_P:    BOOL;
T12_OK:     BOOL;
T12_ON:     BOOL;
T12_FGM:    BOOL;
//A13
b_A13_M:    BOOL;
b_A13_MI:   BOOL;
b_A13_P:    BOOL;
A13_OK:     BOOL;
A13_ON:     BOOL;
A13_ON_norm:  BOOL;
A13_ON_inv:  BOOL;
A13_FGM:    BOOL;
//A14
b_A14_M:    BOOL;
b_A14_P:    BOOL;
A14_OK:     BOOL;
A14_ON:     BOOL;
A14_FGM:    BOOL;

```

Figura 56 Variables globals

6.4 Estil de Programació i Estructura General

El programa està realitzat amb un estil molt estructurat i dividit en diverses pàgines i blocs de funcions. Tot i haver-hi un GRAFCET principal, la gran majoria d'accions estan fetes per seccions de codi secundàries.

Aquest GRAFCET¹¹ parteix d'un inici on s'ha de triar entre manual i automàtic. Un cop entrat en un dels modes l'altre és inaccessible. El mode manual no executa res, sinó que habilita l'activació manual dels motors en establir en TRUE la variable "man". El mode automàtic, en canvi, té les seqüències que modifiquen les variables de control de motors. En cap dels dos modes es modifica cap sortida o es llegeix mai cap entrada, ja que aquestes es tracten als blocs de funcions. El GRAFCET només activa variables internes.

Els blocs de funcions i altres trossos de codi es divideixen en aquestes pàgines:

- Control d'emergència
- Control de motors
- Control de raseres
- Control de vàlvules
- Fallo PKZ seqüències
- On_Off
- Sensors
- Sirena
- PKZs

6.4.1 Control de Emergència

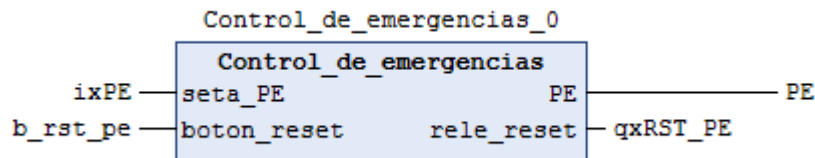


Figura 57 Control de emergència

A la figura 57 es pot veure el bloc de funcions que gestiona l'estat d'emergència del sistema. Té com a entrades la seta d'emergència (ixPE) i un botó de reset d'emergència (b_rst_pe) que es troba al HMI. Les sortides del bloc són una variable que indica l'estat de l'emergència (PE) i el relé de restabliment d'emergència (qxRST_PE).

A la figura 58 es veu el codi del bloc de funció en esquema de contactes. En essència és un biestable, on PE passa a FALSE quan REARME i seta_PE és TRUE i passa a TRUE quan seta_PE es FALSE. Rele_reset és igual a REARME perquè s'ha d'activar el relé d'emergència quan es realitzi un restabliment d'emergència.

El tercer segment consta d'un timer que allarga el pols de l'entrada boton_reset, ja que el pols que es genera des de l'HMI és massa curt per a poder activar el relé d'emergència. També es

¹¹ Aquest GRAFCET es pot observar a l'apartat 6.5, figura 76, pàg. 49.

genera un pols inicial per a no haver de prémer el restabliment d'emergència cada cop que s'encén el PLC.

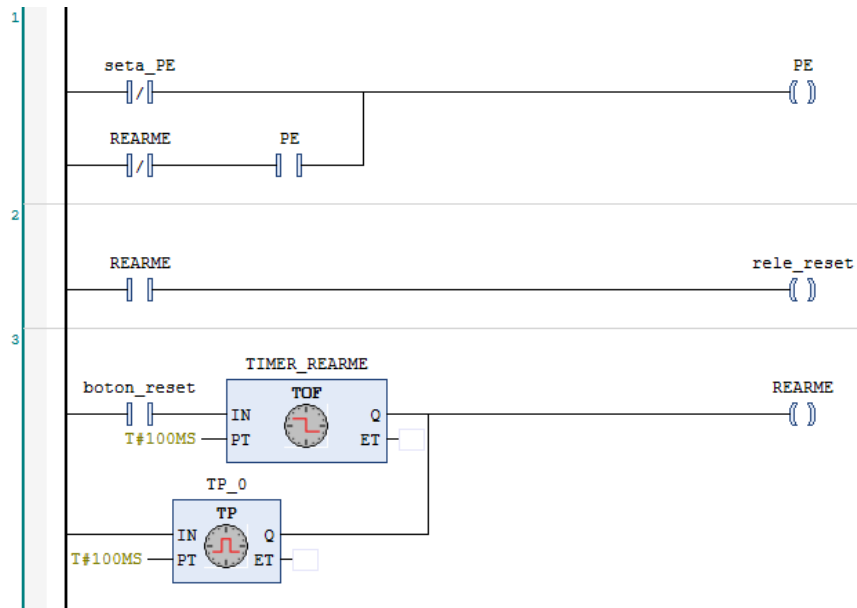


Figura 58 Control de emergència FB

6.4.2 Control de Motors

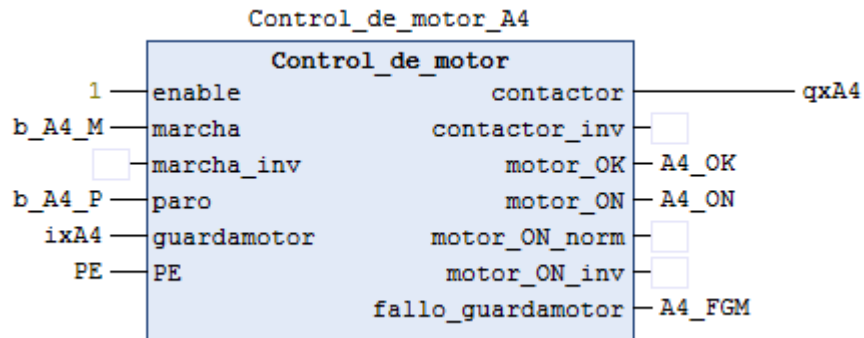


Figura 59 Control de motor

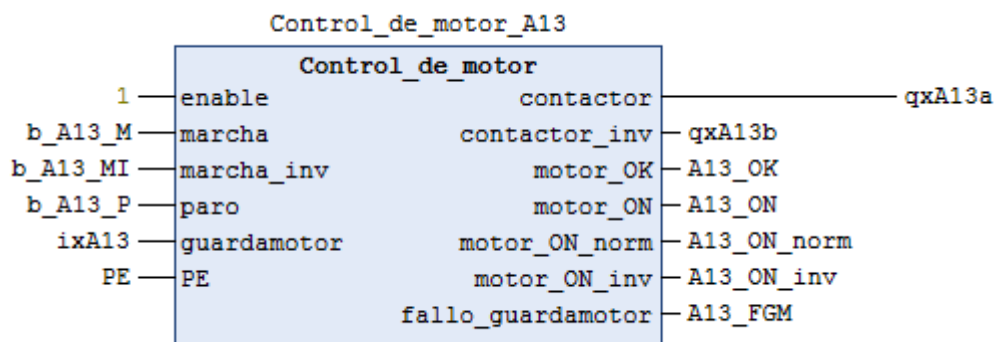


Figura 60 Control de motor invertit

A la figura 60 es pot veure un bloc de control de motor. Les seves entrades són un enable (que està sempre en TRUE), un botó de marxa (b_A13_M), un botó de marxa inversa (b_A13_MI), un botó d'aturada (b_A13_P), l'entrada del PKZ (ixA13) i l'estat de

l'emergència (PE). Com a sortides té el contactor de marxa normal (qxA13a), el contactor de marxa invertida (qxA13b), una variable que indica si el motor funciona correctament (A13_OK), una variable que indica si el motor està encès (A13_ON), una variable que indica si el motor està en marxa normal (A13_ON_norm), una variable que indica si el motor està en marxa inversa (A13_ON_inv) i una variable que indica que hi ha un error del guardamotor (A13_FGM).

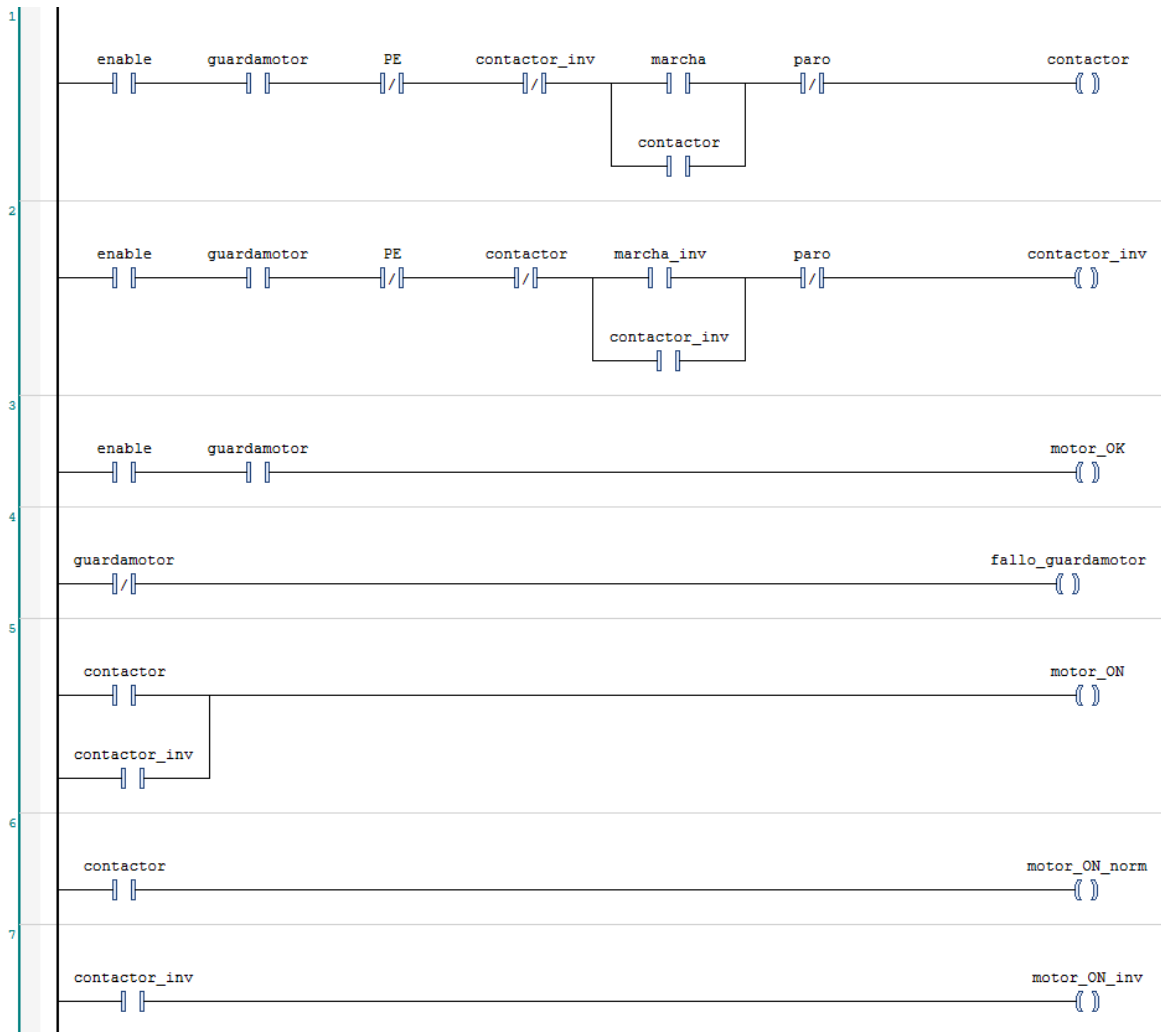


Figura 61 Control de motor FB

A la figura 61 es veu el codi del bloc de funció. Els dos contactors són dos biestables que s'activa en polsar marxa i es desactiva en polsar aturada o si s'activa qualsevol error o incompatibilitat. La resta de segments són assignacions per a les variables d'estat del bloc.

Tots els motors sense final de carrera es governen amb aquest bloc de funcions, un per a cada un. Pels motors que tenen només un sentit de gir simplement no s'assignen variables a les entrades i sortides relacionades amb la inversió, tal com es veu a la figura 59.

6.4.3 Control de Raseres

A la figura 62 es pot veure un bloc de control de motor amb final de carrera. És igual que el de control de motor però amb petits canvis. Té dues entrades extra, la del sensor d'obert

(ixG3_SO) i la del sensor de tancat (ixG3_SC), i dues sortides extra, una variable que indica que la rasera està oberta (G3_abierto) i una variable que indica que la rasera està tancada (G3_cerrado).

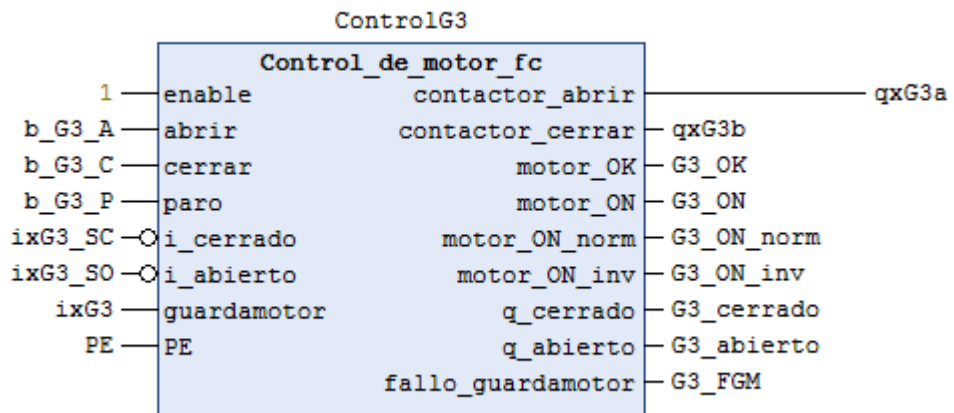


Figura 62 Control de motor amb final de carrera

A la figura 63 es veu un tros del codi del bloc de funció. Només és la part que varia respecte al bloc de motor anterior. Un contactor es desactiva quan es detecta que la rasera està oberta i l'altre contactor es desactiva quan està tancada. A part s'han afegit les assignacions de les variables d'estat d'obert i tancat.

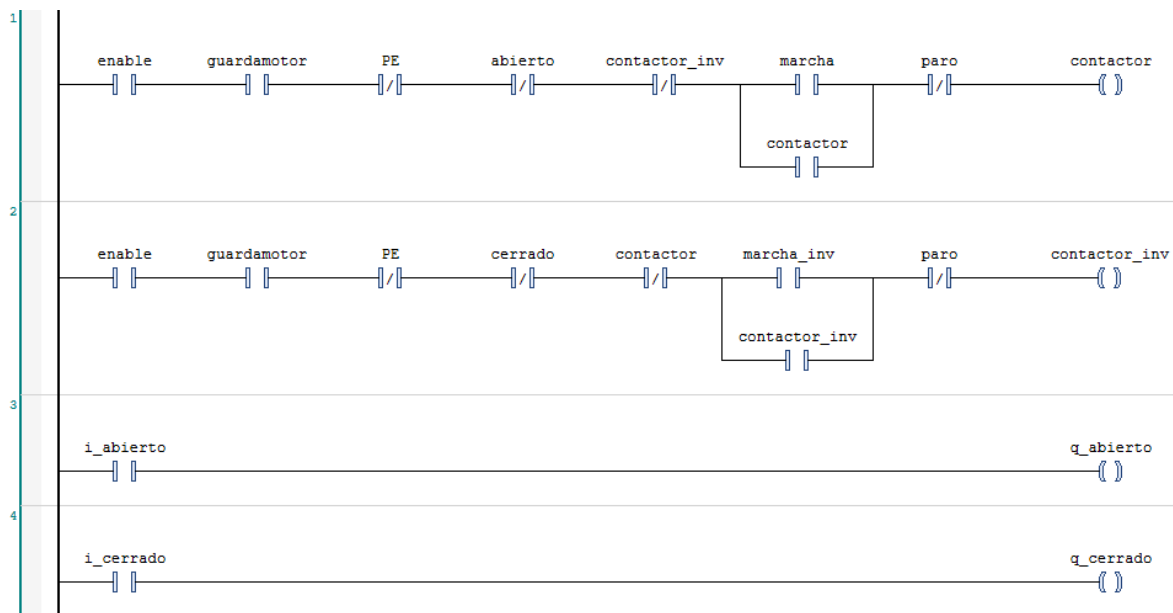


Figura 63 Control de motor amb final de carrera FB

A la figura 64 es veu el bloc de motor per a l'actuador de G7. Com que no hi ha guardamotor no hi ha entrada ni sortida per a aquest, tampoc compta les entrades de sensor d'obert o tancat perquè no en té. Compta amb una entrada de temps perquè al no tindre sensors es controla per temps.

A la figura 65 es veu el codi del bloc de funció, es comporta com el motor amb final de carrera, però sense detenir la marxa quan falla el guardamotor o quan es llegeix un canvi als

sensors. Quan es crida a la marxa comença un comptador que a l'arribar al temps establert es crida a l'acció de parada. Els estats de tancat i obert s'activen quan l'actuador s'ha estat obrint o tancant durant el temps establert.

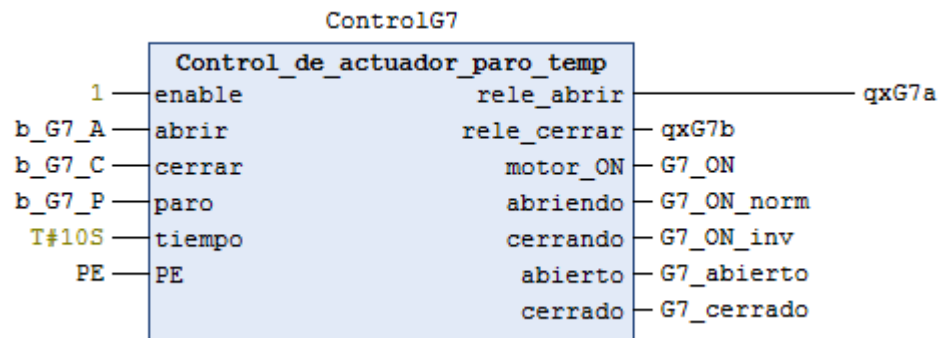


Figura 64 Control de l'actuador

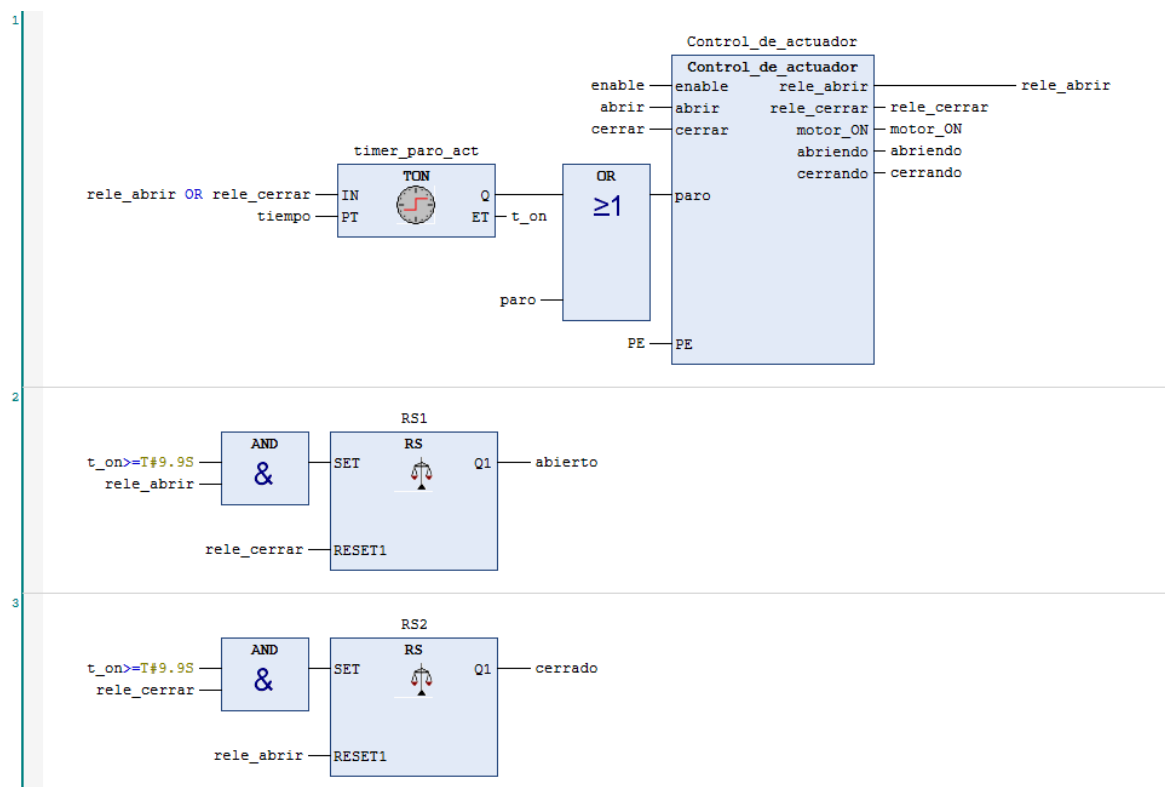


Figura 65 Control de l'actuador FB

6.4.4 Control de Vàlvules

A la figura 66 es pot veure un bloc de vàlvula de tres vies. És igual que el de control de motor però amb petits canvis. Les entrades i sortides són les de dos motors amb final de carrera (Hi ha abrir1, abrir2, cerrar1, cerrar2...), afegint una entrada que determina si s'està executant el mode automàtic o manual (aut) i una entrada que indica la via desitjada (a_via). També s'afegeix una sortida que indica la via actua (via_V1).

El seu funcionament és més complex que la resta de controls de motor. En funcionament manual llegeix les ordres donades pels botons d'obrir, tancar i parar i en funcionament automàtic posiciona els motors de tal manera que la via triada estigui oberta, ignorant els motors. En manual, per a evitar xocs entre les paletes, només es pot obrir una paleta si l'altra es troba tancada.

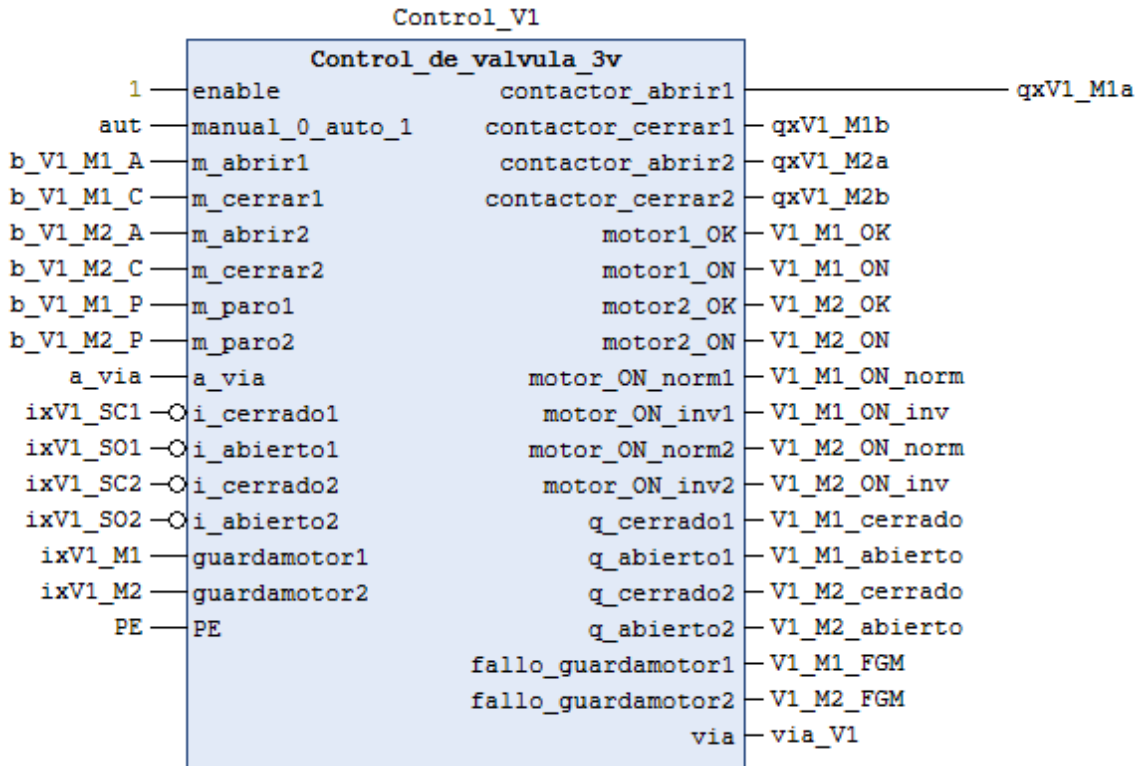


Figura 66 Control de vàlvula 3V

A les figures 67, 68 i 69 es veuen parts del codi del bloc de funció. El codi del bloc, són dos controls de motors amb final de carrera, on s'assignen directament les variables d'entrada i sortida, a excepció de les ordres d'obrir, tancar i parar.

