



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

**SUPERVISIÓ, CONTROL I SIMULACIÓ D'UN PROCÉS DE
FABRICACIÓ DE FIL DE PLOM**



Memòria i Annexos

Autor: Guillem Pereda Pérez
Director: Javier Francisco Gamiz Caro
Convocatòria: Juny 2022

Resum

Aquest projecte té com objectiu desenvolupar les eines necessàries que permeten realitzar una supervisió, el control i una simulació d'un procés automatitzat de producció de fil de plom.

En el present document s'expliquen les característiques principals dels diferents objectius fixats, a partir d'una introducció. A continuació s'exposa el problema escollit per ser estudiat i es mostra la solució adoptada per la resolució del problema plantejat.

Per altre banda es mostra la normativa aplicable a la solució desenvolupada i s'exposen aspectes econòmics relatius a la implementació del producte final, acabant amb la descripció de les conclusions extretes a partir de l'experiència obtinguda en la confecció d'aquest treball.

Darrera modificació d'aquest document: 13 de Juny de 2022

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar las herramientas necesarias que permitan realizar una supervisión, control y simulación de un proceso automatizado de producción de hilo de plomo.

En el presente documento se explican las principales características de los diferentes objetivos fijados, a partir de una introducción. A continuación se expone el problema escogido para su estudio y se muestra la solución adoptada por la resolución del problema planteado.

Por otro lado, se muestra la normativa aplicable a la solución desarrollada y se exponen aspectos económicos relativos a la implementación del producto final, acabando con la descripción de las conclusiones extraídas a partir de la experiencia obtenida en la confección de este trabajo.

Última modificación de este documento : 13 de Junio de 2022

Abstract

The aim of this project is to develop the necessary tools to monitor, control and simulate an automated lead production process.

This document explains the main features of the different objectives set, based on an introduction. The problem chosen for the study is set out below and the solution adopted for solving the problem is shown.

On the other hand, the regulations applicable to the developed solution are shown and economic aspects related to the implementation of the final product are exposed, ending with the description of the conclusions drawn from the experience obtained in the preparation of this work.

This document was last modified : June 13th, 2022



Agraïments

M'agradaria agrair a la meva família, la meva mare Gemma, el meu pare Alfons i la meva germana Natàlia pel seu suport donat en els moments més difícils.

També als meus amics Roger i Jaume pel suport donat i estar sempre que era necessari.



Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	IV
1. PREFACI	1
1.2. Origen del treball	1
1.3. Motivació	1
1.4. Requeriments previs.....	2
2. INTRODUCCIÓ	3
2.1. Objectius del treball.....	3
2.2. Abast del treball.....	3
2.3. Antecedents.....	4
2.4. Estructura de la memòria	5
3. ANÀLISI DEL PROBLEMA	7
3.1. Descripció del Procés a Automatitzar	7
3.1.1. Química del Procés	7
3.2. Sistema de control	9
3.2.1. Equips.....	9
3.2.2. Fases del procés	16
3.2.3. Diagrama PI&D i definició d'elements.....	17
3.3. Requeriments funcionals.....	20
3.4. Requeriments de disseny	21
3.5. Metodologia de desenvolupament.....	22
3.6. Recursos.....	23
3.7. Planificació de tasques	24
4. DISSENY I IMPLEMENTACIÓ DE LA SOLUCIÓ	26
4.1. Arquitectura del Sistema de Control.....	26
4.1.1. Hardware del Sistema.....	26
4.1.2. Software del Sistema	26
4.1.3. Vista Global de les Comunicacions	26

4.1.4.	Comunicacions SCADA-Controlador-Procés	28
4.2.	Simulació del Procés	33
4.2.1.	Limitacions de la Simulació	33
4.2.2.	Elements de Simulació	35
4.3.	Descomposició del Problema de Control	39
4.4.	Codificació dels Elements i Sistemes	39
4.5.	Definició de les Interfícies del Sistema de Control	42
4.6.	Definició del Fitxer d'Intercanvi Controlador-SCADA.....	44
4.7.	Programa del Controlador	46
4.7.1.	Estructura del Programa.....	46
4.7.2.	Definició de Tipus de Dades	47
4.7.3.	Lògica de Control dels Elements i Seqüència de Control.....	48
4.8.	Programa del Software SCADA.....	58
4.8.1.	Arbre de Navegació	58
4.8.2.	Definició dels Tipus de Dades.....	59
4.8.3.	Disseny de les Pantalles de l'Aplicació	61
4.8.4.	Scripts	65
4.8.5.	Disseny de la interfície d'Alarmes del Sistema	69
4.8.6.	Gestió d'usuaris	70
5.	PROVES I RESULTATS	73
5.1.	Proves	73
5.2.	Resultats	74
6.	NORMATIVA	75
6.1.	Normativa general	75
6.2.	Implementació del Programa del PLC	76
6.3.	Programació del SCADA	76
7.	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	77
	CONCLUSIONS	78
	PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA	79
	BIBLIOGRAFIA	80
	ANNEXOS	82

1. Prefaci

1.2. Origen del treball

El tema principal sobre la supervisió, control i simulació d'un procés va sorgir a partir dels temes de Treball de Fi de Grau ofertats al cercador d'ofertes oficial de l'EEBE. Tot hi haver estat revisant diverses ofertes, el desig previ de treballar amb eines de sistemes automatitzats i interfícies màquina-operari va ser el detonant per l'elecció de l'oferta sobre "*Supervisió, Control i Simulació d'un procés*" amb eines per la realització de codi per PLC i l'ús del software Wonderware InTouch.

Un cop decidit el treball el tutor em va demanar que escollís un procés que m'agradés per dissenyar les eines que faciliten les tasques mencionades en el títol del projecte. Vaig estar dies cercant diferents processos amb el requisit que fossin processos automatitzats amb ús d'elements mecànics o robòtics per la fabricació d'un producte. Finalment va ser amb la companyia d'un company de feina que vaig trobar un procés que s'adequava a les meves pretensions i a més m'agradava el contingut d'aquest. Va ser així com vaig escollir el tema final del meu treball i les seves característiques.

1.3. Motivació

Des de el segon curs de carrera porto interessant-me en l'àmbit de l'automatització i robòtica en un àmbit industrial. La manera de treballar, les habilitats que requereix i les eines de creació i programació dels elements a automatitzar són els principals aspectes que argumenten els meus interessos per aquesta branca. Tan és així que és probable que continuï la meua carrera d'estudiant en aquest àmbit un cop hagi acabat el grau.

Aquests gustos adquirits al llarg de la meua vida i sobretot a la realització de la carrera van ser una motivació i una raó de pes per l'elecció d'aquest tema, a més, l'obtenció dels diferents coneixements que comporta la creació d'aquest projecte seran també molt útils per posteriors estudis, cosa que s'afegeix a les raons d'elecció de la temàtica.

1.4. Requeriments previs

La realització d'aquest projecte final obligava a tenir coneixements previs sobre PLC, control de sistemes i sistemes SCADA, tant a nivell conceptual com a nivell pràctic. Aquests els he pogut adquirir durant la carrera a diferents assignatures com són CIA (Control Industrial i Automàtic), on es tocaven diferents aspectes de la programació de PLC i regulacions de sistemes, REGA (Regulació Automàtica), on s'aprofundia en temes de regulació i control de sistemes o RVIC (Robòtica Industrial i Visió per Computador), la qual tractava de control i maneig de robots industrials i identificació d'objectes.

Altres carreres també són SICI (Sistemes d'Informació i Comunicació Industrial), que tractava amb sistemes SCADA i tot el món de l'Indústria 4.0, i ISA (Integració de Sistemes Automàtics), on es veu la confecció de sistemes SCADA, programació de PLC i ús de robots industrials.

2. Introducció

A continuació s'introdueixen els principals objectius d'aquest treball, l'abast del mateix i els antecedents. També es fa una breu descripció de com està estructurada la memòria.

2.1. Objectius del treball

Els objectius principals marcats en aquest treball es la creació dels programes necessaris per la supervisió, control i simulació del procés de manera correcta. Això significa que ha estat necessari crear un codi pel controlador, el qual està comunicat amb la interfície SCADA creada, que proporciona la visualització de l'estat de cada component de la planta i el control bàsic d'aquesta on s'inclouen la posada en marxa, els diferents tipus de parada i el reset. Per altre banda, és necessari la realització d'una simulació per comprovar que el sistema funciona, cosa que significa que es podria implementar en una situació real, utilitzant les mateixes eines o similars.

Pel que fa als objectius secundaris, es poden incloure la realització de tots els punts necessaris per la preparació per fer els objectius principals. Això recull tota la documentació que descriu i defineix diferents aspectes que faciliten l'enteniment del procés i la solució adoptada. Aquests poden ser codificació d'elements i sistemes, requeriments funcionals, fases del procés, entre molts altres.

Fora dels objectius materials, es poden definir uns altres objectius que tenen a veure amb el creixement com a enginyer dins de l'àmbit estudiat. Aquests són l'adquisició de nous conceptes i coneixement, el descobriment de mètodes i tècniques utilitzades i la gestió emocional a l'hora de crear la solució escollida i la realització d'un projecte d'aquestes dimensions.

2.2. Abast del treball

El procés escollit pertany a una cadena més gran de fabricació de projectils on intervenen un total de cinc cadenes independents. És a dir, l'obtenció del fil de plom serveix per la creació d'un altre producte, a partir de la modificació d'aquest i l'assemblatge amb altres elements en les altres cadenes de muntatge.

En una primera instància es va valorar l'abast del treball referent al la producció completa. No obstant es va decidir concretar en el procés escollit, ja que es de la llargada i complexitat suficient segons els requeriments en un treball com aquest.

Per altra banda, parlant del treball realitzat, s'ha dut a terme els punts més interessants i necessaris per la correcta realització dels diferents objectius finals i un bon enteniment del projecte.

Cal mencionar que el programa de simulació és bastant limitat a l'hora de representar alguns processos, és per això que s'ha hagut de fer algunes modificacions que no descriuen de manera totalment precisa algunes parts del procés.

També és necessari mencionar que tot el treball dut a terme es de caràcter teòric i en cap cas s'ha realitzat proves en una planta real.

2.3. Antecedents

El procés escollit forma part d'un procés real. Aquest ha estat creat per l'empresa turca Atesçi i ha estat d'allà on s'ha tret molta informació per comprendre la química del procés i el funcionament i parts de la planta. El procés complet està molt ben descrit visualment a alguns vídeos a Youtube pertanyents a l'empresa.

Com a antecedents d'aquest tipus de projecte, hi ha una gran quantitat de treballs de fi de grau a la base de dades de [upcommons.com](https://www.upcommons.com), els quals han estat de gran ajuda en la comprensió de molts conceptes i metodologies i seran citats al punt de Referències.

2.4. Estructura de la memòria

Per construir una estructura adient amb tots els punts necessaris s'ha utilitzat un document d'orientació, atorgat pel tutor del TFG i la plantilla oficial proporcionada al web de l'EEBE. Així doncs l'estructura final consta de 8 capítols principals.

1. Prefaci : S'expliquen l'origen del treball, la motivació i els requeriments previs.
2. Introducció : S'expliquen els objectius del treball, l'abast, els antecedents d'aquests i l'estructura de la memòria.
3. Anàlisi del problema : Es descriu el problema a automatitzar, les seves fases i els requeriments.
4. Disseny i implementació de la solució : Es descriu la solució adoptada pel problema plantejat en tots els seus aspectes.
5. Proves i resultats : Es mostra el disseny de les proves i els resultats obtinguts d'aquests.
6. Normativa : Es descriuen les normes seguides per la correcta confecció dels diferents esquemes i sistemes.
7. Anàlisi del impacte mediambiental : S'analitza l'impacte medioambiental que pot arribar a tenir el treball presentat.
8. Conclusions : S'explica la conclusió final obtinguda després d'haver fet el treball complet.
9. Bibliografia : Es mostren totes les referències i pàgines web utilitzades per l'obtenció d'informació.

3. Anàlisi del Problema

En aquest capítol s'explica de manera més detallada el procés estudiat per automatitzar. Per comprendre-ho s'ha fet una breu descripció funcional del procés, definint les etapes, fases i equips utilitzats. Tanmateix s'ha definit el conjunt de requeriments funcionals i de disseny.

3.1. Descripció del Procés a Automatitzar

El procés escollit consisteix en l'obtenció d'una bobina de fil de plom, la qual serà destinada a la seva modificació per la creació del cos que anirà més tard dins dels projectils finals de petit calibratge. La descripció del procés de fabricació abasteix des del refinament de les matèries primeres fins l'emmotllament del material en un fil gruixut de plom.

El sistema vist de manera general està format per diversos subsistemes pel tractament del material, el transport d'aquest a través de tot procés i l'empaquetament final en un bobinat. Al llarg de tot el sistema de fabricació s'utilitzen elements bàsics de sistemes mecànics que formen conjunts automatitzats i robotitzats així com cilindres, vàlvules, motors, cintes, magatzems i rampes. També existeixen sistemes de comunicació i execució d'ordres, els quals són recolzats per interfícies SCADA que faciliten la manipulació del procés de fabricació i la seva supervisió per part de l'operari.

3.1.1. Química del Procés

El procés, com bé s'ha comentat, és una línia de producció independent, la qual no està connectada a la següent planta de producció que tocaria per continuar el procés global.

Aquesta línia ha estat anomenada pel propi fabricant com "Lead wire extrusion line" o en català "Línia d'extrusió de cable de plom". Com bé s'indica en el nom, aquesta planta consisteix en aconseguir un cable de plom, el qual serà tallat i modelat per introduir-se més tard dins de la beina del projectil.

A continuació es mostra una imatge amb una representació gràfica de l'aspecte de la planta real en les instal·lacions del fabricant.

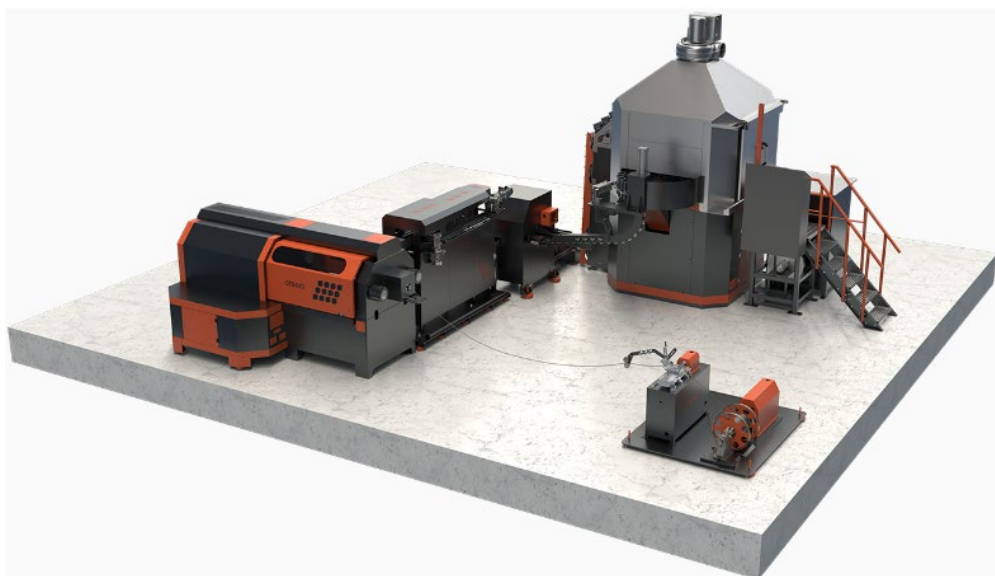


Figura 3.1. Representació de la planta real (Font: Web oficial de Atesçi)

El procés comença amb el plom fos dins del que s'anomena Melting Pot, el qual és un recipient que està a altes temperatures amb l'objectiu de fondre el plom. Aquest recipient està aproximadament a uns 327.5 °C, ja que aquesta és la temperatura de fusió del plom.

El plom líquid s'aboca de manera periòdica a uns recipients cilíndrics disposats en una roda giratòria governada per un motor. El plom se solidifica ràpidament i mitjançant un enginyós mecanisme els cilindres cauen per un tobogan amb una freqüència determinada. Cada cilindre de plom solidificat és transportat per mitjà de cilindres pneumàtics fins la zona del Billet Trimmer.

En aquesta zona es talla un dels costats dels cilindres de plom que no han quedat rectes degut als grumolls solidificats per la part on s'ha abocat el plom líquid. Aquest mecanisme també funciona amb cilindres pneumàtics. La ferralla retallada cau a una cinta i és transportada, amb l'ajuda d'un cilindre, fins el Melting Pot novament on serà reutilitzada, d'aquesta manera s'optimitza l'ús de recursos.

Els cilindres de plom ja retallats i mollejats és transporten per mitjà de elements mecànics fins la zona del Wire Extruder, on, de manera ordenada i seqüenciada, es pressiona amb un cilindre pneumàtic de grans dimensions el cilindre de plom contra un embut que acaba amb una sortida de menor diàmetre. Per l'altre banda surt el cable de plom final, el qual es va recollint a la zona del Wire Winder.

Aquesta última zona consisteix en una màquina bobinadora que permet recollir el cable de manera ordenada i sense espatllar el producte final. Aquesta màquina bobinadora està controlada per un motor.

3.2. Sistema de control

3.2.1. Equips

El primer equip identificat és la màquina de Melting Pot conjuntament amb el Billet Caster. Aquí és on es fon el plom a la temperatura necessària per obtenir-lo de manera líquida i abocar-lo sobre els buits cilíndrics del plat giratori. A la següent figura es mostra aquest element vist des de l'exterior.



Figura 3.2. Zona del Melting Pot i Billet Caster (Font: Web oficial de Atesçi)

Fixant-nos en l'aspecte interior es distingeixen diferents parts :

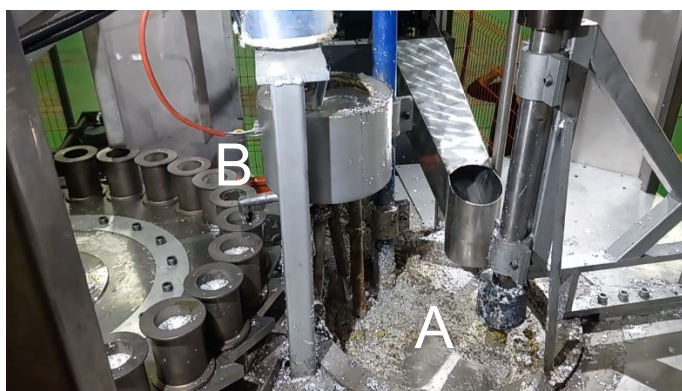


Figura 3.3. Zona del Melting Pot i Billet Caster vist per dins (Font: Web oficial de Atesçi)

Així doncs, dins d'aquesta màquina es poden identificar diferents elements amb les seves respectives funcions :

- a) Zona de fosa : És el recipient a temperatura de 327.5 °C que manté el plom en estat líquid de manera continua per ser abocat posteriorment.
- b) Zona de vessament : El líquid es transporta a un recipient més petit per mitjà de succió que manté la temperatura d'igual manera i mitjançant una vàlvula de pas vessa de manera seqüenciada el plom líquid en els diferents recipients cilíndrics.
- c) Zona de reciclatge : Aquesta zona permet realimentar la zona de fosa amb la ferralla que ha estat retallada dels cilindres de plom. Aquest sistema consisteix en un mecanisme de transport a partir del moment en que la ferralla es tallada i cau a una cinta que, mitjançant un cilindre pneumàtic i un mecanisme de plataformes vertical, arriba de nou al recipient que manté el plom líquid.



Figura 3.4. Zona de reciclatge de ferralla (Font: Web oficial de Atesçi)



Figura 3.5. Alimentador per gravetat de ferralla (Font: Web oficial de Atesçi)

- d) Plat giratori : Aquest plat giratori rota gràcies a un motor disposat de manera vertical. En els punts perimetrals del plat s'ha col·locat uns objectes cilíndrics sense cares planes. Quan el plom líquid es vessa hi ha una plataforma que evita que el fluid s'escapi, de manera que el material es refreda en uns segons. A mesura que el plat gira, la forma de la plataforma canviar i des del punt de vista del cilindre es reflexa com que va desapareixent el terra que evitava fuites. Un cop s'acaba l'extensió de la plataforma el cilindre caurà per un forat per accedir a la següent fase del procés.

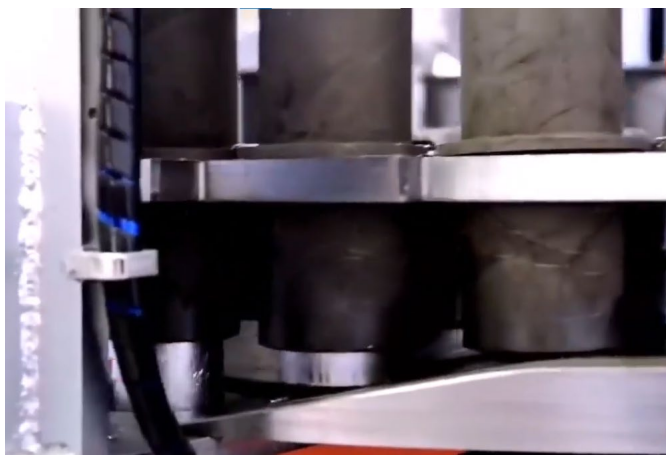


Figura 3.6. Vista d'alçat del plat giratori (Font: Vídeo oficial de Atesçi)



Figura 3.7. Vista en perspectiva del plat giratori (Font: Vídeo oficial de Atesçi)

- e) Tobogan : És el tobogan per on cauen els cilindres de plom solidificats per accedir a la fase del Billet Trimmer.



