



TecnoCampus
Escola Superior
Politécnica

Centre adscrit a la



Universitat
Pompeu Fabra
Barcelona

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

**ACTUALITZACIÓ DEL CONTROL AUTOMÀTIC D'UNA PERFORADORA DE
BANDES**

Memòria

JORDI VIARNÉS VELA
PONENT: JOSEP LÓPEZ XARBAU

PRIMAVERA 2021



TecnoCampus
Mataró-Maresme

Dedicatòria

Aquest treball va dedicat a la família, per l'ajuda i el suport durant aquests anys.

Agraïments

Agraïments a les empreses Automatismes Tecelmac i Ermengineering Belting Fabrication Equipment, als quals pertany aquest projecte i han donat suport per a dur-lo a terme.

Perspectiva de gènere

Al present treball de fi de grau es garanteix que tant el redactat, el desenvolupament i el resultat del projecte respecta per igual el gènere de les persones involucrades. Evitant d'aquesta manera distanciament o diferenciació entre diferents gèneres i sent inclusiu en quant a sexe, cultura o classe social.

Resum

El projecte tracta de millorar l'automatització ja existent de la màquina PAF-200 del client Ermengineering Belting Fabrication Equipment, dedicada a la perforació de bandes per a cintes transportadores. Solucionant diferents problemes de mecànica, software i seguretat, es pretén obrir un ventall de possibilitats de configuració i ajust de cara a l'usuari final. Tracta diferents temes com l'econòmic, planificació, estudi de viabilitat, comparatives de solucions i resolució tècnica del projecte. Desenvolupant la vessant elèctrica i de software, es treballen tecnologies com el motion control, protocols de comunicació Ethernet/IP, Ethercat, FTP, VNP entre altres.

Resumen

El proyecto trata de mejorar la automatización ya existente de la máquina PAF-200 del cliente Ermengineering Belting Fabrication Equipment, dedicada a la perforación de bandas para cintas transportadoras. Solucionando diferentes problemas de mecánica, software i seguridad, se pretende abrir un abanico de posibilidades de configuración y ajuste de cara al usuario final. Trata diferentes temas como el económico, planificación, estudio de viabilidad, comparativa de soluciones y resolución técnica del proyecto. Desarrollando la vertiente eléctrica y de software, se trabajan tecnologías como el motion control, protocolos de comunicación Ethernet/IP, Ethercat, FTP, VNP entre otros.

Abstract

The project aims to improve the existing automation of the customer's PAF-200 machine Ermengineering Belting Fabrication Equipment, dedicated to the perforation of belts for conveyor belts. Solving different mechanical, software and security issues is intended to open up a range of configuration and adjustment possibilities for the end user. It deals with different topics such as economics, planning, feasibility study, comparison of solutions and technical resolution of the project. Developing the electrical and software side, technologies such as motion control, Ethernet / IP, Ethercat, FTP, VNP among others are used.

Índex

Índex de taules	V
Índex de figures	VII
Glossari de termes	XI
1. Objecte del projecte.....	1
2. Revisió d'antecedents i necessitats d'informació.....	3
2.1 Màquina actual.....	3
2.1.1 Detall funcional	4
2.1.2 Interfície amb l'usuari	5
2.1.3 Configuració de patrons.....	15
2.1.4 Funcionament	21
2.1.5 Recursos de programació.....	23
2.2 Revisió de la competència	23
2.3 Normativa	29
3. Abast del projecte.....	31
4. Objectius i especificacions tècniques	33
5. Generació i plantejament de possibles alternatives de solució.	35
5.1 Substitució de motor pas a pas per servo motor Mitsubishi HG-KR-43	35
5.2 Substitució de portes per barreres de seguretat.....	38
5.3 Interfície amb l'usuari.....	41
6. Selecció de l'alternativa més adequada.....	45

7.	Viabilitat tècnica	47
7.1	Estat de l'art	47
7.2	Eines de desenvolupament.....	49
7.3	Viabilitat de la solució	49
7.4	Material requerit	51
8.	Desenvolupament de la solució.....	53
8.1	Control de seguretat	54
8.2	Configuració de perifèrics	54
8.3	Desenvolupament de software	57
8.3.1	Estats màquina.....	57
8.3.2	Seqüència automàtic	59
8.3.3	Gestió de patrons	61
8.3.4	Càlcul de punts	63
9.	Planificació.....	67
9.1	Llistat i definició de tasques	67
9.2	Durada i recursos de tasques.....	69
9.3	Diagrama de Gantt	71
9.4	Diagrama de xarxa	72
9.5	Costos directes	73
10.	Impacte mediambiental.....	75
11.	Tancament	79

	III
11.1 Desviacions de la planificació	79
11.2 Desviacions de la viabilitat econòmica.....	79
11.3 Punts forts i punts febles de la solució.....	80
11.4 Propostes de millora.....	80
12. Conclusions	81
13. Referències	83

Índex de taules

Taula 8.1 Estructura de la taula de producció [Font pròpia]	64
Taula 9.1 Planificació de tasques i recursos assignats [Font pròpia]	70
Taula 9.2 Costos directes [Font pròpia]	74
Taula 10.1: Accions impactants mediambientals [Font pròpia]	77
Taula 10.2: Factors ambientals impactats [Font pròpia]	77

Índex de figures

Fig. 2.1 Vista PAF200. Vista general [Font pròpia].....	3
Fig. 2.2 HMI PAF200. Pantalla inicial [Font pròpia].....	6
Fig. 2.3 HMI PAF200. Menú principal [Font pròpia].....	6
Fig. 2.4 HMI PAF200. Treball [Font pròpia].....	7
Fig. 2.5 HMI PAF200. Pantalla de correcció [Font pròpia].....	8
Fig. 2.6 HMI PAF200. Configuració [Font pròpia].....	8
Fig. 2.7 HMI PAF200. Manual [Font pròpia].....	9
Fig. 2.8 HMI PAF200. Menú sistema [Font pròpia].....	9
Fig. 2.9 HMI PAF200. Parametrització [Font pròpia].....	10
Fig. 2.10 HMI PAF200. Motor pas a pas [Font pròpia].....	10
Fig. 2.11 HMI PAF200. Sistema [Font pròpia].....	11
Fig. 2.12 HMI PAF200. Idiomes i runtime [Font pròpia].....	11
Fig. 2.13 HMI PAF200. Nova memòria [Font pròpia].....	12
Fig. 2.14 HMI PAF200. Nova memòria tipus A [Font pròpia].....	12
Fig. 2.15 HMI PAF200. Nova memòria tipus B [Font pròpia].....	13
Fig. 2.16 HMI PAF200. Nova memòria tipus C.1 [Font pròpia].....	13
Fig. 2.17 HMI PAF200. Nova memòria tipus C.2 [Font pròpia].....	14
Fig. 2.18 HMI PAF200. Memòries [Font pròpia].....	14
Fig. 2.19 PAF200. Tipus de patrons [Font pròpia].....	15

Fig. 2.20 Exemple patró tipus A $\gamma^{\circ}=0$ [Font pròpia]	16
Fig. 2.21 Exemple patró tipus A $\gamma^{\circ}<0$ [Font pròpia]	16
Fig. 2.22 Exemple patró tipus B $\gamma^{\circ}=0$ [Font pròpia]	17
Fig. 2.23 Exemple patró tipus B $\gamma^{\circ}<0$ [Font pròpia]	18
Fig. 2.24 Possible configuració de patró tipus C [1]	20
Fig. 2.25 Exemple patró tipus C $\gamma^{\circ}=0$ [Font pròpia]	20
Fig. 2.26 Exemple patró tipus C $\gamma^{\circ}<0$ [Font pròpia]	21
Fig. 2.27 Recursos de memòria CPU PAF200 [Font pròpia]	23
Fig. 2.28 ICE-Trade. Pantalla de configuració 1 [2]	24
Fig. 2.29 ICE-Trade. Pantalla de configuració 2 [2]	24
Fig. 2.30 Beltwin. Pantalla de configuració 1 [3]	25
Fig. 2.31 Beltwin. Imatge del trepant[3]	26
Fig. 2.32 CUTCNC Equipment. Vista general [4]	27
Fig. 2.33 CUTCNC Equipment. Mostres de tall [4]	27
Fig. 2.34 Màquina de tall per aigua 1 [6]	28
Fig. 2.35 Màquina de tall per aigua 2 [6]	29
Fig. 5.1 Descripció gràfica funcional del servo MR-J4-A-RJ [8]	36
Fig. 5.2 Descripció gràfica funcional del servo MR-J4-TM [8]	37
Fig. 5.3 Circuit de seguretat. Lògica cablejada [Font pròpia]	40
Fig. 5.4 Circuit de seguretat. Lògica programada [Font pròpia]	41
Fig. 8.1 Diagrama de blocs de la solució [Font pròpia]	53

Fig. 8.2 Solució hardware del control [Font pròpia]	55
Fig. 8.3 Estats màquina [Font pròpia]	58
Fig. 8.4 Control de punts a foradar [Font pròpia].....	59
Fig. 8.5 Graficet seqüència automàtic [Font pròpia]	60
Fig. 8.6 Figura resultant d'angle diferent de 0 [Font pròpia]	65
Fig. 9.1 Diagrama de Gantt [Font pròpia]	71
Fig. 9.2 Diagrama de xarxa [Font pròpia]	72

Glossari de termes

2D	2 Dimensions
3D	3 Dimensions
AOI	Add-On Instructions
CE	Conformitat europea
CAN	Controller Area Network
CiA	CAN in Automation
cm	Centímetres
CO ₂	Diòxid de Carboni
CoE	CAN over Ethercat
CPU	Central Processing Unit
CSV	Comma-separated values
DB	Data Block
FAT	Factory Acceptance Test
FTP	File Transfer Protocol
HMI	Human-Machine Interface
HTL	High Treshold-Logic
KB	Kilo Bytes
m	Metres
m ²	Metres quadrats

MB	Mega Bytes
min	Minuts
mm	Mil·límetres
ms	Mil·lisegon
NO	Normaly Open
OLE	Object Linking and Embedding
OPC	OLE for Process Control
PAF200	Nom de la màquina original
PC	Personal Computer
PDO	Process Data Object
PL	Performance Level
PLC	Programmable logic controller
PVC	Clorur de Polivinil
PWM	Pulse wide modulation
RT	Real Time
SAT	Site Acceptance Test
SD	Secure Digital
SDO	Service Data Object
SQL	Structured Query Language
TTL	Transistor-Transistor Logic
UA	Unified architecture

USB	Universal Serial Bus
VPN	Virtual Private Network
XML	eXtensible Markup Language

1. Objecte del projecte

L'objecte del present projecte és l'actualització de l'automatització, a partir de l'estudi de l'art de la tecnologia, de la màquina perforadora de bandes per, i en col·laboració directa, amb el client Ermengineering Belting Fabrication Equipment, fabricant de la mateixa. Fent d'aquesta una màquina innovadora i exclusiva al mercat a la vegada que viable tècnica, econòmica i mediambientalment.

La màquina perforadora de bandes és una màquina dedicada a fer forats a les bandes destinades a cintes transportadores que requereixen ser perforades per a la neteja, aspiració de residus, cribratge, posicionament etc. del producte transportat. Segons el tipus d'aplicació i els requeriments del client final, el patró de perforació canvia fent que sigui realment important una solució automàtica per a la realització dels forats.

Es requereix, llavors, que el fabricant de la banda pugui generar patrons de perforació amb total llibertat i els pugui guardar en receptes/programes de màquina i que aquests siguin editables des de un PC per millorar-ne l'edició i poder compartir programes entre màquines, podent ser exportats i importats a la màquina. També es troba la necessitat de poder perforar tants metres de banda com es vulgui i poder corregir la cota del patró en arribar als últims centímetres de la banda en el cas que la banda sigui sens fi.

La màquina actual presenta una sèrie de mancances que fan que no sigui del tot fiable i unes certes limitacions a nivell de funcionament i configuració tant a nivell mecànic com de control. És per aquest motiu que s'ha decidit actualitzar-la millorant-ne la mecànica, substituint el motor pas a pas que mou l'encuny per un servo motor i afegint barreres de seguretat que qualifiquin la màquina de fiable i segura. Es pot veure una descripció detallada de la màquina actual a l'apartat 2.1 de revisió d'antecedents.

El canvi més significatiu ve donat per la nova gestió del control, que passa per ampliar el nombre de receptes guardades a màquina, exportació i importació de programes a format CSV mitjançant USB, llibertat de configuració de patrons i canvi d'algorisme de màquina. També es demana una interfície amb l'usuari més intuïtiva i de majors dimensions i prestacions que permeti configurar els paràmetres dels patrons.

2. Revisió d'antecedents i necessitats d'informació

Per poder definir les noves característiques i funcionalitats de l'automatització es realitza un estudi a partir de:

- Anàlisi de la màquina actual, mancances i possibles millores.
- Anàlisi del mercat: S'ha desenvolupat una recerca del mercat per valorar les diferents solucions que es poden trobar.
- Normativa

Per a l'elaboració de l'estudi, s'han emprat fonts d'informació com:

- Webs de fabricants i comercialitzadors de maquinària per a confecció de bandes
- Webs de fabricants i comercialitzadors de bandes
- Documentació de la màquina actual

2.1 Màquina actual



Fig. 2.1 Vista PAF200. Vista general [Font pròpia]

La màquina actual, la qual se'n poden consultar els esquemes elèctrics i el manual en el CD adjunt, se'n ha fabricat més de 5 unitats en els últims 3 anys, diferents llargades de màquina anomenades PAF200 (2000mm) i PAF300 (3000mm), i actualment treballen amb èxit a les instal·lacions dels respectius usuaris. No obstant, hi ha hagut certes notificacions d'incidències degudes a la manca d'un feedback de la posició de l'encuny, controlat per un motor pas a pas, la qual cosa fa que la banda foradada quedi mal feta. Aquest error de posicionament pot ser degut a un desgast del cargol de desplaçament o algun tipus d'obturació en el recorregut d'aquest. A la vegada també s'ha detectat una manca en la solució de configuració de patrons de foradament per part del client i una manca de seguretat de cara a l'usuari. En el següent apartat es detalla funcionalment tot el que pugui afectar a nivell d'automatització.

2.1.1 Detall funcional

A l'apartat Annex I es troba un recull d'imatges de la màquina. Es compona pels següents elements referents a l'automatització:

- Accionaments
 - Motor asíncron d'arrossegament de la banda 0,12kW 870 rpm
 - Motor pas a pas de posicionament de l'encuny
 - Cilindre pneumàtic + electrovàlvula 1. Encuny
 - Cilindre pneumàtic + electrovàlvula 2. Trepitjador banda
 - Cilindre pneumàtic + electrovàlvula 3. Desplaçament nylon
 - Aspirador industrial de minves
- Sensors
 - Encoder de mesura de la banda arrossegada
 - Sensor reed 1 posició cilindre encuny en repòs
 - Sensor inductiu 1. Límit positiu moviment motor pas a pas
 - Sensor inductiu 2. Límit negatiu moviment motor pas a pas
 - Final de carrera mecànic 1. Porta 1 tancada
 - Final de carrera mecànic 2. Porta 2 tancada
- Seguretats
 - 4 Polsadors seta d'emergència

- Polsador de rearmament seguretats
- Armari elèctric
 - Seccionador principal 16A
 - Interruptor Magneto tèrmic general 16A
 - Pilot lluminós indicador de presència de tensió
 - Variador de freqüència pel motor d'arrossegament de la banda
 - Contactor per l'aspiració
 - Base d'endoll 1P+N 16A per l'aspirador
 - Base d'endoll 1P+N 16A auxiliar
 - Font d'alimentació 24V 2,5A de control
 - Fusible 2A
 - Font d'alimentació 48V 5A de potència pel motor pas a pas
 - Fusible 5A
 - Driver Microstep per al motor pas a pas
 - Relé de seguretat d'emergències
 - PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC
 - Mòdul expansió PLC 8DI/8DO SM1223
 - Switch ethernet 5 ports no gestionat
- Control
 - PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC
 - HMI Siemens KTP700 BASIC

2.1.2 Interfície amb l'usuari

La pantalla actual ofereix diferents opcions de configuració de patrons, editables i guardats en memòries/programes, moure accionaments en mode manual i l'edició de certs paràmetres. Es veu a continuació un recorregut per totes les pantalles per veure'n el funcionament i les diferents opcions que ofereix.



Fig. 2.2 HMI PAF200. Pantalla inicial [Font pròpia]

Al engegar la màquina apareix la pantalla d'inici on es veu un gràfic 3D de la màquina i el logotip de l'empresa. Aquest logotip ha de ser canviat des de l'editor de software en funció del client final. Al prémer sobre qualsevol lloc de la pantalla s'accedeix al menú principal.

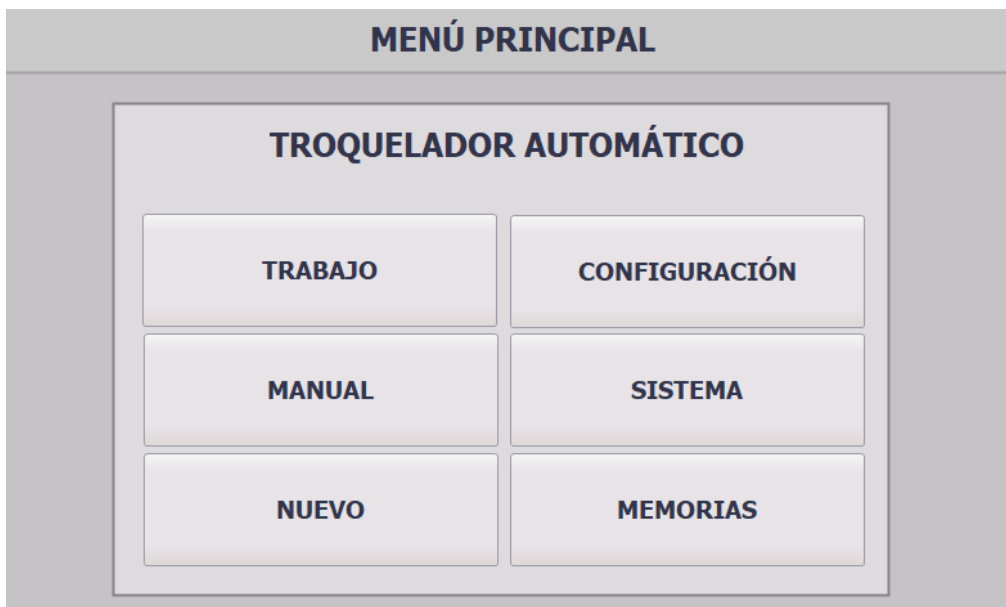


Fig. 2.3 HMI PAF200. Menú principal [Font pròpia]

Des del menú principal permet triar entre anar a produir en automàtic a la pantalla de treball, o bé anar a configuració, manual, sistema, nova memòria, o llistat de memòries.

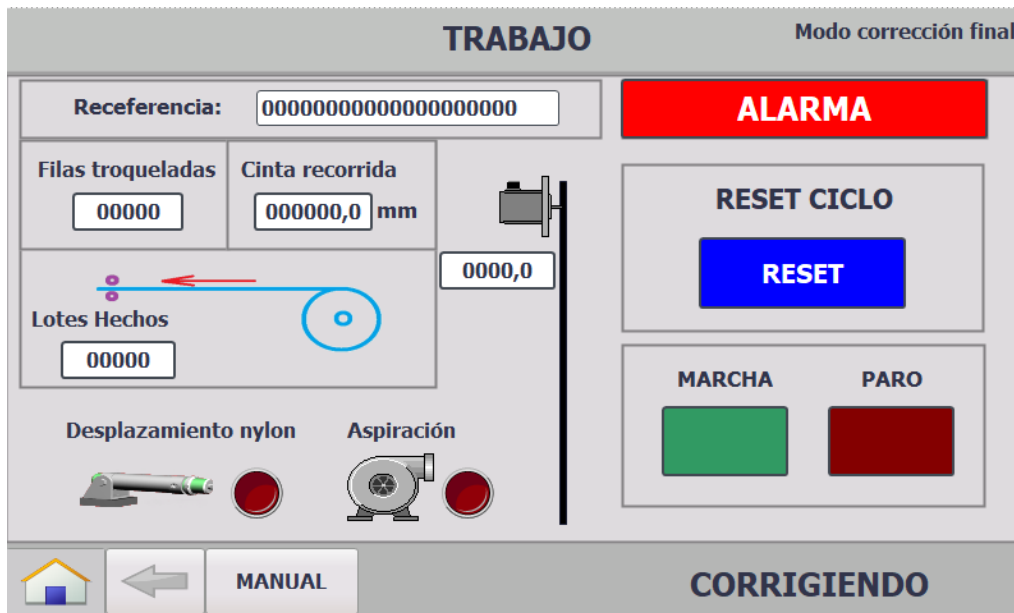


Fig. 2.4 HMI PAF200. Treball [Font pròpia]

Quan s'accedeix a la pantalla de treball, aquesta permet fer un reset de la màquina, necessari cada vegada que es vol iniciar qualsevol producció. També és a on podem engegar i parar la màquina així com veure l'estat actual de les files foradades, posició de l'encoder de banda, posició del motor pas a pas, estat dels accionaments de desplaçament de niló i aspiració, i el número de lots acabats.

Estant en aquesta pantalla poden aparèixer dos pop-up. En el cas que hi hagi alguna alarma es desplega una pantalla amb el llistat d'alarmes. I en el cas de banda sens fi apareix la pantalla de correcció una vegada finalitzada la banda.