Les entrades van connectades a una porta lògica que segons si s'executa el mode manual o automàtic es tria una acció o un altre. Si és mode manual, se'ls assigna a les accions d'obrir, tancar i parar directament els botons, a excepció de les ordres d'obrir que també té en compte que el sensor de tancat de l'altra paleta estigui activat. Si és automàtic, a obrir i tancar s'assigna un multiplexor que depenent de la via escollida donarà diferents ordres, també tenint en compte que s'ha desparat a tancar una paleta per obrir l'altre. L'ordre d'aturada s'assigna un altre multiplexor que amb l'ajuda d'uns timers s'encarrega d'aturar els motors momentàniament si hi ha un canvi en la via escollida mentre està el sistema engegat.

A la figura 69 es pot observar un tercer segment independent dels blocs de funcions anteriors. És l'encarregat de detectar en quina posició es troba la vàlvula.

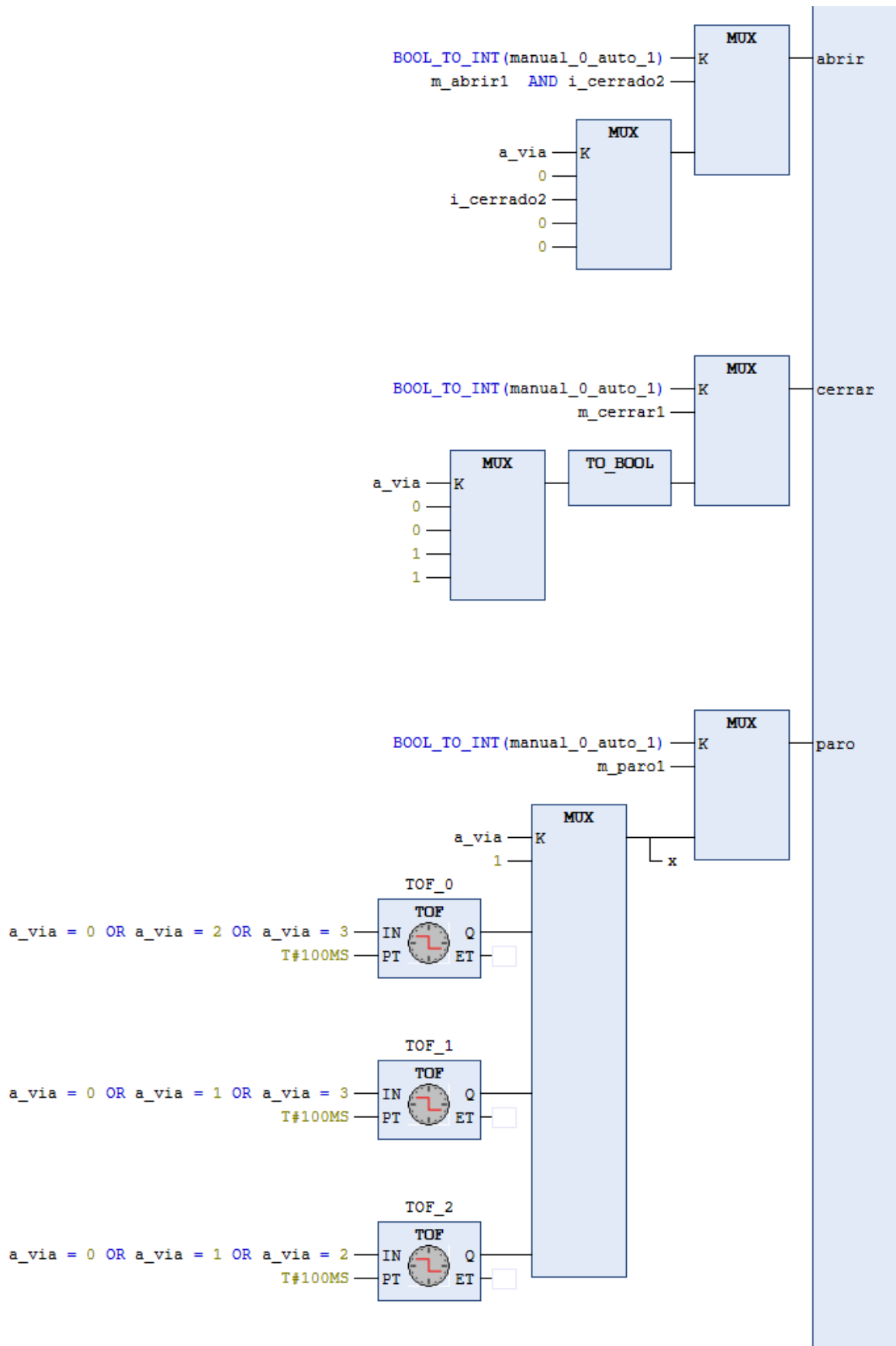


Figura 67 Control de vàlvula 3V FB (1)

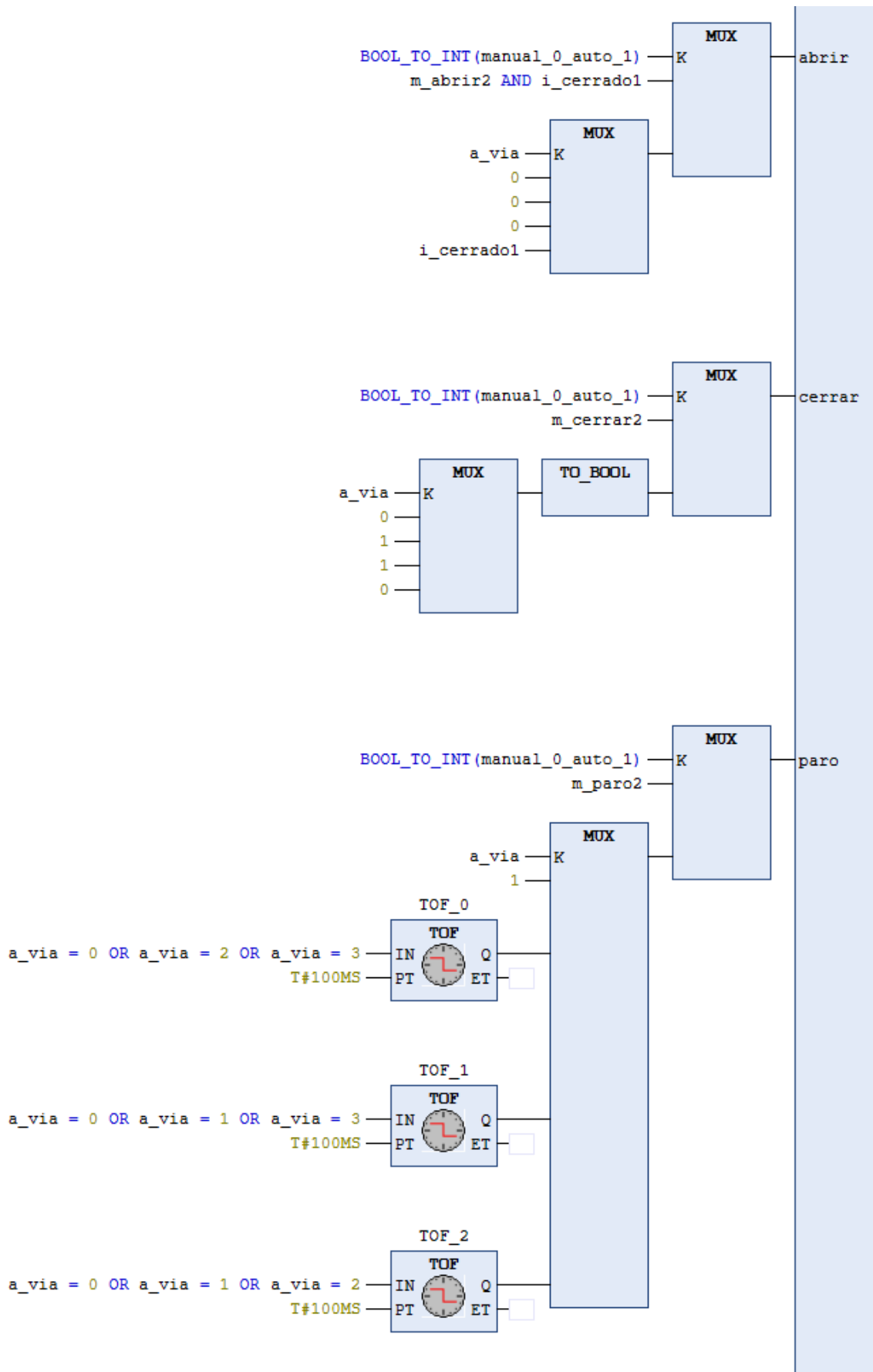


Figura 68 Control de vàlvula 3V FB (2)

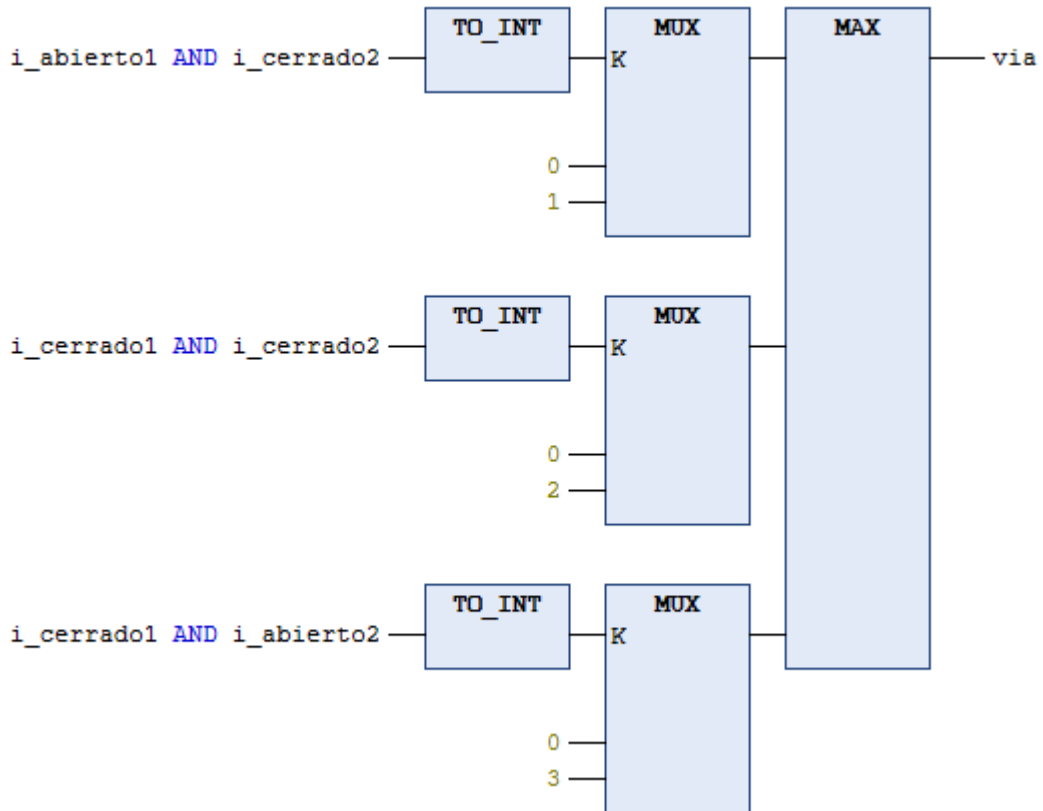


Figura 69 Control de vàlvula 3V FB (3)

6.4.5 Fallo PKZ Seqüències

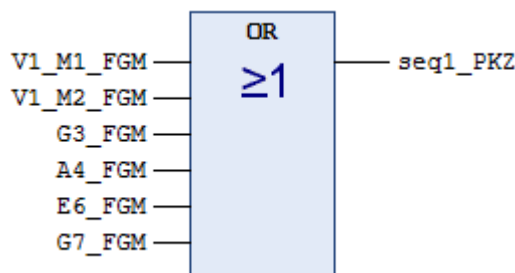


Figura 70 Control de seqüència 1)

Per a cada una de les seqüències¹² es necessita una variable que indiqui si hi ha una caiguda de guarda-motor que afecti cada una d'elles. Per tant, es creen 8 portes lògiques OR per a gestionar aquestes variables. A la figura 70 es pot observar la corresponent a la primera seqüència.

6.4.6 On_Off

A la figura 71 es pot veure una porta lògica OR que té com a sortida la variable “on” que indica si hi ha algun motor de la planta que estigui funcionant.

¹² La descripció de les seqüències es troba a l'apartat 6.5, pàg. 48.

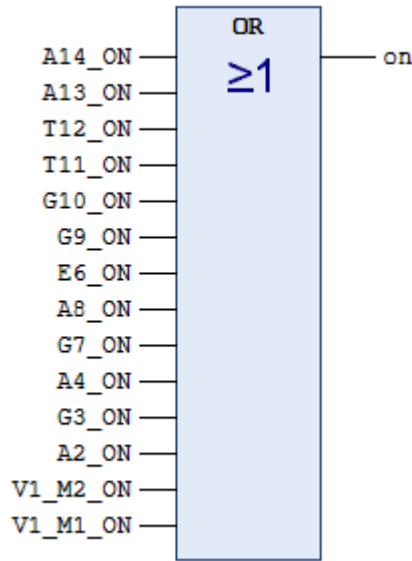


Figura 71 On_Off

6.4.7 Balisa

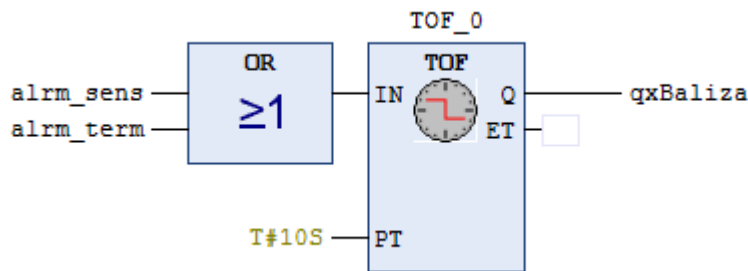


Figura 72 Balisa

A la figura 72 es pot observar el codi relacionat amb la balisa, cada cop que es detecta una sitja plena o un error dels tèrmics (el qual s'informa en forma d'un pols positiu de 150 ms a les variables alrm_sens o alrm_term) s'encén la balisa durant 10 segons.

6.4.8 Sensors

A la figura 73 s'observa el codi relacionat amb els sensors de nivell.

Als tres primers segments s'assigna cada una de les entrades dels sensors a una variable global, sent aquesta la negació de la lectura perquè el contacte del sensor és NC i la variable global ha de ser TRUE quan la sitja estigui plena.

Al quart segment trobem una OR que quan algun dels sensors està detectant la sitja plena dona valor TRUE a la variable fallo_sens.

Al cinquè i últim segment serveix per a generar els pols de 150 ms necessaris per a encendre la balisa si algun sensor de nivell s'activa.

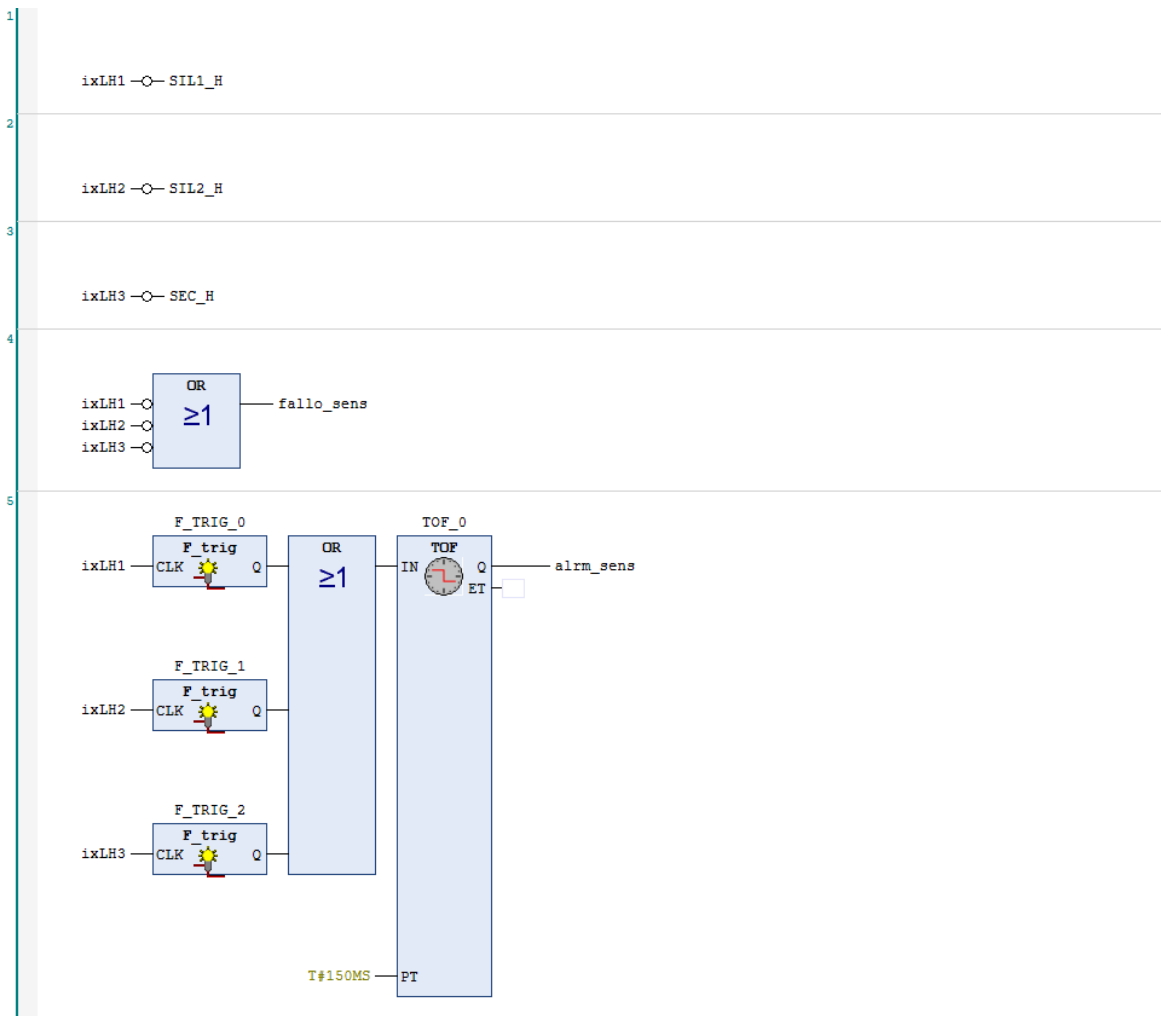


Figura 73 Sensors

6.4.9 PKZs

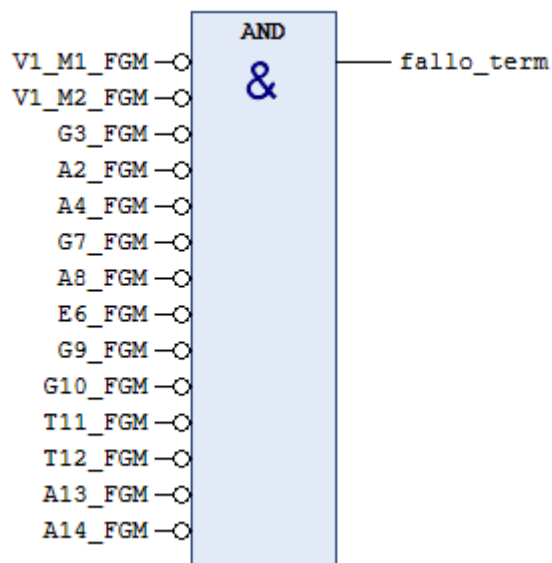


Figura 74 OR PKZs

El codi dels tèrmics és molt similar al dels sensors de nivell. A la figura 74 s'observa l'OR que dona valor a fallo_term i a la figura 75 el codi que genera els pols necessaris per a encendre la balisa si cau un tèrmic. En aquest cas no és necessari assignar les entrades a cap variable global, ja que això ja s'ha fet als blocs de control de motor.

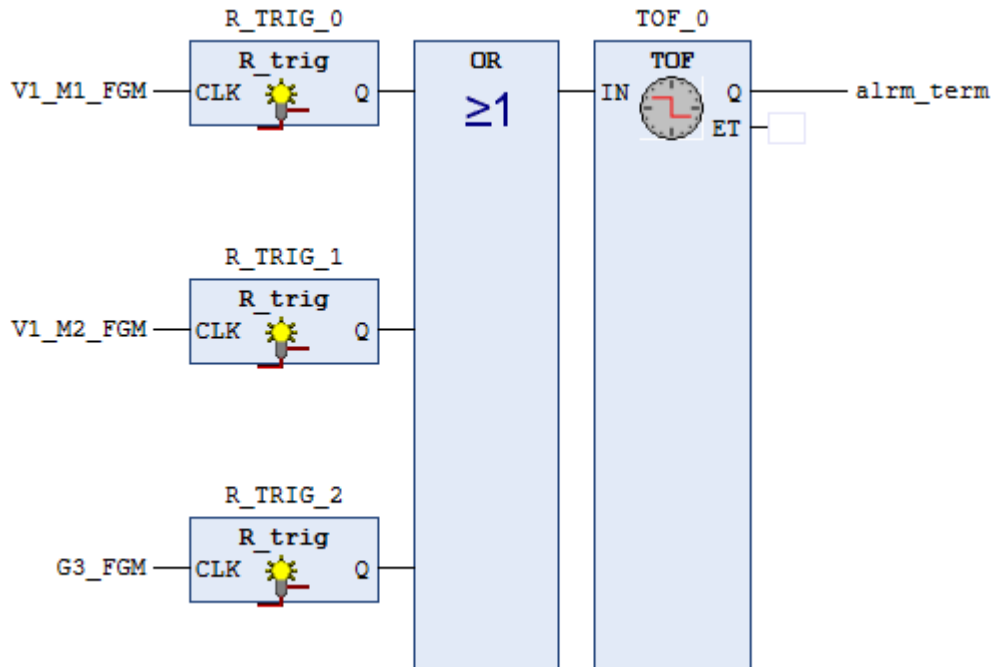


Figura 75 Polsos PKZs

6.5 Descripció del Funcionament del Mode Automàtic

El mode automàtic es diferencia del manual perquè en comptes d'activar els motors a través de botons al HMI, s'activen mitjançant unes seqüències fetes en GRAFCET. Tenim 8 seqüències en total:

- Tremuja a sitja 1
- Tremuja a sitja 2
- Sitja 1 a camió
- Sitja 2 a camió
- Sitja 1 a assecador
- Sitja 2 a assecador
- Tremuja a assecador
- **Buidar assecador**

Aquestes seqüències no poden funcionar alhora, ja que l'elevador és compartit per a totes, a excepció de l'última que no el necessita i pot executar-se encara que hi hagi alguna seqüència activa. Per això el GRAFCET principal (Figura 76) només contempla les set primeres, perquè aquest bloqueja la resta de seqüències quan una està activa.