Figura 3.8. Tobogan d'accés a la fase de Billet Trimmer (Font: Vídeo oficial de Atesçi)

La següent fase consisteix en el tallat i modelat dels cilindres de plom, anomenada Billet Trimmer. Aquesta està connectada amb la fase anterior per mitjà del tobogan explicat anteriorment i és torna a unir pel sistema de reciclatge. L'aspecte de la màquina des de fora és el vist a la següent figura.



Figura 3.9. Màquina de tall - Billet Trimmer (Font: Web oficial de Atesçi)

Mirant aquesta part amb una vista detallada s'observa l'ús de diferents cilindres pneumàtics i sensors que col·loquen els cilindres de plom de la manera correcta i immòbils per ser tallats i transportats a les següents fases.



Figura 3.10. Zona de recepció al Billet Trimmer (Font: Vídeo oficial de Atesçi)



Figura 3.11. Vista anterior del Billet Trimmer (Font: Vídeo oficial de Atesçi)



Figura 3.12. Vista posterior del Billet Trimmer (Font: Vídeo oficial de Atesçi)

A meitat de camí hi ha una màquina transportadora que posiciona els cilindres ja tallats de manera adequada per la fase d'extrusió del fil.



Figura 3.13. Màquina de transport i posicionament (Font: Web oficial de Atesçi)

A continuació està l'equip que pot ser catalogat com el més importat, el Wire Extruder. Com es pot veure a la figura és una màquina allargada i de grans dimensions, ja que aquesta conté el cilindre extrusor



Figura 3.14. Wire Extruder (Font: Web oficial de Atesçi)

Si es fa una ullada a l'interior es poden distingir diversos elements que fan possible l'extrusió del fil de plom.

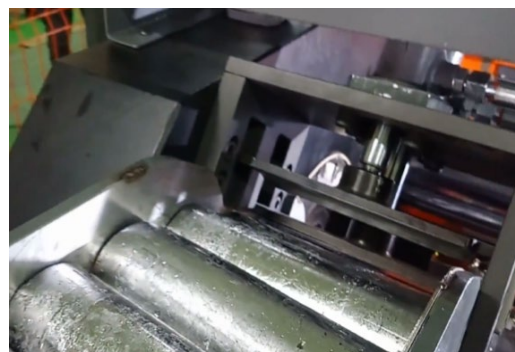


Figura 3.15. Entrada Wire Extruder (Font: Vídeo oficial de Atesçi)

A l'entrada d'aquesta màquina es veuen dos cilindres que mitjançant sensors a l'entrada i dins de la màquina seqüencien el pas de cilindres de plom per la màquina, d'aquesta manera només hi ha com a màxim un cilindre de plom a la zona d'extrusió. A la imatge següent es veu el cilindre de gran mida que, quan toqui, introduirà els cilindres de plom pel forat de menor diàmetre.



Figura 3.16. Interior Wire Extruder (Font: Vídeo oficial de Atesçi)

Finalment, a la fase de bobinat o Wire Winder, se situa la màquina bobinadora. Aquesta consisteix en una estructura que guia el fil extruït per ser recollit en una roda de bobinat associada a un motor que gira a una velocitat adequada perquè el fil obtingut es reculli correctament. Aquesta bobina de cable és transportada manualment per un operari i disposada a la següent línia de producció.

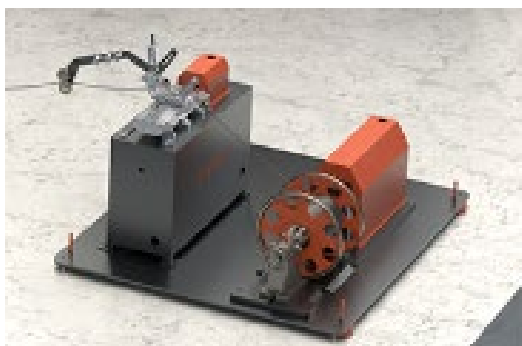


Figura 3.17. Wire Winder (Font: Web oficial de Atesçi)

3.2.2. Fases del procés

Havent estudiat la planta en profunditat es poden definir un total de quatre fases principals i dues fases secundàries. La primera fase és definida pel Melting Pot i Billet Caster, on es fon el plom i es dona forma amb les motlles cilíndriques. Aquests passen a la segona fase, la fase de tall o Billet Trimmer on es retalla la cara dels cilindres de plom amb relleu irregular. Annexada a aquesta última fase es pot definir la primera fase secundària, la fase de reciclatge, on es transporta la ferralla al punt d'inici del procés.

A continuació es defineix una altra fase secundària, la fase de transport i posicionament dels cilindres de plom de la fase de Billet Trimmer fins la següent fase. Aquesta no és catalogada com a fase principal, ja que no modifica de cap manera l'estat o forma dels cilindres de plom. A continuació ve la fase de Wire Extruder, on s'extrudeix de manera segura els cilindres obtinguts en fases anteriors. Finalment, es té la fase de Wire Winder, on es recull el cable obtingut.

A la següent figura es mostra, d'una manera més resumida, totes les fases principals del procés segons un esquema d'ordre de flux :

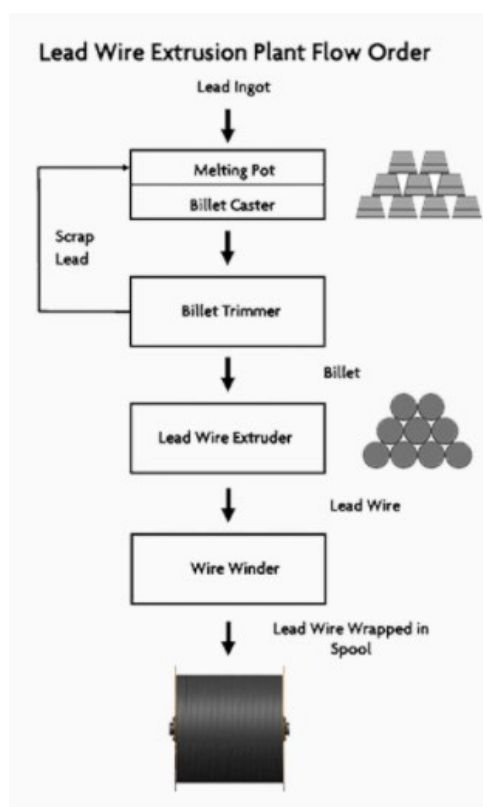


Figura 3.18. Diagrama de flux del procés (Font: Web oficial de Atesçi)

3.2.3. Diagrama PI&D i definició d'elements

A continuació es mostra el diagrama P&ID (Pipes and Instrumentation Diagram) dissenyat per representar els sistemes i elements del procés.

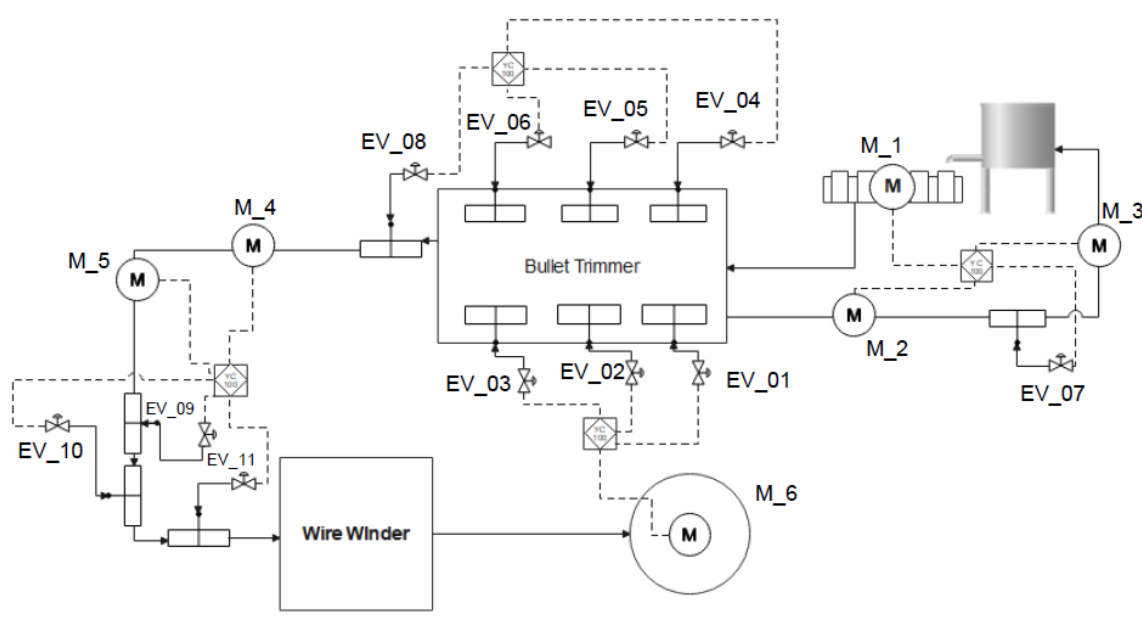


Figura 3.19. Diagrama PI&D (Font pròpia)

En aquest s'observa un únic llaç de control anomenat YC 100, que consisteix en l'activació dels actuadors per mitjà del PLC.

A continuació es mostren les taules amb tots els elements definits pels seus respectius tags.

- Motors

Nom de l'element	Funció de l'element
M_1	Motor del plat giratori
M_2	Motor de la primera cinta de desplaçament de ferralla
M_3	Motor de la segona cinta de desplaçament de ferralla
M_4	Motor de cinta de desplaçament de cilindre de plom
M_5	Motor de cinta de desplaçament de cilindre de plom

M_6	Motor de la màquina bobinadora
-----	--------------------------------

Taula 3.1. Definició Motors (Font pròpia)

- Electrovàlvules

Nom de l'element	Funció
EV_01	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 1
EV_02	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 2
EV_03	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 3
EV_04	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 4
EV_05	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 5
EV_06	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 6
EV_07	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 7
EV_08	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 8
EV_09	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 9
EV_10	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 10
EV_11	Electrovàlvula de doble efecte d'activació del cilindre 11

Taula 3.2. Definició Electrovàlvules (Font pròpia)

- Sensors

Nom de l'element	Funció de l'element
SC1_A	Sensor final de cursa A del cilindre 1
SC1_B	Sensor final de cursa B del cilindre 1
SC2_A	Sensor final de cursa A del cilindre 2

SC2_B	Sensor final de cursa B del cilindre 2
SC3_A	Sensor final de cursa A del cilindre 3
SC3_B	Sensor final de cursa B del cilindre 3
SC4_A	Sensor final de cursa A del cilindre 4
SC4_B	Sensor final de cursa B del cilindre 4
SC5_A	Sensor final de cursa A del cilindre 5
SC5_B	Sensor final de cursa B del cilindre 5
SC6_A	Sensor final de cursa A del cilindre 6
SC6_B	Sensor final de cursa B del cilindre 6
SC7_A	Sensor final de cursa A del cilindre 7
SC7_B	Sensor final de cursa B del cilindre 7
SC8_A	Sensor final de cursa A del cilindre 8
SC8_B	Sensor final de cursa B del cilindre 8
SC9_A	Sensor final de cursa A del cilindre 9
SC9_B	Sensor final de cursa B del cilindre 9
SC10_A	Sensor final de cursa A del cilindre 10
SC10_B	Sensor final de cursa B del cilindre 10
SC11_A	Sensor final de cursa A del cilindre 11
SC11_B	Sensor final de cursa B del cilindre 11
FC_1	Sensor final de cursa del plat giratori
IND_1	Sensor inductiu al final del tobogan

IND_2	Sensor inductiu al reciclatge
IND_3	Sensor inductiu a l'entrada de Wire Extruder
IND_4	Sensor inductiu per l'activació del cilindre extrusor
IND_5	Sensor inductiu d'activació del motor 4 (M_4)
IND_6	Sensor inductiu per la parada del motor 3 (M_3)
IND_7	Sensor inductiu per la parada del motor 4 (M_4)
MRX	Polsador posada en marxa de la planta
STOP	Polsador parada de la planta
RST	Polsador de reset de la planta
PE	Polsador de paro d'emergència de la planta
BOB	Polsador activador de motor de bobinat (M_6)
INDA_1	Indicador d'Alarma

Taula 3.3. Definició Sensors (Font pròpia)

3.3. Requeriments funcionals

A la següent taula es recullen els requeriments funcionals establerts i seguits per la solució adoptada.

Requisits	Descripció
RQF01	La planta treballa únicament en mode automàtic
RQF02	La planta estarà activa sempre i quan s'hagi polsat el botó de marxa i no s'activi cap polsador d'aturada
RQF03	Per iniciar la seqüència tots els elements han d'estar en la seva posició inicial

RQF04	Si s'activa el paro d'emergència, el sistema passarà a estar en estat d'alarma
RQF05	El polsador RST posa tots els elements en posició inicial i apaga l'alarma
RQF06	Si l'estat d'alarma s'activa, tots els elements quedaran inutilitzats fins que es restableixi a la seva posició inicial i es pulsï novament el boto de marxa
RQF07	Si el paro d'emergència està activat, serà necessari desencavar-lo per reiniciar el sistema
RQF08	Des del sistema SCADA únicament es podran controlar les senyals de marxa, paro, reset i paro d'emergència.
RQF09	El sistema treballa únicament en mode continu

Taula 3.4. Requeriment Funcionals (Font pròpia)

3.4. Requeriments de disseny

A continuació es recullen els requeriments de disseny establerts i seguits per la solució adoptada

Requisits	Descripció
RQD01	Al sistema SCADA es podrà entra només amb les credencials establertes
RQD02	Hi haurà una pantalla inicial on iniciar sessió
RQD03	Totes les pantalles tindran un marc superior amb el nom de la pantalla, data, hora, nom del procés en qüestió, usuari, nivell d'accés i senyal d'alarma
RQD04	El sistema es dividirà en les parts "Melting Pot", "Billet Trimmer" i "Wire Extruder and Winder" pel control de les senyals més pròximes a cada zona
RQD05	Hi haurà una pantalla amb un registre de cada moment en què ha sonat l'alarma
RQD06	El color verd representarà l'estat de marxa dels motors o estirada dels cilindres i el gris l'estat de parada o de recollida, respectivament.

RQD07	Des de la pantalla principal es podrà anar a totes les pantalles i des de les pantalles secundàries es podrà retornar a la principal i anar al registre d'alarmes.
RQD08	La pantalla d'inici de sessió serà del tipus Pop-up i serà necessari clicar el botó "Accedir" un cop s'hagi introduït les credencials per accedir al sistema
RQD09	El cilindres tindran una animació que mostri el seu estat estirat o recollit
RQD10	Hi haurà una vista detallada dels cilindres perpendiculars a la vista representada al SCADA per la millor comprensió del procés
RQD11	Hi haurà un apartat de senyalització per definir el significat d'alguns elements no evidents
RQD12	Els tags al codi PLC coincidiran amb els tags al sistema SCADA i els noms a la simulació per facilitar la programació del conjunt

Taula 3.5. Requeriments de Disseny (Font pròpia)

3.5. Metodologia de desenvolupament

Per dur a terme aquest projecte s'ha seguit una sèrie de passes definides a continuació :

- 1- Investigar tota la informació relativa al procés : Per això s'ha buscat tota la informació possible tan a la web oficial, com al seu catàleg i vídeos sobre el procés a Youtube. Amb tot aquesta informació s'ha estudiat repetidament per tal de comprendre de millor manera possible el funcionament i les parts del procés.
- 2- Definició del procés final : Un cop entès el funcionament i les dimensions del procés, s'ha pensat i decidit les parts que es volen automatitzar i quines parts s'ometen.
- 3- Identificació dels elements : Veient tota la informació trobada s'ha pogut identificar els elements que formen el procés i se'ls ha anomenat. A més s'ha definit les senyals que representen a cada element per la seva programació.
- 4- Programació PLC : Amb les senyals definides i el procés comprès, el següent pas ha estat desenvolupar la programació pel PLC.

- 5- Programació SCADA : A continuació s'ha creat el sistema SCADA, atenent-se als requeriments de disseny, i creant la programació pertinent pel seu correcte funcionament i la comunicació amb el PLC emulat.
- 6- Programació de la simulació : Un cop creat els elements del sistema, s'ha hagut de crear i programar la simulació, seguint la lògica del procés final.
- 7- Proves i verificació : Finalment s'ha realitzat les proves del funcionament del procés, ajustant la programació de cadascuna de les tres parts a la conveniència pel correcte funcionament.

Durant el procés global s'ha anat confeccionant la documentació de la informació necessària per entendre el projecte i la memòria final.

3.6. Recursos

Els recursos utilitzats per la confecció del treball són variats i en molts casos fonamentals per la seva realització. El projecte s'ha dut a terme principalment a un ordinador de sobretaula.

Per una banda un recurs molt utilitzat és el servei de base de dades a Upcommons, on s'ha pogut trobar gran quantitat de treballs de fi de grau similars a aquest i han servit com ajuda i en alguns casos com a referència en punts en què no se sabia com actuar. També s'ha fet ús de diverses pàgines web a Internet per obtenir informació, sempre verificant i filtrant aquesta amb el major rigor possible.

Per altra banda, ha estat necessari l'ús d'una màquina virtual atorgada pel tutor, la qual ha estat executada pel software VMware Workstation 15 Player. Aquesta màquina virtual contenia els softwares necessaris per crear els programes pel funcionament de la solució adoptada, on es troben :

- Studio 5000 Logix Emulate : Permet la creació d'un PLC virtual amb diferents mòduls per poder realitzar simulacions.
- RSLinx Classic : Permet fer la comunicació entre el PLC-SCADA i PLC-Factory I/O .
- RSLogix Studio 5000 : Permet realitzar el codi del PLC en programació Ladder o SFC.
- Wonderware InTouch : Permet crear l'aplicació SCADA.

A més, també s'ha instal·lat per compte propi el programa de simulació Factory I/O dins de la màquina virtual.

3.7. Planificació de tasques

Per realitzar el projecte de la manera mes efectiva i sense complicacions s'ha creat un diagrama de Gantt per la planificació de tasques. Aquest ha servit com a guia per saber quants dies dedicar a cada tasca principal definida. Les principals tasques definides són Investigació sobre el procés, Anàlisi del problema i treball previ, Disseny i implementació de la solució, Proves i Resultats i Redacció de la memòria.

TASQUES	MARÇ					ABRIL				MAIG				JUNY			
	7-de març	18-de març	20-de març	26-de març	27-de març	1-d'abr.	5-d'abr.	15-d'abr.	30-d'abr.	11-de maig	12-de maig	18-de maig	19-de maig	3-de juny	7-de juny	15-de juny	25-de juny
Automatització Lead Wire Extrusion Line																	
Investigació sobre procés																	
Anàlisi del problema i treball previ																	
Disseny i Implementació de la Solució																	
Proves y Resultats																	
Redacció memòria TFG																	
Entrega																	

Figura 3.20. Diagrama de Gantt (Font pròpia)



4. Disseny i Implementació de la Solució

En aquest capítol s'explica tots els aspectes i característiques de la solució adoptada. Aquí s'inclouen el codi del controlador, el sistema SCADA dissenyat i el procés de simulació complet.

4.1. Arquitectura del Sistema de Control

4.1.1. Hardware del Sistema

Aquest projecte és únicament teòric i simulat, per tant no ha estat necessari l'ús de hardware real pel seu desenvolupament.

4.1.2. Software del Sistema

El software del sistema consisteix en, tal com s'ha explicat a l'apartat de Recursos, tres programes de la marca Allen Bradley - Rockwell Automation, on s'inclouen el RSLogix Studio 5000 per fer el programa del PLC, el RSLinx Classic per realitzar les comunicacions entre PLC i altres sistemes, el Studio 5000 Logix Emulate per crear el PLC i mòduls virtuals, el Wonderware InTouch per crear el SCADA del sistema i el Factory I/O per fer la simulació.

El programa Factory I/O consisteix en un software que permet a l'usuari crear estacions i plantes de producció en 3D. Aquest programa conté diferents elements comuns dins de l'àmbit industrial, per mitjà dels quals es poden recrear diverses situacions i simular el seu funcionament. No obstant, és necessari destacar que és un programa una mica limitat perquè, tot i que és possible recrear diversos processos comuns, és complicat simular parts específiques i molt concretes d'un procés. A més, aquest programa conté moltes escenes per defecte per facilitar la feina a l'usuari. En el cas d'aquest treball s'ha creat l'estació de zero amb els elements disponibles, que seran explicats més endavant.

4.1.3. Vista Global de les Comunicacions

Veient la solució adoptada, es veu clarament que s'ha definit tres punts importants que la conformen. Aquests són el codi PLC, el sistema SCADA i la simulació. Per tant serà necessari fer les comunicacions entre aquestes tres parts.

Segons la solució pensada per representar el procés, el codi del PLC donarà les ordres d'execució dels diferents actuadors. Aquests estaran reflectits al sistema SCADA per portar el control de la planta correctament. A més, com ja ha estat especificat als requeriments de disseny, des del sistema SCADA s'ha de poder controlar la marxa, les aturades i el reset de la planta, per tant serà una comunicació bidireccional.

Per altra banda, el programa de simulació rebrà les ordres del PLC i les executarà, però també activarà senyals d'estat per informar al PLC de l'ordre que s'ha d'executar en cada moment. Per tant aquí també s'ha definit una comunicació bidireccional.

És important destacar que els programes de simulació i SCADA es comuniquen amb el PLC virtual creat amb el programa emulador i serà el PLC emulat el que agafarà la informació del software de programació, és a dir, aquí es defineix un altre tipus de comunicació. La comunicació entre el software de programació i el emulador és directe amb el programa RSLogix, en canvi, la comunicació des de l'emulador als altres dos programes serà per mitjà de tecnologia DDE per l'enllaç amb el sistema SCADA i per tecnologia Ethernet/IP per l'enllaç amb la simulació. Cal destacar que el programa de simulació permet fer diferents tipus de comunicació segons el software de programació que s'utilitzi o bé amb tecnologia OPC.

