



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

**TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN  
COORDINADA Y REMOTA DE DOS  
PROTOTIPOS DE LABORATORIO MEDIANTE  
PERIFERIA DISTRIBUIDA CON AUTÓMATA  
SIEMENS S7 1500, DESARROLLO DE  
SCADA EN WINCC RT Y DE APLICACIÓN  
HMI**

AUTOR: DANIEL MORENO GARRIDO

TUTOR: JOSÉ VICENTE SALCEDO ROMERO DE ÁVILA

**Curso Académico: 2020-21**

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómata Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

## Resumen

En este proyecto se lleva a cabo la automatización de dos prototipos que representan dos procesos industriales que trabajan de forma sincronizada. Uno de los procesos consiste en el horneado y serrado de diferentes tipos de piezas, mientras que el otro almacenará estas piezas según su tipo en un almacén vertical. Estos prototipos están conectados a una periferia distribuida, la cual permite su automatización remota mediante un autómata Siemens S7 1500. Para la monitorización y control de ambos procesos se emplea tanto un SCADA desarrollado en WinCC RT como una aplicación HMI programada en TIA Portal.

**Palabras clave:** Automatización, programación, procesos industriales, autómatas, pantalla HMI, TIA Portal, Grafset, diagrama de contactos, SCADA, periferia distribuida, ProfiNet, guía GEMMA.

## Resum

En aquest projecte es duu a terme l'automatització de dos prototips que representen dos processos industrials que treballen de forma sincronitzada. Un dels processos consisteix en l'enfornat i serrat de diferents tipus de peces, mentre que l'altre emmagatzemarà aquestes peces segons el seu tipus en un magatzem vertical. Aquests prototips estan connectats a una perifèria distribuïda, la qual permet la seua automatització remota mitjançant un autòmat Siemens S7 1500. Per al monitoratge i control de tots dos processos s'empra tant un SCADA desenvolupat en WinCC RT com una aplicació HMI programada en TIA Portal.

**Paraules clau:** Automatització, programació, processos industrials, autòmats, pantalla HMI, TIA Portal, Grafset, diagrama de contactes, SCADA, perifèria distribuïda, ProfiNet, guia GEMMA.

## Abstract

In this Project it takes place the automation of two prototypes that represent two industrial processes that work synchronized. One of the processes consist in the baking and sawing of different types of pieces, while the other one will store those pieces depending on its type on a vertical warehouse. These prototypes are connected to a distributed I/O, which allows their remote automatization using an automaton Siemens S7 1500. For monitoring and controlling both processes it's used both a SCADA developed in WinCC RT and an application HMI programmed on TIA Portal.

**Keywords:** Automation, programming, industrial processes, automatons, HMI display, TIA Portal, Grafcet, contact diagram, SCADA, distributed I/O, ProfiNet, GEMMA guide.

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómata Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

# Índice del proyecto

1. Memoria descriptiva
2. Pliego de condiciones
3. Presupuesto
4. Anexos

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómata Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómata Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

# 1. MEMORIA DESCRIPTIVA

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómata Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

# Índice

1. Introducción.....	1
1.1 Motivación.....	2
1.2 Objetivos.....	2
2. Diseño del sistema.....	3
2.1 Diseño del proceso.....	3
2.1.1 Estación de horneado y serrado.....	4
2.1.2 Almacén vertical.....	6
2.2 Esquema de control.....	8
2.3 Comunicaciones.....	13
3. Materiales utilizados.....	17
3.1 PLC.....	17
3.2 Periferia distribuida.....	19
3.2 HMI.....	20
3.4 SCADA.....	20
4. Diseño automatismo.....	21
4.1 Guía GEMMA.....	22
4.2 Conexión periferia distribuida.....	25
4.3 Programación de la estación de multiprocesado.....	28
4.4 Programación del Almacén.....	33
4.5 Carga del proyecto en el PLC.....	43
4.6 Programación HMI.....	44
4.6.1 Añadir la pantalla HMI al proyecto de TIA Portal.....	44
4.6.2 Diseño de la aplicación HMI.....	45
.....	48
4.7 Programación SCADA.....	57
4.7.1 Incluir la aplicación SCADA en el proyecto de TIA Portal.....	57
4.7.2 Diseño de la aplicación.....	58
5. Implementación real.....	64
5.1 Cambios en la pantalla HMI.....	65
5.2 Seguridad.....	65
5.3 Incluir más sensores a los procesos.....	69
5.3.1 Proceso de horneado y serrado.....	69
5.3.2 Almacén vertical.....	70

5.4 Selección de sensores .....	70
5.4.1 Elementos de seguridad .....	71
5.4.2 Sensores de los procesos .....	72
6. Conclusiones.....	75
7. Bibliografía.....	76

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Prototipos de laboratorio utilizados en el proyecto (Fuente: Elaboración propia) ..	3
Ilustración 2. División maqueta horneado y serrado (Fuente: Elaboración propia).....	4
Ilustración 3. Esquema cargador de piezas del horno (Fuente: Elaboración propia) .....	5
Ilustración 4. Cajas de almacenamiento de las piezas (Fuente: Elaboración propia).....	6
Ilustración 5. División maqueta almacén elevado (Fuente: Elaboración propia).....	7
Ilustración 6. Esquema de la planta de producción (Fuente: Elaboración propia) .....	7
Ilustración 7. Microcontrolador Arduino UNO (Fuente: <a href="http://www.arduino.cc">www.arduino.cc</a> ) .....	8
Ilustración 8. DAQ de National Instruments (Fuente: <a href="http://www.ni.com">www.ni.com</a> ) .....	9
Ilustración 9. Autómata de la serie CP1E de Omron (Fuente: <a href="http://www.omron.es">www.omron.es</a> ) .....	10
Ilustración 10. Periferia distribuida ET200SP de Siemens (Fuente: <a href="https://mall.industry.siemens.com">https://mall.industry.siemens.com</a> ) .....	11
Ilustración 11. Esquema de conexión del sistema (Fuente: Elaboración propia).....	12
Ilustración 12. Logotipo Modbus (Fuente: <a href="http://www.domoticaparatodos.com">www.domoticaparatodos.com</a> ).....	13
Ilustración 13. Logotipo Profibus (Fuente: <a href="http://www.logicbus.com.mx/">www.logicbus.com.mx/</a> ).....	14
Ilustración 14. Conector Profibus (Fuente: <a href="http://www.fluitronic.es">www.fluitronic.es</a> ) .....	14
Ilustración 15. Logotipo Profinet (Fuente: <a href="http://www.baruchcerezoh.blogspot.com">www.baruchcerezoh.blogspot.com</a> ) .....	15
Ilustración 16. Logotipo IO-Link (Fuente: <a href="http://www.intertronic.es">www.intertronic.es</a> ).....	15
Ilustración 17. Esquema de una red IO-Link (Fuente: <a href="http://www.ifm.com">www.ifm.com</a> ).....	16
Ilustración 18. Logotipo de EtherCAT (Fuente: <a href="http://www.digikey.com">www.digikey.com</a> ).....	16
Ilustración 19. PLC Siemens S7 1500 (Fuente: Elaboración propia).....	18
Ilustración 20. Periferia distribuida de Phoenix Contact (Fuente: Elaboración propia).....	19
Ilustración 21. Pantalla KTP700 Basic (Fuente: <a href="https://mall.industry.siemens.com">https://mall.industry.siemens.com</a> ).....	20
Ilustración 22. Lenguaje graph (izquierda), KOP (centro) y SCL (derecha) (Fuente: Elaboración propia) .....	21
Ilustración 23. Estados guía GEMMA (Fuente: Diapositivas de la asignatura AI) .....	23
Ilustración 24. GEMMA del proceso de horneado y serrado (Fuente: Elaboración propia).....	23
Ilustración 25. GEMMA del almacén vertical (Fuente: Elaboración propia) .....	24
Ilustración 26. Apartado Dispositivos y redes (Fuente: Elaboración propia) .....	25
Ilustración 27. Configuración de la periferia distribuida en TIA Portal (Fuente: Elaboración propia) .....	26
Ilustración 28. Conexión de todos los dispositivos en el laboratorio (Fuente: Elaboración propia) .....	27
Ilustración 29. GEMMA del proceso de horneado y serrado en Graph (Fuente: Elaboración propia) .....	30
Ilustración 30. Llamada a un FB desde el OB principal (Fuente: Elaboración propia) .....	31
Ilustración 31. Números asignados a cada tipo de pieza (Fuente: Elaboración propia).....	32

Ilustración 32. Vector que almacena la información de las posiciones del almacén (Fuente: Elaboración propia) .....	36
Ilustración 33. Posiciones del almacén (Fuente: Elaboración propia) .....	37
Ilustración 34. GEMMA del almacén (Fuente: Elaboración propia) .....	38
Ilustración 35. Configuración de interrupciones (Fuente: Elaboración propia) .....	41
Ilustración 36. Código de la interrupción del movimiento horizontal (Fuente: Elaboración propia) .....	42
Ilustración 37. Como cambiar la dirección IP del ordenador (Fuente: Elaboración propia) .....	43
Ilustración 38. Cargar proyecto en el PLC (Fuente: Elaboración propia) .....	44
Ilustración 39. Asistente de creación de pantalla HMI (Fuente: Elaboración propia) .....	45
Ilustración 40. Menú de administración de usuarios de la pantalla HMI (Fuente: Elaboración propia) .....	47
Ilustración 41. Introducción de usuarios en la pantalla HMI (Fuente: Elaboración propia) .....	48
Ilustración 42. Configuración de los bits de activación de los avisos de la HMI (Fuente: Elaboración propia) .....	50
Ilustración 43. Avisos introducidos en TIA Portal (Fuente: Elaboración propia) .....	50
Ilustración 44. Ventana de inicio de sesión (Fuente: Elaboración propia) .....	51
Ilustración 45. Ventana del proceso de horneado y serrado (Fuente: Elaboración propia) .....	52
Ilustración 46. Ventana manual del proceso de horneado y serrado en la HMI (Fuente: Elaboración propia) .....	53
Ilustración 47. Ventana semiautomático del proceso de horneado y serrado en la HMI (Fuente: Elaboración propia) .....	54
Ilustración 48. Ventana principal del almacén en la pantalla HMI (Fuente: Elaboración propia) .....	55
Ilustración 49. Modo de descarga semiautomática en la pantalla HMI (Fuente: Elaboración propia) .....	56
Ilustración 50. Botón de simulación en la barra de herramientas en TIA Portal (Fuente: Elaboración propia) .....	57
Ilustración 51. Ventana de inicio de sesión de la aplicación SCADA (Fuente: Elaboración propia) .....	59
Ilustración 52. Ventana del proceso de horneado y serrado en el SCADA (Fuente: Elaboración propia) .....	60
Ilustración 53. Control manual del proceso de horneado en el SCADA (Fuente: Elaboración propia) .....	61
Ilustración 54. Control semiautomático del proceso de horneado en el SCADA (Fuente: Elaboración propia) .....	61
Ilustración 55. Ventana de control del almacén del SCADA (Fuente: Elaboración propia) .....	62
Ilustración 56. Ventana de control manual del almacén en el SCADA (Fuente: Elaboración propia) .....	63
Ilustración 57. Ventana de carga semiautomática en el almacén en el SCADA (Fuente: Elaboración propia) .....	64
Ilustración 58. Red de comunicación en la instalación real (Fuente: Elaboración propia) .....	65
Ilustración 59. Relé de seguridad G9SE-201 de Omron (Fuente: <a href="http://www.rs-online.com">www.rs-online.com</a> ) .....	68
Ilustración 60. Ejemplo de instalación del cordón de seguridad (Fuente: <a href="http://www.industrial.omron.es">www.industrial.omron.es</a> ) .....	68
Ilustración 61. Seta de emergencia A165E (Fuente: <a href="http://www.mouser.es">www.mouser.es</a> ) .....	71
Ilustración 62. Interruptor de cuerda ER1022 (Fuente: <a href="http://www.industrial.omron.es">www.industrial.omron.es</a> ) .....	71
Ilustración 63. Interruptor de puesta de seguridad D4NL (Fuente: <a href="http://www.industrial.omron.es">www.industrial.omron.es</a> ) ..	72
Ilustración 64. Vacuostato serie PSK de Coval (Fuente: <a href="http://www.coval-iberica.com">www.coval-iberica.com</a> ) .....	73
Ilustración 65. Final de carrera WLCA2-TH-N de Omron (Fuente: <a href="http://www.digikey.com">www.digikey.com</a> ) .....	73
Ilustración 66. Fotocelula E3Z-D62 0.5M de Omron (Fuente: <a href="http://www.industrial.omron.es">www.industrial.omron.es</a> ) .....	74

Ilustración 67. Sensor inductivo E2EH de Omron (Fuente: <a href="http://www.industrial.omron.es">www.industrial.omron.es</a> ) .....	74
Ilustración 68. Esquema instalación elementos de seguridad del horno (Fuente: Elaboración propia) .....	7
Ilustración 69. Esquema instalación elementos de seguridad cinta transportadora (Fuente: Elaboración propia) .....	8
Ilustración 70. Esquema elementos de seguridad del almacén (Fuente: Elaboración propia) .....	8
Ilustración 71. Cableado seguridad del horno y serrado y del almacén (Fuente: Elaboración propia) .....	9
Ilustración 72. Cableado seguridad de cinta transportadora (Fuente: Elaboración propia) .....	10

## Índice de tablas

Tabla 1. Tiempos de mecanizado de la pieza dependiendo de su color .....	5
Tabla 2. Direcciones IP del proyecto .....	27
Tabla 3. Direcciones de entrada y salida del proceso de horneado y serrado .....	28
Tabla 4. Direcciones de entrada y salida del almacén .....	39
Tabla 5. Grupos de usuarios en la pantalla HMI .....	47
Tabla 6. Grupos de usuarios de la aplicación SCADA .....	58

# 1. Introducción

Durante este último curso del máster de Ingeniería Industrial se han estudiado contenidos relacionados con el control de procesos industriales y con la automatización y robótica industrial. Los primeros están ligados a procesos continuos, más relacionados con controladores tipo PID o basados en modelos, mientras los segundos tienen que ver con los procesos discretos, de todo o nada, normalmente controlados mediante PLC. Este proyecto está incluido en estos últimos, donde se utiliza un PLC para realizar el control de dos procesos industriales discretos.

La automatización consiste en el funcionamiento de un proceso de forma autónoma, es decir, con la mínima intervención humana posible. Estos procesos no están limitados solo al ámbito industrial, pudiendo aplicarse en otros ámbitos, como, por ejemplo, el doméstico, a través de la domótica, que consiste en la automatización de algunas partes de una vivienda. La automatización no consiste únicamente en diseñar el código de control para los PLCs, también tiene un papel muy importante la electrónica, pues hay que instalar los sensores y actuadores correctos para cada proceso, diseñar la red de comunicación entre los sensores y los controladores, o entre los propios controladores con otros controladores o con PCs.

En la situación actual, debido a la pandemia del COVID-19, la industria se enfrenta a un futuro incierto y la automatización industrial ha adquirido una importancia mucho mayor a la que ya tenía previamente a la pandemia. La pandemia ha demostrado lo útiles que son los sistemas de automatización en la industria donde los operarios e ingenieros pueden monitorizar y controlar los procesos a través de sus ordenadores cuando están teletrabajando desde casa debido a los confinamientos. Las líneas de producción deben modificarse para evitar en la mayor medida posible el contacto entre los operarios y evitar así contagios en la empresa que puedan llevar a cuarentenas. Por todas las posibilidades que ofrece un entorno automatizado, la pandemia ha acelerado el ritmo de implantación de la automatización, y no solo en su vertiente más industrial, ya que se ha aumentado la incorporación de otras tecnologías relacionadas con la industria 4.0, como el BigData o el comercio electrónico, aumentando también el interés la inteligencia artificial o por la instalación de robots industriales<sup>1</sup>.

Por lo tanto, las empresas más automatizadas son las que mayor probabilidad tienen de sufrir menos con los cambios que ha traído la pandemia de la COVID-19, por ello se deben impulsar planes que favorezcan la automatización y robotización de las industrias, para tener un tejido industrial más fuerte y seguro frente a futuras crisis que puedan llegar<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Vilariño, A. (23 de noviembre de 2020). *La covid-19 acelera la llegada de los trabajos del futuro*. Compromiso Empresarial. <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2020/11/covid19-acele-llegada-trabajos-futuro/>

<sup>2</sup> Yaskawa-Motoman. (11 de enero de 2021). *Presente y futuro de la automatización y robótica en España*. InfoPLC. <https://www.infopl.net/noticias/item/108989-presente-futuro-automatizacion-robotica-espana>

## 1.1 Motivación

La motivación principal para la realización de un proyecto de este tipo es continuar y ampliar los conocimientos sobre el mundo de la automatización industrial obtenidos durante la realización del Trabajo de Fin de Grado. Mientras en el TFG se realizó la automatización de dos procesos sencillos, aquí se ha buscado controlar unos procesos más complejos y que requieran de una sincronización mayor, aplicando configuraciones de control más realistas como puede ser la utilización de periferia distribuida, algo muy común en la industria.

Además, se ha escogido este proyecto debido al interés del alumno por poder desarrollar su vida laboral en el sector de la automatización, donde todo lo aprendido durante su realización puede resultar bastante útil.

## 1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el control y monitorización de dos procesos industriales distintos que deben trabajar de forma sincronizada. El primero proporciona piezas para el segundo, creando así un único sistema de producción; el primer proceso se trata de una estación de horneado y serrado de piezas, el segundo consiste en un almacén vertical que guardará las piezas que salgan del primer proceso. Ambos procesos se comentarán de forma detallada más adelante en este documento.

Para alcanzar este objetivo principal, se han definido una serie de subobjetivos o hitos a alcanzar durante el desarrollo del proyecto, y que son presentados a continuación:

1. **Diseño del proceso de producción.** Una vez elegidos los prototipos que se van a utilizar, se debe pensar en un proceso que justifique la necesidad de que trabajen de forma sincronizada.
2. **Programación del código de control del proceso de horneado y serrado.** Una vez decidido el proceso de producción, se decide diseñar primero el código de control del proceso de horneado y serrado, por ser el que va a producir las piezas del proceso, trabajando el almacén de forma subordinada a este.
3. **Programación del almacén vertical.** Una vez logrado el control del proceso de producción de piezas, se procederá a diseñar el control del almacén.
4. **Diseño de una aplicación SCADA y de una pantalla HMI;** que servirán para interactuar y monitorizar los procesos.
5. **Conexión de la periferia distribuida para comprobar el correcto funcionamiento del sistema.** Este subobjetivo se puede considerar como la puesta en marcha de un proyecto real, viendo que todo funciona correctamente y realizando los últimos ajustes in situ para dejar el proceso funcionando.



## 2. Diseño del sistema

### 2.1 Diseño del proceso

Para poder empezar el proyecto de automatización primero se debe diseñar el proceso industrial que se va a controlar. Para ello, se seleccionan los prototipos de laboratorio que se utilizarán para simular en el laboratorio un proceso de producción industrial. Se tiene que seleccionar dos prototipos que tenga sentido que trabajen de forma coordinada para poder justificar su automatización de forma conjunta utilizando un único PLC. Entre diversas posibilidades, se escogieron las siguientes maquetas:

- Estación de multiprocesado con horno, donde las piezas pueden someterse a un proceso de horneado y serrado.
- Almacén elevado automatizado, donde se pueden almacenar hasta 9 piezas, con una cinta para la entrada y salida de piezas.

En resumen, en este proceso industrial las piezas llegan a la estación de multiprocesado, donde dependiendo del tipo de pieza se les aplica unos procesos de mecanizado u otros. La pieza mecanizada irá después al almacén elevado, donde se guardará dependiendo de qué tipo de pieza es. Por lo tanto, estos dos procesos deben trabajar de forma coordinada, justificando así que se realice su control a través de un mismo autómatas.

En el proyecto que se presenta, se considera que el cliente cuenta con la instalación necesaria para poder llevar a cabo el proceso. El proyecto consiste únicamente en realizar la automatización del sistema ya presente en la fábrica, reformando y mejorando el sistema automático que estaba presente anteriormente.



*Ilustración 1. Prototipos de laboratorio utilizados en el proyecto (Fuente: Elaboración propia)*

A continuación, se explicará en detalle la composición de los prototipos de laboratorio utilizados y el funcionamiento de los dos procesos del sistema de producción del cliente.

### 2.1.1 Estación de horneado y serrado

Esta estación del sistema de producción cuenta con dos subprocesos distintos. Por un lado, se tiene un horno de cocción con un alimentador que introduce las piezas dentro del horno. El otro subproceso cuenta con una sierra para mecanizar las piezas. Este subproceso tiene una mesa giratoria con tres posiciones: la sierra, la cinta y el manipulador. La mesa cuenta con un empujador (pistón neumático) para introducir las piezas en la cinta transportadora de la maqueta una vez se ha terminado su mecanizado.

Para conectar ambos subprocesos y poder mover las piezas de uno a otro, se tiene un manipulador montado sobre una guía, que coge las piezas que salen del horno con una ventosa neumática y las lleva a la posición del manipulador de la mesa del subproceso de serrado. Para el accionamiento de todos los actuadores neumáticos (puerta del horno, ventosa del manipulador y empujador de la mesa de serrado), el prototipo cuenta con un compresor.

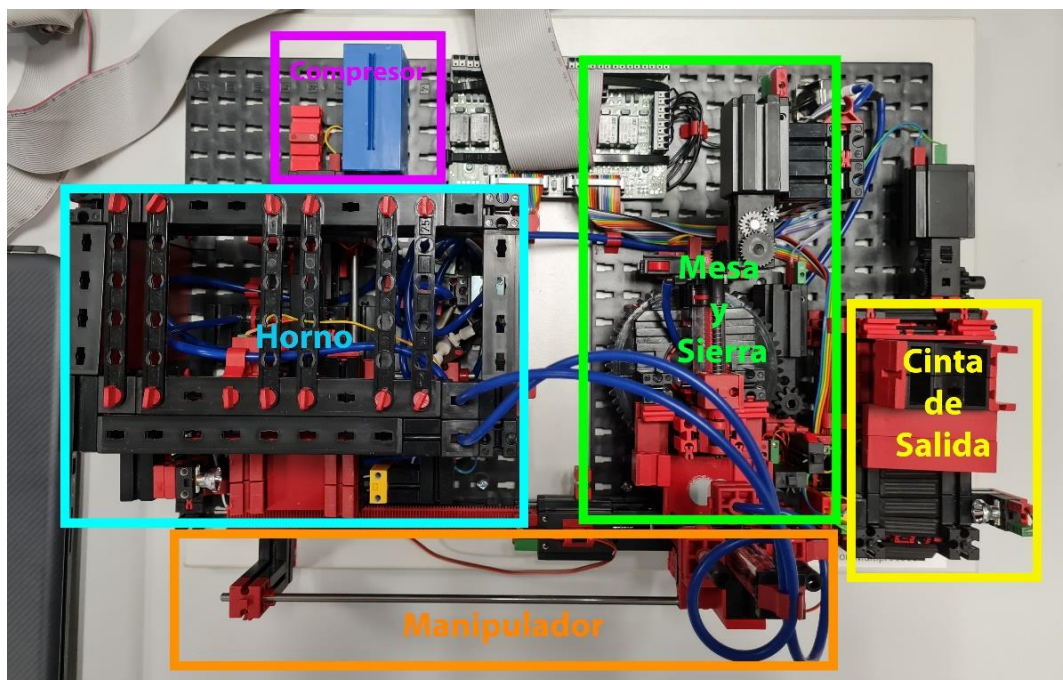


Ilustración 2. División maqueta horneado y serrado (Fuente: Elaboración propia)

Como se ha comentado, la estación de horneado y serrado aplica un proceso diferente a las piezas que entran dependiendo del tipo que sean. La clasificación de las piezas se realiza en función de su color, pudiendo ser este color rojo, blanco o azul. En la Tabla 1 se puede observar los tiempos de mecanizado que se realiza a cada tipo de pieza.

Tabla 1. Tiempos de mecanizado de la pieza dependiendo de su color

Tipo de pieza	Horneado	Serrado
Roja	10 segundos	5 segundos
Blanca	20 segundos	No se aplica
Azul	No se aplica	15 segundos

Por lo tanto, las piezas azules serán recogidas por el manipulador sin llegar a entrar en el horno y las piezas blancas no pararán en la posición de serrado de la mesa, pasando directamente a la cinta transportadora. Las piezas rojas van a ser sometidas a los dos subprocesos. Los tiempos de mecanizado se han escogido lo suficientemente diferentes para poder apreciar la diferencia entre los mecanizados de una pieza y otra, aunque no demasiado largos para no tener que esperar demasiado y no alargar innecesariamente la simulación.

Una parte importante del diseño de esta estación de procesado de piezas es la introducción de estas en el proceso, es decir, como van a llegar las piezas al alimentador del horno y como se van a identificar estas piezas para distinguir de que tipo son. Con los materiales disponibles, sin tener que añadir nuevos dispositivos al proyecto (nuevos sensores, cámaras, etc), primero se pensó que el operador de la máquina seleccionara que pieza va a cargar en el alimentador para poder detectar su tipo. Sin embargo, para hacer el proceso más realista y autónomo, menos complicado para el trabajador que opere la máquina, se decidió simular un cargador de piezas en el horno, que actúa como un depósito. Este cargador será FIFO (First In First Out), por lo tanto, la primera en entrar será la primera en salir. El operario podrá seleccionar que pieza quiere introducir en el cargador, guardando así en el automatismo que tipo de pieza va a entrar en el proceso.

Se supone que las piezas se introducen en el cargador y caen al alimentador mediante un sistema de control separado del automatismo principal que opera la planta, solo controlando la introducción y salida de piezas del cargador, pero no su tipo o cuando se introducen. Por lo tanto, este control sería esclavo del automatismo principal de la planta. Ya que este cargador no existe físicamente en la maqueta, su control no va a ser objeto de este proyecto solo se planteará su simulación. Además, dado que el cargador no está presente, cuando se quiera introducir una pieza que está en la posición de salida del cargador, se debe poner manualmente en el alimentador.

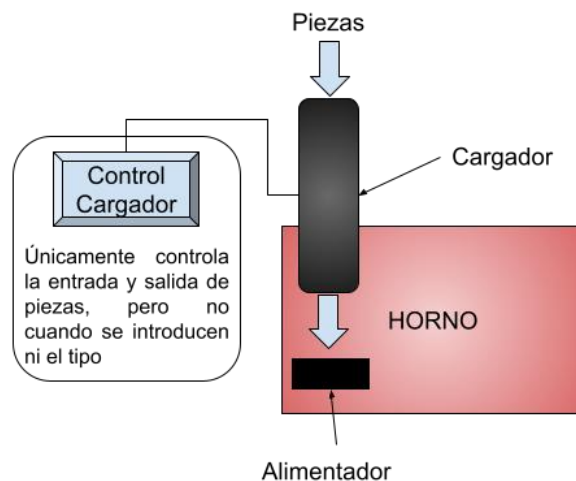


Ilustración 3. Esquema cargador de piezas del horno (Fuente: Elaboración propia)

### 2.1.2 Almacén vertical

Las piezas que salen del proceso de horneado y serrado deben ser almacenadas según su tipo hasta que tengan que ser enviadas a los clientes. Para esta función está presente en el proceso el almacén vertical. Este prototipo tiene una zona de almacenamiento donde se pueden guardar las piezas que llegan en uno de los nueve espacios disponibles. Para poder almacenar la pieza debe introducirse en una caja preparada para que el manipulador del almacén pueda moverla.



*Ilustración 4. Cajas de almacenamiento de las piezas (Fuente: Elaboración propia)*

A la hora de introducir y extraer piezas, se tiene una cinta bidireccional, preparada para mover las cajas donde van introducidas las piezas. Para mover las cajas con las piezas por el almacén, la maqueta tiene un manipulador de cajas que tiene un desplazamiento en tres dimensiones, pudiendo desplazarse horizontal, verticalmente y en perpendicular a los espacios de almacenamiento para poder introducir las cajas en el espacio correspondiente.

La detección de la posición del manipulador (movimientos horizontal y vertical) se realiza mediante la cuenta de los pulsos que han generado los motores paso a paso que realizan los movimientos para llegar a una determinada posición. Un motor paso a paso es un dispositivo que convierte una señal pulsante en un desplazamiento del eje. Con este tren de pulsos, al pasarlo como entrada al autómeta, se puede saber cuánto se ha desplazado el motor.

El almacén debe ser capaz tanto de cargar piezas para almacenarlas como de descargar dichas piezas cuando se tengan que enviar al cliente. Para el proceso de carga, se deberá buscar un espacio libre en el almacén donde guardar la pieza entrante, pero para la descarga se pueden dar dos casos: descargar completamente el almacén sacando todas las piezas almacenadas, o descargar únicamente un tipo de las piezas almacenadas; por ejemplo, descargar todas las piezas rojas dejando en el almacén las piezas blancas y azules.

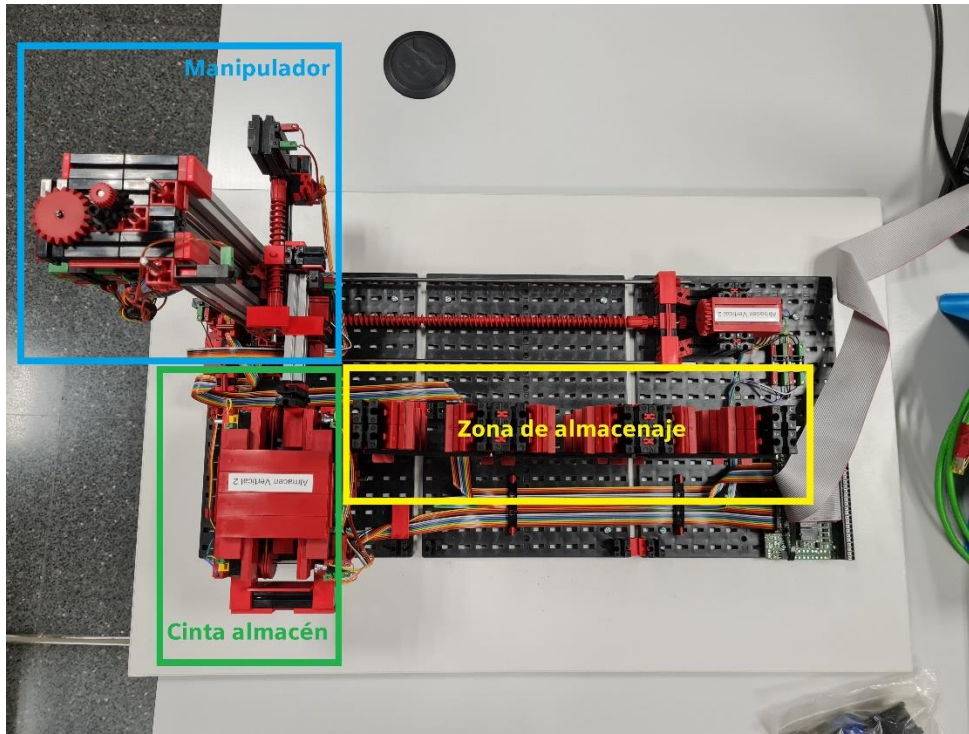


Ilustración 5. División maqueta almacén elevado (Fuente: Elaboración propia)

Por último, en el diseño de este sistema de producción queda establecer la conexión entre ambos procesos (horneado y serrado con el almacén). Para simularla con los recursos disponibles, se establece que la cinta de salida de las piezas del proceso de horneado se utilizará para simular una cinta transportadora que une ambos procesos. La introducción de las piezas en las cajas donde se almacenan se llevará a cabo cuando la pieza que va en la cinta transportadora alcance la entrada del almacén, donde un operario humano o un sistema automatizado (no es objeto de este proyecto) introducirá las piezas en las cajas y después meterá estas cajas en la cinta de entrada del almacén para proceder con su almacenaje. Un esquema de la configuración de todos los procesos de este sistema de producción se puede ver en la Ilustración 6.

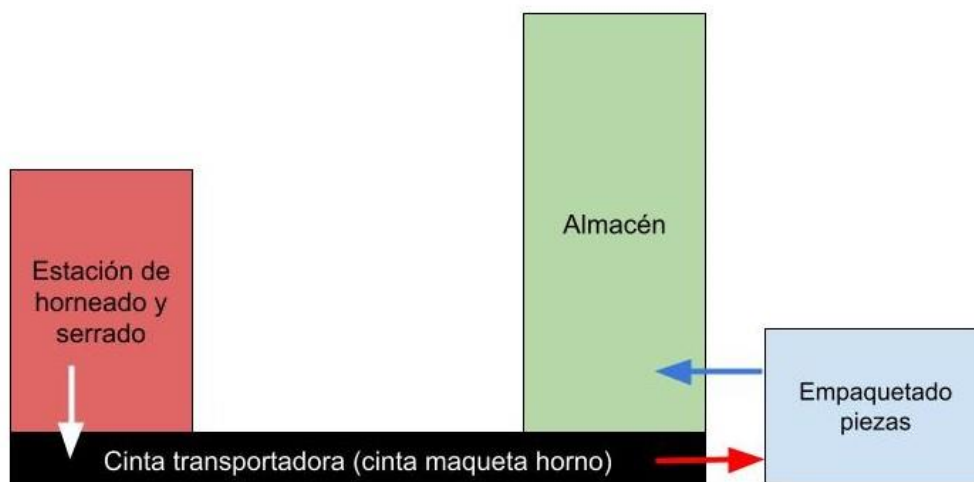


Ilustración 6. Esquema de la planta de producción (Fuente: Elaboración propia)

## 2.2 Esquema de control

Una vez se ha diseñado el sistema de producción que se desea controlar se puede empezar a diseñar un sistema de control para automatizar el proceso.

Lo primero que hay que decidir es con que dispositivos se va a llevar a cabo la automatización del sistema de producción, es decir, que hardware se va a seleccionar para controlar los dos procesos. Aquí se exponen las diferentes alternativas tenidas en cuenta para realizar el automatismo del proceso industrial.

- Una primera opción sería utilizar la **lógica cableada**, que es la alternativa a utilizar la lógica programada (PLCs, microcontroladores, etc). Como su propio nombre indica, este tipo de control se lleva a cabo cableando entre si diversos dispositivos, como relés, contactores de potencia o relés temporizados para automatizar un proceso. Todos estos dispositivos estarían instalados dentro de un cuadro eléctrico, donde se realizaría todo el cableado. Este tipo de control era muy utilizado en tiempos anteriores a la aparición de los PLC y otros tipos de dispositivos programables. Esta opción se descarta para realizar el control de los procesos de este proyecto ya que es muy rígido, una vez se ha realizado es difícil aplicar cambios, corregir errores o introducir algunos parámetros variables. Además, en un sistema complejo como el que se va a automatizar, la lógica cableada puede resultar complicada en exceso, resultando en esquemas de control demasiado grandes y complicados, por lo que no es una buena alternativa frente a la lógica programada, que es la que se va a utilizar en este proyecto<sup>3</sup>.
- Dentro de la lógica programada, se tienen varias opciones de hardware para llevar a cabo el control del sistema. Una de estas opciones son los **microcontroladores**, circuitos integrados que pueden ser programados para realizar algunas funciones. Son como pequeños ordenadores que tienen integradas las entradas y salidas físicas. Estas entradas y salidas físicamente son pines a los que se pueden conectar los sensores y actuadores del proceso. En la Ilustración 7 se puede observar un microcontrolador, con los pines de entradas y salidas<sup>4</sup>.

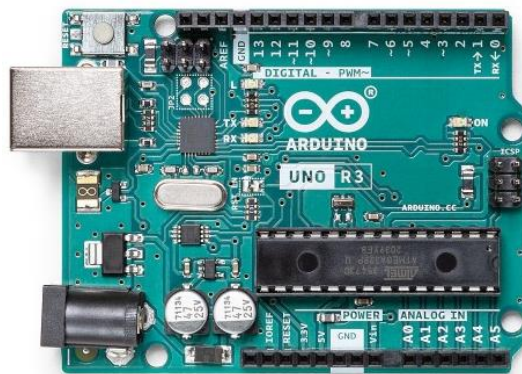


Ilustración 7. Microcontrolador Arduino UNO (Fuente: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc))

<sup>3</sup> ElectroIndustria. (agosto 2004). *Desde la lógica cableada a los Micro Automatismos*. <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=32&ni=desde-la-logica-cableada-a-los-micro-automatismos>

<sup>4</sup> E-Marmolejo, R. (15 de diciembre de 2017). *Microcontrolador – Que es y para qué sirve*. Hetpro. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>

Aunque los microcontroladores pueden resultar muy útiles en algunas aplicaciones, como por ejemplo en domótica, en un entorno industrial su uso no es recomendable. Su principal inconveniente es su fragilidad, estos dispositivos no fueron diseñados para trabajar en un entorno industrial al no tener una carcasa protectora. Además, no están preparados para trabajar con sensores de tipo industrial, por lo que pueden ser no compatibles con los valores de tensión y corriente de estos sensores. Por todo esto, se descarta el uso de microcontroladores para automatizar el sistema de este proyecto<sup>5</sup>.

- Otra alternativa es utilizar un **ordenador combinado con una tarjeta de adquisición de datos (DAQ)**. Este dispositivo se conecta a un PC, pudiendo así leer entradas y escribir valores en salidas desde el ordenador. Con este sistema se aprovecha la gran capacidad de procesamiento y memoria que tiene un PC. Estos dispositivos están pensados para trabajar en laboratorios, además, no son fiables para controlar un sistema industrial dado que el control se está realizando a través de un ordenador que podría fallar por varios motivos (reinicios no deseados, pantallazos azules, actualizaciones del sistema, etc). Por ello se decide que este tipo de control tampoco es recomendable para el control en un ambiente industrial como el del proyecto.



Ilustración 8. DAQ de National Instruments (Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com))

- La última de las opciones contempladas para automatizar el proceso es el **PLC**. Estos dispositivos fueron creados para trabajar en ambientes industriales, por lo que su principal punto fuerte es que son aparatos muy robustos, que soportan bien las temperaturas, vibraciones o la suciedad. Además, están preparados para trabajar con sensores industriales, con ciclos de escaneo muy rápidos (puede leer las entradas y escribir en las salidas en poco tiempo), además de que se pueden integrar fácilmente en una red de comunicación con otros dispositivos, como pueden ser otros PLC, pantallas HMI u ordenadores.

---

<sup>5</sup> Electrotec. (s.f.). *Microcontroladores vs PLC*. <https://electrotec.pe/blog/microcontroladorvsplc>

Una de las desventajas de utilizar un PLC podría ser que tienen poca memoria, sin embargo, es más que suficiente para realizar las aplicaciones para las que fueron diseñados, además de que se pueden añadir expansiones de memoria para tener más capacidad de almacenamiento. Por las características comentadas anteriormente, el dispositivo que se va a seleccionar para automatizar los procesos a controlar en el proyecto va a ser el PLC.



Ilustración 9. Autómata de la serie CP1E de Omron (Fuente: [www.omron.es](http://www.omron.es))

Una vez se ha seleccionado el PLC como dispositivo de control del proyecto, se procede a seleccionar una configuración para instalar el control en el proceso. La más simple de las configuraciones sería cablear todos los sensores y actuadores tanto del proceso de horneado y serrado, como del almacén vertical directamente a las entradas y salidas integradas en el PLC. Para realizar esta configuración, habría que conectar cada sensor y cada actuador de las maquetas con una entrada o salida del PLC. Esto supondría como mínimo dos cables por sensor o actuador (alguno de los sensores o actuadores podría requerir más cables). Los dos procesos de producción y almacenaje que intervienen en el sistema de este proyecto están físicamente instalados a una distancia considerable el uno del otro; no teniendo porqué estar los dos ubicados en el mismo edificio. Sin embargo, como el autómata que controla estos dos procesos es el mismo, el cableado que uniría ambos procesos con el autómata tendría una longitud excesiva lo que dificultará su instalación. Debido a todo esto, este tipo de instalación se descarta para este proyecto.

Otra opción de conexión de los procesos al autómata sería integrar los sensores y actuadores en una red de comunicación (Profibus, Modbus...). Este sistema podría servir para el proyecto ya que se pueden alcanzar distancias largas incluso se podrían utilizar repetidores por si las distancias superan los máximos. Sin embargo, este tipo de conexión está más pensado para sensores analógicos por lo que sensores más simples como los que utilizan las maquetas (finales de carrera, barreras de luz) no se han encontrado modelos con la posibilidad de integrarlos en una red de comunicación. Si estos modelos existieran, el plus de la posibilidad de transmitir información de esta forma encarecerá bastante el sensor; esto sumado a que se necesitan varios sensores para cada maqueta, supondría un coste muy elevado. De modo que se descarta este tipo de conexión para el proyecto.



Una opción muy interesante es incluir periferia distribuida en el sistema de control de los procesos. Una periferia distribuida es un dispositivo que puede instalarse en lugares distintos al del PLC por lo que se pueden instalar a una distancia considerable de él. Este dispositivo actuará como las entradas y salidas físicas que tendría el PLC, pudiendo añadirle tarjetas de entradas y salidas como si de un PLC modular se tratara, pudiendo ser estas tarjetas tanto de entradas y salidas digitales como analógicas. Además, este dispositivo puede integrarse en la red de comunicación del autómatas para transmitir el estado de las entradas y activar desde el autómatas las salidas, por lo que se podría considerar como una forma de alargar el alcance de las entradas y salidas del PLC.

En el sistema de producción que se ha de controlar el uso de este dispositivo resulta muy recomendable, ya que con él se podrán salvar las distancias que separan los procesos del autómatas sin tener que hacer cableados excesivamente largos. Por lo tanto, se podrán recoger todo los sensores y actuadores de cada proceso en uno de estos dispositivos, dándole una mejor organización y limpieza a la instalación; ya que todos los cables que vayan a esa periferia distribuida se sabrán de que proceso proceden de forma más sencilla a diferencia de si se hubiesen cableado ambos procesos directamente al autómatas, de modo que todos los cables de los sensores y actuadores de ambos procesos irían a parar al mismo armario eléctrico donde se haya instalado el autómatas programable. Así sería más complicado identificar de qué proceso proceden los cables, siendo más fácil confundir los de un proceso con otro.



Ilustración 10. Periferia distribuida ET200SP de Siemens (Fuente: <https://mall.industry.siemens.com> )

Por todas las posibilidades que ofrece este tipo hardware para realizar la conexión de los sensores y actuadores de los procesos del proyecto, se va a seleccionar para conectar los procesos con el PLC. Sin embargo, como se debe disponer de un PLC para controlar el proceso al que pueden añadirse tarjetas de entradas y salidas, en vez de utilizar dos periféricas distribuidas se comprará solamente una, siendo esto más barato que comprar dos y además se aprovechan las entradas y salidas del propio autómatas. Por lo tanto, el autómatas se instalará cerca de uno de los procesos para recoger sus señales y la periferia distribuida se instalará próxima al otro proceso. Por motivos que se detallarán más adelante, el autómatas programable se instalará cerca del almacén vertical y la periferia distribuida se colocará en el proceso de horneado y serrado.

Faltaría concretar como se va a interactuar con el sistema de producción, es decir, como los operarios van a comunicarse con los dos procesos del proyecto. Para que los operarios que trabajan en planta, es decir, cerca de las máquinas que conforman ambos procesos, puedan interactuar con estos, se instalará una pantalla HMI (Human Machine Interface). Este dispositivo es una pantalla normalmente táctil, que se instala próxima al proceso que se quiere controlar y monitorizar, aunque también las hay en formato portátil. En esta pantalla se muestra información sobre el proceso además de tener medios para actuar sobre el cómo pueden ser botones, deslizaderas o teclados. Las pantallas HMI están preparadas para trabajar en el entorno industrial, por lo que puede resistir las condiciones más duras que se dan en una planta de producción<sup>6</sup>. También se diseñará un SCADA para que se ejecute en un ordenador en una oficina, a diferencia de la pantalla HMI, el SCADA se ejecutará en un PC que no estará situado en planta. Un SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es un software instalable en un dispositivo como puede ser un ordenador. Sirve para recoger y mostrar datos del sistema de producción, así como para modificar variables y actuar sobre los procesos. Sería parecido a una HMI, pero a diferencia de la pantalla HMI, el SCADA es más apropiado para realizar un control y monitoreo de las variables de todo el sistema de producción, en el caso de este proyecto, mientras debe haber una pantalla HMI para cada proceso (estación de horneado y serrado y almacén vertical), el SCADA va a supervisar ambos procesos<sup>7</sup>. En la Ilustración 11 se observa un esquema con todos los dispositivos seleccionados para realizar el control y monitorización del sistema de producción del proyecto.

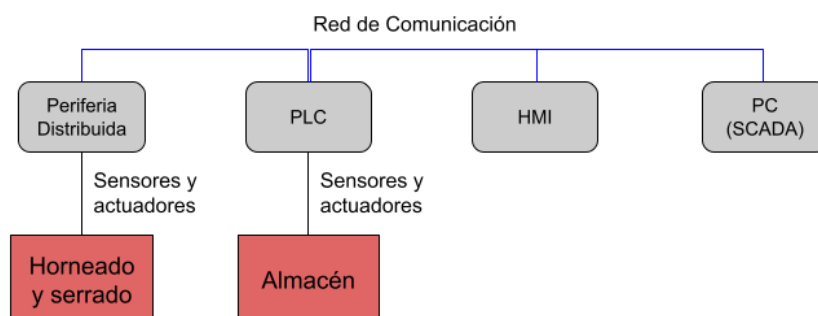


Ilustración 11. Esquema de conexión del sistema (Fuente: Elaboración propia)

<sup>6</sup> Delgado, R. (14 de noviembre de 2019). *¿Qué es un sistema HMI? Aplicaciones del mismo.*

Revistadigital Inesem. <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/que-es-un-sistema-hmi/>

<sup>7</sup> Sothis. (s.f.). *SCADA. ¿Qué es y que permite hacer?.* <https://www.sothis.tech/scada-que-es-y-que-permite-hacer/>

## 2.3 Comunicaciones

En el esquema de control seleccionado se van a utilizar varios dispositivos, como una periferia distribuida para recoger las entradas y salidas del proceso de horneado y serrado o una pantalla HMI. Este esquema requiere establecer una comunicación entre el PLC y la cabecera de la periferia distribuida, además de la necesidad de comunicar también con la pantalla HMI y con el ordenador que ejecuta el SCADA.

La conexión se realiza con buses de campo, que facilitan la conexión de la instalación de control, teniendo que utilizar solo un cable para conectar los dispositivos, evitando así tener que tirar grandes cantidades de cable desde los procesos hasta el autómatas. Para llevar a cabo la red de comunicación se tienen varios protocolos de comunicación para elegir. Se debe tener en cuenta que el protocolo de comunicación no es lo mismo que el cable que se utilice. El cable es el medio físico por el que se transmite la información, es quien conecta los dispositivos y, protocolos distintos pueden utilizar el mismo cable de comunicación. El protocolo de comunicación son las normas o reglas que rigen la comunicación entre dos o más dispositivos y permiten que los integrantes de la red se puedan entender unos a otros.

Para el proyecto solo se comentarán algunos de los protocolos de comunicación más utilizados a nivel industrial. A continuación, se detallan algunos de estos protocolos.

- **Modbus** es un protocolo de comunicación abierto desarrollado por la empresa Modicon, actual Schneider Electric, para la comunicación entre PLCs. Está basado en la arquitectura maestro-esclavo, en la que el maestro le pide información a los esclavos y los esclavos envían la información solicitada. El dispositivo esclavo enviará la información solo cuando el maestro lo solicite. Es un protocolo de comunicación muy extendido ya que, al ser abierto, los fabricantes pueden incluirlo en sus productos sin tener que pagar ningún precio. Modbus se puede implementar a través de varios medios físicos (buses), recibiendo un nombre distinto según el medio físico que utilice. Se pueden usar dos tipos, el estándar RS485 de comunicación serie (solo se envía un bit a la vez), llamado Modbus RTU, o Ethernet, conocido como Modbus TCP/IP.

Modbus RTU es el protocolo original ya que Modbus se diseñó para trabajar con el estándar RS485. Con este bus se puede tener 1 maestro y 31 esclavos, no pudiendo intercambiar las funciones.

Modbus TCP/IP es una modificación que permite a este protocolo usar redes TCP/IP (Ethernet), por lo que se usa el cable de red RJ45. Aumenta el número de dispositivos que se pueden conectar a la red, además de permitir que la red tenga más de un maestro, actuando los esclavos como servidores y los maestros como clientes<sup>8</sup>.



Ilustración 12. Logotipo Modbus (Fuente: [www.domoticaparatodos.com](http://www.domoticaparatodos.com))

---

<sup>8</sup> Aula21. (2020). *Modbus: Qué es y cómo funciona*. Aula21-Centro de formación técnica para la industria. <https://www.cursosaula21.com/modbus-que-es-y-como-funciona/>

- **Profibus** (PROcess Field BUS) es otro de los protocolos de comunicación disponibles a nivel industrial y es uno de los más implantados a nivel europeo. Está basado también en la arquitectura maestro-esclavo, pudiendo conectar 32 dispositivos entre sí (1 maestro y 31 esclavos), más si se instalan repetidores. La conexión se realiza utilizando un bus central, que suele utilizar el estándar RS-485, aunque hay otras opciones, como por ejemplo la fibra óptica<sup>9</sup>.



Ilustración 13. Logotipo Profibus (Fuente: [www.logicbus.com.mx/](http://www.logicbus.com.mx/))

Las instalaciones realizadas con el estándar utilizan conectores como el de la Ilustración 14. Con este estándar se crea un único bus que va de un dispositivo a otro. El cable que llega del dispositivo anterior entraría en el conector (flecha hacia arriba) y el cable que sale del conector (flecha hacia abajo) se conecta al siguiente dispositivo. Se puede ver que el conector tiene un interruptor on-off; esto es para activar o desactivar las resistencias de terminación. Debe estar activa si el conector está en el principio o en el final del bus.



Ilustración 14. Conector Profibus (Fuente: [www.fluitronic.es](http://www.fluitronic.es))

Hay tres tipos de Profibus: FMS, DP y PA. **FMS** es el original, más complejo y lento que los otros dos, por lo que ya no se utiliza. Profibus **DP** es la solución de alta velocidad, pensada para la comunicación entre dispositivos y periféricos (DP viene de Decentralized Periphery, periferia descentralizada en inglés). Profibus **PA** está pensado para comunicar los PLC con dispositivos de campo, es decir, sensores y actuadores que puedan comunicarse a través de Profibus. Existen convertidores Profibus PA-DP para poder integrar ambas redes en una<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Profibus. (20 de julio de 2021). En Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Profibus>

<sup>10</sup> Aula21. (2020). *Profibus: Que es y cómo funciona*. Aula21-Centro de formación técnica para la industria. <https://www.cursosaula21.com/que-es-profibus/>

- **Profinet** (Process Field Network) es un protocolo de comunicación Ethernet industrial basado en estándares abiertos TCP/IP, concebido como una evolución de Profibus. Algunos fabricantes (principalmente Siemens) ya han incorporado una interfaz Profinet en sus dispositivos, haciendo muy sencillo utilizar Profinet con sus productos. El medio físico que utiliza este protocolo para realizar la conexión de la red es el cable de red Ethernet, con los conectores RJ45, aunque también se puede utilizar fibra óptica. Este protocolo fue creado por la misma organización que desarrollo Profibus, Profibus & Profinet International. Mientras Profibus utiliza la comunicación serie, Profinet utiliza los estándares de Ethernet Industrial. Las ventajas de Profinet son varias, su velocidad, la facilidad de instalación de la red y el poco tiempo que se tarda en tener operativa la red, además al ser tan utilizado, tiene un amplio soporte técnico detrás. Es compatible con topologías en estrella, línea y árbol, al igual que Ethernet<sup>11</sup>.



Ilustración 15. Logotipo Profinet (Fuente: [www.baruchcerezoh.blogspot.com](http://www.baruchcerezoh.blogspot.com))

- **IO-Link** es otro protocolo de comunicación serie punto a punto abierto. En este protocolo, los sensores y actuadores adquieren un papel más importante que en otros protocolos de comunicación, al pasar a ser una parte activa de la instalación. Con este tipo de comunicación, los sensores y actuadores además de datos del proceso pueden comunicar más cosas, como el estado del valor (si los datos comunicados son válidos o no), datos del dispositivo como parámetros o información de diagnóstico y eventos que sucedan en el dispositivo, como errores por sobrecalentamiento o suciedad<sup>12</sup>.