Cal remarcar que aquest software no permet realitzar forçats al GRAFCET (per exemple, que quan hi hagi una emergència, el GRAFCET es vegi forçat a activar l'etapa d'emergència i abandoni l'actual) i ha condicionat el programa, sent necessàries derivacions en totes les etapes.

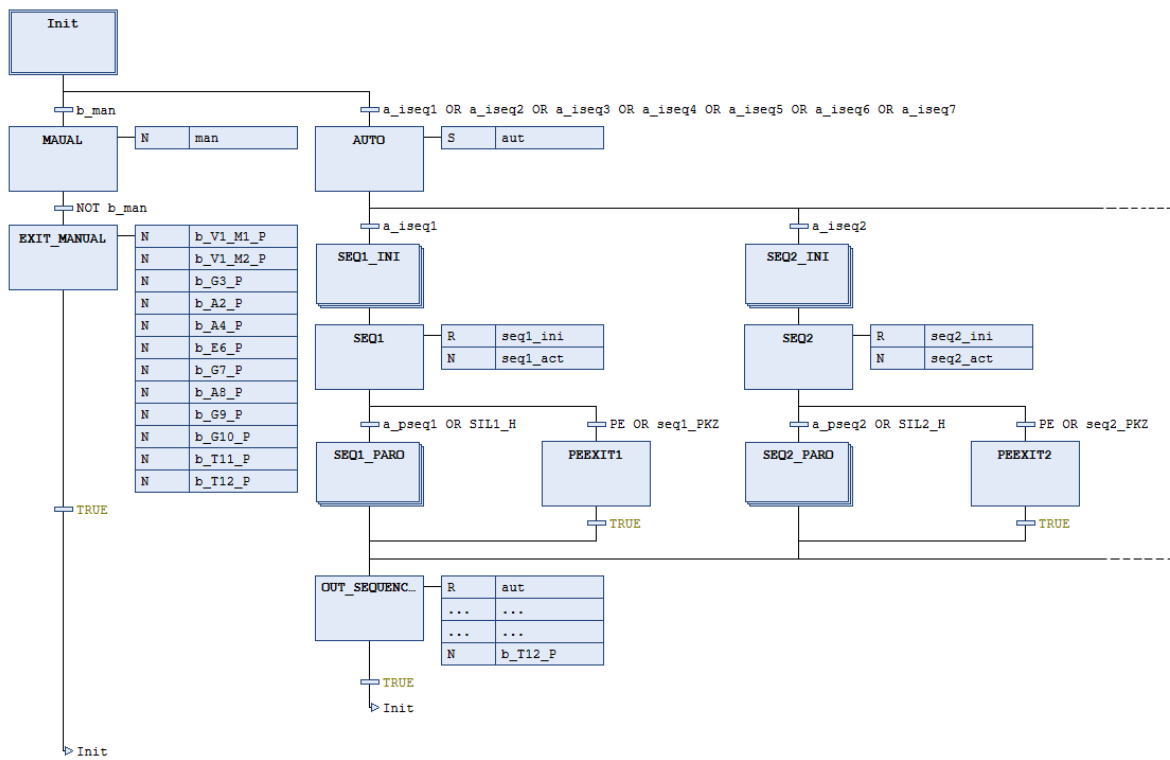


Figura 76 GRAFCET principal

Per a la vuitena seqüència, es crea un GRAFCET alternatiu pràcticament igual, visible a la figura 77. Això permet que es pugui activar la seqüència estigui alguna de les altres enceses o no.

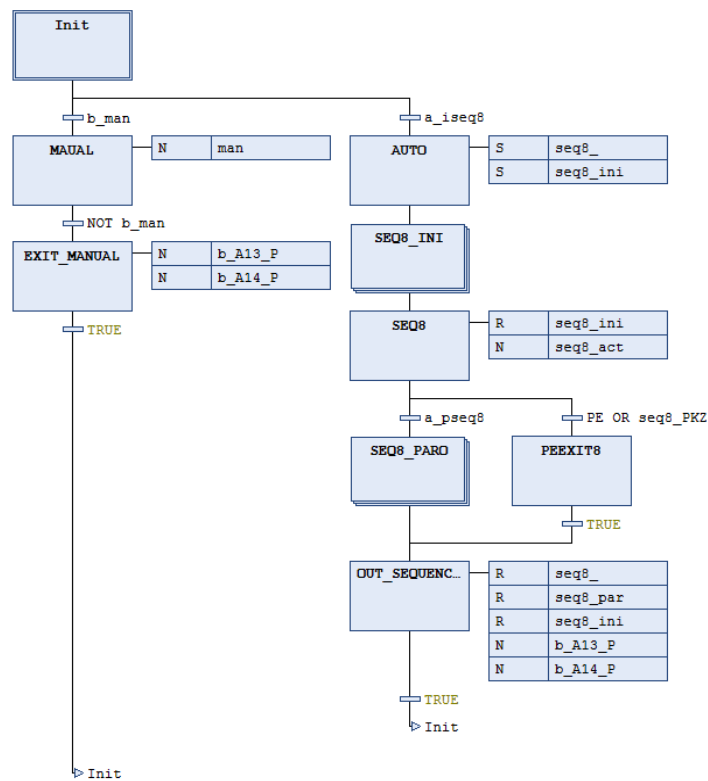


Figura 77 GRAFCET seqüència 8

6.5.1 Seqüència 1

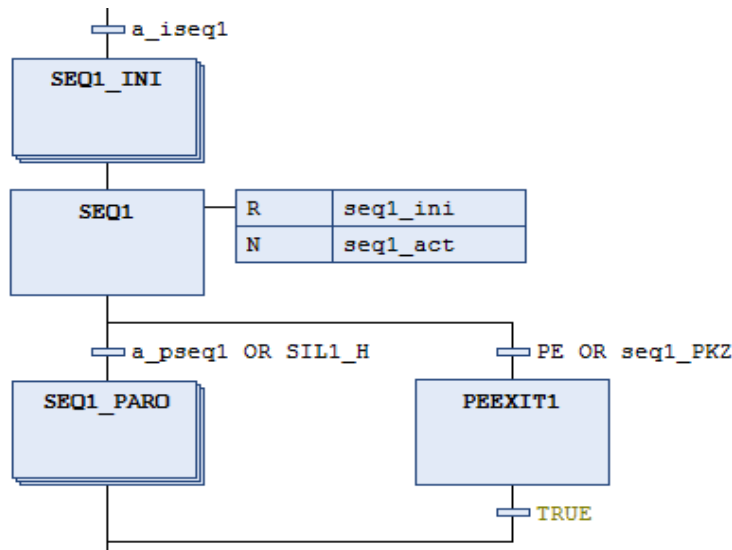


Figura 78 Seqüència 1

La seqüència 1, igual que la resta de seqüències, compta amb una estructura bàsica visible a la figura 78. Les etapes són una macro d'inicialització, la de SEQ1 activa i per últim una bifurcació on si se sol·licita mitjançant l'HMI l'aturada de la seqüència o es detecta la sitja 1 plena s'arriba a una macro d'aturada i si es detecta una aturada d'emergència o una caiguda dels PKZ se surt de la seqüència ràpidament sense macro d'aturada. Després de la bifurcació el GRAFCET arriba a una etapa final comuna de totes les seqüències on s'aplica un petit reset al sistema, incloent-hi l'aturada de tots els motors implicats a les seqüències 1 a 7. L'aturada dels motors en l'etapa final habilita que en haver-hi una parada d'emergència o caiguda de PKZ, la planta s'aturi en sec.

La macro d'inicialització de qualsevol seqüència consta de la col·locació correcta de la vàlvula i les raseres i l'encés progressiu de cada un dels components que ha de seguir el gra en la ruta establerta. La macro d'aturada consta de la tornada a posició de les raseres de sortida de la tremuja i de les sitges i de l'aturada progressiva dels components. L'encesa i aturades progressives són de deu segons entre cada un dels components, establerts per la variable global "tiempo".

Cada una de les etapes de les macros té una bifurcació, que s'activa si hi ha una emergència, que envia el GRAFCET a l'etapa final comuna, detenint tots els motors. A més les etapes de la macro d'inicialització tenen una tercera bifurcació, que si se sol·licita l'aturada de la seqüència, envia el GRAFCET a l'etapa de la macro d'aturada corresponent.

A la figura 79 s'observa la macro d'inicialització de la primera seqüència, tremuja a sitja 1. Els passos a seguir són els següents:

- Vàlvula V1 a via 2
- Rasera G3 oberta
- Rosca A4 en marxa
- Elevador E6 en marxa
- Rasera G7 oberta

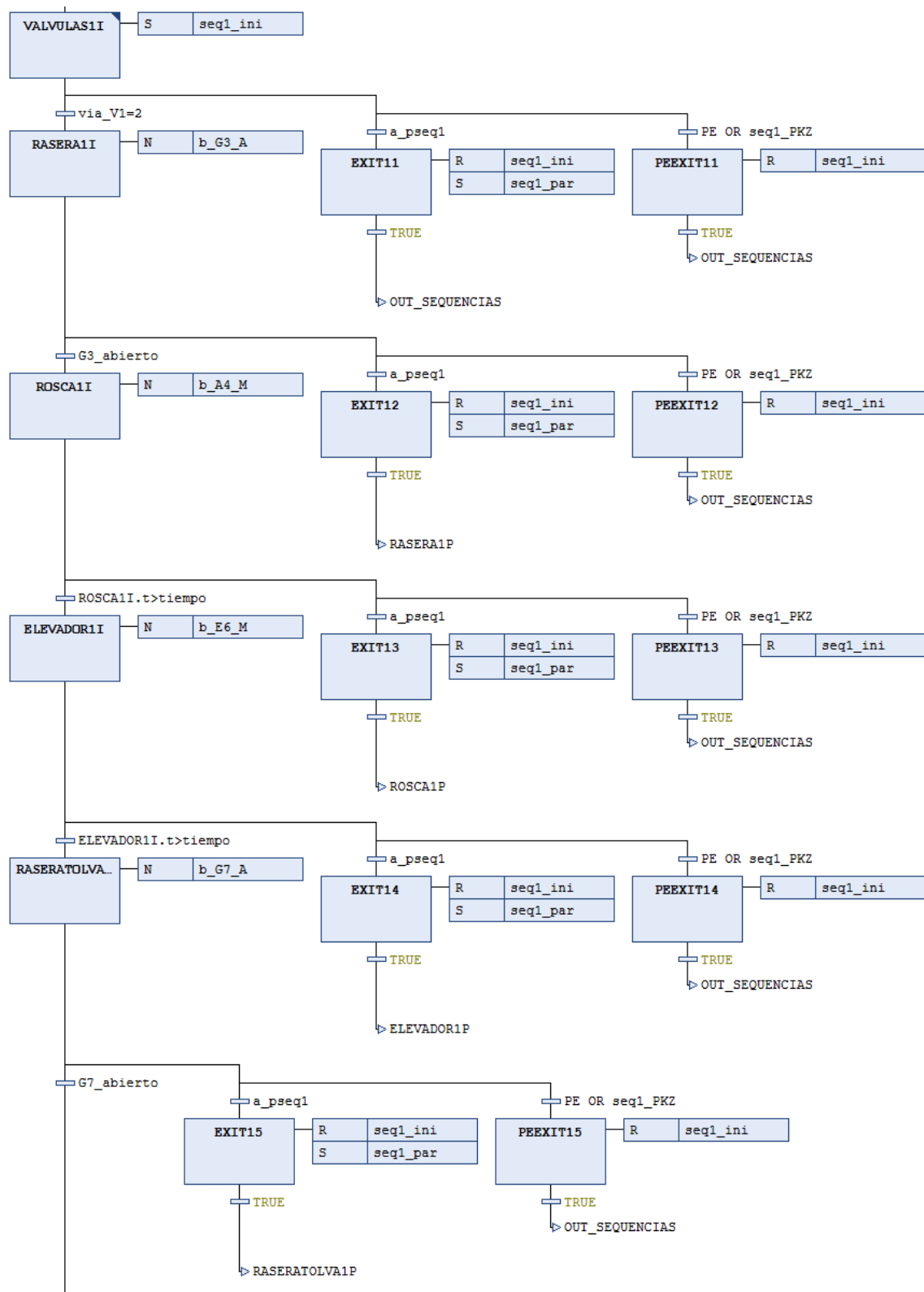


Figura 79 Inicialització seqüència 1

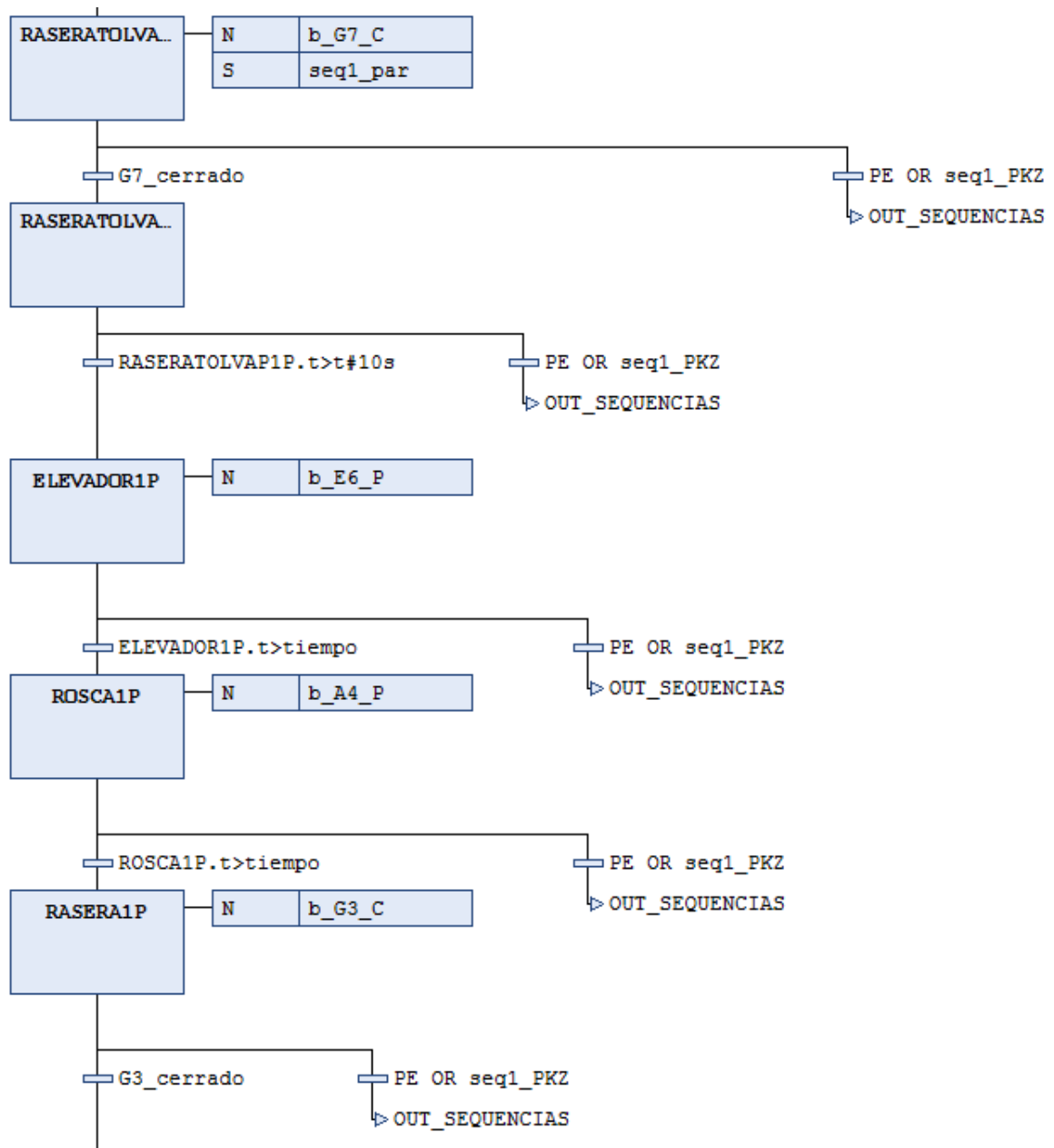


Figura 80 Parada seqüència 1

A la figura 80 s'observa la macro d'aturada de la seqüència 1. Els passos a seguir són els següents:

- Rasera G7 tancada
- Elevador E6 aturat
- Rosca A4 aturada
- Rasera G3 tancada

6.5.2 Seqüència 2

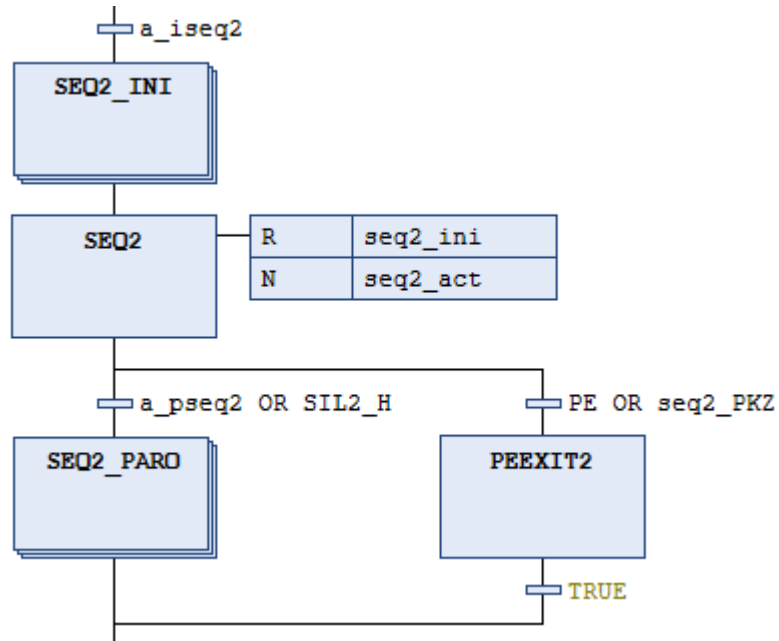


Figura 81 Seqüència 2

La seqüència 2, igual que la resta de seqüències, compta amb una estructura bàsica visible a la figura 81. En aquest cas concret, el pas a la macro d'aturada es provoca quan se sol·licita per HMI o quan es detecta que la sitja 2 està plena.