Així doncs una vista global de les comunicacions del sistema crear ve donat pel següent esquema :

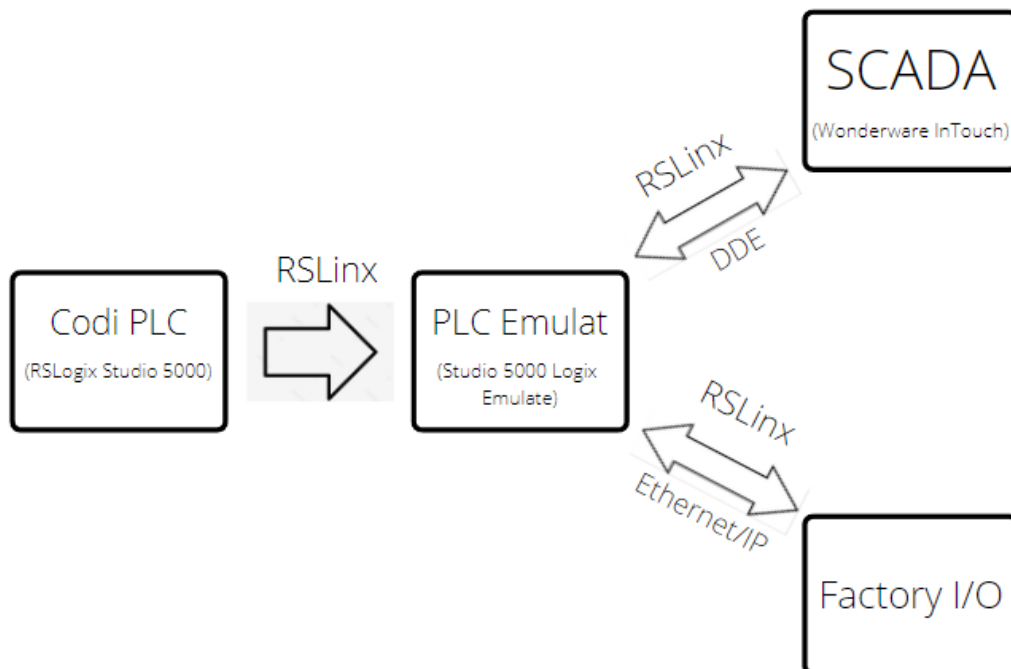


Figura 4.1. Esquema de comunicacions del sistema (Font pròpia)

4.1.4. Comunicacions SCADA-Controlador-Procés

4.1.4.1. Configuració Studio 5000 Logix Emulate i RSLinx

Per fer les comunicacions primer és necessari crear el PLC virtual. Per això s'ha creat dos mòduls al Studio 5000 Logix Emulate. Amb el clic dret i polsant crear es pot crear un nou mòdul seleccionant el slot que es vol ocupar i quin tipus de mòdul es vol.

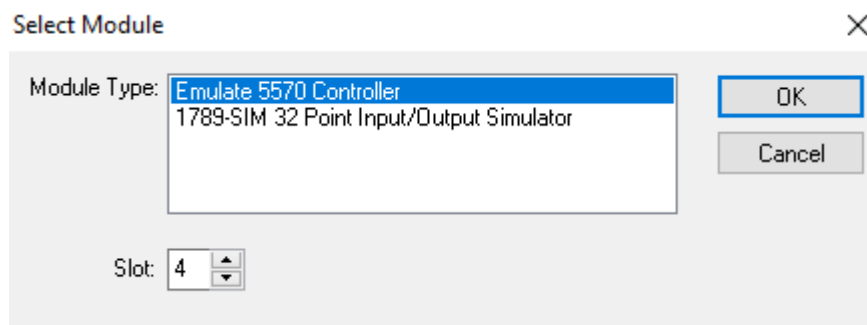


Figura 4.2. Pestanya de selecció de mòdul (Font pròpia)

Els dos mòduls utilitzats són els que es mostren a la imatge, ja que són les dues opcions configurades a la màquina virtual. Així doncs el PLC emulat té el següent aspecte :

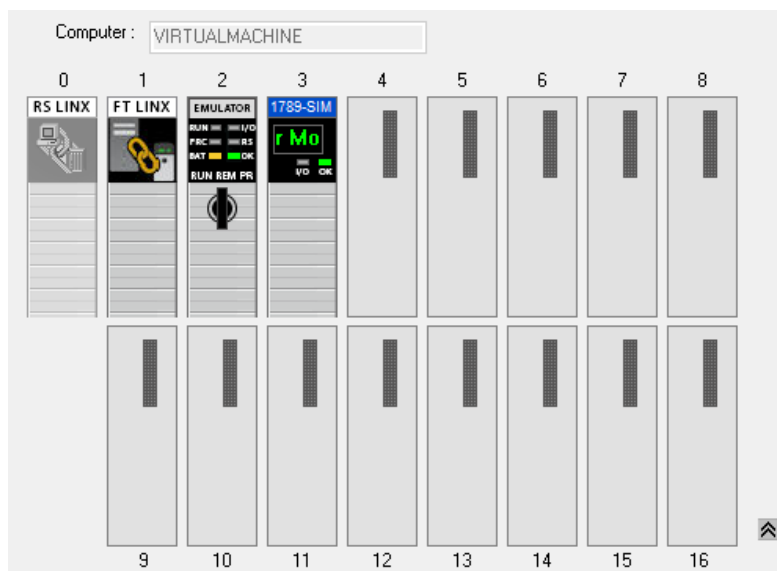


Figura 4.3. PLC virtual (Font pròpia)

Quan el software RSLinx està actiu i s'ha fet la comunicació amb el software de programació, la llum de I/O s'encén intermitentment.

La configuració del RSLinx es basa en la creació d'un nou driver del tipus Virtual Backplane (SoftLogix58xx,USB) amb el nom assignat per l'usuari.

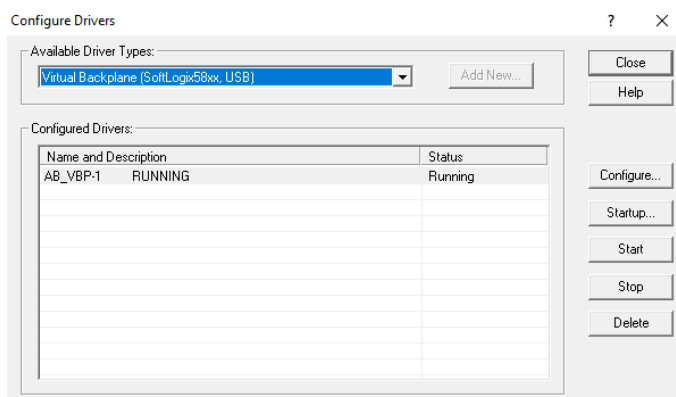


Figura 4.4. Pestanya de Configuració de Drivers (Font pròpia)

Si la connexió és correcta, apareixerà el PLC creat amb el nom assignat, com es veu a la següent figura.

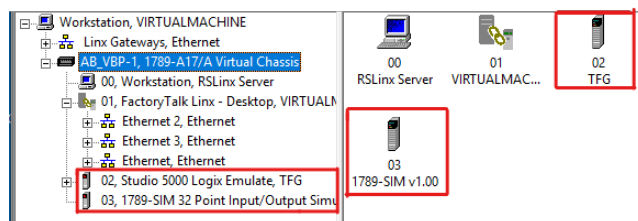


Figura 4.5. RSLinx amb PLC virtual actiu (Font pròpia)

Es pot observar com al crear el driver al Virtual Backplane apareixen les connexions Ethernet disponibles. D'aquí s'extreu la direcció IP que permet fer la connexió amb el programa de simulació. A més, també és necessari crear un nou tòpic DDE/OPC que permetrà fer la connexió amb el SCADA. Per fer això s'ha d'anar a l'opció Topic Configuration dins de la secció DDE/OPC en el RSLinx. Aquí es s'enllaça el tòpic creat amb el PLC emulat.

En aquest cas, com es pot veure a la següent figura, el tòpic creat s'ha anomenat TFG2.

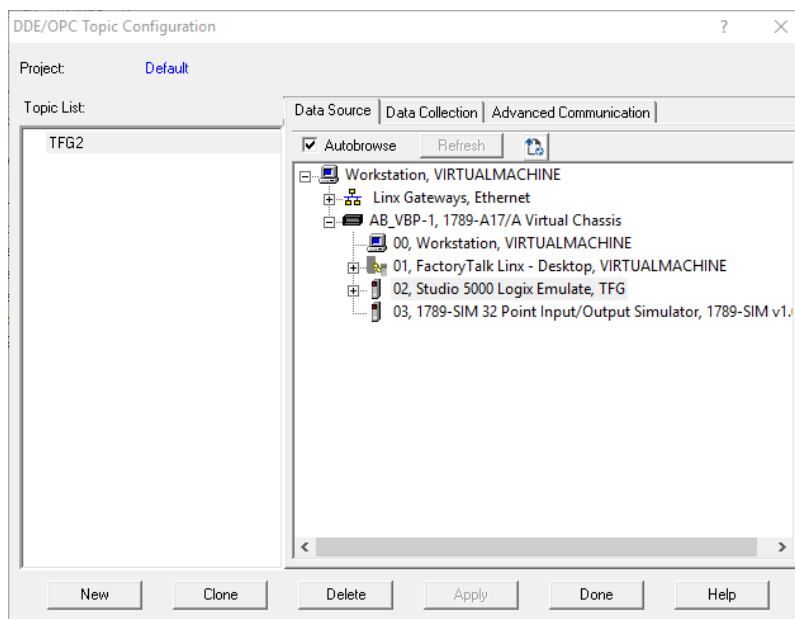


Figura 4.6. Pestanya Topic Configuration (Font pròpia)

Per enllaçar el codi elaborat amb el PLC emulat s'ha de descarregar en aquest amb l'eina "Who active". Aquesta ens permetrà veure quins elements estan disponibles. Seleccionant la CPU del PLC emulat i clicant el botó "Download" s'enviarà el codi. D'aquesta manera, accedint la funció de "Run", el PLC començarà a executar el codi.

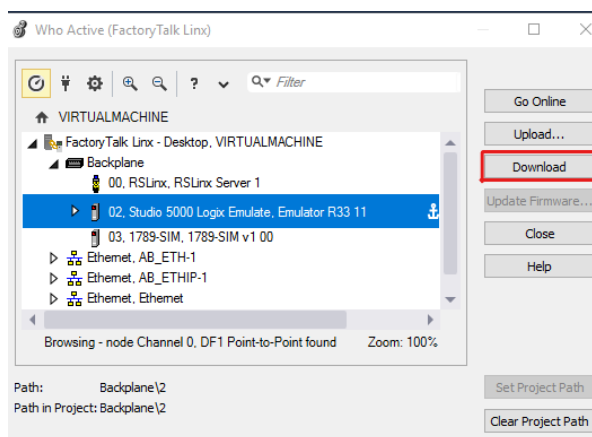


Figura 4.7. Pestanya Who Active (Font pròpia)

En el software de programació apareixerà el PLC virtual a la secció de Virtual Backplane, tal com s'ha configurat al RSLinx. No obstant, també és necessari crear el mòdul d'entrades i sortides, perquè aquestes siguin accessibles pels altres programes. Per això, s'afegeix el nou mòdul accedint-hi amb botó dret, s'assigna un nom i el slot que té al PLC virtual, i es configura cada casella tal i com es veu a la següent figura. També és necessari establir un RPI (Requested Packet Interval) de 50 ms.

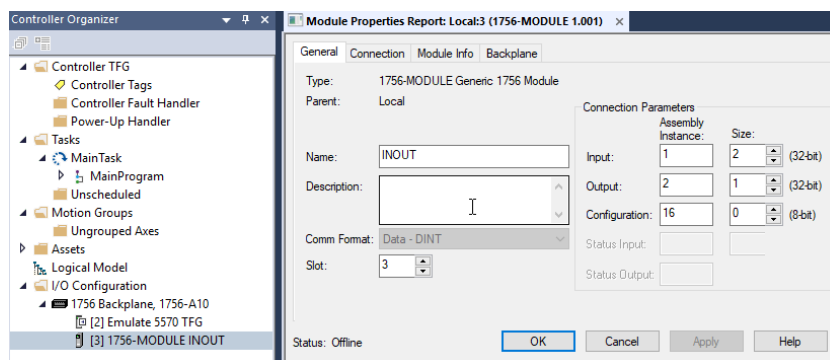


Figura 4.8. Configuració del mòdul I/O (Font pròpia)

4.1.4.2. Configuració Factory I/O

Com ja s'ha mencionat, la connexió amb el programa de simulació s'ha fet per Ethernet amb la IP del PLC. Això és degut a que el Factory I/O permet una connexió fàcil amb el driver Allen-Bradley Logix 5000. Primerament, és necessari configurar aquest driver. Com es pot veure a la figura, a la pestanya de configuració dels elements de Allen-Bradley Logix 5000 és necessari afegir la IP del PLC, el slot de la CPU i el nombre i tipus de senyals d'entrada i sortida que s'utilitzen. En el cas d'aquest projecte, la IP proporcionada pel RSLinx a l'hora de crear el driver és 192.168.159.128. Per altra banda les senyals necessàries que s'ha configurat són 34 entrades de tipus Booleà amb el prefix "BOOL_IN_" i 28 sortides Booleanes amb el prefix "BOOL_OUT_".

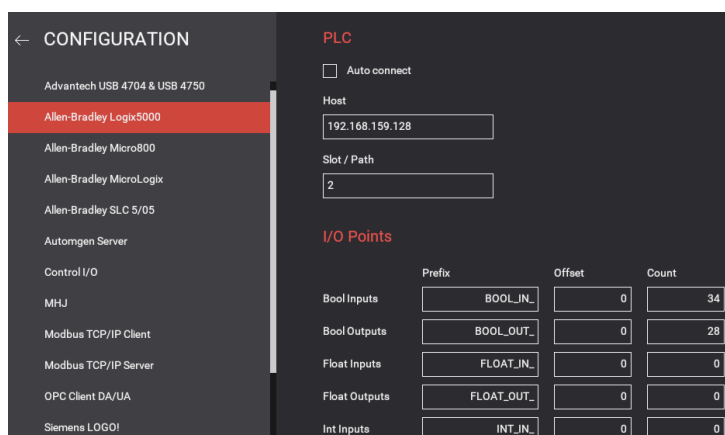


Figura 4.9. Configuració driver al Factory I/O (Font pròpia)

Un cop feta la configuració del driver, serà necessari arrossegar les senyals que es vulguin utilitzar, com es pot observar a la següent imatge.

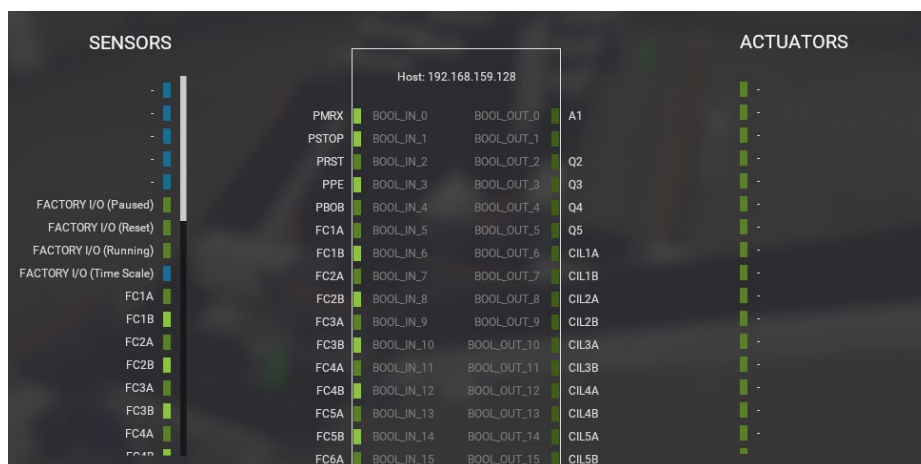


Figura 4.10. Vista prèvia de les senyals al PLC (Font pròpia)

Així doncs, cada cop que es vulgui mostrar la simulació, simplement s'haurà de clicar l'opció "CONNECT", ja que la configuració es queda guardada.

4.1.4.3. Configuració SCADA

Per comunicar el sistema SCADA amb el PLC emulat és necessari crear un Acces Name. A aquest se li assigna un nom i seguidament s'omplen els camps de Application Name i Topic Name, seleccionant també el protocol DDE utilitzat. Com ja s'ha mencionat l'aplicació de comunicació utilitzada és el RSLinx i el tòpic creat s'anomena TFG2, per tant s'omplen els camps mencionats amb aquestes dades. D'aquesta manera es possible la connexió de les dades del SCADA amb les senyals del PLC. A més, per cada senyal que es creï al SCADA i hagi d'estar comunicada amb el PLC, s'haurà d'especificar el Acces Name pel qual s'ha de comunicar.

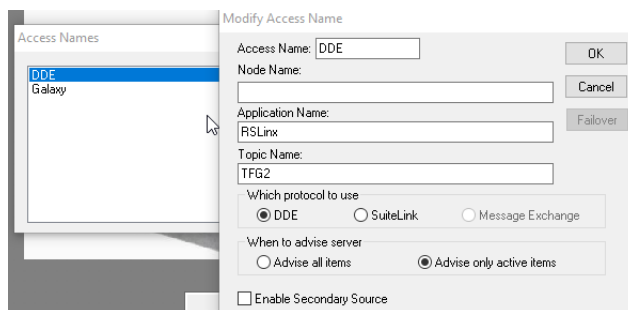


Figura 4.11. Creació Acces Name (Font pròpia)

4.2. Simulació del Procés

Per realitzar la simulació del procés s'ha recreat amb la màxima exactitud possible l'aspecte i funcions de la planta. El programa Factory I/O permet d'una manera senzilla i visual fer aquesta tasca, i és aquesta la raó per la qual s'ha escollit aquest programa. Malgrat això, el software ha comportat algunes limitacions a l'hora de recrear la planta. Això és degut a que aquest software té uns elements fixes que es poden utilitzar. Aquests elements són bastant comuns dins de l'àmbit d'automatització de d'embalatge i paletització o manipulació de peces per robots industrials i cel·les robotitzades. Dins del programa hi ha elements de selecció, manipulació i transport de caixes, fins i tot hi ha eines de representació de tancs amb líquids. Aquests poden utilitzar-se per separat on l'usuari crea amb llibertat la planta o bé es poden utilitzar escenes amb processos predeterminats que són bastant comuns en el món de l'automatització.

No obstant, en el cas d'aquest treball no s'ha aprofitat cap escena ja donada, sinó que s'ha representat el procés amb els elements bàsics que han permès representar la majoria d'accions que succeeixen al procés d'una manera adequada.

4.2.1. Limitacions de la Simulació

El primer inconvenient trobat a l'hora de fer la simulació ha estat no poder representar amb completa precisió els equips i elements definits en anteriors punts. L'aspecte dels elements del procés d'aquest treball és bastant concret, com per exemple el tobogan o els tipus de cintes identificades, és per això que majoritàriament s'ha pogut únicament representar la funció dels elements, cosa que s'ha considerat suficient per arribar a l'objectiu del treball. Aquest és el cas de la majoria d'elements del procés, però on és destacable és en el cas dels cilindres de plom, els quals han hagut d'estar representats amb una caixa petita, ja que era l'element del programa que s'ha considerat més encertada. Un altre cas és la situació de les cintes de transport, on s'ha trobat unes cintes estàndard amb la mateixa funcionalitat, o bé el cas dels sensors inductius, els quals han estat substituïts dins del marc de simulació per uns sensors capacitius, ja que la detecció en aquest cas s'ha fet sobre caixes de cartró petites.

Per altra banda, s'ha trobat impediments per representar alguns elements del procés, ja que en aquest cas no ha estat possible tan sols trobar un element que fes la mateixa funció. Aquest cas és per exemple el de la zona de Melting Pot. Aquí no s'ha trobat eines adequades per imitar el moviment del plat giratori ni l'abocament del plom líquid, per tant s'ha optat per simplement representar de manera visual la zona, però no funcional.

Tampoc ha estat possible representar la zona de Wire Extruder i Winder, les quals també han estat recreades de manera visual. Cal mencionar que per aquesta última categoria de limitacions, s'ha seguit implementant la funcionalitat de les senyals al codi del PLC i sistema SCADA amb la millor precisió possible.



Figura 4.12. Recreació zona de Melting Pot al Factory I/O (Font pròpia)



Figura 4.13. Recreació zona de Wire extruder i Winder al Factory I/O (Font pròpia)

4.2.2. Elements de Simulació

Els elements de simulació utilitzats es poden dividir segons la seva funció, mida o capacitat de càrrega. A continuació es mostra una categorització dels elements amb una petita descripció i una imatge.

- Emissor/Eliminador de caixes : Aquests són dos elements que permeten emetre i eliminar del escenari objectes com caixes o palets. En el cas de l'emissor es pot programar per el número d'objectes que es volen emetre i la separació de temps entre cada emissió, entre altres coses.

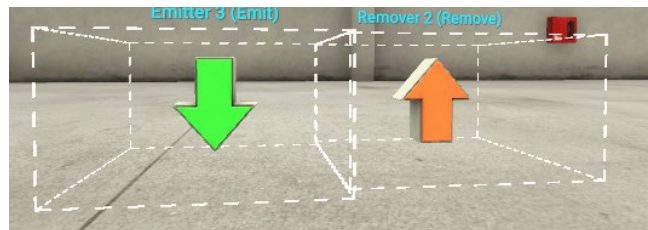


Figura 4.14. Emissor i eliminador de caixes (Font pròpia)

- Objectes : En aquest cas ha estat necessari únicament la caixa de menor mida, representant així els cilindres de plom.



