



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL DE FINAL DE CARRERA

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

**SUPERVISIÓ, CONTROL I SIMULACIÓ PER L'AUTOMATITZACIÓ D'UN PROCÉS DE
PRODUCCIÓ DE SUPLEMENTS DE PROTEÏNA**



Volum I

Memòria Tècnica

Autor: Carlos Moré Albiol
Director: Javier Francisco Gámiz Caro
Departament: Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial
(ESAI)

Convocatòria: Febrer 2023

AGRAÏMENTS

Donar les gràcies, en primer lloc, a la meva família per la confiança dipositada en mi i els ànims que m'han donat al llarg de tot el treball, ajudant-me quan ho he necessitat i recolzant-me en els moments més durs.

Voldria agrair també als companys i amics de classe que m'han donat consells segons la seva experiència passada per tal que pugui aconseguir el millor resultat possible.

Per acabar, reconèixer la confiança i els coneixements que m'ha proporcionat el professor del projecte, Javier Francisco Gámiz Caro, tant durant la seva realització com des de l'any passat cursant la seva optativa.

RESUM

Com podem veure en l'actualitat donant una ullada ràpida a qualsevol xarxa social, cada vegada hi ha més *influencers fitness* els quals promouen un estil de vida sa i ple d'esport, fet que s'evidencia amb l'augment de persones apuntades al gimnàs en els darrers anys. Aquest nou estil de vida, no només promou l'interès per la pràctica d'esport, sinó que també en els aliments que s'ingereixen, entre ells la proteïna. Aquest macronutrient és per una part el principal involucrat en la recuperació muscular però a més, l'encarregat posteriorment de fer créixer als mateixos músculs. Per tots aquests motius, el negoci de la venda de proteïna com a suplement és un sector de mercat amb molt potencial i per a poder destacar entre els competidors, el més eficient és la reducció del preu final del producte. Per poder fer això realitat, primer s'han de reduir els costos de fabricació, i és aquí on entra l'automatització.

En aquest projecte es pretén dissenyar la supervisió, control i simulació, al no poder-se portar a la pràctica, de l'automatització d'una fàbrica de producció de proteïna de sabors. L'abast s'estén des de la mescla de la proteïna amb els altres sabors fins a l'etiquetatge i empaquetat dels pots produïts.

Per fer-ho possible, el control del procés es programarà en un PLC (Controlador Lògic Programable) de la firma *Allen Bradley-Rockwell Automation* i la supervisió es dissenyarà en un SCADA (Supervisió, Control i Adquisició de Dades) amb el programari *Intouch*, de la marca *Wonderware*. Respecte a la simulació del procés, com ja s'ha esmentat, és més que obvi que per diversos factors és impossible representar el procés a la vida real i és per això que es programarà de forma embeguda al mateix PLC.

RESUMEN

Como podemos ver en la actualidad echando un vistazo rápido a cualquier red social, cada vez hay más *influencers fitness* que promueven un estilo de vida sano y lleno de deporte, hecho que se evidencia con el aumento de personas apuntadas al gimnasio en los últimos años. Este nuevo estilo de vida, no sólo promueve el interés por la práctica de deporte, sino que también en los alimentos que se ingieren, entre ellos la proteína. Este macronutriente es por una parte el principal involucrado en la recuperación muscular pero además, el encargado posteriormente de hacer crecer los mismos músculos. Por todos estos motivos, el negocio de la venta de proteína como suplemento es un sector de mercado con mucho potencial y para poder destacar entre los competidores, lo más eficiente es la reducción del precio final del producto. Para poder hacer esto realidad, primero deben reducirse los costes de fabricación, y es aquí donde entra la automatización.

En este proyecto se pretende diseñar la supervisión, control y simulación, al no poder llevarse a la práctica, de la automatización de una fábrica de producción de proteína de sabores. El alcance se extiende desde la mezcla de la proteína con los demás sabores hasta el etiquetado y empaquetado de los botes producidos.

Para ello, el control del proceso se programará en un PLC (Controlador Lógico Programable) de la firma *Allen Bradley-Rockwell Automation* y la supervisión se diseñará en un SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) con el software *Intouch*, de la marca *Wonderware*. Respecto a la simulación del proceso, como ya se ha mencionado, es más que obvio que por varios factores es imposible representar el proceso en la vida real y por eso se programará de forma embebida en el propio PLC.

ABSTRACT

As we can currently see by taking a quick look at any social network, there are more and more fitness influencers who promote a healthy lifestyle full of sport, a fact that is evidenced by the increase in people joining the gym in recent years. This new lifestyle not only promotes interest in practicing sports, but also in the foods that are eaten, including protein. This macronutrient is, on the one hand, the main one involved in muscle recovery, but also, the one in charge of making the muscles grow. For all these reasons, the business of selling protein as a supplement is a market sector with a lot of potential and in order to stand out from the competition, the most efficient way is to reduce the final price of the product. In order to make this a reality, manufacturing costs must first be reduced, and this is where automation comes in.

In this project it is intended to design the supervision, control and simulation, since it cannot be put into practice, of the automation of a flavored protein production factory. The scope extends from the mixing of the protein with the other flavors to the labeling and packaging of the jars produced.

For this, the control of the process will be programmed in a PLC (Programmable Logic Controller) from the firm Allen Bradley-Rockwell Automation and the supervision will be designed in a SCADA (Supervision, Control and Data Acquisition) with the Intouch software, from the brand Wonderware. Regarding the simulation of the process, as already mentioned, it is more than obvious that due to various factors it is impossible to represent the process in real life and for this reason it will be programmed embedded in the PLC itself.

ÍNDIX MEMÒRIA

AGRAÏMENTS	II
RESUM	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ	1
1.1. Objectius	1
1.1.1. Objectius Secundaris	2
1.2. Motivació.....	2
1.3. Justificació	3
1.4. Abast.....	4
1.5. Antecedents	4
1.6. Estructura de la memòria.....	6
CAPÍTOL 2: ANÀLISI DEL PROBLEMA.....	7
2.1. Descripció del Procés a Automatitzar	8
2.1.1. Química del Procés.....	8
2.1.2. Model del Procés.....	9
2.2. Sistemes de Control	10
2.2.1. Equips	10
2.2.2. Fases del Procés	15
2.2.3. Llaços de Control	16
2.3. Requeriments Funcionals	17
2.4. Requeriments de Disseny.....	18
2.5. Metodologia de Desenvolupament.....	19
2.6. Planificació de les tasques.....	20
2.7. Recursos	22
CAPÍTOL 3: DISSENY I IMPLEMENTACIÓ DE LA SOLUCIÓ	23
3.1. Arquitectura del Sistema de Control.....	23
3.1.1. Hardware del Sistema	23
3.1.2. Software del Sistema.....	23
3.1.3. Vista Global de les Comunicacions.....	24
3.1.4. Comunicacions Scada-Controlador-Procés	24

3.2. Simulació del Procés.....	33
3.2.1. Blocs del Sistema.....	33
3.2.2. Estructura de la Simulació.....	34
3.2.3. Disseny del Codi embegut.....	34
3.3. Descomposició del Problema de Control.....	49
3.4. Codificació dels Elements i Sistemes.....	50
3.5. Definició de les Interfícies del Sistema de Control.....	51
3.6. Definició del fitxer d'intercanvi Controlador-SCADA.....	52
3.7. Programa del Controlador.....	57
3.7.1. Estructura del Programa.....	58
3.7.2. Definició dels Tipus de Dades.....	59
3.7.3. Lògica de Control dels Elements.....	62
3.7.4. Lògica de Control dels Sistemes.....	67
3.7.5. Seqüències de Control.....	68
3.7.6. Regulacions PID.....	74
3.8. Programa del Software Scada.....	79
3.8.1. Arbre de Navegació.....	79
3.8.2. Definició dels Tipus de Dades.....	79
3.8.3. Disseny de les Pantalles de l'Aplicació.....	81
3.8.4. Disseny dels Comandaments.....	87
3.8.5. Scripts.....	93
3.8.6. Disseny de la interfície d'Alarmes del Sistema.....	97
3.8.7. Gestió d'usuaris.....	99
3.8.8. Gràfics d'històrics i tendències.....	100
CAPÍTOL 4: PROVES I RESULTATS.....	103
4.1. Disseny de les proves d'Entrades i Sortides físiques.....	103
4.2. Disseny de les proves de Funcionalitat.....	104
4.3. Disseny de les proves entre Controlador i Scada.....	104
4.4. Resultats de les Probes.....	104
CAPÍTOL 5: NORMATIVA.....	107
5.1. Metodologia de Desenvolupament.....	107
5.2. Codificació i Identificació.....	107
5.3. Implementació del Programa del PLC.....	108
5.4. Programació del Scada.....	109

CAPÍTOL 6: ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	111
CAPÍTOL 7: CONCLUSIONS	112
PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA	113
BIBLIOGRAFIA	115
ANNEX 1	117

ÍNDIX FIGURES

Figura 2.1. Diagrama P&ID de la planta dissenyat amb Visual Paradigma [2].	10
Figura 2.2. Llaços de control tancs de proteïna i sabors.	16
Figura 2.3. Llaç de control ompliment de pots.	16
Figura 2.4. Llaç de control aigua de neteja.	17
Figura 2.5. Diagrama de Gantt de les tasques del projecte.	22
Figura 3.1. Vista global de les comunicacions del projecte.....	24
Figura 3.2. Configuració PLC virtual (1/3).	25
Figura 3.3. Configuració PLC virtual (2/3).	25
Figura 3.4. Configuració PLC virtual (3/3).	26
Figura 3.5. Configuració i creació del protocol DDE al SCADA.	27
Figura 3.6. Exemple configuració d'una variable al SCADA.....	27
Figura 3.7. Selecció del driver virtual per a descarregar el programa.	28
Figura 3.8. Pantalla RSLinx amb els dispositius però sense identificar.	28
Figura 3.9. Selecció del camí de descarrega del programa.	29
Figura 3.10. Pantalla del RSLinx amb els dispositius connectats.	30
Figura 3.11. Creació del servidor DDE al RSLinx per l'intercanvi de dades.	30
Figura 3.12. Creació de l'alias DDE.....	31
Figura 3.13. Descarrega del programa des del Studio 5000.	32
Figura 3.14. Llista de variables enllaçades entre PLC i SCADA.	33
Figura 3.15. Estructura de la simulació.	34
Figura 3.16. Disseny de la rutina _00_MainRoutine	35
Figura 3.17. Disseny de la subrutina _10_Weight_sensors (1/3).....	36
Figura 3.18. Disseny de la subrutina _10_Weight_sensors (2/3).....	36
Figura 3.19. Disseny de la subrutina _10_Weight_sensors (3/3).....	37

Figura 3.20. Add-On Accumulated_flow.	37
Figura 3.21. Add-On Weight_sensor.	38
Figura 3.22. Subrutina _20_Flow_1.	39
Figura 3.23. Add-On Delay.	39
Figura 3.24. Add-On FirstsOrder.	39
Figura 3.25. Add-On Oscillation.	40
Figura 3.26. Subrutina _21_Flow_2.	41
Figura 3.27. Subrutina _22_Flow_3.	41
Figura 3.28. Subrutina _30_Mixer_system (1/3).	42
Figura 3.29. Subrutina _30_Mixer_system (2/3).	42
Figura 3.30. Subrutina _30_Mixer_system (3/3).	43
Figura 3.31. Add-On Water_bomb.	43
Figura 3.32. Add-On On_Off_Valve.	44
Figura 3.33. Subrutina _40_Presence_sensor (1/2).	45
Figura 3.34. Subrutina _40_Presence_sensor (2/2).	46
Figura 3.35. Subrutina _50_Bottle_filling.	47
Figura 3.36. Subrutina _60_Bottle_capping.	47
Figura 3.37. Subrutina _70_Bottle_labeling.	48
Figura 3.38. Subrutina _80_Alarm (1/2).	48
Figura 3.39. Subrutina _80_Alarm (2/2).	49
Figura 3.40. Add-On Basic Alarm.	49
Figura 3.41. Esquema de la direccionalitat de les senyals.	50
Figura 3.42. Exemple de codificació d'una variable; ordre mixer 01 en servei.	51
Figura 3.43. Pantalla de comandament de la FCV_01 com a exemple.	52
Figura 3.44. Panell de control del sistema.	52
Figura 3.45. Estructura programa PLC.	59
Figura 3.46. UDTs del projecte.	60
Figura 3.47. Exemple variables amb estructura UDT.	62
Figura 3.48. Rutina _00_Main_Routine (1/2).	62
Figura 3.49. Rutina _00_Main_Routine (2/2).	63
Figura 3.50. Subrutina _20_Tanks.	63
Figura 3.51. Subrutina _30_Flow_Control_Valve.	64
Figura 3.52. Subrutina _40_Bomb.	64
Figura 3.53. Subrutina _50_On_Off_Valve.	65

Figura 3.54. Subrutina _60_Dryer.	65
Figura 3.55. Subrutina _70_Mixer.	66
Figura 3.56. Subrutina _80_Sensors.	67
Figura 3.57. Subrutina _90_Machines.	67
Figura 3.58. Estructura de control.	68
Figura 3.59. Rutina _00_Main_Routine.	68
Figura 3.60. Subrutina _10_Batch (1/2).	69
Figura 3.61. Subrutina _10_Batch (2/2).	71
Figura 3.62. Subrutina _20_Mixer_system (1/2).	71
Figura 3.63. Subrutina _20_Mixer_system (2/2).	72
Figura 3.64. Subrutina _30_Conveyor (1/2).	72
Figura 3.65. Subrutina _30_Conveyor (2/2).	73
Figura 3.67. Lògica dels primers 4 PIDs.	75
Figura 3.68. Configuració PID tanc de proteïna.	75
Figura 3.69. Lògica de control del PID de l'aigua de neteja.	76
Figura 3.70. Lògica de control del PID d'omplir pots.	76
Figura 3.71. Comportament PID tanc de proteïna.	77
Figura 3.72. Comportament PID tancs de sabors.	78
Figura 3.73. Comportament PID aigua de neteja.	78
Figura 3.74. Comportament PID omplir pots.	79
Figura 3.75. Exemple configuració de variable tipus I/O Real amb Log Data activat.	80
Figura 3.76. Configuració de variable com a alarma.	80
Figura 3.77. Estructura del SCADA.	81
Figura 3.78. Pantalla d'inici de sessió.	82
Figura 3.79. Pantalla amb instruccions.	82
Figura 3.80. Pantalla principal.	83
Figura 3.81. Pantalla de configuració de comandes.	84
Figura 3.82. Pantalla de recomanacions.	85
Figura 3.83. Pantalla resum de comanda.	85
Figura 3.84. Pantalla alarma falta de proteïna o sabors.	86
Figura 3.85. Icona d'accés a la pantalla de l'autor.	86
Figura 3.86. Pantalla amb nom del autor i data.	86
Figura 3.87. Plantilla per les pantalles dels tancs.	87
Figura 3.88. Plantilla per les pantalles de les vàlvules.	88

Figura 3.89. Pantalla de l'assegador.....	88
Figura 3.90. Plantilla per les pantalles de la bomba i el motor.....	89
Figura 3.91. Pantalla de la vàlvula tot o res.	90
Figura 3.92. Pantalla del mesclador.	90
Figura 3.93. Plantilla per les pantalles de la tapadora i l'etiquetadora.	91
Figura 3.94. Icones per accedir a diferents pantalles.....	91
Figura 3.95. Icones per accedir a diferents pantalles.....	92
Figura 3.96. Pantalla de simulació del mixer.....	93
Figura 3.97. Script de l'aplicació (1/2).....	94
Figura 3.98. Script de l'aplicació (2/2).....	95
Figura 3.99. Script d'indexació de la pantalla dels tancs.....	96
Figura 3.100. Script icona tanc de proteïna.	96
Figura 3.101. Script per iniciar i tancar sessió.....	97
Figura 3.102. Visualitzador alarmes actives.	97
Figura 3.103. Visualitzador d'històric d'alarmes i esdeveniments.....	98
Figura 3.104. Icona d'accés a la pantalla d'alarmes.....	98
Figura 3.105. Punt de canvi d'usuari i icona de tancar sessió.....	99
Figura 3.106. Configuració del Timeout.	100
Figura 3.107. Icona d'accés a la pantalla dels gràfics.....	100
Figura 3.108. Pantalla d'elecció del gràfic a visualitzar.....	101
Figura 3.109. Gràfic històric pesos dels tancs del sistema.....	101
Figura 3.110. Gràfic històric posició de les vàlvules.....	102
Figura 3.111. Gràfic històric pes dels pots.	102
Figura 4.1. Paràmetres de configuració del mòdul d'entrades i sortides.	103
Figura 4.2. Mòdul d'entrades i sortides.	103
Figura 4.3. Resultat de la prova entrades i sortides físiques.	105
Figura 4.4. Resultat prova de funcionalitat.	105
Figura 4.5. Resultat de les proves de comunicació controlador – SCADA.	106
Figura 5.1. Sistema de codificació de la ISA S5.5.	108
Figura 5.2. Indicadors de la guia GEDIS.....	110
Figura Annex 1.1. Subrutina _10_Input (1/3).....	117
Figura Annex 1.2. Subrutina _10_Input (2/3).....	118
Figura Annex 1.3. Subrutina _10_Input (3/3).....	119
Figura Annex 1.4. Subrutina _99_Output (1/2).....	120

Figura Annex 1.5. Subrutina _99_Output (2/2).....	121
Figura Annex 1.6. Add-On Order_set.....	121
Figura Annex 1.7. Add-On Global_variables.....	122
Figura Annex 1.8. Add-On Collective_Batch.....	123
Figura Annex 1.9. Add-On Variable_registration.....	123
Figura Annex 1.10. Add-On Individual_batch (1/2).....	124
Figura Annex 1.11. Add-On Individual_batch (2/2).....	125
Figura Annex 1.12. Pantalla de simulació de les vàlvules.....	125
Figura Annex 1.13. Pantalla de simulació dels sensors.....	126
Figura Annex 1.14. Pantalla de simulació del dryer i la vàlvula tot o res.....	126
Figura Annex 1.15. Pantalla de simulació del motor i la bomba.....	127
Figura Annex 1.17. Elements ocults de la pantalla main (1/2).....	127
Figura Annex 1.18. Elements ocults de la pantalla main (2/2).....	128

ÍNDIX TAULES

Taula 2.1. Llistat d'equips per a la planta de proteïna.....	11
Taula 2.2. Senyals de camp de l'element TANK.....	12
Taula 2.3. Senyals de camp de l'element FCV.....	12
Taula 2.4. Senyals de camp de l'element CONVEYOR.....	12
Taula 2.5. Senyals de camp de l'element MACHINES.....	13
Taula 2.6. Senyals de camp de l'element DRYER.....	13
Taula 2.7. Senyals de camp de l'element MIXER.....	13
Taula 2.8. Senyals de camp de l'element MB.....	14
Taula 2.9. Senyals de camp de l'element V.....	14
Taula 2.10. Senyals de camp de l'element SENSORS (1/2).....	14
Taula 2.11. Senyals de camp de l'element SENSORS (2/2).....	14
Taula 2.12. Taula de requisits funcionals.....	18
Taula 2.13. Taula de requisits de disseny.....	19
Taula 2.14. Taula de les tasques realitzades i el temps emprat.....	21
Taula 3.1. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element BOMB.....	53
Taula 3.2. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element MACHINES.....	53
Taula 3.3. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element CONVEYOR.....	54

Taula 3.4. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element DRYER.	54
Taula 3.5. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element FCV.....	55
Taula 3.6. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element MIXER.	56
Taula 3.7. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element SENSORS.	56
Taula 3.8. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element TANK.	57
Taula 3.9. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element V.....	57
Taula 3.10. UDT BATCH.	61
Taula 3.11. Valors del paràmetre Kp i Kd dels PIDs.....	76
Taula 8.1. Taula de costos dels equips de la planta.	113
Taula 8.2. Taula de costos de l'automatització de la planta.	114
Taula 8.3. Taula del cost total del projecte.	114

CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ

Per donar la benvinguda a aquest projecte, en aquests primers punts es veurà quins són els objectius que es persegueixen, quina és la motivació que ha portat a triar aquest tema en concret, així com altres aspectes que permetran entendre completament l'elecció feta per l'alumne.

1.1. Objectius

Com tot bon projecte que es pretén portar a terme, ha de tenir un seguit d'objectius els quals s'avaluaran un cop finalitzat per veure si s'han aconseguit assolir i en cas de no haver sigut així, quines són les raons que ho han impedit.

El primer i principal propòsit pel qual es decideix fer aquest projecte és per aprendre. Tot i que sigui la resposta més obvia i bàsica que es pot donar, és la veritat. Es busca ampliar els coneixements prèviament adquirits en altres assignatures al llarg de la carrera (s'entrarà més en profunditat en l'apartat 1.5.) en programació de PLC i en el disseny d'interfícies SCADA. A més de forma indirecta, també profunditzarem en altres aspectes del seu entorn com la seguretat dels sistemes o les comunicacions per entrellaçar els diferents programes que intervenen en el funcionament.

De manera més específica, en aquest projecte l'objectiu pràctic és aconseguir desenvolupar una simulació d'una planta industrial automàtica de producció de proteïna de sabors.

Per poder efectuar això, es treballarà amb 4 programes informàtics. Els dos principals són el *RsLogix 5000 Enterprise* i el *InTouch Wonderware*, el primer per programar el codi i el segon per dissenyar el SCADA. Els dos restants s'encarreguen de la comunicació entre els dos programes inicials.

Pel que fa al funcionament de la planta, els objectius són aconseguir una automatització completa del procés, on l'usuari tan sols hagi d'intervenir al començament per posar els elements en servei, així com per programar les comandes de proteïna que vol produir a la fàbrica.

De manera resumida, el procés a seguir, consta de les següents etapes. Abans de res, el que s'ha de fer és netejar la màquina mescladora de possibles restes de processos anteriors, amb l'objectiu de no barrejar diferents sabors. Això es portarà a terme amb dues passes, la primera serà omplir el tanc amb aigua per tal que es netegi, i la segona assecant el tanc i deixant-ho llest per funcionar. Un cop fet, i coneixent el sabor elegit per la tirada de lots que es vol obtenir, s'obriran unes vàlvules connectades, la primera al tanc de proteïna, i la segona al tanc de sabor corresponent, i a través d'unes canonades es portarà el material cap a la màquina barrejadora. Allà romandrà el material uns quants segons per donar temps a què la barreja es produeixi correctament. Quan es detecti que la barreja ha finalitzat, s'iniciarà la cinta transportadora que portarà els pots. En el moment en què el sensor ubicat al costat de la màquina barrejadora en detecti un, la cinta s'aturarà i una vàlvula connectada a la màquina barrejadora s'obrirà i deixarà caure el producte fins a omplir el pot. Un cop ple, la cinta tornarà a funcionar fins que el següent sensor la torni a aturar. Aquest cop sota la màquina tapadora, la qual com és previsible,

s'encarregarà de tancar el pot. Finalitzat, de nou arrencarà la cinta fins que el sensor ubicat a la màquina etiquetadora la faci aturar. Una vegada etiquetat, el pot es guardarà en una caixa que quan arribi a un nombre concret d'unitats, es tancarà i es guardarà en un camió, preparada ja per ser comercialitzada.

1.1.1. Objectius Secundaris

De manera paral·lela als objectius directes o de major pes esmentats anteriorment, es poden destacar un parell d'objectius secundari pels quals s'ha escollit acomplir aquest projecte.

El primer d'ells és ni més ni menys per les portes que obre tenir coneixements en el sector de la programació de PLC i disseny de SCADA, en el que fa al món laboral. Fent una ràpida cerca en diferents portals de treball com poden ser *Infojobs*, *Jobtoday*, etc., trobem una llarga llista d'ofertes amb relació a aquestes habilitats. Per tant, en un món en el qual cada dia i a més competència i amb llocs inestables que van desapareixent a causa de noves tecnologies i de l'automatització, és una molt bona opció profunditzar en aquesta classe de sectors amb una oferta que no disminueix sinó, més bé, va cada cop més a l'alça.

Per una altra banda, com s'ha pogut veure a la portada del treball, el grau que he cursat durant aquests anys a l'EETBE ha sigut el d'Electrònica Industrial i Automàtica. Per tant, juntament amb tota la resta d'objectius mencionats prèviament, he considerat que una bona manera de posar el punt final era realitzant un TFG que englobes els conceptes apresos, especialment els d'automàtica, al llarg de la carrera. D'aquesta forma a més, es demostra que l'elecció escollida ara ja fa més de quatre anys, tot i les dubtes que la van envoltar, va ser la correcta!

1.2. Motivació

Segons el meu punt de vista, ja no tan sols en projectes acadèmics importants com pot ser un TFG, però sinó en reptes i objectius que es marca una persona al llarg de la seva vida, la motivació és una peça clau moltes vegades a l'hora d'iniciar-los, no obstant això, considero que la veritable raó que farà dependre si un projecte finalitza o no amb èxit, és la constància. Això és així perquè, aquesta motivació que ens va impulsar en un començament, és més que probable que no la tinguem cada dia, i és aquí on entra la constància i la disciplina per fer-nos actuar de la manera que hauríem de fer-ho tot i a no sentir-se motivats aquell dia.

Tot i això, crec que sí que es pot esmentar un parell de punts en els quals es basarà aquesta motivació inicial que s'ha comentat a més de servir-nos com a recordatoris per a mantenir-nos constants en el treball.

El primer fa referència al que s'ha explicat en l'apartat anterior d'objectius secundaris. Estem parlant de la possibilitat d'en un futur, acabar treballant en un ambient relacionat amb la programació de PLC i SCADA. Per tant, existeix la motivació present d'ampliar els coneixements al màxim en aquests camps per estar preparat de la millor manera. Una frase que s'escolta molt sovint és la de què s'ha d'evitar en la mesura del possible tancar-se portes, el que jo pretenc aquí més bé és obrir-ne de noves!

Per una altra banda, i de manera una mica més personal, trobem l'impuls de superació que portem dintre moltes persones. Un impuls per demostrar-nos a nosaltres mateixos que som

capaços de fer tot allò que ens proposem sempre que ens esforcem i treballem per aconseguir-ho.

1.3. Justificació

Per entendre el perquè s'ha escollit aquest tipus de projecte, així com, la idea en concret en la que aquest es basa, és a dir, perquè una fàbrica de producció de proteïna, s'ha de tenir en compte diferents conceptes que s'aniran comentant a continuació.

En primer lloc, començant pel més general, l'elecció de fer un TFG relacionat amb l'automatització d'un procés industrial va venir després d'una llarga comparació amb diferents propostes entre les quals es trobaven la domotització d'un habitatge i el disseny d'un vehicle autònom. La primera proposta, tot i que considero que és un tema molt interessant i, probablement, el futur dels habitatges, va ser descartada perquè al llarg de la carrera ja havia realitzat en més d'una ocasió projectes semblants i preferia descobrir un nou sector. Pel que fa a l'opció del vehicle autònom, d'igual manera que anteriorment, considero que és el futur i a més m'agraden molt els cotxes, però vaig acabar decantant-me per l'automatització, tant per obtenir coneixements en un entorn que desconeixia (PLC i SCADA) i em cridava molt l'atenció, com pel gran ventall de possibilitats laborals que ofereix.

Abans de continuar, cal fer un petit pas enrere per explicar que abans d'elegir entre les diferents propostes de TFG esmentades amb anterioritat, la meua intenció inicial era dur a terme el projecte en una empresa. Això és així, ja que per aquell moment em trobava cursant unes pràctiques curriculars, però, a causa de diversos contratemps, no es va poder portar a terme. No va ser fins a principis de febrer quan em vaig decantar finalment pel projecte de l'automatització i un cop escollit, el primer que vaig fer va ser posar-me en contacte amb el Javier, per poder rebre algun consell. Vam valorar conjuntament la decisió, i vam arribar a la conclusió que el millor que podia fer era posposar el TFG pel quadrimestre d'hivern del pròxim any i durant el quadrimestre de primavera que estava a punt de començar, cursar l'assignatura optativa ISA (s'entrarà en més detall en l'apartat 1.5.).

Finalment, la idea d'una fàbrica de producció de proteïna com a suplement alimentari, va sorgir exclusivament d'un dels meus hobbies preferits, anar al gimnàs. El món que l'envolta no es limita tan sols a l'exercici, una bona part del treball necessari que s'ha de fer per aconseguir els resultats desitjats, prové d'una correcta alimentació. Dintre d'aquest punt, hi ha molts conceptes a analitzar, però un dels aspectes que s'ha generalitzat més i que, per tant, el seu mercat es troba en constant creixement, és el consum de proteïna en pols. D'aquí es va anar definint i a poc a poc es va concretar els processos pels quals hauria de passar la proteïna, les màquines i sensors amb què hauria de comptar la fàbrica, els diferents modes de funcionament i més característiques que veurem detallades en el següent apartat 1.4.

1.4. Abast

Arribats a aquest punt, ja ens podem endinsar en els detalls i les característiques que formen el projecte en qüestió. S'esmentarà tot seguit les diferents etapes de funcionament, els equips que intervenen, les funcions disponibles, entre d'altres.

El primer pas que s'ha de fer de manera obligada el primer cop que s'inicia l'aplicació és iniciar sessió amb un dels usuaris definits que n'hi ha. Un cop l'usuari es registra, veurà una pantalla principal des de la qual podrà accedir a qualsevol altra pantalla i funció del sistema.

Per posar en marxa el sistema s'ha de seguir un seguit de passes, les quals han sigut descrites prèviament al primer apartat d'aquest capítol, però que ara veurem amb més detall. La primera d'elles és posar tots els elements del sistema en servei. Es fa primer clicant sobre la icona de l'element i un cop se'ns obri la pantalla emergent amb les seves ordres i estats, clicar sobre l'ordre de servei. S'apreciarà com l'estat de servei passa a estar de color verd, indicant que l'ordre s'ha executat correctament. El següent pas es du a terme des del panell de control ubicat a la dreta de la pantalla principal. Aquí és on es configura els detalls de la comanda que es vol realitzar. El sistema ens dona un ventall d'opcions ampli per poder elegir quin sabor, o mescla de sabors volem pels pots a fabricar. A més, s'ha d'elegir la quantitat de lots que es volen produir (cada lot són 5 pots) i la concentració de proteïna que es desitja que portin aquests pots. El programa ens oferirà un seguit de recomanacions per si l'usuari està un mica perdut respecte al tema de la concentració que hauria de portar cada pot idòniament. Quan s'acaba de fer la comanda, hi ha l'opció de comprovar si s'ha introduït correctament o si el sistema l'ha llegit tal com es pensa que s'ha introduït. Un cop verificada la comanda, es polsa el botó *start*, i ens sortirà una pantalla emergent amb la quantitat de proteïna o sabor que és necessari introduir als tancs per tal de poder fabricar la comanda actual. Aquesta última part la fem clicant sobre la icona de cada tanc i sobre l'ordre d'afegir quantitat. Un cop estigui tot correcte, es torna a polsar el botó d'inici i el sistema començarà el procés de fabricació. A mesura que es vagin acumulant pots completats, aniran apareixent caixes tancades sobre un palet ubicat a sota a la dreta de la pantalla principal. Quan el lot es finalitzi, apareixerà una icona d'un camió simulant que el producte ja està llest per ser comercialitzat.

Existeix l'opció d'aturar el sistema en qualsevol moment mitjançant el botó *stop* que hi ha al panell de control. Si se'n fa ús d'aquest, per prosseguir la marxa del sistema s'haurà de clicar sobre el botó *resume* que hi ha just a sota.

Com el projecte no es pot portar a la pràctica en el món real a causa de molts factors, entre ells i principalment, l'econòmic, s'ha inclòs també la possibilitat de forçar alarmes en la majoria dels equips per veure com respondrien aquests en situacions que poguessin succeir en cas que la planta sí que fos real.

1.5. Antecedents

Ara que ja coneixem els objectius del projecte, les raons que faran que siguem constants en la seva execució així com la profunditat que es pretén assolir, és moment per donar una petita ullada al passat i entendre quins motius han recolzat algunes de les accions i motivacions que hem vist en apartats anteriors.

Per la banda més personal, del que m'agradaria deixar constància en aquest punt és de l'optativa esmentada en el primer apartat d'aquest capítol, el títol era Integració de Sistemes Automàtics (ISA). En la seva guia docent vaig poder apreciar que se centrava en programació de PLC i disseny de SCADA. Pel meu interès a aprendre aquests coneixements, vaig prendre la decisió de cursar-la tot i que en la meua situació acadèmica no era necessari, ja que ja havia completat tots els crèdits optatius requerits. Abans d'entrar-hi de ple en els continguts i en l'experiència adquirida, mencionar també que quan vaig parlar per primer cop amb el Javier per comentar el tema del TFG, ell també em va recomanar cursar primer aquella assignatura i ja després afrontar el projecte.

Gràcies a aquesta assignatura, he pogut establir una base sòlida de coneixements que tot i haver vist feia anys en altres assignatures de la carrera, havien quedat en el fons de la meua memòria. Vaig poder entendre la veritable importància de l'automatització avui dia i la quantitat de possibilitats laborals que ofereix. Més tècnicament, vaig aprendre consells de programació a l'hora d'estructurar el codi, eines útils per facilitar i agilitzar el treball, diferents formes de dissenyar una pantalla SCADA, detalls per fer-ho més intuïtiu per l'usuari, en definitiva el que vaig aconseguir va ser un conjunt d'experiència i bones pràctiques que em permetran executar el projecte d'una millor manera.

A més, vaig verificar el meu interès per la programació així com pel disseny d'interfícies SCADA, ja que tot i que havia sigut la meua elecció, a vegades les coses no són com esperes i acaben decebent. Per sort no va ser el cas!

Pel que fa als temes d'automatització industrial i rellevància de la proteïna com a suplement crec els antecedents que els acompanyen són de sobres coneguts per tothom així que tan sols faré una breu explicació. Sobre l'automatització de la indústria, és un requisit pràcticament indispensable avui dia per a qualsevol empresa que pretengui ser competitiva en el seu sector. Això és així, ja que entre els principals avantatges que presenta es troba un augment de la productivitat i una reducció de costos de producció, les quals possibiliten una disminució final dels preus del producte. A conseqüència de tenir preus més reduïts, s'atrauen més clients i s'augmenten les vendes, el que porta a l'objectiu principal de qualsevol empresa, augmentar els beneficis.

En referència a la proteïna com a suplement, està més que demostrat que la ingesta de proteïna ajuda a la recuperació muscular i posteriorment al creixement dels mateixos músculs. De manera natural es podria aconseguir la quantitat que un adult necessita prendre al llarg d'un dia, el problema seria ser capaç de mantenir-ho durant un període de temps llarg. Això és a causa del fet que molts dels aliments que presenten grans percentatges de proteïna en els seus valors nutricionals, tenen un cost molt elevat. Per una altra banda, la quantitat que hauríem de menjar d'aquests aliments seria molt elevada i es faria molt pesat i probablement causaria indigestions. És per totes aquestes raons que la suplementació de proteïna es presenta com una tan bona alternativa en ser molt més econòmica i molt més fàcil d'ingerir.

1.6. Estructura de la memòria

Per concloure aquest primer capítol, es farà una descripció de l'ordre escollit per estructurar el següent informe. Tot el que s'explica en els dos pròxims paràgrafs probablement ja ho haureu vist, ja que és previ a l'apartat 1.6., tot i això, es comentarà per si de cas no s'ha anat en ordre.

El primer que es troba a la memòria és el resum del projecte en diferents idiomes, amb l'objectiu de fer una molt breu introducció i situar al lector més enllà del títol. Seguidament, trobem els agraïments, per tenir un petit detall amb tota aquella gent que ha ajudat a fer possible aquest gran projecte.

El primer capítol és la introducció. En ell s'expliquen els objectius que es pretén assolir, el perquè de la temàtica escollida, quines són les motivacions que més ajudaran a ser consistents en el treball així com l'abast del projecte.

El segon capítol tracta l'anàlisi del problema. S'entra en detall en el procés a automatitzar, els equips amb els quals comptarà i el seu control així com els requisits que han de complir per a funcionar. A més, es veu al final del capítol diversos apartats dedicats a explicar la planificació i organització del projecte.

El tercer capítol es titula disseny i implementació de la solució. És el més llarg de tots. El primer que s'explica són les comunicacions entre els diferents programes. Seguit es detalla tot el programa de la simulació. Més endavant s'entra en detall en el programa de control, veient les variables definides, l'estructura i els sistemes de control entre d'altres. Per acabar el capítol, es detalla tot el relacionat amb el SCADA, és a dir, pantalles, comandaments, scripts, usuaris, etc.

El quart capítol és el de proves i resultats. Com el seu nom indica, en ell s'exposen les proves realitzades per comprovar el funcionament del programa i les comunicacions.

El cinquè capítol analitza la normativa. Es veu tot el relacionat amb les normes que envolten el món de la programació PLC i les interfícies SCADA.

El sisè capítol s'anomena anàlisi de l'impacte ambiental. Fem un breu resum de les accions emprades en la programació de la planta per tal de minimitzar la seva petjada digital, a la vegada que donem uns consells de les regles que haurien de complir els equips per ser més ecològics.

El setè i últim capítol són les conclusions. Es descriuen les diverses conclusions un cop finalitzat el projecte i es comparen amb els objectius inicialment definits al començament d'aquest, juntament amb una breu opinió de l'autor.

A continuació de les conclusions, afegim l'apartat del pressupost i/o anàlisi econòmica. Es detalla aproximadament el preu que suposaria portar a la realitat la planta dissenyada.

Seguit incloem la bibliografia. En ella es deixa constància de les diferents fonts consultades al llarg de tot el treball.

Per últim s'adjunta l'annex. En aquest trobem totes aquelles explicacions que s'han obviat durant la memòria per diversos motius.

CAPÍTOL 2: ANÀLISI DEL PROBLEMA

En el capítol 1 s'han vist les diferents raons, motivacions que han resultat en l'elecció d'aquest treball com a TFG així com els objectius que es persegueixen, entre d'altres. En aquest següent apartat entrarem més en detall en el procés en sí, els requisits que comporta, les fases en les quals es divideix i finalment la planificació que s'ha portat a terme per tal d'obtenir el millor resultat possible.

La utilització de proteïna com a suplement alimentari, com ja s'ha comentat anteriorment, cada vegada està més a l'alça degut a l'augment de la popularitat de l'estil de vida *fitness* que tant es promou a través de les xarxes socials. I és que aquest estil de vida, no només es centra en la pràctica d'esport, sinó que també posa molta atenció a l'alimentació, i aquí és on entra la importància de la proteïna. De manera molt resumida, els principals macronutrients que trobem en els aliments del dia a dia es poden dividir en tres grups, els greixos, els carbohidrats i la proteïna. Els primers, tot i que la majoria de gent pensa que són tots dolents i que s'han d'evitar a tota costa, la realitat és ben diferent, i ajuden a diferents processos del nostre cos, tot i que no hi entrarem més en detall per tal de no desviar-nos massa del tema; els segons són els encarregats de portar energia al cos; i per últim trobem les proteïnes, les quals s'encarreguen de la reparació de cèl·lules així com de la creació de noves, és a dir, ajuden a la recuperació muscular.

Tenint en consideració l'esmentat en el paràgraf anterior, és evident que per a una persona esportista, les proteïnes juguen un paper molt important en el seu procés de millora i per tant si augmenta la quantitat de gent que fa esport, augmentarà també la quantitat de proteïna consumida per la societat.

Tot i així, no és gaire difícil trobar totes aquelles persones no partidàries de l'ús de suplementos de cap mena i que defensen que la proteïna s'obté directament dels aliments del dia a dia, com la carn, el peix, els ous, etc. S'ha de dir, que raó no els hi falta, no obstant, és pràcticament impossible assolir de manera constant uns nivells d'ingesta de proteïna elevats tant sols a base de menjar aliments naturals. Això és així tant per la quantitat d'aliment que s'hauria de menjar, com per el cost que això suposaria. És aquí on entra la indústria de la suplementació, la qual ofereix per un preu molt més econòmic, i sense necessitat de prendre grans quantitats, un aliment amb un percentatge, en aquest cas de proteïna, molt elevat que sí que permet als esportistes arribar a aquells nivells definits pels seus nutricionistes.

Davant d'aquest augment de la demanda de la suplementació, és cert que ha permès a les empreses augmentar les seves vendes, no obstant això, també ha comportat que cada vegada més empresaris es vegin atrets per entrar en aquest sector emergent i poc a poc la competència sigui més elevada.

Com a solució a la alta competència, l'objectiu principal és reduir el cost del producte final, per obtenir així més clients, però per poder fer això realitat, primer s'ha d'aconseguir reduir els costos de producció. La manera més adequada i a la que acudeixen cada dia més empreses passa per l'automatització dels processos. Això comporta en les avantatges habituals que es destaquen quan es parla d'aquest tema on cal destacar principalment la reducció del cost del personal, la reducció dels costos de fabricació i l'augment de la producció.

2.1. Descripció del Procés a Automatitzar

La proposta d'aquest TFG reflecteix aquesta idea que hem anat comentant al llarg de la memòria i automatitza, a través de PLCs i un interfície SCADA, una fabrica de producció de proteïna de sabors. El seu abast va des del moment de la barreja de la proteïna natural fins a l'empaquetament.

De manera una mica més detallada, més endavant entrarem en profunditat, el procés comença amb l'ompliment dels tancs amb proteïna o sabor segons correspongui. Els sabors escollits són xocolata, maduixa i plàtan al ser normalment els més demandats. A través de canonades i amb vàlvules que graduen la quantitat que circula, es transporta la proteïna cap a una màquina barrejadora. Aquesta, prèviament, s'ha netejat primer amb aigua, bombejada fins a la barrejadora per una bomba, i tot seguit s'ha assecat per així no deixar restes d'altres sabors. Un cop feta la barreja, comencen a circular els bots de proteïna i mitjançant una altra vàlvula, es van omplint fins al nivell predeterminat. Un cop omplerts, el bots segueixen per la cinta i arriben a una màquina tapadora on, com el seu nom ens indica, procedeixen a ser taponats. Amb el tap ja posat, segueixen els bots per la cinta transportadora i arriben fins a la màquina etiquetadora, aquí són etiquetats segons el seu sabor. Finalment, quan arriben al final de la cinta són col·locats en caixes i quan ja són suficients caixes, es porta la caixa cap al camió de distribució ja preparada per a la seva comercialització.

A més del que seria íntegrament el procés a automatitzar, també s'ha programat un sistema *batch* que permet definir un seguit de comandes que es posaran en llista i s'aniran executant en el seu ordre respectiu. D'aquesta manera, es pot fer una comanda al començament del dia, i deixar treballant al sistema de manera automàtica durant la resta d'hores simplement amb una petita supervisió que assegurari que no s'està produint cap falla.

2.1.1. Química del Procés

La química que envolta a aquest procés en concret es veu realment molt reduïda i tan sols podem destacar una situació la qual podem considerar més propera a l'àmbit químic.

Aquesta situació es dona en el moment inicial de fer la comanda, ja que a més d'elegir la combinació de sabors amb la qual desitgem que es fabriquin els pots, també s'ha de definir la concentració de proteïna que volem que presentin, representada en tant per cent (%). Per tal de clarificar l'explicació utilitzarem un exemple amb diferents variants que resoldran qualsevol dubte:

- En cas que vulguem produir proteïna d'un sol sabor (xocolata, maduixa o plàtan) si alhora de definir la concentració de proteïna elegim un total d'aquesta del 80%, el 20% restant de la quantitat total del pot serà completat amb el sabor seleccionat.
- Si ara ho volem fer combinant 2 sabors, el percentatge restant del total (el 20% que hem vist abans) serà dividit en aquesta ocasió entre els 2 sabors, és a dir, un 10% per a cadascun.
- En el cas de voler fer una tirada de bots combinant tots tres sabors, succeiria el mateix que en el punt anterior, amb la diferència que aquest cop, en comptes de dividir entre

2, ho faria entre 3, és a dir, continuant amb l'exemple anterior, un 6,66% per a cadascun.

Entenent ara ja si el funcionament, la petita relació que es troba amb la química es produeix al moment de decidir aquest percentatge. Tot i que s'ha decidit deixar a decisió del fabricant la quantitat exacta de proteïna a utilitzar, es obvi que no serà el mateix a nivell de nutrients (a nivell econòmic també però no hi entrarem), el produir un pot on la concentració de proteïna es de tan sols un 70% i que tota la resta es sabor, o un en que la concentració es de més del 90%.

Tenint en consideració això, s'ha fet una petita recerca sobre quins serien el nivell de concentració ideals segons amb quins sabors es treballi, i s'ha trobat el següent. Basat en la informació recollida de la pagina web de *Myprotein* [1], una de les marques de venda de suplementes més reconeguda a nivell nacional, per a la proteïna de xocolata, el nivell ideal es d'un 91% de proteïna; tant per a maduixa com per a plàtan, la concentració ideal es de 96%; i per a la barreja de xocolata i plàtan, el nivell es de 91%. Per a les altres combinacions no ofereixen les dades, però extrapolant la informació que hem trobat, veiem que cap sabor ni combinacions presenten una concentració inferior al 90% ni superior al 96%. A més, la majoria de combinacions amb xocolata tenen un nivell de 91%, pel qual podem considerar la barreja de xocolata i maduixa ideal en aquest nivell.

Per tal de portar tot això comentat a la practica, s'ha dissenyat una pantalla per ajudar a l'usuari a l'hora de seleccionar la concentració, recordant totes aquestes recomanacions que hem vist en el paràgraf anterior.

2.1.2. Model del Procés

El procés a automatitzar s'ha dividit en diverses fases per tal de simplificar la seva programació i el seu disseny.

La primera de les fases contempla tot el relacionat amb la comanda inicial i la posada en marxa del sistema. Gestiona el registre de les diferents variables així com l'execució dels *batches* en l'ordre definit per l'usuari. A més, s'encarrega com s'ha dit, de l'arrencada del procés així com de les possibles aturades i reinicis que poden succeir.

La segona fase es l'encarregada de la correcta execució de tots els elements que envolten i treballen conjuntament amb la maquina barrejadora. Aquí trobem implicats en primera instancia als tancs de proteïna i sabors, junt amb les seves vàlvules corresponents; a la bomba d'aigua, també amb la seva vàlvula; a la màquina assecadora; a la vàlvula tot o res; i a la pròpia màquina barrejadora.

Per últim la tercera fase involucra tot el que succeeix a la cinta transportadora. Abasta des del moment de l'ompliment dels pots a traves d'una vàlvula connectada a la maquina barrejadora, passant per la màquina tapadora, la màquina etiquetadora i tot l'apartat final de l'empaquetament. També te en consideració tots els sensors que es troben en l'entorn de la cinta.

2.2. Sistemes de Control

En el següent diagrama PI&D es mostra el hardware utilitzat per al control del sistema i el disseny d'aquest, així com la nomenclatura dels elements i els llaços de control.

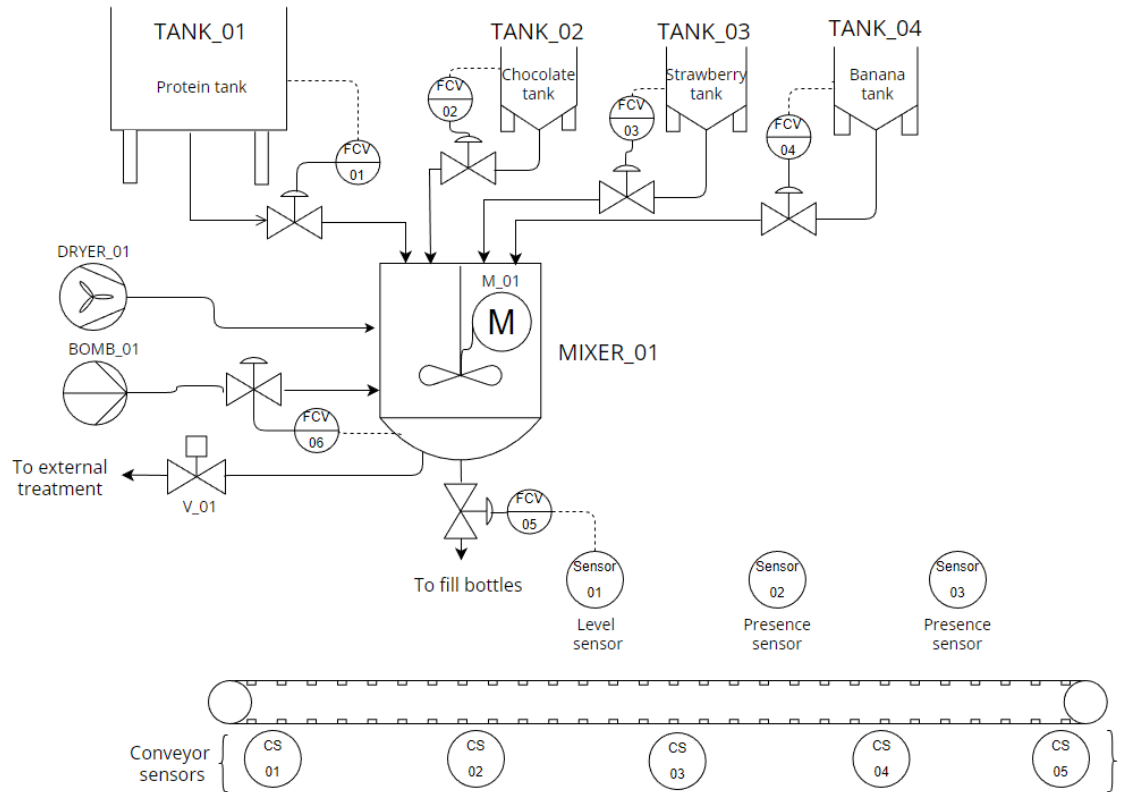


Figura 2.1. Diagrama P&ID de la planta dissenyada amb Visual Paradigma [2].

2.2.1. Equips

A continuació es mostra en una taula els diferents elements que son necessaris en el projecte.