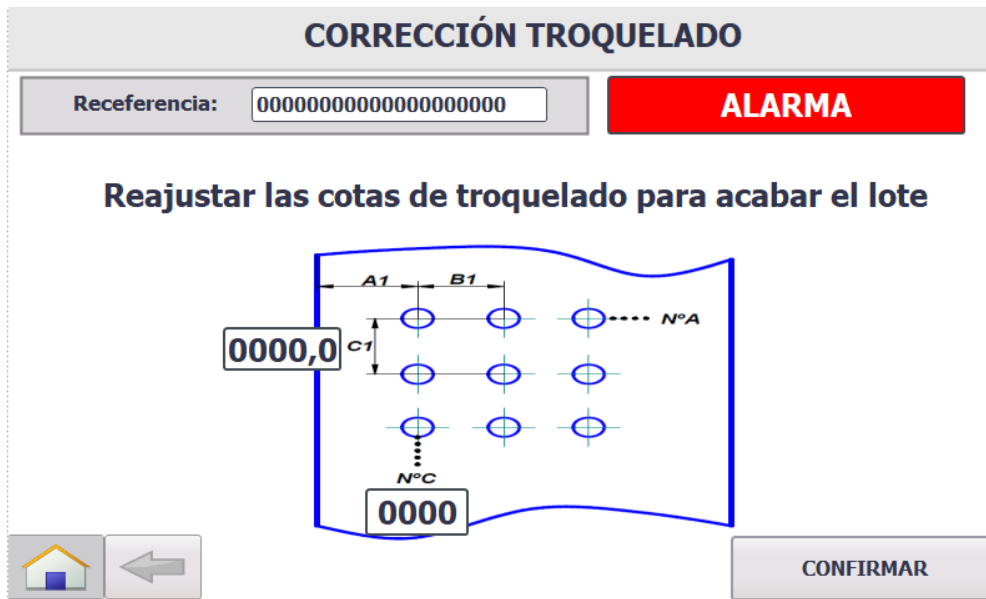


Fig. 2.5 HMI PAF200. Pantalla de correcció [Font pròpia]

En aquesta pantalla s'estableix el número de files extremes que s'han de foradar amb una nova cota C1 per tal d'arribar a l'inici de la banda, en el cas de bandes sens fi, aplicant la correcció per tal d'absorbir el possible error en el recorregut de l'encoder durant el procés.



Fig. 2.6 HMI PAF200. Configuració [Font pròpia]

A la pantalla de paràmetres és a on es configura el procés de cada banda. Aquí es pot modificar el temps d'accionament de l'aspirador, temps d'accionament del cilindre de niló i del cilindre de l'encuny. A més és a on s'indica el mode de final de lot, que es

refereix a si la banda és sens fi (correcció de foradat) o no (recorregut sense foradar). El recorregut final sense foradar en mil·límetres i el número de lots, que són les repeticions que es vol fer per cada banda per posteriorment tallar-la.

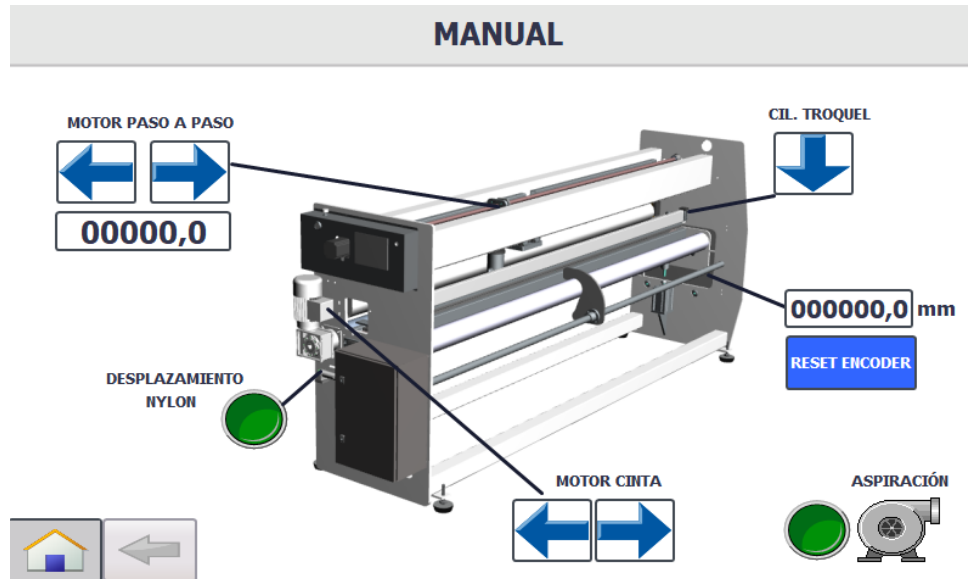


Fig. 2.7 HMI PAF200. Manual [Font pròpia]

A la pantalla de manual és a on es pot accionar tots els elements de manera manual.

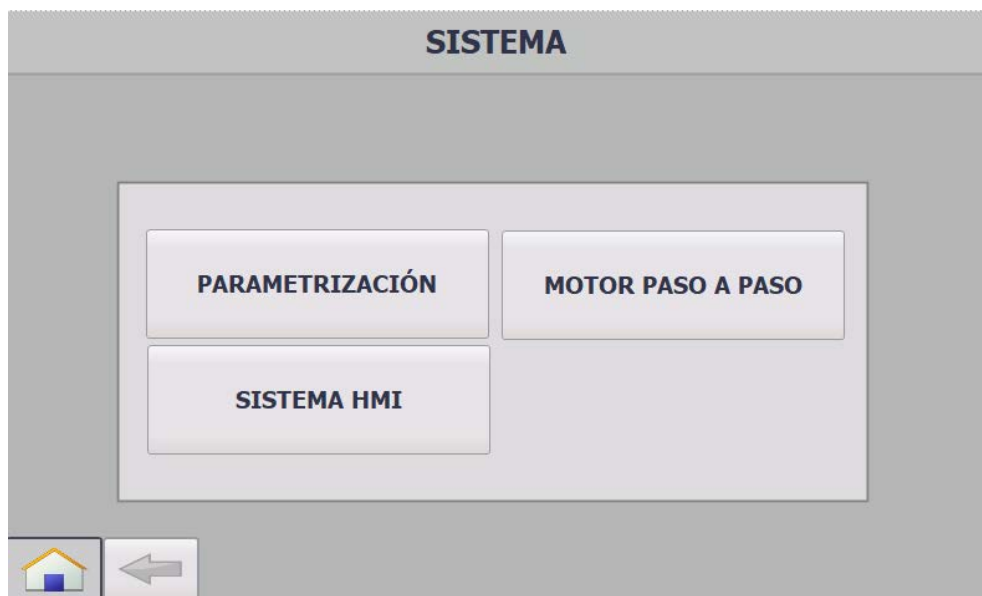


Fig. 2.8 HMI PAF200. Menú sistema [Font pròpia]

Des del menú de sistema es pot anar a la parametrització de màquina, a la pantalla de proves del motor pas a pas o a la pantalla de configuració del HMI. Per accedir a

aquesta pantalla és necessari un nivell d'usuari i contrasenya conegut únicament pel fabricant.

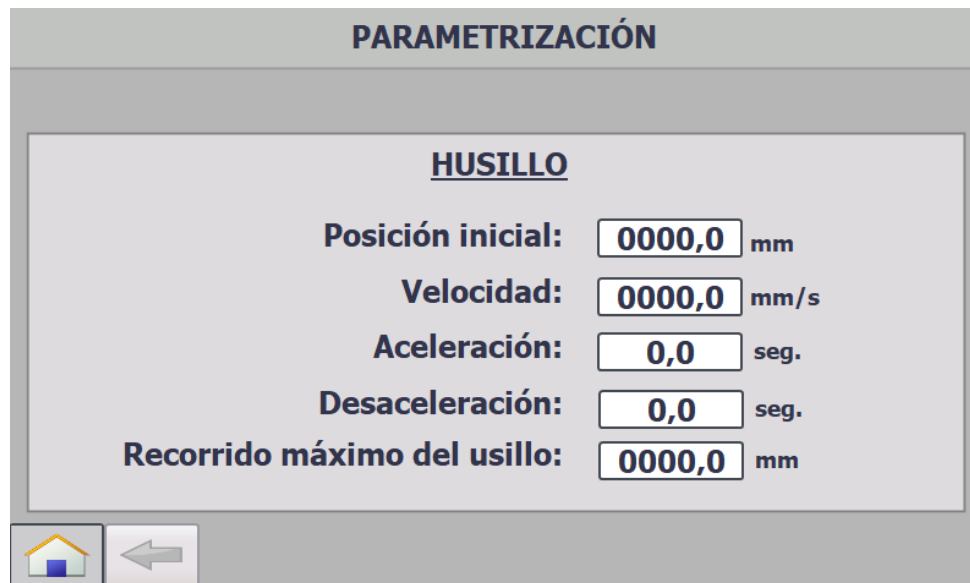


Fig. 2.9 HMI PAF200. Parametrizació [Font pròpia]

Entrant a la pantalla de parametrizació, es pot modificar la posició inicial del motor pas a pas, relativa al punt 0 original. La cinemàtica del motor i la longitud de la màquina.



Fig. 2.10 HMI PAF200. Motor pas a pas [Font pròpia]

A la pantalla de proves del motor pas a pas és a on es pot testejar el funcionament d'aquest. Per això es pot realitzar manualment moviments de posicionament absolut,

relatiu a la posició actual i moviments continus amb JOG+/JOG-. També es pot buscar el punt 0 el qual va a buscar el sensor inductiu límit de retrocés.

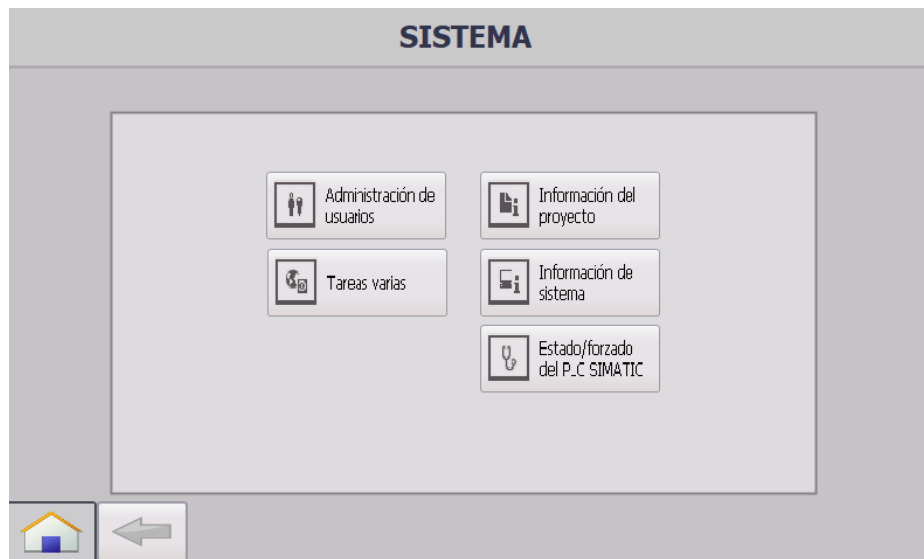


Fig. 2.11 HMI PAF200. Sistema [Font pròpia]

Entrant a la pantalla de sistema es pot triar entre anar a veure els usuaris registrats, informació del projecte, del sistema HMI o l'estat/diagnòstic del PLC. Entrant a tasques varies hi ha diferents opcions.



Fig. 2.12 HMI PAF200. Idiomes i runtime [Font pròpia]

Per un costat es pot canviar l'idioma de visualització. Es pot triar entre castellà, francès, anglès o italià. Per altre costat es pot sortir del runtime per accedir a configuracions de hardware del propi HMI.

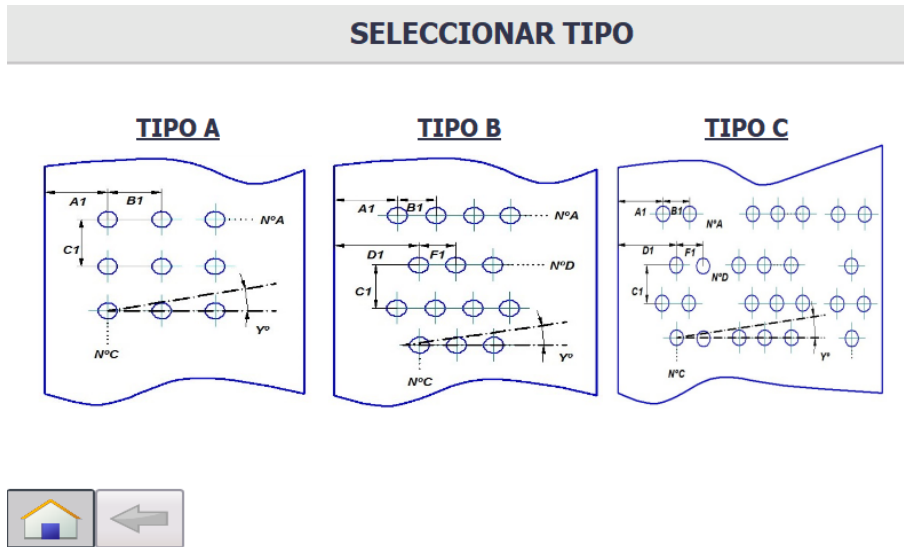


Fig. 2.13 HMI PAF200. Nova memòria [Font pròpia]

Des del menú principal, accedint a nova memòria s'arriba a aquesta pantalla la qual dona a triar quin tipus de patró es vol generar, tipus A Bàsica, B Portell o C Portell de zona múltiple. Es troba una explicació més extensa d'aquests patrons al següent apartat.

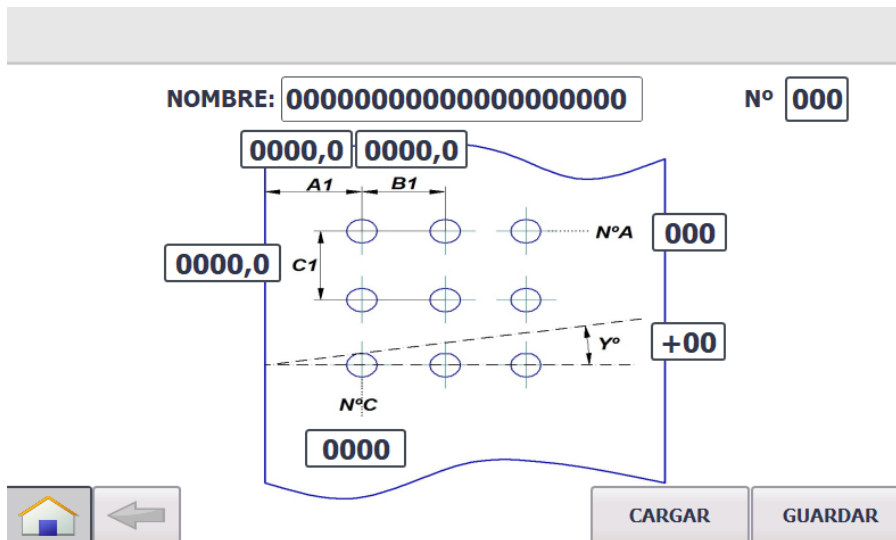


Fig. 2.14 HMI PAF200. Nova memòria tipus A [Font pròpia]

Una vegada configurat el patró es pot carregar per treballar directament o bé guardar la memòria.

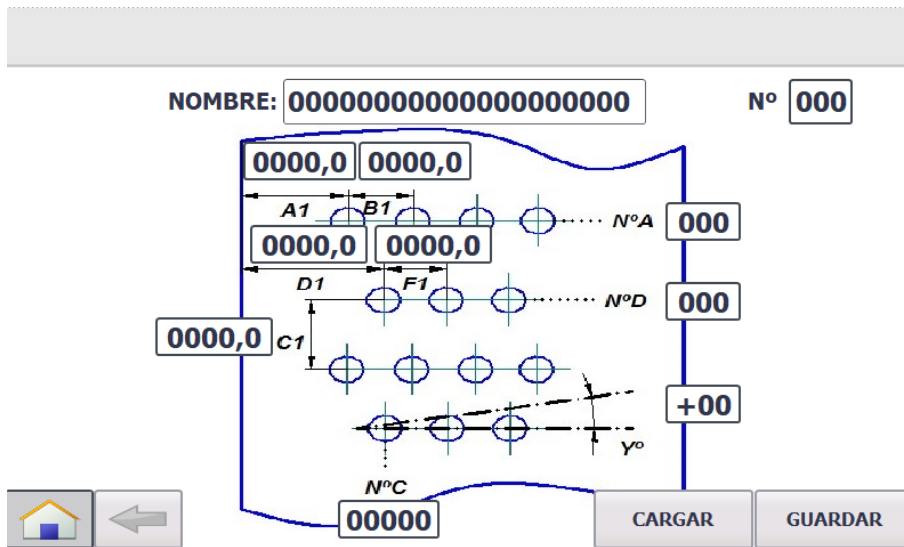


Fig. 2.15 HMI PAF200. Nova memòria tipus B [Font pròpia]

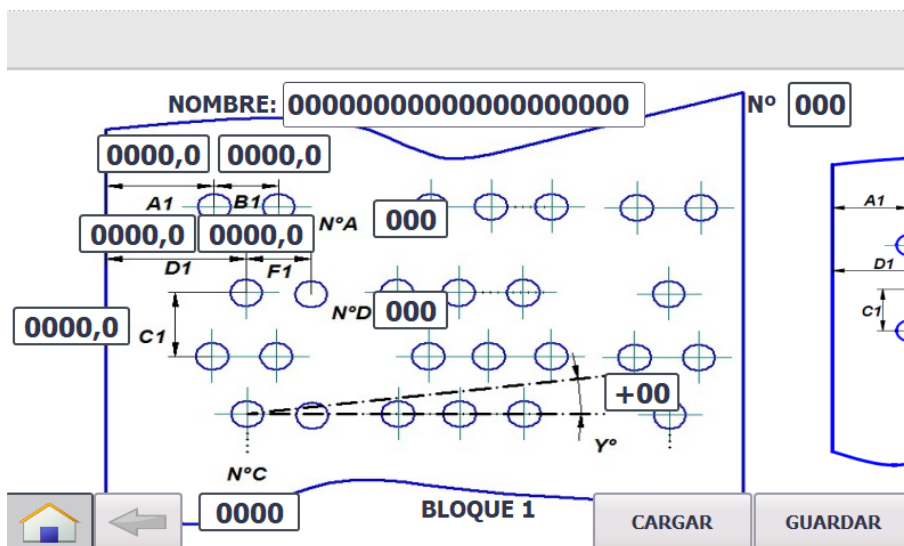


Fig. 2.16 HMI PAF200. Nova memòria tipus C.1 [Font pròpia]

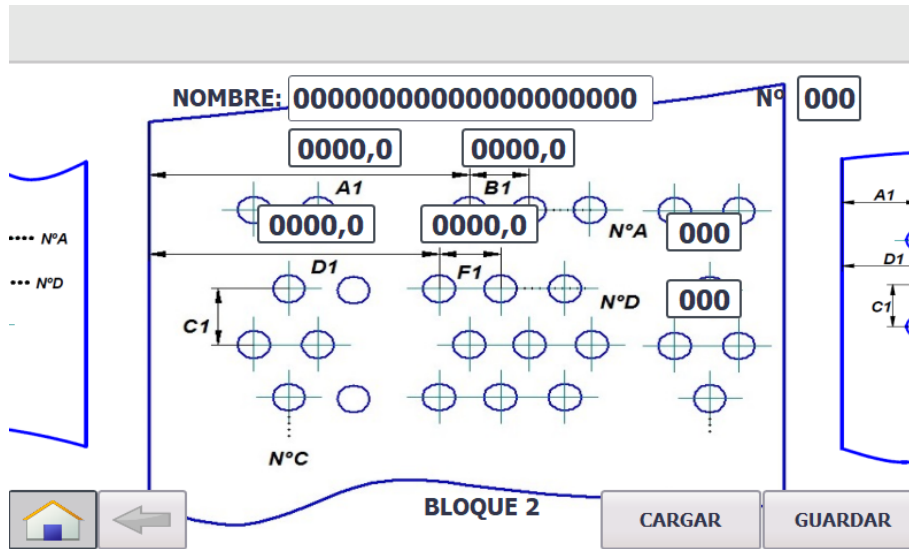


Fig. 2.17 HMI PAF200. Nova memòria tipus C.2 [Font pròpia]

Sent de tipus C, es pot configurar fins a 5 blocs consecutius prement als laterals de la pantalla.

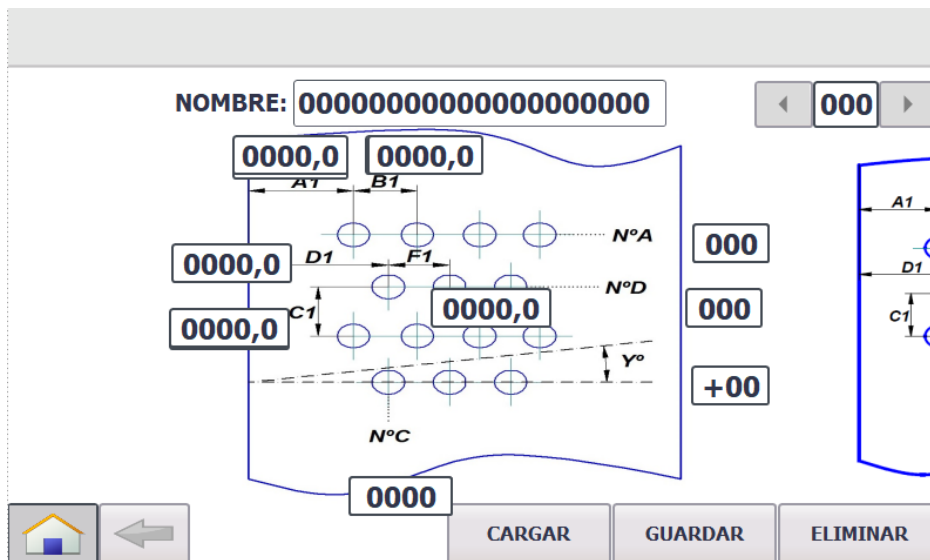


Fig. 2.18 HMI PAF200. Memòries [Font pròpia]

Des del menú principal, accedint memòries s'arriba a aquesta pantalla on es poden editar i guardar, carregar o eliminar les memòries prèviament generades. Hi ha fins a un màxim de 20 memòries.

2.1.3 Configuració de patrons

Els possibles patrons es divideixen en 3 opcions. La bàsica (A), a portell (B) i a portell de zona múltiple (C).

