



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial

Projecte d'automatització i control PID d'un procés de
mcanització de peces mitjançant PLCs Schneider i HMI
amb LabVIEW

Treball Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

AUTOR/A: Salinas Monzó, Àlex

Tutor/a: Herrero Durá, Juan Manuel

Cotutor/a: Simarro Fernández, Raúl

CURS ACADÈMIC: 2022/2023

RESUM

Aquest projecte consisteix en l'automatització i control d'un procés de mecanitzat de peces.

En la part d'automatització trobem que s'han utilitzat dos PLCs: un TSX Premium i un M241 de Schneider per a implementar els automatismes corresponents. El TSX s'encarregarà de la gestió d'un braç robot la missió del qual es fer arribar les peces en brut i arreplegar les peces conformades, mentre que el M241 és l'encarregat de la part del mecanitzat de la peça i control de les cintes transportadores.

Pel que respecta a la part de control, trobem el disseny de dos controls de tipus PI per a la regulació de la velocitat dels motors de les màquines de fresat i trepanat, i de la temperatura d'un sistema de refrigeració del trepanat. Un dels controls s'implementa en un autòmat M241 de Schneider i l'altre en un PC utilitzant el software LabVIEW.

A més, el sistema és capaç del reconeixement del tipus de peça pel seu color mitjançant una càmera, i dependent d'açò realitza l'operació de fresat i trepanat o sols el trepanat.

Per a que l'usuari siga capaç de monitoritzar, supervisar i controlar el procés, es dissenya un HMI fent ús del software LabVIEW.

En quant a les comunicacions, per al intercanvi d'informació entre els PLCs s'ha utilitzat el protocol de comunicació Modbus TCP/IP i per a la comunicació amb l'HMI, el protocol OPC.

Finalment, per a provar el funcionament del sistema, s'utilitza un prototip de la planta a escala, format per dos maquetes de la empresa Fischer Technik: un braç robot amb configuració cilíndrica i un sistema de cintes amb mecanitzat de peces. A més, també disposem d'un motor de corrent continua per a simular la màquina de trepanat i fresat, i una cèl·lula Peltier per a la refrigeració.

RESUMEN

Este proyecto consiste en la automatización y control de un proceso de mecanizado de piezas.

En la parte de automatización encontramos que se han utilizado dos PLCs: un TSX Premium y un M241 de Schneider para implementar los automatismos correspondientes. El TSX se encargará de la gestión de un brazo robot cuya misión es hacer llegar las piezas en bruto y recoger las piezas conformadas, mientras que el M241 es el encargado de la parte del mecanizado de la pieza y control de las cintas transportadoras.

Por lo que respecta a la parte de control, encontramos el diseño de dos controles de tipo PI para la regulación de la velocidad de los motores de las máquinas de fresado y taladrado y de la temperatura de un sistema de refrigeración del taladro. Uno de los controles se implementa en un autómata M241 de Schneider y el otro en un PC utilizando el software LabVIEW.

Además, el sistema es capaz del reconocimiento del tipo de pieza por su color mediante una cámara, y dependiendo de ello realiza la operación de fresado y taladrado o solo el taladrado.

Para que el usuario sea capaz de monitorizar, supervisar y controlar el proceso, se diseña un HMI haciendo uso del software LabVIEW.

En cuanto a las comunicaciones, para el intercambio de información entre los PLCs se ha utilizado el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP y para la comunicación con el HMI, el protocolo OPC.

Finalmente, para probar el funcionamiento del sistema, se utiliza un prototipo de la planta a escala, formado por dos maquetas de la empresa Fischer Technik: un brazo robot con configuración cilíndrica y un sistema de cintas con mecanizado de piezas. Además, también disponemos de un motor de corriente continua para simular la máquina de taladrado y fresado, y una célula Peltier para la refrigeración.

ABSTRACT

This project consists of the automation and control of a parts machining process.

In the automation part we find that two PLCs have been used: a TSX Premium and a Schneider M241 to implement the corresponding automations. The TSX will be responsible for the management of a robot arm whose mission is to deliver the blanks and collect the formed parts, while the M241 is responsible for the machining part of the piece and control of the conveyor belts.

Regarding the control part, we find the design of two PI type controls for the regulation of the speed of the motors of the milling and drilling Machines, and the temperature of a drill cooling system. One of the controls is implemented on a Schneider M241 automaton and the other on a PC using LabVIEW software.

In addition, the system is capable of recognizing the type of part by its colour by means of a camera, and depending on it performs the milling and drilling operation or only the drilling.

In order for the user to be able to monitor, supervise and control the process, an HMI is designed using LabVIEW software.

In terms of communications, the Modbus TCP/IP communication protocol has been used for the exchange of information between the PLCs and the OPC protocol for communication with the HMI.

Finally, to test the operation of the system, a prototype of the scale plant is used, consisting of two models of the Fischer Technik company: a robot arm with cylindrical configuration and a belt system with machining of parts. In addition we also have a direct current motor to simulate the drilling and milling machine, and a Peltier cell for cooling.

DOCUMENTS DEL PROJECTE

MEMÒRIA

PRESSUPOST

ANNEX 1: DECLARACIÓ DE VARIABLES

ANNEX 2: OBJECTIUS DE DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE

ÍNDEX

MEMÒRIA	9
1. INTRODUCCIÓ	10
1.1 Objectiu.....	10
1.2 Antecedents i motivació.....	10
1.3 Estudi d'alternatives.....	10
1.4 Normativa.....	11
2. MATERIAL UTILITZAT.....	12
2.1 Braç robòtic.....	12
2.2 Cinta.....	12
2.3 Motor.....	14
2.4 Peltier.....	14
2.5 PLCs.....	15
2.5.1 TSX Premium.....	15
2.5.2 M241.....	16
2.6 Càmera.....	17
2.7 Targeta d'adquisició de dades.....	18
3. PROCEDIMENT	19
3.1 Identificació i control.....	19
3.1.1 Peltier.....	19
3.1.2 Motor.....	28
3.2 Automatització.....	35
3.2.1 Llenguatges de programació.....	35
3.2.2 Braç robòtic.....	36
3.2.3 Cinta.....	46
3.3 Visió.....	51
3.4 HMI.....	52
3.5 Comunicacions.....	57
3.6 Integració dels controladors.....	59
4. FUNCIONAMENT	61
4.1 Introducció.....	61
4.2 Posada en marxa.....	61
4.3 Resultats.....	63
5. CONCLUSIONS	66

6. BIBLIOGRAFIA.....	67
PRESSUPOST	68
1. Introducció	69
2. Quadre de preus del servici i material	69
2.1 Hardware	69
2.2 Software	70
3. Preus unitaris	70
4. Preus descompostos	71
5. Pressupost d'execució i per contracta	72
ANNEX 1: DECLARACIÓ DE VARIABLES	73
1. Introducció	74
2. Variables a UnityPro	74
3. Variables a SoMachine.....	75
ANNEX 2: ODS	77
1. Introducció	78
2. ODS.....	78

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Braç robòtic	12
Figura 2. Cinta.....	13
Figura 3. Motor corrent contínua	14
Figura 4. Placa Peltier	15
Figura 5. PLC TSX Premium.....	15
Figura 6. Mòdul TSX DMY 28FK.....	16
Figura 7. Mòdul TSX PSY 2600M.....	16
Figura 8. PLC M241	16
Figura 9. Mòdul TMC4AI2.....	17
Figura 10. Mòdul TMC4AQ2.....	17
Figura 11. Càmera Kinect	17
Figura 12. Targeta d'adquisició de dades	18
Figura 13. Diagrama de comunicacions	19
Figura 14. Muntatge Peltier.....	20
Figura 15. Programa Peltier a LabVIEW	20
Figura 16. HMI obtenció dades Peltier	21
Figura 17. Dades assaig Peltier.	21
Figura 18. Rang d'interés Peltier.	22
Figura 19. Dades Peltier restat punt de funcionament.....	22
Figura 20. Variable controlada real enfront de la simulada Peltier. (Eix Y(°C)).	23
Figura 21. Model Peltier. $K_p(°C/\%)$, $T_{p1}(s)$, $T_d(s)$	23
Figura 22. Dades validació model Peltier.....	24
Figura 23. Model Peltier enfront dades validació. (Eix Y(°C)).....	24
Figura 24. Bucle llaç tancat.....	25
Figura 25. Ferramenta tune. Amplitude(°C).....	25
Figura 26. Comportament davant entrada tipus escaló unitari Peltier.....	26
Figura 27. Programa PID a LabVIEW.	26
Figura 28. Programa Peltier amb funció PID a LabVIEW.....	27
Figura 29. Validació PI a Simulink	27
Figura 30. Comparació dades procés real enfront simulat Peltier.....	28
Figura 31. Muntatge motor.....	29
Figura 32. Dades identificació motor 50 rpm.....	29
Figura 33. Dades identificació motor 70 rpm.....	30
Figura 34. Variable controlada real enfront simulada motor 50 rpm. (Eix Y(rpm)).....	30
Figura 35. Model motor 50 rpm. $K_p(\text{rpm}/\%)$, $T_{p1}(s)$	31
Figura 36. Variable controlada real enfront simulada motor 70 rpm. (Eix Y(rpm)).....	31
Figura 37. Model motor 70 rpm. $K_p(\text{rpm}/\%)$, $T_{p1}(s)$	31
Figura 38. Model motor 50 rpm enfront dades validació. (Eix Y(rpm)).....	32
Figura 39. Model motor 70 rpm enfront dades validació. (Eix Y(rpm)).....	32
Figura 40. Comportament davant entrada tipus escaló motor 50 rpm.	33
Figura 41. Comportament davant entrada tipus escaló motor 70 rpm.	33
Figura 42. Comparació dades procés simulat enfront real motor 50 rpm.	34
Figura 43. Comparació dades procés real enfront simulat motor 70 rpm.	34
Figura 44. Pantalla d'operador calibratge braç.....	37
Figura 45. Seccions a Unity Pro.....	37
Figura 46. GRAFCET Braç.....	40
Figura 47. Bloc d'etapes braç a posició inicial.....	40
Figura 48. Bloc etapes braç a posició genèrica	41
Figura 49. Transició 1	41

Figura 50. Transició 14	42
Figura 51. Secció SFC Braç a UnityPro.....	45
Figura 52. Fragment secció ladder braç robòtic	46
Figura 53. GRAFCET Cinta.....	48
Figura 54. POU a SoMachine	48
Figura 55. Programació etapes cinta llenguatge SFC a SoMachine.....	49
Figura 56. Programació accions cinta llenguatge ladder a SoMachine.....	50
Figura 57. Programa llenguatge ST a SoMachine.....	51
Figura 58. Programa visió a LabVIEW.....	51
Figura 59. Usuari i contrasenya HMI.....	52
Figura 60. Usuari i contrasenya LabVIEW	53
Figura 61. Pantalla Peltier HMI	53
Figura 62. Pantalla motor HMI	54
Figura 63. Pantalla PIDs HMI.....	55
Figura 64. Pantalla Visió HMI	56
Figura 65. Comptador de peces mecanitzades	Figura 66. Botons de marxa i atur HMI.....
Figura 67. Comptador a SoMachine.	56
Figura 68. Exploració entrades/eixides UnityPro.....	57
Figura 69. Projecte, canal i dispositiu servidor OPC	58
Figura 70. Variables al servidor OPC.....	58
Figura 71. Projecte a LabVIEW.....	58
Figura 72. Variable compartida a LabVIEW	59
Figura 73. Entrades i eixides PI	59
Figura 74. Entrades i eixides analògiques mòduls M241.....	60
Figura 75. PI a SoMachine.....	60
Figura 76. Connexió motor amb entrades i eixides físiques M241.....	61
Figura 77. Introducció direcció IP autòmat TSX Premium a UnityPro.	62
Figura 78. Introducció direcció IP autòmat M241 SoMachine.	62
Figura 79. Connectar amb PLC a UnityPro	62
Figura 80. Transferir projecte i run a UnityPro	62
Figura 81. Connectar amb PLC a SoMachine.....	62
Figura 82. Run a SoMachine.....	63
Figura 83. Run al HMI a LabVIEW.	63
Figura 84. Resultats placa Peltier	63
Figura 85. Resultats motor 50 rpm.....	64
Figura 86. Resultats motor 70 rpm.....	64
Figura 87. Maquetes en funcionament.	65
Figura 88. Taula variables UnityPro.....	74
Figura 89. Taula variables SoMachine.....	76

MEMÒRIA

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Objectiu

L'objectiu d'aquest projecte ha sigut l'automatització d'un procés de mecanització de peces mitjançant dos PLCs, el disseny d'un control de velocitat per al motor d'una fresadora i un trepant, i per a la temperatura d'un sistema de refrigeració de les màquines anteriors, i la creació d'un HMI per a la visualització i control del procés per l'usuari.

Cal destacar també com a objectiu, la intenció de maximitzar l'aprenentatge de l'alumne. Es per això, que com vorem més endavant, s'han utilitzat dos models de PLCs diferents, per a que l'alumne es familiaritze amb diferents softwares per a la programació dels automatismes. També s'han fet servir dos maneres diferents d'implementació dels controladors: una mitjançant un dels autòmats i l'altra amb un PC utilitzant el software LabVIEW.

1.2 Antecedents i motivació

L'automatització dels processos industrials constitueix un dels objectius més importants de les empreses en la sempre incessant tasca de la recerca de la competitivitat en un entorn canviant i agressiu. L'automatització d'un procés industrial, (màquina, conjunt o equip industrial) consisteix en la incorporació al mateix, d'un conjunt d'elements i dispositius tecnològics que assegurin el seu control i bon comportament. Dit automatisme, en general ha de ser capaç de reaccionar enfront a les situacions previstes d'avant mà i a més, enfront a imponderables, tindre com objectiu situar al procés i als recursos humans que l'assisteixen en la situació més favorable. [15]

Actualment, cada vegada més empreses opten per modernitzar-se, reduint la intervenció de la mà d'obra i reemplaçant operacions que poden resultar perilloses per a les persones, per mitjà de l'automatització dels processos que porten a cap. Tota aquesta innovació implica un augment en la eficiència dels processos, però requereix d'ordinadors, autòmats programables, robots i, per suposat, persones que siguin capaces de portar tot l'anterior a la pràctica. Es degut a aquesta demanda de gent amb competències en el sector de la automatització i el control que vaig decidir aprofundir els meus coneixements en aquests camps. Per això, vaig elegir matricular-me a l'assignatura de Laboratori d'automatització i control, per a seguir aprenent sobre aquestes temàtiques i reforçar el ja vist a les assignatures de Sistemes automàtics i Tecnologia automàtica. Amb tot l'après a les anteriors assignatures i amb l'ajuda dels meus tutors Juanma i Raúl, em vaig veure capacitat per a realitzar el TFG sobre el món de la automatització i el control del que espere seguir aprenent en un futur.

1.3 Estudi d'alternatives

Degut a que es tracta d'un projecte acadèmic on s'ha intentat utilitzar la major quantitat de softwares i diferents tècniques d'implementació dels controls, la solució a la que s'ha arribat difereix de la que s'haguera arribat si el projecte fora per a resoldre un problema real d'una empresa, ja que s'hagueren tingut més en consideració els costos i la senzillesa de la solució.

Per a començar, es podria haver utilitzat un sol PLC per al control tant del braç robòtic com de la cinta. A més, en el cas de tindre que utilitzar diversos PLCs, haguera sigut més coherent utilitzar un mateix model, per a que la instal·lació poguera programar-se amb un sol software. En quant als models utilitzats, són els que hi havien disponibles al DISA. Pel que fa a la simulació del procés, es podia haver utilitzat el software Factory I/O, però tant la utilització de les maquetes, com el motor de corrent contínua i la placa Peltier resulten un estímul més visual i didàctic. El disseny dels controladors es realitza amb la ferramenta *tune* de simulink per una qüestió de practicitat, però també s'haguera pogut realitzar amb la ferramenta *rltool*. Finalment, dir que un dels controladors s'ha implementat amb un dels PLCs i l'altre amb un PC amb el software LabVIEW. En un projecte real s'haguera pogut optar per implementar els dos amb PLCs, ja que d'aquesta manera s'aporta més robustesa al control.

En conclusió, a l'hora de seleccionar les alternatives i mètodes a utilitzar, s'ha prioritzat el major aprenentatge per part de l'alumne i la utilització del material disponible al departament, per qüestions acadèmiques, aportant una solució totalment vàlida a l'objectiu plantejat.

1.4 Normativa

A continuació, es pot veure la normativa que aplica a aquest projecte i que per tant s'ha seguit per al seu desenvolupament.

UNE-EN 60848:2022. Llenguatge d'especificació GRAFCET per a diagrames funcionals en seqüència. [13]

UNE-EN 61131. Autòmats programables. [13]

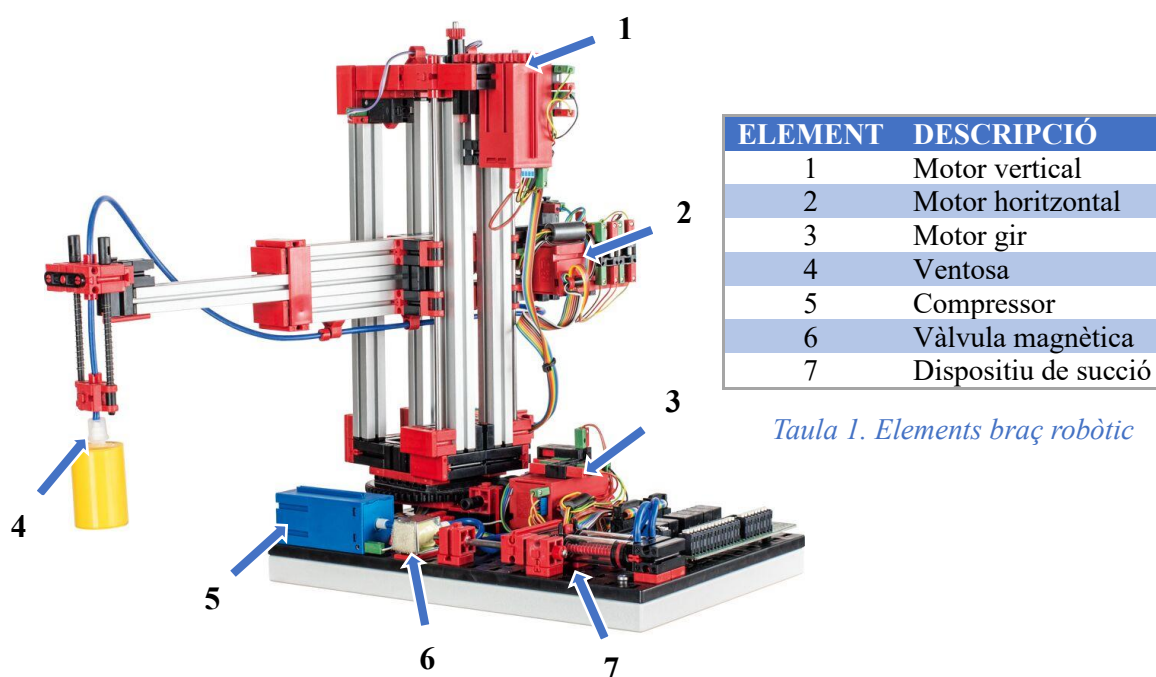
IEC 62541. Arquitectura unificada OPC. [13]

UNE-EN 60546. Controladors analògics per a ús en els sistemes de control de processos industrials. [13]

2. MATERIAL UTILITZAT

2.1 Braç robòtic

Es tracta d'un robot de 3 eixos amb ventosa d'adherència per a posicionar peces de treball, de forma ràpida i precisa en espais tridimensionals. Té un rang de treball de 270° respecte de l'eix X, 140 mm respecte del Y (avant/arrere) i 120 mm respecte del Z (amunt/avall). [4]



Taula 1. Elements braç robòtic

Figura 1. Braç robòtic

El model està alimentat a 24V i té un consum aproximat de 0,9 A. Disposa d'una placa de circuit imprès amb relé per invertir la direcció de gir dels motors. Totes les entrades i les eixides estan connectades tant a endolls amb encastre (26 pols, retícula 2,54 mm), com a bornes amb connexió a bornes d'inserció (Push-In). També compta amb tres pulsadors que funcionen com a finals de carrera per a cada un dels seus moviments i tres encoders magnètics (un per motor) que permeten conèixer la posició del braç.

Aquest robot serà l'encarregat de transportar les peces en brut a la cinta, i una vegada acabat el procés de mecanitzat, moure-les cap a la zona d'emmagatzemament.

2.2 Cinta

La cinta és una cadena de producció alimentada a 24V amb estacions de fresat i perforació i quatre cintes transportadores disposades en U. També compta amb huit motors XS de corrent contínua, dos

empenyedors, quatre polsadors que actuen com a finals de carrera dels empenyedors (dos per cada un), cinc fototransistors i cinc barreres de llum LED. [5]

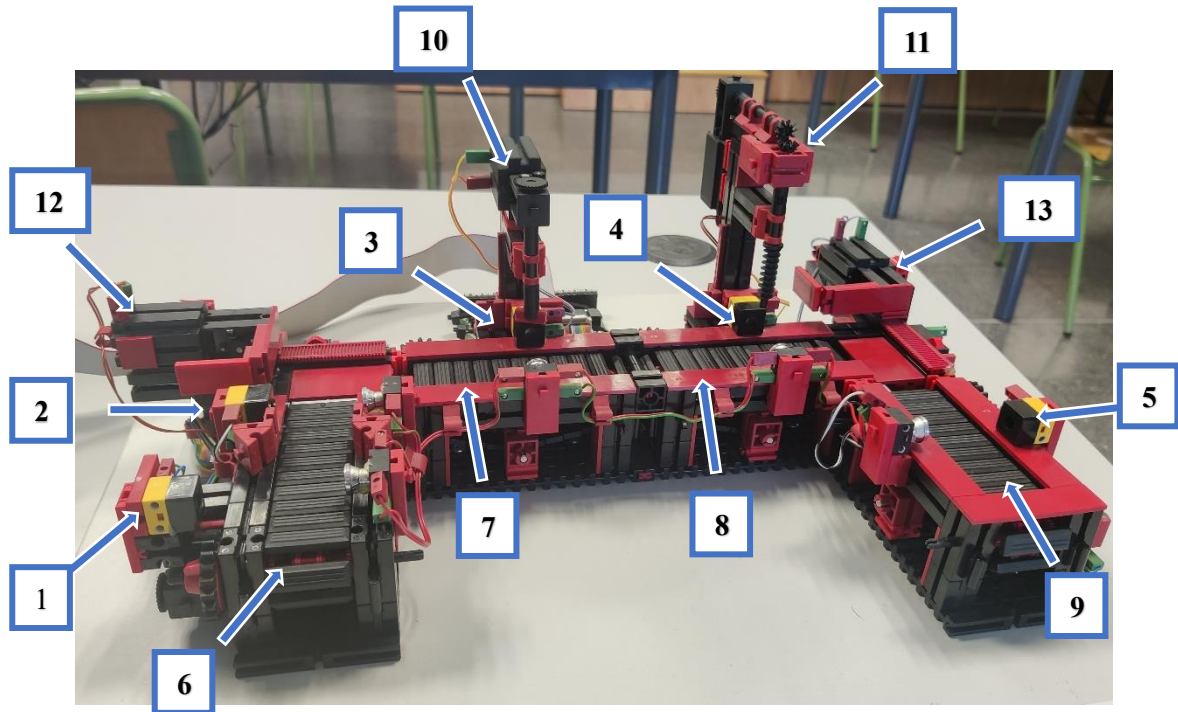


Figura 2. Cinta

ELEMENT	DESCRIPCIÓ
1	Fototransistor 1
2	Fototransistor 2
3	Fototransistor 3
4	Fototransistor 4
5	Fototransistor 5
6	Cinta 1
7	Cinta 2
8	Cinta 3
9	Cinta 4
10	Fresadora
11	Trepant
12	Empenyedor 1
13	Empenyedor 2

Taula 2. Elements cinta

Serà en aquesta on se simularà tot el procés de mecanitzat de les peces, sent aquest procés diferent dependent del tipus de peça.

2.3 Motor

Aquest motor de corrent contínua ha sigut utilitzat per a simular el comportament dels motors de les estacions de fresat i trepanat de la cinta. Per tant, ha sigut sobre aquest del que s'han extret valors de la velocitat per al disseny del controlador PI.

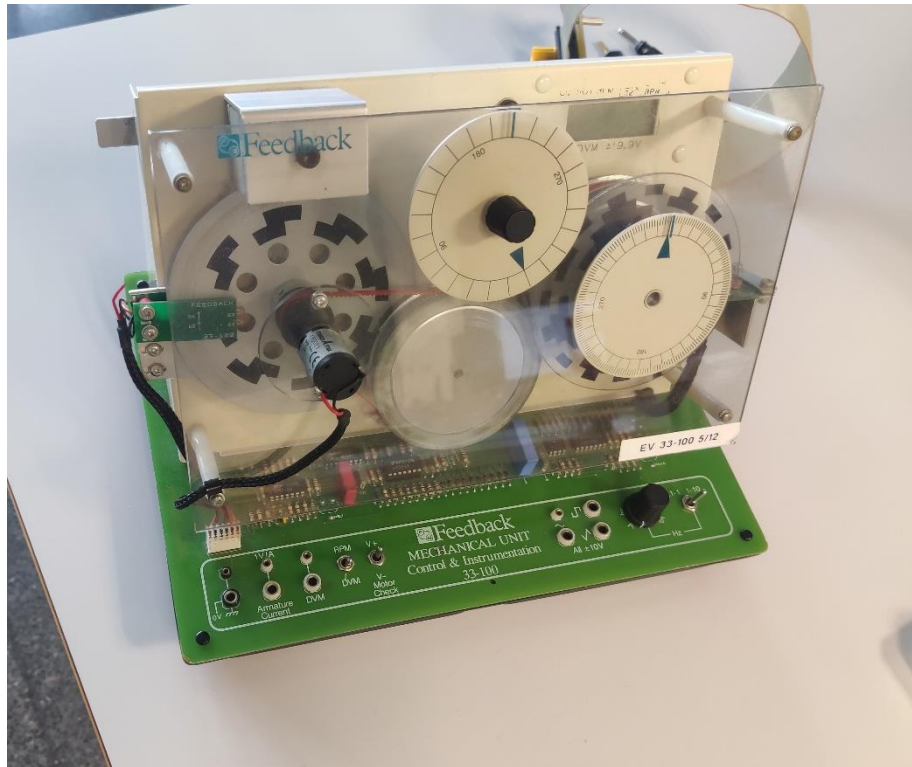


Figura 3. Motor corrent contínua

2.4 Peltier

Una placa Peltier consisteix en una unió de materials semiconductors de tipus P i N. En aquests tipus de materials es produeix l'efecte termoelèctric. Açò significa que al aplicar una tensió, es crea un gradient de temperatura a les seues cares, es a dir, connectant el dispositiu a una font de tensió contínua causa el refredament d'una de les parts, mentre que l'altra es calenta [6]

Aquest dispositiu s'ha utilitzat per a simular la refrigeració de les màquines de la cinta i es del que s'han obtingut valors de temperatura per al disseny d'un controlador de tipus PI.