Llistat d'Elements			
Item	Tag element	Tipus element	Descripció
1	TANK_01	TANK	TANC DE PROTEÏNA
2	TANK_02	TANK	TANC DE XOCOLATA
3	TANK_03	TANK	TANC DE MADUIXA
4	TANK_04	TANK	TANC DE PLÀTAN

5	FCV_01	FCV	VÀLVULA 1 REGULADORA DE CABAL
6	FCV_02	FCV	VÀLVULA 2 REGULADORA DE CABAL
7	FCV_03	FCV	VÀLVULA 3 REGULADORA DE CABAL
8	FCV_04	FCV	VÀLVULA 4 REGULADORA DE CABAL
9	FCV_05	FCV	VÀLVULA 5 REGULADORA DE CABAL
10	FCV_06	FCV	VÀLVULA 6 REGULADORA DE CABAL
11	BOMB_01	MB	BOMBA CENTRIFUGA
12	DRYER_01	DRYER	ASSECADORA
13	V_01	V	VÀLVULA TOT/RES
14	MIXER_01	MIXER	MÀQUINA BARREJADORA
15	M_01	MB	MOTOR DE LA HÉLIX BARREJADORA
16	CAPPER_01	MACHINES	MÀQUINA TAPADORA
17	LABELER_01	MACHINES	MÀQUINA ETIQUETADORA
18	S_01	SENSORS	SENSOR DE NIVELL
19	S_02	SENSORS	SENSOR DE PRESENCIA DE TAPS
20	S_03	SENSORS	SENSOR DE PRESENCIA D'ETIQUETA
21	CS_01	SENSORS	SENSOR DE PRESENCIA 1 DE LA CINTA
22	CS_02	SENSORS	SENSOR DE PRESENCIA 2 DE LA CINTA
23	CS_03	SENSORS	SENSOR DE PRESENCIA 3 DE LA CINTA
24	CS_04	SENSORS	SENSOR DE PRESENCIA 4 DE LA CINTA
25	CS_05	SENSORS	SENSOR DE PRESENCIA 5 DE LA CINTA
26	CONVEYOR_01	CONVEYOR	CINTA TRANSPORTADORA

Taula 2.1. Llistat d'equips per a la planta de proteïna.

A més, tot seguit veurem les senyals de camp que interactuen amb aquests equips que acabem de descriure.

TANK_01		TANK_02		TANK_03		TANK_04	
I	O	I	O	I	O	I	O
DI0.1		DI0.2		DI0.3		DI0.4	
DI0.5		DI0.6		DI0.7		DI0.8	
AI11		AI12		AI13		AI14	
	AO11		AO12		AO13		AO14

Taula 2.2. Senyals de camp de l'element TANK.

Les següents senyals que trobem són les relacionades amb les vàlvules de control.

FCV_01		FCV_02		FCV_03		FCV_04		FCV_05		FCV_06	
I	O	I	O	I	O	I	O	I	O	I	O
	AO01		AO02		AO03		AO04		AO05		AO06
	DO1.1		DO1.2		DO1.3		DO1.4		DO1.5		DO1.6
DI1.1		DI1.2		DI1.3		DI1.4		DI1.5		DI1.6	

Taula 2.3. Senyals de camp de l'element FCV.

Seguim ara amb les provinents de la cinta transportadora.

CONVEYOR_01	
I	O
DI2.1	
DI2.2	
DI2.3	
DI2.4	
	DO0.1
	DO0.2

Taula 2.4. Senyals de camp de l'element CONVEYOR.

Els següents dos elements que veiem son la tapadora i l'etiquetadora.

CAPPER_01		LABELER_01	
I	O	I	O
DI2.5		DI2.9	
DI2.6		DI2.10	
DI2.7		DI2.11	
DI2.8		DI2.12	
	DO2.1		DO2.2

Taula 2.5. Senyals de camp de l'element MACHINES.

Les senyals de l'assecador son les que trobem ara.

DRYER_01	
I	O
DI3.1	
DI3.2	
	DO3.2

Taula 2.6. Senyals de camp de l'element DRYER.

Un dels equips que presenta més senyals de camp és el tanc mesclador. A sota les podem veure.

MIXER_01	
I	O
DI3.3	
DI3.4	
DI3.5	
DI3.6	
DI3.7	
AI15	
	DI3.3
	DI3.4
	DI3.5

Taula 2.7. Senyals de camp de l'element MIXER.

Seguim amb les senyals de l'element MB, compost per la bomba centrífuga i el motor de la mescladora.

BOMB_01		M_01	
I	O	I	O
DI4.1			
DI4.2			
	DO4.1		
	DO4.2		
	DO4.3		

Taula 2.8. Senyals de camp de l'element MB.

La vàlvula tot o res interactua amb les senyals que veiem a la pròxima taula.

V_01	
I	O
DI5.1	
DI5.2	
	DO5.1
	DO5.2
	DO5.3

Taula 2.9. Senyals de camp de l'element V.

Finalment, trobem les senyals repartides en dues taules, de tots els sensors que intervenen en la fàbrica.

S_01		S_02		S_03	
I	O	I	O	I	O
DI6.1		DI6.2		DI6.3	
AI16					

Taula 2.10. Senyals de camp de l'element SENSORS (1/2).

CS_01		CS_02		CS_03		CS_04		CS_05	
I	O	I	O	I	O	I	O	I	O
DI7.1		DI7.2		DI7.3		DI7.4		DI7.5	

Taula 2.11. Senyals de camp de l'element SENSORS (2/2).

2.2.2. Fases del Procés

El primer pas del procés es posar tots els elements (les vàlvules, la bomba, l'assecadora, el motor, la mescladora, la tapadora i l'etiquetadora) en servei. Fet això, es pot procedir de dues maneres diferents que comentarem a continuació.

La primera d'elles es afegir directament la proteïna i els sabors al seus tancs corresponents basant-nos en el que creiem que es necessitarà en les següents comandes o si per exemple volem omplir els tancs per complet. Un cop omplerts els tancs, ens dirigim al panell d'execució del sistema i cliquem sobre el botó per crear una nova comanda. Aquí se'ns obrirà una pantalla on podrem definir la configuració de les nostres ordres, podrem elegir el sabor del pot, la quantitat que fabricarem i la concentració de proteïna que ha de contenir. Un cop finalitzada la comanda, tornarem al panell d'execució i polsarem el botó d'iniciar. En aquest moment, si la quantitat afegida prèviament als tancs es suficient per a realitzar tota la comanda, el programa es posarà en marxa, en cas que no, ens sortirà una finestra emergent detallant-nos la quantitat de proteïna addicional que necessitem afegir per arribar al punt d'equilibri.

La segona manera de procedir, comença per anar directament al panell d'execució i configurar la comanda. Així un cop feta, al clicar sobre el boto d'inici, la finestra emergent que hem comentat prèviament que apareix, ens mostrarà la quantitat exacta de proteïna i sabors que hem d'afegir als tancs.

Una vegada hem iniciat el sistema, aquest ja treballa de forma autònoma fins a completar tota la comanda. El primer pas que farà serà netejar la mescladora per evitar barrejar restes de sabors que hagin pogut quedar d'usos anteriors. Això ho fa accionant una bomba que subministra aigua, regulada per una vàlvula, fins a cert nivell al qual quan arriba s'obre una vàlvula per deixar sortir aquest aigua. El següent pas es assecar la maquina, feina de la qual s'encarrega l'assecadora. Un cop tenim net el tanc mesclador, obrim les comportes per permetre que caigui la proteïna i els sabors al seu interior. Quan això finalitza, es torna a tancar i s'acciona el motor per a iniciar la barreja.

Quan ja tenim la proteïna barrejada amb el seu sabor, arrenca la cinta i comença a transportar pots fins que el primer sensor de presència de la cinta detecta i fa que s'aturi. La posició on s'atura es just sota una vàlvula que mitjançant un control PID omple els pots fins a una quantitat concreta. Quan s'arriba a aquesta quantitat, un sensor de nivell ens dona el vistiplau i permet a la cinta prosseguir fins que el pot arriba al següent sensor. En aquesta ocasió, el pot es troba situat sota la màquina tapadora la qual, com el seu nom ens indica, procedeix a col·locar-li una tapa. Un altre sensor de presència ens indica quan la tapa ha sigut correctament col·locada, i habilita de nou el funcionament de la cinta. Finalment un darrer sensor de presència fa aturar la cinta, aquest cop situant al pot juntament amb la màquina etiquetadora, no cal dir la seva funció.

Arribat a aquest punt, el pot ja es troba omplert, tapat i etiquetat, per tant està preparat per empaquetar-se i comercialitzar-se. Quan acaba tota una tirada de pots, si n'hi ha ordres a la cua, el procés es torna a repetir, des de la part on la mescladora es neteja, fins a completar totes les ordres configurades i finalitzar així la comanda inicial.

2.2.3. Llaços de Control

Al llarg del nostre procés podem comptar un total de 6 llaços de control, a continuació els anirem comentant.

Els 4 primers llaços de control tenen la mateixa funcionalitat i estan formats pel sensor de pes que incorporen els tancs de proteïna i sabors i les seves vàlvules respectives. Com diem, la funció de tots ells es la mateixa, i es basa en la regulació del pas de la proteïna o del sabor per tal de fer arribar a la mescladora la quantitat justa de material per completar els pots de la comanda que hi ha en execució. La *Process Variable* (PV) es el pes del tanc i el *Set Point* (SP) s'assigna de manera automàtica segons els resultats dels càlculs del *batch* per tal d'alliberar la suficient quantitat de proteïna/sabor per satisfer les necessitats de la comanda. Per últim la *Control Variable* (CV) es la posició de la vàlvula.

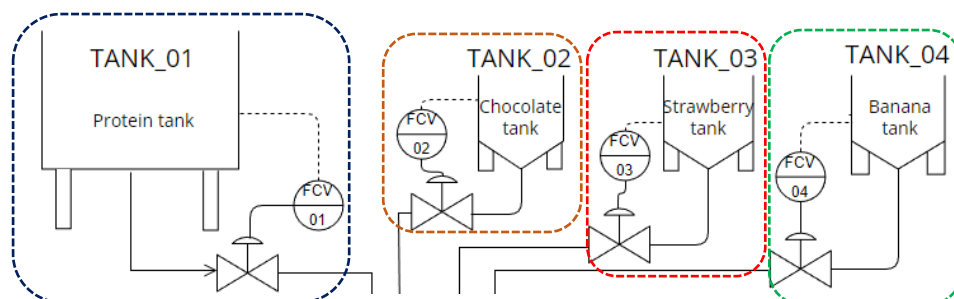


Figura 2.2. Llaços de control tancs de proteïna i sabors.

El cinquè llaç de control el trobem en el procés d'omplir els pots. En ell actuen la vàlvula que hi ha situada a la sortida de la mescladora i el sensor de nivell. Com es obvi, la seva funció es omplir els pots amb la quantitat justa d'aliment per a complir amb la normativa. La PV es el nivell que indica el sensor, amb un SP definit en 5kg per a tots els pots. La variable de control es la posició de la vàlvula número 5.

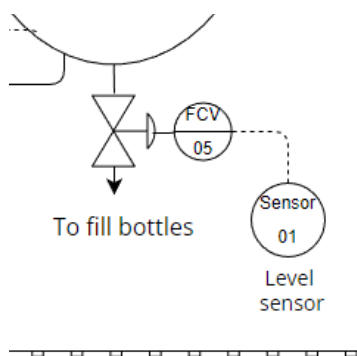


Figura 2.3. Llaç de control ompliment de pots.

Per últim, el sisè llaç es dona al moment de netejar la màquina mescladora, quan la bomba subministra aigua. Per tal d'estalviar-ne, cada cop que netegem la màquina, no ho fem omplint-

la d'aigua fins a la seva màxima capacitat, sinó que ho fem en funció de la quantitat de proteïna i sabor amb la qual treballarem en la següent ordre. En el llaç actuen una vàlvula com sempre i el sensor del pes del tanc de la mescladora. La PV es el pes del tanc i el SP s'assigna de manera automàtica en funció dels càlculs del material total que s'utilitzarà. La VC com sempre, es la posició de la vàlvula, en aquest cas de la sis.

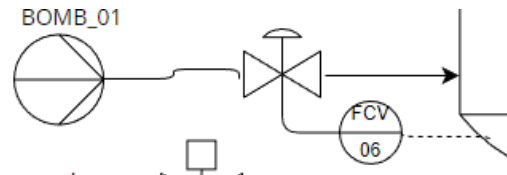


Figura 2.4. Llaç de control aigua de neteja.

2.3. Requeriments Funcionals

En la següent taula es recullen tots els requisits funcionals que s'han seguit i complert en aquest projecte:

REQUISITS FUNCIONALS	
NÚM.	DESCRIPCIÓ
RQF01	El servei i fora de servei d'una màquina o element dependrà d'una ordre directa des del SCADA.
RQF02	Independentment de l'ordre del SCADA una màquina amb alarmes està sempre en fora de servei.
RQF03	La marxa d'un element en automàtic (vàlvules, bombes, ...) des de SCADA serà possible sempre que estigui sense alarmes i en servei.
RQF04	Amb el reinici de l'element es desenclaven totes les alarmes que ja no estiguin actives.
RQF05	El procés no s'iniciarà si tots els elements que el componen no estan en servei i la quantitat de proteïna i sabors son suficients per produir la comanda.
RQF06	La quantitat màxima de proteïna que es pot introduir al tanc son 500 Kg.
RQF07	La quantitat màxima de qualsevol dels tres sabors que es pot introduir als seus tancs corresponents és 50 kg.
RQF08	La quantitat màxima de material amb la que la màquina mescladora pot treballar son 100 Kg.

RQF09	La mescladora no funciona si prèviament no s'ha netejat i assecat.
RQF10	Les alarmes que es gestionen en el PLC són totes les que permet la senyalització de la màquina.
RQF11	La quantitat a la que s'ha d'omplir un pot es de 5 kg, amb un marge de +- 5g [3].
RQF12	La concentració mínima de proteïna que pot portar un pot es del 85%.
RQF13	Si es desitja produir proteïna sense sabor, la concentració no es pot modificar, es lògicament del 100%.
RQF14	El botó d'aturada del sistema deté totes les funcions que s'estiguin executant.
RQF15	Es podran forçar alarmes per a la simulació d'aquestes, així com sensors trencats o la lectura d'aquests.

Taula 2.12. Taula de requisits funcionals.

2.4. Requeriments de Disseny

En la següent taula es recullen tots els requisits de disseny que s'han seguit i complert en aquest projecte:

REQUISITS DE DISSENY	
NÚM.	DESCRIPCIÓ
RQD01	Hi haurà una pantalla d'alarmes on es puguin visualitzar les alarmes d'elements i sistemes.
RQD02	Tots els estats del elements estan representats en el SCADA.
RQD03	Serà possible accedir mitjançant un botó a una finestra amb un històric d'alarmes i amb un altre botó a les tendències històriques.
RQD04	Serà possible accedir mitjançant un botó a una finestra on s'identifiqui a l'autor del treball de PBL.
RQD05	Hi haurà un botó que enllaci amb una pantalla on s'expliqui el procés.
RQD06	Es requereix d'un usuari i contrasenya per a entrar al sistema.

RQD07	Hi haurà un temps d'inactivat del sistema que al assolir-se, s'apagarà la sessió i tornarà a la pantalla de <i>log on</i> .
RQD08	Es crearan 3 nivells d'usuari: Un enginyer amb capacitat per provocar falles en els equips, un administrador amb capacitat de comandament i un operador només amb capacitat de visualització.
RQD09	Totes les pantalles disposaran d'un marc superior amb la data i l'hora.
RQD10	Totes les pantalles disposaran d'un estat de les alarmes més crítiques (sumari d'alarmes).
RQD11	Totes les pantalles disposaran d'un marc superior amb el nom de la instal·lació.
RQD12	El color verd representarà la marxa de l'element, groc estat servei, vermell l'alarma i gris indeterminat.
RQD13	Cada element tindrà una finestra (Pop-Up) independent on es mostri el seu estat, alarmes, mesures i es puguin donar les ordres.
RQF14	Cada tipus d'element tindrà la seva pròpia plantilla.
RQD15	Les finestres dels elements s'obriran al clicar sobre l'element gràfic.
RQD16	Totes les pantalles disposaran d'un símbol d'avertència el qual els permetrà accedir a la pantalla de visualització d'alarmes. Aquest símbol parpellejarà si hi ha una alarma activa.
RQD17	En la pantalla d'històrics o tendències estan configurades les senyals analògiques.
RQD18	Des de la barra superior de les pantalles es podrà accedir tant al visualitzador d'alarmes, com els històrics i tendències.

Taula 2.13. Taula de requisits de disseny.

2.5. Metodologia de Desenvolupament

Per tenir un correcte desenvolupament en tots els projectes, però especialment en els d'automatització, s'ha de tenir en consideració un grup de factors molt elevat, i per fer-ho es seguiran els passos que trobem tot seguit.

1. Recerca i estudi del procés de producció de proteïna, ja que per al corresponent disseny del procés i els equips que el controlaran, s'ha de tenir un coneixement de cada etapa en que intervé.

2. Descripció del control del procés i elements que componen el sistema, un cop fet l'estudi es farà un disseny inicial amb els components, en el qual ens anirem basant per fer futures millores.
3. Assignació d'entrades i sortides i creació d'UDTs. Disseny inicial de la lògica de control dels elements: consignes, estats i alarmes entre d'altres; i programació del control del sistema.
4. Disseny de la simulació del procés. Òbviament no podem portar a la practica el projecte per raons obvies, per tant la simulació esta embeguda en el propi PLC. Tot i així, es tracta d'imitar el més possible la realitat, permetent forçar alarmes per veure la resposta del sistema.
5. Configuració de les comunicacions controlador-SCADA. Aquesta comunicació entre els diferents programes permet la supervisió del comportament del sistema i ens dona el feedback necessari per valorar el progres realitzat.
6. Disseny del sistema SCADA. Primer es defineixen els *tags* que s'utilitzaran. Es va dissenyant element per element, fent les comprovacions requerides per veure que tot funciona correctament. Es programa els scripts necessaris.
7. Proves i verificació final. Per últim, amb el programa acabat, es realitza un conjunt de proves que comproven que l'automatisme dissenyat funciona adequadament i el comportament d'aquest és el desitjat.

2.6. Planificació de les tasques

Com s'ha esmentat en el punt anterior, en tots els projectes s'ha de tenir una bona organització per tal que la feina no sigui un caos. L'elecció que s'ha triat per tal de portar una bona planificació en aquest TFG, recomanada pel professor, passa per la realització d'un diagrama de Gantt. En la següent taula que s'adjuntarà es veurà el conjunt de les diferents tasques que s'ha de portar a terme, i mes endavant es podrà veure gràficament amb l'ajuda del diagrama, la seva distribució al llarg del pròxims sis mesos de treball.

Distribució de les tasques del TFG			
TASCA	DATA D'INICI	DATA FINAL	DURADA (dies)
Preparació projecte	12/09/2022	15/09/2022	3
Recerca d'informació	15/09/2022	21/09/2022	6
Esborrany del procés a automatitzar	21/09/2022	30/09/2022	9

Definició esborrany etapes del procés	02/10/2022	12/10/22	10
Creació UDTs amb les diferents variables	05/10/2022	07/10/2022	2
Programació inicial del comportament dels elements	10/10/22	30/10/2022	20
Primer esborrany SCADA i creació dels tags	20/10/22	5/11/2022	16
Configuració comunicacions entre PLC i SCADA	26/10/22	27/10/2022	1
Esborrany de programació de la simulació	28/10/2022	10/11/2022	13
Programació lògica dels elements	7/11/2022	22/11/2022	15
Programació lògica del control del sistema	15/11/2022	10/12/2022	25
Programació de la simulació	17/11/2022	21/12/2022	34
Disseny i programació SCADA	23/11/2022	24/12/2022	31
Proves i correccions	27/12/2022	10/01/2023	14
Redacció memòria	18/09/2022	07/01/2023	111
Revisió final projecte	10/01/2023	15/01/2023	5

Taula 2.14. Taula de les tasques realitzades i el temps emprat.

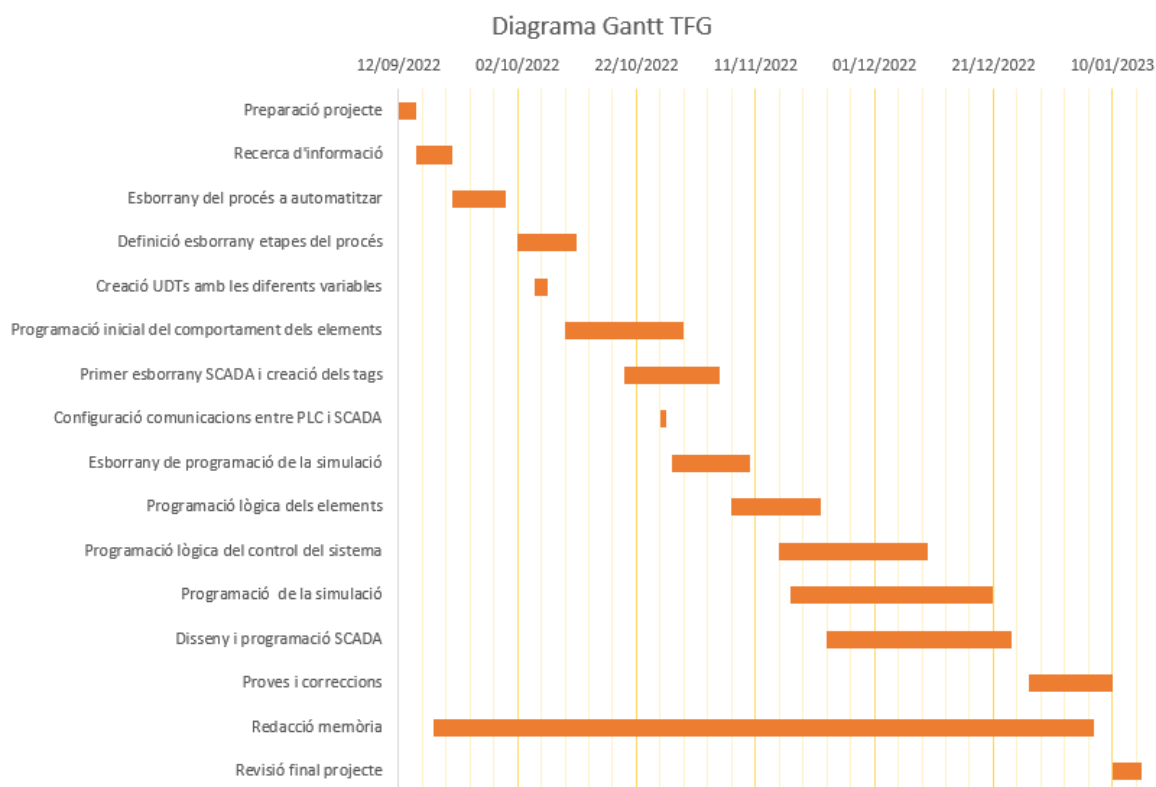


Figura 2.5. Diagrama de Gantt de les tasques del projecte.

2.7. Recursos

Per a portar a terme el següent treball no es necessari comptar amb una gran llista de recursos, no obstant això, aquí es detallen els indispensables.

En primer lloc i com a peça clau i fonamental, un ordinador portàtil juntament amb un disc dur on s'emmagatzema la màquina virtual utilitzada. L'ordinador compta amb Microsoft Office, per poder utilitzar programes com Word i Excel, especialment necessari el primer per a la redacció de l'informe, a més del programa VMWare Workstation 16 on com hem dit, s'executa la màquina.

Pel que fa a la pròpia màquina virtual, i de manera resumida, ja que més endavant s'entrarà en detall, aquesta compta amb el següent programari: *RSLogix 5000 Enterprise*, *RSLogix Emulate 5000 Chasis Monitor*, *RSLinx Classic* i el *InTouch Wonderware*.

CAPÍTOL 3: DISSENY I IMPLEMENTACIÓ DE LA SOLUCIÓ

En aquest pròxim capítol mostrarem el disseny i la implementació de la solució que s'ha escollit posar en practica per aconseguir l'objectiu d'automatitzar tot el procés de la fabrica de producció de proteïna.

Entrarem en gran profunditat en tot el codi necessari per al funcionament del programa, iniciant per la simulació d'aquest, després el codi de control del sistema i finalment comentat la interfície HMI.

3.1. Arquitectura del Sistema de Control

En aquest primer apartat, per fer-nos una primera idea, veurem el relacionat amb el *hardware*, el *software* i s'explicarà tot el procés necessari per efectuar les comunicacions entre els diferents servidors.

3.1.1. Hardware del Sistema

Com ens podem imaginar pel que hem anat comentant al llarg de la memòria, en aquest projecte no requerim de hardware. Això és així, ja que la simulació es programa en el propi PLC i per tant l'intercanvi de les senyals entre controlador i procés, són embegudes pel propi controlador.

Com veurem més endavant, l'emulador del PLC, el servidor DDE del PLC i el del SCADA estan configurats per comunicar-se entre ells.

3.1.2. Software del Sistema

A diferencia del hardware, el software sí que és completament necessari, i es compon dels següents elements:

- *VMWare Workstation 16*. Programa instal·lat sobre la nostre màquina física (l'ordinador portàtil) i que ens permet executar la màquina virtual. Aquesta conté els programes amb els que treballarem i que veurem tot seguit. Simula una versió de Windows 7 Professional amb 10 GB RAM.
- *RSLink Classic Lite*. Programa que permet configurar i establir la comunicació entre el programa del PLC i el SCADA a través del protocol de Windows *Data Dynamic Exchange* (DDE).
- *RSLogix Emulate 5000 Chassis Monitor*. Programa encarregat de la simulació virtual del PLC, és a dir, la seva CPU, memòria RAM i ROM.

- *RSLogix 5000 Enterprise*. Programa on dissenyar, compilar i descarregar el codi del projecte, incloent la simulació.
- *InTouch Wonderware*. Programa on dissenyar la interfície gràfica del programa, és a dir, el SCADA. Permet supervisar el programa a temps real, executant comandes i ordres a més de visualitzar històrics de senyals, estats dels elements, alarmes i tot el necessari per garantir un correcte funcionament del sistema.

3.1.3. Vista Global de les Comunicacions

De manera global, el sistema de comunicacions es pot separar en dos grups. En el primer es situa el relacionat amb el procés (rectangle verd, Fig.3.1.) i en el segon el relacionat amb la part de SCADA (rectangle blau, Fig.3.1.). Addicionalment, es pot considerar un subgrup que combina elements dels dos principals, encarregat de comunicar-los entre ells (rectangle vermell Fig.3.1.).

En el primer entren el *RSLogix 5000 Enterprise*, *RSLogix Emulate 5000 Chassis Monitor* i el *RSLinx Classic Lite* on l'últim és l'encarregat de comunicar-se amb el segon grup a través del protocol DDE.

En el segon entra el *InTouch Wonderware*, el qual es comunica mitjançant el DDE, com acabem de comentar, i a través del *RunTime* es visualitza a temps real el programa.

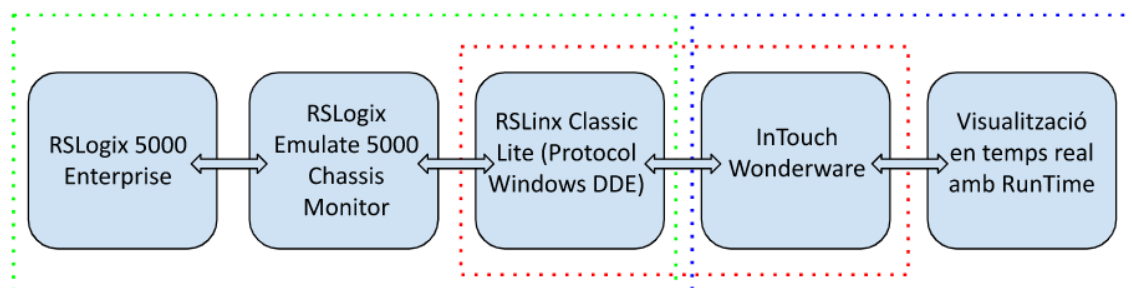


Figura 3.1. Vista global de les comunicacions del projecte.

3.1.4. Comunicacions Scada-Controlador-Procés

A continuació es detalla el seguit de passes que s'ha de seguir per tal de portar a terme la comunicació entre PLC i SCADA.

En primer lloc el que hem de fer és crear el PLC virtual utilitzant l'aplicació *RSLogix Emulate*. Per tal d'afegir el controlador, farem clic dret sobre la segona posició del xassís (en principi hauria d'estar lliure) i procedirem segons les imatges (Fig.3.2., Fig.3.3. i Fig.3.4.) que veurem tot seguit.

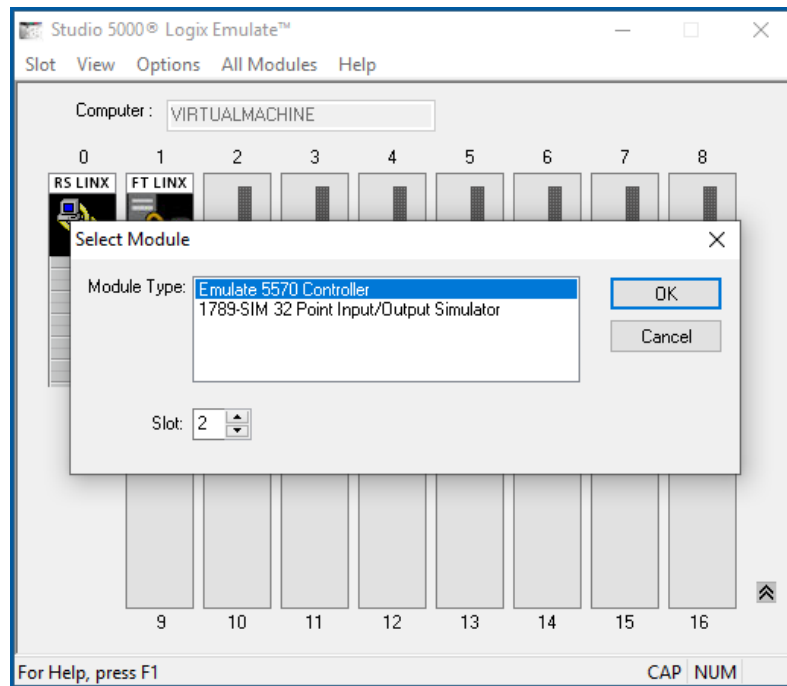


Figura 3.2. Configuració PLC virtual (1/3).

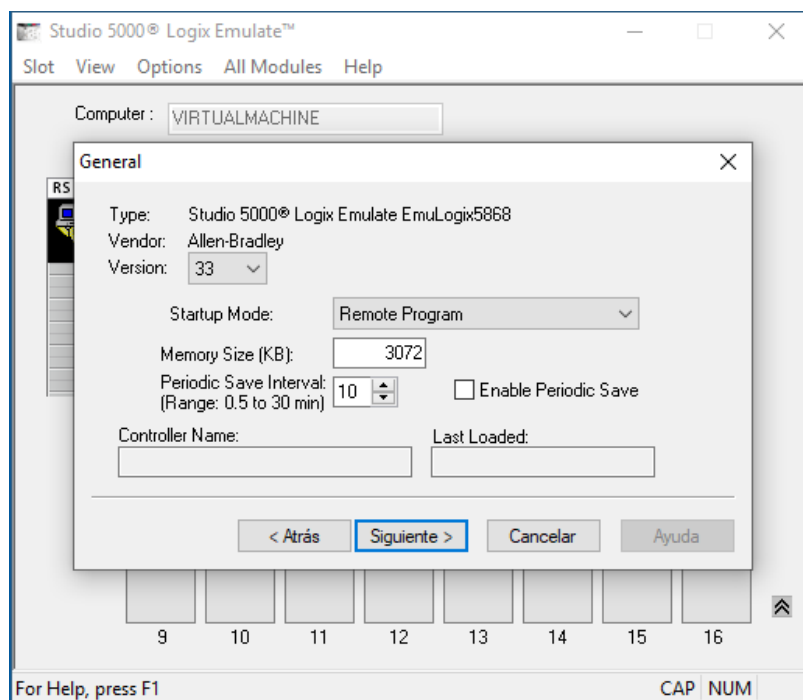


Figura 3.3. Configuració PLC virtual (2/3).

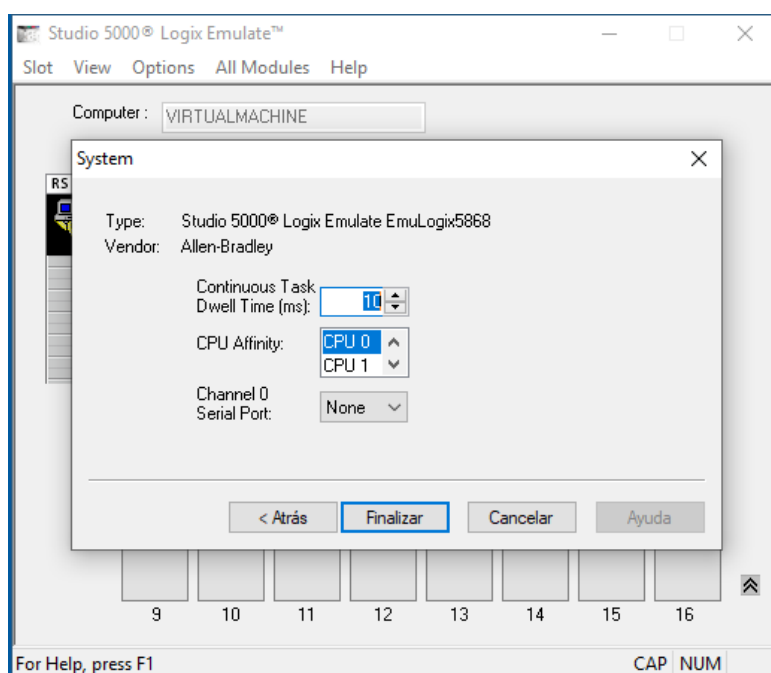


Figura 3.4. Configuració PLC virtual (3/3).

En les imatges anteriors estem definint abans de res quina mena de mòdul utilitzarem, *Emulate 5000 Controller* en el nostre cas, així com la periodicitat del *scan*, la seva versió, la qual ha de coincidir amb la del programa, i finalment la mida de la memòria.

Un cop tenim el controlador virtual configurat, obrim el *InTouch Wonderware* per configurar el SCADA. En l'apartat inferior del *Classic View*, anomenat com *Tools*, obrim el desplegable *Configure* i seleccionem l'última opció, *Access Names*. Se'ns obrirà una pantalla i clicarem sobre *Add* per tal d'afegir un nou. S'obrirà la pantalla *Modify Access Name* i hem d'omplir els diferents camps tal i com es veu a la imatge que trobem a continuació (Fig. 3.5.).

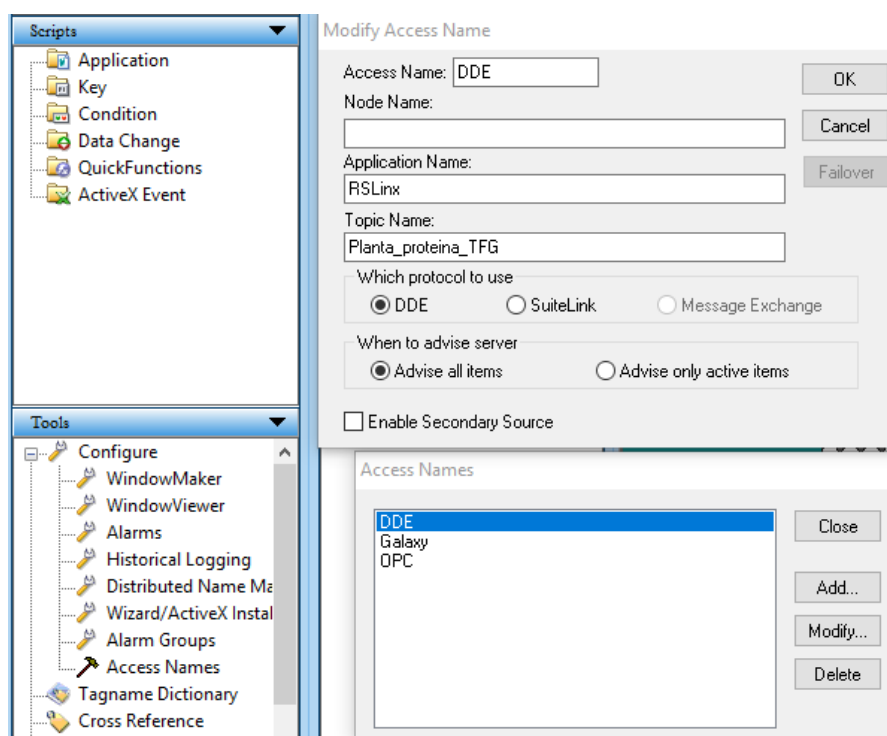


Figura 3.5. Configuració i creació del protocol DDE al SCADA.

Pel que fa al SCADA, només queda configurar els *tags* existents per que es puguin comunicar. Hem de tenir en consideració els següents punts: seleccionar el correcte tipus de dada, normalment *I/O Discrete* o *I/O Real*; el *Tagname* no pot portar punt; el *Item* ha de ser el mateix nom que com està definida la variable al programa PLC; i finalment el *Access Name* ha de ser DDE.

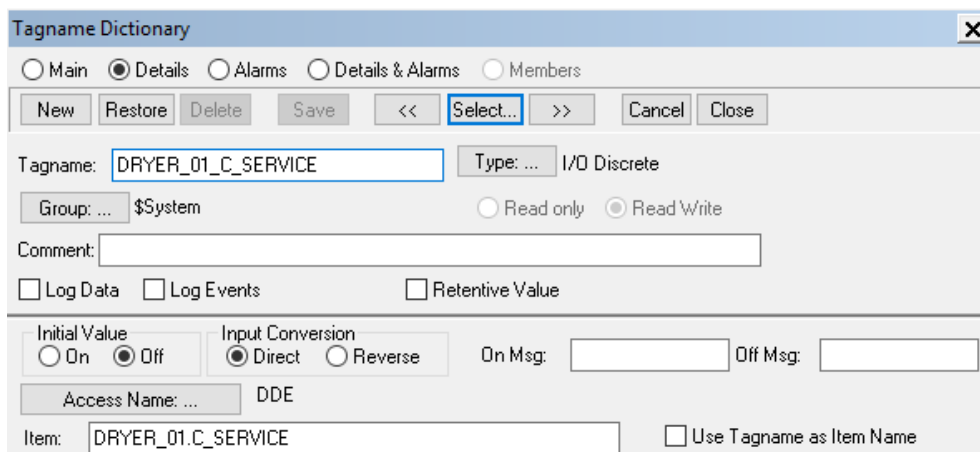


Figura 3.6. Exemple configuració d'una variable al SCADA.

Finalitzada la configuració del SCADA, passem a fer ús del *RSLinx* per tal de poder establir la comunicació entre el *RSLogix* i el PLC que hem creat prèviament. El primer que hem de fer aquí

és anar a l'apartat de *Communications, Configure Drivers*, afegir el *Virtual BackPlane* i prémer el botó *Start*.

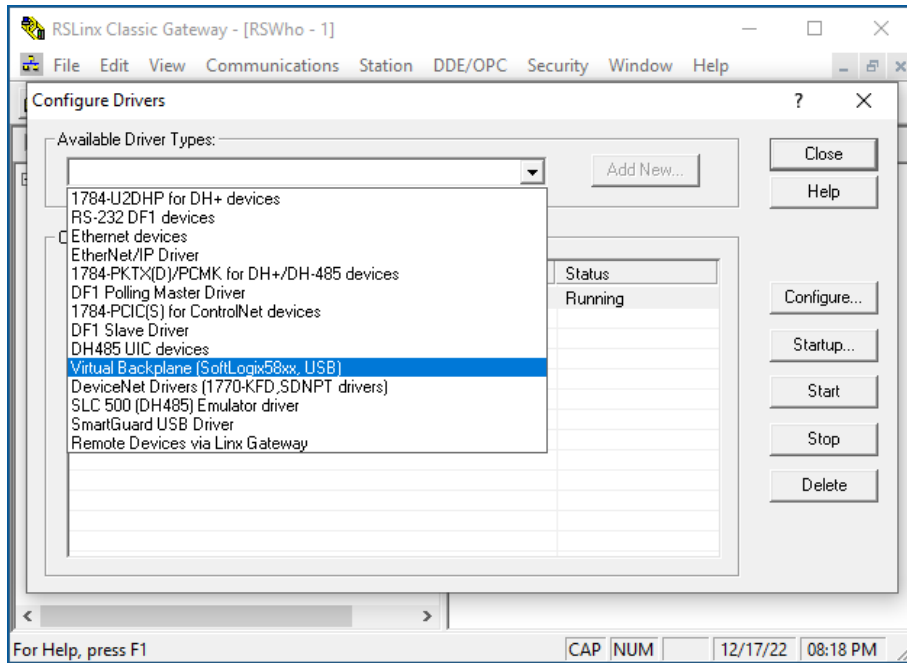


Figura 3.7. Selecció del driver virtual per a descarregar el programa.

Amb el *driver* iniciat, ens hauria d'aparèixer la pantalla principal del *RSLinx* com a la següent imatge (Fig. 3.8.).

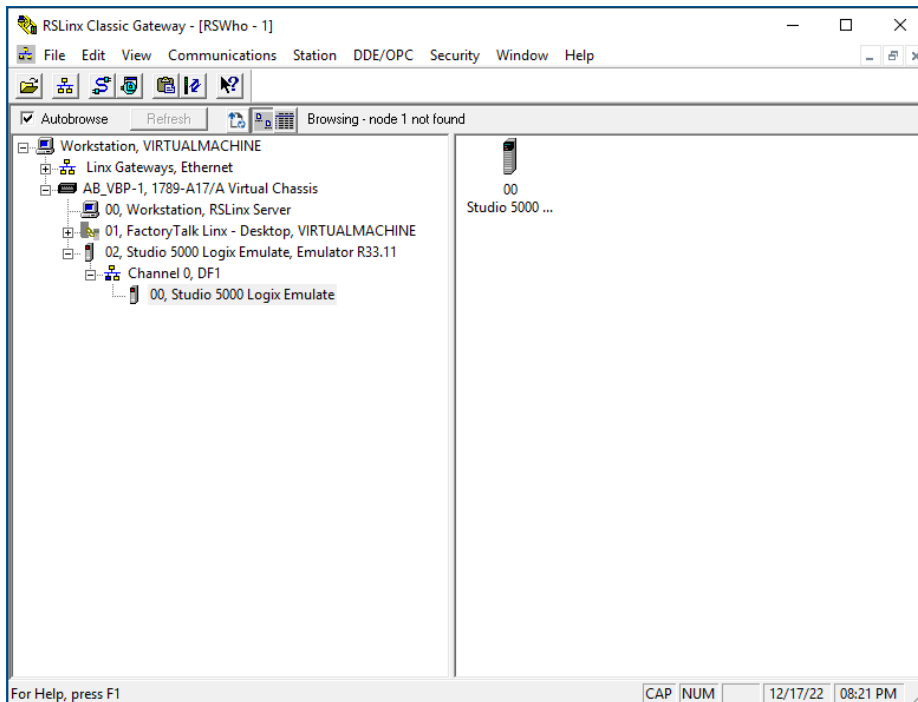


Figura 3.8. Pantalla RSLinx amb els dispositius però sense identificar.

Si ens fixem, en el punt on posa 02, *Studio 5000 Logix Emulate*, no apareix en el nom del nostre programa. Això succeeix perquè encara no hem definit el destí de la descàrrega del programa, el qual per fer-ho, hem d'anar al *RSLinx 5000 Enterprise*, dirigir-nos a l'apartat de *Communications*, clicar a *Who Active* i seleccionar el destí que es veu a la imatge de baix (Fig. 3.9.).

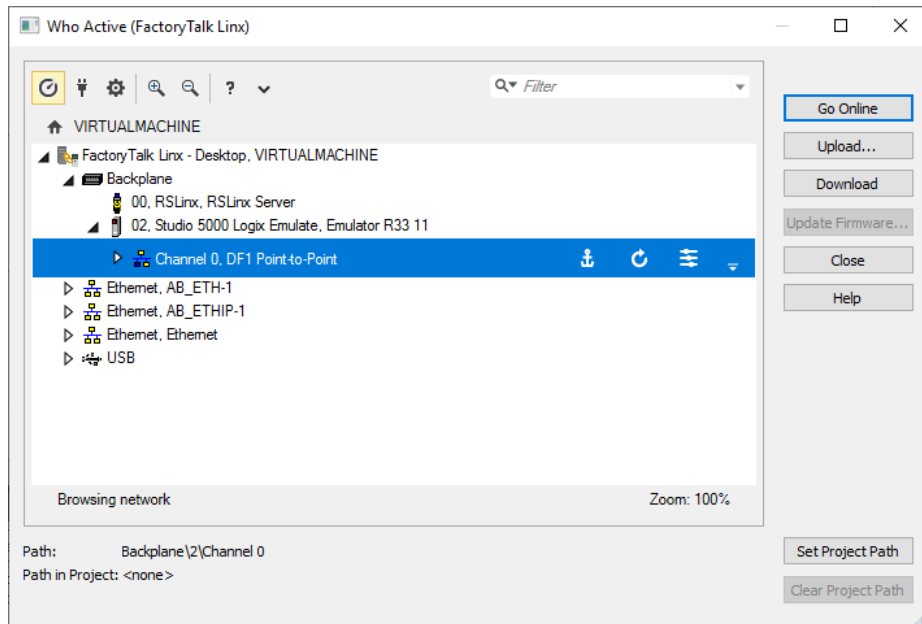


Figura 3.9. Selecció del camí de descarrega del programa.

Un cop fet, si tornem a la pantalla del *RSLinx* on estàvem abans, veurem com a la mateixa línia en la que ens hem fixat anteriorment, ara sí que apareix el nom del programa (*Planta_proteïna_TFG*), indicant-nos que el *path* de la descàrrega ja és correcte.

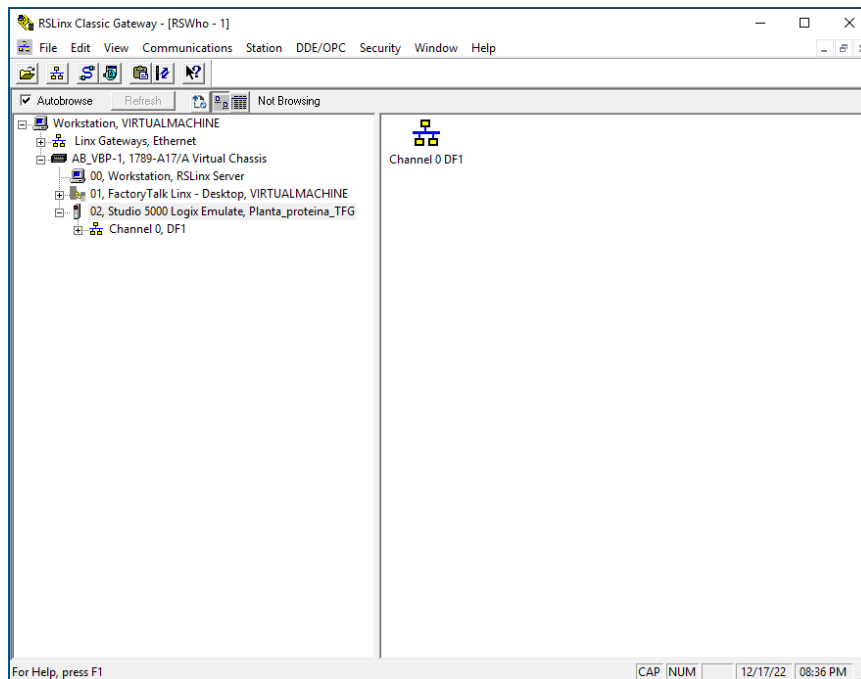


Figura 3.10. Pantalla del RSLinx amb els dispositius connectats.

Per seguir, hem de tornar al *RSLinx* i obrir el desplegable nomenat com DDE/OPC. Entre les opcions seleccionem *Topic Configuration* i premem el botó de *New* per crear un nou tòpic. El nom que li donem ha de ser el mateix que el del programa del PLC, en el nostre cas *Planta_proteina_TFG*. Acte seguit cliquem sobre el nom del emulador *RSLogix 5000 Emulate*, el qual ens apareixerà a la dreta, i ens preguntarà si el volem enllaçar, òbviament acceptem.

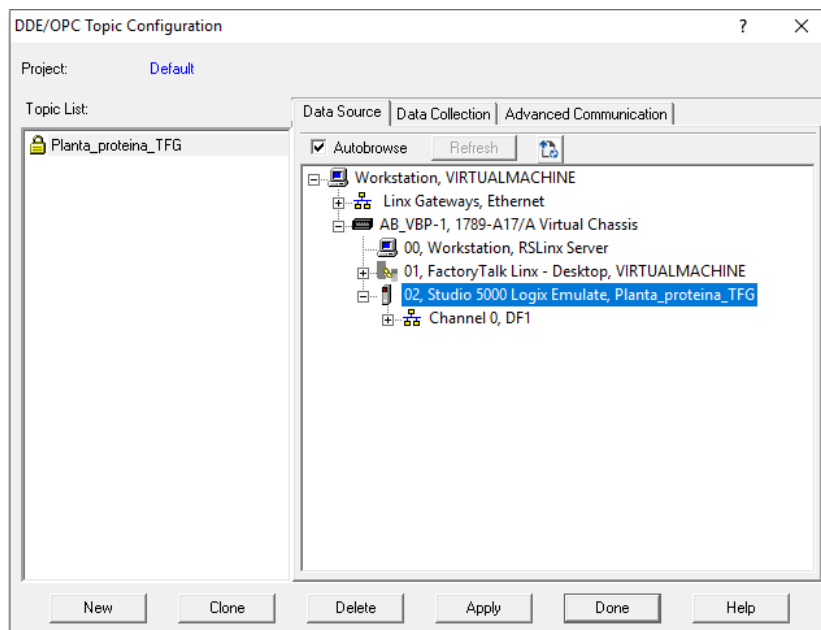


Figura 3.11. Creació del servidor DDE al RSLinx per l'intercanvi de dades.

Amb el títol creat, i en el mateix *RSLinx*, tornem a clicar sobre DDE/OPC, però aquest cop seleccionem l'opció *Alias Topic Configuration*. En el lloc *Alias Name*, escrivim DDE i, si ho hem fet de la manera correcta, ens apareixerà en la caixa de *Available Topics* el nom del nostre programa. Li donem a *Add ->*. Seleccionem, també, l'opció de *Update all Topic* i li donem a *New*, veurem com ara en la caixa de *List of Alias Topics*, apareixerà el alies creat DDE. Li donem a *Save* i sortim.