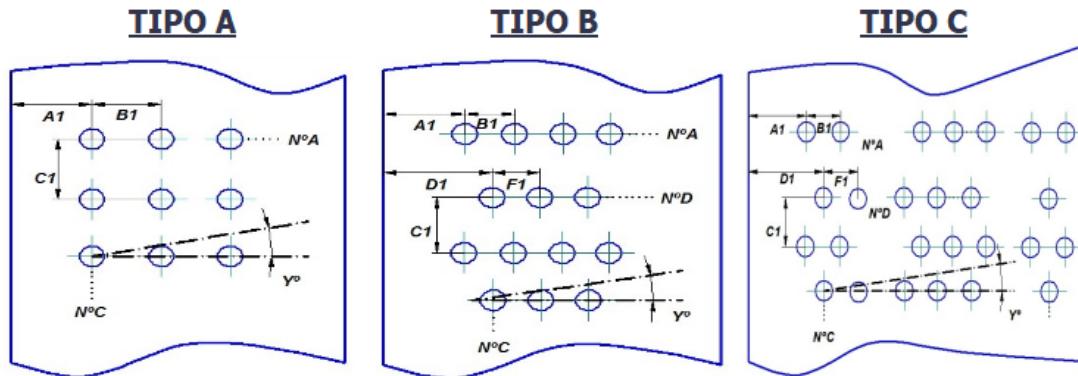


Fig. 2.19 PAF200. Tipus de patrons [Font pròpia]

A. Bàsica

En aquest tipus de patró es configura una línia de forats indicant:

- A1: Distància respecte l'inici de banda
- B1: Distància entre forats
- N°A: Número de forats
- C1: Distància entre files
- N°C: Número de files
- γ° : Angle de desviament

Un exemple del resultat que es pot aconseguir amb $\gamma^\circ=0$ és el següent:

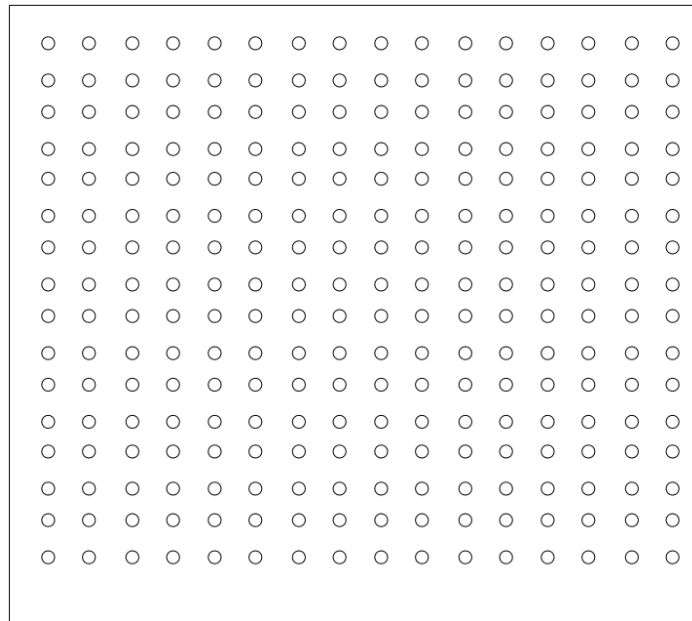


Fig. 2.20 Exemple patró tipus A $\gamma = 0$ [Font pròpia]

Amb $\gamma \neq 0$ es pot aconseguir quelcom així:

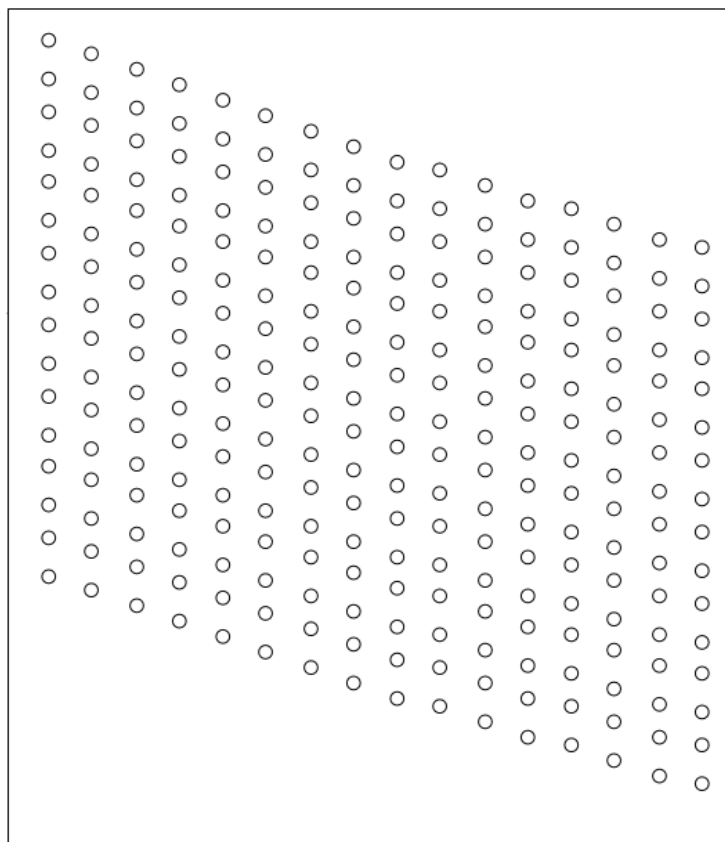


Fig. 2.21 Exemple patró tipus A $\gamma < 0$ [Font pròpia]

B. Portell

En aquest tipus de patró es configura dues línies de forats indicant:

- A1: Distància respecte l'inici de banda de la primera fila
- B1: Distància entre forats de la primera fila
- N°A: Número de forats de la primera fila
- C1: Distància entre files
- N°C: Número de files
- γ° : Angle de desviament
- D1: Distància respecte l'inici de banda de la segona fila
- F1: Distància entre forats de la segona fila
- N°D: Número de forats de la segona fila

Un exemple del resultat que es pot aconseguir amb $\gamma^\circ=0$ és el següent:

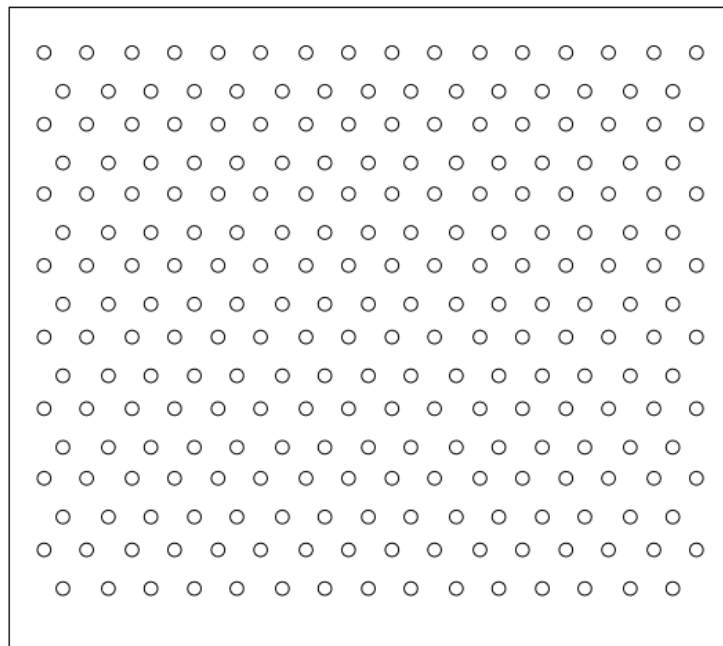


Fig. 2.22 Exemple patró tipus B $\gamma^\circ=0$ [Font pròpia]

Amb $\gamma \ll 0$ es pot aconseguir quelcom així:

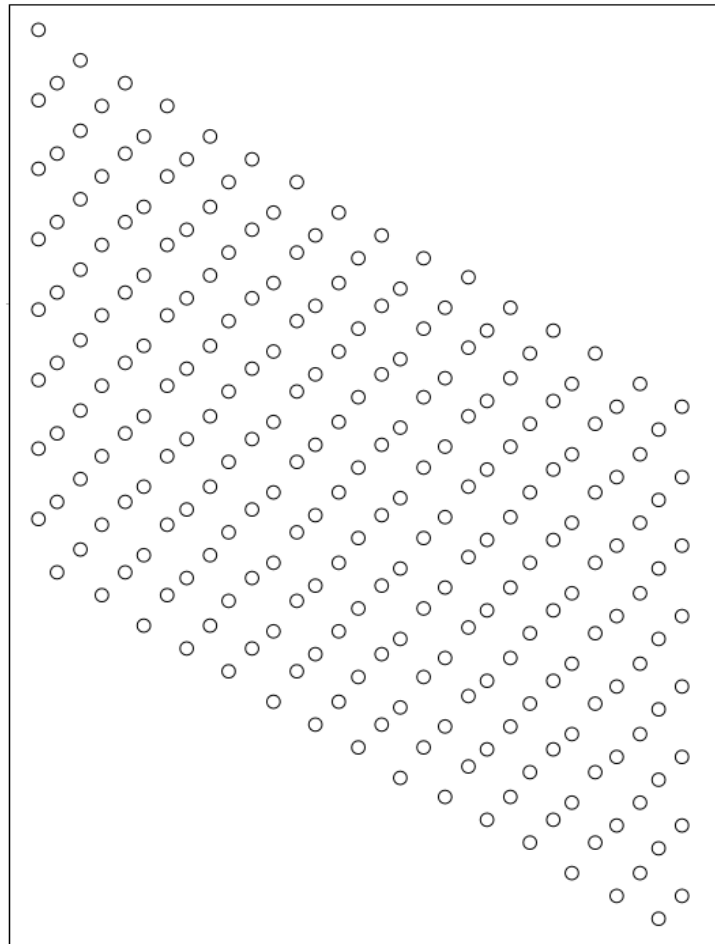


Fig. 2.23 Exemple patró tipus B $\gamma \ll 0$ [Font pròpia]

C. Portell de zona múltiple

En aquesta tercera opció, es pot arribar a configurar fins a 5 blocs consecutius respecte al primer. El concepte es poder fer un bloc de tipus B repetit fins a 5 vegades, amb diferents distàncies entre forats de la línia i diferent número de forats per línia. Així doncs els paràmetres a configurar són els següents:

- Bloc 1:
 - A1: Distància respecte l'inici de banda de la primera fila
 - B1: Distància entre forats de la primera fila
 - N°A: Número de forats de la primera fila
 - C1: Distància entre files

- N°C: Número de files
- γ °: Angle de desviament
- D1: Distància respecte l'inici de banda de la segona fila
- F1: Distància entre forats de la segona fila
- N°D: Número de forats de la segona fila
- Bloc 2:
 - A1: Distància respecte l'inici de banda de la primera fila
 - B1: Distància entre forats de la primera fila
 - N°A: Número de forats de la primera fila
 - D1: Distància respecte l'inici de banda de la segona fila
 - F1: Distància entre forats de la segona fila
 - N°D: Número de forats de la segona fila
- Bloc 3:
 - A1: Distància respecte l'inici de banda de la primera fila
 - B1: Distància entre forats de la primera fila
 - N°A: Número de forats de la primera fila
 - D1: Distància respecte l'inici de banda de la segona fila
 - F1: Distància entre forats de la segona fila
 - N°D: Número de forats de la segona fila
- Bloc 4:
 - A1: Distància respecte l'inici de banda de la primera fila
 - B1: Distància entre forats de la primera fila
 - N°A: Número de forats de la primera fila
 - D1: Distància respecte l'inici de banda de la segona fila
 - F1: Distància entre forats de la segona fila
 - N°D: Número de forats de la segona fila
- Bloc 5:
 - A1: Distància respecte l'inici de banda de la primera fila
 - B1: Distància entre forats de la primera fila
 - N°A: Número de forats de la primera fila
 - D1: Distància respecte l'inici de banda de la segona fila
 - F1: Distància entre forats de la segona fila
 - N°D: Número de forats de la segona fila

Cal remarcar que les cotes A1 i D1 no poden ser inferiors a la suma total de la fila corresponent del bloc anterior per tal de no poder solapar patrons.

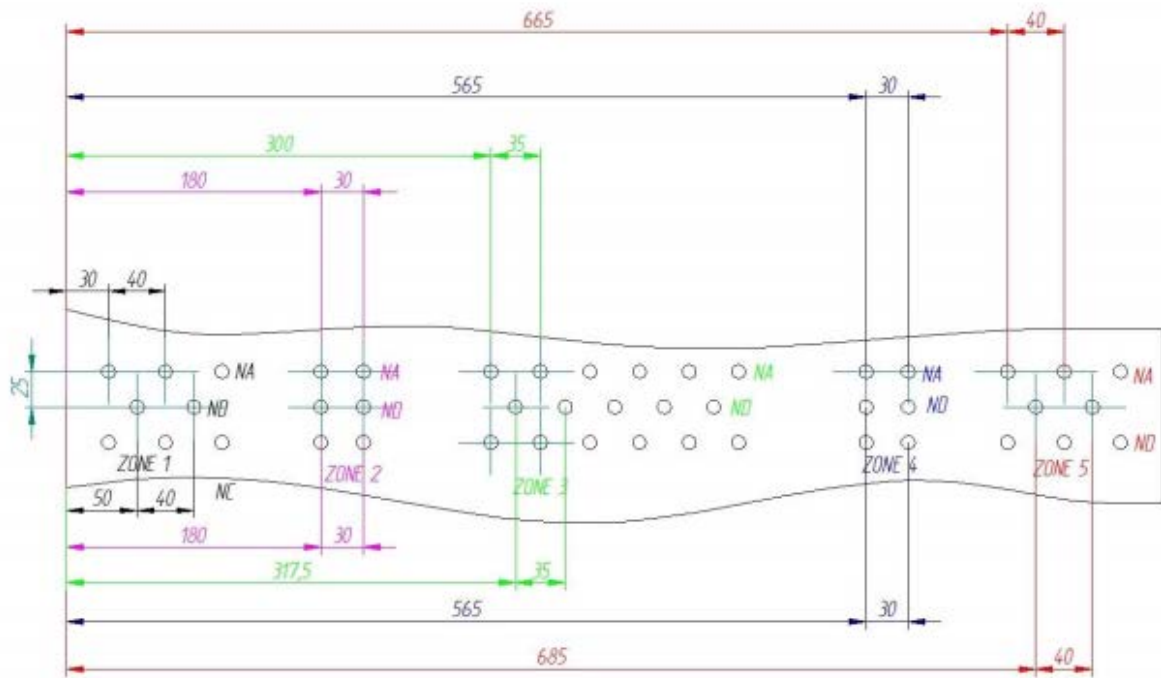


Fig. 2.24 Possible configuració de patró tipus C [1]

Un exemple del resultat que es pot aconseguir amb $\gamma = 0$ és el següent:

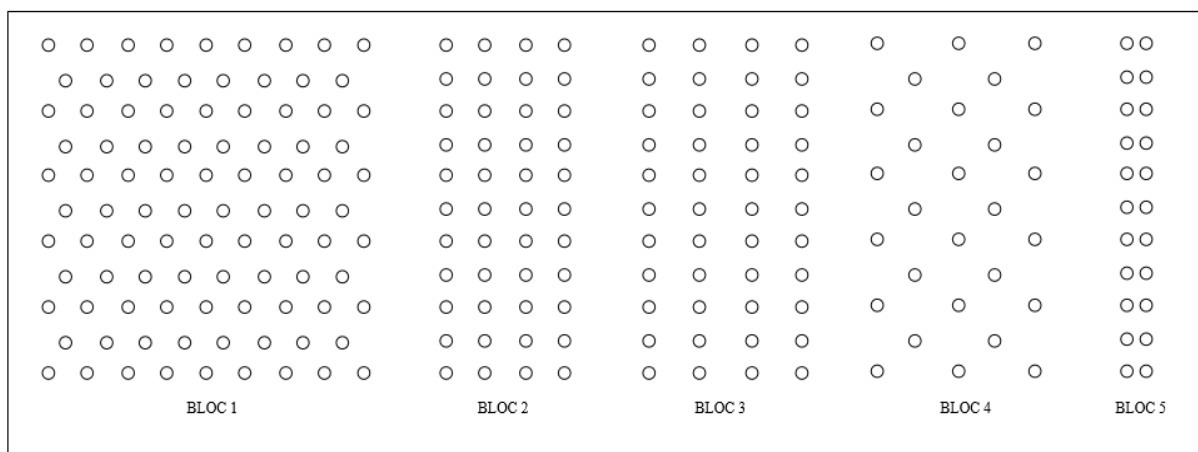


Fig. 2.25 Exemple patró tipus C $\gamma = 0$ [Font pròpia]

Amb $\gamma^{\circ} < 0$ es pot aconseguir quelcom així:

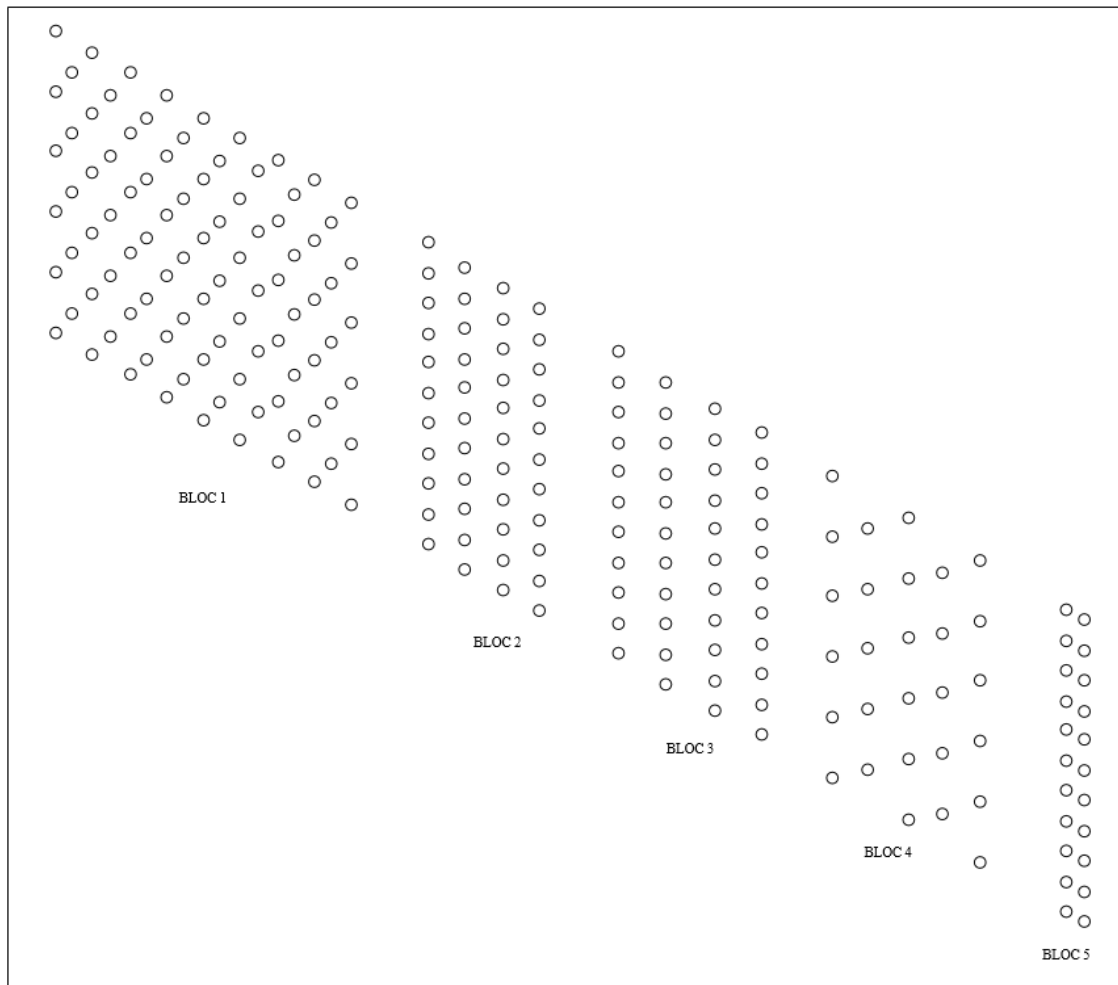


Fig. 2.26 Exemple patró tipus C $\gamma^{\circ} < 0$ [Font pròpia]

2.1.4 Funcionament

Seguidament es descriu la posada en funcionament i el cicle automàtic. També existeix un enllaç a Youtube on poder veure un vídeo[2] on es veu una demostració de la màquina.

- 1) Per iniciar el procés, l'usuari ha d'aixecar el corró que està acoblat al motor d'arrossegament mitjançant un polsador pneumàtic per col·locar la banda a la posició inicial. Una vegada posicionada, es prem el polsador pneumàtic per a baixar el corró.

- 2) Des de la HMI es selecciona el patró que es vol foradar. I es fa un reset de la màquina.
- 3) El motor pas a pas va a buscar la posició 0 mitjançant un detector i després va a la posició inicial, indicada per pantalla.
- 4) Es selecciona la pressió de foradat mitjançant un regulador de pressió pneumàtic que regula la pressió del cilindre de l'encuny en funció del diàmetre del forat i l'espessor de la banda.
- 5) Una vegada engegada la màquina, s'inicia el cicle automàtic:
 - a. L'algorisme busca la posició X (posició del motor pas a pas) i la Y (posició de l'encoder del motor d'arrossegament de la banda, aquest no únicament pot anar endavant per qüestions del bobinat de la banda).
 - b. S'aixeca el cilindre 2 trepitjador de banda si es requereix moure la banda.
 - c. A la vegada, es mou el cilindre 3 de desplaçament de niló, que mitjançant un sistema de lleva mecànic fa un moviment de la base de la taula de foradament (niló) sempre en una direcció.
 - d. Es desplacen els motors en XY si és necessari.
 - e. Una vegada posicionats, es desactiva el trepitjador i s'activa el cilindre 1 de l'encuny el temps especificat per pantalla.
 - f. Acabat el forat, es comprova si n'hi ha més per fer. Encas positiu, repeteix el cicle des del punt a. En cas negatiu, es comprova si està treballant en mode sens fi o mode obert.
 - g. En el cas de mode sens fi. S'obre una pantalla a on es pot modificar la cota C (distància entre files) i el nombre de files que falten per acabar de foradar la banda i es corregeixi el possible error de lectura a l'avanç de l'encoder.
 - h. En el cas de mode obert, fa un avanç de x mm configurat per pantalla i es comprova si hi ha configurat més d'un lot. En cas positiu torna a repetir automàticament tot el cicle.
 - i. Una vegada finalitzat el procés la màquina es posiciona en repòs indicant el final de producció.