Ilustración 16. Logotipo IO-Link (Fuente: [www.intertronic.es](http://www.intertronic.es))

Para que este tipo de comunicación funcione, se deben instalar sensores y actuadores compatibles con este protocolo de comunicación. Para recoger todas las señales y actuadores se utilizan maestros de IO-Link. Estos dispositivos son parecidos a las cabeceras de periferia distribuida comentadas en el apartado 2.2 Esquema de control. Los sensores y actuadores de IO-Link se conectan a estos maestros y a su vez los maestros se conectan al PLC con algún otro bus de campo, en forma de topología de árbol, como se puede ver en la Ilustración 17<sup>13</sup>.

<sup>11</sup> Aula21. (2020). *Profinet: Que es y cómo funciona*. Aula21-Centro de formación técnica para la industria. <https://www.cursosaula21.com/profinet-que-es-y-como-funciona/>

<sup>12</sup> Taranovich, S. (15 de enero de 2020). *Los principios básicos de IO-Link y cómo usarla para habilitar la IoT industrial*. Digikay. <https://www.digikay.com.mx/es/articles/the-fundamentals-of-io-link-and-how-to-use-it-to-enable-the-industrial-iot>

<sup>13</sup> Phoenix Contact. (s.f.). *IO-Link*. Phoenix Contact. [https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?ldmy&urile=wcm:path:/eses/web/main/products/subcategory\\_pages/IO\\_Link\\_P-08-12-07/75f7e693-c681-4b65-8d9c-9ae0deaab6f8](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?ldmy&urile=wcm:path:/eses/web/main/products/subcategory_pages/IO_Link_P-08-12-07/75f7e693-c681-4b65-8d9c-9ae0deaab6f8)

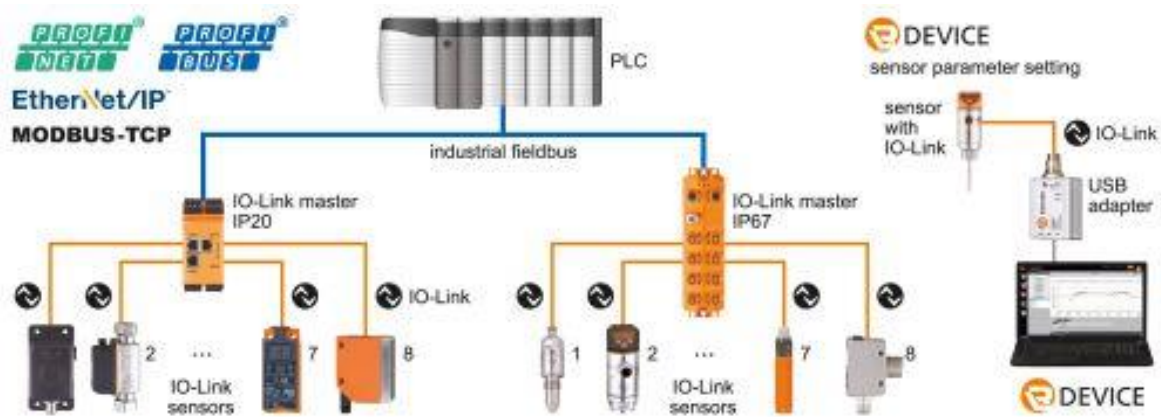


Ilustración 17. Esquema de una red IO-Link (Fuente: [www.ifm.com](http://www.ifm.com))

- Por último, se comentará **EtherCAT** (Ethernet for Control of Automation Technology), un protocolo de comunicación de código abierto desarrollado por la empresa Beckhoff Automation. EtherCAT fue desarrollado para utilizar los protocolos de Ethernet en un entorno industrial. Es el sistema de comunicación más rápido que existe actualmente, pudiendo igualar los tiempos al ciclo de scan del PLC. Soporta prácticamente cualquier tipo de topología de la red, al igual que Ethernet (línea, estrella o árbol). Es totalmente compatible con Ethernet, pudiendo incluir ambos en una misma red<sup>14</sup>.



Ilustración 18. Logotipo de EtherCAT (Fuente: [www.digikey.com](http://www.digikey.com))

Al igual que Siemens o Phoenix Contact con Profinet, algunos fabricantes de dispositivos de control han incorporado EtherCAT como protocolo de comunicación para sus dispositivos, como por ejemplo Hitachi o Baumüller.

Conviene señalar que, aunque se puedan realizar todas las comunicaciones utilizando solo un tipo de protocolo, también se pueden integrar varios distintos en una instalación, por ejemplo, comunicando PLC y HMI mediante Profinet pero usando Profibus o Modbus para comunicar con la periferia distribuida. Solo habría que seleccionar dispositivos que sean compatibles con estos tipos de comunicación.

Para realizar la comunicación entre todos los dispositivos que forman el sistema de control de los procesos del proyecto se va a utilizar Profinet, ya que, como se comentará más adelante, se van a utilizar dispositivos de Siemens que tienen por defecto este protocolo, por lo que es más sencillo de implementar este tipo de comunicación a través del Software TIA Portal que se utiliza con los aparatos de Siemens. También se comentarán algunas de las ventajas que tiene utilizar Profinet para la comunicación entre los dispositivos del proyecto.

<sup>14</sup> EtherCAT.org. (s.f.). *EtherCAT – el bus de campo Ethernet*. <https://www.ethercat.org/es/technology.html>

Las ventajas que tiene Profinet sobre Profibus son varias. Primero, Profinet ofrece una comunicación más rápida y flexible, teniendo velocidades desde 100 Mbit/s hasta 1 Gbit/s, más veloz que los 12 Mbit/s de Profibus. Además, al estar basado en Ethernet en un protocolo de futuro, al contrario que Profibus que utiliza el RS485<sup>15</sup>. Con respecto a IO-Link, Profinet no necesita comprar sensores y actuadores especiales para poder incluirlos en la red de comunicación, por lo que se pueden utilizar sensores más sencillos y baratos que los que habría que utilizar con IO-Link. EtherCAT se podría utilizar, sin embargo, no se requieren velocidades de comunicación muy rápidas, además de que con dispositivos Siemens sería más complicado de implementar que Profinet. Modbus si se podría aplicar con PLCs de Siemens como los que se van a utilizar, ya que están incluidos los drivers, sin embargo, sería más complicado de aplicar que Profinet.

Aunque las comunicaciones de este proyecto se realicen con Profinet, en un futuro se podrían ampliar con más dispositivos que usen otros protocolos, lo que no supone ningún problema mientras se realice correctamente y se instalen los dispositivos necesarios como convertidores o repetidores.

### 3. Materiales utilizados

Una vez se ha seleccionado tanto la configuración del esquema de control (que dispositivos se van a utilizar y como se conectan) como sus protocolos de comunicación, se pueden elegir los fabricantes de estos dispositivos, eligiendo modelos y marcas.

#### 3.1 PLC

Hay muchas marcas fabricantes de autómatas programables. Siemens, Omron o Schneider son solo algunas de ellas. Seleccionar un buen PLC es importante pues este dispositivo se encargará de controlar toda la instalación, siendo el cerebro del sistema automatizado. Lo primero que hay que elegir es si el PLC será modular o compacto.

Los PLC compactos como el de la Ilustración 9 de Omron están pensados para procesos pequeños, donde no se necesita una cantidad muy grande de entradas y salidas y no se tiene pensado ampliar la instalación en un futuro. En estas aplicaciones tienen ventaja sobre los PLC modulares, pues son más baratos que estos últimos y ocupan menos espacio. La desventaja principal de estos autómatas es que no son escalables, es decir, si en algún momento la instalación crece, no se pueden ampliar las prestaciones de este PLC, o si se puede solo de forma muy reducida. Los PLCs modulares, como su propio nombre indica, se pueden configurar según las necesidades montando módulos. Estos PLC son muy útiles para instalaciones cambiantes en el tiempo, pues se pueden adaptar de forma sencilla. Una desventaja es el espacio que ocupan y su precio, son más caros que los compactos<sup>16</sup>.

---

<sup>15</sup> Autex Control Industrial. (12 de marzo de 2019). *Profibus versus Profinet: Estrategias de comparación y migración*. EditorialControl. <http://www.edcontrol.com/index.php/instrumentacion/instrumentacion-189/item/116-profibus-versus-profinet-estrategias-de-comparacion-y-migracion>

<sup>16</sup> Acid Fox. (12 de febrero de 2017). *PLC Modular y PLC Compacto*. Universo Eléctrico. <https://universoelectricocomunidad.blogspot.com/2017/02/entrada-de-prueba.html>

Como los PLC modulares son más potentes y adaptativos, se utilizará este tipo de dispositivo para controlar el sistema productivo del proyecto. Así, aprovechando su capacidad, se podrá utilizar para ampliar la planta en un futuro, o se podrá utilizar el mismo PLC para automatizar más procesos y así evitar tener que comprar otro PLC.

Se tienen muchas marcas fabricantes de PLCs modulares, pero observando estudios de mercado y el nivel de implantación, hay una marca que destaca sobre las demás: Siemens. Siemens es la marca más utilizada en Alemania y la mayor empresa de ingeniería en Europa, además de ser una de las marcas de ingeniería más conocidas<sup>17</sup>, siendo también la empresa que más equipamiento de control (PLCs, HMI, SCADA, etc) vende a nivel mundial. Siemens dispone de dos series de PLC modulares: S7-300, S7-400 y S7-1500. Dado que la serie S7-1500 es más nueva y ha sido ideada por Siemens para sustituir paulatinamente a los S7-300 y S7-400, se va a seleccionar un autómatas de la serie S7-1500.

Dentro de esta serie, se debe elegir una de las CPU. Las CPU están clasificadas según un número desde la 1511 a la 1518, ordenadas de menor a mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento. Como se va a utilizar el PLC para conectar los sensores y actuadores del almacén vertical directamente, se deben comprar tarjetas de entradas y salidas digitales. Sin embargo, Siemens ofrece la posibilidad de comprar CPUs compactas de esta serie, que tienen integradas unas tarjetas de entradas y salidas por defecto, siendo ampliables a más si es necesario en un futuro, por lo que se seleccionará una de estas CPU. En este caso solo hay dos opciones disponibles, la 1511C-1 y la 1512C-1. La CPU 1512C-1 ofrece más memoria de programa (250 KB frente a 150 KB de la 1511C-1), ofreciendo también más entradas y salidas digitales y una velocidad de procesamiento mayor. Por lo tanto, se selecciona la CPU 1512C-1 para controlar el sistema de producción. En la Ilustración 19 se puede ver la CPU del autómatas junto con la fuente de alimentación y las tarjetas de entradas y salidas que vienen incluidas con esa CPU.



Ilustración 19. PLC Siemens S7 1500 (Fuente: Elaboración propia)

<sup>17</sup> InfoPLC. (21 de julio de 2018). *Estudio de mercado Sistemas PLC 2018*. <https://www.infopl.net/actualidad-industrial/item/105669-estudio-mercado-sistemas-plc-2018>



Para programar este PLC se utiliza el programa TIA Portal de Siemens, que pone a disposición del usuario varios tipos de lenguaje de programación para crear las aplicaciones de control que se ejecutan en el autómatas. Para trabajar con el S7-1500 se va a utilizar la versión de TIA Portal V15.1.

### 3.2 Periferia distribuida

La periferia distribuida servirá para conectar los sensores y actuadores del proceso de horneado y serrado, y a su vez, esta estará conectada con el autómatas para transmitir el estado de este proceso, ya que el que lo controla es el PLC, no la periferia distribuida. Al igual que ocurre con los PLC, hay muchas marcas fabricantes de este tipo de dispositivos. Por ejemplo, Siemens tiene su propia gama de periféricas distribuidas, así como muchas más marcas de equipamiento de automatización.

Sin embargo, en este proyecto se considera que el cliente, al tener el sistema funcionando antes de la reforma de la parte de control que se lleva a cabo en este proyecto, ya tiene comprada su propia periferia distribuida, y es un requisito suyo utilizar el dispositivo presente en la instalación. El dispositivo requerido por el cliente es una periferia distribuida de la marca Phoenix Contact.

Phoenix Contact es una marca conocida con mucha reputación que además es uno de los fabricantes que incorpora una interfaz Profinet en algunos de sus productos, por lo que va a ser sencillo establecer la comunicación entre el PLC S7 1500 y una periferia distribuida de esta marca.

Las periféricas de esta marca están incluidas en la serie Inline. Concretamente, la que se tiene disponible para utilizar la cabecera IL PN BK DI8 DO4 2T, que permite la comunicación por Profinet. Como con el PLC, esta cabecera viene por defecto con 8 entradas y 4 salidas digitales, aunque para poder utilizarla con procesos más grandes se ha ampliado hasta 16 entradas y 16 salidas.

En la Ilustración 20 se observa la cabecera con la fuente de alimentación (tarjeta negra) y las tarjetas de entradas y salidas digitales.



Ilustración 20. Periferia distribuida de Phoenix Contact (Fuente: Elaboración propia)

### 3.2 HMI

La pantalla HMI servirá a los operarios de planta para monitorizar e interactuar con los dos procesos. Esta pantalla puede comprarse de cualquier fabricante, sin embargo, con este dispositivo si es interesante que sea de Siemens. Esto es porque esta empresa a integrado todos los programas de diseño y programación de PLC, HMI y SCADA en un único software, TIA Portal, por lo que resulta mucho más sencillo establecer las comunicaciones y programar todos los dispositivos sin tener que descargar varios programas distintos. TIA Portal integra Step 7 (programación del PLC) y WinCC (programación gráfica de HMI y SCADA). Hay varios modelos de pantalla HMI que ofrece Simens, cada una con unas características distintas. Los más básicos son los de la serie Basic Panels, si se quiere pantallas más potentes y con más opciones de programación se puede recurrir a la serie Confort Panels, más cara que las anteriores. También se tienen opciones portátiles, que actuarían como tabletas que los operarios podrían llevar consigo por la fábrica. Como se quiere crear una aplicación sencilla y no se quiere aumentar demasiado el coste de la instalación se selecciona la serie Basic Panels, concretamente la KTP700 Basic (700 hace referencia al tamaño de la pantalla, pudiendo seleccionar tamaños diferentes), pues se considera que tiene un tamaño adecuado para poder apreciar todos los paneles que debe mostrar la pantalla, siendo una pantalla de 7 pulgadas.



Ilustración 21. Pantalla KTP700 Basic (Fuente: <https://mall.industry.siemens.com>)

### 3.4 SCADA

Por último, quedaría seleccionar el software con el que se va a realizar el SCADA. Esto no sería un dispositivo, pues es un programa que se ejecuta en cualquier ordenador compatible. Como se ha comentado en el caso de la pantalla HMI, para el SCADA se va a seguir el mismo criterio. Se elige el software WinCC Advanced pues, al estar integrado todo en el mismo programa (TIA Portal), resulta muy sencillo a la hora de programar todas las pantallas con las que contará la aplicación SCADA, al no tener que estar cambiando entre el programa de configuración del PLC y el de diseño gráfico del SCADA, como sucede con otras marcas de material de automatización.

También para crear la red de comunicación de Profinet será mucho más sencillo siendo todos estos dispositivos y software de la empresa Siemens.

La aplicación SCADA se diseña pensando que se ejecutará en un ordenador en una oficina, por lo que desde ella ingenieros y personal cualificado podrán monitorizar y controlar que todo marcha bien en el sistema de producción.

## 4. Diseño automatismo

Una vez se ha diseñado el esquema de control que se va a utilizar para automatizar los procesos de este proyecto, se han elegido los dispositivos que van a intervenir en su control y se ha seleccionado Profinet como protocolo para realizar todas las comunicaciones del sistema de control, se puede comenzar con el diseño del automatismo, creando los programas que se ejecutarán en el PLC, en la pantalla HMI y en la aplicación SCADA.

El programa del autómatas estará diseñado utilizando principalmente el lenguaje graph de Siemens, un lenguaje de programación gráfica secuencial basado en el lenguaje Grafcet, certificado según el estándar IEC 61131-3, un estándar que certifica los lenguajes de programación para PLC<sup>18</sup>. También se utilizan otros lenguajes disponibles para programar autómatas de Siemens, específicamente se va a utilizar el lenguaje KOP, que está basado en diagrama de contactos según la norma IEC 61131-3<sup>19</sup> y lenguaje SCL, que corresponde con lo que la norma IEC 61131-3 define como texto estructurado<sup>20</sup>. La programación del PLC se realiza en STEP7, que está incluido en el software de programación TIA Portal. En concreto, se utiliza la versión v15.1 de TIA Portal para programar tanto el autómatas como la pantalla HMI y el SCADA.



Ilustración 22. Lenguaje graph (izquierda), KOP (centro) y SCL (derecha) (Fuente: Elaboración propia)

<sup>18</sup> Siemens. (octubre de 2019). *Programación secuencial con GRAPH y SIMATIC S7*. <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/advanced-programming-s7-1500/sce-052-100-graph-s7-1500-r1903-es.pdf>

<sup>19</sup> Siemens. (marzo de 2003). *Esquema de contactos (KOP) para S7-300 y S7-400*. [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/395/18654395/att\\_33367/v1/KOP\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/395/18654395/att_33367/v1/KOP_s.pdf)

<sup>20</sup> Siemens. (2018). *Programación en lenguajes de alto nivel con SCL y SIMATIC S7-1200*. <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/advanced-programming-s7-1200/sce-051-201-scl-s7-1200-r1709-es.pdf>

La organización de los bloques de programa que componen el automatismo se va a hacer siguiendo la guía GEMMA. Este método aportará sencillez y limpieza al diseño de los códigos del automatismo, al hacer más claro en qué estado de funcionamiento se encuentra el sistema en cada instante.

## 4.1 Guía GEMMA

La guía GEMMA (acrónimo de Guía de Estudio de los Modos de Marchas y Paradas en francés) fue creada en 1981 en Francia por la misma agencia creadora del Grafcet, ADEPA. Se creó para definir claramente los distintos estados o modos en los que se puede encontrar un sistema de producción automatizado. Esta guía establece el Grafcet como método de programación de los automatismos del sistema, es más, esta guía no es más que un Grafcet de alto nivel en el que las etapas definen los modos de funcionamiento del sistema<sup>21</sup>.

Esta guía establece tres categorías en las que puede estar un sistema automatizado en un momento determinado (no puede estar en dos al mismo tiempo). Estas categorías son:

- **Procedimientos de parada**, denotados con la letra A. Son cuando el sistema está parado o en camino a una parada. Hay varios estados dentro de este grupo que pueden verse en la Ilustración 23. Los estados más usados son el A1, que es el estado inicial, cuando el proceso está parado antes de comenzar con la producción, y el A6, que es el modo de rearme del sistema.
- **Procedimientos de funcionamiento**, identificados con una F. El sistema está en funcionamiento realizando la producción del producto que se fabrique. El más utilizado, que está siempre presente, es el F1, que es la producción normal.
- **Procedimientos de fallos**, nombrados con una D. Son los estados en los que se ha producido una emergencia o un error en la producción y se tiene que parar el proceso. El más utilizado es el D1, que es la parada de emergencia<sup>22</sup>.

En la guía GEMMA se presentan distintos estados y modos de funcionamiento, por lo que se tiene una gama variada de posibilidades a la hora de configurar la estructura que va a tener el programa del automatismo. En la Ilustración 23 se pueden observar los diversos estados de funcionamiento que ofrece la guía GEMMA para organizar el programa. A pesar de tener tantos modos de funcionamiento, la guía no obliga a que tengan que utilizarse todos en un mismo programa, pudiendo seleccionar el programador aquellos modos o etapas que más le convengan para realizar su programa de control.

---

<sup>21</sup> Ponsa, P. y Vilanova, R. (2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. Barcelona: Edicions UPC

<sup>22</sup> Pizá Fernández, R. (23 de septiembre de 2020). *Programación del PLC* [Diapositiva de PowerPoint]. Poliformat UPV. [https://poliformat.upv.es/access/content/group/DOC\\_33686\\_2020/Teor%C3%ADa/Al-MII-Tema2-Programaci%C3%B3n%20del%20PLC.pdf](https://poliformat.upv.es/access/content/group/DOC_33686_2020/Teor%C3%ADa/Al-MII-Tema2-Programaci%C3%B3n%20del%20PLC.pdf)

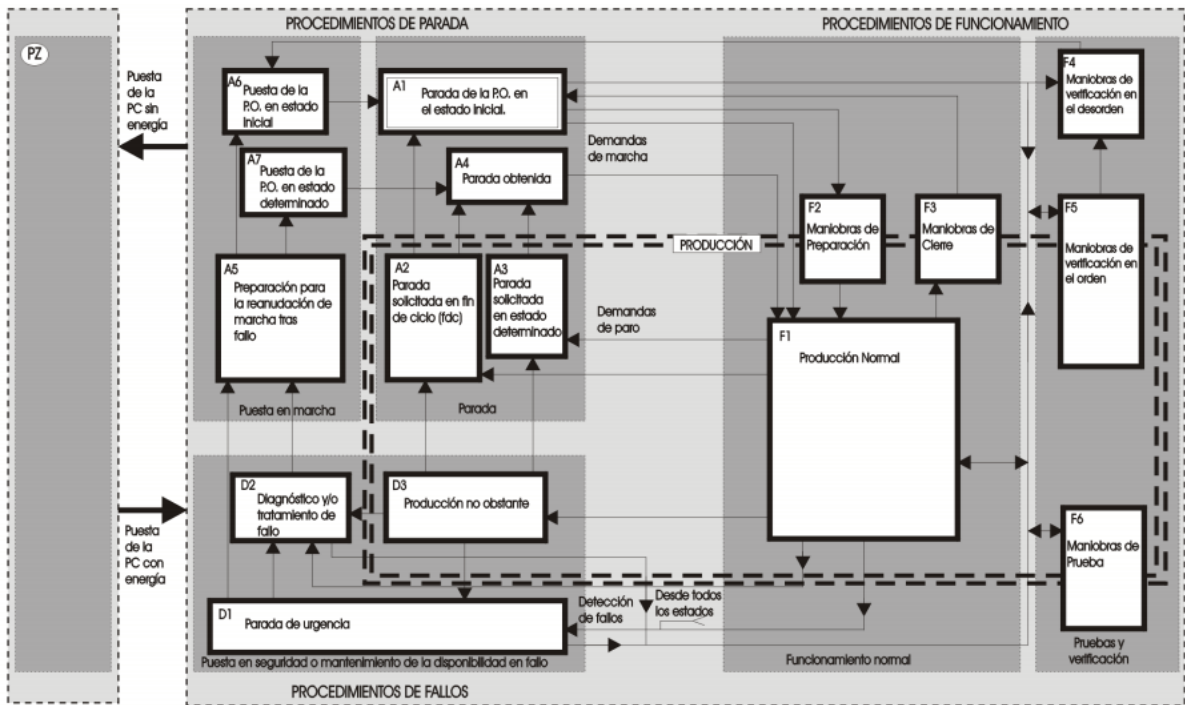


Ilustración 23. Estados guía GEMMA (Fuente: Diapositivas de la asignatura AI)

Por lo tanto, siguiendo esta guía, se han diseñado los dos automatismos de los dos procesos del proyecto de una forma sencilla y organizada, pudiendo conocer el estado de funcionamiento de ambos procesos mirando solo que etapa del GEMMA esta activada.

A continuación, se muestran los dos graficet correspondientes con los automatismos del sistema proceso, que más adelante se programarán en TIA Portal.

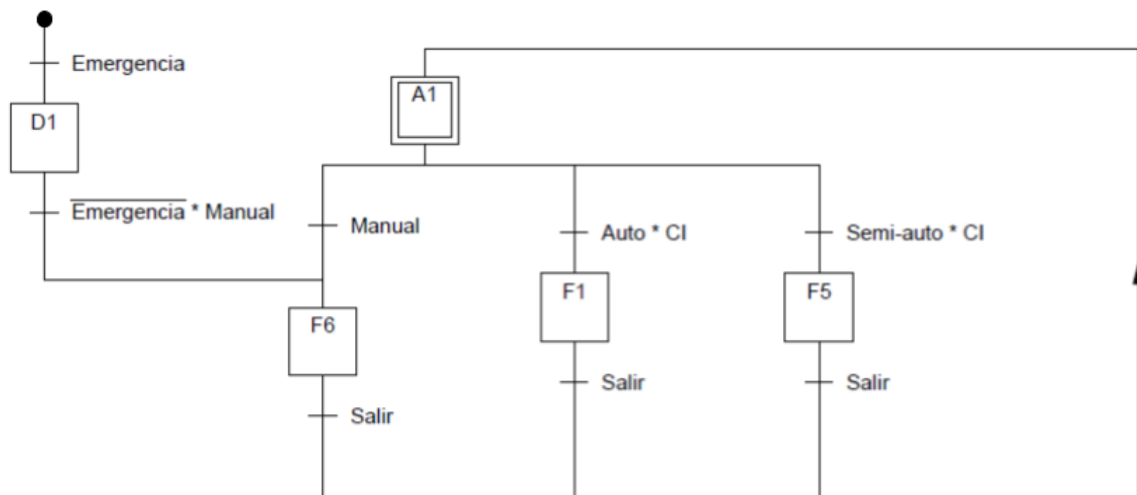


Ilustración 24. GEMMA del proceso de horneado y serrado (Fuente: Elaboración propia)

En el graficet de la imagen superior se muestra el funcionamiento del proceso de horneado y serrado. La etapa D1 de parada de emergencia se puede activar desde cualquier punto del diagrama (es lo que represente el punto negro) cuando se activa la seta de emergencia. Para salir de este modo de funcionamiento, se debe desactivar la emergencia y entrar en el modo manual.

También se puede entrar en modo manual desde la etapa A1, así como a los modos automático y semiautomático (F1 y F5). Para poder entrar en estos modos de funcionamiento, se deben cumplir las condiciones iniciales del proceso, que se explicarán más adelante en este documento. Una vez dentro de uno de los procedimientos de funcionamiento (F1, F5 o F6), cuando se terminen las piezas o no se accione ningún actuador de forma manual, el sistema permanece en reposo, esperando una nueva orden (una pieza nueva o una orden de activar algún actuador). Para salir de estos modos sin que se produzca una parada de emergencia se debe elegir la opción *Salir*, volviendo así al estado A1.

Para el control del almacén vertical se ha diseñado otro graficet de control basado en la guía GEMMA diferente al utilizado en el otro proceso. Este nuevo graficet es el que aparece en la Ilustración 25.

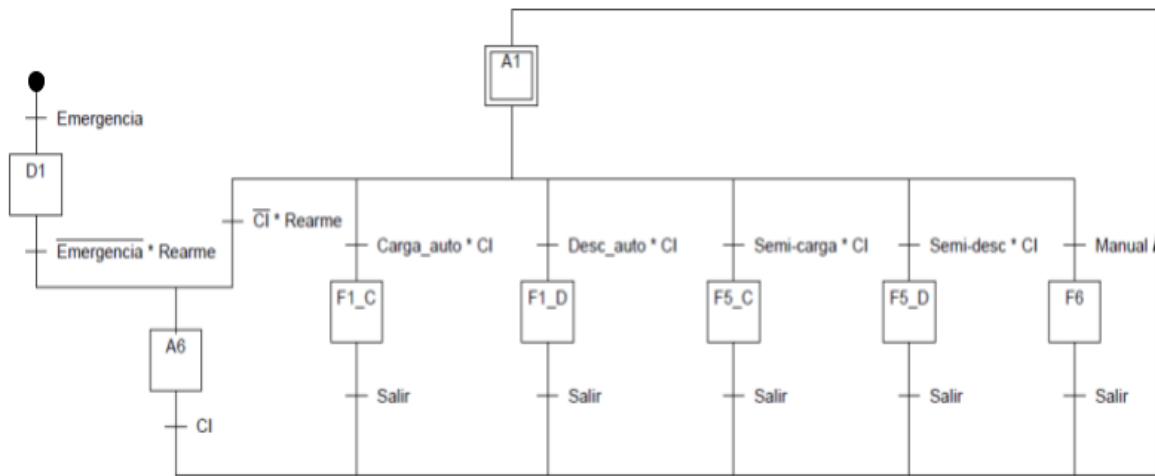


Ilustración 25. GEMMA del almacén vertical (Fuente: Elaboración propia)

En el caso del almacén, los estados de funcionamiento automático y semiautomático están duplicados. Esto es debido a que se tienen dos procesos dentro del almacén: la carga de piezas y su descarga. Estos dos modos de funcionamiento se controlan de forma separada, por eso se han duplicado las etapas F1 y F5.

A parte de este cambio con respecto al GEMMA anterior, también se tiene otra diferencia. En el caso del almacén se ha decidido incluir una etapa A6 de rearme del sistema. Esta etapa servirá para devolver al almacén a sus condiciones iniciales para poder comenzar con otros modos de funcionamiento. A este modo se puede acceder de dos formas: La primera, a través de una parada de emergencia (etapa D1 del GEMMA), se usa esta etapa para salir del modo de parada de emergencia y reestablecer el sistema. La segunda, si cuando se está en la etapa de espera A1 y no se cumplen las condiciones iniciales para pasar a las etapas F1 y F5, se puede pasar al estado A6 para lograr de forma rápida que se cumplan las condiciones iniciales. La programación de este modo de rearme del sistema, así como más información de su funcionamiento, se explica en el apartado 4.4 Programación del Almacén.

## 4.2 Conexión periferia distribuida

En Siemens es muy sencillo establecer esta red de comunicación, añadiendo los dispositivos en el apartado *Dispositivos y redes* en TIA Portal, que puede verse en la Ilustración 26. Este apartado permite configurar la red de comunicación de forma sencilla.

Cuando se crea un nuevo proyecto en TIA Portal se debe añadir un dispositivo a él, por lo tanto, el PLC añade al crear el proyecto. Sin embargo, la pantalla HMI y la estación PC donde se ejecuta el SCADA no están añadidas aún, pero incluirlas en el proyecto es muy sencillo, los hay que seleccionar la opción *Agregar dispositivo* en el árbol del proyecto. De esta forma quedan añadidos estos dos dispositivos.

Para el SCADA, tras añadir una estación PC se debe añadir del catálogo que aparece en el apartado *Dispositivos y redes* una tarjeta de red para poder conectar el PC a la red. En este catálogo debe seleccionarse en el catálogo *Módulos de comunicación > PROFINET/Ethernet > IE General*. Esta tarjeta será la tarjeta de red del ordenador en el que se ejecute el SCADA.

El catálogo que aparece al añadir un nuevo dispositivo o en el apartado *Dispositivos y redes* solo está disponible para los productos de Siemens. Esto provoca que la periferia distribuida, al ser de Phoenix Contact no se pueda encontrar en este catálogo. Sin embargo, esto no supone un problema, pues es sencillo incluirla dentro del proyecto de TIA Portal utilizando su archivo GSDML.

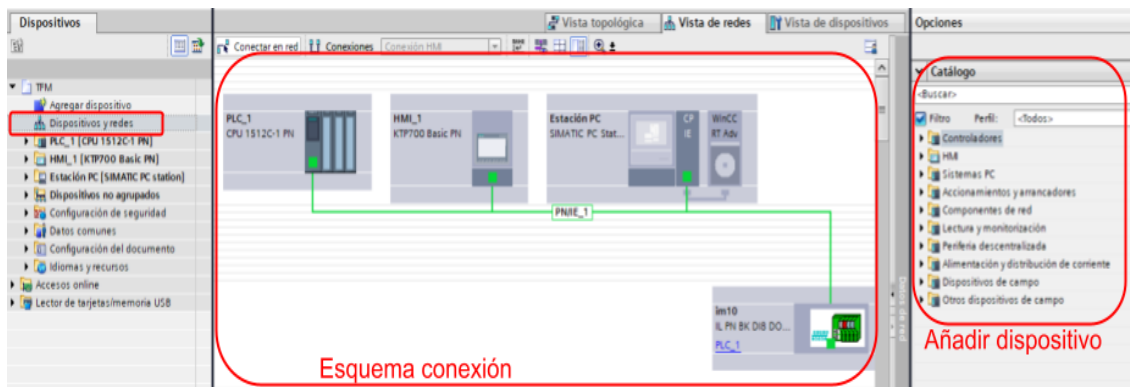


Ilustración 26. Apartado *Dispositivos y redes* (Fuente: *Elaboración propia*)

Los archivos GSDML sirven para describir las características de un dispositivo que se va a introducir en una red Profinet. Por lo tanto, se puede utilizar este archivo para introducir la periferia distribuida en TIA Portal como si de un producto de Siemens se tratara. Estos archivos también se usan para las redes Profibus, solo que en este caso son archivos GSD. La diferencia entre ambos es que los GSDML de Profinet están escritos en formato XML<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> InfoPLC. (26 de abril de 2013). *Profibus: Que son los archivos GSD y GSDML*. <https://www.infopl.net/documentacion/7-comunicaciones-industriales/1775-profibus-que-son-los-archivos-gsd>

Este archivo se puede descargar desde la página web de Phoenix Contact, a través de su catálogo de productos, seleccionando la periferia distribuida que se utiliza en este proyecto. Para añadir el archivo al proyecto de TIA Portal se debe seguir la ruta *Opciones > Administrar archivos de descripción de dispositivos*. En la ventana emergente que aparece se debe elegir la opción *Instalar* y se selecciona la ruta donde se guardó el archivo GSDML. Tras esto, TIA Portal procederá a instalar los datos del dispositivo, en este caso la periferia distribuida. Después se podrá seleccionar en el apartado de *Dispositivos y redes* como si fuera un dispositivo de Siemens. Como se comentó en el apartado 2.2 Esquema de control, esta periferia distribuida tiene por defecto 8 entradas (distribuidas en dos tarjetas) y 4 salidas.

Para poder contar con las 16 entradas y salidas que tiene el dispositivo realmente, habrá que añadir las tarjetas que faltan al dispositivo en TIA Portal. Para añadirlas se hace doble clic en la periferia distribuida en el esquema de conexión que aparece en la Ilustración 26, entrando a la vista general del dispositivo. Aquí se podrán añadir las tarjetas que faltan además de ver que direcciones les ha asignado a las entradas y salidas de estas tarjetas. Como se puede ver en la a las entradas les asigna los bytes 134 y 135 (%I134 y %I135 en las direcciones de entrada) y a las salidas los bytes 136, 137 y 138 (%Q136, %Q137 y %Q138 en las direcciones de salida).

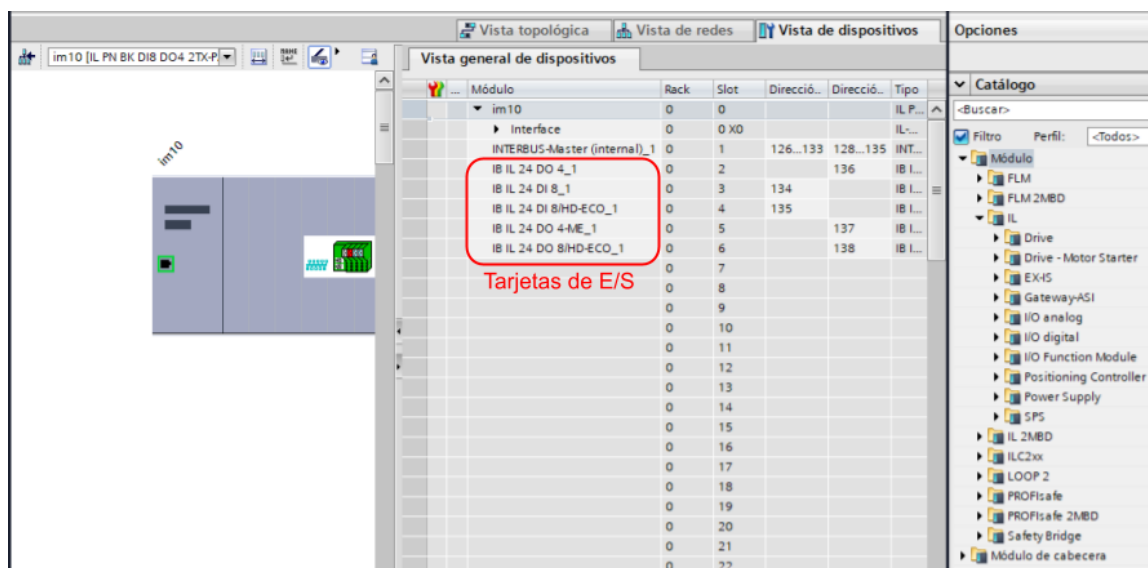


Ilustración 27. Configuración de la periferia distribuida en TIA Portal (Fuente: Elaboración propia)

Para conectar físicamente los dispositivos se debe usar un cable de red Ethernet con conectores RJ45. La maleta donde estaba instalada la periferia distribuida venía con un switch para poder conectar varios dispositivos entre sí, por lo que se aprovechó para conectar el autómatas, el PC y la periferia distribuida a través del switch, aunque en realidad no era necesario pues tanto la periferia distribuida como el autómatas disponen de dos puertos RJ45 para poder conectar varios dispositivos. Como la pantalla HMI no se tiene físicamente, sino que se va a simular mediante el ordenador, conectando a la red el PC ya se conecta también la pantalla HMI.



Para que la comunicación por Profinet funcione correctamente hay que incluir en el proyecto de TIA Portal las direcciones IP de todos los dispositivos de la red. Para implementar la red correctamente, todos los dispositivos deben estar en la misma subred. Se usa la subred de la maleta de la periferia distribuida, que es la 192.168.204.XX, eligiendo el último número al azar, no pudiendo coincidir el de dos dispositivos. Para poder asignar una dirección IP a la periferia distribuida, ya que venía sin ninguna, se usa el programa de Siemens *Proneta*, que sirve para detectar los dispositivos conectados a una red y poder cambiar y asignar direcciones IP.

A la pantalla HMI se le asigna una directamente en el menú de dispositivos de TIA Portal, pues no es un dispositivo físico, ya que está simulado. Para el SCADA se usa la dirección IP de la tarjeta de red del ordenador. Hay que asegurarse de cambiar esta dirección IP para que coincida con la subred del proyecto.

Para cambiar la dirección IP del PLC se debe hacer uso del apartado *Accesos Online > Tarjeta de red del PC utilizado*, y en el apartado Online y diagnóstico, cambiar la dirección IP del autómatas. En la Tabla 2 se pueden ver las direcciones IP que se le han asignado a cada uno de los dispositivos que forman el sistema de control del proyecto.

Tabla 2. Direcciones IP del proyecto

<i>Dispositivo</i>	<i>Dirección IP</i>
<i>PLC</i>	192.168.204.93
<i>Periferia Distribuida</i>	192.168.204.90
<i>HMI</i>	192.168.204.96
<i>PC (SCADA)</i>	192.168.204.91

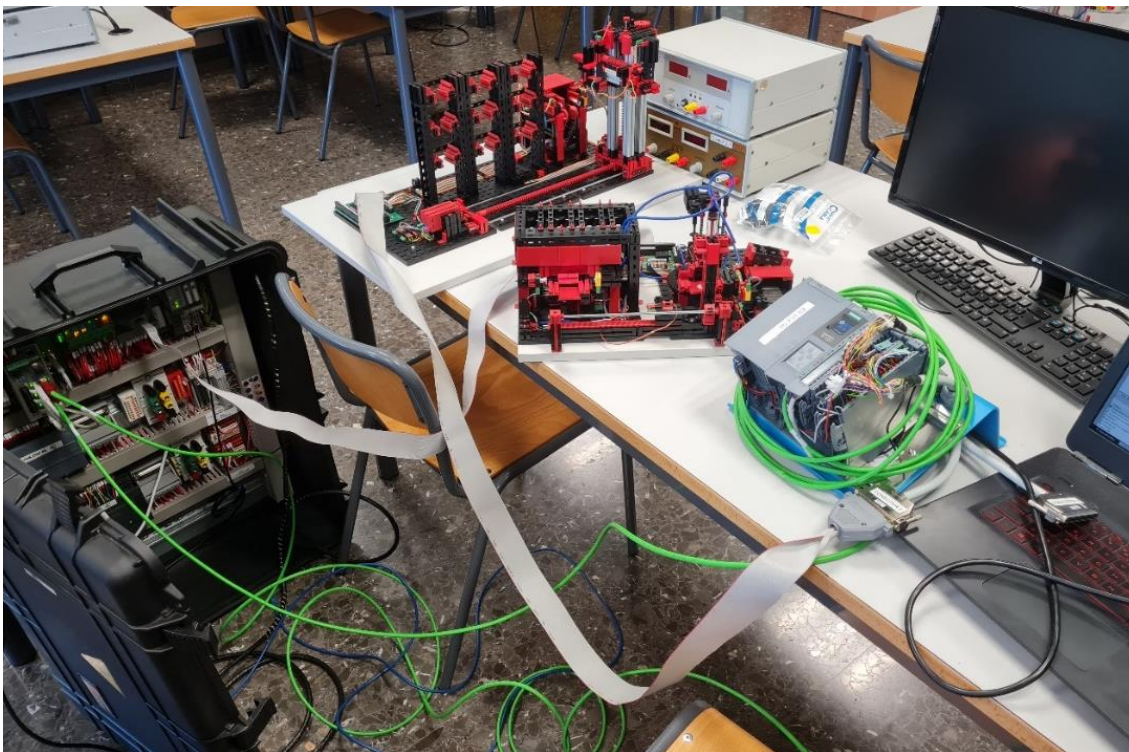


Ilustración 28. Conexión de todos los dispositivos en el laboratorio (Fuente: Elaboración propia)

### 4.3 Programación de la estación de multiprocesado

El proceso de horneado y serrado se va a automatizar utilizando el PLC y la periferia distribuida. Para programar los códigos de control se utiliza principalmente el lenguaje Graph debido a su sencillez para crear programas secuenciales. Para conectar el proceso con la periferia, se conecta el cable con todos los sensores y actuadores del proceso al puerto que hay en la maleta donde está instalado este dispositivo. Aunque se suministró al alumno un documento con las direcciones que deben tener estas entradas y salidas en el autómata, al utilizar la periferia distribuida el orden no coincidía. Para poder descubrir que direcciones eran cada sensor y actuador se tuvo que probar manualmente, activando los actuadores desde el proyecto de TIA Portal y activando los sensores del proceso manualmente a ver que direcciones se ponían a 1, indicando así que esa es la dirección correcta. En la Tabla 3 se observan las direcciones de cada sensor y actuador de este proceso en el autómata, junto con el nombre dado en el proyecto y una breve descripción de su función.

Tabla 3. Direcciones de entrada y salida del proceso de horneado y serrado

<i>Entrada</i>	<i>Descripción</i>	<i>Dirección</i>
<i>Pieza_Al</i>	Pieza en el alimentador del horno	%I134.2
<i>Manipulador_M</i>	Manipulador en posición mesa giratoria	%I134.0
<i>Manipulador_H</i>	Manipulador en posición horno	%I135.6
<i>Ali_Fuera</i>	Alimentador fuera del horno	%I134.1
<i>Ali_Dentro</i>	Alimentador dentro del horno	%I135.4
<i>M_Sierra</i>	Mesa giratoria en sierra	%I134.7
<i>M_Mani</i>	Mesa giratoria en manipulador	%I134.4
<i>M_Cinta</i>	Mesa giratoria en cinta	%I134.6
<i>Pieza_Fin</i>	Pieza en final de cinta de salida	%I134.5
<i>Salida</i>	<i>Descripción</i>	<i>Dirección</i>
<i>Move_Ali_Dentro</i>	Mover alimentador dentro del horno	%Q137.0
<i>Move_Ali_Fuera</i>	Mover alimentador fuera del horno	%Q137.1
<i>Mesa_dcha</i>	Mover mesa giratoria hacia la derecha	%Q136.0
<i>Mesa_izda</i>	Mover mesa giratoria hacia la izquierda	%Q136.1
<i>Av_Cinta</i>	Poner en marcha la cinta de salida	%Q136.2
<i>Sierra_ON</i>	Encender la sierra	%Q136.3
<i>Move man Horno</i>	Mover el manipulador hacia el horno	%Q137.2
<i>Move man Mesa</i>	Mover el manipulador hacia la mesa giratoria	%Q137.3
<i>Ent_On</i>	Habilitar todas las entradas del proceso	%Q138.0
<i>Compr_ON</i>	Encender el compresor	%Q138.1
<i>Vent_ON</i>	Activar la ventosa del manipulador	%Q138.2
<i>Man_Abajo</i>	Bajar el manipulador	%Q138.3
<i>Puerta_Arriba</i>	Abrir la puerta del horno	%Q138.4
<i>Emp_ON</i>	Activar el empujador de la mesa giratoria	%Q138.5
<i>Luz_Horno</i>	Encender la luz del horno	%Q138.6

A parte de las entradas y salidas físicas, para interactuar con el proceso (inicio del proceso, modos manual y automático, etc) se han creado entradas y salidas en las direcciones %M del PLC. Estas direcciones serán utilizadas sobre todo por el SCADA y la pantalla HMI. Todas estas variables y sus direcciones en memoria están en el apartado 1.1 Variables horneado y serrado de los anexos.

Antes de comenzar con la producción, se debe encender el horno de las piezas. Para simular el proceso de calentado del horno se ha incluido un temporizador en el código del PLC. Para poder empezar con la producción deben de haber pasado 50 segundos desde que se puso el horno en marcha, que es cuando estará a la temperatura de horneado necesaria para las piezas.

El automatismo tendrá tres modos de funcionamiento, a parte del modo de parada de emergencia. Estos modos son: automático, semiautomático y manual. En el modo automático las piezas se mecanizan de forma automática según van entrando en el alimentador del horno. El modo semiautomático se ha creado para poder terminar de mecanizar las piezas que quedaron dentro del proceso productivo cuando se dio una parada de emergencia. Con este modo el operario podrá terminar de mecanizar estas piezas y las podrá sacar del proceso para reanudar la producción automática. Por último, se tiene el modo manual. Con este modo se pueden activar de forma independiente los distintos actuadores que tiene la máquina.

Solo se podrá activar uno de estos actuadores a la vez, a excepción de algunos actuadores como la puerta y la ventosa del manipulador, que si se pueden activar al mismo tiempo que se activa otro actuador.

El funcionamiento en modo automático es el siguiente:

1. Cuando se pulse el botón de *Inicio*, el cargador tenga al menos una pieza y se hallan cumplido las condiciones iniciales de arranque (manipulador en mesa giratoria, alimentador fuera del horno, mesa giratoria en posición de manipulador y horno a temperatura correcta) se iniciará el proceso de producción automática.
2. Cuando el sensor *Pieza\_Al* detecte una pieza en el alimentador, dependiendo del color guardado se introducirá o no en el horno. Tanto si se introduce como si no, el manipulador comenzará a moverse hacia el horno, así se ahorra tiempo, pues cuando la pieza salga del horno el manipulador ya estará en posición para recogerla.
3. Una vez se recoge la pieza, esta se lleva hacia la mesa. El manipulador soltará la pieza solo si la mesa está en la posición correcta y no hay una pieza anterior en la mesa. Cuando la suelte, el programa esperará unos segundos pues si la mesa gira nada más apagar la ventosa, la pieza seguirá sujeta por la ventosa y el movimiento de la mesa la tirará fuera del proceso. Una vez a pasado este tiempo de espera, la mesa girará.
4. Dependiendo de si la pieza que este en la mesa giratoria, se le aplicará un serrado o no. Tras pasar por la posición de la sierra, se girará hasta la posición de la cinta de salida. Aquí se activará el empujador para sacar la pieza fuera de la mesa y caerá en la cinta. Esta cinta llevará la pieza hasta el final, donde, como se comentó en el apartado 2.1.2 Almacén vertical, estará la entrada del almacén. Como esta cinta es la que une ambos procesos debe estar siempre en marcha.

Por ello, al iniciar la producción se hace un set de la señal de salida *Av\_Cinta*. La cinta solo se parará cuando se detecte una pieza al final de esta con el sensor *Pieza\_Fin*.

Como se explicó en el apartado 4.1 Guía GEMMA el control de los estados del proceso de producción se hará siguiendo la guía GEMMA. En TIA Portal se tienen distintos bloques de programa. Por un lado, están los OB, que son los bloques de programa principales.

Además de estos bloques OB, están los bloques FC y FB, que son funciones, es decir, trozos de código que pueden ser ejecutados desde los bloques principales OB. La diferencia entre ambos es que los FB tienen asociado un bloque DB, que no es más que una base de datos, donde se pueden guardar variables. El lenguaje Graph solo se puede usar en los bloques FB o FC, por lo que para crear los diferentes programas en este lenguaje se van a crear varias funciones. La función principal será llamada *GEMMA\_Horno*, que contendrá el esquema de todos los estados de funcionamiento del proceso de horneado y serrado. Los demás bloques FB con los códigos de los distintos modos de funcionamiento (F1 para modo automático, F5 para semiautomático y F6 para manual) estarán subordinados a este FB *GEMMA\_Horno*, de modo que solo cuando se active la etapa correspondiente a ese modo de funcionamiento se activará el FB que contiene las instrucciones de ese modo de funcionamiento del proceso.

Además, cuando se entre en modo de parada de emergencia, todos estos FB (F1, F5 y F6) se desactivarán, forzándose su etapa inicial para que el proceso se pare. Todos estos FB serán funciones llamadas desde un OB principal cuyo único propósito será activar a estas funciones. Los FB que realizan las funciones de modo automático y semiautomático (F1 y F5) se llevan a cabo en los mismos FB en lenguaje Graph. Estos FB están divididos en tres, uno que controla los modos automático y semiautomático del horno, otro para el manipulador y un último FB para la sierra y la mesa giratoria. Al poner el modo automático y semiautomático en un único FB se ahorra memoria del PLC.

Para realizar estos dos modos de funcionamiento en el automatismo se tienen bloques de programa para cada parte de la maqueta, teniendo un graph para el horno, otro para el manipulador y otro para la sierra.

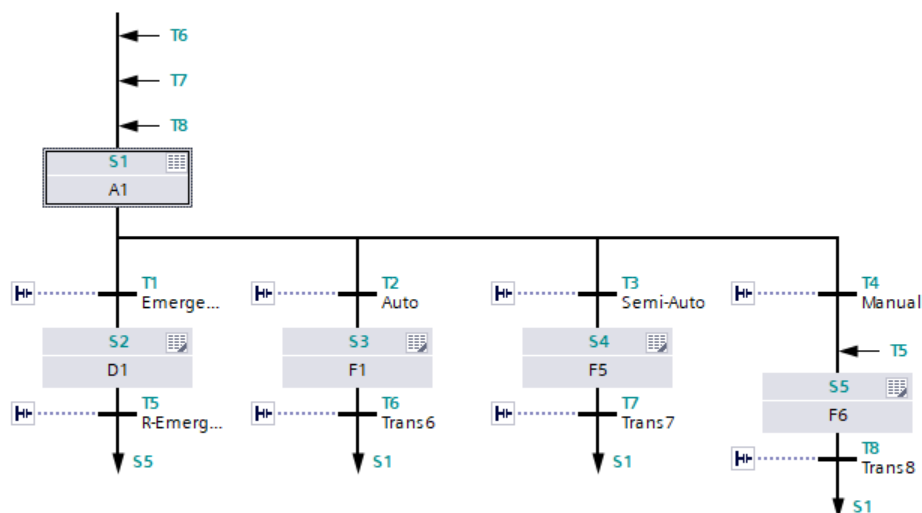


Ilustración 29. GEMMA del proceso de horneado y serrado en Graph (Fuente: Elaboración propia)

En la Ilustración 29 se puede observar el esquema GEMMA de funcionamiento del proceso diseñado con lenguaje Graph en TIA Portal, con el modo automático, activado con la etapa denotada como F1, el modo semiautomático, con la etapa nombrada como F5 y el modo manual, F6. Cuando se activan estas etapas del Graph, se activan los FB correspondientes a estos modos. A parte de estos se tiene la etapa del modo de parada de emergencia, D1. Para salir del modo manual (F6) se debe desactivar la emergencia y activar el modo manual. De este modo se reestablecerá al sistema a sus condiciones iniciales manualmente tras la parada.

En la Ilustración 30 se puede ver una de las llamadas a las funciones FB del proyecto, en este caso la llamada al FB *GEMMA\_Horno*. En esta función se ejecuta el código que se muestra en la Ilustración 29.