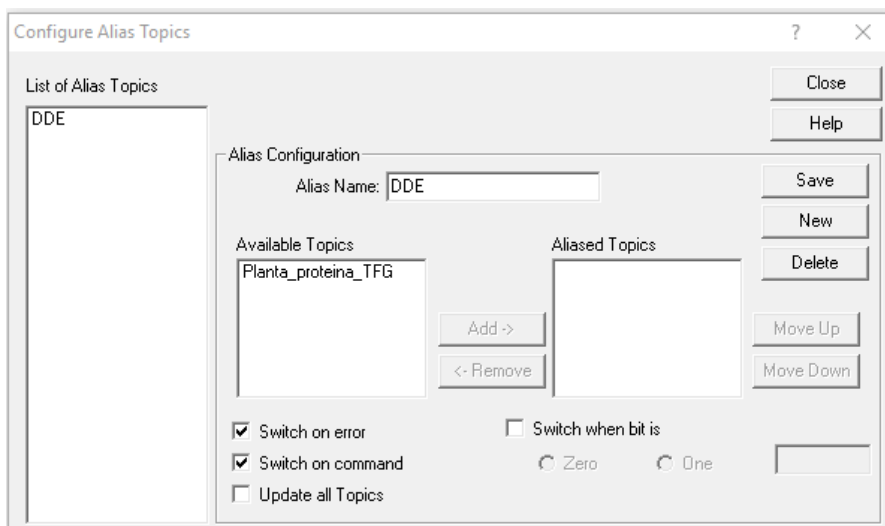


Figura 3.12. Creació de l'alias DDE.

Finalment, ja podem anar al *RSLogix 5000 Enterprise* i descarregar el programa. Des del desplegable situat al costat de l'estat *Offline*, seleccionem *Download*. Ens apareixerà una finestra emergent per confirmar que volem descarregar la qual al acceptar, veurem com s'inicia la descàrrega. Un cop finalitzada ens preguntarà si volem anar a l'estat *Online*, acceptem i ja tindrem el PLC funcionant. En cas que no ens ho preguntí, tan sols hem d'anar al mateix desplegable que anteriorment, i clicar sobre *Run Mode*.

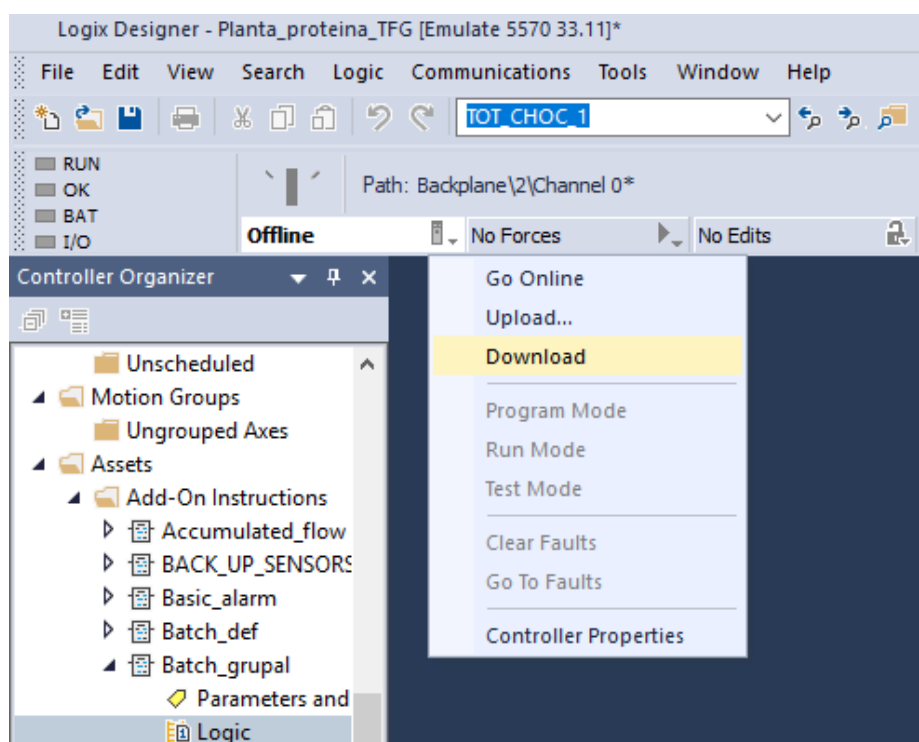


Figura 3.13. Descarrega del programa des del Studio 5000.

Per últim, i a mode de comprovar si el procés ha sortit de manera satisfactòria, anem al SCADA i entrem en el mode *Runtime*. De nou, obrim el menú de DDE/OPC i en aquesta darrera ocasió, triem l'opció *Active Topics/Items*. Si tot ha anat bé, hauria d'aparèixer una llista amb totes les variables que estan intercanviant dades entre controlador i SCADA com a la imatge següent (Fig. 3.14):

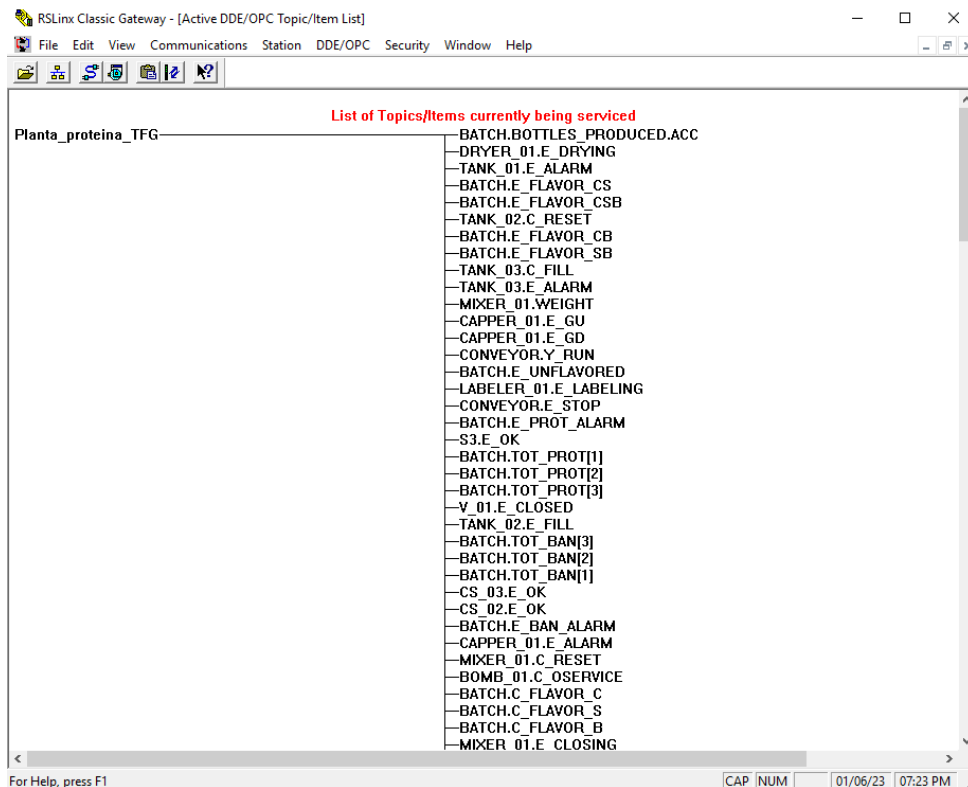


Figura 3.14. Llista de variables enllaçades entre PLC i SCADA.

3.2. Simulació del Procés

Com ja s'ha comentat en més d'una ocasió al llarg de la memòria, tot i que seria molt interessant portar a la practica el projecte, per diverses raons molt obvies, es completament impossible. Per aquesta raó, es programa el comportament de tots els elements que formen part del treball, tractant de simular la realitat en la mesura del possible, però sense entrar tampoc en detalls summament minuciosos que complicarien el treball en excés.

3.2.1. Blocs del Sistema

El sistema de la simulació es divideix en diversos blocs que s'encarreguen cadascun d'ells de diferents parts del procés de producció. En comptes de fer un bloc de simulació per a cada element de manera individual, els elements que interactuaven en un mateix procés s'ha decidit d'agrupar-los entre ells. Per exemple els elements que intervenen en el procés de la mescladora, com poden ser la bomba, l'assecadora, etc. s'han ajuntat en un sol bloc. S'ha creat també blocs per a simular els diferents fluxos que intervenen en diferents parts de la fabricació.

Tots aquests blocs estan dissenyats dins del programa *Plant_Simulation*, el qual presenta una rutina principal des de la qual es crida a les altres subrutines.

3.2.2. Estructura de la Simulació

L'estructura de la simulació està dividida en subrutines encarregades de simular diferents parts del procés. Aquestes subrutines són cridades per la rutina principal, en el nostre cas definida com `_00_MainRoutine`.

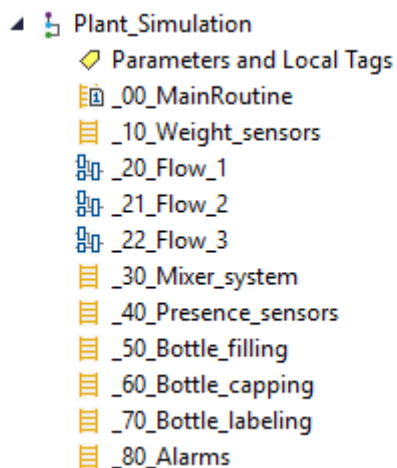


Figura 3.15. Estructura de la simulació.

3.2.3. Disseny del Codi embegut

El seu disseny és de tipus de codi embegut i consta d'una rutina principal la qual crida a diferents subrutines que treballen conjuntament amb *Add-Ons* (programes afegits per l'usuari), ja que ens permeten reutilitzar codi fàcilment amb l'única necessitat de referenciar les entrades i sortides d'aquets amb les altres variables del sistema. Quan entrem en la part del codi del programa de control, veurem que també s'han utilitzat més *Add-Ons* ja que ens resulten molt útil i faciliten molt la feina.

Centrant-nos ja en la part de la simulació, primer de tot trobem la rutina principal, com acabem de comentar, la seva funció és cridar a les subrutines secundàries. Està definida com a `_00_MainRoutine`.



Figura 3.16. Disseny de la rutina `_00_MainRoutine`

La primera subrutina amb la que ens trobem és la `_10_Weight_sensors`. Com el seu nom indica, s'encarrega de simular els sensors de pes que incorporen tant els tancs de proteïna i sabors com el del tanc de la mescladora.

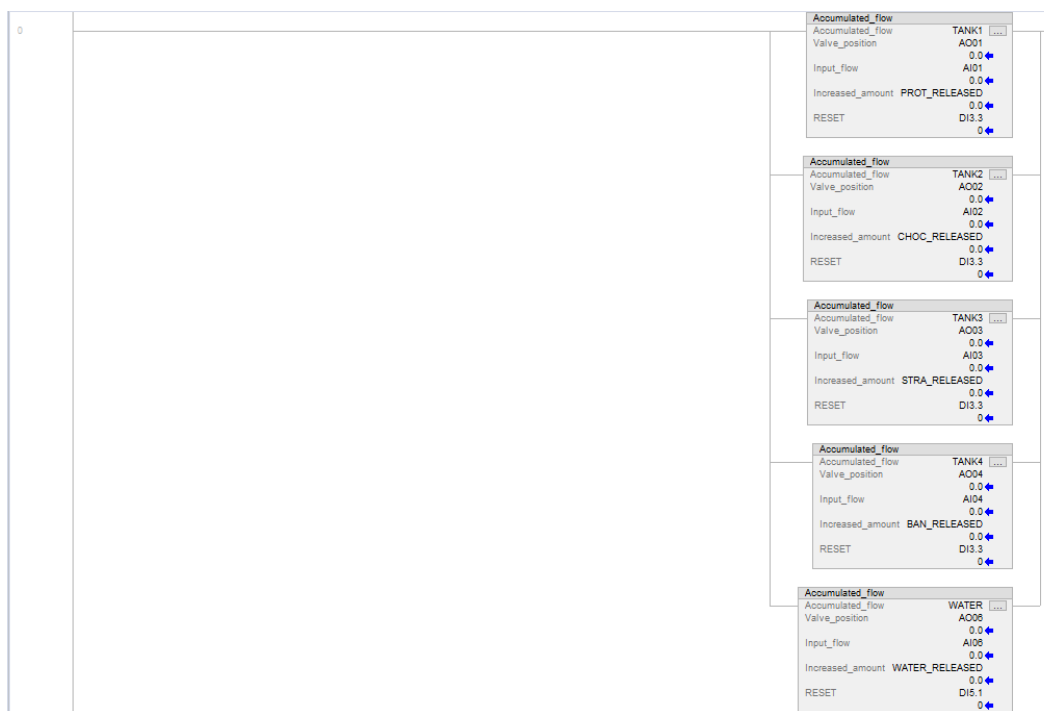


Figura 3.17. Disseny de la subrutina `_10_ Weight_sensors` (1/3).

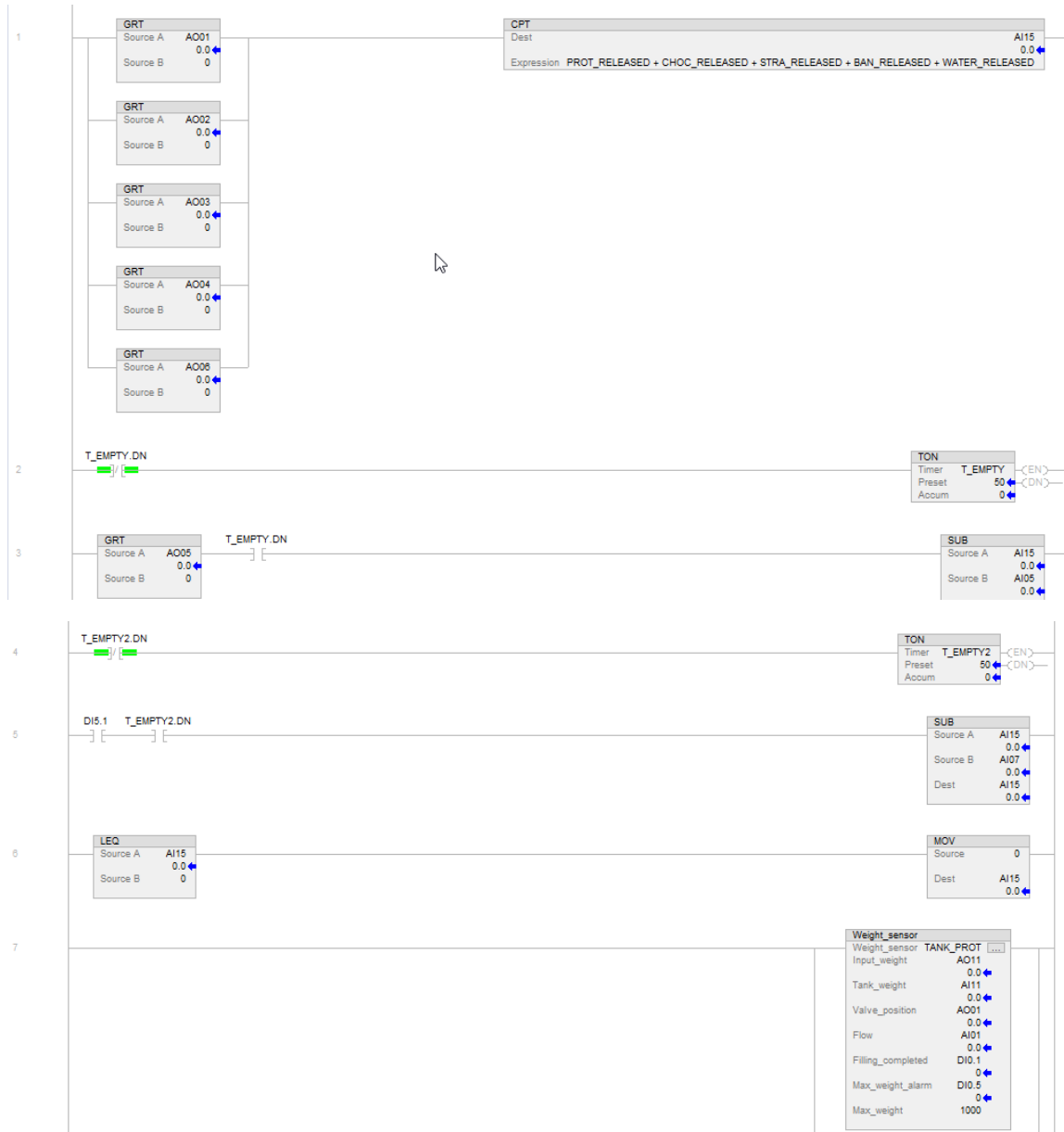


Figura 3.18. Disseny de la subrutina `_10_ Weight_sensors` (2/3).



Figura 3.19. Disseny de la subrutina _10_ Weight_sensors (3/3).

Com podem veure en diverses imatges d'aquesta subrutina, ja observem els primers *Add-Ons* utilitzats. El primer que apareix és el *Acumulated_flow*. Aquest ens permet calcular la quantitat de proteïna o sabor que passa per les vàlvules i anar-la sumant al sensors de pes de la mescladora.

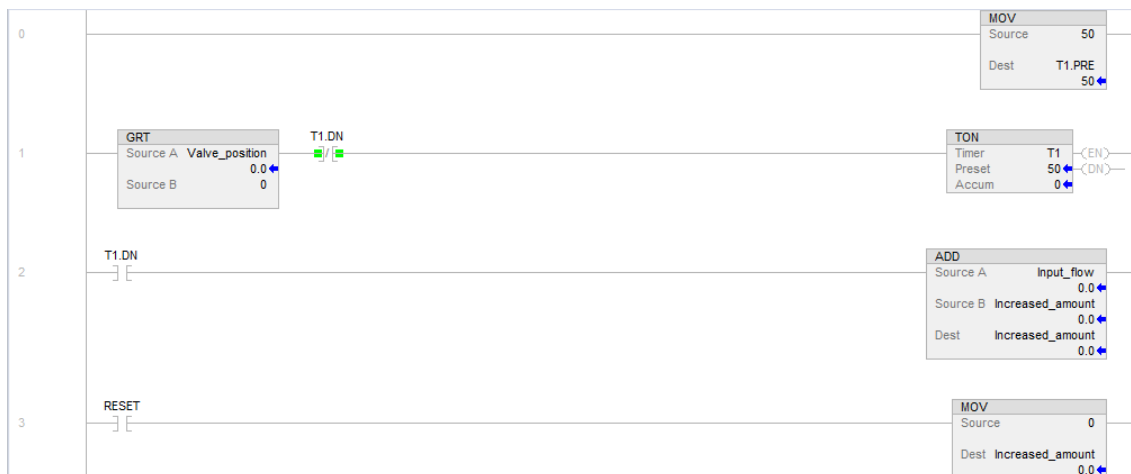


Figura 3.20. Add-On Accumulated_flow.

El segon Add-On que trobem es el *Weight_sensor*. El qual simula el sensor de pes que tenen el tanc de proteïna i els de sabors.

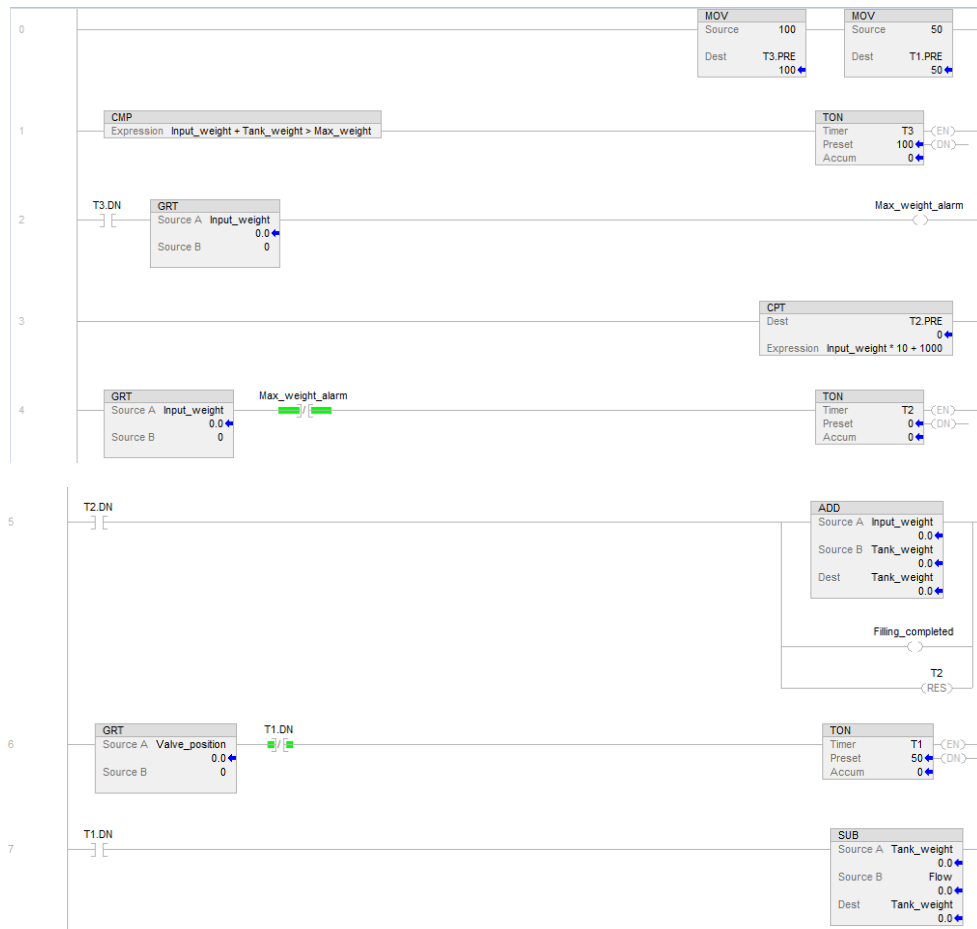


Figura 3.21. Add-On Weight_sensor.

La següent subrutina que trobem es la *_20_Flow_1*. Aquesta simula el comportament del flux que circula des del tancs de proteïna i sabors, passant per les vàlvules fins a la mescladora. El primer conjunt que es veu, defineix el flux de circulació de la proteïna. Els fluxos de circulació dels sabors els hem definit usant un *Add-On Flavour_loop*, que conte el mateix que es veu del de proteïna però amb valors de guany més petits, ja que la quantitat de sabor que es mou és més petita i la canonada que el transporta també.

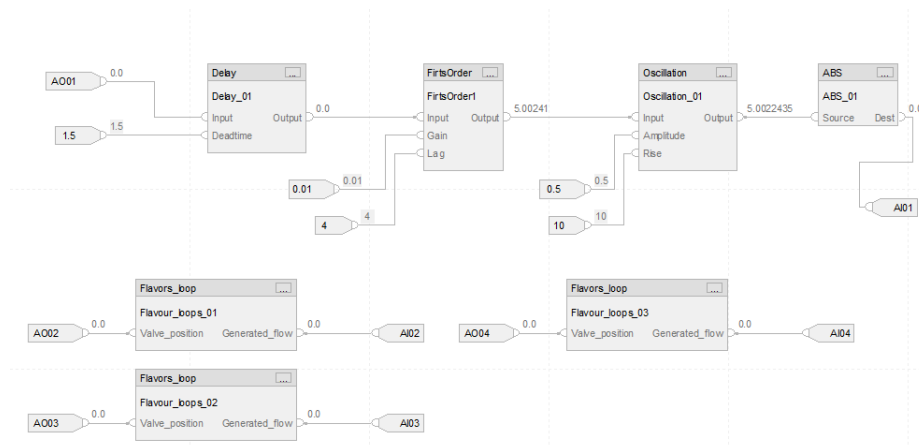


Figura 3.22. Subrutina _20_Flow_1.

En aquesta ocasió, també veiem com dintre de la subrutina utilitzem uns quants *Add-Ons*. EL de *Flavour_loop* ja hem comentat que és el mateix que el conjunt de proteïna, per tant no afegirem imatge de la lògica. Dels que si parlarem son del *Delay*, el *FirtsOrder* i el *Oscillation*.

El primer d'ells, el *Delay*, és molt senzill, s'introdueix un paràmetre d'entrada, i el que fa es generar un retard abans de enviar-ho a la sortida.

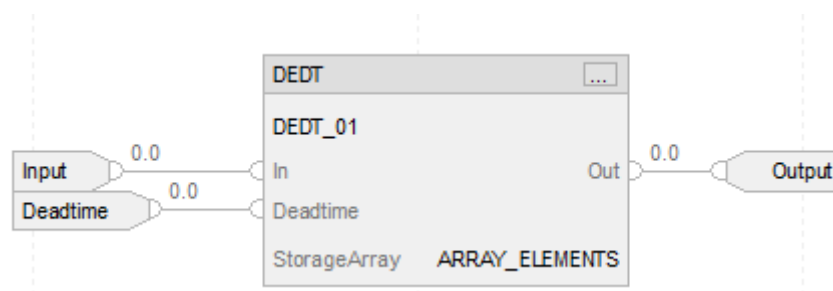


Figura 3.23. Add-On Delay.

Seguit trobem el *FirtsOrder*, el qual s'encarrega de generar un guany que s'aplica al paràmetre d'entrada que li ha proporcionat prèviament el *Delay*.

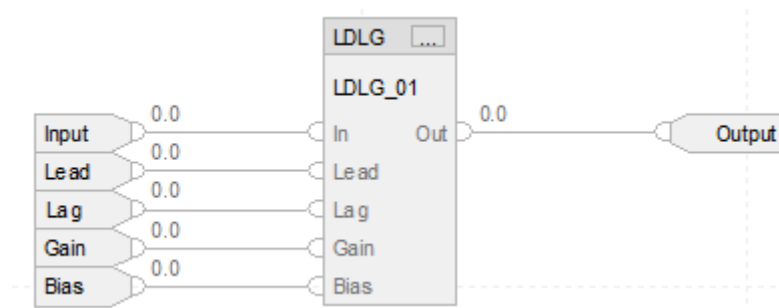


Figura 3.24. Add-On FirstsOrder.

Per últim trobem el *Oscillation*, el més complex dels tres. S'encarrega de generar una variació/oscil·lació del paràmetre d'entrada per a simular el comportament no lineal que tindria un flux a la vida real a l'hora de disminuir o augmentar el seu cabal.

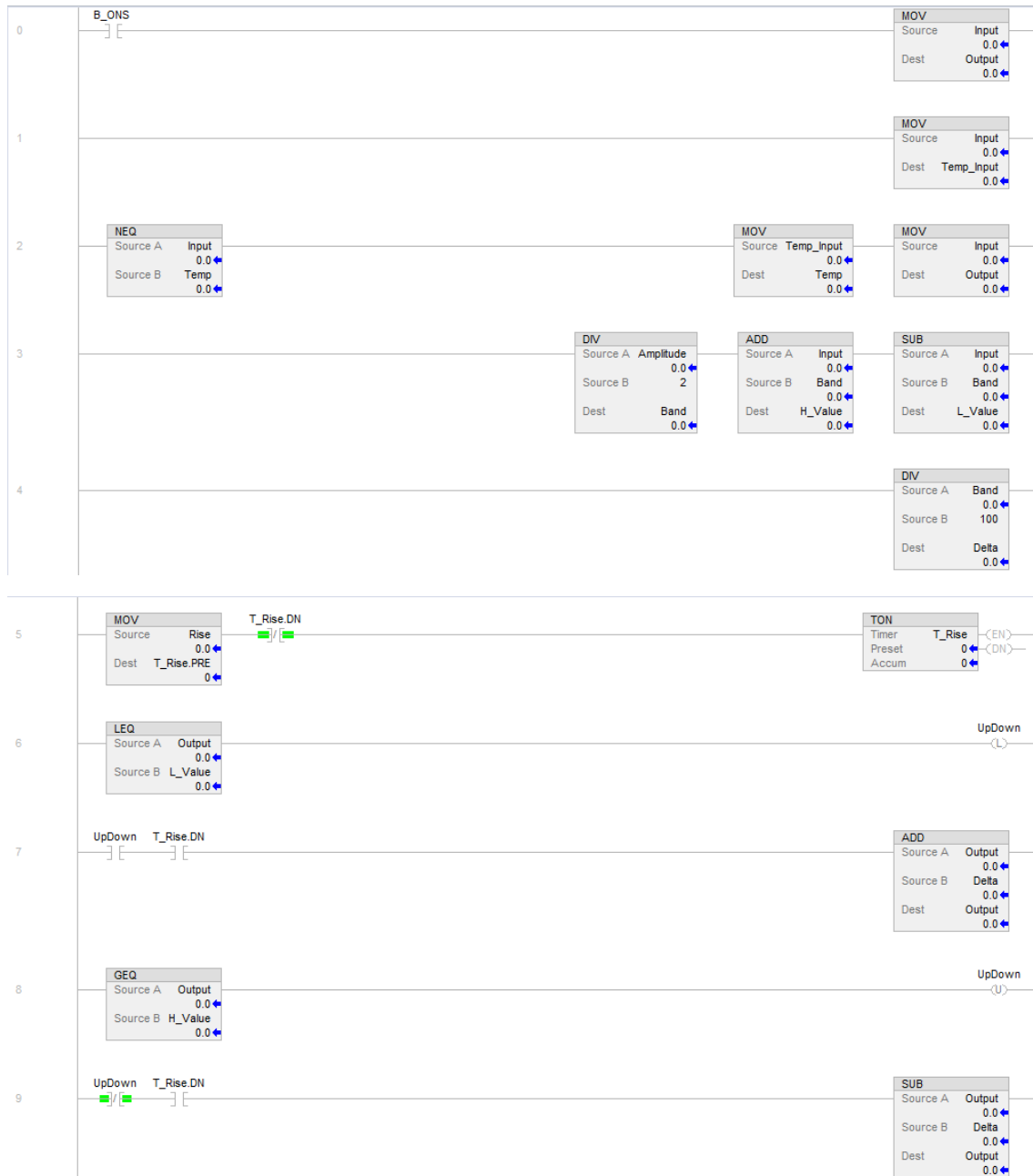


Figura 3.25. Add-On Oscillation.

La següent subrutina que ens trobem es la *_21_Flow_2*. Es semblant a l'anterior però aquesta vegada el sistema es de segon ordre al presentar dos guanys. Simula el flux que circula de la mescladora cap als bots.

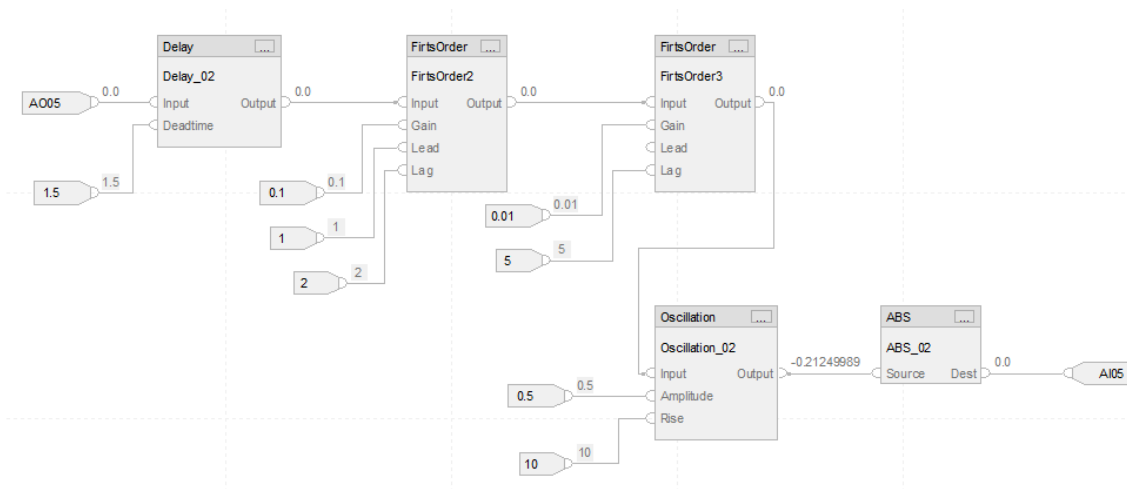


Figura 3.26. Subrutina_21_Flow_2.

Seguidament trobem una altra subrutina com les anteriors, la *_22_Flow_3*. En aquesta ocasió representen el flux d'entrada d'aigua a la mescladora bombejat per la bomba en el procés de neteja, així com el flux de sortida d'aquesta mateixa aigua a través de la vàlvula tot o res.

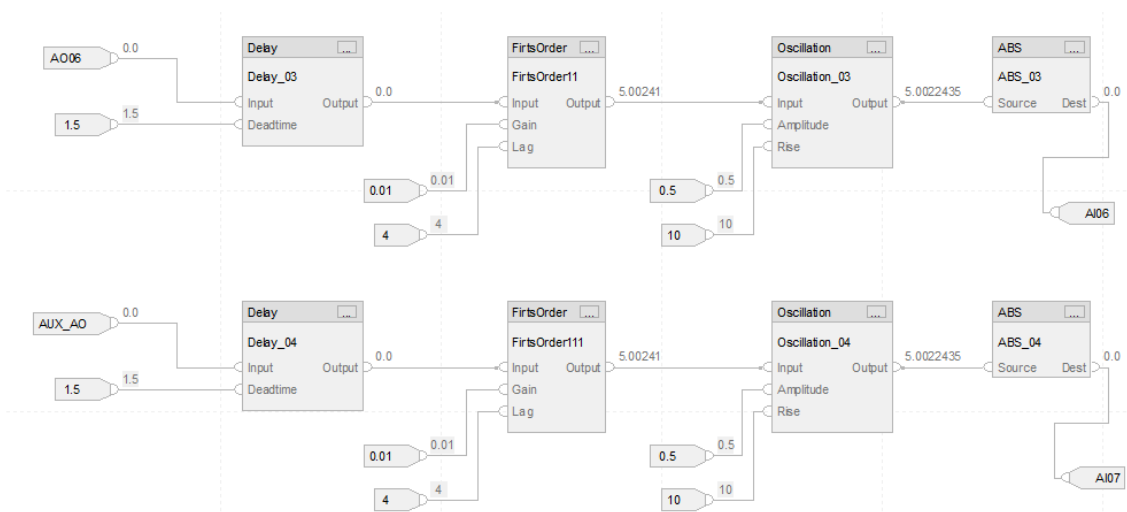


Figura 3.27. Subrutina_22_Flow_3.

Ara arribem a la subrutina *_30_Mixer_system*. En la programació d'aquesta, com ja s'ha dit en punts anteriors, s'ha englobat el funcionament de tots els elements que treballen en l'entorn de la mescladora.

En la següent imatge (Fig. 3.28.) podem veure la programació de l'obertura de la tapa de la mescladora.

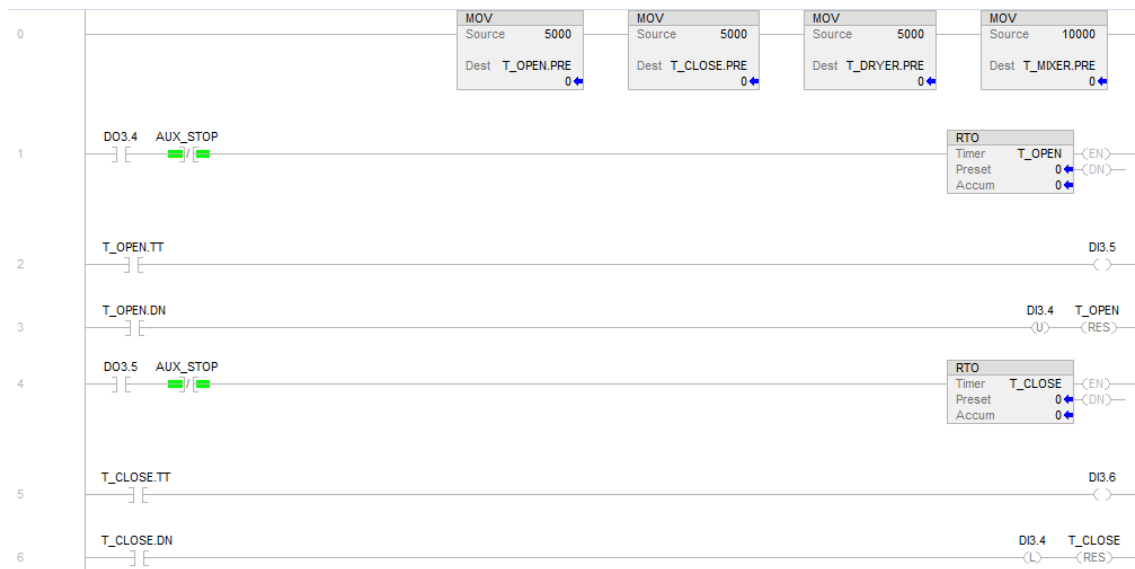


Figura 3.28. Subrutina_30_Mixer_system (1/3).

En la següent part de la subrutina trobem la simulació del comportament de la bomba i de la vàlvula tot o res, ambdós programades a través d'Add-Ons. Al final d'aquesta subrutina els comentarem.

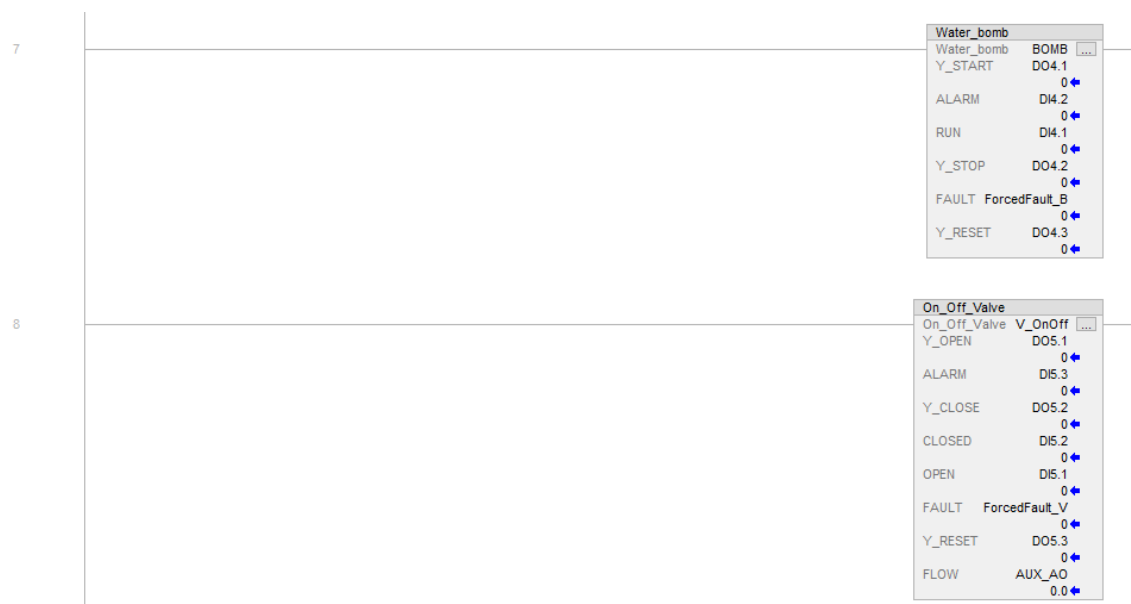


Figura 3.29. Subrutina_30_Mixer_system (2/3).

Per últim, en la tercera part d'aquesta subrutina trobem el funcionament de l'asseccadora i de la mescladora en si.

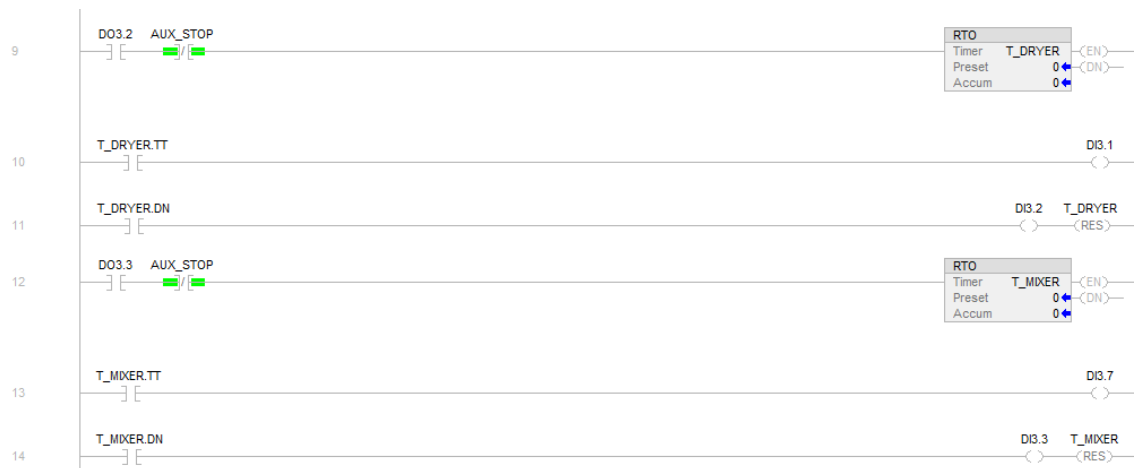


Figura 3.30. Subrutina_30_Mixer_system (3/3).

Com havíem dit anteriorment, aquesta subrutina utilitzava dos *Add-Ons*, el primer d'ells es el *Water-bomb*, encarregat de simular el comportament de la bomba d'aigua.

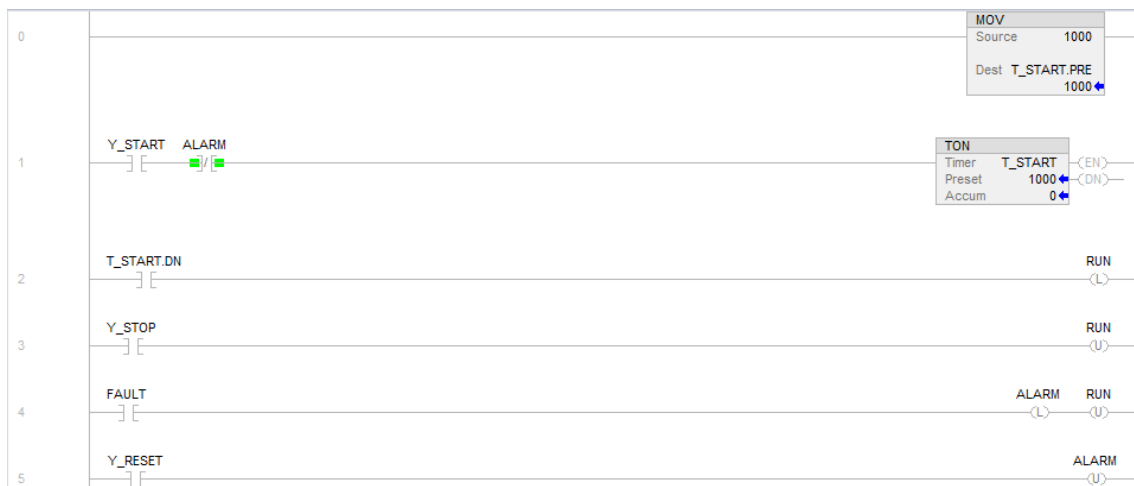


Figura 3.31. Add-On Water_bomb.

L'altre Add-On involucrat és el *ValveOnOff*, el qual gestiona el funcionament de la vàlvula tot o res.

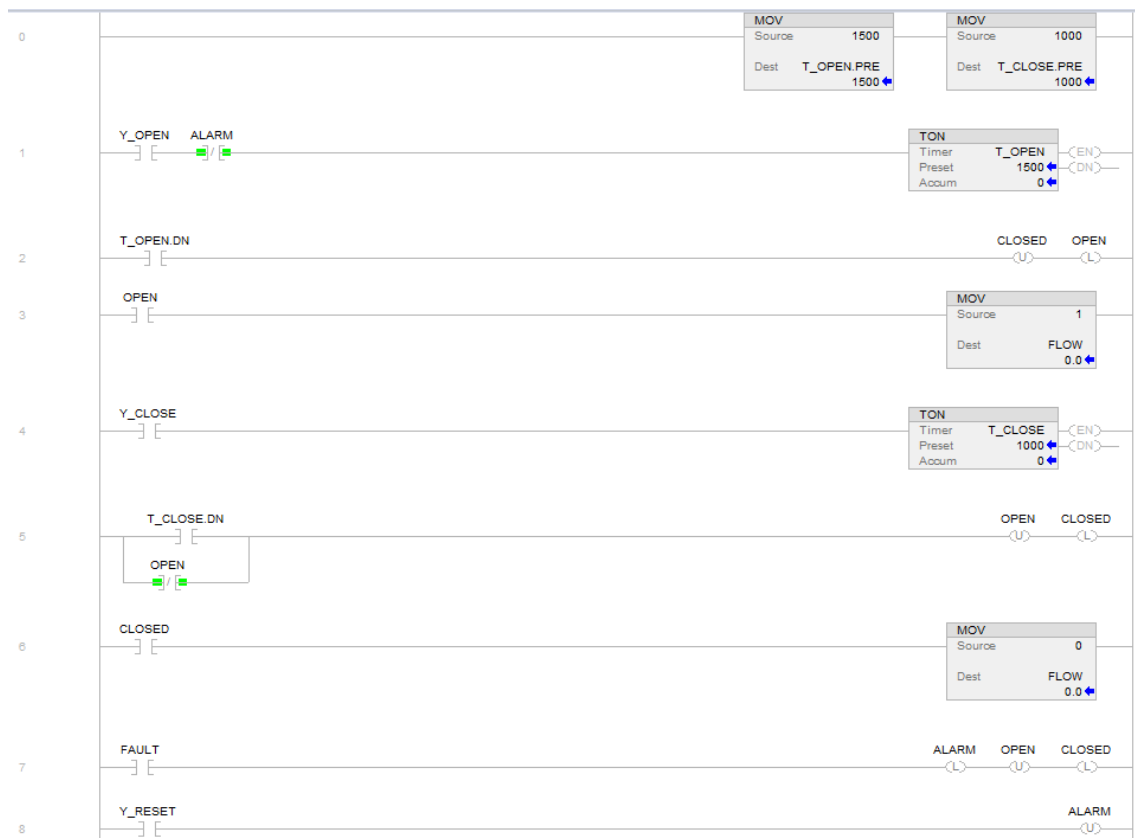


Figura 3.32. Add-On On_Off_Valve.

Seguim avançant i trobem la subrutina *_40_Presence_sensors*, una de les més complexes, per no dir la que més. S'encarrega de simular el comportament dels sensors ubicats al costat de la cinta transportadora.

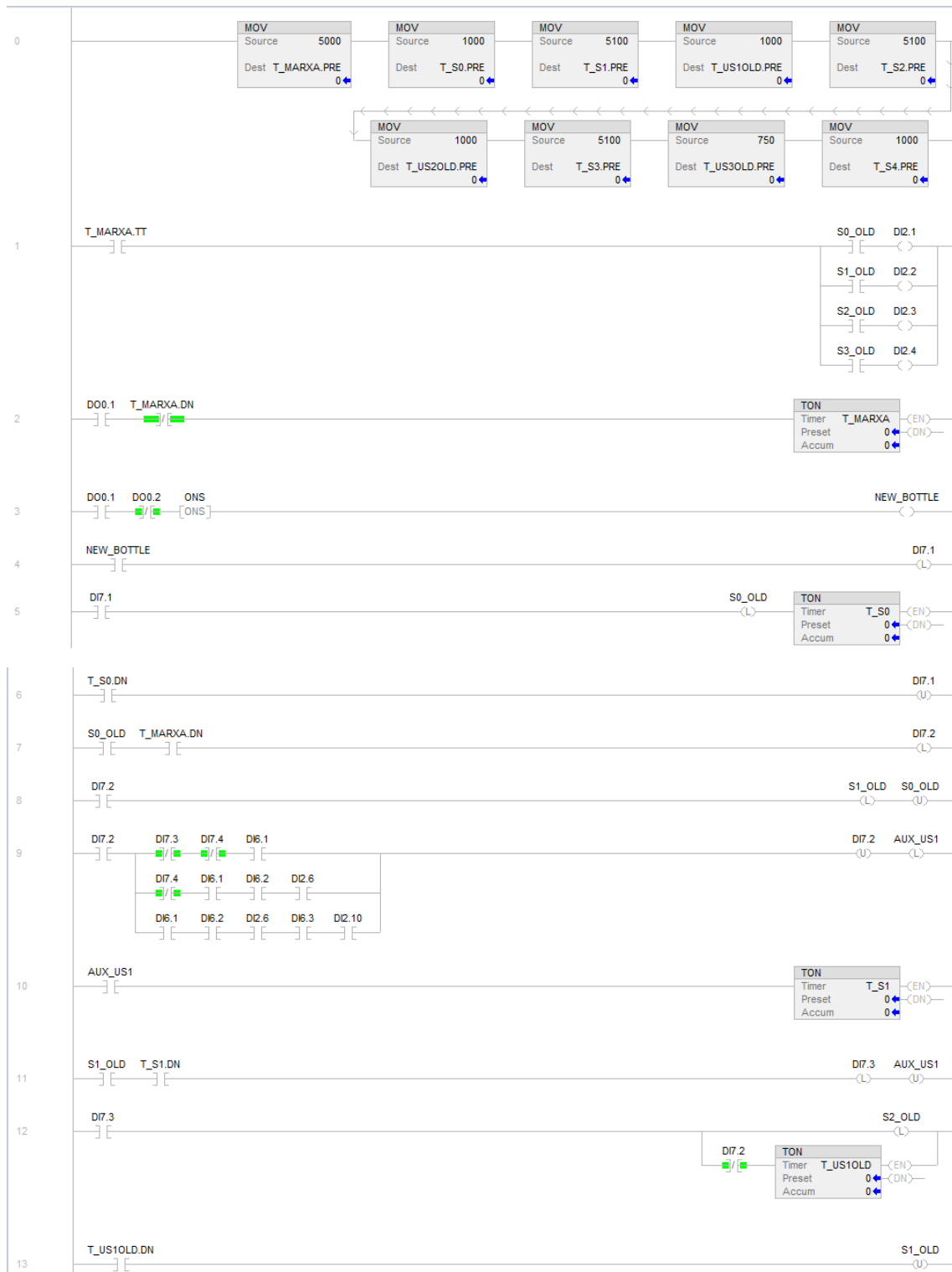


Figura 3.33. Subrutina_40_Presence_sensor (1/2).