2.1.5 Recursos de programació

Revisant el programa del PLC i HMI, la gestió actual dels programes la controla el PLC així que la pantalla únicament és la interfície amb l'usuari. El PLC està dotat amb 4MB de memòria de càrrega, 100KB de memòria de treball i 10KB de memòria romanent. El codi, taules de variables i DBs la memòria de càrrega i treball està en 15% (0,63MB) i 58% (59KB) respectivament. Amb la configuració de receptes actual (dades romanents) la ocupació de memòria romanent està al 90% (9KB).

Objetos	Memoria de carga	Memoria de trabajo	Memoria remanente
	15 %	58 %	87 %
Total:	4 MB	102400 bytes	10240 bytes
Ocupados/as:	628848 bytes	59444 bytes	8940 bytes

Fig. 2.27 Recursos de memòria CPU PAF200 [Font pròpia]

2.2 Revisió de la competència

Després d'una recerca exhaustiva de fabricants de maquinària per a confecció de bandes, destaca la dificultat de trobar-ne. Mitjançant la recerca web es troben els següents fabricants que treballen amb productes similars, comentats a continuació.

- **ICE-Trade**

ICE-Trade[2] és una empresa eslovaca dedicada a la construcció de maquinària per a la confecció de bandes transportadores. En el seu catàleg es troba una màquina perforadora de bandes.

A la seva descripció indica que és una màquina controlada amb PLC i HMI. No dona informació de la composició mecànica ni molts detalls de les seves capacitats. És capaç de generar patrons de dues files independents que es repeteixen amb un angle recte i és capaç de configurar-se en Excel en patrons simples. A continuació es mostren els patrons programables des de pantalla.

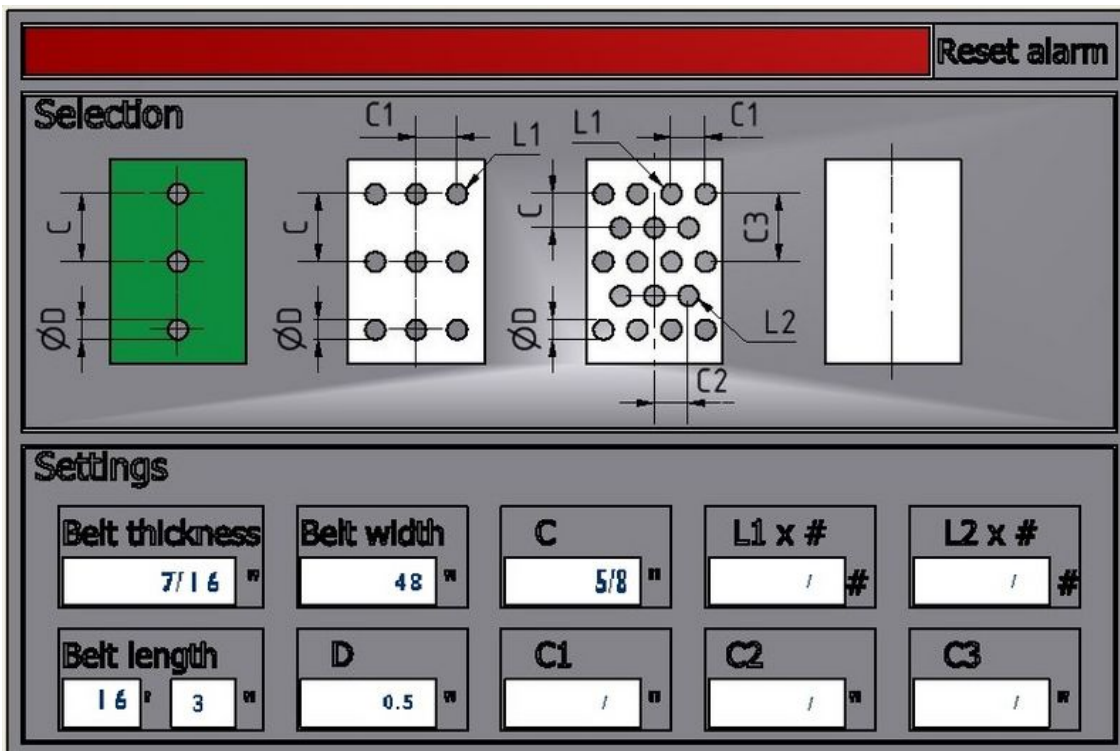


Fig. 2.28 ICE-Trade. Pantalla de configuració 1 [2]

En aquesta pantalla es veu com es pot configurar les dimensions de la banda, la distància entre forats i el diàmetre de l'encuny, podent fer formats quadrats o a mode de portell. No es pot configurar però la cota d'inici del primer forat i a simple vista sembla que tampoc es pot guardar en receptes.

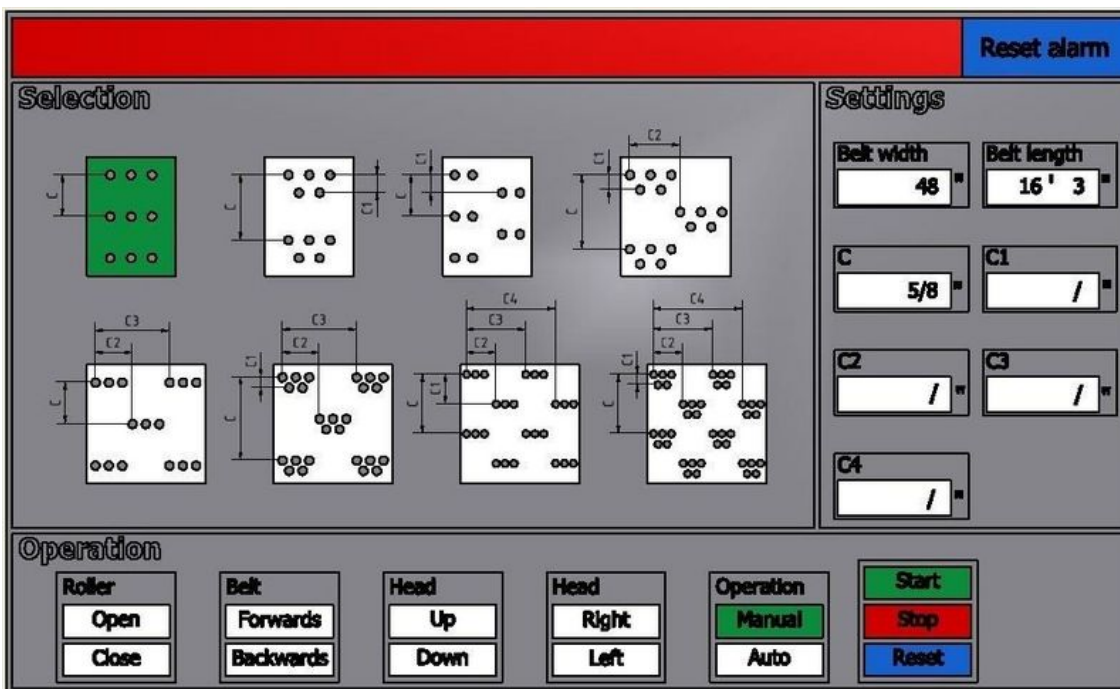


Fig. 2.29 ICE-Trade. Pantalla de configuració 2 [2]

En aquesta pantalla apareix també el mode manual de la màquina i una sèrie de patrons que permeten configurar fins a quatre línies independents.

- **Beltwin**

Beltwin és una empresa de la Xina, la qual entre els seus productes també es troba una perforadora de bandes. A nivell de configuració permet ajustar un patró de dues files, alineades o en portell amb angle recte. També permet duplicar aquest patró a una certa mesura respecte l'original. S'ajusta la distància inicial del primer forat i la velocitat a la que es desitja treballar, així com la distància i velocitat de baixada de l'encuny que, en aquest cas és un motor vertical amb un giratori que actuen com a trepant.

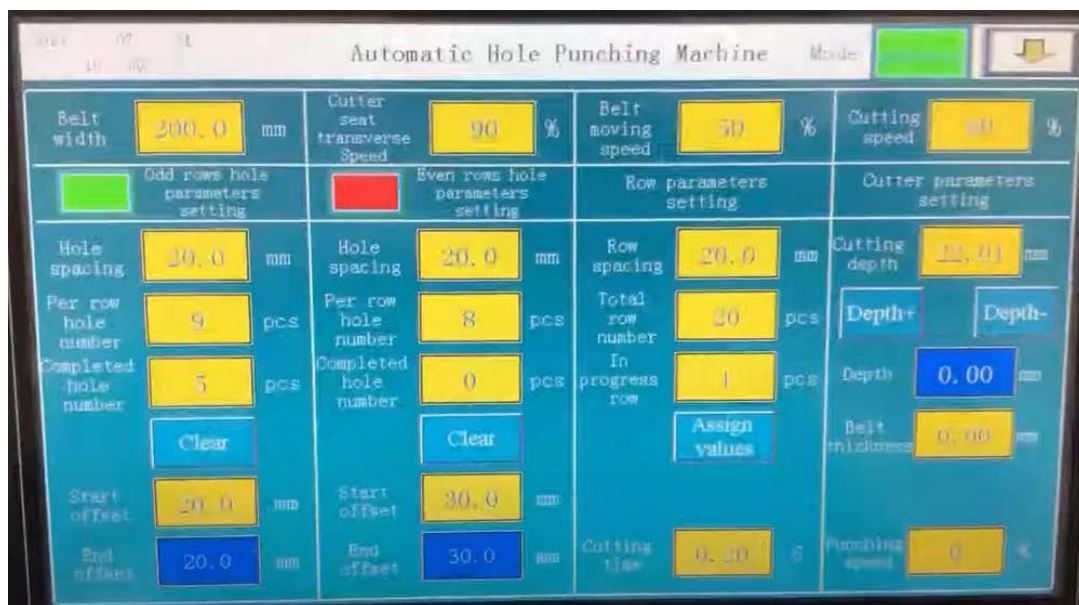


Fig. 2.30 Beltwin. Pantalla de configuració 1 [3]

A la següent imatge es veu la mecànica de la màquina. Aquesta, a diferència de la PAF200, enlloc de tenir un corró d'arrossegament de banda en té dos. Això pot comportar l'estirament de la banda, per molt sincronitzats que vagin els corrons es produeix una tracció difícil d'evitar degut a les característiques dels infinits tipus de bandes diferents. També hi pot afectar la pressió dels dos corrons, o el nombre de forats que hi hagi a la banda, ja que modificaran la resistència a la tracció d'aquesta. Pel que fa al foradament, fet amb un trepant i una mesura de baixada. Es pot donar el cas que aquest trepant desfilii el filament de la banda o bé recremi el forat, així com no absorbir

les diferències mecàniques que pot haver entre extrems de la màquina en el recorregut vertical i resultar així un foradament inigualat.



Fig. 2.31 Beltwin. Imatge del trepant[3]

- **CNCs**

Un altre tipus de maquinària, més destinat a laboratoris, però que poden tenir una funció similar, són les màquines CNC. Entre aquestes, es troben màquines amb diferent tipus de tall. Es mostren un parell d'exemples de fabricants d'aquest tipus.

- **CUTCNC Equipment**

CUTCNC Equipment és una empresa de la Xina que es dedica a fabricar màquines CNC de tall. Principalment destinades a prototips i laboratoris a on es fan proves de producte. Entre el seu ventall de solucions ofereixen una màquina destinada a la perforació de bandes[4]. Aquesta, sofisticada amb dos eixos sobre una base fixa, i un encuny fet a partir d'una ganiveta, junt amb un equip d'ultrasons que fa vibrar el tall, permet realitzar qualsevol tipus de patró, repetitiu o no, dissenyat prèviament per ordinador. La seva funcionalitat es limita bàsicament a laboratoris pel seu disseny i temps de cicle ja que no està pensada per treballar amb bandes en continu ni amb bandes sens-fi. D'altra banda el seu cost es dispara degut a la sofisticació de software, equip d'ultrasons, control CNC, etc.



Fig. 2.32 CUTCNC Equipment. Vista general [4]



Fig. 2.33 CUTCNC Equipment. Mostres de tall [4]

- **Multicam**

Multicam[5] és una empresa nord americana dedicada a la fabricació de màquines CNC orientades al tall. Entre el seu ventall d'oferta es troba una CNC de tall per aigua la qual es pot aplicar a les bandes. La base de la màquina és similar a la CUTCNC, dos eixos XY que mouen un capçal de tall. En aquest cas el capçal incorpora el tall per aigua.

També és una màquina pensada per a realitzar patrons de tot tipus però sempre sobre una base 2D fixa i no incorpora la possibilitat de treballar bandes en continu o bandes sens-fi. L'avantatge del tall per aigua és que és un tall molt net i ràpid, no obstant requereix un espai voluminós i el fet de treballar amb aigua obliga a un següent procés d'assecat i neteja de la banda, sempre i quant la confecció de la banda sigui apropiada per a ser mullada. El cost d'aquesta maquinària també és elevat degut al control CNC i tall per aigua.

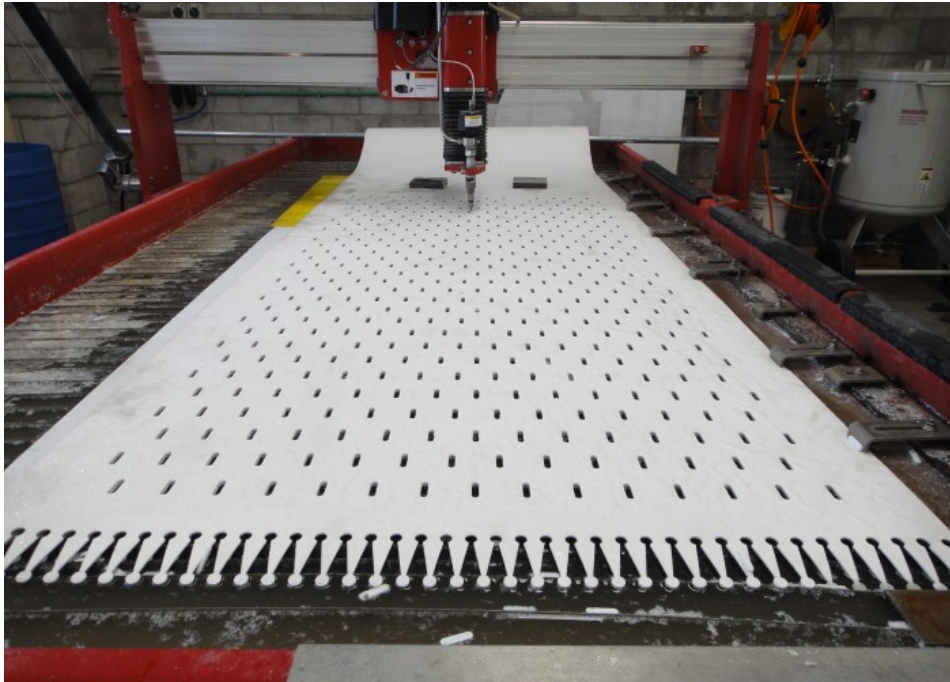


Fig. 2.34 Màquina de tall per aigua 1 [6]



Fig. 2.35 Màquina de tall per aigua 2 [6]

2.3 Normativa

La norma ISO 9001:2015 determina els requisits per a un sistema de gestió de la qualitat.

El Reial Decret 1644/2008 és el referent sobre la normativa per a la comercialització i posada en servei de màquines.

La UNE-EN 61800-5-2:2017. “Accionaments elèctrics de potència de velocitat variable”, regula l’aplicació de servo motors entre altres.

La UNE-EN ISO 20607:2020. “Seguretat de les màquines. Manual de instruccions. Principis generals de redacció.”, és el referent en quant a l’execució de manuals de funcionament de màquines.

El marcatge de conformitat europea CE és el que regula la comercialització de certs productes dins la unió europea i garanteix que es compleix amb els requisits mínims essencials que exigeix la Llei de matèria de seguretat i salut.

3. Abast del projecte

En el present apartat s'especifica els detalls que contempen l'envergadura del projecte per tal de donar-lo per finalitzat.

Tant la instal·lació elèctrica com l'armari elèctric estaran equipats amb totes les exigències de seguretat que hi ha reflectides a la normativa vigent, que marquen l'estat espanyol i la Unió Europea per tal de garantir la seguretat de les persones. Tots els components instal·lats garanteixen el marcatge CE.

El projecte garanteix la instal·lació elèctrica de la màquina, el disseny i construcció de l'armari elèctric i el desenvolupament de software necessari per a millorar el funcionament de la màquina actual i en cap cas perdre qualsevol funcionalitat que actualment ja contempla la màquina de partida.

També garanteix la recerca i el disseny de la nova solució, aportant les millores d'interfície home-màquina amb una pantalla de com a mínim 15" que permeti una funcionalitat més còmode i agradable per a la configuració de patrons. També permetrà augmentar la capacitat de memòries programables a un mínim de 50, així com poder exportar i importar aquests programes a una memòria USB extraïble. A la vegada s'ha de modificar l'algorisme de màquina per a poder configurar fins a 5 patrons totalment diferents que es puguin solapar entre ells i es puguin repetir independentment per arribar a crear un patró general confeccionat per patrons.

La màquina estarà dotada amb una connexió RJ45 per poder ser connectada a internet a través de VPN per a futures actualitzacions de software i/o diagnòstic d'averies i assistència al client.

El control haurà de garantir el funcionament del nou servo motor que substitueix el motor pas a pas de l'encuny així com estar sotmès a les noves barreres de seguretat i al circuit d'emergències existent.

Amb tot això, es dona un pressupost tancat i un estudi de la viabilitat tècnica, econòmica i mediambiental del projecte, que avarca fins a la validació del client final.

4. Objectius i especificacions tècniques

Amb la intenció de crear un producte competent al mercat amb el qual el nostre client pugui distingir-se de la seva competència, i l'automatització de la màquina s'adapti el millor possible a la mecànica i les peticions demanades, s'han generat varis objectius a partir de reunions amb el client i l'estudi de mancances de la màquina de partida.

Els objectius i especificacions tècniques són els següents:

- Substitució de motor pas a pas per servo motor Mitsubishi HG-KR-43.
 - Integració d'un controlador del servo motor al control i a l'armari elèctric.
 - Modificació dels esquemes elèctrics
 - Adaptació de software de control
 - Possible ajust de la cinemàtica del motor a la mecànica.
- Substitució de portes per barreres de seguretat.
 - Modificació dels esquemes elèctrics referents al circuit de seguretat
 - Inhabilitació de qualsevol moviment de màquina si les barreres estan creuades
 - Compliment amb la normativa de seguretat ISO 13849-1 amb categoria PL e
- Substitució de la pantalla actual per una més gran
 - Pantalla HMI o panel PC de 15" mínim
 - Adaptació/nou software de visualització
- Exportació i importació de programes mitjançant USB
 - S'instal·la una presa de USB connectat a la pantalla, accessible per l'usuari per a poder exportar o importar el programa seleccionat.
 - El format de l'arxiu serà .csv per tal de poder ser editat externament
- Ampliació de programes editables
 - Mínim haurà de tenir capacitat per a emmagatzemar 50 programes/receptes
- Millora de l'algorisme de programes
 - Un programa ha de poder tenir diferents patrons independents
 - S'ha de poder repetir un patró dins un mateix lot
 - S'ha de poder solapar els diferents patrons
 - S'ha de poder desfasar la cota inicial dels diferents patrons
 - S'ha de poder independitzar l'angle de cada patró

- Connectivitat en xarxa a través d'internet per a manteniments i actualitzacions
 - La màquina es dotarà de connexió VPN que permeti la connexió externa a través d'internet.
 - S'haurà d'instal·lar una presa RJ45 accessible per l'usuari que permeti connectar-la a internet.
- Cost amortitzable i coherent amb la màquina de partida.
 - Estudi de preus i prestacions de l'equipament
 - Reducció de materials sobrants.

5. Generació i plantejament de possibles alternatives de solució.

A partir de la identificació i definició del projecte i tenint en compte els objectius i especificacions tècniques obtingudes, es plantegen diferents alternatives de solució per tal d'arribar a obtenir el millor resultat.

5.1 Substitució de motor pas a pas per servo motor Mitsubishi HG-KR-43

El control d'aquest motor és a partir d'un servo drive de la sèrie MR-J4[7]. Aquests controladors són programables des del software MR-Configurator de Mitsubishi i tenen entrades de seguretat STO que compleixen amb normativa ISO 13849-1 i assumeixen una conformitat categoria 3 PL e. Dins aquesta sèrie es poden trobar diferents opcions de control en funció de les característiques del mestre PLC que controla el servo drive i els requeriments de l'aplicació.

- Control mitjançant PWM o senyals digitals i analògiques

En aquest cas la marca ens ofereix una alternativa econòmica per a la gestió de moviments del motor amb el servo drive MR-J4-A-RJ [8]. Aquest és gestionat per un mestre tipus PLC en mode de sortida de polsos PWM, senyals analògiques o bé per posicionament de taula (codificació binària i senyals digitals). En aquesta aplicació el control per posicionament de taula no és factible ja que les posicions haurien de ser definides prèviament i no és el cas.

El control per senyal analògica permet fer servir la sortida analògica del PLC com a potenciòmetre. El servo drive posicionarà el motor a la mesura de consigna, però amb un perfil de velocitat prèviament definit. Tanmateix el PLC podrà conèixer la posició real del motor a partir d'una senyal analògica provinent del servo drive.

El control per PWM és més factible ja que el PLC és qui envia els polsos desitjats amb la modulació desitjada, resultant així un control dinàmic de posicionament, velocitat i

rampes d'acceleració i desacceleració. El PLC pot tenir un feedback de la posició del motor a partir de les sortides PWM del servo drive cap al PLC.