A més, com veiem a la figura següent, la placa disposa d'un ventilador per a augmentar la dissipació del calor de la cara calenta per convecció amb l'aire de l'ambient, i així aconseguir temperatures més baixes a la cara freda.



Figura 4. Placa Peltier

2.5 PLCs

Un PLC (Programmable Logic Controller) es una computadora utilizada en l'enginyeria automàtica i en la automatització industrial per a automatitzar processos electromecànics, electroneumàtics, electrohidràulics, tals com el control de la maquinària de les fàbriques en línies de muntatge o altres processos de producció. Està dissenyat per a múltiples senyals d'entrada i d'eixida, amplis rangs de temperatura, immunitat al soroll elèctric i resistència a la vibració i a l'impacte.

2.5.1 TSX Premium

Aquest autòmat programable del fabricant Schneider Electric utilitza el software Unity Pro. Amb ell, s'ha programat el funcionament del braç robòtic.



Figura 5. PLC TSX Premium

A més, el PLC disposa del mòdul TSX PSY 2600M, el qual es tracta d'una font d'alimentació de 100/240V a corrent contínua amb un consum de 26W i del mòdul TSX DMY 28FK que proporciona 16 entrades i 12 eixides digitals amb valors de corrent contínua de 24V.



Figura 6. Mòdul TSX DMY 28FK



Figura 7. Mòdul TSX PSY 2600M

2.5.2 M241

Pel que fa al M241, es tracta d'un PLC també del fabricant Schneider Electric, però aquest a diferència de l'anterior, utilitza el software SoMachine. Amb ell ha sigut programat l'automatisme de la cinta.



Figura 8. PLC M241

Junt amb aquest PLC s'utilitzen els mòduls TMC4AI2 i TMC4AQ2, que aporten respectivament 2 entrades i eixides analògiques amb un rang de 0-10V i corrents entre 4-20mA.

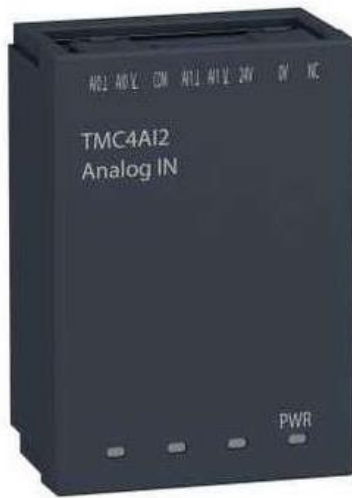


Figura 9. Mòdul TMC4AI2

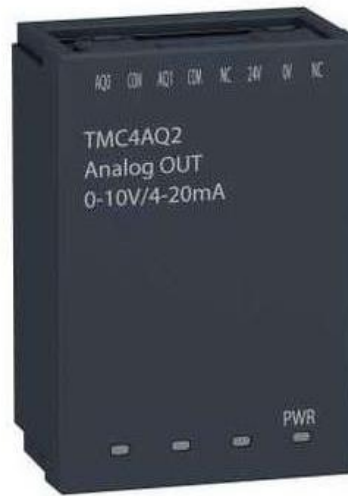


Figura 10. Mòdul TMC4AQ2

2.6 Càmera

Com ja s'ha fet referència en apartats anteriors, aquest projecte ha de ser capaç de diferenciar entre dos tipus de peces de diferent color. La peça de color negre passarà tan sols pel trepant, mentre que la peça de color roig rebrà el mecanitzat anterior, i a més, un fresat. Tot açò serà possible gràcies a una càmera Kinect.

Aquesta càmera, és un perifèric de entrada desenvolupat per Microsoft per a jugar en la videoconsola Xbox 360 que va eixir a la venda a l'any 2010. Es capaç de reconèixer els cossos dels jugadors i moviments que realitzen, així com reconeixement de veu. Per a això, fa ús de dos càmeres frontals, una convencional de RGB i un sensor de distància, i de una sèrie de micròfons. El sistema de percepció de profunditat consta de tres parts bàsiques: un projector làser d'infrarojos, un sensor CMOS i un microxip que processa la informació. [7] A més, disposa d'un motor que permet variar l'angle de capcineig.

Per al propòsit del projecte, tan sols serà necessària la càmera RGB i la variació del seu angle per enfocar adequadament les peces.



Figura 11. Càmera Kinect

2.7 Targeta d'adquisició de dades.

Una targeta d'adquisició de dades (DAQ en anglés), és una placa de circuit imprès que es connecta a plaques base o directament a l'ordinador. Aquestes targetes poden rebre entrades digitals i analògiques de mòduls, relés, sensors, etc, i són capaces de subministrar eixides en forma de tensió analògica, corrent i freqüència entre altres. S'utilitzen per a traduir les dades de les senyals dels sensors a una forma digital que els ordinadors poden processar. Les targetes d'adquisició de dades són una part integral en els projectes de monitorització, anàlisis i control de sistemes i processos. [8]

Concretament, a aquest projecte s'utilitza una DAQ per al control de la temperatura de la placa Peltier a través d'un ordinador, i per a l'obtenció de dades per al disseny dels controladors.

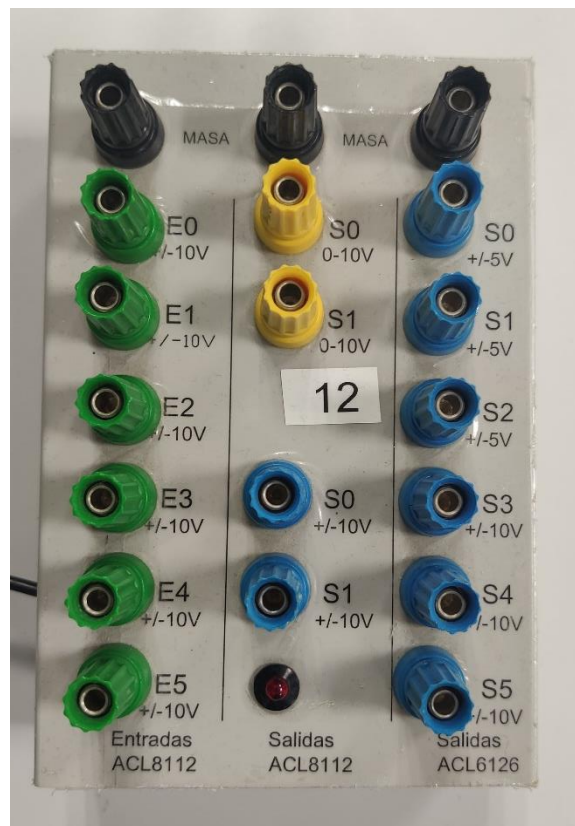


Figura 12. Targeta d'adquisició de dades

Amb tot l'anterior i el que es vorà en posteriors apartats sobre software i comunicacions, l'esquema del projecte queda com a la figura següent:



Figura 13. Diagrama de comunicacions

3. PROCEDIMENT

3.1 Identificació i control

La part d'identificació i control consisteix en el disseny de controladors per a la regulació de la temperatura de la placa Peltier i la velocitat de gir del motor. Per a fer açò, s'ha fet ús d'una targeta d'adquisició de dades connectada a un ordinador amb els softwares de LabVIEW i Matlab.

3.1.1 Peltier

El primer pas per al disseny d'un controlador és la obtenció de dades al voltant del punt de treball. En el nostre cas, es tracta d'una temperatura de 0°C. Per a obtenir les dades és necessari realitzar el muntatge de la placa Peltier amb la targeta d'adquisició de dades i l'ordinador, com es pot vore a la figura següent.

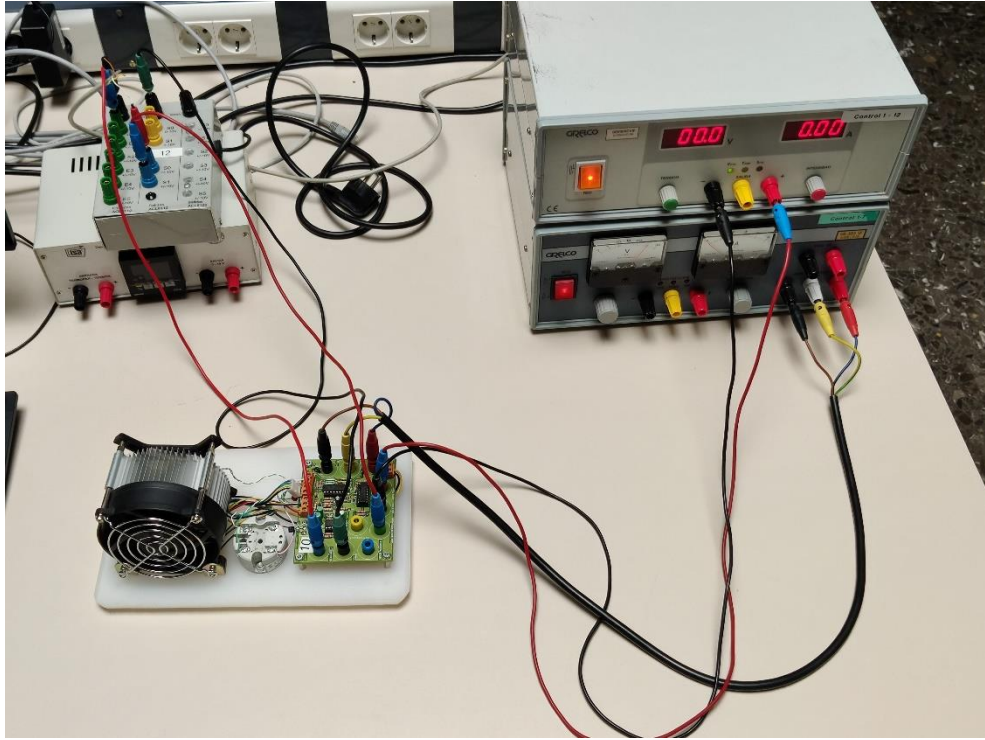


Figura 14. Muntatge Peltier

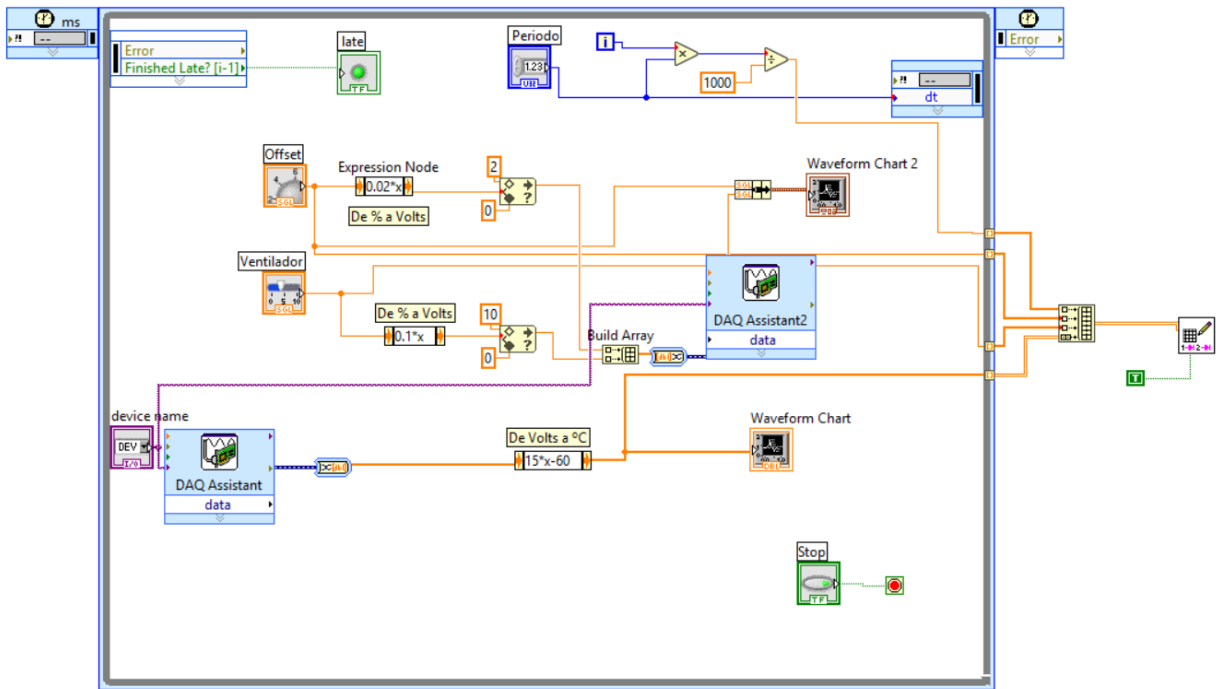


Figura 15. Programa Peltier a LabVIEW

A l'ordinador es configura un programa des de LabVIEW que s'encarrega de rebre de la DAQ el valor de tensió del sensor de temperatura a la Peltier. Aquest valor passa a través d'una funció on es converteix a °C per a posteriorment veure's reflectit a una gràfica. Al mateix temps, des del programa es pot controlar el valor de tensió que li s'ha dona a la placa i la velocitat de gir del ventilador d'una forma percentual. Aquests dos valors percentuals també es reflecteixen a un altra gràfica. Tot açò es realitza de forma cíclica dins d'un bucle, i a l'acabar l'assaig, tots els valors anteriors junt al temps de cada mostra queden indexats en un document de text.

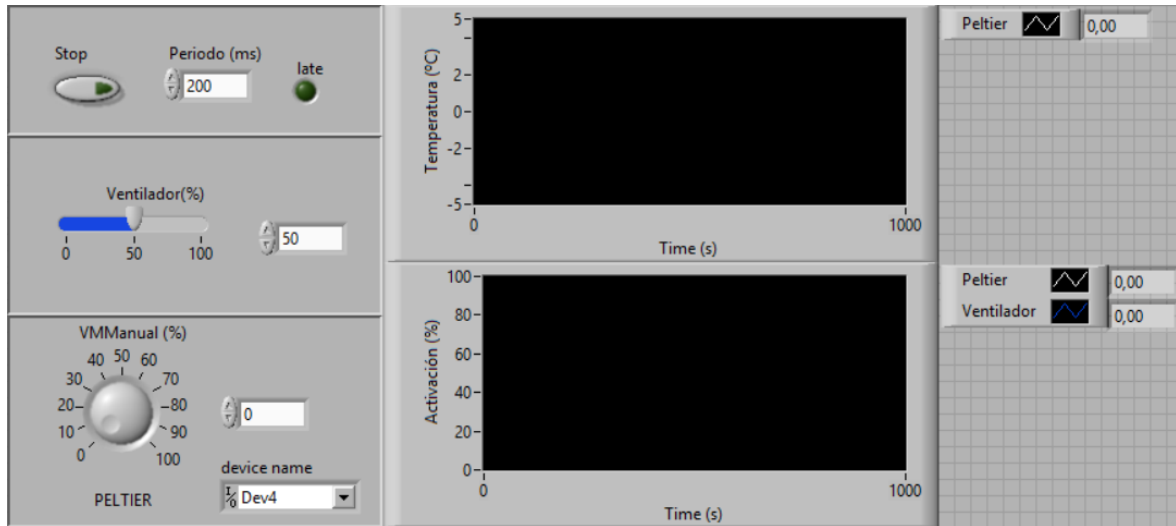


Figura 16. HMI obtenció dades Peltier

Una vegada obtés el document de text amb els valors de l'assaig de temperatura, on s'han realitzat escalons al voltant de la temperatura de referència (0°C), es carrega a Matlab. Ací, s'obri la ferramenta *System Identification* i es grafien els valors de la variable manipulada u1 (%) i la variable controlada y1 (°C) respecte del temps (s).

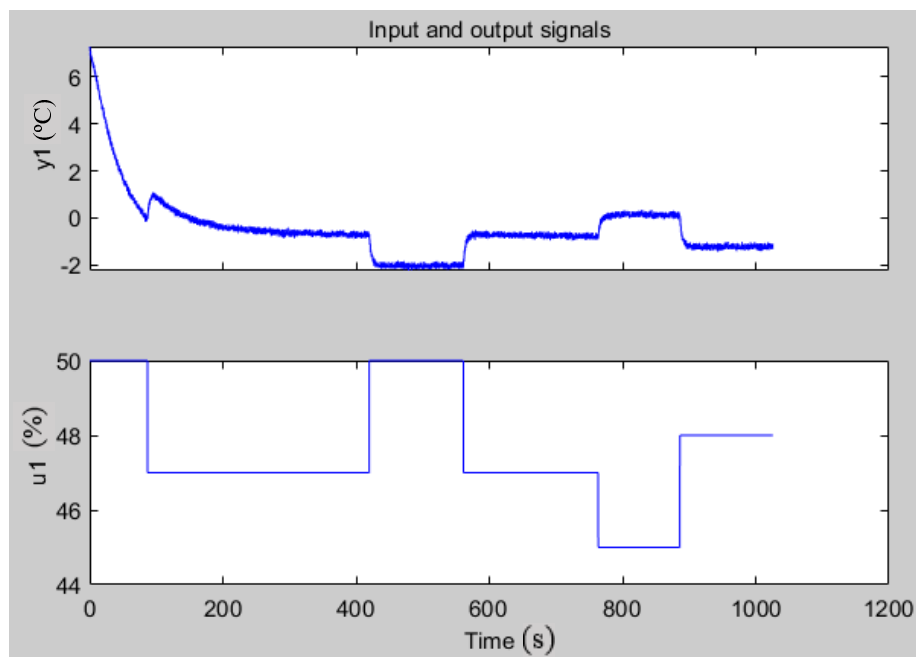


Figura 17. Dades assaig Peltier.

A la gràfica anterior s'observa que els primers instants de temps són per a que la variable controlada s'estabilitze al valor de referència. Per tant, s'ha de seleccionar un rang de dades d'interès, en el que eixe temps d'establiment no aparega.

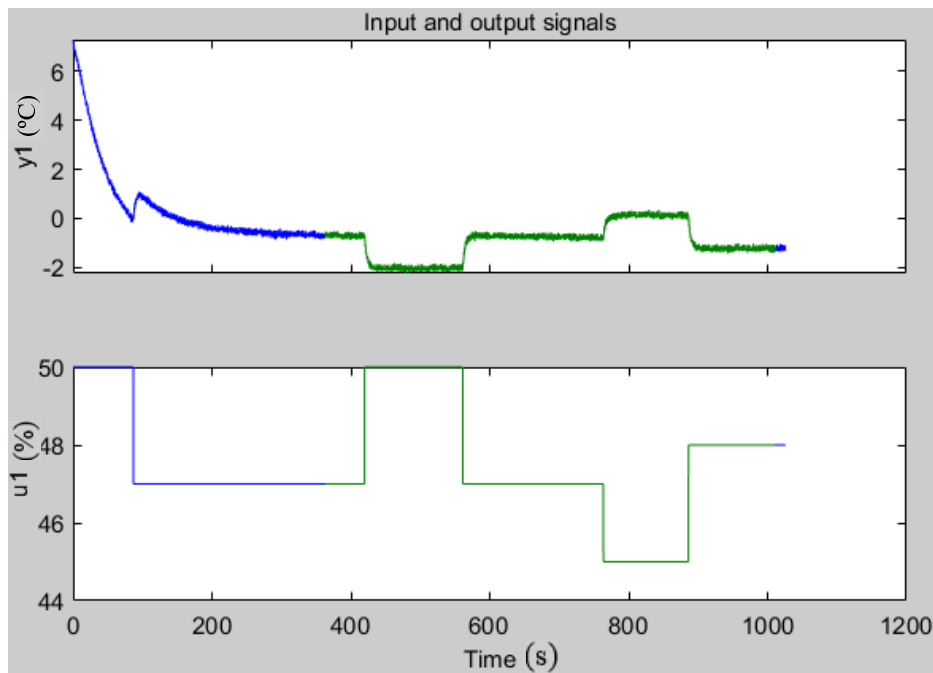


Figura 18. Rang d'interès Peltier.

Una vegada amb el rang seleccionat, s'envien les dades al workspace per a restar el punt de funcionament, de forma que el resultat queda com a la gràfica següent.

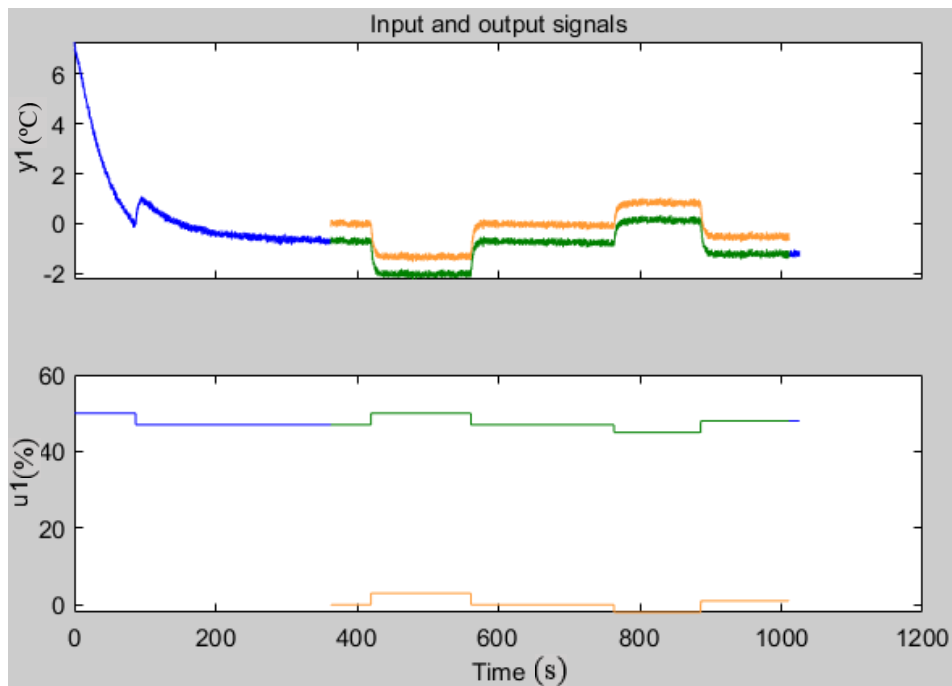


Figura 19. Dades Peltier restat punt de funcionament.

Amb tot l'anterior s'obté el model del procés el qual és d'un pol sense retard. Com es pot veure a la Figura 20, s'ajusta correctament amb les dades de l'assaig.

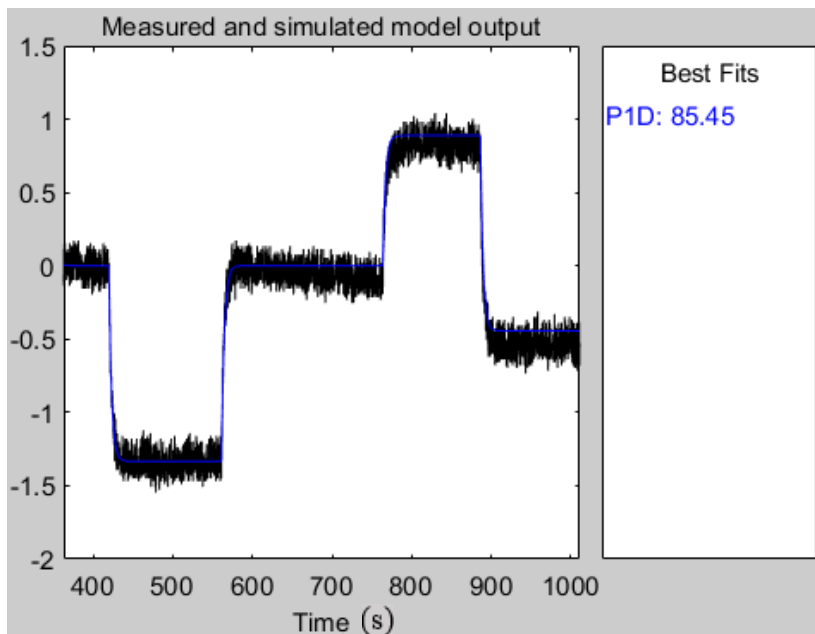


Figura 20. Variable controlada real enfront de la simulada Peltier. (Eix Y(°C)).

```

Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      1+Tp1*s

      Kp = -0.44434
      Tp1 = 3.2533
      Td = 0
    
```

Figura 21. Model Peltier: Kp(°C%), Tp1(s), Td(s).

Ara es procedeix a la validació del model obtingut. Per a això, tornem a realitzar un assaig al voltant del punt de referència per a obtenir un paquet de dades diferent. Després de seleccionar el rang d'interès i restar el punt de funcionament, tenim la gràfica de baix.

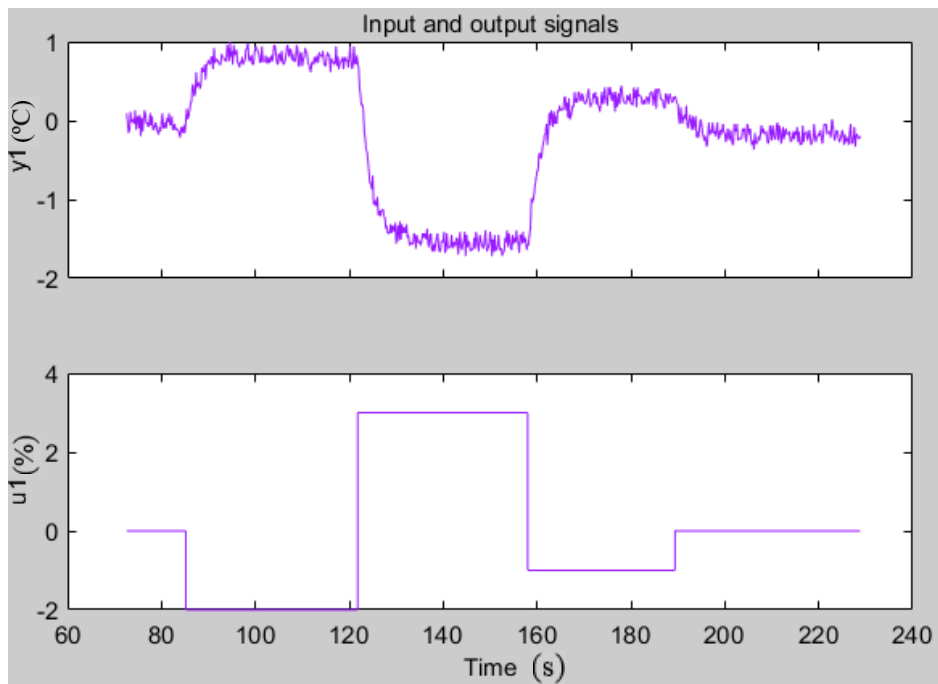


Figura 22. Dades validació model Peltier.

Comparant la variable controlada simulada del model obtés anteriorment amb la del nou paquet de dades, es conclou que el model s'ajusta de nou adequadament, i per tant queda validat.