Figura 4.15. Objecte caixa (Font pròpia)

- Peces de càrrega pesada : Dins d'aquesta categoria s'ha disposat d'un element d'aturada de moviment de les caixes, el Roller Stop, el qual s'ha situat a diversos punts de la simulació per assegurar la contenció de les caixes dins del circuit en tot moment.



Figura 4.16. Roller Stop (Font pròpia)

- Peces de càrrega lleugera : D'aquesta secció s'ha utilitzat quatre elements. Els dos primers són de transport de les caixes. Un d'ells és una cinta transportadora guiada per un motor. D'aquest tipus de cintes s'ha fet us de 2 i 4 metres i cintes inclinades. L'altre element és una rampa per on cauen les caixes, que representa el tobogan a l'inici del procés.

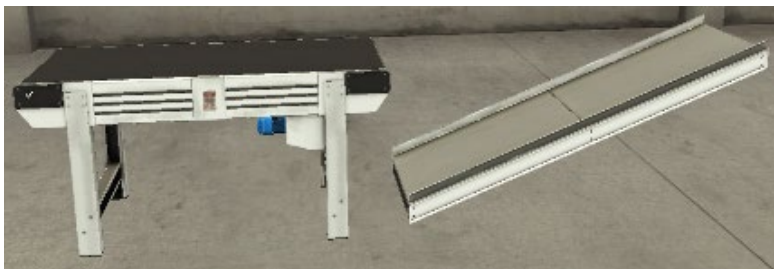


Figura 4.17. Cinta transportadora i rampa (Font pròpia)

Els altres dos elements són per una banda el Pusher, el qual està configurat com a doble efecte representa a tots els cilindres pneumàtics del procés real, i per altra banda un transportador, el qual no està actiu en cap moment, però s'ha utilitzat en diversos punts com a plataforma per on viatja la caixa.



Figura 4.18. Pusher i transportador (Font pròpia)

- Sensors : Els sensors utilitzats a la simulació són de dos tipus. Un és un sensor capacitiu i l'altre un sensor difús. Aquests han estat seleccionats depenent de la conveniència en cada situació, però els dos funcionen en representació dels sensors inductius, utilitzats en el procés real.

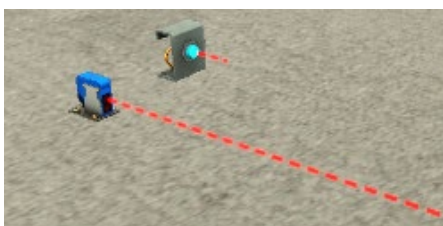


Figura 4.19. Sensors (Font pròpia)

- Operadors : Dins d'aquest grup s'ha utilitzats els diferents botons identificats com a necessaris a l'Anàlisi del Problema. Aquí s'inclouen el boto de marxa, botó de paro, boto de paro d'emergència, botó de reset i botó d'activació de la màquina bobinadora. Els quatre primers han estat disposats en un panel accessible per l'operari i l'últim en una columna a la zona de Wire Winder.



Figura 4.20. Tipus d'operadors (Font pròpia)

- Senyals d'alarma : D'aquí únicament s'ha utilitzat una llum d'alarma que simbolitza l'alarma de la planta quan es polsa el paro d'emergència.



Figura 4.21. Tipus d'operadors (Font pròpia)

- Passarel·les : Dins d'aquesta secció s'ha utilitzats diversos elements que han servit, bàsicament, com a decoratius. Primerament s'ha utilitzat un tipus de plataformes de diferents mides per construir el que seria la zona del Melting Pot, que per raons ja explicades aquesta ha estat l'única opció. També han estat utilitzats per representar el Wire Winder.

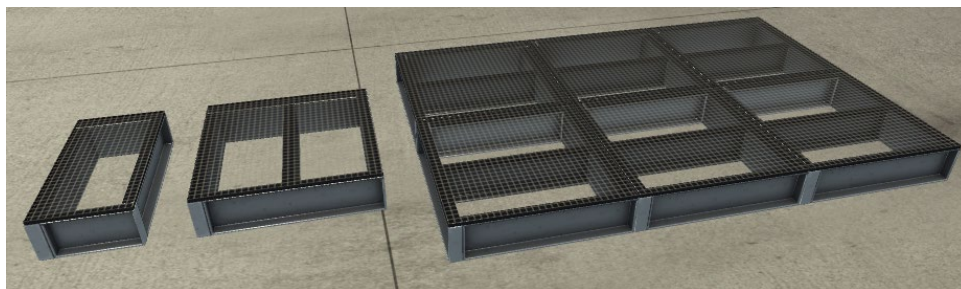


Figura 4.22. Plataformes (Font pròpia)

Els altres elements decoratius utilitzats són un conjunt d'elements de seguretat com baranes i tanques que restringeixen el pas pels voltants de la zona del Melting Pot als operaris. També s'ha utilitzat unes escales per recrear la figura real d'aquesta zona.



Figura 4.23. Elements de seguretat (Font pròpia)

D'aquesta manera s'ha construït aquesta simulació de la planta. La següent imatge mostra la recreació final.

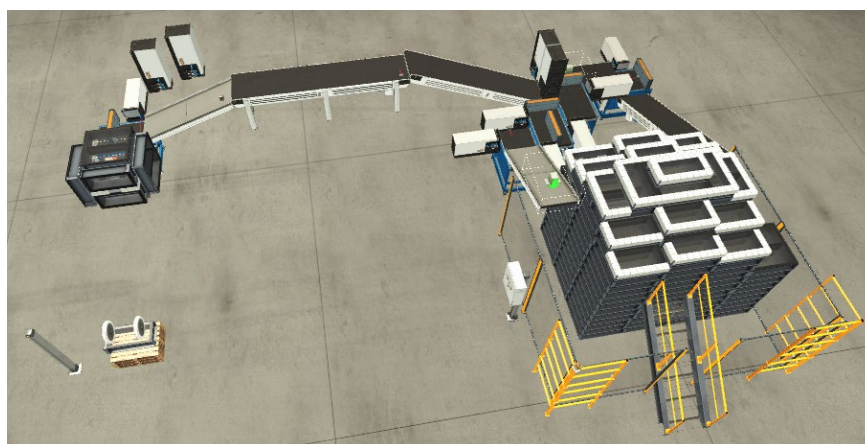


Figura 4.24. Recreació final (Font pròpia)

4.3. Descomposició del Problema de Control

Per programar la planta s'ha optat per una seqüència lògica i causal. És a dir, el que s'ha fet es programar el moviment dels cilindres de plom a partir de les posicions de cada cilindre pneumàtic, els finals de cursa dels quals enviaran la informació de la seva posició i a partir d'allà actuarà el següent cilindre. Hi ha zones on s'ha implementat sensors inductius per falta de relació causal entre una acció i la prèvia mostrada en els vídeos.

La codificació dels elements, la qual serà mostrada i explicada en el següent punt, ha seguit un codificació intuïtiva i fàcil d'identificar per l'usuari. S'ha creat una rutina principal on està programada tota la seqüència i una subrutina de mapejat de senyals que s'envien i es reben del Factory I/O, cosa que s'explicarà més endavant.

4.4. Codificació dels Elements i Sistemes

El total de senyals codificades són 64, comptant d'entrada i de sortida, del tipus Booleà, ja que en el procés no s'ha considerat cap variable real. Aquí s'ha tingut compte els finals de cursa al final i inici de cada cilindre i dos senyals d'activació de cada cilindre, ja que són de doble efecte. També s'ha identificat una senyal per cada botó i motor, i algunes senyals complementàries de sensors necessàries pel desenvolupament de la programació.

La nomenclatura assignada és bastant intuïtiva i lògica. Per exemple, pels finals de cursa s'ha assignat el tag FC- que anirà seguit del nombre del cilindre pneumàtic i una A o B dependent si està al final o al principi del cilindre. Per les senyals d'activació dels cilindres s'ha assignat el prefix CIL- seguit del nombre de cilindre i la lletra A o B dependent si és d'estirada o retrocés, respectivament. Pels motors s'ha escollit el prefix Q- per no ser confosos amb les variables auxiliars amb el prefix M- al codi del PLC. Per últim, per les senyals de sensors inductius s'ha seguit el prefix SIND- i pels botons de control de la planta s'ha utilitzat P- i unes sigles que identificadores de cada botó. A continuació es mostra una taula que recull totes les senyals utilitzades amb una descripció de la funció i una definició de si son entrades o sortides.

Element	Tag	Descripció
EV_01	CIL1A	Senyal d'obrir cilindre 1
EV_01	CIL1B	Senyal de tancar cilindre 1

EV_02	CIL2A	Senyal d'obrir cilindre 2
EV_02	CIL2B	Senyal de tancar cilindre 2
EV_03	CIL3A	Senyal d'obrir cilindre 3
EV_03	CIL3B	Senyal de tancar cilindre 3
EV_04	CIL4A	Senyal d'obrir cilindre 4
EV_04	CIL4B	Senyal de tancar cilindre 4
EV_05	CIL5A	Senyal d'obrir cilindre 5
EV_05	CIL5B	Senyal de tancar cilindre 5
EV_06	CIL6A	Senyal d'obrir cilindre 6
EV_06	CIL6B	Senyal de tancar cilindre 6
EV_07	CIL7A	Senyal d'obrir cilindre 7
EV_07	CIL7B	Senyal de tancar cilindre 7
EV_08	CIL8A	Senyal d'obrir cilindre 8
EV_08	CIL8B	Senyal de tancar cilindre 8
EV_09	CIL9A	Senyal d'obrir cilindre 9
EV_09	CIL9B	Senyal de tancar cilindre 9
EV_010	CIL10A	Senyal d'obrir cilindre 10
EV_010	CIL10B	Senyal de tancar cilindre 10
EV_011	CIL11A	Senyal d'obrir cilindre 11
EV_011	CIL11B	Senyal de tancar cilindre 11
M_1	Q1	Senyal de control motor 1
M_2	Q2	Senyal de control motor 2
M_3	Q3	Senyal de control motor 3
M_4	Q4	Senyal de control motor 4
M_5	Q5	Senyal de control motor 5
M_6	Q6	Senyal de control motor 6

SC1_A	FC1A	Senyal final de cursa A de C1
SC1_B	FC1B	Senyal final de cursa B de C1
SC2_A	FC2A	Senyal final de cursa A de C2
SC2_B	FC2B	Senyal final de cursa B de C2
SC3_A	FC3A	Senyal final de cursa A de C3
SC3_B	FC3B	Senyal final de cursa B de C3
SC4_A	FC4A	Senyal final de cursa A de C4
SC4_B	FC4B	Senyal final de cursa B de C4
SC5_A	FC5A	Senyal final de cursa A de C5
SC5_B	FC5B	Senyal final de cursa B de C5
SC6_A	FC6A	Senyal final de cursa A de C6
SC6_B	FC6B	Senyal final de cursa B de C6
SC7_A	FC7A	Senyal final de cursa A de C7
SC7_B	FC7B	Senyal final de cursa B de C7
SC8_A	FC8A	Senyal final de cursa A de C8
SC8_B	FC8B	Senyal final de cursa B de C8
SC9_A	FC9A	Senyal final de cursa A de C9
SC9_B	FC9B	Senyal final de cursa B de C9
SC10_A	FC10A	Senyal final de cursa A de C10
SC10_B	FC10B	Senyal final de cursa B de C10
SC11_A	FC11A	Senyal final de cursa A de C11
SC11_B	FC11B	Senyal final de cursa B de C11
FC_1	FC	Senyal final de cursa plat giratori
IND_1	SIND1	Senyal sensor inductiu tobogan
IND_2	SIND2	Senyal sensor inductiu reciclatge
IND_3	SIND3	Senyal sensor inductiu pre Wire Extruder

IND_4	SIND4	Senyal sensor inductiu dins Wire Extruder
IND_5	SIND5	Senyal de presència en Q4
IND_6	SIND6	Senyal al final de Q3
IND_7	SIND7	Senyal al final de Q4
RST	PRST	Senyal polsador de Reset
MRX	PMRX	Senyal polsador de Marxa
STOP	PSTOP	Senyal polsador Stop
PE	PPE	Senyal de polsador de paro d'emergència
BOB	PBOB	Senyal polsador per l'activació de Q6
INDA_1	A1	Senyal d'activació de la llum d'alarma

Taula 4.6. Codificació de senyals (Font pròpia)

4.5. Definició de les Interfícies del Sistema de Control

La planta treballa únicament en mode automàtic, com ja s'ha mencionat, ja que la intenció és que el procés sigui totalment automàtic i tancat, cosa que facilita la feina als operaris. Així doncs les úniques funcions necessàries per controlar la planta són aquelles de canvi d'estat. Els estats definits són principalment l'estat de marxa de la planta, estat d'aturada i estat d'alarma. També s'ha de poder controlar la funció de Reset dels elements, ja que si s'atura la planta per una emergència i la planta passa a estar en estat d'alarma, s'hauria de resetejar tant l'alarma com les posicions dels cilindres pneumàtics per tal de tornar a començar la seqüència de nou.

D'aquesta manera es defineixen dos interfícies de control del sistema. La primera interfície seria aquella que controla l'estat de la planta des del panell de control situat a camp. Aquesta podria servir en casos en què s'ha fet un manteniment de la planta o bé és necessari activar-la des de camp després d'haver fet un Reset.

L'altre interfície de control és la que està al sistema SCADA. Com ja s'ha explicat, el sistema SCADA presentat per aquest treball pretén ser un sistema d'adquisició de dades i visualització d'estats, però s'ha considerat necessari i útil la integració d'una altra interfície de control amb les mateixes funcionalitats que la interfície de control a camp.

Així doncs les funcions incloses són quatre. En primer lloc s'ha representat el polsador MRX, el qual té la funció d'activar la planta en primera instància. El senyal que representa aquest polsador és PMRX i el color representatiu establert és el color verd. Seguidament, el polsador STOP, que permet parar la planta en qualsevol moment. Aquest ha estat representat amb un polsador de color vermell i el seu senyal correspon a PSTOP. Per altra banda, el botó de la funció de reset correspon al polsador RST, el qual correspon al senyal PRST i ha quedat definit amb un color groc. Aquest tres polsadors no tenen enclavament, és a dir, es detectarà el únicament un flanc. El polsador STOP utilitza una lògica negada, ja que el programa de simulació així ho estableix.

Per últim, s'ha definit el polsador PE, que fa la funció de paro d'emergència i activació de l'estat d'alarma. Aquest polsador també utilitza lògica negada fixada per la simulació i, a diferència dels altres, és un polsador amb enclavament, per tant fins que no es torni a polsar el senyal PPE seguirà actiu. Les característiques físiques d'aquest polsador són diferents als demés. En aquest cas el botó té assignat un color principalment vermell, però té senyalitzacions en altres colors com el groc. També té una mida notablement superior als altres botons definits. Això és degut a què la norma estableix que ha de ser un polsador reconeixible en moments perill i de fàcil i ràpid accés per part de l'operari.



Figura 4.25. Interfície de control a camp (Font pròpia)

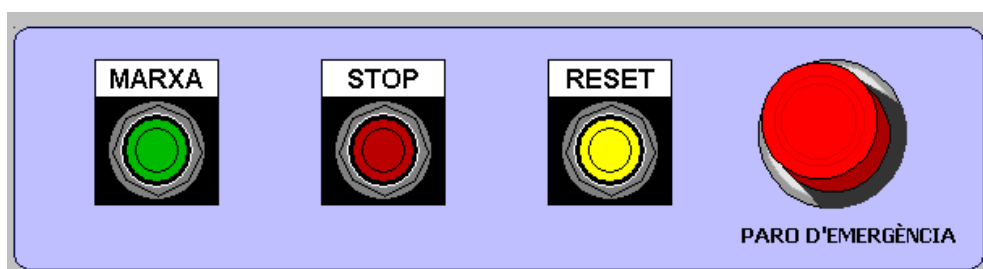


Figura 4.26. Interfície de control al SCADA (Font pròpia)

4.6. Definició del Fitxer d'Intercanvi Controlador-SCADA

A continuació s'exposa el fitxer d'intercanvi Controlador-SCADA on estan recollides totes les senyals utilitzades, així com la seva descripció, tag, tipus i comunicació amb PLC i SCADA.

Tipus Actuador				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Senyal d'obrir cilindre 1	CIL1A	BOOL			1			
2	Senyal de tancar cilindre 1	CIL1B	BOOL			1			
3	Senyal d'obrir cilindre 2	CIL2A	BOOL			1			
4	Senyal de tancar cilindre 2	CIL2B	BOOL			1			
5	Senyal d'obrir cilindre 3	CIL3A	BOOL			1			
6	Senyal de tancar cilindre 3	CIL3B	BOOL			1			
7	Senyal d'obrir cilindre 4	CIL4A	BOOL			1			
8	Senyal de tancar cilindre 4	CIL4B	BOOL			1			
9	Senyal d'obrir cilindre 5	CIL5A	BOOL			1			
10	Senyal de tancar cilindre 5	CIL5B	BOOL			1			
11	Senyal d'obrir cilindre 6	CIL6A	BOOL			1			
12	Senyal de tancar cilindre 6	CIL6B	BOOL			1			
13	Senyal d'obrir cilindre 7	CIL7A	BOOL			1			
14	Senyal de tancar cilindre 7	CIL7B	BOOL			1			
15	Senyal d'obrir cilindre 8	CIL8A	BOOL			1			
16	Senyal de tancar cilindre 8	CIL8B	BOOL			1			
17	Senyal d'obrir cilindre 9	CIL9A	BOOL			1			
18	Senyal de tancar cilindre 9	CIL9B	BOOL			1			
19	Senyal d'obrir cilindre 10	CIL10A	BOOL			1			
20	Senyal de tancar cilindre 10	CIL10B	BOOL			1			
21	Senyal d'obrir cilindre 11	CIL11A	BOOL			1			
22	Senyal de tancar cilindre 11	CIL11B	BOOL			1			

Figura 4.27. Fitxer senyals tipus Actuador (Font pròpia)

Tipus Motor				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Senyal de control motor 1	Q1	BOOL			1	1		
2	Senyal de control motor 2	Q2	BOOL			1	1		
3	Senyal de control motor 3	Q3	BOOL			1	1		
4	Senyal de control motor 4	Q4	BOOL			1	1		
5	Senyal de control motor 5	Q5	BOOL			1	1		
6	Senyal de control motor 6	Q6	BOOL			1	1		

Figura 4.28. Fitxer senyals tipus Motor (Font pròpia)

Tipus Sensor				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Senyal final de cursa A de C1	FC1A	BOOL		1				
2	Senyal final de cursa B de C1	FC1B	BOOL		1		1		
3	Senyal final de cursa A de C2	FC2A	BOOL		1				
4	Senyal final de cursa B de C2	FC2B	BOOL		1		1		
5	Senyal final de cursa A de C3	FC3A	BOOL		1				
6	Senyal final de cursa B de C3	FC3B	BOOL		1		1		
7	Senyal final de cursa A de C4	FC4A	BOOL		1				
8	Senyal final de cursa B de C4	FC4B	BOOL		1		1		
9	Senyal final de cursa A de C5	FC5A	BOOL		1				
10	Senyal final de cursa B de C5	FC5B	BOOL		1		1		
11	Senyal final de cursa A de C6	FC6A	BOOL		1				
12	Senyal final de cursa B de C6	FC6B	BOOL		1		1		
13	Senyal final de cursa A de C7	FC7A	BOOL		1				
14	Senyal final de cursa B de C7	FC7B	BOOL		1		1		
15	Senyal final de cursa A de C8	FC8A	BOOL		1				
16	Senyal final de cursa B de C8	FC8B	BOOL		1		1		
17	Senyal final de cursa A de C9	FC9A	BOOL		1				
18	Senyal final de cursa B de C9	FC9B	BOOL		1		1		
19	Senyal final de cursa A de C10	FC10A	BOOL		1				
20	Senyal final de cursa B de C10	FC10B	BOOL		1		1		
21	Senyal final de cursa A de C11	FC11A	BOOL		1				
22	Senyal final de cursa B de C11	FC11B	BOOL		1		1		
23	Senyal final de cursa plat giratori	FC	BOOL	1					
24	Senyal sensor inductiu tobogan	SIND1	BOOL	1					
25	Senyal sensor inductiu reciclatge	SIND2	BOOL	1					
26	Senyal sensor inductiu pre Wire Extruder	SIND3	BOOL	1					
27	Senyal sensor inductiu dins Wire Extruder	SIND4	BOOL	1					
28	Senyal de presència en Q4	SIND5	BOOL	1					
29	Senyal al final de Q3	SIND6	BOOL	1					
30	Senyal al final de Q4	SIND7	BOOL	1					

Figura 4.28. Fitxer senyals tipus Sensor (Font pròpia)

Tipus Indicador/Operador				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Senyal polsador de Reset	PRST	BOOL	1					1
2	Senyal polsador de Marxa	PMRX	BOOL	1					1
3	Senyal polsador de Stop	PSTOP	BOOL	1					1
4	Senyal de polsador de paro d'emergència	PPE	BOOL	1					1
5	Senyal polsador per l'activació de Q6	PBOB	BOOL	1					1
6	Senyal d'activació de la llum d'alarma	A1	BOOL			1		1	

Figura 4.29. Fitxer senyals tipus Indicador/Operador (Font pròpia)

4.7. Programa del Controlador

En aquest apartat s'explica el programa del controlador dissenyat. Es mostren l'estructura, els tipus de variables utilitzades i la seqüència aplicada a la solució adoptada.