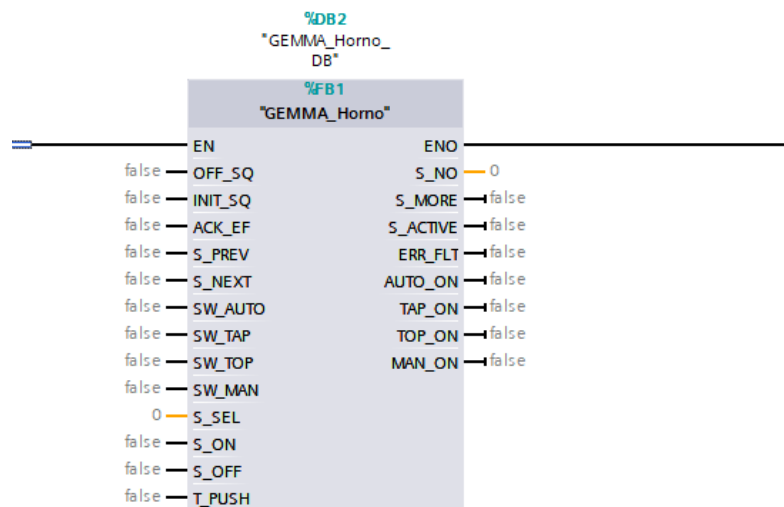


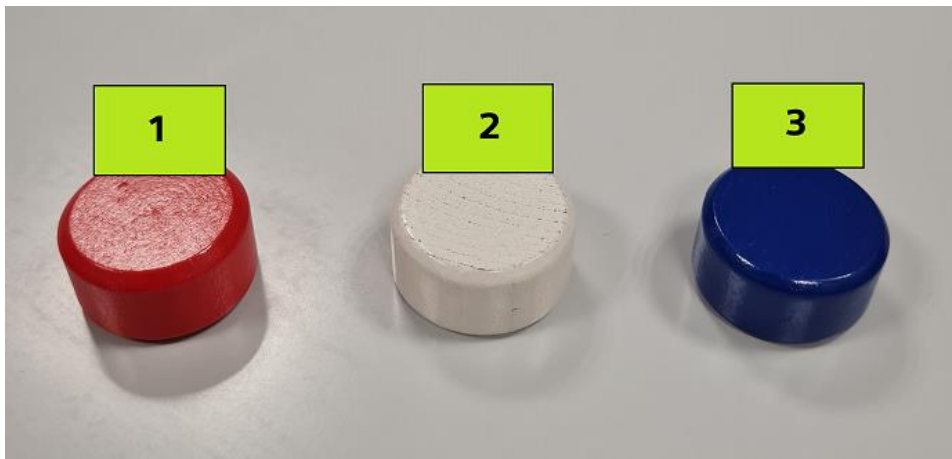
Ilustración 30. Llamada a un FB desde el OB principal (Fuente: Elaboración propia)

Con estos FB mostrados anteriormente (*GEMMA\_Horno*, F1, F5 y F6) se tiene el grueso del código que hace funcionar al proceso, siendo las funciones principales, programadas en lenguaje Graph, como se ha dicho anteriormente. Sin embargo, para que el este proceso de horneado y serrado funcione correctamente, se necesitan algunas funciones auxiliares, programadas en lenguajes de programación distintos al Graph. Para estos programas auxiliares se van a utilizar los lenguajes KOP y SCL. En un OB a parte, se crea en lenguaje KOP (diagrama de contactos) todas las funciones auxiliares para el proceso de horneado y serrado, como son el contador de encendido del horno, comprobar que se cumplen las condiciones iniciales y todos los temporizadores de los graficet de control del proceso automático (tiempos dentro del horno, tiempo de serrado, ...). Estos temporizadores deberían poder haberse puesto en la propia función en lenguaje Graph, como una acción en las etapas. Sin embargo, cuando se introducían los temporizadores de esa forma, solo contaban el tiempo establecido una sola vez, de forma que cuando se volvía a pasar por esa etapa, el temporizador ya estaba activado y se pasaba a la siguiente etapa sin esperar ningún tiempo. Por eso, se decidió poner los temporizadores en este OB de funciones auxiliares, ya que así funcionaba correctamente todas las veces. En este bloque de función también se ha introducido el control de la cinta de salida del proceso, ya que como debe estar en funcionamiento continuo cuando está en modo de producción automático es más sencillo de realizar mediante lenguaje KOP.

A parte de este OB en diagrama de contactos, se han creado otras funciones FC (sin base de datos) en lenguaje SCL. Estas funciones se ejecutan desde el OB de funciones auxiliares, de modo que cuando se den las condiciones, se activará la función FC y se ejecutará el código programado. Se tienen tres funciones programadas para este proceso: *Cargar\_cargador*, *Vacia\_cargador* y *Hacia\_almacén*. La función de estas tres funciones se describe a continuación:

**Cargar\_cargador** es la función utilizada para simular la carga de una pieza dentro del cargador mencionado en el apartado

- 2.1.1 Estación de horneado y serrado. Esta función interactuará sobre todo con el SCADA o la pantalla HMI, ya que recibe como entradas el tipo de pieza que se quiere cargar y cuando se a pulsado el botón de cargar esa pieza. Los tipos de pieza se codifican en el programa del PLC con un número asociado a cada color: 1 para la roja, 2 para la blanca y 3 para la azul. Esta función recorrerá el vector que simula el cargador desde 0 hasta 8 (se considera que pueden introducirse como máximo 9 piezas en el cargador). Si la posición que está evaluando tiene guardada un 0, sustituirá el 0 por el número correspondiente con la pieza que se está cargando. Si no es un 0, pasará a la siguiente posición. Si el contador de piezas en el cargador que está en el OB de funciones auxiliares ha alcanzado el valor de 9, esta función no se ejecutará, por lo tanto, no se sumarán más piezas.



*Ilustración 31. Números asignados a cada tipo de pieza (Fuente: Elaboración propia)*

- **Vacia\_cargador** es la función que se encarga de simular cuando una pieza cae en el alimentador del horno. Se ejecuta cuando en el Graph de los modos de funcionamiento automático o semiautomático (F1 y F5) se llega a las etapas que introducen la pieza en el horno, o que espera a que llegue el manipulador en caso de que la pieza sea azul. El cargador funciona como un depósito fifo (first in first out), de tal modo que la primera pieza que entró en el cargador será la primera que va a salir de él. Esta función FC también está incluida como función auxiliar en el OB de auxiliares. La función se encargará de eliminar el número guardado en la posición 0 del vector del cargador, desplazando todos los números guardados en el vector una posición hacia adelante. Al realizar esta acción, la última posición del vector del cargador, la 8, se quedará sin ningún dato guardado. Por eso la función le dará el valor de 0 a esa posición del vector, para que quede como vacía.

De este modo se simula la caída de una pieza en el cargador, cayendo las demás por su propio peso a la siguiente posición, y dejando un hueco libre por encima de ellas para poder introducir una nueva pieza.

- **Hacia\_almacén** es la última de las funciones auxiliares que utiliza esta parte del sistema de producción. Aquí se guardará de que tipo es la pieza que sale del proceso hacia el almacén para ser guardada. Como la separación entre el proceso de horneado y serrado es grande, pueden salir varias piezas del proceso de producción sin que la primera llegue al almacén. Por ello, se va a utilizar un sistema similar al utilizado para simular el cargador de horno, con un vector que se ira llenando y vaciando como un sistema fifo, que guarda el tipo y el orden en el que las piezas salen del proceso de horneado y serrado. De este modo, antes de que el empujador introduzca la pieza en la cinta, se ejecuta esta función, que recibe como entrada el tipo de pieza que se va a poner en la cinta. Se ha puesto un vector de tamaño 10 como cola hacia el almacén. Como este vector puede llenarse, se tiene la variable *Array\_al\_full*. Cuando esta función detecte que este vector está lleno, es decir, no hay espacio para guardar el tipo de una nueva pieza, pondrá a 1 esta variable. De esta forma, mientras esta variable este a 1, esta función se ejecuta de forma continua hasta que se carga una pieza en el almacén, quedando el vector disponible para una nueva pieza. El empujador no introduce la pieza en la cinta hasta que el vector esté disponible para una nueva pieza, por lo que no se mueve si la variable *Array\_al\_full* está a 1. Cuando se pone a 0 se introduce la pieza en la cinta y se continua con la producción normal.

Con estas funciones auxiliares descritas, los FB con los códigos en Graph para el horno, el manipulador y la sierra y el FB del modo manual (F6) se tiene controlado todo el funcionamiento de este proceso del sistema de producción del proyecto. Todo el código de funcionamiento de este proceso se puede ver en los apartados 3. Programa proceso horneado y serrado y 5. Funciones auxiliares de los anexos.

#### 4.4 Programación del Almacén

El otro proceso que compone el sistema productivo del proyecto es el almacén vertical que, como se ha comentado anteriormente en este documento, se encargará de almacenar las piezas producidas en el sistema hasta que tengan que ser enviadas a los clientes.

Para esta parte del sistema se va a utilizar directamente las entradas y salidas del PLC, por lo que este debe posicionarse en un lugar cercano al almacén para no tener que instalar muchos metros de manguera de cable. La razón por la que se ha seleccionado este proceso para realizar la conexión directamente al autómatas, en lugar de elegir el proceso de horneado y serrado es porque el almacén requiere de interrupciones para contar los pulsos de los motores que realizan los desplazamientos vertical y horizontal y esto es más sencillo de realizar desde las entradas y salidas del autómatas que desde la periferia distribuida. El proceso para crear interrupciones en TIA Portal se comentará más adelante en este documento.

Al igual que en el proceso de horneado y serrado, el almacén vertical cuenta con tres modos de funcionamiento: automático, semiautomático y manual.

El modo manual sirve para que el operario pueda activar de forma independiente cada actuador del almacén, pudiendo desplazar el manipulador del almacén en todas sus direcciones, así como activar el desplazamiento de la cinta del almacén tanto hacia adelante como hacia atrás. Este modo servirá también para realizar algunas acciones tras una emergencia, como por ejemplo si una pieza estaba siendo llevada a su espacio de almacenamiento y se produce una parada de emergencia, se puede llevar la pieza de vuelta a la cinta para poder introducirla en el almacén con el modo semiautomático.

Se tienen dos modos semiautomáticos, uno para llevar a cabo la carga de piezas en el almacén tras una emergencia y otro para realizar la descarga de una pieza. En este modo se podrá cargar o descargar únicamente una pieza del almacén, pudiendo seleccionar desde la pantalla HMI o desde el SCADA la posición de esta pieza.

El modo automático, al igual que el semiautomático, tiene dos opciones posibles: la carga y la descarga automática. Como se ha comentado anteriormente en este documento, puede ser que no se quiera descargar el almacén completamente, queriendo solo descargar un pedido de un solo tipo de pieza. Por eso en el modo de descarga automática se puede elegir entre dos modos de funcionamiento: o bien se descarga el almacén completamente, sacando las piezas sin importar del tipo que sean, o bien se descargan todas las piezas de un tipo concreto. En resumen, los modos automáticos de este proceso funcionan de la siguiente forma:

### **Modo de carga**

1. Las piezas van llegando al almacén, como se dijo en el apartado 2.1 Diseño del proceso, las piezas llegan al almacén a través de la cinta de salida del proceso anterior. Una vez aquí, se empaquetan y se introducen en la cinta del almacén.
2. Una vez la pieza se ha introducido, el manipulador irá a la posición de la cinta, un poco por debajo para poder coger la caja con la pieza. Para coger la pieza el manipulador subirá completamente hasta la posición de referencia, además retrocederá hasta alcanzar la posición de referencia horizontal. Esto se hace para reiniciar los contadores de los desplazamientos horizontal y vertical, para que pueda alcanzar la posición exacta donde debe almacenarse la pieza.
3. Después de reiniciar los contadores, dependiendo del tipo de pieza que sea (se ve desde el *Array\_hacia\_almacén*, un vector con la cola de salida del proceso de horneado y serrado). La pieza podrá ser depositada en una de las nueve posiciones que tiene disponibles el almacén, si esta posición no está ocupada por otra pieza. Se marcará esta posición como ocupada para que no se produzcan errores.
4. Tras depositar la pieza en su posición asignada, el manipulador realizará un retroceso en todos sus movimientos, primero el perpendicular a las posiciones del almacén, y después, simultáneamente, irá hacia arriba y hacia atrás hasta alcanzar las referencias de estos movimientos, quedando así listo para recibir una nueva pieza.



### **Modo de descarga total**

1. Si se selecciona el modo de descarga total del almacén, se buscará la primera posición ocupada dentro del almacén.
2. Tras encontrarla, el manipulador del almacén se desplazará hasta alcanzar esta posición (un poco por debajo de la pieza para poder sacarla). El manipulador cogerá la pieza y se desplazará hasta alcanzar las referencias de los movimientos para reiniciar los contadores y poder alcanzar la posición de la cinta correctamente. Cuando el manipulador coge la pieza para descargarla también se marca la posición como desocupada, para poder almacenar otra pieza en la posición liberada.
3. Tras dejar la pieza en la cinta, esta retrocederá, sacando la pieza del almacén. Una vez se quite la pieza extraída, el manipulador volverá a su posición de origen, alcanzando ambas referencias (vertical y horizontal). Tras esto, se buscará una nueva pieza para descargar, si no hay ninguna se parará de descarga total automática del almacén.

### **Modo descarga parcial**

1. Este modo de descarga comienza pidiendo al operario del almacén el tipo de pieza que se quiere descargar. Cuando se seleccione comenzará la descarga automática de todas las piezas de este tipo.
2. Al igual que con la descarga total, se busca una posición ocupada, pero en este caso que coincida con el tipo de pieza que se quiere sacar del almacén. Cuando se encuentre, el manipulador se moverá hasta esta posición, cogiendo la pieza y retrocediendo hasta las referencias (para ajustar los contadores a cero). Al igual que en la descarga total, la posición donde se encontraba la pieza que se descarga se marca como desocupada.
3. El manipulador bajará hasta la posición de la cinta, dejando la pieza en la cinta para que pueda ser extraída del almacén.
4. Por último, al igual que en el otro modo de descarga, la cinta retrocederá hasta que la caja con la pieza salga del almacén. Aquí se esperará a que un operario quite la pieza de la cinta. Tras esto, el manipulador vuelve a su posición de reposo, y se busca una nueva pieza que descargar. Si no hay ninguna se da por finalizado el proceso de descarga.

Como se ha comentado anteriormente, el almacén dispone de nueve posiciones (slots) de almacenamiento. Para guardar la información correspondiente a cada posición del almacén se ha creado un array (vector) de estructuras. Las estructuras son una especie de dato compuesto, con el que se pueden guardar varios datos. En el caso del almacén, se crea una estructura con las coordenadas de cada posición de almacenamiento del almacén (x e y), si esa posición está ocupada o no (un dato bool, variable binaria, si esta puesta a 1 el espacio del almacén está ocupado) y el tipo de pieza que puede almacenarse en esa posición, siendo un número del 1 al 3. Como se puede ver en la Ilustración 32, el vector *Slots* es el encargado de almacenar estos datos. Se trata de un *Array* de estructuras.

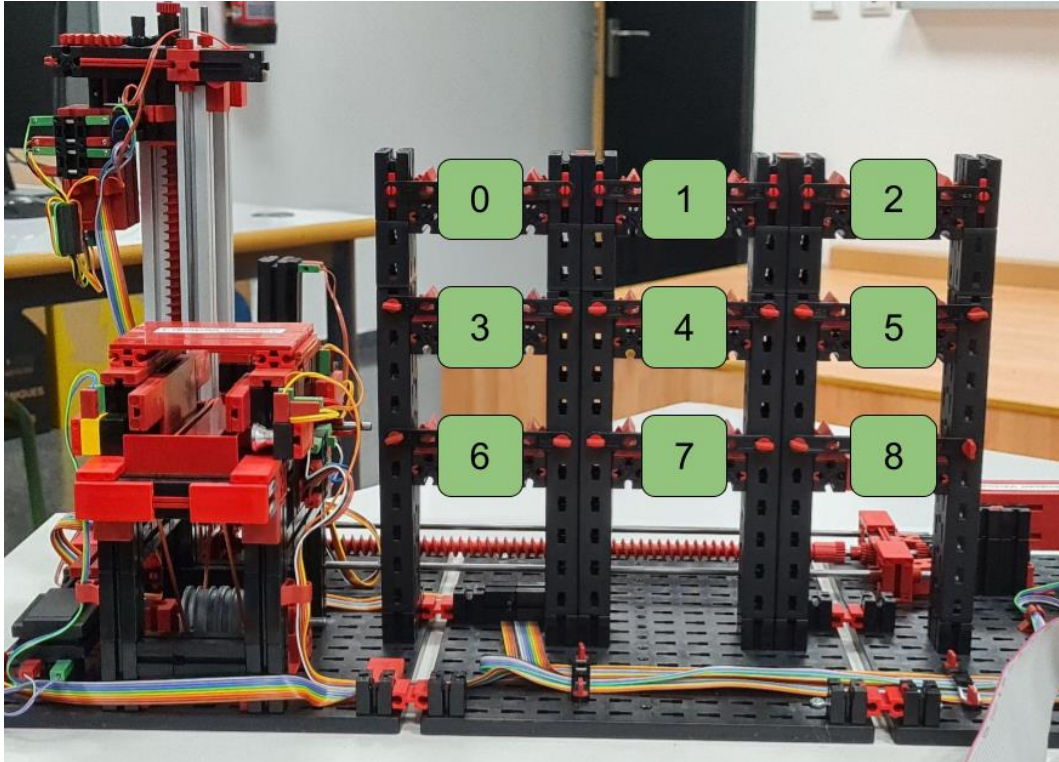
Se puede ver las estructuras de las posiciones 0 y 3, con el tipo de pieza, su estado de ocupación y las coordenadas x (pulsos del movimiento horizontal) y las coordenadas y (pulsos del movimiento vertical).

■	▼ Slots[0]	*Slots_Almacen*	
■	Tipo Pieza	SInt	1
■	Ocupado	Bool	false
■	Coordenada X	Int	890
■	Coordenada Y	Int	40
■	▶ Slots[1]	*Slots_Almacen*	
■	▶ Slots[2]	*Slots_Almacen*	
■	▼ Slots[3]	*Slots_Almacen*	
■	Tipo Pieza	SInt	2
■	Ocupado	Bool	false
■	Coordenada X	Int	890
■	Coordenada Y	Int	473
■	▶ Slots[4]	*Slots_Almacen*	
■	▶ Slots[5]	*Slots_Almacen*	
■	▶ Slots[6]	*Slots_Almacen*	
■	▶ Slots[7]	*Slots_Almacen*	
■	▶ Slots[8]	*Slots_Almacen*	

Ilustración 32. Vector que almacena la información de las posiciones del almacén (Fuente: Elaboración propia)

Este vector que guarda los datos del almacén se guarda como una variable remanente. Esto significa que, aunque se corte la alimentación del PLC o se reinicie, el valor de este vector seguirá guardado con sus cambios. Así se podrá saber cuántas piezas hay en el almacén, aunque se haya apagado el autómatas. En TIA Portal, para declarar una variable como remanente, primero se debe seleccionar el espacio de memoria que se va a designar para esta función. Sin embargo, todos los datos relativos al estado del almacén (contadores de los movimientos, vector *Slots* y vector de llegada a almacén) se han guardado en un bloque DB. Esto permite declarar como remanente cualquiera de estas variables sin tener que asignar un espacio de memoria remanente previamente.

Las posiciones del almacén están numeradas de 0 a 8 por el vector *Slots*. Las posiciones del almacén correspondientes con cada posición de este vector se pueden ver en la Ilustración 33, donde la primera posición correspondería con 0.



*Ilustración 33. Posiciones del almacén (Fuente: Elaboración propia)*

Este proceso del sistema está comandado también por un esquema GEMMA ejecutado en un FB independiente, al igual que en el caso del proceso de horneado y serrado. En este caso se tienen más etapas que en el proceso anterior, pues se tiene una etapa F1 (producción automática) para la carga y otra para la descarga. Lo mismo sucede con la etapa F5 (semiautomático). Se tiene la etapa F6 para iniciar funcionamiento del modo manual. En el caso de las paradas de emergencia el esquema cambia con respecto al GEMMA utilizado en el otro proceso. En este caso se tiene una etapa D1 que sirve para activar la parada de emergencia del proceso, pero en vez de salir del modo de parada de emergencia utilizando el modo manual, se tienen unas etapas de rearme del sistema a las condiciones iniciales, que se dan cuando el manipulador está en las referencias vertical y horizontal y la plataforma se encuentra en su posición más atrasada-

Estas etapas están nombradas como A6, que es como se llama en la guía GEMMA al modo de rearme del sistema. En el caso anterior no se introdujo esta funcionalidad debido a que si se paraba el proceso mientras había piezas en él era más sencillo preparar al sistema para terminar en modo semiautomático de forma manual, en vez de usar una funcionalidad de rearme automático, pues había piezas que podrían chocar.

Por ejemplo, si hay una pieza en la mesa y otra en el manipulador, al activar la emergencia y rearmar, ambas piezas se dejarían en la mesa y chocarían. Este problema no está presente en el almacén, pues solo se manipula una pieza a la vez, no habiendo riesgo de choques. Esta función de rearme automático primero recoge el manipulador hacia atrás por si se encontraba dejando o cogiendo una pieza. Tras esto subirá hasta arriba en el movimiento vertical y retrocederá horizontalmente hasta la referencia.

Para rearmar el sistema se debe desactivar la emergencia y pulsar *Rearme*, aunque también se puede rearmar desde la etapa A1, sin ser necesario activar la emergencia (salto S8 en la Ilustración 34). Aparte de este GEMMA, se tienen los demás FB programados en Graph que realizan las funciones del almacén. Estos códigos se pueden ver en el apartado 4. Programa almacén de los anexos.

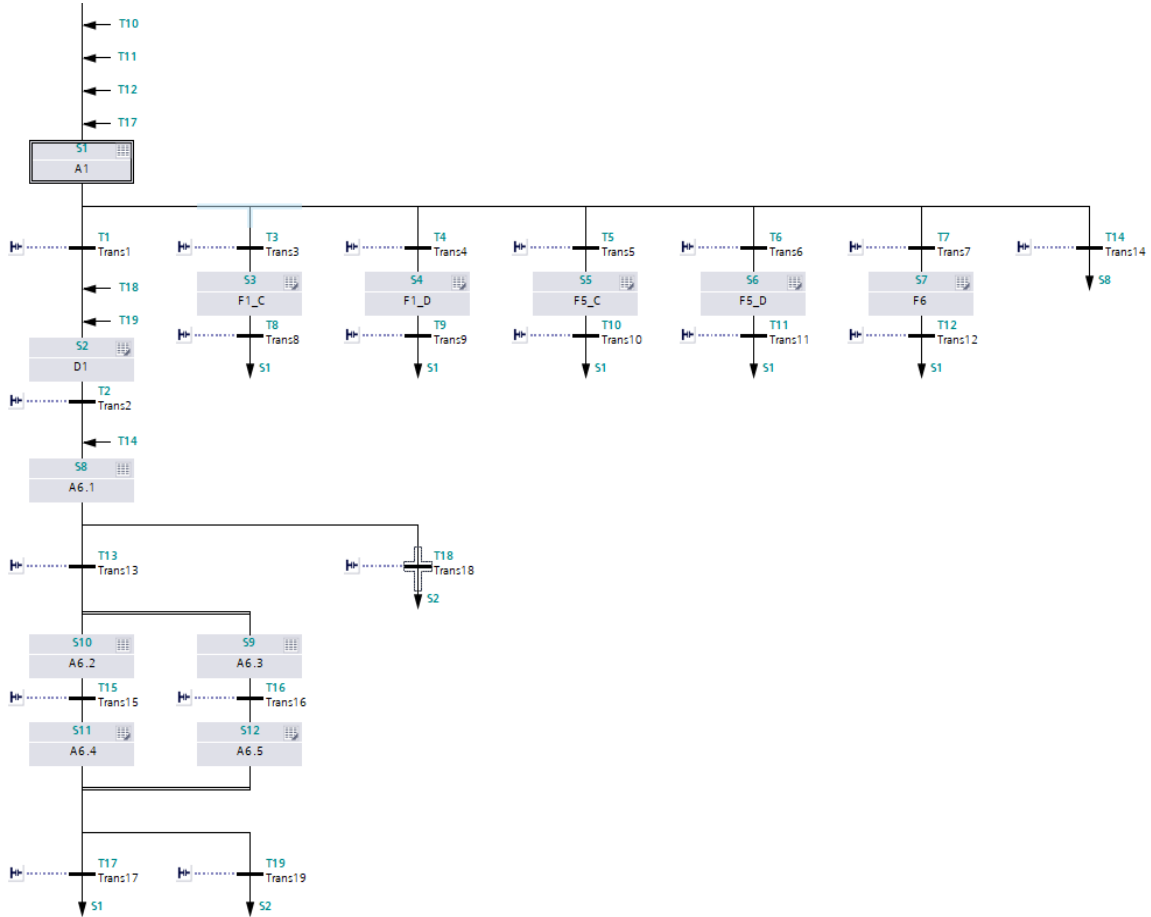


Ilustración 34. GEMMA del almacén (Fuente: Elaboración propia)

Al igual que el FB *GEMMA\_Horno*, este FB *GEMMA\_Almacen* también se ejecuta en el OB principal del programa, el OB01, junto con las demás funciones en Graph que hacen funcionar al sistema.

Como es de esperar, el almacén cuenta con una serie de entradas y salidas para poder controlar y realizar todos los movimientos necesarios para su correcto funcionamiento. Estas entradas y salidas deben direccionarse en la memoria del autómatas. En este caso no hubo que probar los diferentes sensores y actuadores para averiguar con que direcciones se correspondían en el autómatas como en el caso del otro proceso del proyecto pues las direcciones suministradas al alumno eran las correctas.

Todas las direcciones de las entradas y salidas físicas del almacén, correspondientes a todos los sensores y actuadores de los que dispone, se pueden ver en la Tabla 4.

Tabla 4. Direcciones de entrada y salida del almacén

<i>Entradas</i>	<i>Descripción</i>	<i>Dirección</i>
<i>Pulsos_hor</i>	En esta entrada se producen los pulsos del motor para medir el desplazamiento horizontal	%I12.1
<i>Pulsos_ver</i>	En esta entrada se producen los pulsos del motor para medir el desplazamiento vertical	%I12.2
<i>Ref_H</i>	Referencia del movimiento horizontal (Contadores a 0)	%I12.4
<i>Ref_V</i>	Referencia del movimiento vertical (Contadores a 0)	%I12.7
<i>Cinta_dentro</i>	La pieza ha alcanzado la posición interior de la cinta de entrada al almacén	%I12.5
<i>Cinta_fuera</i>	La pieza ha alcanzado la posición exterior de la cinta de entrada al almacén	%I12.6
<i>Plat_delante</i>	Plataforma del manipulador en su posición adelantada	%I13.0
<i>Plat_detrás</i>	Plataforma del manipulador en su posición retrasada	%I13.1
<i>Salidas</i>	<i>Descripción</i>	<i>Dirección</i>
<i>Rt_cinta_al</i>	Movimiento cinta de salida hacia fuera (retroceso)	%Q6.0
<i>Av_cinta_al</i>	Movimiento cinta de salida hacia adentro (avance)	%Q6.1
<i>Av_horizantal</i>	Movimiento de avance horizontal del manipulador	%Q6.2
<i>Rt_horizantal</i>	Movimiento de retroceso horizontal del manipulador	%Q6.3
<i>Abajo_vert</i>	Mover hacia abajo el manipulador	%Q6.4
<i>Arriba_vert</i>	Mover hacia arriba el manipulador	%Q6.5
<i>Pt_Adelante</i>	Mover la plataforma del manipulador hacia adelante	%Q6.6
<i>Pt_Atras</i>	Mover la plataforma del manipulador hacia atrás	%Q6.7
<i>Señales_ON</i>	Habilita las entradas del almacén (sensores)	%Q7.0

Al igual que en el caso del proceso de horneado y serrado, estas no son las únicas variables que se utilizan en el programa de control, también se tiene marcas (variables en las direcciones de memoria %M) que permiten el funcionamiento del sistema. Algunas de estas variables no mostradas son las que se utilizan como entrada al proceso desde la pantalla HMI o el SCADA, como por ejemplo la variable que activa la emergencia desde la pantalla HMI que está en la dirección %M20.3, o la señal para iniciar la carga automática del almacén que está en la dirección %M4.3. Todas estas variables no se muestran en una tabla pues son demasiadas, quedando una tabla demasiado grande que ocuparía mucho espacio de este documento. Se pueden ver estas variables en el apartado 1.2 Variables almacén de los anexos.

Para continuar con este proceso de almacenaje, se comentarán las funciones auxiliares que se han creado para el correcto funcionamiento del proceso. Se dispone de un OB donde se ejecutan en lenguaje KOP algunas funciones auxiliares a los graficet que controlan el proceso. En este OB se controla el cumplimiento de las condiciones iniciales para arrancar el proceso (las referencias de los movimientos vertical y horizontal deben estar activadas y la plataforma en su posición más retrasada) así como el reinicio de los contadores de pulsos o algunos temporizadores, ya que si se introducen en las acciones de las etapas del Graph no funcionaban correctamente.

Desde este OB auxiliar también se llama a dos funciones FC diseñadas en SCL (texto estructurado), pues este lenguaje es muy sencillo de utilizar para recorrer vectores.

El trabajo que realizan estas funciones es el que se detalla a continuación:

- **Busca\_slot** es la función que se encarga de buscar la posición a la que debe moverse el manipulador, ya sea para cargar como para descargar una pieza. Si el proceso se encuentra en el modo de carga, esta función recorrerá los slots del almacén hasta encontrar uno que este vacío y pueda almacenar el tipo de pieza que se quiere guardar. La función devolverá la posición encontrada para que se deposite la pieza ahí. Si el almacén se encuentra en modo de descarga, pueden darse dos opciones. Si se quiere descargar completamente el almacén, esta función devolverá una posición ocupada y cuando no encuentre más posiciones ocupadas indicará que el almacén está vacío para poder parar la descarga. Si la descarga es parcial, se buscará una posición ocupada con el tipo de pieza que se quiere descargar. Cuando no encuentre ninguna posición ocupada con ese tipo de pieza, indicará que ya se han descargado todas las piezas de ese tipo para finalizar el proceso de descarga.
- **Vacia\_array\_almacén** sirve para quitar la pieza que acaba de llegar al almacén de la cola de salida del proceso anterior. Esta función es complementaria a la función *Hacia\_almacen* del proceso de horneado y serrado. Cuando la pieza entra en el almacén quiere decir que esta pieza ha salido de la cinta por lo que ya no está en la cola, entonces se elimina el dato en la posición 0 del vector *Llegada\_almacen*. Cuando se elimina se desplaza todo el vector una posición hacia como si se tratará de una cola FIFO.

El código de estas dos funciones programadas en SCL se encuentra en el apartado 5. Funciones auxiliares de los anexos.

Para terminar con este proceso, se comentará cómo funcionan las interrupciones que se utilizan para contar los pulsos de los motores paso a paso que realizan los movimientos vertical y horizontal. Una interrupción no es más que unas instrucciones que se ejecutan cada vez que se produce un evento en las entradas físicas del PLC. En este caso, el evento es que se produzca el cambio de la entrada de valor 0 a 1 (flanco ascendente).

Para que funcionen se deben configurar las entradas físicas del autómatas que van a detectar estos flancos. Para ello, en el árbol del proyecto, se debe ir al apartado *Configuración de dispositivo* dentro del apartado del PLC. Aquí se pulsa sobre la segunda tarjeta de entradas y salidas, abriéndose el menú de configuración de la tarjeta. Las entradas que deben detectar los pulsos son la %I12.1 y %I12.2, que corresponden con los canales de entrada 1 y 2 de la tarjeta.

Aquí se debe seleccionar la opción *Activar detección de flanco ascendente* para detectar el salto de 0 a 1 en las entradas. Si se quisiera detectar el paso de 1 a 0 se debe activar la opción *Activar detección de flanco descendente*.

En alarma del proceso, se selecciona agregar una nueva interrupción. Esto lo que hace es crear un nuevo OB de interrupción. Como son dos entradas, se crean dos interrupciones, llamadas *Pulsos\_horizontal* y *Pulsos\_vertical*, que son los OB40 y 41 respectivamente.

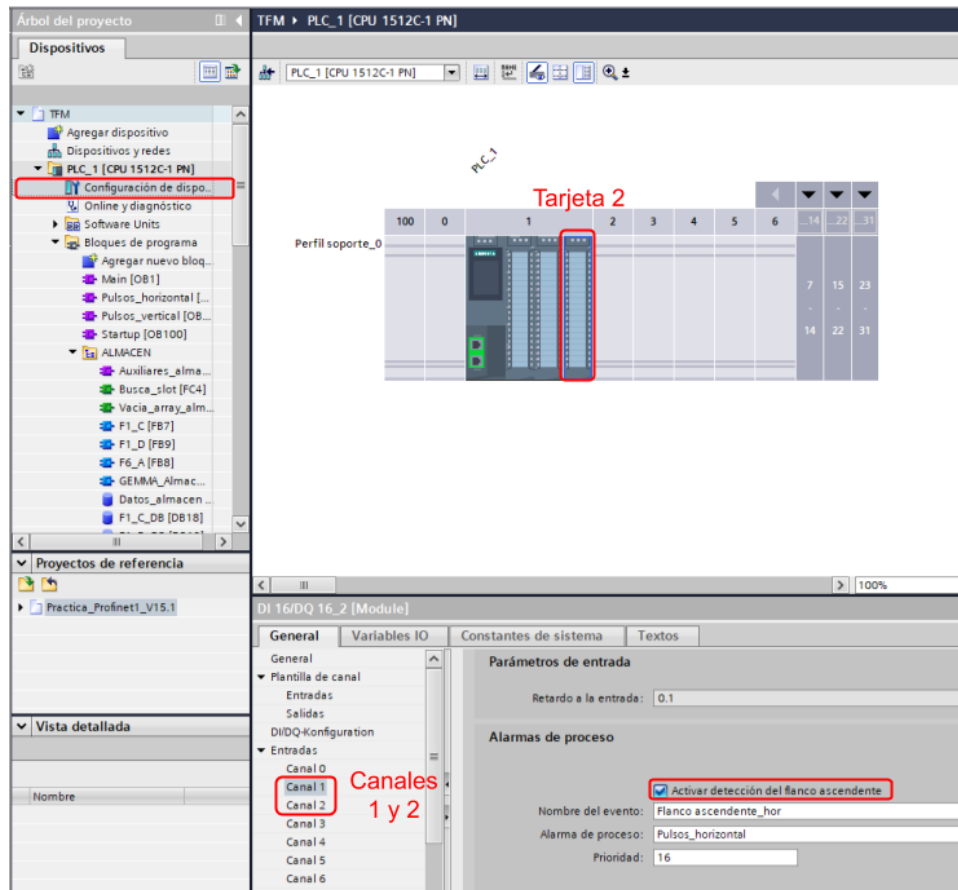


Ilustración 35. Configuración de interrupciones (Fuente: Elaboración propia)

Estas introducciones (los OB40 y 41) que se han añadido a las entradas son el código que se ejecutará cada vez que se produzca el evento. Estas interrupciones se pueden programar en dos lenguajes: SCL y KOP. En un principio se probó a crear un contador CTU (contador ascendente) para contar cada pulso que dieran los motores. Para esto se crearon las interrupciones en lenguaje KOP. Sin embargo, en la práctica no llegó a funcionar este método, por lo que se tuvo que descartar el uso de contadores.

Para realizar la cuenta de los pulsos se crearon dos variables en un bloque DB (base de datos) donde se guardaba información relativa al almacén, como el vector del estado de los espacios de almacenaje o el vector que guarda las piezas que llegan al almacén. Estas variables son *Cuenta\_horizontal* y *Cuenta\_vertical*, dos variables Int (números enteros, sin decimales) que guardarán cuantos pulsos se han producido en los desplazamientos.

Para programar las interrupciones finalmente se utilizó el lenguaje SCL, ya que en texto estructurado realizar esta cuenta es muy sencillo, necesitando muy pocas líneas de código. Desde aquí, se actualizará el valor de estas variables que sirven como contadores, sumándoles 1 cada vez que se produzca un flanco ascendente.

Además, se intentó que el código tuviera en cuenta que los movimientos van a tener dos direcciones, por lo que si se alejan de las referencias (avance en el horizontal y hacia abajo en el vertical) se debe añadir 1 al valor del contador, pero si se encuentra en retroceso se debe restar 1 en vez de sumar.

Sin embargo, esta funcionalidad no se llegó a utilizar porque había pequeños errores en la cuenta de los pulsos, por lo que no se podían alcanzar las mismas posiciones, pues había diferencias de en torno a 10 pulsos, es decir, que, si en el avance había contado 500, al volver hacia la referencia no se quedaba en 0, sino que daba un valor de hasta -10, contando más pulsos al volver que al ir.

Por eso se decidió que cada vez que llegara a la referencia se pusieran a 0 los contadores, ya que contando desde 0 y en los movimientos de avance si se contaban los pulsos correctamente, alcanzando las posiciones de almacenaje sin ningún error. A pesar de esto, el código con la resta de los contadores se dejó así, pues no influía en el reinicio de las variables que hacen de contador.

```
1 IF "Av_Horizontal" THEN
2     // Statement section IF
3     "Datos_almacen".Cuenta_Horizontal := "Datos_almacen".Cuenta_Horizontal + 1;
4 END_IF;
5
6 IF "Rt_Horizontal" THEN
7     "Datos_almacen".Cuenta_Horizontal := "Datos_almacen".Cuenta_Horizontal - 1;
8 END_IF;
```

*Ilustración 36. Código de la interrupción del movimiento horizontal (Fuente: Elaboración propia)*

Una última cosa para comentar de las interrupciones es el ajuste del retardo a la entrada. El autómatas para filtrar los ruidos que puedan producirse en las entradas tiene un retardo, que por defecto es de 3,2 milisegundos. Esto hace que, cuando una entrada pasa de 0 a 1, debe quedarse establecida en 1 más de 3,2 ms para que el autómatas considere que se ha activado a 1. Si se produce un pulso que dure menos de ese tiempo el PLC considerará que es un ruido del proceso. Sin embargo, los pulsos que producen los motores paso a paso del almacén duran menos de 3,2 milisegundos, es decir, la señal se pone a 1 menos de 3,2 ms.

Por eso se debe cambiar el retardo de conexión de las entradas para poder contar correctamente los pulsos de los motores. Sin embargo, no se puede cambiar este retardo únicamente para los canales 1 y 2 de esta tarjeta de entradas y salidas del autómatas. Para realizar un cambio en esta funcionalidad se debe cambiar el retardo de todos los canales de entrada digital de la tarjeta. Esto no supone un problema pues en la maqueta no se producen ruidos que puedan alterar las entradas del PLC, sin embargo, en un entorno industrial real esto podría ser un problema, pues aquí si se podrían producir estos ruidos y habría que buscar una solución para que no se alteren las entradas, o no usar estas entradas y dejarlas únicamente para los contadores de los pulsos.

Pero como en el laboratorio no se produce ningún problema, se cambia el retardo de todas las entradas digitales de la tarjeta. En la documentación que se le suministró al alumno sobre las entradas y salidas del almacén se indicaba que este retardo puede ser como máximo de 0,1 milisegundos, por lo que se establece el retardo de todas las entradas de la tarjeta en este valor.



## 4.5 Carga del proyecto en el PLC

Una vez se ha terminado de desarrollar todos los programas para controlar los dos procesos del sistema, se deben cargar todos ellos en el PLC.

Primero de todo, hay que asegurarse que el autómata está conectado al ordenador con el cable de red Ethernet. Si no está conectado, el PC y el PLC no estarán en la red de comunicación y no se podrá acceder al PLC desde el ordenador.

Una vez se ha comprobado la conexión física entre ambos dispositivos, se debe comprobar que la dirección IP del PLC coincide con la que se le ha asignado en el proyecto de TIA Portal. Para ello, siguiendo la ruta en el árbol de proyecto *Accesos Online>Nombre de la tarjeta de red del PC>Actualizar dispositivos accesibles*, se mostrarán los dispositivos conectados al ordenador. Una vez hecho esto, se selecciona el PLC que se está utilizando. Desde aquí se puede comprobar la dirección IP del autómata. También se puede cambiar esta dirección por si no coincide con la asignada en el proyecto.

Tras comprobar la dirección IP del PLC, hay que comprobar la del PC, ya que si no están en la misma subred no se podrá cargar el proyecto en el autómata. La IP de la tarjeta de red del ordenador se puede cambiar para que coincida con la subred del PLC. Para ello, en el *Panel de control* del ordenador, se sigue la ruta *Redes e Internet>Conexiones de red*. En el panel que se abre, se debe seleccionar la tarjeta de red del ordenador, abriendo así sus propiedades.

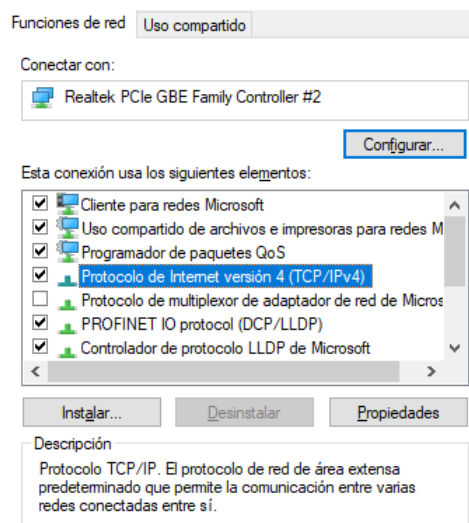


Ilustración 37. Como cambiar la dirección IP del ordenador (Fuente: Elaboración propia)

Para cambiar la dirección IP se debe elegir la opción *Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4)*, tras esto, se pulsa en *Propiedades*. Desde aquí se abrirá una ventana en la que se podrá configurar la nueva dirección de la tarjeta de red del ordenador. Se debe elegir una que este dentro de la subred, es decir, deben coincidir los 3 primeros números de la dirección, variando el último.

Una vez hecho todo esto, desde TIA Portal se puede cargar el proyecto en el PLC. Para cargar el proyecto se debe seleccionar el botón resaltado en la Ilustración 38, tras lo que se buscarán los dispositivos compatibles y se podrá cargar el proyecto de TIA Portal en el PLC.

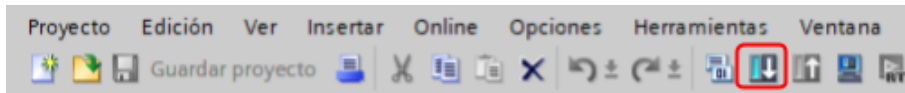


Ilustración 38. Cargar proyecto en el PLC (Fuente: Elaboración propia)

Tras cargar todos los programas en el PLC, este se pondrá en modo RUN, por lo que empezará a ejecutar los programas de forma automática, por lo que se podrá desconectar el PC del autómatas y dejar el proceso funcionando.

## 4.6 Programación HMI

La pantalla HMI se utiliza para que los operarios de planta puedan ver información de ambos procesos, además de poder interactuar con ellos, seleccionando modos de funcionamiento, cuando se debe iniciar los procesos o la carga de piezas en el horno. Como no se dispone de setas de emergencia físicas, la pantalla HMI se usará también para poder activar la parada de emergencia de los dos procesos. La programación de la pantalla se hace utilizando WinCC, que viene integrado en el software TIA Portal de Siemens. La programación de este dispositivo se realiza de una forma gráfica. Se presentan distintas ventanas en las que se pueden añadir diferentes elementos gráficos, como botones, indicadores o deslizadores, todos estos con características propias configurables.

### 4.6.1 Añadir la pantalla HMI al proyecto de TIA Portal

La introducción de una pantalla HMI en el proyecto se realiza, una vez abierto el proyecto en TIA Portal, seleccionando la opción en el árbol del proyecto de Añadir un dispositivo. Aquí se debe seleccionar el dispositivo que se quiere añadir. Como en este proyecto de automatización se va a utilizar una pantalla KTP700, que forma parte de la gamma Basic Panel de Siemens, hay que seleccionar *HMI>SIMATIC Basic Panel>7" Display>KTP700*. Tras seguir esta ruta se elige la pantalla 6AV2 123-2GB03-0AX0, que es el modelo que tiene la posibilidad de realizar la comunicación mediante PROFINET. La otra pantalla que se puede seleccionar es la opción para Profibus, por lo que esta no puede seleccionarse.

Tras seleccionar que pantalla se quiere incluir, se abre un menú que servirá de guía para realizar una configuración rápida de las características de la pantalla y de la aplicación que se va a desarrollar para ella. Desde este asistente se puede configurar rápidamente la comunicación entre el autómatas y la pantalla HMI, teniendo solo que seleccionar el autómatas al que se va a conectar la pantalla. Tras seleccionarlo, se quedará configurada la comunicación entre ambos dispositivos, pudiendo luego cambiar la dirección IP de la pantalla si es necesario.

Desde el asistente también se puede configurar el formato y color de las imágenes de la aplicación de la pantalla, los avisos que pueda mostrar, imágenes por defecto y también se pueden añadir botones predefinidos, como uno para abrir la administración de usuarios o para iniciar sesión.

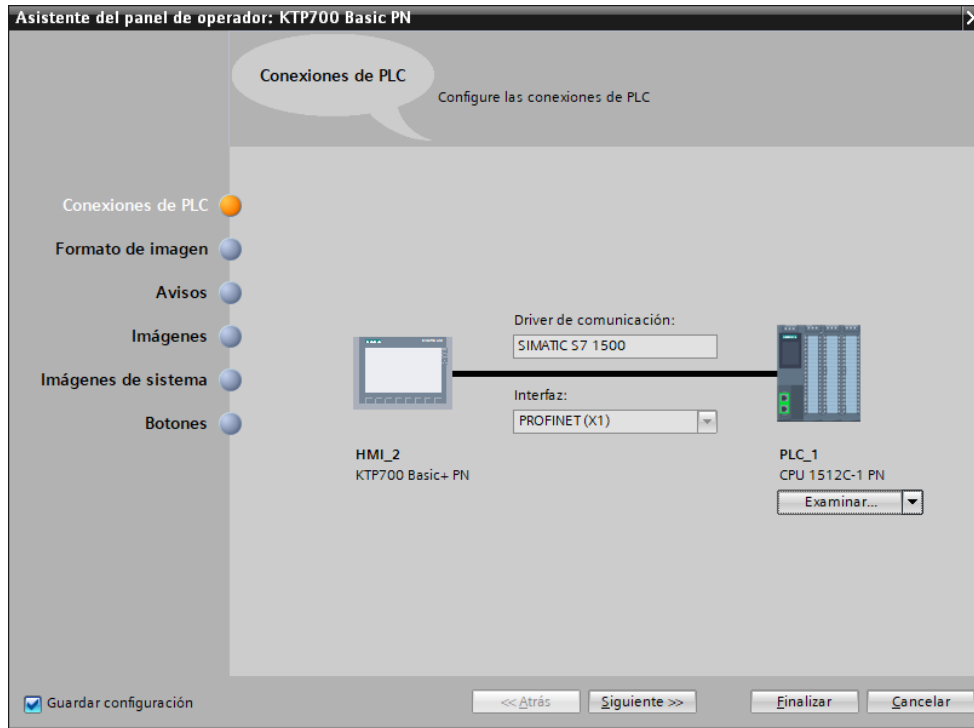


Ilustración 39. Asistente de creación de pantalla HMI (Fuente: Elaboración propia)

Una vez configuradas todas las opciones posibles, se puede finalizar con el asistente y la pantalla HMI quedará añadida al proyecto de TUA Portal. A partir de este momento, ya se puede diseñar la aplicación de la pantalla HMI, creando las diferentes ventanas de la aplicación, incluyendo usuarios para restringir algunas funcionalidades o declarar alarmas.

#### 4.6.2 Diseño de la aplicación HMI

Una vez se ha añadido la pantalla HMI en el proyecto de TIA Portal y se ha comprobado la dirección IP que tiene asignada, se puede comenzar a programar la pantalla. Cabe recordar que en este proyecto no se ha utilizado una pantalla HMI real, por lo que se va a simular en TIA Portal utilizando el ordenador del alumno. Por este motivo, la IP asignada a la pantalla HMI puede ser cualquiera que se encuentre en la subred del autómeta, es decir, como la IP del autómeta es 192.168.204.93, la pantalla HMI puede tener cualquier dirección mientras empiece por 192.168.204, pudiendo elegir el último número. Si la pantalla que se usa fuera real, aquí se tendría que asignar la dirección IP que tenga la pantalla. El diseño de la aplicación, aunque se añade a TIA Portal, en realidad se está usando el software WinCC, que es el programa que ofrece Siemens para crear sus aplicaciones HMI y SCADA. Este software viene integrado en TIA Portal, junto con STEP7, que es el que se utiliza para programar los PLC.

La pantalla se ha programado para ser utilizada a la vez con los dos procesos del sistema, la estación multiprocesado con horno y el almacén vertical, por lo que en la misma aplicación se tienen ventanas para poder monitorizar ambos procesos. No obstante, en una instalación real, donde ambos procesos están separados por una distancia considerable, no se podría tener una única pantalla HMI instalada para los dos procesos, pues no podría situarse cerca de ambos. Por lo tanto, en la instalación real se deben utilizar dos pantallas HMI, una para cada proceso. El diseño de la aplicación se puede dividir en tres partes: Gestión de usuarios, gestión de las alarmas y el diseño gráfico de la aplicación.

#### *4.6.2.1 Gestión de usuarios*

Para controlar el acceso a la pantalla, y por ende al control de los dos procesos, se han creado distintos grupos de usuarios para restringir algunas de las funcionalidades de la aplicación dependiendo de a qué grupo pertenece el usuario que ha iniciado sesión.

Se han creado tres tipos de usuarios distintos, cada uno con unos privilegios distintos: el grupo de administradores, el grupo de operadores y el grupo de supervisores.

El primer grupo, que aparece por defecto en TIA Portal al incluir la pantalla en el proyecto, es el grupo de los administradores. Este grupo es el que más privilegios tendrá, pues a parte de poder acceder sin restricciones a todas las opciones de control y visualización de los dos procesos, será el grupo encargado de administrar a los otros usuarios. Esto permite a estos usuarios administradores cambiar contraseñas de todos los usuarios sin excepción, así como borrar o crear nuevos usuarios.

El grupo de los operadores es el siguiente con más funcionalidades habilitadas dentro de la aplicación. La única diferencia entre este grupo y el de los administradores es que no pueden acceder a la administración de usuarios al mismo nivel que los administradores, pudiendo cambiar solo su contraseña y usuario al entrar en el menú de gestión de los usuarios. Por lo tanto, este grupo tendrá control absoluto de los dos procesos, pudiendo acceder a todas las opciones de control de estos, pero no podrá administrar los usuarios.

El último de los tres grupos es el de los supervisores. Este grupo se ha creado para que hagan una función de observadores. Podrán ver en qué estado se encuentra el sistema productivo, pues los usuarios de este tipo pueden ver que sensores están activados en cada momento, en que posición se encuentran las distintas máquinas que componen el sistema y en qué modo productivo se encuentra el sistema, si está produciendo de forma automática o semiautomática. También podrán observar si se ha activado una parada de emergencia y los avisos del sistema pendientes. Sin embargo, no podrán ordenar ningún cambio en ninguno de los procesos, es decir, no pueden cambiar el modo de funcionamiento del proceso, no pudiendo activar los modos automático, semiautomático o manual, ni pueden añadir nuevas piezas al cargador del horno. Lo único que podrá hacer un usuario de este grupo es activar la parada de emergencia, ya que está 'habilitada para ellos. Esto se hace por motivos de seguridad, para que cualquier usuario pueda para el sistema de producción ante una emergencia. En la se puede ver un resumen de los distintos grupos de usuarios, junto con el número que TIA Portal les asigna para poder reconocerlos en los objetos que se añaden en las ventanas.

Tabla 5. Grupos de usuarios en la pantalla HMI

Grupo	Funciones	Número asignado
Administradores	Control total de ambos procesos Administración de otros usuarios (creación y eliminación de usuarios, cambio de contraseñas)	1
Operadores	Control total de ambos procesos Solo pueden cambiar su contraseña y nombre de usuario	2
Supervisores	Función de supervisión, no pueden acceder al control del proceso, solo ver su estado Solo pueden cambiar su contraseña y nombre de usuario	3

Para crear los usuarios en TIA Portal se debe ir a la opción *Administración de usuarios* en el árbol del proyecto, dentro del apartado de la pantalla HMI. Desde esta ventana resulta muy sencillo crear los grupos de usuarios. En la Ilustración 40 se muestra este menú para incluir los grupos de usuarios en la pantalla. En la parte superior se ven los tres grupos mencionados anteriormente. En ese apartado, para crear un nuevo grupo de usuarios tan solo hay que pulsar en agregar, generándose un nuevo grupo. Se le debe asignar un nombre, un número y un nombre de visualización (es como se mostrará a este grupo dentro de la aplicación HMI), y ya estaría creado el nuevo grupo. En la parte inferior se seleccionan los permisos que tiene ese grupo. Como el grupo seleccionado en la ilustración es el grupo de los supervisores, únicamente esta seleccionado el permiso de supervisión.