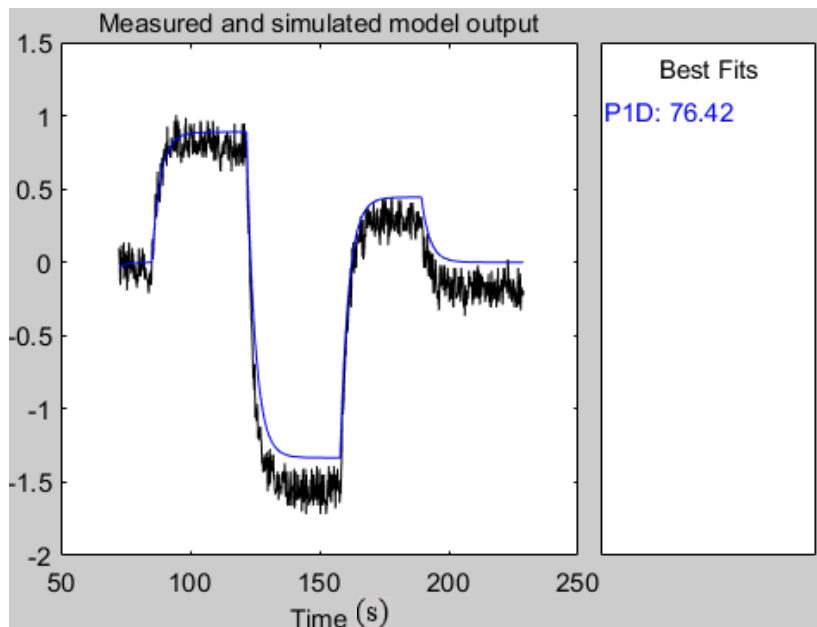


Figura 23. Model Peltier enfront dades validació. (Eix Y(°C)).

El següent pas és el del disseny del controlador del procés anterior. Per a això, s'utilitza la ferramenta simulink de Matlab i es crea un bucle de llaç tancat amb el model anterior.

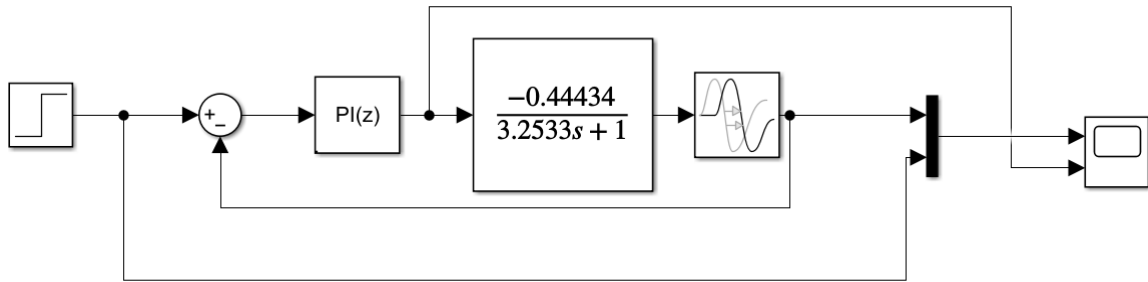


Figura 24. Bucle llaç tancat

Dins de simulink s'utilitza la ferramenta *tune* per al disseny del controlador amb les especificacions desitjades.

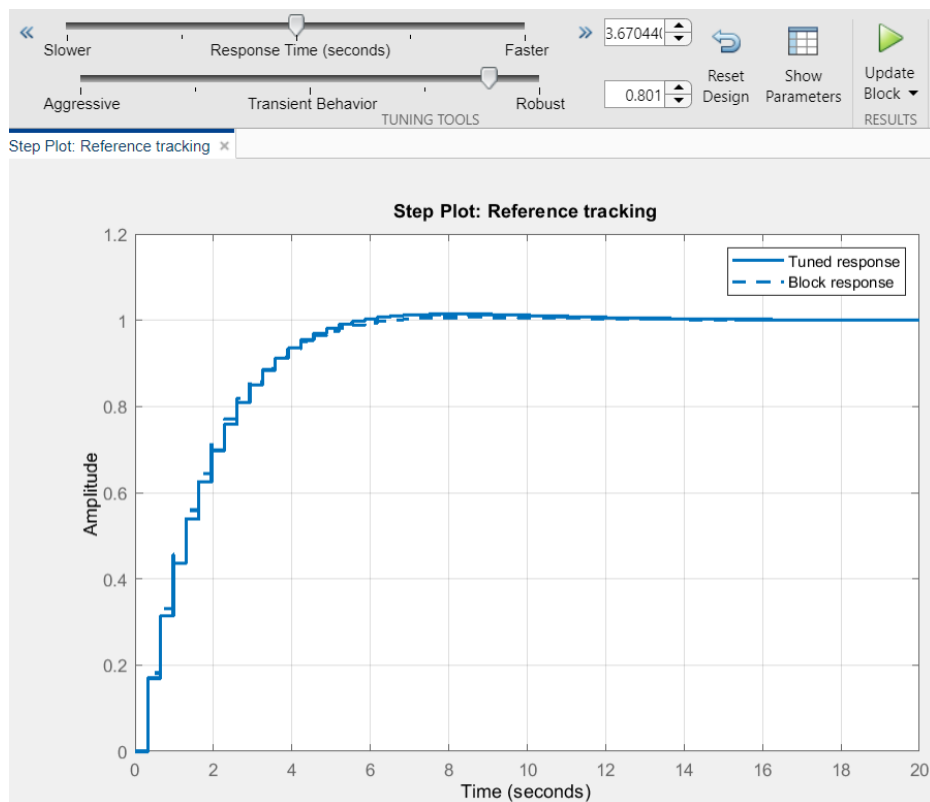


Figura 25. Ferramenta tune. Amplitude(°C).

En aquest cas es tracta d'un PI i les especificacions són, davant una entrada de tipus escaló unitari, sobreoscil·lació nul·la, error de posició zero i, tenint en compte la dinàmica del procés, s'ha decidit que el temps d'establiment siga inferior a sis segons. Es considera que un temps d'establiment superior podria contribuir a reduir la vida útil dels components de les màquines i augmentar el nombre d'averies.

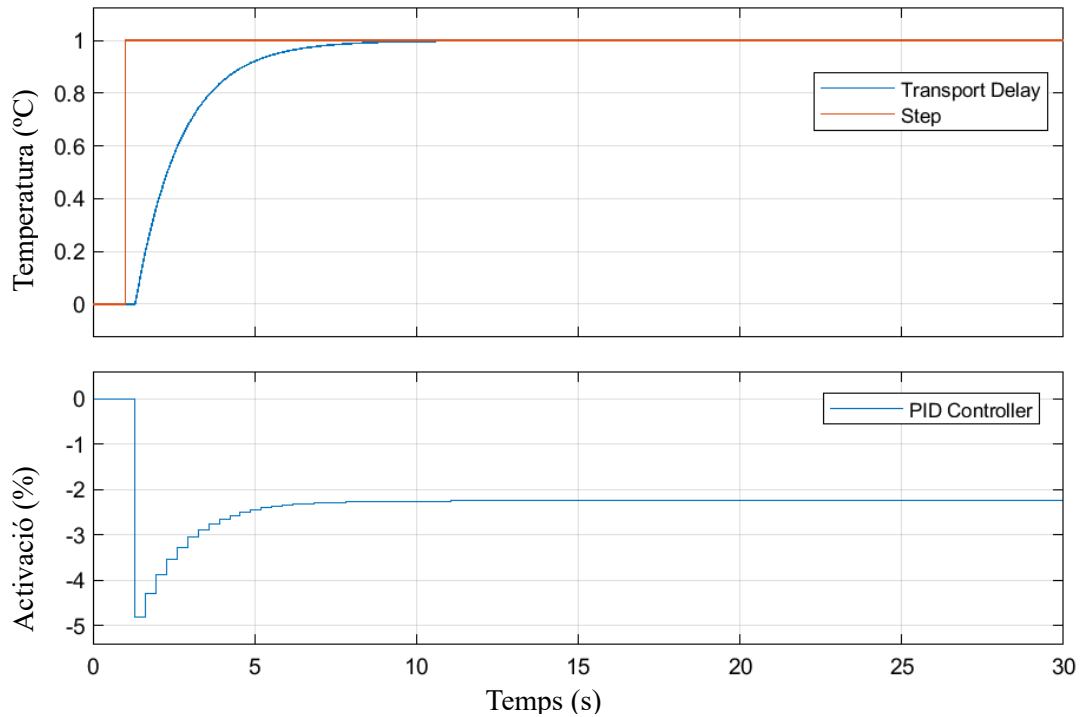


Figura 26. Comportament davant entrada tipus escaló unitari Peltier.

Amb el controlador dissenyat es procedeix a la seua validació. Es realitza un assaig a LabVIEW amb el PI anterior, i s'obté la resposta del sistema davant canvis en la referència de tipus escaló entorn als 0°C. Per a obtindre aquestes dades de validació, es modifica el programa de la Figura 15 afegint-li una funció PID creada en un altre programa a LabVIEW. Aquesta funció es crea mitjançant una aproximació en la implementació.

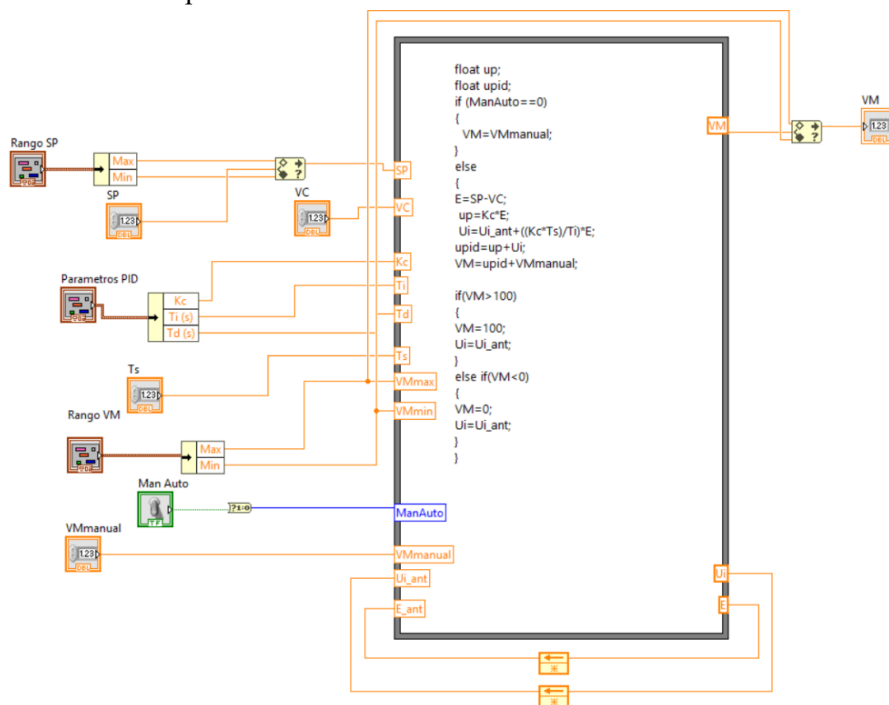


Figura 27. Programa PID a LabVIEW.

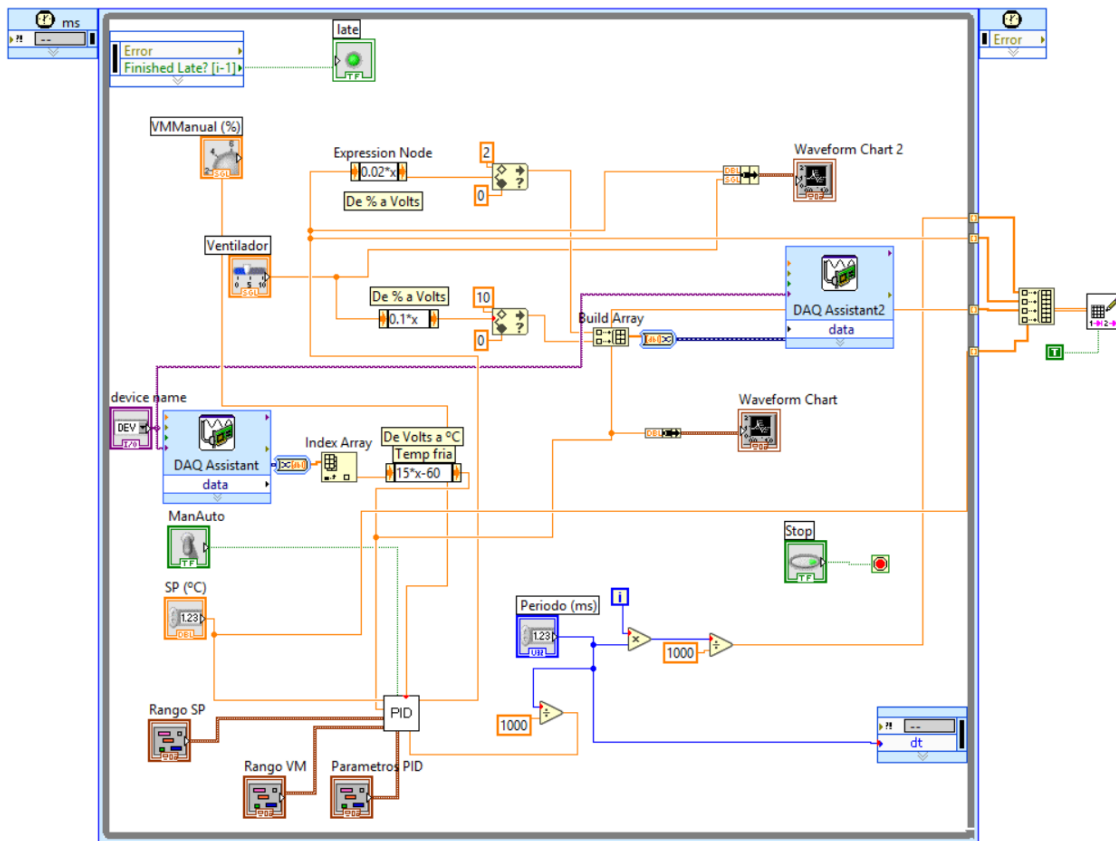


Figura 28. Programa Peltier amb funció PID a LabVIEW

Per a l'elecció del període de mostreig del controlador, s'utilitza una metodologia heurística que consisteix en elegir un valor inferior a deu vegades el temps de pujada. Com en aquest cas el temps de pujada és de 3 segons, es considera com a valor admissible un període de 200 ms.

Es carreguen les dades de validació a Matlab i amb el programa de la Figura 29 a Simulink, es comprova que les dades obtingudes al sistema real coincideixen amb el simulat.

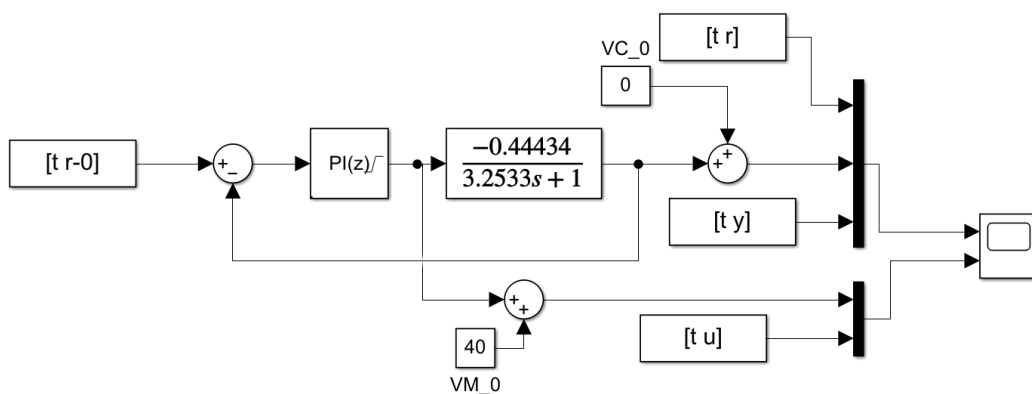


Figura 29. Validació PI a Simulink

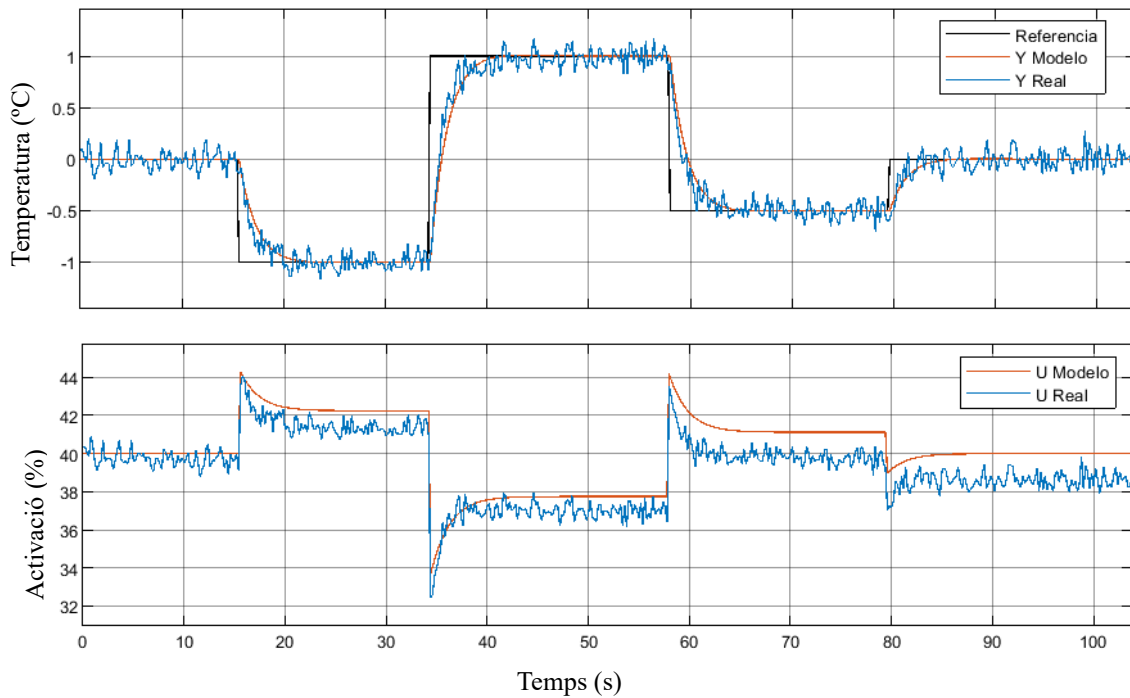


Figura 30. Comparació dades procés real enfront simulat Peltier

A la vista de les gràfiques de la figura anterior, es conclou que la variable controlada s'ajusta perfectament al model simulat, mentre que s'observa alguna discrepància a la variable manipulada, possiblement deguda a diferències en la temperatura ambient o del radiador en el moment d'obtenció de les dades del model i de les de validació del PI. Per tant, es considera una discrepància admissible i el controlador queda validat, acabant així amb la part del control de la Peltier.

3.1.2 Motor

Es procedeix ara al disseny del controlador del motor. En aquest cas es vol que funcione en dos rangs de treball diferents: a 50 rpm i a 70 rpm. Per tant, es necessitarà dissenyar dos controladors, un per cada rang. El procediment es el mateix que en el cas de la Peltier. Es comença realitzant el muntatge del motor amb la DAQ i l'ordinador amb el programa per a obtenir el document de text amb les dades de la variable controlada, la manipulada i el temps dels assaigs.

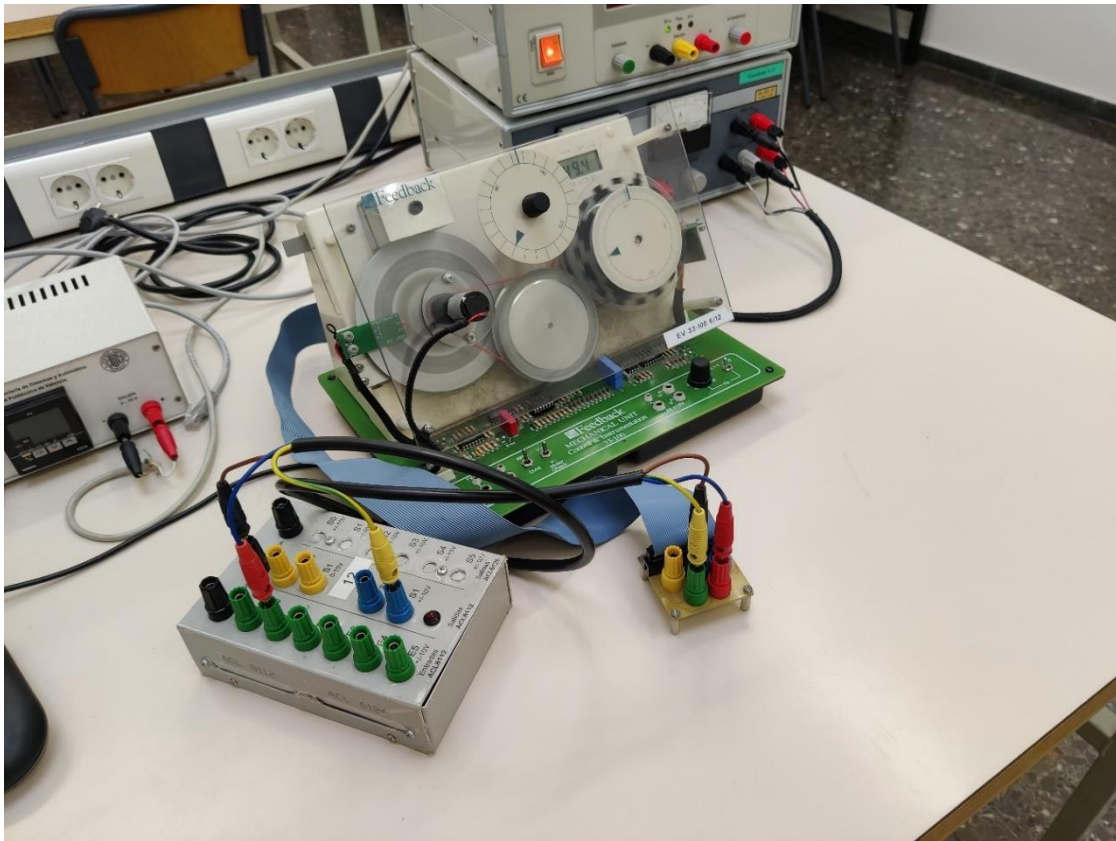


Figura 31. Muntatge motor.

Després de carregar les dades a la ferramenta *System Identification* de Matlab, seleccionar el rang d'interès i restar el punt d'operació, tenim les gràfiques següents.

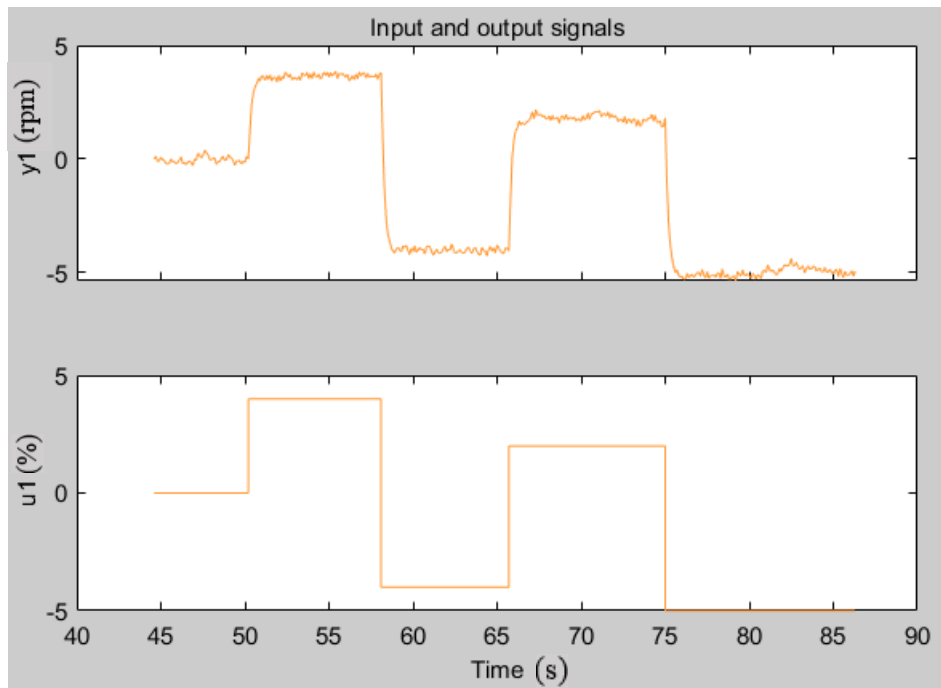


Figura 32. Dades identificació motor 50 rpm.

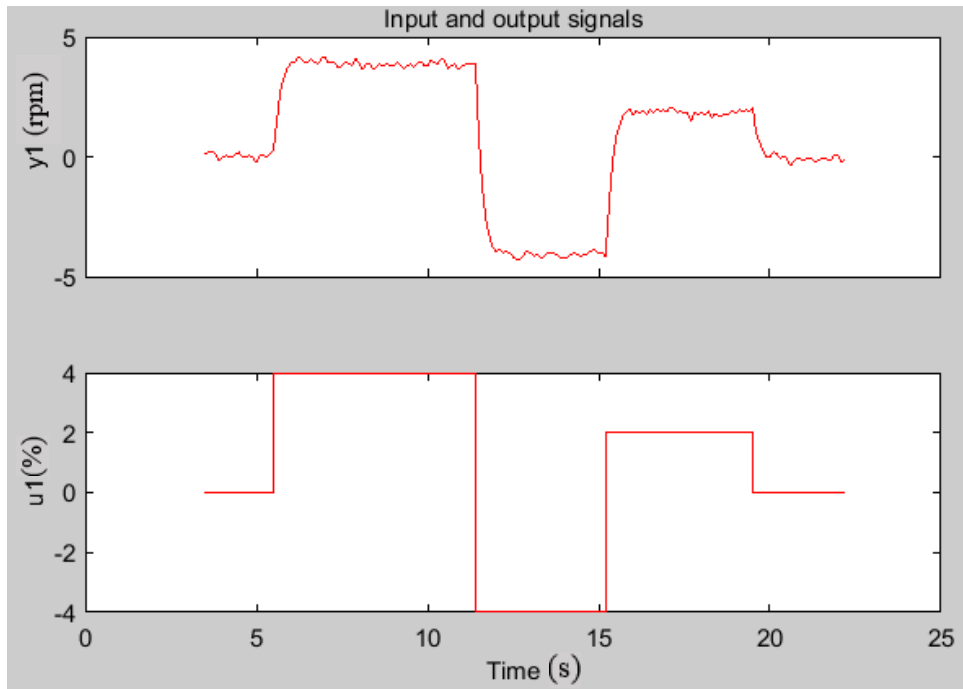


Figura 33. Dades identificació motor 70 rpm

Amb les dades anteriors obtenim els models dels processos. Ambdós són d'un pol sense retard.