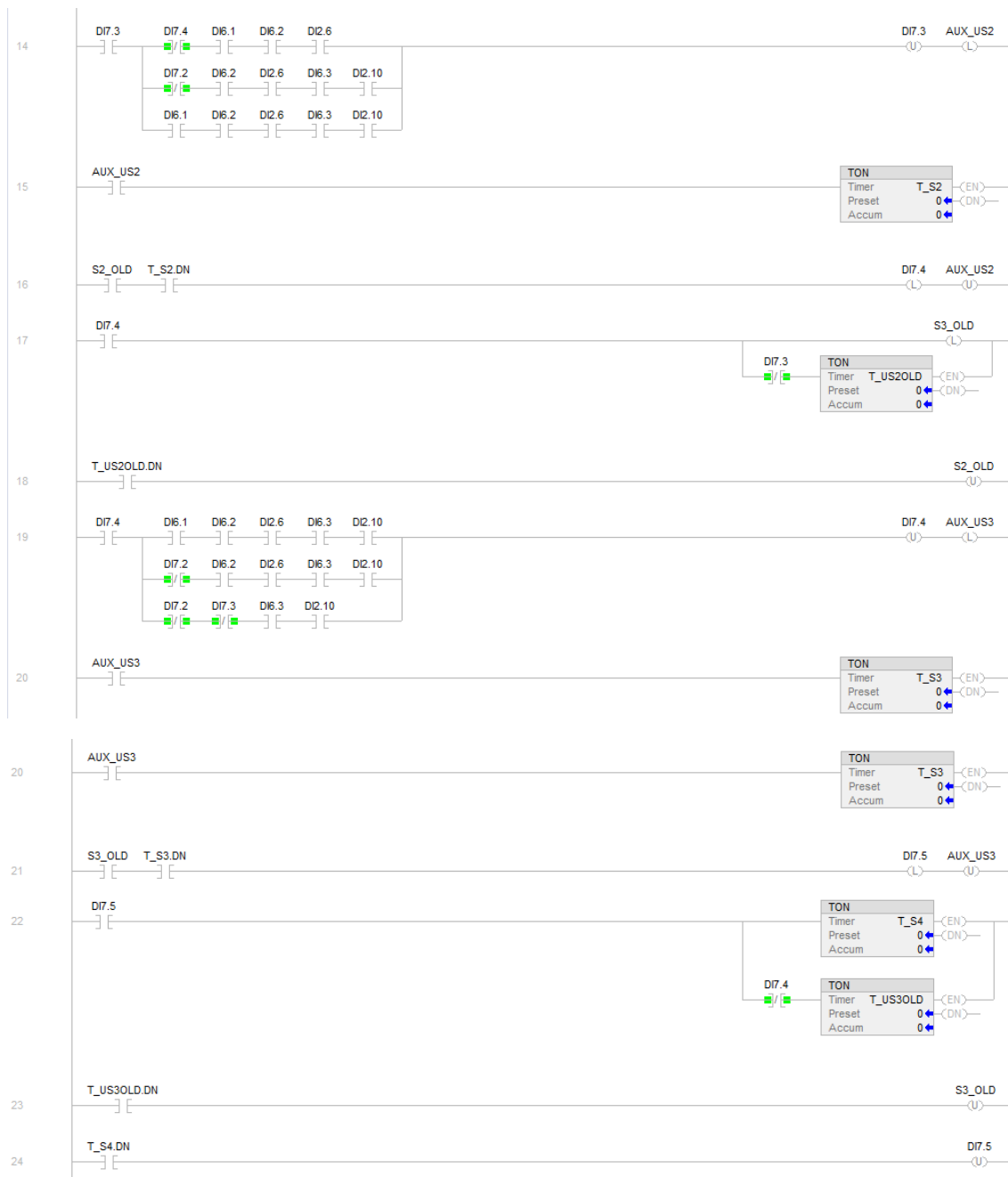


Figura 3.34. Subrutina_40_Presence_sensor (2/2).

La subrutina que trobem a continuació és la *_50_Bottle_filling*. Com el seu nom ens indica, s'encarrega de gestionar el procés d'omplir els pots.

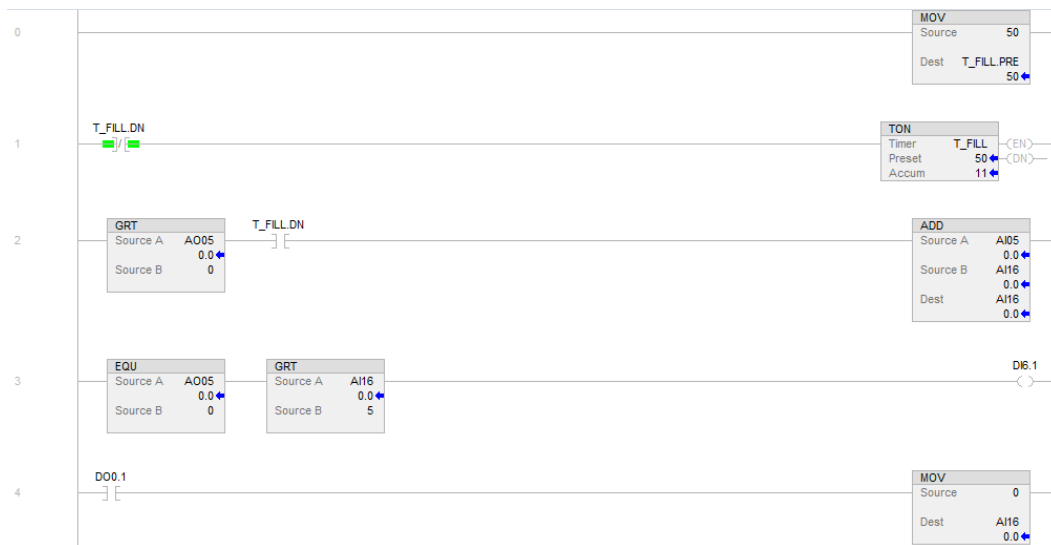


Figura 3.35. Subrutina_50_Bottle_filling.

Seguint l'ordre natural del procés dels pots, la següent subrutina que trobem es la 60_Bottle_capping, encarregada de gestionar el procés de taponament dels pots.

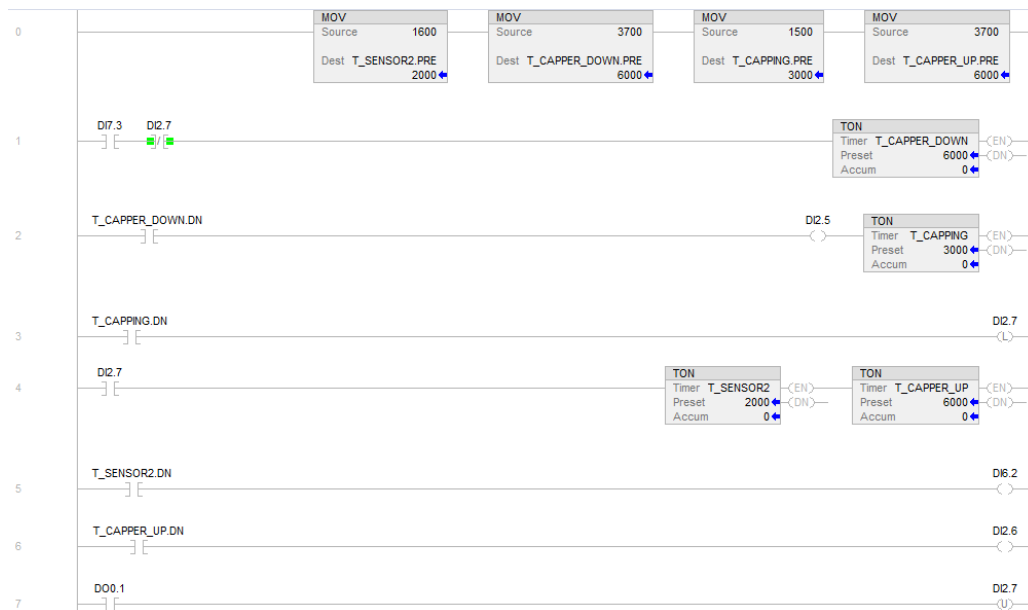


Figura 3.36. Subrutina_60_Bottle_capping.

La penúltima subrutina que trobem es la que gestiona el procés final pel qual passen els pots, és a dir, l'etiquetatge. S'anomena Subrutina_70_Bottle_labeling.

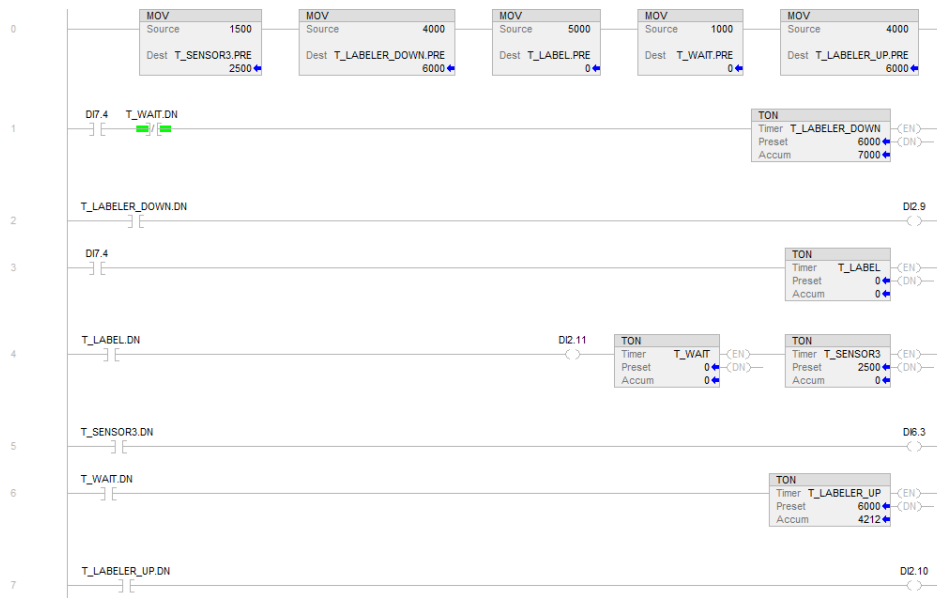


Figura 3.37. Subrutina _70_Bottle_labeling.

L'última subrutina que forma el programa de simulació es _80_Alarm. Com ens podem imaginar pel nom, ens permet forçar les alarmes dels diferents components del sistema com les vàlvules, la tapadora, etc.

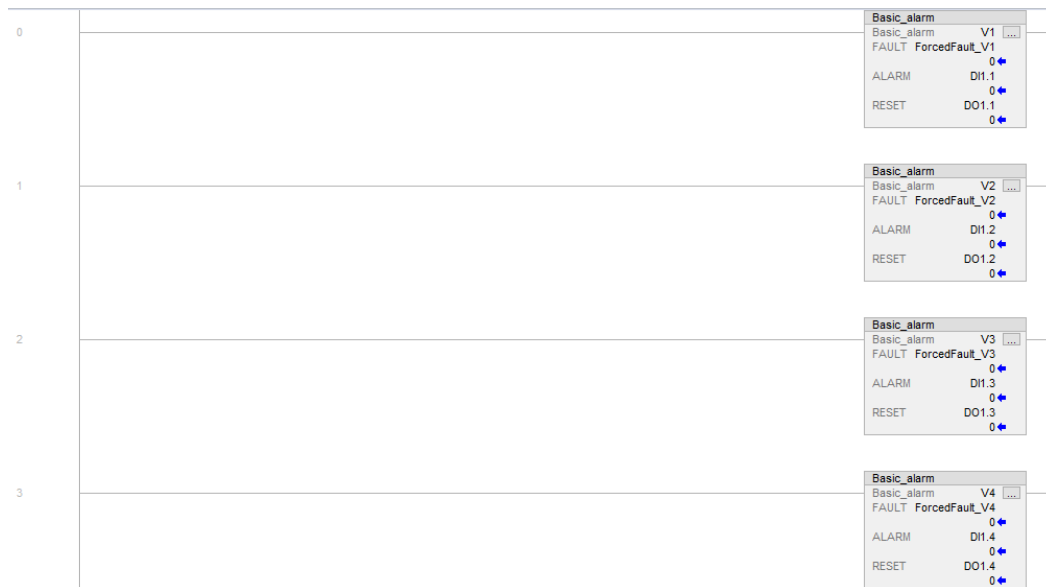


Figura 3.38. Subrutina _80_Alarm (1/2).

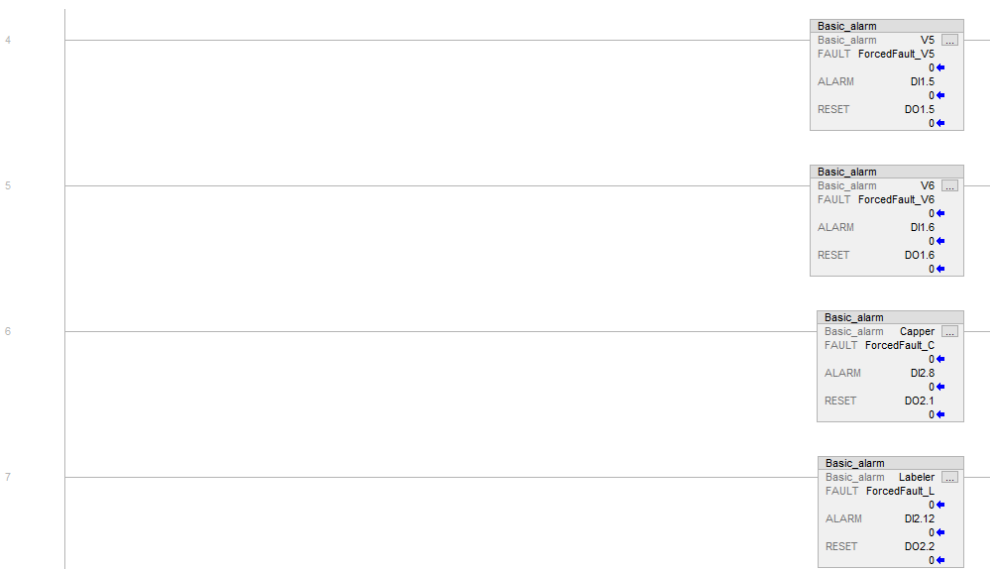


Figura 3.39. Subrutina _80_Alarm (2/2).

Com ens haurem adonat, la subrutina esta formada principalment per l'ús del *Add-On Basic_alarm*. El seu funcionament es molt simple, tan sols activa la alarma amb una variable que es pot forçar per programació, i la desactiva amb el boto de reinici.

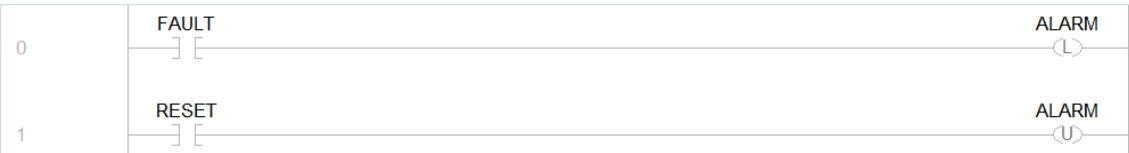


Figura 3.40. Add-On Basic Alarm.

3.3. Descomposició del Problema de Control

El problema de control del nostre projecte apareix principalment en dos moments del procés de producció. El primer a l'hora d'omplir la màquina mescladora i el segon en el instant on s'omplen els pots.

Pel primer punt, el repte es aconseguir que les vàlvules de posició permetin el pas del material exacte, ja sigui proteïna o sabor, per poder efectuar els pots configurats a la comanda i evitar un excés de material i conseqüentment un malbaratament del mateix.

En quant al segon problema, com és obvi, hem d'anar amb compte amb la quantitat amb la que omplim els pots. Per una banda no ens podem quedar curts, ja que si per algun cas ho investiguessin i viessin que estem omplint amb una quantitat inferior a l'anunciada, ens podríem estar enfrontant a problemes amb la justícia. Per una altra banda, si omplim el pot amb substancia de més, primer que podríem considerar que estem regalant material, ja que tot el

que estigui per sobre de la quantitat anunciada, el client no ho pagaria. Segon, podríem ocasionar problemes a l'hora de tancar el pot, o inclús si l'excedent és molt elevat, vessar material per les instal·lacions.

3.4. Codificació dels Elements i Sistemes

Abans de començar a definir les variables que conformaran el sistema, ens hem assegurat de seguir la regla IEC 61131-3 [10] a l'hora de fer-ho per tal de poder facilitar la comprensió a qualsevol persona, operari o enginyer que vulgui revisar el programa. Aquestes regles es centren en que cada variable ha d'estar definida amb una lletra concreta segons el tipus de funció que presenta. A continuació es detallarà les 4 lletres més empleades.

- X: La lletra "x" s'ha utilitzat per definir a aquelles variables que siguin enviades des del SCADA cap al PLC, és a dir, les senyals d'entrada de la fàbrica.
- Y: La lletra "y" s'ha utilitzat de manera contrària a la "x", és a dir, per a aquelles variables que provenen del PLC i van dirigides cap al SCADA, les senyals de sortida.
- C: La lletra "c" s'ha utilitzat per identificar a aquelles variables que venen des del SCADA però no com a sortides, sinó perquè han sigut activades per l'usuari per activar una funció.
- E: La lletra "e" s'ha utilitzat per definir a totes aquelles variables que representen els estats dels elements. Son les que permeten visualitzar a través del SCADA el estat del sistema.

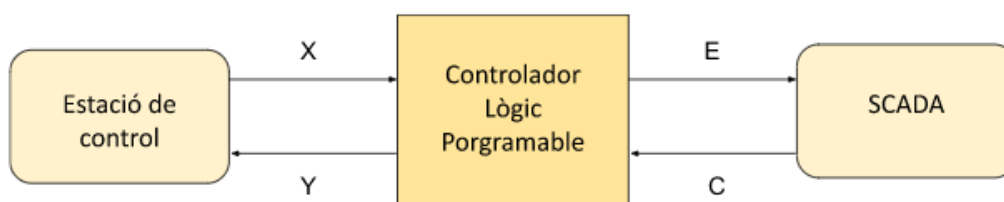


Figura 3.41. Esquema de la direccionalitat de les senyals.

No obstant això, aquestes no son les úniques lletres/combinacions de lletres que s'ha utilitzat:

- T: La lletra "t" s'ha utilitzat per a definir els temporitzadors requerits en la programació.

- CT: La combinació de lletres “ct” s’ha utilitzat per definir els comptadors.
- TOT: La abreviació “tot” provinent de la paraula total s’ha utilitzat per a definir variables on s’emmagatzemaven resultats de càlculs.
- AUX: La abreviació “aux” de la paraula auxiliar, s’ha utilitzat en variables on s’ha emmagatzemat dades d’altres variables, però de manera temporal.

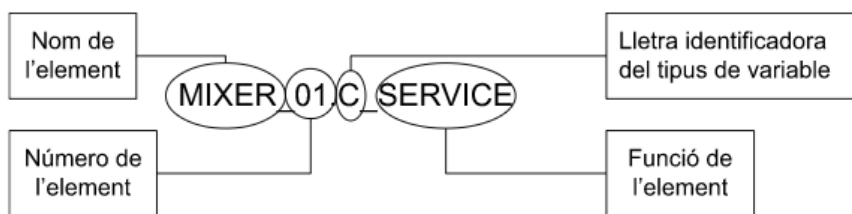


Figura 3.42. Exemple de codificació d'una variable; ordre mixer 01 en servei.

3.5. Definició de les Interfícies del Sistema de Control

Com hem comentat en apartats anteriors, un dels punts interessants d'aquest projecte i d'aquest sistema de control, es aconseguir treballar amb precisió per tal de poder estalviar, o més ben dit, evitar malbaratar, proteïna o sabors. Es per aquest motiu pel qual el funcionament de la planta es totalment en automàtic, no hi ha mode manual ja que es considera que no tindria cap mena de sentit i no aportaria cap benefici.

No obstant això, lògicament el sistema no comença a fabricar proteïna des del moment en que es posa en marxa, sinó que s'ha de complir certes condicions abans. En primer lloc, hem de posicionar tots els elements que treballen en el procés en estat de servei. Per fer això, des del SCADA hem d'enviar les ordres. Cada element té una pantalla on fer-ho, a continuació veurem la de les vàlvules per fer-nos una idea.

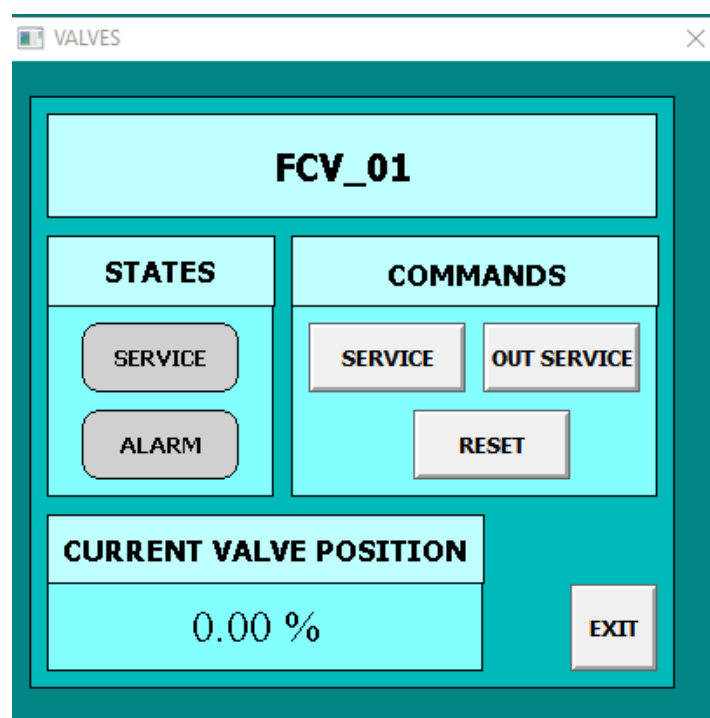


Figura 3.43. Pantalla de comandament de la FCV_01 com a exemple.

Un cop tenim tots els elements en estat de servei, hem de definir les comandes que nosaltres volem que el sistema porti a terme. Això ho fem des del panell de control del sistema, situat a la dreta de la pantalla principal.

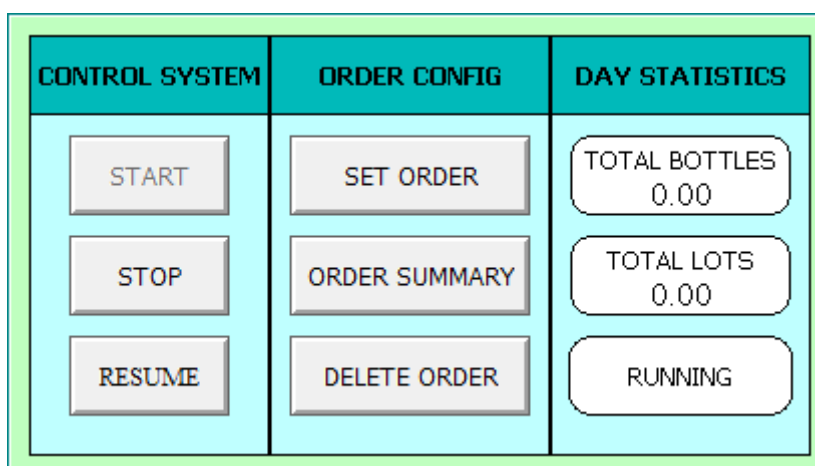


Figura 3.44. Panell de control del sistema.

3.6. Definició del fitxer d'intercanvi Controlador-SCADA

La funció d'aquest arxiu es recollir, organitzar i definir totes les variables que s'utilitzen tant en el control del sistema, en la supervisió del control, com en l'intercanvi entre els dos sistemes. En ell s'especifiquen la descripció de la variable, el nom, el tipus, o fins i tot si són entrades/sortides del PLC o SCADA.

Les primeres variables que veiem son les de la bomba d'aigua.

Tipus BOMB: BOMB_01				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag senyal	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Ordre sistema en marxa	Y_START	BOOL			1			
2	Estat sistema marxa	E_RUNNING	BOOL			1	1		
3	Senyal d'entrada marxa	X_RUNNING	BOOL	1					
4	Senyal sortida d'atur	Y_STOP	BOOL			1			
5	Senyal sortida de reinici	Y_RESET	BOOL			1			
6	Estat en alarma	E_ALARM	BOOL			1	1		
7	Senyal d'entrada d'alarma	X_ALARM	BOOL	1					
8	Ordre de servei	C_SERVICE	BOOL	1					1
9	Ordre de fora de servei	C_OSERVICE	BOOL	1					1
10	Ordre de reinici	C_RESET	BOOL	1					1
11	Estat en servei	E_SERVICE	BOOL			1	1		

Taula 3.1. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element BOMB.

Ara trobem les variables de la màquina tapadora.

Tipus MACHINES: CAPPER_01, LABELER_01				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag senyal	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Ordre de servei	C_SERVICE	BOOL	1					1
2	Ordre de fora de servei	C_OSERVICE	BOOL	1					1
3	Estat en servei	E_SERVICE	BOOL			1	1		
4	Ordre de reinici	C_RESET	BOOL	1					1
5	Estat en alarma	E_ALARM	BOOL			1	1		
6	Senyal d'entrada element col·locat	X_OK	BOOL	1					
7	Senyal d'entrada final cursa	X_DOWN	BOOL	1					
8	Senyal d'entrada inici cursa	X_UP	BOOL	1					
9	Estat a baix	E_GD	BOOL			1	1		
10	Estat a dalt	E_GU	BOOL			1	1		
11	Estat treballant	E_WORKING	BOOL			1	1		
12	Senyal d'entrada d'alarma	X_ALARM	BOOL	1					
13	Senyal de sortida de reinici	Y_RESET	BOOL			1			

Taula 3.2. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element MACHINES.

Les següents variables son les que interactuen amb la cinta transportadora.

Tipus CONVEYOR: CONVEYOR				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag senyal	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Estat de la cinta aturat	E_STOP	BOOL			1	1		
2	Senyal de sortida cinta en marxa	Y_RUN	BOOL			1			
3	Estat continuar marxa	E_CONTINUE	BOOL			1	1		
4	Estat moviment 1	E_MOVE_1	BOOL			1	1		
5	Estat moviment 2	E_MOVE_2	BOOL			1	1		
6	Estat moviment 3	E_MOVE_3	BOOL			1	1		
7	Estat moviment 4	E_MOVE_4	BOOL			1	1		
8	Senyal d'entrada moviment 1	X_MOVE_1	BOOL	1					
9	Senyal d'entrada moviment 2	X_MOVE_2	BOOL	1					
10	Senyal d'entrada moviment 3	X_MOVE_3	BOOL	1					
11	Senyal d'entrada moviment 4	X_MOVE_4	BOOL	1					
12	Auxiliar nivell pot a la durant la cinta	AUX_LEVEL	REAL			1	1		
13	Senyal de sortida no més pots	Y_STOP_BOTTLES	BOOL			1			

Taula 3.3. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element CONVEYOR.

Aquestes variables son les de l'assecadora.

Tipus DRYER: DRYER_01				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag senyal	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Ordre de servei	C_SERVICE	BOOL	1					1
2	Ordre de fora de servei	C_OSERVICE	BOOL	1					1
3	Ordre de reinici	C_RESET	BOOL	1					1
4	Estat en servei	E_SERVICE	BOOL			1	1		
5	Estat assecadora assecant	E_DRYING	BOOL			1	1		
6	Senyal d'entrada assecant	X_DRYING	BOOL	1					
7	Senyal d'entrada iniciar assecat	X_DRY	BOOL	1					
8	Senyal de sortida assecat finalitzat	Y_DRY	BOOL			1			
9	Senyal de sortida de reinici	Y_RESET	BOOL			1			
10	Senyal d'entrada d'alarma	X_ALARM	BOOL	1					
11	Estat d'alarma	E_ALARM	BOOL			1	1		

Taula 3.4. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element DRYER.

Seguim amb les variables encarregades de gestionar les 4 vàlvules del sistema.

Tipus Flow Control Valve: FCV_01, FCV_02, FCV_03, FCV_04				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag senyal	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Estat en servei	E_SERVICE	BOOL			1	1		
2	Ordre de servei	C_SERVICE	BOOL	1					1
3	Ordre de fora de servei	C_OSERVICE	BOOL	1					1
4	Estat d'alarma	E_ALARM	BOOL			1	1		
5	Ordre de reinici	C_RESET	BOOL	1					1
6	Senyal de sortida posició vàlvula	Y_POSITION	REAL			1			
7	Ordre posició vàlvula	C_POSITION_AUTO	REAL	1					1
8	Senyal de sortida de reinici	Y_RESET	BOOL			1			
9	Senyal d'entrada d'alarma	X_ALARM	BOOL	1					

Taula 3.5. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element FCV.

Davant trobem el conjunt de variables que formen la màquina mescladora.

Tipus MIXER: MIXER_01				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag senyal	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Senyal d'entrada del pes de la mescladora	X_WEIGHT	REAL	1					
2	Pes de la mescladora	WEIGHT	REAL			1	1		
3	Senyal d'entrada mescladora tapada	X_SENSOR_COVER	BOOL	1					
4	Estat començant a netejar	E_START_WASHING	BOOL			1	1		
5	Senyal de sortida obrir tapa	Y_OPEN_COVER	BOOL			1			
6	Senyal de sortida tancar tapa	Y_CLOSE_COVER	BOOL			1			
7	Estat mescladora netejada	E_CLEAN_MIXER	BOOL			1	1		
8	Estat omplint mescladora	E_START_FILLING	BOOL			1	1		
9	Estat mescladora omplerta	E_FILLING_COMPLETED	BOOL			1	1		
10	Senyal de sortida iniciar mescla	Y_START_MIX	BOOL			1			
11	Senyal d'entrada mescla finalitzada	X_MIX_FINISHED	BOOL	1					
12	Estat inici del procés	E_START_PROCESS	BOOL			1	1		
13	Estat mesclant	E_MIXING	BOOL			1	1		

14	Estat de neteja 1	E_STEP1	BOOL			1	1		
15	Estat assecant	E_DRYING	BOOL			1	1		
16	Estat tancant tapa	E_CLOSING	BOOL			1	1		
17	Estat obrint tapa	E_OPENING	BOOL			1	1		
18	Temporitzador deixa sortir aigua	T_WATER	TIMER						
19	Ordre servei	C_SERVICE	BOOL	1					1
20	Ordre fora de servei	C_OSERVICE	BOOL	1					1
21	Ordre de reinici	C_RESET	BOOL	1					1
22	Estat en servei	E_SERVICE	BOOL			1	1		
23	Senyal de sortida de reinici	Y_RESET	BOOL			1			
24	Estat mescladora tapada	E_COVERED	BOOL			1	1		
25	Senyal d'entrada d'alarma	X_ALARM	BOOL	1					
26	Estat d'alarma	E_ALARM	BOOL			1	1		
27	Senyal d'entrada obrint tapa	X_CLOSING	BOOL	1					
28	Senyal d'entrada tancant tapa	X_OPENING	BOOL	1					
29	Estat de neteja 2	E_STEP2	BOOL			1	1		
30	Estat mesclant	X_MIXING	BOOL	1					

Taula 3.6. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element MIXER.

Aquí tenim les variables que intervenen en el funcionament de tot el conjunt de sensors.

Tipus SENSORS: S_01, S_02, S_03, CS_01, CS_02, CS_03, CS_04, CS_05				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag senyal	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Senyal d'entrada de nivell	X_LEVEL	REAL	1					
2	Nivell del sensor	LEVEL	REAL			1	1		
3	Estat sensor detectat	E_OK	BOOL			1	1		
4	Senyal d'entrada sensor detectat	X_OK	BOOL	1					

Taula 3.7. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element SENSORS.

Aquestes son les variables empleades en el control dels tancs.

Tipus TANK: TANK_01, TANK_02, TANK_03, TANK_04				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag senyal	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Ordre d'afegir pes	C_LOAD	REAL	1					1
2	Estat afegint pes	E_FILL	BOOL			1	1		

3	Senyal de sortida pes a afegir	Y_LOAD	REAL			1			
4	Senyal d'entrada pes del tanc	X_WEIGHT	REAL	1					
5	Pes del tanc	WEIGHT	REAL			1	1		
6	Ordre omplir tanc	C_FILL	BOOL	1					1
7	Senyal d'entrada tanc omplert	X_FILL_COMPLETED	BOOL	1					
8	Senyal d'entrada alarma pes màxim	X_ALARM_MAX_WEIGHT	BOOL	1					
9	Estat d'alarma	E_ALARM	BOOL			1	1		
10	Ordre de reinici	C_RESET	BOOL	1					1
11	Ordre de cancel·lar afegir pes	C_CANCEL	BOOL	1					1

Taula 3.8. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element TANK.

Per últim tenim les variables de la vàlvula tot o res.

Tipus On off Valve: V_01				PLC			SCADA		
Item	Descripció	Tag senyal	Tipus	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Estat vàlvula oberta	E_OPEN	BOOL			1	1		
2	Senyal de sortida obrir vàlvula	Y_OPEN	BOOL			1			
3	Senyal de sortida tancar vàlvula	Y_CLOSE	BOOL			1			
4	Senyal d'entrada obrir vàlvula	X_OPEN	BOOL	1					
5	Senyal de sortida de reinici	Y_RESET	BOOL			1			
6	Senyal d'entrada d'alarma	X_ALARM	BOOL	1					
7	Estat d'alarma	E_ALARM	BOOL			1	1		
8	Ordre de servei	C_SERVICE	BOOL	1					1
9	Ordre de fora de servei	C_OSERVICE	BOOL	1					1
10	Ordre de reinici	C_RESET	BOOL	1					1
11	Estat en servei	E_SERVICE	BOOL			1	1		
12	Senyal d'entrada vàlvula tancada	X_CLOSED	BOOL	1					
13	Estat vàlvula tancada	E_CLOSED	BOOL			1	1		

Taula 3.9. Fitxer intercanvi de les variables associades a l'element V.

3.7. Programa del Controlador

En aquest capítol s'entrarà en profunditat en el programa que controla el procés. Es veurà l'estructura del programa, els tipus de dades creades pel control dels elements, la lògica, així com la seqüència de control i les regulacions dels llaços de control a través dels mòduls PID.

3.7.1. Estructura del Programa

L'estructura del programa es divideix en tres blocs principals. El primer d'ells es el *Main_Program*, el segon el *Control_System* i el tercer el *Plant_Simulation*. Els dos primers son els encarregats del funcionament dels elements i del control del procés, mentre que el darrer aborda tot el tema de la simulació. A continuació entrarem una mica més en detall en cadascun d'ells.

En el *Main_Program* es programa el control i el comportament dels elements, és a dir, els estats de servei, alarmes, etc. Per tal de facilitar la comprensió del codi, cada element del sistema te la seva pròpia subrutina.

En el *Control_System* es programa el control de la fàbrica. Està dividit en tres subrutines on cadascuna d'elles s'encarrega de controlar un conjunt de processos. Des de la posada en marxa del sistema, l'aturada del mateix, la configuració de les comandes, la regulació dels diferents PID, entre d'altres.

En el *Plant_Simulation* es programa com ja hem vist prèviament a la memòria, la simulació del procés. Només per si un cas, repetir que la simulació esta programada dins del controlador perquè al no ser un cas real, s'ha dissenyat embeguda en el PLC.

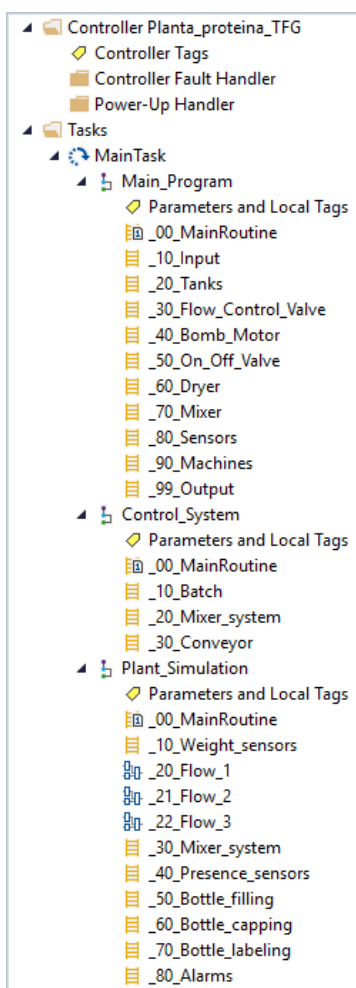


Figura 3.45. Estructura programa PLC.

3.7.2. Definició dels Tipus de Dades

El programa *RSLogix 5000 Studio* permet la creació de codi comú per un tipus de dades o classe que serveix per implementar tota la lògica de l'element. aquest tipus de dades són anomenades com a *User Defined Strings* o més comunament abreviades com a UDT.

A continuació es mostra les deu diferents UDTs que s'ha creat per la implementació del programa.

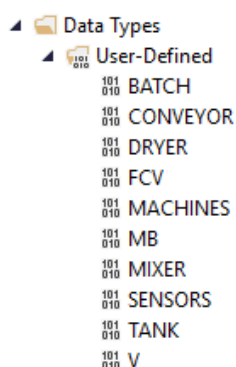


Figura 3.46. UDTs del projecte.

Del segon UDT fins al final son per als equips del sistema, i ja hem vist detallades les variables que els conformen en el punt 3.6 de l'informe. L'UDT *BATCH* és el més extens de tots; recull les variables que ens permeten controlar el sistema de manera automàtica, preparar les comandes, aturar en cas d'emergència i un llarg etcètera; el veiem en la següent taula.

Tipus BATCH: BATCH			
Item	Descripció	Tag senyal	Tipus
1	Ordre sistema en marxa	C_START	BOOL
2	Estat sistema iniciat	E_INITIATE	BOOL
3	Estat <i>batch</i> finalitzat	E_END	BOOL
4	Ordre nova comanda	C_NEW	BOOL
5	Ordre numero de pots	C_BOTTLES_NUMBER	REAL
6	Ordre concentració proteïna	C_PERCENTAGE	REAL
7	Comptador de <i>batches</i>	CT_BATCHES	COUNTER
8	Comptador de noves comandes	CT_NEW	COUNTER
9	Ordre sabor xocolata	C_FLAVOR_C	BOOL
10	Ordre sabor maduixa	C_FLAVOR_S	BOOL
11	Ordre sabor plàtan	C_FLAVOR_B	BOOL
12	Total de proteïna	TOT_PROT	REAL[9]
13	Total de xocolata	TOT_CHOC	REAL[9]
14	Total de maduixa	TOT_STRA	REAL[9]
15	Total de plàtan	TOT_BAN	REAL[9]
16	Auxiliar de numero de pots	AUX_BOTTLES	REAL[9]
17	Quantitat total a utilitzar	TOT_AMOUNT	REAL
18	Comptador pots completats	CT_BOTTLES_COMPLETED	COUNTER
19	Comptador pots produïts	CT_BOTTLES_PRODUCED	COUNTER
20	Estat sense sabor	E_UNFLAVORED	BOOL
21	Estat sabor xocolata	E_FLAVOR_C	BOOL
22	Estat sabor maduixa	E_FLAVOR_S	BOOL
23	Estat sabor plàtan	E_FLAVOR_B	BOOL

24	Estat sabor xocolata i maduixa	E_FLAVOR_CS	BOOL
25	Estat sabor xocolata i plàtan	E_FLAVOR_CB	BOOL
26	Estat sabor maduixa i plàtan	E_FLAVOR_SB	BOOL
27	Estat sabor xocolata, maduixa i plàtan	E_FLAVOR_CSB	BOOL
28	Ordre sense sabor	C_UNFLAVORED	BOOL
29	Ordre eliminar comanda	C_DELETE	BOOL
30	Ordre confirmar comanda	C_CONFIRM	BOOL
31	Auxiliar concentració de proteïna	AUX_PERCENTAGE	REAL[9]
32	Estat omplint	E_FILLING	BOOL
33	Add-On per realitzar comandes	GLOBAL	Order_set
34	Temporitzador pels PIDs dels tancs	T_PID_TANK	TIMER
35	Temporitzador pel PID d'omplir pots	T_PID_FILL	TIMER
36	Temporitzador pel PID de la mescladora	T_PID_WATER	TIMER
37	PID tanc de proteïna	PID_PROT	PID
38	PID tanc de xocolata	PID_CHOC	PID
39	PID tanc de maduixa	PID_STRA	PID
40	PID tanc de plàtan	PID_BAN	PID
41	PID omplir pots	PID_FILL	PID
42	PID mescladora	PID_WATER	PID
43	Estat proteïna insuficient	E_PROT_ALARM	BOOL
44	Estat xocolata insuficient	E_CHOC_ALARM	BOOL
45	Estat maduixa insuficient	E_STRA_ALARM	BOOL
46	Estat plàtan insuficient	E_BAN_ALARM	BOOL
47	Ordre refusar alarmes	C_REJECT	BOOL
48	Ordre aturar sistema	C_STOP	BOOL
49	Estat sistema aturar	E_STOP	BOOL
50	Estat en marxa	E_RUN	BOOL
51	Ordre de reprendre	C_RESUME	BOOL
52	Senyal de sortida de marxa	E_START	BOOL
53	Estat comanda finalitzada	E_FINALIZED	BOOL

Taula 3.10. UDT BATCH.

Un cop creats tots els UDTs, hem d'utilitzar l'estructura de cadascun per crear variables per a cada un dels equips que presentin la mateixa funció.

Name	Alias For	Base Tag	Data Type
▶ CAPPER_01			MACHINES
▶ CONVEYOR_01			CONVEYOR
▶ CS_01			SENSORS
▶ CS_02			SENSORS
▶ CS_03			SENSORS
▶ CS_04			SENSORS
▶ CS_05			SENSORS

Figura 3.47. Exemple variables amb estructura UDT.

3.7.3. Lògica de Control dels Elements

La lògica de control inicia com ho feia la simulació, amb una rutina principal anomenada `_00_Main_Routine` des de la qual es criden les demes subrutines del programa. S'utilitza aquest mètode, perquè un cop creades les UDTs el més senzill per estalviar-nos picar codi innecessari, és crear una subrutina per a cada element i anar-la cridant amb les diferents variables del mateix element formades a partir de l'estructura de la UDT. A continuació ho podreu veure de manera més clara.

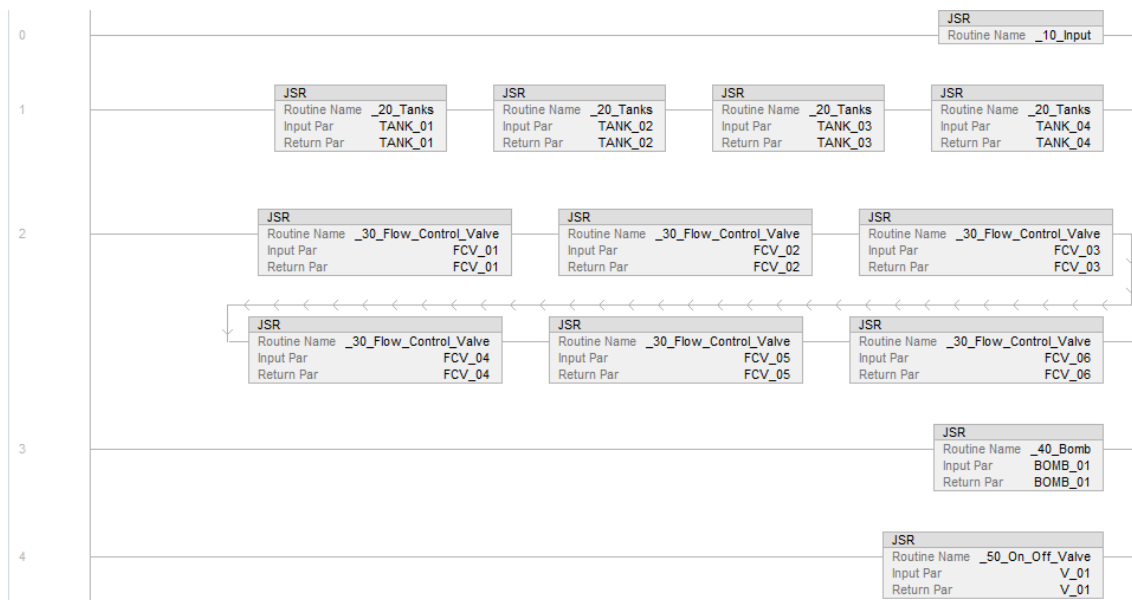


Figura 3.48. Rutina `_00_Main_Routine` (1/2).

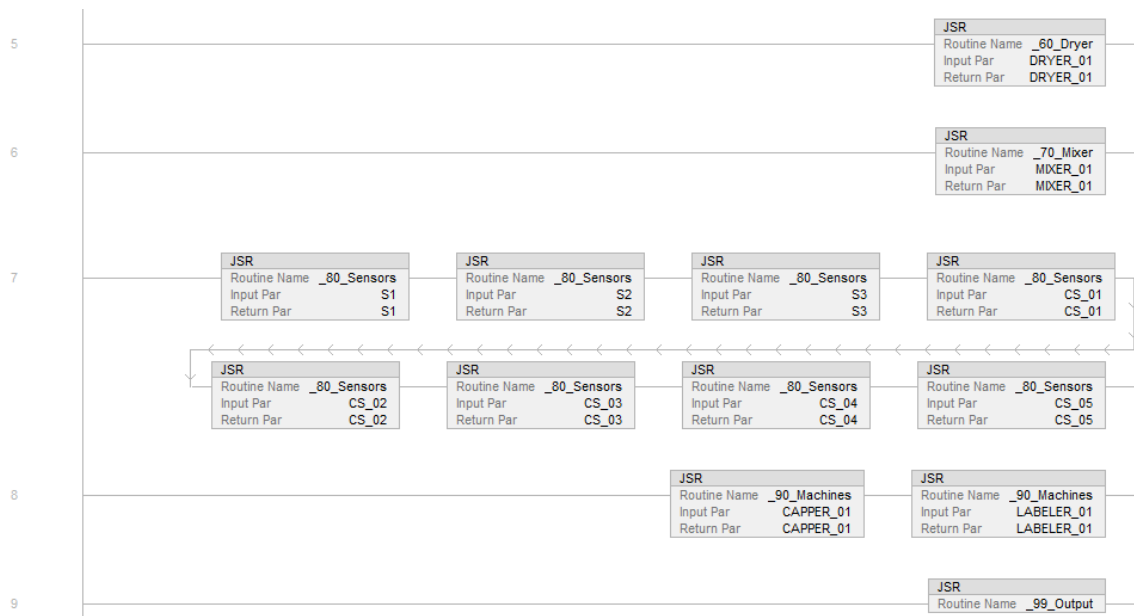


Figura 3.49. Rutina _00_Main_Routine (2/2).

La primera subrutina que trobem es la `_10_Input`. En aquesta es copien totes les entrades físiques del PLC a les nostres marques internes.

Trobem les imatges d'aquesta subrutina a l'annex 1.

La segona subrutina es la `_20_Tanks`. Recull el comportament dels tancs.

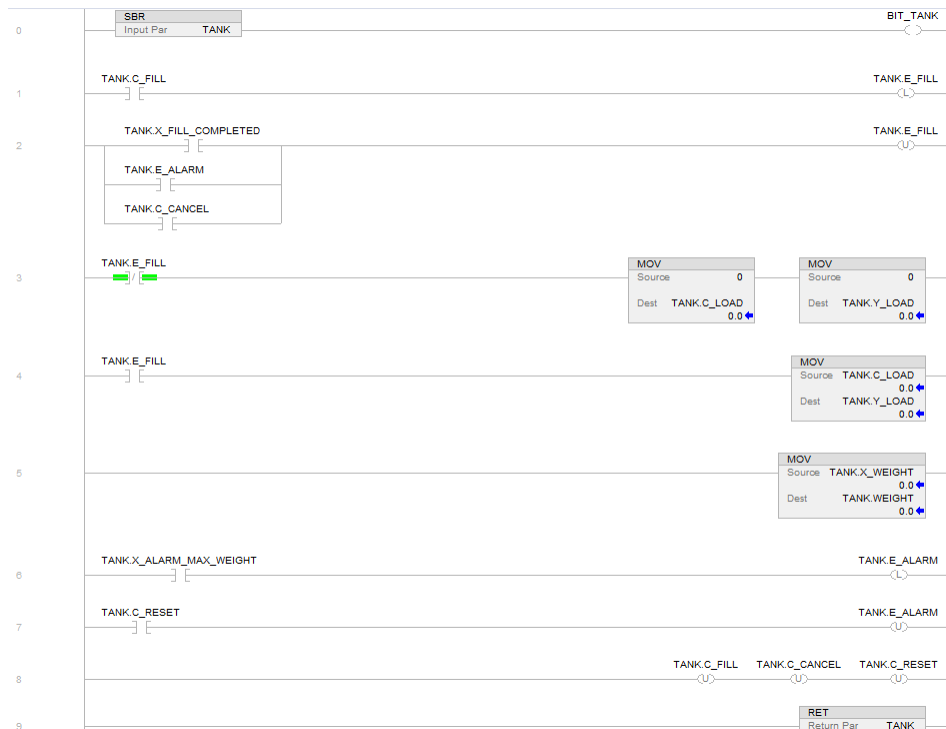


Figura 3.50. Subrutina _20_Tanks.

Passem a la subrutina `_30_Flow_Control_Valve`. Gestiona les sis vàlvules de la fàbrica.

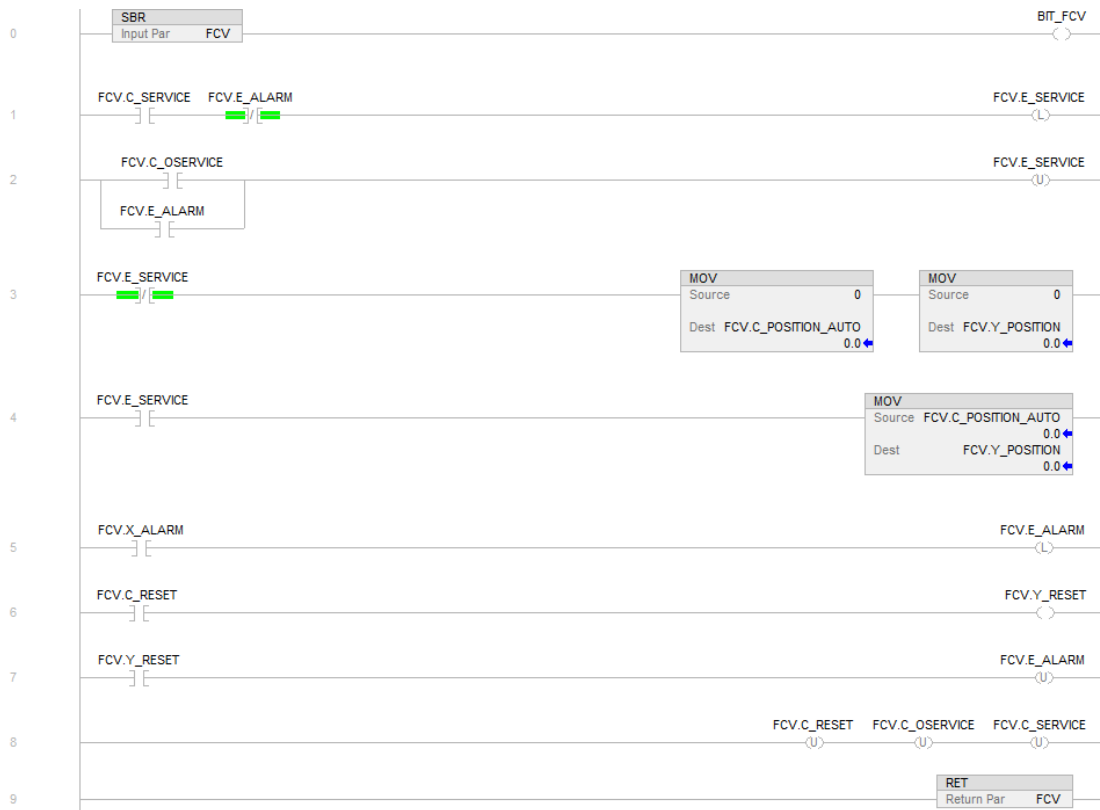


Figura 3.51. Subrutina `_30_Flow_Control_Valve`.