Nombre	Número	Nombre de visualización	Caducidad de l...	Comentario
Administradores	1	Administradores	<input type="checkbox"/>	El grupo 'Administradores' ti...
Operadores	2	Operadores	<input type="checkbox"/>	El grupo 'Usuarios' tiene inici..
Supervisores	3	Supervisores	<input type="checkbox"/>	
<Agregar>				

Permisos				
Activo	Nombre	Nombre de visualización	Número	Comentario
<input type="checkbox"/>	Administración de usuari...	Administración de usuarios	1	Permiso 'Administración de ...
<input checked="" type="checkbox"/>	Monitorización	Monitorización	2	Permiso 'Supervisar'.
<input type="checkbox"/>	Operación	Operación	3	Permiso 'Operación'.
<Agregar>				

Ilustración 40. Menú de administración de usuarios de la pantalla HMI (Fuente: Elaboración propia)

A parte de crear grupos, desde aquí se pueden introducir algunos de los usuarios que van a utilizar la pantalla, eligiendo la opción *Usuarios* del menú de *Administración de usuarios*, que se muestra en la Ilustración 41.

A cada usuario se le asigna un nombre para identificarlo y una contraseña, además se puede elegir que se cierre la sesión automáticamente tras un tiempo de inactividad, que en este caso se ha dejado en cinco minutos.

Para elegir a que grupo pertenece un usuario, al seleccionar uno de los usuarios se puede elegir en la parte inferior de la pantalla a que grupo pertenece. En el caso de la ilustración, se ha seleccionado el usuario *Operador1*, que como se muestra más abajo pertenece al grupo de los *Operadores*.

Usuarios					
	Nombre	Contraseña	Cierre de sesión autom..	Tiempo de cierre de sesió	Número
	Administrador	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	1
	Operador1	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2
	Operador2	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	3
	Supervisor1	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	4
	<Agregar>				

Grupos					
	Miembro de	Nombre	Número	Nombre de visualización	Caducidad de l...
	<input type="radio"/>	Administradores	1	Administradores	<input type="checkbox"/>
	<input checked="" type="radio"/>	Operadores	2	Operadores	<input type="checkbox"/>
	<input type="radio"/>	Supervisores	3	Supervisores	<input type="checkbox"/>

Ilustración 41. Introducción de usuarios en la pantalla HMI (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.6.2.2 Gestión de alarmas

Una función muy interesante que se puede añadir a la aplicación de la pantalla HMI es la de generar avisos para informar a los usuarios sobre el estado de los procesos. Se han creado diferentes tipos de avisos para poder informar sobre diversas situaciones que pueden producirse en el sistema de producción.

Para generar estas alarmas o avisos en TIA Portal, se debe ir a la ventana *Avisos HMI* en el árbol del proyecto, dentro del apartado de la HMI. Desde aquí se pueden crear todos los avisos que podrá ofrecer la pantalla. Se pueden generar dos tipos de aviso diferentes, pudiendo elegir entre avisos de bit (se activan con un bit) o avisos analógicos (se activan cuando una variable pasa de cierto valor, por ejemplo, una presión alcanza un valor peligroso). Para la aplicación HMI del proyecto se utilizan únicamente avisos de bit, ya que no se monitorizan variables analógicas en el proceso.

Se han creado 6 avisos diferentes, que se explican a continuación:

- 1) EMERGENCIA HORNO, el aviso que se activa cuando se produce una parada de emergencia en el proceso de horneado y serrado.
- 2) EMERGENCIA ALMACÉN, indica que se ha producido una parada de emergencia en el almacén vertical.

- 3) **BUFFER LLENO.** Este aviso sirve para indicar al usuario que el vector que guarda las piezas que están saliendo hacia el almacén se ha llenado, por lo que no pueden salir más piezas del proceso de horneado y serrado pues no se guardaría su tipo.
- 4) **ALMACÉN LLENO,** este aviso indica al usuario que no se puede guardar la pieza que se está intentando introducir en el almacén pues no hay espacio para almacenarla.
- 5) **ALMACÉN VACIO.** Este aviso se ha creado para informar al usuario de que el almacén se ha vaciado, por lo que no se pueden extraer más piezas de él. Este aviso salta tanto si se ha seleccionado el modo de descarga total (no queda ninguna pieza en el almacén) como si se ha elegido el modo de descarga parcial (no quedan más piezas de ese tipo dentro del almacén)
- 6) **ERROR.** Este aviso está pensado para el modo semiautomático del almacén. En este modo se puede seleccionar una pieza para cargar o descargar del almacén. Sin embargo, si se selecciona un espacio no válido, como por ejemplo intentar cargar una pieza en un espacio ocupado, o descargar un espacio que está vacío.

La activación de los avisos se realiza a través de diferentes bits del programa del autómatas, que se corresponden con las variables que se han asignado desde el programa del PLC para hacer saltar estos avisos. Para acceder a estos bits de aviso, no se puede seleccionar directamente la dirección de la variable, por ejemplo, poniendo que el aviso de la emergencia del almacén se activa con la variable *Emergencia\_almacen* del PLC.

Desde los avisos, únicamente se puede acceder a una palabra del autómatas. Una palabra es un conjunto de 16 bits de la memoria del PLC, por lo que se constituye con dos bytes de la memoria. Para poder acceder a las variables de activación, desde el programa del PLC se guardan todas estas variables en la misma palabra, en este caso la palabra 10 de las marcas, nombrada como %MW10.

Desde la pantalla HMI, en el apartado de avisos, se agregan los diferentes avisos comentados anteriormente. Al seleccionar una variable de disparo para este aviso, se pulsa sobre el botón *Agregar*, creándose así una nueva variable de la pantalla HMI unida a una zona de la memoria del PLC. Al elegir esta opción se abrirá la ventana que se muestra en la Ilustración 42. Se debe elegir la conexión que se haya configurado para el PLC (en este caso *HMI\_Conexión\_1*) y en modo de acceso seleccionar *Acceso absoluto*. Esto hace que, en vez de acceder de forma simbólica, a través del nombre de la variable asignada a esa zona de memoria, se accede directamente a ese espacio de la memoria del PLC. Como los bits de activación de los avisos se han guardado en la palabra %MW10, se elige esta dirección de memoria.

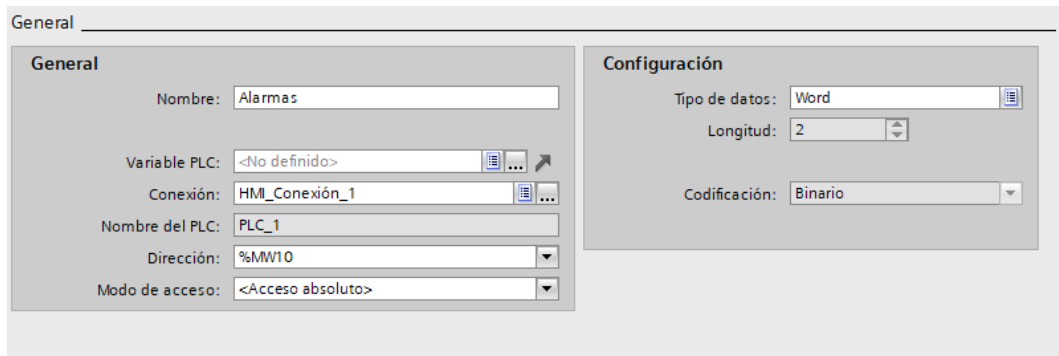


Ilustración 42. Configuración de los bits de activación de los avisos de la HMI (Fuente: Elaboración propia)

Una vez se ha configurado esta variable de activación, se elige como variable de disparo *Alarmas*. Se debe seleccionar el bit de la palabra del PLC que se corresponde con la variable de disparo, teniendo en cuenta que en TIA Portal los bits de 0 a 7 hacen referencia al byte más grande de la palabra, es decir, apunta a las direcciones comprendidas entre %M11.0 a %M11.7, siendo el bit del 8 al 15 los que apuntan a las direcciones %M10.0 a %M10.7. En la Ilustración 43 aparecen todos los avisos configurados en TIA Portal.

Avisos de bit							
ID	Nombre	Texto de aviso	Categoría	Variable de di..	Bit de ..	Dirección de ...	
1	EMERGENCIA HORNO	Emergencia activada en el proceso	Errors	Alarmas	8	%M10.0	
2	EMERGENCIA ALMA...	Emergencia activada en el proceso	Errors	Alarmas	9	%M10.1	
3	BUFER LLENO	Array hacia almacén lleno	Errors	Alarmas	10	%M10.2	
4	ALMACEN LLENO	La pieza no puede introducirse porq	Errors	Alarmas	11	%M10.3	
5	ALMACEN VACIO	No se puede extraer pieza porque el	Errors	Alarmas	12	%M10.4	
6	ERROR	Seleccione un slot válido	Errors	Alarmas	2	%M11.2	
7	Aviso de bit_1		Errors	Alarmas	3	%M11.3	

Ilustración 43. Avisos introducidos en TIA Portal (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.6.2.3 Diseño gráfico de la aplicación

Para crear las diferentes ventanas que componen la aplicación HMI se tienen diversas herramientas. Estas herramientas varían dependiendo del tipo de pantalla que se utilice. La gama Basic Panel, al ser la más básica, es la que menos opciones ofrece dentro de las pantallas HMI que ofrece Siemens, no obstante, las herramientas disponibles son suficientes para realizar una aplicación HMI adecuada para el sistema que se controla.

Las herramientas que se han utilizado en el diseño de la aplicación son el botón, el cuadro de texto (muestra un texto definido por el programador), el visor de variables (cuadro que muestra el valor de una variable, pudiendo ser numérica o de texto) y las herramientas de dibujo para crear esquemas que representen los procesos.

Además de introducir elementos, se pueden incluir animaciones de movimiento o de visión. En esta aplicación se han utilizado sobre todo animaciones de visión para ocultar botones y formas en función de la activación de una variable y de cambio de color de los objetos. Las animaciones de movimiento no se han utilizado pues, al ser una pantalla instalada en planta, no se quería distraer al operario cargando la imagen con demasiados movimientos, tratando así de no distraer a los operarios.



Para poder interactuar con el PLC, se han creado una serie de variables en la pantalla HMI conectadas a diferentes variables utilizadas en el programa del PLC, pudiendo visualizar de esta forma datos del PLC o dar órdenes al proceso.

La aplicación se ha dividido en diferentes ventanas, cada una con funciones distintas. Estas ventanas se comentarán a continuación.

### Ventana de inicio de sesión

La ventana que aparece por defecto al encender la pantalla es la que sirve para que el usuario inicie su sesión. Esta ventana es la que se muestra en la Ilustración 44.

Debido a que la emergencia puede activarse en cualquier momento, las setas de emergencia de ambos procesos están presentes en esta ventana, pudiendo activarse sin iniciar la sesión. Desde esta ventana se puede acceder a todas las demás, aunque las ventanas de los procesos de horneado y serrado y el almacén solo son accesibles una vez se ha iniciado sesión. Si la sesión no se ha iniciado, los botones correspondientes a estos procesos no serán visibles.

El logotipo de la UPV, la fecha y hora y los botones de la parte inferior no son parte de la ventana, sino que se ha creado una plantilla con estos elementos. Esta plantilla esta presente en todas las ventanas de la aplicación, por lo que estos elementos estarán siempre presentes. En la zona del logotipo se podrá poner el de la empresa cliente que ordena el proyecto.



Ilustración 44. Ventana de inicio de sesión (Fuente: Elaboración propia)

Los botones inferiores sirven para, en orden de izquierda a derecha, volver a la ventana por defecto (la de inicio de sesión), iniciar sesión, abrir el visor de avisos, entrar en la administración de usuarios, ir a la ventana del proceso de horneado y serrado y, por último, ir a la ventana del almacén.

En el cuadro central se puede iniciar y cerrar sesión, una vez iniciada se muestra el nombre de usuario, el grupo al que pertenece y se indica que se ha iniciado sesión. Para poder mostrar el usuario y su grupo, se ha utilizado el *Planificador de tareas*. Este apartado se utiliza para ejecutar una serie de instrucciones cuando se produce un evento.

En este caso el evento es un cambio de usuario, y con las funciones *LeerNombreDeUsuario* y *LeerNúmeroDeGrupo*, se guardan estos datos para poder mostrarlos en la ventana. También se activa un bit que indica que se ha iniciado sesión. Este bit volverá a poner a 0 cuando se cierre sesión para poder mostrar en la ventana que la sesión no se ha iniciado.

### Ventana del proceso de horneado y serrado

En la Ilustración 45 se observa la ventana utilizada para el control de la estación de multiprocesado con horno. En la parte central superior de la imagen se encuentra un esquema que representa la estación de procesado de forma simplificada. En la parte central inferior están los diferentes modos en los que puede funcionar el proceso: *Inicio* es para comenzar la producción automática, *Semi* pone al proceso en modo semiautomático, *Manual* sirve para entrar en el modo de control manual y *Salir* es para salir de los modos anteriores. El proceso en automático o semiautomático no puede comenzar si no se cumplen las condiciones iniciales, por eso, si estas no se cumplen, se avisa al usuario con un texto parpadeante (alterna entre negro y rojo) que indica que no se cumplen las condiciones iniciales.

En la parte de control de los modos de funcionamiento se ha incluido también un panel que indica el nombre del usuario cuya sesión esta activa actualmente, indicando también a que grupo de usuarios pertenece.

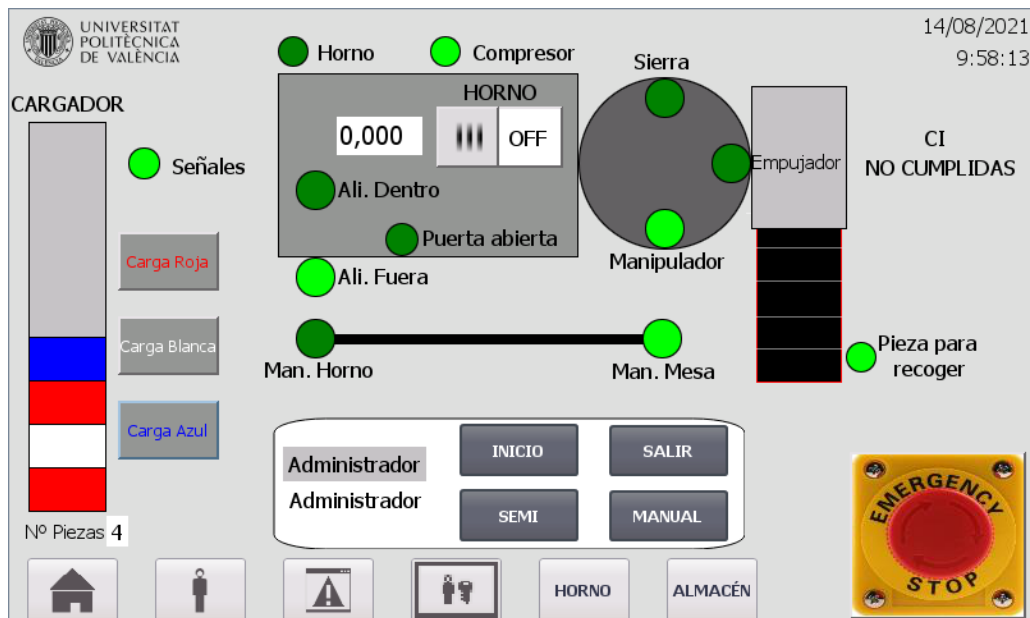


Ilustración 45. Ventana del proceso de horneado y serrado (Fuente: Elaboración propia)

Desde el rectángulo que representa el horno, se tiene un interruptor deslizable que sirve para encender el horno. Cuando se pone en modo ON, el temporizador comenzará a contar hasta los 50 segundos. El tiempo de espera se muestra en el cuadro a la izquierda del interruptor.

En la esquina inferior derecha se tiene la seta de emergencia para poder parar el proceso en caso de accidente.

En la parte izquierda se presenta el control del cargador del horno. Desde aquí, siempre que el proceso se encuentre funcionando en modo automático (estado F1 del GEMMA) o en reposo (estado A1 del GEMMA), se podrán introducir piezas en el cargador. Para ello, el operario debe seleccionar que tipo de pieza va a entrar en el cargador con los botones que se encuentran a la derecha del cargador, seleccionando entre roja, blanca o azul. Debajo del cargador se muestra un contador que indica el número de piezas que hay dentro del cargador.

Con la herramienta de dibujo, se han creado varios círculos que actúan como indicadores de que se han activado los diferentes sensores del proceso, así como indicar si el compresor y el horno están encendidos. Cuando estas variables se activan, el círculo pasa de color verde oscuro a color verde claro. Con estas bombillas se le puede indicar al usuario donde se encuentra cada parte móvil del proceso. Se debe tener en cuenta que el detector de piezas al final de la cinta tiene lógica inversa, poniéndose a 0 cuando detecta una pieza.

Para acceder a los controles del modo manual y semiautomático se ha creado otra ventana diferente, para no saturar demasiado la ventana principal del proceso. Esta ventana sirve tanto para el modo manual como semiautomático, por lo que dependiendo de en que modo se encuentre, se mostrarán unos controles u otros. Esto se ha realizado con una animación de visibilidad de los objetos, ocultando los controles manuales cuando se está en modo semiautomático y viceversa. En la Ilustración 46 se muestra esta ventana cuando se accede con el modo manual activado. Desde aquí, se pueden activar de forma independiente todos los actuadores del proceso, realizando todos los movimientos posibles. Hay que recordar que solo se podrá activar uno a la vez para evitar accidentes.

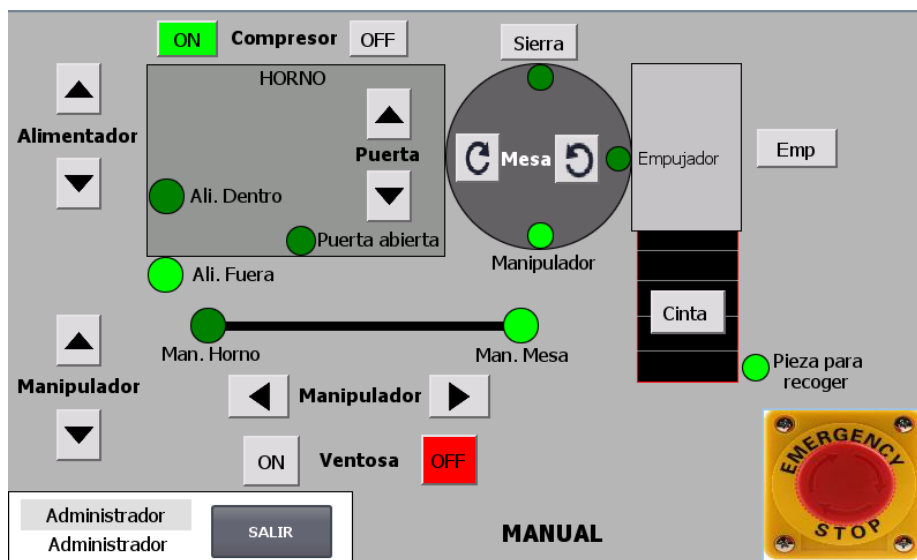


Ilustración 46. Ventana manual del proceso de horneado y serrado en la HMI (Fuente: Elaboración propia)

En la Ilustración 47 se presenta la misma ventana, pero esta vez accediendo a través del modo semiautomático del proceso. En este modo de funcionamiento se divide el proceso en cuatro partes independientes: el horno, el manipulador, la mesa de la sierra y la cinta.

Cada una de ellas se puede activar de forma independiente y a la vez. Este modo de funcionamiento está pensado para terminar de procesar las piezas que quedaron dentro del proceso cuando se produjo una parada de emergencia.

En el horno, se puede iniciar un ciclo de horneado de una pieza roja o blanca. No está la opción de la azul pues este tipo de piezas no se someten a un horneado.

Si hay una pieza en el alimentador, se puede iniciar un ciclo del manipulador, que recogerá la pieza y la llevará a la mesa.

En la mesa, se diferencia entre si la parada de emergencia se produjo tras el serrado de la pieza (ya mecanizada) o antes de someterse al serrado (sin mecanizar). Si no se ha mecanizado, se hará un ciclo de serrado dependiendo de si es azul o roja (la blanca no se somete nunca al serrado, pero se ha incluido en el apartado de sin mecanizar) y después se deposita la pieza en la cinta. Si la pieza ya ha sido serrada, la pieza irá directamente a la cinta sin parar en la sierra.

La cinta se podrá activar o desactivar, funcionando este botón como un interruptor, si se pulsa la cinta permanecerá activa hasta que llegue una pieza al final. Si se desactiva la cinta, esta detendrá su movimiento, aunque no haya llegado una pieza al final.

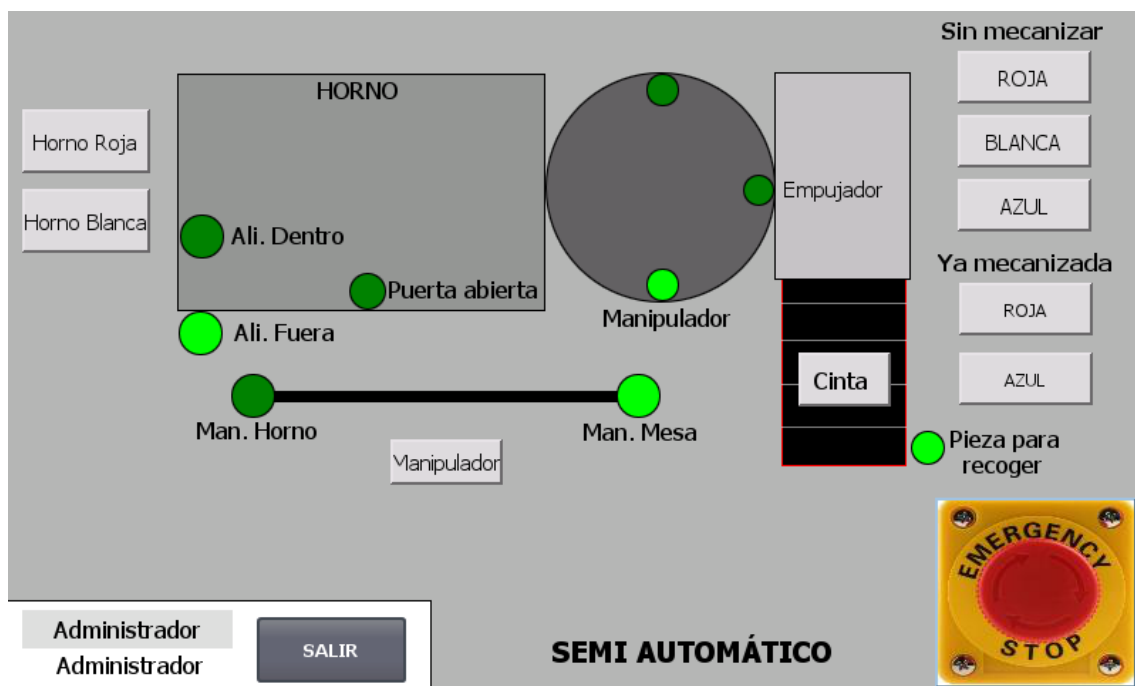


Ilustración 47. Ventana semiautomático del proceso de horneado y serrado en la HMI (Fuente: Elaboración propia)

En esta ventana debe estar presente también el botón de la seta de emergencia, para poder realizar una parada en caso de producirse una emergencia mientras se está utilizando uno de estos dos modos de funcionamiento.

## Ventana del almacén vertical

La última ventana principal que tiene la aplicación es la utilizada para el almacén vertical. Esta ventana es la que se muestra en la Ilustración 48. Tiene un diseño similar a la ventana del otro proceso. En la parte central se muestra un esquema simplificado del almacén. Se han representado los nueve espacios que componen el almacén mediante rectángulos. Estos serán de color gris cuando el espacio este vacío, pero cuando se ocupe con una pieza, el color cambiará dependiendo del tipo de pieza introducida, mostrando así al usuario si el espacio está ocupado y con qué pieza se ha ocupado. A la izquierda de los espacios de almacenamiento está representada la cinta del almacén.

En la parte izquierda de la ventana se muestran los botones de acceso a los diferentes modos de funcionamiento. El botón *Desc Total* es un interruptor para activar el modo de descarga total del almacén. Cuando este activado, el botón se pondrá en un color verde más claro. Se han dividido los botones en función de si el modo de funcionamiento es automático o semiautomático, pudiendo accionar la carga o descarga. También se tiene el botón para activar el modo manual y el botón de *Salir* para terminar con el modo de funcionamiento que se esté ejecutando. Al final se muestra el nombre del usuario y el grupo al que pertenece, igual que en la ventana del proceso anterior.



Ilustración 48. Ventana principal del almacén en la pantalla HMI (Fuente: Elaboración propia)

Los indicadores de los sensores se han realizado de la misma forma que con la ventana anterior, introduciendo círculos con una animación de cambio de color dependiendo de si el sensor esta activo o no. En el caso de los sensores de la cinta, están programados con lógica inversa, de modo que, si la pieza llega a una de esas dos posiciones, el sensor enviará un 0, y si no detecta nada se recibe un 1.

En esta ventana el modo manual se ha integrado en la ventana principal sin crear otra ventana nueva aparte. De este modo, cuando se active el modo manual, los controles de los movimientos aparecerán en esta ventana principal. Para ello, se ha creado una animación de visibilidad para todos los botones que forman parte del control manual, de forma que solo sean visibles si el modo manual esta activado.

Para el modo semiautomático, tanto descarga como carga, se ha creado una nueva ventana que aparece cuando se activa o la descarga o la carga semiautomática. Esta ventana, en el modo de descarga semiautomática, se puede ver en la Ilustración 49. Se tienen representados los espacios del almacén, indicando cual está ocupado y cual no. Desde los botones se puede seleccionar el espacio del almacén que se quiere cargar o descargar. Si se produjera un error, como seleccionar para descargar una posición vacía, saltaría el aviso *ERROR* comentado en el apartado

#### 4.6.2.2 Gestión de alarmas.

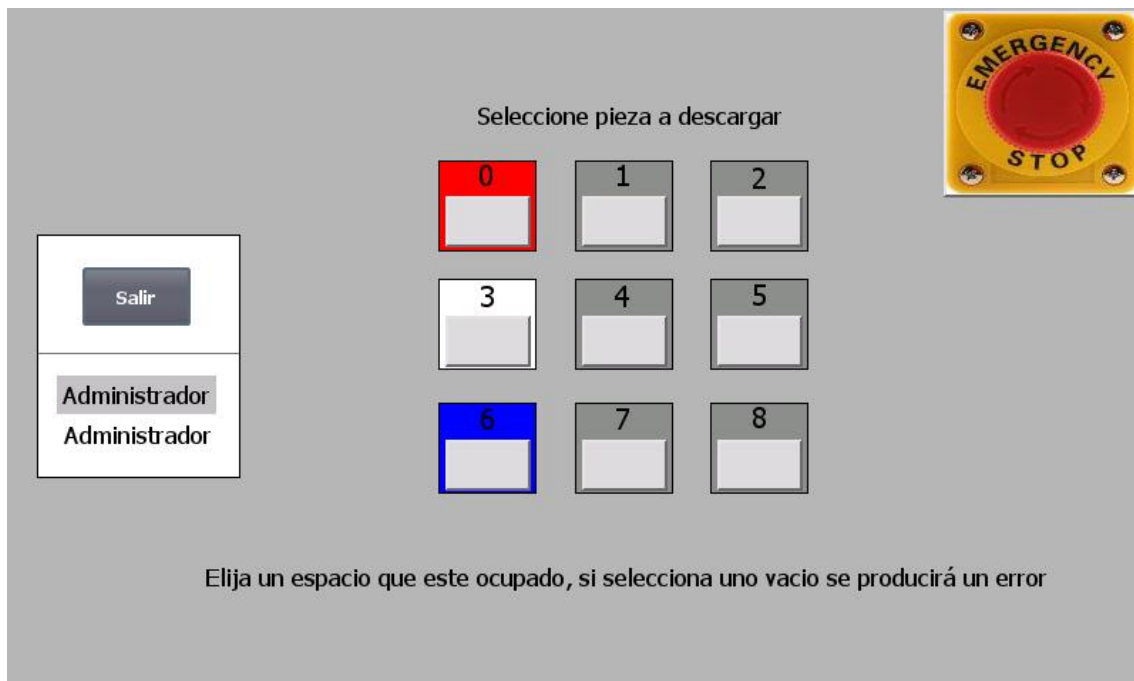


Ilustración 49. Modo de descarga semiautomática en la pantalla HMI (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.6.2.4 Simulación de la pantalla HMI

Como no se dispone de la pantalla HMI seleccionada real en el laboratorio, se va a simular a través del ordenador utilizando el simulador de TIA Portal. Una vez se ha terminado de programar la aplicación, se puede comenzar la simulación.

Primero, se debe tener conectado con el cable de comunicación Ethernet el ordenador y el PLC, y el PLC debe estar en modo RUN, es decir, ejecutando el programa cargado. Para iniciar la simulación de la pantalla se debe seleccionar en TIA Portal en la barra de herramientas el botón de simulación, que es el resaltado en la Ilustración 50, junto a los botones de cargar el programa en el dispositivo.



Ilustración 50. Botón de simulación en la barra de herramientas en TIA Portal (Fuente: Elaboración propia)

Tras seleccionar esta opción, se iniciará la simulación de la pantalla HMI en el ordenador. Puede darse el caso de que, aunque la simulación este en marcha, no se conecte al PLC, por lo que no será visible ninguna información del autómatas ni se le podrá enviar ninguna instrucción desde la pantalla. Para solucionar esto, en el Panel de control del ordenador, se debe buscar la *Ajustar Interface PG/PC* y comprobar que esta seleccionada la opción *S7ONLINE (STEP 7) → Tarjeta de red del ordenador.TCPIP.Auto*. Si no está seleccionada, no se podrá realizar la conexión correctamente<sup>24</sup>.

## 4.7 Programación SCADA

El último de los programas diseñados para llevar a cabo el control del sistema de producción de este proyecto es la aplicación SCADA. Mientras que la aplicación de la pantalla HMI está pensada para los operarios que trabajan en planta al lado de los procesos, la aplicación SCADA se ejecuta en un PC que no tiene por qué estar cerca del proceso que se monitoriza y controla. Esta aplicación la utilizará personal más cualificado que los operarios de planta para revisar el funcionamiento del sistema.

### 4.7.1 Incluir la aplicación SCADA en el proyecto de TIA Portal

La aplicación SCADA debe ejecutarse desde un ordenador, por eso, para poder incluirla en el proyecto de TIA Portal, se debe añadir una estación PC. Este PC aparecerá en la ventana de *Dispositivos y redes* del proyecto de TIA Portal. Si se selecciona el PC, desde aquí se podrá añadir una tarjeta de red para poder comunicar con el autómatas. En el catálogo de productos de esta ventana se selecciona una IE General en el apartado de PROFINET/Ethernet.

Una vez se tiene incluida la tarjeta de red en el dispositivos, se debe poner la dirección IP que tenga el ordenador en el que se va a ejecutar la aplicación SCADA, en este caso la dirección 192.168.204.91.

También se debe incluir en el dispositivo PC del proyecto un módulo de WinCC RT Advanced. Esto será la aplicación SCADA propiamente dicha. Una vez incluida ya se puede comenzar a diseñar la aplicación de igual modo que con la pantalla HMI. Al igual que con la HMI, en WinCC RT Advanced se realiza una programación gráfica, incluyendo los diferentes elementos gráficos en las diferentes ventanas de la aplicación, pudiendo configurar las características de estos elementos.

<sup>24</sup> MasterPLC. (14 de mayo de 2019). *SIMULAR UN HMI DE SIEMENS conectado a un PLC REAL en TIA PORTAL* [Archivo de Video]. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=-DMC4Iq\\_ALs](https://www.youtube.com/watch?v=-DMC4Iq_ALs)

#### 4.7.2 Diseño de la aplicación

La programación de la aplicación SCADA y la pantalla HMI es muy similar, teniendo prácticamente las mismas herramientas a disposición del programador. Para diseñar el SCADA se utiliza el software WinCC RT Advanced, que viene integrado en TIA Portal.

Las ventanas diseñadas son muy parecidas a las de la aplicación de la pantalla HMI, con algunas diferencias con respecto a la pantalla. En el caso de los avisos, son exactamente los mismos que en el caso de la pantalla HMI. Además, estos se configuran de la misma forma que en el caso de la pantalla, por lo que no se van a volver a comentar los avisos de la aplicación, pudiendo ver como se configuran en el apartado 4.6.2.2 Gestión de alarmas de la pantalla HMI. A continuación, se comentan las diferencias más importantes que presenta esta aplicación con respecto a la que se ejecuta en la pantalla HMI.

##### 4.7.2.1 Grupos de usuarios

Al igual que en la pantalla HMI, en esta aplicación también se han creado grupos de usuarios diferentes para otorgar privilegios de control de la aplicación distintos dependiendo del usuario que esté conectado. Los grupos y los usuarios se crean de igual manera que en la pantalla HMI, a través de la opción *Administración de usuarios* del árbol del proyecto, dentro del apartado correspondiente a la estación PC donde se ejecuta el SCADA.

Para esta aplicación se han creado dos tipos de usuarios: los administradores y los usuarios. Los primeros serán los que tengan control sobre la creación y administración de los demás usuarios de la aplicación, mientras que el grupo de los usuarios será equivalente al de los operadores de la pantalla HMI, pues tienen control absoluto de los dos procesos del sistema, pero no pueden modificar las contraseñas y nombres de otros usuarios de la aplicación, solo podrán modificar el suyo propio.

En la se puede observar un resumen de los dos tipos de usuarios de la aplicación SCADA, junto con el número que lo identifica.

Tabla 6. Grupos de usuarios de la aplicación SCADA

<i>Grupo</i>	<i>Funciones</i>	<i>Número asignado</i>
<i>Administradores</i>	Control total de ambos procesos Administración de otros usuarios (creación y eliminación de usuarios, cambio de contraseñas)	1
<i>Usuarios</i>	Control total de ambos procesos Solo pueden cambiar su contraseña y nombre de usuario	2

En el menú de *Administración de usuarios*, en el apartado de *Usuarios*, se pueden añadir los usuarios de la aplicación, aunque también se pueden añadir nuevos usuarios desde la aplicación, en la ventana de *Administrador de usuarios*.



#### 4.7.2.2 Diseño de la aplicación

La aplicación SCADA se diseña añadiendo ventanas o imágenes que podrán ir cambiando los usuarios. En estas ventanas, igual que en la pantalla HMI, se incluyen los diferentes objetos que se utilizan para proporcionar información al usuario, y para que el usuario pueda comunicarse con el PLC. Estos elementos serán los botones, interruptores, dibujos del proceso o indicadores, que servirán para crear un entorno de visualización y control del sistema de producción.

Una diferencia con la pantalla HMI que se ha seleccionado, es que en el SCADA se van a poder generar imágenes o ventanas emergentes. Estas ventanas pueden aparecer de forma superpuesta a la ventana que se tenga activada en un determinado momento. Cuando se cumplen las condiciones de aparición de la imagen emergente, esta aparecerá en la zona de la pantalla designada, siendo todavía visible en el fondo la ventana en la que se estaba trabajando. Estas ventanas emergentes se han utilizado en la aplicación para mostrar los modos de funcionamiento manual y semiautomático

#### Ventana de inicio de sesión

Esta ventana es muy similar a la de la pantalla HMI. Igual que en el otro dispositivo, en esta ventana el usuario podrá cerrar e iniciar la sesión, mostrando que usuario está cargado y a que grupo pertenece. Como en la otra aplicación, para guardar y mostrar que usuario ha iniciado sesión y su grupo, se ha utilizado el planificador de tareas, ejecutando las instrucciones necesarias cada vez que se cambia de usuario.

La hora y fecha, el logotipo de la UPV y los botones de la parte inferior de la pantalla están guardados en una plantilla que será visible en todas las ventanas que tiene la aplicación, excepto en las ventanas emergentes. También se ha añadido un botón para apagar la aplicación en los botones inferiores, por si es necesario salir del SCADA para realizar otras funciones con el ordenador utilizado.



Ilustración 51. Ventana de inicio de sesión de la aplicación SCADA (Fuente: Elaboración propia)

Los botones para acceder a los procesos del horno y del almacén solo pueden ser activados si se ha iniciado sesión. Si la sesión no se ha iniciado, no se podrá acceder a las ventanas de control de los procesos.

### Ventana del proceso de horneado y serrado

La ventana de control de este proceso presenta algunas diferencias respecto a su homóloga de la pantalla HMI. Igual que en la pantalla, en la zona central se tiene el esquema del proceso. Aquí, al ser una pantalla más grande, se han añadido animaciones de visibilidad para el alimentador del horno, el manipulador y la mesa giratoria, dando una sensación de movimiento a los objetos. Se ha decidido añadir estas animaciones también porque, ya que los usuarios de esta aplicación no ven directamente el proceso, con animaciones de movimiento se hace más fácil intuir en qué estado se encuentra. En la zona izquierda está el cargador con sus controles y en la parte inferior está el panel de control del proceso, donde se activan los diferentes modos de funcionamiento, junto con la seta de emergencia.

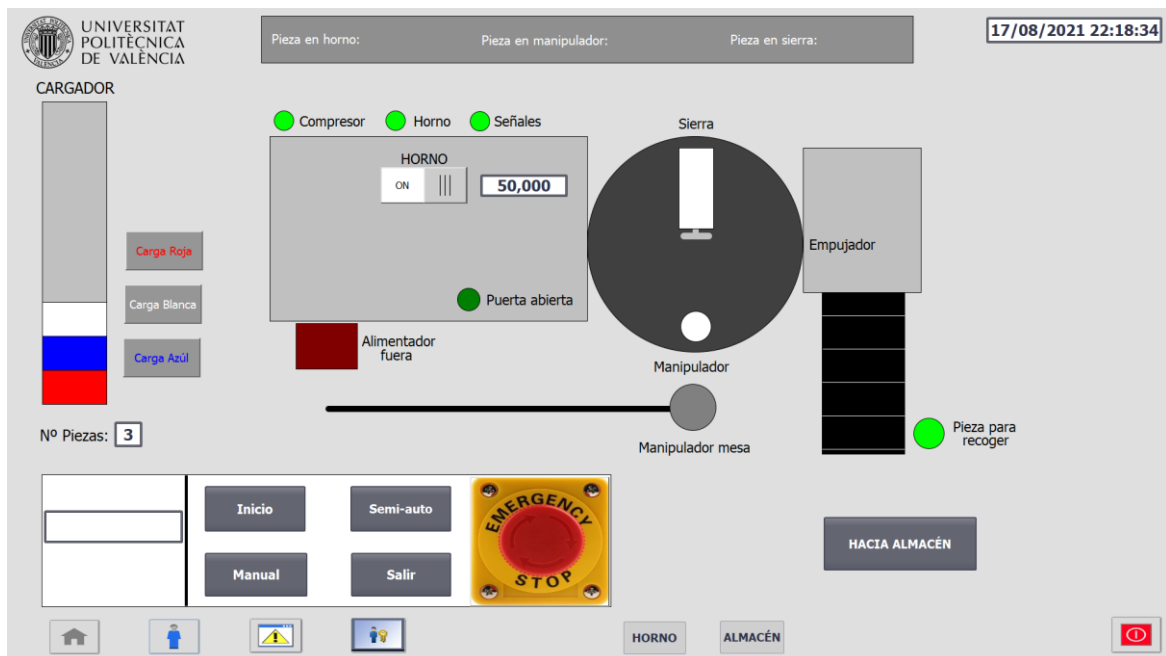


Ilustración 52. Ventana del proceso de horneado y serrado en el SCADA (Fuente: Elaboración propia)

Las diferencias principales con respecto a la pantalla HMI son dos. En la parte superior se ha incluido un visor de la pieza que se está manejando en cada zona del proceso, por ejemplo, si hay una pieza roja en el horno, aparecerá un rectángulo rojo en *Pieza en horno*. También se ha añadido un botón que abre una ventana emergente que muestra información de la cola de piezas que están llegando al almacén. La cola se muestra como en el cargador, rectángulos con el color del tipo de pieza correspondiente. De esta forma, desde la oficina de la fábrica se puede saber que piezas están en la cinta que une los dos procesos.

Para los controles de los modos manual y semiautomático de este proceso se ha creado una ventana emergente, de tal modo que, mediante animaciones de visibilidad, se podrán ver unos controles u otros dependiendo de en qué modo de funcionamiento este el proceso en ese momento. En el caso de la ventana de control manual, los distintos botones que aparecen sirven para activar los actuadores. En caso de entrar en modo semiautomático, los botones sirven para realizar las operaciones que requiera la pieza (meterla en el horno, hacerle el serrado). Ambos tipos de funcionamiento se pueden ver en las imágenes a continuación.

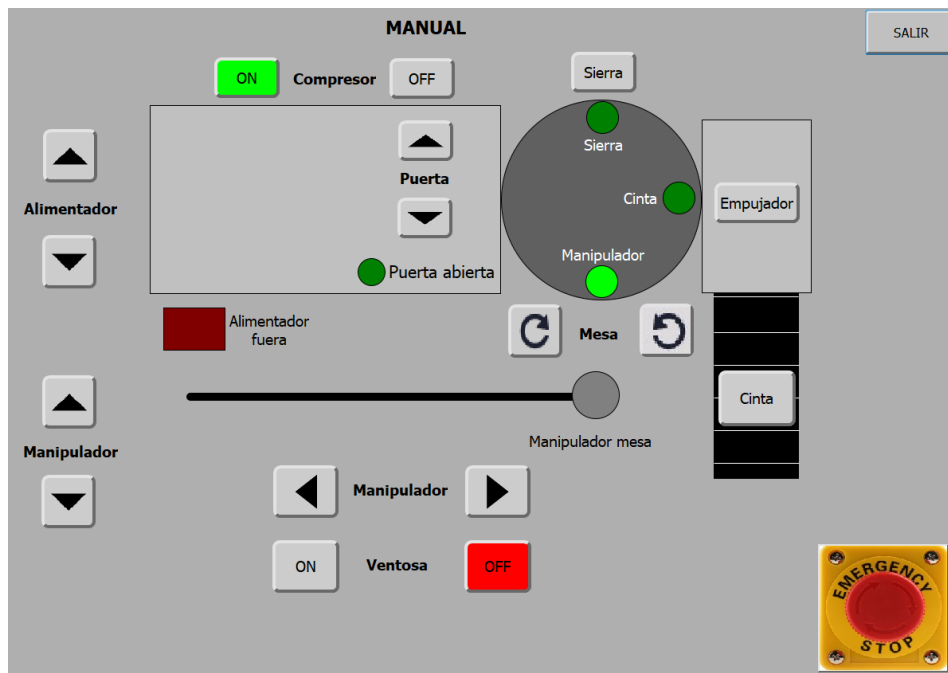


Ilustración 53. Control manual del proceso de horneado en el SCADA (Fuente: Elaboración propia)

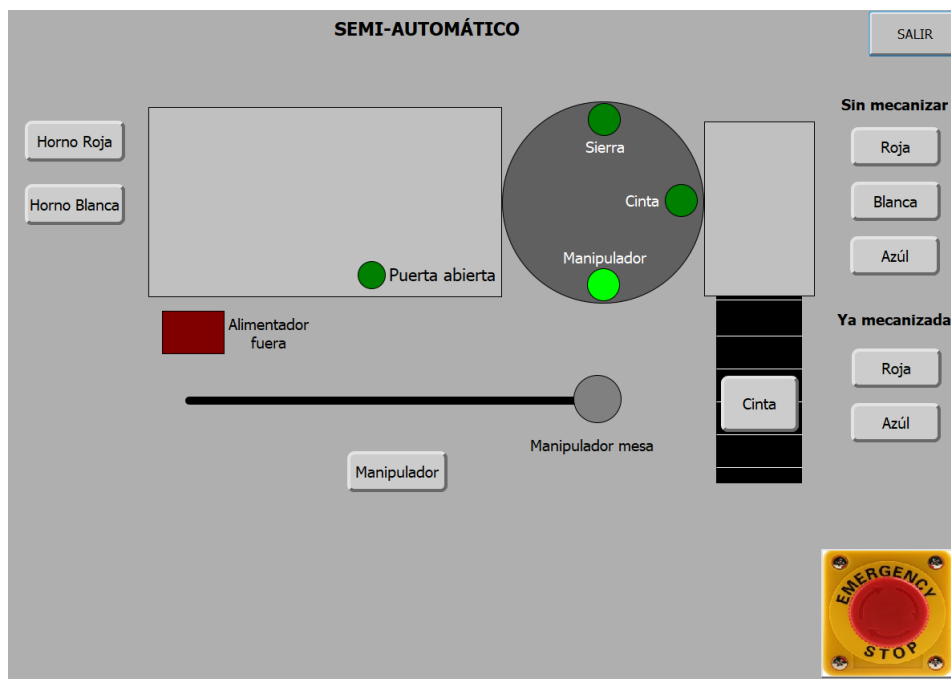


Ilustración 54. Control semiautomático del proceso de horneado en el SCADA (Fuente: Elaboración propia)

## Ventana del almacén vertical

Esta ventana de control del proceso de almacenaje es también muy parecida a la utilizada en la pantalla HMI. En la parte central de la ventana se muestra el estado de cada espacio de almacenamiento, indicando si esa posición está ocupada y con qué tipo de pieza. En la parte izquierda están presentes los controles de los modos de funcionamiento del almacén. Abajo a la derecha está presente la seta de emergencia. También se muestra mediante círculos verdes la activación y desactivación de los sensores del proceso.

En esta ventana además se podrá cambiar el tipo de pieza que se puede almacenar en un espacio del almacén. En la parte inferior del rectángulo correspondiente al espacio del almacén, se puede desplegar una lista para cambiar el tipo de pieza. Esto solo se puede realizar desde la aplicación SCADA porque se considera que el personal que utiliza esta aplicación tiene un rango superior en la empresa que los operarios de planta, por lo que son los responsables de reconfigurar la estructura del almacén.

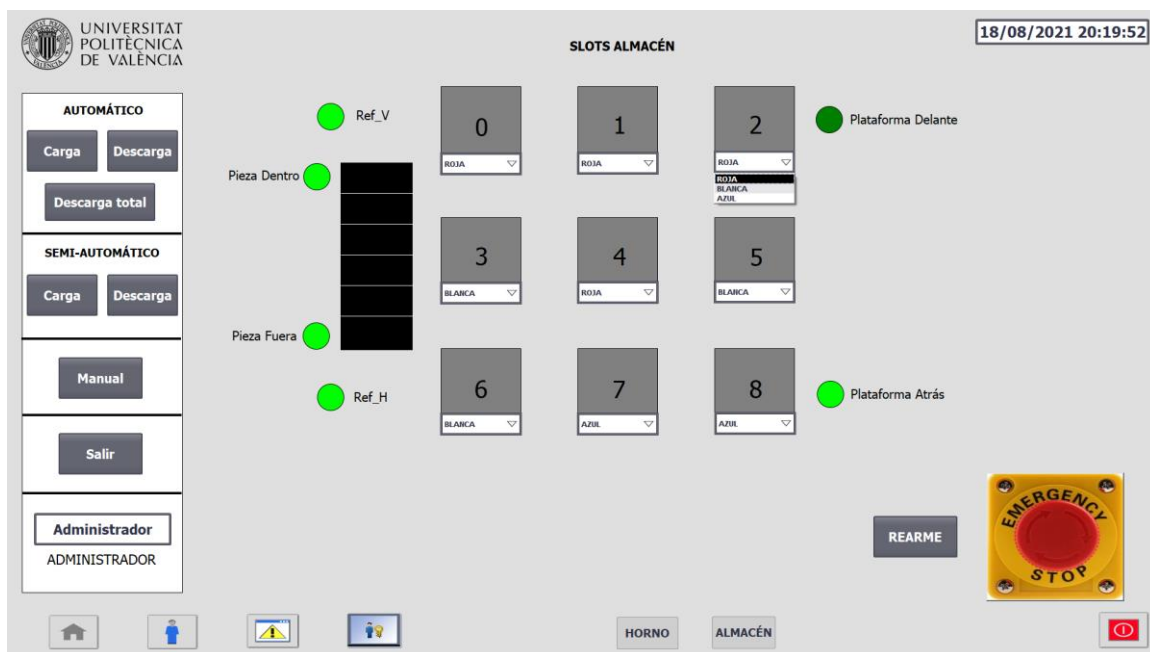


Ilustración 55. Ventana de control del almacén del SCADA (Fuente: Elaboración propia)

Las ventanas de los modos manual y semiautomático también se han realizado utilizando ventanas emergentes, como en el caso del proceso de horneado y serrado.

En el modo manual, para que fuera más fácil para el operario localizar visualmente el manipulador de piezas del almacén, se han añadido animaciones de movimiento. Para ello se han creado dos rectángulos que representan el movimiento vertical y horizontal del manipulador. Cuando se vaya aumentando el número de los contadores de pulsos, estos rectángulos se desplazarán por la ventana, indicando de forma aproximado en que posición se encuentra el manipulador. Para llevar a cabo este efecto, al incluir las animaciones vinculadas con los contadores de pulsos, se ha calibrado manualmente las posiciones de los espacios del almacén para que coincidan con la posición real correspondiente a ese número de pulsos.

Por lo tanto, si el manipulador se encuentra en la fila 2, columna 1, el rectángulo de desplazamiento horizontal estará en la columna 1 y el vertical en la fila 2. Además de estas animaciones, en la ventana de control manual están disponibles los controles necesarios para activar los actuadores del almacén. En la parte superior izquierda se dispone de una seta de emergencia por si es necesario parar el sistema durante el funcionamiento manual.

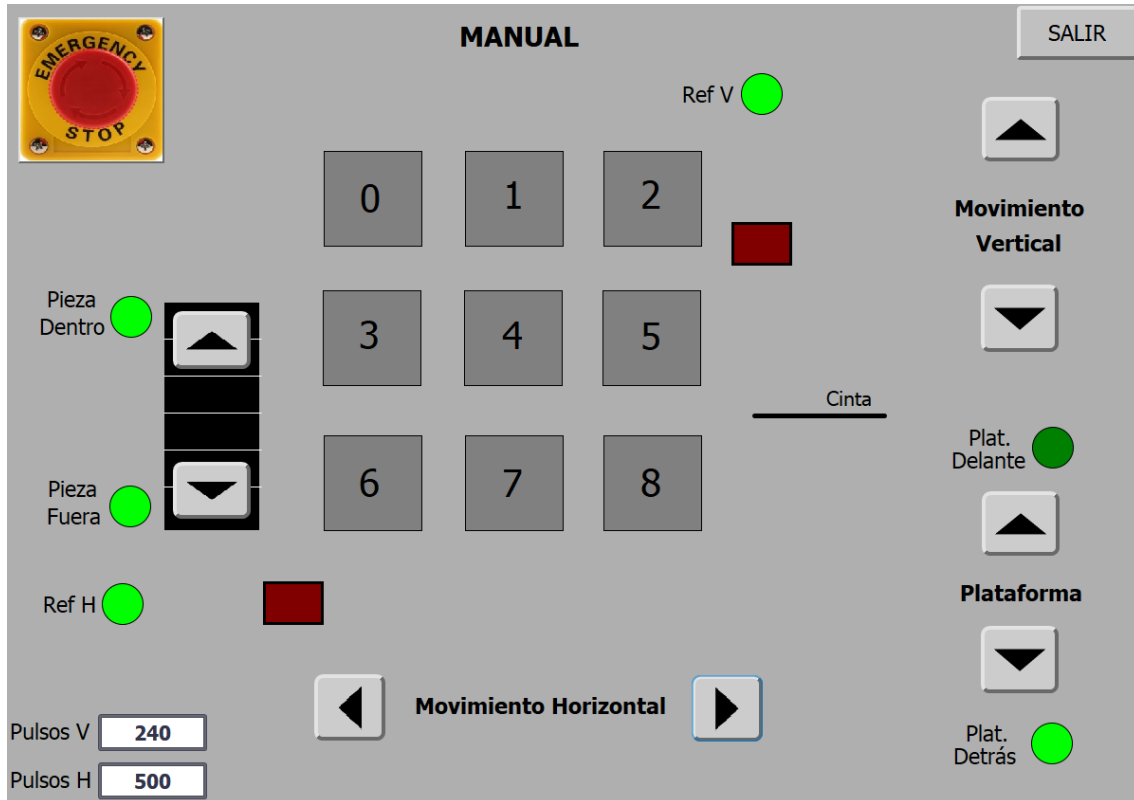


Ilustración 56. Ventana de control manual del almacén en el SCADA (Fuente: Elaboración propia)

Para los modos de carga y descarga semiautomática se utiliza otra ventana emergente distinta. Dependiendo de si se entra en modo de carga o de descarga aparecerá información diferente en la ventana, pues se tienen animaciones de visibilidad que mostrarán unos controles u otros.