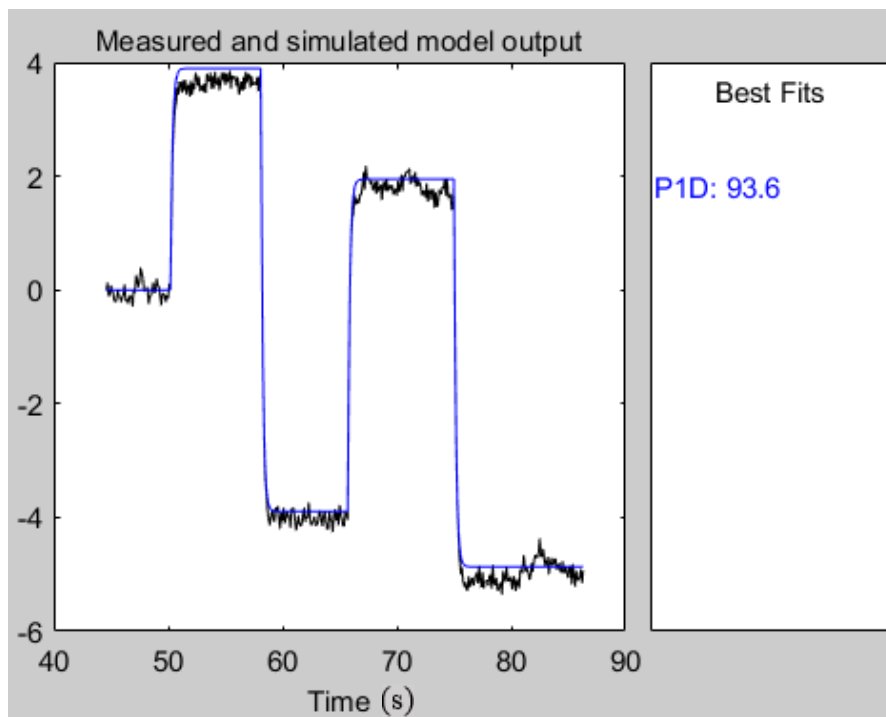


Figura 34. Variable controlada real enfront simulada motor 50 rpm. (Eix Y(rpm)).

Process model with transfer function:

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s}$$

$$K_p = 0.97451$$

$$T_{p1} = 0.18014$$

Figura 35. Model motor 50 rpm. $K_p(\text{rpm}/\%)$, $T_{p1}(s)$.

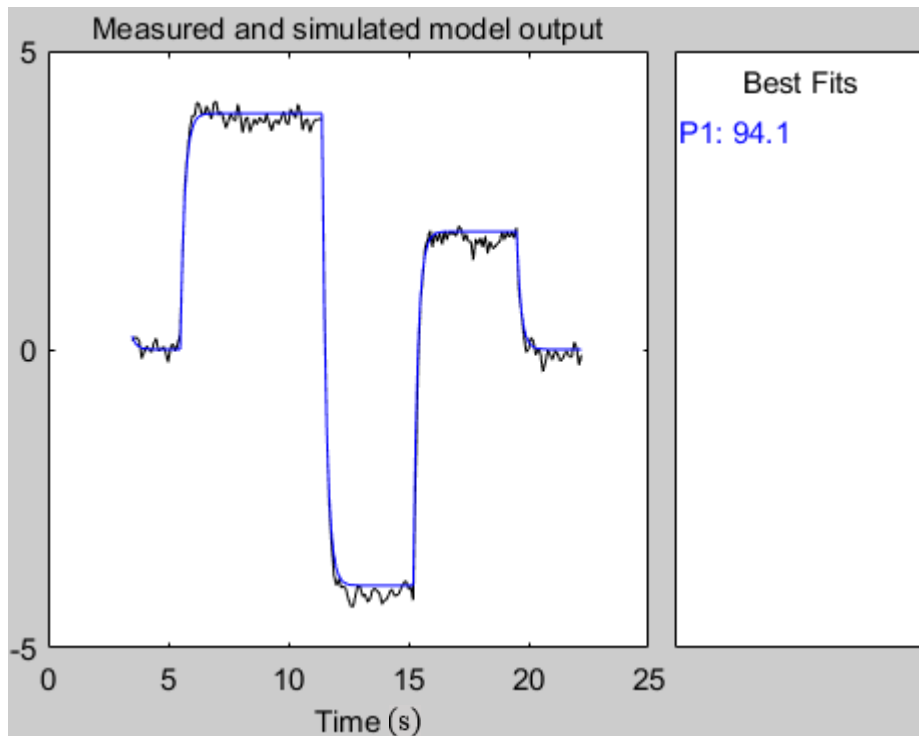


Figura 36. Variable controlada real enfront simulada motor 70 rpm. (Eix Y(rpm)).

Process model with transfer function:

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s}$$

$$K_p = 0.9888$$

$$T_{p1} = 0.18135$$

Figura 37. Model motor 70 rpm. $K_p(\text{rpm}/\%)$, $T_{p1}(s)$.

S'observa a les dos gràfiques anteriors que el model s'ajusta amb les dades dels assaigs, per tant, es passa a la validació d'aquest. De nou es trauen dos paquet de dades, esta vegada de validació, un al voltant de les 50 rpm i l'altre al voltant de les 70 i es comparen amb els models obtinguts.

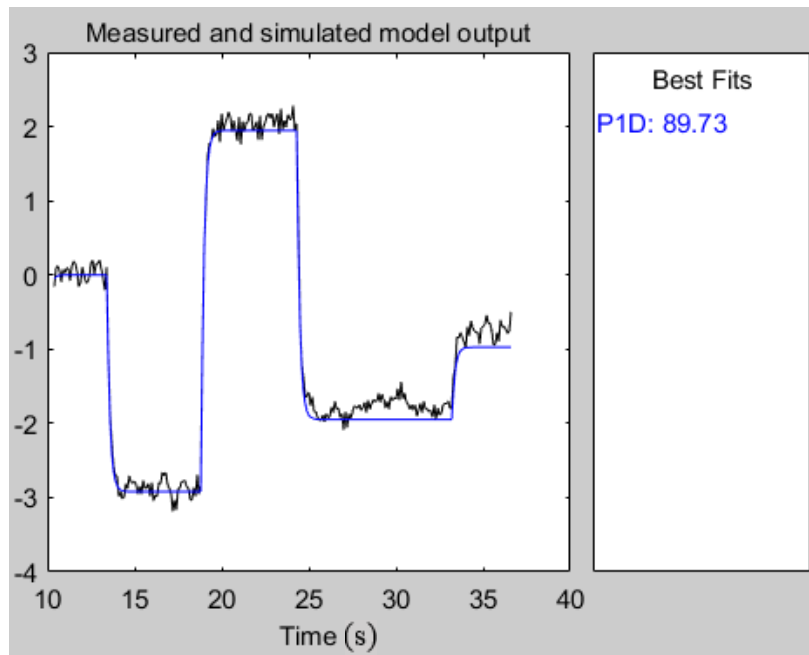


Figura 38. Model motor 50 rpm enfront dades validació. (Eix Y(rpm)).

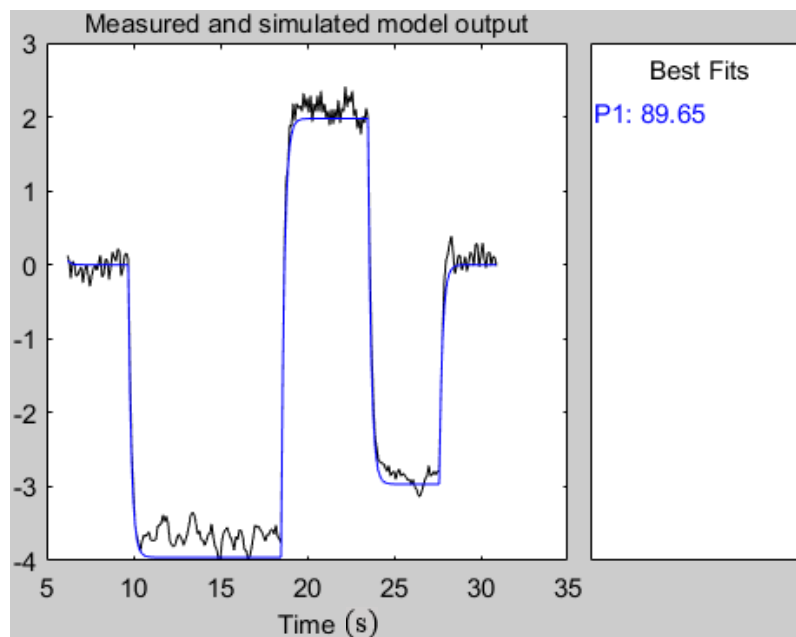


Figura 39. Model motor 70 rpm enfront dades validació. (Eix Y(rpm)).

Es conclou que els dos models s'ajusten adequadament a la variable controlada dels paquets de dades de validació i ambdós queden validats.

Igual que en el cas de la Peltier, es procedeix al disseny dels controladors PI a simulink, al programa on s'ha creat un bucle de llaç tancat (Figura 24) i amb la ferramenta tune (Figura 25).

Les especificacions dels controladors són error de posició nul, permetent en aquest cas la sobreoscil·lació, ja que l'acabat superficial de les peces no es veuria afectat i, donat que el motor té una dinàmica considerablement més ràpida que la placa Peltier i que interessa que els processos de mecanitzat es facen el més ràpid possible per a augmentar la producció, se li ha exigit un temps d'establiment inferior a dos segons.

A les gràfiques a continuació es pot veure la resposta dels controladors dissenyats davant una entrada unitària en forma d'escaló.

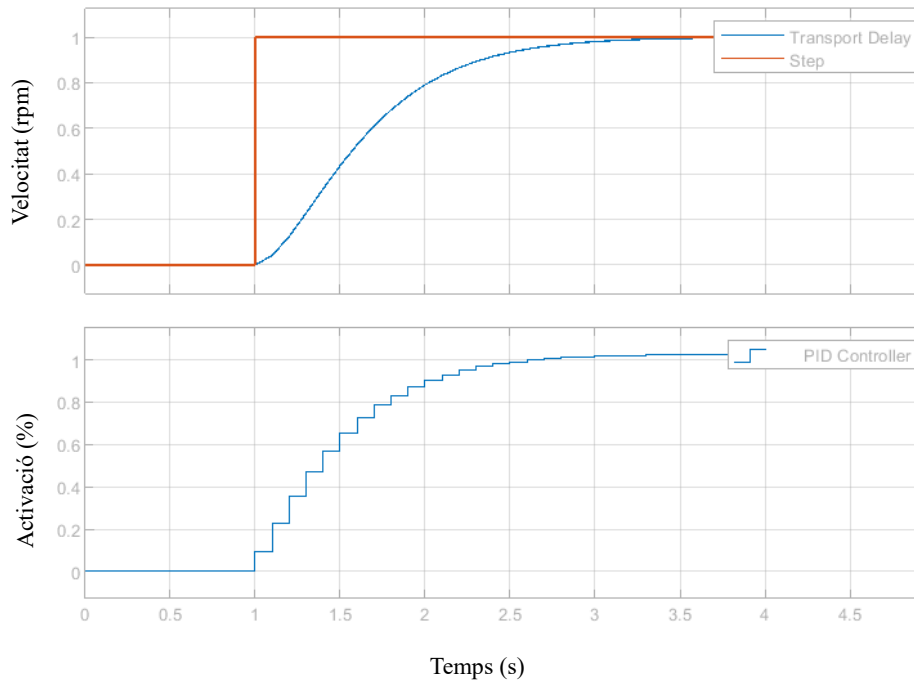


Figura 40. Comportament davant entrada tipus escaló motor 50 rpm.

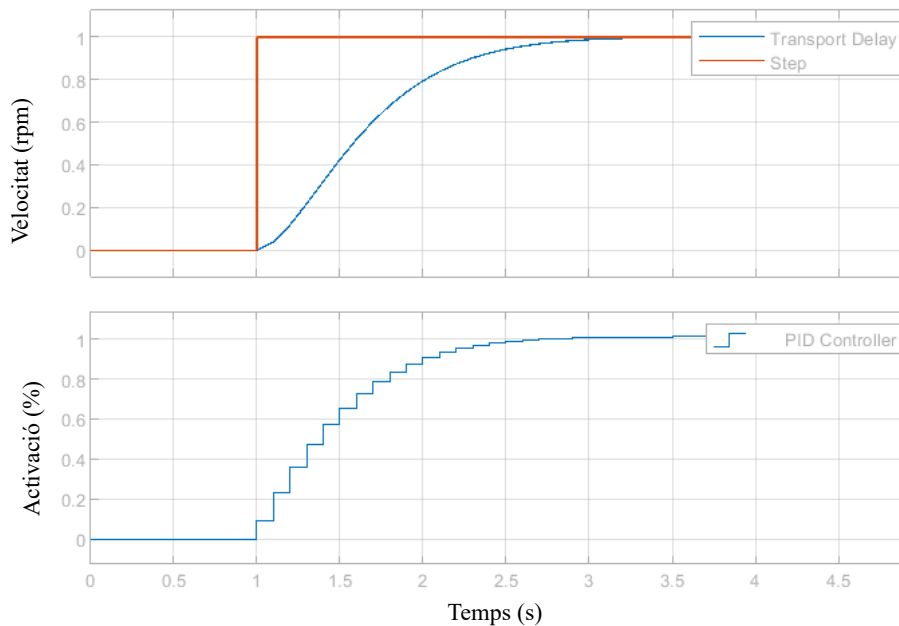


Figura 41. Comportament davant entrada tipus escaló motor 70 rpm.

Per últim es validen els controladors obtinguts fent de nou assaigs variant la referència en forma d'escalons al voltant dels punts de treball, implementant els PIs com a la Figura 28, però esta vegada dins del programa d'obtenció de dades del motor.

Per a l'elecció del període del controlador, com al cas anterior, s'elegeix un valor inferior a deu vegades el temps de pujada. En aquest cas eixe temps és d'1,1 segons, pel que s'elegeix un període de 50 ms.

Es carregen les dades al programa de la Figura 29 i s'observen els següents resultats:

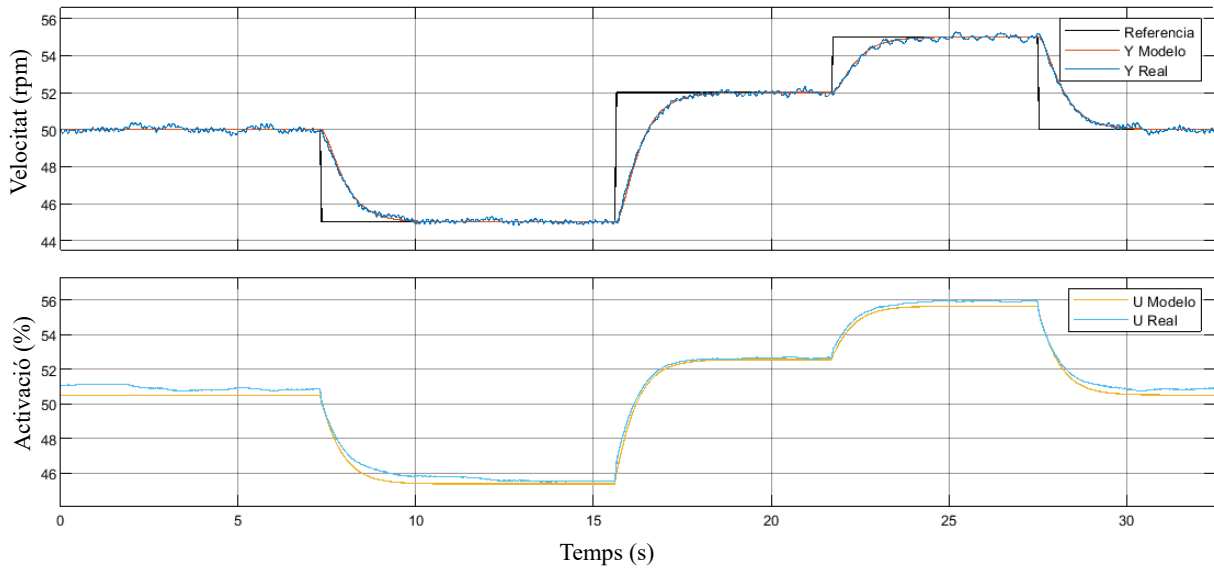


Figura 42. Comparació dades procés simulat enfront real motor 50 rpm.

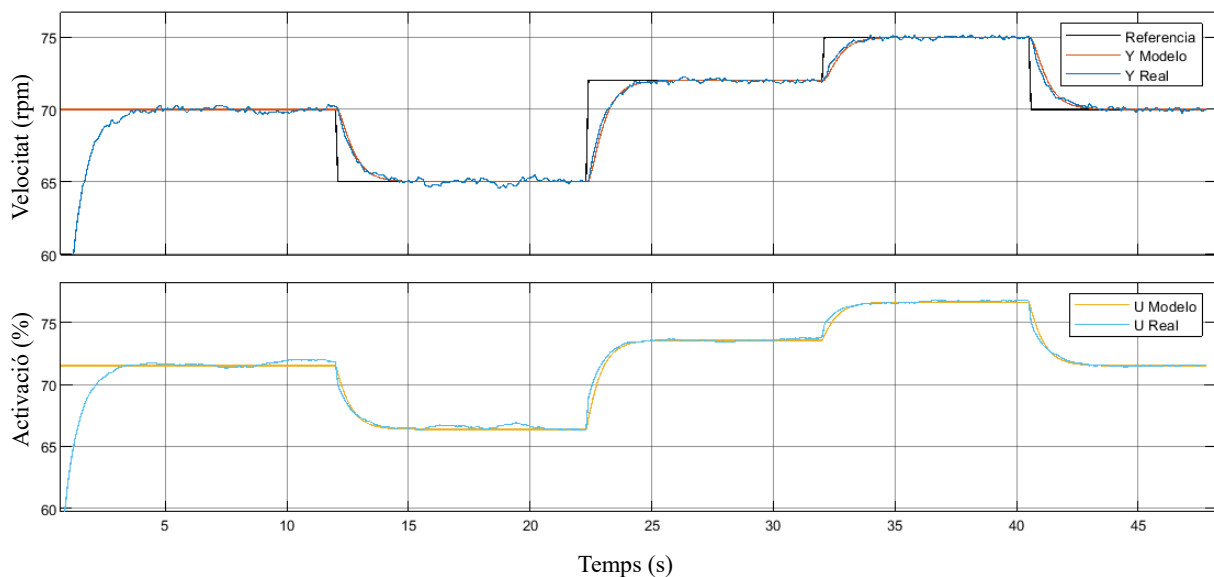


Figura 43. Comparació dades procés real enfront simulat motor 70 rpm.

Es veu que tant la variable controlada real com la manipulada s'ajusten al model simulat en els dos casos, donant-se així els controladors dissenyats com a vàlids i posant fi a la part de control del projecte.

3.2 Automatització

Aquest apartat d'automatització engloba tot el procediment de disseny i programació dels automatismes, a més d'una explicació detallada de la seqüència que han de descriure les maquetes.

3.2.1 Llenguatges de programació

Per a la programació de PLCs existeixen cinc llenguatges principals que es poden dividir en llenguatges de programació de nivell baix o de text i de nivell alt o gràfics.

➤ Nivell baix:

- Llista d'instruccions (IL): Té l'estructura de funcionament més complexa. No obstant això, hi ha processos on la seua aplicabilitat es la més adequada. Realitza codis de comandament que el processador obeeix, però deu estar present la part operacional, així com l'usuari que donarà resposta als codis de comandament. [9]
- Text estructurat (ST): Compatible per a l'execució d'expressions aritmètiques complexes amb valors analògics i digitals, conté una estructura per a bucles, tolera cicles d'interacció i pot alternar lletres majúscules i minúscules al seu codi. A més inclou la formulació de les tasques del programa. [9]

➤ Nivell alt:

- Diagrama ladder (LD): És fàcil d'utilitzar i està representat per gràfics i conformat per dos relés verticals. Està basat en diagrames de contactes elèctrics. [9]
- Diagrama de blocs (FBD): Està elaborat en blocs de funció, que alberguen les variables que transformaran la seqüència. La seua utilitat és comú en la representació gràfica. Les variables mai es connecten entre sí. [9]
- Diagrama de funcions seqüencials (SFC): Està compost per diagrames i gràfics que s'unifiquen per a crear seqüències de control. Aquest llenguatge prové de l'estàndard francès GRAFCET que també utilitza etapes, transicions i accions per al seu funcionament. [9]

Per al cas d'aquest projecte s'ha utilitzat principalment llenguatge SFC i LD i una xicoteta part amb ST.

3.2.2 Braç robòtic

Com ja s'ha comentat a apartats anteriors, el braç serà l'encarregat de transportar les peces en brut a la cinta, i una vegada mecanitzades, deixar-les a la zona d'emmagatzematge. Per a que açò es puga portar a cap, s'ha utilitzat l'autòmat programable TSX Premium del fabricant Schneider Electric, el qual es programa amb el software Unity Pro.

El primer pas serà el calibratge del braç per a fer que es desplace cap a les posicions desitjades de la forma més precisa possible. Per a això, es crea una pantalla d'operador dins del Unity Pro, on es puguen activar les eixides del braç polsant un botó i es tenen tres quadres de text. Per a poder saber la posició exacta del braç, es farà ús dels encoders que tenen cada motor. De esta forma, cada vegada que els motors realitzen un gir, l'encoder corresponent emetrà un pols elèctric que quedarà registrat a una variable de tipus enter, la qual augmentarà o disminuirà el seu valor en una unitat depenent dels sentit del moviment. Aquests valors es mostraran als quadres de text de la pantalla d'operador amb un número del 0 al 1000, d'on seran anotats a forma de coordenades.

POSICIONS	EIX X	EIX Y	GIR
Inicial	0	0	0
Recollida peça en brut	951	700	500
Depositar peça en brut	860	500	370
Recollida peça mecanitzada	580	500	60
Emmagatzematge de peça	617	700	243

Taula 3. Posicions calibratge braç robòtic.



Figura 44. Pantalla d'operador calibratge braç.

Cap recalcar que els moviments es faran d'una passada, es a dir, no parant entre la posició inicial del braç i la buscada, ja que d'esta forma es minimitza el possible error de posició degut a vibracions que poguera alterar els polsos dels encoders.

Una vegada calibrat el braç, es procedeix a la programació de les seqüències que deurà seguir aquest. Per a açò, es dissenya en un full en blanc un diagrama GRAFCET a mode d'esborrany amb les etapes, accions i transicions necessàries. Fet açò, es el moment de començar a programar al Unity Pro. Ja dins del programa, es creen dos seccions seguint la ruta "Programa, Tareas, MAST, Secciones". Una secció es crearà amb llenguatge de diagrama de funcions seqüencials (SFC) per a la part de les etapes i transicions del procés, i l'altra amb llenguatge ladder (LD) per a les accions associades a cada etapa. A més, les transicions també utilitzaran llenguatge ladder.

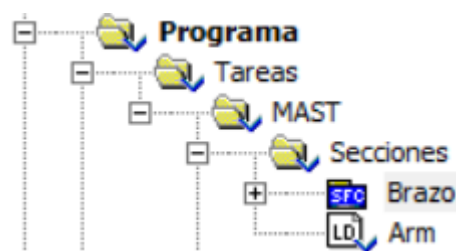
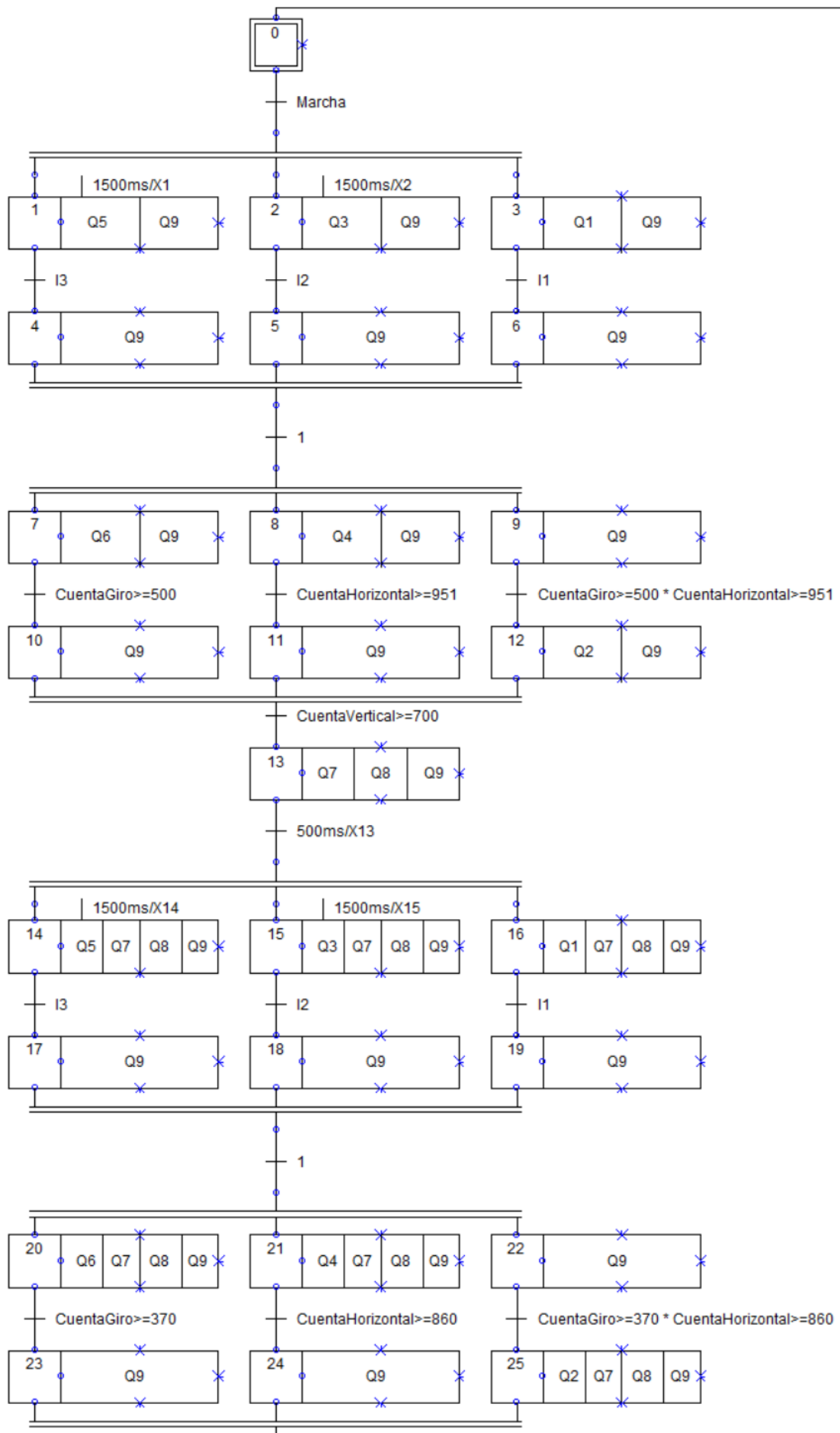
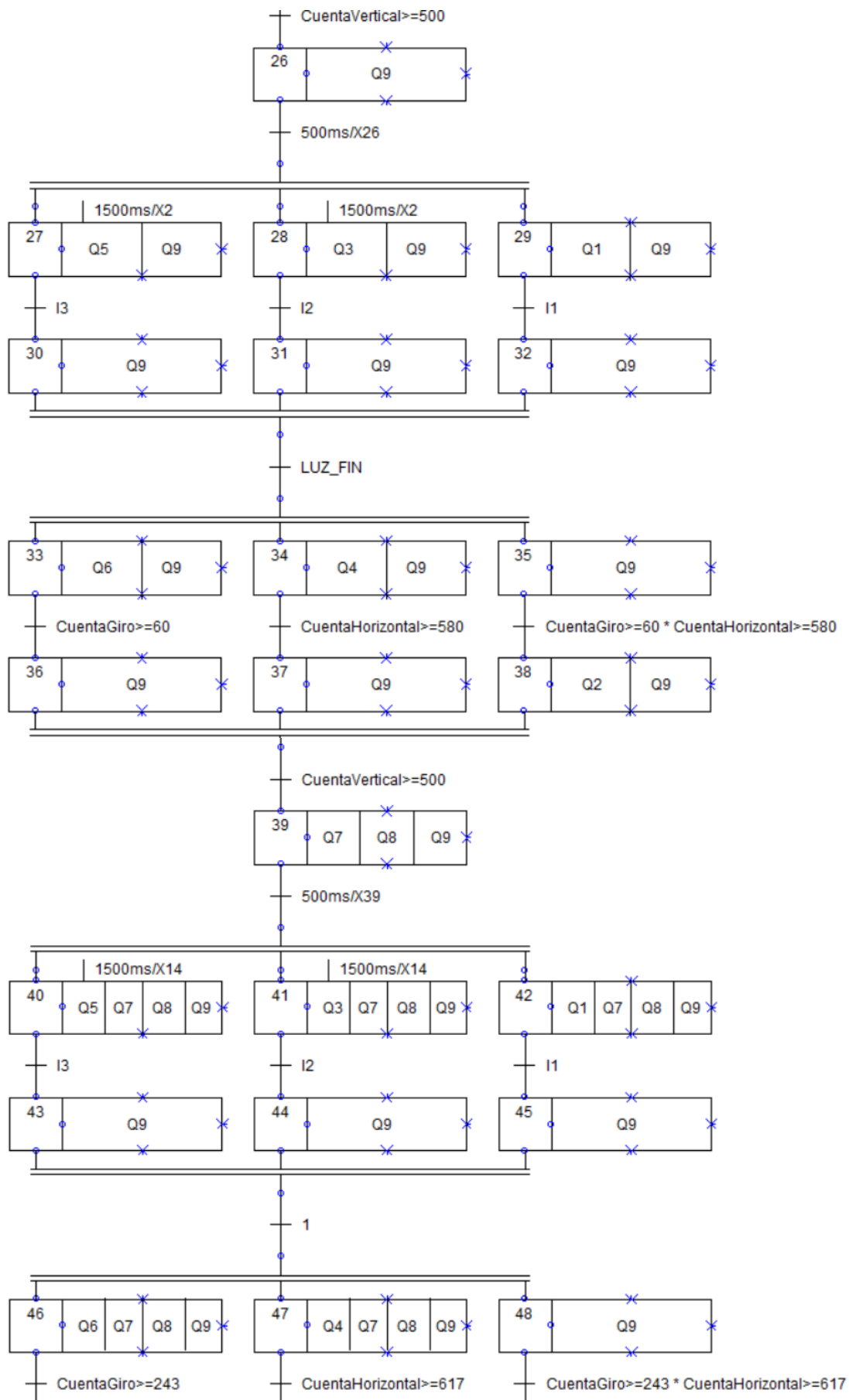


