

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol: Adaptació de les pràctiques de tecnologies d'automatització i control per tal de permetre control remot

Document: 1.Memòria

Alumne: Axel Person Sánchez

Tutor: Albert Figueres Coma

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: ESA

Convocatòria (mes/any): setembre / 2021

ÍNDIX

1. Introducció	3
1.1. Antecedents	3
1.2. Objecte.....	3
1.3. Especificacions i abast	4
2. infraestructura de la instal·lació.....	5
2.1. Mòdul de fabricació	5
2.2. Mòdul de foradament.....	6
2.3. Mòdul de control de qualitat.....	7
2.4. Mòdul de magatzem	8
2.5. Mòdul de paletització.....	9
2.6. Xarxa Ethernet	10
3. Adaptació de la instal·lació	11
3.1. Instal·lació de la monitorització visual.....	11
3.2. Instal·lació del sistema d'activació pneumàtic remot.....	12
3.3. Instal·lació d'un nou PLC per controlar aspectes comuns	13
3.4. Instal·lació del dispositiu de comunicació	14
4. Implementació de la connexió VPN	16
4.1. Configuració del router	16
4.2. Creació dels certificats	19
4.3. Configuració del servidor OpenVPN.....	20
4.4. Implementació del client OpenVPN per part dels usuaris	23
5. Programació i monitorització de forma remota.....	26
5.1. Establiment de la connexió online	26
5.2. Programació dels PLC.....	29
5.2.1. Programació del mòdul de fabricació	30
5.2.2. Programació del mòdul de foradament	32
5.2.3. Programació del mòdul de control de qualitat	34
5.2.4. Programació del mòdul del magatzem	35
5.2.5. Programació del mòdul de paletització.....	36
5.3. Monitorització a través de SCADA.....	37
5.3.1. Monitorització del mòdul de fabricació	38
5.3.2. Monitorització del mòdul de foradament.....	40
5.3.3. Monitorització del mòdul de control de qualitat.....	41
5.3.4. Monitorització del mòdul del magatzem	42
5.3.5. Monitorització del mòdul de paletització	44

5.3.6. Monitorització per alarmes	45
6. Resum del pressupost	46
7. Conclusions	47
8. Relació de documents	48
9. Bibliografia	49
10. Glossari	50

1. INTRODUCCIÓ

En el creixent món de la indústria 4.0, la possibilitat de programar, monitoritzar i controlar PLC a llarga distància ha permès un estalvi de temps i una comoditat a l'hora de treballar considerables.

Aleshores, aquest projecte està dedicat a simular aquestes condicions de treball remot a través de l'assignatura de tecnologies d'automatització i control, per tal que els alumnes disposin d'una primera experiència en aquest tipus d'entorn industrial.

1.1. Antecedents

Fins ara, l'assignatura de tecnologies d'automatització i control es realitzava de forma presencial al laboratori, interactuant amb les maquetes físicament, i només sent capaçs de realitzar modificacions de programa i monitoritzar el funcionament d'aquest de forma física.

A causa de la crisi sanitària de l'any 2019, però, les pràctiques del semestre no es varen poder realitzar de forma adequada. Es per aquest motiu que s'ha plantejat la possibilitat de realitzar aquestes pràctiques de forma no presencial.

Tot i que aquest és el motiu original per tal de realitzar aquest projecte, encara que es puguin realitzar les pràctiques de forma presencial també és interessant que els alumnes siguin capaçs de connectar-se als PLC remotament per tal de poder avançar feina o comprovar el funcionament correcte de la instal·lació.

1.2. Objecte

Aquest projecte té l'objecte d'adaptar les pràctiques per tal que els alumnes les puguin realitzar de forma no presencial. Per tal de permetre carregar el codi del PLC remotament, extreure informació d'aquest a través de SCADA, supervisar paràmetres de producció i crear un sistema d'alertes i notificacions, emulant d'aquesta manera el funcionament d'una indústria real.

Aleshores, s'enforçarà la programació i monitorització d'aquest sistema des del punt de vista de l'alumne al utilitzar aquesta nova configuració.

1.3. Especificacions i abast

L'abast del projecte és l'adaptació de les pràctiques, la xarxa i el programari dels PLC per tal de poder realitzar-se de forma remota. Per aquesta empresa es realitzarà un programa per testejar el funcionament d'aquest sistema, que inclourà el codi dels PLC i un SCADA per monitoritzar i actuar sobre les maquetes.

Es disposarà també, com a mesura de seguretat, de tres càmeres instal·lades a la localització del laboratori per tal de detectar errors en l'automatització i, en cas de detectar-se, poder activar un estat d'emergència que retorni el sistema a l'estat inicial, si aquesta correcció no es pogués realitzar, aleshores s'haurà d'avisar al personal encarregat del manteniment.

2. INFRAESTRUCTURA DE LA INSTAL·LACIÓ

La instal·lació a adaptar consta de cinc mòduls diferenciats, cadascun controlat per un PLC diferent i connectats a la mateixa subxarxa, cosa que permet la comunicació entre ells. Les funcions principals d'aquestes automatitzacions en l'àmbit de les pràctiques, així com la seva compatibilitat a nivell remot, es defineixen a continuació.

2.1. Mòdul de fabricació

La primera maqueta representa el procés de fabricació d'una peça, i el posterior catalogat entre bona o dolenta en funció del tipus. Aquesta creació de peça es simula utilitzant un ventilador potenciat a través d'un sistema PID, el qual utilitza els valors de la consigna introduïda per l'usuari i l'alçada del sensor de proximitat. Aquest mòdul es mostra en la següent figura 1 i es troba controlat per un PLC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC.



Figura 1. Mòdul de fabricació

Seguidament, un cop el procés de fabricació s'ha realitzat, es procedeix a catalogar la peça. Per tal de distingir el tipus de peça es disposa de tres sensors, un de tipus capacitatiu, un d'inductiu i un últim de tipus òptic, que classifiquen la peça en taronja, negre o metàl·lica.

Un cop conegut el tipus de peça, s'eleva la plataforma fins arribar al sensor resistiu d'altura, el qual comprova si l'altura de la peça es troba en un rang acceptable en funció tipus detectat. Si aquesta peça es troba dins del rang definit, s'expulsa immediatament mitjançant un pistó de simple efecte cap a la cinta superior, la qual disposa d'un motor que s'activa al entrar en aquest estat, i s'envia al dipòsit de peces acceptades situat al final de la cinta. En cas contrari, la plataforma baixa fins la posició inferior i expulsa la peça a la zona de rebuig.

Aquest mòdul disposa també d'una botonera amb polsador de marxa, polsador de reset, interruptor selector i polsador d'emergència. La plataforma de transport de peça es troba protegida per dos finals de cursa, inferior i superior. L'activació del sistema pneumàtic es realitza a través d'una vàlvula manual que deixa passar o no l'aire comprimit.

El disseny del PID es el procés més fàcil d'incorporar a nivell remot, ja que es un sistema tancat que no necessita noves peces per tal de realitzar la seva funció. La classificació de peces, en canvi, només pot ser realitzada una vegada amb aquesta configuració, ja que en el moment en que s'expulsa la peça de la plataforma, s'ha de depositar una altre en el seu lloc.

2.2. Mòdul de foradament

La segona maqueta consisteix en una zona de tractament de peces, aquesta rep les peces fabricades directament del mòdul anterior, ja que en aquest sistema el mòdul de fabricació es considera com que es troba connectat amb la cinta principal de la maqueta de foradament. Aquest mòdul es mostra en la següent figura 2 i es troba controlat per un PLC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC, el qual disposa de dos mòduls de setze entrades i sortides.

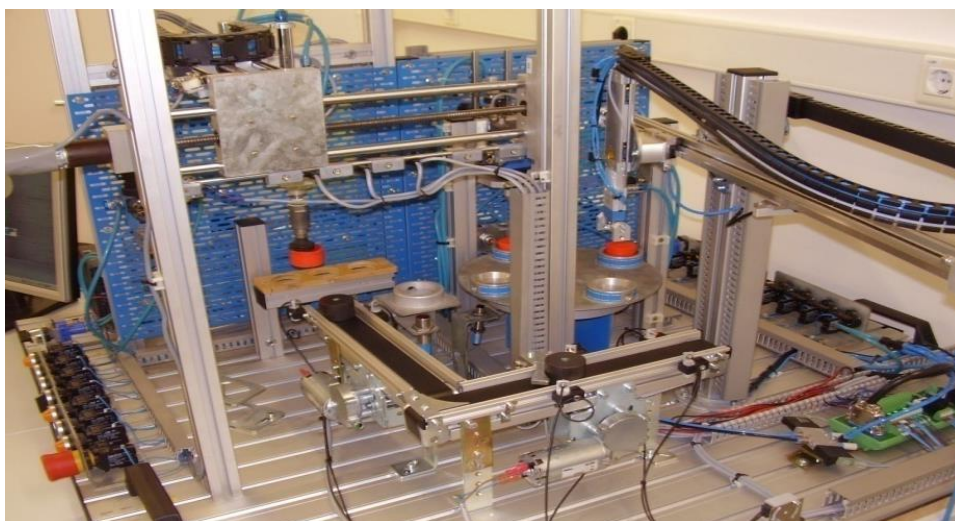


Figura 2. Mòdul de foradament

Aleshores, un cop rebuda una peça, indicat per el detector de barrera infraroja inicial, s'activen les cintes de transport i el procés es manté en espera fins que la peça arriba al detector de barrera final. Llavors es porta la peça mitjançant un braç mecànic, que disposa d'un motor de corrent continua per cada eix horitzontal, a la zona de tractament, on es realitza el foradament, la comprovació de forat i l'enviament al següent mòdul mitjançant una pinça mecànica.

Es disposa també, com es el cas del mòdul de fabricació, d'una botonera per accionament manual, així com finals de cursa per cada moviment, i diversos motors per moure la roda, el trepant, el comprovador i les cintes. L'activació del sistema pneumàtic es realitza a través d'una vàlvula manual que deixa passar o no l'aire comprimit.

En el cas d'aquesta maqueta, la implementació a nivell remot es relativament senzilla, però al ser un circuit tancat com en el cas anterior, si es perd la peça en una zona aliena al procés s'ha de tornar a col·locar manualment. Tot i així, al tractar-se d'un procés lineal, si la peça no es troba disponible es pot simular el seu trajecte a través de SCADA i les càmeres, es a dir, es pot comprovar el funcionament del procés activant les entrades corresponents a la posició on hauria d'estar la peça utilitzant la pantalla HMI.

2.3. Mòdul de control de qualitat

Aquest mòdul és l'encarregat de comprovar la quantitat de forats que disposa la peça, per realitzar aquesta tasca disposa d'un braç rotatori, el qual agafa la peça de la cinta i la diposita en la plataforma amb els sensors de detecció de forat. Un cop es troba en aquesta plataforma comprova si existeix forat en la primera cara i tot seguit la pinça agafa la peça i la posa del revés per tal de comprovar l'altre extrem. Aquest mòdul es mostra en la següent figura 3 i es troba controlat per un PLC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC amb un mòdul com l'anterior.

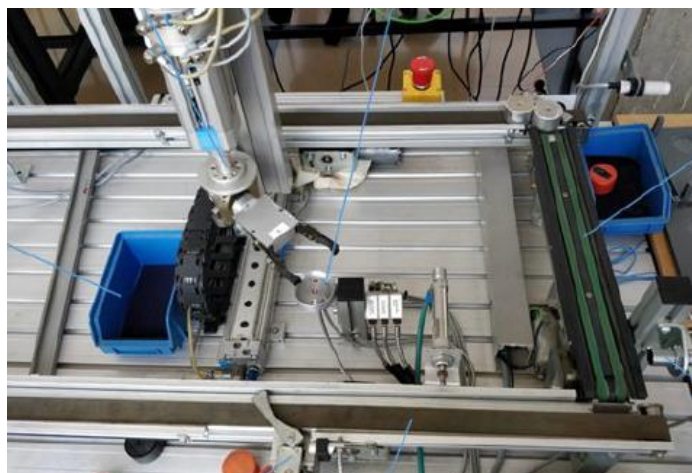


Figura 3. Mòdul de control de qualitat

Llavors, si s'ha detectat només un forat, en qualsevol extrem, s'envia la peça al següent mòdul, en cas que se'n detectin dos o cap, el braç envia la peça defectuosa al contenidor de rebuig. El mòdul de control de qualitat disposa de la mateixa botonera que en els casos anteriors. Com en el cas del mòdul de foradament, disposa de finals de cursa per cada moviment del braç. L'activació del sistema pneumàtic es realitza a través d'una vàlvula manual que deixa passar o no l'aire comprimit.

A l'hora de realitzar la implementació de forma no presencial el problema sorgeix a partir de les peces rebutjades, ja que no hi ha manera de tornar-les a les cintes principals, es a dir, si es vol comprovar el correcte funcionament d'aquest sistema, s'ha d'assegurar la presència de peces defectuoses. També es corre el mateix risc que en el procés de foradament, ja que el propi braç, si no es ben controlat, pot enviar les peces a zones inaccessibles per la maquinaria.

2.4. Mòdul de magatzem

El magatzem obté les peces de l'anterior automatització que han superat la comprovació de forats, aleshores, en arribar aquestes al primer sensor capacitatiu s'inicia el procés d'emmagatzematge, deixant passar la peça al següent punt de control. Un cop es torna a detectar a través del següent sensor capacitatiu, es comprova el tipus de peça mitjançant els sensors inductiu i òptic, i en funció del tipus de peça ha d'anar en una cinta o una altre, mentre es guarda la informació de la quantitat i tipus de peça disponibles per la següent automatització. Aquest mòdul es mostra en la següent figura 4 i es troba controlat per un PLC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC amb un mòdul d'entrades i sortides com l'anterior.