4.7.1. Estructura del Programa

El tipus de programació escollit per aquest projecte ha estat programació Ladder, ja que s'ha considerat adients les avantatges que ofereix relatives a la fàcil comprensió visual del codi i fàcil programació.

L'estructura creada per la programació del controlador és bastant senzilla. Aquesta consta d'una rutina principal (Main routine), la qual conté els elements de control d'estat de la planta i la seqüència lògica del procés, i una subrutina de mapejat se senyals provinents del programa de simulació Factory I/O. Aquesta última, la qual es mostrarà en els següents punts, és completament necessària per identificar els senyals de camp.

Dins de la rutina principal s'ha agrupat cada branca en diversos grups segons les característiques comunes que han estat considerades. Els principals grups creats són l'accés a la rutina de mapejat de senyals, les branques de control d'estat de la planta, les branques de control de motors de funcionament continu com són M_1 i M_6, les funcions de reset dels elements i variables auxiliars i les branques de la seqüència lògica del procés.

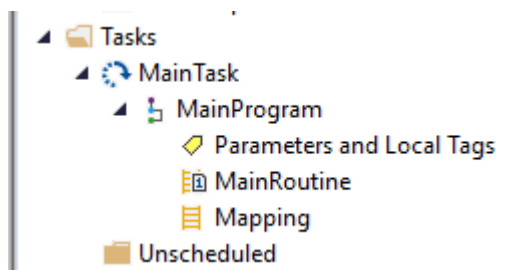


Figura 4.30. Estructura de programa (Font pròpia)

4.7.2. Definició de Tipus de Dades

Els tipus de dades utilitzats en la programació del controlador poden classificar-se segons diferents criteris. En primera instància s'ha d'especificar quin tipus de dades s'ha utilitzat segons la naturalesa del tipus de dada. En aquest cas totes les variables i senyals utilitzats són de tipus Booleà, ja que totes les decisions que s'ha de dur a terme durant el procés es poden seqüenciar perfectament amb dades Booleanes. A això l'acompanya el fet que en el procés considerat per l'anàlisi del problema no s'ha identificat cap variable de tipus real, que correspongui a una mesura física continua.

No obstant, s'ha definit una variable de tipus Timer, ja que en la programació teòrica era necessària per seqüenciar l'activació del motor del plat giratori. Aquesta variable ha estat definida, però per raons que s'explicaran en el següent punt no s'ha acabat utilitzant.

Per altra banda es defineixen les variables segons si són variables que tenen una assignació directa a un element del procés o bé si es una variable auxiliar que ajuda a la confecció de la programació. En el cas de la solució adoptada en aquest treball, a part de les 64 senyals dels elements mencionades anteriorment, també s'ha definit un total de 5 variables auxiliars. Aquestes tenen una etiqueta formada per el prefix M- seguit d'una numeració. Un exemple d'ús d'aquestes variables auxiliars és el funcionament continu de la planta, malgrat que el polsador MRX no té enclavament. Per tant, tal i com s'explicarà més endavant una variable com aquesta permet simular l'enclavament del polsador.

M1	0	Decim:
M2	0	Decim:
M3	0	Decim:
M4	0	Decim:
M5	0	Decim:

Figura 4.31. Variables auxiliars (Font pròpia)

Per una altra banda, es classifiquen les dades segons la seva funció en el procés. És a dir, aquestes poden ser senyals d'entrada, de sortida o d'ambdues coses. En aquest procés, del total de 64 senyals definits en el punt de Codificació, pertanyen a entrades un total de 35 i hi ha 29 sortides.

Per últim, s'ha definit les variables que dona la simulació per cada lloc de memòria del esquema PLC que apareix al software. Aquestes, com ja s'ha mencionat, tenen els prefixos `BOOL_IN_` i `BOOL_OUT_` per entrades i sortides, respectivament.

BOOL_IN_0	2#0	Binary	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_1	1	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_2	0	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_3	1	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_4	0	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_5	0	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_6	1	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_7	0	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_8	1	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_9	0	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_10	1	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_11	0	Decimal	BOOL	Senyal de camp de
BOOL_IN_12	1	Decimal	BOOL	Senyal de camp de

Figura 4.32. Algunes variables de la simulació (Font pròpia)

4.7.3. Lògica de Control dels Elements i Seqüència de Control

Per descriure la lògica programada al controlador, és convenient explicar el codi segons cada grup de funcions al procés. Per facilitar la lectura del enginyer, s'ha afegit una breu descripció a cada senyal, amb l'objectiu d'orientar al programador, en el cas que aquest ho necessiti.

En primer lloc, està el grup d'Accés al Mapejat de Senyals. Aquest grup està programat a la rutina principal com una crida a la subrutina de mapejat, la qual es complirà sempre que el PLC emulat estigui actiu, ja que no s'imposa cap condició. Aquesta subrutina ha d'estar en tot moment accessible pel programa principal, ja que no deixa mai d'haver comunicació amb el programa de simulació.

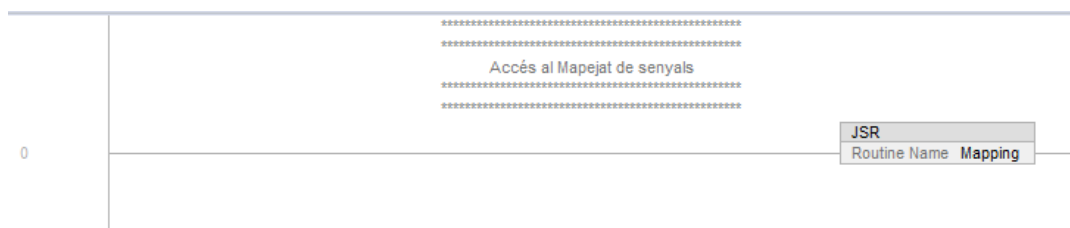


Figura 4.33. Salt a la subrutina de Mapejat (Font pròpia)

Com es pot observar, s'ha aplicat una instrucció de tipus JSR (Jump to Subroutine), assignant-li el nom de la subrutina en qüestió, anomenada Mapping. D'aquesta manera es fa el mapejat de les senyals de camp constantment i de manera automàtica.

La subrutina Mapping consistirà en l'activació directa d'un senyal en el moment en que el bit de memòria del software de simulació s'activi per les entrades i, contràriament per les sortides, consistirà en l'activació directa del bit de memòria abans mencionat en el moment en que el controlador activi un senyal. A la següent imatge es pot veure un parell d'exemples del cas del Mapejat.

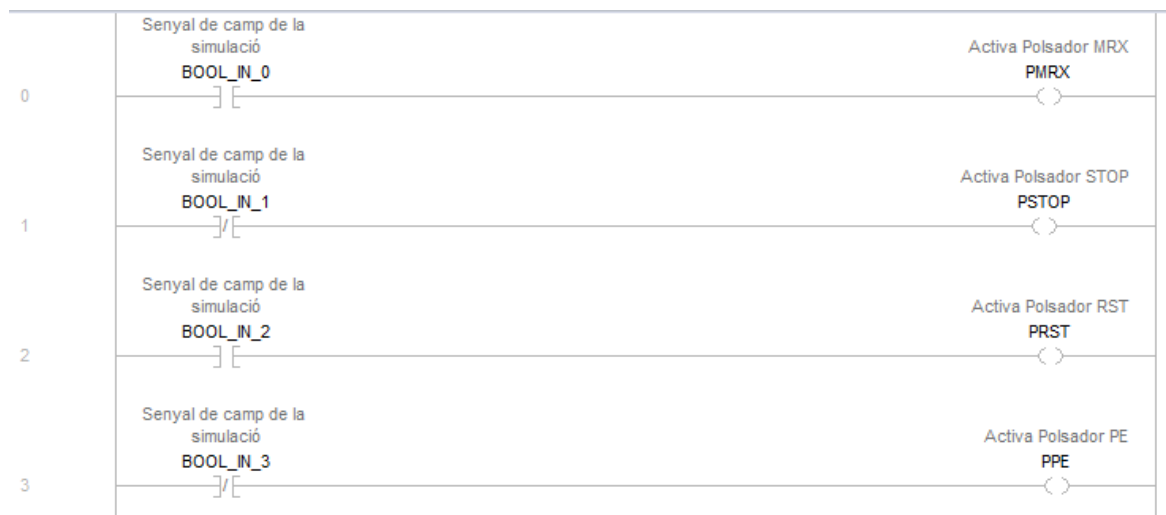


Figura 4.34. Mapejat de senyals d'entrada del PLC (Font pròpia)

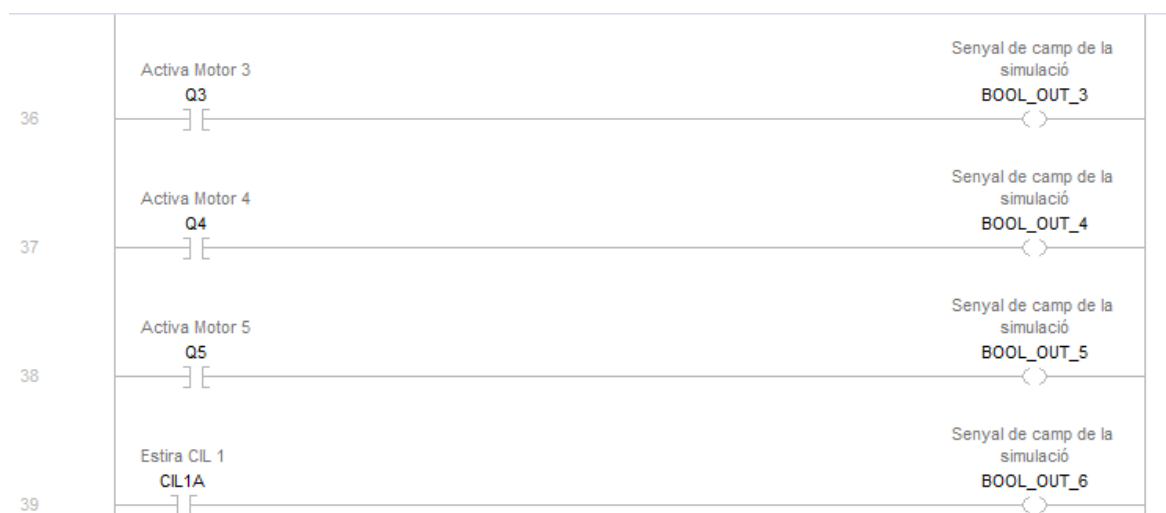


Figura 4.35. Mapejat de senyals de sortida del PLC (Font pròpia)

El següent grup és el de control de la planta. Aquí s'ha afegit les ordres relatives als pulsadors de paro i marxa, que controlen els dos estats principals de la planta. En primer lloc es programa que en el moment en que es polsi el pulsador MRX i sempre que no estiguin activats en aquell moment els pulsadors de parada, es posarà a nivell alt la variable auxiliar M2. En el cas de M2, és una variable que funciona com enclavament del pulsador MRX, ja que aquesta estarà com a condició de la majoria de branques que executin una acció sobre un actuator.

La segona branca és la d'aturada de la planta. En el moment en que es polsi qualsevol dels dos entre PE i STOP, la planta es parará per complet. En primer lloc desactiva el senyal M2, per tant totes la majoria de branques no s'activaran, al tenir aquesta com a condició. Aquí també es desactiva qualsevol motor actiu. Aquí, per molt que no s'observi a la imatge, entrarien els motors M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 i M_6.



Figura 4.36. Grup de Control de la Planta Part 1 (Font pròpia)

Dins d'aquest grup s'inclou la configuració de l'estat d'alarma. En aquest cas s'ha creat un variable auxiliar M5, la qual permet apagar correctament el senyal d'alarma. D'aquesta manera només s'encendrà l'alarma si M5 està desactivada, i quan es polsi el pulsador RST, la variable M5 s'activarà, evitant així que continuï encenent-se l'alarma, cosa que passava perquè el pulsador PE és d'enclavament. De la mateixa manera M5 ha d'estar desactivada en el moment en què es polsi PE, és per això que s'ha programat la segona branca de la imatge següent.

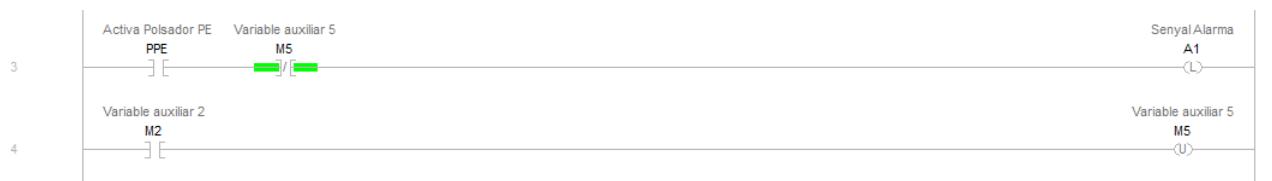


Figura 4.37. Grup de Control de la Planta Part 2 (Font pròpia)

El següent grup creat consisteix en el control dels motors M_1 i M_6 a la zona de Melting Pot i Wire Winder, respectivament. Aquests han d'estar programats separats de la seqüència lògica, ja que no tenen relació causal amb una acció prèvia. El motor M_6 està governat pel polsador BOB, ja que s'ha considerat el cas que l'operari retira la bobina quan ja s'ha omplert al màxim i reposa amb una nova bobina la màquina bobinadora, activant aquesta manualment de nou.



Figura 4.38. Control d'activació de M_6 (Font pròpia)

Per el cas del motor del plat giratori M_1, s'ha fet la programació teòrica. No obstant aquesta part no ha estat possible implementar-la de la manera correcta a la simulació, degut a les limitacions explicades al punt de Simulació del Procés. Aquesta programació tindria la participació del sensor de final de cursa FC, el qual ha estat considerat esta fix davant del plat giratori i detecta quan el plat ha girat uns certs graus i per tant l'element cilíndric que serveix de recipient pel plom líquid ha arribat a l'alçada de FC. Així doncs, degut a que el plat giratori en posició inicial activa el sensor FC, el temporitzador Timer 1 comença a comptar. Durant aquest temps és quan s'omple un recipient cilíndric, considerant-se en 2 segons.

En el moment en què el temporitzador arriba a 2 segons, s'activa el motor M_1 un altre cop i a més s'activa la variable M1. Això permetrà que quan el sensor FC es torni a activar, és a dir que el recipient hagi arribat a la posició d'abocament, i en conseqüència es desactivin M_1 i la variable M1. La senyal de FC roman activa, ja que el plat està en posició inicial, cosa que fa que el temporitzador compti de nou els 2 segons, on es torna a omplir el recipient de plom líquid i gràcies a haver desactivar la variable M1 es pot repetir el cicle, accedint a la tercera branca d'activació del motor del plat giratori.



Figura 4.39. Control d'activació de M_1 (Font pròpia)

En el cas pràctic, el sensor FC no es desactivarà mai, ja que no hi ha motor a la simulació que representi aquest cas i per tant el senyal Q1 romandrà actiu, visualitzant-se de tal manera al SCADA.

El següent grup consisteix en la funció de reset dels elements. Bàsicament, s'imposa la condició que el sistema ha d'estar en marxa perquè el polsador RST tingui efecte. En aquest cas es col·loquen els cilindres pneumàtics en posició inicial, és a dir, recollits, excepte en el cas de els cilindres 9 i 10. També es fa un reset de les variables auxiliars. En el cas de M5, s'activa per habilitar l'acció d'apagat de l'alarma.

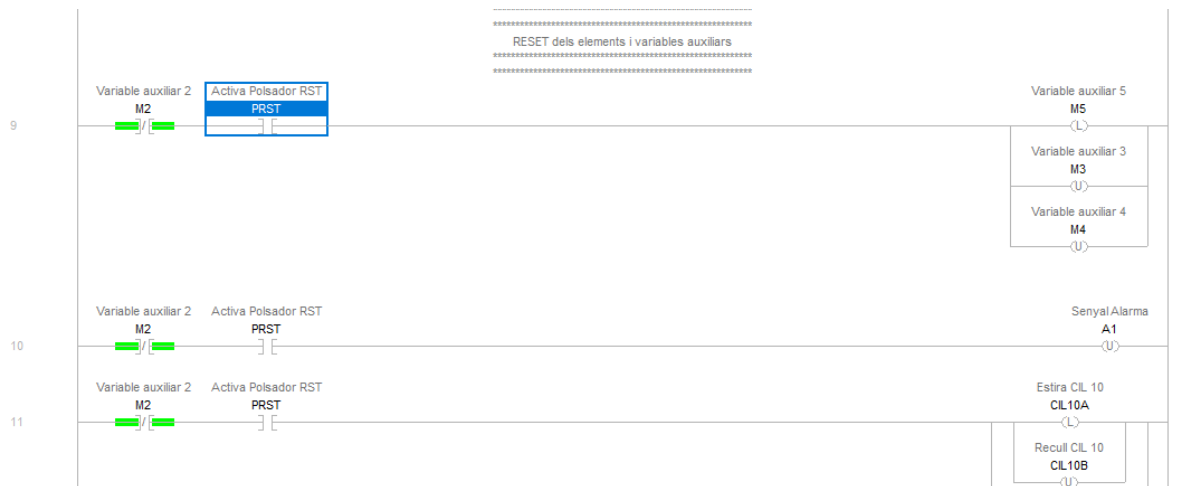


Figura 4.40. Grup de reset d'elements (Font pròpia)

L'últim grup és, finalment, la seqüència lògica del procés. Aquí estan programades les ordres a cadascun dels elements en cada moment. Dins d'aquest grup s'ha pogut dividir en subgrups, de manera que el codi queda més ordenat i es facilita la comprensió.

La seqüència s'inicia amb la recepció del primer cilindre de plom solidificat, que prové del tobogan. Per tant la primera acció serà activar el cilindre 1 en el moment en que s'activa SIND1. Com a conseqüència, quan el cilindre 1 s'estiri completament aquest té l'ordre de retrocedir i el cilindre 2 s'activarà per transportar el cilindre de plom a la zona del Billet Trimmer.

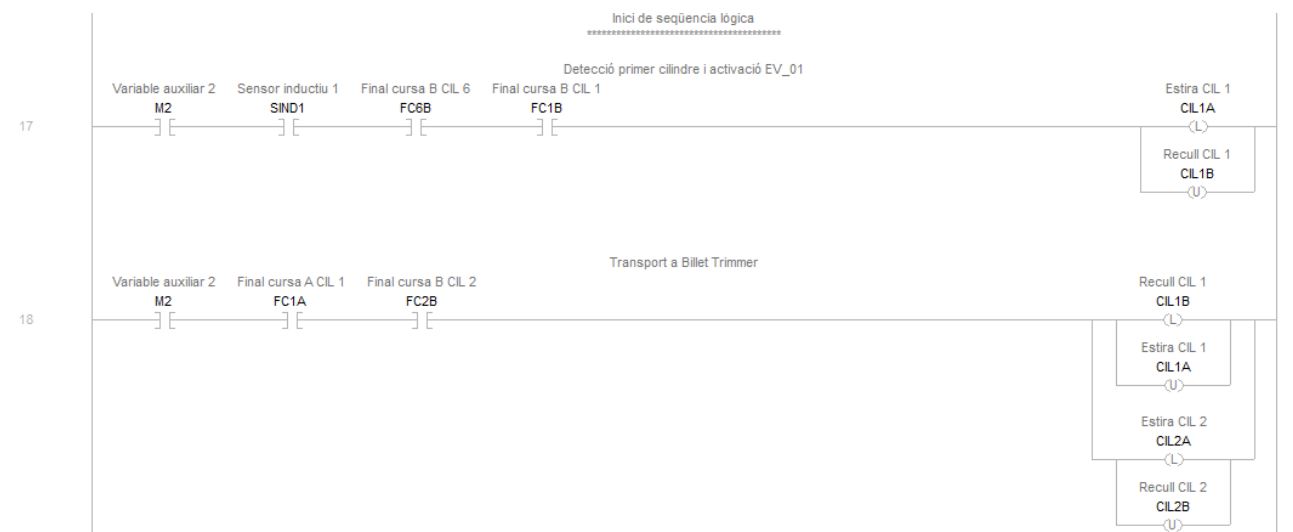


Figura 4.41. Recepció de peça i transport a Billet Trimmer (Font pròpia)

A continuació, un cop el cilindre ha arribat al Billet Trimmer, és necessari subjectar-lo per assegurar un tall correcte. Així doncs quan el cilindre 2 s'ha estirat completament, aquest es recull i a més s'estira el cilindre 3 de subjectació. També s'activa la variable auxiliar M3 que permetrà recollir el cilindre de tall estirats abans que el de subjectació.

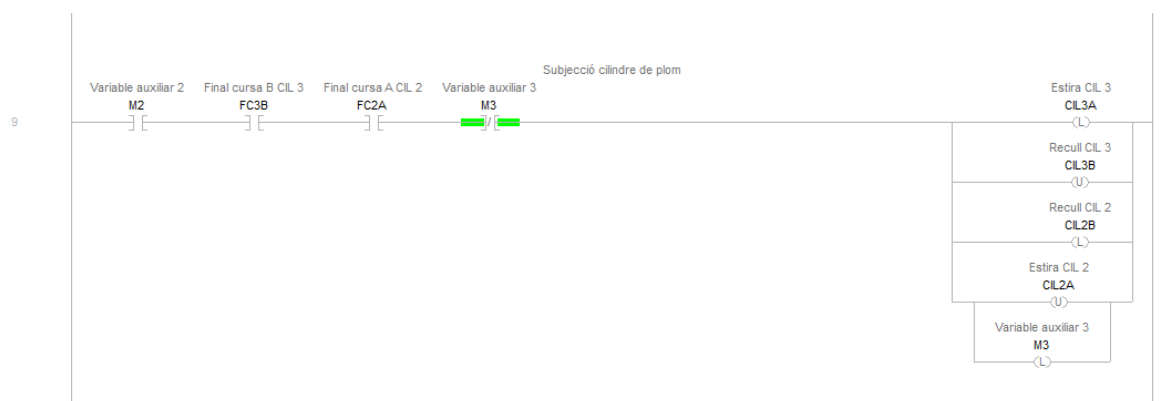


Figura 4.42. Subjectació del cilindre de plom (Font pròpia)

Quan el cilindre de plom esta subjecte s'activa el cilindre 4, que lentament talla la cara rugosa. Com es pot veure a la imatge el cilindre de tall no es recollirà fins que es detecti el que la ferralla ha arribat a la zona de reciclatge. Això està dissenyat així per facilitar la seqüenciació del procés de tall.