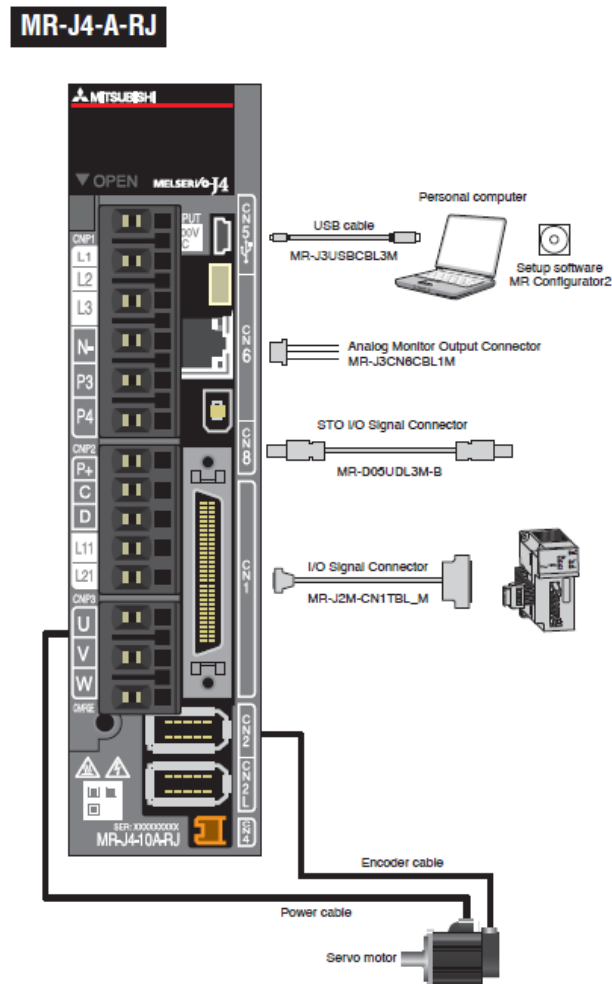


Fig. 5.1 Descripció gràfica funcional del servo MR-J4-A-RJ [8]

- Control mitjançant bus de camp

En funció de les característiques del PLC i les opcions de comunicació de les quals estigui dotat, es pot triar diferents opcions de bus de camp, entre les que es troben SSCNET, CC-Link, RS-422 Multi-Drop, Ethernet/IP, Ethercat o Profinet. En aquest projecte es triarà entre les opcions més estàndards a l'entorn industrial, que són les tres últimes, Ethernet/IP, Ethercat i Profinet. La opció de bus de camp, entre altres, ofereix l'avantatge de poder integrar una bateria al servo drive per tal d'alimentar l'encoder tot i

perdre l'alimentació. Això comporta un coneixement absolut de la posició del motor i evita maniobres de posicionament inicial a la màquina.

Per treballar amb aquests protocols el servo drive a utilitzar és el MR-J4-TM que en funció de la targeta de comunicació que se li incorpori treballarà amb Ethernet/IP, Ethercat o Profinet.

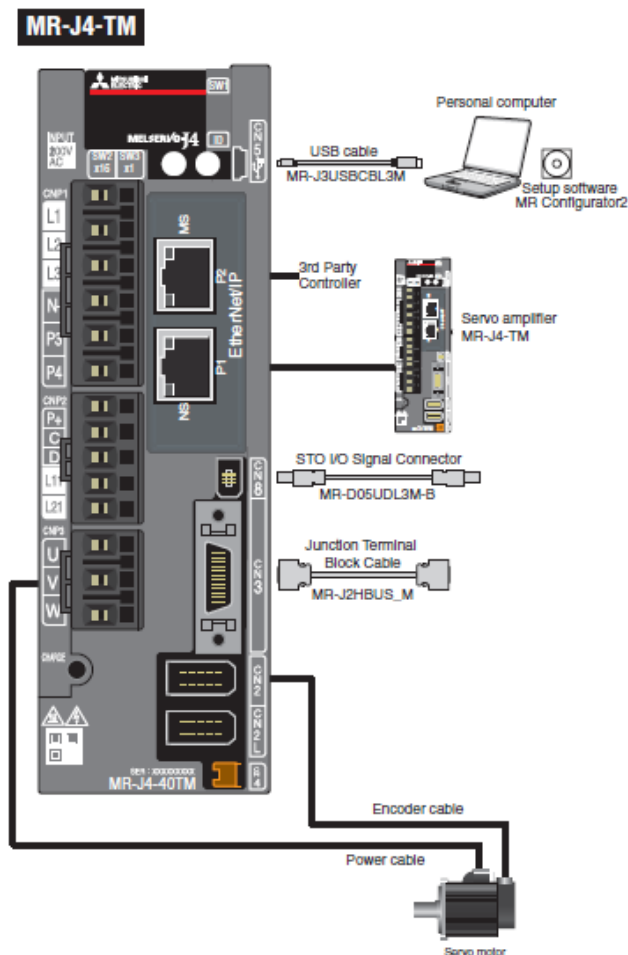


Fig. 5.2 Descripció gràfica funcional del servo MR-J4-TM [8]

- MR-J4-TM amb Ethernet/IP

Si el mestre PLC està dotat amb bus de camp Ethernet/IP, llavors aquesta és la millor alternativa ja que s'integra el servo drive dins la xarxa Ethernet/IP. Aquest protocol de comunicació és ideal si el PLC treballa sota el protocol CiA 402, com és el cas de Rockwell Automation amb el qual la integració és completa i les funcions PLCOpen de motion control integrades al PLC generen un control absolut del motor. A més

Mitsubishi ofereix Add-On Instructions (AOI) amb Studio 5000 Logix Designer que facilitarien el desenvolupament de software.

- MR-J4-TM amb EtherCAT

Donat el cas que el PLC estigui dotat amb Ethercat, per exemple Beckhoff o Omron, que treballen sota protocol d'aplicació estàndard IEC61158 Tipus 12 sobre EtherCAT (CoE) i CiA 402, llavors aquesta és la millor opció. Ambdós marques ofereixen funcions PLCOpen de motion control. A més, Mitsubishi ofereix un programa demo que facilita la integració de software.

- MR-J4-TM amb PROFINET

Si el PLC és Siemens, que treballa amb Profinet, llavors es valoraria millor aquesta opció, ja que de mateixa manera que els altres protocols, aquesta també ofereix comunicacions en temps real (RT) de PROFINET amb PROFIdrive v4.1 y perfil de mecanisme CiA 402. Siemens ofereix també la possibilitat de treballar amb funcions PLCOpen. A més, Mitsubishi ofereix un programa demo que facilita la integració de software.

5.2 Substitució de portes per barreres de seguretat.

Per portar a terme aquest objectiu, donat que els requeriment són la seguretat basada en la norma ISO 13849-1 amb categoria 3 PL e, s'haurà d'eliminar les portes i integrar les barreres de seguretat dins el circuit de seguretat de les emergències. D'aquesta manera s'ha de tallar l'alimentació de tot accionament que pugui originar un perill per a l'usuari com és el cas de l'alimentació pneumàtica per al cilindre de l'encuny i l'alimentació de 400V per al motor d'arrossegament. En el cas del servo motor, es cablejarà les entrades STO que porta integrades i que ja conformen una aturada del motor de nivell PL e. No obstant, per discriminar si l'aturada és per emergència o barreres, s'haurà de separar-ne la maniobra de notificació al PLC.

Per dur a terme l'acompliment de la seguretat, s'instal·la dues barreres de seguretat, una a l'entrada de la banda i l'altra a la sortida, es proposa les barreres de Schneider Electric XUSL4E30H026N o homòleg. Per a la lògica es plantegen dues opcions:

- Lògica cablejada

La lògica cablejada es porta a terme instal·lant un relé de seguretat PL e (EN ISO 13849) per a cada barrera. Els contactes NO d'aquests es serien al circuit de seguretat principal de les emergències que actuen sobre un tercer relé de seguretat PL e (EN ISO 13849). Els contactes NO d'aquest últim actuen sobre uns relés o mini contactors de contactes guiats de seguretat. A partir dels relés/mini contactors, generant uns 24V de seguretat, es donarà senyal a l'alimentació de les sortides de PLC (contactor motor d'arrossegament i vàlvules pneumàtiques) i a les entrades STO del servo drive.

Es proposen relés de seguretat Sick UE10-3OS i la solució plantejada quedaria com a la següent figura.

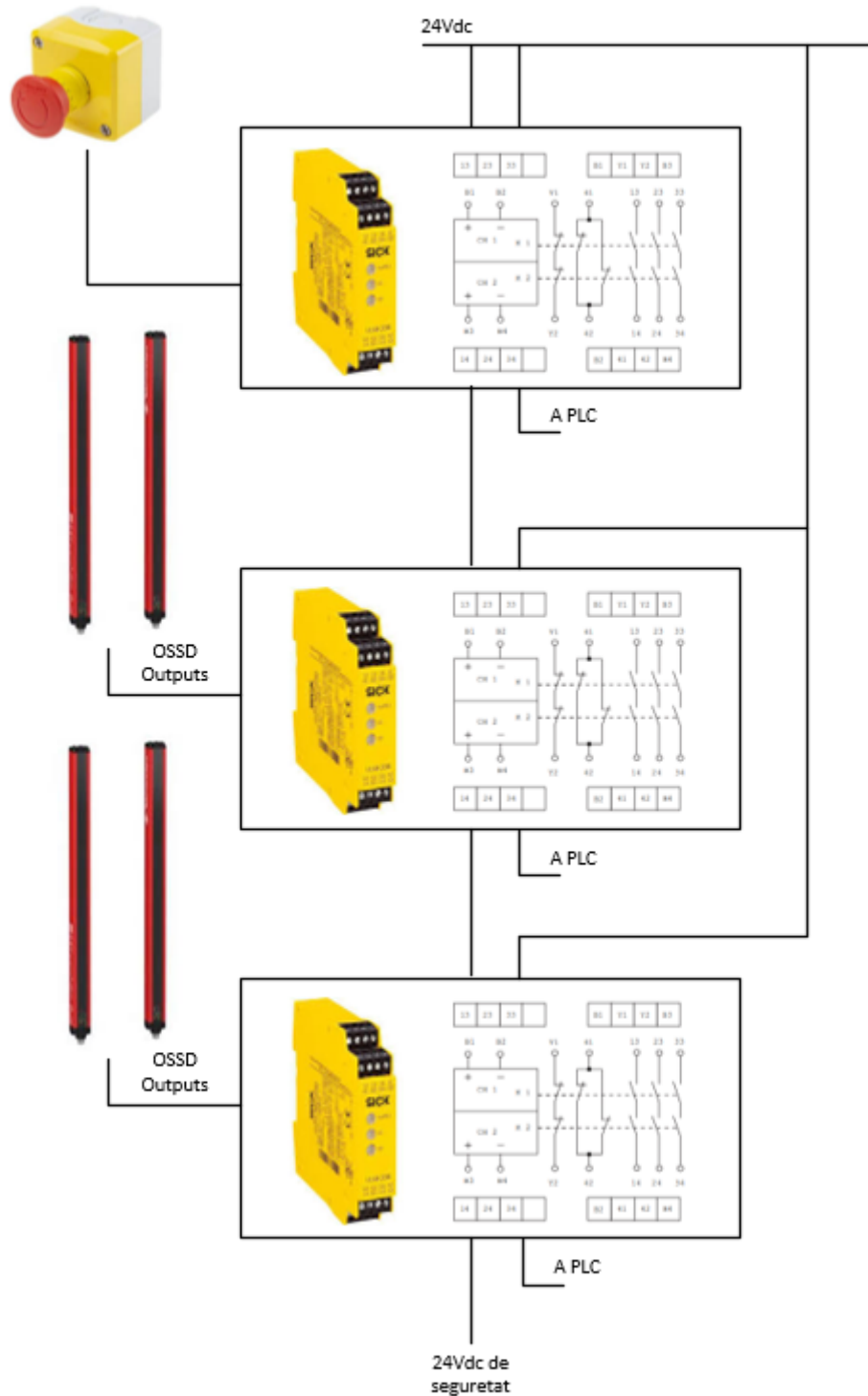


Fig. 5.3 Circuit de seguretat. Lògica cablejada [Font pròpia]

- Lògica programada

El propòsit de la lògica programada és el mateix però amb l'objectiu d'estalviar cablejat i espai a l'armari, la maniobra dels tres relés de seguretat del cas anterior es substitueix

per un relé de seguretat programable. Es proposa un FX3-CPU0 (CPU) i un FX3-XTIO I/O module (mòdul d'expansió de 8 entrades i 4 sortides). Veure la següent figura.

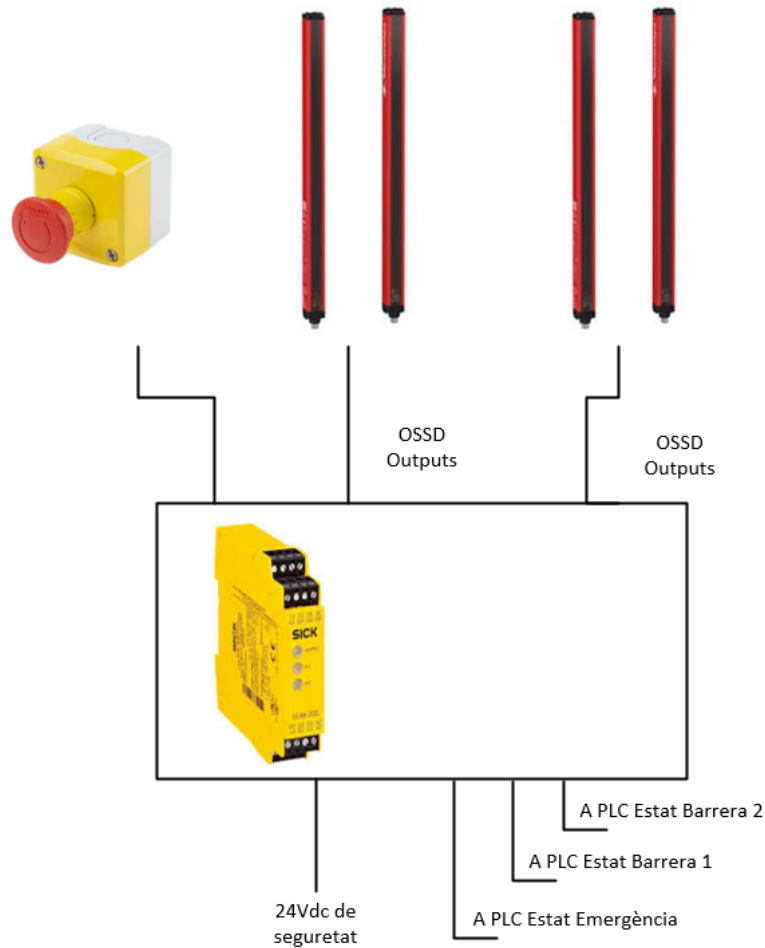


Fig. 5.4 Circuit de seguretat. Lògica programada [Font pròpia]

5.3 Interfície amb l'usuari

Per tal d'assolir els següents objectius, es pot trobar una solució conjunta o si més no pot anar lligada una solució amb l'altra. Els objectius a assolir són els següents:

- Substitució de la pantalla actual per una més gran
- Exportació i importació de programes mitjançant USB
- Ampliació de programes editables

- Connectivitat en xarxa a través d'internet per a manteniments i actualitzacions

Cal tenir present que el cost de desenvolupament de software serà únic envers al cost del material ja que la màquina està pensada per produir-ne varies unitats al llarg del temps. Així doncs, les solucions plantejades són les següents:

- Pantalla i PLC Siemens + passarel·la VPN

Una de les solucions proposades, intentant aprofitar el codi de programa ja existent, tractaria de treballar amb Siemens. Canviant la pantalla a una SIMATIC HMI TP1500 Comfort de 15". D'aquesta manera, es pot aprofitar bastant de codi del PLC i part del programa de la pantalla. Les receptes/programes passarien a estar guardats a la pantalla amb les limitacions de memòria que aquesta tingui. L'exportació/importació a USB se'n ocuparia la pantalla també. A més, s'integraria una passarel·la VPN tipus Ewon Cosy 131 ETH per tenir accés remot.

- Pantalla i PLC Omron + passarel·la VPN

Una alternativa per a comparar preus però amb les mateixes funcionalitats que la solució anterior, és canviar de marca a Omron. S'optaria per a treballar amb un PLC NX1P2-9B24DT1 + NX-PF0630 + NX-EC0222 + NX-OD5256 amb la qual es tindria una combinació de 14 entrades digitals, 26 sortides digitals amb dos comuns d'alimentació diferents i entrada d'encoder. Per a la pantalla s'optaria per una NA5-15W101 de 15", la qual s'encarregaria de guardar receptes/programes i importar/exportar a USB. Pel que fa a la passarel·la VPN s'integraria un MBNet MDH841.

- Pantalla Asem + PLC Omron

La tercera alternativa tractaria de treballar amb una pantalla Asem HMI30 de 15,6". Aquesta incorpora un software d'accés remot Asem Ubiquity que permet crear la passarel·la VPN sense necessitat d'integrar un router a part. El tractament de receptes però, no està tant desenvolupat com a Omron o Siemens així que de la gestió i l'emmagatzematge se'n ocuparia el PLC. Per aquest motiu, es requereix un PLC capaç d'emmagatzemar el volum de receptes requerit i que sigui capaç de crear, enviar i llegir arxius .csv cap al dispositiu USB connectat a la pantalla via FTP. En aquest cas Omron

és qui ofereix aquesta funcionalitat així que el PLC seria un NX1P2 amb la mateixa combinació que el cas anterior.

6. Selecció de l'alternativa més adequada

Per la selecció més adient de la solució final, partint de les alternatives de solució proposades a l'apartat anterior, s'ha realitzat una valoració (veure Annex II) de les mateixes en base dels criteris esmentats a continuació:

- **Assoliment d'objectius i compliment d'especificacions tècniques:** es valora el grau d'assoliment per tal de donar satisfacció en els resultats.
- **Innovació:** cal tenir en compte el nivell d'innovació de la solució aportada per tal que sigui més atractiva a la venda.
- **Cost del material:** es valora el cost del material tenint present les futures repeticions de la màquina.
- **Cost de desenvolupament:** es té en compte el cost del desenvolupament, tenint present les futures repeticions de màquines, i la realització única de software.
- **Time to market:** es valora el temps d'entrega resultant de cada possible alternativa, tenint en compte el termini d'entrega de proveïdors i temps de desenvolupament.
- **Posicionament de mercat:** juntament amb els punts anteriors s'analitza el posicionament de mercat que aportarà la solució triada valorant el grau d'acceptació estimat per part dels clients finals.

Resultant com a millor solució, la integració d'un **PLC Omron NX1P2-9B24DT1** juntament amb una pantalla **Asem HMI30 de 15,6"**, control de servo motor mitjançant servo drive **MR-J4-TM** amb Ethercat i control de seguretat integrant 2 barreres **Schneider Electric XUSL4E30H026N** + 2 relés de seguretat **Sick UE10-30s** a partir de lògica cablejada.

7. Viabilitat tècnica

Per poder estudiar la viabilitat tècnica del projecte el primer que es desenvolupa és una recerca d'informació de l'estat de l'art de la tecnologia emprada, per tal de poder establir una solució conjunta totalment viable.

7.1 Estat de l'art

Es detalla a continuació la tecnologia de la qual està dotat el control triat per a desenvolupar el projecte. Assegurant així l'acompliment de les especificacions tècniques i la resolució del projecte.

El primer a analitzar és el PLC Omron de la sèrie NX1P2. Aquest ha de controlar la seqüència de màquina però, a més, ha de gestionar el servo motor integrant funcions motion control a partir de CiA 402 a través d'ethercat. També ha de ser capaç de crear, escriure, llegir i eliminar arxius amb extensió .csv, juntament amb la funció d'enviar i rebre aquests arxius través d'Ethernet mitjançant el protocol FTP. Una altra funcionalitat que ha de tenir és la possibilitat d'intercanviar variables a través d'Ethernet/IP amb la pantalla.

La sèrie de PLCs NX1P2-9B24DT1 ofereix una solució compacta en el control d'automatització integrant el control de diferents dispositius com ara de moviment, E/S descentralitzades, seguretat i visió sota un mateix entorn de desenvolupament, Sysmac Studio. Entre les seves característiques es troba[9]:

- Temps de cicle: 2 ms
- Capacitat del programa 1 MB
- Capacitat de variables no romanents 2MB/90000 variables
- Capacitat de variables romanents 32KB/5000 variables
- Funcions: seqüència lògica i control de moviment
- Fins a 4 eixos controlats (2 eixos sincronitzats)
- E/S incorporada: 24 punts d'E/S
- Fins a 8 unitats d'E/S locals NX
- Ports Ethercat i Ethernet/IP incorporats

- Fins a 8 esclaus Ethercat
- Es pot connectar fins a 1 mòdul opcional per afegir comunicacions sèrie o funcionalitat d'E/S analògica

També ofereix les instruccions[10] per treballar amb FTP tal com FTPGetFile, FTPPutFile entre altres, així com les instruccions per a escriure i llegir arxius FileWrite, FileRead sobre una targeta SD integrada.

Cal esmentar que suporta el protocol CoE (CAN over Ethercat) que permet enviar missatges SDO i PDO de l'aplicació CAN als esclaus mitjançant Ethercat.

En quant a programació, el programa actual ocupa un total de 0,69MB (0,63MB memòria de càrrega + 59KB memòria de treball) i el PLC triat està dotat amb 1MB. La memòria romanent ocupada amb les receptes actuals ocupa 9KB i ara es podrà treballar amb un total de 32KB.

En referència a la pantalla, la Asem HMI30[11] és una pantalla tàctil de 15,6" basada en Windows Embedded Compact 7 PRO sobre un processador ARM Cortex A8 1 GHz i 1 GB RAM, i el programari de visualització Premium HMI 5 ADVANCED WinCE runtime. Aquesta integra ASEM Ubiquity runtime (PRO-Eth version), el software de control remot. A nivell d'interfície ofereix:

- 1 x Slot SD/SDHC
- LAN1 Ethernet 100 Mbps (RJ45)
- LAN2 Ethernet 10/100 Mbps (RJ45)
- 2 x USB 2.0 (Type-A / host)
- 1 x RS-232/422/485 (DB15M) MPI protocol compatible up to 187,5Kbit/s

A nivell de comunicació amb el PLC és capaç de comunicar fins a 4.096 I/O Bytes (variables) amb la llicència Advance i fins a 4 drivers de comunicació, entre ells Ethernet/IP. A més, també ofereix la funció de FTP Server que servirà per a poder compartir arxius amb el PLC.