A la figura 82 s'observa la macro d'inicialització de la segona seqüència, tremuja a sitja 2. Els passos a seguir són els següents:

- Vàlvula V1 a via 2
- Rasera G3 tancada
- Rosca A2 en marxa
- Rosca A4 en marxa
- Elevador E6 en marxa
- Rasera G7 oberta

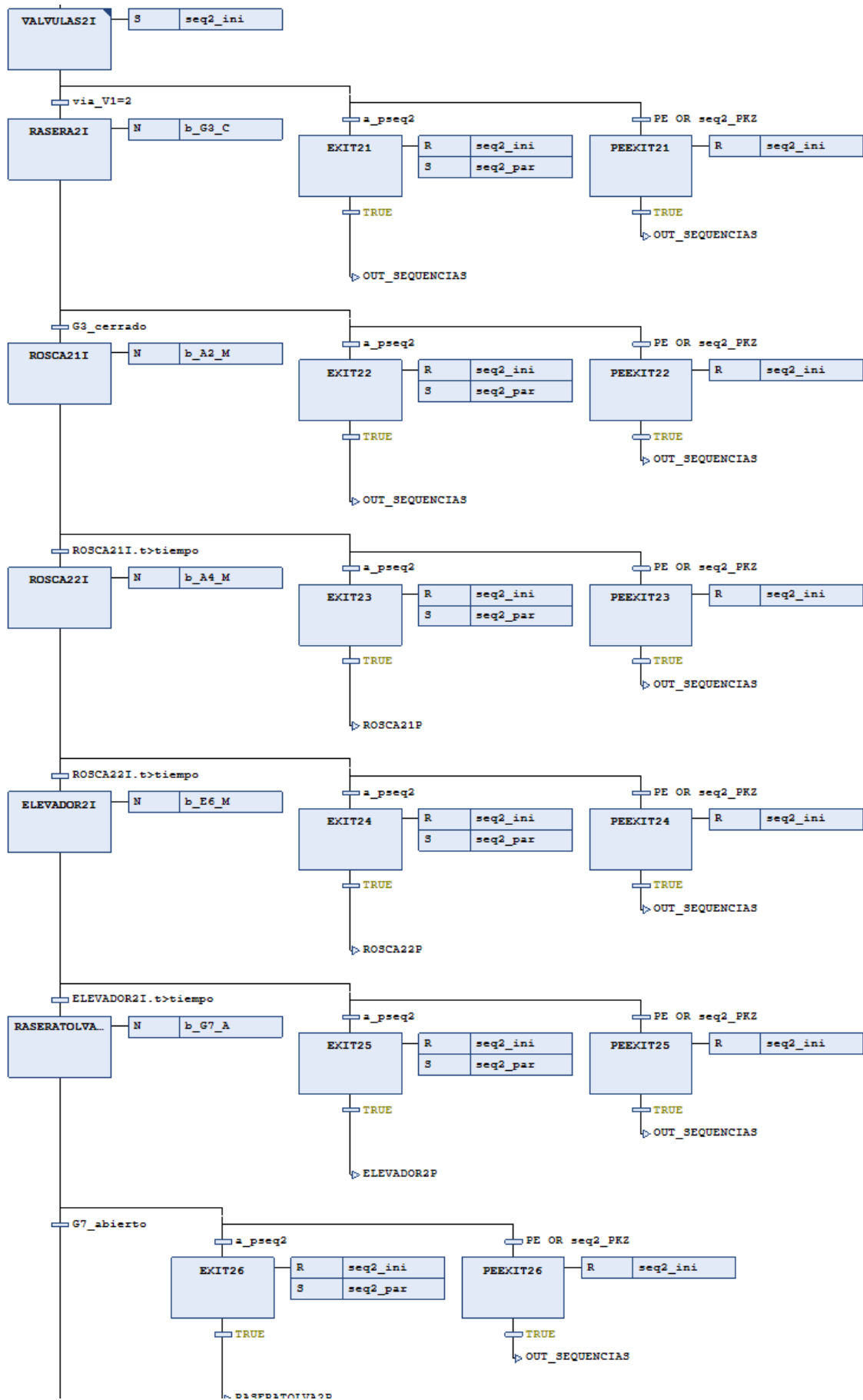


Figura 82 Inicialització seqüència 2

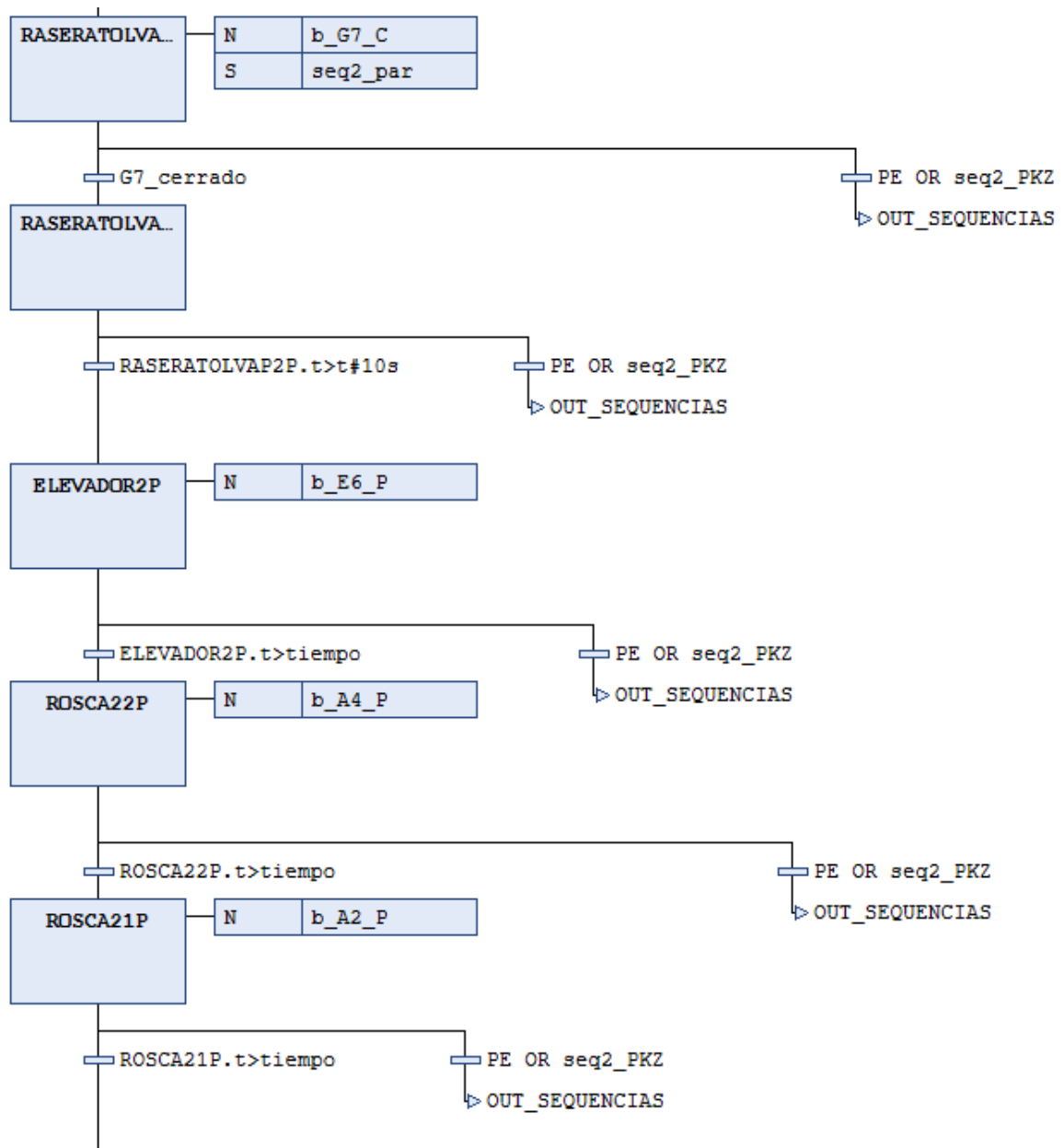


Figura 83 Parada seqüència 2

A la figura 83 s'observa la macro d'aturada de la seqüència 3. Els passos a seguir són els següents:

- Rasera G7 tancada
- Elevador E6 aturat
- Rosca A4 aturada
- Rasera G3 tancada

6.5.3 Seqüència 3

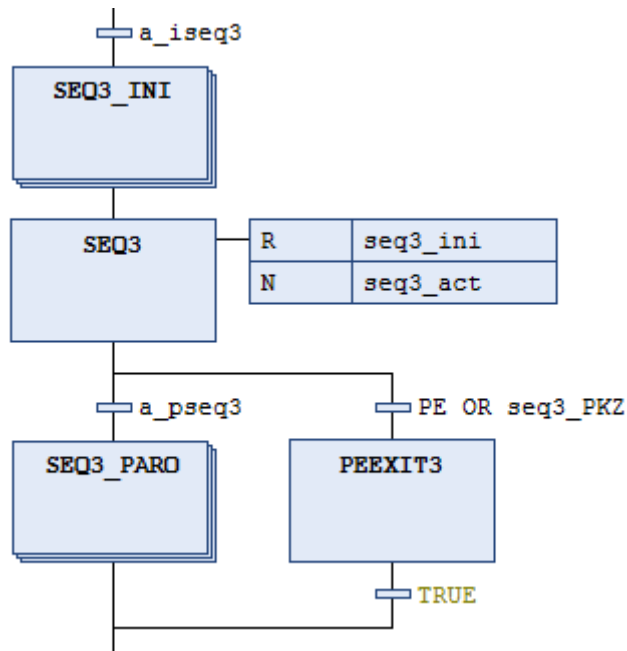


Figura 84 Seqüència 3

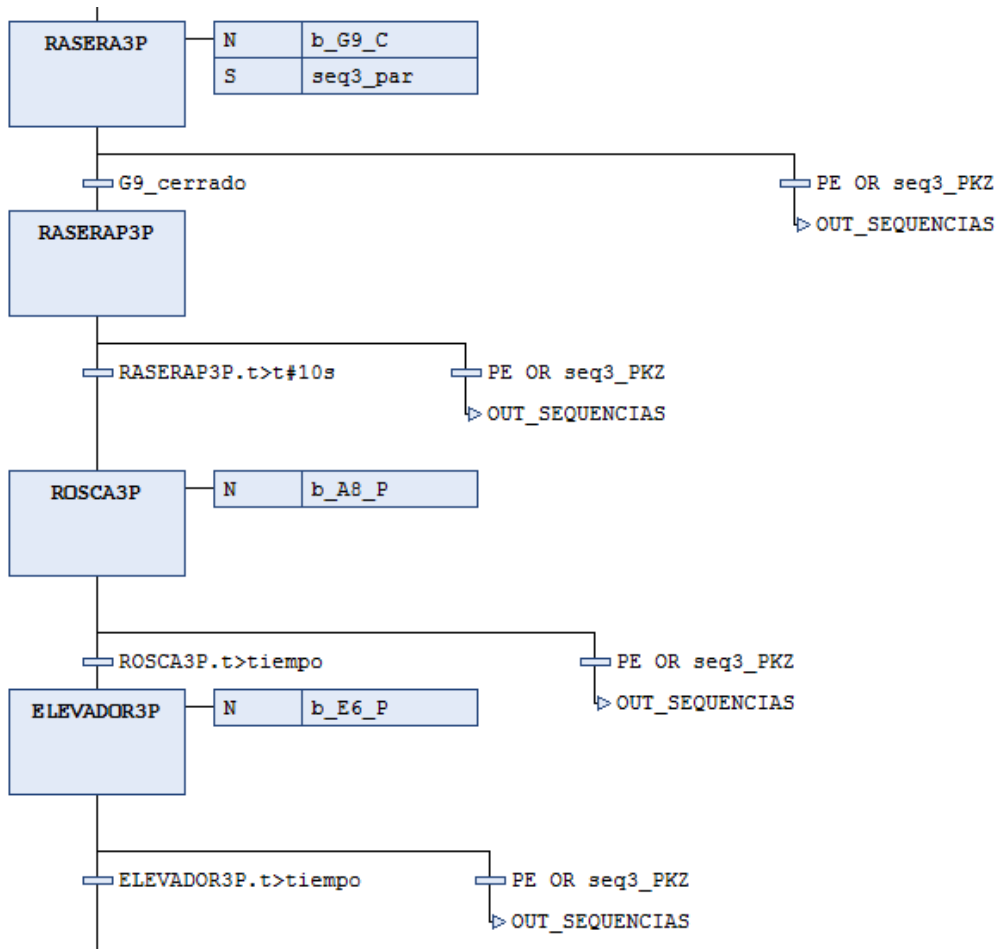


Figura 85 Parada seqüència 3

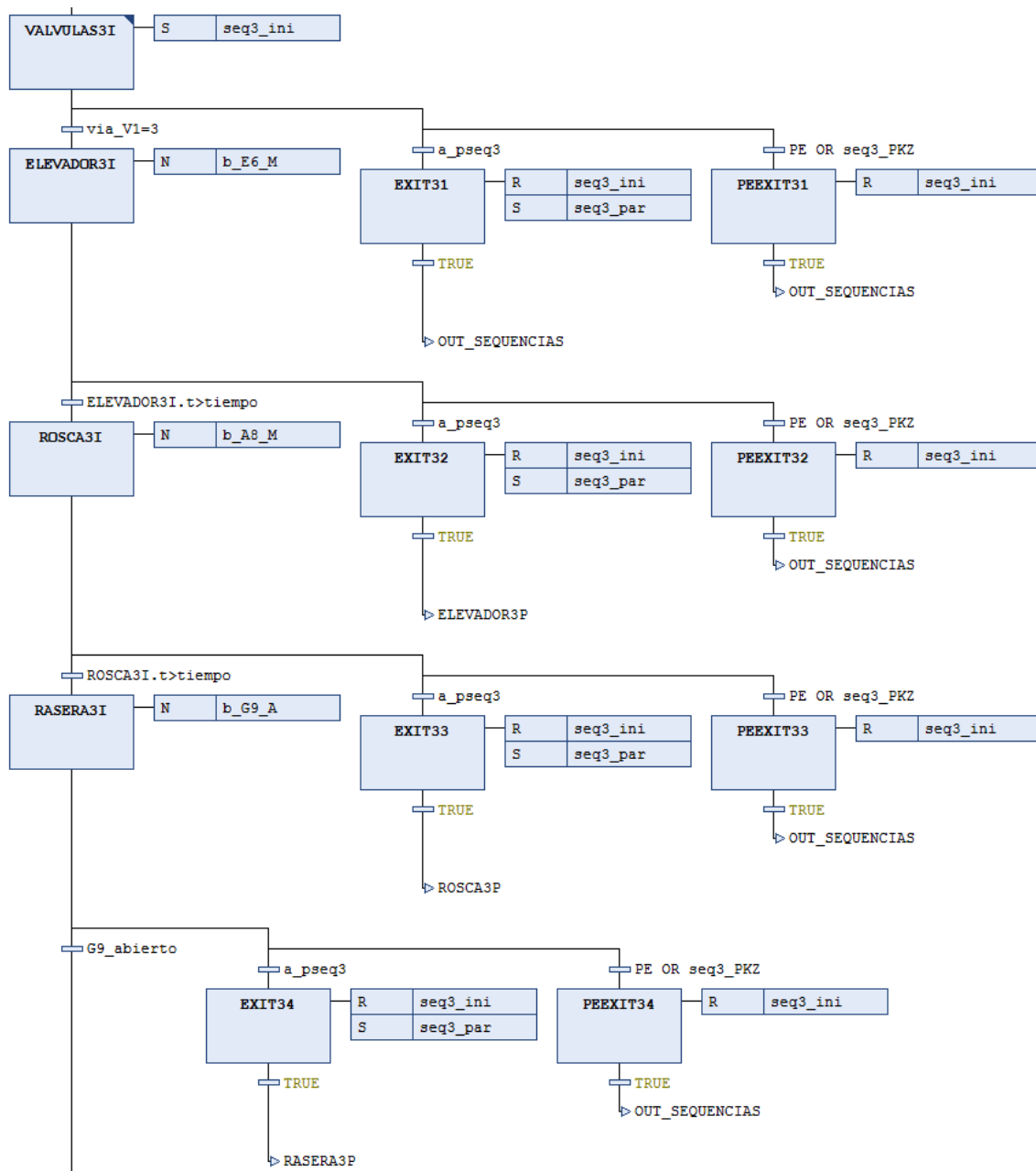


Figura 86 Inicialització seqüència 3

La seqüència 3, igual que la resta de seqüències, compta amb una estructura bàsica visible a la figura 84. En aquest cas concret, el pas a la macro d'aturada no es provoca amb sensors.

A la figura 86 s'observa la macro d'inicialització de la tercera seqüència, sitja 1 a camió. Els passos a seguir són els següents:

- Vàlvula V1 a via 3
- Elevador E6 en marxa
- Rosca A8 en marxa
- Rasera G9 oberta

A la figura 85 s'observa la macro d'aturada de la seqüència 3. Els passos a seguir són els següents:

- Rasera G9 tancada
- Rosca A8 aturada
- Elevador E6 aturat

6.5.4 Seqüència 4

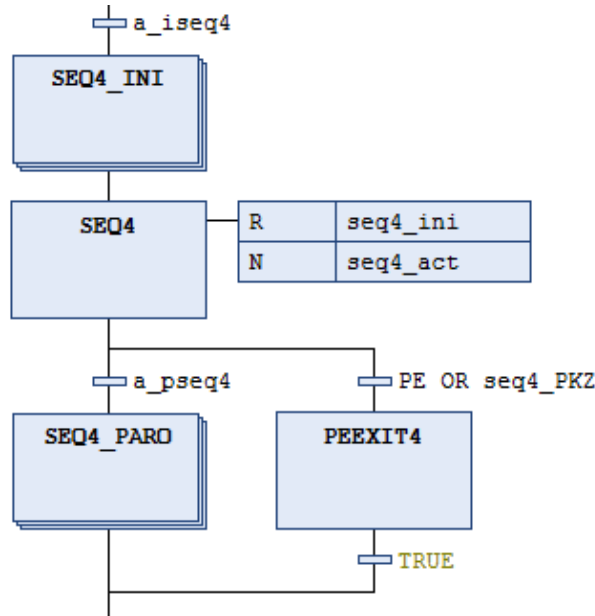


Figura 87 Seqüència 4

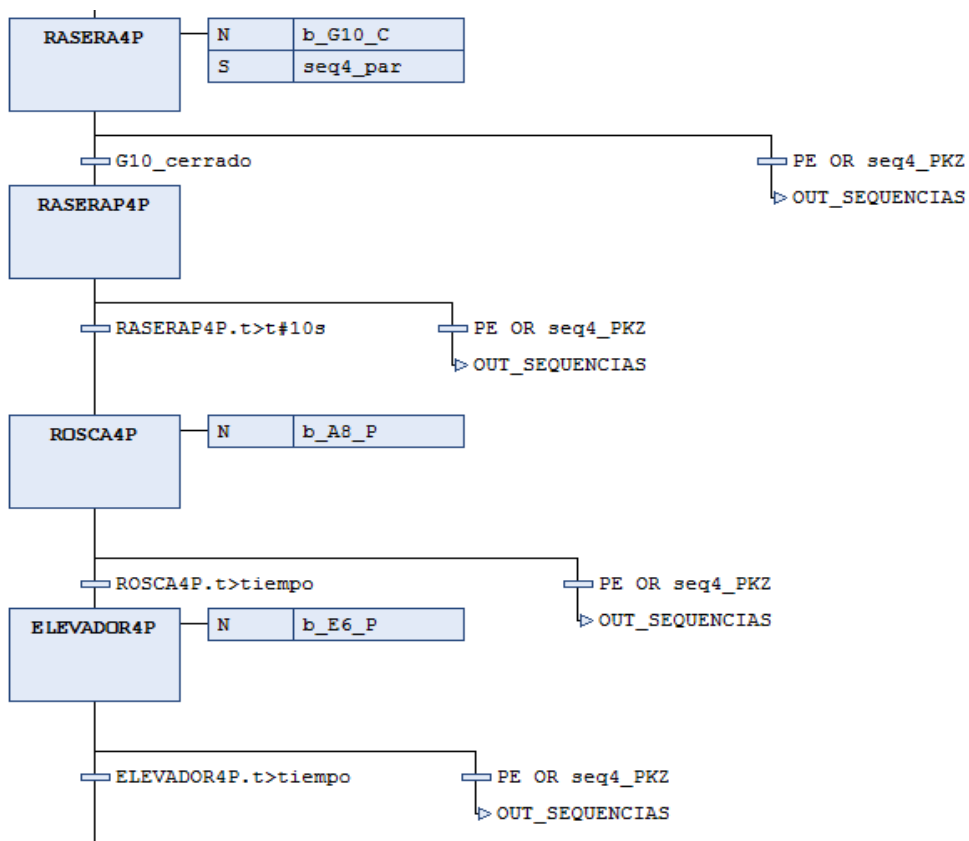


Figura 88 Parada seqüència 4

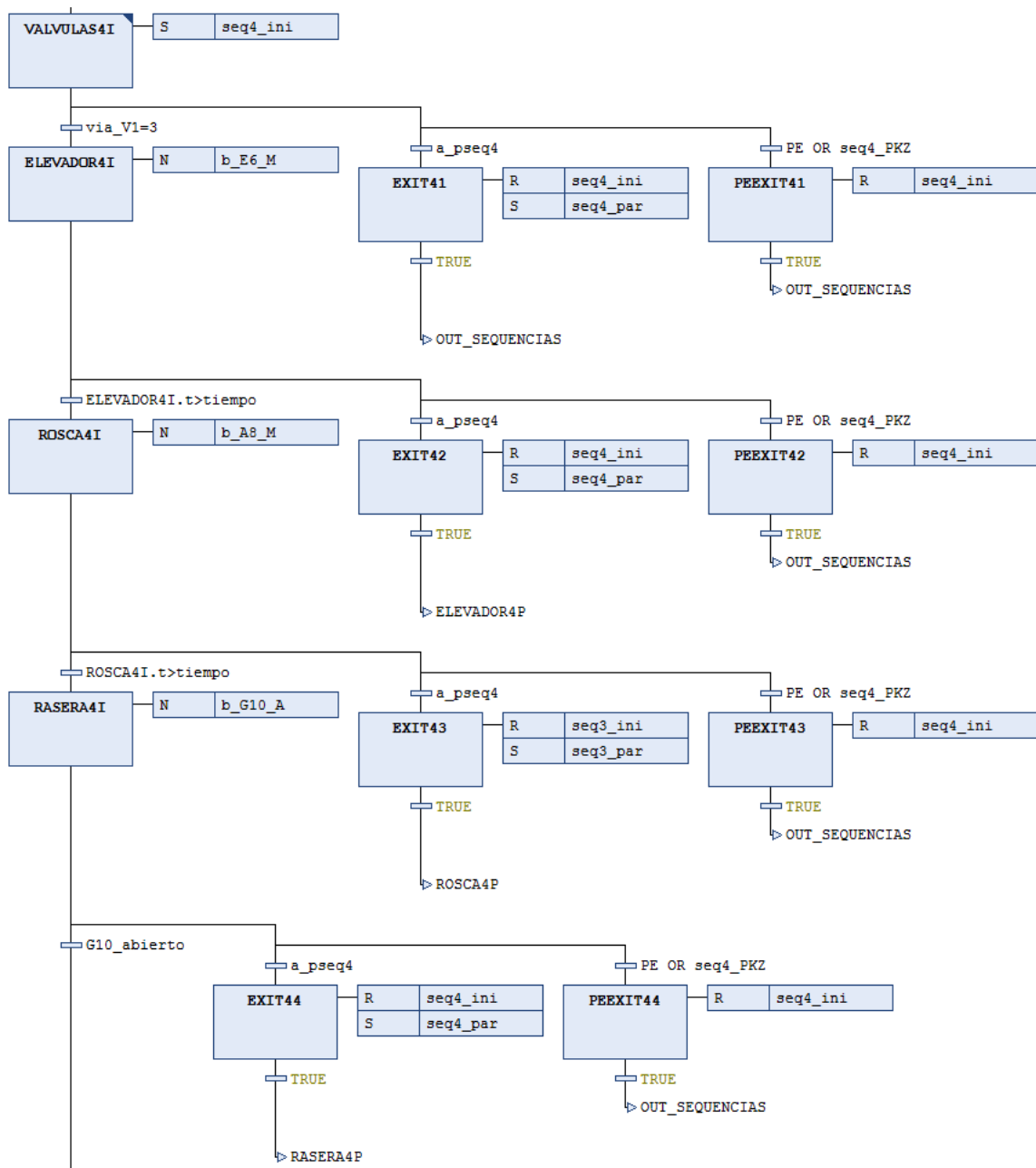


Figura 89 Inicialització seqüència 4

La seqüència 4, igual que la resta de seqüències, compta amb una estructura bàsica visible a la figura 87. En aquest cas concret, el pas a la macro d'aturada no es provoca amb sensors.

A la figura 89 s'observa la macro d'inicialització de la quarta seqüència, sitja 2 a camió. Els passos a seguir són els següents:

- Vàlvula V1 a via 3
- Elevador E6 en marxa
- Rosca A8 en marxa
- Rasera G10 oberta

A la figura 88 s'observa la macro d'aturada de la seqüència 4. Els passos a seguir són els següents:

- Rasera G10 tancada
- Rosca A8 aturada
- Elevador E6 aturat

6.5.5 Seqüència 5

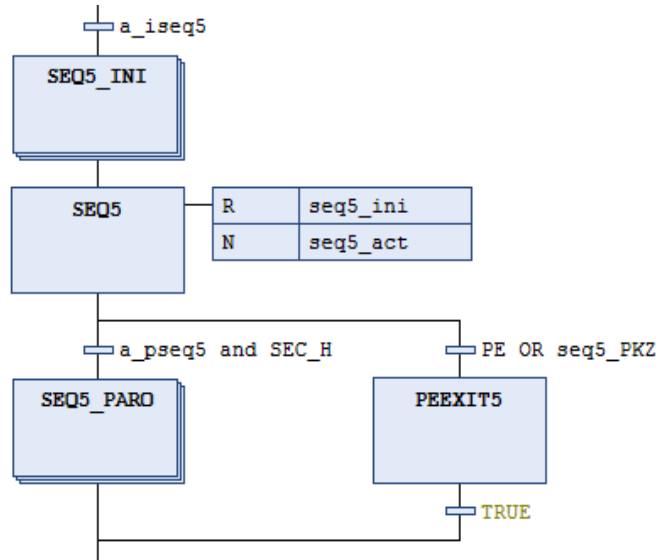


Figura 100 Seqüència 5

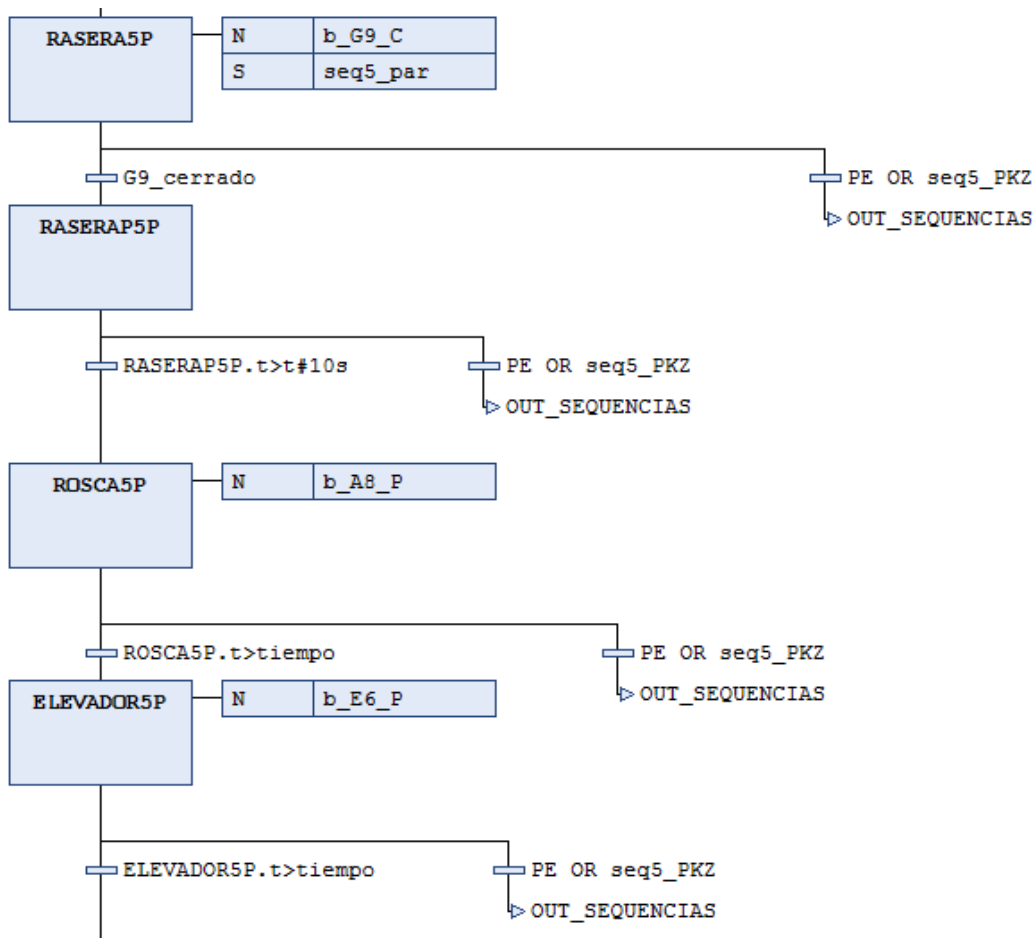


Figura 101 Parada seqüència 5

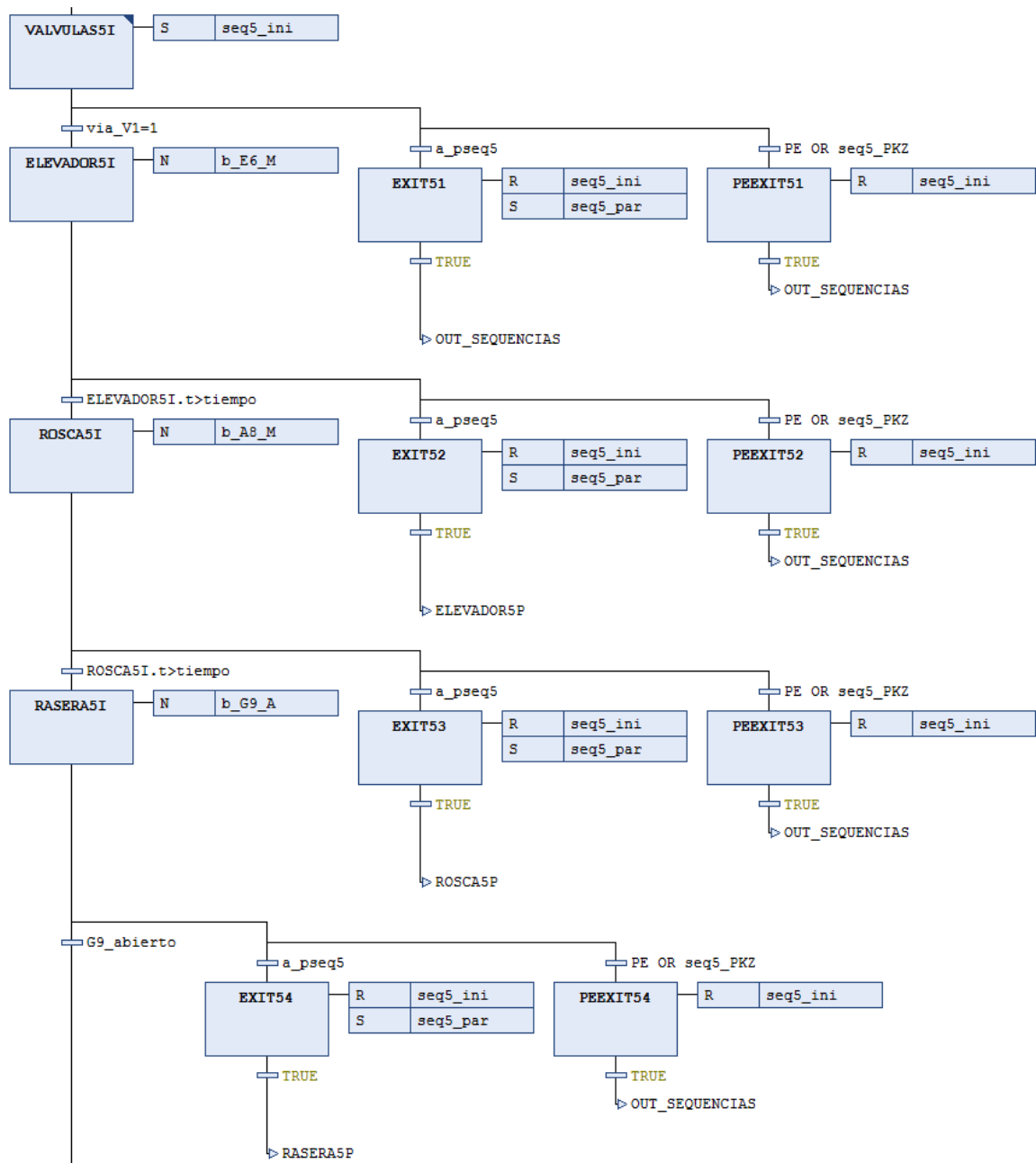


Figura 102 Inicialització seqüència 5

La seqüència 5, igual que la resta de seqüències, compta amb una estructura bàsica visible a la figura 100. En aquest cas concret, el pas a la macro d'aturada es provoca quan se sol·licita per HMI o quan es detecta que l'assegador està ple.