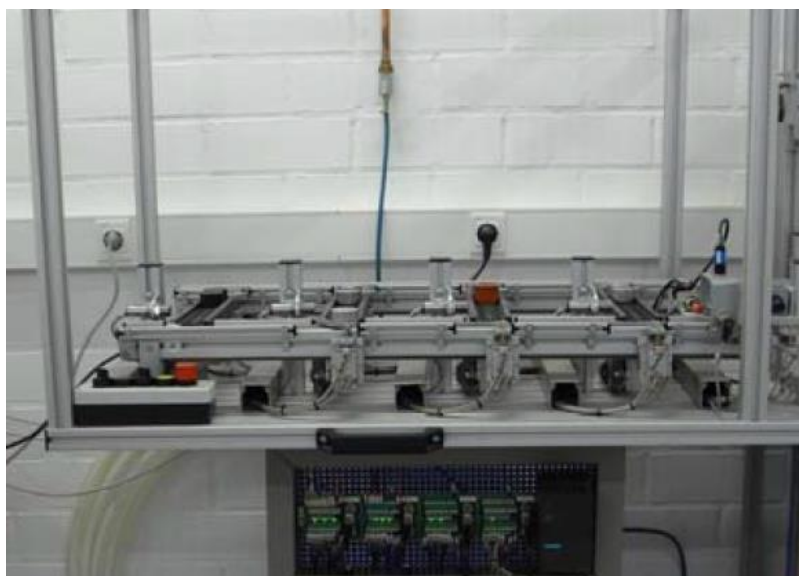


Figura 4. Mòdul de magatzem

Disposa d'una estructura formada per dos cintes comunes amb els altres mòduls i quatre cintes per emmagatzemar els tipus de peça. Per tal de realitzar la selecció de cinta s'utilitzen tres pistons de desviament, els quatre pistons de buidat de peça al final de cada cinta s'utilitzaren per enviar una peça específica al següent mòdul per petició d'aquest.

Existeixen quatre motors, un per cada cinta, activats per relé, cada cinta disposa també d'un sensor infraroig al seu inici i la botonera és la mateixa que en els mòduls anteriors. L'activació del sistema pneumàtic es realitza a través d'una vàlvula manual que deixa passar o no l'aire comprimit.

Aquest és el mòdul més compatible a nivell de desenvolupament remot, donat que no disposa de moviments mecànics que puguin acabar amb la peça fora de les cintes, a diferència del foradament. En canvi, els diversos pistons del mòdul si que poden comportar errors mecànics, com és el cas si un dels pistons de desviament no s'activa completament, deixant la peça a punt d'entrar a la cinta d'emmagatzematge.

2.5. Mòdul de paletització

L'últim mòdul aprofita la informació, juntament amb les peces emmagatzemades de l'automatització anterior per tal de paletitzar les peces disponibles en l'ordre escollit per l'usuari, per aquest motiu funciona d'una manera diferent a les altres. En el cas de la paletització, en lloc d'esperar a que vingui una peça, demana una peça al magatzem d'acord amb la recepta programada. Aquest mòdul es mostra en la següent figura 5 i es troba controlat per un PLC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC amb un mòdul com l'anterior.



Figura 5. Mòdul de paletització

Demanada la peça, el magatzem realitza l'enviament segons el tipus designat, i a l'arribar aquesta als sensors de presència i comprovació de tipus, es procedeix a l'emplenament del palet.

Un altre diferencia amb els mòduls anteriors, es que per realitzar el moviment del braç en els eixos s'utilitzen dos motors pas a pas controlats per targeta electrònica, mitjançant un tren de polsos i un bit de sentit. Aleshores per enviar la informació de moviment a aquesta targeta s'utilitzen els objectes tecnològics de posicionament de eixos, juntament amb els blocs de motion control. A més d'aquest braç, es disposa també d'un pistó vertical i una goma succionadora per tal recollir les peces i col·locar-les al palet, així com la usual botonera.

Si es considera la possibilitat de programació i control remot, el sistema es prou robust, però al existir elements mecànics, pot passar que, com en els casos anteriors, la peça acabi en una zona o d'una forma que no pugui ser rescatada mitjançant la maquinaria actual.

2.6. Xarxa Ethernet

Com s'ha esmentat prèviament, tots els PLC i ordinadors del laboratori es troben connectats a la mateixa subxarxa Ethernet mitjançant un connector switch i, alhora, disposen també de connexió a internet. Aquesta connexió només es en un sentit però, ja que si s'intenta connectar a aquests dispositius des de l'exterior de la subxarxa, el tallafocs no ho permetrà. Aquest fet, tot i ser absolutament necessari per tal d'evitar accessos no autoritzats, evita que es pugui realitzar la comunicació amb els PLC de forma remota. Aquesta xarxa Ethernet es troba distribuïda com es pot apreciar en la següent figura 6.

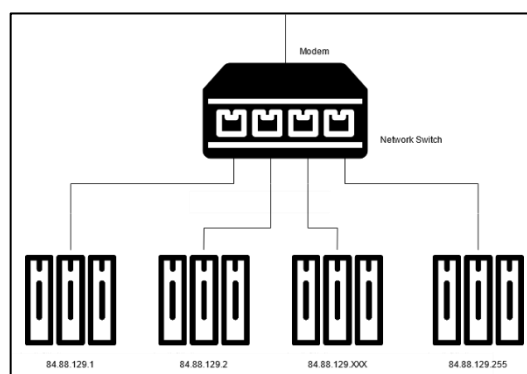


Figura 6. Esquema de la xarxa Ethernet disponible

3. ADAPTACIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ

Per aconseguir que les pràctiques siguin realitzables de forma remota s'han portat a terme algunes modificacions en la automatització.

3.1. Instal·lació de la monitorització visual

Tal i com s'ha especificat en l'abast del projecte, s'han instal·lat tres càmeres enfocant la zona de treball dels mòduls. La primera, amb una direcció IP de 84.88.129.122, enfoca el mòdul de fabricació, el qual es troba a l'esquerra de la instal·lació. La segona, connectada a la IP 84.88.129.6, alterna entre els mòduls de foradament, el de control de qualitat i part del mòdul de paletització, que es troben al mig del laboratori. Finalment, l'última càmera, amb IP 84.88.129.127, disposa d'una vista del magatzem i del mòdul de paletització, el quals es troben més a la dreta.

Les càmeres dels extrems s'utilitzen en posició fixa, mentre que la càmera del centre disposa de tres posicions, una per cada mòdul. La càmera escollida per monitoritzar les maquetes dos, tres i part de la quatre és de la marca Axis model 213 PTZ, mostrada en la figura 7. Mentre que les càmeres per la visualització fixa són de la marca Panasonic model BL-C10, representada en la figura 8.



Figura 7. Càmera Axis 213 PTZ



Figura 8. Càmera Panasonic BL-C10

L'alimentació d'aquestes es realitza a través dels endolls lliures disponibles més propers corresponents a les línies tretze i catorze, definits als plànols. De la mateixa forma, cada càmera es troba connectada a un dels ports Ethernet lliures de la subxarxa, per tal de poder accedir-hi per el mateix canal amb el qual el realitzarà la connexió amb els PLC.

3.2. Instal·lació del sistema d'activació pneumàtic remot

Com s'ha esmentat anteriorment, cada maqueta, excepte la de paletització, que es troba sempre activada, disposa d'una vàlvula manual per tal d'activar el sistema pneumàtic. Conseqüentment, per poder activar aquest sistema de forma remota i amb control de selecció de mòdul, s'han canviat aquestes vàlvules manuals per unes electrovàlvules pneumàtiques activades per els PLC corresponents.

De la mateixa manera que els PLC han d'estar connectats als endolls per tal de poder realitzar la seva tasca, la vàlvula general ha d'estar activada per tal de poder realitzar els processos pneumàtics. Aquestes noves electrovàlvules es posen en marxa a través d'unes noves sortides incorporada als PLC mostrades en la següent taula 1.

PLC	Sortida
Fabricació	%Q1.1
Foradament	%Q9.0
Control de qualitat	%Q8.4
Magatzem	%Q8.4

Taula 1. Noves sortides emprades per activar les electrovàlvules pneumàtiques

Les electrovàlvules pneumàtiques escollides per aquest projecte són de la marca FESTO sèrie MYH de tipus 3/2 amb activació per solenoide, representada en la següent figura 9.

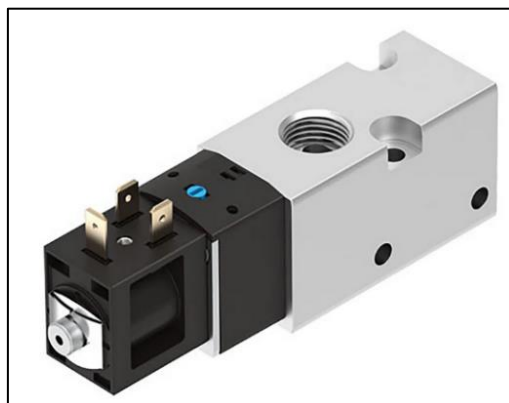


Figura 9. Electrovàlvula pneumàtica FESTO MYH-3-M5-L-LED

3.3. Instal·lació d'un nou PLC per controlar aspectes comuns

Donat que amb aquest nou sistema de pràctiques els alumnes es podran connectar al seu PLC i carregar el programa, i que el motor de les cintes principals s'activa a través del PLC de control de qualitat, es pot donar el cas que es vulgui realitzar el procés del magatzem, però que el PLC de control de cintes ja es trobi connectat a un altre alumne.

Per tal d'evitar aquesta situació, els motors de cinta compartida s'han tornat a cablejar per tal que es pugin activar també a través d'un nou PLC, dedicat al control d'aquestes, i amb un teleruptor que actua com a interruptor commutat, per tal d'invertir l'estat de les llums de la zona de la instal·lació, que funciona en conjunt amb l'interruptor manual del laboratori. Aquest disposa també del seu propi endoll així com la direcció IP 84.88.129.121.

El PLC utilitzat en aquest projecte és un SIMATIC S7-1200 amb CPU 1215C AC/DC/Relé, com es mostra en la figura 10, i el teleruptor és de la marca Finder de tipus SP-NC, SP-NA, aquest es veu representat en la figura 11.



Figura 10. PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1215C



Figura 11. Relé d'enclavament Finder

Finalment, per tal de millorar el propi sistema físic, ja que anteriorment s'havien d'activar les cintes forçant els relés del mòdul de control de qualitat manualment, s'ha aprofitat aquest nou PLC per instal·lar uns pulsadors que activen o desactiven aquestes cintes, facilitant així també el control presencial.

Aquests pulsadors són de la marca Siemens sèrie SIRIUS ACT, de tipus normalment obert en el cas del pulsador de marxa i normalment tancat en el cas del stop.

Els pulsadors es troben representats en les següents figures 12 i 13 respectivament.

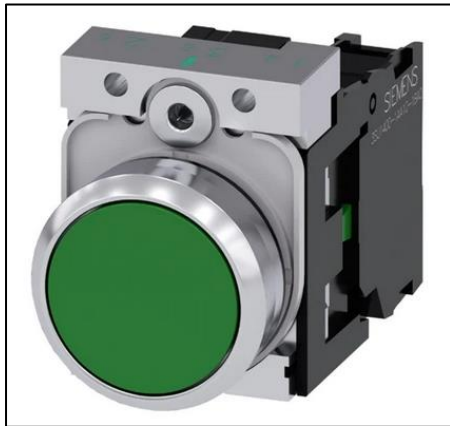


Figura 12. Pulsador Siemens SIRIUS ACT
marxa

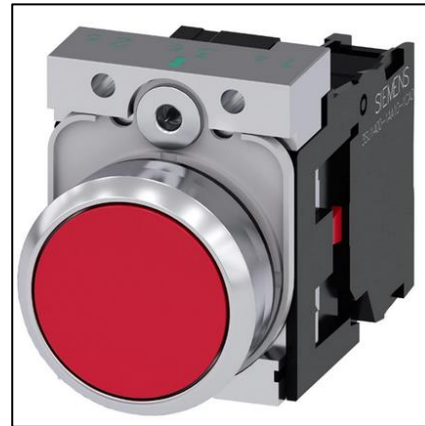


Figura 13. Pulsador Siemens SIRIUS ACT stop

3.4. Instal·lació del dispositiu de comunicació

Finalment, un cop modificada la automatització per tal de permetre un control remot més viable, s'ha continuat amb el pas següent, que consisteix en connectar-se a aquesta nova xarxa a través d'internet.

Com s'ha esmentat anteriorment, la raó per la que no es poden configurar aquests PLC a través d'internet ve per el tallafocs que proporciona la xarxa als dispositius. Aleshores, per tal de poder superar aquesta barrera s'ha d'obrir el port utilitzat per el PLC per tal que es deixi passar la informació enviada.

Aquest sistema, però, deixaria desprotegit aquests dispositius envers connexions no autoritzades, comportant un greu risc a nivell de seguretat. El propi programari dels dispositius de Siemens disposa per aquest motiu d'una altra mesura de seguretat per tal d'evitar aquestes connexions, la qual rebutja qualsevol intent de comunicació per part dels dispositius que no es trobin en la mateixa subxarxa del propi PLC.

Es a dir, encara que el mòdem deixes passar la informació, el propi PLC no acceptaria la connexió de cap dispositiu que no es trobes dins la seva subxarxa. Aleshores, per tal que el dispositiu programable accepti la connexió, aquesta ha de venir d'una IP de dins de la subxarxa

Alhora de realitzar aquesta comunicació s'han considerat quatre possibles opcions, primerament s'ha recercat el dispositiu més recomanat en el fòrum oficial de Siemens, el eWON COSY 131 Ethernet, el qual disposa d'un sistema de seguretat industrial i d'un servei integrat per tal de realitzar la connexió al PLC a través d'un navegador mitjançant el software Talk2M, el qual permet també fer diagnòstics i portar a terme el control de la instal·lació.

Llavors s'ha contactat amb un proveïdor per tal de comprovar el preu i la disponibilitat d'aquest dispositiu, moment en el qual ha sigut descartada aquesta opció, ja que al tractar-se d'un aparell dissenyat per grans instal·lacions i amb moltes prestacions esta sobredimensionat per utilitzar-lo en un entorn d'ensenyament amb sis PLCs dissenyat per simular una cadena de muntatge. Es per aquest motiu que s'ha descartat aquesta opció i s'han considerat altres opcions més assequibles.

Seguidament, s'ha recercat la possibilitat d'utilitzar el software TeamViewer, ja que disposa d'un servei capaç de crear una connexió VPN de forma molt senzilla entre els ordinadors del laboratori i els dels alumnes. Desafortunadament, per tal de poder utilitzar aquest servei els ordinadors del laboratori haurien d'estar sempre en funcionament, ja que la connexió es troba limitada a un usuari per ordinador.