7.2 Eines de desenvolupament

Les eines de desenvolupament necessàries a nivell de software són les següents:

- **Sysmac Studio:** Entorn de desenvolupament de programació Omron Automation. Emprat per a la programació de PLC i motion control.
- **Premium HMI 5:** Software de programació de la pantalla. Propietat de ASEM S.R.L. (Rockwell Automation). Permet la programació de la interfície HMI amb l'usuari en aplicacions sobre Win CE i Win 32/64.
- **MELSOFT MR Configurator2:** Software de Mitsubishi Electric Corporation. Destinat a la parametrització i ajust dels controladors de servo motor.
- **SOPAS Engineering Tool:** Software de Sick AG. Destinat a la configuració de l'encoder.
- **EPLAN Electric P8:** Software per a la realització dels plànols elèctrics.

7.3 Viabilitat de la solució

L'estat de l'art de la tecnologia emprada permet un ventall de solucions molt extens que es porta a terme amb el desenvolupament de software a mida, juntament amb els requeriments del projecte.

La capacitat de memòria del PLC per programar i la capacitat de memòria de dades romanents d'aquest, permet dissenyar un programa que abasti totes les necessitats de la màquina. La funcionalitat de Sysmac Studio permet un desenvolupament acord amb els requeriments de programa necessari i una fiabilitat de la marca Omron Automation. L'aplicació s'expandeix, com una extensió del PLC, gràcies a les comunicacions Ethernet/IP i Ethercat, que doten al controlador d'interfície HMI, perifèrics USB, connexió a internet, accés remot i control integrat del servo motor gràcies a la pantalla Asem i el servo drive MR-J4-TM.

La seguretat de la màquina està garantida amb el disseny elèctric i mecànic de les noves barreres de seguretat, juntament amb els ja existents polsadors d'emergència, ja que tal i

com s'especifica a l'apartat 5 de generació d'alternatives de solució, els dispositius compleixen amb la normativa vigent de seguretat.

Des d'un punt de vista més funcional es concreten els següents criteris:

- **Innovació:**

La innovació i diferenciació d'aquest projecte amb els ja existents i els de la competència, és la possibilitat de configuració de 5 patrons per programa, amb diferents angles cadascun, diferents punts d'inici un de l'altre, i possibilitat de solapament entre ells, així com la possibilitat de establir repeticions independents de cada patró. Donant total llibertat a l'usuari per a configurar la banda a la seva mida.

Ofereix a l'usuari la possibilitat d'estar actualitzat en quant a versions més noves i adaptacions a futures demandes de programa gràcies a l'accés remot, estigui a on estigui la màquina, així com l'assistència per averies pràcticament instantània.

- **Benefici:**

L'augment de les dimensions de la pantalla és una millora substancial en quant a navegació i configuració de màquina per part del client i de l'usuari final. La seguretat de l'operari de màquina és també un benefici pel fabricant ja que és qui ha de certificar que la màquina compleix amb la normativa vigent, especialment necessari per vendre a la Unió Europea i Estats Units. Resultant així un producte més fàcil de vendre i més punter tecnològicament.

- **Tecnologia:**

La tecnologia emprada en aquest projecte és d'última generació. Donant així una llarga vida útil i funcionalitat a l'automatització de la màquina, i donant-li fiabilitat al producte. Es posa així el punt de partida cap a una nova versió de màquina en el futur a mig termini i apropant-la a possibles solucions més enfocades a la indústria 4.0, gràcies a la capacitat de comunicació en xarxa de la qual està dotada, i a les característiques del programari Sysmac Studio que obra la porta a protocols OPC UA i SQL.

7.4 Material requerit

Per portar a terme aquest projecte, es precisarà del material necessari per a desenvolupar l'armari elèctric i la instal·lació elèctrica.

Llistat de material bàsic per a la instal·lació

Armari

- 1,00 Armari mural acer 600x400x300
- 1,00 Interruptor Seccionador 2P 16A RJ/AM
- 1,00 Int. Aut. Mag. Corba C 6/10KA 2P 16A
- 1,00 Distribuïdor elèctric 2P 100A 7 Sortides
- 1,00 Font Alimentació 230V - 24Vdc 5A
- 1,00 Int. Aut. Mag. Corba C 4/10KA 1P 4A
- 1,00 Material variat de bornes, canal, etc.

Motor d'arrossegament

- 1,00 Variador Toshiba VFNC3S-2007PL 0.75Kw

Servo motor

- 1,00 Servo drive MR-J4-TM + kit comunicació Ethercat + kit cables

Aspirador

- 1,00 Contactor 9A 1NO 24Vdc
- 1,00 Base Schuko de superfície 2P+PE 16A

Seguretats

- 2,00 Barrera seguretat Schneider Electric XUSL4E30H026N

2,00 Mòdul seguretat 2 entrades OSSD // 3+1 contactes Sick UE10-3OS2D0

3,00 Kit polsador aturada emergència

1,00 Caixa polsador bolet emergència antifrau

1,00 Mòdul seguretat aturada emergència Sick UE43-2MF2D2

1,00 Kit polsador lluminós blau

PLC

1,00 CPU NX1P2-9B24DT1 14E/10S Transistor PNP 2 eixos

1,00 Unitat NX-PF0630 - Alimentació addicional E/S 5-24Vdc

1,00 Unitat NX-OD5256- 16 Sortides PNP Estàndard

1,00 Unitat NX-EC0222- 2 Entrades PNP Encoder Incremental

1,00 Targeta memòria SD HMC-SD491 4 GB

HMI

1,00 Pantalla Tàctil Asem ASHMI30156A 15,6" 1366x768, llicència Advanced

Comunicacions

1,00 Switch Ethernet 5 x 10/100 Base TX

Sensors i senyalització

1,00 Balisa Banner K50LGRA1YPQ 3 colors + brunzidor

2,00 Sensors inductius M12 rasants PNP N.C.

1,00 Sensor reed de cilindre PNP N.O.

1,00 Encoder Sick DFS60B-S1PC10000

8. Desenvolupament de la solució

Partint de tota la informació prèviament aportada en els apartats 5, 6 i 7 del present projecte, en aquest capítol s'identifica com dur a terme la solució de manera òptima per tal d'acomplir amb les especificacions tècniques nombrades a l'apartat 4.

Seguint totes les instruccions del fabricants proveïdors dels components emprats, es desenvolupa la solució, centrada en la CPU i a la vegada prioritant les seguretats, per tal de donar sentit a les ordres entrades per l'HMI. A la següent figura es mostra una vista global del que tracta el desenvolupament.

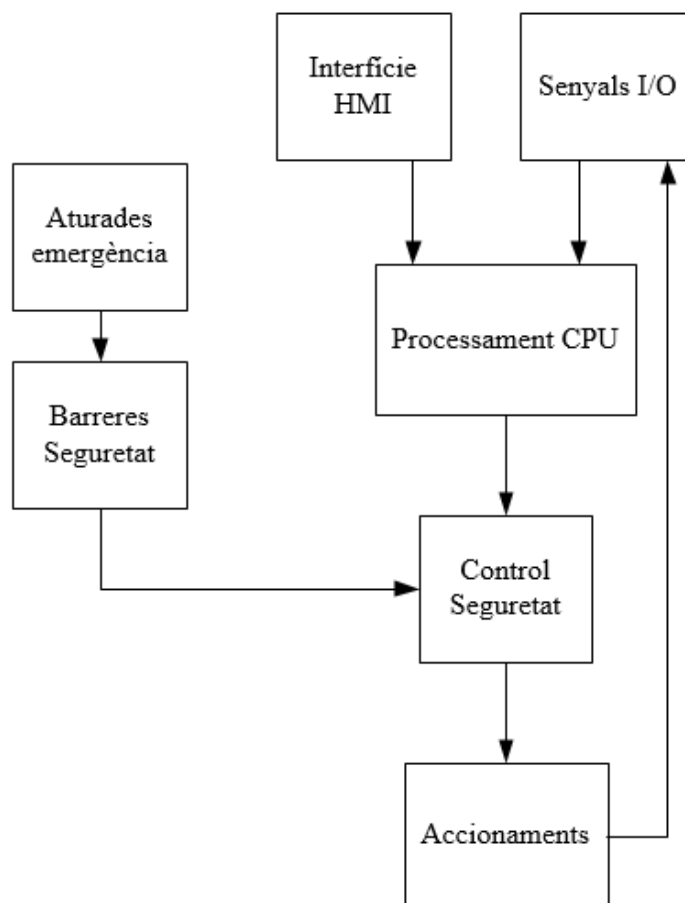


Fig. 8.1 Diagrama de blocs de la solució [Font pròpia]

Tal i com s'ha esmentat anteriorment, l'automatització es pot centrar en dos blocs, la seguretat i la gestió del control de la CPU.

8.1 Control de seguretat

Amb l'objectiu d'acomplir el grau de seguretat PLe en el moviment dels actuadors, es disposa a cablejar les aturades d'emergència i les barreres fotoelèctriques de manera que cada element penja d'un relé de seguretat de categoria 4 amb doble canal. Aquests relés de seguretat es serien per a donar com a resultat una font d'alimentació de 24V per a les sortides de PLC i senyals STO del servo drive, tal i com es mostra a la Fig. 5.3 Circuit de seguretat. Lògica cablejada [Font pròpia]

El cablejat de les emergències es realitza de tal manera que el rearmament sigui manual, amb el flanc descendent d'un polsador lluminós de rearmament que indica l'estat actual de les seguretats.

El cablejat de les barreres es realitza de tal manera que el rearmament sigui automàtic, ja que la zona protegida no permet l'entrada física de persones.

8.2 Configuració de perifèrics

La CPU és el cervell de la màquina. Aquesta processa totes les entrades i sortides, físiques o virtuals, d'HMI, busos de camp, etc. El primer que cal tenir clar és l'arquitectura resultant. A la següent figura es mostra com organitzar els diferents objectes tecnològics de què es compon la solució. Seguidament, es realitza una descripció detallada de com configurar cada component. A l'annex VI del projecte es troba tot el procediment de configuració i programació de tots els perifèrics.

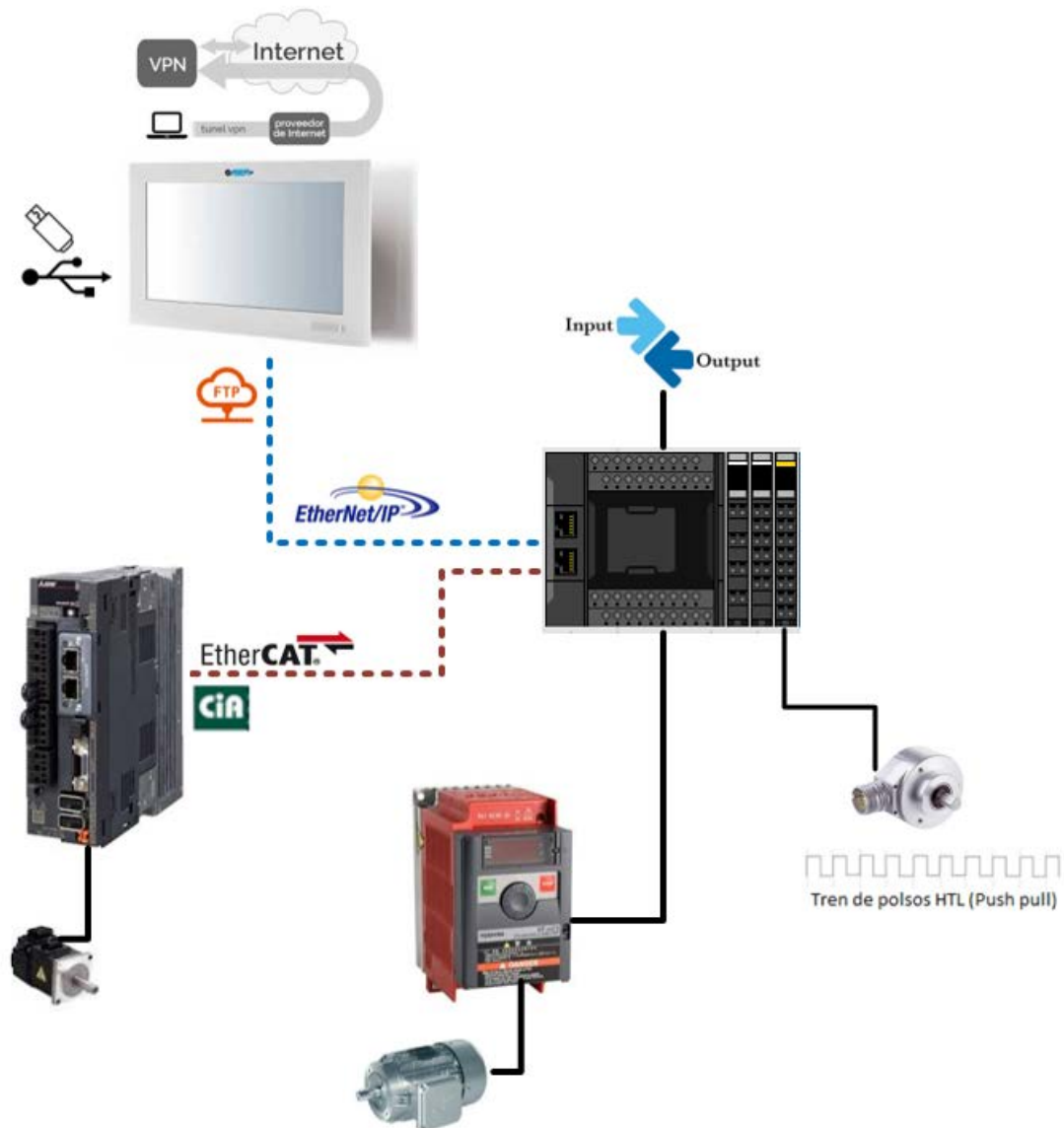


Fig. 8.2 Solució hardware del control [Font pròpia]

- **Pantalla HMI:**

Aquesta treballa amb diferents protocols que s'han de configurar des de el software Premium HMI 5 d'Asem.

Per un costat s'ha d'habilitar el driver Omron Ethernet IP per tal de comunicar els diferents tags programats al PLC. Aquests hauran de ser exportats des de el PLC i importats a la pantalla.

Per altra costat, s'ha d'habilitar el protocol FTP per tal que, pel mateix Ethernet, el PLC pugui transferir arxius de manera bidireccional cap al directori de l'USB.

Una altra funció que s'ha de configurar és la VPN. Aquesta es realitza a partir del software Ubiquity Center d'Asem. Amb aquest es dona un nom unívoc a la pantalla i se li assigna una direcció IP per a la xarxa local de màquina.

- **Servo drive:**

El primer que s'ha de fer per a poder treballar amb el servo drive MR-J4-TM mitjançant Ethercat és descarregar l'arxiu .XML facilitat pel propi proveïdor. Aquest s'ha d'incorporar a la xarxa Ethercat del PLC per a que el reconegui com a tal. Una vegada configurat a la xarxa, se li assignen les PDO i SDO corresponents per a treballar de la manera més adient, proporcionant així un control de posicionament com és en aquest cas.

Per tal de configurar el propi servo drive es realitza la parametrització amb el software MR Configurator de Mitsubishi Electric. Amb aquest es dona la informació al driver per a que treballi en mode de sincronització cíclica. Això permetrà que el PLC gestioni tots els moviments a partir de funcions CAN Open sota el perfil CiA 402. També es configura la bateria necessària per a no perdre la posició de l'encoder (encoder absolut), i la resolució d'aquest amb la configuració mecànica de màquina (pas del cargol).

- **Variador de freqüència:**

El variador de freqüència treballa bàsicament amb dos senyals digitals, una d'avanç i una altra de retrocés. La configuració d'aquest es realitza mitjançant els paràmetres entrats pel propi KeyPad seguint les instruccions del manual d'usuari[12], incorporat al CD del projecte. Els paràmetres a destacar pel correcte funcionament són:

- Mode de comanament: placa de terminals (senyals digitals)
- Ajust de freqüència: Fixe
- Temps d'acceleració
- Temps de desacceleració

- Placa de característiques del motor

- **Encoder:**

L'encoder va connectat mitjançant tren de polsos al PLC. És per això que es requereix la targeta NX-EC0222. Per a treballar correctament és necessari configurar tant el PLC com l'encoder de la mateixa manera per a que treballin sota el mateix perfil i amb la mateixa escala. Per a configurar la targeta al PLC a través de Sysmac Studio[13], s'afegeix la targeta a la secció de Hardware, Bastidor de CPU, i es defineix com treballa l'encoder.

Per a configurar l'encoder, es fa a través del software SOPAS Engineering Tool de Sick, amb el qual es defineix el nombre de polsos per volta i el tipus de perfil del tren de polsos TTL/RS442 o HTL/Push-Pull.

8.3 Desenvolupament de software

El desenvolupament de software del PLC és el més important per a la viabilitat del projecte. Aquest conté les parts fonamentals de màquina com són la seqüència de funcionament, la gestió i càlcul de patrons i el motion control. Per al correcte funcionament existeixen diferents estats en els quals la màquina respondrà de manera diferent.

8.3.1 Estats màquina

- **Inhibició:** en aquest estat la màquina no té condicions de seguretat per a treballar. S'hi arriba després de donar alimentació a la màquina o de una aturada d'emergència.
- **Inicialització:** és l'estat al qual la màquina comença a treballar per si mateixa una vegada té les condicions de seguretat per moure's. Aquí es defineix l'estat de repòs a partir de inicialitzar comptadors, marques, definir el punt 0 del cargol

si no ho ha estat encara, inicialitzar encoder de banda i posicionar els actuadors a la seva posició inicial.

- **Manual:** una vegada inicialitzada la màquina es permet l'operació en manual, deixant així un espai per a provar moviments i donar assistència a manteniment.
- **Seqüència automàtic:** és aquí a on s'executa el procés de foradament amb tots els moviments de màquina corresponents, els càlculs de punts a foradar i el control de files, repeticions i correccions de cada bloc.
- **Final de lot:** una vegada finalitzats tots els forats programats es procedeix a comprovar quants lots hi ha configurats per a tornar a repetir una altra vegada la seqüència d'automàtic o donar per finalitzada la banda.

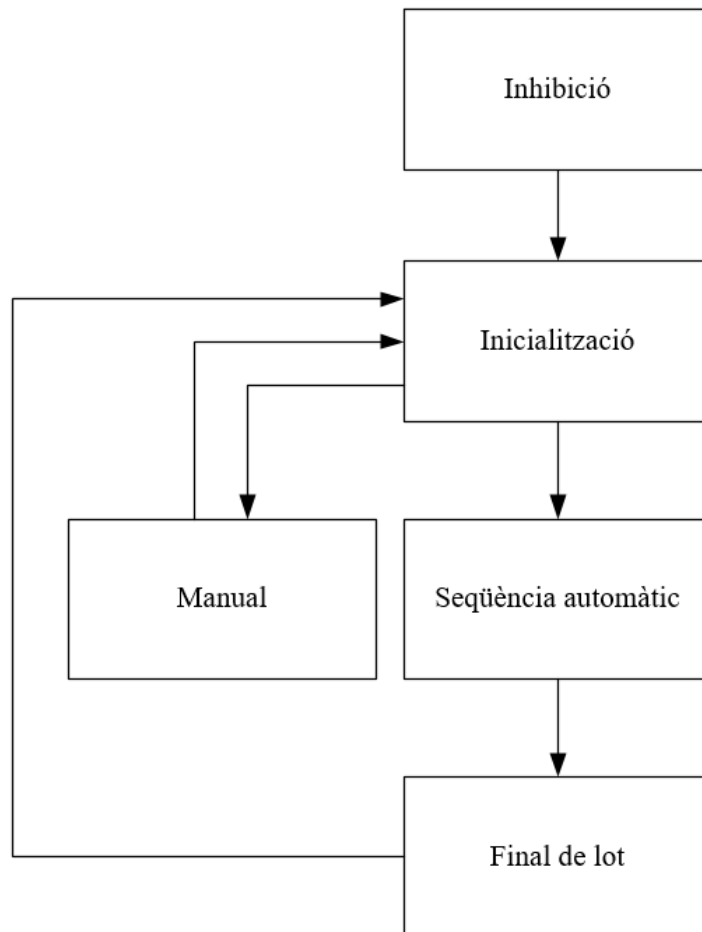


Fig. 8.3 Estats màquina [Font pròpia]

8.3.2 Seqüència automàtic

Seguidament s'identifica els passos a seguir de la seqüència de foradament, mostrat a la Fig. 8.5 Grafcet seqüència automàtic. Aquesta incorpora de manera intrínseca el control de comptadors de files, repeticions i correccions cada vegada que es cerca un nou punt de destí tal i com es mostra a la següent figura.