La quarta subrutina es la `_40_Bomb`. Defineix el funcionament de la bomba d'aigua.



Figura 3.52. Subrutina `_40_Bomb`.

Ara trobem la subrutina `_50_On_Off_Valve`. Encarregada de controlar el comportament de la vàlvula tot o res.



Figura 3.53. Subrutina `_50_On_Off_Valve`.

Seguem amb la subrutina `_60_Dryer`. S'encarrega de la màquina assecadora.

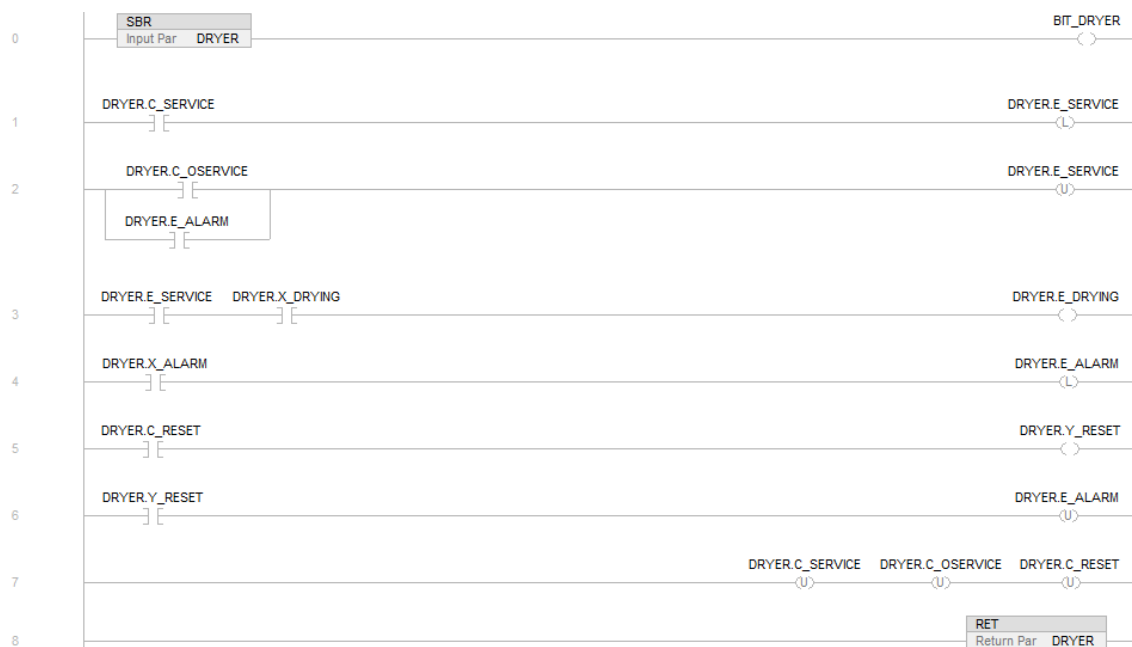


Figura 3.54. Subrutina `_60_Dryer`.

Mes endavant trobem la *_70_Mixer*. Aquesta es tracta de la subrutina que controla el comportament de la mescladora.

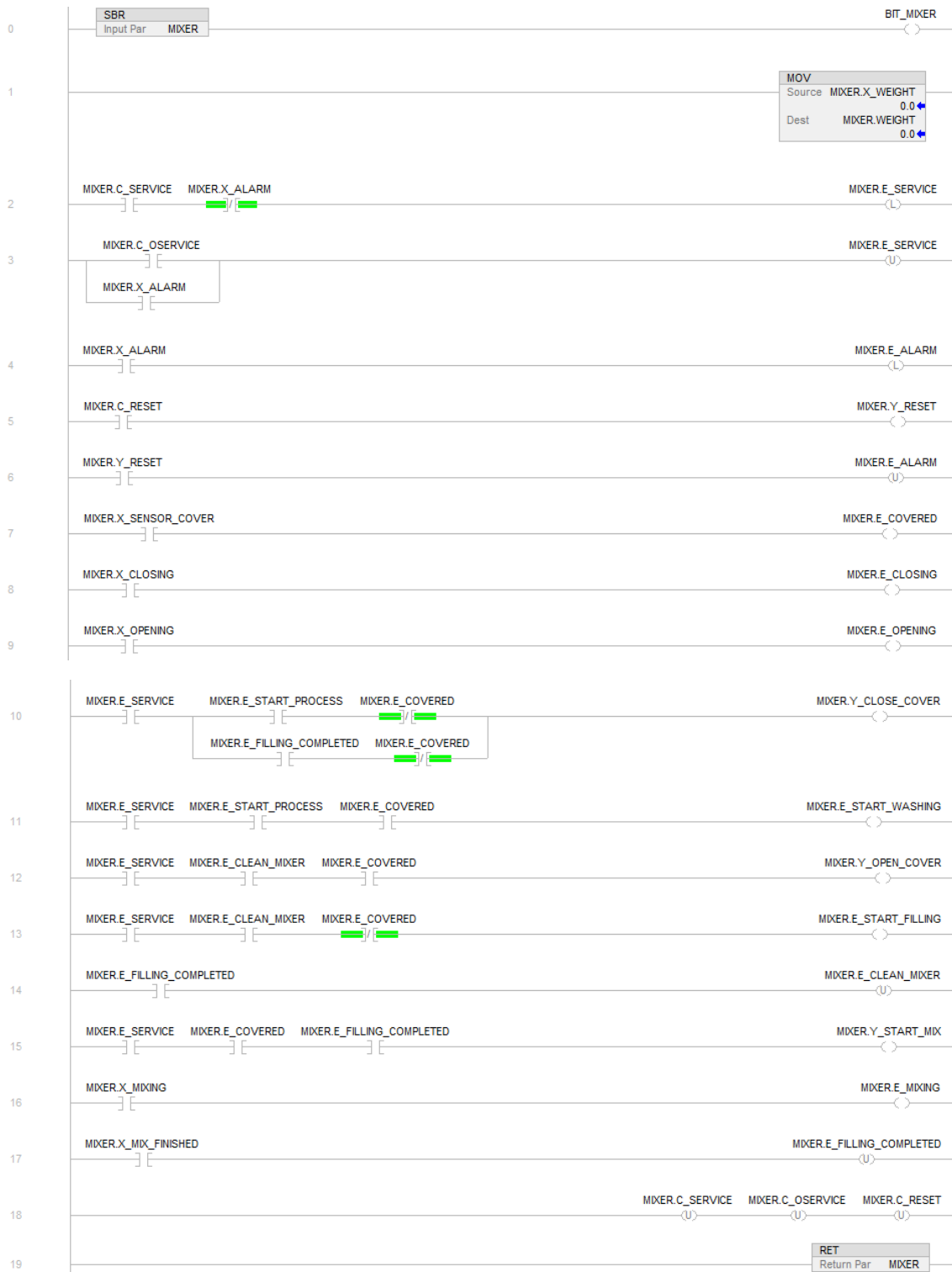


Figura 3.55. Subrutina *_70_Mixer*.

Tot seguit trobem la subrutina més curta del programa, la `_80_Sensors`. Controla el funcionament de les variables dels sensors.

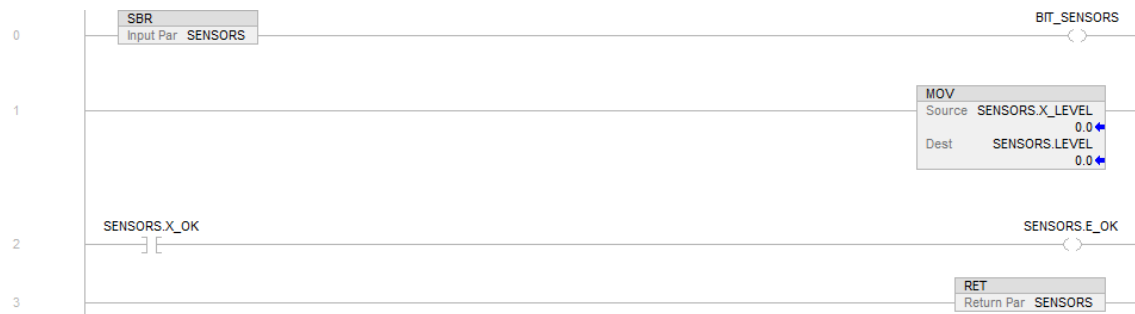


Figura 3.56. Subrutina `_80_Sensors`.

Anem arribant al final i trobem la subrutina `_90_Machines`. S'encarrega de les variables de la màquina tapadora i etiquetadora.



Figura 3.57. Subrutina `_90_Machines`.

Per últim trobem la subrutina `_99_Output`. En aquesta es copien les sortides internes a les sortides físiques del PLC.

De nou, les imatges d'aquesta subrutina les trobem a l'annex 1.

3.7.4. Lògica de Control dels Sistemes

En el següent apartat mostrarem una breu descripció de la seqüència dissenyada pel control del sistema.

El seu disseny segueix l'estructura dels altres blocs del programa que hem vist prèviament al treball. El primer que trobem és una rutina principal la qual s'encarregarà de cridar a les altres subrutines on hi ha el codi que controla el funcionament. En el nostre projecte hem dividit el control en tres blocs: la seqüència anomenada *batch*, és a dir, el funcionament de les comandes, el registre de les ordres, l'inici i l'atur del sistema i la gestió dels tancs de proteïna i sabors; l'entorn de la mescladora, anomenat *Mixer_system*, que recull les interaccions de la bomba d'aigua amb la seva vàlvula corresponent, l'assecadora i el tanc mesclador; i la cinta transportadora, anomenada *Conveyor*, on entren els sensors de la pròpia cinta i els externs, i els processos d'omplir, tapar i etiquetar els pots.

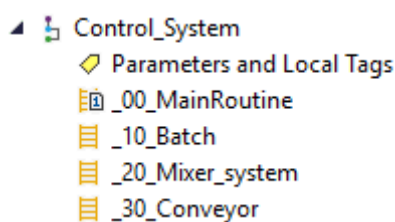


Figura 3.58. Estructura de control.

3.7.5. Seqüències de Control

La rutina principal rep el nom de *_00_MainRoutine*. Com hem vist en altres ocasions, la seva funció és cridar a les altres tres subrutines.

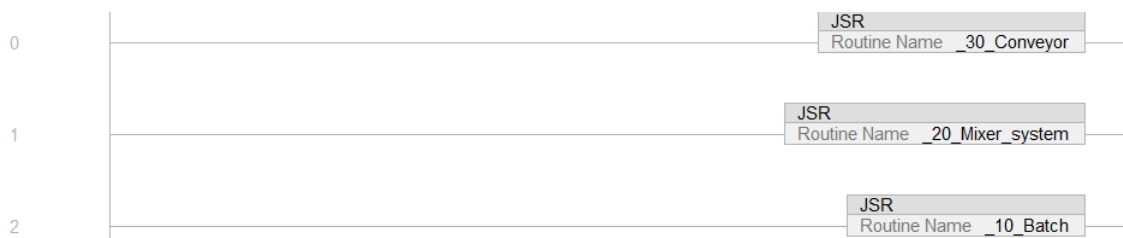


Figura 3.59. Rutina *_00_MainRoutine*.

La primera subrutina que trobem és *_10_Batch*. Ja hem explicat anteriorment que és l'encarregada del control de les comandes, i de l'inici del sistema entre d'altres.

Supervisió, control i simulació per l'automatització
d'un procés de producció de suplementes de proteïna

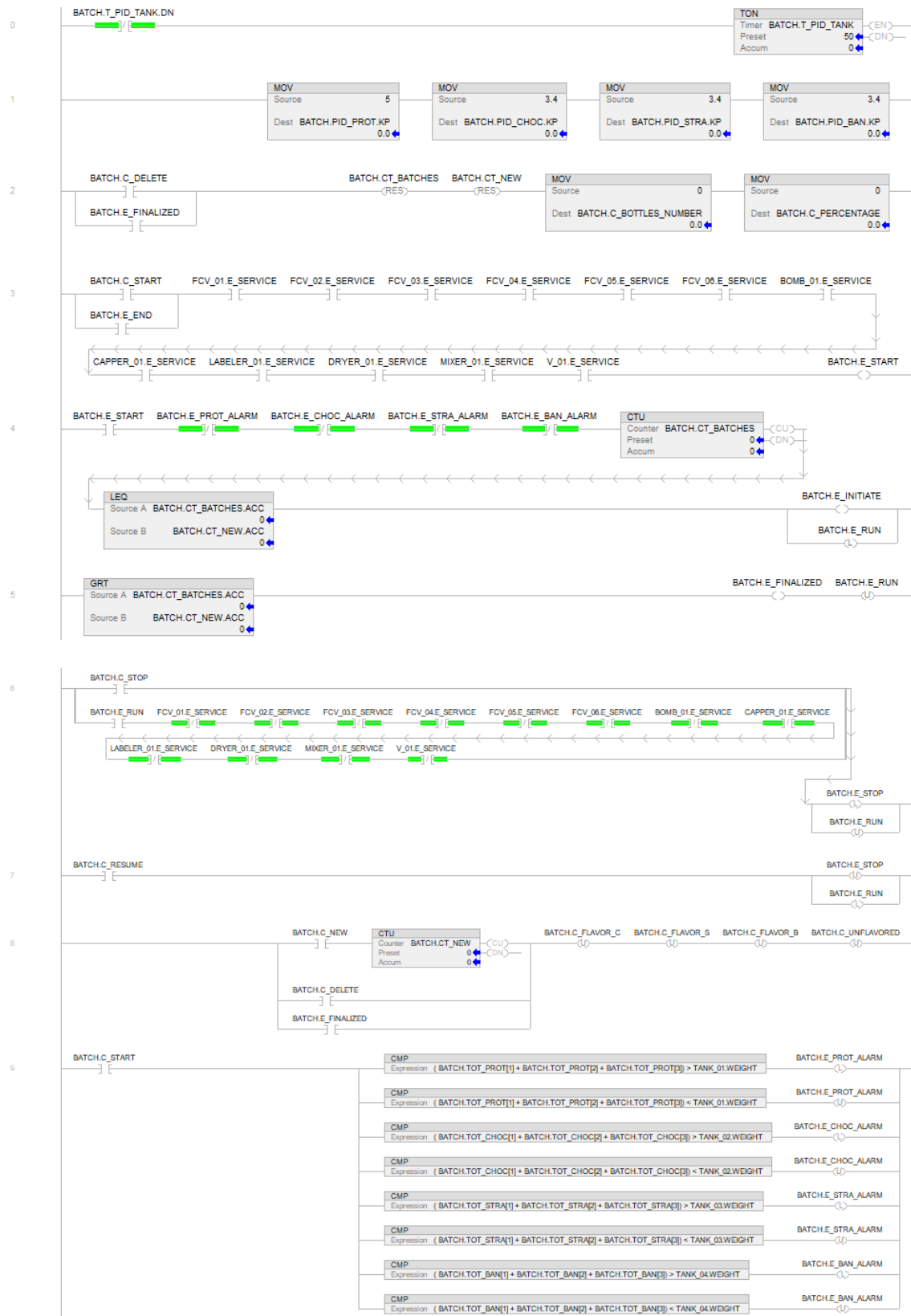


Figura 3.60. Subrutina_10_Batch (1/2).

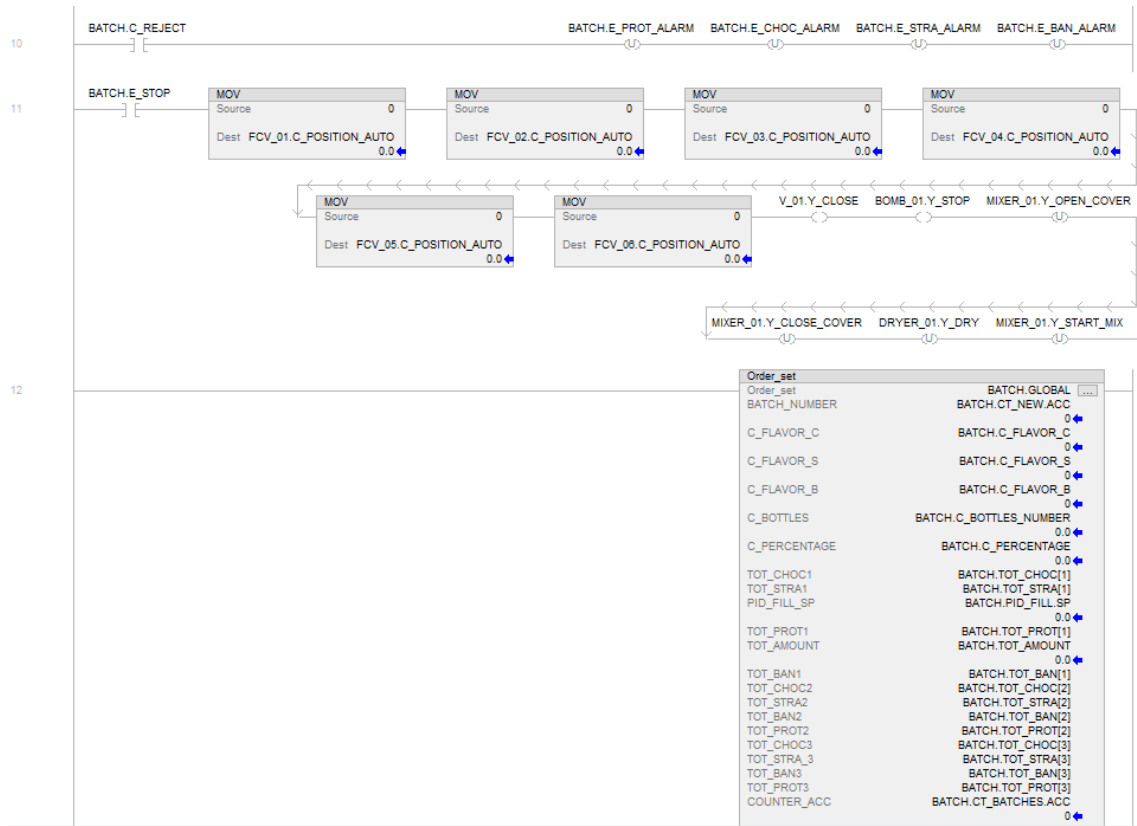


Figura 3.61. Subrutina _10_Batch (2/2).

Com us haureu pogut adonar, en una part de la subrutina utilitzem un *Add-On* anomenat *Order set*. El seu objectiu es recollir totes les variables que permeten el funcionament del registre i posterior execució de les comandes. El que fa interessant a aquest *Add-On* és que està format per un subconjunt d'*Add-Ons*. Que Com tots son molts semblants i per no fer-ho massa extens, els hem inclòs a l'annex tots ells amb la seva explicació corresponent.

Vist tota la programació que presenta la primera subrutina, podem avançar i observar-ne la segona anomenada *_20_Mixer_system*. En ella veurem la combinació d'elements com la bomba, l'assecadora, vàlvules de posició i la de tot o res i la màquina mescladora.

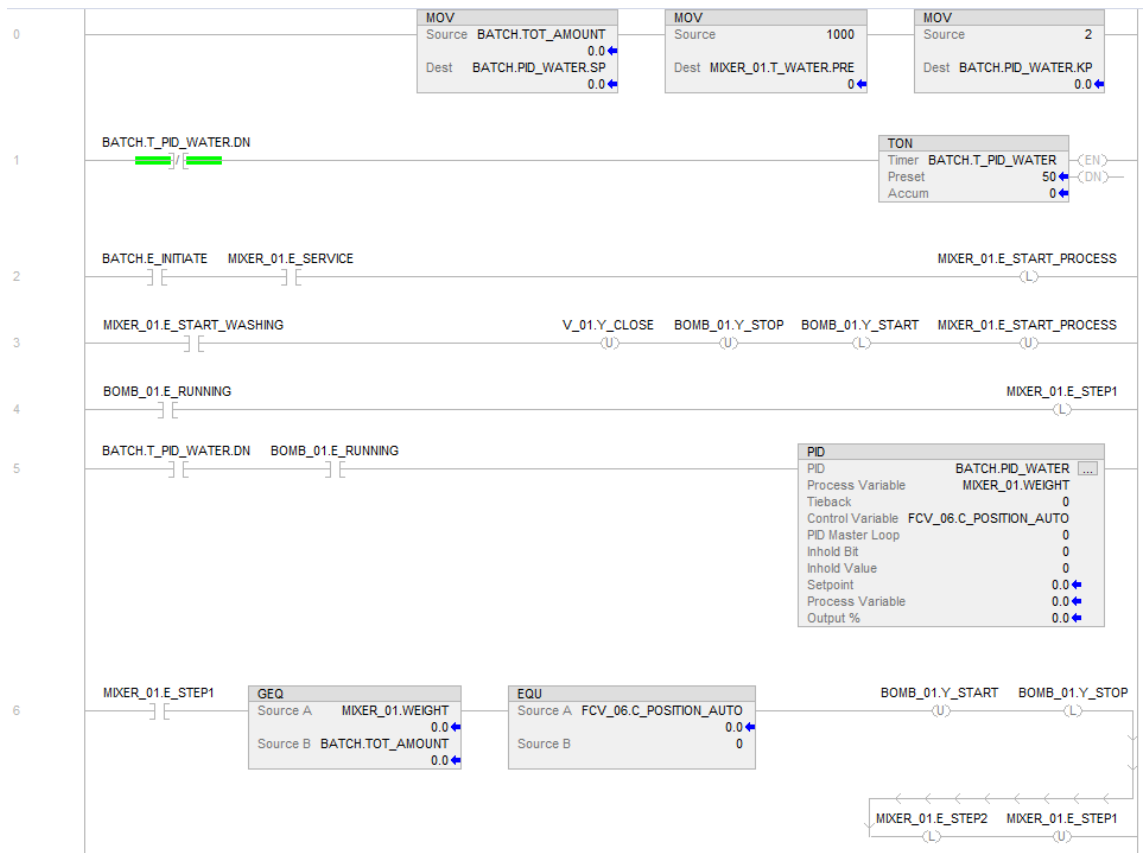


Figura 3.62. Subrutina _20_Mixer_system (1/2).

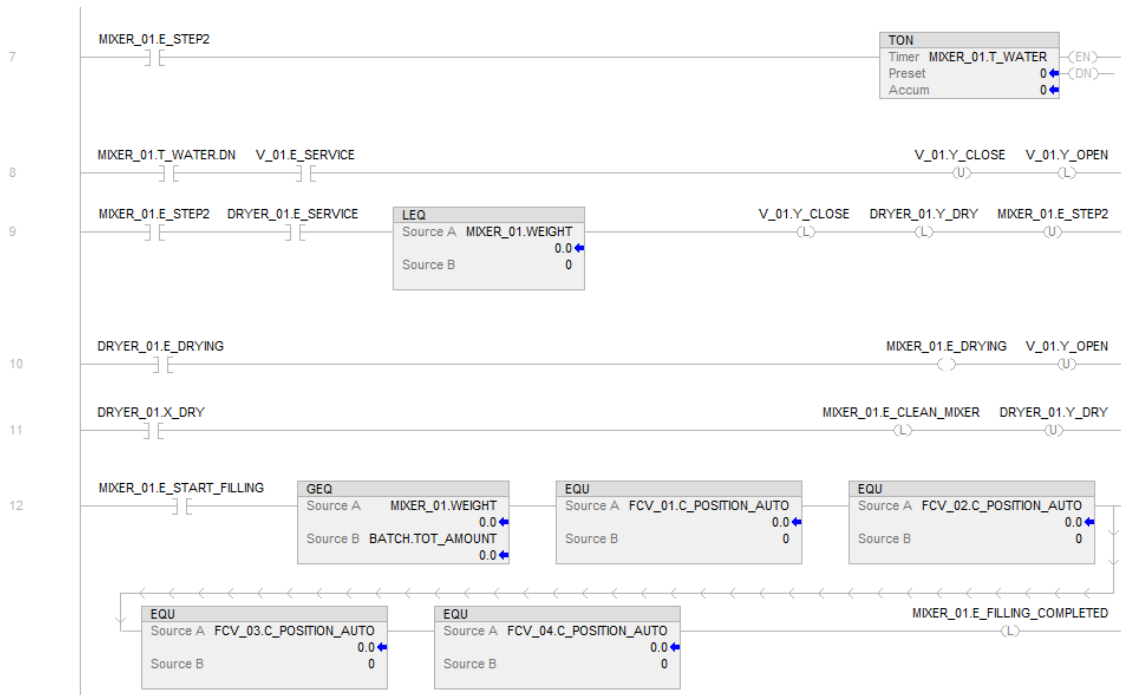


Figura 3.63. Subrutina _20_Mixer_system (2/2).

Per últim tenim la subrutina `_30_Conveyor`. Aquí trobarem la programació de la cinta transportadora i com intervenen els diferents sensors del sistema, a més del procés d'omplir els pots i les dues màquines, la tapadora i l'etiquetadora.

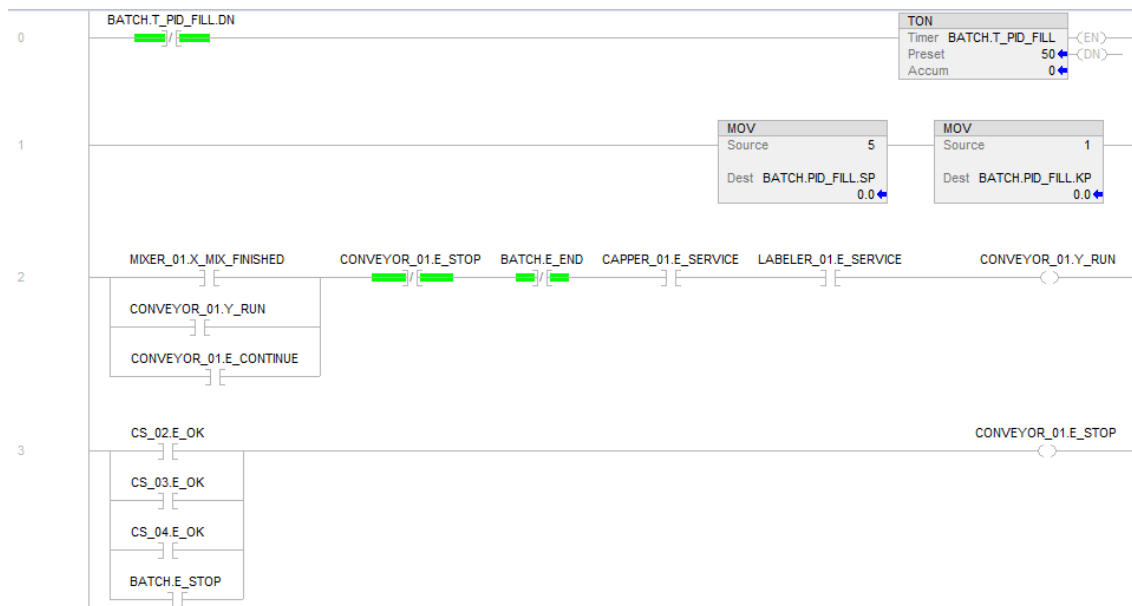


Figura 3.64. Subrutina _30_Conveyor (1/2).

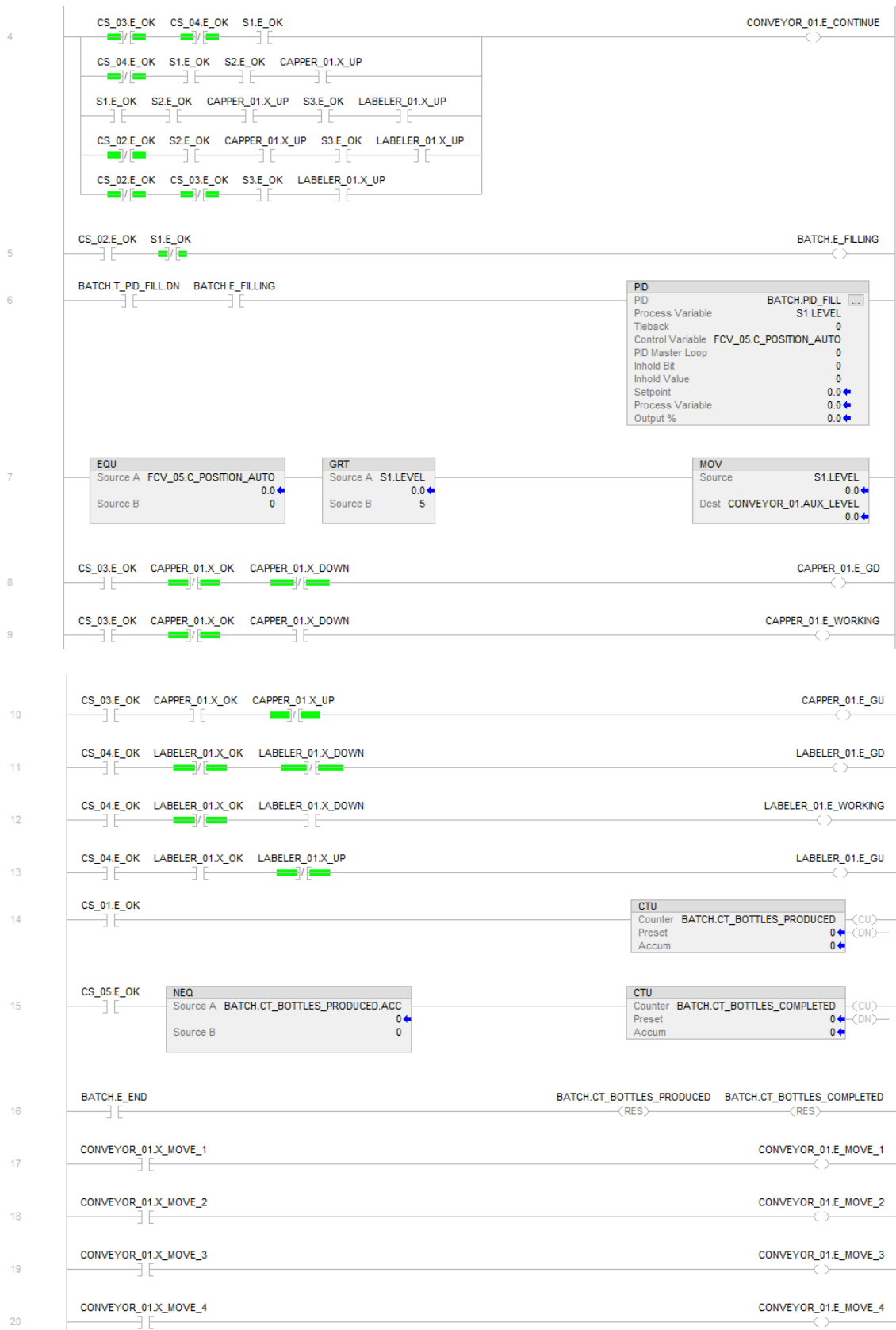


Figura 3.65. Subrutina_30_Conveyor (2/2).

3.7.6. Regulacions PID

En el nostre projecte s'utilitzen un total de 6 PIDs per tal de poder regular, cada un d'ells, un cabal que compleix una funció específica en el funcionament del sistema. Tots treballen mitjançant la lectura d'un dels sensors de la planta i actuen modificant els paràmetres d'una de les vàlvules analògiques que hi ha. Comparteixen una lògica de control que es basa en executar-los cada 50 mil·lisegons.

En les imatges que veurem a continuació podem apreciar els primers 4 PIDs, encarregats de controlar la quantitat de proteïna o sabor que deixen sortir dels seus respectius tancs per dirigir-se al tanc mesclador. En la primera imatge (Fig. 3.66), podem veure per una part, tal com s'ha dit, el temporitzador configurat en 50 mil·lisegons i com aquest es reinicia cada cop que finalitza, i per l'altra part, com s'assignen els valors del guany proporcional i temps derivatiu de tots ells. En la segona imatge (Fig. 3.67) es veu la seqüència que s'ha de seguir perquè aquest s'activin.

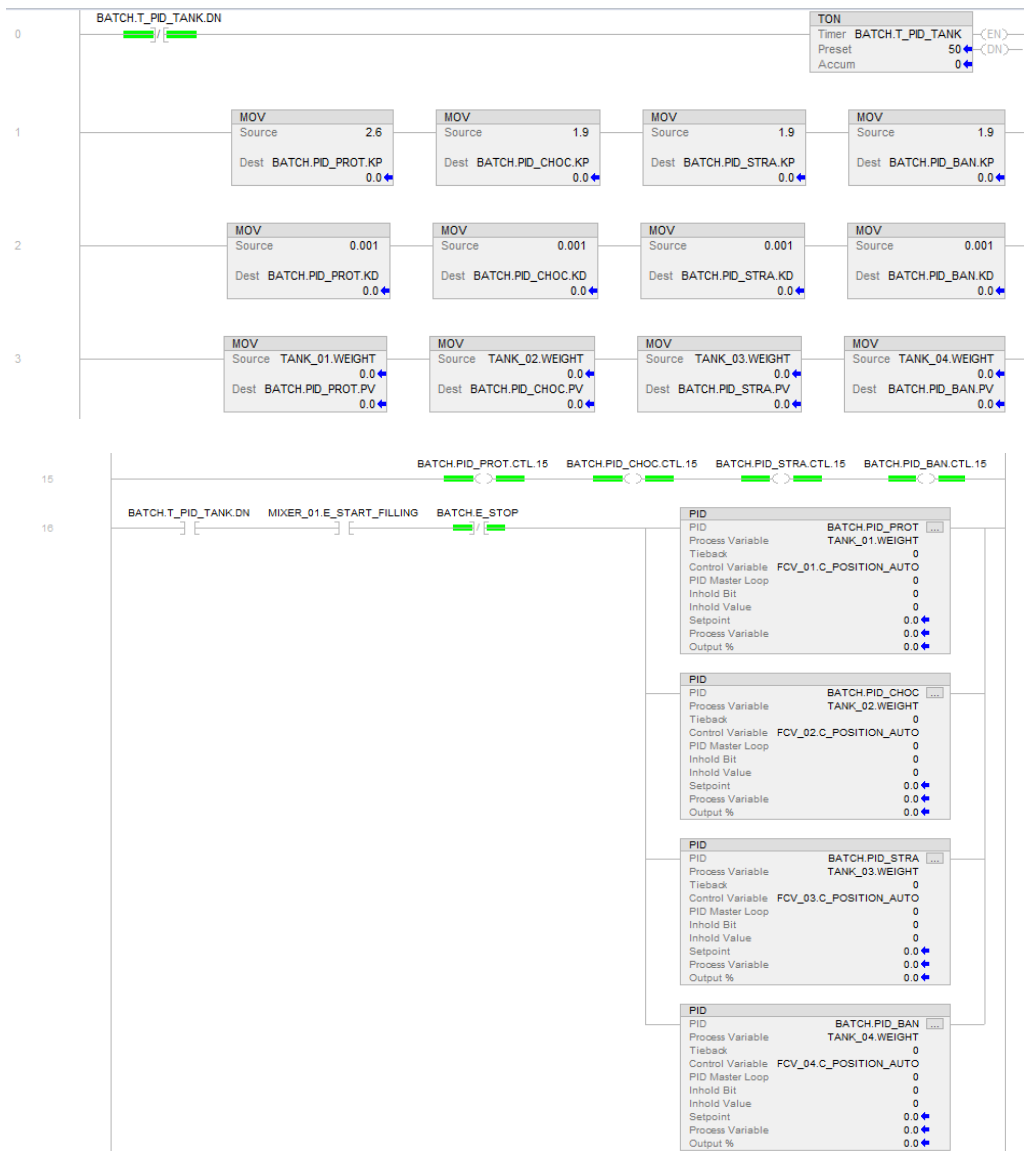


Figura 3.67. Lògica dels primers 4 PIDs.

Un factor rellevant de la configuració d'aquests PIDs, és dona en l'acció de control. Normalment, s'acostuma a treballar amb una configuració on el SP es resta a la PV, no obstant això, en el nostre cas es el contrari, la PV la hem de restar al SP. Això és així perquè el valor que se li assigna al SP és el valor al que s'hauria de reduir el pes dels tancs per tal de deixar passar suficient proteïna o sabor per poder complir amb els requeriments de la comanda.

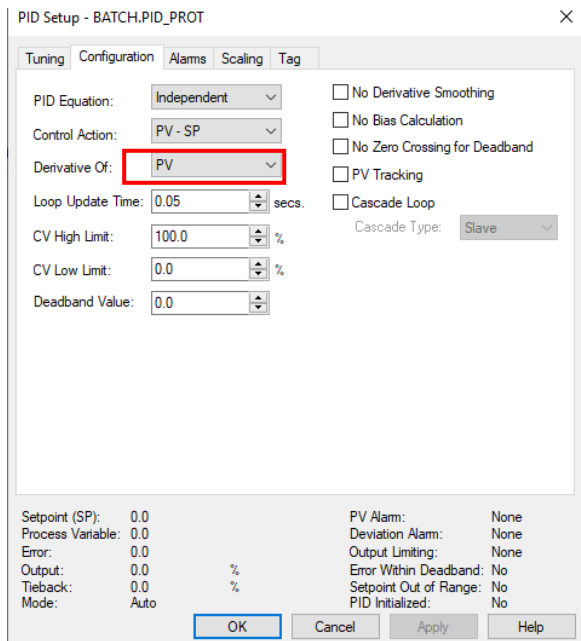


Figura 3.68. Configuració PID tanc de proteïna.

El cinquè PID es dona per regular el nivell d'aigua que entra al tanc a l'hora de netejar-ho. La precisió d'aquest no és la mes elevada de tots ells, ja que per una banda es prima la velocitat del procés i per l'altra banda, com es tracta tan sols d'aigua per netejar el tanc, no hi ha cap problema si es supera una mica el nivell desitjat.

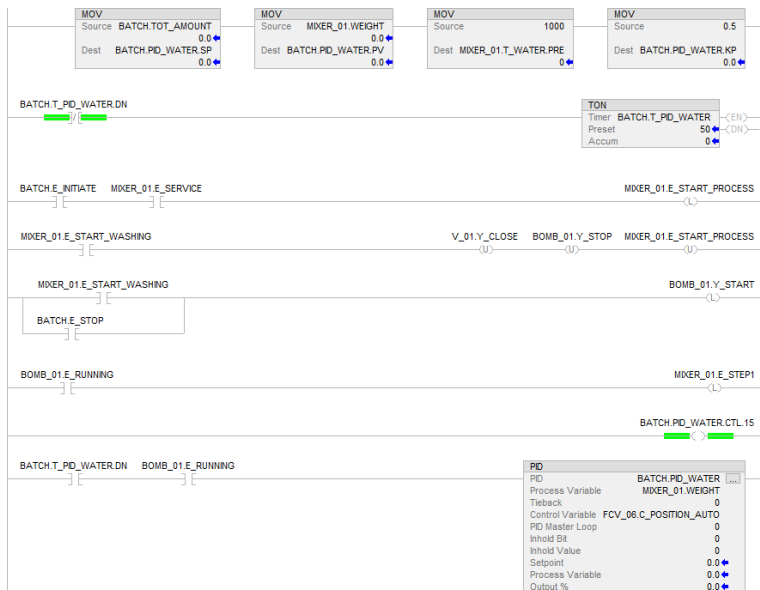


Figura 3.69. Lògica de control del PID de l'aigua de neteja.

L'últim PID el trobem present en el procés d'omplir els pots. A diferència dels anteriors, podem veure (Fig. 3.70.) com el SP d'aquest ja el trobem definit. Això es deu a que el SP representa la capacitat dels pots i per tant es constant i conegut. A més, també veiem com un cop la PV assoleix el nivell especificat (el SP bàsicament), la movem a una variable de tipus auxiliar, per tal de conservar el valor abans de que es reinici i poder representar-la en el SCADA amb més comoditat.

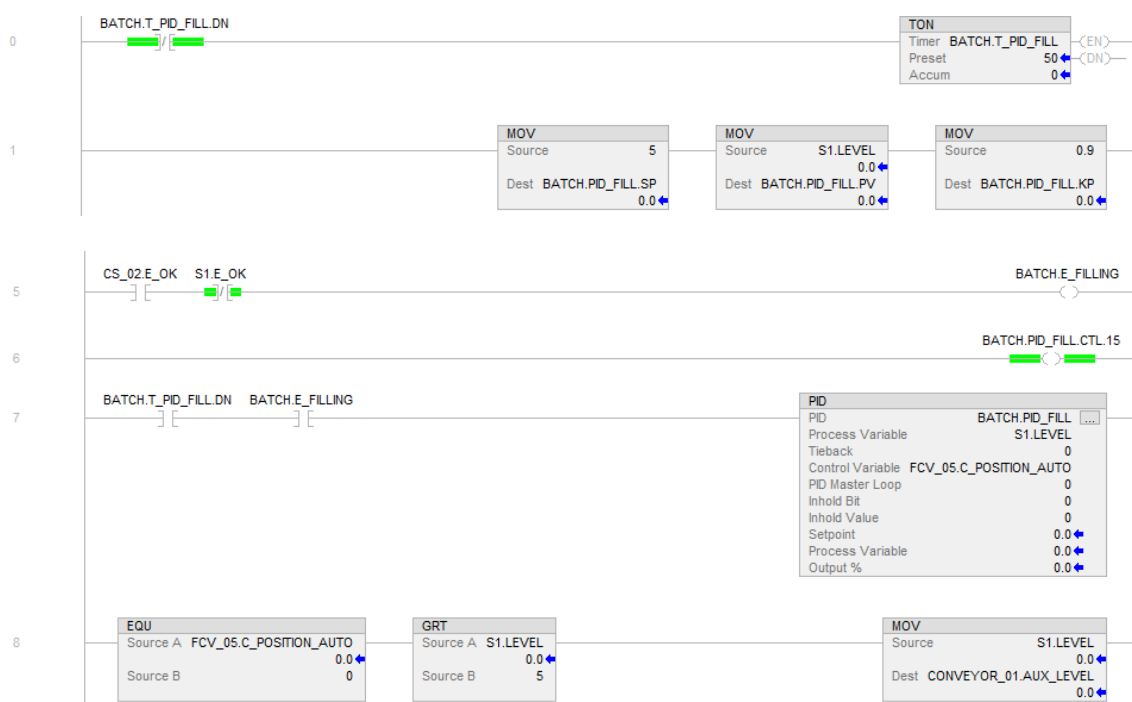


Figura 3.70. Lògica de control del PID d'omplir pots.

A continuació es mostraran els nivells del guany proporcional (Kp) i del temps derivatiu (Kd) dels diferents PIDs.

PID	Valor Kp	Valor Kd
Tanc de proteïna	2.6	0.001
Tancs de sabors	1.9	0.001
Aigua de neteja	0.5	0
Omplir pots	0.9	0

Taula 3.11. Valors del paràmetre Kp i Kd dels PIDs.

No s'ha emprat el guany integral (K_i) degut a que cada intent que s'ha fet per incloure'l a resultat en un empitjorament de les respostes obtingudes per tots els PIDs.

Com es pot intuir pel comentari anterior, la sintonització des PIDs s'ha dut a terme de manera empírica, observant les respostes que donaven els controladors i variant els seus valors fins a aconseguir els resultats més acceptables.

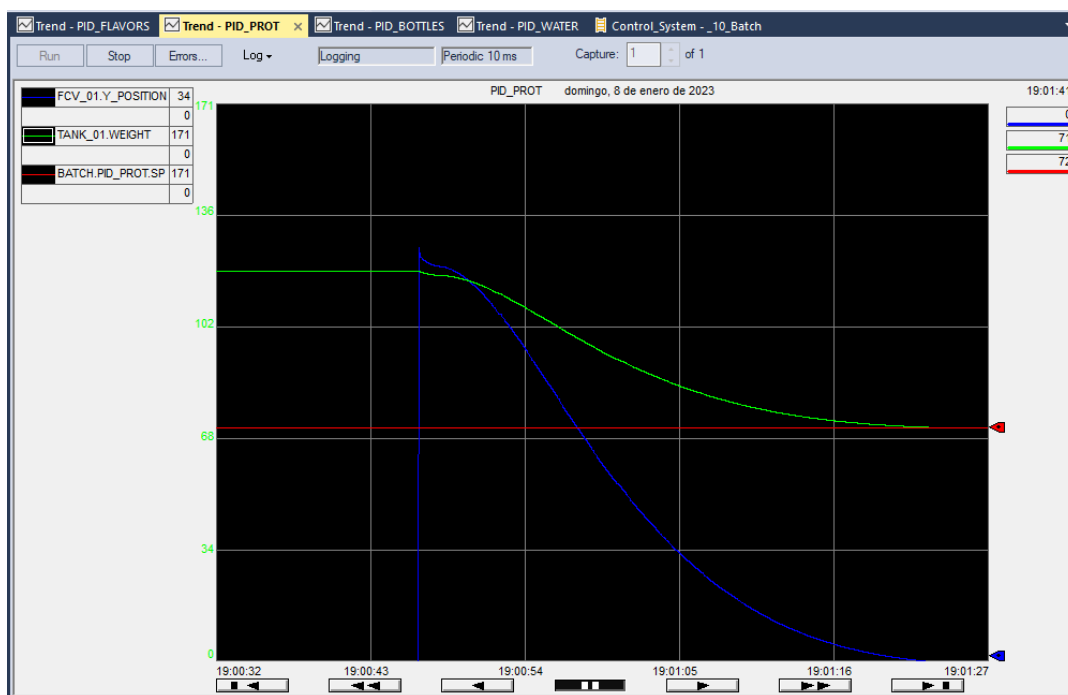


Figura 3.71. Comportament PID tanc de proteïna.

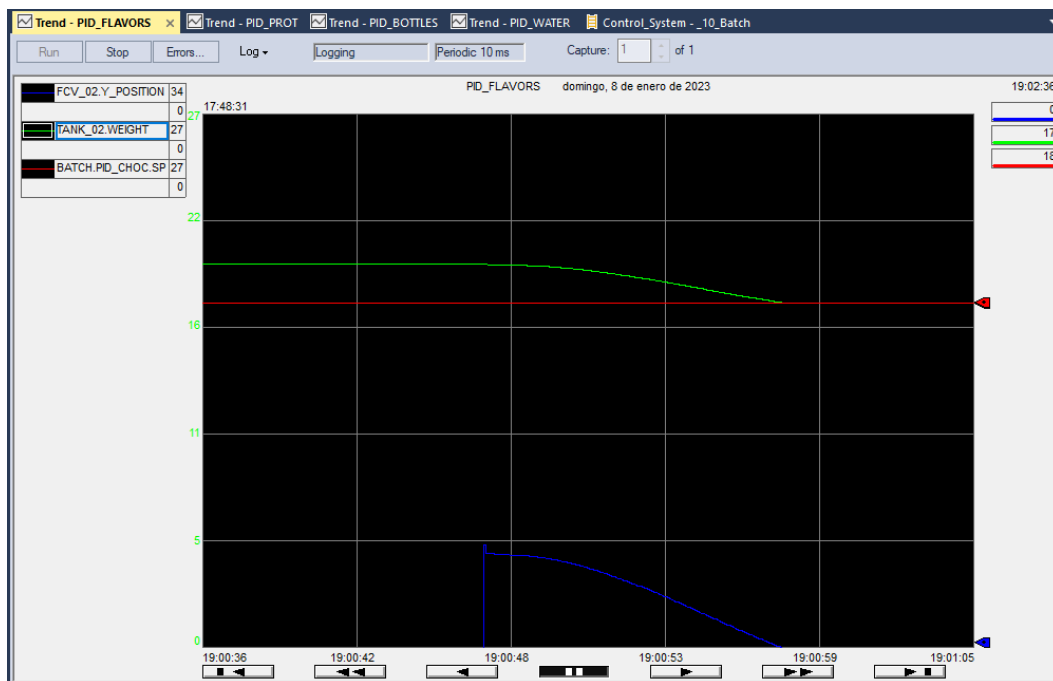


Figura 3.72. Comportament PID tancs de sabors.

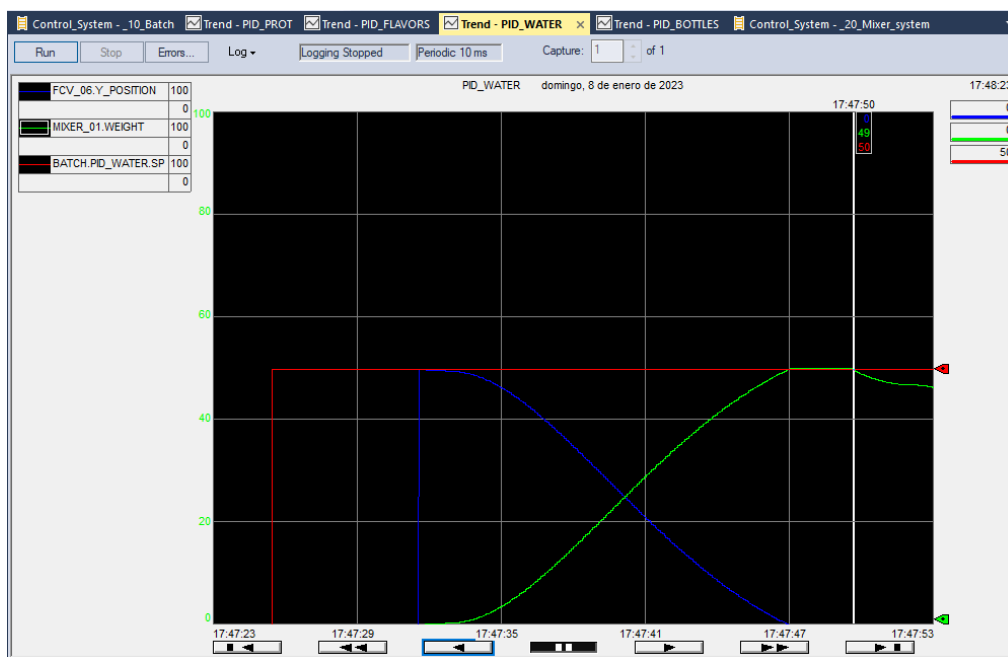


Figura 3.73. Comportament PID aigua de neteja.