En la Ilustración 57 se muestra esta ventana emergente para el caso de querer realizar la carga semiautomática. En esta ventana se debe seleccionar sobre el botón correspondiente a la posición en que se quiera introducir la pieza. Cuando una de las posiciones este ocupada, el rectángulo gris cambiará de color, indicando el tipo de pieza que hay en esa posición. Si se selecciona cargar en un espacio ocupado, se activará la alarma **ERROR** indicando que la posición seleccionada no es válida. La ventana mostrada en el caso de descarga es la misma, solo que en este caso cambian los textos mostrados, indicando que se debe seleccionar un espacio ocupado para descargar, apareciendo el aviso **ERROR** si se elige un espacio desocupado. En esta ventana también está presente la seta de emergencia por si es necesario activarla.

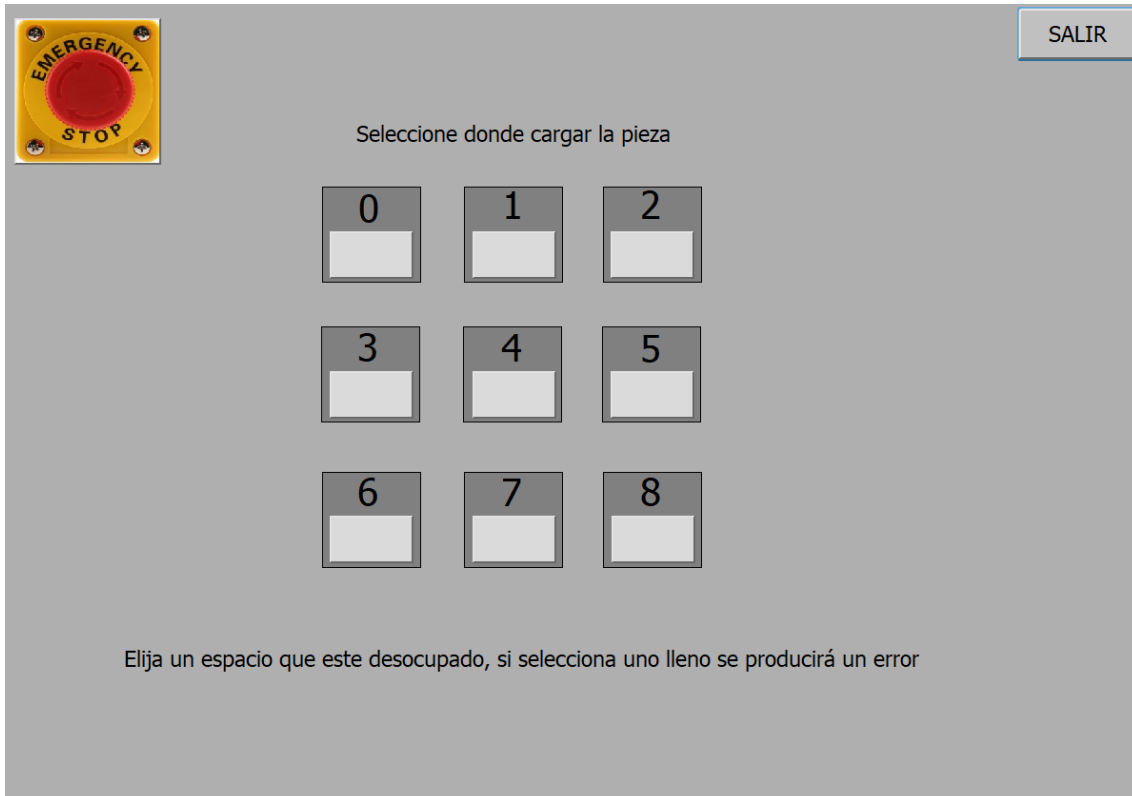


Ilustración 57. Ventana de carga semiautomática en el almacén en el SCADA (Fuente: Elaboración propia)

## 5. Implementación real

El sistema de producción ha sido simulado en el laboratorio utilizando dos maquetas que facilitan mucho el diseño del sistema, al ofrecer un proceso simplificado. Si este sistema se implementará en un entorno industrial real, se deberían realizar algunos cambios para adaptar los programas y esquemas de conexión planteados para los prototipos de laboratorio a un proceso real. Como el sistema real no está disponible, no se tienen medidas reales de los dos procesos de producción, por lo que la adaptación a un sistema real es complicada al no tener dimensiones ni de las propias máquinas ni de las piezas producidas, por lo que es complicada la selección de elementos como sensores, que tienen unos rangos de medida para funcionar correctamente, o cantidad de mangueras de cable necesarias para realizar la conexión de todos los elementos del sistema de control. Sin embargo, se intentará en este apartado ofrecer una visión general de los cambios que tendría este sistema real con respecto al diseño para este proyecto.

Por lo tanto, en los siguientes apartados se comentan, sin entrar en mucho detalle, ya que el objeto del proyecto no es la puesta en marcha de un sistema real, algunos de los cambios que deberían realizarse en el sistema diseñado para parecerse más a un proyecto de automatización real.

## 5.1 Cambios en la pantalla HMI

En el caso del laboratorio, al tener las dos maquetas de los procesos en un mismo sitio, se ha podido diseñar la aplicación HMI de tal forma que el control y monitoreo de ambos procesos se realiza desde una única HMI. El uso de una sola pantalla también es debido a que esta se ha simulado, pudiendo sólo simular una pantalla a la vez.

En la instalación real, los dos procesos no van a estar próximos uno a otro, de forma que no se podrá controlar los dos procesos desde la misma pantalla HMI. Por este motivo, en una instalación real de este sistema productivo se deben utilizar dos pantallas HMI, en la que se mostrará sólo información de un proceso, el que esté más próximo a la pantalla. Además, esto es útil también pues se podrán separar los usuarios de los procesos, es decir, por ejemplo, en la pantalla próxima al almacén estarán registrados solo los operarios del almacén, teniendo más controlados los accesos a la pantalla.

Esta modificación en el proyecto sería sencilla, tan solo se tendría que añadir una nueva pantalla HMI al proyecto de TIA Portal, incluyéndola en la red de comunicación del PLC.

En la imagen inferior se muestra esta nueva red de comunicación del sistema productivo real, indicando en que parte estaría instalado cada dispositivo.

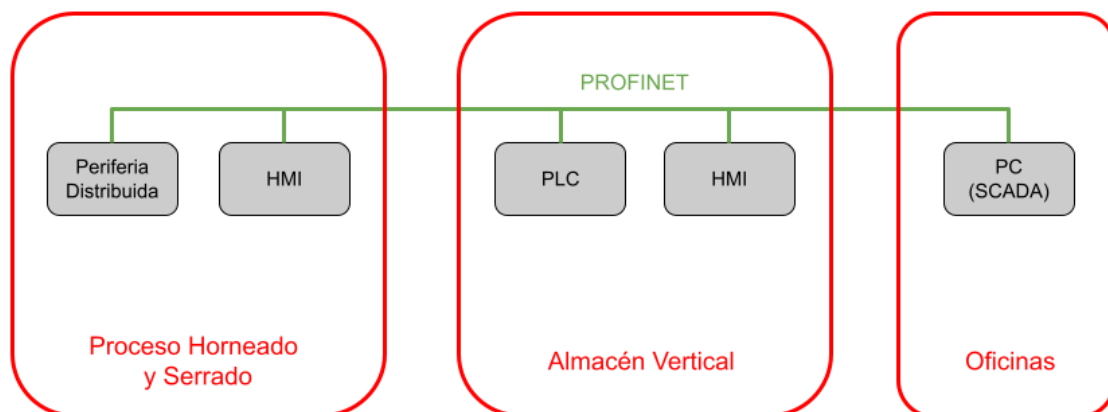


Ilustración 58. Red de comunicación en la instalación real (Fuente: Elaboración propia)

## 5.2 Seguridad

Una de las partes más importantes de un proceso, si no la que más, es la seguridad. Es muy importante mantener seguras a todas las personas que van a trabajar en la línea de producción, minimizando al máximo el riesgo de accidentes. La seguridad es también importante para la propia instalación, es decir, evita que se produzcan roturas muy graves en las máquinas de la línea en caso de que se produzca un fallo en el sistema.

La seguridad de este proyecto, al haber sido realizado para maquetas de laboratorio en las que no hay consecuencias graves ante un fallo de funcionamiento (no hay peligro para las personas), se ha realizado utilizando el PLC con el que se ha llevado a cabo la automatización de los procesos. Será este PLC el encargado de cortar la alimentación de los actuadores y poner en marcha las medidas y avisos de seguridad.

En una instalación real esto no se puede hacer así, no se debe utilizar el autómatas que controla el proceso productivo para implementar las acciones de seguridad ante paradas de emergencia. Tampoco se debe depender únicamente de los dispositivos de monitorización y control para activar la parada de emergencia, necesitando instalar setas de emergencia físicas. Esto es debido a que estos dispositivos pueden tener fallos y, debido a esto, no poder activar la emergencia. Por ejemplo, la HMI puede tener rota su pantalla y que el paro de la máquina no se produzca al querer activar la emergencia, o que se produzca un error en el PLC y no se pueda activar la emergencia. Además, en una instalación real no suele ponerse la opción de una seta de emergencia en la pantalla HMI.

Por ello, para instalar la parte de seguridad de la instalación se deben usar dispositivos especiales certificados. Se tiene dos posibles opciones: los relés o módulos de seguridad y los PLC de seguridad.

Un módulo de seguridad es un relé que cuando deja de recibir una señal, se abre, cortando la alimentación de los actuadores conectados a él. Esta señal vendría desde los dispositivos de seguridad como setas de emergencia, los finales de carrera de las puertas de seguridad o alfombras de seguridad, de tal forma que si el circuito se abre (se activa alguna seta o se abre la puerta), se activa la emergencia. El relé tiene una señal que informaría al PLC de la instalación de que se ha producido una emergencia<sup>25</sup>.

EL PLC de seguridad es un autómatas que está preparado para llevar a cabo las funciones de seguridad del proceso, pues están preparados para no tener fallos de hardware o software que puedan poner en peligro la instalación. Estos PLC se pueden utilizar al mismo tiempo como PLC del proceso y PLC de seguridad<sup>26</sup>. Por ejemplo, Siemens ofrece PLCs de seguridad de la misma serie utilizada en el proyecto, la S7-1500, por lo que podría sustituirse el autómatas instalado por uno de seguridad. Las setas de emergencia y demás dispositivos de seguridad no pueden conectarse a tarjetas de entradas normales, deben instalarse en el PLC tarjetas de entradas de seguridad.

A parte de utilizar dispositivos de seguridad, también se deben seleccionar que elementos se utilizarán para activar las emergencias. Las setas de emergencia deben estar presentes, por lo que se deben instalar. Se tienen muchos más accionamientos, como barreras laser, alfombras de seguridad, mandos de hombre muerto, sin embargo, para no complicar mucho la instalación, se considera vallar todo el perímetro de los dos procesos, instalando unas puertas de seguridad. El vallado es de los métodos más baratos y sencillos de restringir el acceso a las máquinas, por eso se ha seleccionado este método.

Ninguno de los dos procesos podrá accionarse mientras las setas estén activadas o la puerta este abierta, indicando que hay personas trabajando dentro del perímetro. Esto también se aplica al modo manual, por lo que, si se quiere realizar un movimiento manual de la máquina, deberá ser desde fuera del perímetro vallado.

---

<sup>25</sup> Vaello, J. (s.f.). *El relé de seguridad*. Automatismoindustrial. <https://automatismoindustrial.com/cursocarnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-2-control-de-potencia-aparamenta-electrica/el-rele-de-seguridad/>

<sup>26</sup> PLCdesign. (s.f.). *¿Qué es un PLC de seguridad?*. <https://plcdesign.xyz/que-es-un-plc-de-seguridad/>



La instalación de la seguridad de este proyecto se puede realizar de tres formas:

1. Utilizar relés de seguridad. Se instalan dos relés de seguridad, uno para el proceso de horneado y serrado y otro para el almacén. Se conectan a estos dispositivos las setas de emergencia y los finales de carreta de las puertas de seguridad.
2. Instalar un PLC de seguridad distinto al PLC de control del proceso. Este PLC se encargará únicamente de gestionar la seguridad del sistema. A este PLC se conectan los elementos de seguridad de los dos procesos productivos, pues desde un solo PLC se va a configurar la seguridad de los dos procesos. Estos elementos se cablearían directamente desde el proceso hasta el autómata de seguridad, sin utilizar la periferia distribuida, conectando las entradas a una tarjeta de entradas de seguridad.
3. Cambiar la CPU 1512 que se utiliza por una CPU que admita la aplicación de la seguridad. En este caso, también se deben comprar tarjetas de entradas de seguridad, no se pueden utilizar las normales que tenga el autómata. Se tienen dos posibilidades, cablear directamente los elementos de seguridad de los dos procesos al PLC, o utilizar la periferia distribuida. Si se elige la segunda opción, la cabecera de la periferia distribuida debe ser también de seguridad, utilizando tarjetas de entradas de seguridad como con el autómata.

De entre estas tres opciones, se elige utilizar dos relés de seguridad. Se selecciona este método por ser más sencillo de aplicar, pero también por ser una opción bastante más barata que utilizar un PLC de seguridad, o sustituir la periferia distribuida por una de seguridad, teniendo que comprar además las nuevas tarjetas de entradas de seguridad.

Para implementar la seguridad, la cinta que une ambos procesos (horneado y serrado con almacén) se va a considerar un mecanismo separado. Actualmente, la parada de la cinta se realiza con la emergencia del horno, ya que la cinta está en esa maqueta. En la instalación real, se va a diferenciar entre el horno y la cinta, para no tener que paralizar el proceso de mecanizado de las piezas porque ocurra una parada en la cinta transportadora. En el PLC, se deberá crear otra función en Graph para crear un GEMMA de la cinta, que será igual al GEMMA del horno, que se puede ver en la Ilustración 24. De este modo, el funcionamiento de la cinta estaría condicionado a este GEMMA.

Para llevar a cabo esta configuración, se selecciona el relé de seguridad G9SE-201, de la marca Omron (Ilustración 59). Se deberán comprar tres de estos dispositivos, que irán instalados en los armarios eléctricos de los procesos del sistema (uno para el horno y la sierra, otro para la cinta transportadora y el último para el almacén). Se elige este relé de seguridad por ser uno de los más baratos encontrados entre los distintos fabricantes.



Ilustración 59. Relé de seguridad G9SE-201 de Omron (Fuente: [www.rs-online.com](http://www.rs-online.com))

En el proceso de horneado y serrado se instalarán dos puertas de seguridad, cada una con una seta de emergencia. Las puertas contarán con un interruptor de puerta de seguridad que activará la emergencia si la puerta se abre. Se decide instalar dos puertas para poder acceder al horno o a la mesa giratoria por zonas distintas, sin tener que pasar por delante del manipulador, que se considera que es una parte peligrosa de la instalación.

En la cinta transportadora se instala un cordón de seguridad con una seta de emergencia. Este cordón recorrerá toda la longitud de la cinta, Esta seta se posiciona en la zona próxima al almacén, en la zona de empaquetado de las piezas. Como en esta puede haber un operario introduciendo las piezas en cajas de almacenaje, se considera importante colocar la seta de emergencia próxima a este puesto, por si debe detener la cinta por alguna causa.

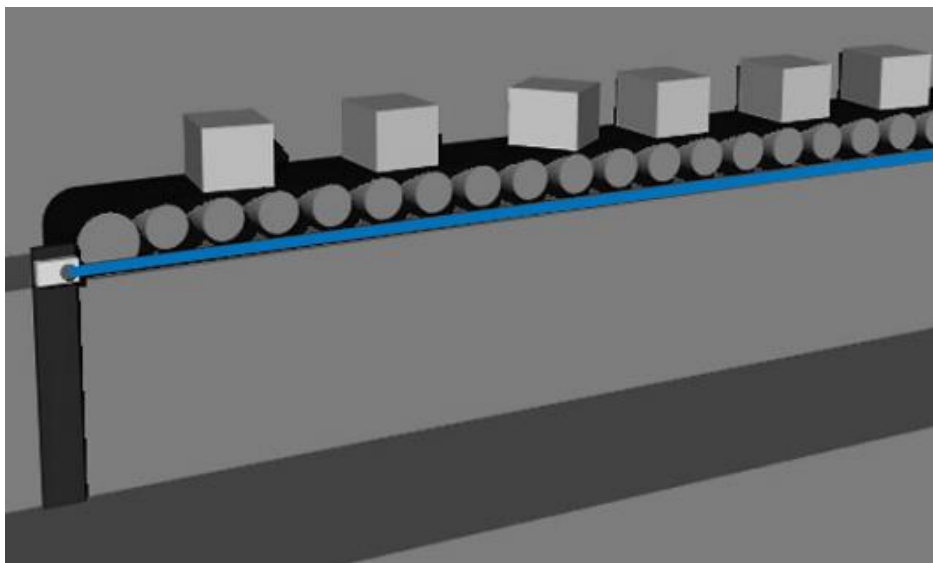


Ilustración 60. Ejemplo de instalación del cordón de seguridad (Fuente: [www.industrial.omron.es](http://www.industrial.omron.es))

Por último, en el almacén se instalarán también dos puertas de seguridad, una en la parte de empaquetado, para acceder a la cinta que introduce las piezas en el almacén, y otra en la parte opuesta, para acceder al manipulador del almacén sin tener que atravesar la zona de almacenaje.

En el apartado 5.4 Selección de sensores se comentarán los elementos de seguridad (setas de emergencia, puertas y cordón de seguridad) que se van a comprar para instalarlos en el proceso.

### 5.3 Incluir más sensores a los procesos

Durante la simulación del proceso con las maquetas en el laboratorio, se vieron algunos fallos que podrían solucionarse incluyendo algunos sensores más en los procesos, mejorando así el funcionamiento del sistema productivo, además de ofrecer más seguridad. Estos fallos están relacionados sobre todo con la detección de la posición de las piezas producidas.

#### 5.3.1 Proceso de horneado y serrado

El primero de los problemas encontrados en esta parte del sistema productivo es la introducción de piezas desde la mesa giratoria a la cinta que va al almacén. Como la cinta se acciona de forma independiente al proceso de horneado y serrado, podría darse el caso de estar la cinta detenida un periodo de tiempo muy larga. Al no haberse movido la cinta, la pieza introducida desde este proceso seguirá en la zona de entrada a la cinta.

Cuando deba introducirse una nueva pieza, si la cinta no se ha desplazado todavía, esta chocará con la introducida anteriormente. En este caso, la segunda pieza podría quedarse en la rampa de entrada a la cinta, lo que no supondría un problema muy grave. Sin embargo, en el momento de intentar introducir una tercera pieza, esta no llegará a entrar, cayéndose fuera de la mesa o produciendo daños en el empujador. Por esto, habría que instalar un sensor en la entrada a la cinta que indique si hay o no una pieza en esa posición. Modificando el programa del PLC, si este sensor está activo, se debe esperar hasta que se libere la entrada a la cinta, pausando el proceso de horneado y serrado si es necesario, como se ha realizado cuando la cola de piezas hacia almacén está completa.

Otro fallo de este proceso, producido con mucha regularidad durante el funcionamiento de la maqueta en el laboratorio, está relacionado con la ventosa del manipulador que une el horno con la mesa. Cuando se quiere dejar la pieza en la mesa, la ventosa no deja de hacer vacío inmediatamente, tardando un tiempo variable (no es siempre el mismo) en soltar la pieza. Este problema se solucionó utilizando temporizadores para esperar a que la pieza se soltara de la ventosa. Sin embargo, al no ser este tiempo el mismo todas las veces, en determinadas ocasiones se producen tiempos de espera innecesarios. Por ello, para solucionar esto de forma más eficiente, se debería instalar un sensor en la ventosa que detectara que se ha dejado de producir vacío, por lo que la pieza se ha soltado. Los sensores que pueden realizar esta función (medir el vacío) se llaman vacuómetros.

También sería conveniente instalar un sensor en la mesa para detectar la pieza, pues durante el funcionamiento de la maqueta, a veces, cuando la mesa giraba, se producía la caída de la pieza fuera de la mesa, ya que la pieza no está sujeta a la mesa. Este sensor

permitiría detectar la caída y pausar esta parte del proceso, deteniendo la mesa y avisando a los operarios.

### 5.3.2 Almacén vertical

Aunque en este proceso no se ha encontrado ningún problema durante su funcionamiento, se ha pensado que sería conveniente instalar un sensor para detectar que la pieza se ha cogido correctamente con el manipulador. Ya que la pieza solo se apoya en la base del manipulador, sin ir asegurada para evitar su caída, se instalaría un sensor para detectar que la pieza está en el manipulador y no se ha caído de él.

Sin este sensor, si debido a vibraciones en uno de los desplazamientos del manipulador la pieza se cayera, no habría forma de detectarlo, siguiendo el proceso y guardando en el PLC que el espacio del almacén se ha ocupado cuando esto es erróneo.

Incluyendo este sensor se podría producir un aviso para los operarios y parar el proceso de almacenaje en caso de caída de la pieza, pudiendo los operarios de planta solucionar el error.

Otro cambio en el almacén sería la forma de medir los pulsos de los motores. La maqueta del almacén, al ser un mecanismo sencillo, pequeño y ligero, se puede mover mediante motores paso a paso de corriente continua. Sin embargo, en un almacén real de estas características, lo más lógico sería accionar los movimientos del manipulador mediante motores asíncronos, utilizando corriente alterna trifásica. En estos motores se instalaría un encoder para poder conocer la posición del manipulador. Este encoder iría acoplado en el eje del motor, proporcionando información sobre la posición y velocidad del eje del motor.

## 5.4 Selección de sensores

Las maquetas utilizadas para simular ambos procesos ya contaban con sensores propios, aunque estos sensores no son adecuados para el funcionamiento en un entorno industrial, al no tener las dimensiones ni los rangos de medida apropiados. En un proyecto de automatización de una línea de producción, normalmente se eligen los sensores que se van a utilizar. En este proyecto el cliente solicita una renovación del sistema de control de la línea, por lo que, aunque el proceso tenía ya instalados los sensores, se considera que el cliente quiere que se cambien estos sensores por unos nuevos. Además, se deben seleccionar los sensores adicionales que se han comentado en el apartado anterior.

#### 5.4.1 Elementos de seguridad

A parte de los módulos de seguridad que se han instalado, debe seleccionarse también los dispositivos que activarán la parada de emergencia. Como se ha comentado en el apartado 5.2 Seguridad, estos dispositivos pueden ser de tres tipos: setas de emergencia, cordón de seguridad y puestas de seguridad.

##### **Setas de emergencia**

Se compran 4 setas de emergencia, que se instalan junto a las puertas de acceso al perímetro vallado. El modelo elegido es el A165E de Omron.



Ilustración 61. Seta de emergencia A165E (Fuente: [www.mouser.es](http://www.mouser.es))

##### **Cordón de seguridad**

Se elige el modelo ER1022 de Omron. Este dispositivo puede elegirse con seta de emergencia o sin ella. Se selecciona la opción con seta de emergencia incluida, para así ahorrarse la instalación de una seta de emergencia extra en el puesto de empaquetado de las piezas, junto al almacén.



Ilustración 62. Interruptor de cuerda ER1022 (Fuente: [www.industrial.omron.es](http://www.industrial.omron.es))

## Puertas de seguridad

En este caso, más que seleccionar la puerta, se selecciona el mecanismo que hará que salte la emergencia en caso de que este abierta. Este dispositivo es un interruptor de puerta de seguridad con enclavamiento, de forma que también se podrá bloquear la puerta para que no pueda abrirse mediante una señal, que podría venir desde el PLC. El modelo seleccionado es el D4NL-1DFA-B.



Ilustración 63. Interruptor de puerta de seguridad D4NL (Fuente: [www.industrial.omron.es](http://www.industrial.omron.es))

### 5.4.2 Sensores de los procesos

Por último, quedaría seleccionar los sensores que activarán las entradas del PLC y la periferia distribuida. Estos se instalarán en diferentes partes de los procesos para poder detectar los diferentes estados de las máquinas, así como la posición de las piezas en el proceso.

Como se comentó en apartados anteriores, en la implementación real de este proyecto se deben instalar más sensores de los que tienen las maquetas, para poder tener un sistema más seguro que trabaje mejor.

### Vacuostato

Uno de estos sensores extra que se van a instalar es el vacuostato, un dispositivo para medir el vacío de la ventosa. El sensor se debe instalar en la ventosa, para poder detectar si hay vacío o no. Se selecciona un mini-vacuostato de la serie PSK de Coval, pues son sensores que pueden instalarse en la ventosa. Como no se conoce como es físicamente la ventosa, no se puede elegir un modelo exacto, pues varía la forma de instalación. Aunque este sensor debería conectarse a la periferia distribuida, como la señal de salida es analógica, este sensor se debe conectar con la tarjeta de entradas analógicas que viene incluida con el PLC, ya que es más barato que comprar una tarjeta de entradas analógicas para la periferia distribuida.



Ilustración 64. Vacuostato serie PSK de Coval (Fuente: [www.coval-iberica.com](http://www.coval-iberica.com))

### Finales de carrera

En los dos procesos, se utilizan varios finales de carrera para detectar las posiciones de las máquinas, por ejemplo, para detectar si el manipulador está en la mesa o en el horno, o como referencias de los movimientos horizontal y vertical del almacén. Un final de carrera es como un interruptor que se abre o cierra cuando se acciona mecánicamente, es decir, cuando una parte de la máquina lo presiona. Se selecciona la serie WL de Omron, que ofrece varios finales de carrera distintos adaptables a la aplicación. Como se deben instalar al menos tres finales de carrera cerca de la entrada del horno (detectores de posición del alimentador del horno y detector de manipulador en horno), deberán resistir la temperatura cuando se abra la puerta del horno. Se elige el modelo WLCA2-TH-N, que soporta temperaturas de hasta 120 °C. Para el resto de detectores de los procesos, tanto el almacén como los restantes del proceso de horneado y serrado, se selecciona el modelo WLMCA2-LDK13-N, para aplicaciones básicas. Se tienen versiones tanto de 230 VAC como versiones de corriente continua. Como las tarjetas de entradas del PLC y de la periferia distribuida son de 24 V en continua, se selecciona la versión DC.



Ilustración 65. Final de carrera WLCA2-TH-N de Omron (Fuente: [www.digikey.com](http://www.digikey.com))

## Sensores fotoeléctricos

Para detectar las piezas a lo largo del proceso, como detectar cuando una pieza en la cinta llega a la posición del almacén, o detectar que una pieza está en el alimentador del horno, se van a utilizar fotocélulas. La fotocélula detectará cuando la pieza corta el haz de luz generado. Se elige una fotocélula de Omron de la gama E3Z, de uso genérico. Estas fotocélulas se utilizarán en todas las entradas que tengan que ver con la detección de una pieza. Concretamente, dentro de esta gama de fotocélulas, se elige la E3Z-D62 0.5M, que proporciona una salida de 24 voltios en corriente continua y puede detectar objetos hasta una distancia de 1 metro, que se considera un rango aceptable para el uso que se le va a dar.



Ilustración 66. Fotocélula E3Z-D62 0.5M de Omron (Fuente: [www.industrial.omron.es](http://www.industrial.omron.es))

Para detectar cuando una pieza se ha introducido en el alimentador del horno, en vez de utilizar una fotocélula se utilizará un sensor inductivo resistente al calor, para que no se dañe con el calor que saldrá del horno cuando se abra la puerta. Se usa un sensor inductivo porque no se han encontrado fotocélulas resistentes al calor. El modelo seleccionado es el sensor E2EH de Omron, que soporta temperaturas de hasta 110 °C. Este sensor está disponible en tres rangos de medida, 3 mm, 7 mm o 12 mm. Se selecciona la opción de 12 mm para tener el mayor rango de medida posible. La salida de este sensor es de 24 VDC, compatible con las tarjetas de entradas de la periferia distribuida.



Ilustración 67. Sensor inductivo E2EH de Omron (Fuente: [www.industrial.omron.es](http://www.industrial.omron.es))



## 6. Conclusiones

Una vez se han alcanzado todos los objetivos propuestos al principio de este documento, se puede dar por finalizado este proyecto. Como se propuso, se ha conseguido el funcionamiento autónomo de la línea de producción planteada, funcionando los dos procesos que componen la línea de forma coordinada.

También se ha intentado ofrecer una visión general de cómo sería implementar el sistema en un entorno industrial real, en el que las cosas funcionan de forma más compleja a como se ha visto en las simulaciones realizadas en el laboratorio. Esto ha servido para conocer las configuraciones reales de la instalación, sobre todo; en una cuestión tan importante en un proceso productivo como es la seguridad tanto de las personas como de los elementos del propio proceso, viendo el uso de módulos y PLCs de seguridad.

Este proyecto ha servido para asentar los conocimientos adquiridos sobre el campo de la automatización industrial durante el grado y el máster de ingeniería industrial, abordando el diseño de una línea productiva y su automatización utilizando configuraciones de control más complejas y realistas, como es el uso de una periferia distribuida.

Todos los conocimientos adquiridos por el alumno durante la realización de este trabajo de fin de máster serán muy útiles para comenzar la vida laboral del alumno en el sector del control y automatización industrial, pues se ha podido llevar a cabo un proyecto similar, aunque más sencillo, a un proyecto real de automatización de una línea de producción.

## 7. Bibliografía

- Aula21. (2020). *Modbus: Qué es y cómo funciona*. Visitado el 19 de julio de 2021. Obtenido de Aula21-Centro de formación técnica para la industria: <https://www.cursosaula21.com/modbus-que-es-y-como-funciona/>
- Aula21. (2020). *Profibus: Qué es y como funciona*. Visitado el 20 de julio de 2021. Obtenido de Aula21-Centro de formación técnica para la industria: <https://www.cursosaula21.com/que-es-profibus/>
- Aula21. (2020). *Profinet: Qué es y como funciona*. Visitado el 20 de julio de 2021. Obtenido de Aula21-Centro de formación técnica para la industria: <https://www.cursosaula21.com/profinet-que-es-y-como-funciona/>
- Autex Control Industrial. (12 de Marzo de 2019). *Profibus versus Profinet: Estrategias de comparación y migración*. Visitado el 21 de julio de 2021. Obtenido de Autex Control Industrial: <http://www.edcontrol.com/index.php/instrumentacion/instrumentacion-189/item/116-profibus-versus-profinet-estrategias-de-comparacion-y-migracion>
- Delgado, R. (14 de Noviembre de 2019). *¿Que es un sistema HMI? Aplicaciones del mismo*. Visitado el 18 de julio de 2021. Obtenido de Revistadigital Inesem: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/que-es-un-sistema-hmi/>
- ElectroIndustria. (Agosto de 2004). *Desde la lógica cableada a los Micro Automatismos*. Visitado el 6 de julio de 2021. Obtenido de ElectroIndustria: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=32&ni=desde-la-logica-cableada-a-los-micro-automatismos>
- Electrotec. (s.f.). *Microcontroladores vs PLC*. Visitado el 6 de julio de 2021. Obtenido de Electrotec: <https://electrotec.pe/blog/microcontroladorvsplc>
- E-Marmolejo, R. (15 de Diciembre de 2017). *Microcontrolador-Que es y para que sirve*. Visitado el 7 de julio de 2021. Obtenido de Hetpro: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>
- EtherCAT. (s.f.). *EtherCAT-el bus de campo Ethernet*. Visitado el 21 de julio de 2021. Obtenido de EtherCAT.org: <https://www.ethercat.org/es/technology.html>
- Fox, A. (12 de Febrero de 2017). *PLC Modular y PLC Compacto*. Visitado el 21 de julio de 2021. Obtenido de Universo Eléctrico: <https://universoelectricocomunidad.blogspot.com/2017/02/entrada-de-prueba.html>
- InfoPLC. (26 de Abril de 2013). *Profibus: Que son los archivos GSD y GSDML*. Visitado el 24 de julio de 2021. Obtenido de InfoPLC: <https://www.infopl.net/documentacion/7-comunicaciones-industriales/1775-profibus-que-son-los-archivos-gsd>
- InfoPLC. (21 de Julio de 2018). *Estudio de mercado Sistemas PLC 2018*. Visitado el 25 de julio de 2021. Obtenido de InfoPLC: <https://www.infopl.net/actualidad-industrial/item/105669-estudio-mercado-sistemas-plc-2018>

MastePLC. (14 de Mayo de 2019). *SIMULAR UN HMI DE SIEMENS conectado a un PLC REAL en TIA PORTAL*. Visitado el 7 de agosto de 2021. Obtenido de [Archivo de video]. Youtube: [https://www.youtube.com/watch?v=-DMC4Iq\\_ALs](https://www.youtube.com/watch?v=-DMC4Iq_ALs)

Phoenix Contact. (s.f.). *IO-Link*. Visitado el 20 de julio de 2021. Obtenido de Phoenix Contact: [https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wcm:path:/eses/web/main/products/subcategory\\_pages/IO\\_Link\\_P-08-12-07/75f7e693-c681-4b65-8d9c-9ae0deaab6f8](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wcm:path:/eses/web/main/products/subcategory_pages/IO_Link_P-08-12-07/75f7e693-c681-4b65-8d9c-9ae0deaab6f8)

Pizá, R. (23 de Septiembre de 2020). *Programación del PLC*. Obtenido de [Diapositiva de PowerPoint] Poliformat UPV: [https://poliformat.upv.es/access/content/group/DOC\\_33686\\_2020/Teor%C3%ADa/AI-MII-Tema2-Programaci%C3%B3n%20del%20PLC.pdf](https://poliformat.upv.es/access/content/group/DOC_33686_2020/Teor%C3%ADa/AI-MII-Tema2-Programaci%C3%B3n%20del%20PLC.pdf)

PLCdesign. (s.f.). *¿Qué es un PLC de seguridad?* Visitado el 29 de agosto de 2021. Obtenido de PLCdesign: <https://plcdesign.xyz/que-es-un-plc-de-seguridad/>

Ponsa, P., & Vilanova, R. (2005). *Automatización de procesos industriales mediante la guía GEMMA*. Barcelona: Edicions UPC.

Siemens. (Marzo de 2003). *Esquema de contactos (KOP) para S7-300 y S7-400*. Visitado el 1 de agosto de 2021. Obtenido de Industry.Siemens: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/395/18654395/att\\_33367/v1/KOP\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/395/18654395/att_33367/v1/KOP_s.pdf)

Siemens. (2018). *Programación en lenguajes de alto nivel con SCL y SIMATIC S7-1200*. Visitado el 2 de agosto de 2021. Obtenido de Automation.Siemens: <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/advanced-programming-s7-1200/sce-051-201-scl-s7-1200-r1709-es.pdf>

Siemens. (Octubre de 2019). *Programación secuencial con GRAPH y SIMATIC S7*. Visitado el 1 de agosto de 2021. Obtenido de Automation.Siemens: <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/advanced-programming-s7-1500/sce-052-100-graph-s7-1500-r1903-es.pdf>

Sothis. (s.f.). *SCADA. ¿Qué es y que permite hacer?* Visitado el 18 de julio de 2021. Obtenido de Sothis: <https://www.sothis.tech/scada-que-es-y-que-permite-hacer/>

Taranovich, S. (15 de Enero de 2020). *Los principios básicos de IO-Link y cómo usarla para habilitar la IoT industrial*. Visitado el 20 de julio de 2021. Obtenido de Digikey: <https://www.digikey.com.mx/es/articles/the-fundamentals-of-io-link-and-how-to-use-it-to-enable-the-industrial-iot>

Vaello, J. (s.f.). *El relé de seguridad*. Visitado el 28 de agosto de 2021. Obtenido de Automatismoindustrial: <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-2-control-de-potencia-aparamenta-electrica/el-rele-de-seguridad/>

Vilariño, A. (23 de noviembre de 2020). *La covid-19 acelera la llegada de los trabajos del futuro*. Visitado el 29 de julio de 2021. Obtenido de Compromiso Empresarial: <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2020/11/covid19-acelera-llegada-trabajos-futuro/>

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

Wikipedia. (2021 de Julio de 20). *Profibus*. Visitado el 20 de julio de 2021. Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Profibus>

Yaskawa-Motoman. (11 de Enero de 2021). *Presente y futuro de la automatización y robótica en España*. Visitado el 29 de julio de 2021. Obtenido de InfoPLC: <https://www.infopl.net/noticias/item/108989-presente-futuro-automatizacion-robotica-espana>

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

## 2. PLIEGO DE CONDICIONES

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

## Índice del pliego de condiciones

1. Objeto y alcance del proyecto .....	1
2. Normativa .....	1
3. Características del material empleado .....	2
3.1 PC .....	2
3.2 PLC .....	2
3.3 Periferia distribuida .....	3
3.4 Pantalla HMI .....	3
3.5 Módulo de seguridad .....	4
3.6 Elementos de seguridad .....	4
3.7 Sensores .....	5
4. Instalación de los mecanismos de seguridad .....	7
4.1 Lugar de instalación de los elementos de seguridad.....	7
4.2 Cableado de los relés de seguridad.....	9

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



## 1. Objeto y alcance del proyecto

En este documento se recogen las condiciones técnicas, tanto de los dispositivos utilizados como de la propia instalación, y legislativas que debe cumplir la instalación planteada en este proyecto para poder ser puesta en funcionamiento.

En este proyecto se lleva a cabo la reforma y programación del sistema de automatización de una línea de producción industrial. La línea está compuesta por dos procesos diferentes: una estación multiprocesado con horno y un almacén vertical, unidos mediante una cinta transportadora. Se instalará un PLC que realizará el control del sistema, una periferia distribuida para recoger algunas de las señales y enviarlas al PLC, dos pantallas HMI y una aplicación SCADA.

El proyecto se considera finalizado tras la realización de la puesta en marcha de la línea de producción, es decir, cuando el proceso pueda trabajar de forma autónoma, con todos los dispositivos necesarios para el control del proceso instalados correctamente.

## 2. Normativa

Se debe tener en cuenta que, para la correcta realización y puesta en marcha de la línea de producción contemplada en este proyecto, la instalación de todos los dispositivos en la línea de producción debe ser realizada y supervisada por personal cualificado.

A continuación, se muestra la legislación más importante que se debe cumplir en el diseño y montaje del sistema de producción del proyecto:

1. Reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT), aprobado el 2 de agosto de 2002 por el REAL DECRETO 842/2002, prestando especial atención a la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-51 sobre instalaciones de sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y seguridad para viviendas y edificios.
2. Ley 31/1995 (LPRL), del 8 de noviembre, sobre la prevención de riesgos laborales.
3. REAL DECRETO 1215/1997, de 18 de julio, en el que se aprueban las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los equipos de trabajo por parte de los trabajadores.
4. Estándar internacional IEEE 802.3, en el que se estandarizan las redes basadas en Ethernet.
5. IEC 61131, norma por la que se estandarizan los PLC a nivel internacional. Se debe prestar especial atención a la tercera parte del estándar, la IEC 61131-3, que trata los lenguajes de programación de los PLC y a la parte cinco, que trata sobre las comunicaciones.

Se deben seguir todas las instrucciones y especificaciones de los catálogos de especificaciones técnicas de todos dispositivos utilizados.

### 3. Características del material empleado

El correcto funcionamiento de la línea de producción diseñada en este proyecto depende de la utilización exclusiva de los materiales expuestos a lo largo de este documento. Si se produce el cambio de alguno de estos componentes seleccionados por otro distinto no se garantiza el funcionamiento correcto de la línea de producción. En cuanto a recambios, no debe ser difícil encontrar al tratarse de materiales muy utilizados en el sector como son los autómatas o pantallas HMI de Siemens o sensores de Omron.

En caso de mala utilización de cualquiera de los materiales expuestos, la responsabilidad únicamente recaerá en el responsable del uso indebido de este material.

A continuación, se exponen las características técnicas de todos los materiales utilizados en la reforma contemplada en este proyecto de automatización.

#### 3.1 PC

Las características del ordenador utilizado tanto para la programación del PLC como de las aplicaciones HMI y SCADA, así como para ejecutar el *Runtime* de la aplicación SCADA, son las siguientes:

- Procesador Intel Core i7-6700HQ 2.60GHz, 4 núcleos
- 16 GB memoria RAM
- Disco duro SSD de 256 GB
- Disco duro HDD de 1TB
- Windows 10

El software utilizado para diseñar y programar los distintos dispositivos es el TIA Portal v15.1, con PLCSim para simular el PLC en el ordenador y WinCC RT Advanced para el diseño de la pantalla HMI y el SCADA.

#### 3.2 PLC

El PLC utilizado es el S7-1512C-1 PN, con tarjeta de entradas y salidas incorporada. Sus características técnicas son las siguientes:

- Tensión de alimentación: 24 VDC
- Corriente consumida: 0,8 A
- Potencia consumida: 9 W
- Rango de temperaturas de servicio: Temperatura mínima 0°C, máxima 60°C
- Interfaz PROFINET integrada
- Tarjeta de entradas/salidas digitales: 32 DI, 32 DO. Tensión de entrada 24 VDC, corriente consumida 20 mA por grupo, tensión de salida 24 VDC, 1V max para 0 lógico, 23,3 V min para 1 lógico
- Tarjeta de entradas/salidas analógicas, 5 entradas analógica y 2 salidas analógicas.

Para más información sobre el montaje del PLC consultar el manual.

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/676/109478676/att\\_898615/v1/s71500\\_cpu1512c\\_1\\_pn\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/676/109478676/att_898615/v1/s71500_cpu1512c_1_pn_manual_es-ES_es-ES.pdf)

### 3.3 Periferia distribuida

La periferia distribuida utilizada es la IL PN BK DI8 DO4 2TX-PAC, de Phoenix Contact. Esta cabecera viene con 8 entradas digitales y 4 salidas digitales incluidas, pero se instalan más tarjetas de entradas y salidas para poder satisfacer los requisitos del proyecto. Las características de la cabecera de periferia distribuida son las siguientes:

- Tensión de alimentación: 24 VDC
- Corriente consumida: 0,5 A
- Potencia consumida: 3 W
- Rango de temperaturas de servicio: Temperatura mínima -25°C, máxima 55°C
- Interfaz PROFINET integrada
- Tarjeta de entradas digitales: 8 entradas, tensión de entrada 24 VDC, corriente nominal 3 mA
- Tarjeta de salidas digitales: 4 salidas, tensión de salida 24 VDC

Para más información sobre el montaje de la cabecera de periferia distribuida consultar el manual. <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2703994&library=eses&tab=1>

Para ampliar las entradas y salidas digitales se han utilizado las siguientes tarjetas:

- IB IL 24 DI 8/HD-ECO, con 8 entradas digitales a 24 VDC
- IB IL 24 DO 8/HD-ECO, con 8 salidas digitales a 24 VDC y 500 mA de corriente nominal de salida
- IB IL 24 DO 4-ME, con 4 salidas digitales a 24 VDC y 500 mA de corriente nominal de salida

### 3.4 Pantalla HMI

Las dos pantallas HMI que deben instalarse en la línea de producción corresponden con el modelo KTP700 Basic PN de Siemens.

- Tamaño de la pantalla: 7" (154,1 x 85,9 mm)
- Resolución de la imagen: 800 x 480 pixels
- Tensión de alimentación: 24 VDC
- Corriente consumida típica: 230 mA
- Consumo de potencia típico: 5,5 W
- Rango de temperaturas de servicio: Min. 0°C, Max 50°C
- Soporta protocolos PROFINET y EtherNet/IP

Para más detalles sobre la instalación de este dispositivo consultar el manual. <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AV2123-2GB03-0AX0>

### 3.5 Módulo de seguridad

Los relés de seguridad que activan la parada de los actuadores de los procesos de la línea son del modelo G9SE-201 de Omron. Sus características técnicas son las siguientes:

- Tensión de alimentación: 24 VDC
- Potencia consumida: 3 W
- Rango de temperaturas de servicio: Min. -10°C, Max 55°C
- Tiempo de respuesta (ON a OFF): 15 ms máximo

Para más información sobre el montaje de este dispositivo, consultar el manual.

[https://industrial.omron.es/es/products/g9se#specifications\\_ordering\\_info](https://industrial.omron.es/es/products/g9se#specifications_ordering_info)

### 3.6 Elementos de seguridad

#### **Seta de emergencia**

El modelo que se va a instalar en la línea es el A165E de Omron. Sus características técnicas son las que se muestran a continuación:

- 2 contactos NC
- Tensiones soportadas: 125 VAC a 5 A, 250 VAC a 3 A, 30 VDC a 3 A
- Fuerza de activación máxima: 14,7 N
- Vida útil: 100000 operaciones mecánicas
- Rango de temperaturas de servicio: Min. -10°C, Max 55°C

#### **Cordón de seguridad**

El modelo seleccionado es el ER1022 de Omron, cuyas características son las siguientes:

- 2 contactos NA, 4 contactos NC
- Tensiones soportadas: 120 VAC a 6 A, 240 VAC a 3 A, 24 VDC a 2,5 A
- Longitud máxima del cordón: 125 m
- Rango de temperaturas de servicio: Min. -25°C, Max 80°C
- Vida útil: 1000000 operaciones mecánicas

#### **Puertas de seguridad**

Se instala el modelo D4NL-1DFA-B de Omron, cuyas características son las que se muestran a continuación:

- 2 contactos NC
- Tensión de alimentación: 24 VDC
- Fuerza de retención: 1300 N
- Rango de temperaturas de servicio: Min. -10°C, Max 55°C
- Vida útil: 1000000 de operaciones mecánicas

Más información sobre el uso de estos elementos de seguridad puede ser encontrada en sus respectivos manuales, disponibles en la página web de Omron.

<https://industrial.omron.es/es/products>

### 3.7 Sensores

#### **Finales de carrera**

Se han utilizado dos modelos de final de carrera diferentes, uno resistente al calor y otro que no. El modelo resistente al calor es el WLCA2-TH-N de Omron, cuyas características son las siguientes:

- Tensión soportada elegible: Se selecciona un modelo de 24 VDC compatible con las entradas digitales
- El modelo DC puede soportar 30 VDC
- Vida útil: 500000 operaciones
- Temperatura máxima soportada: 120 °C

Para el resto de aplicaciones se usa el modelo WLMCA2-LDK13-N de Omron, con las siguientes especificaciones técnicas:

- Tensión soportada elegible: Se selecciona un modelo de 24 VDC compatible con las entradas digitales
- El modelo DC puede soportar 30 VDC
- Vida útil: 500000 operaciones mecánicas
- Rango de temperaturas de servicio: Min. -10°C, Max 80°C

#### **Vacuostato**

El vacuostato seleccionado para detectar el vacío de la ventosa del manipulador del horno es el modelo PSK de Coval, cuyas características son las siguientes:

- Presión máxima: 0,6 MPa
- Fluido medible: Aire, gas no corrosivo
- Tensión de alimentación: De 10,8 a 30 VDC
- Rango de temperaturas de servicio: Min. 0°C, Max 50°C
- Rango de medición: De 0% a 100% de vacío
- Error de repetitividad:  $\pm 1\%$  del rango de medida

Para más información sobre este sensor, consultar su manual.

<https://doc.coval.com/g/PSK/doc/psk-coval-v18-1-es.pdf>

## **Sensor inductivo**

El sensor inductivo se utiliza para detectar la pieza en el alimentador del horno. Este sensor es resistente a la temperatura. El sensor elegido es el E2EH de Omron, cuyas características son las siguientes:

- Tensión de alimentación: 12 a 24 VDC
- Consumo de corriente: Max. 10 mA
- Distancia de medición: 12 mm para tamaño de rosca M30
- Temperatura máxima: 110°C

Para más información sobre la instalación de este sensor, consultar su manual de instalación.

[https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v3/e2eh\\_proximity\\_sensor\\_for\\_high\\_temperature\\_and\\_cleaning\\_datasheet\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v3/e2eh_proximity_sensor_for_high_temperature_and_cleaning_datasheet_en.pdf)

## **Fotocélulas**

Las fotocélulas servirán para detectar el resto de las posiciones de la pieza a lo largo de la línea. Se utiliza la fotocélula E3Z-D62 0.5M de Omron, con las siguientes especificaciones técnicas:

- Tensión de alimentación: 12 a 24 VDC
- Consumo de corriente: Max. 30 mA
- Distancia de medición: 1000 mm
- Se instala sin espejo reflector (reflexión sobre objeto)
- Rango de temperaturas de servicio: Min. -25°C, Max 55°C

Para más información sobre la instalación de este sensor, consultar su manual de instalación.

[https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/es/v16/e701\\_e3z\\_datasheet\\_es.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/es/v16/e701_e3z_datasheet_es.pdf)

## 4. Instalación de los mecanismos de seguridad

La seguridad de la instalación se implementa utilizando tres módulos o relés de seguridad, uno para cada parte en la que se divide la línea de producción: estación multiprocesado con horno, cinta transportadora y almacén vertical.

Para el correcto funcionamiento de los mecanismos de seguridad instalados en la línea de producción, se deben seguir las siguientes indicaciones sobre la instalación de los elementos de seguridad y su cableado.

### 4.1 Lugar de instalación de los elementos de seguridad

En las siguientes imágenes se muestra los lugares de instalación de los diferentes elementos de seguridad de la línea de producción. Estos esquemas no se deben considerar como planos detallados de la línea, son tan solo una representación esquemática informativa. Las setas de emergencia se marcan con una S, las puertas de seguridad con PS y el cordón de seguridad se nombra como CS1.