Finalment, la solució triada per aquest projecte consisteix en utilitzar un router amb suport com a servidor OpenVPN, el qual es troba connectat al port Ethernet amb la direcció IP 84.88.129.7, per tal d'incorporar-se a la subxarxa comuna. Aquest s'alimentarà a través d'un dels endolls lliures de la línia catorze, i s'ha connectat a la xarxa a través del port WAN. El router escollit és l'Asus RT-AC51U, que pot ser visualitzat en la figura 14.



Figura 14. Router Asus RT-AC51U

S'ha escollit un router amb capacitat de crear una xarxa local WiFi per tal de facilitar la seva configuració, així com permetre als alumnes connectar-se als PLCs amb els seus ordinadors personals a través d'aquesta.

4. IMPLEMENTACIÓ DE LA CONNEXIÓ VPN

La connexió per VPN d'aquest sistema permet que la direcció IP del client sigui percebuda per els PLC com si es trobes dins la mateixa subxarxa, cosa que permet la comunicació entre PC i PLC. Per tal de portar a terme aquesta connexió s'ha realitzat la configuració del router, del servidor incorporat a aquest i dels propis clients.

4.1. Configuració del router

Per tal de configurar el router escollit com a servidor OpenVPN, el primer pas ha sigut establir aquest dispositiu per tal que sigui reconegut per la xarxa establerta en la UdG com un dispositiu més, per tal que el mòdem de comunicació permeti al servidor accedir a internet mitjançant el seu port WAN.

A l'hora de realitzar aquesta tasca, s'ha d'inicialitzat el router entrant a la pagina web per defecte a través d'un navegador e introduint la direcció IP 192.168.1.1 a la barra de direccions, per tal de poder accedir a aquesta configuració el PC ha d'estar connectat a la xarxa creada per aquest router. Llavors s'han definit un usuari i contrasenya per tal de permetre la configuració del router, i s'han canviat el nom i contrasenya de la xarxa local creada per aquest, diferents dels de configuració. La direcció IP de la xarxa LAN del router s'ha canviat aleshores a 192.168.2.1 per evitar possibles conflictes, al tractar-se la direcció per defecte d'una adreça massa comuna.

Un cop definits l'usuari de configuració i la xarxa LAN per connectar-se al router, s'ha entrat en el menú principal d'aquest a través del navegador e introduint les dades generades anteriorment. La pantalla d'inici de sessió per configurar el router es mostra en la següent figura 15.



Figura 15. Pantalla d'inici de sessió per entrar a la configuració del router

Una vegada dins del menú principal, el següent valor modificat és la direcció WAN interna del router per tal d'obtenir accés a internet, donat que es necessari que aquesta coincideixi amb la direcció real definida per l'interruptor switch.

La configuració de la xarxa WAN dins del router es troba en l'apartat de configuració avançada i s'ha definit el tipus de connexió com a estàtica, ja que només disposa d'una direcció fixa, aleshores s'ha introduït la direcció IP real, així com la mascara de subxarxa i la porta d'enllaç predeterminada.

S'han configurat també els servidors DNS i el nom del host per tal que el servei d'internet accepti aquest router com un dispositiu més de la subxarxa. El resultat d'aquesta configuració es pot observar en la figura 16.

The screenshot displays the ASUS RT-AC51U web management interface. The top navigation bar includes 'Cerrar sesión', 'Reiniciar', and 'Español'. The main content area is titled 'WAN - Conexión a Internet' and contains several configuration sections:

- Configuración básica:**
 - Tipo de conexión WAN: Dirección IP estática
 - Habilitar WAN: Sí No
 - Habilitar NAT: Sí No
 - Desea habilitar UPnP: Sí No
- Configuración de dirección IP WAN:**
 - Dirección IP: 84.88.129.7
 - Máscara de subred: 255.255.255.0
 - Puerta de enlace predeterminada: 84.88.129.1
- Configuración DNS WAN:**
 - Servidor DNS 1: 84.88.128.2
 - Servidor DNS 2: 84.88.128.3
- Configuración de la cuenta:**
 - Autenticación: Ninguno
- Requisito especial de ISP:**
 - Nombre de host: automindust30.udg.edu
 - Dirección MAC: 08:d4:6a:a5:08:39 (with 'Clonación MAC' button)
 - Extender el valor TTL: Sí No
 - Spoof LAN TTL value: Sí No

An 'Aplicar' button is located at the bottom of the configuration area.

Figura 16. Configuració de la connexió WAN del router

En aquest punt el dispositiu ja disposa de connexió a internet, cosa que es pot comprovar anant al mapa de xarxes on apareixerà el mostrat en la figura 17.



Figura 17. Connexió a internet obtinguda

Llavors, el següent pas es adaptar aquest router per tal de permetre el servidor OpenVPN, el primer que s'ha activat és el servidor virtual, el qual es troba en el mateix apartat que la configuració WAN però en una altre pestanya.

En aquesta zona, aleshores, s'ha activat primer la habilitació del servidor virtual, i tot seguit, s'ha definit un nou servei anomenat Open VPN Server amb la direcció IP del router, protocol UDP, ja que es el mes adequat a nivell d'espera de connexió, com es el cas d'aquest servidor.

El port que utilitza la connexió VPN s'ha definit com un port poc utilitzat i amb baixes probabilitats d'ús, per aquest projecte s'ha escollit el port 34343. No es suficient amb definir-lo en aquest apartat però, per tal que el mòdem permeti l'enviament de dades des de l'exterior, s'ha d'obrir el port triat des de dins del propi mòdem. Ja que aquest projecte esta destinat a ús educatiu i que no es disposa d'accés a la configuració d'aquests dispositius, la obertura del port desitjat ha sigut realitzada per el servei informàtic de la politècnica. Un cop agregat el servidor, s'ha obtingut el mostrat en la següent figura 18.

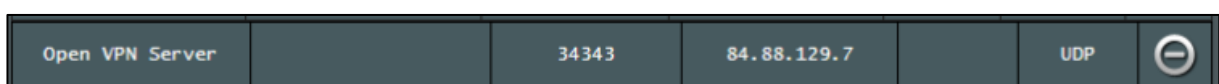


Figura 18. Llista de servidors virtuals actius

Finalment, definit el servidor virtual i el port a utilitzar, s'ha passat a crear els certificats que es necessiten, tant per el servidor OpenVPN, com per els clients.

4.2. Creació dels certificats

Primerament s'han creat un certificat mestre i una clau, que s'ha utilitzat per signar els certificats tant dels servidors com dels clients. Per realitzar aquest primer certificat i clau mestre es important tenir instal·lat el software OpenVPN de forma personalitzada per tal d'adjuntar automàticament la carpeta easy-rsa, des de la qual es realitzaren les configuracions inicials.

Abans de començar a realitzar aquests arxius, però, s'ha revisat si l'ordinador disposa del programa OpenSSL, i s'ha instal·lat, donat que les següents comandes depenen directament d'aquest programa per tal de realitzar les claus i els certificats.

Els arxius necessaris aleshores s'han creat entrant a la finestra de comandaments en mode administrador i accedint a la ruta de la carpeta easy-rsa, llavors s'ha introduït la comanda init-config, la qual ha creat l'arxiu vars.bat a partir del vars.bat.sample existent. Si es volguessin canviar els valors per defecte de les claus que es crearan en endavant, es pot modificar aquest arxiu vars.bat a través del Notepad++ per tal de definir els valors per defecte.

Tot seguit s'ha introduït la recentment modificada comanda vars, per tal de especificar les rutes dels arxius a utilitzar i els valors per defecte creats anteriorment, seguida de la comanda clean-all, la qual crea la carpeta keys, que conté les claus i els certificats, juntament amb un índex i un serial buits que guarden la informació d'aquest. Finalment, s'ha introduït la comanda build-ca, la qual ha creat la clau i certificats mestres a través de OpenSSL.

Durant la creació d'aquests certificats i claus mestres apareixen una sèrie de línies demanant que s'especifiquin les dades d'aquest certificat mestre, si no s'emplenen aquests paràmetres, es queden amb el valor per defecte que s'han definit anteriorment.

Seguidament, la clau mestre s'ha utilitzat per generar el certificat i la clau del servidor, que s'afegiran a la configuració OpenVPN del router mes endavant, i els dels cinc clients més el mestre, que representen els cinc grups d'alumnes junt amb el professor responsable de l'assignatura que es connectaran a la instal·lació de forma remota.

Per crear la clau i certificat del servidor s'ha entrat a la finestra de comandes de la mateixa manera que amb la generació del mestre, però aquest cop s'ha utilitzat la comanda build-key-server server. De la mateixa forma que amb el cas anterior s'han deixat per defecte els

paràmetres menys el del Common Name, el qual ha de coincidir amb el nom escollit per el servidor, en el cas d'aquest projecte s'ha definit com a server. Finalment, apareixen dues ultimes confirmacions en la finestra de comandes per tal de verificar que es vol signar aquest certificat. Per el servidor s'ha de generar també els paràmetres de Diffie Hellman amb la comanda build-dh, aquest arxiu s'enviarà al router juntament amb els altres certificats i claus.

Llavors, un cop finalitzats els certificats i les claus del servidor, per generar els certificats i les claus dels clients s'ha utilitzat la comanda build-key client1, on client1 és el nom d'usuari i, al igual que amb el servidor, ha de coincidir amb el Common Name de la comanda.

Generats els arxius necessaris per tal de portar a terme la comunicació, aquests es repartiran entre el router que actuarà com a servidor i entre els alumnes i professor, que actuaran com a clients.

4.3. Configuració del servidor OpenVPN

Aleshores, ja es pot implementar aquesta configuració al router per tal que pugui realitzar la funció de servidor OpenVPN amb els paràmetres creats. Abans de configurar plenament el router, s'ha d'obtenir un últim arxiu creat per el propi router, aquest consisteix en l'autorització HMAC. Per tal d'extreure aquesta clau, s'ha anat, en primer lloc, a configuració avançada i s'ha entrat dins l'apartat VPN. Una vegada dins s'ha habilitat el propi servidor OpenVPN i amb la configuració bàsica s'ha exportat l'arxiu de configuració com es pot veure en la figura 19.

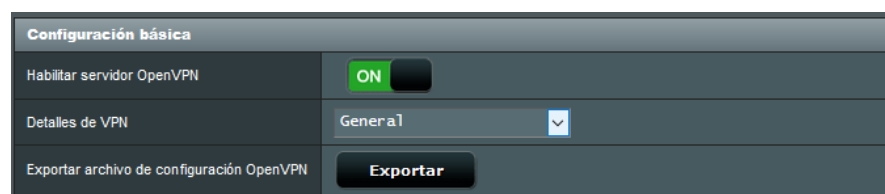


Figura 19. Configuració bàsica del servidor OpenVPN

Aleshores, s'ha obert aquesta configuració descarregada del router, i s'ha buscat la clau amb el nom de OpenVPN Static key V1. Aquesta es la clau d'autorització HMAC creada per el servidor i que demana a tots els clients per tal de permetre la comunicació, per guardar la clau s'ha creat un arxiu anomenat ta.key on s'han copiat aquestes dades.

Un cop obtinguda aquesta clau s'ha configurat el servidor amb les opcions avançades per tal d'incorporar les claus i certificats creats anteriorment, en la següent figura 20 es mostra la configuració escollida per aquest projecte, tot seguit s'esmenaran els valors mes importants.

Configuración avanzada	
Tipo de interfaz	TUN
Protocolo	UDP
Puerto del servidor	34343 (Valor predeterminado : 1194)
Firewall	Automático
Modo de autorización	TLS Modificación de contenido de teclas y certificación.
Solo autenticación mediante nombre de usuario y contraseña	<input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No
Autorización HMAC adicional	Incoming (0) (TLS-Auth)
Máscara de red / subred VPN	10.8.0.0 255.255.255.0
Intervalo de sondeo	0 minutos (Deshabilitar : 0)
Empujar LAN a clientes	<input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No
Cientes directos para redireccionar el tráfico de Internet	<input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No
Responder a DNS	<input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No
Anunciar DNS a clientes	<input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No
Cifrado	AES-256-CBC
Compresión	Deshabilitar
Tiempo de renegociación TLS	-1 segundos (Valor predeterminado : -1)
Administrar opciones específicas del cliente	<input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No
Permitir Cliente <-> Cliente	<input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No
Permitir solo clientes especificados	<input checked="" type="radio"/> Sí <input type="radio"/> No

Figura 20. Configuració avançada del servidor OpenVPN

Primerament s'ha triat el tipus d'interfície TUN, donat que es mes apropiada que no pas la interfície TAP, que s'utilitza més per realitzar ponts Ethernet. El protocol és el mateix que s'ha definit en el servidor virtual anteriorment, al igual que el port del servidor. En el mode d'autorització és on s'han posat els certificats i claus generats en l'apartat anterior, aquest s'ha posat en mode TLS.

L'autorització HMAC s'ha posat en mode 0, ja que ha d'esperar a que el client realitzi la connexió. La mascara de xarxa i subxarxa VPN s'han deixat per defecte, al igual que l'interval de sondeig. Les quatre següents opcions s'han deixat activades per tal de no perdre l'accés a internet per part dels clients al connectar-se al servidor i s'ha activat també la connexió client-client, per tal de poder veure els clients online.

La llista de clients actual es pot visualitzar en la figura 22.

Nombre de usuario y contraseña (Límite máximo : 16)			
Estado de la conexión	Nombre de usuario	Contraseña	Agregar o eliminar
-	<input type="text"/>	<input type="password"/>	+
Desconectado	PLCUDG	-	-
Desconectado	client2	client2test	-
Desconectado	client3	client3test	-
Desconectado	client4	client4test	-
Desconectado	client5	client5test	-
Conectado	client1	client1test	-
Desconectado	mestre	mestretest	-

Aplicar

Figura 22. Noms d'usuari amb contrasenyes acceptades per el servidor

4.4. Implementació del client OpenVPN per part dels usuaris

Obtinguts els arxius necessaris per realitzar la connexió per part dels clients, s'han creat també els arxius de configuració utilitzats per el programa OpenVPN de cada client. Aquests s'han modificat a partir de la plantilla de clients disponible, llavors s'han mantingut els valors per defecte fins arribar a la línia remote, en la qual s'ha definit la direcció IP del servidor juntament amb el port activat prèviament.

Aleshores, en la mateixa carpeta on es troba l'arxiu de configuració s'han posat també el certificat mestre, el certificat del client corresponent i la seva clau, l'arxiu ta.key creat a partir del servidor i un fitxer per guardar el nom d'usuari i la contrasenya anomenat login.conf. Llavors, aquests arxius s'han implementat en el codi de la configuració.