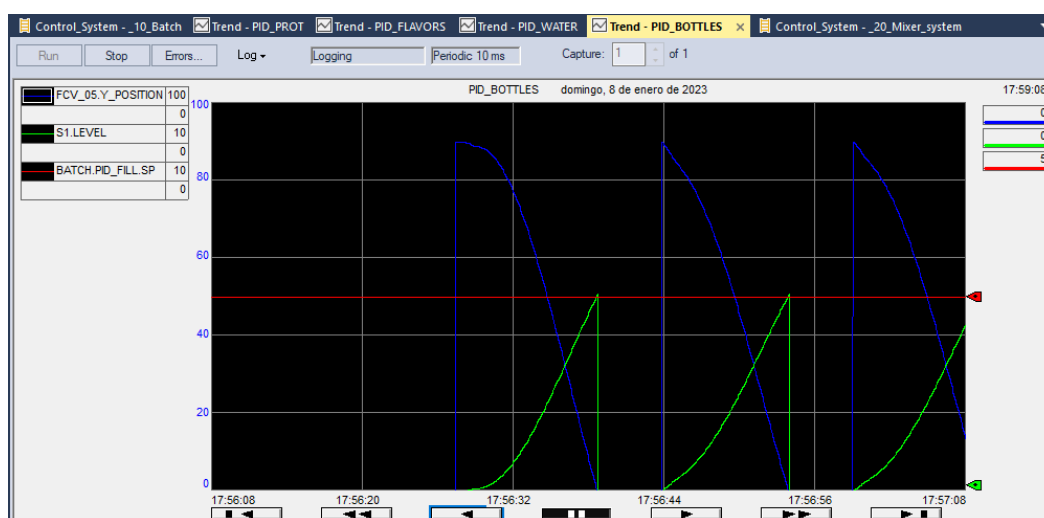


Figura 3.74. Comportament PID omplir pots.

3.8. Programa del Software Scada

En el següent seguit d'apartats, veurem tot el relacionat amb el disseny implementat de SCADA. A mode de recordatori, mencionar que es tracta d'un software dissenyat per supervisar, controlar i adquirir dades de forma remota sobre els dispositius de camp.

3.8.1. Arbre de Navegació

Al iniciar sessió amb algun dels dos usuaris identificats, se'ns obrirà una pantalla principal de control del SCADA. Des d'aquesta pantalla serà possible accedir a qualsevol punt de tot el sistema, per tant, en el nostre cas en concret no hem necessitat crear altres pantalles que cobreixin per complet la principal i conseqüentment no hem requerit d'elements de navegació per moure'ns entre pantalles.

Remarcar que, com s'ha dit, des de la pantalla principal podem accedir al control d'alarmes, els gràfics d'històrics, el control i la supervisió de cada element, a l'autor del SCADA, al fitxer explicatiu, entre moltes altres opcions.

3.8.2. Definició dels Tipus de Dades

Aplicant la lògica que s'ha explicat en la programació del PLC, i tenint en compte el fitxer d'intercanvi, les variables han sigut definides seguint les mateixes regles. No obstant això, cal mencionar que en l'entorn *InTouch* no s'admeten noms de variables amb punts, per tant, per alterar el mínim la variable, s'ha decidit canviar-los per guions baixos.

Com a recordatori, per una banda les variables que el SCADA comparteix amb el controlador han de ser tipus *I/O Real* per a senyals analògiques. Per l'altra banda, les variables per a senyals

digitals, de valor binari, han de ser tipus *I/O Discrete*. És important per a la comunicació PLC-SCADA que s'utilitzi l'*Access Name* DDE de comunicació prèviament creat. Apart dels dos tipus de variables detallats, s'ha fet ús d'altre com per exemple les de tipus *Memory* o *Indirect*, utilitzades sobretot per la indexació de variables. Per últim, les variables que requereixin generar un històric hauran de tenir habilitat la funcionalitat *Log Data*.

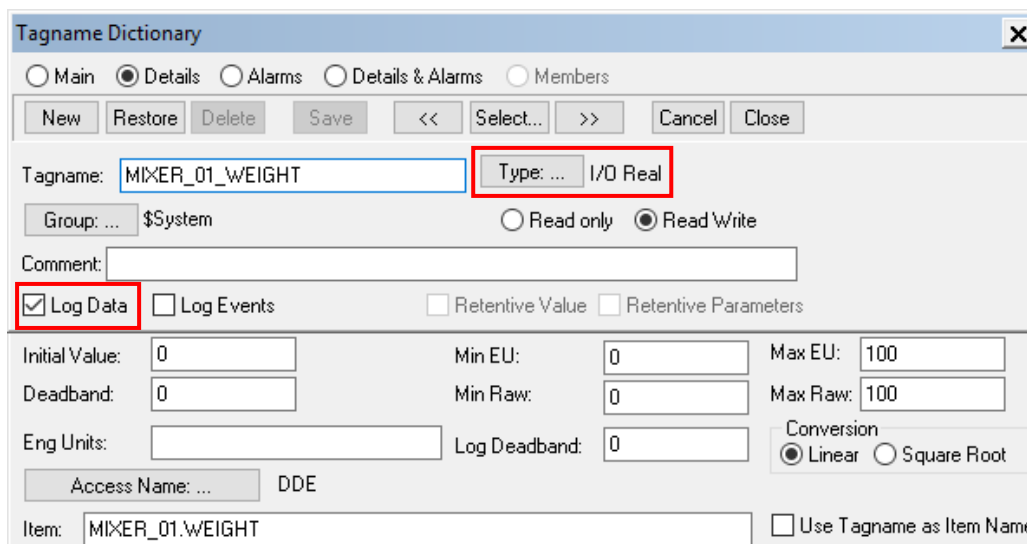


Figura 3.75. Exemple configuració de variable tipus *I/O Real* amb *Log Data* activat.

Afegeix que per aquelles variables que es vulguin registrar com a alarmes, independentment del seu tipus, s'haurà d'especificar en el moment del seu registre seleccionant l'opció *Details & Alarms* en el *Tagname Dictionary*.

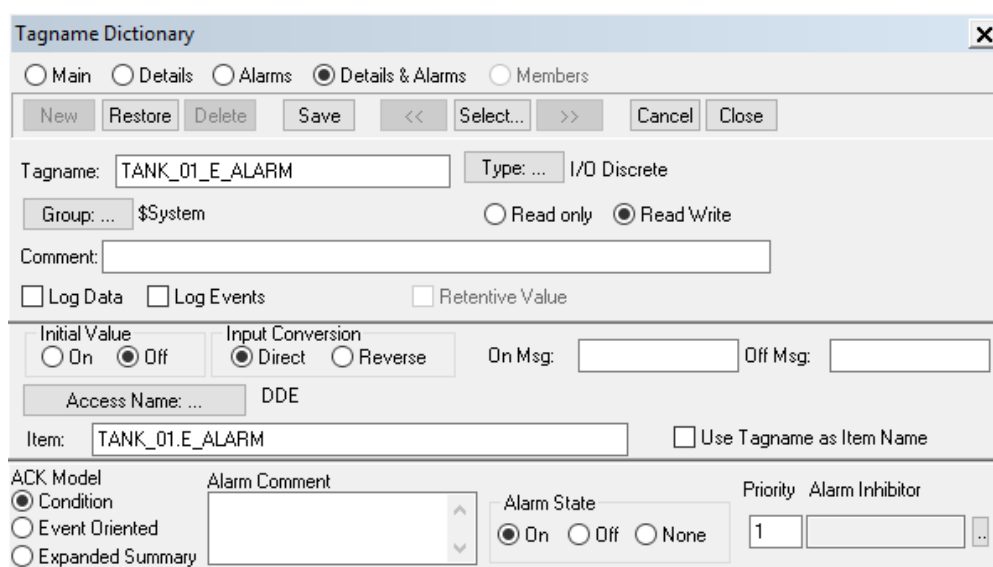


Figura 3.76. Configuració de variable com a alarma.

3.8.3. Disseny de les Pantalles de l'Aplicació

Per al disseny de les pantalles de l'aplicació s'ha procurat seguir la guia GUEDIS, com s'explica en l'apartat 6.3. Amb això el que es vol dir és que s'ha perseguit un equilibri on les pantalles i controls siguin de fàcil accés, intuïtives però a la vegada que proporcionessin la màxima informació possible sense arribar a saturar amb informació irrellevant a l'usuari.

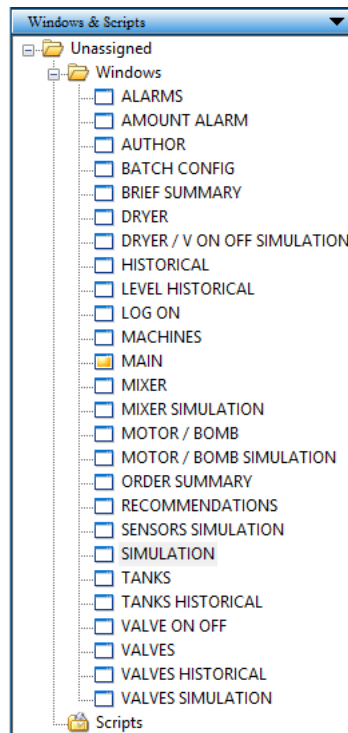


Figura 3.77. Estructura del SCADA.

La primera pantalla que veiem és la de *Logon*. Apareix quan iniciem el SCADA o passat un temps d'inactivitat. En ella haurem d'introduir un dels usuaris disponibles per poder avançar i començar a treballar.

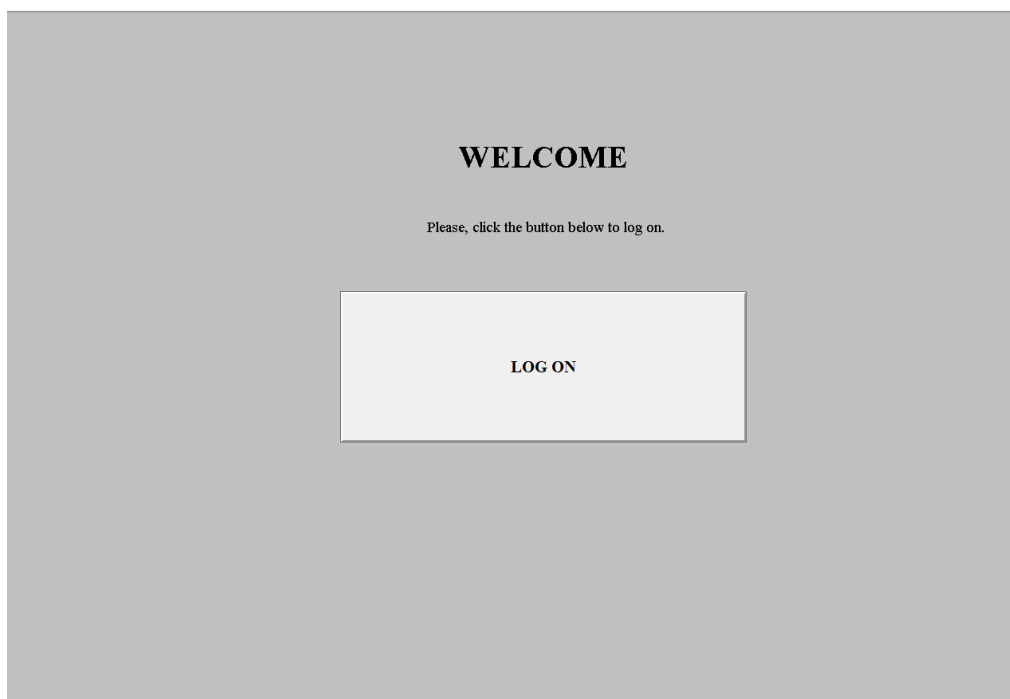


Figura 3.78. Pantalla d'inici de sessió.

Un cop iniciem sessió, la primera pantalla que ens apareixerà serà la que veiem en la següent imatge (Fig.) en la qual podem trobar un breu resum de les passes a seguir per posar en funcionament la planta.

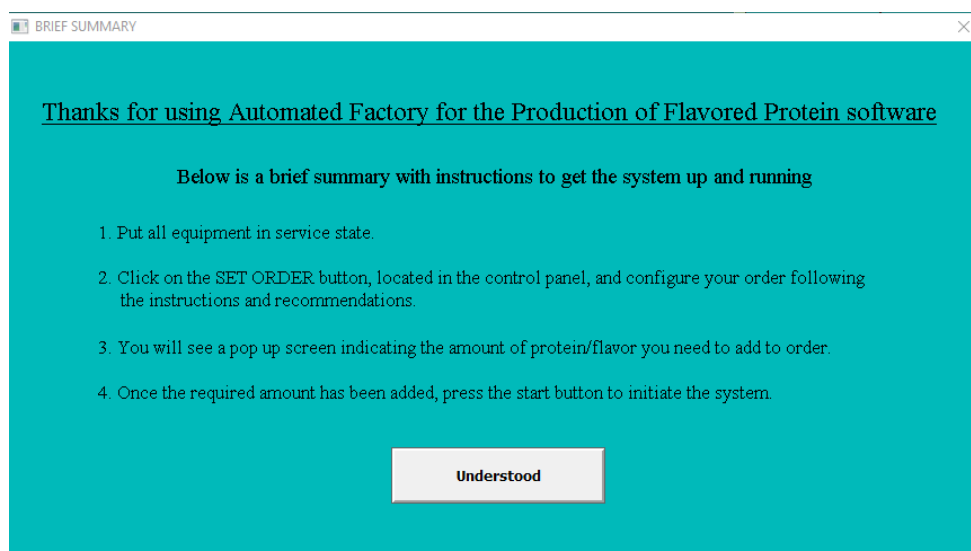


Figura 3.79. Pantalla amb instruccions.

Tancada la pantalla anterior, ara ja sí arribem a la *Main*, la pantalla principal de la qual s'ha parlat en ocasions anteriors. Des d'aquesta podem veure la totalitat del procés de fabricació de

proteïna, executar ordres, fer variar els estat dels elements, comprovar les alarmes, els històrics i bàsicament tots els detalls que s'han dissenyats al SCADA.

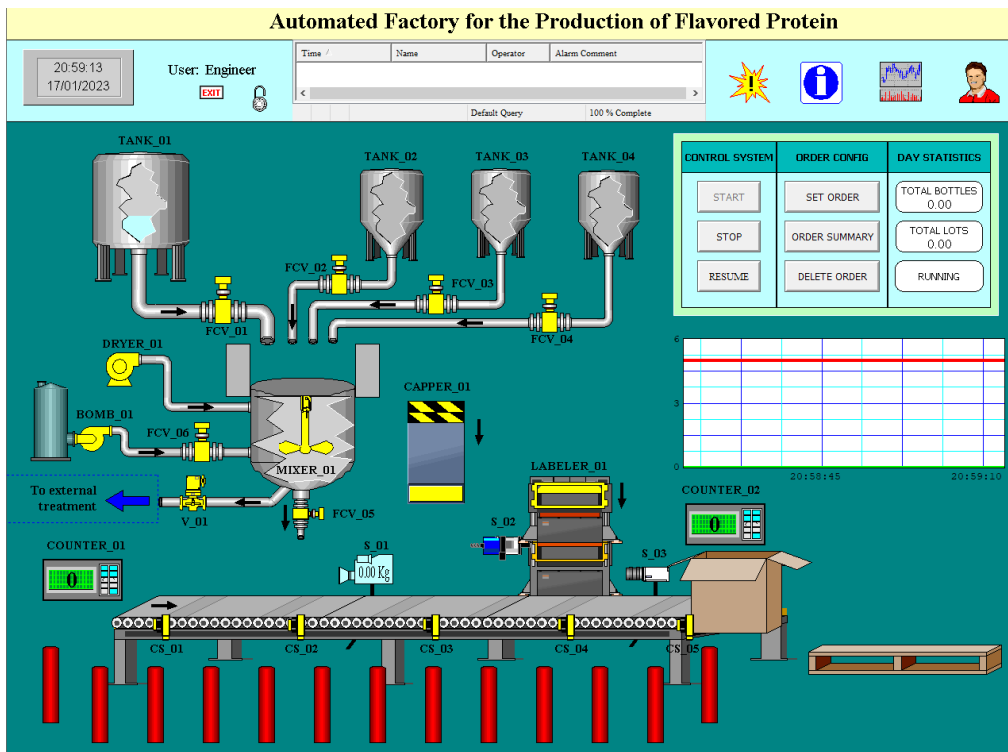


Figura 3.80. Pantalla principal.

A continuació, si cliquem sobre el botó *set order* se'ns mostrarà la següent pantalla on podrem configurar la nostra comanda, elegint el sabor que volem que tingui el lot, la quantitat de lots que volem fer i la concentració de proteïna que ha de tenir.

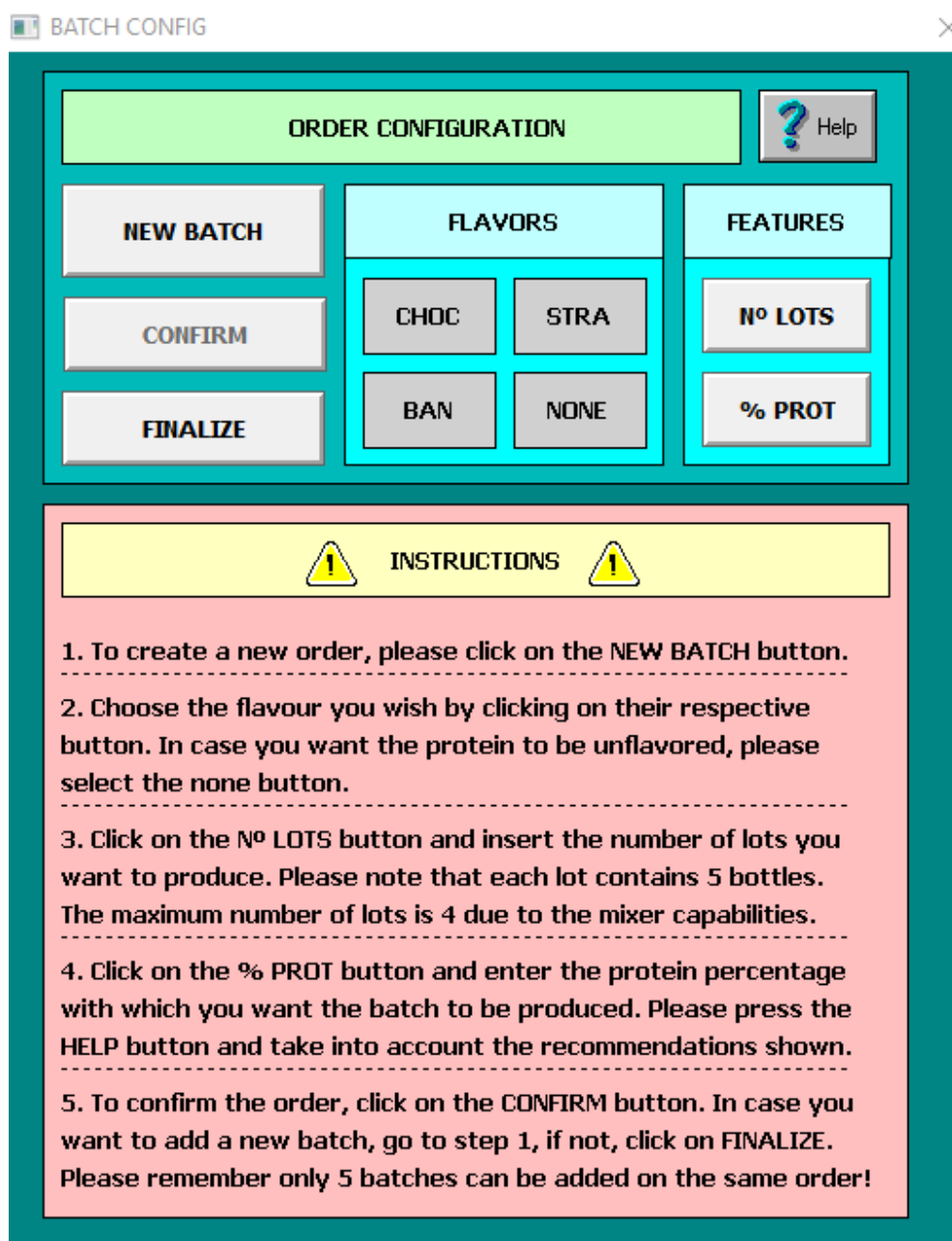


Figura 3.81. Pantalla de configuració de comandes.

Des de la pantalla anterior, si cliquem sobre la icona que posa *Help*, se'ns obrirà la pantalla que veiem tot seguit (Fig. 3.82) amb les recomanacions recollides d'altres fabricants, sobre la quantitat de concentració de proteïna que, segons el sabor escollit, hauria de portar cada pot.

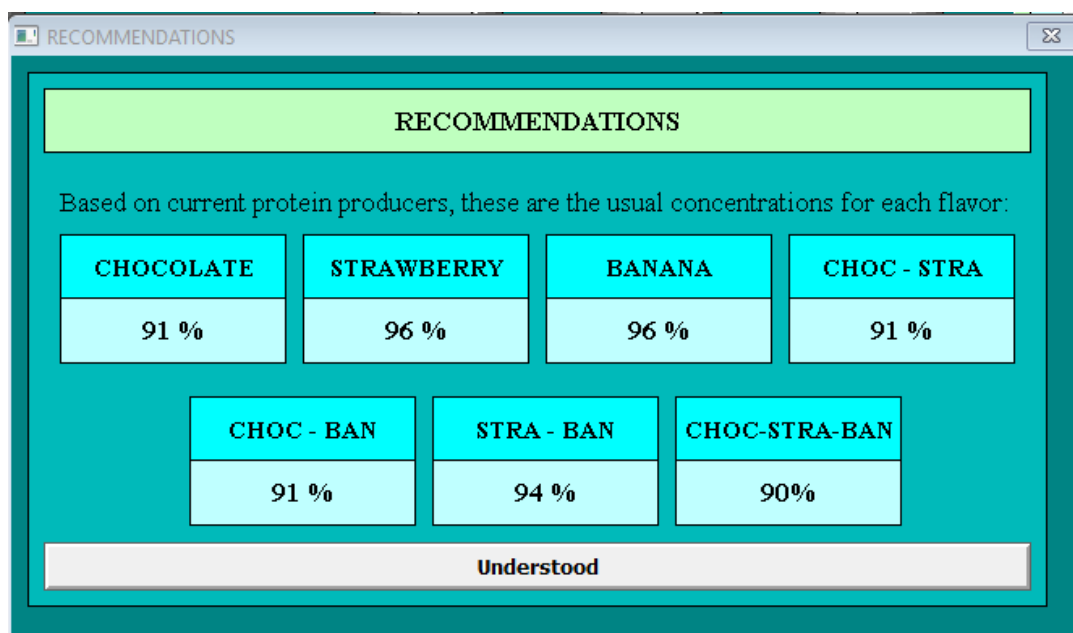


Figura 3.82. Pantalla de recomanacions.

Finalitzada la nostra comanda, clicant sobre el boto *order summary*, ubicat al panell de control, podrem obrir una pantalla on veurem el resum del que acabem de demanar. Apareixerà en l'ordre definit, el sabor escollit juntament amb el numero de pots i el seu percentatge de proteïna.

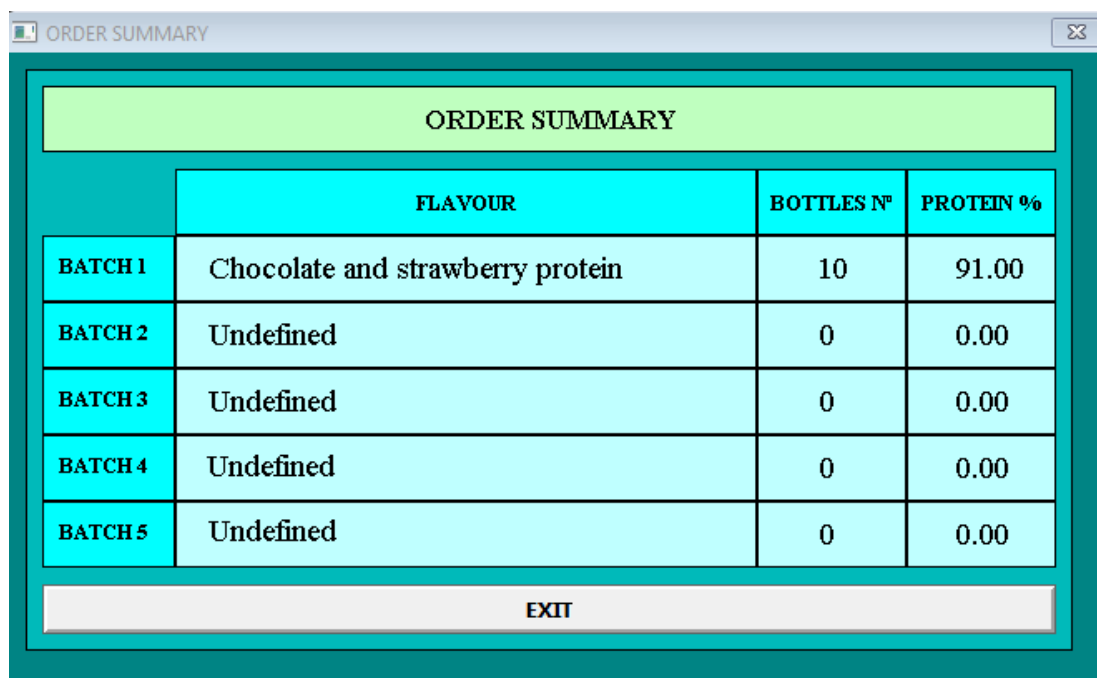


Figura 3.83. Pantalla resum de comanda.

Per últim, quan li donem al botó de *start*, si la quantitat de proteïna o sabor que hi ha actualment als tancs és insuficient per realitzar el total de la comanda, ens apareixerà la següent pantalla (Fig. 3.84) indicant-nos la quantitat actual al tanc, la quantitat requerida i en cas que falti, la quantitat que s’ha d’afegir per poder iniciar.

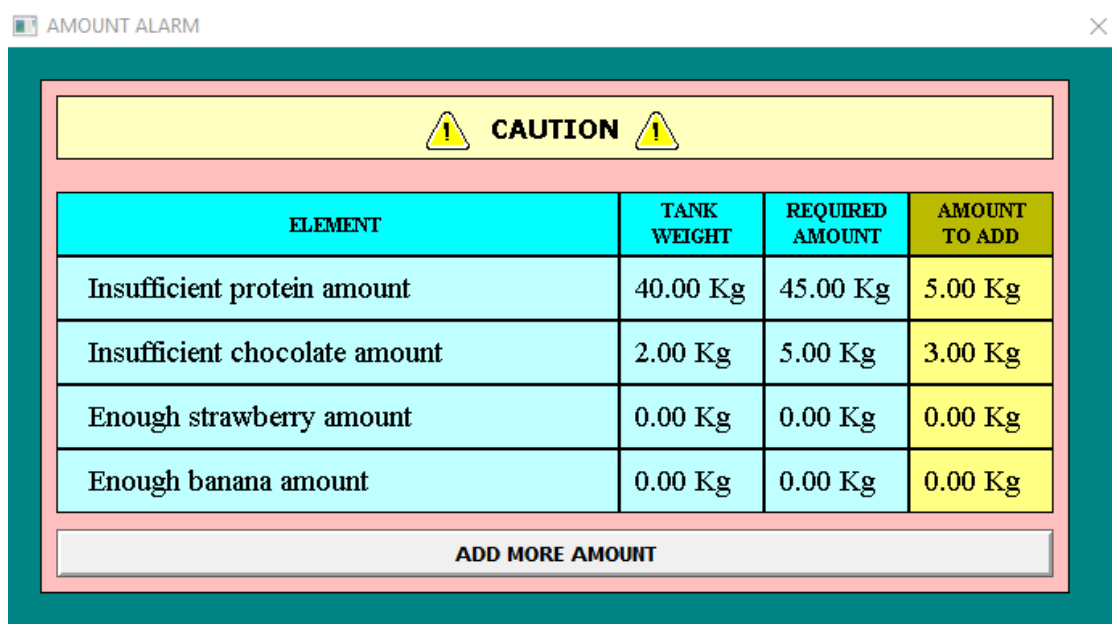


Figura 3.84. Pantalla alarma falta de proteïna o sabors.

Afegir com a extra, que també hem inclòs una petita pantalla amb el nom de l’autor i la data de d’entrega del programa SCADA a la qual s’accedeix clicant a la primera icona de les quatre que n’hi ha ubicades a dalt a la dreta de la pantalla *Main*.

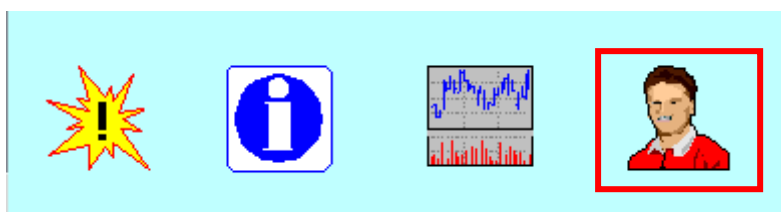


Figura 3.85. Icona d’accés a la pantalla de l’autor.

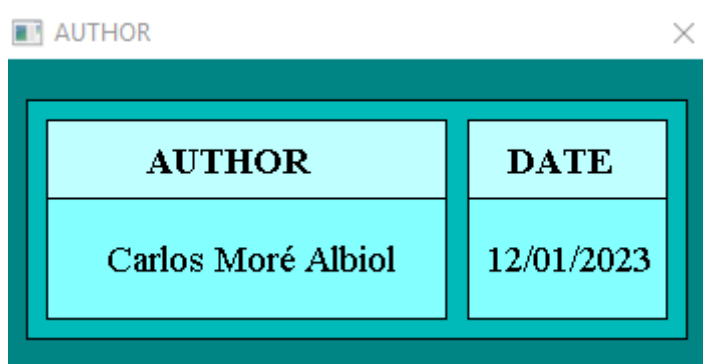


Figura 3.86. Pantalla amb nom del autor i data.

3.8.4. Disseny dels Comandaments

Una vegada hem vist les pantalles que formen el nostre sistema de supervisió SCADA, ara prosseguim amb les pantalles que permeten el control dels diferents elements implicats al procés.

Com a introducció, especificar que cada element del sistema té una plantilla definida, tal i com s'havia avançat a la taula de requisits, el qual presenta els botons funcionals de l'element per poder executar les ordres així com visualitzar els seus estats. Destacar que, al haver-hi elements amb més d'un equip del mateix tipus, s'ha decidit indexar les pantalles per tal de no haver de crear més d'una pantalla exactament igual. Per tal d'obrir la pantalla de cada element, s'ha de fer clic sobre la seva icona a la pantalla *Main*. Veurem tot seguit com totes les pantalles estan dividides entre el quadre dels estats i el quadre amb els comandaments per executar les ordres, aquest últim requadre tan sols estarà disponible si l'usuari registrat compta amb la capacitat suficient. Per últim, mencionar que totes tenen un botó de *exit* a la part inferior per sortir-hi.

La primera pantalla que veiem és la dels tancs. Aquesta és la primera indexada que trobem al programa, i que ens permet amb ella sola, actuar sobre els 4 tancs. Presenta tres botons de comandament, un per afegir més material, l'altre per cancel·lar l'ordre d'omplir i l'últim per fer un reinici del tanc. El primer dels botons mencionats, només estarà actiu si la vàlvula associada al seu tanc es troba tancada. Pel que fa al tema estats en tenim dos, un per l'estat d'afegint material i l'altre per l'estat d'alarma. A la part de sota trobem dos requadres més, el de l'esquerra és des d'on definim el pes que volem afegir al tanc i el de la dreta és on veiem el pes del tanc actual.



Figura 3.87. Plantilla per les pantalles dels tancs.

La segona pantalla és la de les vàlvules de control de posició. Tornem a estar davant d'una pantalla indexada degut a l'elevat nombre de vàlvules que hi ha al sistema. Pel que fa al nombre de botons i estats és igual a la dels tancs, però aquests executen unes ordres i estats diferents. Per una banda, els comandaments són per posar en servei, per treure'l de servei i per reiniciar-ho. Per la banda dels estats, trobem l'estat en servei i el d'alarma. Sota aquests quadres trobem un que ens permet conèixer la posició actual de la vàlvula.

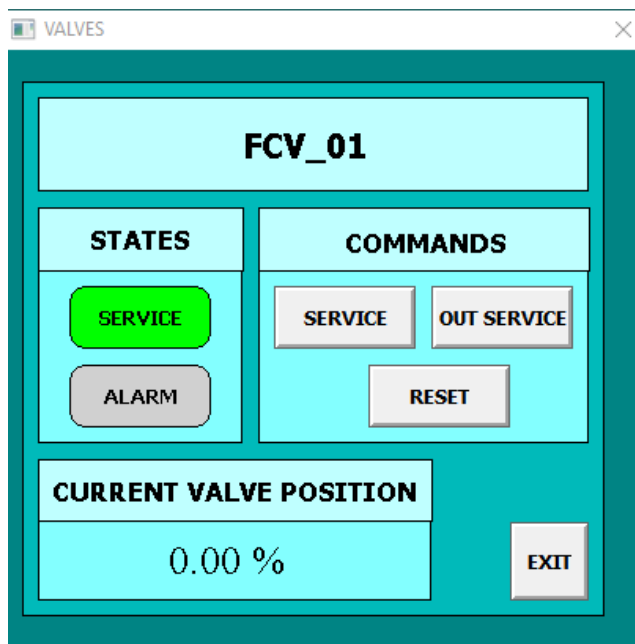


Figura 3.88. Plantilla per les pantalles de les vàlvules.

Seguim amb la pantalla de l'assecador. És una pantalla simple amb tres botons i tres estats, els botons permet el mateix que els de la vàlvula, servei, fora de servei i reinici. Per part dels estats, tenim el de servei, l'estat d'assecant, el qual s'activarà quan la màquina es posi en marxa i el d'alarma

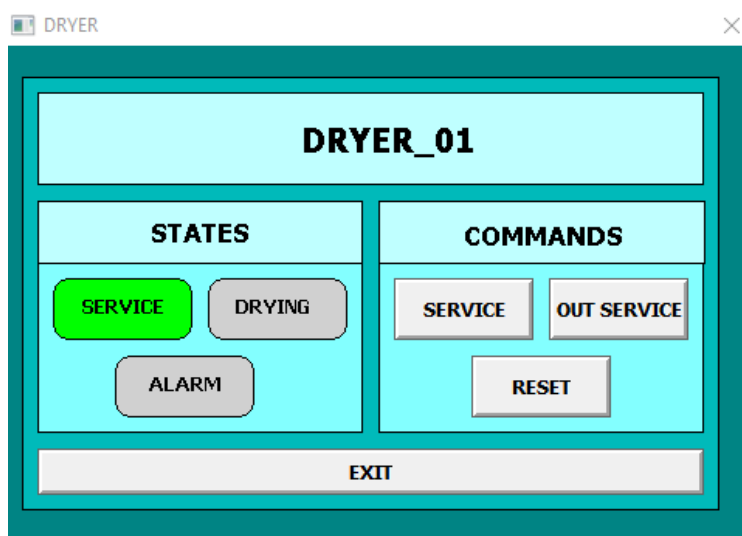


Figura 3.89. Pantalla de l'assecador.

De nou arribem a una altra pantalla indexada, aquest es cop es tracta de la que s'utilitza per representar tant a la bomba d'aigua com al motor del mesclador. La part dels estats i botons és bastant similar a la de l'assegador, comptant amb tres comandaments per posar en servei, treure'l i reiniciar-ho i amb tres estats que mostren la màquina en servei, en funcionament i en alarma. Després, a la part de sota a la dreta, tenim un comptador amb les hores restants fins que la màquina necessiti realitzar un manteniment.

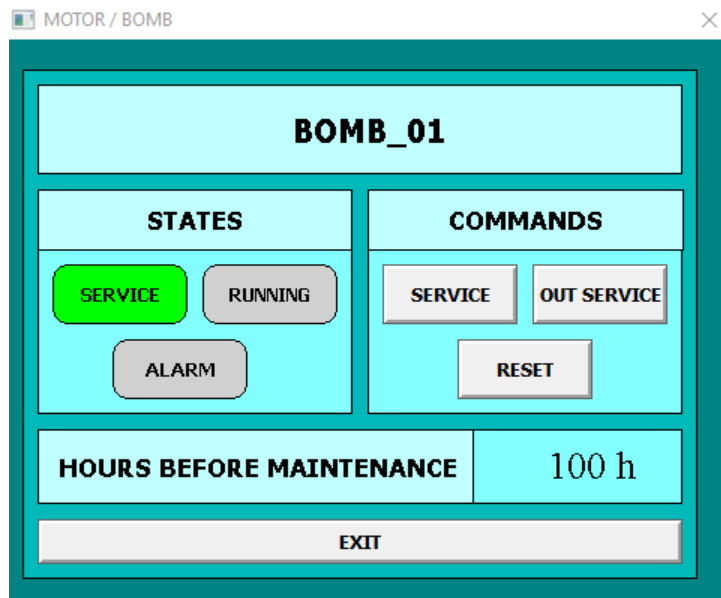


Figura 3.90. Plantilla per les pantalles de la bomba i el motor.

La següent pantalla que trobem és la de la vàlvula tot o res. Com només n'hi ha una vàlvula d'aquest tipus, aquesta tampoc està indexada. Compta amb els tres botons que ja hem vist en darreres ocasions (servei, fora de servei i reinici) i amb quatre estats diferents que representen per un lloc els dos de sempre de servei i alarma, però a més l'estat d'oberta i el de tancada. Simplement recordar que el percentatge d'obertura no s'inclou en aquest tipus de vàlvula, ja que al ser tot o res significa que si està oberta, ho està al 100%, i si està tanca es troba al 0%.

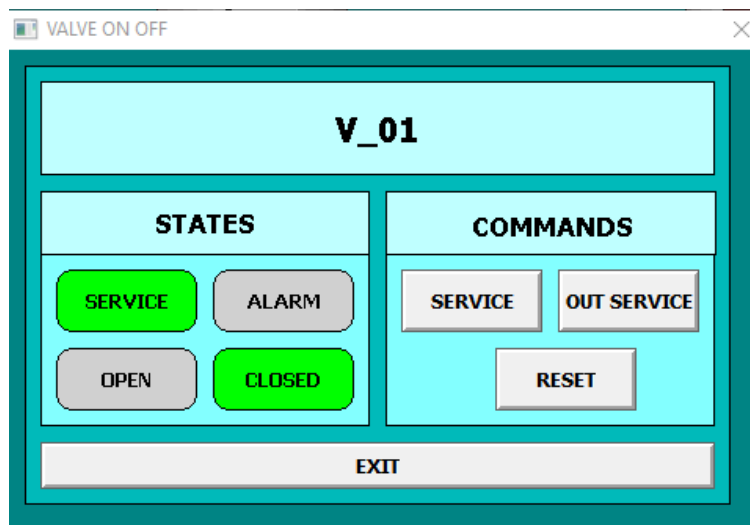


Figura 3.91. Pantalla de la vàlvula tot o res.

Passem ara a la pantalla del mesclador. Com en el cas anterior, només hi ha un mesclador al sistema i per tant la finestra no s'ha indexat. Pel que fa al comandament, segueix amb la dinàmica de les pantalles anteriors, botó de servei, de fora de servei i de reinici. No obstant, quan parlem dels estats en trobem alguns que no havíem vist fins ara. Son un total de 6, dos d'ells son el servei i l'alarma, fins aquí res nou; però després trobem l'estat de *covered*, que s'activa quan la tapa esta tancada; l'estat de *drying*, s'activarà a la vegada que s'activi el de funcionament de l'assecador; el de *washing*, que romandrà actiu des de que s'activi la bomba i comenci a entrar aigua fins que la vàlvula tot o res es tanqui i hagi sortit tota l'aigua; i l'estat de *mixing*, que s'activarà quan el motor es posi en marxa. A més, de mateixa manera que la pantalla dels tancs, a sota del requadre dels estats en trobem un altre que ens mostra el pes del mesclador a temps real.

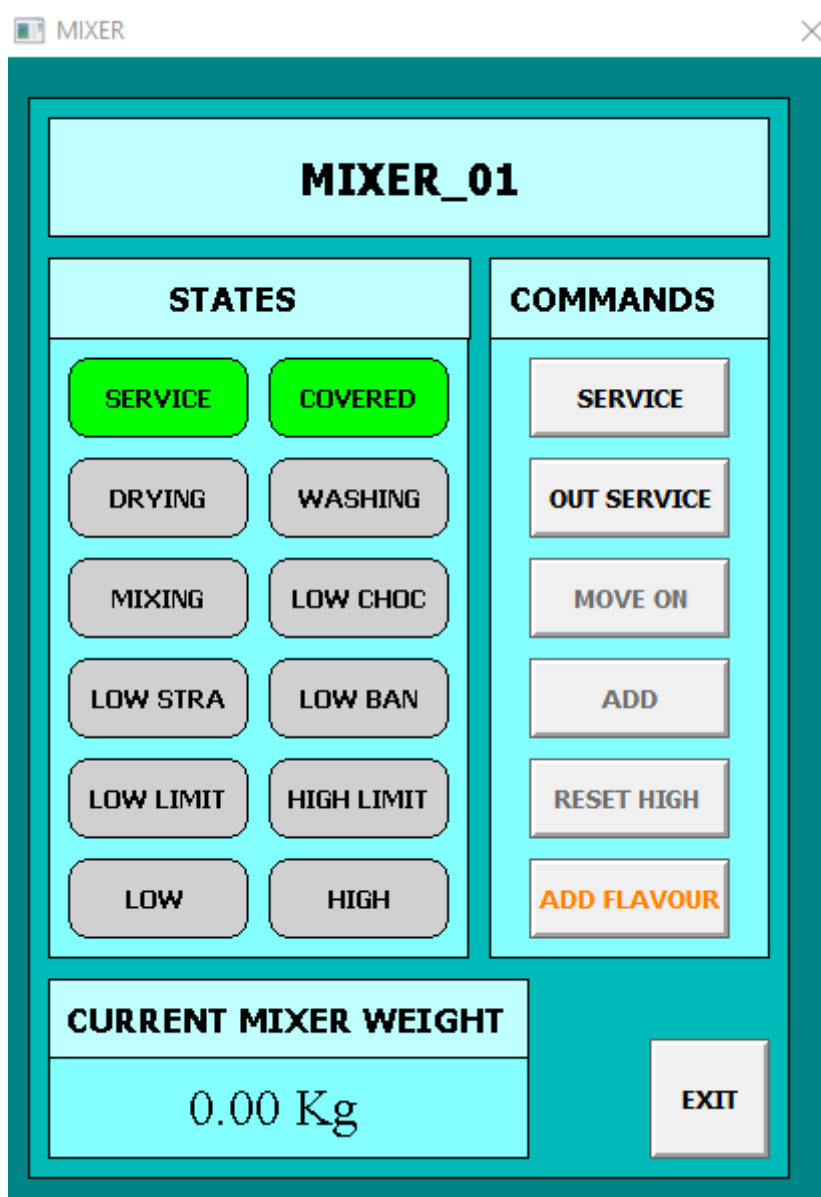


Figura 3.92. Pantalla del mesclador.

Finalment trobem l'última pantalla indexada, utilitzada per a representar els comandaments i estats de la tapadora i l'etiquetadora. Per part dels comandaments no hi ha cap diferència amb les pantalles anteriors que hem vist. Per part dels estats, a més del servei i el d'alarma, en trobem el de *working*, que s'activa quan la màquina està efectuant el seu propòsit concret, és a dir, en l'instant en que està posant el tap o etiquetant el pot; el de *going down*, que com el seu nom indica s'encendrà quan la màquina estigui desplaçant-se cap a baix; i el *going up*, que de manera contrària a l'anterior, s'accionarà quan la màquina estigui realitzant el desplaçament cap al seu punt de partida.

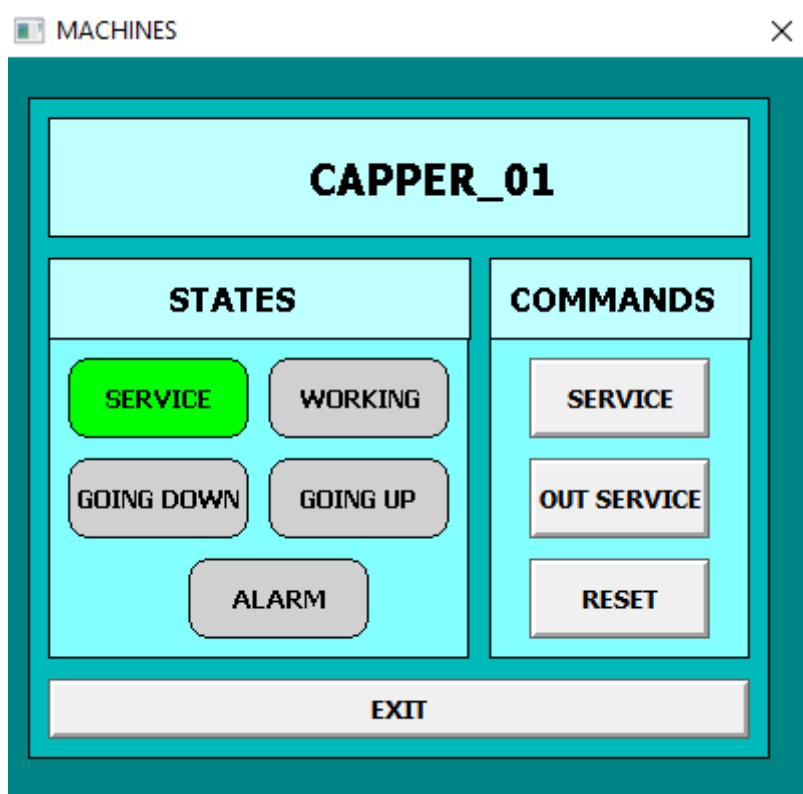


Figura 3.93. Plantilla per les pantalles de la tapadora i l'etiquetadora.

Mencionar que també hem afegit altres tipus de comandaments a mode d'icona com els que es veuen a la imatge de baix, ubicada a la cantonada dreta de la pantalla *Main*, els quals ens permeten accedir a la pantalla dels autors, la dels històrics, a un PDF amb l'explicació del procés i a la pantalla d'alarmes.

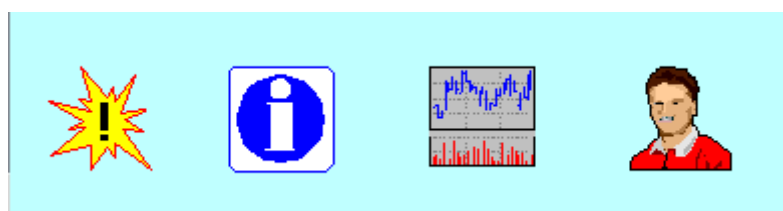


Figura 3.94. Icones per accedir a diferents pantalles.

Per anar acabant, comentar que hem inclòs l'opció de que un dels usuaris, el que presenta més capacitat, pugui simular falles als equips. Per fer-ho primer ha d'ingressar a la pantalla que trobem a sota i des d'ella el redirigirà cap a les altres pantalles de simulació de cada element corresponent.

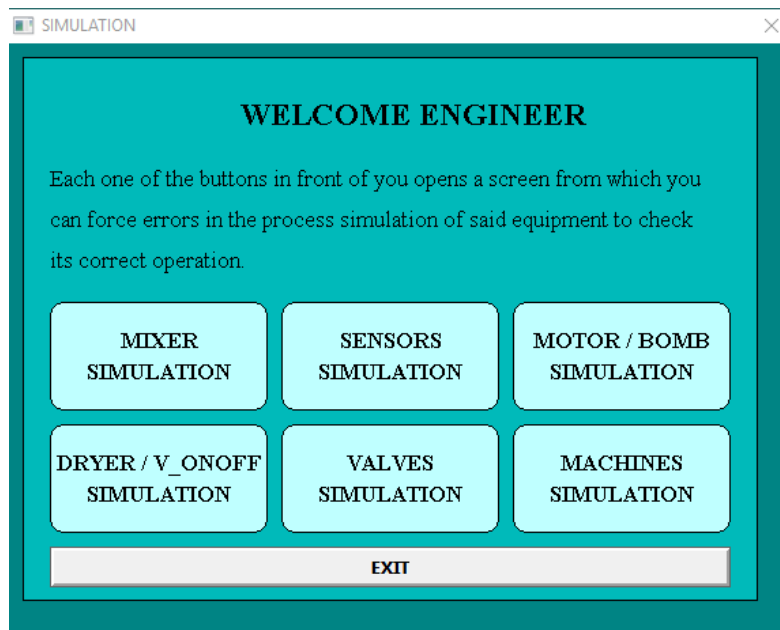


Figura 3.95. Icones per accedir a diferents pantalles.

L'última pantalla que veurem és una de les utilitzades per a la simulació comentada anteriorment. La resta d'elles, al ser molt similars s'inclouran a l'annex.

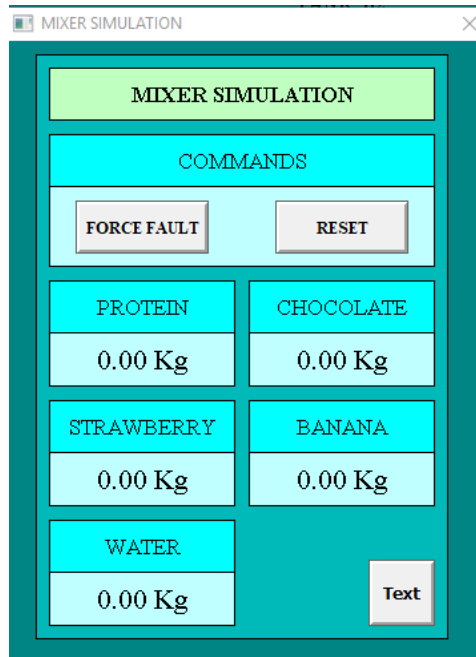


Figura 3.96. Pantalla de simulació del mixer.

3.8.5. Scripts

Si volem anar un pas més enllà en els nostres sistemes SCADA és molt comú, a la vegada que no gaire difícil, la utilització de codi script, que no és més que un llenguatge estructurat de programació. Aquest permet fer operacions més senzilles com ara assignacions o operacions matemàtiques o bé operacions més complicades com l'ús dels condicionals IF ELSE THEN, amb la virtut de ser un codi bastant compressible per al usuari.