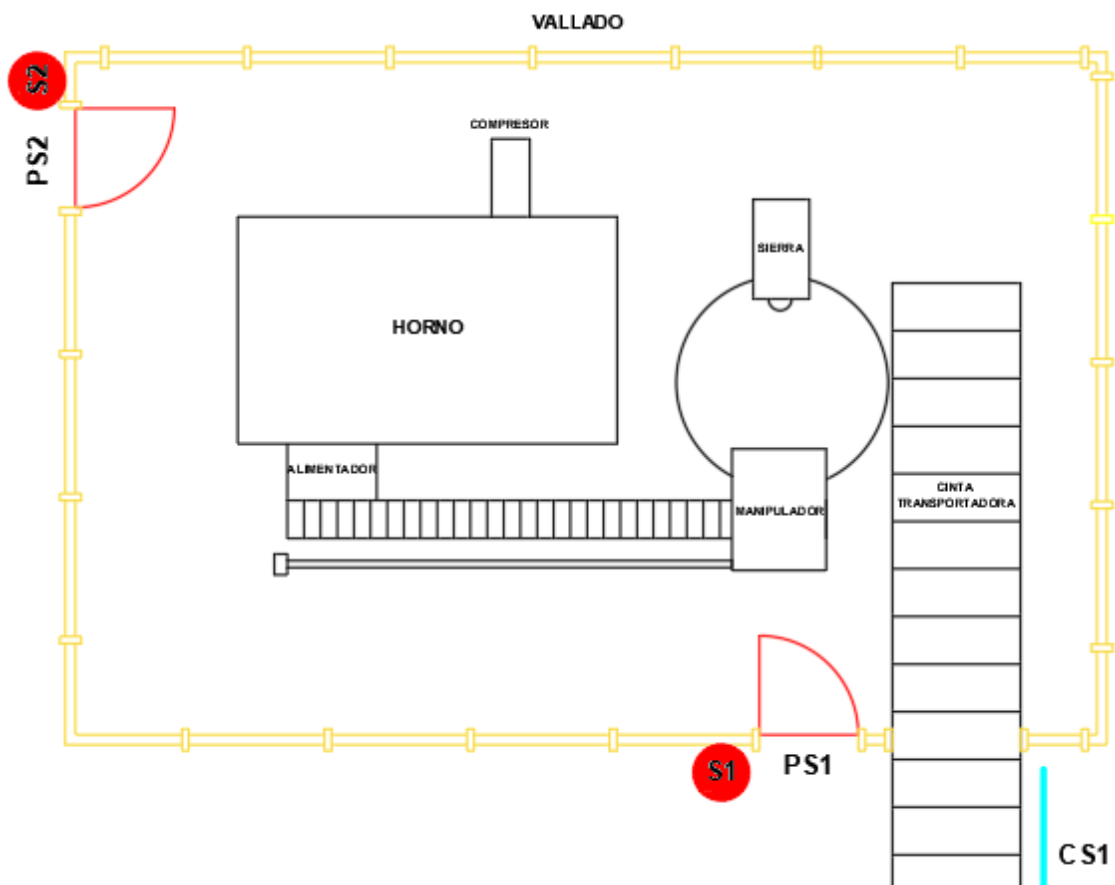


Ilustración 68. Esquema instalación elementos de seguridad del horno (Fuente: Elaboración propia)

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

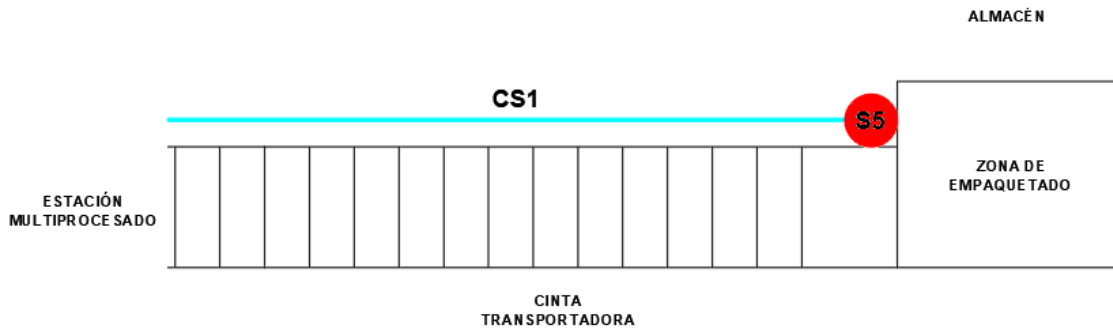


Ilustración 69. Esquema instalación elementos de seguridad cinta transportadora (Fuente: Elaboración propia)

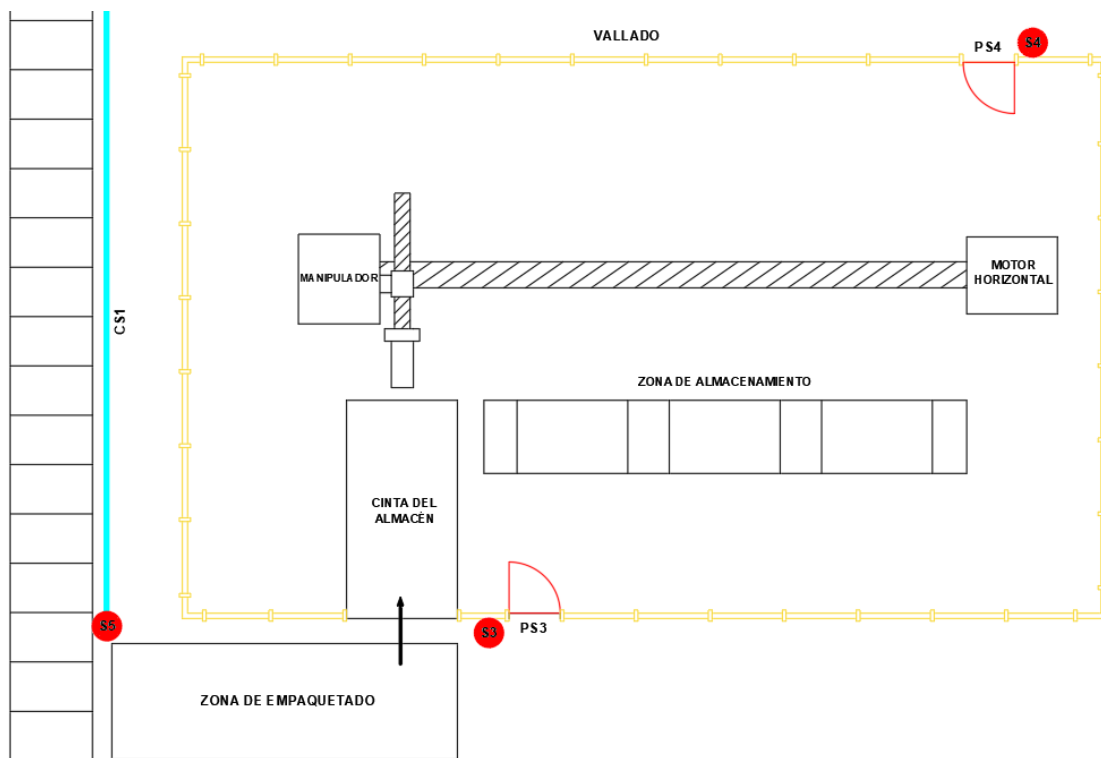


Ilustración 70. Esquema elementos de seguridad del almacén (Fuente: Elaboración propia)

En la estación de multiprocesado con horno se instalan dos puertas para poder acceder al horno y a la mesa de la sierra por zonas distintas, sin tener que atravesar la zona del manipulador. El manipulador se considera un elemento de riesgo por ser móvil y llevar las piezas en suspensión, por lo que es preferible que los operarios no atravesasen esta zona a no ser que sea imprescindible.

En el almacén se tienen dos puertas para poder acceder a la zona de almacenamiento y a la zona trasera del almacén, donde se encuentra el manipulador, sin tener que atravesar la zona de almacenamiento.



## 4.2 Cableado de los relés de seguridad

El módulo G9SE-201 dispone de dos canales de entrada de seguridad para poder hacer una instalación redundante, así, en caso de fallar uno de los contactos del elemento de seguridad, se podrá seguir activando la emergencia. Como la máquina debe pararse si se activa uno de los elementos de seguridad de la instalación, estos deben conectarse en serie, con contactos normalmente cerrado (NC). Las salidas de seguridad abrirán los contactos de unos contactores que cortararán la alimentación de las máquinas del proceso. Se instalarán tantos contactores como sea necesario en cada proceso. Cuando los contactores vuelvan a estar cerrados, el módulo de seguridad se rearmará. Los esquemas del cableado del G9SE-201 se muestran a continuación. Las setas de emergencia se representan con una S y un número (por ejemplo, S1), las puestas de seguridad como PS y un número (por ejemplo, PS1) y el cordón de seguridad se representa como CS1. El módulo de seguridad se representa con la numeración de sus entradas y salidas que ofrece el fabricante.

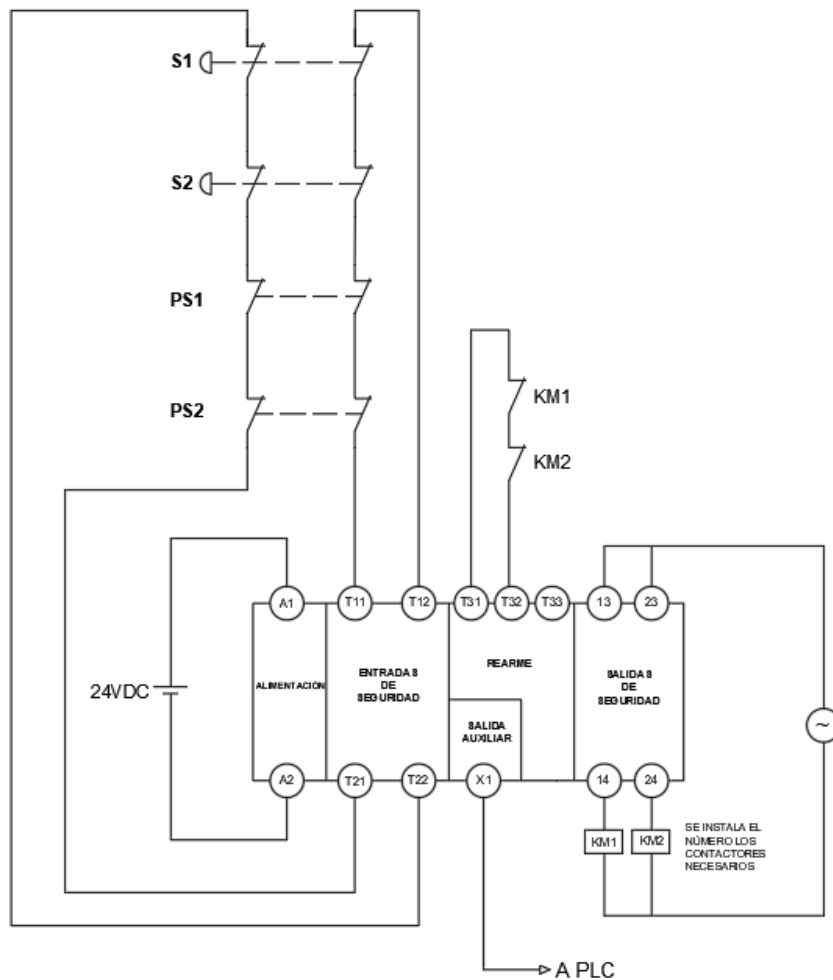


Ilustración 71. Cableado seguridad del horno y serrado y del almacén (Fuente: Elaboración propia)

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómata Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

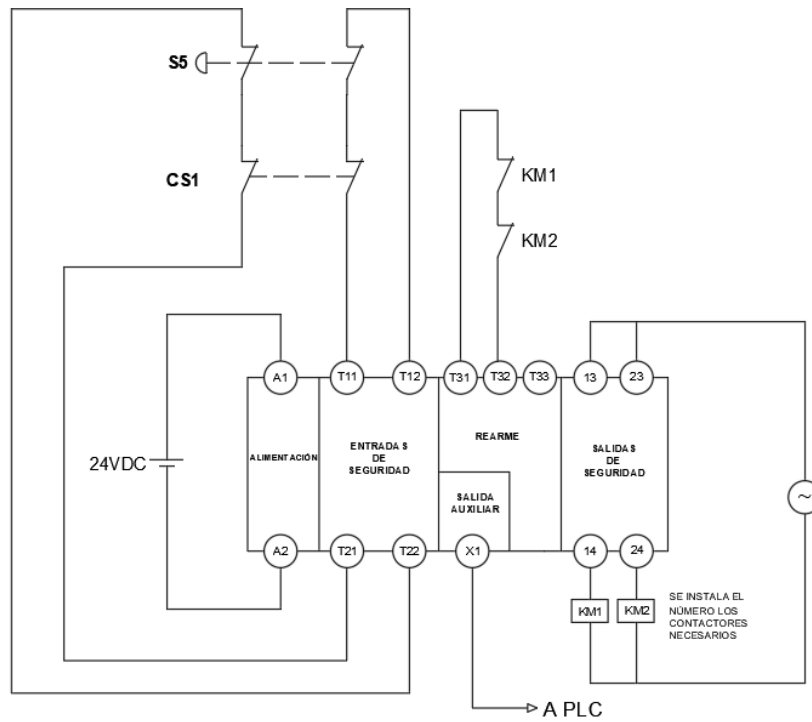


Ilustración 72. Cableado seguridad de cinta transportadora (Fuente: Elaboración propia)

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

## 3. PRESUPUESTO

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

## Índice del presupuesto

1. Hardware .....	1
2. Software.....	2
3. Mano de obra .....	2
4. Importe total del proyecto.....	3

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

Para la realización del presupuesto del proyecto, se van a tener en cuenta los dispositivos comentados en la implementación real del proyecto, para conseguir así un presupuesto más parecido a un proyecto real. Por lo tanto, a parte de los elementos utilizados para realizar el proyecto en el laboratorio, se presupuestarán también los sensores y elementos de seguridad seleccionados en el apartado 5. Implementación real.

El presupuesto se divide en hardware (PLC, pantallas HMI, sensores, etc), software y mano de obra.

## 1. Hardware

Los precios aquí demostrados para los elementos de hardware son estimados a partir de la media de los precios encontrados para un mismo dispositivo. Las máquinas de la línea de producción las aporta el cliente, por lo que no se incluyen en el presupuesto. El PC utilizado en el proyecto se puede utilizar para proyectos de otros clientes, por lo que al cliente se le cobrará su uso por horas. Para calcular el precio por hora del PC, se tiene en cuenta que el ordenador utilizado tiene un precio de 1199 €, y se considera una amortización de 3 años para el PC, resultando en una amortización de 399,67 €/año. Considerando que el año tiene alrededor de 220 días laborables y que la jornada máxima de trabajo son 8h diarias da un total de 1760h anuales en las que se usa el ordenador, por lo que su precio por hora son 0,22 €/h.

HARDWARE			
Descripción	Cantidad	Precio / unidad	Importe
Siemens S7-1512C-1 PN	1	1782,46 €	1782,46 €
IL PN DK DI8 DO4 2TX-PAC	1	280,00 €	280,00 €
IB IL 24 DI 8/HD-ECO	1	65,66 €	65,66 €
IB IL 24 DO 8/HD-ECO	1	74,62 €	74,62 €
IB IL 24 DO 4-ME	1	21,35 €	21,35 €
Siemens KTP700 Basic PN	2	581,67 €	1163,34 €
Vacuostato PSK	1	35,90 €	35,90 €
Omron WLCA2-TH-N	2	113,30 €	226,60 €
Omron WLMCA2-LDK13-N	9	155,78 €	1402,02 €
Omron E2EH	1	140,00 €	140,00 €
Omron E3Z-D62 0.5M	5	132,37 €	661,85 €
Omron G9SE-201	3	130,38 €	391,14 €
Omron A165E	4	37,47 €	149,88 €
Omron ER1022	1	274,00 €	274,00 €
Omron D4NL-1DFA-B	4	104,09 €	416,36 €
PC	290h	0,22 €/h	63,80 €

Importe bruto	IVA 21%	Importe total
7148,98 €	1501,29 €	8650,27 €

## 2. Software

Aunque se utilizan varios software para programar los distintos dispositivos (STEP7 para el PLC, WinCC para la pantalla HMI y SCADA y PLCSim para simular el PLC), todos vienen integrados en el software TIA Portal V15.1, por lo que solo habría que comprar la licencia de este programa. Para el caso del software TIA Portal sucede lo mismo que con el PC, en vez de cobrar el precio total de la licencia al cliente se cobra un precio proporcional por horas de uso. El precio de la licencia de TIA Portal V15.1 es de 2.114,35€. Considerando una amortización en 3 años como en el caso del PC, la amortización anual es de 704,78 €. Utilizando las 1760h de trabajo anuales, el precio final por hora es de 0,4 €/h.

SOFTWARE			
Descripción	Cantidad	Precio / unidad	Importe
Licencia TIA Portal V15.1 STEP7 WinCC Advanced	135h	0,4 €/h	54 €

Importe bruto	IVA 21%	Importe total
54 €	11,34 €	65,34 €

## 3. Mano de obra

El coste medio de contratación para el cliente de un ingeniero industrial se ha estimado en 25 €/h. Con el desglose del número de horas trabajadas se obtiene el coste de contratación de un ingeniero industrial para realizar el proyecto.

SOFTWARE			
Descripción	Cantidad	Precio / unidad	Importe
Diseño línea de producción	10h	25 €/h	250 €
Programación PLC	135h	25 €/h	3375 €
Programación HMI	40h	25 €/h	1000 €
Programación SCADA	35h	25 €/h	875 €
Redacción documentación	80h	25 €/h	2000 €

Importe bruto	IVA 21%	Importe total
7500 €	1575 €	9075 €



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

#### 4. Importe total del proyecto

PRESUPUESTO TOTAL	
Descripción	Importe
Hardware	8650,27 €
Software	65,34 €
Mano de obra	9075 €
<b>TOTAL</b>	<b>17790,61 €</b>

El presupuesto total es de diecisiete mil setecientos noventa con sesenta y uno euros.

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

## 4. ANEXOS

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

## Índice de los anexos

1. Tablas de variables y DBs .....	1
1.1 Variables horneado y serrado .....	1
1.2 Variables almacén.....	2
1.3 DB Cargador.....	4
1.4 DB Almacén .....	4
2. Main.....	5
3. Programa proceso horneado y serrado.....	10
3.1 GEMMA.....	10
3.2 Horno.....	12
3.3 Manipulador .....	17
3.4 Sierra.....	24
3.5 Manual (F6).....	29
3.6 Auxiliares horno .....	40
4. Programa almacén .....	47
4.1 GEMMA.....	47
4.2 Carga (F1_C, carga automática y semiautomática).....	51
4.3 Descarga (F1_D, descarga automática y semiautomática).....	59
4.4 Manual (F6).....	72
4.5 Auxiliares almacén .....	78
5. Funciones auxiliares .....	82
5.1 Interrupción pulsos horizontal .....	82
5.2 Interrupción pulsos vertical .....	82
5.3 Cargar_cargador .....	82
5.4 Vacía_cargador.....	83
5.5 Hacia_almacen.....	83
5.6 Vacía_array_almacen .....	83
5.7 Busca_slot.....	84
6. Manuales de usuario .....	85
6.1 Aplicación HMI.....	85
6.2 Aplicación SCADA .....	88

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómeta Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

# 1. Tablas de variables y DBs

## 1.1 Variables horneado y serrado

1		Pieza_Al	Bool	%I134.2	Pieza en alimentador
2		Manipulador_M	Bool	%I134.0	Manipulador en mesa
3		Ali_Fuera	Bool	%I134.1	Alimentador fuera
4		M_Sierra	Bool	%I134.7	Mesa en sierra
5		M_Mani	Bool	%I134.4	Mesa en manipulador
6		Inicio	Bool	%M0.0	Inicio proceso automático
7		Semi-auto	Bool	%M0.1	Inicio proceso semi-automático
8		Manual	Bool	%M0.2	Poner proceso en manual
9		Emergencia_horno	Bool	%M10.0	Seta emergencia del horno
10		Salir	Bool	%M0.5	Salir de alguno de los 3 estados (Auto, Semi,...)
11		Activar_Horno	Bool	%M0.7	Botón para encender horno
12		Cargar_Roja	Bool	%M1.1	Boton para cargar roja en cargador
13		Cargar_Blanca	Bool	%M1.2	Boton para cargar blanca en cargador
14		Cargar_Azul	Bool	%M1.3	Boton para cargar azul en cargador
15		Sierra_F6	Bool	%M1.4	Activar sierra en manual
16		Puerta_arriba_F6	Bool	%M1.5	Puerta arriba en manual
17		Mov_Ali_dentroF6	Bool	%M1.6	Alimentador dentro en manual
18		Mov_Ali_fueraF6	Bool	%M1.7	Alimentador fuera en manual
19		Empujador_F6	Bool	%M2.0	Activar empujador en manual
20		Mani_Horno_F6	Bool	%M2.1	Manipulador a horno en manual
21		Mani_Mesa_F6	Bool	%M2.2	Manipulador a mesa en manual
22		Mesa_dcha_F6	Bool	%M2.3	Mover mesa hacia derecha en manual
23		Mesa_izda_F6	Bool	%M2.4	Mover mesa hacia izquierda en manual
24		Puerta_abajo_F6	Bool	%M2.5	Puerta abajo en manual
25		Cinta_ON_F6	Bool	%M2.6	Encender cinta en manual
26		Ventosa_ON_F6	Bool	%M2.7	Activar ventosa en manual
27		Ventosa_OFF	Bool	%M3.0	Desactivar ventosa en manual
28		Semi_Roja	Bool	%M3.1	Procesar pieza roja en semi-automático
29		Semi_Blanca	Bool	%M3.2	Procesar pieza blanca en semi-automático
30		Semi_manipulador	Bool	%M3.3	Activar traslado manipulador en semi-auto
31		Semi_cinta	Bool	%M3.4	Activar cinta en semi-automático
32		Semi_sierra_rojo	Bool	%M3.5	Activar serrado de pieza roja en semi-auto
33		Semi_sierra_azul	Bool	%M3.6	Activar serrado pieza azul en semi-automatico
34		Semi_ya_mecanizado	Bool	%M3.7	Indica que se ha serrado la pieza ya (semi-auto)
35		Semi_sierra_blanca	Bool	%M4.0	Si la pieza a procesar es blanca en semi-auto
36		Mani_abajo_F6	Bool	%M4.1	Manipulador abajo en manual
37		Mani_arriba_F6	Bool	%M4.2	Manipulador arriba en manual
38		Apaga_compresor	Bool	%M8.2	Apagar compresor en manual
39		Enciende_compresor	Bool	%M8.3	Encender compresor en manual
40		M_Cinta	Bool	%I134.6	Mesa en cinta
41		Pieza_Fin	Bool	%I134.5	Pieza en final de cinta
42		Manipulador_H	Bool	%I135.6	Manipulador en horno
43		Ali_Dentro	Bool	%I135.4	Alimentador dentro
44		Emergencia_horno_SCADA	Bool	%M20.0	Emergencia del horno desde SCADA
45		Emergencia_horno_HMI	Bool	%M20.1	Emergencia del horno desde HMI

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.


1		Mesa_dcha	Bool	%Q136.0	Movimiento mesa hacia derecha
2		Mesa_izda	Bool	%Q136.1	Movimiento mesa hacia izquierda
3		Av_Cinta	Bool	%Q136.2	Cinta en marcha
4		Sierra_ON	Bool	%Q136.3	Sierra activada
5		Move_ali_Dentro	Bool	%Q137.0	Mover alimentador dentro
6		Move_ali_Fuera	Bool	%Q137.1	Mover alimentador fuera
7		Move_man_Horno	Bool	%Q137.2	Mover manipulador a horno
8		Move_man_Mesa	Bool	%Q137.3	Mover manipulador a mesa
9		Ent_ON	Bool	%Q138.0	Habilitar las señales del proceso
10		Compr_ON	Bool	%Q138.1	Activar compresor
11		Vent_ON	Bool	%Q138.2	Activar ventosa
12		Man_Abajo	Bool	%Q138.3	Mover manipulador abajo
13		Puerta_Arriba	Bool	%Q138.4	Mover puerta arriba
14		Emp_ON	Bool	%Q138.5	Activar empujador mesa
15		Luz_Horno	Bool	%Q138.6	Encender luz del horno

1		CI	Bool	%M6.0	Se cumplen las condiciones iniciales
2		Horno_ON	Bool	%M1.0	El horno esta encendido
3		Pieza_manipulador	Sint	%MB40	Guarda la pieza que esta moviendo el manipulador
4		Pieza_sierra	Sint	%MB41	Guarda la pieza que hay en la mesa
5		Reinicio	Bool	%M6.1	Reinicio del contador del cargador
6		Contador	Bool	%M6.2	Cuando se debe sumar una pieza en el cargador
7		Array_al_full	Bool	%M10.2	Cola hacia almacén llena
8		Man_activado	Bool	%M5.5	Manual activado
9		Semi_activado	Bool	%M5.6	Semiautomático activado
10		A1_activado	Bool	%M5.7	Etapas A1 GEMMA Activada
11		Pieza_horno	Sint	%MB12	Guarda la pieza que hay en el horno
12		Pieza_en_mesa	Bool	%M11.0	Hay pieza en mesa
13		F1_Horno_Activado	Bool	%M11.1	Etapas F1 GEMMA Activada

## 1.2 Variables almacén

1		Av_cinta_al	Bool	%Q6.1	Avance cinta almacen
2		Rt_cinta_al	Bool	%Q6.0	Retroceso cinta almacen
3		Av_Horizontal	Bool	%Q6.2	Avance manipulador
4		Rt_Horizontal	Bool	%Q6.3	Retroceso manipulador
5		Abajo_vert	Bool	%Q6.4	Abajo manipulador
6		Arriba_vertical	Bool	%Q6.5	Arriba manipulador
7		Señales_ON	Bool	%Q7.0	Señales de entrada ON
8		Pt_Adelante	Bool	%Q6.6	Plataforma hacia adelante
9		Pt_Atras	Bool	%Q6.7	Plataforma hacia atras



1		Cl_Al	Bool	%M5.0	Se cumplen las condiciones iniciales
2		No_espacio	Bool	%M5.2	No hay espacio en el almacen
3		Pos_h	Int	%MW42	Variable auxiliar
4		Pos_v	Int	%MW44	Variable auxiliar
5		Slot	SInt	%MB46	Variable auxiliar
6		Vacio	Bool	%M7.3	El almacen esta vacio
7		A1_al_activado	Bool	%M7.5	El almacen esta vacio
8		F6_al_activado	Bool	%M7.6	Etapas F6 activadas
9		F5_C_activado	Bool	%M7.7	Etapas F5 C activadas
10		F5_D_activado	Bool	%M8.0	Etapas F5 D activadas
11		Almacen_lleno	Bool	%M10.3	Variable auxiliar
12		Almacen_vacio	Bool	%M10.4	Variable auxiliar
13		F1_C_activado	Bool	%M10.6	Etapas F1 C activadas
14		F1_D_activado	Bool	%M10.7	Etapas F1 D activadas
15		Error_semi	Bool	%M11.2	Error semiautomático
1		Emergencia_almacen	Bool	%M10.1	Emergencia del almacen activada
2		Ref_H	Bool	%I12.4	Referencia horizontal
3		Cinta_dentro	Bool	%I12.5	Pieza dentro almacen
4		Cinta_fuera	Bool	%I12.6	Pieza fuera almacen
5		Ref_V	Bool	%I12.7	Referencia vertical
6		Plat_delante	Bool	%I13.0	Plataforma delante
7		Plat_detras	Bool	%I13.1	Plataforma detras
8		Pulsos_hor	Bool	%I12.1	Entrada pulsos mov horizontal
9		Pulsos_vert	Bool	%I12.2	Entrada pulsos mov vertical
10		Ini_Carga	Bool	%M4.3	Iniciar carga automática
11		Ini_Descarga	Bool	%M4.4	Iniciar descarga automática
12		Semi_carga	Bool	%M4.5	Iniciar carga semiautomática
13		Semi_descarga	Bool	%M4.6	Iniciar descarga semiautomática
14		Manual_al	Bool	%M4.7	Iniciar manual
15		Rearme	Bool	%M5.1	Rearme del sistema
16		Salir_al	Bool	%M5.3	Salir
17		Slot_OK_F5	Bool	%M5.4	Se ha seleccionado espacio correcto
18		Av_hor_F6	Bool	%M6.3	Av horizontal manual
19		Rt_hor_F6	Bool	%M6.4	Rt horizontal manual
20		Arriba_vert_F6	Bool	%M6.5	Arriba manual
21		Abajo_vert_F6	Bool	%M6.6	Abajo manual
22		Plat_adelante_F6	Bool	%M6.7	Plataforma adelante manual
23		Plat_atras_F6	Bool	%M7.0	Plataforma atras manual
24		Av_cinta_F6	Bool	%M7.1	Avance cinta manual
25		Rt_cinta_F6	Bool	%M7.2	Retrosceso cinta manual
26		Tipo_pieza_D	SInt	%MB47	Tipo de pieza a descargar
27		Descarga_total	Bool	%M7.4	Descargar totalmente en almacen
28		Semi_pulsado	Bool	%M8.1	Variable auxiliar
29		Emergencia_al_SCADA	Bool	%M20.2	Emergencia almacen SCADA
30		Emergencia_al_HMI	Bool	%M20.3	Emergencia almacen HMI

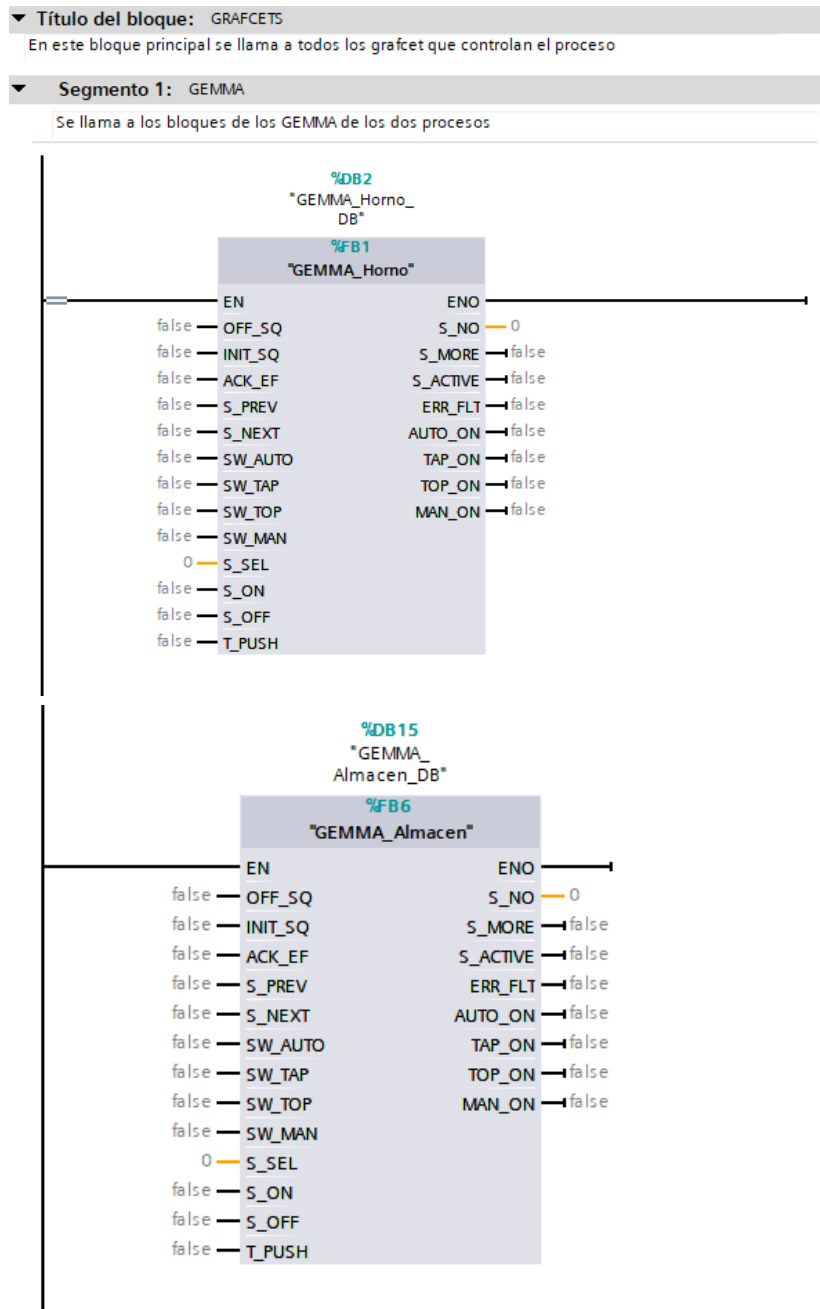
### 1.3 DB Cargador

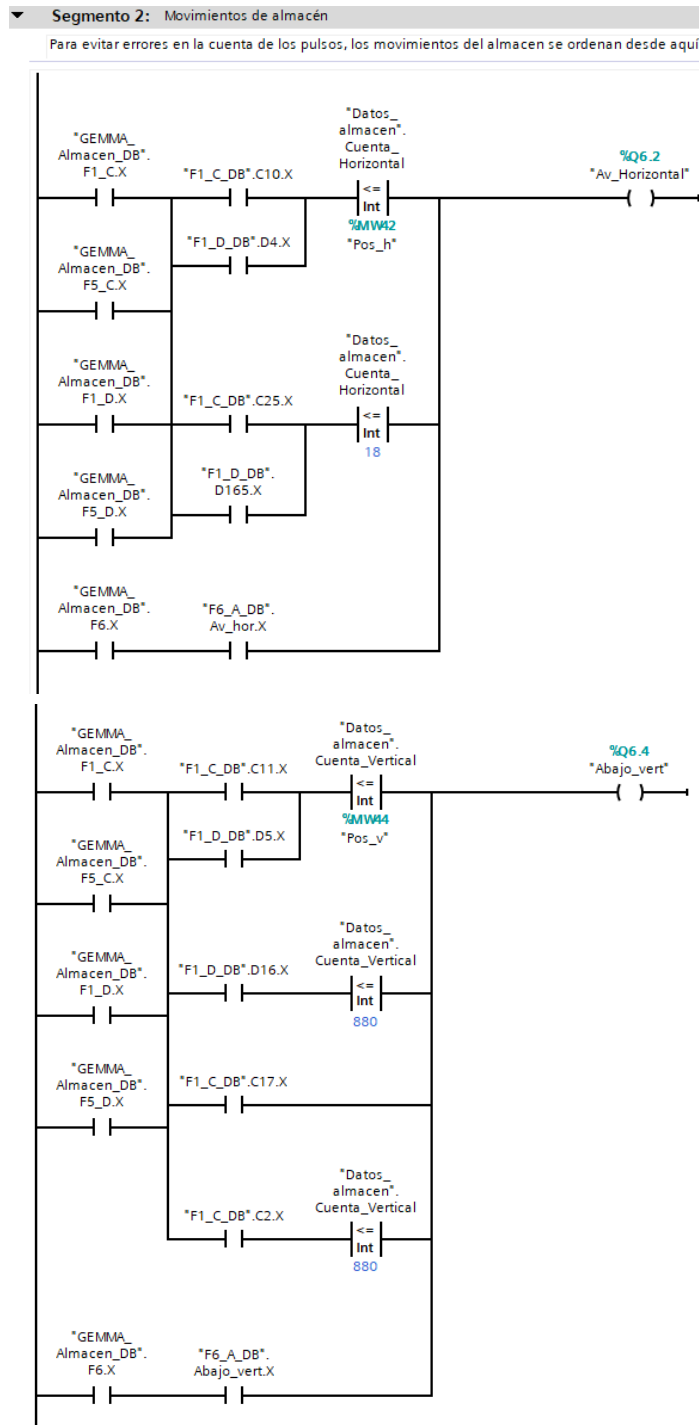
Cargador				
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...
1	Static			<input type="checkbox"/>
2	Cargador	Array[0..8] of SInt		<input type="checkbox"/>
3	Cargador[0]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
4	Cargador[1]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
5	Cargador[2]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
6	Cargador[3]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
7	Cargador[4]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
8	Cargador[5]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
9	Cargador[6]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
10	Cargador[7]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
11	Cargador[8]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
12	Pieza	SInt	0	<input type="checkbox"/>

### 1.4 DB Almacén

Datos_almacen				
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...
1	Static			<input type="checkbox"/>
2	Llegada_almacen	Array[0..10] ...		<input type="checkbox"/>
3	Llegada_almacen[0]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
4	Llegada_almacen[1]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
5	Llegada_almacen[2]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
6	Llegada_almacen[3]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
7	Llegada_almacen[4]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
8	Llegada_almacen[5]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
9	Llegada_almacen[6]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
10	Llegada_almacen[7]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
11	Llegada_almacen[8]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
12	Llegada_almacen[9]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
13	Llegada_almacen[...]	SInt	0	<input type="checkbox"/>
14	Cuenta_Horizontal	Int	0	<input type="checkbox"/>
15	Cuenta_Vertical	Int	0	<input type="checkbox"/>
16	Slots	Array[0..8] of *Slots...		<input checked="" type="checkbox"/>
17	Slots[0]	*Slots_Almacen*		<input type="checkbox"/>
18	Tipo Pieza	SInt	1	<input type="checkbox"/>
19	Ocupado	Bool	false	<input type="checkbox"/>
20	Coordenada X	Int	890	<input type="checkbox"/>
21	Coordenada Y	Int	40	<input type="checkbox"/>
22	Slots[1]	*Slots_Almacen*		<input type="checkbox"/>
23	Slots[2]	*Slots_Almacen*		<input type="checkbox"/>
24	Slots[3]	*Slots_Almacen*		<input type="checkbox"/>
25	Slots[4]	*Slots_Almacen*		<input type="checkbox"/>
26	Slots[5]	*Slots_Almacen*		<input type="checkbox"/>
27	Slots[6]	*Slots_Almacen*		<input type="checkbox"/>
28	Slots[7]	*Slots_Almacen*		<input type="checkbox"/>
29	Slots[8]	*Slots_Almacen*		<input type="checkbox"/>

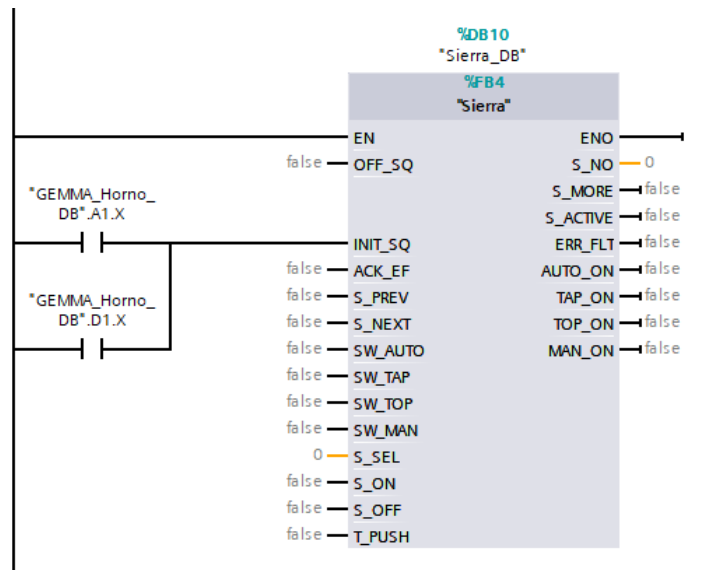
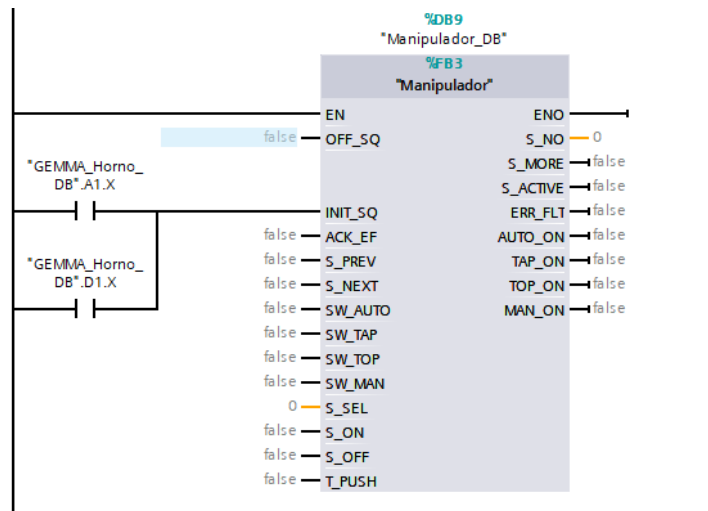
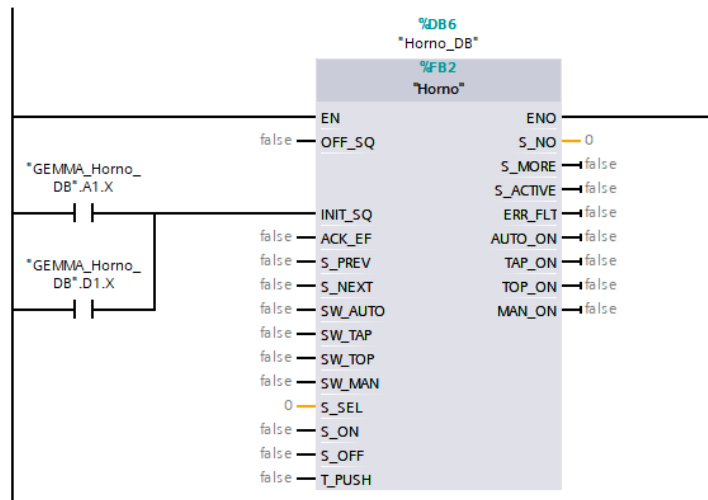
## 2. Main

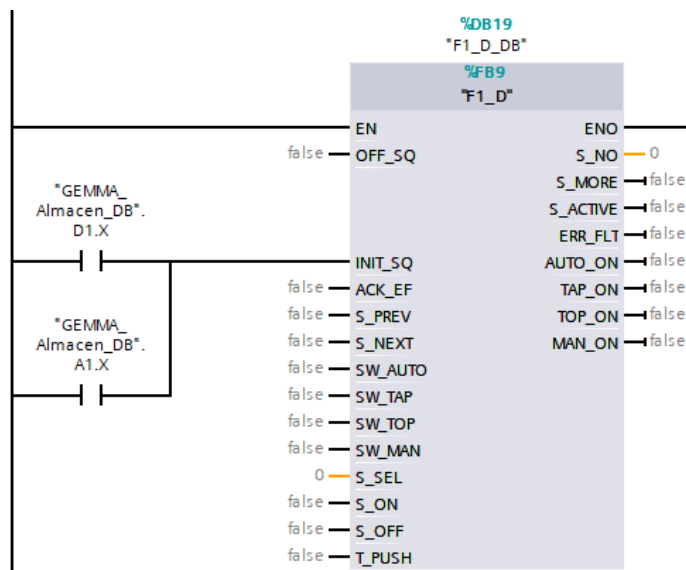
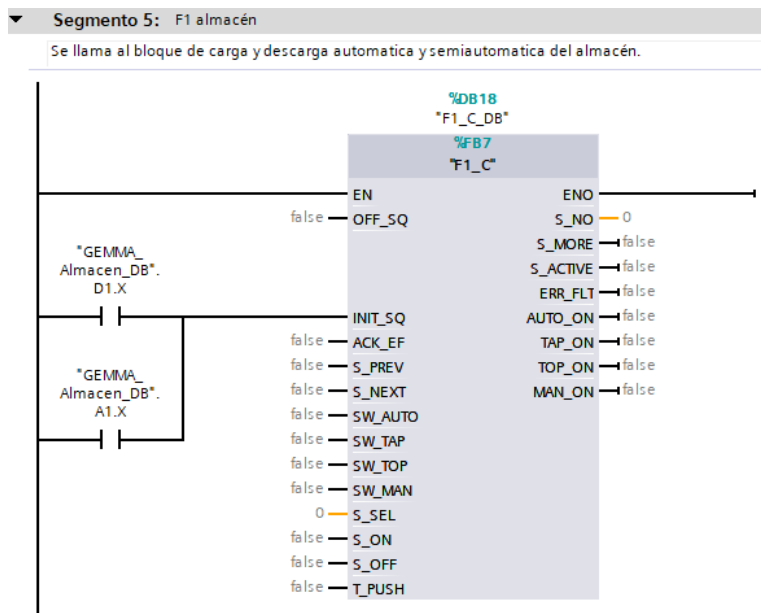
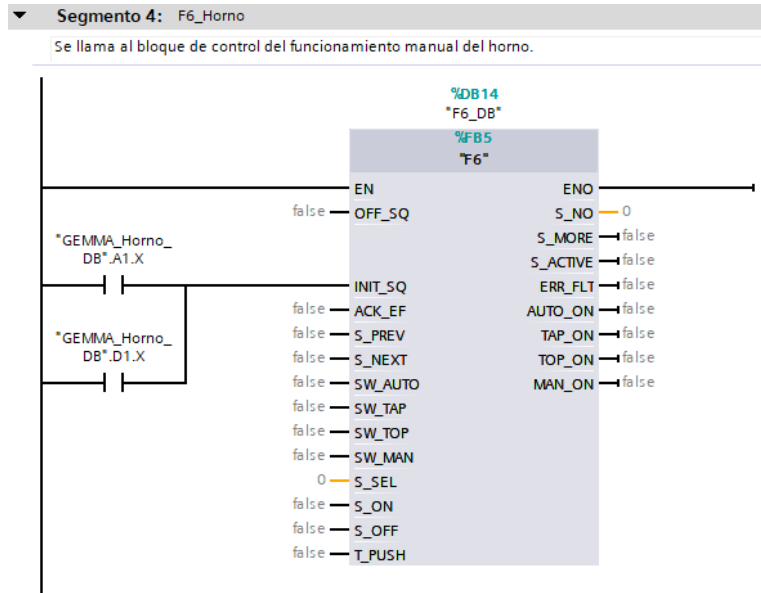




▼ Segmento 3: F1\_F5\_Horno

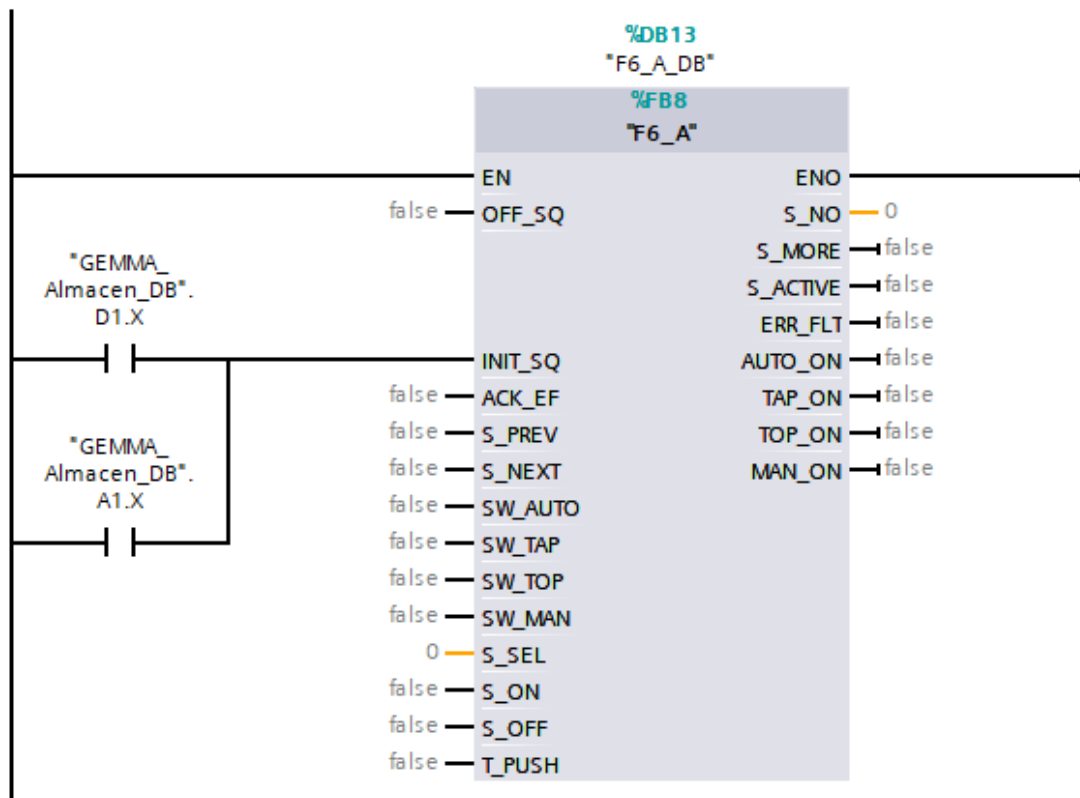
Se llama a los bloques que controlan el funcionamiento automático y semiautomático del horno.





▼ **Segmento 6: F6 Almacén**

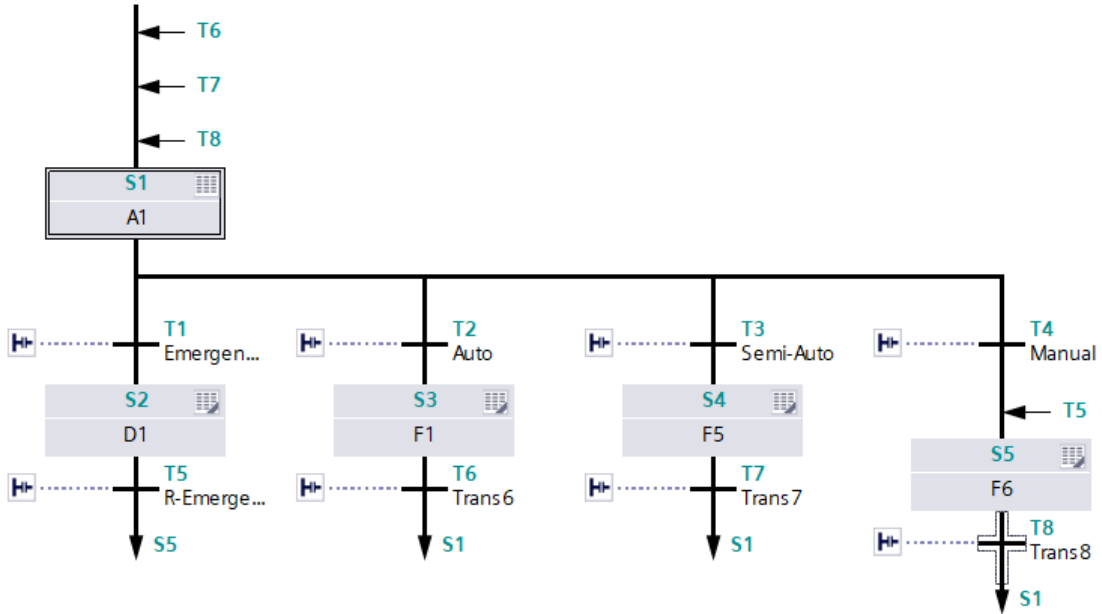
Funcionamiento manual del almacén



### 3. Programa proceso horneado y serrado

#### 3.1 GEMMA

##### Graph



##### Transiciones

La ventana de las acciones en las etapas en las que no se realiza ninguna acción se oculta.