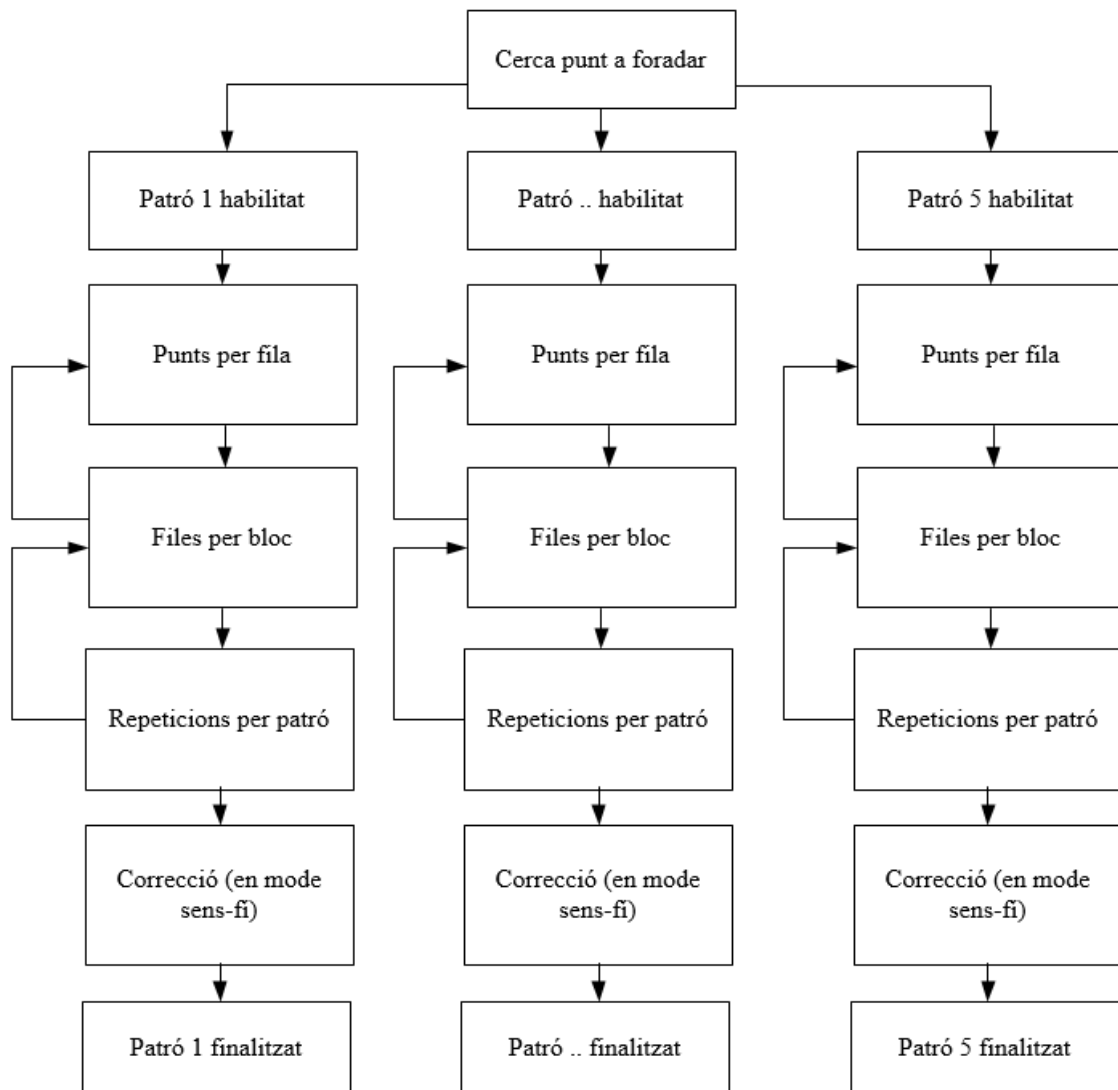


Fig. 8.4 Control de punts a foradar [Font pròpia]

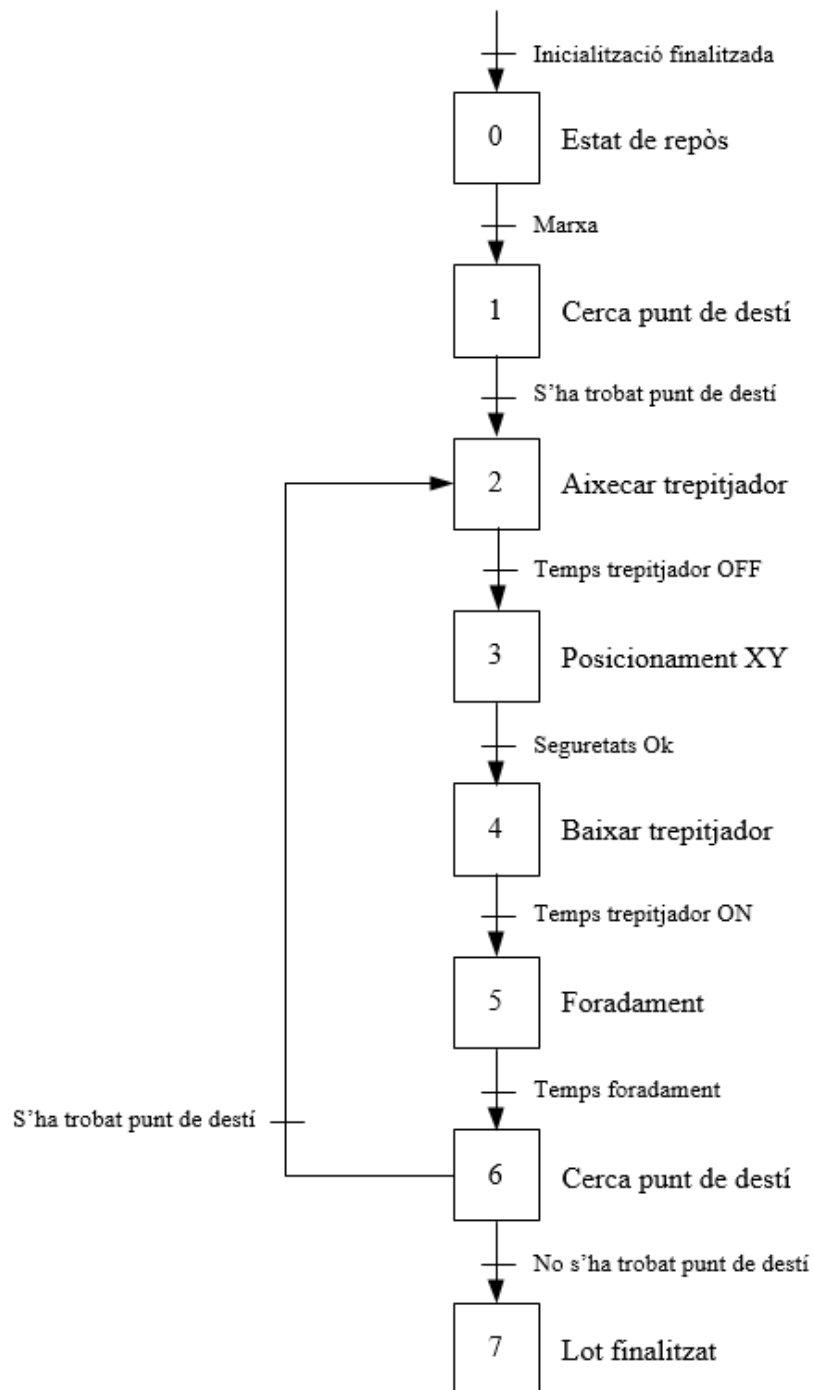


Fig. 8.5 Grafset seqüència automàtic [Font pròpia]

8.3.3 Gestió de patrons

Per a la gestió de patrons es procedeix a crear una estructura de diferents tipus de dades al PLC per a treballar amb variables simplificades. Aquest tipus de dades ha de contenir diferents amidaments per poder definir una única variable global de tipus recepta. Dins aquesta variable es podrà accedir a una àrea de memòria per editar programes, una altra per a carregar dades de treball i una altra per a emmagatzemar tants programes com es requereixi. Per a que totes aquestes àrees comparteixin estructura, es crea el tipus de dades de programa que ha de contenir tots els paràmetres configurables per recepta dels 5 patrons. Així doncs el més adient és crear un tipus de dades patró que es pugui amidar en un tipus de dades programa, per després amidar aquest últim al tipus de dades recepta. Per a tal efecte es crea els tipus de dades següent:

- **Patró**
 - A: Distància respecte l'inici de banda de la primera fila
 - B: Distància entre forats de la primera fila
 - C: Distància entre files
 - D: Distància respecte l'inici de banda de la segona fila
 - F: Distància entre forats de la segona fila
 - P: Distància primera fila respecte inici de banda
 - L: Distància entre repeticions
 - nA: Número de forats de la primera fila
 - nB: Número de forats de la segona fila
 - nC: Número de files
 - nL: Número de repeticions
 - γ° : Angle de desviament

Creat el tipus de dades patró, aquest s'amida al tipus de dades programa quedant de la següent manera:

- **Programa**
 - Nom
 - Patró 1
 - Patró 2

- Patró 3
- Patró 4
- Patró 5

Per després amidar aquest dins el tipus de dades recepta:

- **Recepta**
 - Edició
 - Programa
 - Treball
 - Programa
 - Llista d'emmagatzematge
 - Cadena de Programes

Una vegada creada l'estructura de programes, es creen les diferents funcionalitats de la gestió de patrons:

- **Crear:** quan l'usuari vulgui generar un programa, es direcciona l'àrea de memòria d'edició a la primera àrea de memòria de la llista buida.
- **Editar:** quan l'usuari vulgui editar un programa ja existent, aquest es direcciona de l'àrea de memòria de llista a la d'edició.
- **Guardar:** una vegada editat un programa, es pot guardar, direccionant l'àrea d'edició a la corresponent de la llista.
- **Copiar:** es pot copiar un programa existent i seleccionar a quina àrea de memòria de la llista es vol enganxar.
- **Exportar:** seleccionant un programa de la llista, es pot exportar a un USB en format .csv.
- **Importar:** al importar de un programa de USB, es genera automàticament un programa nou.
- **Carregar:** seleccionant un programa existent o un de nou, sense necessitat de guardar-lo, aquest es copia a l'àrea de memòria de treball per a la producció.

8.3.4 Càlcul de punts

La complexitat de poder treballar amb diferents patrons i aquests amb diferents angles, fa que el programa hagi de preveure quins punts són els pròxims a foradar. Tenint en compte que la banda únicament pot anar en un sentit i que treballant amb angle poden estar en procés vàries files d'un mateix bloc, aquest ha de controlar cada vegada que es fa un forat, la fila i repetició a la que pertany, ja que com s'ha esmentat anteriorment, pot arribar a estar acabant la primera fila de la primera repetició però ja haver començat la quarta fila de la tercera. Per aquest motiu es proposa treballar amb el que s'anomenarà taula de producció. Aquesta està formada per una cadena de punts que seran calculats al inicialitzar el procés i s'anirà actualitzant amb el pas configurat entre files, cada vegada que es realitzi un forat. Cada punt conté la informació necessària per a poder gestionar durant la seqüència el control de files, repeticions i correccions tal i com mostra la Fig. 8.4 Control de punts a foradar [Font pròpia]. Per aquest motiu es troba la necessitat de treballar amb un altre tipus de dades que emmarqui la variable punt:

- Punt
 - Posició X (servo motor)
 - Posició Y (avanç banda)
 - Repetició en la que es troba el punt
 - Comptador de fila en que es troba el punt

L'esmentada taula de producció ha de contenir dues files per a poder gestionar cada patró i tenint en compte la llargada màxima de la màquina de 3 m i el diàmetre mínim de l'encuny de 3 mm, es dimensiona una cadena de dues dimensions de 600 punts per fila. Donant solució al cas més desfavorable que seria un patró de 600 punts i 3 mm de diàmetre separats 2 mm entre ells arribant així a 3 m. No obstant, aquesta cadena s'ha de multiplicar pels 5 patrons possibles, resultant així en una cadena de 3 dimensions amb la següent estructura:

Taula de producció [Patró, Fila, Punt]	Patró [1]	Punt [1,1]	Punt [1,2]	Punt [1,3]	Punt [1,..]	Punt [1,600]
		X	X	:	:	:
		Y	Y	:	:	:
		Comptador fila	Comptador fila	:	:	:
		Comptador repetició	Comptador repetició	:	:	:
	Punt [2,1]	Punt [2,2]	Punt [2,3]	Punt [2,..]	Punt [2,600]	
	Patró [2]	Punt [1,1]	Punt [1,2]	Punt [1,3]	Punt [1,..]	Punt [1,600]
		Punt [2,1]	Punt [2,2]	Punt [2,3]	Punt [2,..]	Punt [2,600]
	Patró [3]	Punt [1,1]	Punt [1,2]	Punt [1,3]	Punt [1,..]	Punt [1,600]
		Punt [2,1]	Punt [2,2]	Punt [2,3]	Punt [2,..]	Punt [2,600]
	Patró [4]	Punt [1,1]	Punt [1,2]	Punt [1,3]	Punt [1,..]	Punt [1,600]
		Punt [2,1]	Punt [2,2]	Punt [2,3]	Punt [2,..]	Punt [2,600]
	Patró [5]	Punt [1,1]	Punt [1,2]	Punt [1,3]	Punt [1,..]	Punt [1,600]
		Punt [2,1]	Punt [2,2]	Punt [2,3]	Punt [2,..]	Punt [2,600]

Taula 8.1 Estructura de la taula de producció [Font pròpia]

Una altra qüestió a ressaltar és el càlcul de punts, quan aquests tenen angle. Per a tal càlcul es requereix de funcions matemàtiques trigonomètriques tals que resultin una figura com la següent:

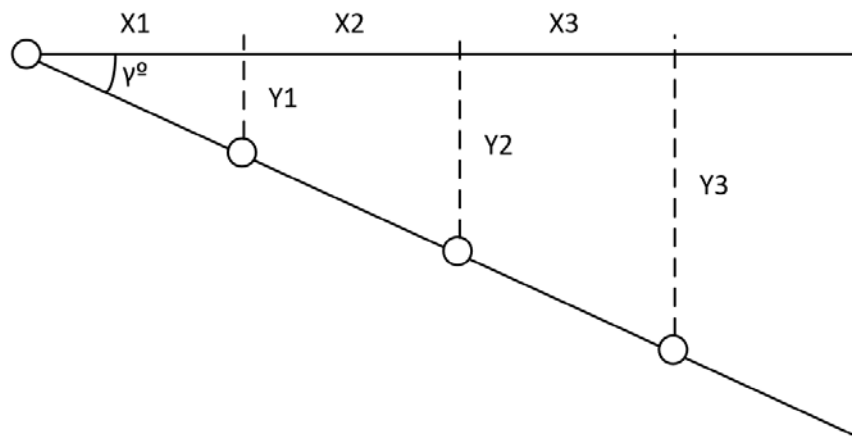


Fig. 8.6 Figura resultant d'angle diferent de 0 [Font pròpia]

La cota X (posició de l'encuny amb el servo motor) ve donada per paràmetres del programa, separació entre forats i posició inicial. La cota Y s'ha de calcular en funció de l'angle. Veure les següents equacions per a la primera fila.

$$X_n = A + (B \cdot (n-1)) \quad (8.1)$$

$$Y_n = P + [(B \cdot (n-1)) \cdot \tan(\gamma)] \quad \text{si } \gamma \geq 0 \quad (8.2)$$

$$Y_n = P + [(B \cdot (nA - n + 1)) \cdot \tan(\gamma)] \quad \text{si } \gamma < 0 \quad (8.3)$$

En el cas de la segona fila:

$$X_n = D + (F \cdot (n-1)) \quad (8.4)$$

$$Y_n = P + C + [(F \cdot (n-1)) \cdot \tan(\gamma)] + [(D - A) \cdot \tan(\gamma)] \quad \text{si } \gamma \geq 0 \quad (8.5)$$

$$Y_n = T + C + [(F \cdot (nA - n + 1)) \cdot \tan(\gamma)] - [(D - A) \cdot \tan(\gamma)] \quad \text{si } \gamma < 0 \quad (8.6)$$

On:

- A: Distància respecte l'inici de banda de la primera fila
- B: Distància entre forats de la primera fila

- C : Distància entre files
- D : Distància respecte l'inici de banda de la segona fila
- F : Distància entre forats de la segona fila
- P : Distància primera fila respecte inici de banda
- γ : Angle de desviament
- T : Cota Y del primer forat de la primera fila
- nA : nombre de forats de la segona fila

A l'apartat Annex III es pot veure un mapa de cotes de la banda i exemples de possibles resultats esperats. A l'Annex VI.2 es pot veure el codi de la solució plantejada.

9. Planificació

Donada la informació de les tasques a desenvolupar juntament amb el desenvolupament mecànic de la màquina, s'ha elaborat la planificació. Dissenyada per saber les dates de quan comença i acaba el projecte i les tasques que les formen. En base això, es permet controlar la durada estimada del projecte, que s'anirà actualitzant durant l'execució d'aquest. Seguidament es proporcionen les dates previstes i l'ordre de realització de cadascuna de les tasques que formen l'amplada en el temps del projecte.

La planificació avarca el desenvolupament complet de la màquina, incloent així el desenvolupament mecànic per part del client/col·laborador. Per identificar les tasques i recursos responsables de les quals n'és exclusivament el client, aquestes s'indiquen amb un *. Tanmateix el cost associat de les respectives tasques no es té en compte en el resum de costos.

9.1 Llistat i definició de tasques

1.1. Definició del projecte i descripció del problema: redacció de l'objecte del projecte amb els punts importants extrets de les reunions amb el client.

1.2. Recerca d'informació d'antecedents: realització de diferents estudis com l'anàlisi del mercat, antecedents tècnics i normativa, per a la definició de possibles alternatives de solució. Reunió amb tot l'equip per analitzar i donar idees pel projecte. Elecció dels objectius.

1.3. Plantejament d'alternatives de solució: a partir de la identificació del problema i definició del projecte, tenint en compte els objectius i especificacions tècniques obtingudes, es creen i plantegen diferents alternatives de solució. Avaluació de les alternatives de solució a través de rúbriques, i selecció de la solució amb la millor puntuació.

1.4 Estudi de la viabilitat de la solució: aquest apartat es divideix en dos.

- **Viabilitat tècnica:** valoració dels aspectes tècnics que s'utilitzarà en el projecte. En viabilitat tècnica s'ha avaluat, l'estat de l'art, la viabilitat de la solució, les eines de desenvolupament i finalment el material que s'utilitzarà.
- **Viabilitat Mediambiental:** realització d'un informe Mediambiental a través de les llistes de control. Identificació dels elements bàsics del projecte i avaluació de l'impacte ambiental.

1.5 Desenvolupament de la solució: definició de com s'aplicarà la solució finalment triada.

1.6 Planificació: realització de la planificació del projecte aportant el llistat detallat de les tasques realitzades i a realitzar, durada de cadascuna, recursos assignats. Posteriorment la realització d'un diagrama de Gantt i una taula de costos directes del projecte.

1.7 Pressupost: realització d'un pressupost del projecte a partir de costos directes, que són els costos d'enginyeria i, uns costos indirectes, que són les amortitzacions dels equips i sistemes de desenvolupament a cara tres anys.

1.8 Estudi econòmic: avaluació de la viabilitat econòmica a través del pressupost del projecte, l'anàlisi del mercat, l'estructura de costos de fabricació i els costos d'inversió.

1.9 Disseny elèctric: realització del disseny dels esquemes elèctrics.

1.10 Disseny mecànic*: disseny de les modificacions mecàniques.

1.11 Desenvolupament de software: programació del software de control.

- **Programació PLC:** programació del codi font del controlador.
- **Programació HMI:** programació de la interfície amb l'usuari.
- **Configuració d'equips electrònics:** configuració i parametrització de variador de freqüència, servo drive, encoder, comunicacions Ethercat i Ethernet, VPN i FTP.

1.12 Muntatge mecànic*: muntatge i pintura de l'estructura de la màquina. Muntatge i acoblament dels components mecànics.

1.13 Armari elèctric: mecanitzat i cablejat de l'armari elèctric a taller.

1.14 Muntatge elèctric: instal·lació elèctrica i acoblament d'armari i components electrònics a màquina.

1.15 Posada en funcionament: proves de configuració i funcionament de la màquina.

- **Proves elèctriques:** verificació del cablejat elèctric de màquina.
- **Proves mecàniques:** verificació del muntatge i moviments manuals de màquina.
- **Proves de funcionament:** verificació, proves i millores del programa, incloent proves elèctriques i mecàniques.

1.16 FAT: prova de funcionament i acceptació del client final.

1.17 Elaboració de documentació del projecte: elaboració i redactat d'un manual de funcionament i manteniment perquè el client pugui utilitzar la màquina sense cap problema.

9.2 Durada i recursos de tasques

La durada de les tasques s'expressa en hores tenint en compte tots els recursos assignats. Els recursos indicats amb * són imprescindibles per a dur a terme el projecte i són responsabilitat del client. El no compliment del recurs del client suposarà una modificació de la durada de les tasques i variació en la data d'inici d'aquestes, suposant un increment dels costos associats.