En el nostre sistema SCADA hem requerit de diversos Scripts per tal de poder realitzar algunes funcions que ara veurem, però on son especialment útils son per la indexació de pantalles. No obstant com diem, també permeten altres funcions com la inhabilitació de botons segons l'usuari registrat, enclavar botons al clicar-los, animar objectes durant la simulació i un gran ventall de possibilitats més.

El primer Script que trobem és el de l'aplicació en general. En la primera de les imatges (Fig. 3.95) podem veure que s'utilitza especialment per com s'ha dit abans, activar el moviment dels objectes en el sistema. A la segona (Fig. 3.96.), veiem que apareix codi per actualitzar els històrics, i el codi que fa que al tancar sessió només es mostri la pantalla de *Log On*.

```

Application Script
File Edit Insert Help
Condition Type: While Running Every 50 Msec Scripts used: 2

IF CONVEYOR_01_Y_RUN == 1 THEN
  P_CINTA = P_CINTA + 2.19;
  P_TAPADORA = 0;
  P_LABELER = 0;
ELSE
  P_CINTA = 0;
ENDIF;

IF CAPPER_01_E_GD == 1 THEN
  P_TAPADORA = P_TAPADORA + 2.1;
ENDIF;

IF CAPPER_01_E_GU == 1 THEN
  P_TAPADORA = P_TAPADORA - 2.1;
ENDIF;

IF LABELER_01_E_GD == 1 THEN
  P_LABELER = P_LABELER + 2.3;
ENDIF;

IF LABELER_01_E_GU == 1 THEN
  P_LABELER = P_LABELER - 2.3;
ENDIF;

IF MIXER_01_E_MIXING == 1 THEN
  SLIDER = SLIDER + 4;
ELSE
  SLIDER = 0;
ENDIF;

IF SLIDER > 100 THEN
  SLIDER = 0;
ENDIF;

IF MIXER_01_E_CLOSING == 1 THEN
  SLIDER_2 = SLIDER_2 + 3;
ENDIF;
IF MIXER_01_E_OPENING == 1 THEN
  SLIDER_2 = SLIDER_2 - 3;
ENDIF;
  
```

Figura 3.97. Script de l'aplicació (1/2).

```

Application Script
File Edit Insert Help
Condition Type: While Running Every 50 Msec Scripts used: 2

IF MIXER_01_X_SENSOR_COVER == 1 AND MIXER_01_E_CLOSING == 0 AND MIXER_01_E_OPENING == 0 THEN
SLIDER_2 = 100;
ENDIF;
IF MIXER_01_X_SENSOR_COVER == 0 AND MIXER_01_E_CLOSING == 0 AND MIXER_01_E_OPENING == 0 THEN
SLIDER_2 = 0;
ENDIF;

TOT_PROT = BATCH_TOT_PROT1 + BATCH_TOT_PROT2 + BATCH_TOT_PROT3;
TOT_CHOC = BATCH_TOT_CHOC1 + BATCH_TOT_CHOC2 + BATCH_TOT_CHOC3;
TOT_STRA = BATCH_TOT_STRA1 + BATCH_TOT_STRA2 + BATCH_TOT_STRA3;
TOT_BAN = BATCH_TOT_BAN1 + BATCH_TOT_BAN2 + BATCH_TOT_BAN3;

HTUpdateToCurrentTime("HistTrend");
HistTrend.UpdateTrend = 1;

HTUpdateToCurrentTime("HistTrend1");
HistTrend1.UpdateTrend = 1;

HTUpdateToCurrentTime("HistTrend2");
HistTrend2.UpdateTrend = 1;

IF $AccessLevel == 0 THEN
Show "LOG ON";
Hide "MAIN";
Hide "AMOUNT ALARM";
Hide "AUTHOR";
Hide "BATCH CONFIG";
Hide "BOMB";
Hide "BRIEF SUMMARY";
Hide "CAPPER";
Hide "DRYER";
Hide "HISTORICAL";
Hide "LABELER";
Hide "MIXER";
Hide "ORDER SUMMARY";
Hide "TANKS";
Hide "VALVE ON OFF";
Hide "VALVES";
ELSE
Hide "LOG ON";
ENDIF;

```

Figura 3.98. Script de l'aplicació (2/2).

El següent Script que veiem és l'utilitzat per a la indexació de les variables dels tancs. Com veiem es fa ús de la comanda *X.Name* i de la variable creada per a aquesta pantalla *Tag2*, que actua com a *Memory Message*. A les darreres línies del Script veiem com es combinen les variables de la indexació amb altres variables del sistema per a habilitar o inhabilitar certs comandaments de la pantalla. Tot i que com hem vist en el capítol anterior, hi ha altres pestanyes indexades, no mostrarem el seu codi, degut a que son tots molt similars al mostrat.

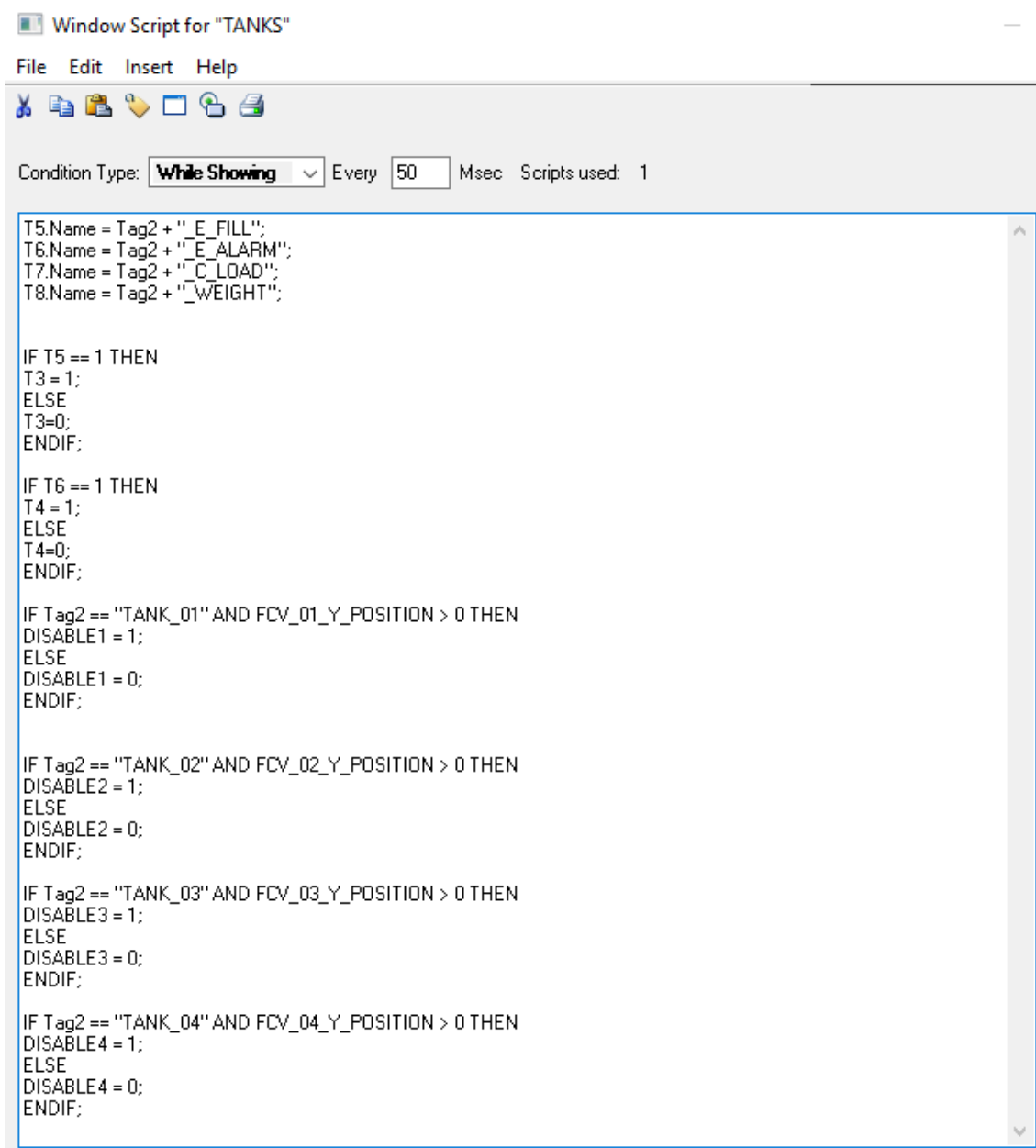


Figura 3.99. Script d'indexació de la pantalla dels tancs.

El Script que veiem tot seguit es el que executa la icona del primer tanc, el de proteïna, quan cliquem sobre ell, i és l'encarregat de fer que la indexació funcioni correctament.

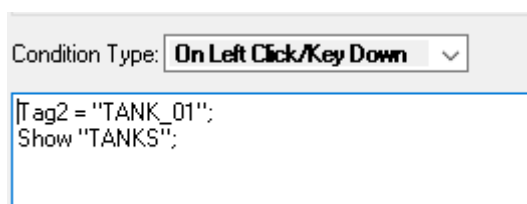


Figura 3.100. Script icona tanc de proteïna.

Seguit veiem el Scripts que ens permeten obrir i tancar sessió. El primer utilitzat tant en el botó de la pantalla d'inici com quan cliquem sobre el nom de l'usuari a la pantalla *Main* i el segon s'executa quan cliquem sobre el boto d'*Exit*.

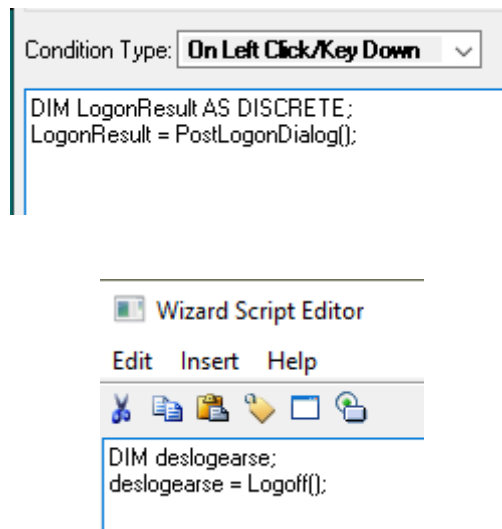


Figura 3.101. Script per iniciar i tancar sessió.

3.8.6. Disseny de la interfície d'Alarmes del Sistema

Una de les necessitats més importants en un sistema de supervisió és poder tenir controlades en tot moment les alarmes que estan actives i les que no, especialment les primeres.

Per fer això realitat, en el nostre sistema SCADA hem decidit incorporar en primer lloc un visualitzador a la pantalla *Main*, que ens mostra a temps real si alguna alarma s'activa. Aquest visualitzador és visible en tot moment i no hi ha cap pantalla pop-up que l'oculti.

Automated Factory for the Production of Flavo				
Time	Name	Operator	Alarm Comment	
01/11/2023 01:11:12	TANK_01_E_A...	Administrator	It is not possible to add the desired...	

Displaying 1 to 1 of 1 alarms. Default Query 100 % Complete

Figura 3.102. Visualitzador alarmes actives.

Com hem dit al començament, a més de les alarmes actives, també és important deixar registrades aquelles que en cert moment del procés s'han pogut activar però que al corregir el

que les causava s’han desactivat. És possible accedir a aquesta mena d’informació des de la següent pantalla que veiem (Fig. 3.102.). En aquest visualitzador es registren les noves alarmes però també es registra el moment de la seva desactivació així com altres esdeveniments del sistema com els canvis d’usuari o l’inici de l’aplicació.

El codi de colors del visualitzador és el següent:

- En vermell apareix el moment en què una alarma s’activa.
- En blau apareix el moment en què una alarma es desactiva
- En groc apareixen els altres esdeveniments del programa.

Date	Time	Name	Value	Operator	Comment
10 ene.	14:40	\$NewAlarm	ON	VIRTUALMACHINE/Administrator	\$NewAlarm
10 ene.	14:40	TANK_01_E_ALARM	ON	VIRTUALMACHINE/Administrator	It is not possible to add the desired weight due to the tank c
10 ene.	14:38	\$NewAlarm	OFF	VIRTUALMACHINE/Administrator	\$NewAlarm
10 ene.	14:38	TANK_01_E_ALARM	OFF	VIRTUALMACHINE/Administrator	It is not possible to add the desired weight due to the tank c
10 ene.	14:38	\$NewAlarm	ON	VIRTUALMACHINE/Administrator	\$NewAlarm
10 ene.	14:38	TANK_01_E_ALARM	ON	VIRTUALMACHINE/Administrator	It is not possible to add the desired weight due to the tank c
10 ene.	14:02	\$NewAlarm	OFF	VIRTUALMACHINE/Administrator	\$NewAlarm
10 ene.	14:02	BATCH_E_PROT_ALARM	OFF	VIRTUALMACHINE/Administrator	Not enough protein amount.
10 ene.	14:02	BATCH_E_CHOC_ALARM	OFF	VIRTUALMACHINE/Administrator	Not enough chocolate amount.
10 ene.	14:02	\$NewAlarm	ON	VIRTUALMACHINE/Administrator	\$NewAlarm
10 ene.	14:02	BATCH_E_PROT_ALARM	ON	VIRTUALMACHINE/Administrator	Not enough protein amount.
10 ene.	14:02	BATCH_E_CHOC_ALARM	ON	VIRTUALMACHINE/Administrator	Not enough chocolate amount.
10 ene.	02:15	\$AccessLevel	9999	VIRTUALMACHINE/Administrator	\$AccessLevel
10 ene.	02:15	\$Operator	Administrator	VIRTUALMACHINE/None	\$Operator
10 ene.	02:15	\$OperatorName	Administrator	VIRTUALMACHINE/None	\$OperatorName
10 ene.	02:11	\$LogicRunning	ON	VIRTUALMACHINE/None	\$LogicRunning

Update Successful Default Query [Blue bar]

EXIT

Figura 3.103. Visualitzador d’històric d’alarmes i esdeveniments.

Per tal d’accedir a l’anterior pantalla ho fem clicant sobre la icona que veiem emmarcada en vermell en la següent imatge (Fig. 3.103.) la qual a més, parpellejarà si hi ha alguna alarma activa.

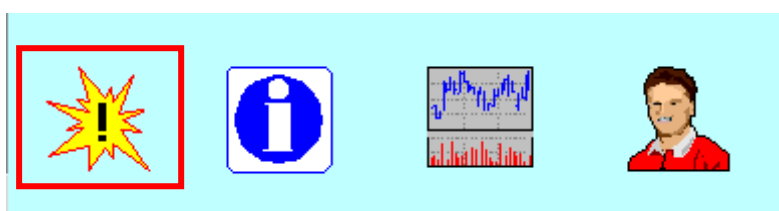


Figura 3.104. Icona d’accés a la pantalla d’alarmes.

3.8.7. Gestió d'usuaris

Com a tota aplicació, és necessari definir uns nivells d'usuari, ja que no tindrà el mateix accés la persona encarregada de posar en marxa tot el sistema, que un simple operador que només s'encarrega de supervisar i alertar en cas que succeeixi cap mena d'alarma. Amb aquest objectiu, i com havíem avançat a la taula de requisits funcionals, hem definit dos nivells d'usuari en el nostre SCADA. Quan s'iniciï el programa no hi haurà cap sessió registrada i per tant només se'ns obrirà una pantalla on se'ns demanarà d'introduir algun dels dos usuaris esmentats. Per tal de facilitar les coses, i ja que no és un cas real, ambdós usuaris comparteixen contrasenya i aquesta és 1234.

1. El primer dels usuaris és l'administrador. Presenta la màxima capacitat per accedir i modificar els valors, estats i magnituds de qualsevol element. Representa que és l'enginyer encarregat de la planta.
2. El segon és el operador. Aquesta té una capacitat més reduïda, limitada només a la visualització del sistema, és a dir, no pot executar cap ordre des del SCADA. Representa que és un simple operari sense coneixements de programació.

Per a canviar entre un usuari i l'altre quan ja haguem accedit per primer cop al sistema, hem de fer clic a sobre del nom de l'usuari que hi hagi en aquell moment, ubicat al costat de *User*, a l'esquerra del panel superior. Això ens obrirà una petita pantalla com la inicial per introduir les dades. En cas de voler tancar sessió, tan sols hem de fer clic sobre la icona de *Exit*, a sota del nom de l'usuari.

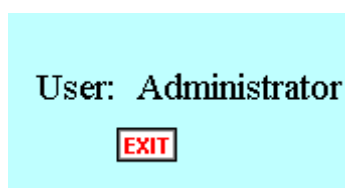


Figura 3.105. Punt de canvi d'usuari i icona de tancar sessió.

Per una altra banda, afegir que existeix un tercer nivell que ve per defecte i s'anomena *none*, que s'activa quan ens desloguejem o quan iniciem el SCADA. Aquest ens dirigeix cap a una pantalla inicial la qual ens obliga a posar un nivell d'usuari entre administrador o operador per començar a treballar. A més, després d'un cert temps d'inactivitat, tenim configurat el SCADA perquè es deslogueji automàticament. D'aquesta manera evitem que alguna persona entri sense autorització a causa d'una pantalla que s'ha quedat encesa. Això ho fem a través de la consigna *Timeout* del *WindowViewer*.

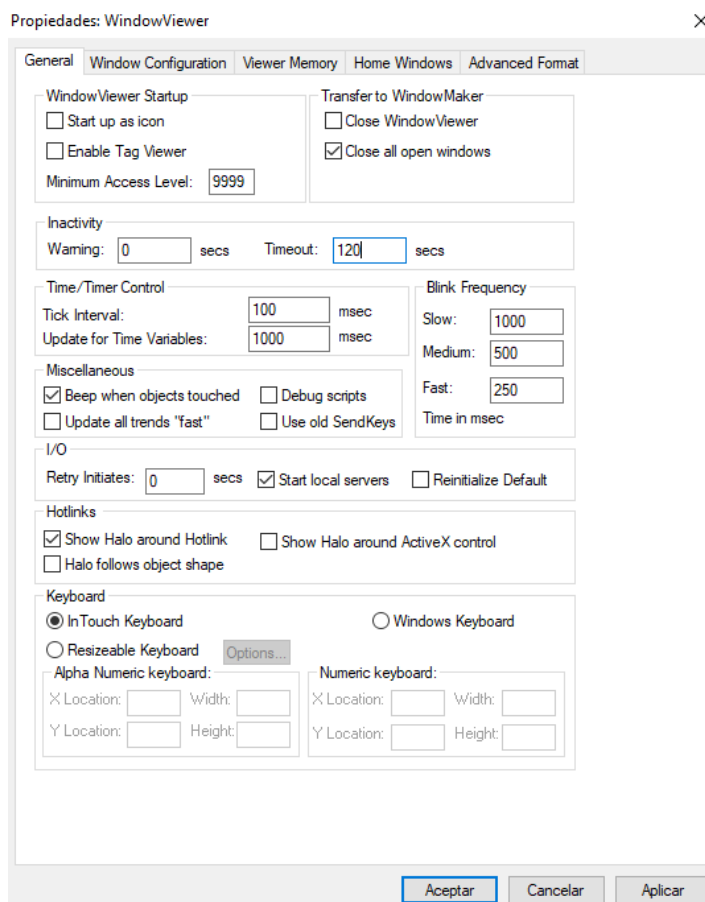


Figura 3.106. Configuració del Timeout.

3.8.8. Gràfics d'històrics i tendències

Un altre característica interessant que és comú que incorpori un sistema SCADA són els gràfics de tendències històriques. En aquesta mena de gràfiques queden registrades les variacions de les variables i podem extreure les dades per fer estudis a posteriori i treure conclusions del comportament del sistema.

Primer de tot, per accedir als gràfics d'històrics de tendències hem de fer clic sobre la icona d'un gràfic situat a la dreta del panel superior.

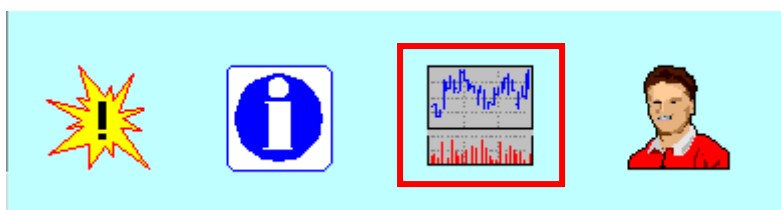


Figura 3.107. Icona d'accés a la pantalla dels gràfics.

Se'ns obrirà una petita pantalla que ens donarà a escollir entre tres possibles gràfics que hem decidit incorporar. Es presenten de forma separada per tal de facilitar la lectura de les seves dades.

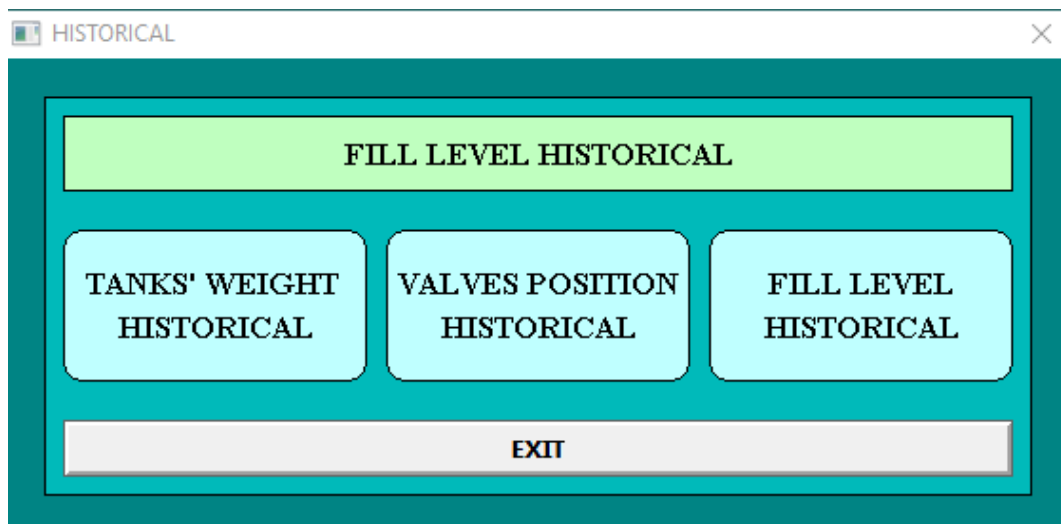


Figura 3.108. Pantalla d'elecció del gràfic a visualitzar.

El primer d'ells és el gràfic històric dels pesos tant dels 4 tancs de proteïna i sabors com del tanc del mesclador.

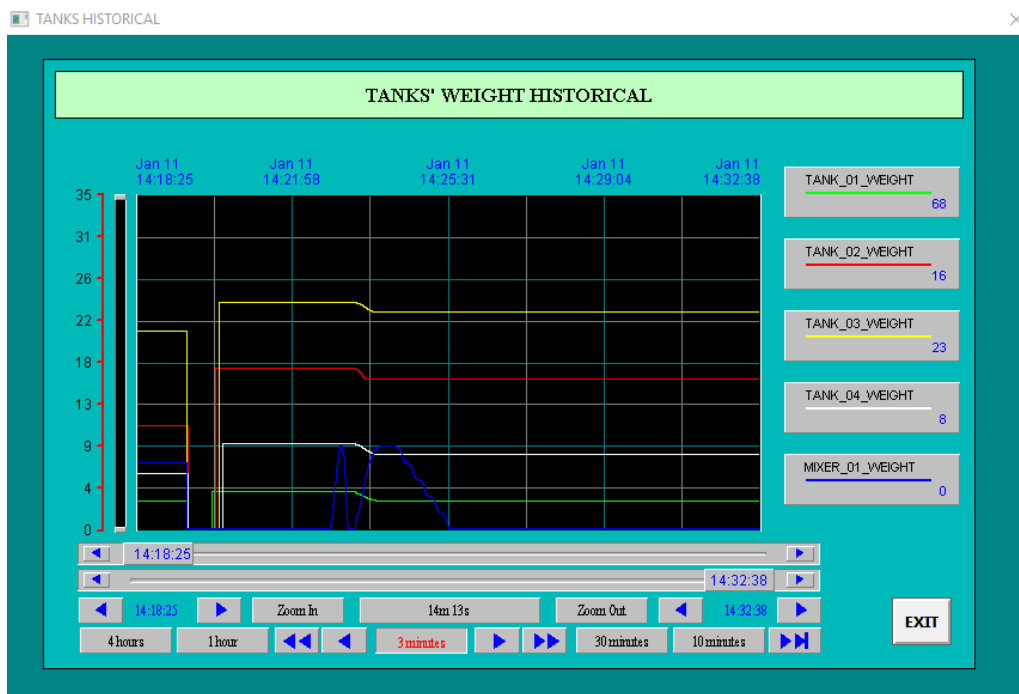


Figura 3.109. Gràfic històric pesos dels tancs del sistema.

El segon gràfic és el de la posició de les vàlvules de control de cabal, és a dir, les FCV. Son un total de 6.

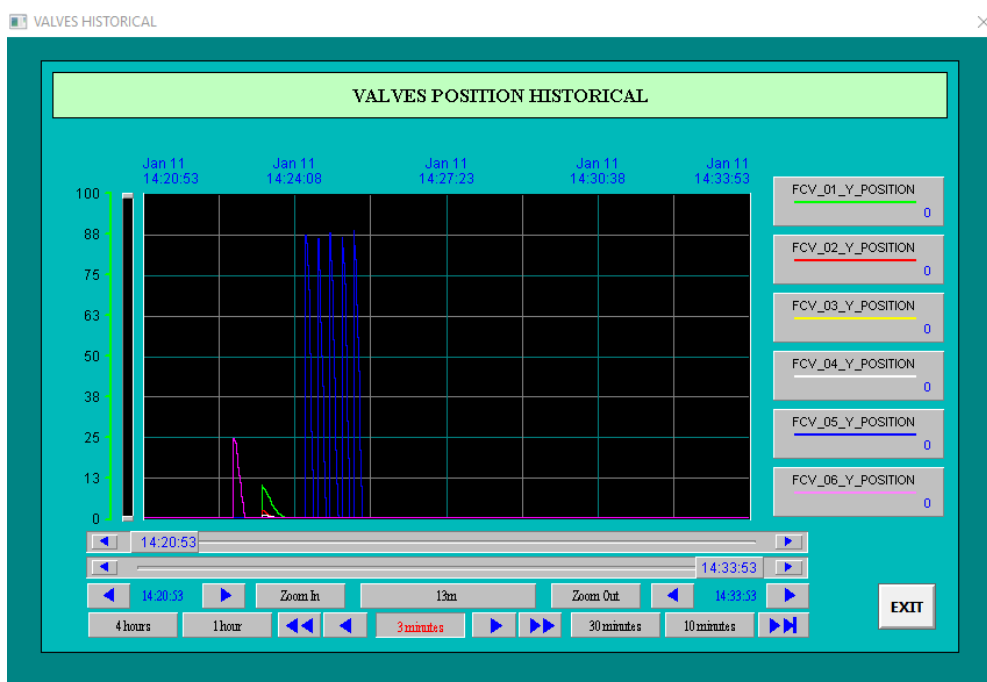


Figura 3.110. Gràfic històric posició de les vàlvules.

El tercer gràfic representa únicament el sensor de pes dels pots.

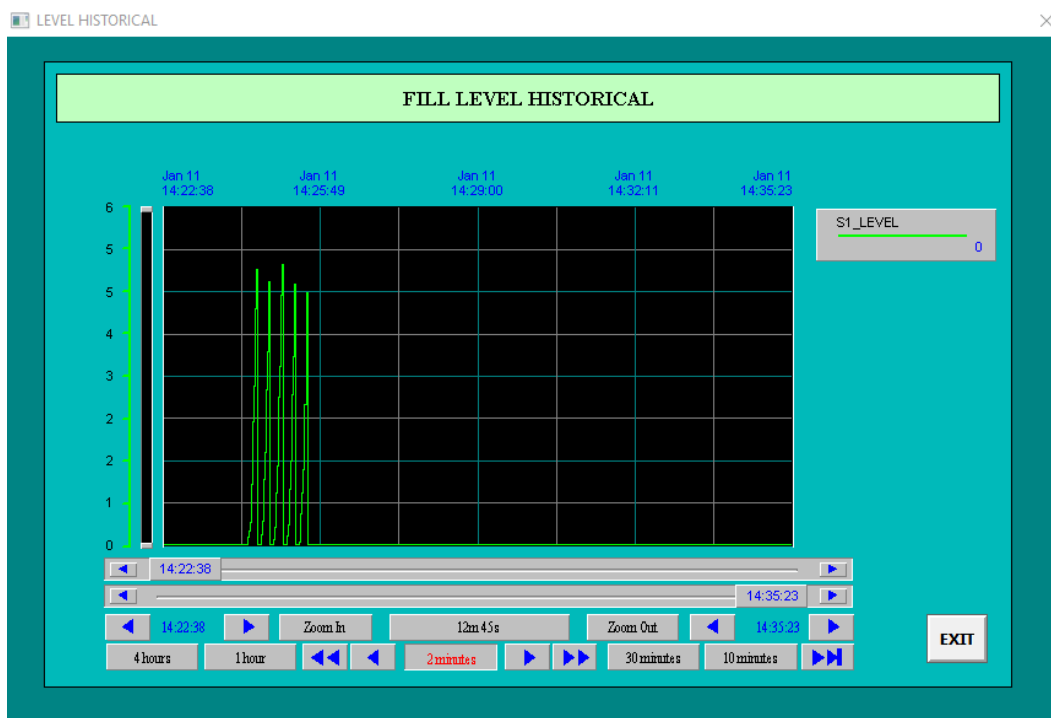


Figura 3.111. Gràfic històric pes dels pots.

CAPÍTOL 4: PROVES I RESULTATS

L'objectiu d'aquest capítol és explicar el disseny i resultats de les proves de la solució d'automatització implementada en el projecte de PBL.

4.1. Disseny de les probes d'Entrades i Sortides físiques

Com ja s'ha explicat nombroses vegades al llarg de la memòria, tant la planta com el procés son simulats i per tant no hi ha entrades físiques reals, tot i així, per fer aquesta prova s'ha fet servir el software *Studio 5000 Emulate*, el qual a més d'emular el funcionament d'un mòdul PLC, també ens mostra un mòdul d'entrades i sortides, que serà el que utilitzem en aquesta ocasió.

Per crear aquest nou mòdul d'entrades i sortides al emulador és ben senzill, tan sols hem de clicar sobre un dels *slots* que estigui vuit i ens apareixerà l'opció de crear un controlador o un simulador d'entrades i sortides, elegim la segona. Després des del Studio 5000 hem de crear també el mòdul, cosa que fem clicant sobre l'opció *I/O Configuration*, ubicada a baix del *Controller Organizer*, i elegint *New Module*. Fet això, se'ns obrirà una finestra amb diferents tipus de mòduls a escollir, seleccionem el 1756 – MODULE, el configurem amb els paràmetres que veiem a la imatge de sota (Fig. 4.1.).

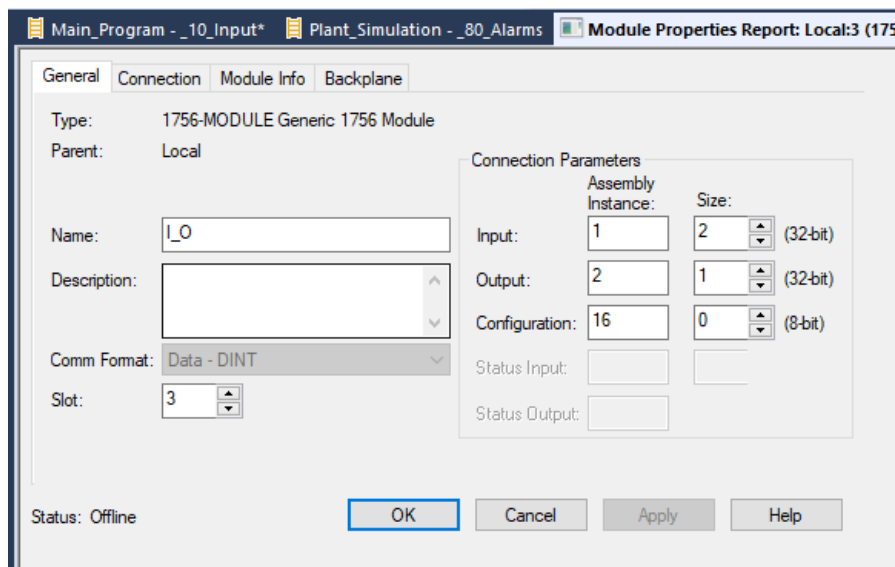


Figura 4.1. Paràmetres de configuració del mòdul d'entrades i sortides.

Un cop configurat ens haurà de sortir així al nostre programa:

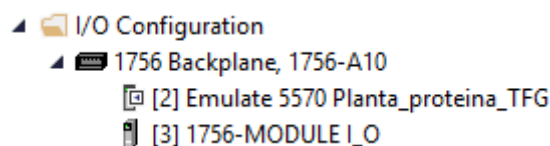


Figura 4.2. Mòdul d'entrades i sortides.

4.2. Disseny de les proves de Funcionalitat

Les proves de funcionalitat s'han portat a terme comprovant que tots els equips i processos del sistema s'executin de la manera esperada, analitzant els requisits funcionals prèviament descrits a la memòria i verificant que tots ells és compleixen.

Tot i així, podem destacar per exemple pel calibratge del funcionaments dels PIDs , l'ús de les eines proporcionades pel *Studio 5000* com son els *Trends*. Ens han permès, de manera visual, entendre el comportament dels llaços de control a la vegada que veure les variacions en les respostes quan modificàvem els guanys de les K_p , K_i o K_d .

Per últim, també hem comprovat la funcionalitat per part del controlador d'executar els blocs del sistema mitjançant bits d'activació en cas que el programa aconseguís accedir a la rutina on es trobaven.

4.3. Disseny de les proves entre Controlador i Scada

Les proves entre controlador i SCADA son molts senzilles de realitzar a través del software *RSLinx*, de fet, en el punt 3.1.4 de l'informe, Comunicacions SCADA – Controlador - Procés, ja expliquem com verificar si s'estan intercanviant dades entre els programes així que ara simplement farem un breu resum.

4.4. Resultats de les Probes

En aquest darrer apartat del capítol 4, anirem mostrant els resultats obtinguts a les diferents proves que hem dissenyat en els apartats anteriors.

La primera de les proves era la d'entrades i sortides físiques. Com s'ha explicat, s'ha fet ús del mòdul d'entrades i sortides que ens proporciona el emulador. Com podem veure en la imatge de baix (Fig. 4.3.), fent clic sobre l'entrada 01 del emulador s'encendrà un llum, i activarem l'entrada en el nostre programa; conseqüentment activarem la sortida al programa, que posteriorment encendra la llum de la sortida 01 a l'emulador.

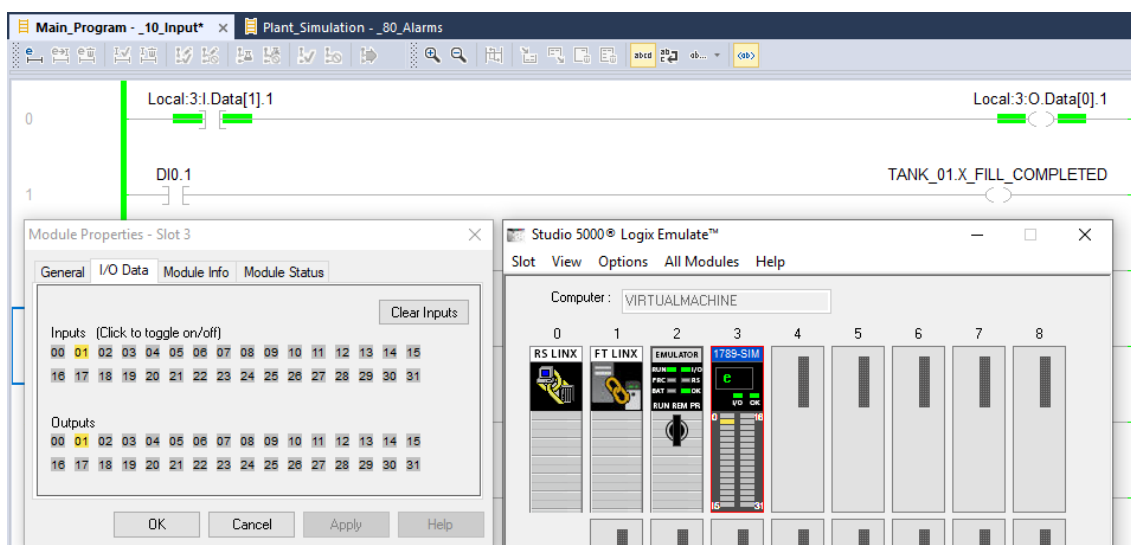


Figura 4.3. Resultat de la prova entrades i sortides físiques.

La segona prova era la de funcionalitat. Com ja hem detallat, aquesta prova la hem executat comprovant el sistema en general i veient si es comportava tal i com s'esperava. No obstant això, també s'ha mencionat l'ús de bits per comprovar que el programa accedia a les subrutines correctament. En la imatge de sota (Fig. 4.4.) podem veure com efectivament, el bit està actiu.

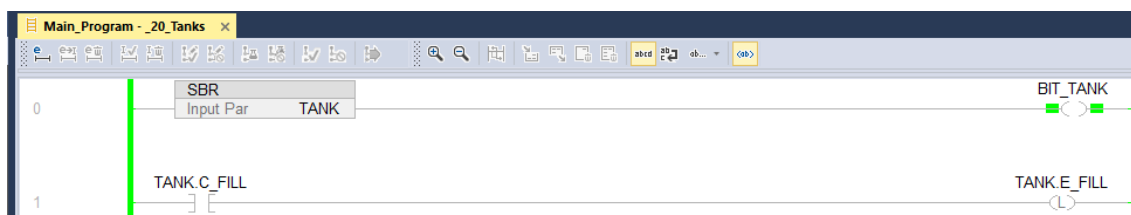


Figura 4.4. Resultat prova de funcionalitat.

L'última prova era la de la comunicació entre el controlador i el SCADA. Com hem dit, és ben fàcil de portar a terme des del *RSLinx* obrint la carpeta *Active DDE/OPC Topics*. Les variables que estiguin intercanviant dades apareixeran llistades com a la imatge de sota (Fig. 4.5.).

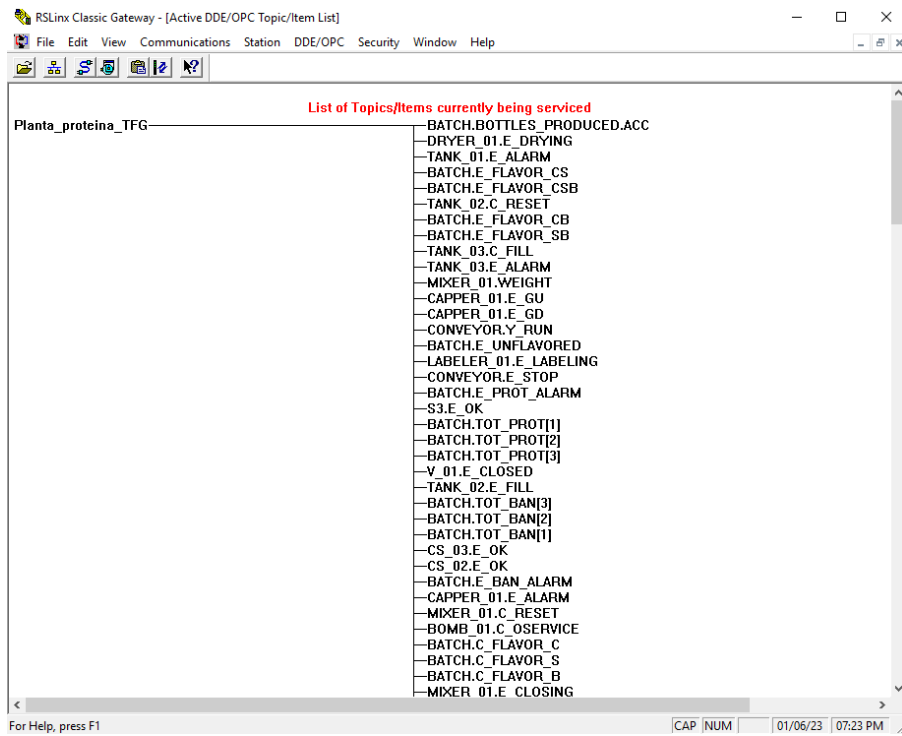


Figura 4.5. Resultat de les proves de comunicació controlador – SCADA.

CAPÍTOL 5: NORMATIVA

En aquest cinquè capítol es comenta la normativa que s'ha seguit per tal de desenvolupar el nostre projecte. L'ús de les diferents normes és obligatori amb el fi de què el projecte es basi en uns estàndards tant per la part de programació del PLC, com per la de disseny del SCADA. Amb això el que aconseguim és facilitar la interpretació a terceres persones per si es dona el cas que tinguin que modificar el codi per introduir millores o que tinguin que supervisar el SCADA i hagin de saber llegir els diferents estats com executar les ordres pertinents.

5.1. Metodologia de Desenvolupament

Pel que fa referència a la metodologia de desenvolupament del nostre projecte ens hem basat concretament en la ISA 88 [13].

Principalment l'objectiu que persegueix aquesta norma és separar de la informació general del procés aquella que pertany als equips i a la maquinaria involucrada en les aplicacions de control. És bàsicament per aquest motiu pel qual es fa la separació en el nostre programa entre els equips que intervenen en ell com son els tancs, les vàlvules, els motors, etc., del procés en sí. La programació dels primers la trobem definida en el bloc anomenat *Main_Program* mentre que la del segon es troba en el bloc *Control_System*.

5.2. Codificació i Identificació

En quant a la codificació i identificació dels elements que formen el procés, s'ha seguit la norma ISA S5.5 [14].

Aquesta treballa de manera complementaria amb la ISA S5.1 i la ISA S5.3. L'objectiu que busquen totes elles es la integració cohesiva de la simbologia gràfica i dels diagrames de flux d'us comú en la indústria. Pel que s'acaba de dir, es pot entendre que on s'ha vist més reflectida aquesta norma ha sigut a la fase inicial de projecte amb el disseny del diagrama P&ID (*Piping and Instruments Diagram*). En la imatge que veurem tot seguit (Fig. 5.1.) podem apreciar el significat de les lletres utilitzades en la codificació.

PRIMERA LETRA (4)		LETRAS SUCESIVAS (3)			
	Variable medida o inicial	Letra de modificación	Lectura o función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A	Análisis(5, 19)		Alarma		
B	Quemador, combustión		Libre(1)	Libre(1)	Libre(1)
C	Libre (1)			Control (13)	
D	Libre (1)	Diferencial (4)			
E	Tensión (f.e.m.)		Sensor (Elemento primario)		
F	Caudal	Relación (4)			
G	Libre (1)		Vidrio, Dispositivo visión (9)		
H	Manual				Alto (7,15,16)
I	Corriente (eléctrica)		Indicar (10)		
J	Potencia	Exploración (7)			
K	Tiempo, programación tiempo	Variación de tiempo (4,21)		Estación de control (22)	
L	Nivel		Luz (11)		Bajo (7,15,16)
M	Libre (1)	Momentáneo (4)			Medio, Intermedio (7,15)
N	Libre (1)		Libre (1)	Libre (1)	Libre (1)
O	Libre (1)		Orificio, Restricción		
P	Presión, Vacío		Punto (Ensayo) Conexión		
Q	Cantidad	Integrar, Totalizar (4)			
R	Radiación		Registro (17)		
S	Velocidad, Frecuencia	Seguridad (8)		Interruptor (13)	
T	Temperatura			Transmisión (18)	
U	Multivariable (6)		Multifunción (12)	Multifunción (12)	Multifunción (12)
V	Vibración, Análisis mecánico (19)			Válvula, Regulador tiro, Persiana (13)	
W	Peso, fuerza		Vaina, Sonda		
X	Sin clasificar (2)	Eje X	Sin clasificar (2)	Sin clasificar (2)	Sin clasificar (2)
Y	Evento, Estado o Presencia (20)	Eje Y		Relé, Cálculo, Conversión (13,14,18)	
Z	Posición, Dimensión	Eje Z		Motor, Actuador, Elemento final de control sin clasificar	

Figura 5.1. Sistema de codificació de la ISA S5.5.

5.3. Implementació del Programa del PLC

La norma que utilitzem en aquest apartat es l'estàndard internacional IEC 61131 [15]. Està format per un conjunt de normes relatives als controladors lògics programables que abasta tant el hardware com el software, amb l'objectiu de normalitzar els controladors, com els seus perifèrics corresponents. Concretament, l'estàndard es defineix en vuit punts que veurem a continuació:

1. Informació general: conté definicions així com característiques funcionals típiques, que permeten distingir als sistemes basats en PLC, d'altres sistemes. A més, fa una descripció del processament cíclic de l'execució dels algorismes de control, emfatitzant en la

imatge guardada dels estats de les senyals d'entrada i sortida físiques d'un procés industrial.

2. **Requeriments i proves dels equips:** defineix els requeriments mecànics , elèctrics i funcionals dels dispositius juntament amb els assajos de qualitat que han d'aprovar i les condicions ambientals en las que han de ser capaços de treballar.
3. **Llenguatges de programació:** es descriuen la semàntica i la sintaxi de cinc llenguatges de programació per PLC, aquests son: Diagrama Escala (*Ladder*), Diagrama de Blocs de Funcions (*Function Block Diagram*), Llista d'Instruccions, Text Estructurat i Diagrama de Funcions Seqüencials. En el nostre programa en concret s'ha utilitzat majoritàriament el primer llenguatge i en ocasions el segon.
4. **Guies d'usuari:** report tècnic que proporciona una visió general i guies d'aplicació del estàndard per als usuaris finals.
5. **Especificació del servei de missatgeria:** defineix la comunicació entre els controladors programables i altres sistemes electrònics fent servir ISO/IEC 9506.
6. **Seguretat funcional:** persegueix el fi d'adaptar els requisit dels estàndards IEC 61508 i IEC 62061 de seguretat funcional dels sistemes de seguretat programable així com seguretat en maquinàries als PLC.
7. **Programació en lògica difusa:** pretén estandarditzar entre usuaris i desenvolupadors, la integració d'aplicacions de control relativa en funció de l'apartat 3 de l'estàndard.
8. **Guies per l'aplicació i implementació de llenguatges de programació:** ofereix interpretacions per qüestions que puguin ocorre i no estiguin recollides en l'estàndard, com podrien ser instruccions d'utilització per a l'usuari final i ajuda en la programació d'algoritmes de control.

5.4. Programació del Scada

Per al desenvolupament del sistema SCADA ens hem basat principalment en la guia ergonòmica de disseny d'interfície de supervisió, o més coneguda simplement com a GUEDIS [16]. Aquesta ofereix un mètode de disseny especialitzat en sistemes SCADA basat en nivells on es van

concretant els dissenys dels diferents tipus de pantalla i continguts. Consta d'un total de 10 indicadors que pretenen cobrir aspectes de disseny de la interfície, aquests son: estructura, distribució, navegació, color, text, estat dels dispositius, valors de procés, gràfics i taules, ordres d'entrada de dades i alarmes.

Indicador	Definición	Entradas	Salidas
Arquitectura	Organización jerárquica de las pantallas	De la planta física a la monitorización gráfica	Mapa de relaciones entre pantallas y sus funciones
Distribución de pantallas	Plantillas de los diferentes tipos de pantalla	Diseño de los procesos físicos y subprocesos	Clasificación de tipos de pantallas y tipos de plantillas
Navegación	Modos de navegación entre pantallas	Controles de navegación entre subprocesos	Navegación equilibrada en anchura y profundidad
Uso del color	Asociación de funcionalidades en el ámbito del control de procesos	Requisitos sobre dispositivos de información visual	Uso del color adecuado en el contexto
Uso de fuentes e información textual	Abanico de fuentes y asociación de funcionalidades	Fuentes y tamaños legibles por el operario	Estándares de fuentes, acrónimos y abreviaturas
Estatus de los equipos y eventos de proceso	Símbolos e iconos gráficos para representar el estado de la planta y los cambios de estado	Estándares nacionales y/o internacionales en control supervisor	Uso de símbolos e iconos reconocibles por el operario experto
Información y valores de proceso	Presentación de los datos analógicos/digitales en los gráficos	Procesamiento de la información	Lista clasificada de las variables del proceso
Gráficos de tendencias y tablas	Presentación y agrupación de valores en gráficos de tendencias (históricos) y tablas	Procesamiento de la información	Lista de agrupaciones de datos en gráficos y tablas en los sinópticos de proceso
Comandos y entradas de datos	Modo de entrada de datos a la interfaz	Estándares de diseño de comandos y entrada de datos	Accesibilidad a la manipulación de parámetros y consignas
Alarmas	Características principales del subsistema de alarmas	Estimación del riesgo	Listado de alarmas, clasificación por prioridades

Figura 5.2. Indicadors de la guia GEDIS.

Per un altre lloc, també hem utilitzat la norma ISA 101 [17]. Aquesta pretén marcar una sèrie de convencions i normes a l'hora del disseny i jerarquia d'interfícies HMI utilitzats en la automatització industrial. En el nostre cas específic, l'hem utilitzat en el que fa referència als colors dels elements, és a dir, verd indica operatiu, vermell indica error, groc és estat indeterminat i gris vol dir no operatiu.

Per últim mencionar que l'estàndard internacional IEC 60617 és una altra norma relacionada amb la simbologia gràfica dels components la qual també hem tingut en consideració.

CAPÍTOL 6: ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL

Malauradament, avui dia ja podem afirmar que el canvi climàtic és un fet real, que està succeint i que anirà a pitjor si no comencem a actuar de forma immediata. En aquest capítol detallarem quins processos segueix la programació de la planta de proteïna per tal de minimitzar aquest impacte que, per desgracia, pràcticament totes les fàbriques tenen en el medi ambient.

On veiem una major implicació per reduir dites emissions és en el procés de neteja del tanc mesclador. Com hem explicat, després de cada barreja de sabors, és necessari netejar el tanc per tal d'evitar que possibles restes d'altres sabors passats s'ajuntin amb futurs sabors. Per fer-ho, el més simple es utilitzar aigua, és per això que així ho fa la nostra planta. No obstant això, i com que tenim en compte que l'aigua es un recurs escàs el qual hem d'aprofitar correctament, s'ha implementat el següent mètode per tal de no malgastar litres innecessàriament. En comptes d'omplir el tanc d'aigua cada vegada que el volem netejar, el que es fa es omplir-ho simplement fins a la quantitat aproximada de proteïna que es farà servir en la pròxima comanda. Es veurà molt clar amb el següent exemple: en comptes d'omplir el tanc fins a la seva màxima capacitat de 100 litres d'aigua cada cop que toca netejar-ho, si en la pròxima comanda només es carregarà el tanc amb 30kg de proteïna i sabor, omplir-ho llavors només 30 litres d'aigua. Amb aquest mateix exemple ja es veu com aplicant aquest mètode ens estem estalviant només amb una neteja uns 70 litres.