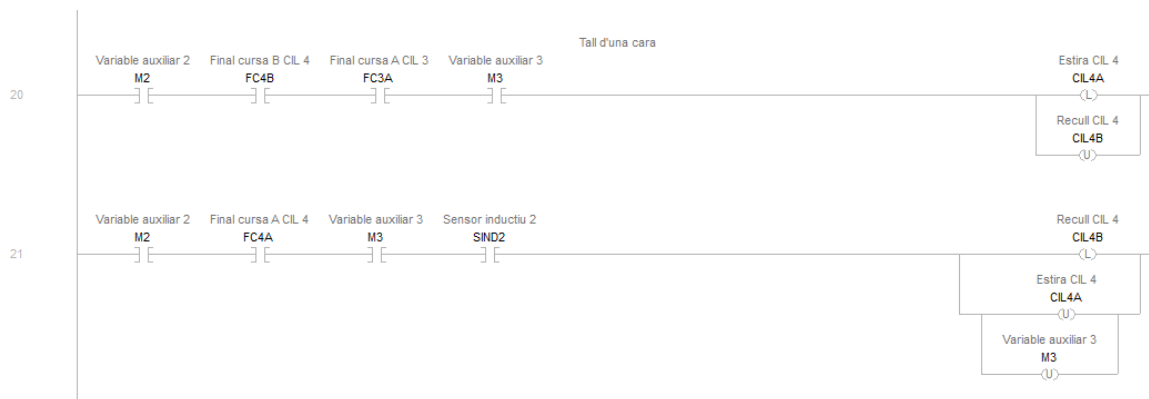


Figura 4.43. Seqüència de Tall d'una cara (Font pròpia)

A partir d'aquí es fa un incís en l'explicació de la seqüència principal per posar l'ull a la seqüència paral·lela de realimentació. Aquesta seqüència comença en el moment en que el cilindre 4 s'ha estirat completament. Aquí s'entén que la ferralla tallada cau correctament fins la cinta M_2, la qual és activada. Tal i com es mostra a les imatges, quan el tros de ferralla arriba a la plataforma s'activa el sensor SIND2, que conseqüentment activa el cilindre 7 i el motor M_3, en direcció a la zona del Meling Pot de nou.



Figura 4.44. Seqüència de reciclatge Part 1 (Font pròpia)

Finalment el cilindre 7 es recull i quan el detector SIND6 s'activa es para el motor M_3, ja que significa que la ferralla ha arribat a la zona de plom líquid.

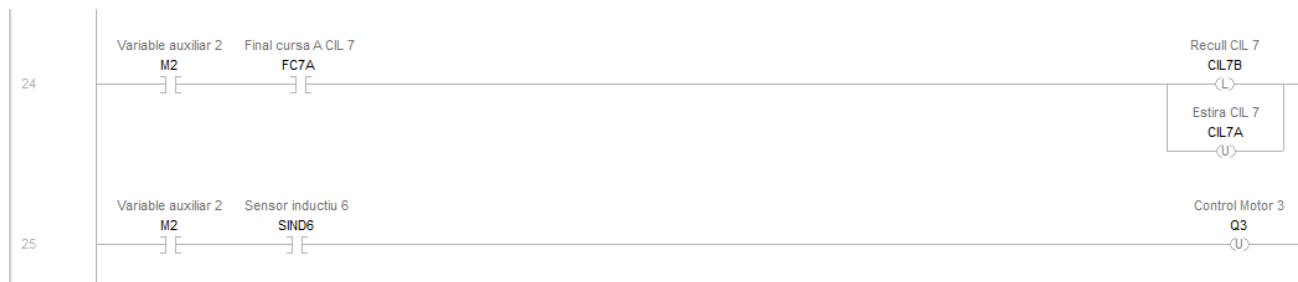


Figura 4.45. Seqüència de reciclatge Part 2 (Font pròpia)

Tornant ara si a la seqüència principal, el següent grup és definit com el Transport al Wire Extruder. Des del punt de tall únicament es transporten el cilindres de plom fins la zona final. Aquest grup s'inicia amb el retorn del cilindre 3 a la posició inicial, després que el cilindre 4 hagués tornat amb la detecció de SIND2. A l'hora s'activa la variable M4, la qual evita que el cilindre 5 s'estengui en un moment equivocat, ja que la condició de FC3B i FCB5 es vertadera des del començament del procés. Un cop recollit el cilindre 3, s'estira el cilindre 5 i es desactiva M4.

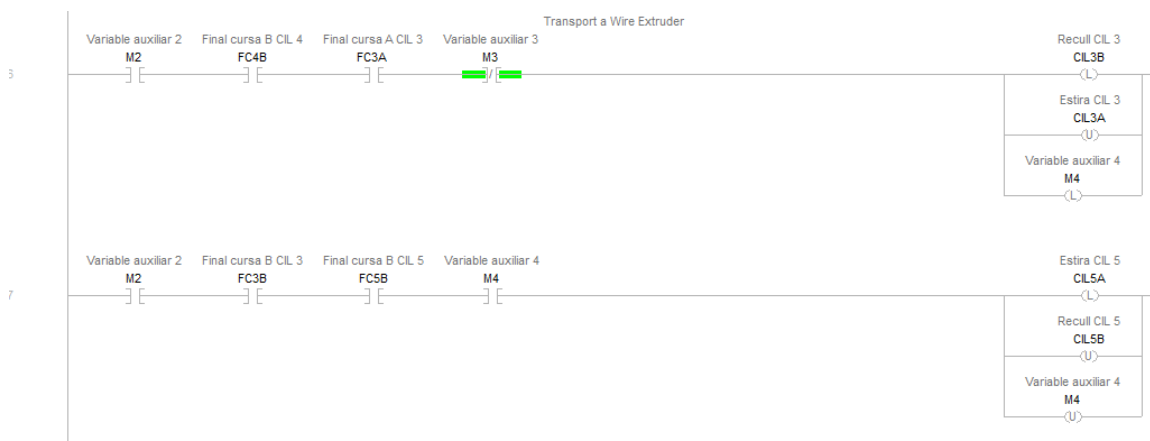


Figura 4.46. Transport a Wire Extruder Part 1 (Font pròpia)

El transport continua amb l'activació dels cilindres 6 i 8, en aquest ordre. D'aquesta manera el cilindre de plom arriba a la cinta M_4, la qual s'activa amb el pas del cilindre de plom pel sensor SIND5. Aquesta cinta té inclinació i s'atura en el moment en què s'activa el sensor SIND7, el qual també activa la següent cinta, M_5.

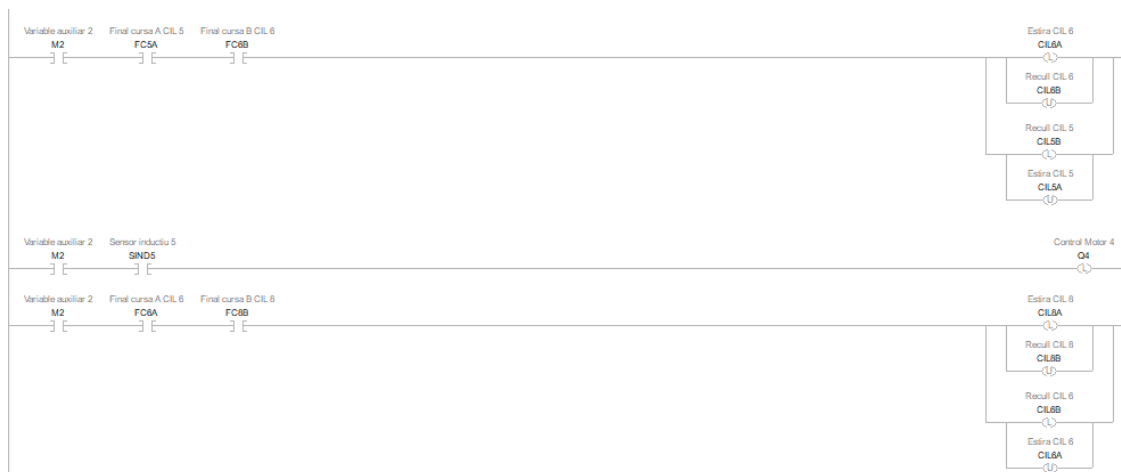


Figura 4.47. Transport a Wire Extruder Part 2 (Font pròpia)

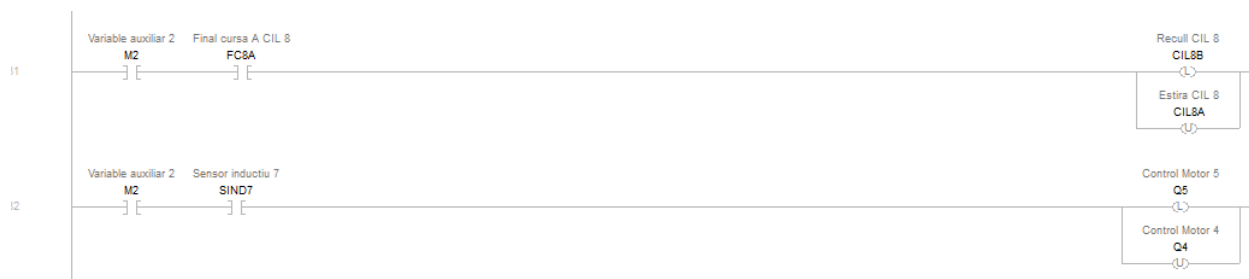


Figura 4.48. Transport a Wire Extruder Part 3 (Font pròpia)

Finalment s'arriba al grup referent a la zona de Wire Extruder. Aquesta zona comença amb el cilindre 9 estirat com a posició inicial, ja que s'ha de retenir el cilindre de plom momentàniament fins confirmar que el cilindre anterior ha estat extruït. El cilindre 10 comença recollit per donar temps a que el cilindre es pari en el cilindre 9, d'altra manera el cilindre de plom cauria directament en el moment en què s'activa SIND3. D'aquesta manera, en el moment en què s'activa SIND3, sempre que no hi hagi cap cilindre a la zona d'extrusió, regida per SIND4, es parerà el motor M_5 i s'estirà el cilindre 10, on parerà momentàniament el cilindre de plom. Donant pas a la recollida del cilindre 9.



Figura 4.49. Zona Wire Extruder Part 1 (Font pròpia)

Seguidament es recull el cilindre 10 i s'estira el cilindre 9, tornant així a la posició inicial. Finalment, el cilindre cau per la plataforma inclinada i passa per el detector SIND4, que, en el moment que s'activa, s'executa l'ordre d'estirada del cilindre 11, que extrudirà el cilindre de plom. Aquest últim cilindre es recollirà un cop hagi acabat l'extrusió. Completant d'aquesta manera la seqüència descriptiva del procés.



Figura 4.50. Zona Wire Extruder Part 2 (Font pròpia)

4.8. Programa del Software SCADA

En aquest apartat s'explicarà com s'ha dissenyat el sistema SCADA, atenent-se a les seves característiques visuals i funcionals. La versió de Wonderware InTouch utilitzada correspon a la versió 2014 R2 SP1 i la resolució de l'aplicació de 1360x768.

4.8.1. Arbre de Navegació

L'aplicació SCADA creada té un total de 8 pantalles. La majoria d'aquestes comparteixen un disseny estàndard creat, tot i que hi ha dos pantalles que tenen algunes diferències. La navegació entre pantalles s'ha dissenyat de manera lògica segons les característiques que s'ha considerat necessàries. En primer lloc, l'aplicació s'encén amb una pantalla inicial. Aquesta pretén ser una pantalla de benvinguda per l'operari, sense contenir cap informació rellevant de l'estat del procés. Des d'aquesta pantalla es podrà accedir a una pantalla de menor mida, on l'usuari haurà d'iniciar sessió. Seguidament es podrà accedir a la pantalla principal de l'aplicació SCADA.

Fins aquí el camí és tancat, però això canvia a la pantalla principal. Des d'aquesta es pot retornar a la pantalla inicial, tancant la sessió. Per altra banda, des de la pantalla principal es pot accedir a qualsevol de les pantalles amb informació sobre el procés. Les pantalles on es podrà accedir són la pantalla de Melting Pot, la pantalla de Billet Trimmer, la pantalla de Wire Extruder and Winder, una pantalla pel Control de la planta i una pantalla amb un Registre d'Alarmes. Per cada una d'aquestes pantalles es possible retornar a la pantalla principal de nou. Altrament s'ha considerat oportú poder accedir a la pantalla del Control de la planta des de qualsevol de les altres pantalles, ja que en una situació d'emergència s'ha de tenir fàcil accés la interfície de control del sistema. A continuació es mostra un diagrama que representa l'arbre de navegació dissenyat.

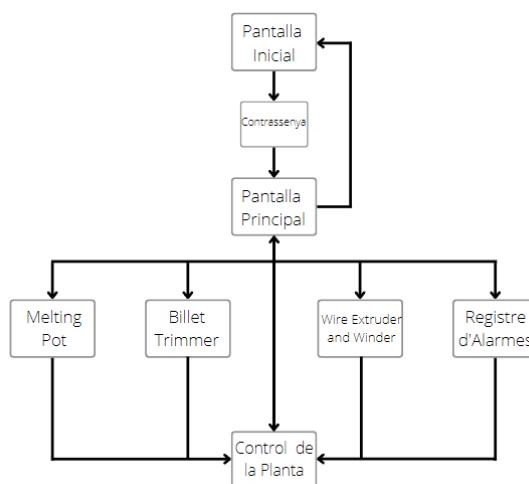


Figura 4.51. Arbre de navegació (Font pròpia)

4.8.2. Definició dels Tipus de Dades

Les dades utilitzades al sistema SCADA han estat configurades de manera que tenen el mateix nom que en el programa SCADA. Això facilita molt la programació i comunicació. Cal aclarir que per el SCADA no ha estat necessari utilitzar tots els senyals definits al codi del PLC, ja que només han calgut aquelles que reflectien l'estat dels elements. Totes aquestes variables es poden visualitzar, seleccionar i modificar a l'apartat del Tagname Dictionary.

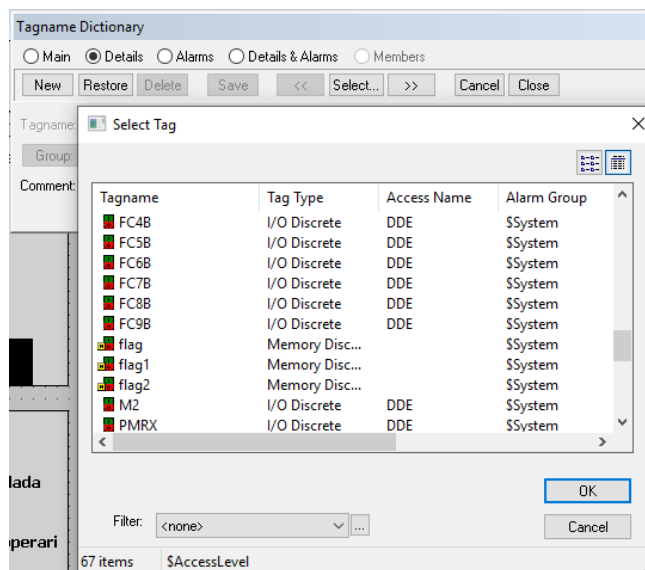


Figura 4.52. Tagname Dictionary (Font pròpia)

Primerament, s'ha fet ús de les variables del sistema \$AccessLevel, el qual és de tipus System Integer, i \$Operator, del tipus System Message. Aquestes permeten mostrar textos i nombres variants segons l'usuari que ha iniciat sessió. També s'ha creat unes variables auxiliars, flag, flag1 i flag2, les quals són de tipus Memory Discrete, i com bé indica el seu nom tenen valors entre 0 i 1. Aquestes han ajudat a posar restriccions en la navegació de les pantalles.

Per altra banda, s'ha definit les variables del procés necessàries per visualitzar l'estat de la planta i el procés. Aquí s'inclouen els senyals dels motors, els senyals dels finals de cursa dels cilindres pneumàtics o bé els senyals dels polsadors, entre d'altres. La categoria d'aquestes dades és de tipus I/O Discrete, és a dir, són variables discretes que varien entre 0 i 1, i a més són variables d'entrada i sortida del SCADA, que són les transportadores d'informació des del PLC.

En el moment en que una variable ha estat definida com a I/O Discrete, s'obre un apartat a la pestanya de configuració de la variable on es pot determinar la comunicació que es pretén fer. En el cas d'aquest treball s'ha seleccionat el Access Name amb nom DDE definit a l'apartat de comunicacions, d'aquesta manera, sempre que el RSLinx estigui operatiu, es farà la comunicació entre les variables del SCADA i del PLC virtual. A més, per facilitar la comunicació, s'ha seleccionat la casella "Use Tagname as Item Name", que defineix el nom del objecte equivalent al nom de la variable assignada.

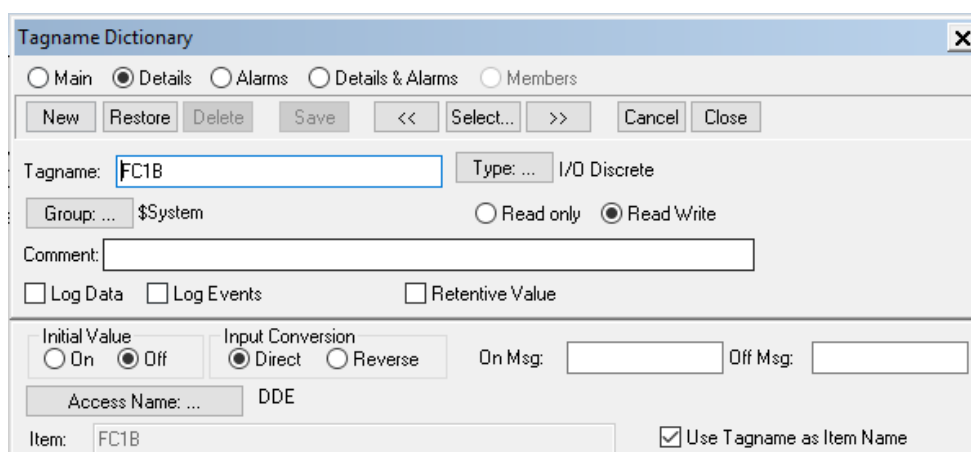


Figura 4.53. Configuració de comunicació al Tagname Dictionary (Font pròpia)

Per altra banda, a la variable A1, que representa l'alarma del sistema, s'ha hagut de configurar el sistema d'alarmes. Per aquesta variable s'ha creat un grup anomenat Alarma i, a més d'assignar el Access Name igual que les altres variables de tipus I/O Discrete, s'ha afegit un comentari d'alarma i un nivell de prioritat, tal i com es pot observar a la següent imatge.

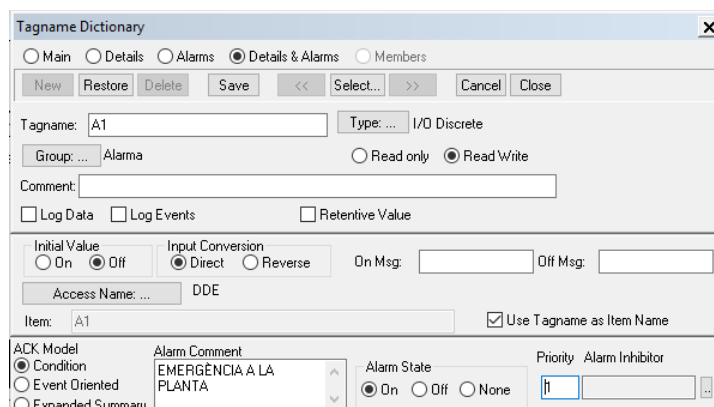


Figura 4.54. Configuració d'alarma al Tagname Dictionary (Font pròpia)

Per últim es troben un conjunt de variables auxiliars pels motors. Aquestes són definides de tipus Memory Real, per tant són variables del sistema que tenen valor continu. Són utilitzades per poder establir tres nivells d'estat en els motors i mostrar un color diferent a cada estat.

4.8.3. Disseny de les Pantalles de l'Aplicació

El disseny de les pantalles de l'aplicació SCADA pretén permetre l'aportació de tota la informació necessària pel seguiment del procés de manera estètica i equilibrada. Pel disseny de les pantalles s'ha intentat utilitzar el màxim possible colors neutres, amb l'objectiu de no estimular de manera excessiva a l'operari, ja que aquest ha d'estar teòricament hores davant la pantalla. L'estructura de les finestres és la següent :

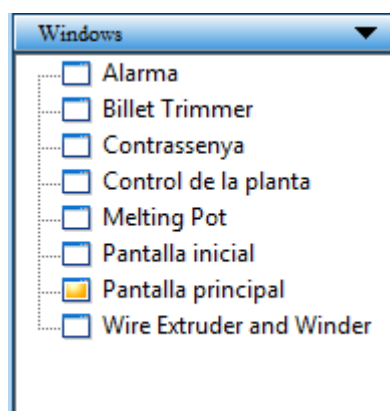


Figura 4.55. Estructura de pantalles SCADA (Font pròpia)

És destacable que totes les pantalles tenen un element comú, el qual és la barra superior. Aquesta barra conté informació general de l'aplicació, com per exemple les credencials de l'usuari que ha iniciat sessió, un indicador visual de l'alarma, un element que mostra la data i hora i el nom del procés del projecte. L'aspecte personalitzat a aquesta secció és el títol de la pantalla, el qual variarà segons d'informació donada en la mateixa. La pantalla inicial del sistema té una barra superior amb menys informació que les altres, degut a que es una pantalla que es mostra simplement a l'inici.