Ja realitzada la configuració dels usuaris, i dipositada aquesta en la carpeta config del programa OpenVPN, s'ha d'engegar el software VPN i seleccionat amb un clic dret sobre la icona a la barra de tasques d'aquest la opció de connectar-se al client desitjat. Per realitzar la connexió en aquest projecte s'ha utilitzat el primer client, tot i que qualsevol d'aquests poden realitzar la mateixa funció.

Es possible que el programa es quedi en un bucle esperant la interfície TCP/TAP, finalment acabant amb un missatge de connexió aconseguida amb errors, aleshores s'ha d'introduir la comanda netsh interface ipv4 set global dhcpmediasense=enabled des del cmd en mode administrador. Aquest error ve donat per una mala configuració de la direcció IP per part del dispositiu TAP creat per el programari.

Finalment, es crea una finestra en la que es poden veure els diversos processos de connexió al servidor, i un cop connectat correctament, la seqüència finalitza amb el missatge mostrat en la figura 23.

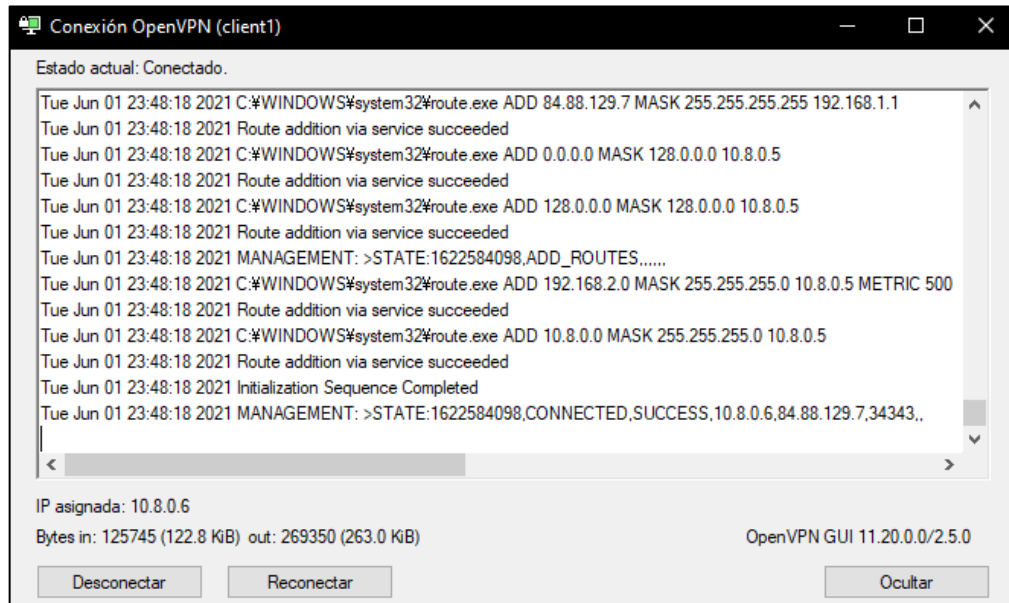


Figura 23. Finestra d'estat connectat del client1 per OpenVPN

Comprovat el correcte funcionament d'aquesta connexió, aquests arxius es distribueixen entre els cinc grups de pràctiques, un client per cada grup, els quals seguiran aquests passos per tal de realitzar el control remot. Aleshores els alumnes disposaran dels següents arxius mostrats en la figura 24 dins la seva carpeta de configuració del programa OpenVPN.

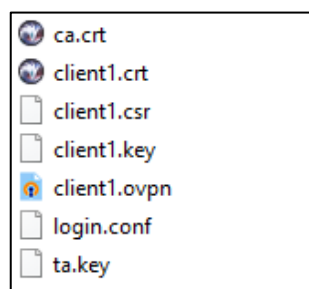


Figura 24. Arxius de configuració dels clients

Cal destacar que aquests arxius poden ser utilitzats també amb l'aplicació OpenVPN de mòbil, cosa que permet veure les càmeres a través d'aquesta, i fins i tot realitzar un control i monitorització del sistema a través del webserver incorporat en els PLC, es a dir, un cop configurada la pagina del servidor web del PLC en format HTML mitjançant el software TIA Portal, es pot dur a terme el control de les maquetes des del mòbil i sense necessitat d'utilitzar el programa de Siemens.

Per tal d'establir el servidor web del PLC s'ha anat a configuració del dispositiu i s'ha activat com es mostra en la figura 25.

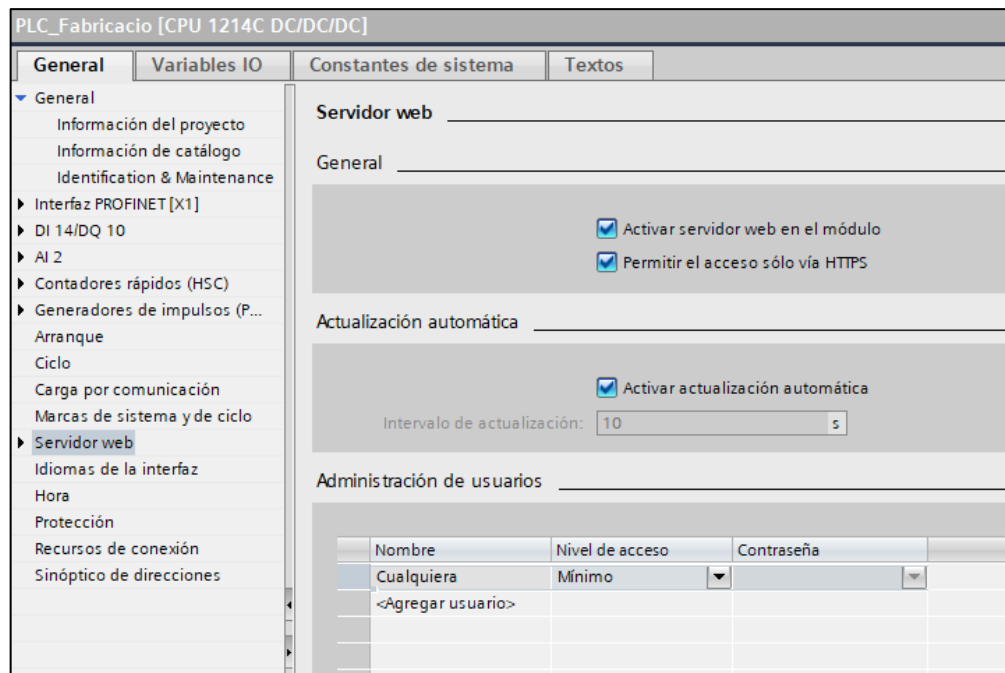


Figura 25. Finestra per configurar el servidor web

Un cop activat, ja es pot realitzar la connexió al PLC a través d'un navegador web utilitzant la direcció IP del dispositiu escollit, que ens dona informació sobre l'estat d'aquest i permet també canviar el seu estat entre stop i run, així com observar les seves variables.

Per tal de modificar les variables i poder veure aquest resultat en el PLC s'ha creat una plantilla de prova per canviar l'estat de les llums, llavors aquesta s'ha definit com a pagina d'inici i s'han generat els blocs, els quals s'han de implementar en el codi del programa per tal de realitzar la comunicació.

Finalment s'ha realitzat la connexió al PLC a través del navegador del mòbil i s'ha comprovat el canvi d'estat de les llums, tant a través de la pagina com també amb les càmeres.

5. PROGRAMACIÓ I MONITORITZACIÓ DE FORMA REMOTA

En aquest capítol es descriu com s'ha realitzat la connexió als dispositius programables mitjançant aquesta nova xarxa, i s'ha creat un programa, que inclou el codi dels PLC així com la interfície SCADA per monitoritzar la instal·lació, per tal de posar a prova la possibilitat de realitzar les pràctiques enterament de forma remota.

5.1. Establiment de la connexió online

Un cop connectat a la xarxa local dels PLC a través del programa OpenVPN, s'ha realitzat la connexió amb aquests. A diferència del mode d'accés als dispositius programables utilitzat en les pràctiques anteriors, que utilitzava un model de PLC genèric i es configurava aquest de forma automàtica a través de la funció de dispositius accessibles, al utilitzar una connexió remota, el PC emprat no pot trobar la direcció MAC física dels PLC, ja que es troba en una capa de comunicació inaccessible a través d'enrutament.

Per aquest motiu, s'ha realitzat la configuració d'aquest de forma manual, es a dir, s'han utilitzat les dades reals del tipus de PLC així com la direcció IP a la que es troba associat. Llavors, en lloc d'escollir la CPU indeterminada, s'ha d'escollit el model exacte que s'utilitzarà, es molt important que la referència i la versió d'aquest coincideixi amb les reals, en cas contrari al intentar realitzar la connexió online aquest apareix com a dispositiu no compatible. En la següent figura 26 es pot observar aquesta configuració utilitzant el PLC corresponent al mòdul de fabricació.

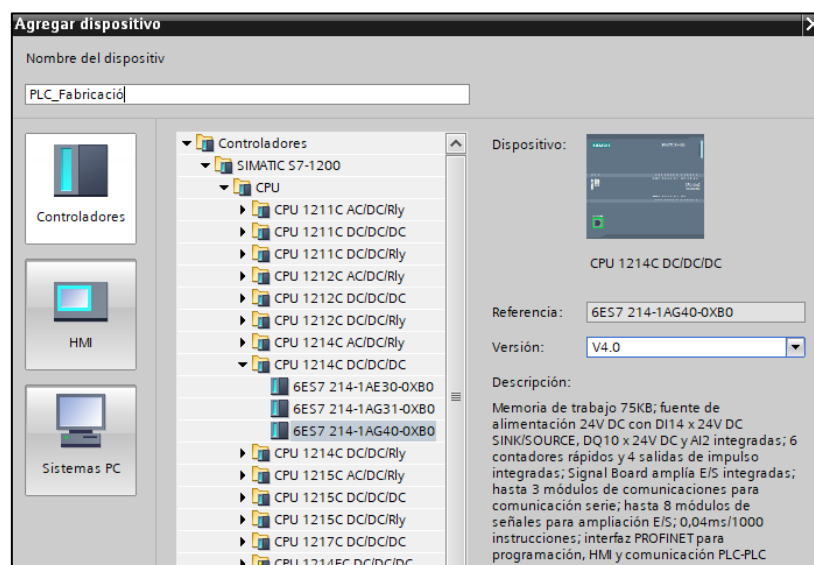


Figura 26. Implementació d'un nou dispositiu de forma manual

A l'hora de realitzar aquest projecte s'han canviat també les direccions IP de cada dispositiu PLC, donat que uns ports que anteriorment no es trobaven disponibles, ara poden ser utilitzats per els dispositius programables, es a dir, s'han redistribuït per ordre de proximitat, aquestes noves direccions es mostren en la taula 2.

PLC	Direcció IP
Fabricació	84.88.129.120
Foradament	84.88.129.123
Control de qualitat	84.88.129.125
Magatzem	84.88.129.124
Paletització	84.88.129.126

Taula 2. Direccions IP dels dispositius programables

Aleshores, un cop definit el dispositiu, s'ha introduït la direcció IP associada a aquest, juntament amb la mascara de subxarxa, a través de l'apartat de protocol IP dins la configuració de la interfície PROFINET del PLC, tal i com es pot observar en la figura 27, on s'utilitza el PLC de fabricació definit anteriorment.

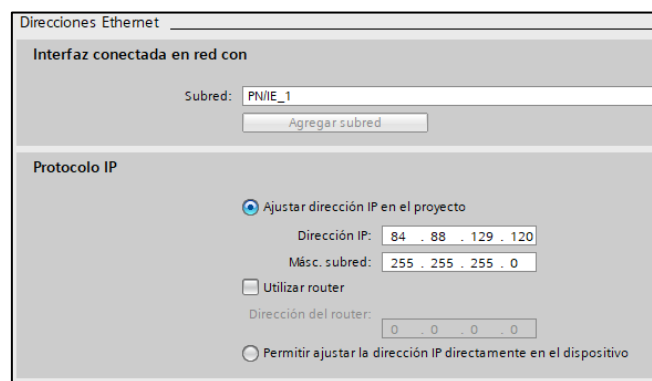


Figura 27. Direcció IP del PLC definida

Abans de continuar amb la configuració d'aquests dispositius en el programa TIA Portal, s'ha de realitzar també una modificació de la interfície PG/PC per tal que la comunicació online del programa utilitzi l'adaptador de xarxa creat per el programa OpenVPN, en lloc de l'adaptador de xarxa per defecte. Aquesta modificació s'ha de realitzar per tal que funcioni correctament la connexió entre PLC i SCADA. L'ajustament d'aquesta interfície s'ha trobat buscant PG/PC al panell de control, llavors s'obre una finestra que disposa de diversos punts d'accés.

El punt d'accés que s'ha modificat és el S7ONLINE, que es l'aplicació responsable de realitzar la connexió online entre HMI i PLC, aleshores s'ha seleccionat aquest accés i s'ha utilitzat la parametrització a través de l'adaptador de xarxa TAP acabat en TCPIP.1, l'adaptador TAP és l'adaptador de xarxa virtual creat per el programa OpenVPN. El resultat d'aquesta modificació és el mostrat en la següent figura 28.

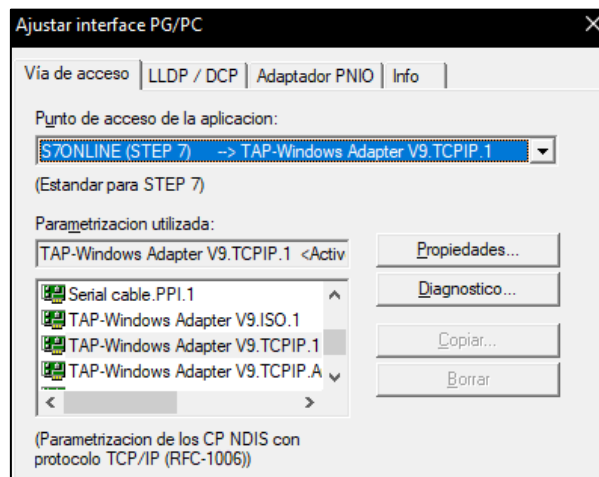


Figura 28. Punt d'accés de l'aplicació S7ONLINE modificat per passar per el nou adaptador

L'últim pas per tal de poder realitzar la connexió online és, finalment, canviar la interfície PG/PC per defecte per l'adaptador definit anteriorment. Aleshores, al iniciar la cerca de dispositius compatibles s'ha trobat el PLC configurat. Aquest últim pas es pot apreciar en la figura 29.