Codi	Descripció	Precedents	Durada (h)	Recursos
1.1	Definició i descripció del problema	-	25h	Enginyer de projectes d'automatització (EPA)
				Enginyer de projectes mecànics* (EPM)
1.2	Recerca d'informació d'antecedents	1.1	20h	Enginyer de projectes d'automatització (EPA)
				Enginyer de projectes mecànics* (EPM)
1.3	Plantejament d'alternatives de solució	1.2	30h	Enginyer de projectes d'automatització (EPA)

Codi	Descripció	Precedents	Durada (h)	Recursos
				Tècnic comercial (TC)
1.4	Estudi de la viabilitat de la solució	1.3	16h	Enginyer de projectes d'automatització (EPA)
				Tècnic comercial (TC)
1.5	Desenvolupament de la solució	1.4	16h	Enginyer de projectes d'automatització (EPA)
1.6	Planificació	1.5	8h	Enginyer de projectes d'automatització (EPA)
				Enginyer de projectes mecànics* (EPM)
				Tècnic comercial (TC)
1.7	Pressupost	1.6	16h	Tècnic comercial (TC)
1.8	Estudi econòmic	1.7	30h	Enginyer de projectes d'automatització (EPA)
				Tècnic comercial (TC)
1.9	Disseny elèctric	1.8	16h	Enginyer d'automatització (EA)
1.10	Disseny mecànic*	1.8	50h	Enginyer mecànic* (EM)
1.11	Desenvolupament de software	1.8	100h	Enginyer d'automatització (EA)
1.12	Muntatge mecànic*	1.10	180h	Tècnic mecànic* (TM)
1.13	Armari elèctric	1.9	16h	Tècnic elèctric (TE)
1.14	Muntatge elèctric	1.12-1.13	16h	Tècnic elèctric (TE)
1.15	Posada en funcionament	1.14	70h	Enginyer d'automatització (EA)
				Tècnic elèctric (TE)
				Tècnic mecànic* (TM)
1.16	FAT	1.15	16h	Enginyer de projectes d'automatització (EPA)
				Enginyer de projectes mecànics* (EPM)
1.17	Elaboració de documentació	1.16	16h	Enginyer de projectes d'automatització (EPA)
				Enginyer de projectes mecànics* (EPM)

Taula 9.1 Planificació de tasques i recursos assignats [Font pròpia]

9.3 Diagrama de Gantt

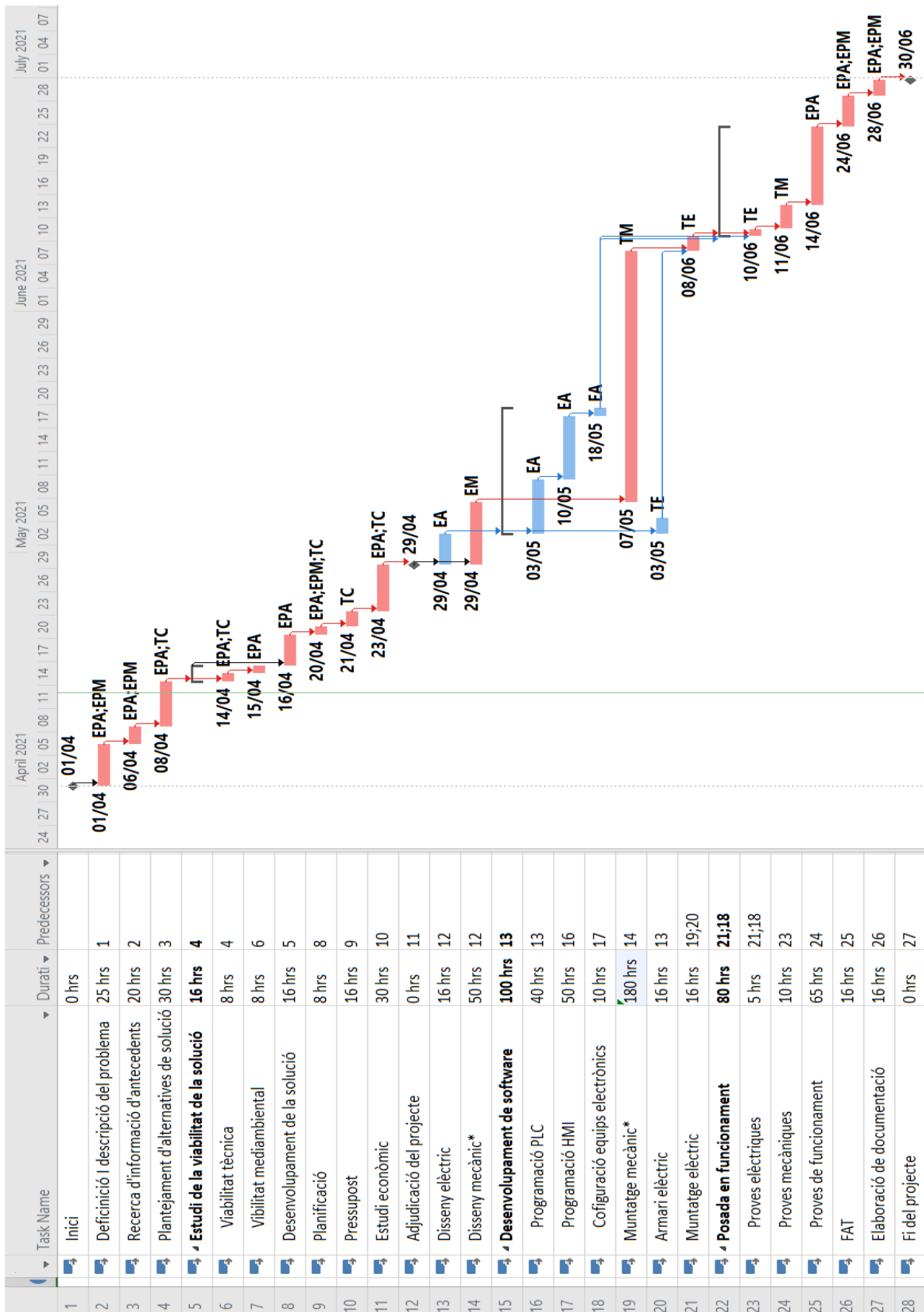


Fig. 9.1 Diagrama de Gantt [Font pròpia]

9.4 Diagrama de xarxa

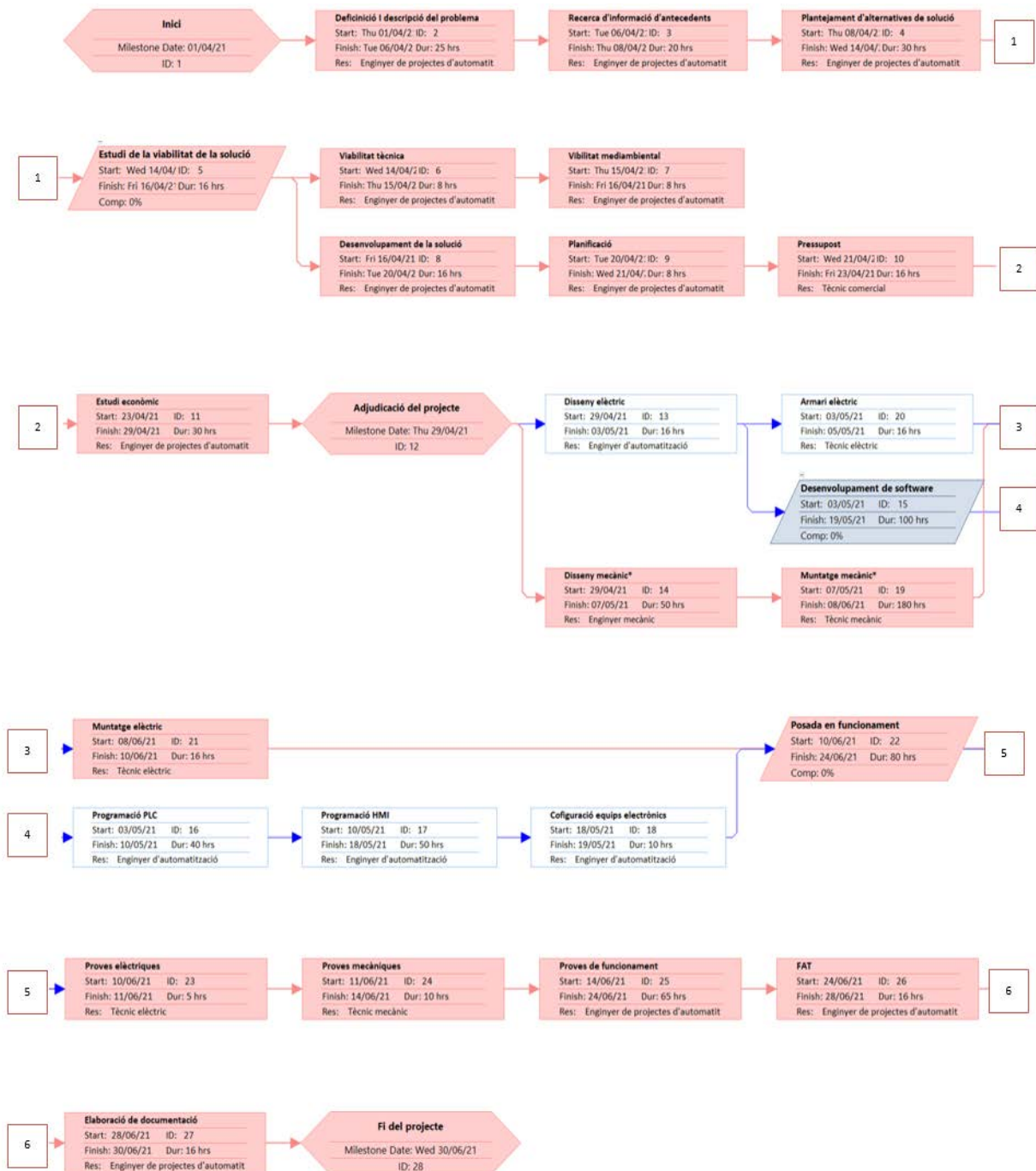


Fig. 9.2 Diagrama de xarxa [Font pròpia]

9.5 Costos directes

Codi	Descripció	Unitats(h)	Preu unitari	Costos variables	Costos fixos ¹
1.1	Definició i descripció del problema	25,00		675,00 €	64,20 €
	Enginyer de projectes d'aut. (EPA)	15,00	45,00 €		
	Enginyer de projectes mecànic* (EPM)	10,00	- €		
1.2	Recerca d'informació d'antecedents	20,00		720,00 €	64,20 €
	Enginyer de projectes d'aut. (EPA)	16,00	45,00 €		
	Enginyer de projectes mecànic* (EPM)	4,00	- €		
1.3	Plantejament d'alternatives de solució	30,00		1.290,00 €	- €
	Enginyer de projectes d'aut. (EPA)	24,00	45,00 €		
	Tècnic comercial (TC)	6,00	35,00 €		
1.4	Estudi de la viabilitat de la solució	16,00		680,00 €	- €
	Enginyer de projectes d'aut. (EPA)	12,00	45,00 €		
	Tècnic comercial (TC)	4,00	35,00 €		
1.5	Desenvolupament de la solució	16,00		720,00 €	- €
	Enginyer de projectes d'aut. (EPA)	16,00	45,00 €		
1.6	Planificació	8,00		292,00 €	- €
	Enginyer de projectes d'aut. (EPA)	4,00	45,00 €		
	Enginyer de projectes mecànic* (EPM)	0,80	- €		
	Tècnic comercial (TC)	3,20	35,00 €		
1.7	Pressupost	16,00		560,00 €	- €
	Tècnic comercial (TC)	16,00	35,00 €		
1.8	Estudi econòmic	30,00		1.200,00 €	- €
	Enginyer de projectes d'aut. (EPA)	15,00	45,00 €		
	Tècnic comercial (TC)	15,00	35,00 €		
1.9	Disseny elèctric	16,00		640,00 €	- €
	Enginyer d'automatització (EA)	16,00	40,00 €		
1.10	Disseny mecànic*	50,00		- €	- €
	Enginyer mecànic* (EM)	50,00	- €		

¹ Els costos fixos són estimats a partir de dietes i desplaçaments derivats de cada tasca. Se'n pot veure el detall a l'apartat Annex IV .

Codi	Descripció	Unitats(h)	Preu unitari	Costos variables	Costos fixos ¹
1.11	Desenvolupament de software	100,00		4.000,00 €	- €
	Enginyer d'automatització (EA)	100,00	40,00 €		
1.12	Muntatge mecànic*	180,00		- €	- €
	Tècnic mecànic* (TM)	180,00	- €		
1.13	Armari elèctric	16,00		400,00 €	- €
	Tècnic elèctric (TE)	16,00	25,00 €		
1.14	Muntatge elèctric	16,00		400,00 €	64,20 €
	Tècnic elèctric (TE)	16,00	25,00 €		
1.15	Posada en funcionament	80,00		2.725,00 €	288,90 €
	Enginyer d'automatització (EA)	65,00	40,00 €		
	Tècnic elèctric (TE)	5,00	25,00 €		
	Tècnic mecànic* (TM)	10,00	- €		
1.16	FAT	16,00		360,00 €	32,10 €
	Enginyer de projectes d'aut. (EPA)	8,00	45,00 €		
	Enginyer de projectes mecànic* (EPM)	8,00	- €		
1.17	Elaboració de documentació	16,00		320,00 €	- €
	Enginyer d'automatització (EA)	8,00	40,00 €		
	Enginyer mecànic* (EPM)	8,00	- €		
TOTAL				14.982,00 €	513,60 €
TOTAL COSTOS DIRECTES				15.495,60 €	

Taula 9.2 Costos directes [Font pròpia]

10. Impacte mediambiental

L'actual projecte no està sotmès per llei a l'obligació de complimentar un estudi d'impacte ambiental degut a la seva praxis i el seu fi, reflectit a la Llei 21/2013, de 9 de desembre, d'avaluació ambiental. No obstant, a fi de col·laborar amb la protecció del medi i seguint els principis bàsics de política i ètica ambiental a mode de prevenció, s'elabora una avaluació d'impacte ambiental, junt amb un informe ambiental disponible a l'apartat d'Annex V.

En l'Estudi d'Impacte Ambiental es consideren diferents aspectes que tenen a veure amb els factors ambientals i les accions d'impacte propis, en aquest cas, tot el procés des de que es dissenya el producte fins a la seva utilització.

El projecte engloba les fases de disseny i construcció de maquinària per a la futura explotació d'aquesta per part del client final. Tant la fase de disseny com la de construcció es duran a terme a les poblacions Sant Celoni i Arenys de munt.

Durant la fase de disseny, portada a terme en oficines, cal exprimir els recursos digitals que es tenen a l'abast a dia d'avui per tal de minimitzar l'ús de consumibles. Encara que el treball d'oficina sembli una feina que no genera residus, es poden minimitzar tant la despesa de paper i bolígrafs com els consumibles d'impressora, i fomentar el reciclatge i economia circular. A més d'optimitzar l'energia elèctrica i tèrmica i fer un ús responsable d'aigua. Tanmateix, evitar desplaçaments no imprescindibles ja que reunions, visites i formacions es poden fer telemàticament, optimitzant així la mobilitat en carretera i millorant la qualitat de l'aire.

A la fase de fabricació i construcció, tant de la part elèctrica com mecànica, cal fer èmfasi en la possibilitat i necessitat del reciclatge. Tots els components de proveïdors es subministren amb materials reciclables com caixes de cartró i embolcalls de plàstic. Així doncs s'ha de garantir zones habilitades dins l'empresa per a poder separar aquests residus correctament, així com tenir assegurada la recollida de residus selectiva.

Tanmateix es recomana un ús responsable de les eines disponibles als tallers per tal d'evitar i reduir al màxim les minves generades al tallar, foradar, pintar i/o tot aquella tasca que pugui generar residus, generalment no reciclables. És necessari, així com el

reciclatge, dur els components no reciclables a la deixalleria. També, com a responsabilitat d'empresa i compromís amb el medi ambient, s'ha d'optar per energies renovables en quant a equips que generen CO2 tals com calefactors, remolcadors, etc.

Una vegada la maquinària entri en fase de proves o sigui subministrada al client final, aquesta serà quan generarà residus per si mateixa. La perforadora de bandes consumeix únicament energia elèctrica, tanmateix requereix també aire a pressió per a funcionar, provinent d'un compressor generalment elèctric o de gasoil. El procés de perforació de bandes produeix minves de la pròpia banda, essent normalment de cautxú, PVC, poliamida o silicona que acostumen a ser reciclables.

Cal fer menció a la futura obsolescència de la màquina. Aquesta està formada per components que degut al seu desgast pel normal funcionament i/o pels cicles de vida als que han estat dissenyats, o inclús una vegada la màquina ja no sigui productiva dins el procés en que s'engloba, es decidirà reemplaçar-los. Aquests components, alguns electrònics, altres purament mecànics, contenen diferents materials que s'han d'abocar a la deixalleria corresponent per tal de minimitzar l'impacte ambiental que puguin ocasionar.

Es recull a continuació, en forma de taula, les principals accions i factors que s'hauran de prendre en consideració en l'estudi de detall [14][15][16].

Accions impactants		Observacions
Fase de disseny i fabricació	Consum d'aigua	No suposaran un augment en relació a la producció habitual d'altres projectes dins dels respectius tallers i oficines.
	Consum d'electricitat	
	Material d'oficina	
	Transport	
	Producció de soroll i vibracions	
Emissió de pols		
Fase de proves	Consum d'aire comprimit	Per tals consums bastarà amb els subministraments normals de taller. El soroll
	Consum d'electricitat	

Accions impactants		Observacions
	Soroll	no supera en cap cas els límits permesos. Els residus s'aboquen en contenidors de reciclatge.
	Residus	
Fase d' explotació	Transport	S'empra un transport convencional per tal de transportar la màquina al lloc d' explotació.
	Consum d'aire	
	Consum d'electricitat	
	Producció de soroll	

Taula 10.1: Accions impactants mediambientals [Font pròpia]

Factor Ambiental		Impacte sobre...
Medi Natural	Atmosfera	Sense impacte.
	Terra	Sense impacte.
	Aigua	Sense impacte.
	Flora	Sense impacte.
	Fauna	Sense impacte.
	Medi perceptual	Sense impacte.
Medi Socioeconòmic	Ús del territori	Sense impacte.
	Culturals	Sense impacte.
	Infraestructura	Sense impacte.
	Humans	Qualitat de vida de treballadors
	Economia i població	Treball, economia local.

Taula 10.2: Factors ambientals impactats [Font pròpia]

11. Tancament

En aquest document es troba tota la informació necessària per a desenvolupar el projecte, des de l'estudi previ dels antecedents fins a la recerca de noves alternatives de solució per tal de trobar la que més s'ajusta a les especificacions del client i trobar una relació qualitat-preu adequada.

Queden registrats a l'apartat d'annexes els punts més destacats del procediment de configuració i programació dels equips electrònics d'automatització com HMI, PLC, Servo drive i encoder. Tot en funció del que s'especifica a la memòria. D'aquesta manera es facilita la possible modificació generació de nous codis de programa en un futur.

11.1 Desviacions de la planificació

La planificació del projecte no ha sigut alterada de manera significant. S'han trobat entrebancs que cal resoldre i/o tenir en compte per a no patir alteracions més significatives en la fabricació de més màquines en un futur o inclús en l'actualització de màquines ja existents amb el disseny anterior. S'identifiquen els següents punts crítics:

- Termini d'entrega de la pantalla per part del proveïdor mínim d'un mes amb possibles alteracions per manca d'estoc.
- Termini d'entrega de material de la CPU alterable segons l'estat de l'estoc per part del proveïdor.

S'aconsella demanar el material just quan entra una nova comanda o inclús tenir estoc propi a les instal·lacions de l'empresa.

11.2 Desviacions de la viabilitat econòmica

No s'han registrat alteracions en el pressupost del projecte. Queda pendent el transcurs del temps per a poder valorar la viabilitat de la inversió.

11.3 Punts forts i punts febles de la solució

- Punts forts:
 - Es millora notablement les possibilitats de realitzar diferents patrons, poden configurar pràcticament tot tipus de patrons sempre i quant siguin lineals.
 - Dotació de connectivitat VPN de la màquina a internet per a oferir assistència remota i actualitzacions de programa.
 - Augment de memòria per a enregistrar programes.
 - Possibilitat d'exportar/importar programes en .csv a USB.
 - Pantalla més gran que l'anterior.
 - Més fiabilitat en el posicionament de l'encuny.
 - Seguretat millorada respecte la versió anterior de màquina.
- Punts febles:
 - Instal·lació elèctrica millorable integrant més canalitzacions.
 - La connexió a través de la VPN és bastant lenta.
 - La no possibilitat de modificar les PDOs de l'arxiu ESI del servo MR-J4 requereix més codi de programa.

11.4 Propostes de millora

Per a futures màquines es proposen les següents millores:

- Instal·lar més canalitzacions per a conduir el cablejat pendent com l'encoder.
- Canviar les barreres de seguretat per unes més grans que protegeixin tota l'alçada de la màquina, amb zona d'inhibició per l'entrada i sortida exclusivament del gruix de la banda.
- Fer un seguiment amb els clients usuaris de la màquina per a valorar possibles patrons impossibles de fer amb aquest sistema.

12. Conclusions

Amb el desenvolupament del projecte s'ha aconseguit portar a la pràctica molts dels temes estudiats durant el transcurs del grau d'enginyeria electrònica industrial i automàtica, no solament en qüestió tècnica sinó també en el procés de gestió del projecte com planificació, gestió econòmica, estudi de l'art i valoració de com i què és la millor opció per a dur-lo a terme en tots els àmbits.

S'ha realitzat un estudi intens de la identificació del problema per a optimitzar recursos a l'hora d'executar l'enginyeria de detall, cosa per la qual ha sigut imprescindible un seguit de reunions amb l'equip tècnic i comercial. S'ha aconseguit d'aquesta manera desenvolupar una solució feta a mida del client, que li aporta un valor afegit al seu producte i li permet fer créixer el nombre de ventes i clients.

La solució aportada enfoca la màquina cap al concepte d'indústria 4.0, obrint així tot un seguit de possibilitats de millora en futures versions de màquina i adaptació a la fàbrica del client final, dotant la màquina de connectivitat a la xarxa i accés remot per a manteniments i actualitzacions. Es deixa com a futura millora un augment de versió de CPU, ja existent al mercat, dotada amb protocols SQL i OPC UA per a facilitar la connectivitat dins el procés de fàbrica.

13. Referències

- [1] <http://ermengineering.com/products/Automatic-holes-cutting/PAF-200> , Ermen-
gineering Belting Fabrication Equipment, Holes cutting Machine PAF-200.
Consultat 15 de gener 2021.
- [2] [www.ice-trade.com/es/lineas-productos/maquinas-bandas-pvc/maquinas-perfo-
radora](http://www.ice-trade.com/es/lineas-productos/maquinas-bandas-pvc/maquinas-perfo-
radora), ICE-Trade. ICE-Trade Máquina Perforadora Bandas. Consultat 15 de
gener 2021.
- [3] www.youtube.com/watch?v=klB-bqvVDgY, John Holo, Holo Beltwin
Conveyor Belt Hole Punching Fabricating Processing Machine, 5 setembre
2019.
- [4] www.youtube.com/watch?v=wxp6IbJnmrY, Trinity Hu, The conveyor belt
holes cutting plotter, , 29 març del 2014.
- [5] www.multicam.com, Multicam Complete CNC Solutions, 2019.
- [6] www.advancedsheetmetals.co.nz/gallery/water-jet-cutting, Advanced sheet
metals ltd., Waterjet cutting galery, 2015.
- [7] [www.mx.mitsubishielectric.com/fa/es/products/drive-products/ac-servos-
melservo/melservoj4](http://www.mx.mitsubishielectric.com/fa/es/products/drive-products/ac-servos-
melservo/melservoj4), Mitsubishi electric, MELSERVO-J4. Consultat 17 de
gener 2021
- [8] Mitsubishi Electric Automation, “Servo Motors and Amplifiers Selection
Guide”. Edition 19. Revisat 1 d’abril 2019
- [9] OMRON Corporation Industrial Automation Company, “NX1P series machine
controller Data Sheet”. SysCat_I179E-EN-02. Consultat 21 de gener de 2021.
- [10] OMRON Corporation Industrial Automation Company, “NJ/NX-series
Instructions Reference Manual”. W502-E1-26. Consultat 21 de gener de 2021.
- [11] ASEM Industrial Automation, “HMI30 Datasheet”. Consultat 21 de gener de
2021.
- [12] TOSHIBA Industrial Products, “E6581602 Manual de instrucciones convertidor
industrial TOSVERT VF-nC3”. 2009 Ver. 100.
- [13] OMRON Corporation Industrial Automation Company, “NX-series Position
Interface Units User’s Manual”. W524. Consultat 3 de febre 2021.

- [14] www.residus.gencat.cat, Generalitat de Catalunya, Agència de residus de Catalunya. Consultat 3 de febrer 2021.
- [15] www.territori.gencat.cat, Generalitat de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat. Consultat 3 de febrer 2021.
- [16] www.ec.europa.eu/environment/eia/eia-legalcontext.htm, Comissió Europea, Environmental Impact Assessment – EIA. Consultat 1 de febrer 2021.