Figura 45. Seccions a Unity Pro

La seqüència que es pretén que seguisca el braç queda detallada al GRAFCET següent:





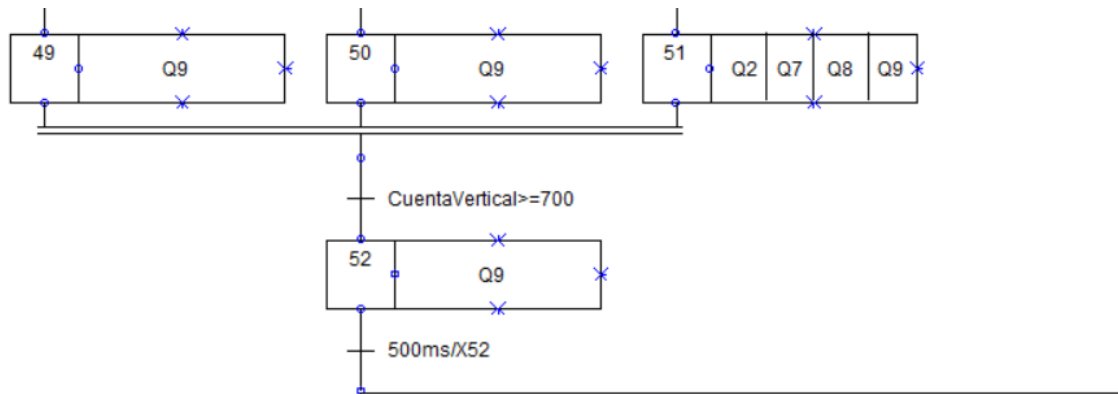


Figura 46. GRAFCET Braç.

Cada vegada que el braç es desplaça cap a una posició, ha de tornar seguidament a la posició inicial. Açò es deu, igual que en el cas del calibratge, a qüestions de minimització de l'error de posició. I es que de esta forma cada vegada que torna a la posició inicial es resetegen els valors dels encoders, fent així que l'error no s'acumule entre desplaçaments.

Per tant, la secció de les etapes al Unity Pro té dos blocs principals que es repeteixen. Un bloc que s'encarrega de moure el braç a la posició inicial, i un altre que el mou a totes les altres, variant les coordenades obtingudes a la prova de calibratge.

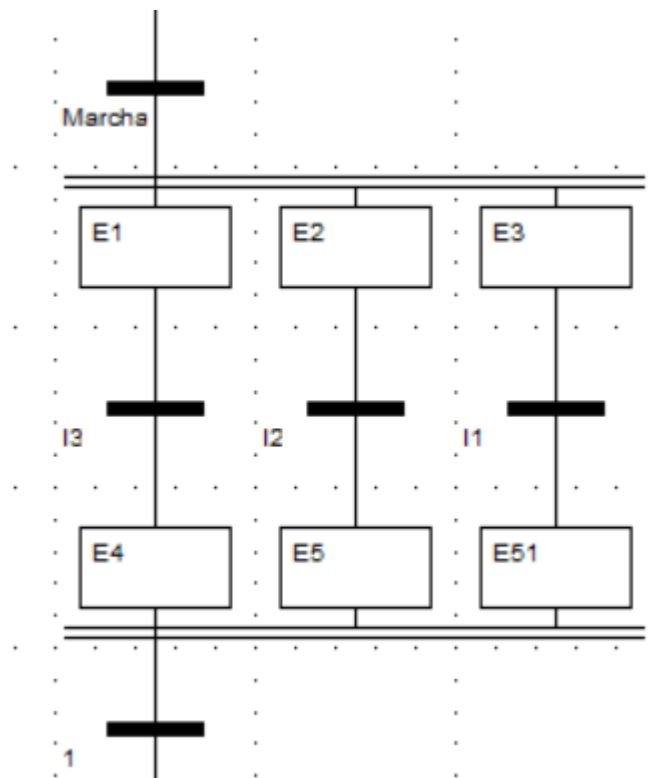


Figura 47. Bloc d'etapes braç a posició inicial

A les etapes 1, 2 i 3 de la figura anterior es produeixen el gir, moviment horitzontal i moviment vertical respectivament per a assolir la posició inicial. En aquestes etapes les eixides del braç estaran actives fins a que es polse el corresponent final de carrera de cada moviment on passaran a la etapa següent on s'esperarà a que les altres etapes acabem. Destacar que el moviment de gir i l'horitzontal tenen un retard d'1,5 segons per a donar temps a que el braç s'elevi i evitar col·lisions amb la cinta.

A la figura següent s'observa el bloc d'etapes cap a la posició de recollida de la peça en brut, però que serveix també per a totes les demás posicions a excepció de la inicial. En aquest cas es realitza el contrari que a l'anterior. Primer es realitzen el moviment de gir i desplaçament horitzontal i després de que finalitzen, es dona pas al moviment vertical, per evitar col·lisions i que la peça que transporta el braç caiga. A l'etapa 6 s'activa el gir i a la 7 el desplaçament horitzontal, mentre que a la 8 no ocorre res. Quan s'assoleixen els valors dels encoders que s'han obtingut al calibratge del braç (Taula 3), les transicions T1 i T2 es compleixen i per tant també ho fa la T14 que es una combinació de les dos anteriors, fent que s'active el moviment vertical fins a complir la T3.

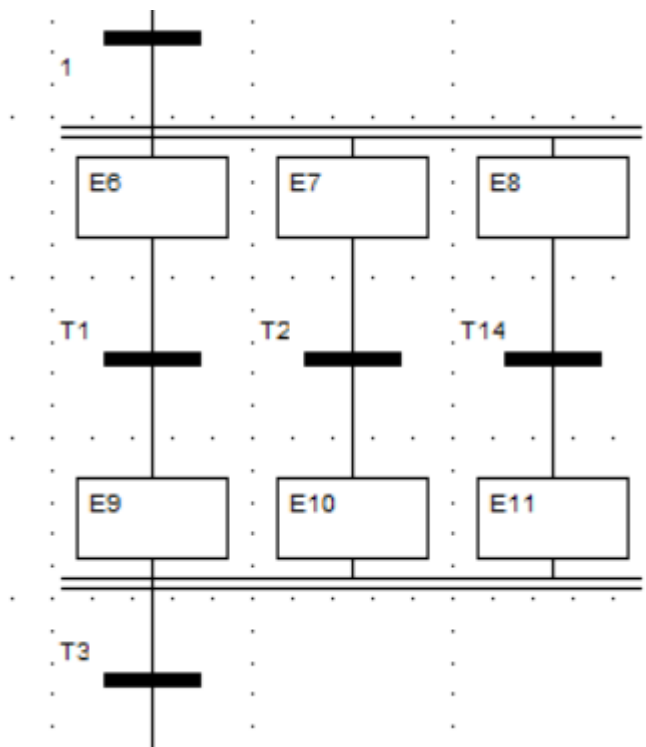


Figura 48. Bloc etapes braç a posició genèrica



Figura 49. Transició 1

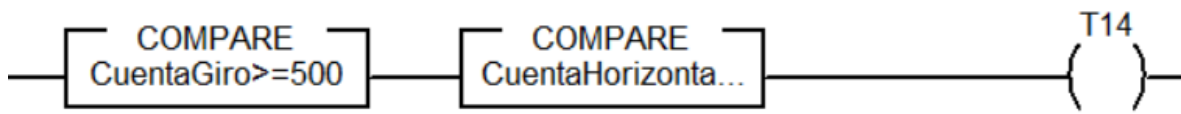
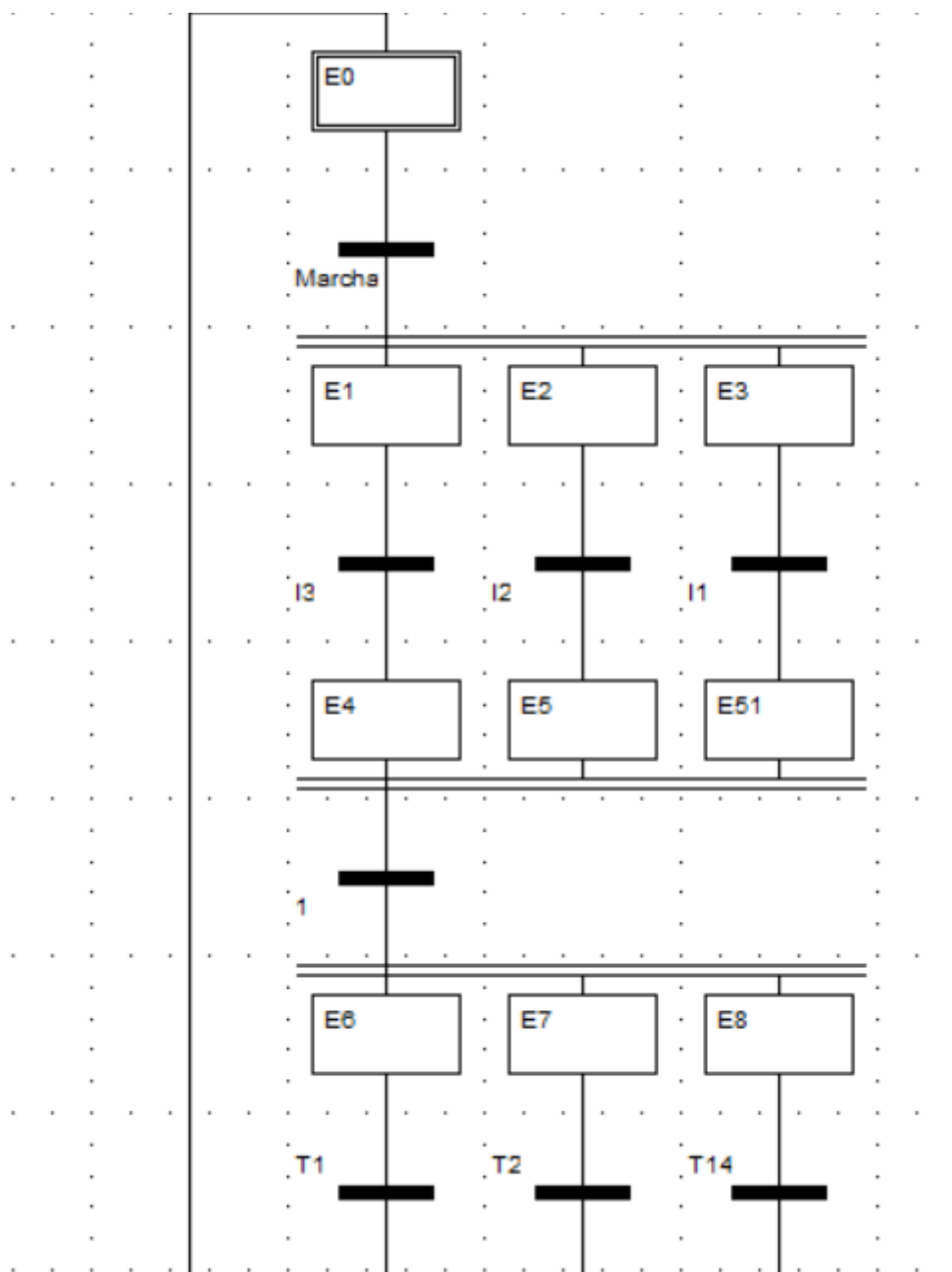
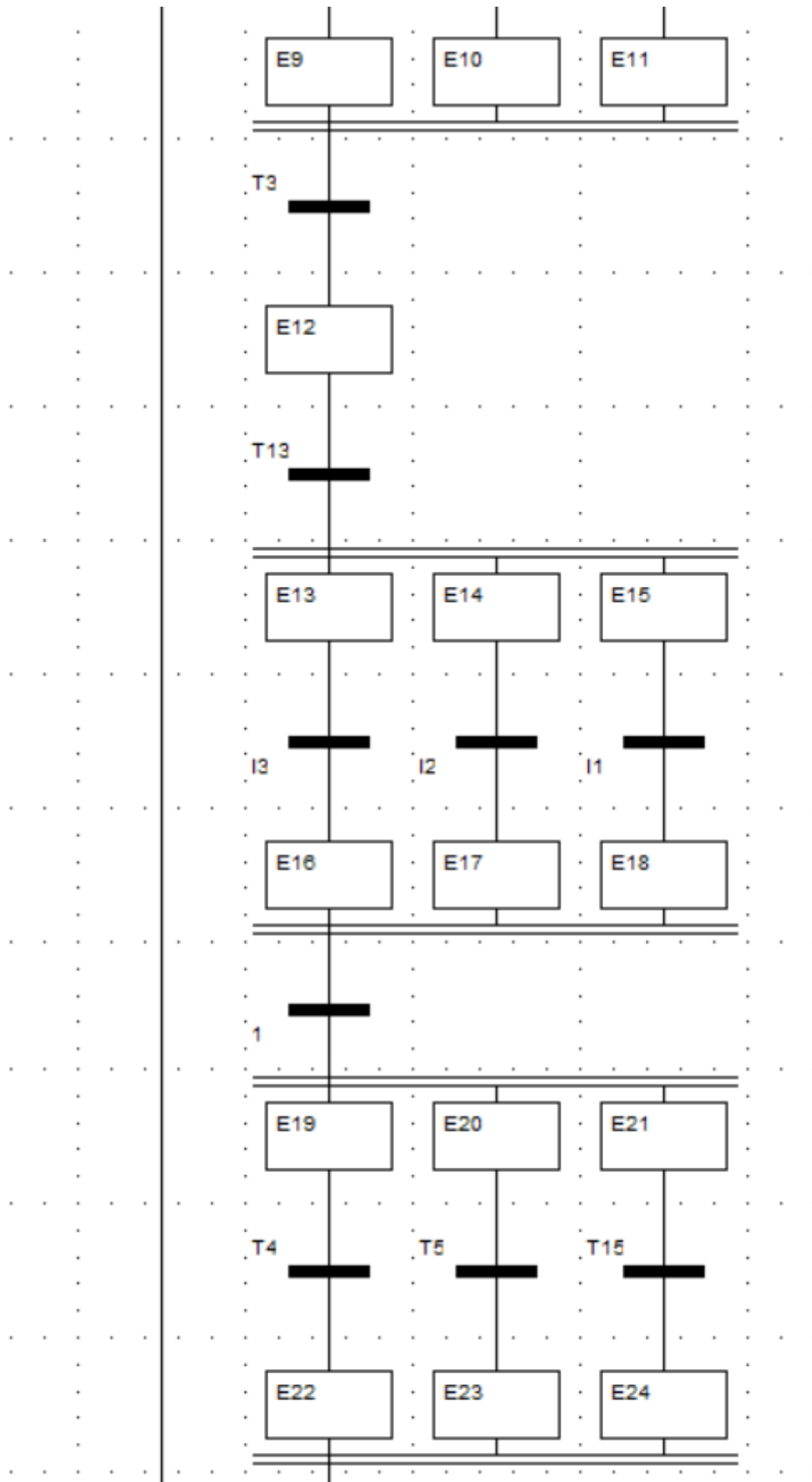
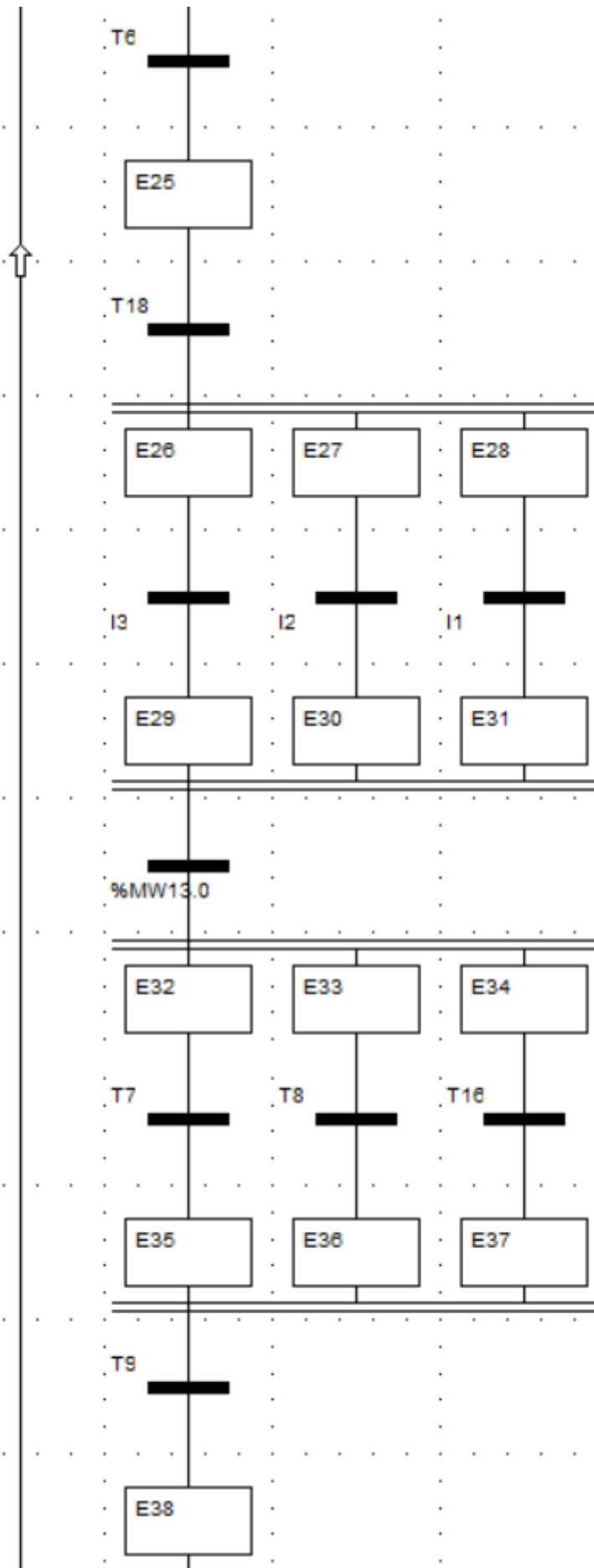


Figura 50. Transició 14

Amb combinacions d'aquests dos blocs d'etapes i activant el compressor i la succió segons convinga, es confecciona tota la secció SFC.







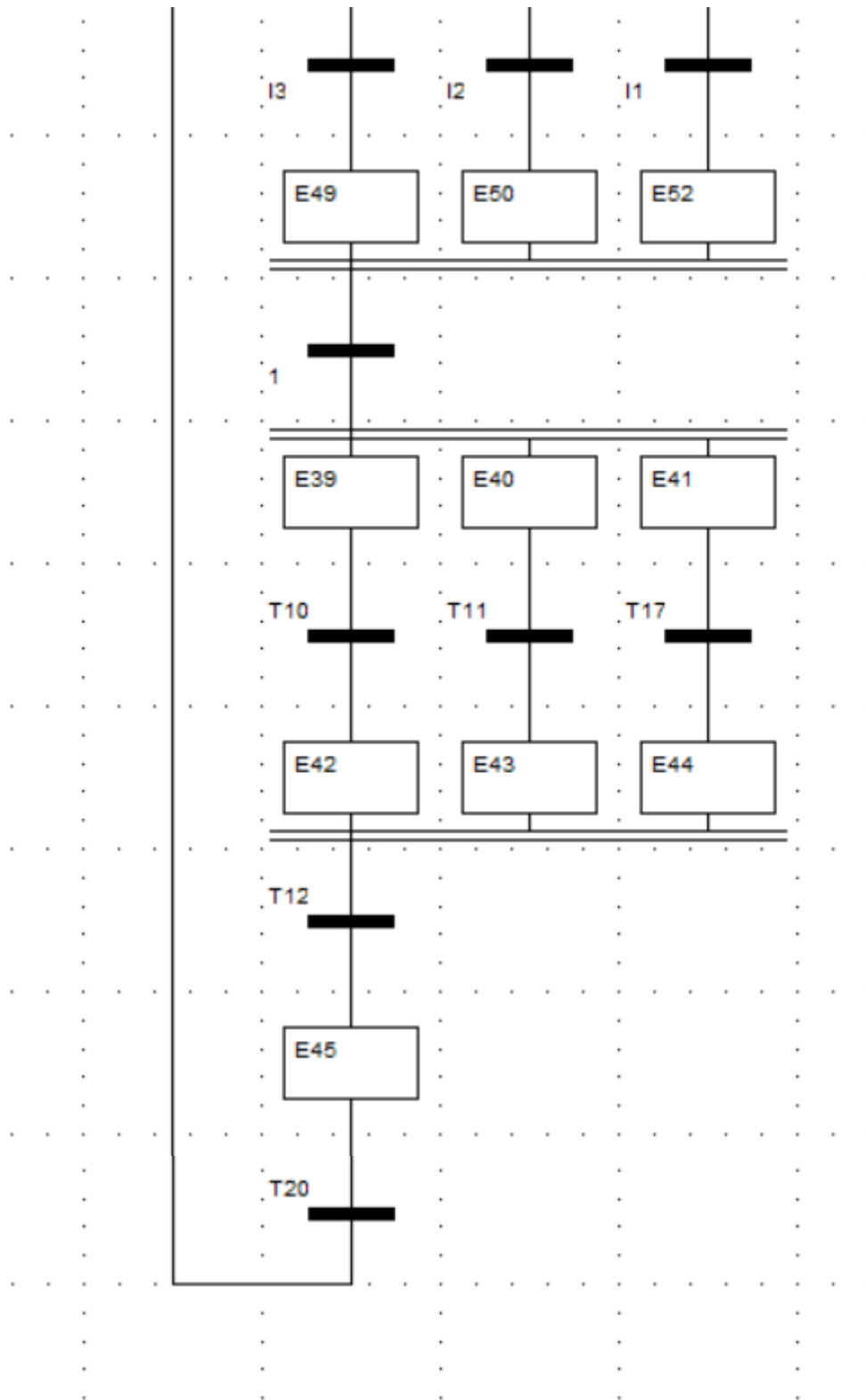


Figura 51. Secció SFC Braç a UnityPro.

En quant a la secció amb llenguatge ladder, es connecten cada una de les eixides del braç a l'estat d'activació de les etapes del programa SFC, i a alguns blocs que actuen com a temporitzadors per a retardar les senyals de gir i moviment horitzontal per evitar xocs com ja s'ha comentat anteriorment, com es pot veure a la figura a continuació.