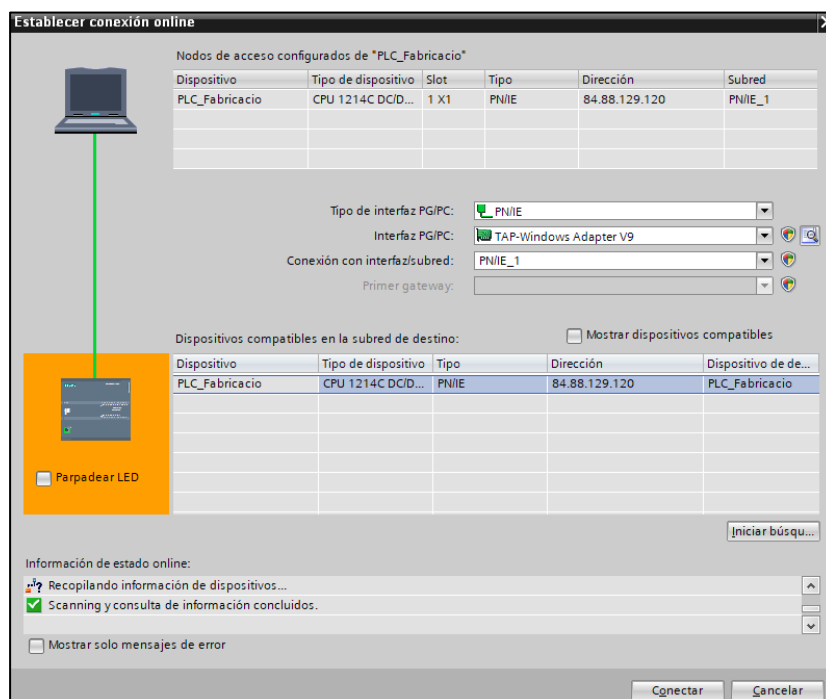


Figura 29. Dispositiu trobat a través de la xarxa VPN

5.2. Programació dels PLC

Un cop assegurada la connexió entre PC i PLC, s'ha dissenyat el programa que es carregarà en aquests utilitzant les noves eines de les que es disposa, i adaptant l'automatització en el seu conjunt per tal que pugui ser realitzada sense intervenció física.

A l'hora de implementar aquesta programació, s'ha escollit realitzar una automatització que faci servir els cinc mòduls més el nou PLC mestre en un procés connectat en línia i dependent, per tal de poder testejar tots els mòduls que s'utilitzaren en les pràctiques i poder observar directament la interacció entre ells. Llavors, per tal que la comunicació entre mòduls sigui possible, s'han connectat tots a la mateixa subxarxa dins del programa.

La comunicació definida en aquest projecte comença amb el mòdul de fabricació, el qual crea les peces fins arribar a una consigna definida per l'usuari, i aleshores envia aquest nombre de peces fabricades al mòdul de foradament. Donat que ambdós mòduls es troben separats, les peces reals disponibles a la primera maqueta no poden arribar a la següent zona, per aquest motiu s'ha utilitzat aquesta comunicació a mode d'enviament virtual de peces.

Una vegada el dispositiu encarregat del procés de foradament rep correctament el nombre de peces creades, el procés de fabricació de peces es reinicia, inicialitzant el nombre de peces creades. S'ha tingut en compte, també, que encara que la fabricació no es veu limitada per el mòdul de foradament, l'enviament de les peces només es pot realitzar si la següent maqueta no disposa de cap peça disponible.

Llavors, obtingudes les peces creades per el primer mòdul, la maqueta de foradament comença amb el seu procés, i envia una senyal de peça llesta al mòdul de control de qualitat al acabar el procés complet de foradament, moment en el qual es resta el nombre de peces disponibles a foradar.

En el cas de la maqueta de control de qualitat, aquesta es tracta com si es trobes directament connectada per la cinta principal al mòdul anterior, es a dir, en el moment que rep la senyal del mòdul anterior de peça llesta incrementa el nombre de peces disponible en una. Llavors, si disposa de peça per comprovar, realitza aquest procés, el qual, un cop finalitzat i si la peça testejada es correcte, envia aquesta peça al següent mòdul d'emmagatzemat, acció que es transmet directament al següent PLC a través de la comunicació entre ells.

Seguidament, el quart mòdul realitza l'emmagatzematge de les peces obtingudes a través de la cinta comuna, i les classifica per tipus en les cintes disponibles guardant alhora el nombre de peces en cada cinta, on es mantenen en espera fins ser demanades per la següent automatització a través d'aquesta comunicació. Aquesta primer rep el tipus de peça a enviar, i un cop realitzat aquest procés torna una senyal de peça enviada al següent mòdul.

L'últim PLC, llavors, disposa d'una recepta de paletització, i per tal de saber si aquesta es pot dur a terme, agafa les dades del nombre de peces en cada cinta del mòdul anterior. Com s'ha esmentat en la comunicació anterior, aquest dispositiu envia el tipus de peça necessària per la recepta al magatzem, el qual, un cop realitzada aquesta tasca tornarà la senyal de peça enviada correctament.

El primer pas per començar amb aquesta nova configuració és incloure les noves entrades afegides als PLC existents, així com el propi PLC encarregat del control de les cintes principals i l'interruptor commutat de les llums. Un cop definides les noves variables d'aquests dispositius, s'ha passat a realitzar el codi del programa, el qual es troba dividit entre els sis PLC. El codi del PLC nou consisteix en un simple programa per activar les dues sortides per memòria i de forma manual, un cop carregat el codi al dispositiu s'ha configurat per tal que no pugui ser modificat per els alumnes sense una contrasenya, aleshores s'interactua amb aquest dispositiu mitjançant la comunicació HMI o amb la botonera instal·lada en aquest.

A l'hora de dissenyar el codi dels PLC s'ha seguit una metodologia escalada, primer s'ha realitzat el programa basic, que s'ha anat compilant per trobar qualsevol error semàntic en aquest. Un cop realitzada aquesta comprovació inicial, s'ha simulat aquest codi a través del programa S7-PLCSIM per observar el comportament de l'automatització a través del forçat de variables, simulant així el procés real en la mesura del possible. Llavors, comprovat el correcte funcionament teòric del PLC amb aquest codi, s'ha carregat en el dispositiu i s'han utilitzat les càmeres disponibles juntament amb el forçat de variables per tal d'acabar d'afinar el funcionament d'aquest.

5.2.1. Programació del mòdul de fabricació

Com ja s'ha esmentat en el capítol de la infraestructura de la instal·lació, aquesta maqueta no pot realitzar-se de forma remota amb el programari de les pràctiques actuals, per tal que aquesta pugui ser utilitzada i monitoritzada a través d'internet s'han introduït els següents canvis en el mode de funcionament.

El primer pas consisteix en la creació d'unes variables de memòria que s'utilitzaran a través de SCADA, aquestes aleshores poden simular l'accionament de la botonera física, els finals de cursa de la plataforma i els sensors de detecció de tipus de peça. Llavors, les noves variables s'implementen en el codi del programa com es pot observar en la següent figura 30.

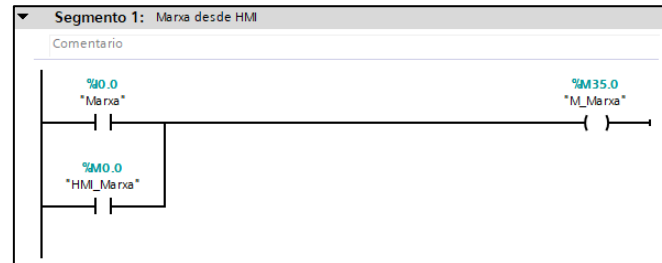


Figura 30. Memòria que s'activa mitjançant entrada de PLC o botó de SCADA

La nova sortida per activar el sistema pneumàtic s'ha configurat per tal de poder ser engegada a través d'un interruptor per SCADA o del selector Run/Stop de la botonera. S'ha creat també una variable de consigna que pot ser modificada per tal de variar l'altura a la que ha d'arribar la peça en el procés de fabricació, aquesta s'ha limitat per codi per tal de no superar el màxim d'altura.

Per realitzar la comunicació entre mòduls s'han utilitzat els blocs de comunicació S7 GET i PUT, per rebre la informació de les peces disponibles del PLC de foradament i enviar la comanda de peces creades a aquest, respectivament. Un cop enviada la comanda de peces al següent mòdul es reinicia el comptador. En la figura 31 s'observa aquesta implementació.

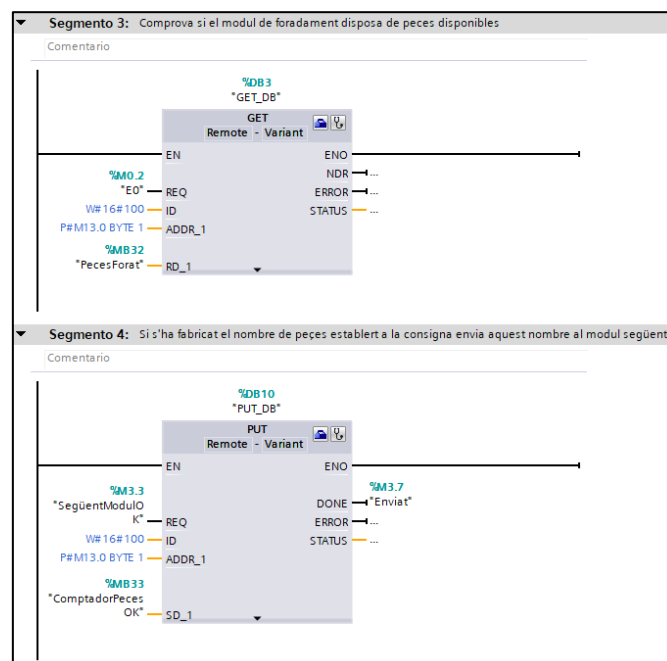


Figura 31. Blocs de comunicació utilitzats per el mòdul de fabricació

Finalment, per tal de resoldre el problema de la peça única, s'ha triat d'activar una memòria en lloc de l'electrovàlvula d'expulsió de peça per tal de poder observar el moment en el que hauria estat activada, i en lloc del final de cursa del pistó d'expulsió s'ha creat una variable que s'activarà per HMI i actuarà com aquest. Aquestes noves variables juntament amb les ja creades dels sensors, permeten simular el procés de fabricació de qualsevol tipus de peça si la que es troba en la maqueta és de color negre o si no hi ha cap peça, donat que en aquest cas els sensors físics inductiu i òptic es troben desactivats, cosa que permet activar o desactivar els sensors a través de SCADA.

Per poder visualitzar aquesta instal·lació s'ha utilitzat la càmera fixa posicionada al costat d'aquest mòdul. L'accés s'ha realitzat a través d'un navegador, introduint la direcció IP associada a la barra de direccions, tot seguit apareix un pop-up on s'ha d'especificat el nom d'usuari i la contrasenya, que són MAQUETA1 i USUARI respectivament. Aquesta visualització es pot observar a la figura 32.

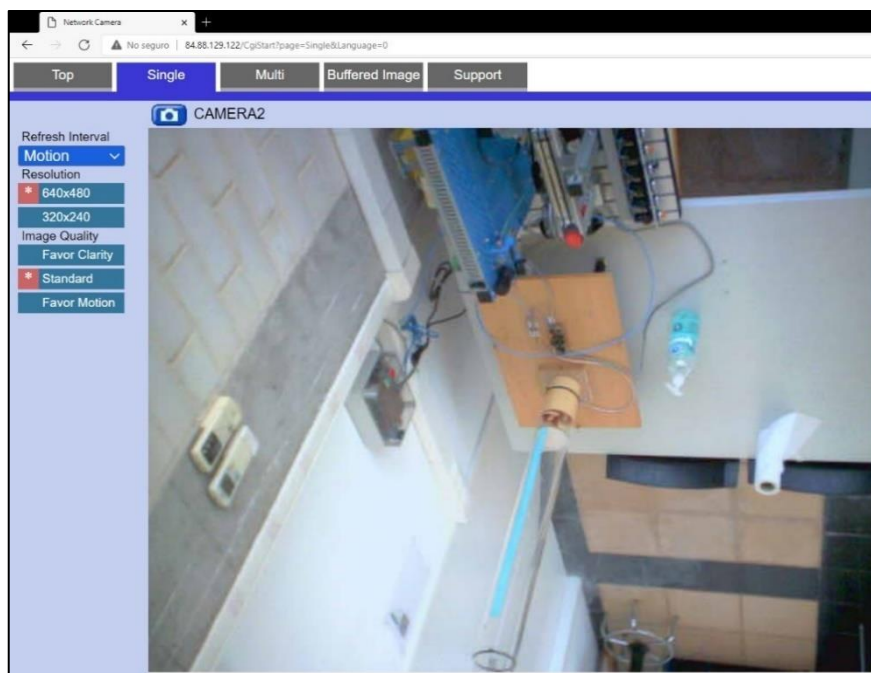


Figura 32. Visualització de la càmera fixa de fabricació

5.2.2. Programació del mòdul de foradament

Al igual que amb el cas anterior s'han creat les variables per tal de poder utilitzar SCADA com una botonera virtual, juntament amb els diversos sensors i finals de cursa. La sortida del sistema pneumàtic s'activarà de la mateixa manera que el mòdul anterior, amb un interruptor per SCADA o amb el selector Run/Stop de la botonera física.

Aquest PLC utilitza un únic bloc de comunicació de tipus PUT per enviar al mòdul següent un bit positiu si acaba el procés de foradament d'una peça. El procés del transport de peça fins la roda de foradament no s'inicia fins que el dispositiu no rebí la comanda de peces generada en el mòdul anterior de fabricació, informació que simbolitza que s'ha rebut un nou palet de peces i que es pot començar amb el tractament d'aquestes. Donat que la pantalla HMI que s'utilitza per monitoritzar aquest mòdul no disposa d'accés al PLC mestre, s'ha realitzat la comunicació amb aquest com en el cas anterior.