A la figura 101 s'observa la macro d'inicialització de la cinquena seqüència, sitja 1 a assecador. Els passos a seguir són els següents:

- Vàlvula V1 a via 1
- Elevador E6 en marxa
- Rosca A8 en marxa
- Rasera G9 oberta

A la figura 102 s'observa la macro d'aturada de la seqüència 5. Els passos a seguir són els següents:

- Rasera G9 tancada
- Rosca A8 aturada
- Elevador E6 aturat

6.5.6 Seqüència 6

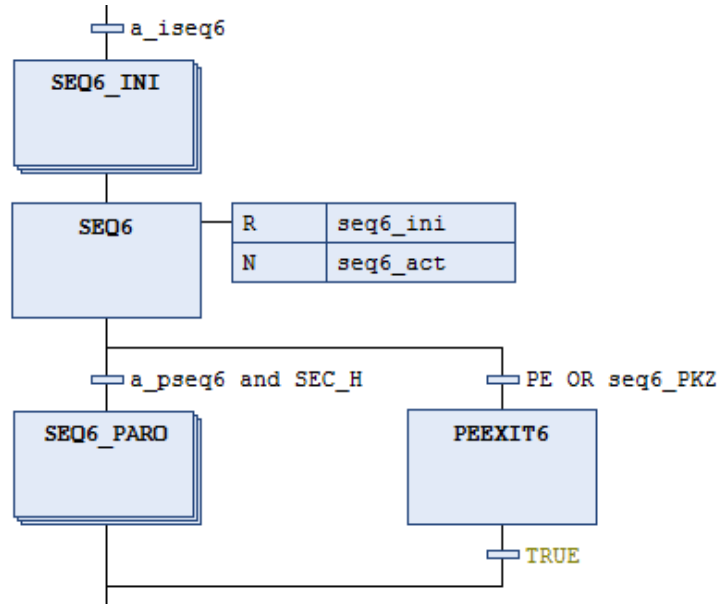


Figura 103 Seqüència 6

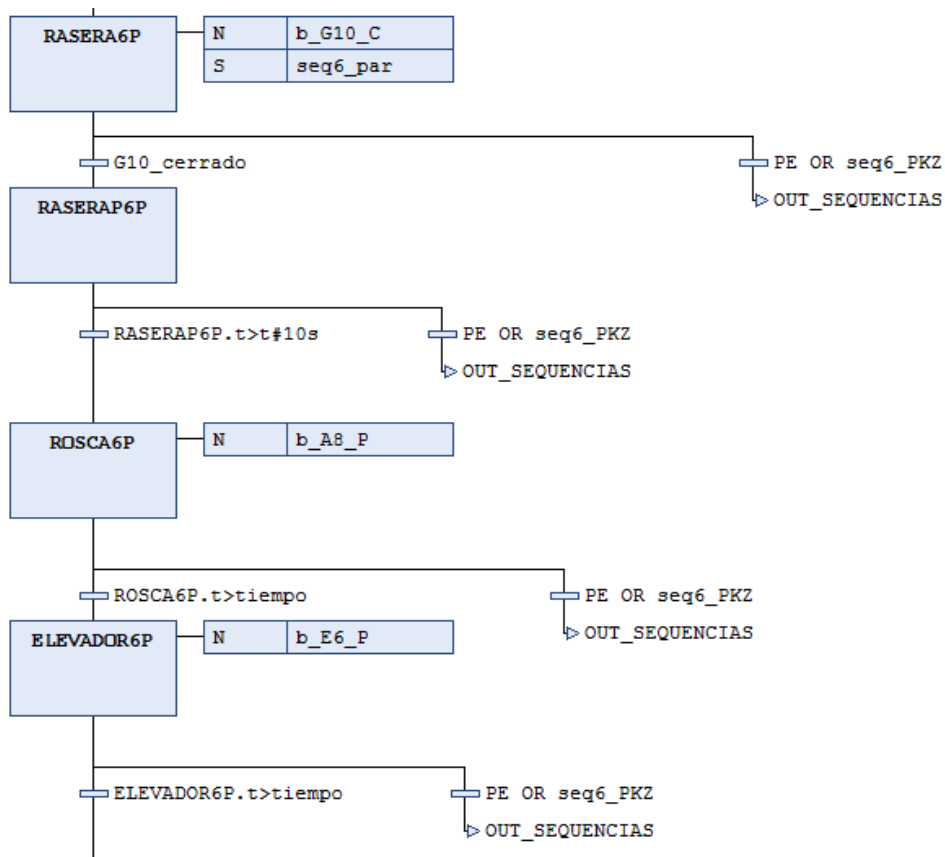


Figura 104 Parada seqüència 6

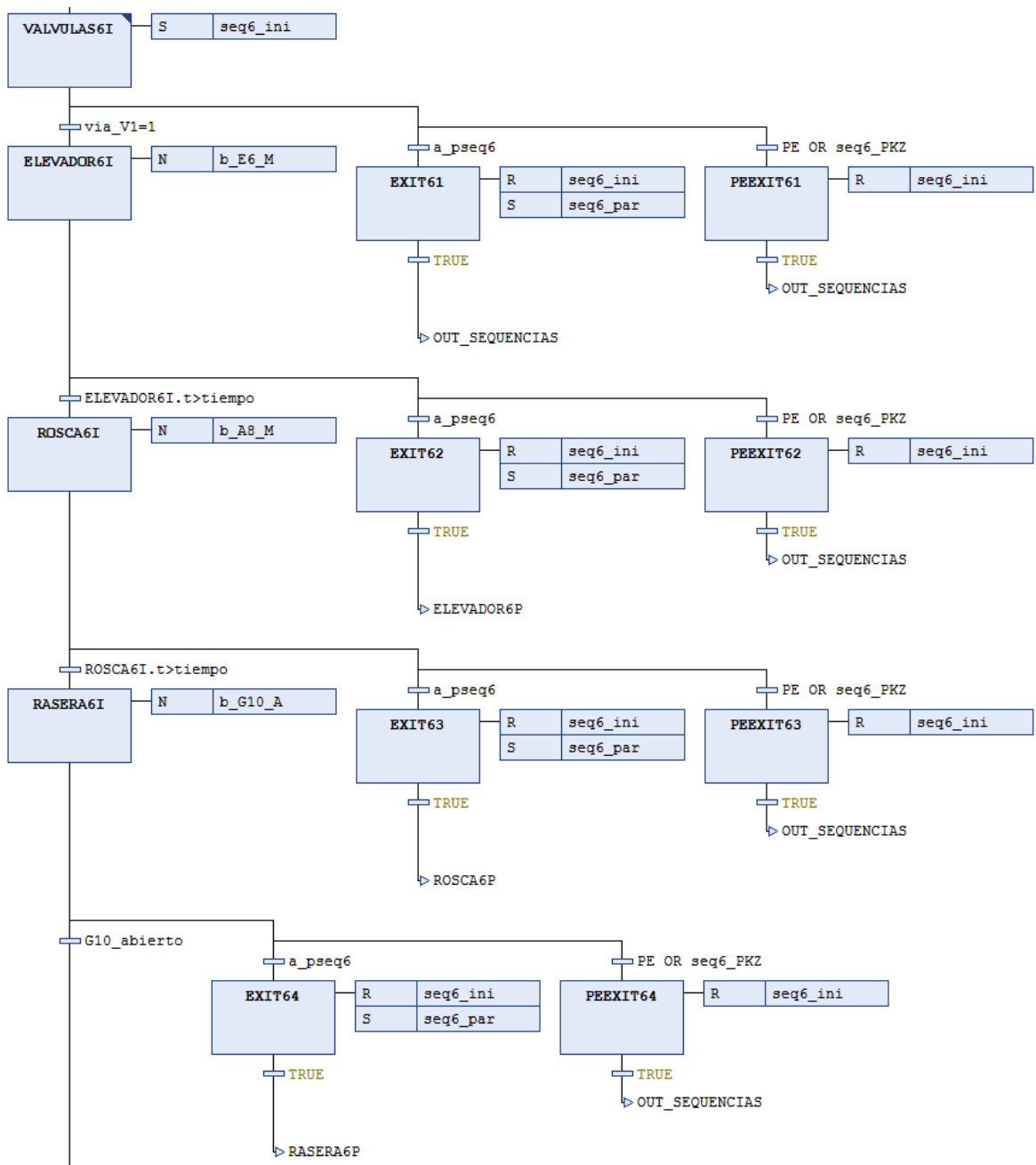


Figura 105 Inicialització seqüència 6

La seqüència 6, igual que la resta de seqüències, compta amb una estructura bàsica visible a la figura 103. En aquest cas concret, el pas a la macro d'aturada es provoca quan se sol·licita per HMI o quan es detecta que l'assegador està ple.

A la figura 105 s'observa la macro d'inicialització de la sisena seqüència, sitja 2 a assecador. Els passos a seguir són els següents:

- Vàlvula V1 a via 1
- Elevador E6 en marxa
- Rosca A8 en marxa
- Rasera G10 oberta

A la figura 104 s'observa la macro d'aturada de la seqüència 6. Els passos a seguir són els següents:

- Rasera G10 tancada
- Rosca A8 aturada
- Elevador E6 aturat

6.5.7 Seqüència 7

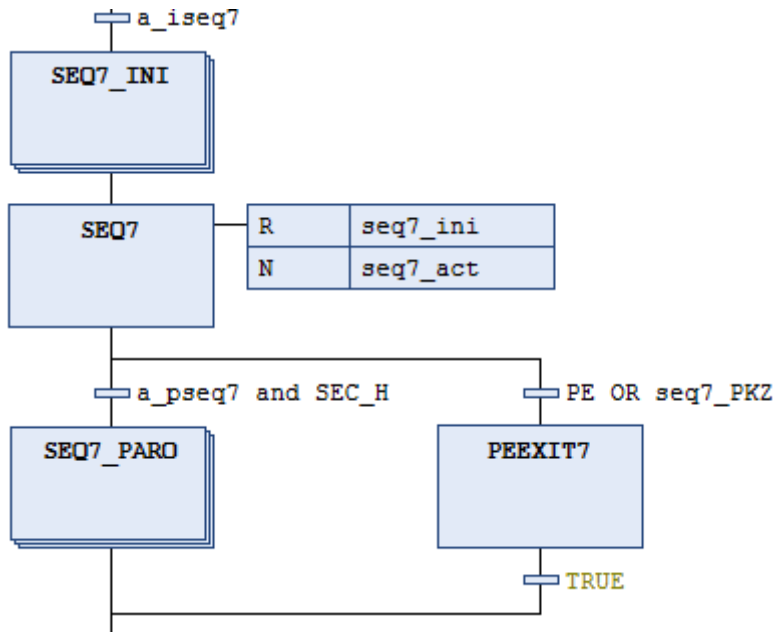


Figura 106 Seqüència 7

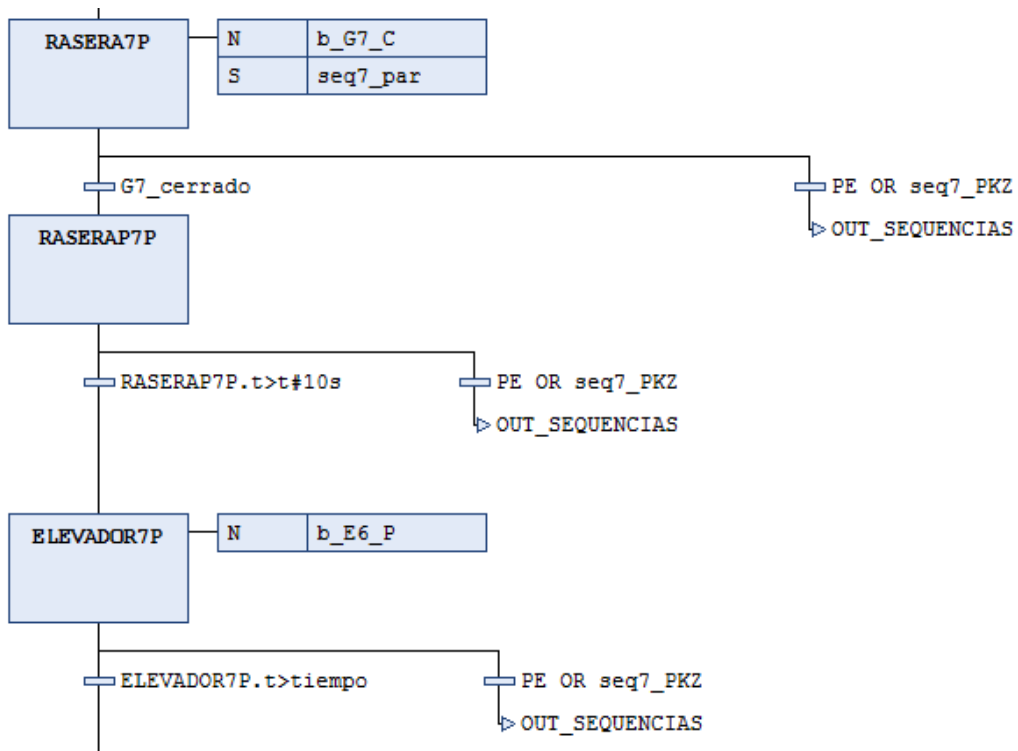


Figura 107 Parada seqüència 7

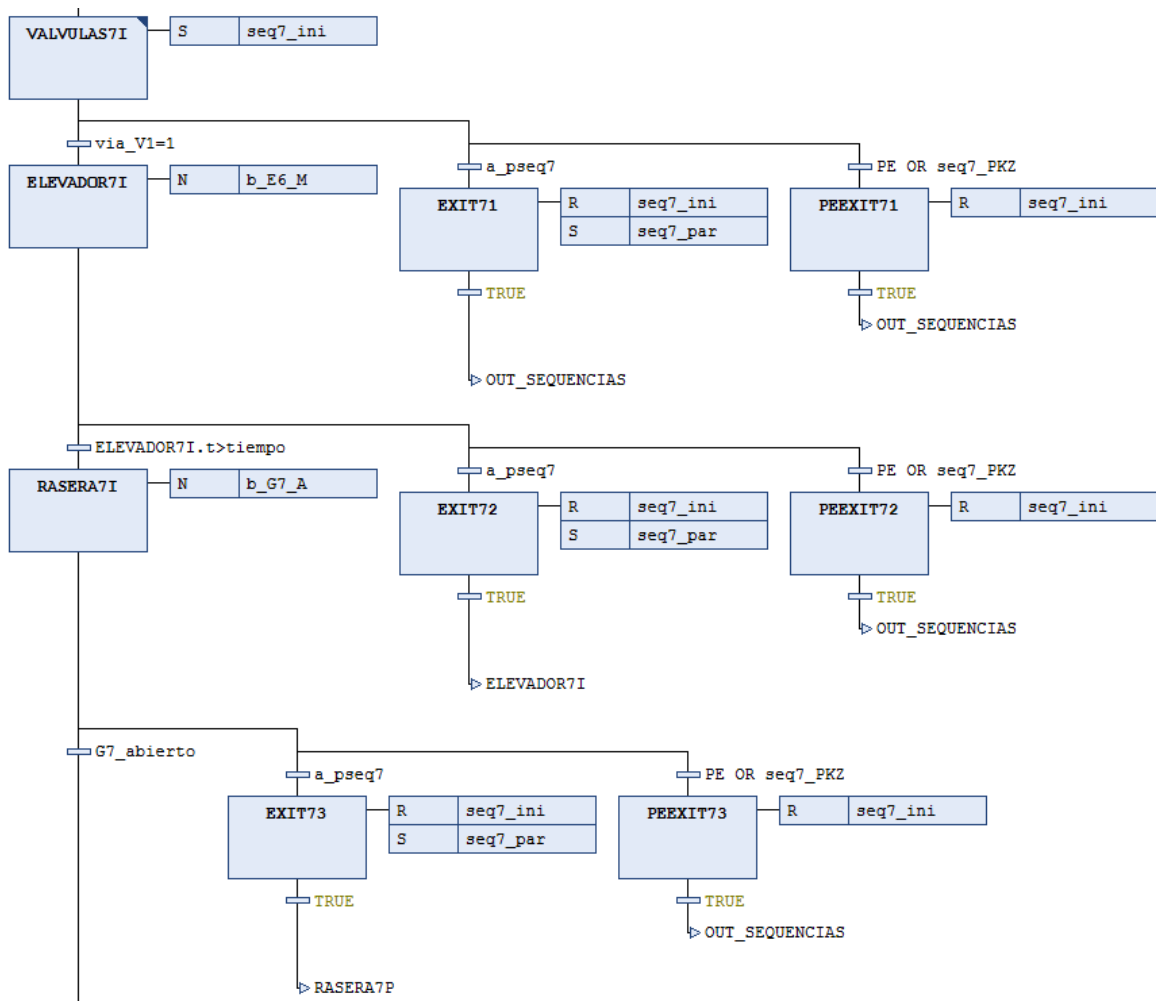


Figura 108 Inicialització seqüència 7

La seqüència 7, igual que la resta de seqüències, compta amb una estructura bàsica visible a la figura 106. En aquest cas concret, el pas a la macro d'aturada es provoca quan se sol·licita per HMI o quan es detecta que l'assegador està ple.