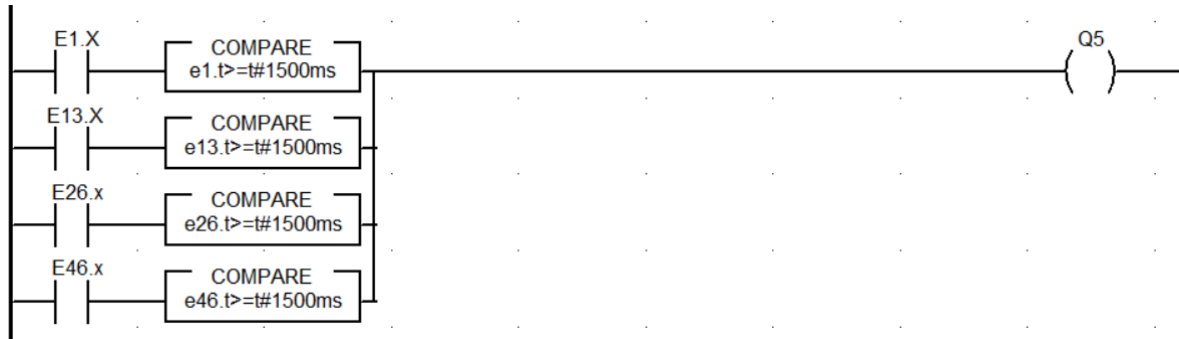
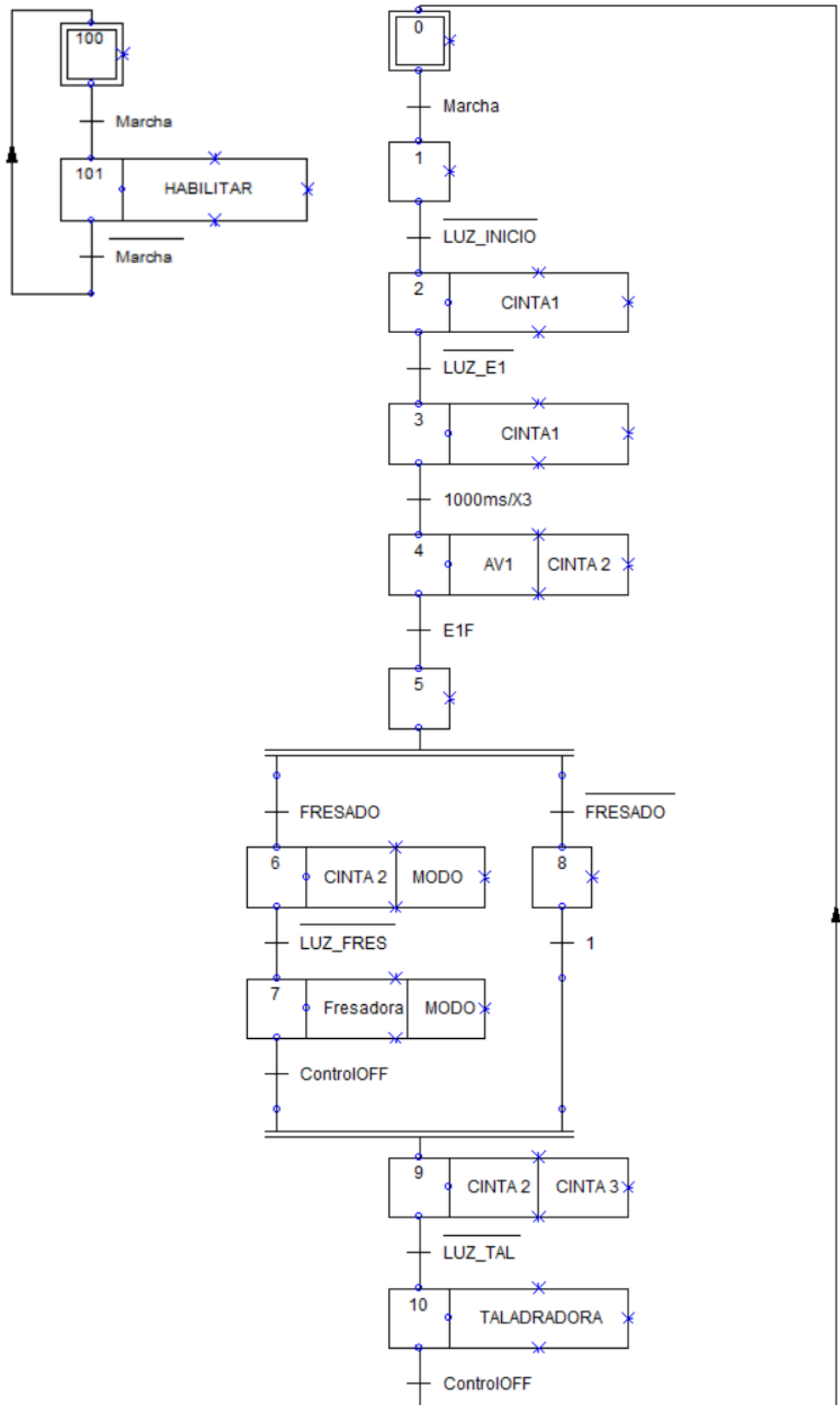


Figura 52. Fragment secció ladder braç robòtic

3.2.3 Cinta

La maqueta de la cinta estarà governada per un PLC model M241 del mateix fabricant que l'anterior (Schneider Electric), el qual es programarà amb el software SoMachine.

La seqüència que deurà seguir la cinta és la següent:



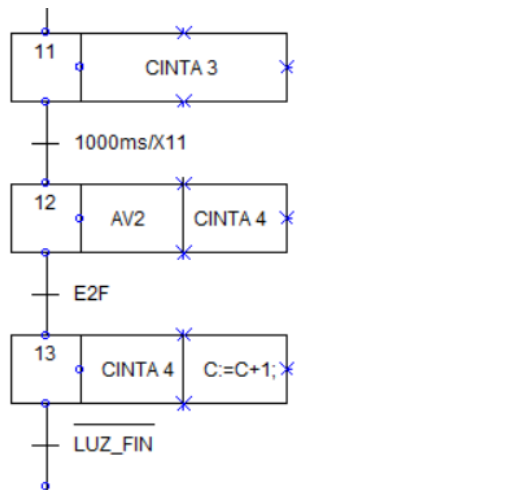


Figura 53. GRAFCET Cinta.

En aquest programa, al que abans s'anomenaven seccions, ara reben el nom de POU, els quals es creen dins l'apartat Application, encara que per a fer que funcionen els hem d'incloure dins del MAST.



Figura 54. POU a SoMachine

Novament, per a programar la seqüència anterior es creen dos POU, un amb llenguatge SFC per a les etapes i les transicions, i un altre amb llenguatge ladder per a les accions.

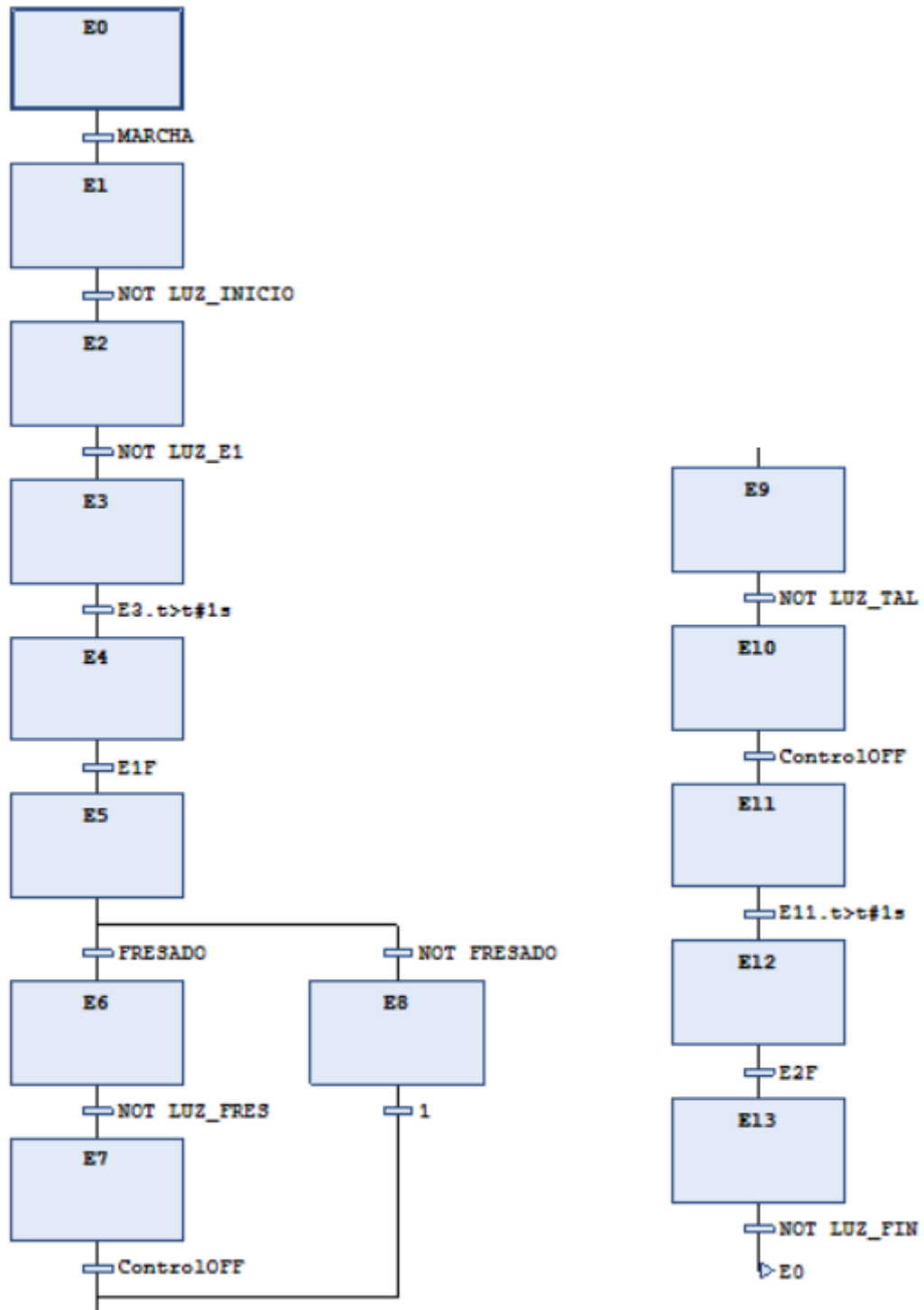


Figura 55. Programació etapes cinta llenguatge SFC a SoMachine.

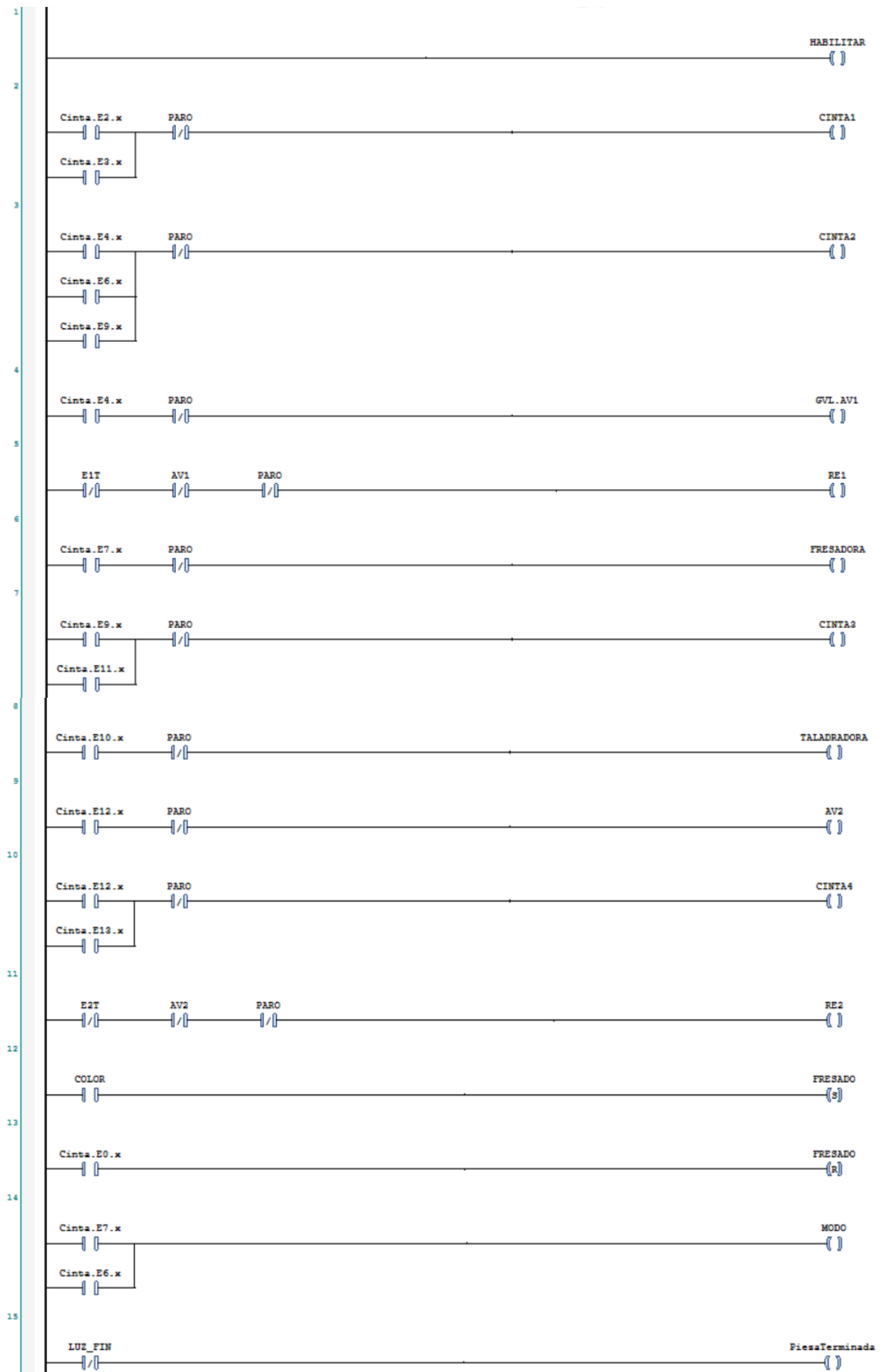


Figura 56. Programació accions cinta llenguatge ladder a SoMachine.

Dir que s'ha incorporat una variable "paro" al diagrama ladder amb lògica negada per a que en qualsevol moment l'usuari puga pulsar el botó stop a l'HMI i que la cinta detinga qualsevol moviment que estiguera fent, fins que l'usuari el torne a pulsar.

Finalment, es programa amb llenguatge ST unes línies de codi per a que el control de la velocitat de gir de la fresadora i el trepant acabe quan el perfil de referències haja conclòs i la velocitat arribi al valor del setpoint amb una desviació màxima del 5%.

```

1 IF (VC > 0.95*SP AND VC < 1.05*SP AND FIN=1)
2 THEN GVL.ControlOFF := 1;
3 ELSE GVL.ControlOFF := 0;
4 END_IF

```

Figura 57. Programa llenguatge ST a SoMachine

3.3 Visió

Per a diferenciar el tipus de peça a mecanitzar s'utilitzarà una càmera Kinect connectada a l'ordinador. A aquest, es crea un programa a LabVIEW que s'encarrega de diferenciar els colors que la càmera Kinect detecta.

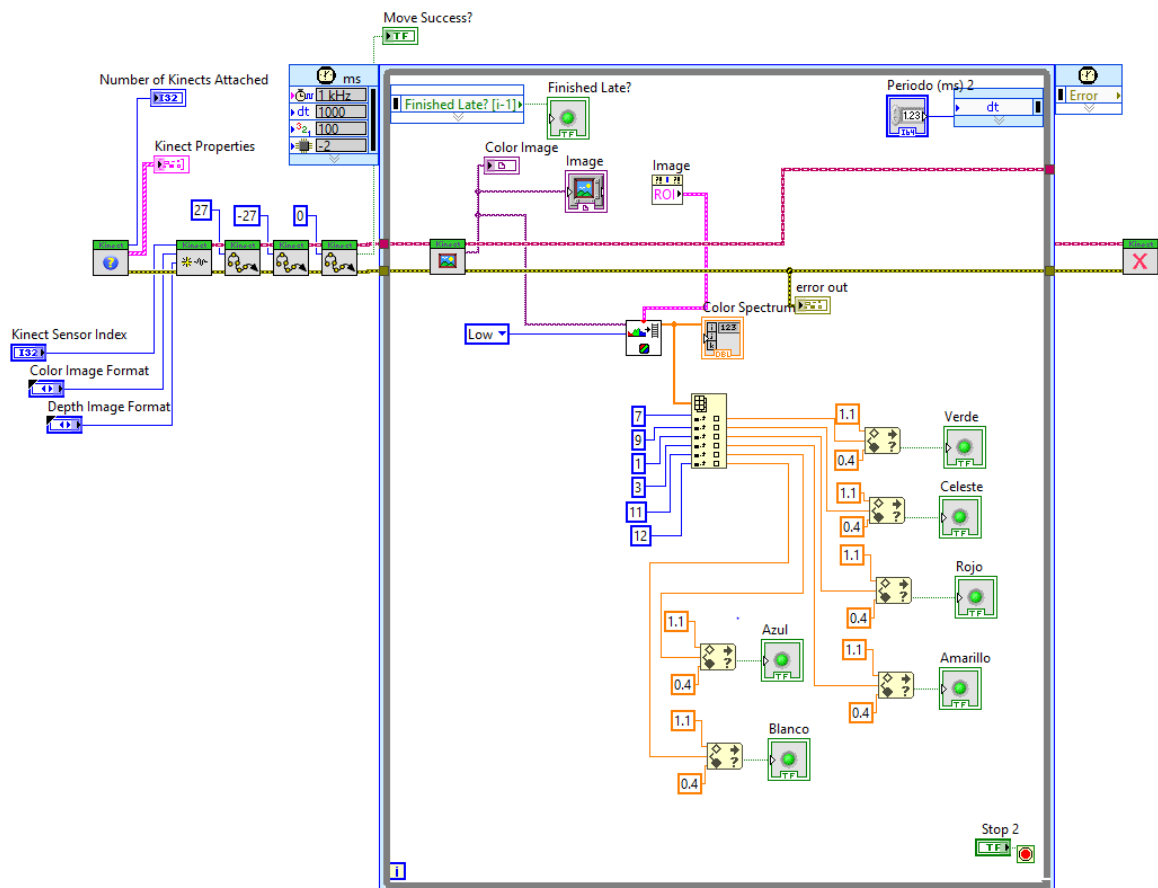


Figura 58. Programa visió a LabVIEW

El primer que fa el programa és moure la càmera de manera vertical fins a la posició programada per a enfocar bé la peça. Després d'açò, es descompon tot l'espectre de colors i s'analitza el valor del que correspon al color de la peça desitjada (en aquest cas el roig). Si aquest valor es troba entre el 0,4 i l'1,1, es considera que la peça es del color buscat.

3.4 HMI

HMI són les sigles en anglés de human-machine interface, i es refereixen a un panell que permet a l'usuari comunicar-se amb una màquina, software o sistema. Tècnicament, fa referència a qualsevol pantalla que s'utilitza per interactuar amb un equip, però s'utilitza normalment per a les d'entorns industrials. Les HMI mostren dades en temps real i permeten a l'usuari controlar les màquines amb una interfase gràfica. [10]

Pel que fa al HMI d'aquest projecte, contarà amb quatre pantalles diferents: Peltier, Motor, PIDs i Visió. A més, també es disposarà d'una interfase de registre d'usuari amb contrasenya. D'aquesta manera, l'operari encarregat del control del procés a la planta podrà accedir a les pantalles de Peltier i Motor, mentre que l'enginyer al càrrec les tindrà totes desbloquejades amb el seu usuari i contrasenya.

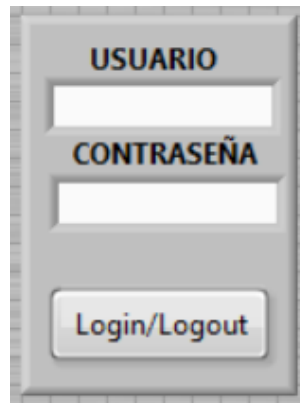


Figura 59. Usuari i contrasenya HMI

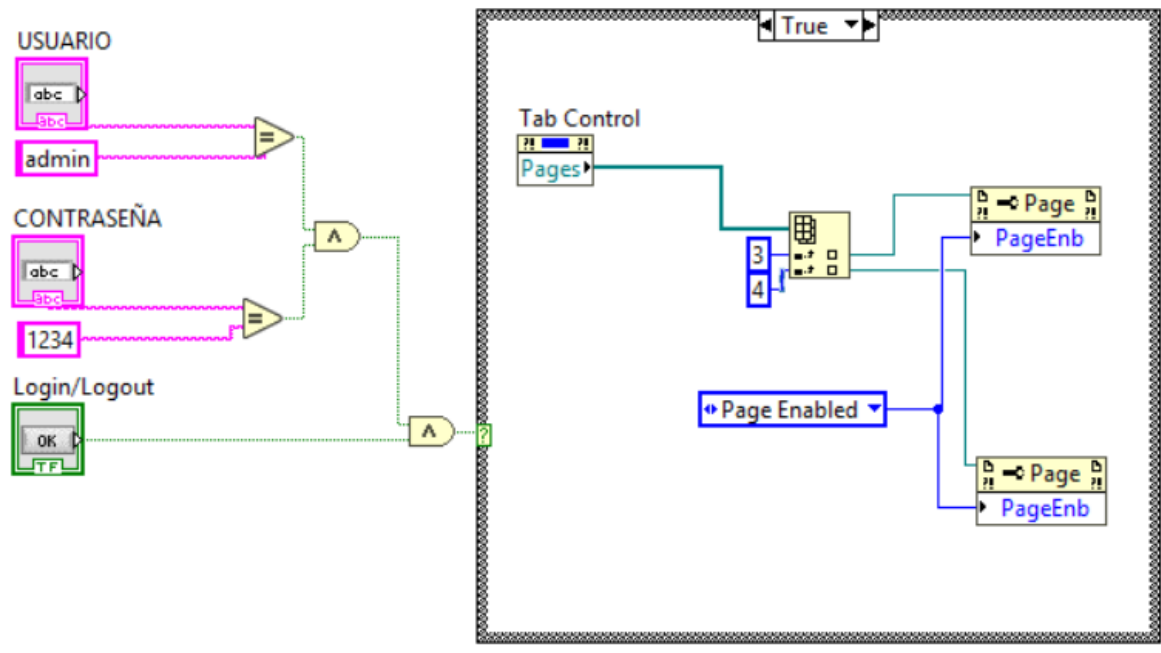


Figura 60. Usuari i contrasenya LabVIEW

A la pantalla Peltier es troben dos controls per a la regulació manual de la velocitat del ventilador i el percentatge d'activació de la Peltier. A més, també es disposa d'un interruptor per a passar de mode manual a automàtic per a que s'active el controlador de tipus PI dissenyat anteriorment, al qual li s'ha pot introduir el valor del setpoint. En quant a les gràfiques, la de dalt mostra la temperatura de la cara freda de la Peltier en °C i la segona el percentatge d'activació de la Peltier i del ventilador.

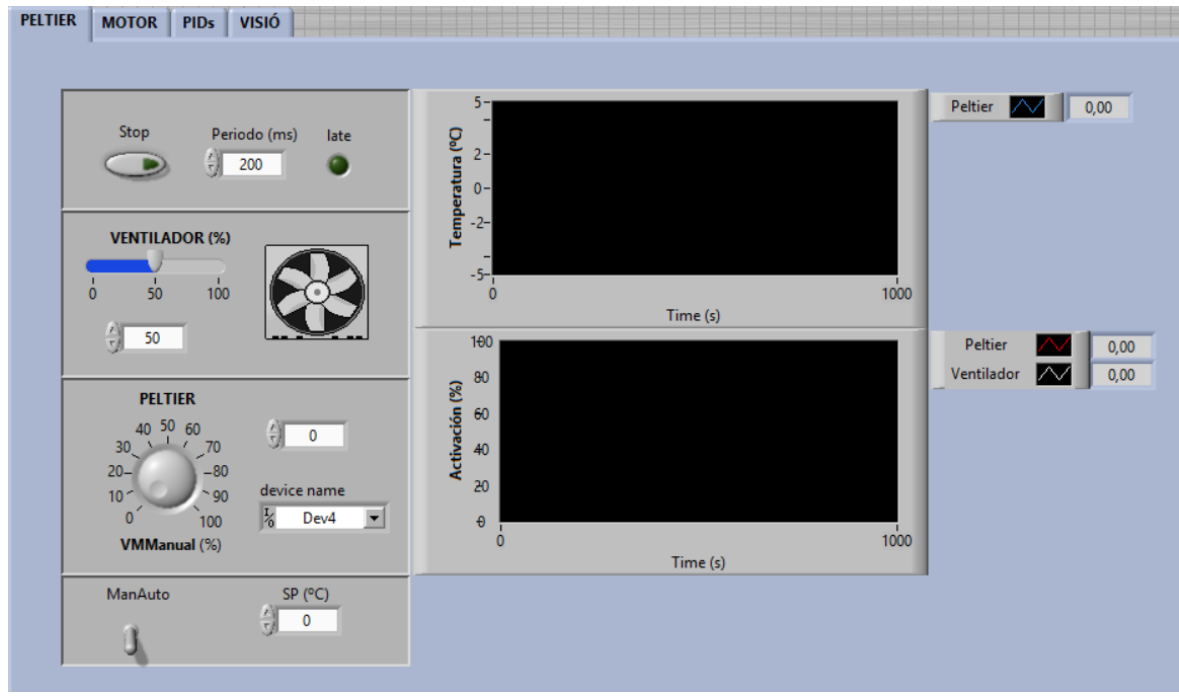


Figura 61. Pantalla Peltier HMI

La pantalla Motor es similar a l'anterior en el sentit de que també té un dial per al control de l'activació del motor de forma percentual, i un interruptor per a passar de mode manual a automàtic i que s'activen els PIs dissenyats. Té la peculiaritat de que el setpoint ja no es un valor, sinó un perfil de referències, el que significa que aquest canviarà el seu valor conforme passe un temps establert. A més, es disposa d'una gràfica que mostra la velocitat en rpm del motor, una altra amb el percentatge d'activació d'aquest, una tercera amb la variació dels setpoint i finalment dos llums LED per a indicar quin dels dos processos de mecanitzat està realitzant-se.