Per tal d'adaptar aquesta maqueta per poder controlar-la i monitoritzar-la de forma remota s'ha deixat una sola peça a l'inici de la cinta de transport, que es dedica a realitzar el procés de foradament i tot seguit torna a l'estat inicial, permetent així una producció continua. De la mateixa forma que amb el PLC anterior si es vol comprovar el funcionament d'aquest mòdul amb més d'una peça, es pot realitzar una simulació d'aquesta a través de SCADA activant els sensors adequats en els punts clau.

D'aquesta manera s'ha aconseguit simular que les peces fabricades al primer mòdul s'han enviat a aquesta maqueta d'una tanda, i llavors s'ha començat el procés de foradament de les peces rebudes fins quedar-se sense, moment en el qual, si la maqueta de fabricació disposa d'un altre comanda de peces fabricades, es tornen a enviar al present mòdul, iniciant novament el procés, es a dir, el mòdul de foradament no acceptarà cap nova comanda abans d'acabar l'actual. Per observar aquesta maqueta es disposa de la càmera de tres posicions, a la qual s'ha accedit amb el mateix sistema que l'anterior, l'usuari i la contrasenya d'aquesta són MAQUETA23 i USUARI respectivament. La vista del mòdul es mostra en la figura 33.



Figura 33. Visualització de la càmera en posició de foradament

5.2.3. Programació del mòdul de control de qualitat

Al igual que els casos anteriors s'han creat les memòries a utilitzar posteriorment, però en aquest cas només s'han fet per la botonera i el sensor de detecció inicial. La sortida de l'electrovàlvula pneumàtica s'activa a través d'un interruptor per SCADA o el selector IND/INT de la botonera. La comunicació d'aquest mòdul és la mateixa que l'anterior, al finalitzar el procés de comprovació, envia la peça a la maqueta següent juntament amb un bit positiu que marca aquesta acció. També disposa del comptador de peces disponibles, que representa la quantitat de peces que ha rebut per part del mòdul de foradament.

L'adaptació d'aquesta automatització s'ha realitzat utilitzant la cinta que connecta les dues principals, creant un circuit tancat, que s'activarà si hi han peces disponibles enviades des de foradament, però no es detecta peça a la zona de recollida. Això permet, llavors, que les peces emmagatzemades en la cinta paral·lela provinents del mòdul de paletització es dirigeixin a la posició inicial d'aquest procés, simulant les peces virtuals enviades per el mòdul anterior. Per tal que no deixi passar més d'una peça i evitar que aquestes s'acumulin en la zona de recollida, cosa que impedeix a la pinça d'agafar bé la peça, s'ha fet servir també el sensor de detecció de peça en la cinta perpendicular d'entrada per tal d'evitar aquesta situació.

Tot i així, s'ha creat també una memòria per tal d'activar el motor d'aquesta cinta directament, donat que la possibilitat que una peça no arribi a la cinta principal existeix, cosa que s'observarà a través de la càmera, que en el cas d'aquesta maqueta és compartida amb el mòdul anterior. La imatge obtinguda en aquesta posició es veu en la figura 34.

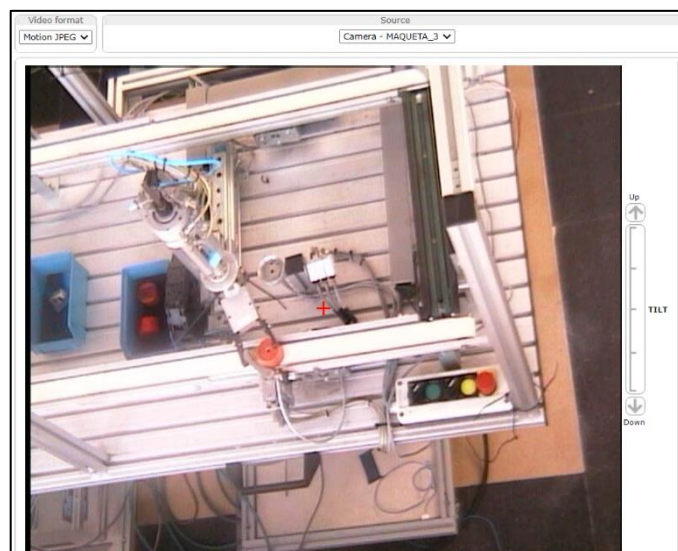


Figura 34. Visualització de la càmera en posició de control de qualitat

5.2.4. Programació del mòdul del magatzem

Per tal de disposar d'un control més ampli d'aquesta automatització a través de control remot, s'han creat les memòries dels sensors i detectors utilitzats per aquesta, juntament amb l'habitual botonera. La sortida per activar el sistema pneumàtic és, com el cas anterior, un selector per SCADA o el selector IND/INT de la botonera. La comunicació en el cas d'aquest PLC es realitza a través d'un bloc PUT, que transmet un bit positiu al mòdul de paletització al començar el procés d'enviament de peça.

A l'hora d'adaptar aquest mòdul no s'ha hagut de realitzar cap simulació de peces com ha sigut el cas en els mòduls anteriors, donat que aquesta automatització aprofita l'adaptació de la maqueta de control de qualitat, ja que envia les peces reals comprovades per la cinta principal directament a l'actual automatització. Així que en lloc de modificar virtualment les variables per tal d'obtenir el resultat buscat, en el cas d'aquest mòdul, s'ha buscat realitzar un sistema amb possibilitat de simulació de les variables d'entrada en cas d'error per part d'aquestes.

Per la verificació d'aquest sistema, s'utilitza la càmera fixa situada a l'extrem dret del laboratori, al costat d'aquesta maqueta, l'accés s'ha realitzat a través del navegador, com en els casos anteriors, utilitzant la direcció IP d'aquesta, la qual en el procés de realització d'aquest projecte no disposa d'usuari ni de contrasenya. En la figura 35 es mostra la imatge d'aquesta càmera.

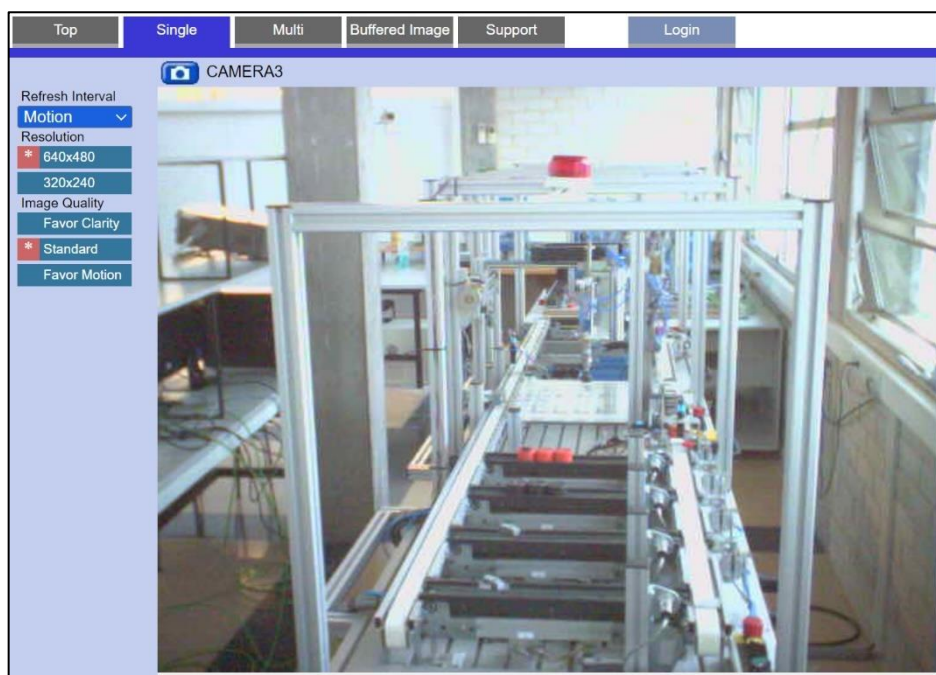


Figura 35. Visualització de la càmera fixa del magatzem

5.2.5. Programació del mòdul de paletització

En aquesta maqueta s'han creat les memòries de la botonera, els sensors de detecció de peça i del joystick de moviment manual del braç. El sistema pneumàtic es troba sempre activat per aquest mòdul, per aquesta raó no disposa d'electrovàlvula pneumàtica. La comunicació entre els PLC de paletització i magatzem, es realitza a través de dos blocs, un GET i un PUT, el primer bloc copia les dades del comptador de cada cinta del magatzem i les guarda en unes variables pròpies, per tal de saber el nombre de cada tipus de peça disponibles per paletitzar, mentre que el segon bloc PUT envia el tipus de peça necessària segons la posició actual de la recepta al magatzem.

Per tal de ser capaços de realitzar el procés de forma correcte sense disposar de contacte físic, primerament s'ha dissenyat un mode manual per tal de poder activar les sortides i controlar el moviment del braç, per si es veu a través de les càmeres que les peces no es col·loquen completament rectes i per poder recollir manualment les peces que poden acabar fora de les posicions designades. Llavors s'ha creat una base de dades per guardar i utilitzar la informació de les peces paletitzades, així com el seu tipus, i s'han definit també les posicions disponibles en els eixos y i x.

Al definir els blocs de motion control s'ha utilitzat també el bloc per llegir paràmetres per tal d'obtenir les posicions reals dels eixos, els quals seguidament s'han convertit de tipus Real a USInt i guardat en unes variables creades per aquesta funció, aquestes dades s'utilitzaran llavors, per visualitzar els eixos en SCADA. La càmera a utilitzar per aquest mòdul pot ser tant l'anterior com la càmera mòbil en la tercera posició, s'alterna entre elles en funció de la vista desitjada. La posició de paletització de la càmera mòbil es pot observar en la figura 36.

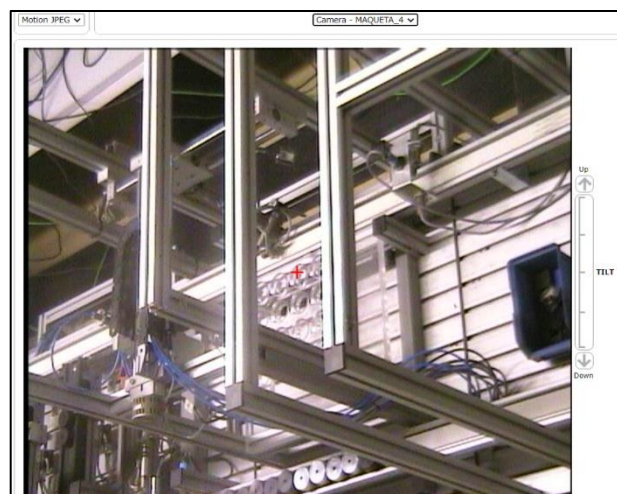


Figura 36. Visualització de càmera en posició de paletització

5.3. Monitorització a través de SCADA

Aleshores, un cop programats tots els dispositius, s'ha procedit a dissenyar les pantalles HMI, en aquest projecte s'ha utilitzat el programa TIA Portal Step 7 Basic, així que no es disposa de WinCC RT Advanced. Com a alternativa s'ha realitzat aquest SCADA utilitzant com a base dos dispositius HMI SIMATIC Basic Panel de quinze polsades, s'han hagut d'utilitzar dos per el límit de connexions HMI del propi dispositiu, que és de quatre en el HMI escollit.

Llavors, el primer dispositiu HMI s'ha utilitzat per monitoritzar el mòdul de fabricació i el PLC de foradament, disposa també d'accés al dispositiu mestre, mentre que l'altre monitoritza les maquetes restants, el qual també disposa de connexió al PLC mestre. S'han programat aquestes interfícies per tal que disposin de la pagina principal de visualització de cada automatització, així com una pagina de tendències per cada mòdul principal. Els dos SCADA disposen de pagina d'alertes compartida per les diferents maquetes, amb alarmes activades per l'estat d'emergència per cada mòdul així com diverses alarmes menors. Aleshores, per tal de monitoritzar les instal·lacions, en aquest projecte s'ha utilitzat el RT Simulator, que simulen les pantalles HMI configurades, efectivament actuant com un SCADA normal.

La imatge inicial del primer HMI disposa d'accés a les imatges dels mòduls de fabricació i foradament, així com accés a les alarmes i un boto per sortir del SCADA com es mostra en la figura 37. La configuració del segon és igual però amb accés als altres moduls.



Figura 37. Imatge principal HMI

5.3.1. Monitorització del mòdul de fabricació

La imatge SCADA corresponent a aquesta maqueta esta formada per dos camps E/S associats a les variables de l'alçada de la peça en el tub de fabricació i al sensor d'altura per comprovar si la peça es troba dins del rang acceptable, ambdós en mode sortida, es disposa també de dos camps E/S per les memòries de la consigna d'altura del PID i la consigna de peces a fabricar, aquests en mode entrada/sortida, per tal de poder ser canviats a través de SCADA, lligat amb aquesta ultima consigna s'utilitza l'element de barra per representar la memòria del comptador de peces bones creades. El feedback del PID es pot visualitzar mitjançant un rectangle que actua com la peça dins del tubs, a través del moviment vertical accionat per aquesta variable.

A nivell de polsadors es disposa de la botonera del mòdul, on marxa i reset actuen com a polsadors, manual com un interruptor i emergència com un estat commutat. Dins d'aquest HMI s'ha posat també el polsador per activar les llums activades pel PLC mestre i l'interruptor per activar el sistema pneumàtic. Aleshores, les memòries associades als sensors per detectar el tipus de peça es troben representades en tres botons, els quals al ser polsats inverteixen el bit de memòria definit, l'aparença d'aquests botons, però ve donada per la memòria conjunta entre el sensor físic i el sensor HMI, ja que si el sensor físic es troba actiu no es pot desactivar a través d'aquest botó.

Respecte els finals de cursa de la plataforma s'ha comprovat, al realitzar aquesta monitorització, que no sempre funcionen correctament, per aquest motiu s'han creat dos botons extres que activen les memòries, definides anteriorment en el codi, d'aquests. Finalment, es disposen de diversos objectes basics per tal de visualitzar més fàcilment en quin estat es troba la maqueta, com són les el·lipses, que només estan visibles si la memòria mixta dels finals de cursa es troba activada, el requadre situat a l'esquerra de la plataforma superior representa la cinta i canvia de color al activar-se aquesta, mentre que els requadres situats sobre les el·lipses es tornen visibles al haver peça en la plataforma.