A la figura 108 s'observa la macro d'inicialització de la setena seqüència, tremuja a assecador. Els passos a seguir són els següents:

- Vàlvula V1 a via 1
- Elevador E6 en marxa
- Rasera G7 oberta

A la figura 107 s'observa la macro d'aturada de la seqüència 7. Els passos a seguir són els següents:

- Rasera G7 tancada
- Elevador E6 aturat

6.5.8 Seqüència 8

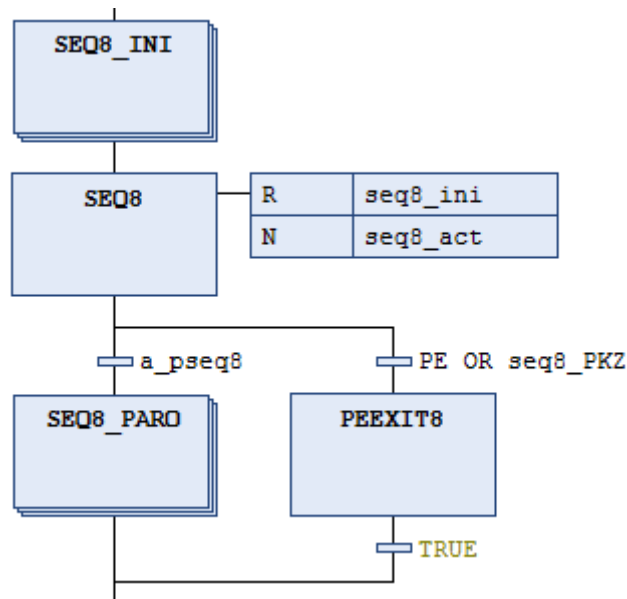


Figura 109 Seqüència 8

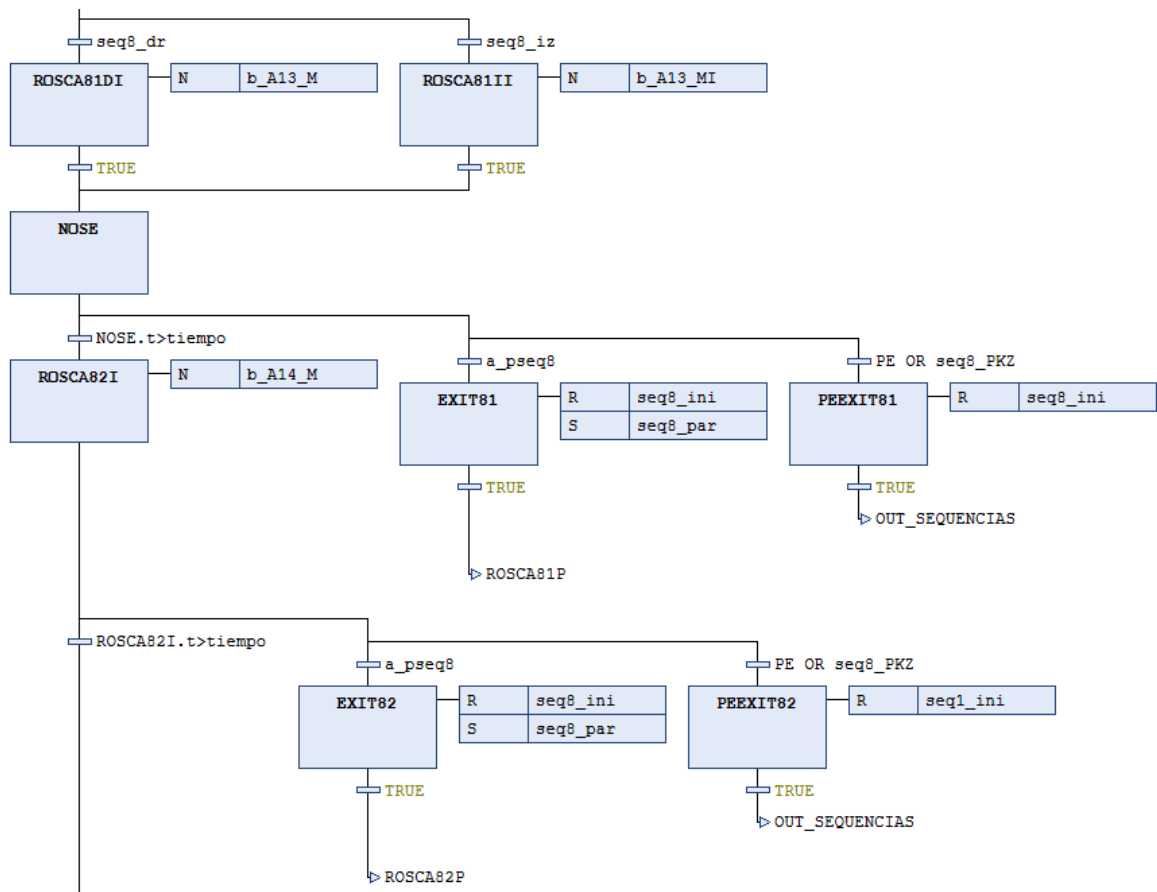


Figura 110 Inicialització seqüència 8

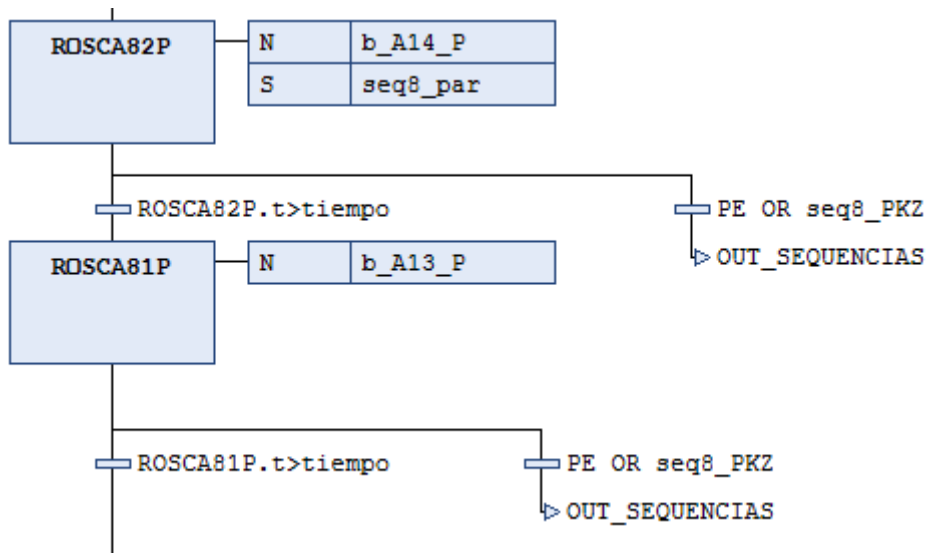


Figura 111 Parada seqüència 8

La seqüència 8, igual que la resta de seqüències, compta amb una estructura bàsica visible a la figura 109. En aquest cas concret, el pas a la macro d'aturada no es provoca amb sensors.

A diferència de la resta de seqüències, aquesta forma part d'un GRAFCET a part (tot i que actua exactament igual que el principal, permet activar la seqüència 8 encara que n'hi hagi alguna altra encesa)¹³. Després de la bifurcació el GRAFCET arriba a una etapa final on s'aplica un petit reset al sistema. L'aturada dels motors en l'etapa final habilita que en haver-hi una parada d'emergència o caiguda de PKZ, la planta s'aturi en sec.

A la figura 111 s'observa la macro d'inicialització de la vuitena seqüència, buidar assecador. Els passos a seguir són els següents:

- Rosca A13 en marxa
- Rosca A14 en marxa

A la figura 110 s'observa la macro d'aturada de la seqüència 8. Els passos a seguir són els següents:

- Rosca A14 aturada
- Rosca A13 aturada

¹³ Es pot observar el GRAFCET a l'apartat 6.5, figura 77, pàg. 49.

7 Programa HMI

El programa de l'HMI s'ha realitzat amb el software Vijeo Designer, un complement de Machine Expert.

Vijeo Designer és una plataforma de desenvolupament de Schneider Electric dissenyada específicament per crear interfícies gràfiques per a HMI. Aquest programari proporciona eines per al disseny, la simulació i la implementació d'interfícies d'usuari intuïtives en temps real. Algunes de les característiques més rellevants d'aquesta eina inclouen:

- Entorn de Desenvolupament Intuïtiu: Vijeo Designer ofereix una interfície de desenvolupament amigable que permet als usuaris crear pantalles HMI amb facilitat. Les opcions de drag-and-drop i els elements predefinitos simplifiquen el procés de creació de la interfície.
- Animacions i Gràfics Avançats: El software permet la incorporació d'animacions i gràfics avançats per millorar la visualització i comprensió de les dades del sistema. Aquesta característica és crucial per a la creació d'interfícies d'usuari dinàmiques.
- Simulació Integrada: Vijeo Designer ofereix una funció de simulació integrada que permet als desenvolupadors provar les seves interfícies abans de la implementació, garantint la precisió i la fiabilitat dels resultats finals.
- Connectivitat Amb Diversos Protocols: Amb suport per a protocols com Modbus, Ethernet/IP, i altres, Vijeo Designer facilita la comunicació amb PLCs i altres dispositius, assegurant una integració perfecta amb el sistema de control.

7.1 Pantalla General

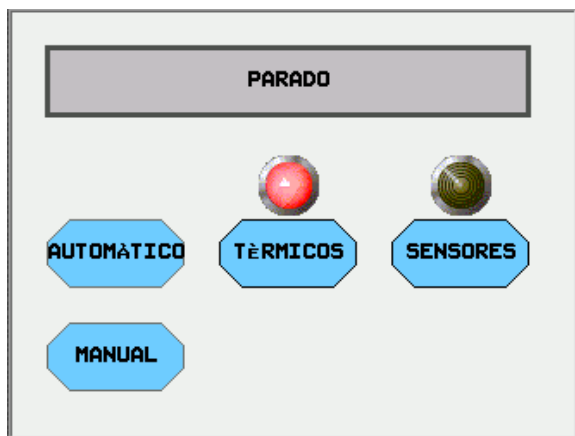


Figura 112 Pantalla general, aturat

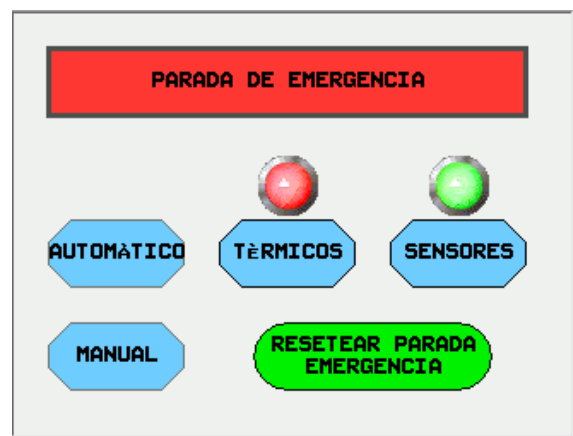


Figura 113 Pantalla general, parada de



Figura 114 Indicador de encès

El programa parteix d'una pantalla general, on podem trobar un cartell indicador d'estat, quatre botons i dos leds.

Els botons condueixen a altres pantalles secundàries, la de mode manual, la de mode automàtic, la dels guarda-motors i la dels sensors. Els dos leds serveixen per a tindre una visió general de les pàgines secundàries a les quals estan associades, estant apagats quan no hi ha cap PKZ baixat i quan cap sensor de nivell està activat. En canvi, si salta un PKZ, el led central es mostra en vermell, i si algun contenidor s'emplena, el led de la dreta es mostra en verd, tal com es mostra a la figura 113.

El cartell d'indicador té tres estats. Un d'aturada (Figura 112), un d'encès (figura 114) i un de parada d'emergència (figura 113). En aquest últim estat també es mostra un cinquè botó que serveix per a restablir l'emergència i reactivar el relé d'emergència.

7.2 Botons Centrals



Figura 115 Botó general **Figura 116** Botó retrocés **Figura 117** Botó alarma encès **Figura 118** Botó alarma apagat

A les pantalles secundàries, a la part inferior, hi haurà sempre tres botons.

Al centre es troba un botó que retorna a la pantalla general, amb el símbol d'una casa, visible a la figura 115. A l'esquerra d'aquest es troba un botó de retrocés, que retorna a la pantalla anterior a l'actual un cop polsat. Té un símbol d'una fletxa, visible a la figura 116.

Per últim, trobem a la dreta del botó central el botó de les alarmes. Aquest un cop polsat, mostra la pantalla dels PKZ. Aquest té dos estats l'encès i l'apagat. El primer (figura 117) es mostra quan hi ha algun guarda-motor caigut i el segon (figura 118) es mostra quan tots es troben correctament.

7.3 Pantalla Sensors



Figura 119 Pantalla de sensors

A la pantalla de sensors trobem tres indicadors d'estat dels sensors de nivell, que es mostren en verd quan es detecta que el contenidor associat està ple.

Aquesta pantalla no compta ni amb botó de retrocés ni amb botó d'alarma, sinó que té un quart boto a l'extrem inferior esquera que funciona exactament igual que el botó d'alarmes.

7.4 Pantalla Tèrmics



Figura 120 Pantalla de guarda-motors

La pantalla dels tèrmics trobem un indicador per a cada un d'aquests, que es posen en vermell quan el PKZ es troba baixat. Els botons generals són iguals que a la pantalla de l'apartat anterior a diferència que el botó de la part inferior esquerra dirigeix a la pantalla de sensors.

7.5 Pantalla Manual

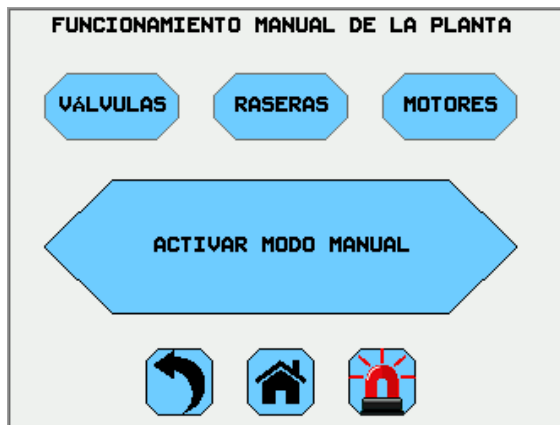


Figura 121 Pantalla de manual desactivat

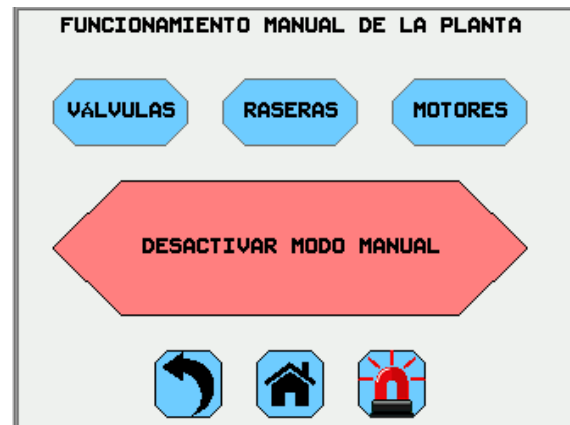


Figura 122 Pantalla de manual activat

La pantalla de manual trobem, a part dels botons generals, tres botons que dirigeixen a pàgines inferiors (vàlvules, raseres i motors) i un gran botó que serveix per a activar el mode manual.

Si no es polsa el botó d'activació, qualsevol acció que se sol·liciti en les altres pàgines relacionades amb aquest mode no s'executaran. Un cop activat el mode manual, per desactivar-lo s'ha de tornar a polsar el botó, ara de color vermell i amb el text interior canviat. A la figura 121 s'observa el botó en l'estat inicial i a la figura 122 s'observa el botó un cop entrat al mode manual.

7.5.1 Pantalla Vàlvules

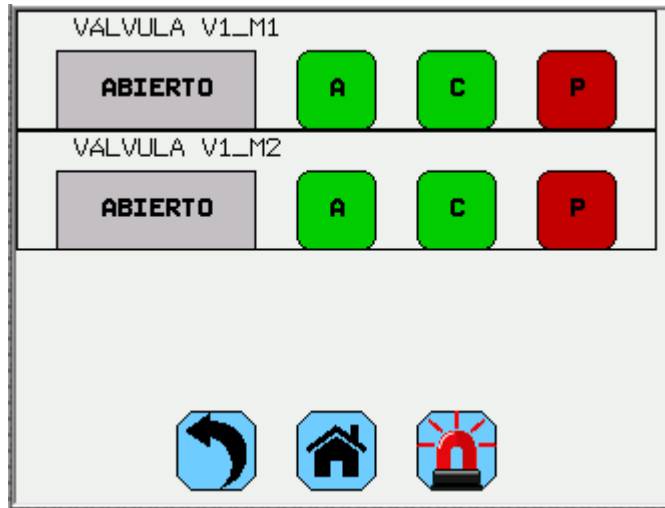


Figura 123 Pantalla de vàlvules



Figura 124 Indicador tancat



Figura 125 Indicador parat



Figura 126 Indicador tèrmic



Figura 127 Indicador obrint



Figura 128 Indicador tancant

La pantalla de vàlvules mostra l'estat i els botons de control dels dos motors de V1.

L'estructura d'aquesta pantalla es repeteix a les següents pantalles de raseres i motors. Aquesta estructura, a cada motor, es basa en un rectangle que engloba diversos components, un quadre de text que indica a quin motor pertany, un indicador d'estat i tres botons (obrir, tancar i parar). En prémer un dels botons s'envia la sol·licitud de l'acció corresponent al PLC.

L'indicador té sis estats diferents. El primer estat, visible als dos motors a la figura 123, mostra que la paleta està oberta. La resta d'estats, visibles a les figures 124, 125, 126, 127 i 128, indiquen que la paleta està tancada, que el motor està parat però la paleta no està tancada ni oberta, que el PKZ està baixat, que la paleta s'està obrint i que la paleta s'està tancant, respectivament.

7.5.2 Pantalles Raseres

Les dues pantalles de raseres, visibles a les figures 129 i 130, funcionen exactament igual que la de vàlvules, tenint tres botons i cinc estats per motor.

En ser dues pantalles hi ha d'haver una manera de navegar entre elles. Aquestes compten amb un botó per a això, la primera pantalla a la part inferior dreta i la segona a la part inferior esquerra.

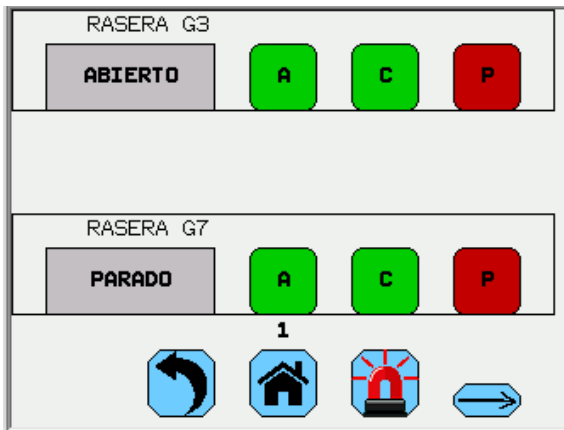


Figura 129 Pantalla de raseres 1

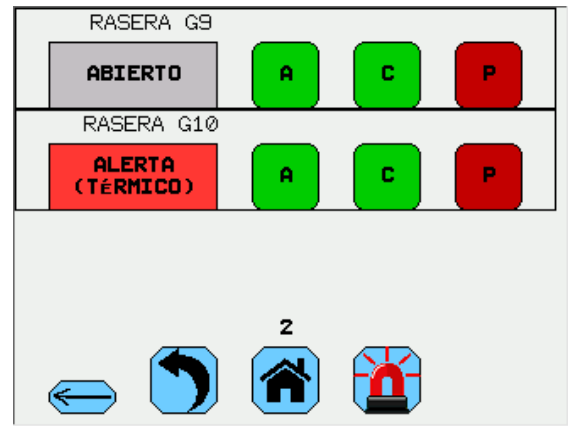


Figura 130 Pantalla de raseres 2

7.5.3 Pantalles Motors

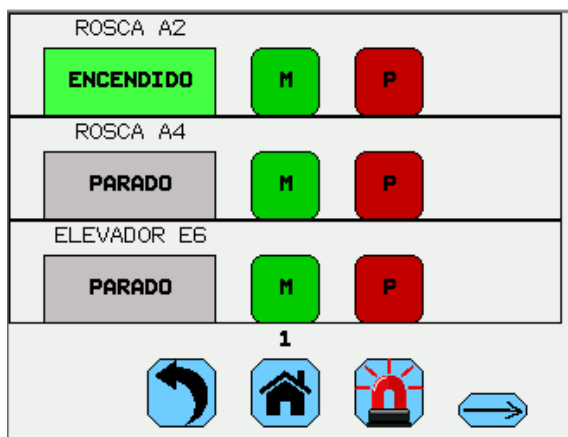


Figura 131 Pantalla de motors 1

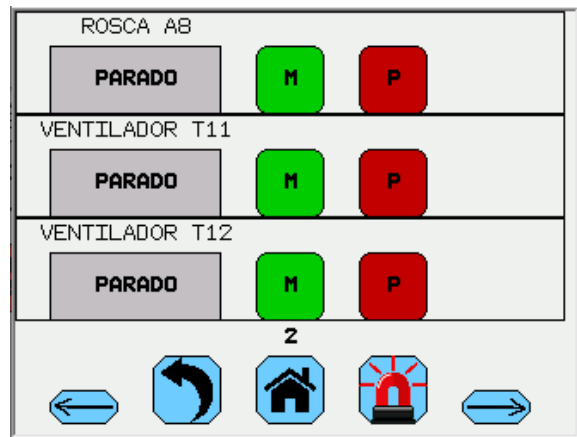


Figura 132 Pantalla de motors 2

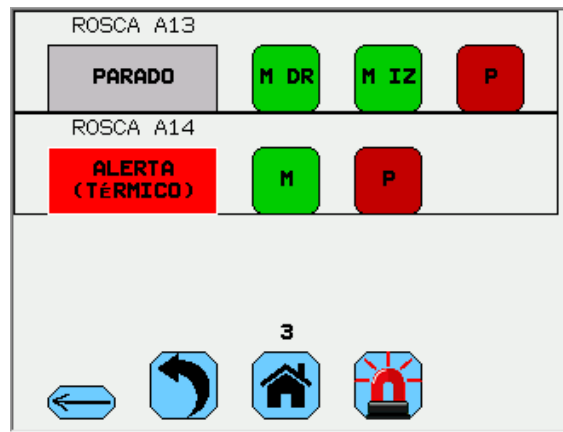


Figura 133 Pantalla de motors 3

Les pantalles de motors són molt similars a les anteriors però amb menys elements. Al no tenir ni tancat ni obert, només encès o apagat, només fan falta dos botons i tres estats. Els botons són d'engegada i parada i els estats són encès, parat i PKZ baixat. El sistema de navegació entre pantalles és igual al que trobem a l'apartat anterior.

Hi ha una excepció, el motor A13, que en tindre dos sentits de gir compta amb un botó extra i, per tant, els botons de marxa són marxa esquerra i marxa dreta.

7.6 Pantalles Automàtic



Figura 134 Pantalla d'automàtic 1



Figura 135 Pantalla d'automàtic 2



Figura 136 Pantalla ventilació

Hi ha dues pantalles d'automàtic, navegables a través dels botons de les cantonades, que compten amb un botó central per a la ventilació i, quatre botons i quatre leds, un de cada per a cada seqüència.

La ventilació, al ser independent de les seqüències, té una pantalla igual a la del mode manual, amb dos botons i un indicador per motor.

A la primera pantalla, visible a la figura 134, trobem els elements de les seqüències 1-4 i a la segona, visible a la figura 135, els de les 1-8. A la figura 136 podem observar els diferents estats que poden tenir els leds associats a les seqüències. El primer, apagat, mostra que la seqüència no està activa i no té cap PKZ baixat. El segon, en vermell, indica que hi ha un PKZ baixat i, per tant, aquesta seqüència no es podria activar. El tercer, en àmbar, indica que la seqüència s'està inicialitzant o parant. I, el quart, en verd, indica que ja està inicialitzada i es troba en funcionament.

7.6.1 Pantalles Seqüències 1-7



Figura 137 Pantalla de seqüència 1



Figura 138 Pantalla de seqüència 2



Figura 139 Pantalla de seqüència 3



Figura 140 Pantalla de seqüència 4



Figura 141 Pantalla de seqüència 5



Figura 142 Pantalla de seqüència 6



Figura 143 Pantalla de seqüència 7

A les figures 137, 138, 139, 140, 141, 142 i 143 trobem les pantalles de les seqüències 1, 2, 3, 4, 5, 6 i 7 respectivament. Totes consten de dos botons, un led d'estat general i els leds d'estat dels motors i sensors específics de cada seqüència.

Els dos botons són d'aturar i parar. A la figura 137 es pot observar l'estat dels botons quan la seqüència és activable i a la figura 138 és com es veuen quan no es pot activar (perquè la sitja es troba plena, hi ha un PKZ baixat, hi ha alguna altra seqüència activada...).

Els leds d'estat general funcionen exactament igual que a les pantalles generals d'automàtic. Els leds de "LLENO" estan encesos quan es detecta que el contenidor relacionat amb la seqüència està ple. Els leds dels motors simples es troben apagats si el motor està aturat i encesos si el motor està en marxa. Les raseres o de la vàlvula, tenen un led per a cada estat que tenen. El led corresponent a un estat marca en verd quan es troba en aquest estat (obert o tancat per a les raseres i via 1, 2 o 3 per a la vàlvula) i en groc quan l'element s'està dirigint cap a un estat (obrint o tancant per a les raseres i s'ha donat l'ordre de via 1, 2 o 3 per a la vàlvula). El o els leds de cada element es posen el vermell si el PKZ del motor ha saltat.

Els leds de cada un dels elements estan ordenats, d'esquerra a dreta, començant per la primera etapa de la seqüència i acabant per l'última, permetent a l'usuari conèixer en quin estat es troba de la inicialització o parada.

7.6.2 Pantalla Seqüència 8



Figura 144 Pantalla de seqüència 8

La pantalla de la vuitena seqüència funciona igual que les anteriors, amb la diferència que trobem dos botons per a triar la direcció de gir de la rosca A13.