Per una altra banda, seria realment interessant poder estudiar el consum energètic que presenta la planta i cada equip per individual així com les emissions de cada element per veure si hi ha algun que destaquï per sobre de la resta. Com això no es pot portar a terme al no ser una fàbrica real, des d'aquí ens limitem tan sols a recomanar que en cas de portar a la realitat el disseny, aconsellem comprar els equips i els productes en empreses que compleixin els estàndards que veiem tot seguit.

- ISO 14000 Gestió mediambiental [18]: persegueix l'objectiu de reduir els efectes negatius en el medi ambient originats per les accions de les empreses així com reduir tant el consum energètic com els materials. Concretament, d'aquest estàndard es destaquen les normes ISO 14001 – Sistemes de gestió mediambiental i ISO 14064 (1, 2 i 3) - Gasos efecte hivernacle.
- ISO 50001 Sistema de gestió d'energia: facilita a les entitats la implementació d'una política energètica per a poder estalviar en el cost energètic, i consegüentment en l'econòmic.

CAPÍTOL 7: CONCLUSIONS

Arribats a aquest punt de la memòria, amb el projecte ja finalitzat, cal extreure unes conclusions on es reculli principalment una valoració dels objectius plantejats a l'inici del treball i es faci una comparativa amb els resultats finals obtinguts. S'entrarà també en les majors dificultats enfrontades en la realització de la tasca així com una opinió fina de l'autor.

Primer de tot, per tal de refrescar la memòria, es farà un recordatori de quins eren els objectius proposats al començament. El propòsit principal era aconseguir desenvolupar una simulació d'una planta industrial automàtica de producció de proteïna de sabors, on l'usuari tan sols hagués d'intervenir al començament per posar els elements en servei, així com per programar les comandes de proteïna que desitges produir.

Tenint l'esmentat en el darrer paràgraf en consideració, es pot afirmar que s'ha aconseguit assolir el principal objectiu d'aquest projecte. Això es així, ja que el resultat final és una planta capaç que, una vegada el treballador ha col·locat tots els equips en estat de funcionament i ha definit la tirada de lots que vol fabricar, funcionar de manera autònoma i elaborar fins a un total de 5 lots diferents de pots de proteïna. Un cop en marxa, el treballador només haurà de tornar a intervenir en tres situacions. Quan vulgui definir una nova comanda, com es lògic; quan les existències de proteïna o sabors siguin insuficients per produir la nova comanda; i en cas que es produeixi cap alarma.

Quan es parla de les majors dificultats i majors reptes que han sorgit al llarg del projecte, ràpidament se'ns ve al cap dues parts, una del procés de la simulació i l'altra del disseny del SCADA. Pel que fa a la simulació, concretament ens referim a la programació del funcionament dels sensors de la cinta transportadora. S'ha canviat el codi en infinitats d'ocasions fins a desenvolupar el que actualment es fa servir i que fins a la data no ha derivat en cap falla. La part del SCADA més difícil ve relacionada també amb els sensors, però no concretament ells, sinó els pots que circulen per la cinta i han de ser detectats per aquests. Hi ha hagut problemes on els pots desapareixien per que un sensor es desactivava o activava segons abans de que li pertoques. A més, a causa dels temps d'intercanvi de dades, a vegades també es produïen errors en els sistemes que presentaven moviment, i aquest ha sigut un dels errors més difícils de solucionar.

Finalment, a continuació donaré una breu opinió de manera personal sobre tot el que ha comportat el projecte. Voldria valorar un dels altres objectius pels quals vaig decidir realitzar aquest tipus de treball, el qual era augmentar la meua base de coneixements, aconseguida amb assignatures anteriors de la carrera i del que puc afirmar que he assolit amb complet èxit. Es pot veure reflectit en les diferents eines emprades per a la realització de la planta com son els molts *Add-Ons* utilitzats per tal de poder reutilitzar codi; les UDTs definides per poder cridar amb una mateixa subrutina més d'un element; la configuració correcta dels PIDs; la indexació de pantalles al SCADA per evitar crear-ne més d'una igual; l'animació d'objectes al SCADA; entre d'altres. D'aquesta manera deixem enrere un programa dissenyat amb bones pràctiques que facilitaràn la interacció, en cas de ser necessària, amb terceres persones.

Com a darrer paràgraf de la memòria, vull destacar que el conjunt de l'experiència d'acomplir aquest TFG ha sigut realment gratificant. Poso punt final a la carrera que vaig començar ara fa poc més de 4 anys i que avui en dia no me'n penedeix-ho d'haver escollit. Amb ganes de seguir aprenent sobre el món de l'enginyeria i l'automàtica en un futur.

PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA

De manera merament informativa s'ha decidit afegir un suposat pressupost que s'hauria de valorar en el cas que es volgués portar a la practica la instal·lació que hem dissenyat. S'ha dividit en dues parts, la primera recull el costs dels equips que formen la planta. Tot i això, els costos són molt aproximats degut a que molts fabricants no inclouen el preu sinó que directament et fan un pressupost quan tens intenció de comprar-ne un [19].

Costos dels equips			
Material	Unitats	Preu (€/unitat)	Cost (€)
TANC DE PROTEÏNA	1	3000 - 4500	3000 - 4500
TANC DE SABORS	3	2000 - 3000	6000 - 9000
VÀLVULA REGULADORA DE CABAL	6	150 - 300	900 - 1800
BOMBA CENTRIFUGA	1	3000 - 15000	3000 - 15000
ASSECADORA	1	350 - 500	350 - 500
VÀLVULA TOT/RES	1	20 - 40	20 - 40
MÀQUINA BARREJADORA	1	1000 - 1500	1000 - 1500
MOTOR DE LA HÉLIX BARREJADORA	1	70 - 160	70 - 160
TAPADORA	1	6000 - 8000	6000 - 8000
ETIQUETADORA	1	1000 - 2000	1000 - 2000
SENSOR DE NIVELL PER ULTRASONES	1	80 - 200	80 - 200
SENSOR DE PRESENCIA	7	10 - 15	70 - 105
SENSOR DE PES	5	60 - 120	300 - 600
CINTA TRANSPORTADORA	1	1000 - 3000	1000 - 3000
CANONADES	Indefinit	1500 - 2000	1500 - 2000
TOTAL			24290 - 48405

Taula 8.1. Taula de costos dels equips de la planta.

En aquesta segona taula s'inclou el cost per part de l'automatització, des del mateix PLC fins a les hores de treball de l'enginyer.

Costos de l'automatització			
Material	Unitats	Preu (€/unitat)	Cost (€)
PLC ALLEN BRADLEY	1	400 - 800	400 - 800
PANTALLA HMI	1	150 - 550	150 - 550
LLICÈNCIA ROCWELL AUTOMATION (RSLOGIX 5000 i STUDIO 5000)	1	4000 - 7000	4000 - 7000
LLICÈNCIA INTOUCH (SCADA)	1	1000 - 2000	1000 - 2000
HORES D'ENGINYERIA	600	20	12000
TOTAL			17150 - 21550

Taula 8.2. Taula de costos de l'automatització de la planta.

Finalment, obtenim el preu total del projecte.

Cost total del projecte			
Material	Unitats	Preu (€/unitat)	Cost (€)
COSTOS DELS EQUIPS	1	24290 - 48405	24290 - 48405
COSTOS DE L'AUTOMATITZACIÓ	1	17150 - 21550	17150 - 21550
TOTAL			41440 - 69955

Taula 8.3. Taula del cost total del projecte.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Myprotein. *Impact Whey Protein, ingredientes*. Recurs electrònic disponible a:
<https://www.myprotein.es/nutricion-deportiva/impact-whey-protein/10530943.html>
- [2] Visual Paradigma. *Software de diagram de tuberia e instrumentación (P&ID)*. Recurs electrònic disponible a:
<https://online.visual-paradigm.com/app/diagrams/#diagram:proj=0&type=PipingDiagram&width=11&height=8.5&unit=inch>
- [3] BOE. *Real Decreto 1801/2008, de 3 de noviembre, por el que se establecen normas relativas a las cantidades nominales para productos envasados y al control de su contenido efectivo*. Recurs electrònic disponible a:
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2008/BOE-A-2008-17629-consolidado.pdf>
- [4] D.Muñoz, F. Salas, D. Limon, C. Bordons. *Fundamentos de control automatico*, US. Dpt. Enginyeria de Sistemes i Automàtica.
- [5] Allen Bradley. *Estimated Logix 5000 Controller Instruction Execution Times*. Recurs electronic disponible a:
https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/logix-rm002_-en-p.pdf
- [6] Rockwell Automation. *Guia d'Inici ràpid per a controladors Logix5000*. Rev. Març 2004.
https://www.infopl.net/files/descargas/rockwell/infoPLC_net_Guia_Rapida_ControlLogix_5000.pdf
- [7] Wonderware. *Intouch HMI basic instructions*. Recurs electrònic disponible a:
<https://www.google.com/search?q=manual+intouch+wonderware&og=manual+intouch&ags=chrome.1.69i57j0i51212j0i22i30i3j69i60i2.4856j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- [8] M.G. Ortega, F. Castaño, C. Vivas. *Modelado y simulación de una planta piloto*. Treball. US. Dpt. Enginyeria de Sistemes i Automàtica.
- [9] Rockwell Automation. *Instruccions generals de controladors Logix5000*. Rev. Maig 2002. Recurs electrònic disponible a:
https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-rm003_-es-p.pdf
- [10] EcuRed. *Norma IEC 61131-3*. Recurs electrònic disponible a:
[http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/IEC%2061131-3%20\(Lenguajes\).pdf](http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/IEC%2061131-3%20(Lenguajes).pdf)
- [11] Luis Fernando Plaza Gálvez. *Modelo matemático para vaciado de tanque*. Treball. Universitat tecnològica de Pereira.
- [12] Rockwell Automation. *Logix5000 Controllers Add-On Instructions*. Rev. Juliol 2008. Recurs electrònic disponible a:
https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pm/1756-pm010_-en-p.pdf

[13] *Desarrollo de sistemas ciber-físicos de producción para Procesamiento por lotes usando normas IEC-61499 e ISA-88*. Recurs electrònic disponible a:

http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000300443&lng=es&nrm=iso

[14] ISA. *ISA5.5, Graphic Symbols for Process Displays*. Recurs electrònic disponible a:

<https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa5-5>

[15] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). *Búsqueda del estándar IEC 61131*. Recurs electrònic disponible a:

<https://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/mysearchajax?Openform&key=iec%2061131&sorting=&start=1&onglet=1>

[16] Ponsa, Pere; Díaz, Marta; Catalá, Andreu. *Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión*. Recurs electrònic disponible en: <https://aipo.es/articulos/4/4.pdf>

[17] *Organización Internacional de Normalización (ISO). Búsqueda de estándares ISO*. Recurs electrònic disponible a: <https://www.iso.org/obp/ui#home>

[18] EcuRed. Normas ISO 14000. Recurs electrònic disponible a:

https://www.ecured.cu/Normas_ISO_14000

[19] *Made in China*. Recurs electrònic disponible a: <https://www.made-in-china.com/>

ANNEX 1

Hem decidit afegir un annex a al treball per tal de no haver d'explicar múltiples vegades diverses parts del codi o del disseny SCADA que presenten similituds entre elles molt rellevants i per tant amb una sola descripció ja s'entenen totes.

La primera subrutina que trobem es la *_10_Input*. En aquesta es copien totes les entrades físiques del PLC a les nostres marques internes.

0	D10.1	TANK_01_X_FILL_COMPLETED
1	D10.2	TANK_02_X_FILL_COMPLETED
2	D10.3	TANK_03_X_FILL_COMPLETED
3	D10.4	TANK_04_X_FILL_COMPLETED
4	D10.5	TANK_01_X_ALARM_MAX_WEIGHT
5	D10.6	TANK_02_X_ALARM_MAX_WEIGHT
6	D10.7	TANK_03_X_ALARM_MAX_WEIGHT
7	D10.8	TANK_04_X_ALARM_MAX_WEIGHT
8	D11.1	FCV_01_X_ALARM
9	D11.2	FCV_02_X_ALARM
10	D11.3	FCV_03_X_ALARM
11	D11.4	FCV_04_X_ALARM
12	D11.5	FCV_05_X_ALARM
13	D11.6	FCV_06_X_ALARM
14	D12.1	CONVEYOR_01_X_MOVE_1

Figura Annex 1.1. Subrutina *_10_Input* (1/3).

15	DI2.2	CONVEYOR_01.X_MOVE_2
16	DI2.3	CONVEYOR_01.X_MOVE_3
17	DI2.4	CONVEYOR_01.X_MOVE_4
18	DI2.5	CAPPER_01.X_DOWN
19	DI2.6	CAPPER_01.X_UP
20	DI2.7	CAPPER_01.X_OK
21	DI2.8	CAPPER_01.X_ALARM
22	DI2.9	LABELER_01.X_DOWN
23	DI2.10	LABELER_01.X_UP
24	DI2.11	LABELER_01.X_OK
25	DI2.12	LABELER.X_ALARM
26	DI3.1	DRYER_01.X_DRYING
27	DI3.2	DRYER_01.X_DRY
28	DI3.3	MIXER_01.X_MIX_FINISHED
29	DI3.4	MIXER_01.X_SENSOR_COVER
30	DI3.5	MIXER_01.X_OPENING
31	DI3.6	MIXER_01.X_CLOSING
32	DI3.7	MIXER_01.X_MIXING
33	DI4.1	BOMB_01.X_RUNNING
34	DI4.2	BOMB_01.X_ALARM
35	DI5.1	V_01.X_OPEN
36	DI5.2	V_01.X_CLOSED
37	DI5.3	V_01.X_ALARM
38	DI6.1	S1.X_OK
39	DI6.2	S2.X_OK
40	DI6.3	S3.X_OK
41	DI7.1	CS_01.X_OK
42	DI7.2	CS_02.X_OK
43	DI7.3	CS_03.X_OK

Figura Annex 1.2. Subrutina _10_Input (2/3).



Figura Annex 1.3. Subrutina _10_Input (3/3).

Ara veiem la subrutina _99_Output. En aquesta, al contrari de la d'entrades, es copien les sortides internes a les sortides físiques del PLC.

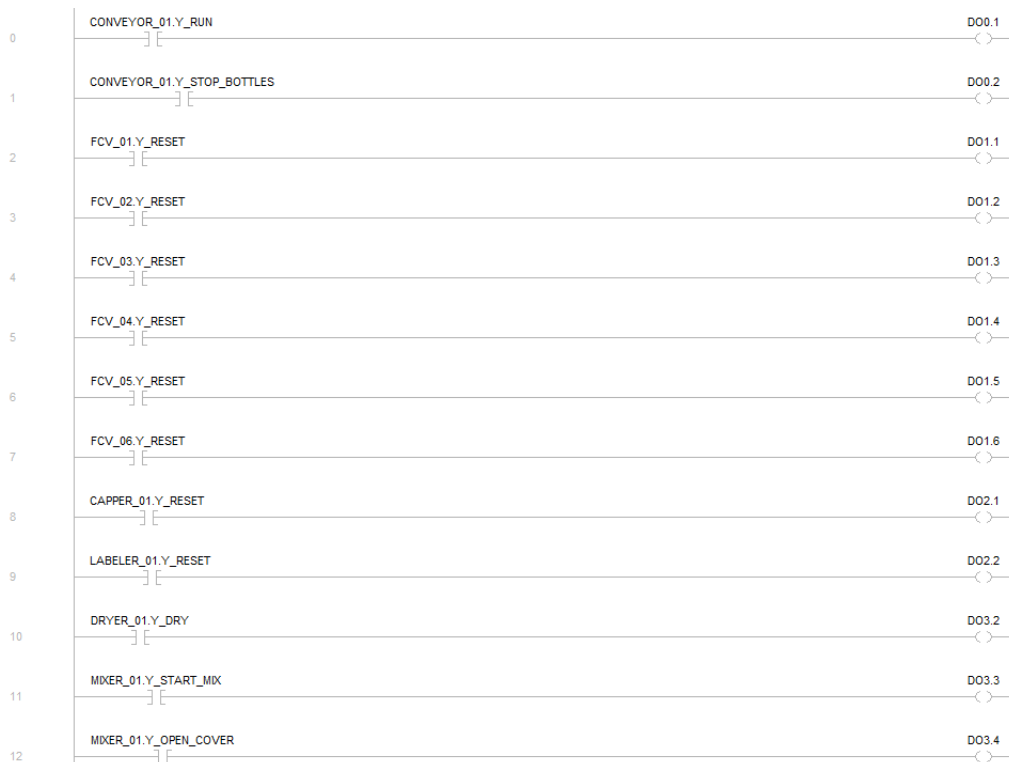


Figura Annex 1.4. Subrutina _99_Output (1/2).

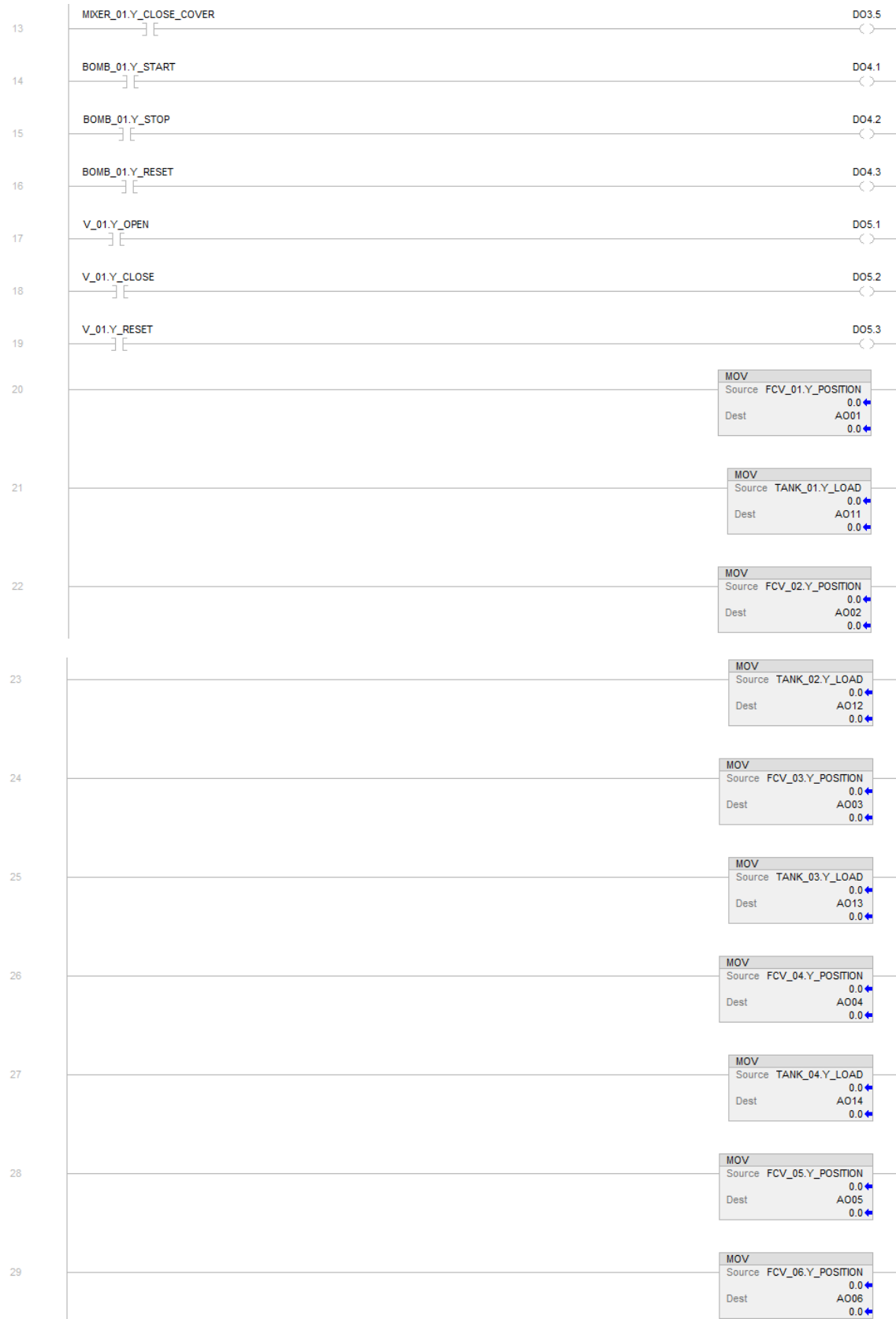


Figura Annex 1.5. Subrutina __99__Output (2/2).

A continuació veiem el conjunt d'Add-Ons que formen la subrutina __10__ Batch.

Comencem amb dos que en formen l'inicial, s'anomenen *Global_variables* i *Collective_Batch*.

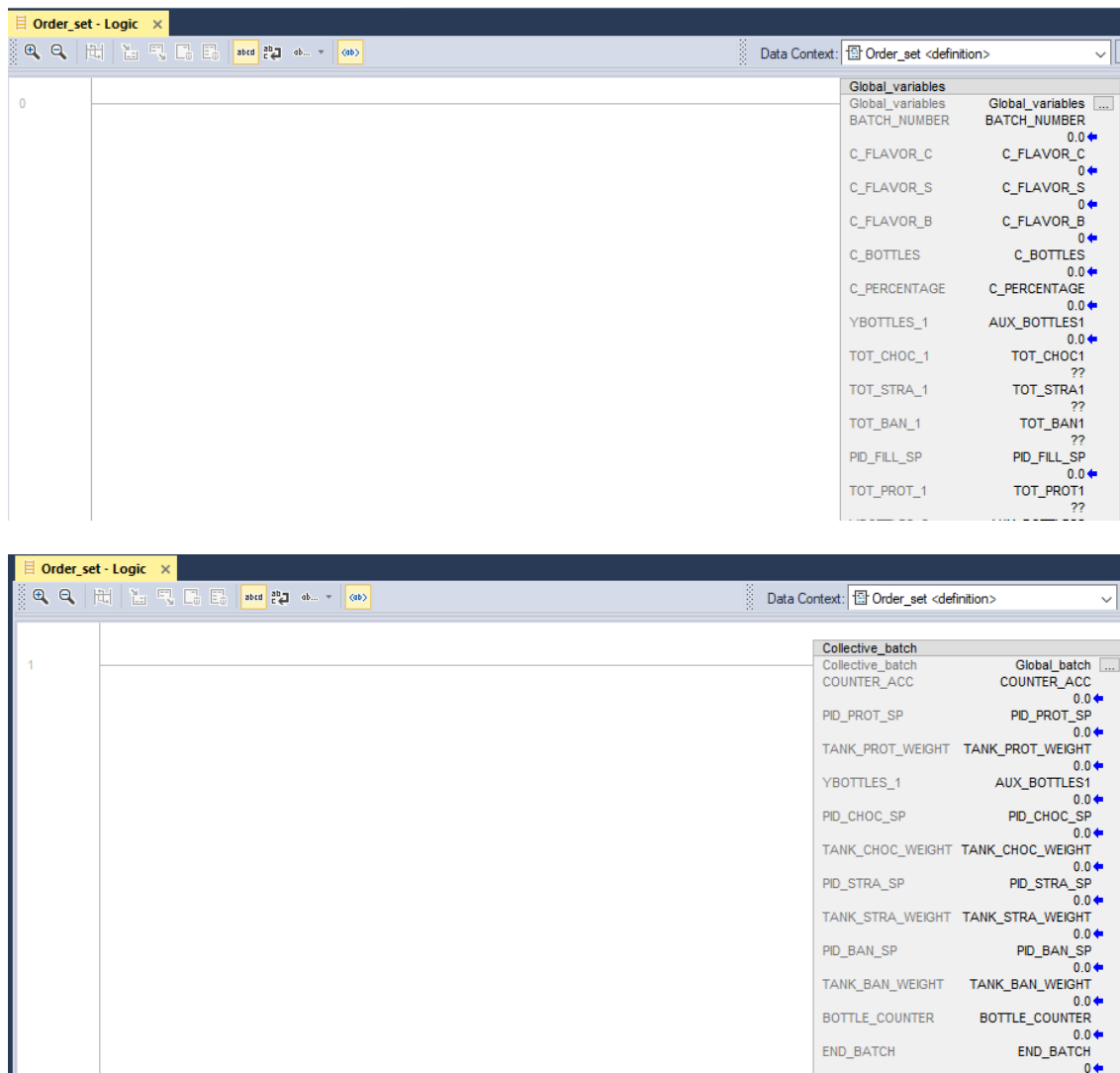


Figura Annex 1.6. Add-On Order_set.

Aquests també estan formats per altres Add-Ons. El *Global_variables* està format per un conjunt d'Add-Ons anomenat *Variable_registration* i el *Collective_batch* per un conjunt anomenat *Individual_batch*.

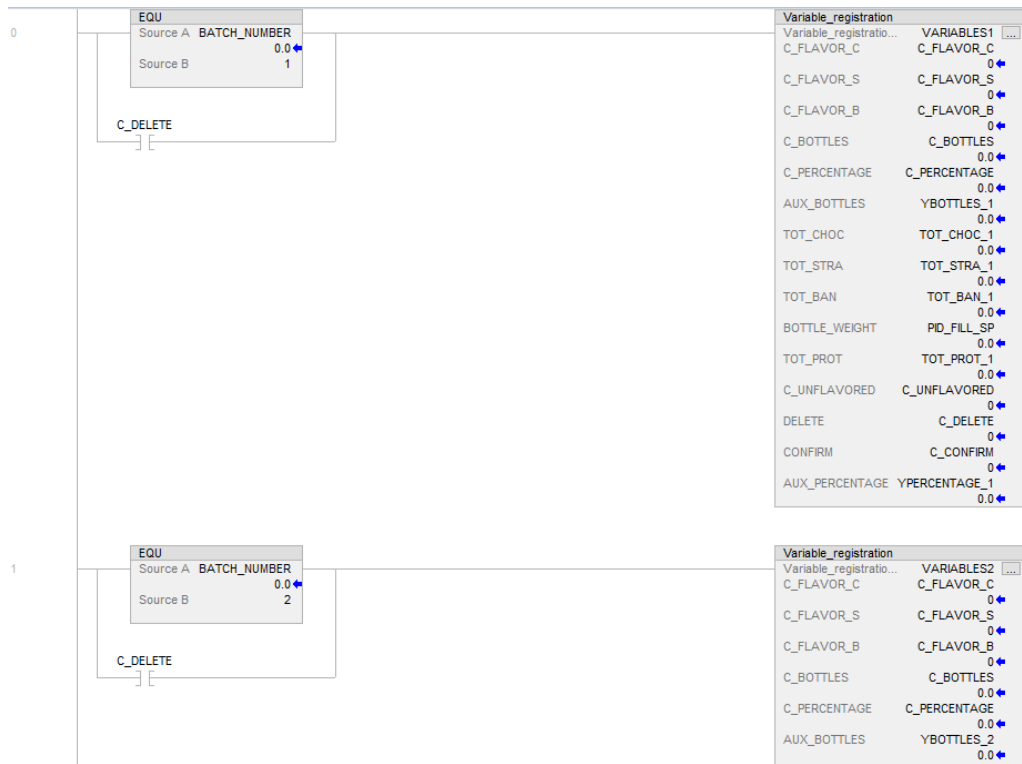


Figura Annex 1.7. Add-On Global_variables.

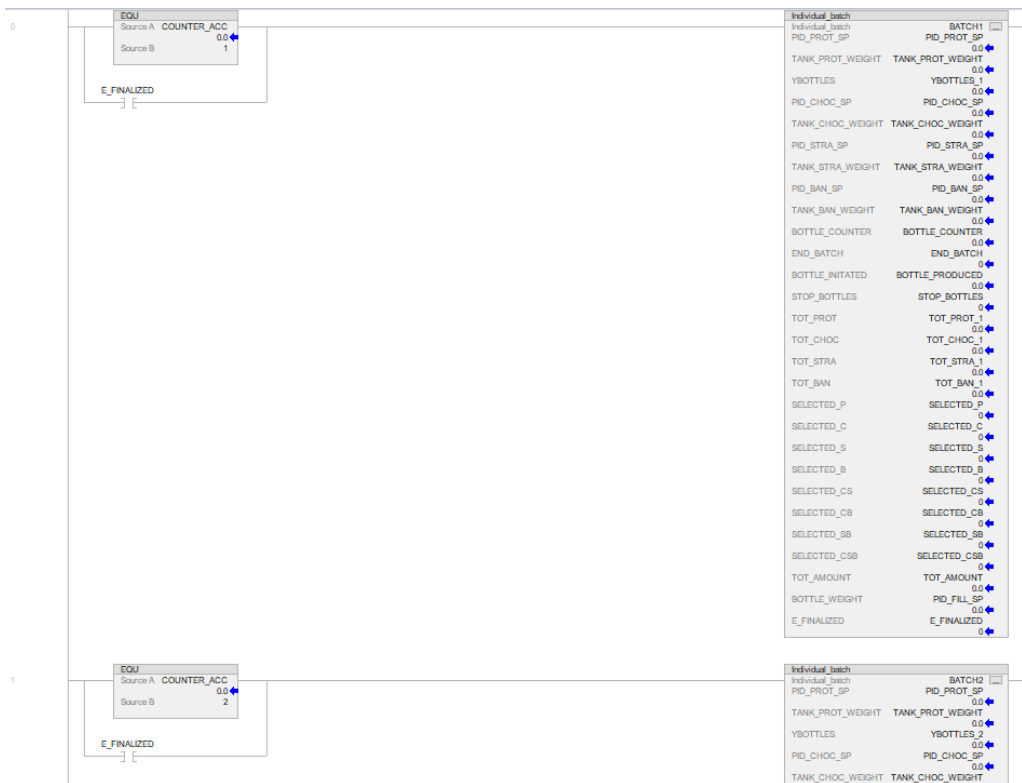


Figura Annex 1.8. Add-On Collective_Batch.

Seguim amb la lògica de l'Add-On Variable_registration, encarregat de, com el seu nom indica, guardar les variables que s'introdueixen amb el propòsit d'utilitzar-les més endavant.

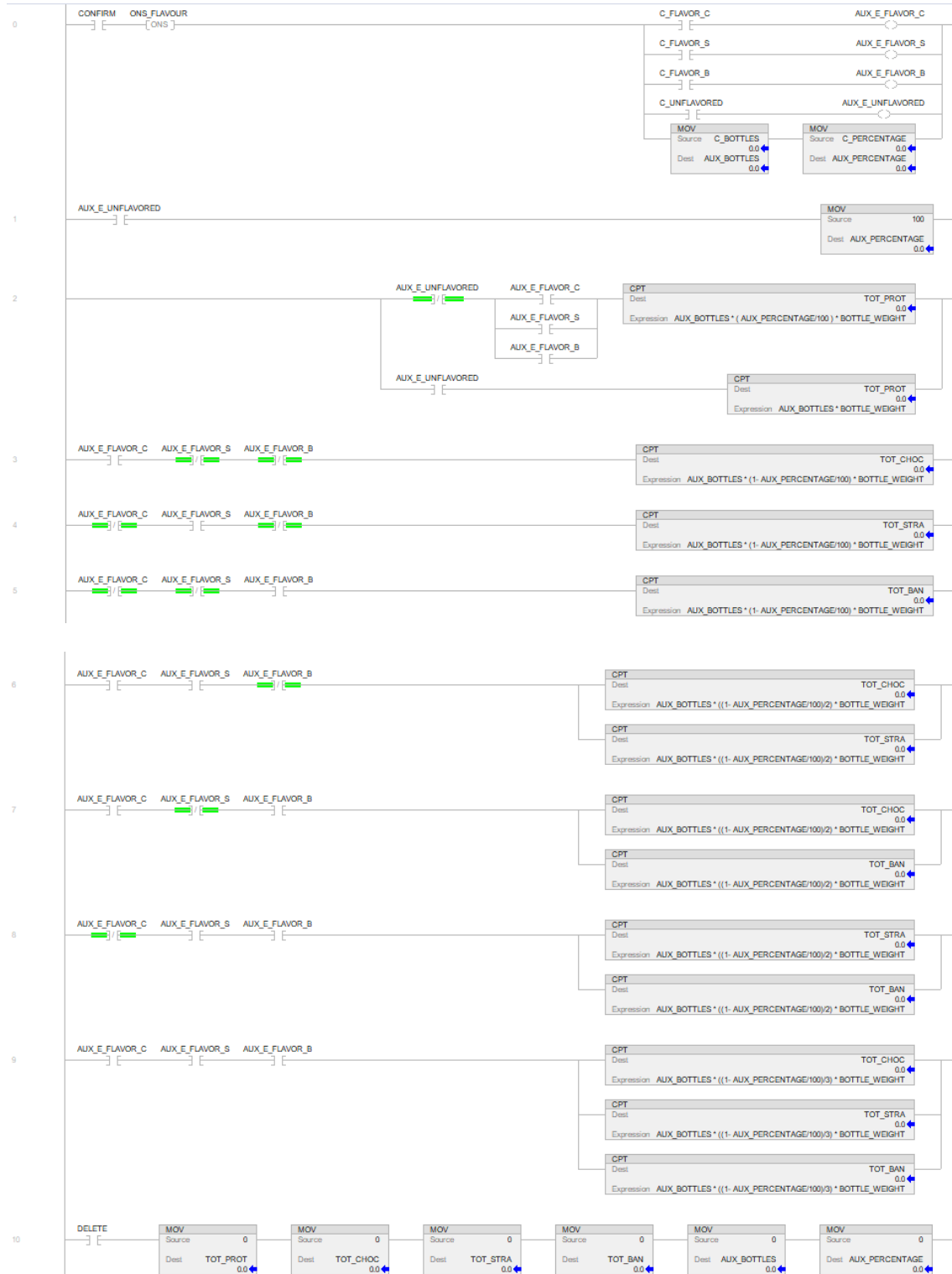


Figura Annex 1.9. Add-On Variable_registration.

Per últim veiem la lògica del *Individual_batch*, que s'encarrega de controlar el funcionament d'una comanda, realitzant tots els càlculs necessaris.

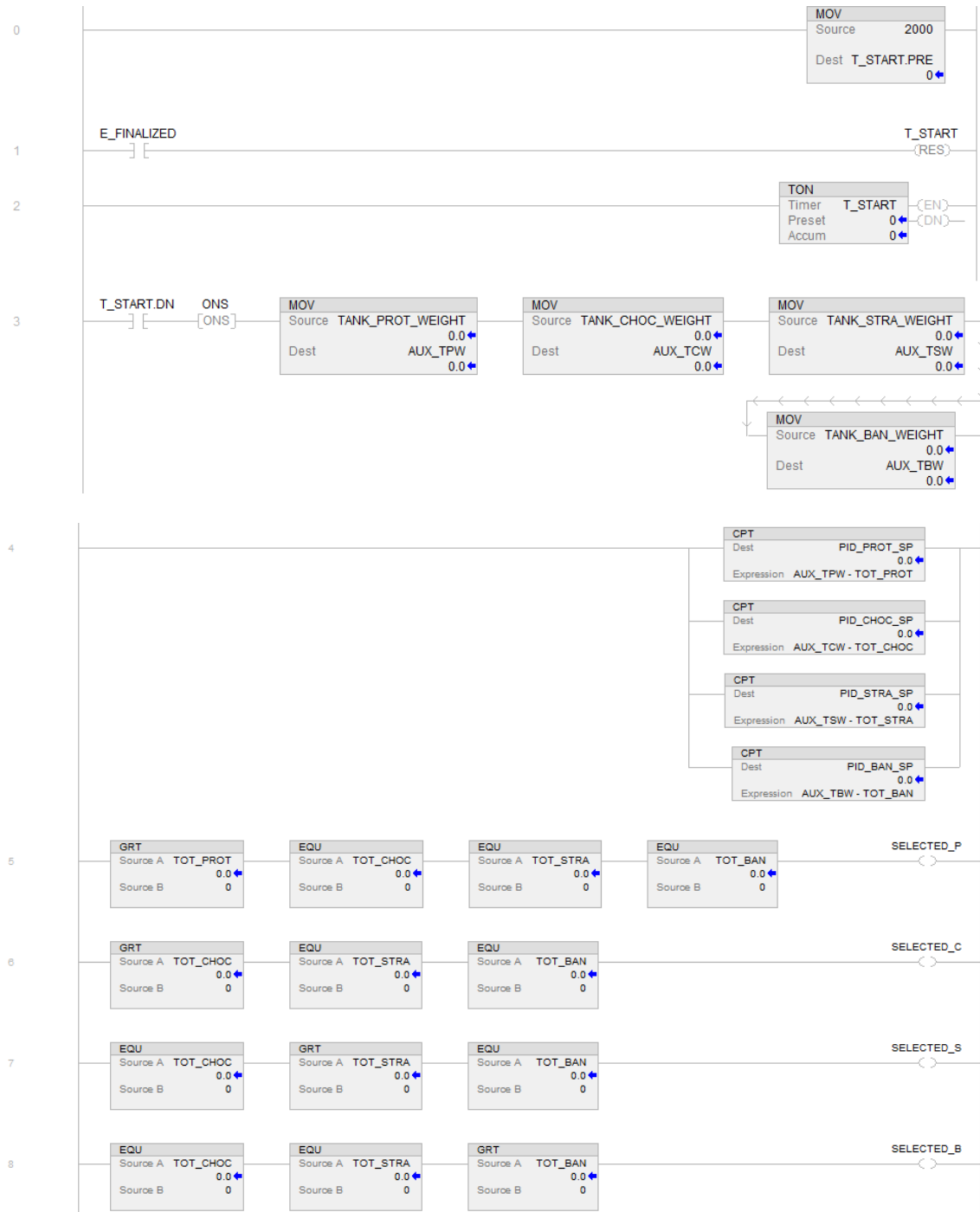


Figura Annex 1.10. Add-On Individual_batch (1/2).

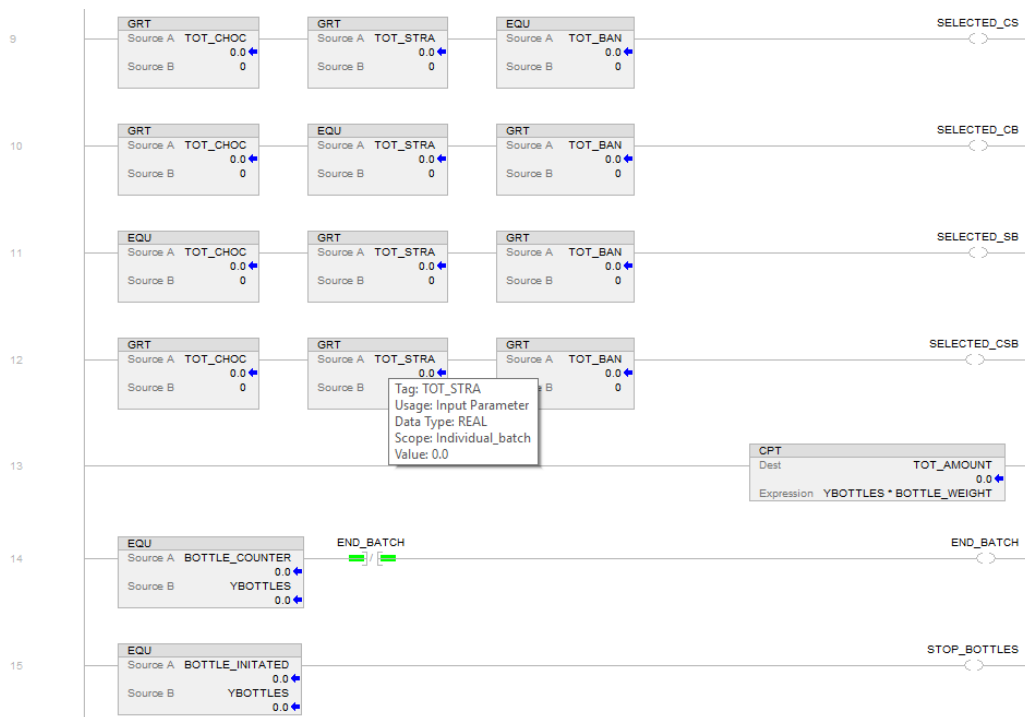


Figura Annex 1.11. Add-On Individual_batch (2/2).

Per acabar afegirem les pantalles de simulació dels equips del SCADA.

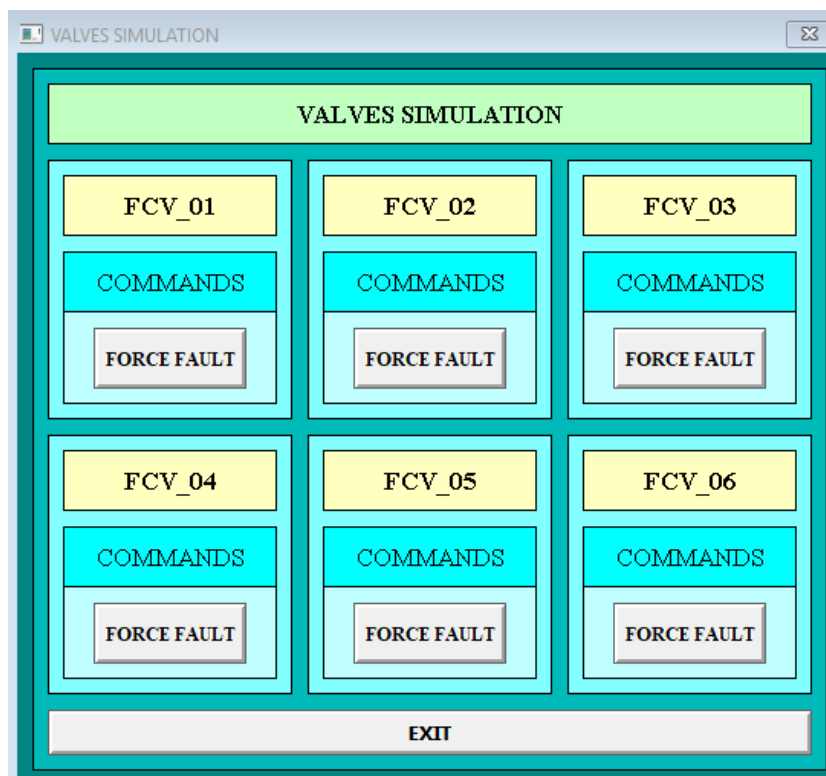


Figura Annex 1.12. Pantalla de simulació de les vàlvules.

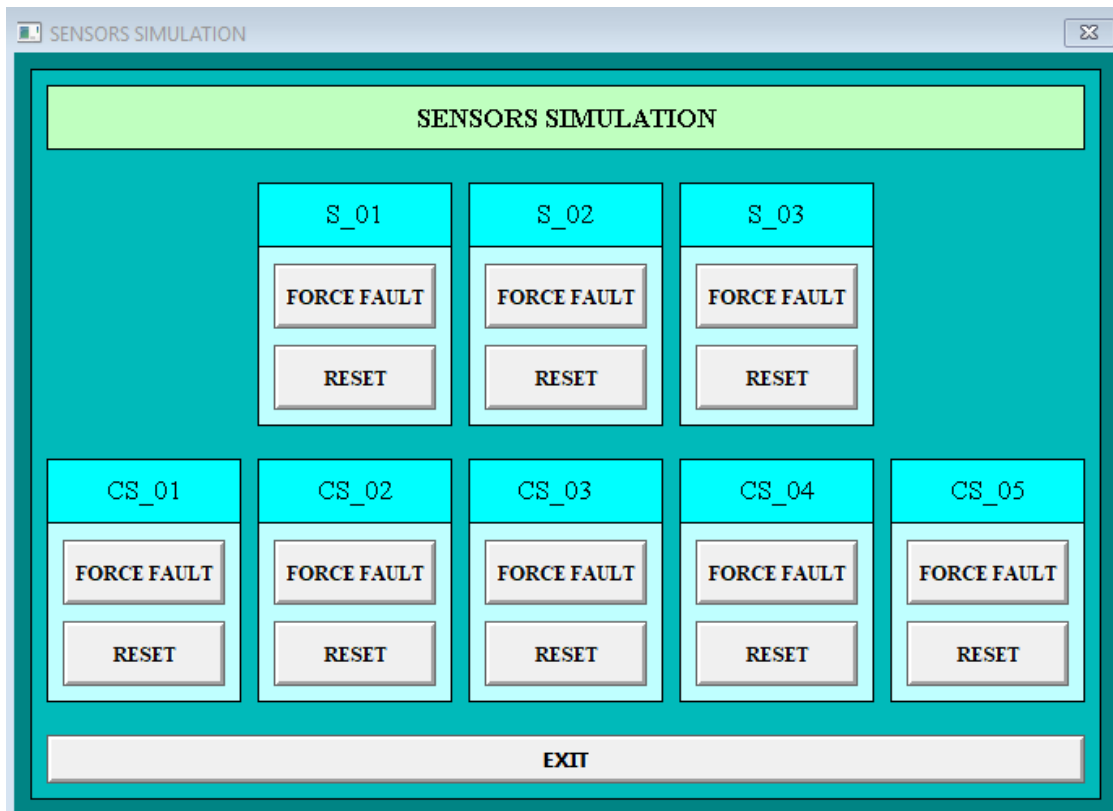


Figura Annex 1.13. Pantalla de simulació dels sensors.

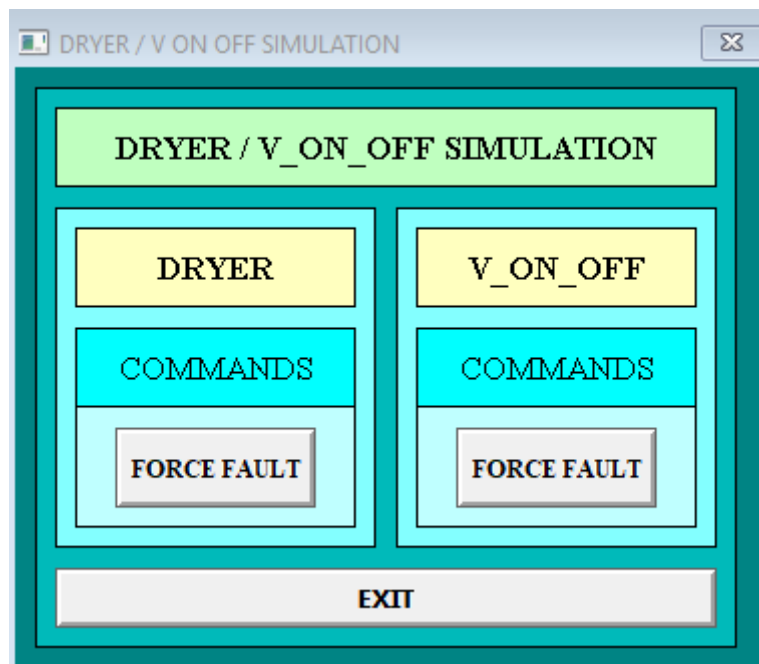


Figura Annex 1.14. Pantalla de simulació del dryer i la vàlvula tot o res.

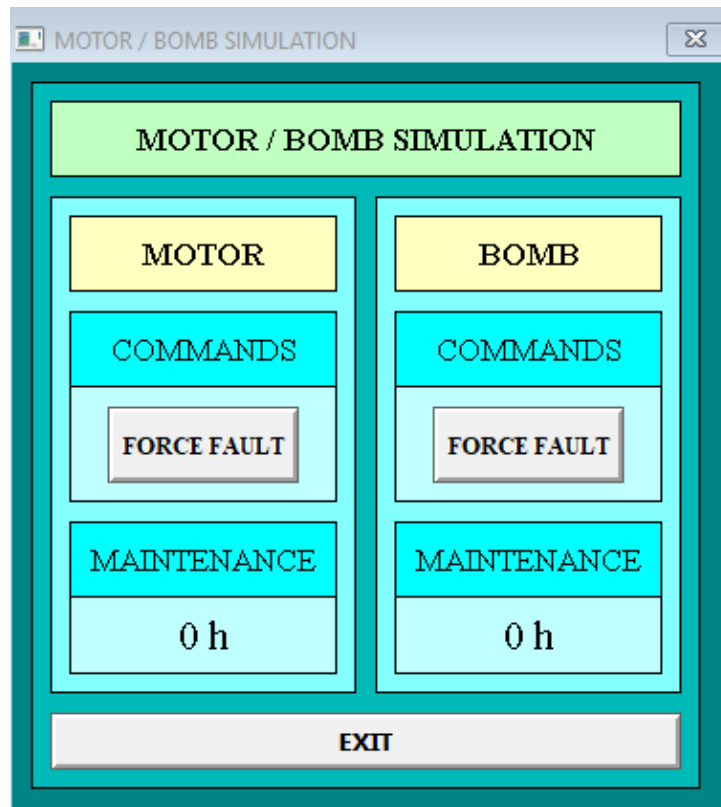


Figura Annex 1.15. Pantalla de simulació del motor i la bomba.

I mencionarem també uns detalls que no es veuen en la pantalla *main* adjunta a causa de què per programació estan amagats.

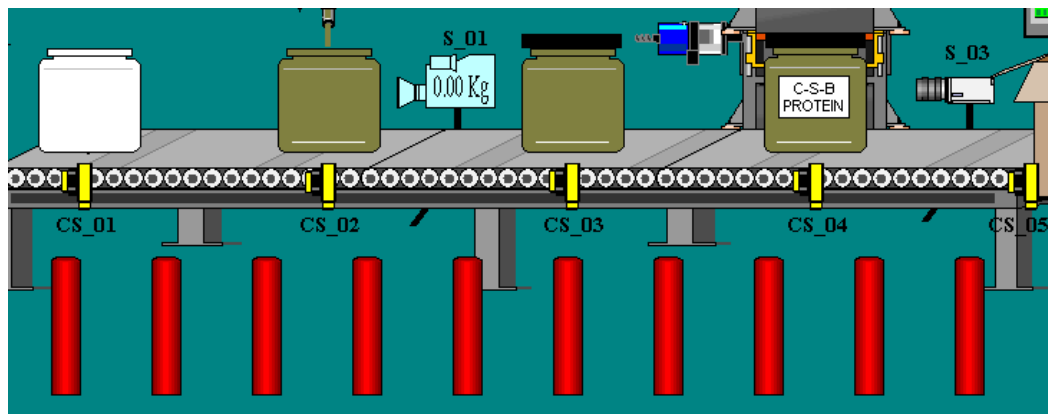


Figura Annex 1.17. Elements ocults de la pantalla *main* (1/2).



Figura Annex 1.18. Elements ocults de la pantalla main (2/2).