El canvi més important introduït en aquest SCADA per tal poder realitzar el procés sense haver de posar una nova peça cada vegada, consisteix en un dos rectangles, que es tornen visibles al estar en els seus finals de cursa respectius i l'aparença dels quals es torna verd si s'activa la memòria d'expulsió de peça, simulant així el pistó encarregat d'aquesta tasca, per tal de permetre que el programa continuï però, s'ha d'activar el polsador de peça expulsada, que realitza el treball del final de cursa d'expulsió de peça a través d'una memòria.

Tot seguit es pot observar en la figura 38 la pantalla HMI en funcionament.

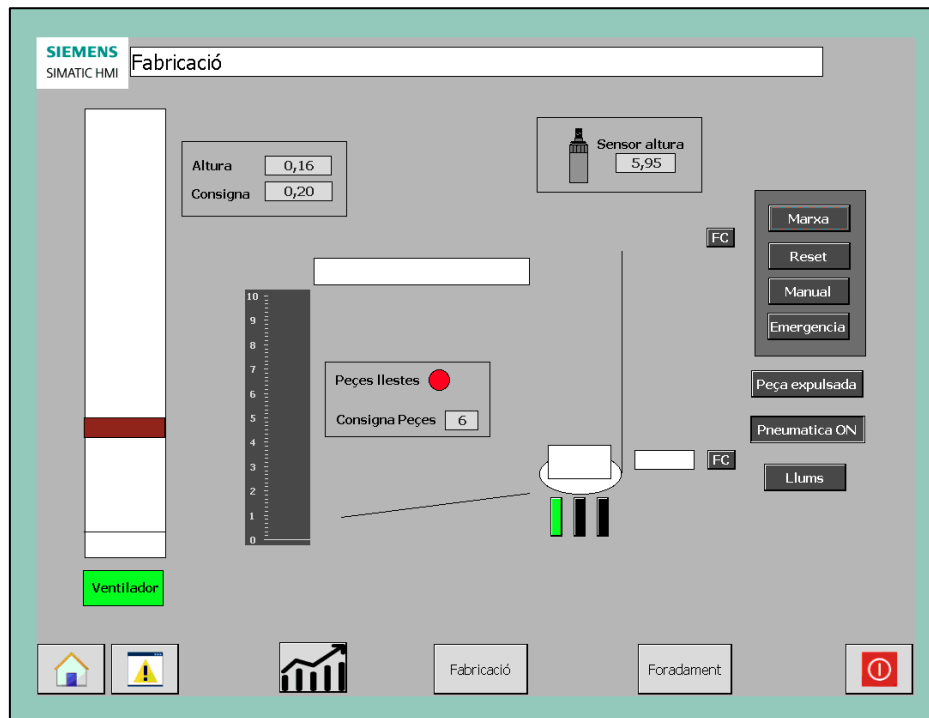


Figura 38. Imatge HMI del mòdul de fabricació

Dins la imatge de tendències, s'ha implementat el visor de corbes amb les variables d'altura de la peça en tub de fabricació i el comptador de peces bones fabricades, com es pot veure en actuació en la figura 39.

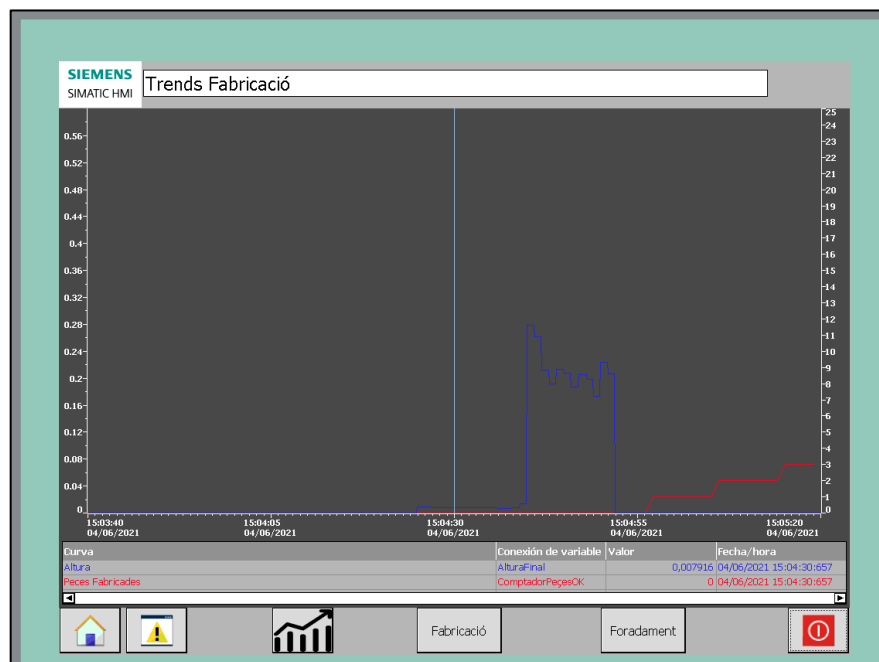


Figura 39. Visor de corbes en la imatge de tendències

Les alarmes d'aquest mòdul consisteixen en una activada per l'estat d'emergència i una altre que avisa al superar un temps límit a l'hora de realitzar la fabricació de la peça.

5.3.2. Monitorització del mòdul de foradament

La imatge per tal de supervisar la instal·lació consta d'un camp E/S que utilitza la memòria on es guarden el nombre de peces enviades per el mòdul anterior, aquest s'ha definit com a mode entrada/sortida per tal de poder introduir directament un valor en cas que no es pugui utilitzar la maqueta anterior.

Com a botonera es disposa dels mateixos botons i interruptors que la imatge anterior, activació pneumàtica inclosa. A més d'aquests s'han definit tres botons que amb funció de polsador que es poden utilitzar per activar la memòria dels sensors de presència.

Seguint aquest sensors s'han creat també set cercles corresponents a les possibles posicions de les peces, que es tornen visibles per detecció o memòries del programa. Al igual que la imatge anterior, s'ha creat el botó per activar les llums a través del dispositiu mestre.

En el cas d'aquesta automatització també s'han trobat uns finals de cursa que no compleixen les seves funcions a través de la monitorització per SCADA, aquests són els finals de cursa del trepanant i la comprovació, així que com en el cas anterior, s'han creat uns polsadors per tal de simular l'activació d'aquests, i permetre llavors avançar el procés.

Ja que aquest mòdul disposa de diverses parts mòbils, en la seva imatge s'han implementat gràfics de fletxes amb visibilitat activada per aquests moviments. Per tal de representar també de forma visual l'estat de les cintes, la succió del braç, la pinça, el motor de trepanat i la comprovació, s'han utilitzat uns cercles com a indicadors LED canviant l'aparença d'aquests en funció de l'estat d'aquestes sortides.

En la imatge de tendències s'ha utilitzat el nombre de peces disponibles a processar com a variable per la corba. A nivell d'alarmes es disposa d'una, activada per l'estat d'emergència d'aquesta automatització. En la següent figura 40 es pot veure la pantalla en funcionament.

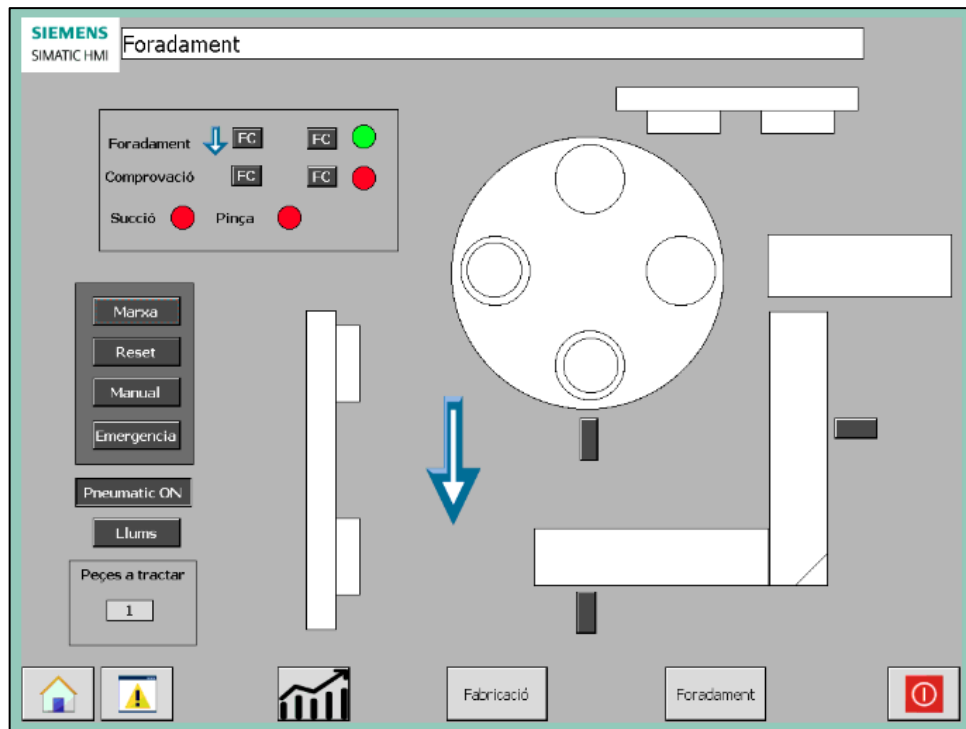


Figura 40. Imatge HMI del mòdul de foradament

5.3.3. Monitorització del mòdul de control de qualitat

En aquesta pantalla, s'han implementat dos camps E/S associats a les memòries de peces disponibles i peces rebutjades, tots dos en mode entrada/sortida per la mateixa raó que el mòdul anterior. S'ha creat la usual botonera amb l'interruptor per activar el sistema pneumàtic, i, en el cas d'aquesta maqueta, s'ha definit també un altre polsador que activa la sortida de la cinta transversal a través d'una memòria, en cas de detectar algun error alhora de l'arribada de peces al mòdul.

Com a mesura de seguretat s'ha creat també un botó que activa la memòria de detector de peça a la zona de recollida. D'aquest SCADA en endavant s'han afegit el polsador per activar el teleruptor de les llums a través del nou PLC així com un interruptor per engegar les cintes principals.

A diferència dels dos mòduls anteriors, al realitzar la monitorització d'aquesta automatització no s'ha trobat cap error mecànic a nivell de finals de cursa, així que no s'han creat els botons per tal de simular aquestes entrades. Si que s'han creat, però, els LED simulats i les fletxes que indiquen els moviments en procés del braç i la pinça, dos d'aquests LED donen informació sobre l'estat de la pinça, oberta o tancada, i de la posició en que es troba, dret o del revés, mentre que els dos restants indiquen si el procés ha detectat un forat a la peça i en quina

posició.

Finalment, s'han configurat els possibles estats d'aquesta automatització, utilitzant les animacions de visibilitat sobre els elements bàsics que componen la imatge, creant així una monitorització més visual.

En aquest mòdul s'han utilitzat les variables de peces disponibles i peces rebutjades per el visor de corbes de la imatge de tendències. El sistema d'alarmes d'aquest mòdul disposa, a més de l'alarma per estat d'emergència, d'una alerta analògica activada per límit superior, en aquest cas es tracta del nombre de peces rebutjades, que en cas de arribar a tres, fa saltar aquesta alarma. En la figura 41 es pot observar aquesta pantalla en funcionament.

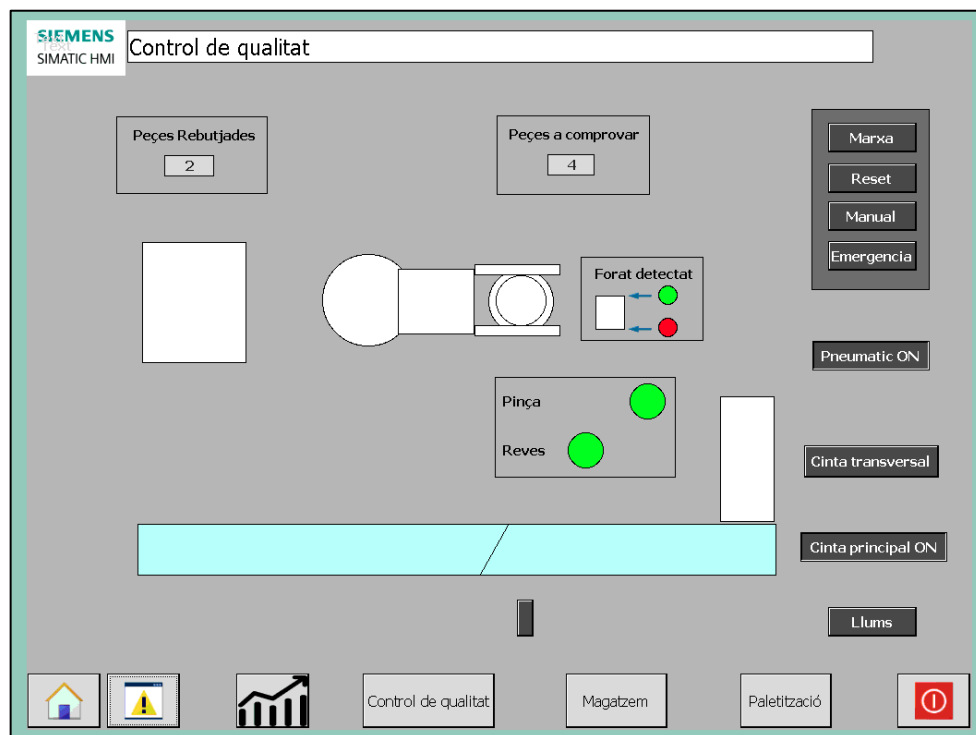


Figura 41. Imatge HMI del mòdul de control de qualitat

5.3.4. Monitorització del mòdul del magatzem

Dins d'aquesta imatge s'han implementat cinc camps E/S, per les peces disponibles, provinents del mòdul anterior, i els quatre comptadors de peces de cada cinta individual, aquests s'han definit com a entrada/sortida per tal de poder realitzar aquest procés de forma independent. La botonera consisteix en els pulsadors e interruptors habituals, corresponents a la botonera física, el sistema pneumàtic i les memòries del PLC mestre.