Instrucciones permanentes anteriores (1)

Cadenas (1)

1: <nueva cadena>

S1 - [Etapa inicial]: A1

Comentario

Interlock (-c):

Supervision (-v):

Acciones:

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	S	- Poner a 1	"Ent_ON"
	S	- Poner a 1	"Coempe_ON"
		<agregar>	

T1: Emergencia

Comentario

```

%M10.0
"Emergencia_
hom0"
    
```

T2: Auto

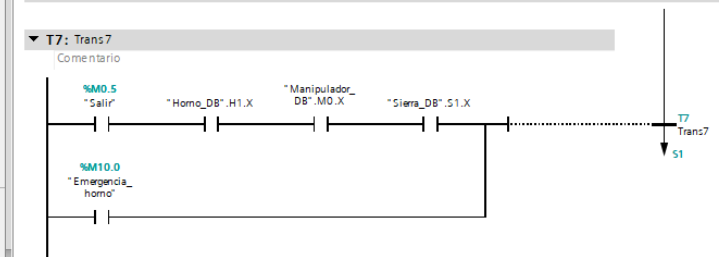
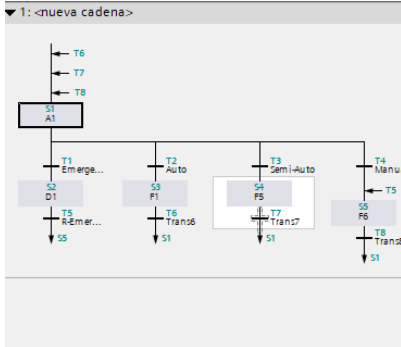
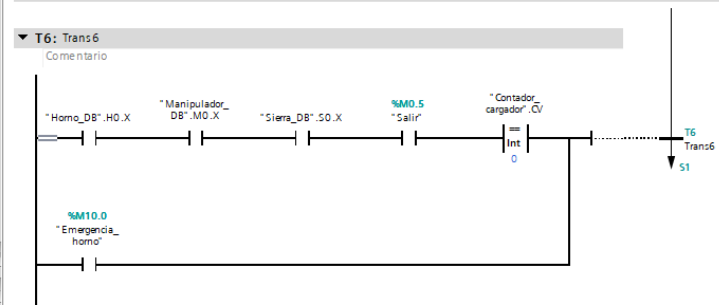
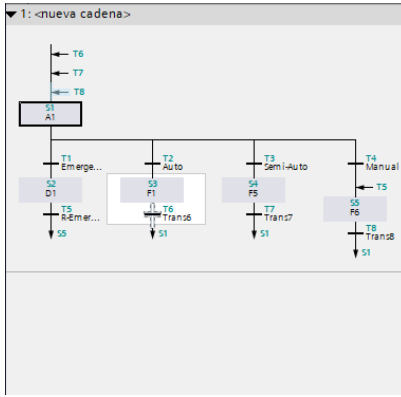
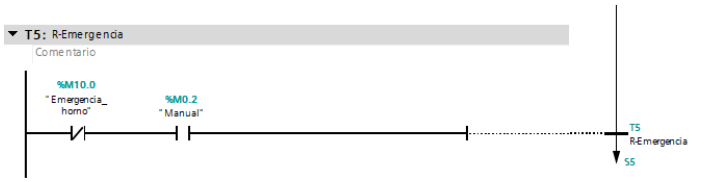
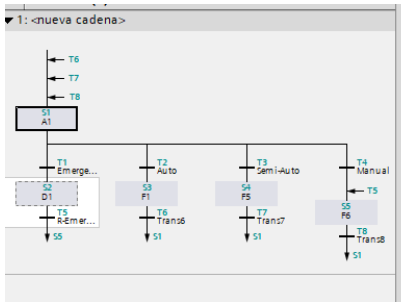
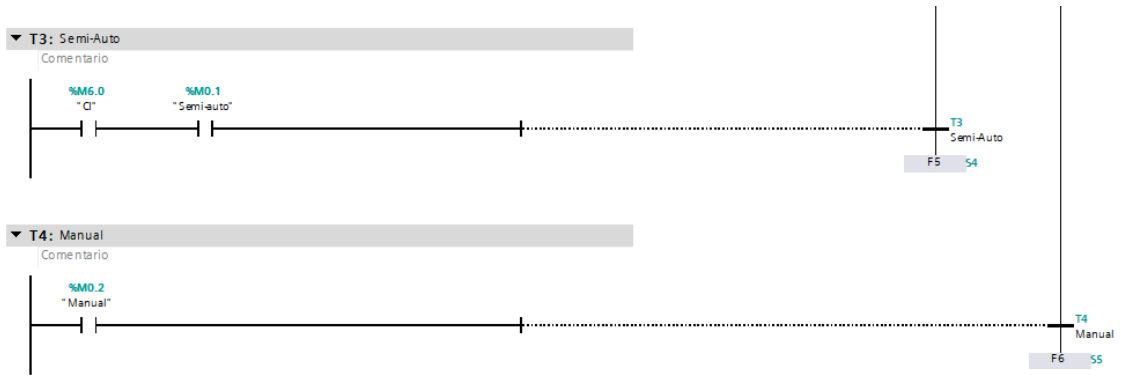
Comentario

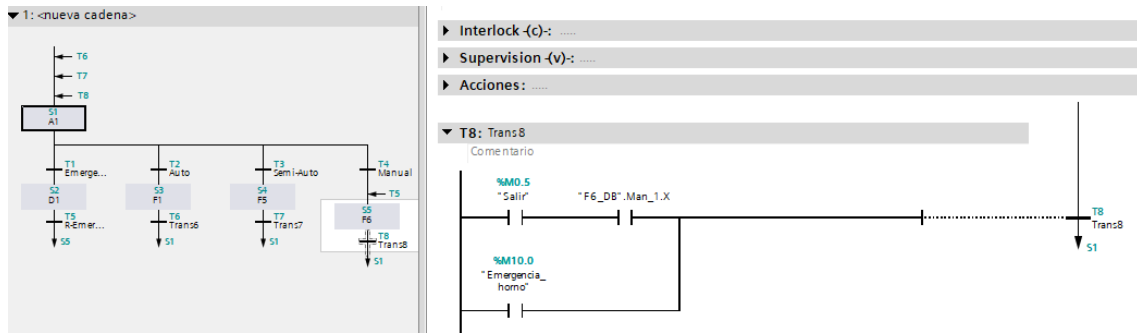
```

%M6.0
"Q"
%M0.0
"Inicio"
    
```



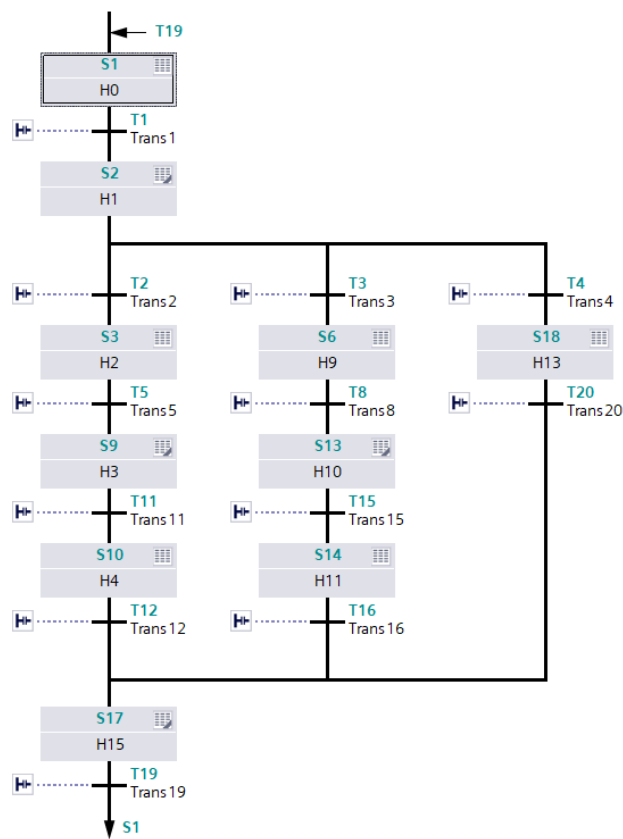
Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



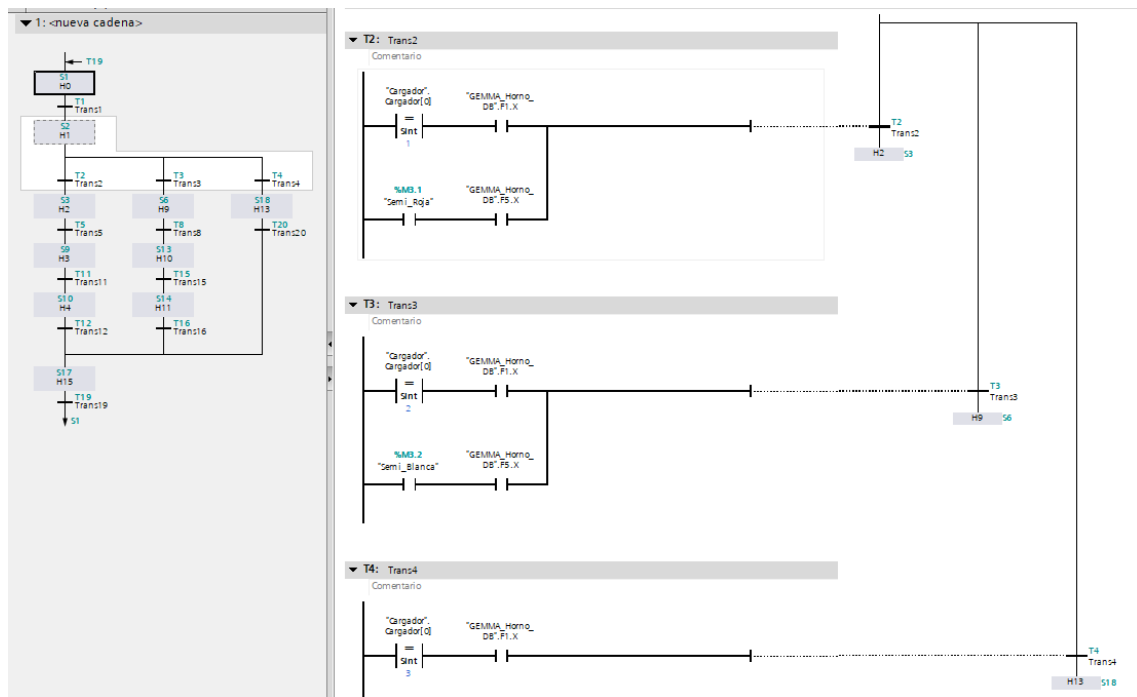
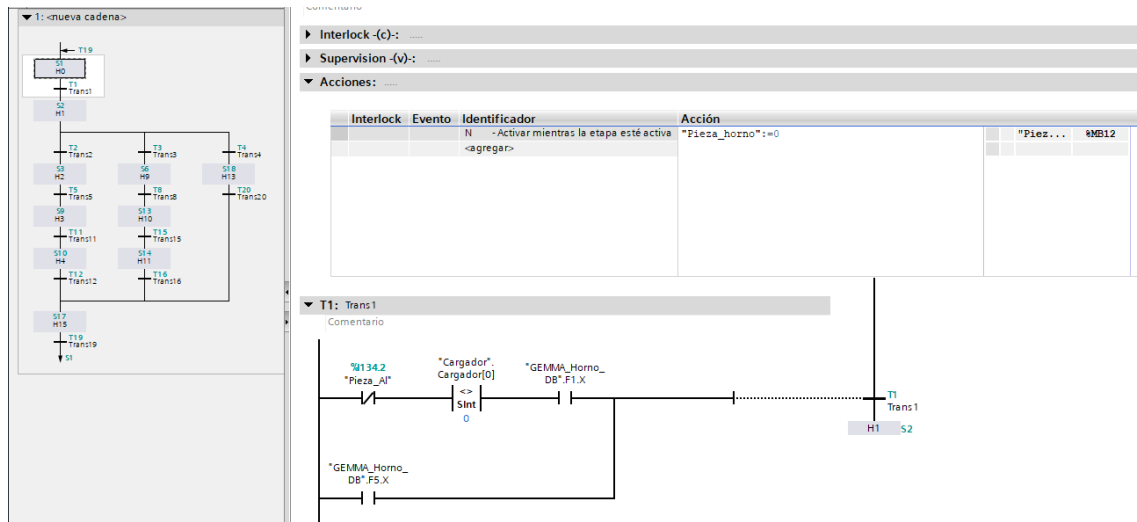


## 3.2 Horno

### Graph



## Transiciones



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

**Cadenas (1)**

▼ 1: -nueva cadena->

**S3: H2**

Comentario

► Interlock (-C): ----

► Supervision (-V): ----

▼ Acciones: ----

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Puerta_Arriba"
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Luz_Horno"
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Move_ali_Dentro"
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Pieza_horno"=:1
		<agregar>	

▼ T5: Trans5

Comentario

**Cadenas (1)**

▼ 1: -nueva cadena->

**S6: H9**

Comentario

► Interlock (-C): ----

► Supervision (-V): ----

▼ Acciones: ----

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Puerta_Arriba"
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Luz_Horno"
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Move_ali_Dentro"
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Pieza_horno"=:2
		<agregar>	

▼ T8: Trans8

Comentario

**Cadenas (1)**

▼ 1: -nueva cadena->

**S18: H13**

Comentario

► Interlock (-C): ----

► Supervision (-V): ----

▼ Acciones: ----

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Pieza_horno"=:3
		<agregar>	

▼ T20: Trans20

Comentario

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

**Cadenas (1)**

▼ 1: <nueva cadena>

**S9: H3**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

► Acciones: .....

▼ **T11: Trans11**

Comentario

"Tiempo\_horno\_roja".Q

**Cadenas (1)**

▼ 1: <nueva cadena>

**S13: H10**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

► Acciones: .....

▼ **T15: Trans15**

Comentario

"Tiempo\_horno\_blanca".Q

**Cadenas (1)**

▼ 1: <nueva cadena>

**S10: H4**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

► Acciones: .....

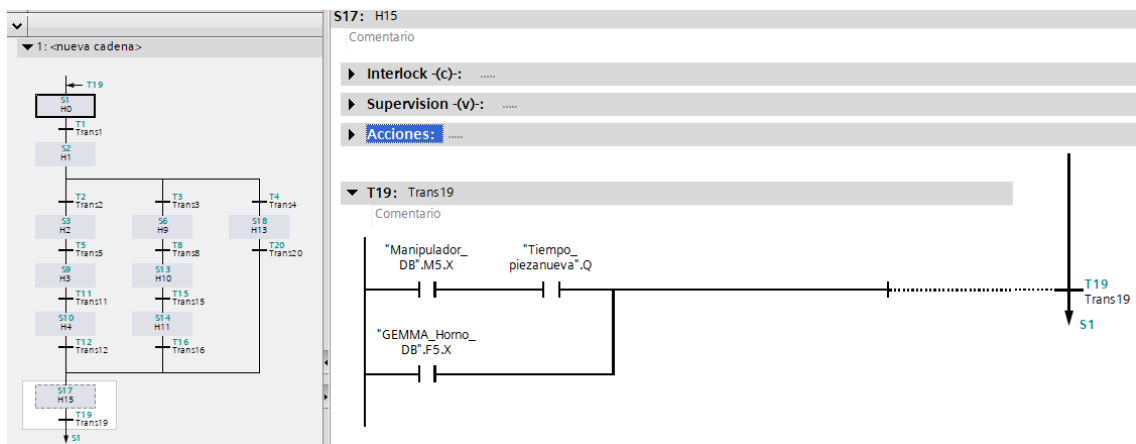
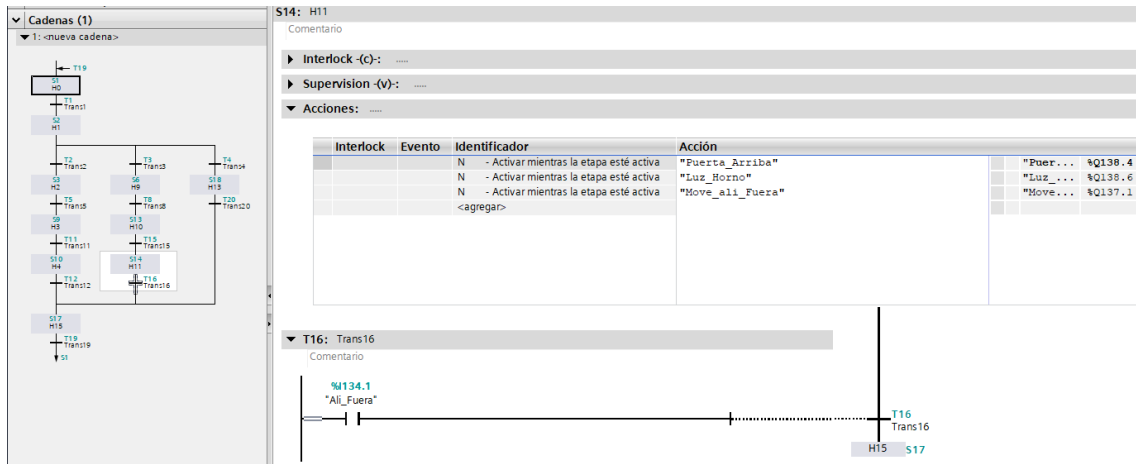
Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Puerta_Arriba"
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Luz_Rorno"
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Move_ali_Fueza"
		<agregar>	

▼ **T12: Trans12**

Comentario

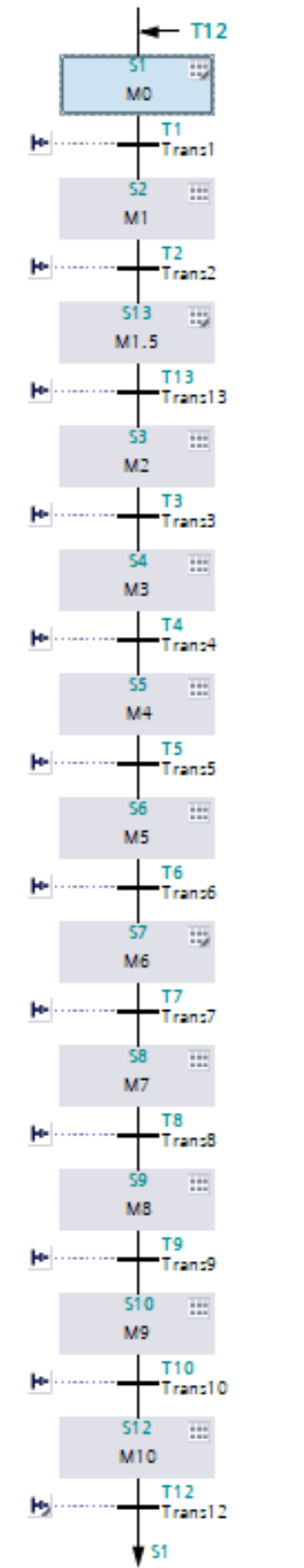
Q134.1 "Al\_Fuera"

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

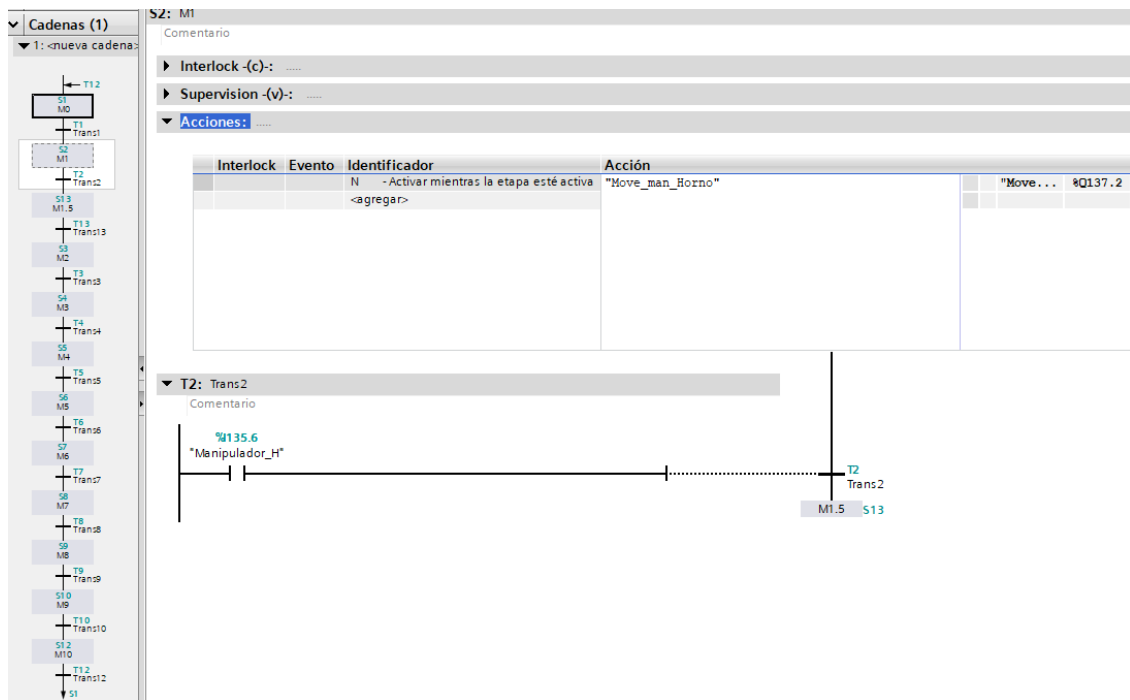
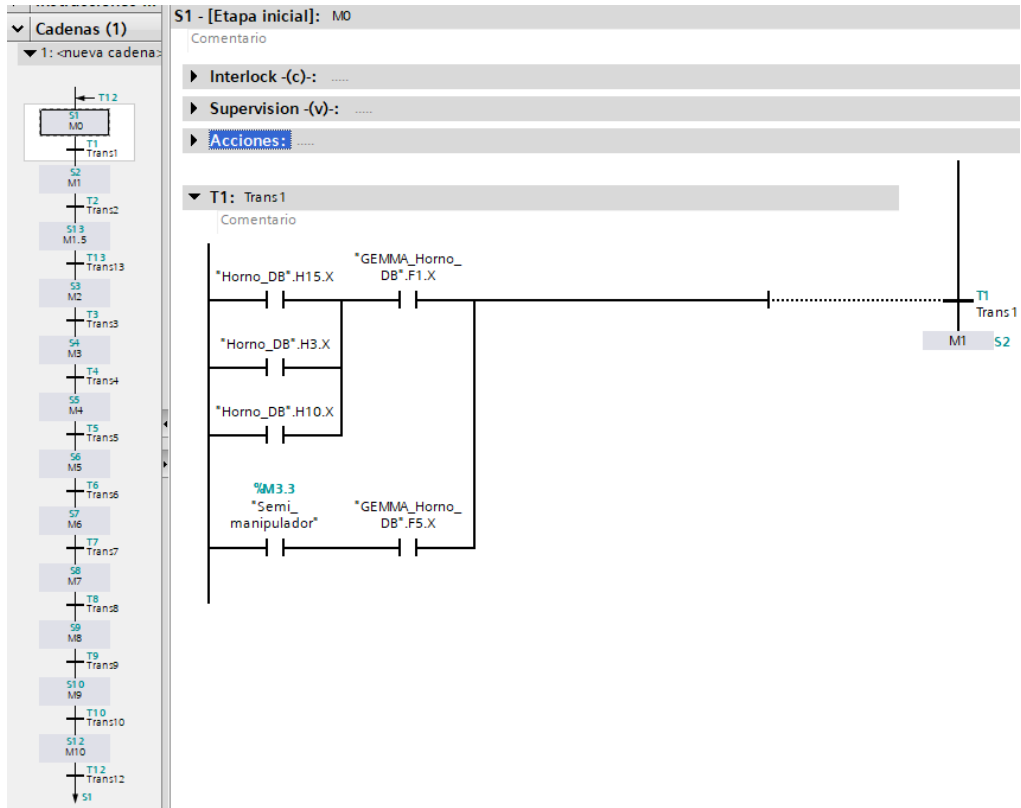


### 3.3 Manipulador

#### Graph

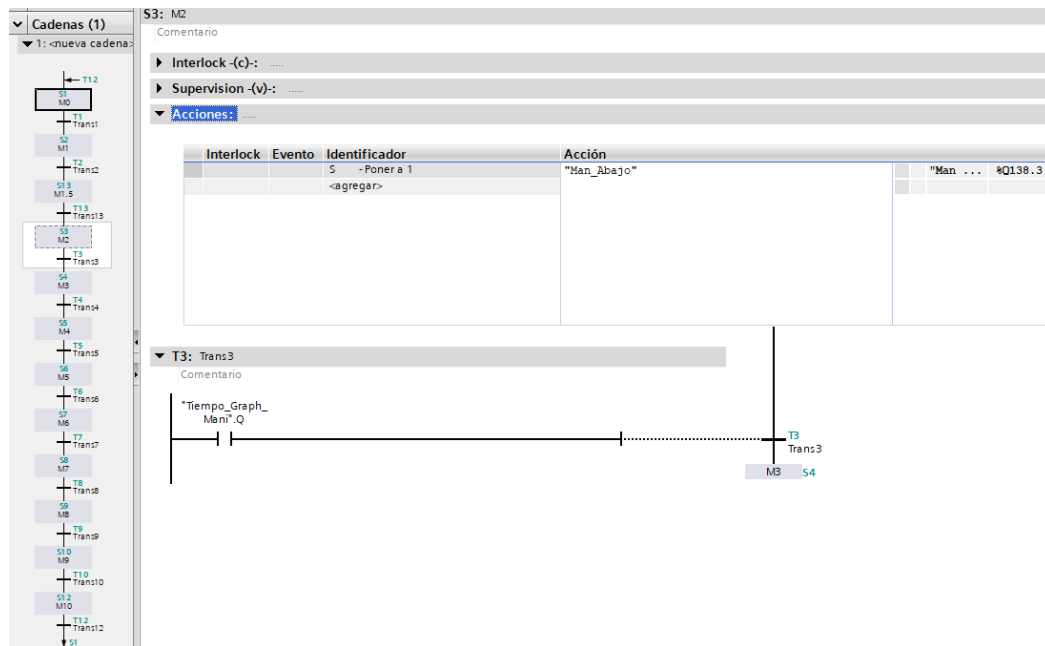
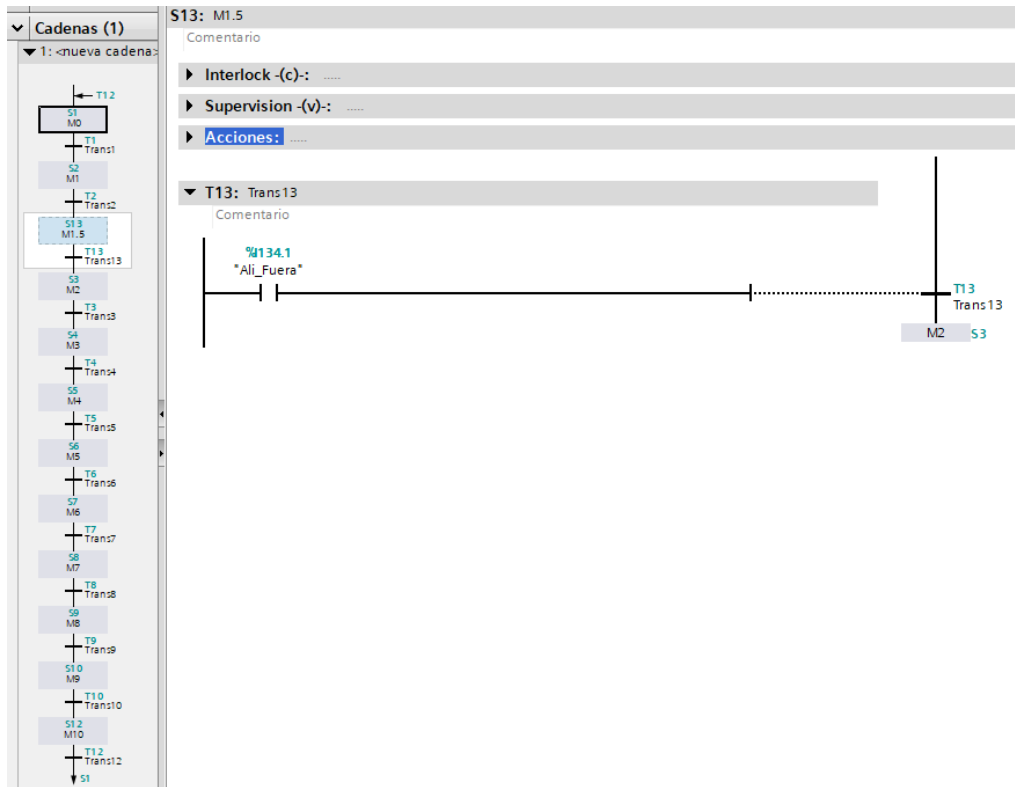


## Transiciones





Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

▼ Cadenas (1)

▼ 1: <nueva cadena>

- T12
- S1 M0
- T1 Trans1
- S2 M1
- T2 Trans2
- S13 M1.5
- T13 Trans13
- S3 M2
- T3 Trans3
- S4 M3
- T4 Trans4
- S5 M4
- T5 Trans5
- S6 M5
- T6 Trans6
- S7 M6
- T7 Trans7
- S8 M7
- T8 Trans8
- S9 M8
- T9 Trans9
- S10 M9
- T10 Trans10
- S12 M10
- T12 Trans12
- S1

**S4: M3**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción		
	S	- Poner a 1	"Vent_ON"		"Vent. ... %Q138.2
		<agregar>			

▼ T4: Trans4

Comentario

▼ Cadenas (1)

▼ 1: <nueva cadena>

- T12
- S1 M0
- T1 Trans1
- S2 M1
- T2 Trans2
- S13 M1.5
- T13 Trans13
- S3 M2
- T3 Trans3
- S4 M3
- T4 Trans4
- S5 M4
- T5 Trans5
- S6 M5
- T6 Trans6
- S7 M6
- T7 Trans7
- S8 M7
- T8 Trans8
- S9 M8
- T9 Trans9
- S10 M9
- T10 Trans10
- S12 M10
- T12 Trans12
- S1

**S5: M4**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

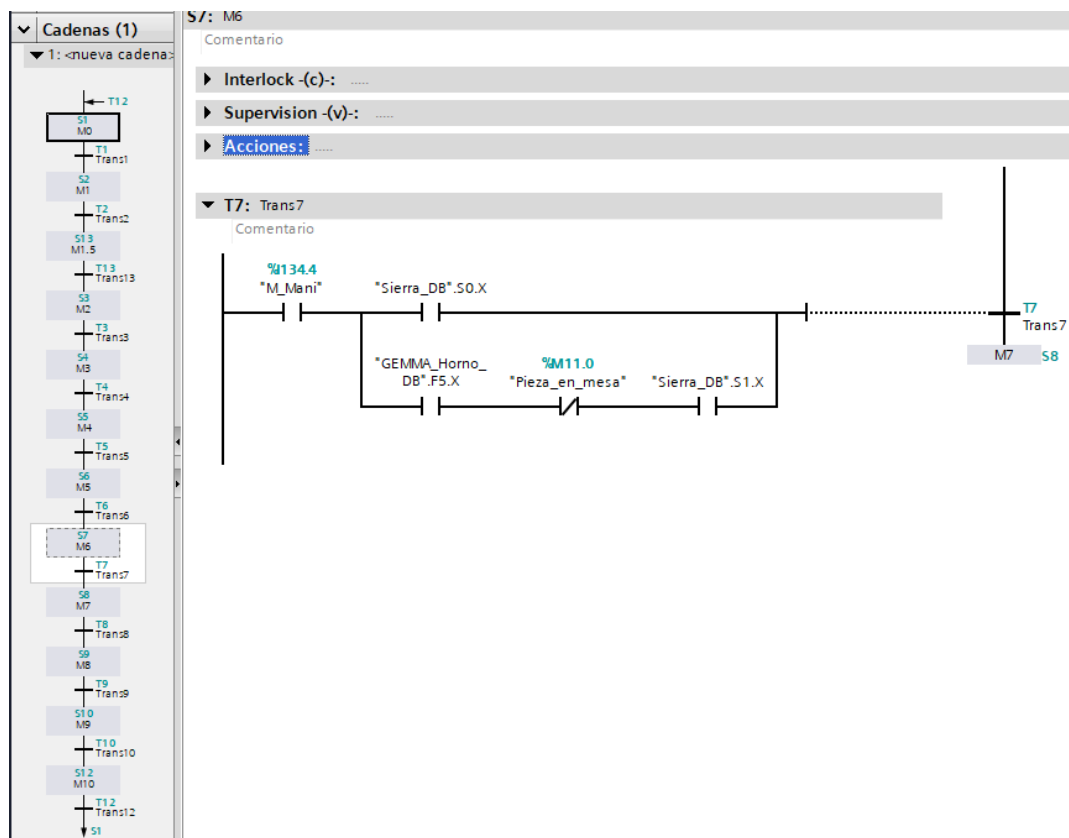
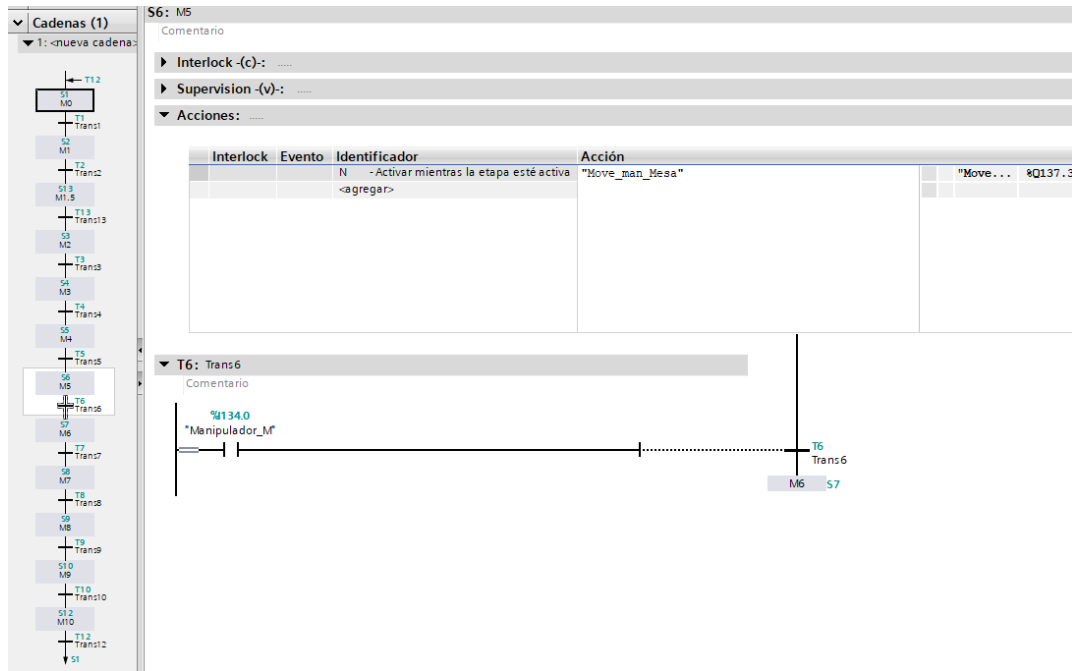
▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción		
	R	- Poner a 0	"Man_Abajo"		"Man ... %Q138.3
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Pieza_manipulador" := "Pieza_horno"		"Piez... %MB40
		<agregar>			

▼ T5: Trans5

Comentario

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

▼ Cadenas (1)

▼ 1: <nueva cadena>

**S8: M7**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción		
		S -Poner a 1 <agregar>	"Man_Abajo"		"Man ... %Q138.3

▼ T8: Trans8

Comentario

▼ Cadenas (1)

▼ 1: <nueva cadena>

**S9: M8**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción		
		R -Poner a 0 <agregar>	"Vent_ON"		"Vent... %Q138.2

▼ T9: Trans9

Comentario

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

**S10: M9**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción		
	R	- Poner a 0 <agregar>	"Man_Abajo"		"Man ... %Q138.3

▼ T10: Trans10  
Comentario

**S12: M10**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

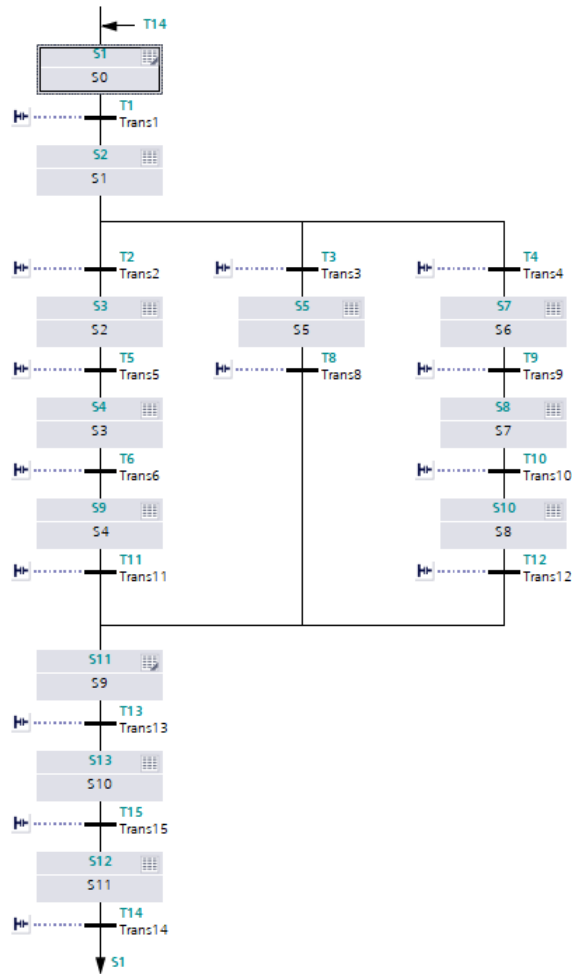
▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción		
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Pieza_en_mesa"=1		"Piez... %M11.0

▼ T12: Trans12  
Comentario

### 3.4 Sierra

#### Graph



#### Transiciones

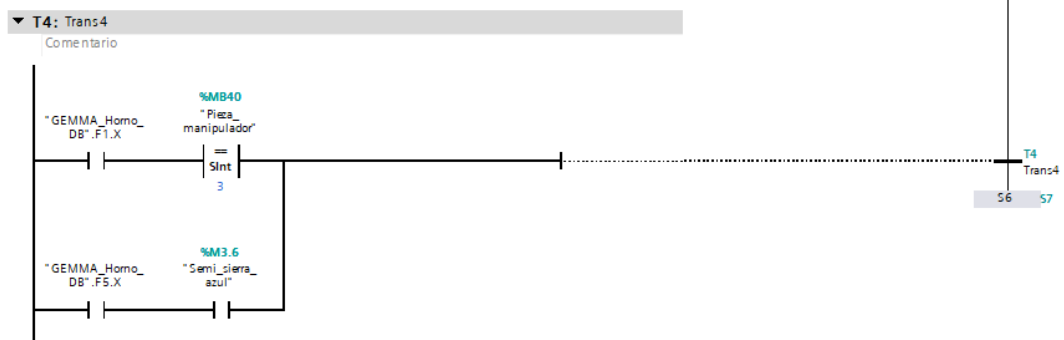
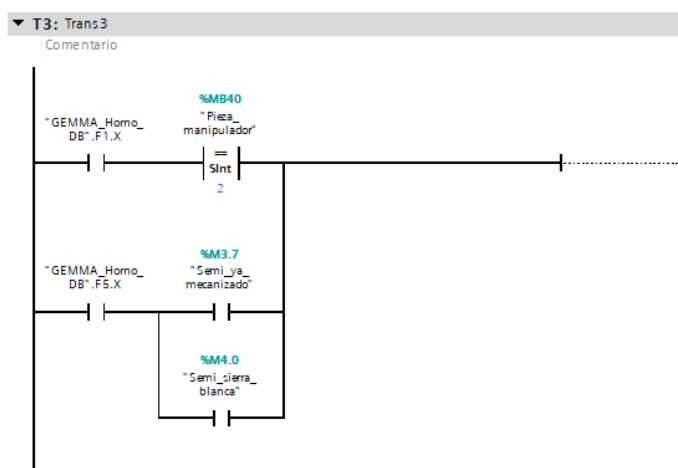
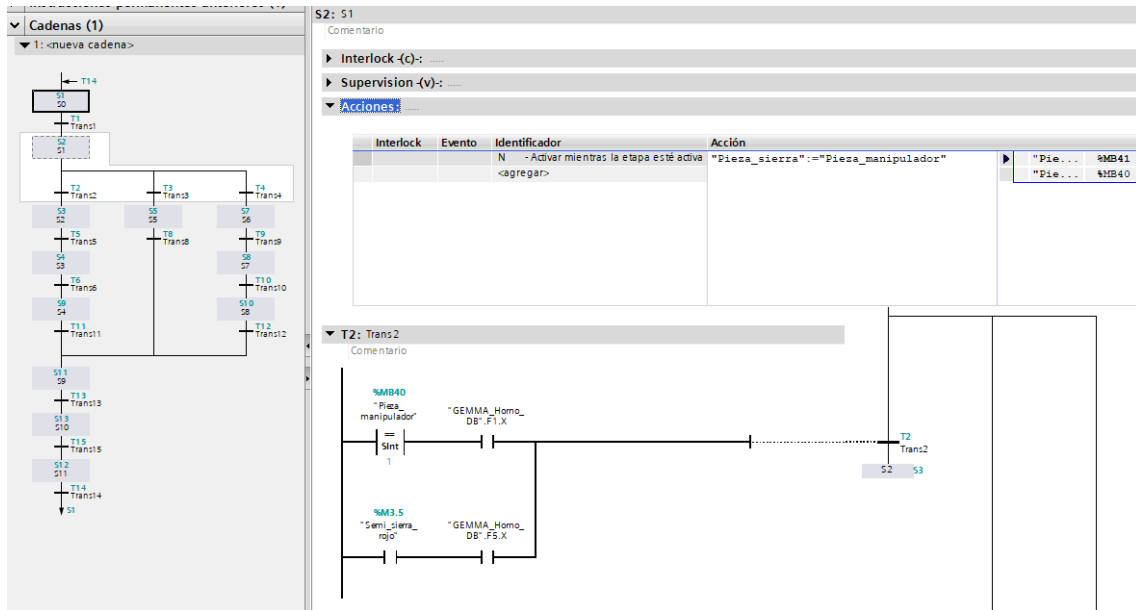
▼ Cadenas (1)  
▼ 1: <nueva cadena>

S1 - [Etapa inicial]: S0  
Comentario

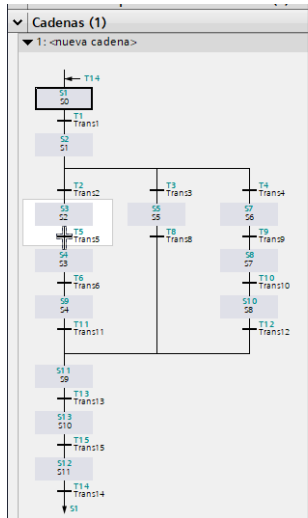
- Interlock -(c)-: .....
- Supervision -(v)-: .....
- Acciones: .....

▼ T1: Trans1  
Comentario

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



**S3: S2**  
Comentario

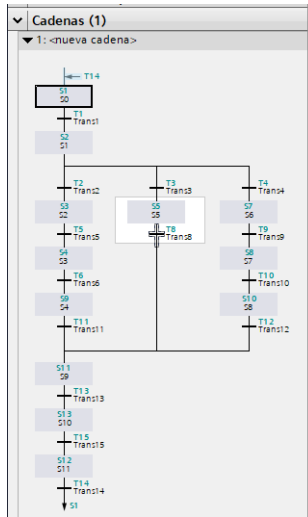
► Interlock (-c): .....

► Supervision (-v): .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Mesa_dcha"
		<agregar>	

▼ T5: Trans5  
Comentario



**S5: S5**  
Comentario

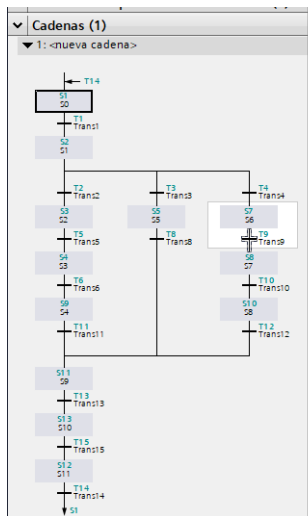
► Interlock (-c): .....

► Supervision (-v): .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Mesa_dcha"
		<agregar>	

▼ T8: Trans8  
Comentario



**S7: S6**  
Comentario

► Interlock (-c): .....

► Supervision (-v): .....

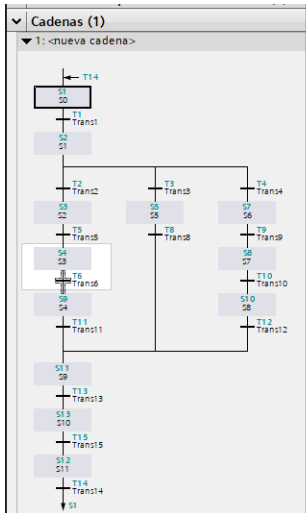
▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Mesa_dcha"
		<agregar>	

▼ T9: Trans9  
Comentario



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



**S4: S3**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

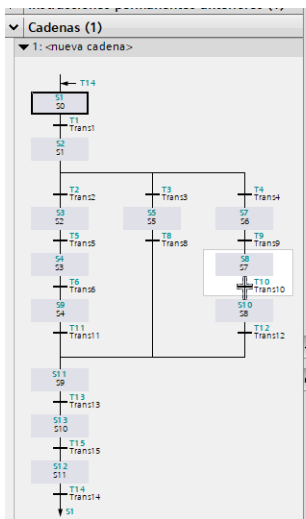
Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Sierra_ON"
			"Sle... %Q136.3

▼ T6: Trans6  
Comentario

"T\_Sierra\_Bojo".Q

T6 Trans6

S4 S9



**S8: S7**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

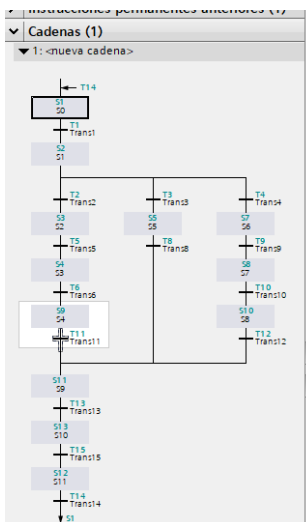
Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Sierra_ON"
			"Sle... %Q136.3

▼ T10: Trans10  
Comentario

"T\_Sierra\_Azul".Q

T10 Trans10

S8 S10



**S9: S4**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Mesa_dcha"
			"Mesa... %Q136.0

▼ T11: Trans11  
Comentario

%I34.6  
"M\_Grta"

T11 Trans11

S9 S11

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

**Cadenas (1)**

▼ 1: <nueva cadena>

**S10: 58**

Comentario

► Interlock (-c):

► Supervision (-v):

▼ Acciones:

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Mesa_dcha"

▼ T12: Trans12

Comentario

**Cadenas (1)**

▼ 1: <nueva cadena>

**S11: 59**

Comentario

► Interlock (-c):

► Supervision (-v):

► Acciones:

▼ T13: Trans13

Comentario

**Cadenas (1)**

▼ 1: <nueva cadena>

**S13: 510**

Comentario

► Interlock (-c):

► Supervision (-v):

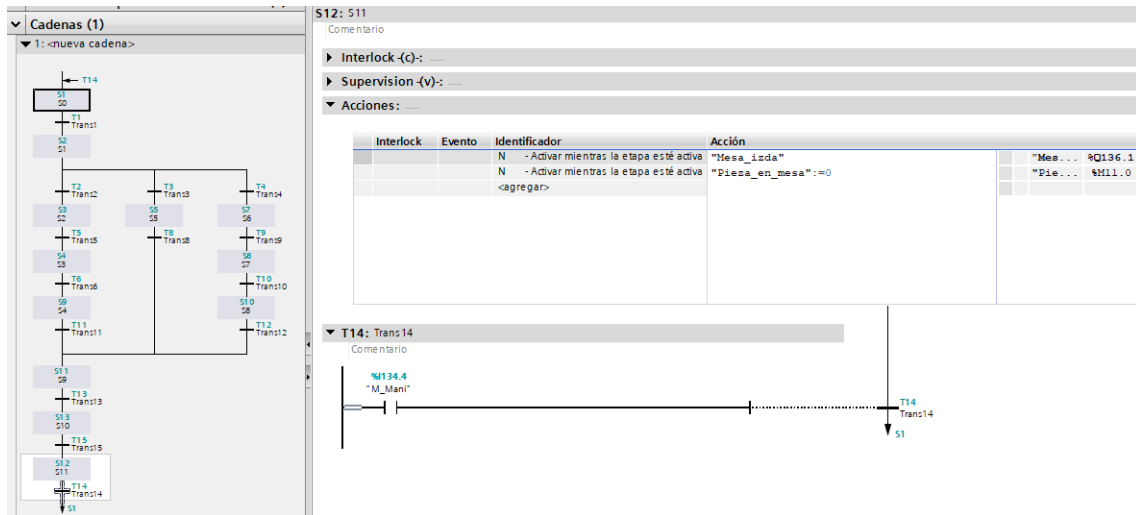
▼ Acciones:

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Emp_ON"

▼ T15: Trans15

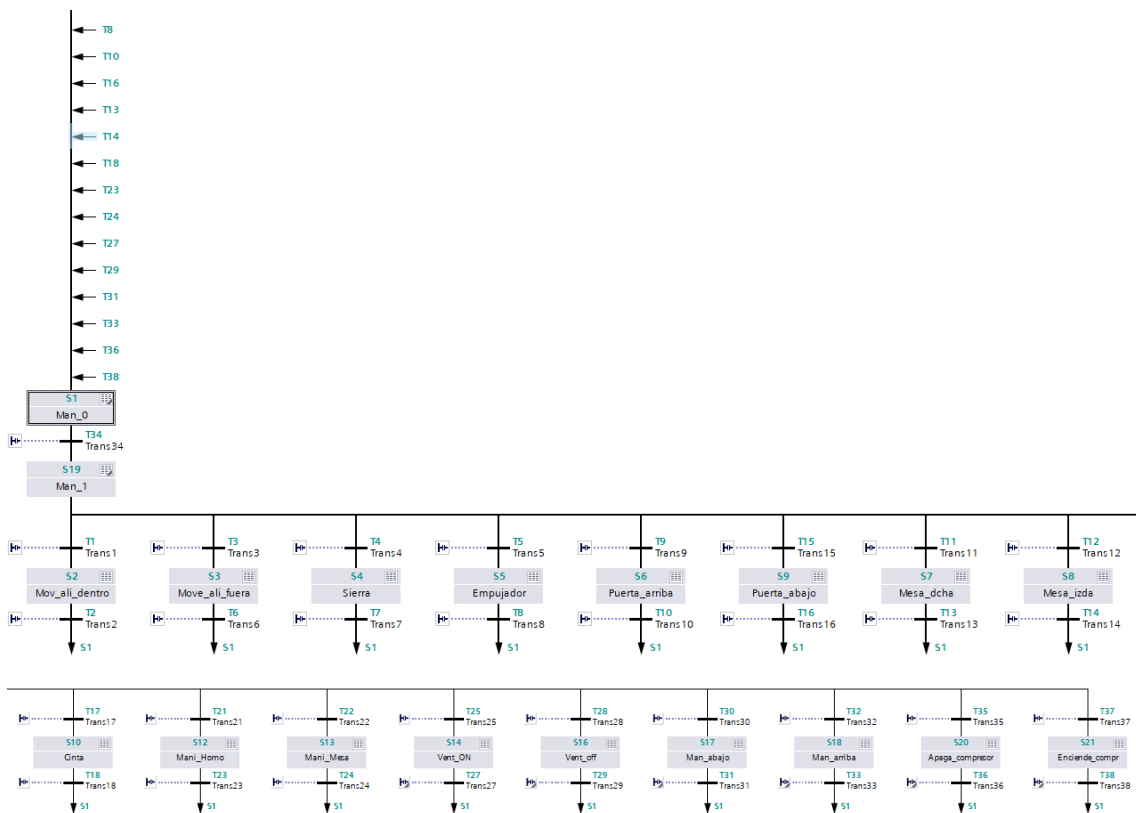
Comentario

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

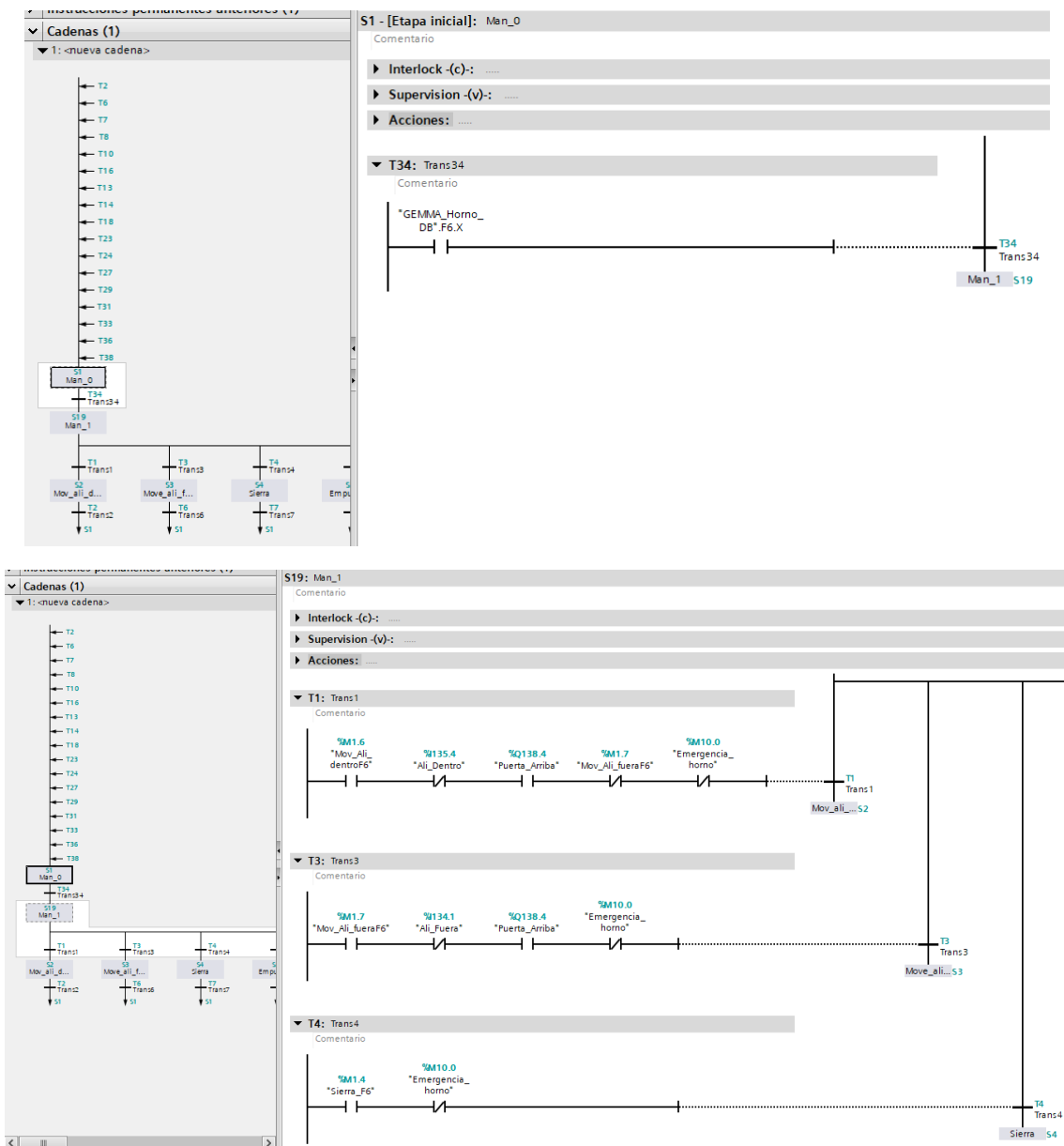


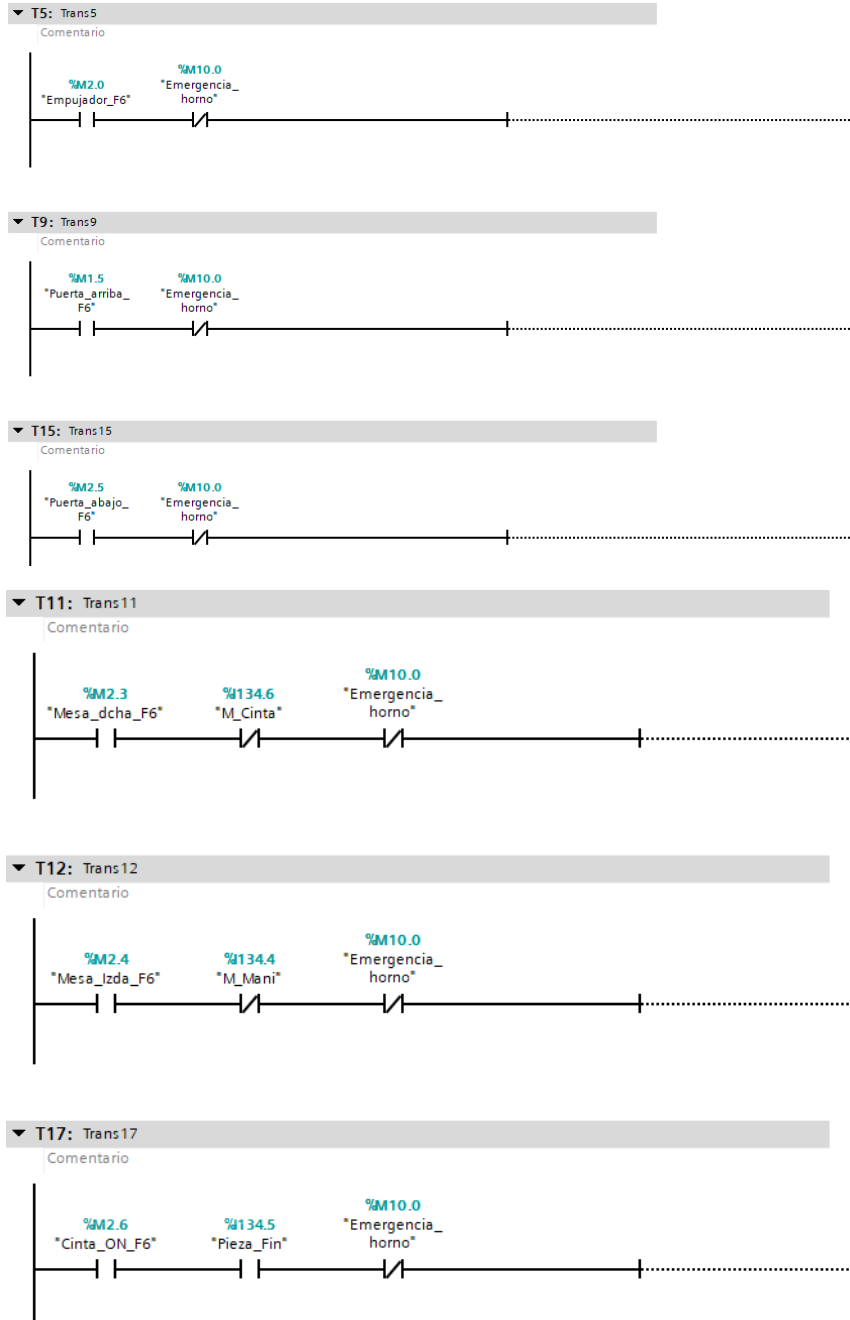
### 3.5 Manual (F6)