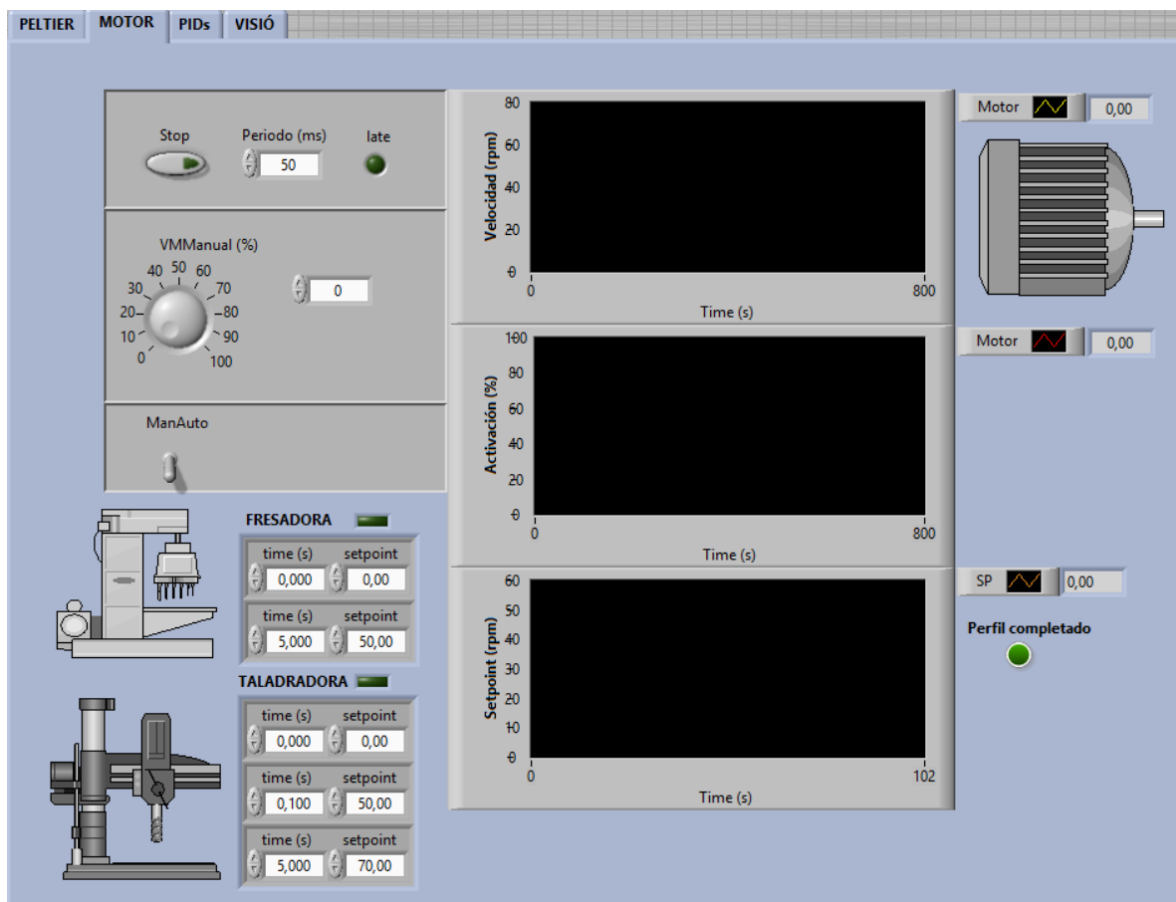


Figura 62. Pantalla motor HMI

A la pantalla PIDs a la qual té exclusivament l'accés l'enginyer autoritzat, es poden comprovar i modificar els valors dels paràmetres dels controladors dissenyats i els valors màxims i mínims del rang del setpoint i de la variable manipulada. Destacar que el controlador del motor té dos possibles paquets de paràmetres que depenen del valor del setpoint. En el cas de la figura a continuació, fins a un valor del setpoint de 60 rpm es tindria el primer bloc de valors i passat 60 fins a 80, el segon, mostrant-se els paràmetres utilitzats en temps real al quadre de baix a la dreta.

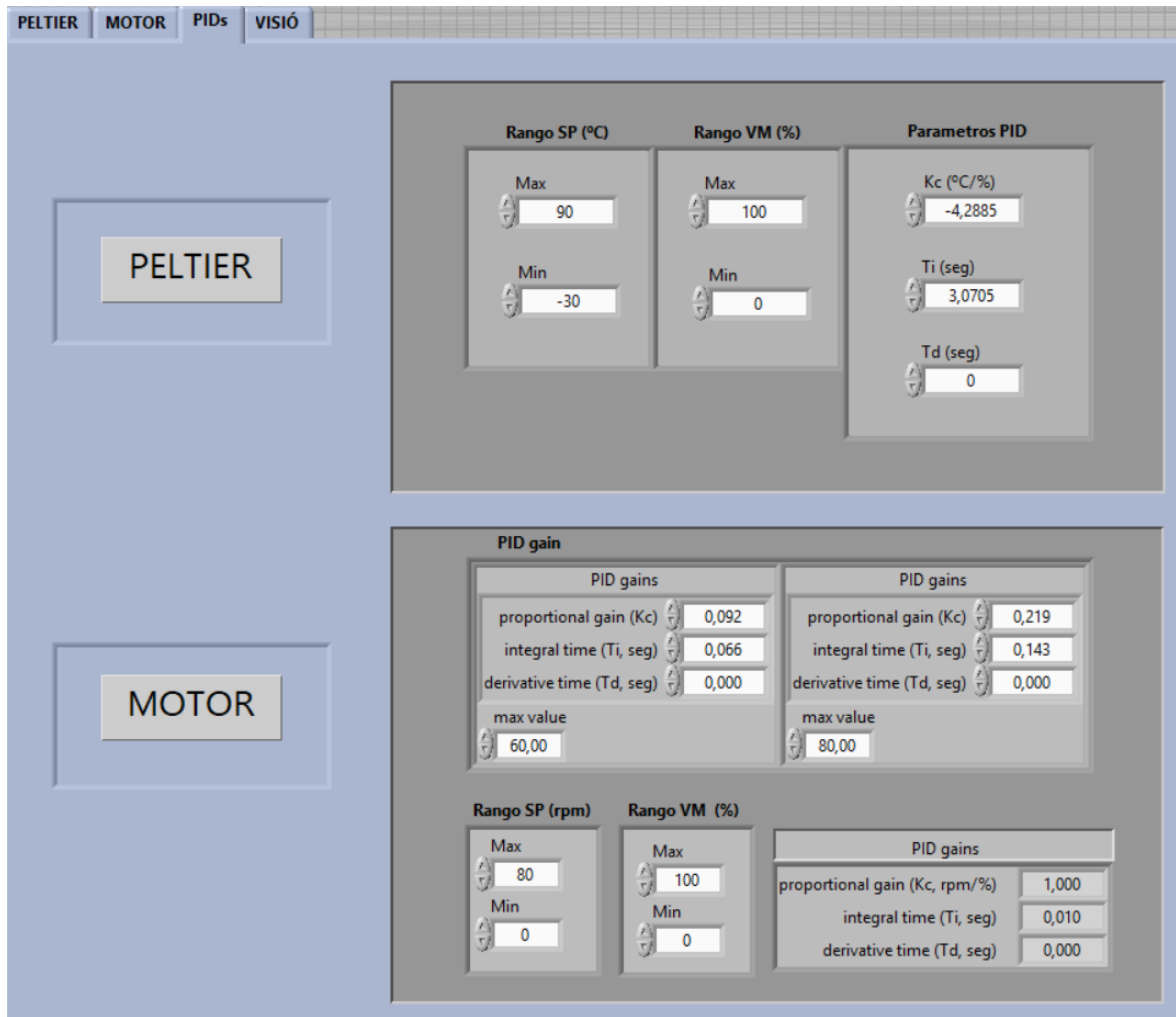


Figura 63. Pantalla PIDs HMI

Pel que respecta a la pantalla de visió, es pot veure el que està capturant la càmera en temps real, el rang de la imatge que està sent processada i els valors de l'espectre de colors amb llums LED que indiquen quin color s'està detectant. També hi ha un apartat per a modificar l'angle de gir vertical de la càmera.

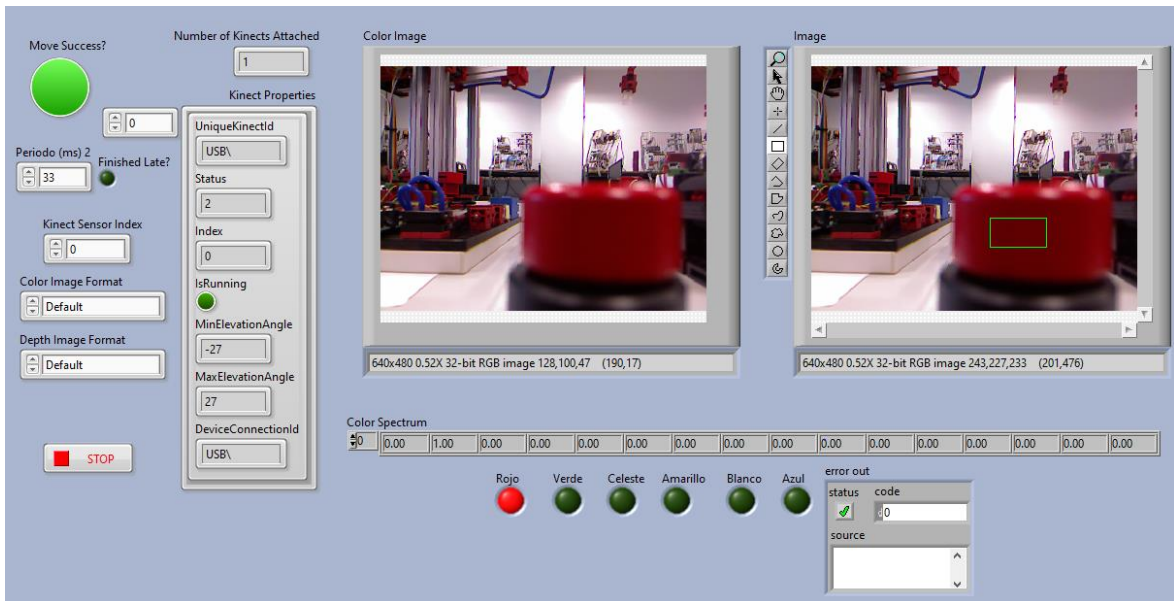


Figura 64. Pantalla Visió HMI

Finalment, es tenen els botons de “Marcha”, per a donar inici als programes de la cinta i el braç, i “Paro”, per a detindre el funcionament de la cinta i un comptador que porta el registre del nombre de peces mecanitzades.

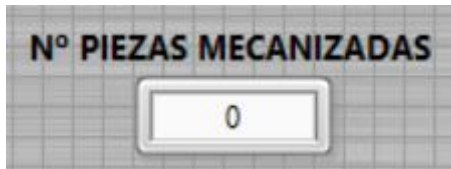


Figura 65. Comptador de peces mecanitzades



Figura 66. Botons de marxa i atur HMI.

Aquest comptador funciona gràcies a un tros de codi programat a SoMachine a un POU amb llenguatge ladder.

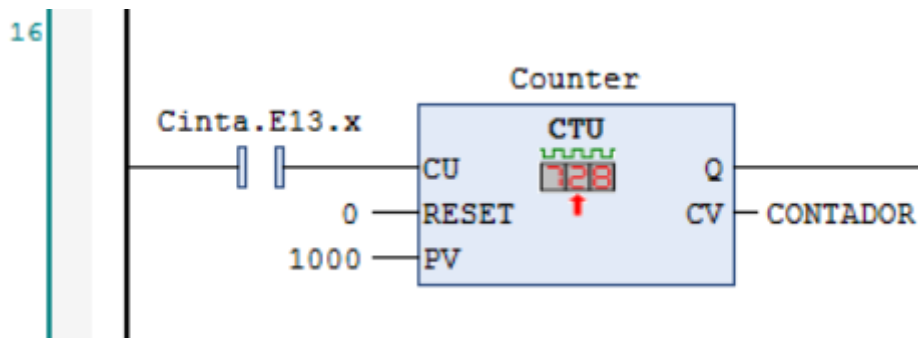


Figura 67. Comptador a SoMachine.

3.5 Comunicacions

La part de comunicacions del projecte és una peça clau per al seu correcte funcionament. Les comunicacions permeten als autòmats i a l'ordinador intercanviar informació entre si.

Per a que els autòmats puguin intercanviar-se informació, s'utilitza l'explorador d'entrades i eixides de Unity Pro mitjançant Ethernet amb el protocol Modbus TCP/IP. Per a comunicar-se mitjançant este mètode, un dels PLCs ha d'actuar com a client i l'altre com a servidor, de manera que sols el client pot iniciar els intercanvis d'informació.

En aquest cas, el TSX Premium actuarà com a client, llegint a les direccions de memòria de dos variables al M241 el qual serà el servidor. Aquestes variables seran la que indica al braç que hi ha una peça disponible per a transportar al magatzem i la de marxa per a iniciar l'automatisme.

	Dirección IP	ID de unidad	Timeout de perturbación (ms)	Velocidad de repetición (ms)	LEER Objeto maestro	LEER índice de esclavo	LEER longitud	Último valor (entrada)	ESCRIBIR Objeto maestro	ESCRIBIR índice de esclavo	ESCRIBIR longitud
1	172.16.131.104	255	1500	60	%Mw13	11	1	Mantener último	%Mw0	0	0
2	172.16.131.104	255	1500	60	%Mw14	0	1	Mantener último	%Mw0	0	0
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											

Figura 68. Exploració entrades/eixides UnityPro

L'altra part de les comunicacions és la dels PLCs amb l'HMI que es troba a LabVIEW. Aquest intercanvi d'informació es realitza mitjançant un servidor OPC.

OPC és una tecnologia de comunicació amb arquitectura client servidor. Una aplicació actua de servidor proporcionant dades i un altra com a client llegint-los o manipulant-los. OPC és amb molta diferència la tecnologia de comunicació industrial estàndard. L'avantatge que té aquesta tecnologia és que possibilita la comunicació continua en temps real encara que el hardware i el software provinga de diferents fabricants. [11]

Per a la creació del servidor es fa ús del software KEPServerEX. El primer pas dins del programa serà la creació d'un canal on s'especifica que el driver del dispositiu correspon amb Modbus TCP/IP. Després s'inclouen els dispositius que es comunicaran amb el servidor. En el cas d'aquest projecte, sols s'inclou l'autòmat M241 amb tipus de model Applicom i com a submodel, s'identifica en el programa com a TSX Premium. A més s'inclou la seua direcció IP. Finalment, amb el dispositiu ja inclòs, s'agregen les variables amb les direccions de memòria que es tenen al programa de SoMachine.

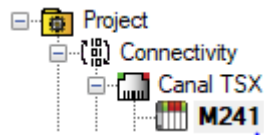


Figura 69. Projecte, canal i dispositiu servidor OPC

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
COLOR	%MW00001.1	Boolean	100	None
Contador	%MW00036	Word	100	None
CONTROL_OFF	%MW00000.15	Boolean	100	None
FIN	%MW00000.13	Boolean	100	None
Fresado	%MW00001.5	Boolean	100	None
FresON	%MW00000.12	Boolean	100	None
KP	%MW00004	Word	100	None
MANUAL	%MW00000.11	Boolean	100	None
Marcha	%MW00000.0	Boolean	100	None
MODO	%MW00001.2	Boolean	100	None
Paro	%MW00000.10	Boolean	100	None
Periodo	%MW00028	Word	100	None
RESET	%MW00001.3	Boolean	100	None
SP	%MW00016	Word	100	None
TaladrON	%MW00000.14	Boolean	100	None
TD	%MW00060	Word	100	None
TI	%MW00010	Word	100	None
VC	%MW00034	Word	100	None
Y	%MW00026	Word	100	None
Y_MANUAL	%MW00020	Word	100	None

Figura 70. Variables al servidor OPC

Per a poder incloure les variables compartides al programa de l'HMI, es necessita crear un projecte dins de LabVIEW. A aquest s'afegirà el programa de l'HMI junt a dos llibreries. La primera llibreria contindrà el servidor OPC creat anteriorment, mentre que en la segona estaran les variables compartides que es vullguen afegir al programa. Una vegada afegides a la llibreria, s'inclouran al programa arrastrant-les des del projecte.

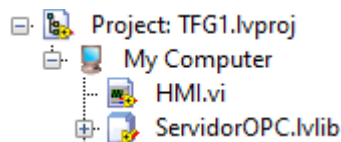


Figura 71. Projecte a LabVIEW

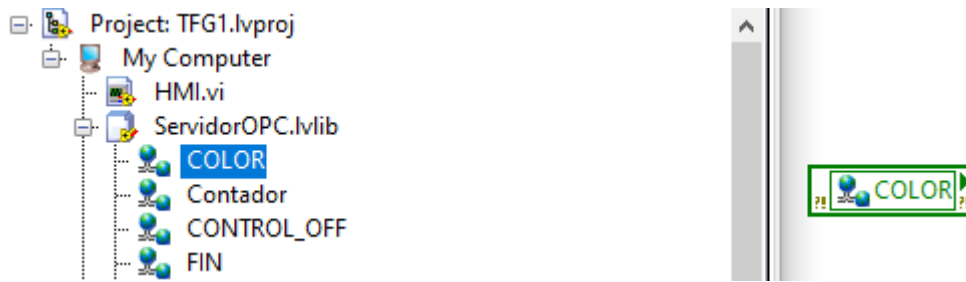


Figura 72. Variable compartida a LabVIEW

3.6 Integració dels controladors

Com s'ha comentat en apartats anteriors, s'utilitzaran dos mètodes d'integració dels controladors PI dissenyats, per a així vore diferents formes de realitzar esta tasca. El primer mètode es porta a cap amb el controlador de la Peltier i consisteix en la seua integració dins del programa de LabVIEW. Per a fer açò, es crea una funció PID com s'ha vist a la Figura 27. Aquesta funció rebrà de l'usuari a través de l'HMI la variable manipulada per a mode manual i el valor del setpoint per a mode automàtic, a més del període, el rang del setpoint, el rang de la variable manipulada i els paràmetres del PI. De la targeta d'adquisició de dades obtindrà el valor de la variable controlada.

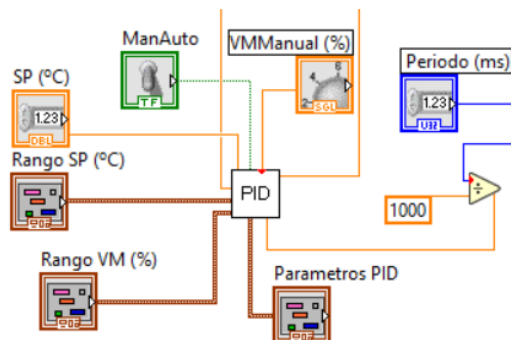


Figura 73. Entrades i eixides PI

Per al cas del controlador del motor, estarà integrats dins del PLC M241 al software de SoMachine. El PLC llegirà directament la senyal de la variable controlada del motor sense necessitat de la targeta d'adquisició de dades i li enviarà la eixida del PI, mitjançant les entrades i eixides analògiques físiques dels mòduls, que guardarà en variables amb direcció %IW i %QW respectivament. El rang de tensió d'aquestes variables està entre 0 i 10 volts. Aquests valors s'emmagatzemen de forma predeterminada a una variable tipus INT de 2^{16} bits de memòria. Açò es modifica per a que s'utilitzen sols 10000 bits, de manera que el valor de tensió varie en forma de mV.

Parámetro	Tipo	Valor	Valor predeterminado	Unidad	Descripción
Entradas					
IW0					
Type	Enumeration of BYTE	0 - 10 V	No se utiliza		Modalidad derango
Minimum	INT(-32768...9999)	0	-32768		Valor mínimo
Maximum	INT(1...32767)	10000	32767		Valor máximo
Salidas					
QW0					
Type	Enumeration of BYTE	0 - 10 V	No se utiliza		Modalidad derango
Minimum	INT(-32768...9999)	0	-32768		Valor mínimo
Maximum	INT(1...32767)	10000	32767		Valor máximo

Figura 74. Entrades i eixides analògiques mòduls M241.

Per a poder canviar des de l'HMI el valor del setpoint, del període, els rangs, els paràmetres del PI i la variable manipulada manual, es fa ús del servidor OPC que s'encarrega de compartir aquestes variables de LabVIEW a SoMachine i de forma inversa amb la variable manipulada que el PI té com a eixida.

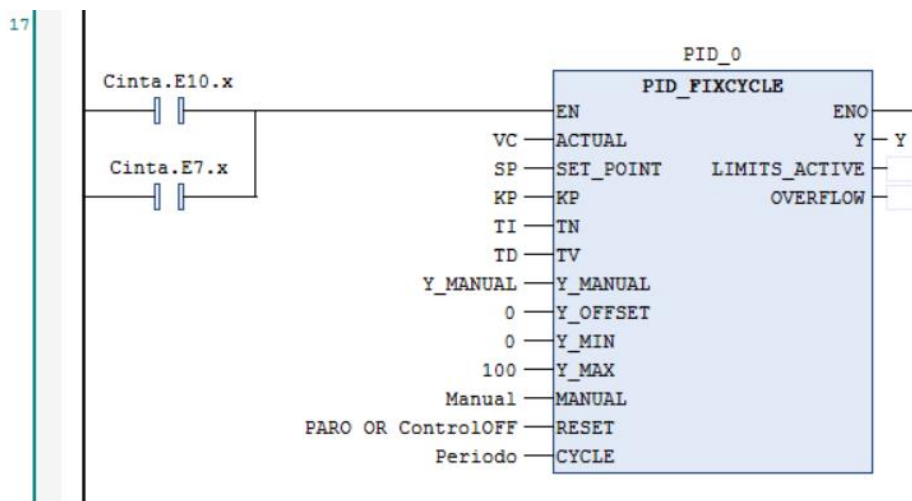


Figura 75. PI a SoMachine

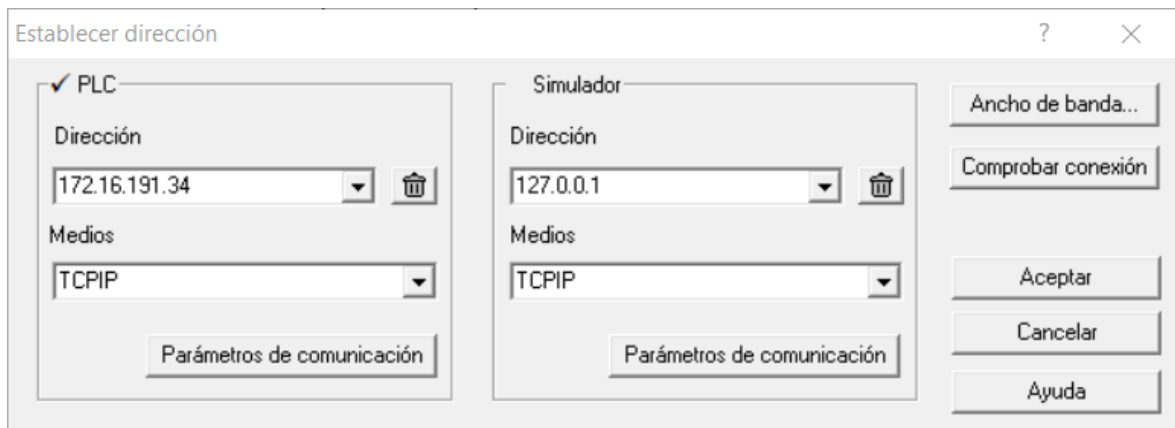


Figura 77. Introducció direcció IP autòmat TSX Premium a UnityPro.

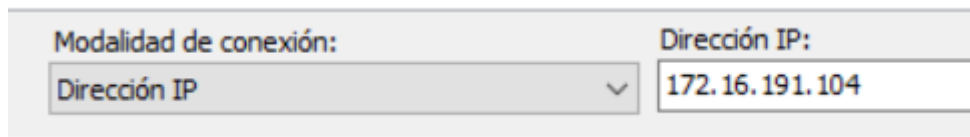


Figura 78. Introducció direcció IP autòmat M241 SoMachine.

A continuació, es connecten els programes als PLCs, es transfereix l'automatisme en el cas del UnityPro i es dona al botó run per a iniciar les seqüències.



Figura 79. Connectar amb PLC a UnityPro



Figura 80. Transferir projecte i run a UnityPro



Figura 81. Connectar amb PLC a SoMachine



Figura 82. Run a SoMachine

Finalment, s'obri l'HMI dins del projecte de LabVIEW creat, que conté el servidor OPC amb les variables compartides, se li dona a run i al botó de marxa del HMI.



Figura 83. Run al HMI a LabVIEW.

4.3 Resultats

Una vegada realitzat tot el muntatge i tots els programes estan en run, se simula el procés amb les maquetes i s'observen els següents resultats.

Pel que fa al control de la temperatura de l'equip de refrigeració, podem vore a la figura de baix que la temperatura s'estableix als 0°C tal com s'havia dissenyat, i que s'estableix abans dels 6 segons sense sobreoscil·lació.

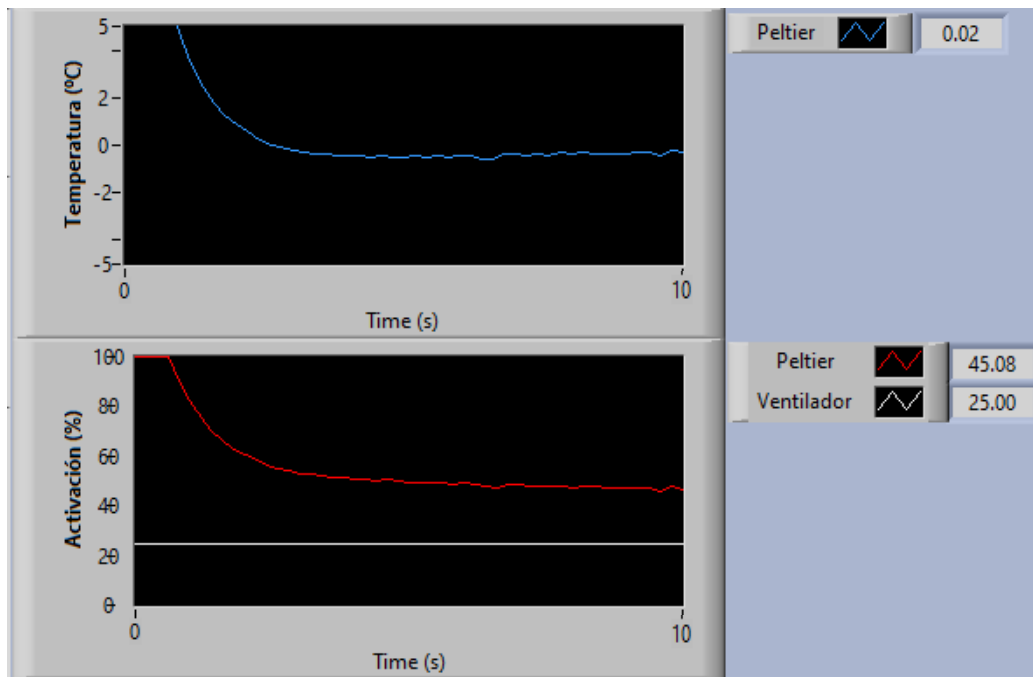


Figura 84. Resultats placa Peltier

En quant als controls del motor, se supervisen els valors de la variable controlada i la manipulada mitjançant traces a SoMachine. Es pot comprovar que tenen error de posició nul i que el temps d'establiment és inferior als 2 segons, que és el que es buscava. S'observa, que a diferència de a la simulació a Matlab, apareix una lleugera sobreoscil·lació. Com ja s'ha comentat abans, açò no importa, ja que no influeix en el acabat de la peça.