S'han creat també els botons per tal d'activar les memòries dels sensors, donat que, al realitzar la monitorització d'aquest procés, s'ha observat que algunes peces no son prou altes per tal d'activar el segon sensor capacitatiu, els altres botons s'han afegit per tal de poder simular el procés en cas de no disposar de peces. Per testejar també l'enviament de peces al mòdul de paletització s'han creat tres botons més, els quals realitzen la funció de demanda del tipus de peça.

Els rectangles que representes les cintes s'han configurat per tal de canviar d'aparença si els motors d'aquestes es troben activats, mentre que els que es troben en perpendicular estan vinculats als diversos pistons de bloqueig. Els pistons de desviament venen representats per les línies que condueixen a cada cinta individual.

Finalment, s'han implementat quatre cercles per cada cinta, que permeten visualitzar el tipus de peça corresponent a la cinta, i, en el cas de la cinta de rebuig, mostra el tipus de peça en la primera posició, ja que s'ha de comprovar si el procés d'enviament prioritza les peces d'aquesta ultima cinta envers les altres. Aquest HMI es pot visualitzar en funcionament en la figura 42.

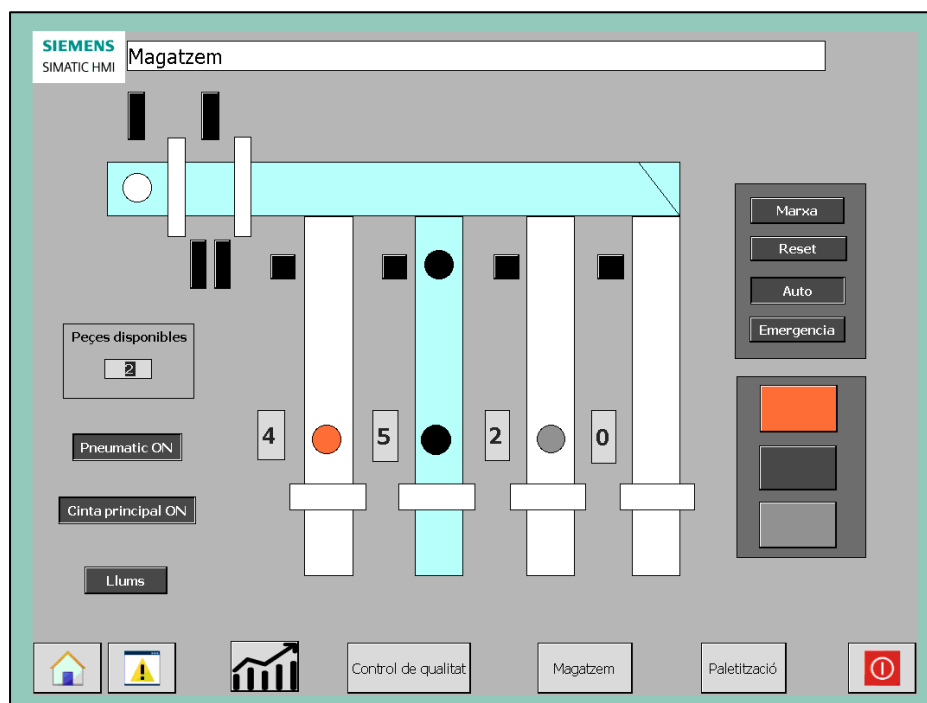


Figura 42. Imatge HMI del mòdul d'emmagatzematge

En la pagina de tendències s'utilitzen les variables de nombre de peces de cada tipus i les peces disponibles, i a nivell d'alarmes es disposa d'una per l'estat d'emergència i una de tipus analògica que s'activa al emplenar-se la cinta de rebuig.

5.3.5. Monitorització del mòdul de paletització

En aquesta maqueta s'han emprat sis camps E/S, tres per representar les peces de cada tipus disponibles al magatzem, dos per la posició dels eixos i l'últim per el nombre de peces paletitzades, els camps de les peces disponibles s'han definit com a entrada/sortida, mentre que els restants s'han deixat com a només sortida. Per la botonera s'han utilitzat els mateixos que en les anteriors imatges, sense l'interruptor d'activació de sistema pneumàtic, ja que aquest es troba sempre activat.

També s'han creat uns botons per tal d'enviar la recepta, un cop definida en la imatge, desactivar la memòria de palet complet, activar el mode manual per tal de moure el braç a través d'uns botons de direcció equiparables als del joystick físic i un per tornar a l'inici. S'ha complementat la imatge amb dos botons més, per tal d'activar les sortides del pistó i de la succió mentre es trobi en mode manual, aquestes disposen també d'un objecte amb la funció de LED. S'han utilitzat també aquests elements per poder activar els sensors de tipus a través d'aquesta interfície.

Per realitzar la recepta, s'han utilitzat setze botons que representen cada posició i que canvien el tipus de peça que anirà a la posició designada. Un cop introduïda aquesta, es mostren els cercles on es troben les peces que ja s'han paletitzat. En la figura 43 es pot veure l'etapa de selecció de recepta.

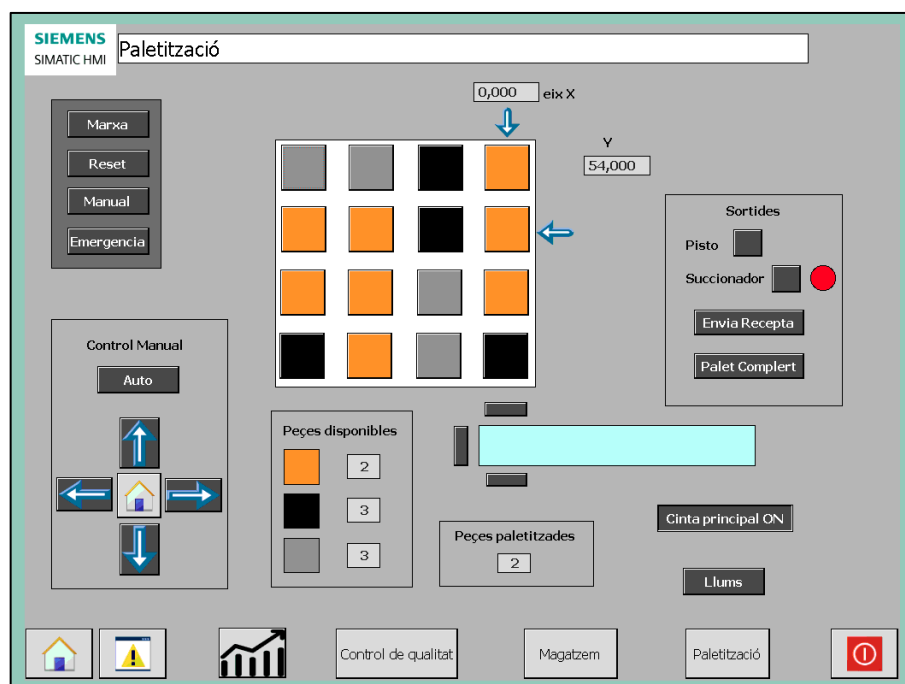


Figura 43. Imatge HMI del mòdul de paletització en mode recepta

Mentre que en la següent figura 44 es mostra la imatge en el procés de paletització.

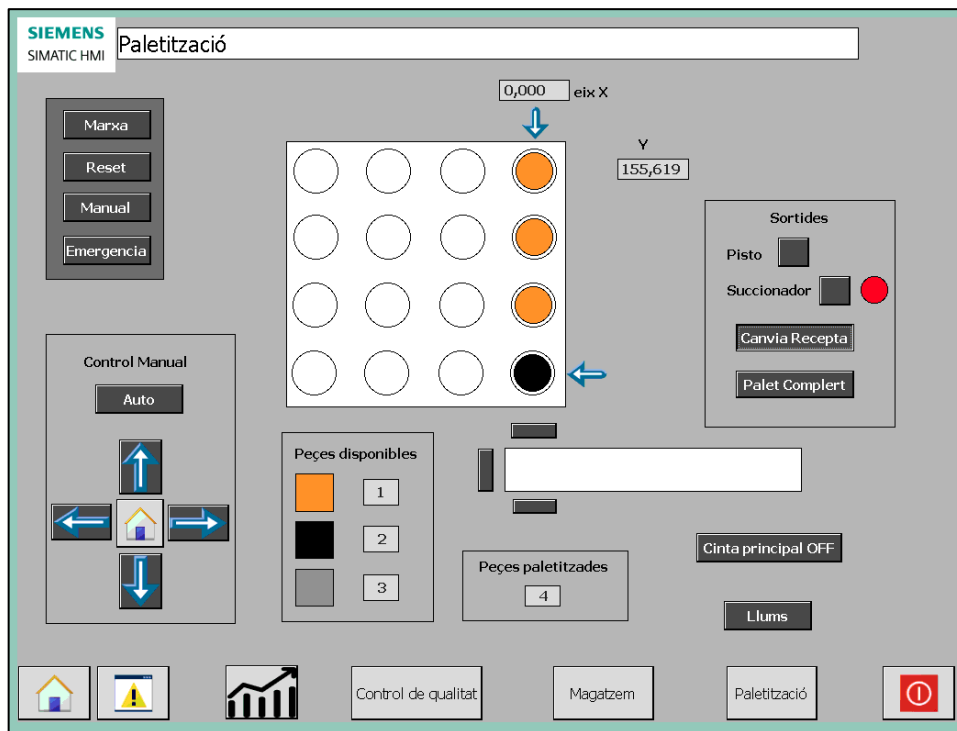


Figura 44. Imatge HMI del mòdul de paletització en mode palet

5.3.6. Monitorització per alarmes

Les alarmes definides a cada PLC s'han activat a través de les disponibles a la plantilla de la imatge general. El funcionament d'aquestes es pot visualitzar en la figura 45.

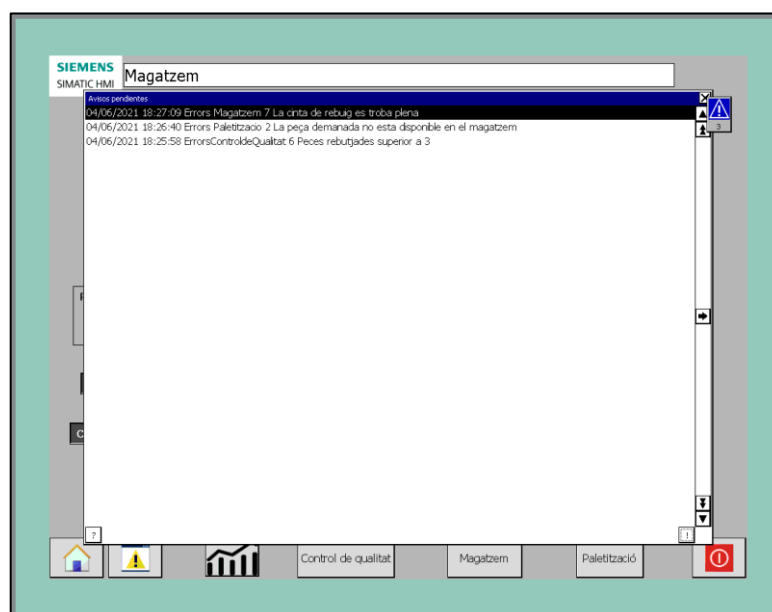


Figura 45. Finestra d'alarmes activades

6. RESUM DEL PRESSUPOST

Els costos totals per l'adquisició dels elements que componen aquesta instal·lació, el muntatge, la programació i la seva posada en funcionament ascendeixen a la quantitat de tres mil tres-cents quaranta-dos euros amb setanta-quatre cèntims, sense IVA.

7. CONCLUSIONS

Partint de l'objectiu d'aquest projecte d'adaptar les pràctiques de tecnologies d'automatització i control per tal de poder ser realitzades de forma remota, la part de comunicació s'ha complert a través de la xarxa VPN creada i la part d'automatització s'ha adaptat mitjançant els elements adjuntats a la instal·lació.

El codi dels PLC s'ha dissenyat per tal de poder ser executat sense intervenció física amb els mòduls, a través de les noves sortides, la comunicació entre ells i el SCADA per controlar les memòries. Aquest últim s'ha realitzat de forma que pugui ser utilitzant amb tots els mòdul alhora, com en una cadena de muntatge o amb només un dels PLC actiu, manera en que s'utilitza en les primeres etapes de les pràctiques.

Axel Person Sánchez

Graduat en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Girona, 22 de juny de 2021

8. RELACIÓ DE DOCUMENTS

Aquest projecte està format per memòria, plànols, plec de condicions, estat d'amidaments i pressupost.

9. BIBLIOGRAFIA

ARCHLINUX. OpenVPN.

(https://wiki.archlinux.org/index.php/OpenVPN#Firewall_configuration, 20 de novembre de 2020)

OPENVPN INC. How To Guide: Set Up & Configure OpenVPN.

(<https://openvpn.net/community-resources/how-to/#installing-openvpn>, 21 de novembre de 2020)

SECOMEA. Application Note Siemens PLC and SIMATIC STEP 7 / TIA Portal.

(https://ftp.gatemanager.dk/DP_LM-0079-SIEMENS-PLC_and_SIMATIC_STEP7_or_TIA_Portal.Ethernet_USB_Serial.pdf, 19 de novembre de 2020)

10. GLOSSARI

DNS: Sistema de dominis de noms, la seva funció principal en aquest projecte és la d'assignar noms de domini a direccions IP

HMAC: Codi d'autenticació per missatge en clau hash, es tracta d'un sistema utilitzat per verificar la integritat de les dades així com la autenticitat del missatge

HMI: Interfície home maquina, es refereix a la interacció entre home i maquina, en el cas d'aquest projecte, es realitza a través de SCADA

PLC: Controlador lògic programable, és el dispositiu a programar per els alumnes, disposa de múltiples entrades i sortides

SCADA: Control de supervisió i adquisició de dades, programa d'ajuda a l'indústria, utilitzat per monitoritzar i controlar les instal·lacions

TCP/IP: Conjunt de protocols que engloben els diversos nivells del protocol de referència de interconnexió de sistemes oberts

TLS: Seguretat de la capa de transport, protocol criptogràfic que proporciona comunicacions segures, en aquest projecte s'utilitzen a través dels certificats

TUN: TUNnel, es tracta d'una xarxa virtual que simula una capa de xarxa.

UDP: User Datagram Protocol, protocol utilitzat per la transmissió de dades

VPN: Red virtual privada, tecnologia de xarxa que s'utilitza per connectar dos o mes dispositius a través d'una xarxa privada