7.7 Pantalles Emergents



Figura 145 Pantalla emergent de PKZ



Figura 146 Pantalla emergent de sensors

Per a poder alertar a l'usuari d'una situació en la qual es necessita parar compte, s'han creat dues pantalles emergents. Una per a quan un PKZ cau i un altre per a quan s'activa un sensor de nivell. Aquestes tenen dos botons, un per a tancar-les i seguir a la pantalla on es trobava l'usuari i un altre per a anar a la pantalla corresponent a l'alerta perquè l'usuari pugui visualitzar a quin element en concret es troba l'alerta.

8 Posada en Marxa

Un cop l'armari i el programa estan acabats, es realitza la posada en marxa. Partint que l'armari està instal·lat i els cables de camp estan connectats, aquest son els passos següents:

- **Ajust dels PKZs**

Ajustar tots els corrents dels PKZs a la intensitat nominal dels motors.

- **Descarregar els programes**

Alimentar l'armari i descarregar el programes del PLC i l'HMI als dispositius. Comprovar que aquests es comuniquen correctament

- **Comprovació dels sensors de nivell**

Amb el programa carregat al PLC i HMI i l'armari alimentat, comprovar un per un els sensors de nivell. Per a aquestes comprovacions es necessiten dues persones. Un se'n puja a la sitja corresponent i activa manualment el sensor de nivell i l'altre que ha quedat al quadre comprova que el led d'estat del sensor a l'HMI es comporta correctament.

- **Comprovació dels finals de carrera**

Teòricament, aquest pas hauria de ser igual que l'anterior, però resulta que alguns sensors es trobaven inaccessibles al moment de la posada en marxa. Llavors es va optar per aquesta estratègia, un cop comprovat el mode manual (pas següent), s'activa el motor de la rasera o vàlvula i amb molt de compte de no passar-se (es podria malmetre el motor) s'arriba al final de carrera i es comprova que l'indicador del sensor corresponent funciona correctament.

Per als sensors accessibles es comprova manualment, igual que els sensors de nivell.

Durant les comprovacions dels sensors només hi ha dos tipus de defectes possibles. Que el sensor estigui mal connectat o que un sensor estigui canviat per un altre. Si es troba un error d'aquests, és tan senzill com reconnectar correctament els cables. També podria ser que el sensor fos defectuós, però seria molt estrany.

- **Comprovació del mode manual**

Durant la comprovació del mode manual hi ha tres factors molt importants. S'han d'activar un per un els motors de la planta i comprovar que:

- 1) S'activa
- 2) Gira en el sentit correcte
- 3) Si té un final de carrera, que el motor s'aturi en arribar-hi

En el cas de l'estrella-triangle al ser més complex s'ha de comprovar que tot funciona més detalladament, tot i que si s'ha comprovat l'armari correctament, no hauria d'haver-hi problemes.

Si es troba un error en alguna de les comprovacions, les solucions són les següents:

- 1) Comprovar les connexions estan ben fetes, els cables ben pelats, amb terminals premsats i ben caragolats als bornes.
- 2) Intercanviar entre elles dues de les tres fases del motor.
- 3) Si hi ha un error en el tractament del final de carrera, vol dir que el programa és incorrecte o no s'ha realitzat correctament la comprovació dels sensors.

Un cop tot funciona correctament, elèctricament ja està tot ben connectat. D'ara endavant tots els problemes que puguin sorgir són errors del programa.

- **Comprovació del mode automàtic**

S'ha de comprovar cada seqüència una per una, que els passos d'encesa se segueixin correctament i els d'apagat també. Comprovar que la seqüència d'aturada s'activa quan hi ha un problema que afecta la seqüència corresponent (PKZ caigut o sensor de nivell activat). Qualsevol error que es trobi s'ha de modificar al programa del PLC o HMI.

Un cop el mode automàtic funciona correctament, poden donar per correcte el software.

- **Posada en marxa amb material**

A l'últim pas es comproven un altre cop totes les seqüències però amb material a la planta. En aquest pas els problemes que poden sorgir són falta de potència en els motors o altres problemes mecànics. Aquests no són d'importància en aquest projecte. Una de les poques coses que es poden solucionar amb els coneixements elèctrics/electrònic és que si un motor consumeix lleugerament més del seu corrent nominal.

9 Conclusió

El treball de fi de grau dedicat al disseny, fabricació i programació d'un armari elèctric amb PLC i HMI ha estat un èxit, amb tots els objectius assolits de manera satisfactòria. A través d'aquest projecte, s'ha demostrat la capacitat de planificació, execució i integració de diferents elements per crear un sistema robust i eficient. Algunes de les principals conclusions són:

- **Disseny de l'Armari Elèctric**

La fase de disseny ha estat fonamental per garantir la funcionalitat, seguretat i eficiència del sistema. S'han tingut en compte tots els requisits tècnics i normatives, i s'ha aconseguit crear un armari elèctric ben estructurat i de fàcil manteniment.

- **Fabricació i Muntatge**

La fabricació de l'armari ha estat realitzada amb precisió i atenció als detalls. S'han utilitzat materials de qualitat i tècniques de muntatge adequades per garantir la fiabilitat i durabilitat del sistema.

- **Programació del PLC i HMI**

La programació del PLC i HMI ha estat una part crítica del projecte. S'ha desenvolupat un programa eficient i lògic per al PLC, que s'ha integrat amb èxit amb la interfície de l'usuari proporcionada pel HMI. La programació ha estat testada amb èxit, assegurant un control precís i una interacció amigable.

- **Posada en Marxa**

La posada en marxa del sistema ha estat una fase essencial, en la qual s'han dut a terme les accions necessàries per posar en funcionament tot el sistema en un entorn real. Aquesta fase ha inclòs la verificació de la connectivitat, la calibració dels sensors, la validació dels sistemes de control i altres procediments necessaris per assegurar-se que el sistema respongui adequadament.

- **Documentació**

S'ha generat una documentació completa que inclou tots els detalls del projecte, des del disseny fins a la programació.

- **Perspectives Futures**

Tot i que s'ha assolit l'objectiu principal del projecte, es podrien explorar futures millores i ampliacions del sistema. Això podria incloure millores del programa o la implementació de control remot.

En resum, aquest treball de fi de grau ha estat una oportunitat per aplicar i integrar els coneixements adquirits al llarg dels estudis en un projecte pràctic i real. El resultat final és un armari elèctric amb PLC i HMI completament funcional i eficient, que compleix amb les expectatives.

10 Bibliografia

- Elements de la planta

<https://kongskilde-industries.com/grain/product/bucket-elevators-kbe/>

<https://www.sodeca.com/es/productos/cmr-p1000000001#prod>

<https://www.mulmix.it/en/>

- Actuador i sensors de la planta

https://www.aecosensors.com/versionePDF.cfm?ID_fam=40&idprodotto=6954

<https://www.pizzato.com/es/catalogo/FD538M2.html>

<https://filsa.es/producto/ms-1/>

<https://www.distrelec.biz/en/linear-drive-24-vdc-linak-121000-11002420/p/15451414>

- Components del armari

<https://www.se.com/es/es/>

<https://www.weidmuller.es/es/index.jsp>

<https://es.rs-online.com/web/p/reles-de-seguridad/9186686>

<https://www.clientes.grupoelektra.es/catalogo/producto/519209/1>

<https://www.wago.com/es/>

<https://www.unex.net/ES/home/>

- REBT

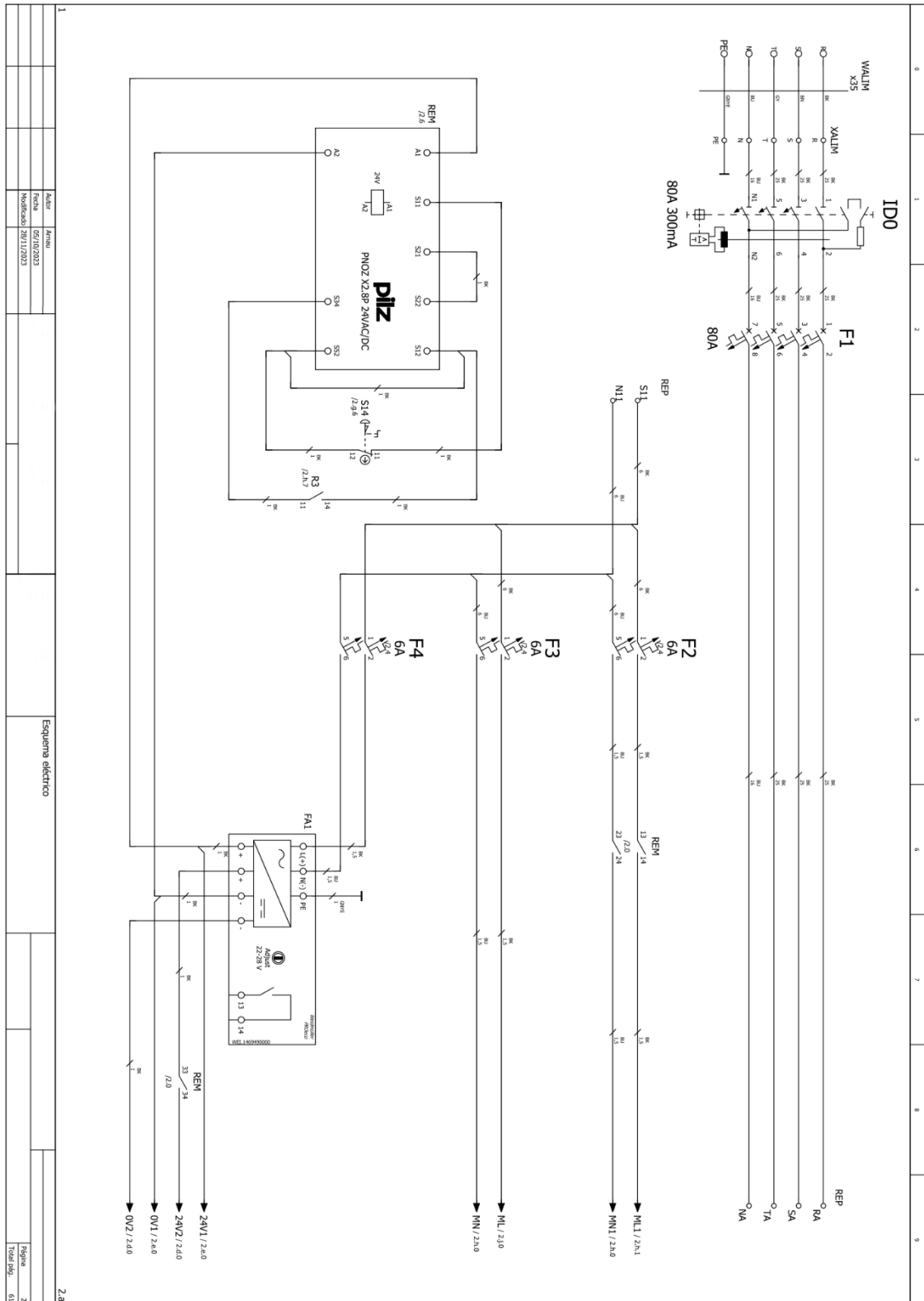
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>

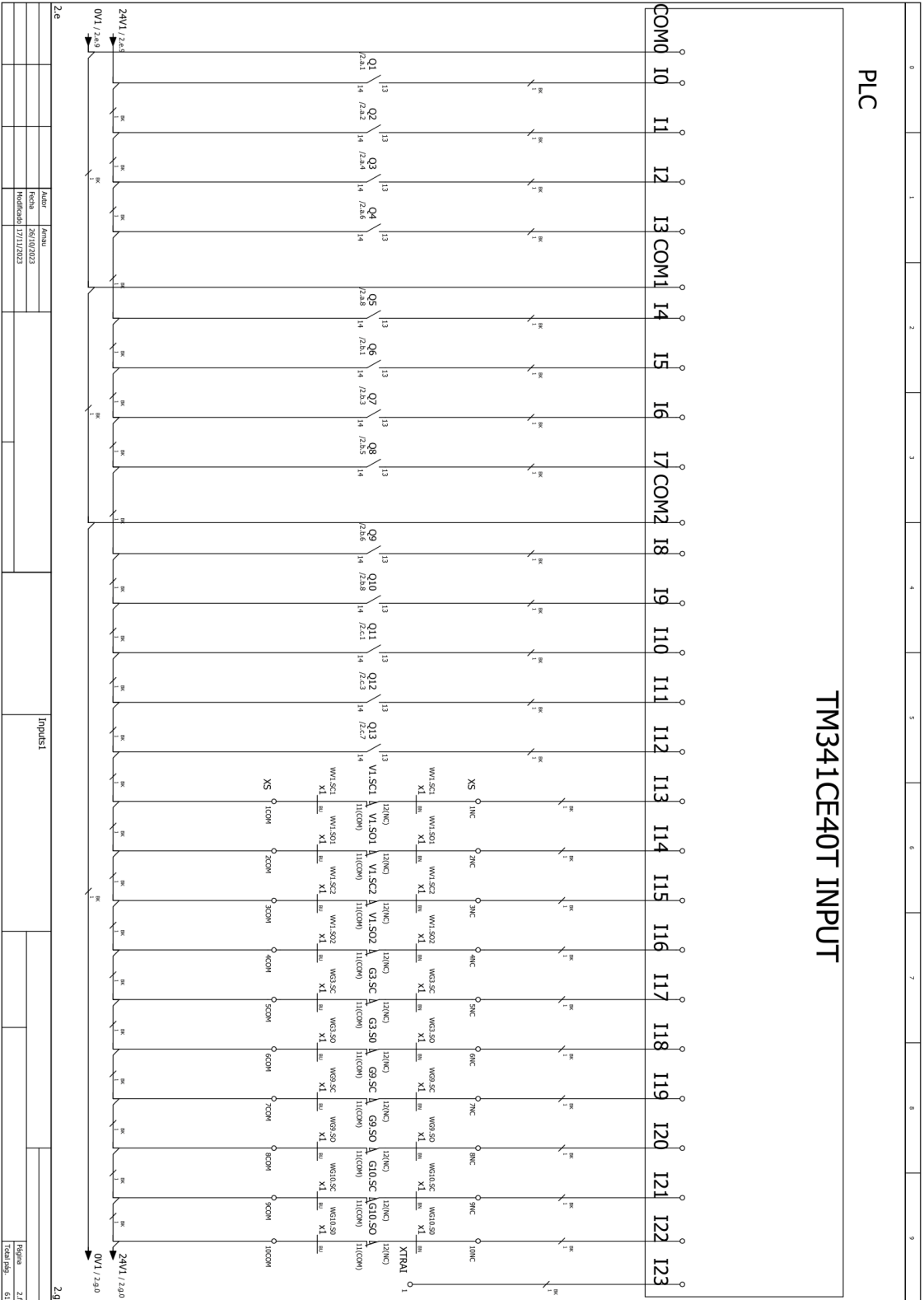
11 Llistat de Material i Presupost

Referència	Descripció	Quantitat	Preu/U (€)	Preu Total (€)
1020000000	Bornera Gris de 2,5 mm ²	75	1,16	87,00
1010000000	Bornera de Terra de 2,5 mm ²	12	3,70	44,40
1020200000	Bornera Gris de 6 mm ²	6	1,80	10,80
1010200000	Bornera de Terra de 6 mm ²	1	4,48	4,48
1020500000	Bornera Gris de 35 mm ²	4	5,90	23,60
1010500000	Bornera de Terra de 35 mm ²	1	9,21	9,21
LC1D06P7	Contactador bobina 230 VAC, 6 A	13	57,67	749,71
LC1D12P7	Contactador bobina 230 VAC, 12 A	3	80,82	242,46
LC1D18P7	Contactador bobina 230 VAC, 18 A	4	110,04	440,16
LC1D25P7	Contactador bobina 230 VAC, 25 A	3	150,43	451,29
GV2ME04	PKZ 3 pols, 0,4...0,63 A	5	121,67	608,35
GV2ME10	PKZ 3 pols, 4...6,3 A	3	131,16	393,48
GV2ME14	PKZ 3 pols, 6...10 A	3	150,97	452,91
GV2ME16	PKZ 3 pols, 9...14 A	1	153,91	153,91
GV2ME21	PKZ 3 pols, 17...23 A	1	176,53	176,53