Figura 4.56. Barra superior de les pantalles (Font pròpia)

Iniciant amb la Pantalla inicial, aquesta mostra una imatge de presentació de la planta, que simplement serveix d'element decoratiu. Apart de la barra superior, anteriorment mencionada, se situa un botó a la part inferior de la pantalla. Aquest donarà accés a la pantalla d'inici de sessió.



Figura 4.57. Pantalla inicial (Font pròpia)

A continuació s'accedeix a la Pantalla principal del SCADA, la qual es pot dividir en 5 parts que la conformen i té el següent aspecte :

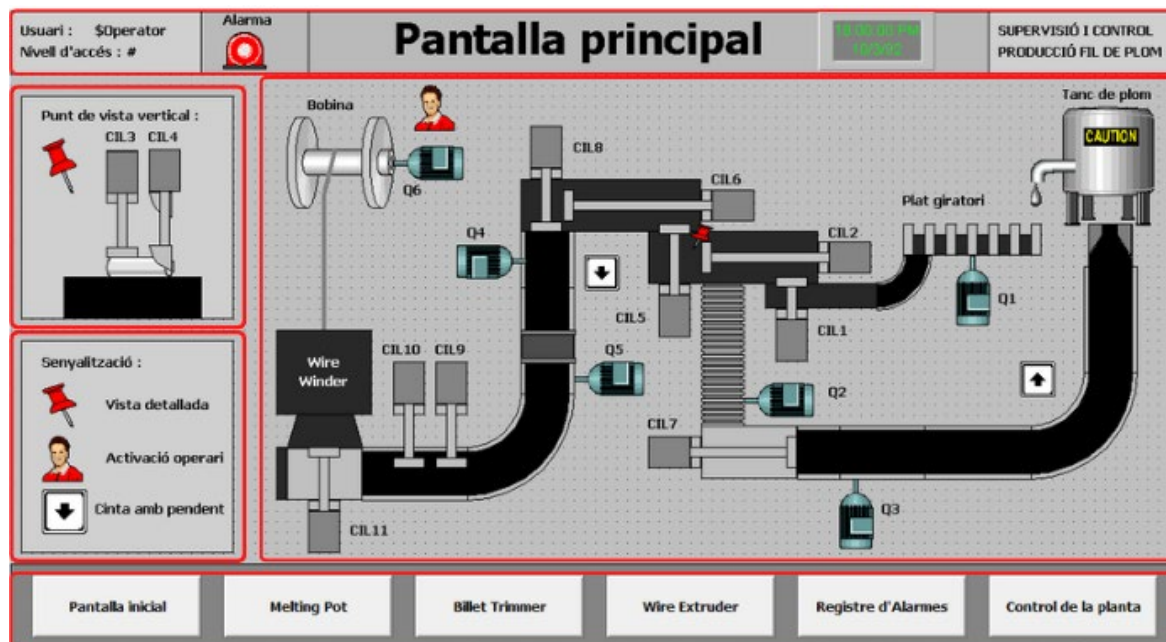


Figura 4.58. Pantalla principal (Font pròpia)

La primera zona, la superior, és la barra superior ja abans descrita amb informació rellevant del sistema. A la part inferior es troba la barra de navegació principal que, segons s'ha explicat al punt de navegació del sistema, permet tornar a la Pantalla inicial o bé anar a qualsevol de les altres 5 pantalles amb informació.

A la part central de la pantalla està representat de manera visual la totalitat del procés estudiat a l'anàlisi del problema. Es mostra des del moment en que s'aboca el plom líquid fins la zona d'emmagatzematge del fil de plom, passant per cadascuna de les parts del circuit i fases del procés. La principal avantatge d'aquesta pantalla és que permet a l'operari tenir una visió correcta de totes les parts del procés i veure el funcionament d'aquestes, ja que es mostren l'activació i desactivació dels cilindres pneumàtics i els motors. Per una banda, els cilindres pneumàtics es mostraran estirats o recollits segons sigui el cas i els motors variaran de color entre gris, verd i vermell segons estiguin aturats, actius o en estat d'alarma, respectivament.

Si s'observa la part esquerra de la pantalla, es pot identificar dos espais separats. L'espai superior és bàsicament una vista detallada del procés de tall dels cilindres de plom. Aquests han estat disposats d'aquesta manera per dues raons, la primera és que tenen una posició perpendicular a la vista representada del procés, d'aquesta manera, si no es representa aquesta vista detallada, no s'observaria bé el seu moviment i se solaparia amb altres elements. La segona raó s'ha considerat una part del procés especial respecte l'acció des dels cilindres, que necessitava una vista detallada per millorar l'apreciació del moviment d'aquests.

Per altra banda, l'espai inferior consisteix en una breu explicació de la senyalització utilitzada a la pantalla. Aquesta ajudarà a entendre el significat d'aquests símbols. Per una banda hi ha el símbol de la persona, el qual simbolitza la necessitat de que l'activació de la màquina bobinadora sigui manual. El símbol de la xinxeta representa la relació entre el punt on està situada i l'espai de vista detallada. Per últim hi ha un símbol d'una fletxa, la qual és utilitzada per indicar que la cinta en qüestió té inclinació.

La següent pestanya consisteix en el Control de la planta. Aquesta té principalment la segona interfície de control del sistema, amb una botonera que conté els quatre botons de control d'estat. Aquests polsadors tenen un aspecte realista amb colors representatius. Per altra banda hi ha una taula amb dos panells lluminosos que representen l'estat d'aturada, si s'encén el panell gris, i d'activació de la planta, si s'encén el panell lluminós verd.

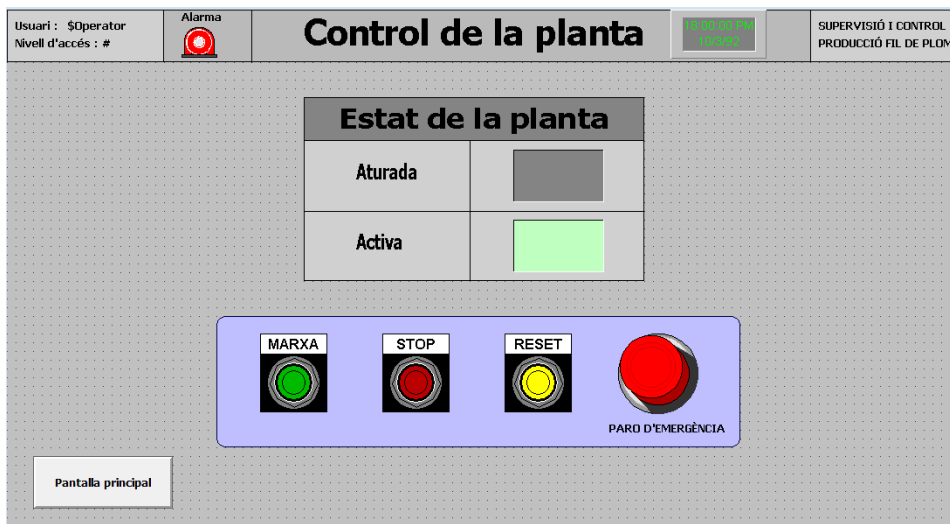


Figura 4.59. Pantalla de Control de la planta (Font pròpia)

Per últim, s'ha dissenyat tres pantalles més relatives als elements del sistema. Aquests són per les zones de Melting Pot, Billet Trimmer i Wire Extruder and Winder. Aquestes pantalles recullen la mateixa informació que la pantalla principal però de manera resumida i dividida en seccions. Per a cada zona s'ha ficat els elements que estaven més propers. Per exemple, per la zona de Melting Pot s'ha recollit els senyals del motor del plat giratori i de la zona de reciclatge. A la pantalla del Billet Trimmer s'ha inclòs els senyals d'aquesta zona fins l'inici del transport a la zona final. Finalment a la pantalla del Wire Extruder i Winder inclou els senyals de la zona de transport i de la zona d'extrusió. Aquestes són representades amb el gris si el motor esta inactiu o el cilindre recollit, o bé en verd si aquests estan actius i estirats, respectivament.

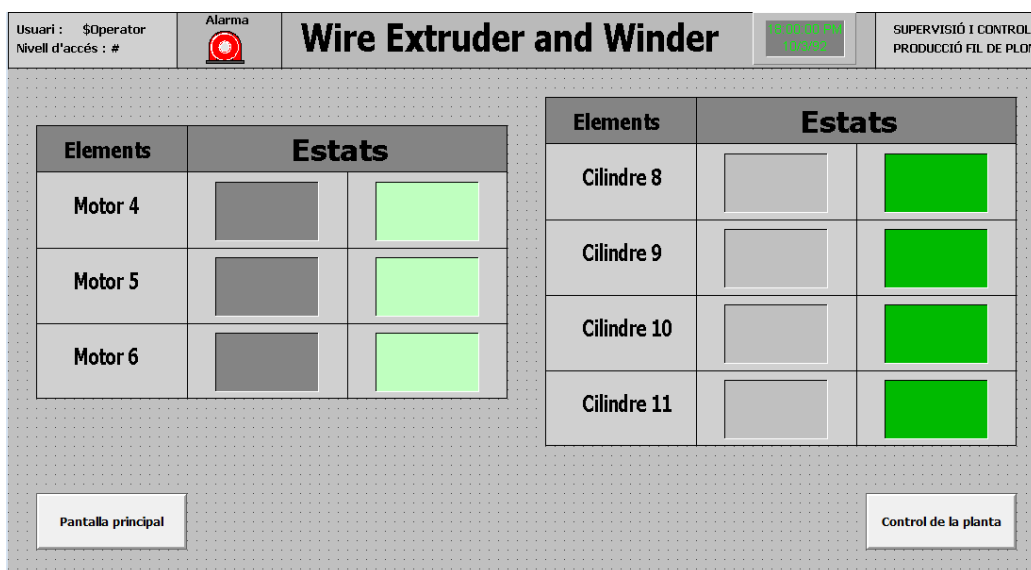


Figura 4.60. Pantalla de Wire Extruder and Winder (Font pròpia)

4.8.4. Scripts

Per fer funcionar el sistema SCADA ha estat necessari programar-lo. S'ha creat scripts tant pel funcionament de les pantalles com per la dels elements. Cal mencionar que totes les pantalles són de tipus "Replace", exceptuant la pantalla de l'inici de sessió, que és de tipus Pop-up. En primera instància s'ha programat un script de l'aplicació, el qual amb funcions com "Show" i "Hide" ens permet escollir amb quina pantalla es vol iniciar. En aquest cas és la Pantalla inicial.

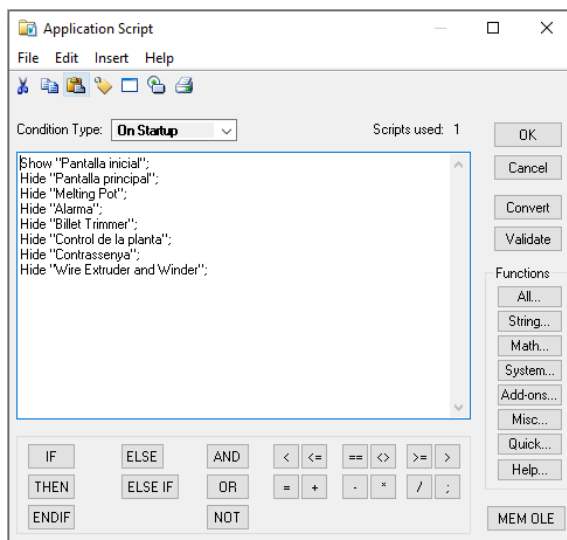


Figura 4.61. Application Script (Font pròpia)

La programació de la Pantalla inicial consisteix en mostrar aquesta quan la variable flag està activa, la qual comença des del principi en 1, d'aquesta manera es reafirma la instrucció que es mostri a l'inici. El botó d'aquesta mateixa pantalla, permet mostrar la pestanya la pantalla Contrassenya, gràcies a la funció "Windows to show when touched".

Pel que fa a la pantalla d'inici de sessió, fa 0 la variable flag, invalidant l'aparició de la Pantalla inicial. El botó de Logon que conté, utilitza unes instruccions d'inici de sessió que s'explicarà al punt de gestió d'usuari. El botó Accedir mostra directament la Pantalla principal.

El script de la Pantalla principal està dividit en dos seccions. La primera funciona quan la pantalla està amagada, la qual comprovarà si el nivell d'accés és correcte i el flag1 està en nivell baix. Aquest flag1 comença en 1 a l'inici del programa i és canviat a 0 en el moment en què es prem el botó d'Accedir .

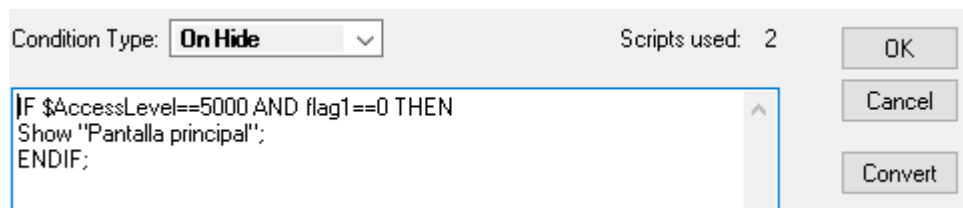


Figura 4.62. Script On Hide de la Pantalla principal (Font pròpia)

El segon script està actiu quan la pantalla s'està mostrant. Aquest consisteix en la configuració de les variables reals QM-, que controlen l'estat dels motors, segons s'està en estat d'alarma, actius o aturats. Si l'alarma no està activa, se li dona un valor de 10 o 20 a aquestes variables segons els senyals Q- provinents del PLC estan actius o no. Pel cas en que l'alarma està activa, s'ignora la condició anterior i es fa aquestes variables 30, que tornaran els motors de color vermell.



Figura 4.63. Script While Showing de la Pantalla principal (Font pròpia)

Per cadascun dels botons de la barra de navegació, s'aplica la funció Show per obrir cadascuna en cada cas. També es fa 1 la variable flag1, de manera que reforça el canvi de pantalla.

Parlant ara dels cilindres pneumàtics, l'estratègia seguida ha estat la de crear dos elements de cilindre. Un d'ells estirat i l'altre recollit. D'aquesta manera, es fa dependre ambdós dels senyal de final de cursa a l'inici del cilindre real perquè el cilindre estirat es faci visible quan aquesta variable és falsa i el cilindre recollit es faci visible quan es vertadera. Així es crea la il·lusió que els cilindres es mouen.

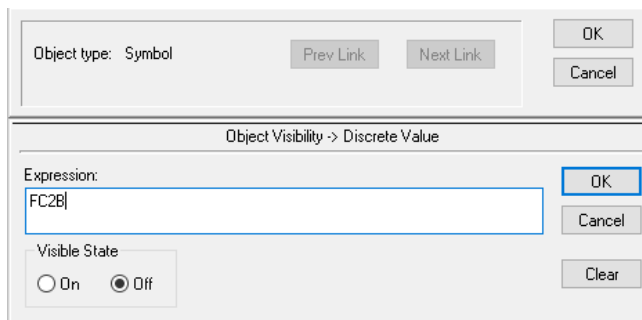


Figura 4.64. Script de cilindre estirat (Font pròpia)

Pel que fa als motors, aquests estan programats perquè depenguin de les variables reals abans mencionades, amb la funció Fill color->Analog Expression. Com es pot observar a la següent imatge, hi ha tres nivells de colors, per 10, 20 i 30. Com s'ha mencionat abans el color gris vol dir que el motor està apagat, el verd que aquest està actiu i el vermell que el sistema està en alarma. Els valors a partir de 30 s'han omplert, ja que el programa ho obliga, però són valors als que aquestes variables mai arribaran.

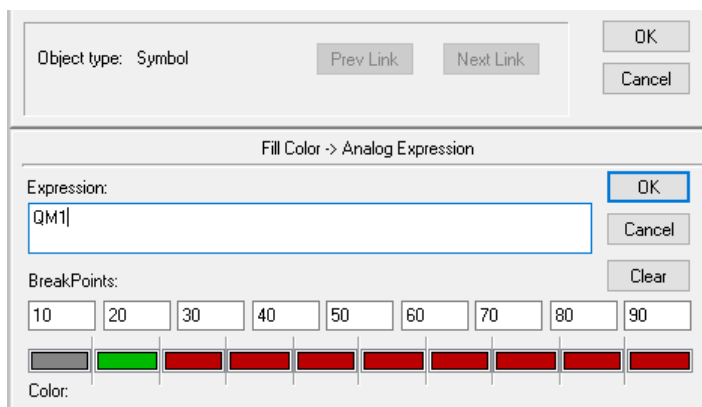


Figura 4.65. Script de motors (Font pròpia)

Per altra banda, la programació dels polsadors de la pantalla de Control de la planta, simplement se'ls hi assigna la variable corresponent. No s'aplica canvi de color perquè no s'ha considerat necessari. Per la programació dels panells lluminosos s'ha aplicat un color clar per quan és fals i el mateix color d'un to més fort per quan la variable és certa. Per exemple, la pantalla lluminosa de color gris que simbolitza l'aturada de la planta, és dependent de la variable auxiliar creada al software de programació M2, d'aquesta manera la pantalla mostrarà el color gris fort quan la variable sigui falsa i el gris claret quan sigui vertadera, reaccionant a l'aturada i activació de la planta. Aquesta lògica s'ha utilitzat d'igual manera a cadascuna de les pantalles lluminoses dels cilindres i motors.

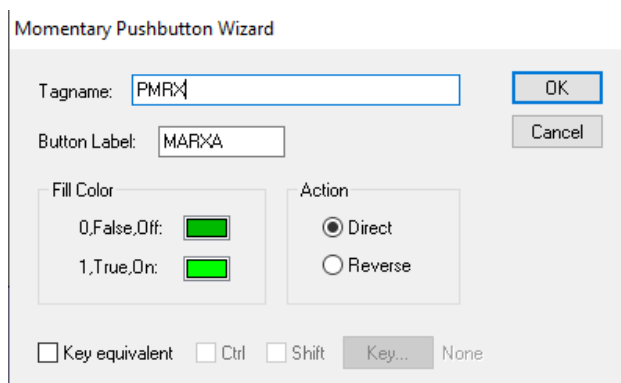


Figura 4.66. Script polsador MRX (Font pròpia)

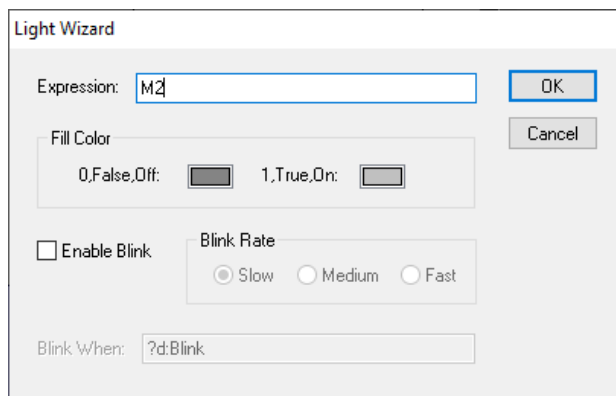


Figura 4.67. Script panell lluminós d'aturada (Font pròpia)

Finalment, és necessari comentar que els botons de retorn a la Pantalla principal comporten la desactivació de la variable flag1, cosa que permet tornar a mostrar la Pantalla principi.

4.8.5. Disseny de la interfície d'Alarmes del Sistema

Per crear la interfície d'Alarmes del Sistema, s'ha dissenyat una pestanya anomenada Registre d'Alarmes. Aquesta conté una taula on queden registrades les dades de cada cop que ha sonat l'alarma. Les dades que ofereix aquesta taula són la data i hora, l'estat de l'alarma, el grup al que pertany i la prioritat d'aquesta. Aquesta taula no mostra només quan s'ha activat l'alarma sinó que també mostra el moment en que es desactiva. El disseny de la pantalla és el següent :

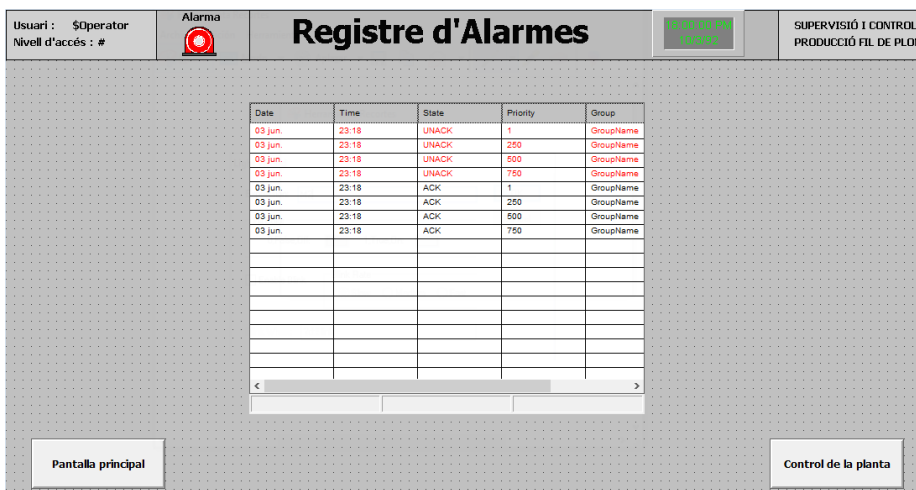


Figura 4.68. Pantalla de Registre d'Alarmes (Font pròpia)

La programació d'aquesta taula es realitza fent doble clic a la taula, on apareix la pestanya de Alarm Configuration. Aquí es permet configurar com es vulgui aspectes com si es vol mostrar les dades històriques, el format en què apareixen les alarmes noves o el grup al que pertany l'alarma. A la secció Message es pot configurar les columnes amb informació que es desitja que apareguin a la taula.