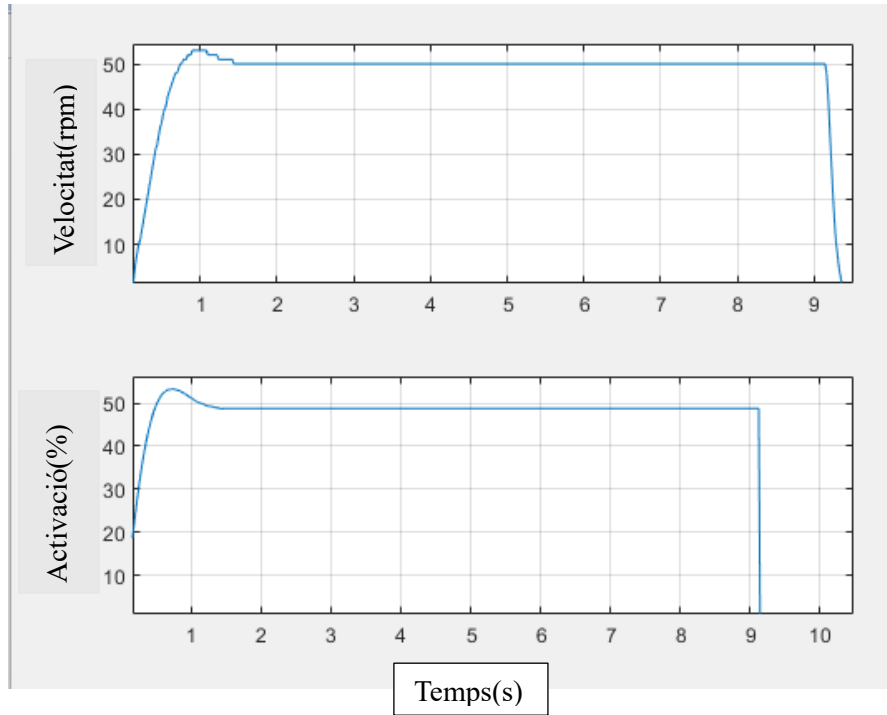


Figura 85. Resultats motor 50 rpm

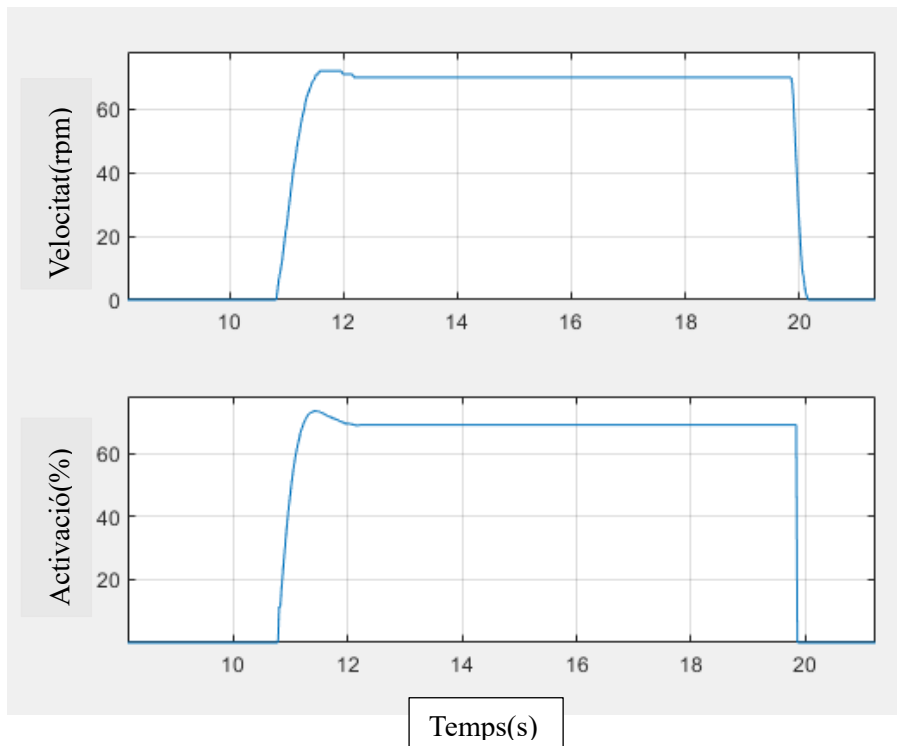


Figura 86. Resultats motor 70 rpm

En quant al moviment del braç, té la precisió suficient per a traslladar les peces adequadament i la cinta també presenta un funcionament correcte.

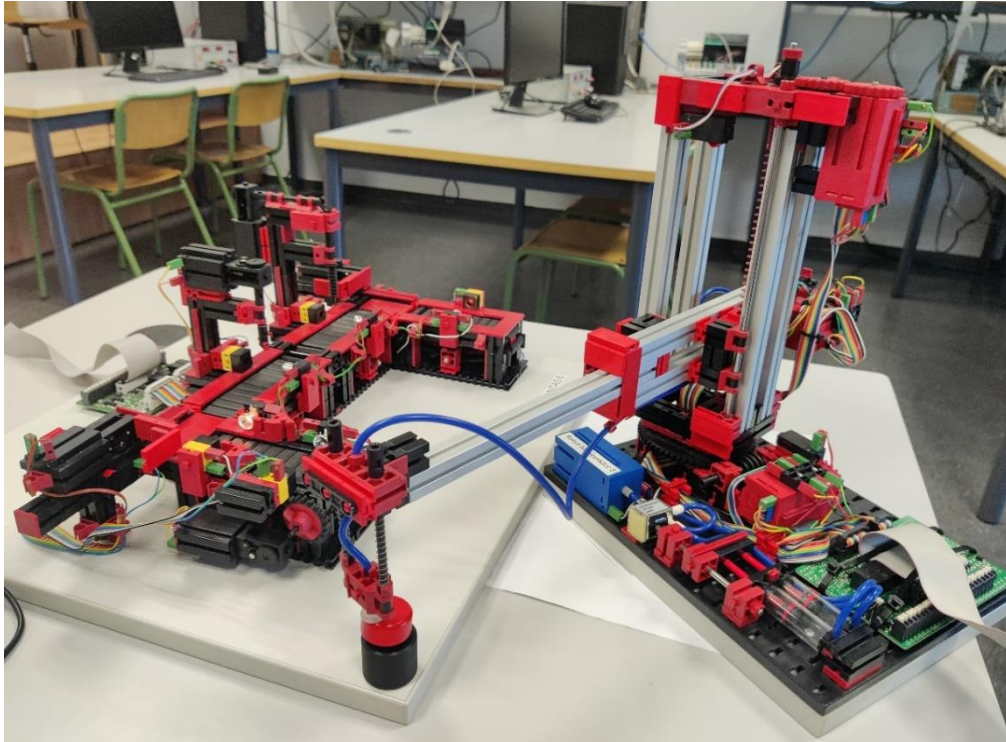


Figura 87. Maquetes en funcionament.

5. CONCLUSIONS

Tal i com s'ha pogut comprovar al llarg del treball, i amb una posterior prova al laboratori amb tot l'equip necessari, es conclou que s'han complit els objectius inicialment establerts de disseny dels controladors i d'automatització del procés de mecanitzat.

Per la part d'identificació i control, els tres models obtinguts són d'un pol sense retard. El model de la Peltier té K_p negativa, ja que hi ha una relació inversa entre la tensió aplicada i la temperatura. En quant al model del motor, té una dinàmica més ràpida que la Peltier. Dir que el comportament del procés és bastant lineal, ja que els paràmetres del model a 50 rpm i els de 70 rpm són pràcticament iguals. Els controls s'han dissenyat satisfactòriament respecte a les especificacions demandades i han quedat validats correctament.

La utilització de maquetes és de gran ajuda per comprovar el correcte funcionament del projecte, evitant així el risc de fer les proves amb els equips reals i amb un cost reduït.

Realitzar aquest tipus de control amb PLCs és una solució molt avantatjosa pel fet de que es pot programar el funcionament d'una manera fàcil i ràpida, i ja que són dispositius que ofereixen una resposta veloç, precisa i segura davant d'entrades i eixides analògiques i digitals.

La part de comunicacions és necessària en qualsevol projecte que es compose de diversos equips com PLCs i HMIs, i el servidor OPC és una ferramenta indispensable per aquest tipus de projectes, degut a la seua versatilitat per poder comunicar dispositius de diferents fabricants amb diferents softwares entre si.

S'han après diverses formes d'integrar controladors, una mitjançant l'ordinador amb una targeta d'adquisició de dades i l'altra amb un autòmat programable. Dir que la segona alternativa resulta més senzilla de portar a cap i dona una resposta més robusta al sistema.

També s'han vist softwares molt utilitzats a les indústries com són LabVIEW per a programar d'una manera més visual, i Matlab per a al modelatge de funcions de transferència de processos reals i disseny dels seus controladors.

Com a alumne, el meu objectiu amb aquest TFG era continuar amb l'aprenentatge sobre control i automatització de sistemes, i una vegada acabat, puc dir que ha sigut una experiència molt enriquidora, i ja no tan sols per l'après, sinó també perquè d'alguna manera ha fet que tinga més clar cap a on vull orientar el meu futur professional.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] K. J. Aström, T. Hägglund. Ed. Prentice Hall, 2009. Control PID Avanzado [en línea] Kupdf. Disponible en: https://kupdf.net/download/control-pid-avanzado-karl-j-strm-tore-hgglund_5a8b41e8e2b6f54a7a6d41b3_pdf
- [2] K. J. Aström, T. Hägglund. Instrument Society of America Research Triangle Park : Instrument Society of America cop, 1995. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. 2nd Edition. [en línea] WordPress. Disponible en: <https://aiecp.files.wordpress.com/2012/07/1-0-1-k-j-astrom-pid-controllers-theory-design-and-tuning-2ed.pdf>
- [3] K. J. Aström, B. Wittenmark. Ed: Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1997 3rd. Computer controlled systems : Theory and design [en línea] Academia.edu. Disponible en: https://www.academia.edu/37044747/Computer_Controlled_Systems_Astrom_3rdEdition
- [4] Fischertechnik, 2023. Manipulador de aspiración al vacío 24 V. [en línea] Fischertechnik. Disponible en: <https://www.fischertechnik.de/es-es/productos/industria-y-universidades/modelos-de-entrenamientos/536630-manipulador-de-aspiracion-al-vacio-24v>
- [5] Fischertechnik, 2023. Cadena de producción con 2 estaciones de mecanizado 24V – Simulación. [en línea] Fischertechnik. Disponible en: <https://www.fischertechnik.de/es-es/productos/industria-y-universidades/modelos-de-entrenamientos/96790-cadena-de-produccion-con-2-estaciones-de-mecanizado-24v-simulacion>
- [6] Wikipedia, 2022. Refrigeración termoeléctrica. [en línea] Wikipedia. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n_termoel%C3%A9ctrica
- [7] E. Montijano Muñoz, n.d. La cámara Microsoft Kinect. [en línea] Zagan – Universidad de Zaragoza. Disponible en: https://zagan.unizar.es/record/12845/files/TAZ-PFC-2013-649_ANE.pdf
- [8] GlobalSpec, n.d. Data Acquisition Computer Boards Information. [en línea] GlobalSpec. Disponible en: https://www.globalspec.com/learnmore/data_acquisition_signal_conditioning/data_acquisition_products/data_acquisition_computer_boards#:~:text=Data%20acquisition%20computer%20boards%2C%20also,%2C%20modules%2C%20relays%20or%20sensors.
- [9] GSL Industrias, 2021. Lenguajes de programación PLC. [en línea] GSL Industrias. Disponible en: <https://industriagsl.com/blogs/automatizacion/lenguajes-de-programacion-plc>
- [10] COPADATA, n.d. ¿Qué es una HMI? [en línea] COPADATA. Disponible en: <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copadata/#:~:text=HMI%20son%20las%20siglas%20de,para%20las%20de%20entornos%20industriales.>
- [11] Logitek Team, 2019. Qué es OPC y qué es un OPC Server. [en línea] Kepware. Disponible en: <https://www.kepserverexopc.com/que-es-opc-y-que-es-un-opc-server/>
- [12] Wikipedia, 2023. Objetivos de Desarrollo Sostenible. [en línea] Wikipedia. Disponible en: [Objetivos de Desarrollo Sostenible - Wikipedia, la enciclopedia libre](https://es.wikipedia.org/wiki/Objetivos_de_Desarrollo_Sostenible)
- [13] AENOR, 2023. Buscador de normas. [en línea] AENOR. Disponible en: <https://tienda.aenor.com/normas/buscador-de-normas>
- [14] J. Piedrafita, Ed. Ra-Ma, 1999. Ingeniería de la automatización industrial. [en línea] Grupo editorial ra-ma. Disponible en: https://www.ra-ma.es/libro/ingenieria-de-la-automatizacion-industrial-2a-edicion-ampliada-y-actualizada_141809/
- [15] García Moreno, Emilio, 2020. Automatización de Procesos Industriales. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. [en línea] La Llibreria UPV. Disponible en: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8e93e52-34be-44c8-a377-364b03b76cfd/TOC_6607_01_01.pdf?guest=true

PRESSUPOST

1. Introducció

En aquesta part es comptabilitzaran els preus de tot el que s'ha requerit per a realitzar aquest projecte, com són el material utilitzat, el software i la mà d'obra. En les taules a continuació, es poden veure tant els preus generals, com apartats més detallats.

Afegir que no es tindrà en compte el preu de la instal·lació real que un client hauria d'adquirir per a portar a cap el procés de mecanització plantejat.

2. Quadre de preus del servici i material

2.1 Hardware

Per a les amortitzacions es considera un període de cinc anys amb un ús diari de quatre hores. Sols es consideraran com a amortització els ordinadors, ja que els PLCs s'entregaran al client i tant les maquetes com el motor i la placa Peltier són exclusius per a aquest projecte i es considera que no se'ls donarà més ús en un futur.

Amortitzacions:

- Ordinador laboratori = $\frac{\text{base amortització (€)}}{\text{vida útil (h)}} = \frac{650}{5 \cdot 365 \cdot 4} = 0,09\text{€/h}$
- Portàtil = $\frac{\text{base amortització (€)}}{\text{vida útil (h)}} = \frac{806}{5 \cdot 365 \cdot 4} = 0,11\text{€/h}$

MATERIAL	UNITAT	PREU (€/h)	RENDIMENT	IMPORT (€)
M241 de Schneider	u	530,68	1	530,68
Mòdul TMC4AI2	u	380	1	380
Mòdul TMC4AQ2	u	185	1	185
TSX Premium de Schneider	u	2300	1	2300
Mòdul TSX PSY 2600M	u	490	1	490
Mòdul TSX DMY 28FK	u	480	1	480
Càmera Kinect	u	25	1	25
Maqueta braç Fischertechnik	h	1.113,2	1	1.113,2
Maqueta cinta Fischertechnik	h	1.113,2	1	1.113,2
Motor corrent contínua	h	4675,44	1	4675,44
Placa Peltier amb ventilador	h	800	1	800
Ordinador laboratori	h	0,09	120	10,8
Portàtil	h	0,11	80	8,8

Taula 4. Material hardware

2.2 Software

Tots els programes utilitzats es consideren com a cost d'amortització, exceptuant KEPServerEX, ja que és necessari tindre'l instal·lat per a poder utilitzar el servidor OPC i SoMachine que és gratuït. Com a amortització s'estima que els softwares s'utilitzen una mitja de 5 hores diàries a la setmana, el que son 1825 hores anuals.

SOFTWARE	PREU LLICÈNCIA (€/any)
LabVIEW	536
UnityPro	1.877
KEPServerEX	1.241,29
Microsoft Office 365	69
SoMachine	0
Matlab	860

Taula 5. Llicències software

DESCRIPCIÓ	UNITAT	PREU UNITARI (€/h)	RENDIMENT	IMPORT (€)
LabVIEW	h	0,3	40	12
UnityPro	h	1,03	20	20,6
KEPServerEX	u	1.241,29	1	1.241,29
Microsoft Office 365	h	0,04	75	3
SoMachine	h	0	15	0
Matlab	h	0,48	20	9,6
			TOTAL	1.286,49

Taula 6. Material software

3. Preus unitaris

DESCRIPCIÓ	IMPORT (€)
Estudi d'alternatives	75,55
Disseny dels controladors	6.106,64
Disseny i automatització del procés	7.228,58
Creació de l'HMI	459,6
Redacció del document del projecte	1.136,25
TOTAL	15.006,62

Taula 7. Taula preus unitaris

4. Preus descompostos

Estudi d'alternatives

DESCRIPCIÓ	UNITAT	PREU UNITARI	RENDIMENT	IMPORT (€)
Graduat en enginyeria en tecnologies industrials	h	15	5	75
Portàtil	h	0,11	5	0,55
			TOTAL	75,55

Taula 8. Preu descompost 1

Disseny dels controladors

DESCRIPCIÓ	UNITAT	PREU UNITARI	RENDIMENT	IMPORT (€)
Graduat en enginyeria en tecnologies industrials	h	15	40	600
Ordinador laboratori	h	0,09	40	3,6
Motor corrent continua	u	4675,44	1	4675,44
Placa Peltier amb ventilador	u	800	1	800
Tècnic laboratori	h	12	1	12
Matlab	h	0,48	20	9,6
LabVIEW	h	0,3	20	6
			TOTAL	6.106,64

Taula 9. Preu descompost 2

Disseny i automatització del procés

DESCRIPCIÓ	UNITAT	PREU UNITARI	RENDIMENT	IMPORT (€)
Graduat en enginyeria en tecnologies industrials	h	15	40	600
Ordinador laboratori	h	0,09	40	3,6
TSX Premium de Schneider	u	1.022,3	1	1.022,3
Mòdul TSX PSY 2600M	u	490	1	490
Mòdul TSX DMY 28FK	u	480	1	480
M241 de Schneider	u	530,68	1	530,68
Mòdul TMC4AI2	u	380	1	380
Mòdul TMC4AQ2	u	185	1	185
Tècnic laboratori	h	12	2	24
SoMachine	h	0	15	0
UnityPro	h	1,03	20	20,6
Càmera Kinect	u	25	1	25
Maqueta braç Fischertechnik	u	1.113,2	1	1.113,2
Maqueta cinta Fischertechnik	u	1.113,2	1	1.113,2
KEPServerEX	u	1.241,29	1	1.241,29
			TOTAL	7.228,58

Taula 10. Preu descompost 3

Creació de l'HMI

DESCRIPCIÓ	UNITAT	PREU UNITARI	RENDIMENT	IMPORT (€)
Graduat en enginyeria en tecnologies industrials	h	15	30	450
Ordinador laboratori	h	0,09	40	3,6
LabVIEW	h	0,3	20	6
			TOTAL	459,6

Taula 11. Preu descompost 4

Redacció del document del projecte

DESCRIPCIÓ	UNITAT	PREU UNITARI	RENDIMENT	IMPORT (€)
Graduat en enginyeria en tecnologies industrials	h	15	75	1125
Portàtil	h	0,11	75	8,25
Microsoft Office 365	h	0,04	75	3
			TOTAL	1.136,25

Taula 12. Preu descompost 5

5. Pressupost d'execució i per contracta

Pressupost d'Execució Material	15.006,62
13% Despeses Generals	1.950,86
6% Benefici Industrial	900,4
Pressupost d'Execució per Contracta	17.857,88
21% IVA	3.750,15
Pressupost Base de Licitació	21.608,03

Taula 13. Pressupost

VINT-I-UN MIL SIS-CENTS HUIT EUROS AMB TRES CÈNTIMS

ANNEX 1: DECLARACIÓ DE VARIABLES

1. Introducció

A aquest annex es troben les variables utilitzades al llarg de tot el projecte, tant al software UnityPro com a SoMachine. A les figures a continuació es pot veure el nom de cada variable, el tipus de dada que és, la direcció de memòria on es troba emmagatzemada i una breu descripció de les seues característiques.

2. Variables a UnityPro

Aquestes variables són les encarregades del correcte funcionament del braç robòtic.

● B1	EBOOL	%I0.2.0	Pulsos encoder moviment vertical
● B3	EBOOL	%I0.2.1	Pulsos encoder moviment horitzontal
● B5	EBOOL	%I0.2.2	Pulsos encoder moviment de gir
● I1	EBOOL	%I0.2.4	Final de carrera moviment vertical
● I2	EBOOL	%I0.2.5	Final de carrera moviment horitzontal
● I3	EBOOL	%I0.2.6	Final de carrera moviment de gir
● Marcha	BOOL	%MW0.0	Activa l'automatisme
● Q1	EBOOL	%Q0.2.16	Motor moviment vertical cap amunt
● Q2	EBOOL	%Q0.2.17	Motor moviment vertical cap avall
● Q3	EBOOL	%Q0.2.18	Motor moviment horitzontal cap avant
● Q4	EBOOL	%Q0.2.19	Motor moviment horitzontal cap arere
● Q5	EBOOL	%Q0.2.20	Motor moviment de gir horari
● Q6	EBOOL	%Q0.2.21	Motor moviment de gir antihorari
● Q7	EBOOL	%Q0.2.22	Habilitar compressor
● Q8	EBOOL	%Q0.2.23	Succió ventosa
● Q9	EBOOL	%Q0.2.24	Habilitar senyals d'entrada del procés
● CuentaGiro	INT		Emmagatzema el valor dels pulsos de l'encoder del moviment de gir
● CuentaHorizontal	INT		Emmagatzema el valor dels pulsos de l'encoder del moviment horitzontal
● CuentaVertical	INT		Emmagatzema el valor dels pulsos de l'encoder del moviment vertical

Figura 88. Taula variables UnityPro

3. Variables a SoMachine

Aquestes són les encarregades del funcionament de la cinta i del HMI.

	Nombre	Direcció	Tipo de datos	Comentario
1	E1F	%IX0.0	BOOL	Final de carrera frontal del empenyedor 1
2	E1T	%IX0.1	BOOL	Final de carrera de darrere del empenyedor 1
3	E2F	%IX0.2	BOOL	Final de carrera frontal del empenyedor 2
4	E2T	%IX0.3	BOOL	Final de carrera de darrere del empenyedor 2
5	LUZ_E1	%IX0.4	BOOL	Fototransistor empenyedor 1
6	LUZ_FRES	%IX0.5	BOOL	Fototransistor fresadora
7	LUZ_INICIO	%IX0.6	BOOL	Fototransistor estació de carrega
8	LUZ_TAL	%IX0.7	BOOL	Fototransistor trepant
9	LUZ_FIN	%IX1.0	BOOL	Fototransistor punt de recollida
10	AV1	%QX0.4	BOOL	Motor empenyedor 1 cap avant
11	RE1	%QX0.5	BOOL	Motor empenyedor 1 cap arrere
12	AV2	%QX0.6	BOOL	Motor empenyedor 2 cap avant
13	RE2	%QX0.7	BOOL	Motor empenyedor 2 cap arrere
14	CINTA1	%QX1.0	BOOL	Motor cinta transportadora d'alimentació
15	CINTA2	%QX1.1	BOOL	Motor cinta transportadora de la fresadora
16	FRESADORA	%QX1.2	BOOL	Activa el motor de la fresadora
17	CINTA3	%QX1.3	BOOL	Motor cinta transportadora trepant
18	TALADRADORA	%QX1.4	BOOL	Activa el trepant
19	CINTA4	%QX1.5	BOOL	Motor cinta transportadora d'eixida
20	HABILITAR	%QX1.6	BOOL	Habilita els sensors i els empenyedor
21	MARCHA	%MX0.0	BOOL	Activació de l'automatisme
22	PARO	%MX1.2	BOOL	Desactivació de l'automatisme
23	Manual	%MX1.3	BOOL	Activa el control manual del procés
24	FresON	%MX1.4	BOOL	Indica que la fresadora està en marxa
25	FIN	%MX1.5	BOOL	Indica que el perfil de referències ha acabat
26	TaladrON	%MX1.6	BOOL	Indica que el trepant està en marxa
27	ControlOFF	%MX1.7	BOOL	Indica que el control ha acabat
28	COLOR	%MX2.1	BOOL	Indica que una peça és de color roig
29	MODO	%MX2.2	BOOL	Activa el perfil de referències de fresat
30	RESET	%MX2.3	BOOL	Reseteja el perfil de referències
31	FRESADO	%MX2.5	BOOL	Indica si es realitza o no el fresat
32	PiezaTerminada	%MX22.0	BOOL	Indica al braç que hi ha una peça disponible per a recollir
33	KP	%MW4	WORD	Constant de proporcionalitat del controlador del motor
34	KP1	%MD6	REAL	Constant de proporcionalitat del controlador del motor
35	TI	%MW10	WORD	Constant d'integració del controlador del motor
36	TI1	%MD12	REAL	Constant d'integració del controlador del motor
37	TD	%MD60	REAL	Constant derivativa del controlador del motor
38	SP	%MW16	WORD	Setpoint
39	SP1	%MD18	REAL	Setpoint
40	Y	%MD22	REAL	Valor de la variable manipulada del controlador
41	Y1	%MW26	WORD	Valor de la variable manipulada del controlador

42	Periodo	%MW28	WORD	Període del controlador
43	PERIODO1	%MD30	REAL	Període del controlador
44	Y_MANUAL	%MD40	REAL	Valor de la variable manipulada del procés en mode manual
45	CONTADOR	%MW36	WORD	Indica el nombre de peces mecanitzades
46	VC	%MW34	WORD	Valor de la variable controlada
47	SalidaControl	%QW2	WORD	Valor de tensió en mV que el PLC envia al motor
48	EntradaVelocidad	%IW3	WORD	Valor de tensió en mV que llig el PLC del motor

Figura 89. Taula variables SoMachine

ANNEX 2: ODS

1. Introducció

Els objectius de desenvolupament sostenible són 17 objectius globals interconnectats dissenyats per aconseguir un futur millor i més sostenible per a tots. Van ser establerts en 2015 per l'Assemblea General de les Nacions Unides i es pretén assolir-los per a 2030. [12]

2. ODS

Objectius de Desenvolupament Sostenible	Alt	Mitjà	Baix	No procedeix
1 Fi de la pobresa.				X
2 Fam zero.				X
3 Salut i benestar.		X		
4 Educació de qualitat.				X
5 Igualtat de gènere.				X
6 Aigua neta i sanejament.				X
7 Energia assequible i no contaminant.				X
8 Treball decent i creixement econòmic.	X			
9 Indústria, innovació i infraestructures.		X		
10 Reducció de les desigualtats.				X
11 Ciutats i comunitats sostenibles.			X	
12 Producció i consum responsables.				X
13 Acció pel clima.		X		
14 Vida submarina.				X
15 Vida d'ecosistemes terrestres.				X
16 Pau, justícia i institucions sòlides.				X
17 Aliances per assolir objectius.				X

Taula 14. Relació del projecte amb els ODS

A la Taula 14 es poden veure els objectius de desenvolupament sostenible i el seu nivell de relació amb aquest projecte. Els que tenen un major nivell de afinitat són:

- **Salut i benestar:** Històricament han existit els accidents laborals i les professions de risc. Amb l'automatització i robotització, els treballs i les tasques més perillosos poden deixar de realitzar-se pels treballadors, augmentant la seua salut i seguretat.
- **Treball decent i creixement econòmic:** La automatització porta implícita la optimització dels processos de producció, i per tant, un augment del PIB a nivell mundial. A més, també actua com a suport dels treballadors augmentant la seua comoditat laboral.
- **Indústria, innovació i infraestructures:** Aquest ODS es relaciona amb el projecte perquè este està especialment pensat per a les indústries, concretament les d'elaboració de productes mitjançant processos de mecanitzat.
- **Ciutats i comunitats sostenibles:** Automatitzar processos podria obrir les portes al teletreball, ja que possibilitaria el control remot de les instal·lacions mitjançant comunicacions. Açò reduiria els desplaçaments dels treballadors i per tant el trànsit a les ciutats.
- **Acció pel clima:** A l'objectiu anterior s'ha dit que l'automatització podria contribuir a disminuir els desplaçaments. Per tant, també es reduirien les emissions de gasos d'efecte hivernacle. A més, al optimitzar els processos de producció, es requeriria una quantitat menor d'energia que amb els mètodes tradicionals.