GVAE11	Contacte auxiliar PKZ	13	20,51	266,63
GV2AF3	Unió PKZ-contactador	6	14,02	84,12
GV2G345	Embarrat de pinta	2	24,11	48,22
GV1G09	Borner per a embarrat	2	21,80	43,60
LADT2	Timer, NC-NO	3	120,55	361,65
A9R14480	Interrupctor diferencial 4P 80 A 300 mA	1	1.015,53	1.015,53
A9N18372	Interrupctor automàtic 4P 80 A corba C	1	757,73	757,73
A9F77206	Interrupctor automàtic 2P 6 A corba C	3	37,78	113,34
PILZ.777301	Relé d'emergència	1	226,51	226,51
RALSR0	Avisador acústic i lluminós 230 VAC	1	69,00	69,00
A9A15310	Endoll 2p	1	30,00	30,00
LGY412548	Repartidor	1	49,25	49,25
XB4BS8444	Seta de emergència, 2 NC	1	65,84	65,84
HMISTU	Pantalla tàctil HMI	1	649,64	649,64
TM241CE40T	PLC	1	530,68	530,68
TM3DI8	Mòdul TM3 8 entrades digitals	1	108,93	108,93
TM3DQ16TK	Mòdul TM3 16 sortides digitals	1	122,89	122,89
ABE7R16T111	Mòdul de relés	1	357,44	357,44
ABFT20E100	Cable connector	1	43,63	43,63
1469490000	Font de alimentació	1	182,50	182,50
DRI314024LTD	Relé 1 NO bobina 24 VDC	5	5,60	28,00

DRI424024LTD	Relé 2 NO bobina 24 VDC	2	6,10	12,20
SDI 1CO	Base per a relé 1 contacte	5	3,90	19,50
SDI 2CO	Base per a relé 2 contactes	2	4,00	8,00
NSYSM20840P	Armari 2000x800x400 mm	1	2.120,02	2.120,02
NSYSPF8200	Sòcol frontal	1	337,14	337,14
NSYSPF8100	Sòcol lateral	1	186,39	186,39
0383400000	Carril DIN	6 m	10,63/2m	63,78
UNEX 60.40.77	Canaleta (60x40 mm)	2 m	7,88/2m	15,76
UNEX 80.60.77	Canaleta (80x60 mm)	2 m	11,07/2m	22,14
UNEX 80.80.77	Canaleta (80x80 mm)	6m	13,36/2m	80,16
249-116	Separador	17	2,25	38,25
249-119	Etiqueta	17	1,26	21,42
20302804	200 m de cable negre 1 mm ²	1	21,00	21,00
20302799	200 m de cable blau 1 mm ²	1	21,00	21,00
20302814	200 m de cable negre 1,5 mm ²	1	48,00	48,00
20302808	200 m de cable verd/groc 1,5 mm ²	1	48,00	48,00
20302822	200 m de cable negre 2,5 mm ²	1	76,00	76,00
20303034	100 m de cable negre 6 mm ²	1	86,25	86,25
20303031	100 m de cable blau 6 mm ²	1	86,25	86,25
20303038	100 m cable negre 10 mm ²	1	144,21	144,21
20303040	100 m cable blau 16 mm ²	1	222,98	222,98
1169113NGP	cable negre 35 mm ²	15 m	6,19/m	92,85
PKE108-Q100	100 Terminals de punta buida 1 mm ²	2	1,69	3,38
PKE1508-Q100	100 Terminals de punta buida 1,5 mm ²	2	1,75	3,50
PKE2508-Q100	100 Terminals de punta buida 2,5 mm ²	1	2,15	2,15
PKE608-Q100	100 Terminals de punta buida 6 mm ²	1	6,05	6,05
PKE1012-Q100	100 Terminals de punta buida 10 mm ²	1	6,56	6,56
PKE1612-Q100	100 Terminals de punta buida 16 mm ²	1	12,00	12,00
PKE35016-Q100	100 Terminals de punta buida 35 mm ²	1	16,00	16,00
			Total:	12.824,36
Referència	Descripció	Quantitat	Preu/U (€)	Preu Total (€)
1	Hores de disseny	96	20	1.920,00
2	Hores de muntatge	48	20	960,00
3	Hores de comprovacions	8	20	160,00
4	Hores de programació	80	20	1.600,00
5	Hores de posta en marxa	24	20	480,00
			Total:	5.120,00
Preu Total (€)				
				17.944,36

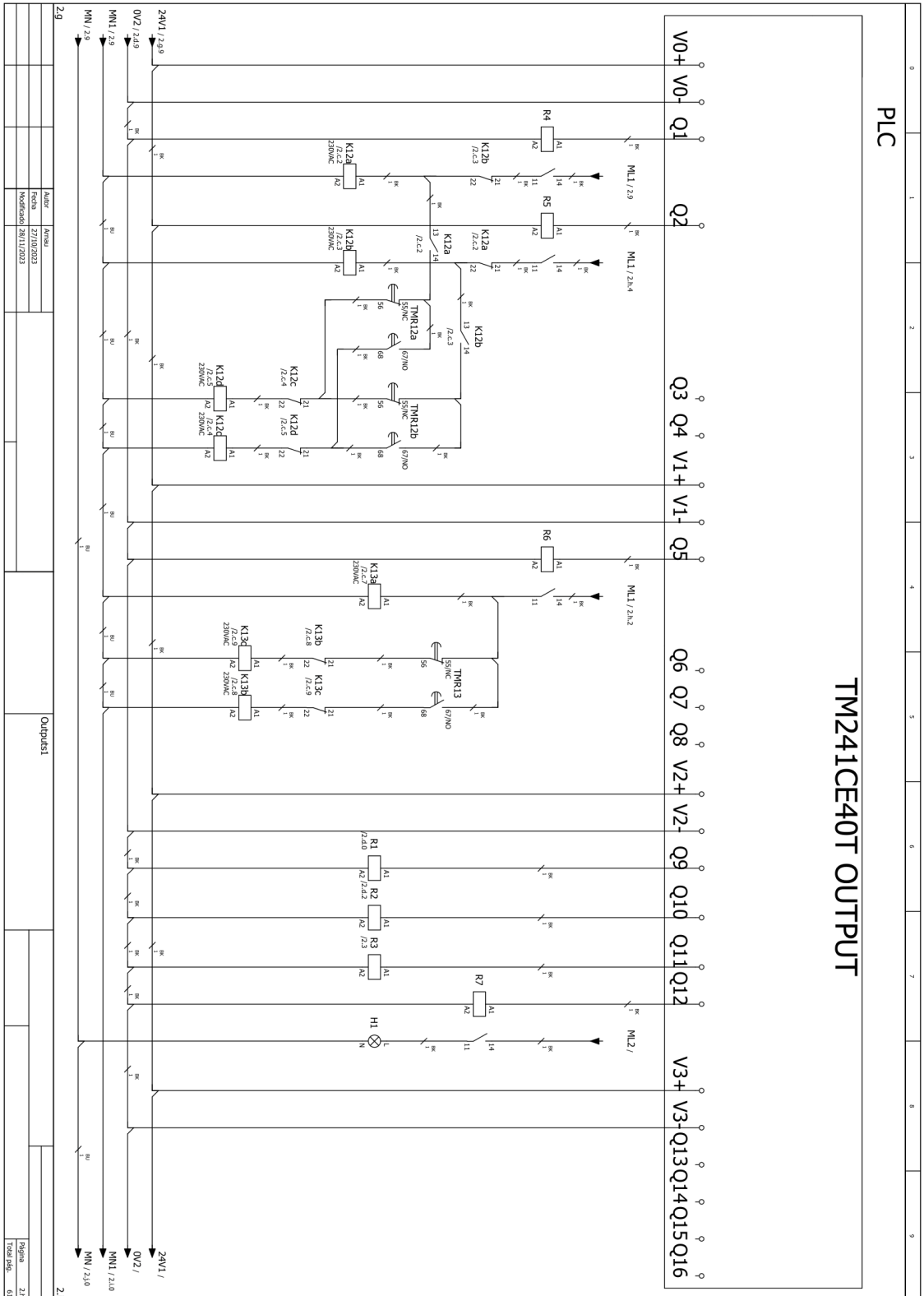
12 Esquema elèctric

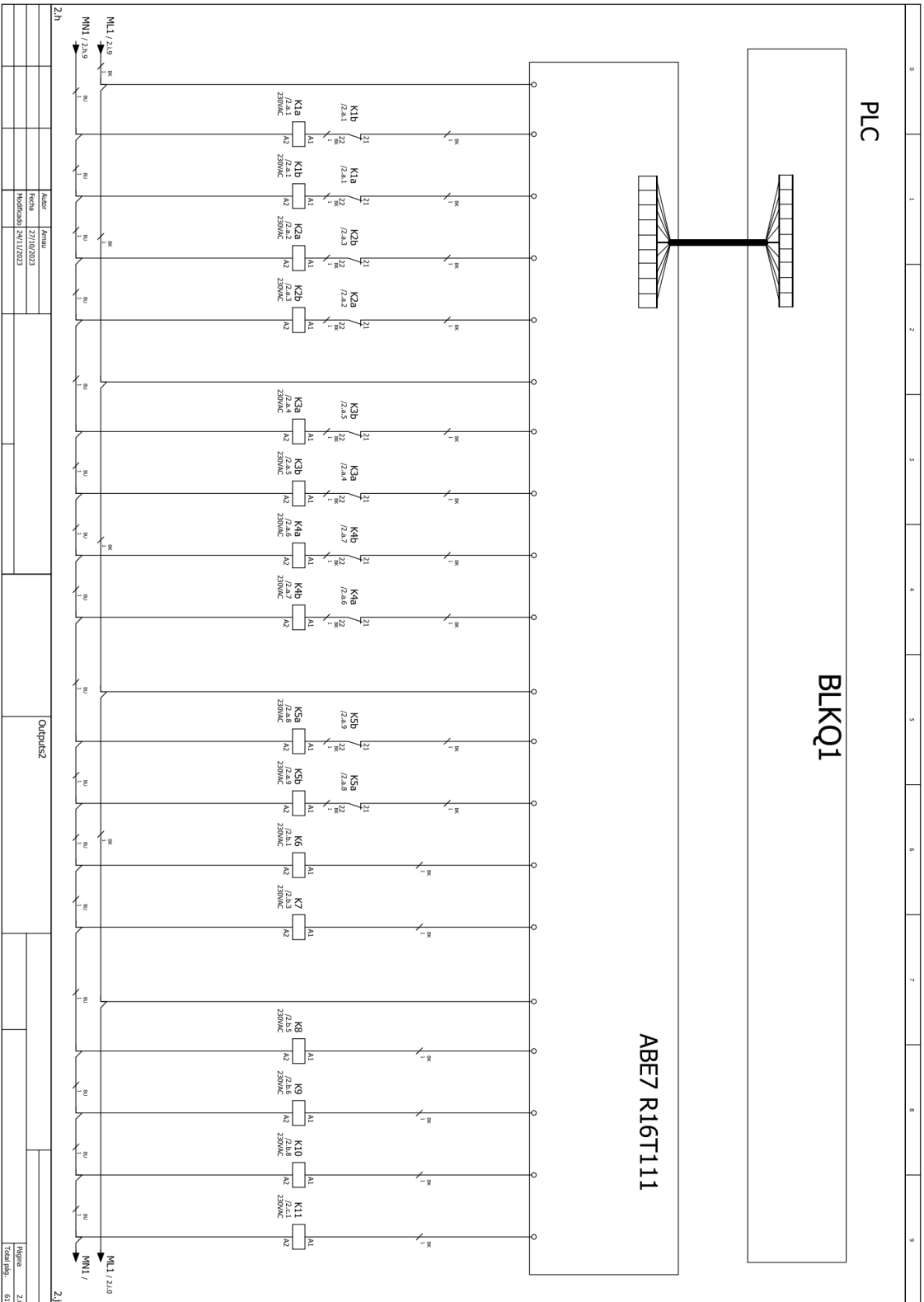


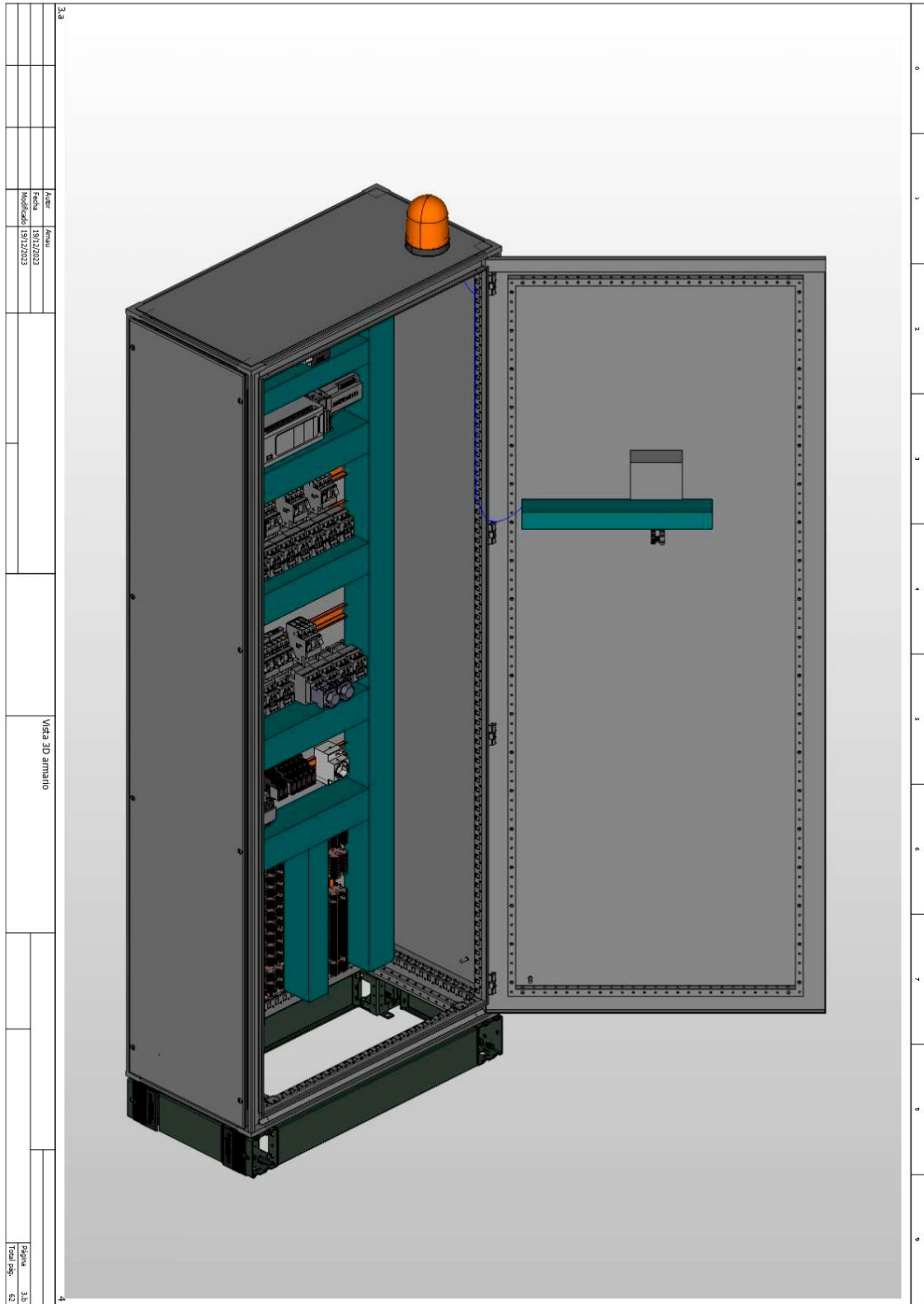


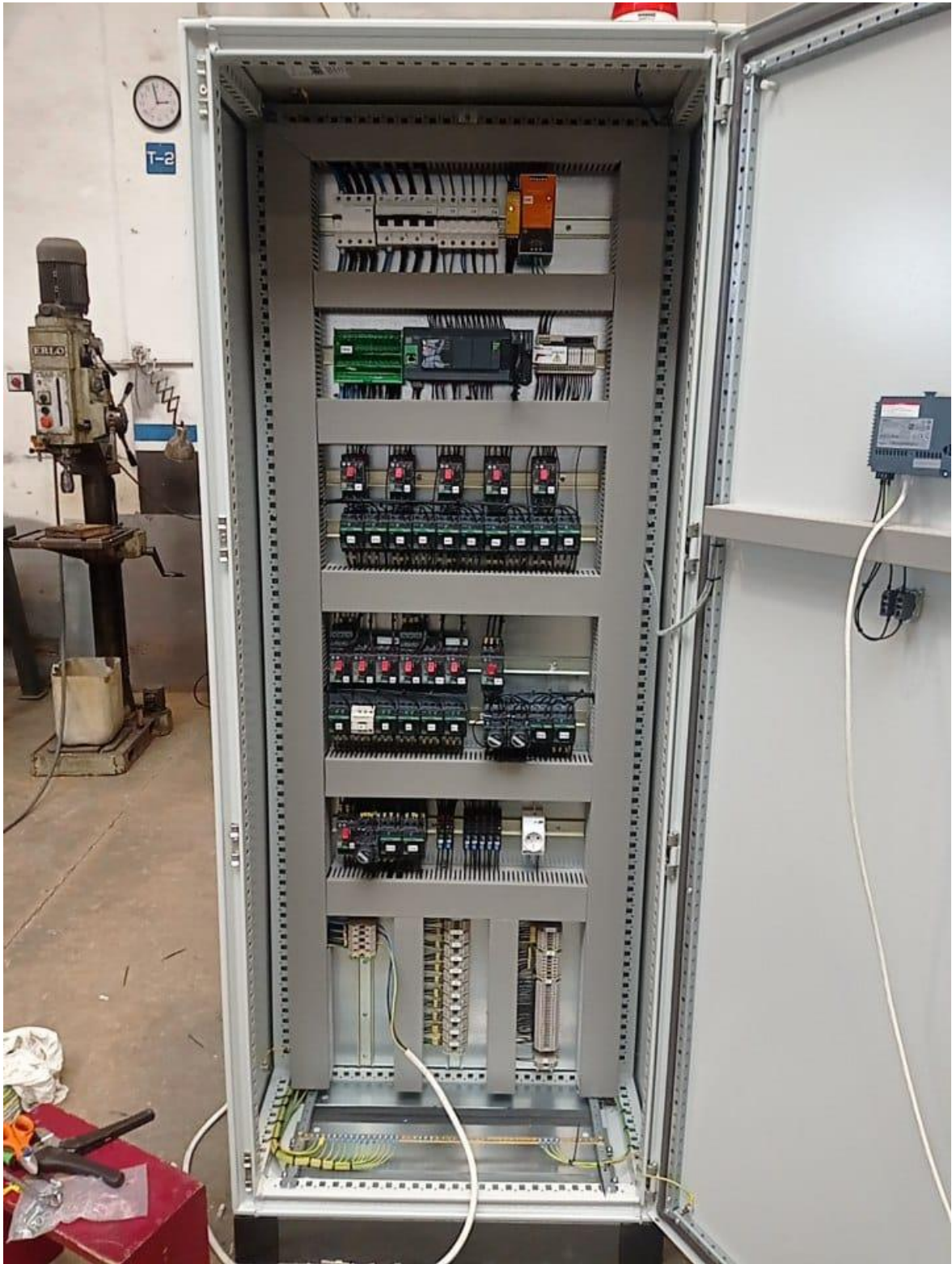
PLC

TM241CE40T OUTPUT









14 Llistat de entrades i sortides

Mòdul	Pin del mòdul	Denominació	Descripció
TM241CE40T	I0	Q1	PKZ del motor V1.M1
TM241CE40T	I1	Q2	PKZ del motor V1.M2
TM241CE40T	I2	Q3	PKZ del motor G3
TM241CE40T	I3	Q4	PKZ del motor G9
TM241CE40T	I4	Q5	PKZ del motor G10
TM241CE40T	I5	Q6	PKZ del motor A2
TM241CE40T	I6	Q7	PKZ del motor A4
TM241CE40T	I7	Q8	PKZ del motor A14
TM241CE40T	I8	Q9	PKZ del motor A8
TM241CE40T	I9	Q10	PKZ del motor T11
TM241CE40T	I10	Q11	PKZ del motor T12
TM241CE40T	I11	Q12	PKZ del motor A13
TM241CE40T	I12	Q13	PKZ del motor E6
TM241CE40T	I13	V1.SC1	Final de carrera de tancat de V1.M1
TM241CE40T	I14	V1.SO1	Final de carrera d'obert de V1.M1
TM241CE40T	I15	V1.SC2	Final de carrera de tancat de V1.M2
TM241CE40T	I16	V1.SO2	Final de carrera d'obert de V1.M2
TM241CE40T	I17	G3.SC	Final de carrera de tancat de G3
TM241CE40T	I18	G3.SO	Final de carrera d'obert de G3
TM241CE40T	I19	G9.SC	Final de carrera de tancat de G9
TM241CE40T	I20	G9.SO	Final de carrera d'obert de G9
TM241CE40T	I21	G10.SC	Final de carrera de tancat de G10
TM241CE40T	I22	G10.SO	Final de carrera d'obert de G10
TM241CE40T	I23	XTRAI1	Bornera de sortida extra 1
TM3DI8	I0	LH1	Sensor de màxim sitja 1
TM3DI8	I1	LH2	Sensor de màxim sitja 2
TM3DI8	I2	LH3	Sensor de màxim assecador
TM3DI8	I3	XTRAI2	Bornera de sortida extra 2
TM3DI8	I4	S14	Seta d'emergència
TM3DI8	I5	XTRAI3	Bornera de sortida extra 3
TM3DI8	I6	XTRAI4	Bornera de sortida extra 4
TM3DI8	I7	XTRAI5	Bornera de sortida extra 5

Mòdul	Pin del mòdul	Denominació	Descripció
TM241CE40T	Q1	R4	Relé associat a la marxa directa de A13
TM241CE40T	Q2	R5	Relé associat a la marxa inversa de A13
TM241CE40T	Q3		
TM241CE40T	Q4		
TM241CE40T	Q5	R5	Relé associat a la marxa de E6
TM241CE40T	Q6		
TM241CE40T	Q7		
TM241CE40T	Q8		
TM241CE40T	Q9	R1	Relé associat a la obertura de l'actuador de G7
TM241CE40T	Q10	R2	Relé associat al tancament de l'actuador de G7
TM241CE40T	Q11	R3	Relé associat al restabliment del relé de emergència
TM241CE40T	Q12	R7	Relé associat la balisa
TM241CE40T	Q13		
TM241CE40T	Q14		
TM241CE40T	Q15		
TM241CE40T	Q16		
ABE7R16T111	100	K1a	Contactador de marxa directa de V1.M1
ABE7R16T111	101	K1b	Contactador de marxa inversa de V1.M1
ABE7R16T111	102	K2a	Contactador de marxa directa de V1.M2
ABE7R16T111	103	K2b	Contactador de marxa inversa de V1.M2
ABE7R16T111	104	K3a	Contactador de marxa directa de G3
ABE7R16T111	105	K3b	Contactador de marxa inversa de G3
ABE7R16T111	106	K4a	Contactador de marxa directa de G9
ABE7R16T111	107	K4b	Contactador de marxa inversa de G9
ABE7R16T111	108	K5a	Contactador de marxa directa de G10
ABE7R16T111	109	K5b	Contactador de marxa inversa de G10
ABE7R16T111	110	K6	Contactador de A2
ABE7R16T111	111	K7	Contactador de A4
ABE7R16T111	112	K8	Contactador de A14
ABE7R16T111	113	K9	Contactador de A8
ABE7R16T111	114	K10	Contactador de T11
ABE7R16T111	115	K11	Contactador de T12

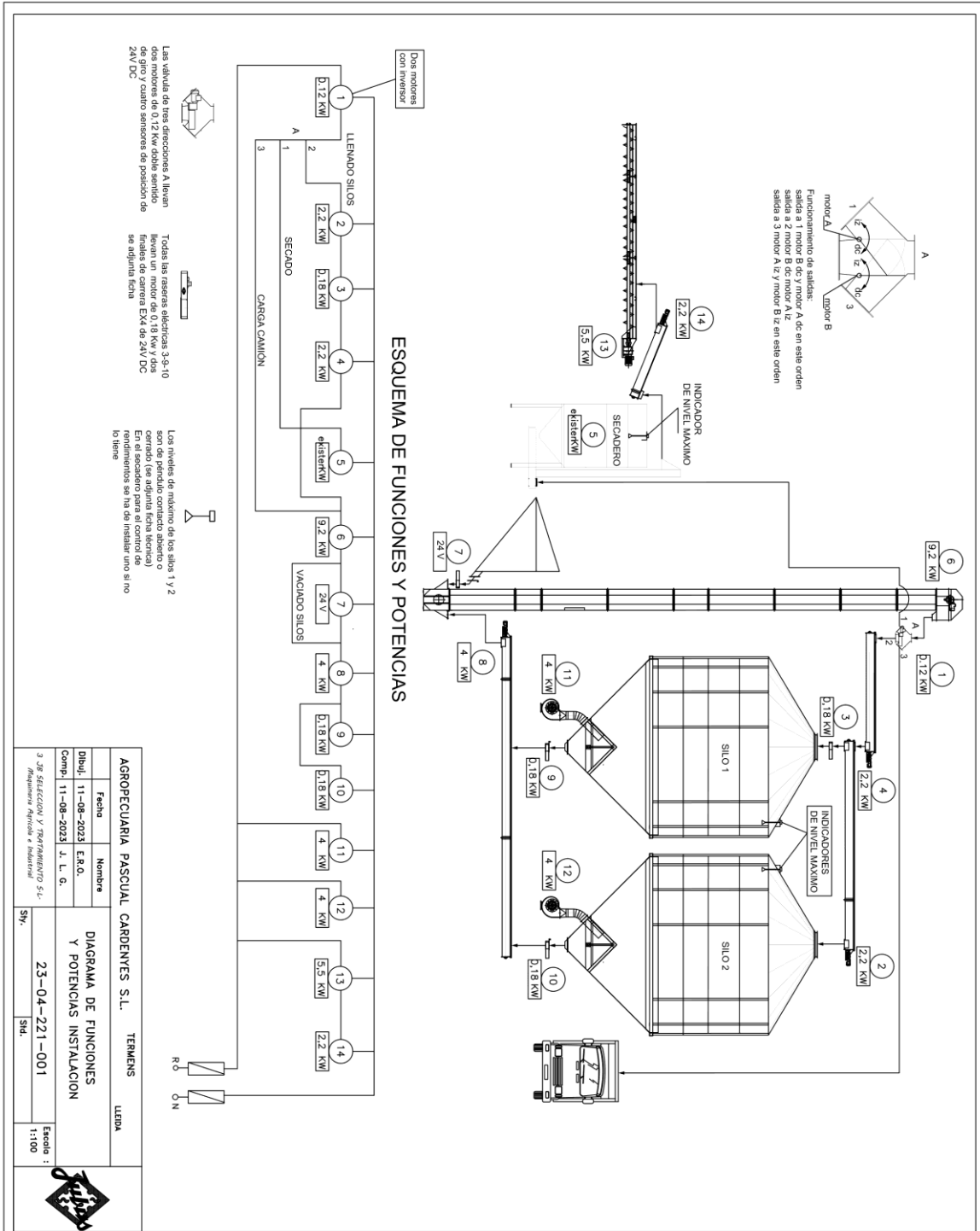
15 Anexos

15.1 Annex 1

Tabla 1. Intensidades admisibles (A) al aire 40 °C. N.º de conductores con carga y naturaleza del aislamiento

			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes											
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR			
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ⁹⁾				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
E		Cables multiconductores al aire libre ⁷⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0.3D ⁹⁾					3x PVC		2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁸⁾ . Distancia a la pared no inferior a D ⁹⁾						3x PVC			3x XLPE o EPR ¹⁾		
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁹⁾								3x PVC ¹⁾		3x XLPE o EPR	
		mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cobre		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
		150				236	260	278	310	338	363	404	525
		185				268	297	317	354	386	415	464	601
	240				315	350	374	419	455	490	552	711	
	300				360	404	423	484	524	565	640	821	

15.2 Annex 2

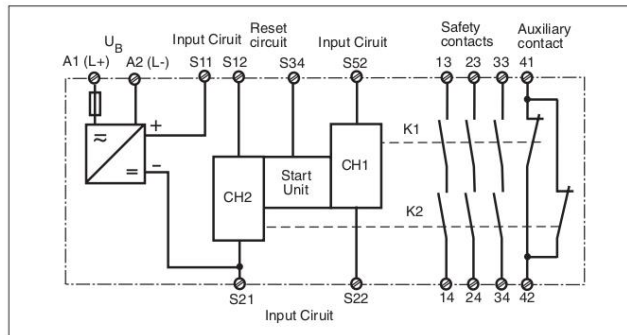


Emergency Stop Relays, Safety Gate Monitors



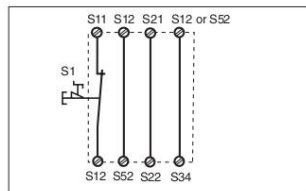
Category 4, EN 954-1 PNOZ X2.8P

Schematic interior diagram

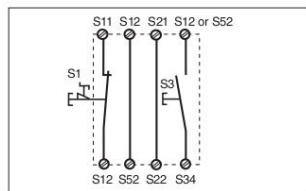


External wiring

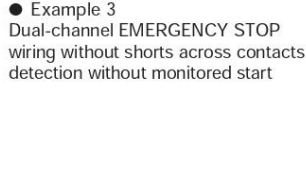
● Example 1
Single-channel EMERGENCY STOP wiring with automatic start



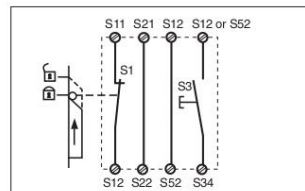
● Example 2
Single-channel EMERGENCY STOP wiring without monitored start



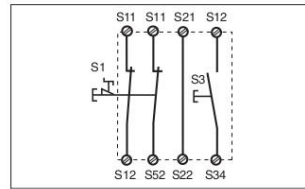
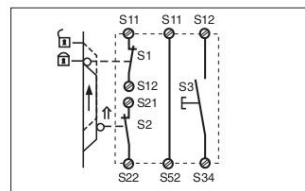
● Example 3
Dual-channel EMERGENCY STOP wiring without shorts across contacts detection without monitored start



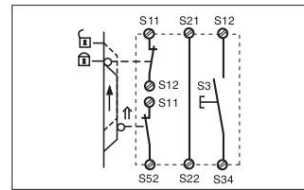
● Example 4
Single-channel safety gate control without monitored start



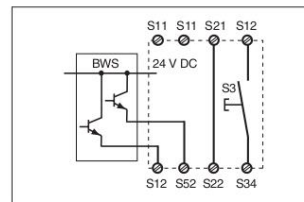
● Example 5
Dual-channel safety gate control with shorts across contacts detection, without monitored start



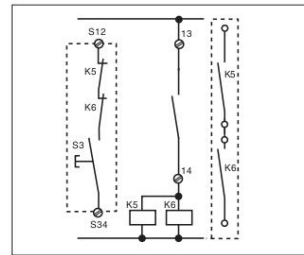
● Example 6
Dual-channel safety gate control without shorts across contacts detection, without monitored start



● Example 7
Dual channel light barrier control with shorts across contacts detection by BWS, without monitored start



● Increase in safety contacts
The number of output contacts can be increased by using expander modules or relays/contactors with positive-guided contacts.



- Legend

- S1/S2: EMERGENCY STOP or safety gate switch
- S3: Start switch
- actuated element
- gate not closed
- gate closed