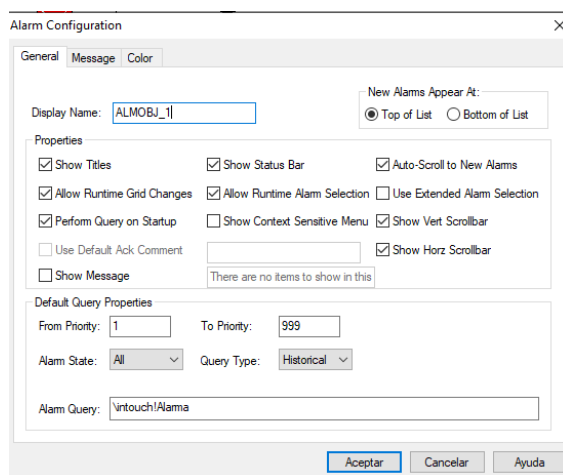


Figura 4.69. Alarm Configuration (Font pròpia)

Per altra banda també s'ha programat el símbol d'alarma que està situat a la barra superior de les pantalles. Bàsicament s'ha animat el símbol perquè s'encengui intermitentment només quan la variable A1 d'alarma està activa.

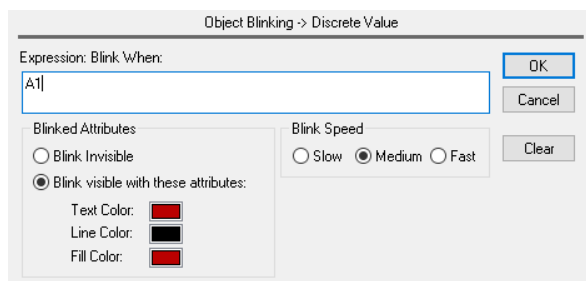


Figura 4.70. Animació símbol alarma (Font pròpia)

4.8.6. Gestió d'usuaris

Per la gestió d'usuaris s'ha creat un únic usuari, ja que es considera que només accediria l'operari assignat al control d'aquest procés. Per poder crear un sistema de gestió d'usuaris s'ha d'habilitar la funció seleccionant el tipus de seguretat com a InTouch, a l'apartat de Special. Introduint el nombre d'usuari Administrator i la contrasenya "wonderware" es podrà accedir a la pestanya de gestió d'usuaris, on s'ha afegit un nou usuari amb nom d'usuari guillem.pereda i contrassenya "47992329", associant-li un Nivell d'Accés de 5000. En el cas en que actuessin més d'un operari, es faria el mateix procediment per crear un nou usuari.

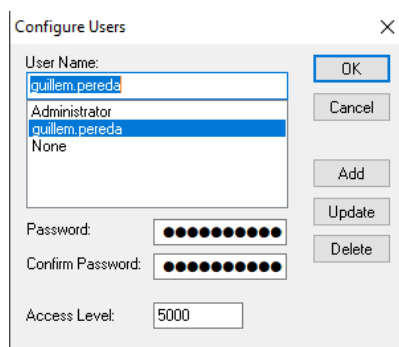


Figura 4.71. Configuració d'usuaris (Font pròpia)

Per iniciar sessió s'ha creat la ja mencionada pestanya Contrasenya. Aquesta indica a l'usuari a iniciar sessió introduint les credencials. Posteriorment s'ha de prémer el botó Accedir per avançar de pantalla. Aquesta pantalla és de tipus Pop-up i té una mida de 350x369, a diferència de les demés pantalles.

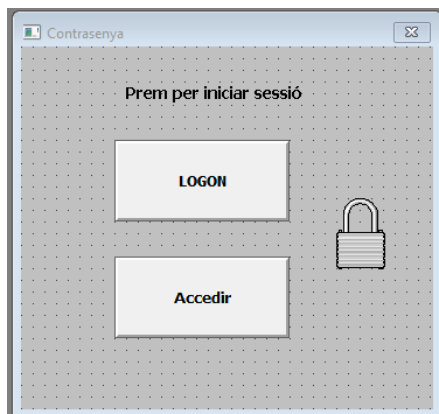


Figura 4.72. Pestanya Contrasenya (Font pròpia)

Per fer funcionar la gestió d'usuaris és necessari programar l'inici i tancament de sessió. És al botó on s'apliquen les següents dues línies de codi, que provoquen l'aparició d'un quadre on introduir les credencials. Si les dades són correctes la sessió es queda oberta fins que es tanqui.

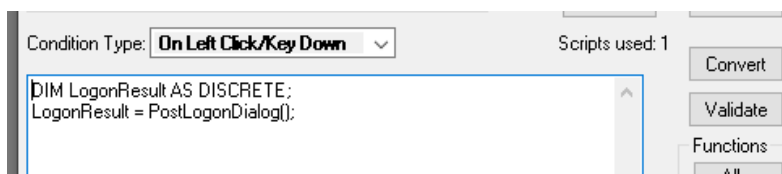


Figura 4.73. Script d'inici de sessió (Font pròpia)

El tancament de sessió succeeix quan es polsa el botó de retorn a la Pantalla inicial. En aquest botó s'ha programat les següents línies de codi que permeten al sistema tancar la sessió, a l'hora que es retorna a la Pantalla inicial.

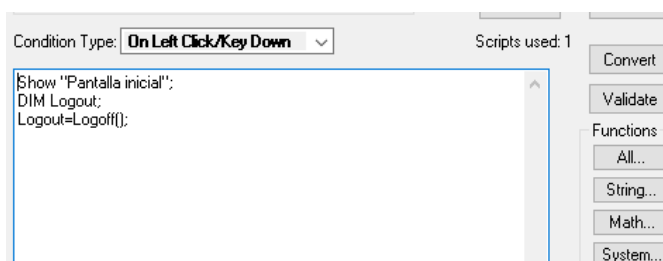


Figura 4.74. Script de tancament de sessió (Font pròpia)



5. Proves i Resultats

Per realitzar les proves de funcionament s'ha hagut d'anar fent rondes de proves, tant en el funcionament de la simulació com en el funcionament del sistema SCADA. A continuació s'explicaran les passes que s'han seguit per realitzar les proves i es repassaran els resultats obtinguts.

5.1. Proves

El procés seguit per la realització de les proves pot dividir-se en quatre parts, les quals estan exposades a continuació :

- Comprovació de comunicació : Primerament s'ha comprovat la comunicació entre les parts, ja que es va considerar la base pel funcionament de la simulació. Per una banda es va comprovar que la comunicació Controlador-SCADA es complís. En segon lloc es va comprovar que el PLC virtual es comunicés correctament amb el Factory I/O. Aquestes comprovacions de comunicació s'han realitzat simplement amb l'activació d'un senyal i veient la reacció als altres dos programes.
- Comprovació al SCADA : El següent pas va consistir en comprovar que el sistema SCADA dissenyat satisfia les ordres i necessitats provinents del PLC emulat. En aquest apartat s'ha comprovat el funcionament de tots els senyals assignats a cada objecte del SCADA.
- Comprovació al Factory I/O : En aquesta prova es va comprovar que la simulació creada funcionava de principi a fi, sense cap errada. En aquest cas, si es van trobar errors o parts on el procés no es completava bé, es van fer les correccions pertinents perquè el funcionament fos correcte i òptim.
- Comprovació general : Finalment, es va comprovar el funcionament general de les tres parts a l'hora. Aquí es va comprovar que la transmissió de dades des de la simulació al SCADA i viceversa fos correcta. També es van corregir possibles errors de programació o es van incloure millores al programa.

5.2. Resultats

Un cop feta cada prova s'ha anat recopilant els resultats d'aquestes. Cal mencionar que la prova de comunicació realitzada en primer lloc era fonamental per continuar amb les demes proves, per tant no s'ha seguit amb el conjunt de proves fins que no es van solucionar els problemes de la primera. Els resultats de les proves són els següents :

- Resultats de Comprovació de comunicacions : El resultat d'aquesta comprovació ha estat l'esperat. Pel que fa la comunicació Controlador-SCADA va resultar correcta la comunicació mitjançant tecnologia DDE, amb les configuracions del Access Name i el tòpic també correctes. Per altra banda, el resultat de la comunicació Controlador-Simulació ha resultat correcte, ja que el programa indicava la connexió establerta entre les parts i el reconeixement del senyal de prova.
- Resultats de Comprovació al SCADA : El resultat d'aquesta prova també ha coincidit amb el resultat esperat. El sistema SCADA creat responia correctament a l'habilitació manual dels senyals des de els software de programació. Al mateix temps també funcionava correctament els senyals dels pulsadors activats des del SCADA.
- Resultats de Comprovació al Factory I/O : El resultat de la primera versió de la simulació creada al Factory I/O ha satisfet de manera incompleta els resultats esperats. El circuit no es completava en un principi. No obstant, un cop compensats els errors i modificada la simulació tant com era necessari, s'ha conclòs amb uns resultats que satisfien els resultats esperats en aquesta comprovació.
- Resultats de Comprovació general : El resultat de la comprovació general ha estat satisfactori, però no de manera completa. Per una banda el sistema funcionava perfectament, ja que la simulació completava el procés i transmetia les dades al SCADA, el qual reflectia l'estat de la planta correctament en tots els indicadors. El problema s'ha trobat en el moment de controlar l'estat de la planta mitjançant el sistema SCADA. Després de provar alternatives de programació i altres pulsadors, aquest error no s'ha pogut solucionar. Per tant es dona la simulació per aprovada, però no totalment satisfactòria.

6. Normativa

Per la confecció de cada document i programa creat en aquest treball ha estat necessari seguir diverses normatives que confirmen la validesa del contingut, el qual ha de ser aplicable en un context real.

6.1. Normativa general

Per una banda ha estat necessari seguir la normativa PNE 157 001, la qual estableix les normes i consideracions a tenir en compte per satisfer l'elaboració de projectes de productes, obres i edificis, instal·lacions, serveis o suports tecnològics.

Per altra banda, a l'hora de realitzar la memòria del treball, s'ha utilitzat la plantilla oficial atorgada pel campus EEBE i s'ha seguit la Normativa de Treball de Fi d'Estudis de l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est- EEBE. Aquesta mostra totes les característiques que ha de tenir un treball de fi d'estudis correcte.

Finalment, en aquest apartat també s'inclouen les normatives ISA S55 i ISO 14617-6 per l'elaboració de Diagrames de Canonades i Instrumentació (PI&D). Aquestes mostren els noms i codificacions que han de portar els equips de procés, a més de la simbologia estàndard a utilitzar per equips i tipus de connexions. A continuació es mostra la taula de lletres identificadores utilitzada pels llaços de procés.

	PRIMERA LETRA		LETTRAS SIGUIENTES		
	VARIABLE MEDIDA O INDICADA	MODIFICADOR	FUNCIÓN DE LECTURA O PASIVA	FUNCIÓN DE SALIDA	MODIFICADOR
A	Análisis		Alarma		
B	Quemador, combustión		Elección del Usuario	Elección del Usuario	Elección del Usuario
C	Elección del Usuario			Control	
D	Elección del Usuario	Diferencial			
E	Voltaje		Sensor (Elemento Primario)		
F	Flujo	Relación (Fracción)			
G	Elección del Usuario		Vidrio, Dispositivo para observar		
H	Manual				Alto
I	Corriente (Eléctrica)		Indicación		
J	Potencia	Barrido			
K	Tiempo, Programación de Tiempo	Velocidad de cambio de tiempo		Estación de control	
L	Nivel		Luz		Bajo
M	Elección del Usuario	Momentáneo			Medio, Intermedio
N	Elección del Usuario		Elección del Usuario	Elección del Usuario	Elección del Usuario
O	Elección del Usuario		Orificio, Restricción		
P	Presión, Vacío		Punto de conexión (prueba)		
Q	Cantidad	Integración, Totalizador			
R	Radiación		Registro		
S	Velocidad, Frecuencia	Seguridad		Interruptor	
T	Temperatura			Transmisión	
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Análisis Mecánico, Vibración			Válvula, Dámpfer, Persiana	
W	Peso, fuerza		Pozo		
X	No clasificado	X Axis	No clasificado	No clasificado	No clasificado
Y	Evento, estado or Presencia	Y Axis		Relay, Compute, Convert	
Z	Posición, Dimensión	Z Axis		Driver, Actuador, Elemento final control no clasificado	

Figura 6.1. Taula de lletres identificadores per PI&D (Font pròpia)

6.2. Implementació del Programa del PLC

Com s'ha pogut observar al llarg del punt de Programa del Controlador, el llenguatge utilitzat correspon al llenguatge Ladder. Per aquest llenguatge ha estat necessari seguir la normativa IEC 61131 apartat 3, la qual tracta els llenguatges de programació de PLC i els estàndards de sintaxis que aquests han de seguir per una correcta comprensió. Aquesta normativa no aplica només al llenguatge Ladder, sinó també a llenguatges com FBD (Function Block Diagram) o SFC (Sequential Function Chart).

6.3. Programació del SCADA

Per altra banda la creació d'un sistema SCADA també requereix l'aplicació d'una normativa específica. En aquest cas la normativa seguida es la guia d'interfície de supervisió Gedis. Aquesta mostra un mètode concret pel disseny de sistemes de control i supervisió industrial com el d'aquest treball. Mostra els dissenys de les pantalles i el contingut de les mateixes. Consta de 10 indicadors basats en l'arquitectura, distribució de pantalles, navegació d'aquestes, ús del color, ús de fonts i informació textual, estatus dels equips i esdeveniments del procés, alarmes o gràfics, entre d'altres temes.

7. Anàlisi de l'impacte ambiental

Una part fonamental a l'hora de realitzar una instal·lació com la que es presenta en aquest projecte és l'anàlisi de l'impacte ambiental. En aquest tema apareixen diversos factors segons el tipus d'elements que s'utilitzin en el procés o els materials de fabricació.

Per una banda, és important tenir una visió dels efectes de la producció i ús d'aire comprimit, utilitzats pels cilindres pneumàtics. Segons un document proporcionat per l'empresa Parker, hi ha quatre fonts de contaminació en un sistema d'aire comprimit. La font 1 consisteix en vapor d'aigua i d'oli, brutícia atmosfèrica i microorganismes, tots d'ells provinents dels compressors. A més dels contaminants que es capten de l'atmosfera, el propi compressor d'aire està lubricat d'oli, el qual aporta petites quantitats de vapor i aerosols d'oli. Finalment, les fonts 3 i 4 consisteixen en els dispositius d'emmagatzematge i canonades de distribució d'aire comprimit, on existeix la presència d'òxids i incrustacions.

Per altra banda, s'ha de tenir en compte els efectes ambientals del plom. Aquest no només pot arribar a ser tòxic per les persones segons la quantitat d'exposició, sinó que també els compostos derivats d'aquests queden en suspensió i poden ser transportats, afectant a l'atmosfera, el terra i l'aigua.

Conclusions

Com a conclusió per aquest treball m'agradaria mostrar les meves sensacions respecte el treball realitzat, els objectius complerts i les dificultats i frustracions que he tingut al llarg d'aquests últims mesos.

Per una banda, estic content amb la feina feta. Crec que els objectius proposats a principi d'aquest document han estat aconseguits en major mesura. És cert que l'activació dels senyals dels polsadors des de el sistema SCADA no ha acabat funcionant, però es podria considerar un defecte menor en comparació amb tots els elements treballats en el projecte. Segons el meu punt de vista, s'ha aconseguit crear un bon contingut que comporta una alta satisfacció personal. No només considero que el contingut pràctic compleix les expectatives, sinó també penso que s'ha fet un bon treball de recerca, filtratge i comprensió de noves idees i conceptes que he anat aprenent. També es satisfactòria la memòria desenvolupada, ja que crec que està tot el desenvolupament del treball ben explicat, de manera clara i sincera. És necessari mencionar que sempre es pot aprofundir més en detall en un tema o millorar el contingut d'automatització del procés dut a terme en aquest projecte.

Per altra banda, és necessari comentar les dificultats que han sorgit durant la creació del contingut. He tingut diversos problemes relacionats amb els softwares, on s'inclouen problemes de versions o fallades que ha tingut la màquina virtual. Per exemple, com a conseqüència d'aquests problemes, he hagut de repetir el disseny del sistema SCADA fins a tres cops, cosa que no només ha comportat retards en el desenvolupament del tram final del projecte, sinó que també ha creat frustracions que no han ajudat. No obstant, crec que he aconseguit superar aquestes dificultats gràcies al desig d'elaborar un bon estudi i aportar una bona solució al projecte.

Finalment, considero que l'elaboració d'aquest treball m'ha beneficiat en diverses coses. Per un costat, he après com és la metodologia de treball de projectes com aquests i he pogut aprofundir en conceptes de l'automatització de sistemes que desconeixia i reforçar el coneixement que ja tenia. També m'ha permès conèixer els límits personals referents a la capacitat de treball i de conviure amb frustracions. Per tot això i tenint en compte tot el projecte desenvolupat, es pot concloure amb que s'ha assolit les previsions fixades en el començament del treball.

Pressupost i/o Anàlisi Econòmica

A continuació es mostra una taula amb els costos econòmics considerats per cada una de les tasques per l'elaboració del projecte. Degut a que es un projecte s'ha realitzat únicament a nivell de software, no es consideren costos de hardware ni elements d'automatització. Per càlcul econòmic s'ha trobat adient un pagament de 12 €/h bruts per a un enginyer recent graduat a qui se l'ha encomanat l'estudi i realització d'aquest projecte.

Activitat	Preu/hora	Hores dedicades	Cost (€)
Anàlisi del problema	12 €/h	75	900
Disseny SCADA	12 €/h	135	1620
Disseny programa PLC	12 €/h	160	1920
Disseny Simulació	12 €/h	120	1440
Elaboració de memòria	12 €/h	110	1320
Llicència InTouch			5000
Llicència programes Allen-Bradley			3500
Llicència Factory I/O			1100
TOTAL		600	16800

Taula 0.7. Balanç econòmic (Font pròpia)

Així doncs el preu aproximat del cost del desenvolupament d'aquest projecte correspondria a 16800€.

Bibliografia

[1] Mariona Prado Martínez, "Supervisió, control i simulació d'un procés de fabricació de caixes".

Obtingut de :

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/166591/TFG_Mariona_Prado.pdf?sequence=9&isAllowed=y

[2] Gerard Plana Ferrer, "Supervisió, control i simulació d'un procés químic industrial". Obtingut de :

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/175436/Supervisi%20control%20i%20simulaci%20dun%20proc%20quimic%20industrial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[3] Yeray Utiel Uroz, "Supervisió, control i simulació d'un procés de nitrificació-desnitrificació en una estació depuradora d'aigües residuals". Obtingut de :

[file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Mem%20TFG_Yeray_Utiel_Uroz%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Mem%20TFG_Yeray_Utiel_Uroz%20(1).pdf)

[4] Daniel Castillo Mambrilla, "Supervisió, control i simulació d'un procés de fabricació sobre una cèl·lula robotitzada". Obtingut de :

[file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Mem%20Anexos%20\(1\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Mem%20Anexos%20(1)%20(1).pdf)

[5] Albert Poy Foz, "Supervisió, control i simulació d'un procés de tractament d'un vi jove". Obtingut de :

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/117508/Volum%20Mem%20a8cnica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[6] Alex Barrantes González, "Supervisión, control i simulación para la automatización de un proceso de soldadura láser". Obtingut de :

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/359043/VOLUMEN%20MEMORIA%20CNICA-SUPERVISI%20CONTROL%20SIMULACI%20PARA%20LA%20AUTOMATIZACI%20DE%20UN%20PROCESO%20DE%20SOLDADURA%20L%20SER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[7] "Normativa Treball de Fi d'Estudis de l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est – EEBE". Obtingut de :

https://eebe.upc.edu/ca/estudis/normatives-academiques/documents/eebe_norm_tfe_2020_21_je_2020_07_06_aprov.pdf

- [8] Parker, "Aire comprimido de alta calidad desde su generación a su aplicación". Obtingut de : https://www.parker.com/literature/domnick%20hunter%20Industrial%20Division/Literature%20&%20Documents/174004401_ES_COMPRESSED_AIR_TREATMENT_MSB.PDF
- [9] "Neumàtica : EL PODER DEL AIRE". Obtingut de : <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/mmormarf/files/2015/05/El-poder-del-aire.pdf>
- [10] Document Preu Llicència SCADA. Obtingut de : <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/10257416.pdf>
- [11] El plomo : un problema mediambiental y para la salud. Obtingut de : <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/el-plomo-un-problema-medioambiental-y-para-la-salud-1345680342040.html?noticiaid=1345777559254>
- [12] Pàgina web oficial Atesçi. Obtingut de : <https://www.atesci.com/lead-wire-line.php>
- [13] Web Preu Llicència Factory I/O. Obtingut de : <https://programacionsiemens.com/tienda-de-factory-io/#licencias>
- [14] "Normativa sobre proyectos". Obtingut de : https://kipdf.com/norma-sobre-proyectos_5ae8dd657f8b9a1f048b45c1.html

Annexos

A partir de les següents pàgines es mostrarà el programa del controlador realitzat per aquest projecte.