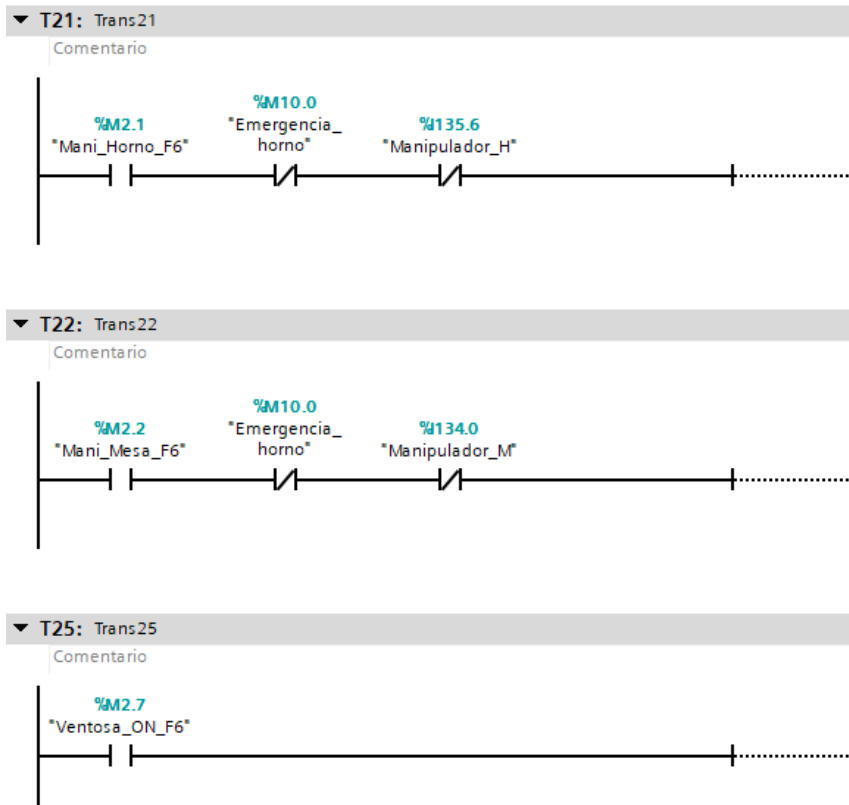
#### Graph



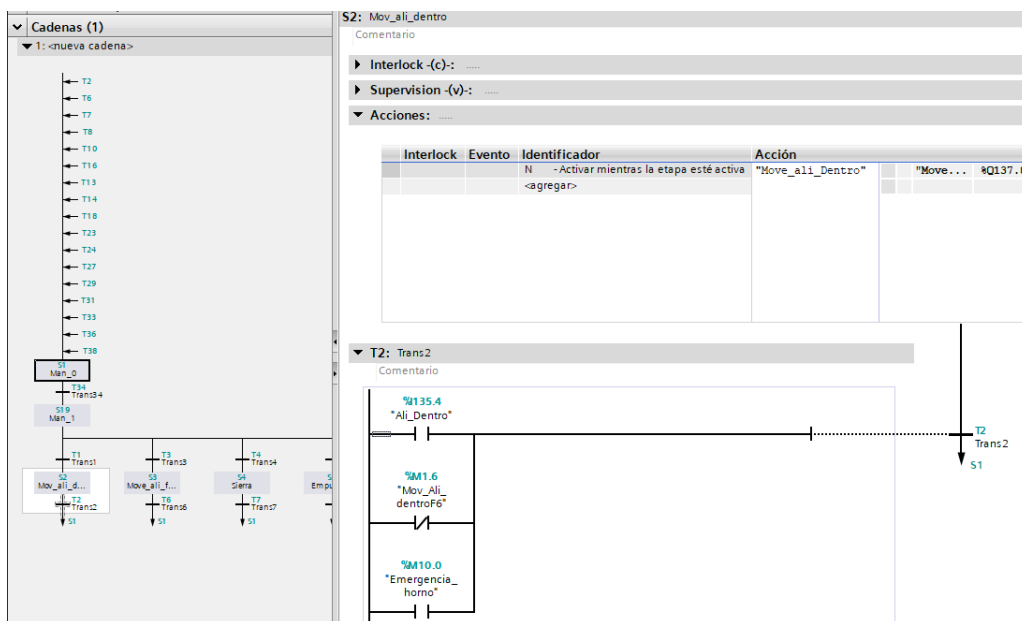
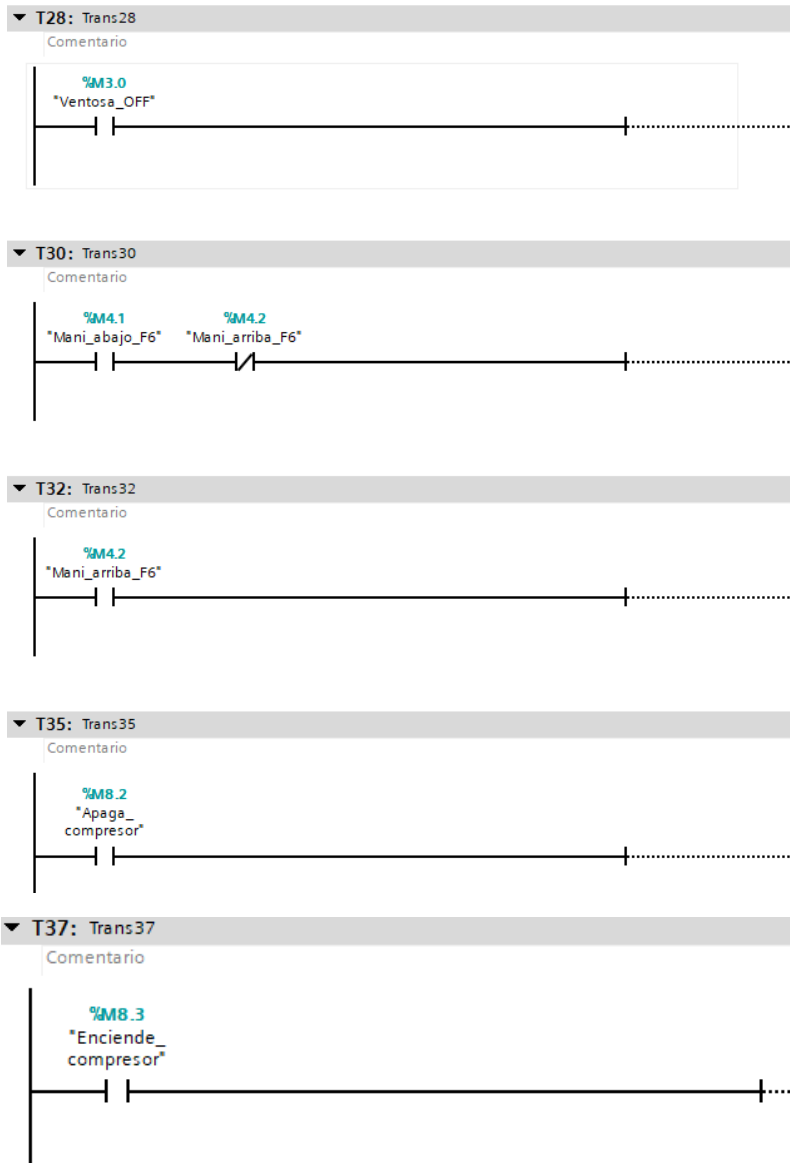
## Transiciones



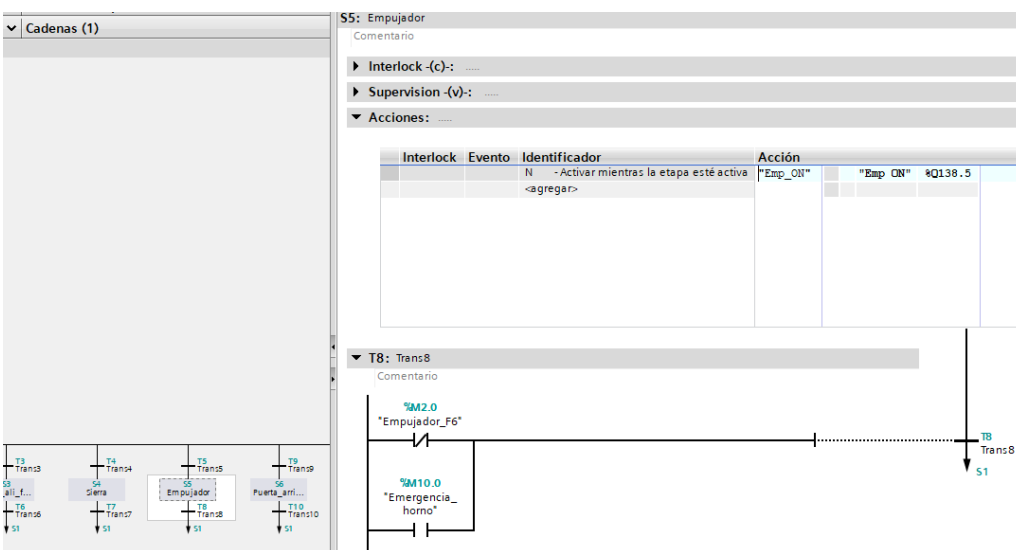
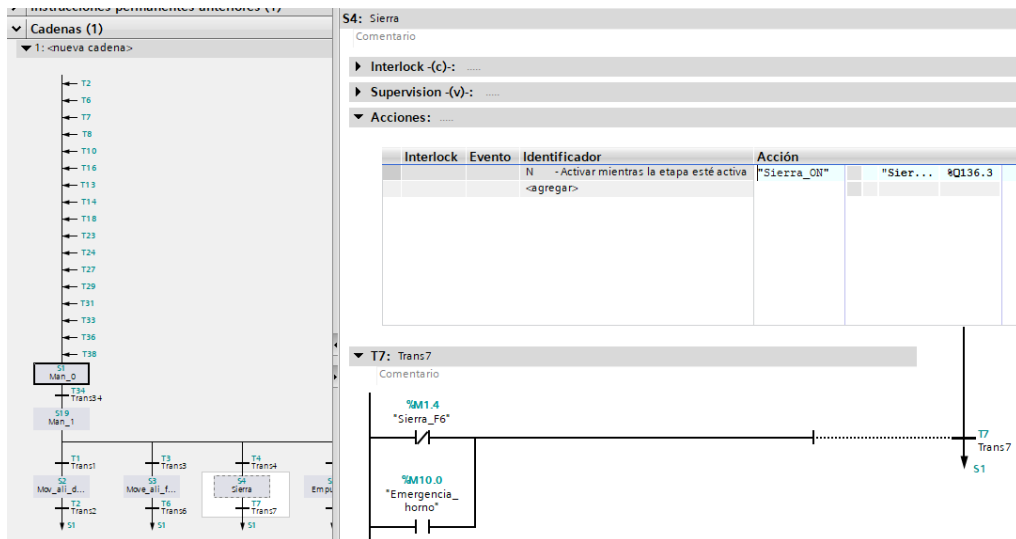
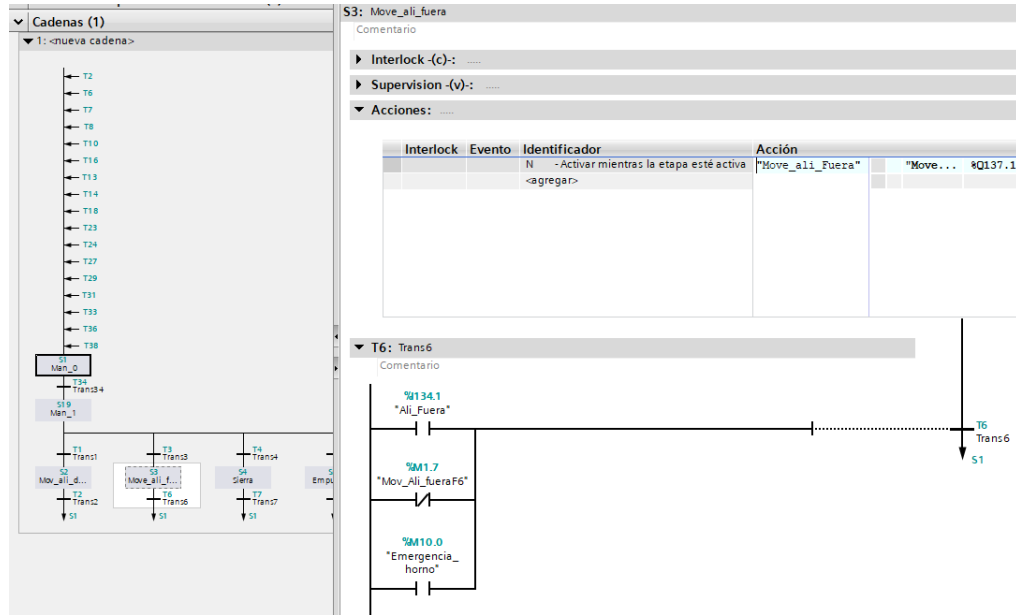




Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

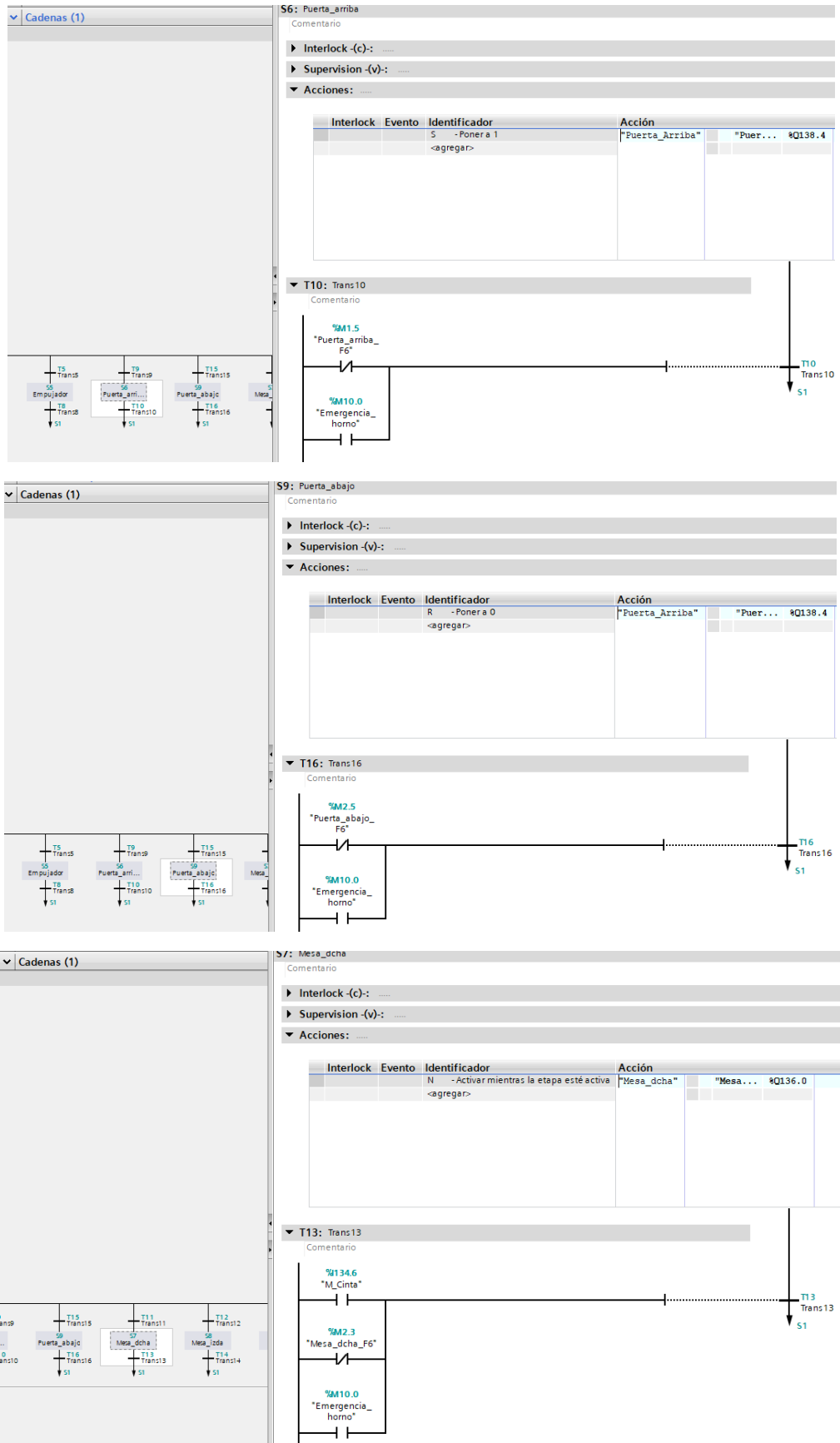


Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

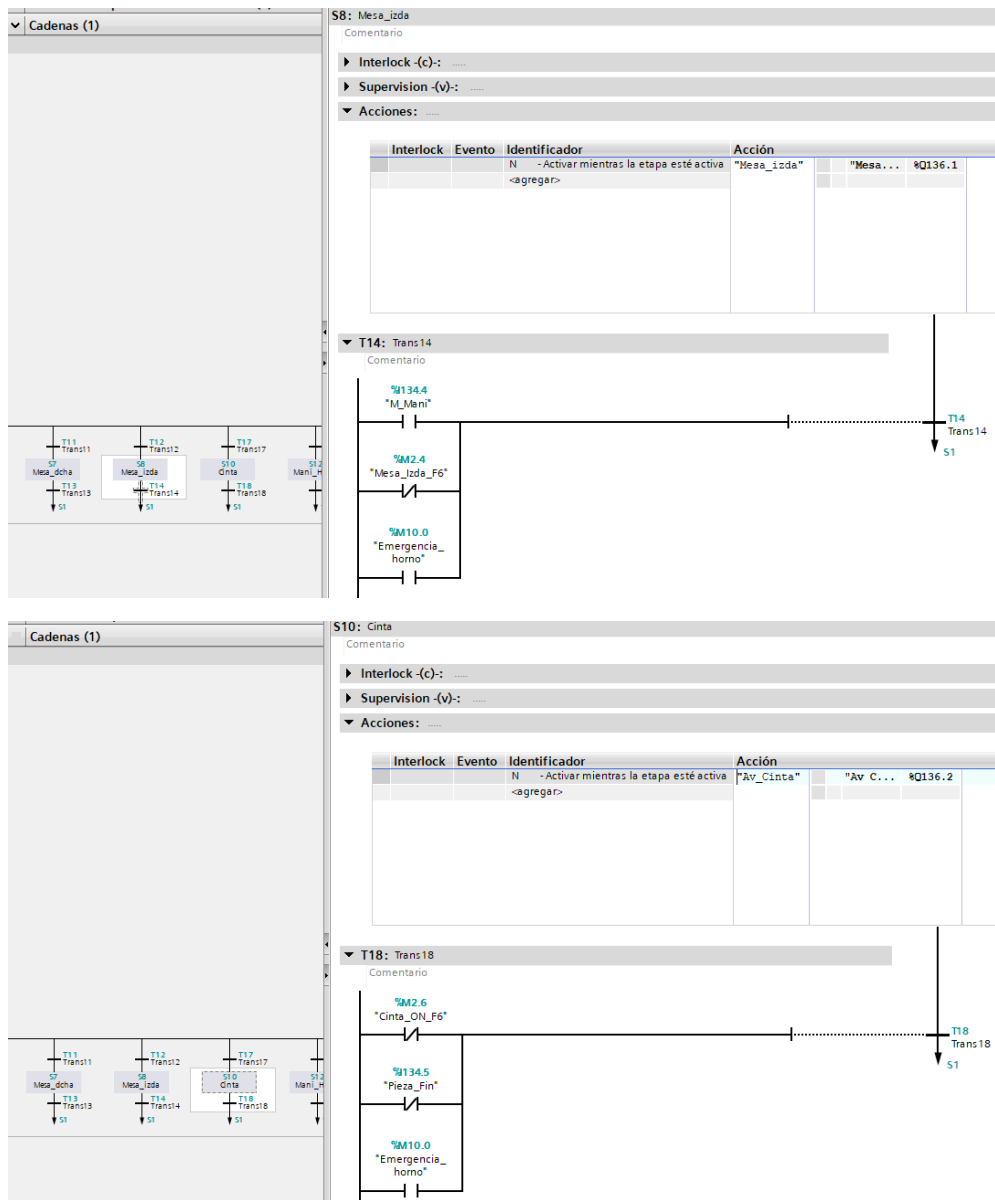




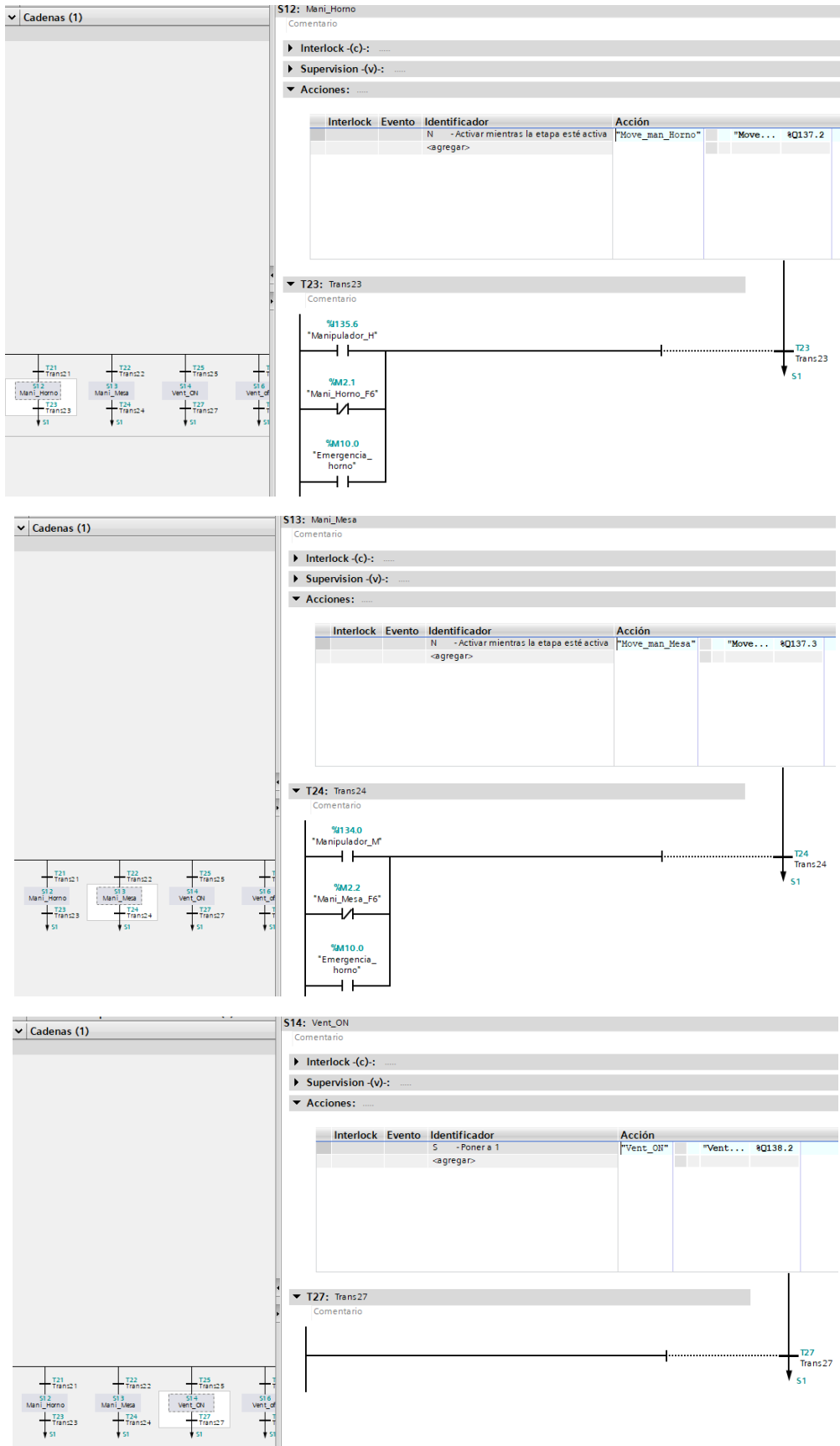
Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

▼ Cadenas (1)

**S16: Vent\_off**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	R	- Poner a 0 <agregar>	"Vent_ON"   "Vent... #Q138.2"

▼ T29: Trans29  
Comentario

▼ Cadenas (1)

**S17: Man\_abajo**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	S	- Poner a 1 <agregar>	"Man_Abajo"   "Man ... #Q138.3"

▼ T31: Trans31  
Comentario

▼ Cadenas (1)

**S18: Man\_arriba**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	R	- Poner a 0 <agregar>	"Man_Abajo"   "Man ... #Q138.3"

▼ T33: Trans33  
Comentario

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

**S20: Apaga\_compresor**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	R	- Poner a 0 <agregar>	"Compr_ON" "Comp... 8Q138.1"

▼ T36: Trans36

Comentario

**S21: Enciende\_compr**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	S	- Poner a 1 <agregar>	"Compr_ON" "Comp... 8Q138.1"

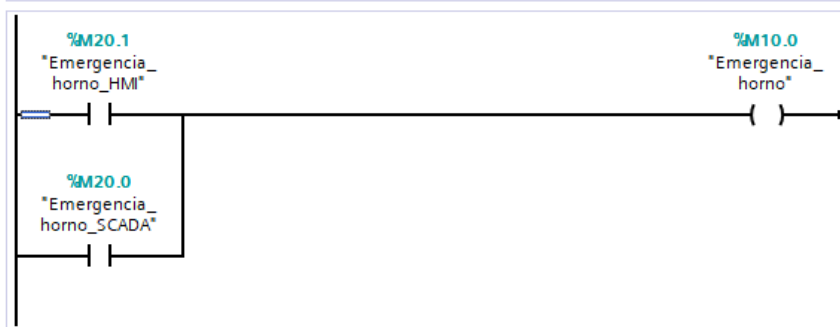
▼ T38: Trans38

Comentario

### 3.6 Auxiliares horno

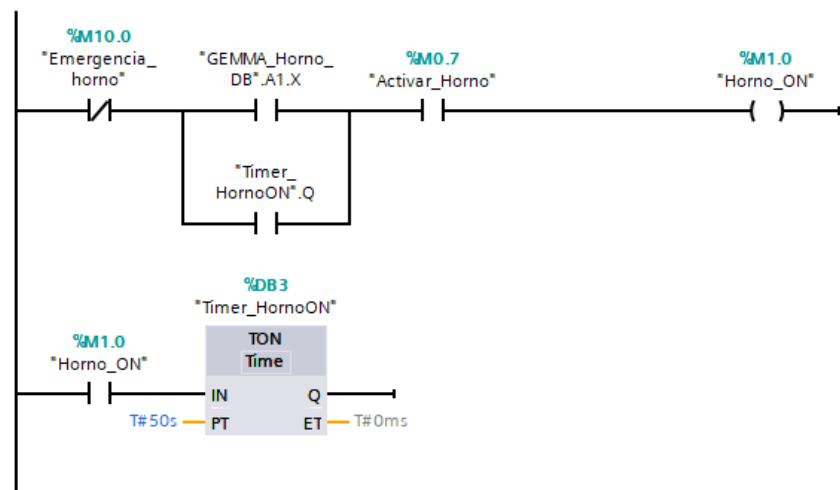
**Segmento 1: Seta emergencia del horno**

Comentario



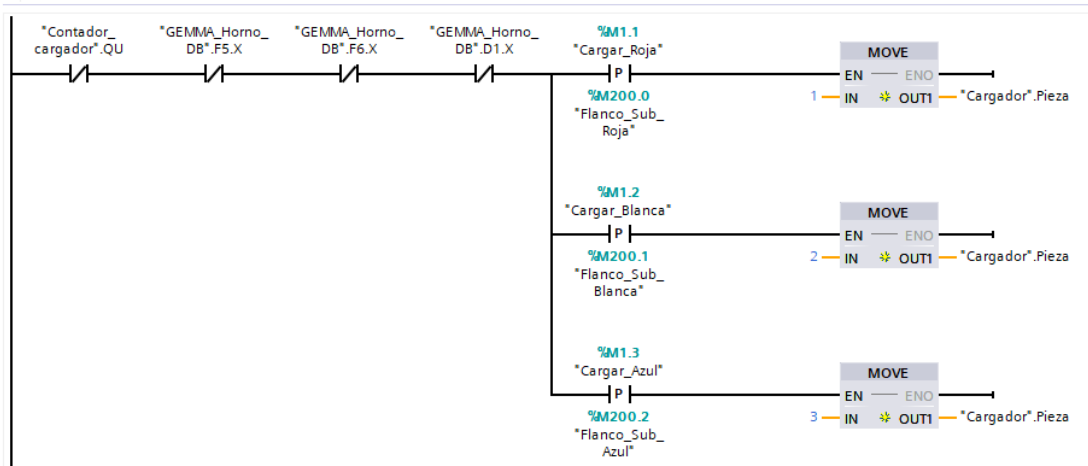
**Segmento 2: Encendido del horno**

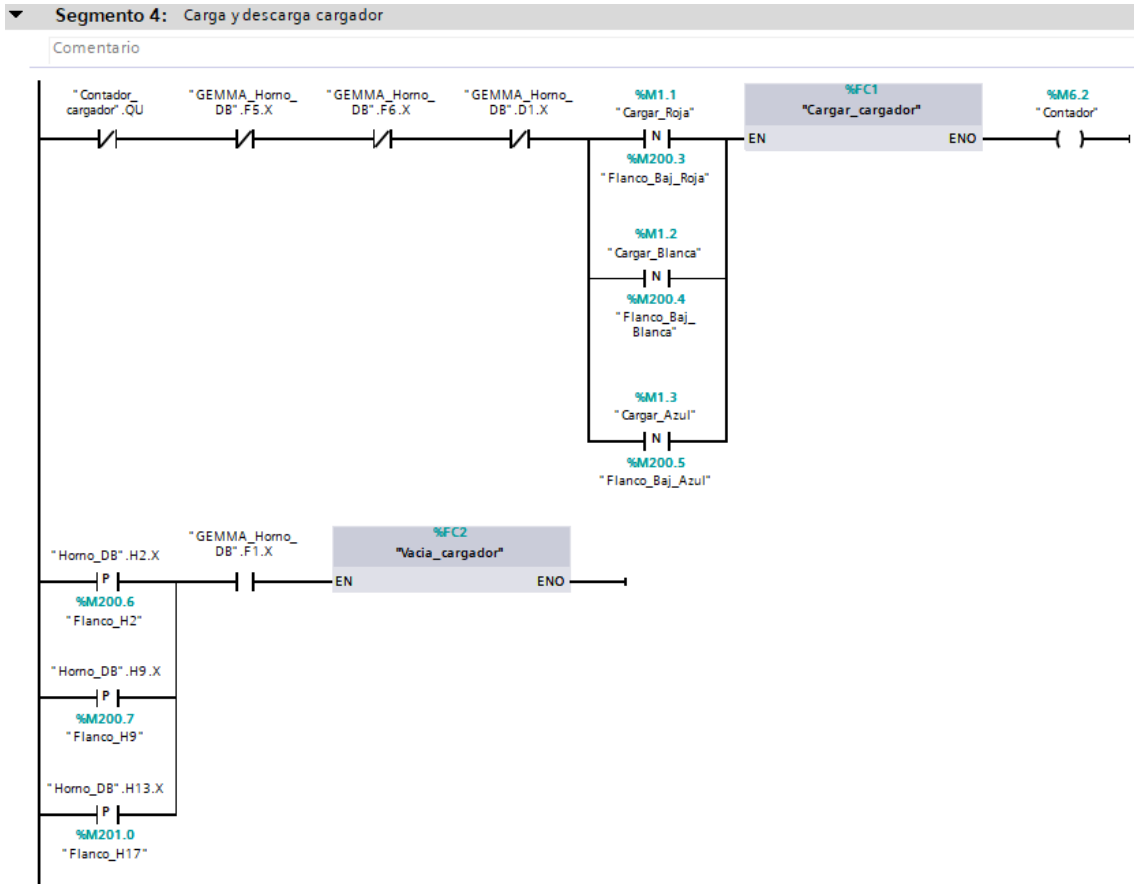
Se simula el tiempo de calentamiento para que el horno alcance la temperatura requerida



**Segmento 3: Selección tipo pieza**

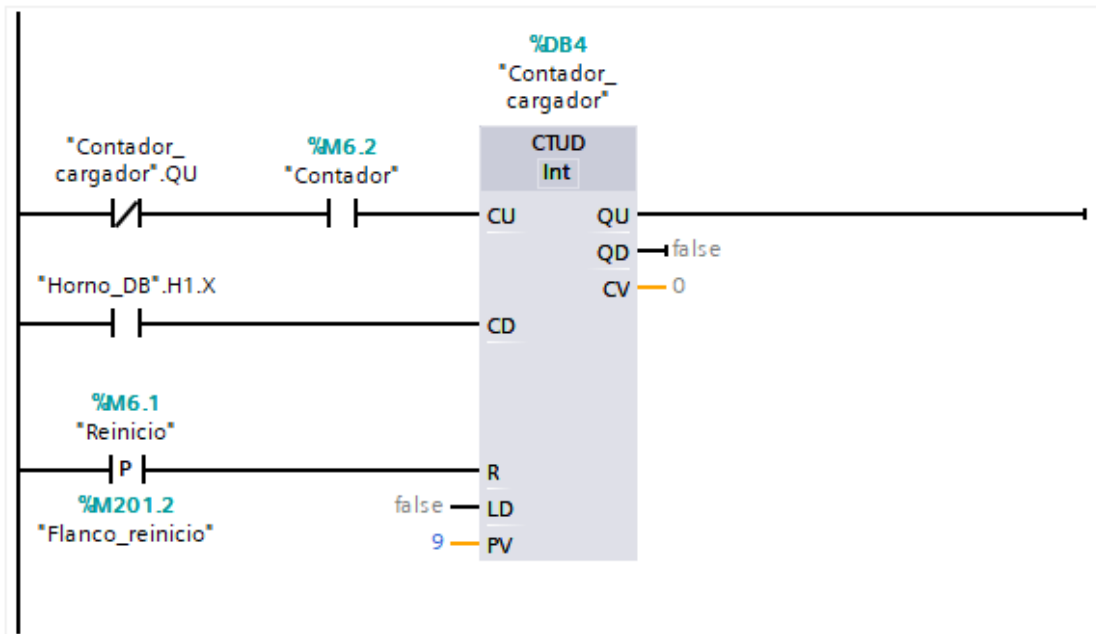
Se guarda la pieza que se va a cargar en el cargador en la variable 'Cargador'.Pieza





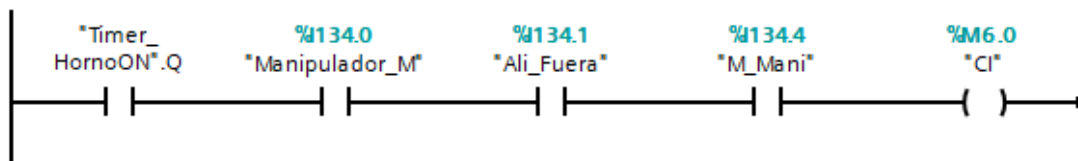
▼ **Segmento 5: Contador Cargador**

Piezas que quedan en el cargador



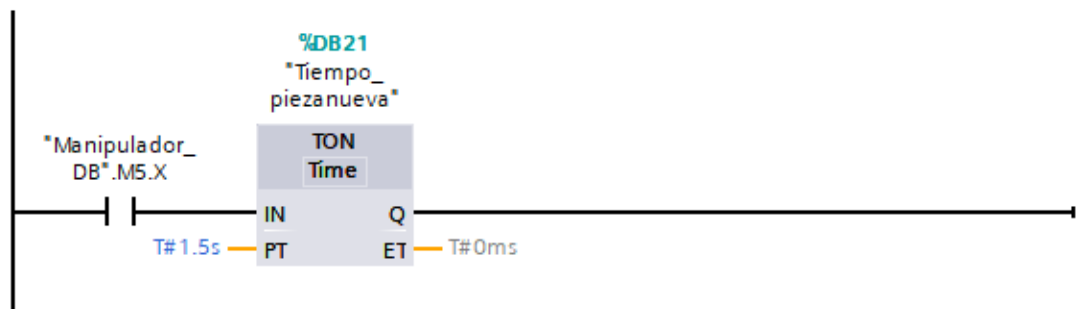
▼ **Segmento 6: CI**

Cumplimiento de las condiciones iniciales



▼ **Segmento 7: Temporizador auxiliar del grafctet horno**

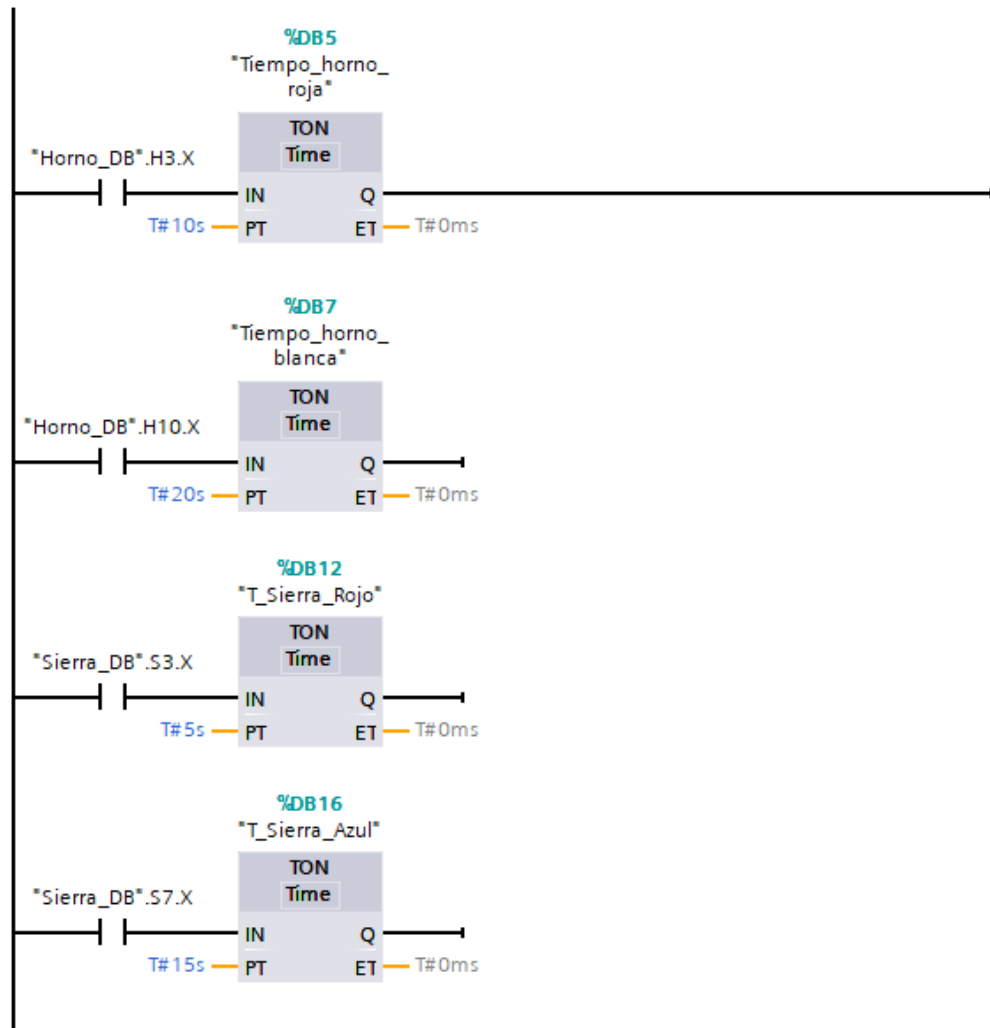
Comentario





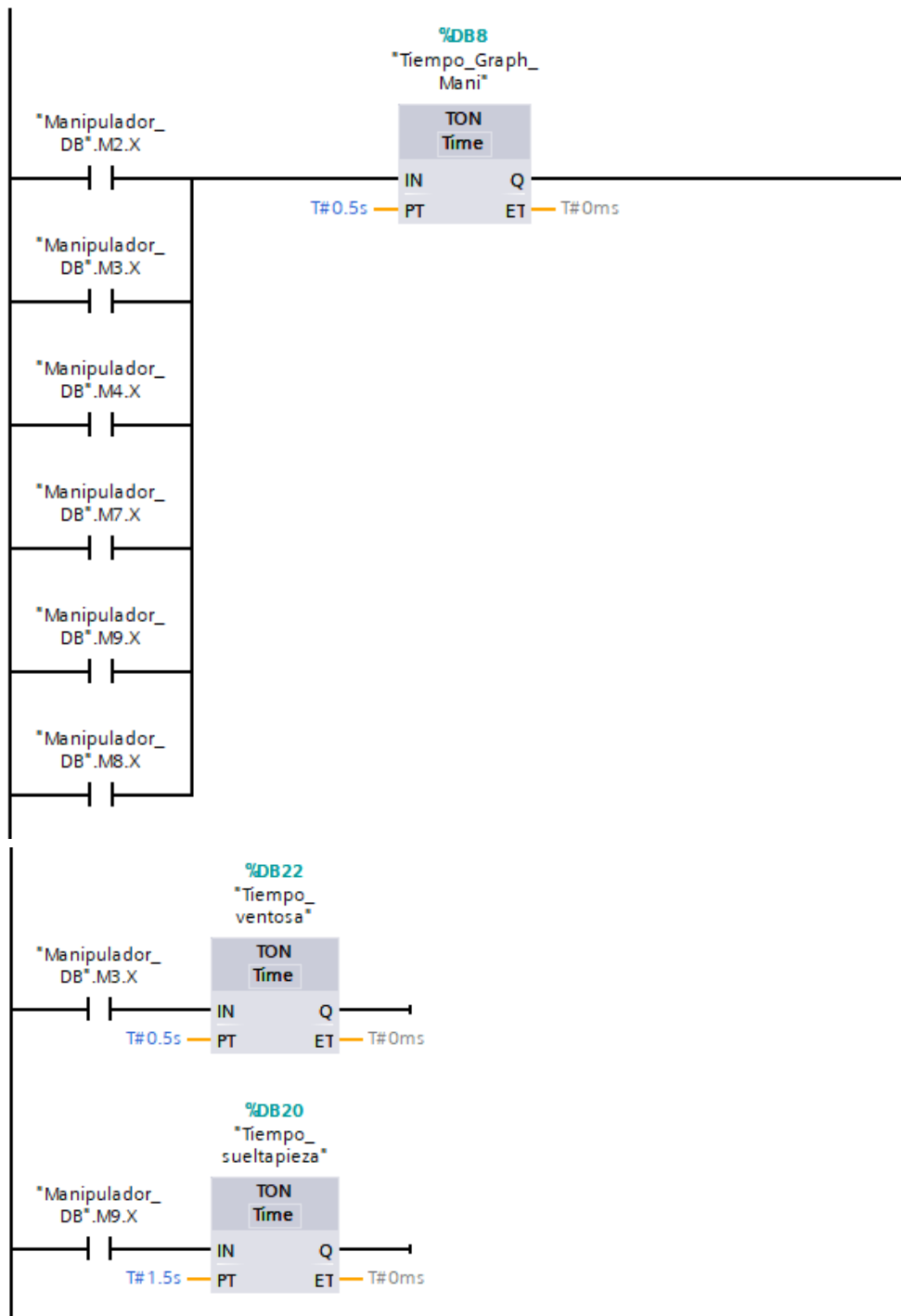
▼ **Segmento 8:** Temporizadores operaciones en piezas

Comentario



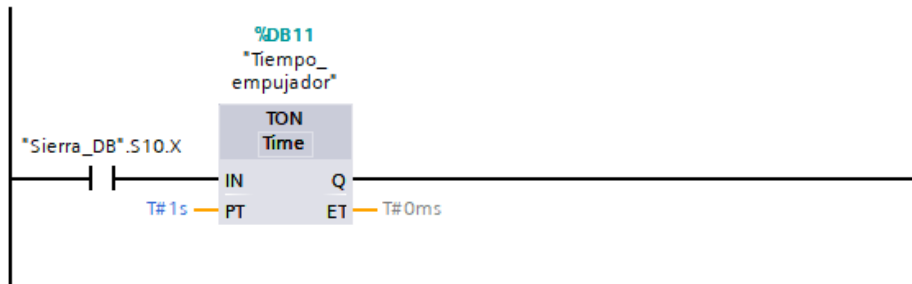
▼ **Segmento 9:** Temporizador auxiliar del grafset manipulador

Comentario



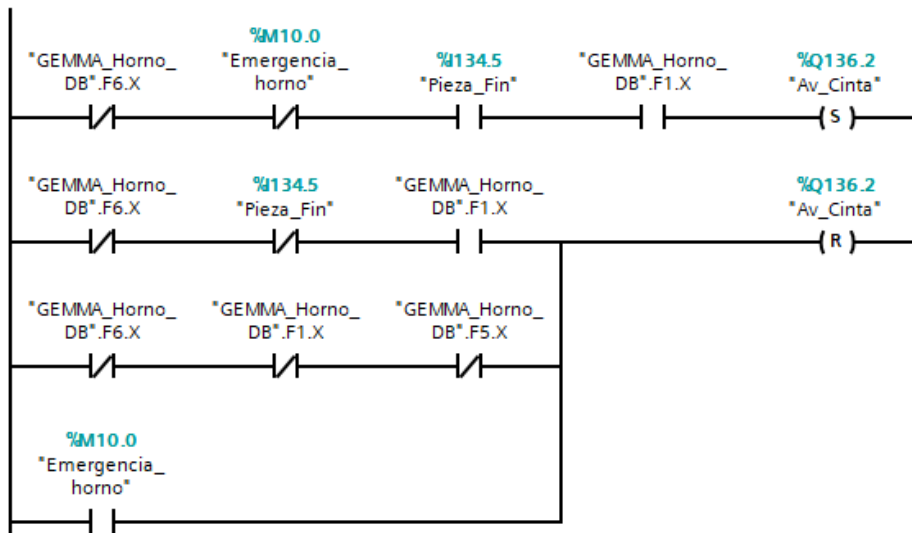
▼ **Segmento 10: Temporizador empujador**

Comentario



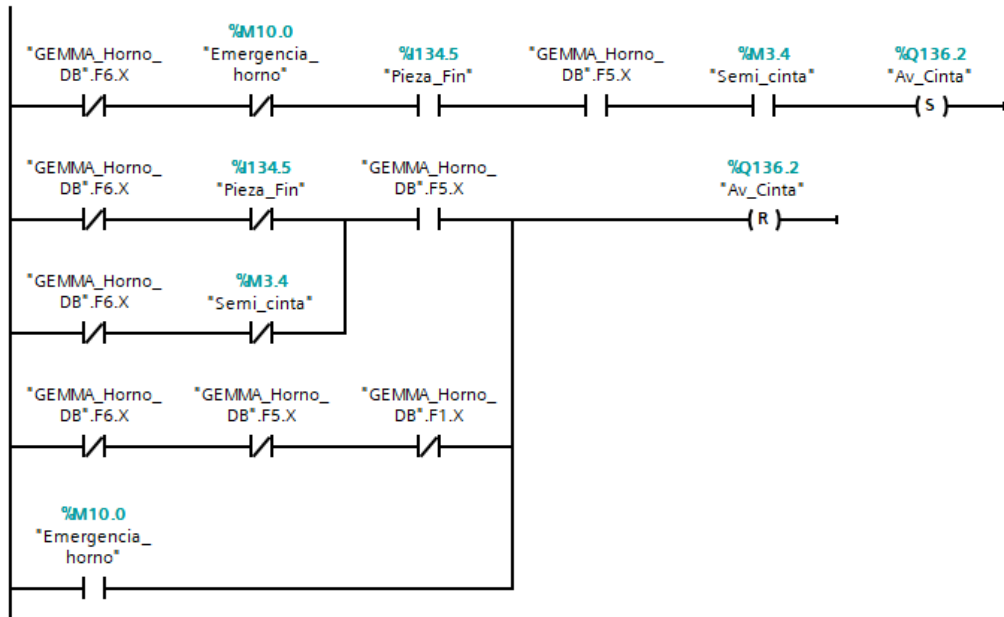
▼ **Segmento 11: Cinta horno F1**

- Funcionamiento de la cinta que conecta los dos procesos, funciona de forma continua a no ser que se detecte una pieza al final o se active la emergencia. En este segmento se controla la cinta en el modo automático (F1)



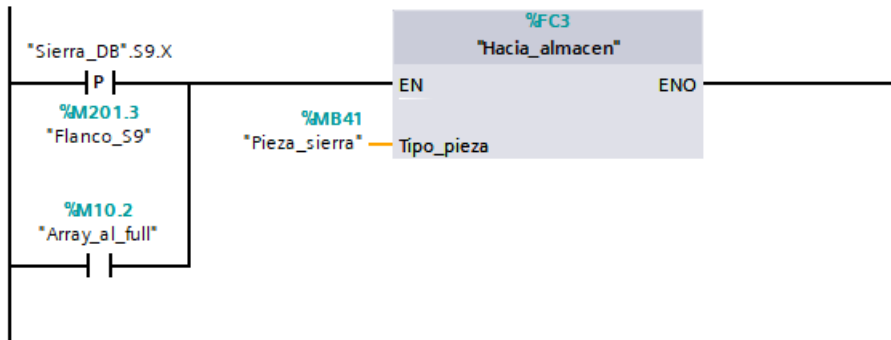
**Segmento 12: Cinta horno F5**

Funcionamiento de la cinta que conecta los dos procesos, funciona de forma continua a no ser que se detecte una pieza al final o se active la emergencia. En este segmento se controla la cinta en el modo semi-automático (F5)



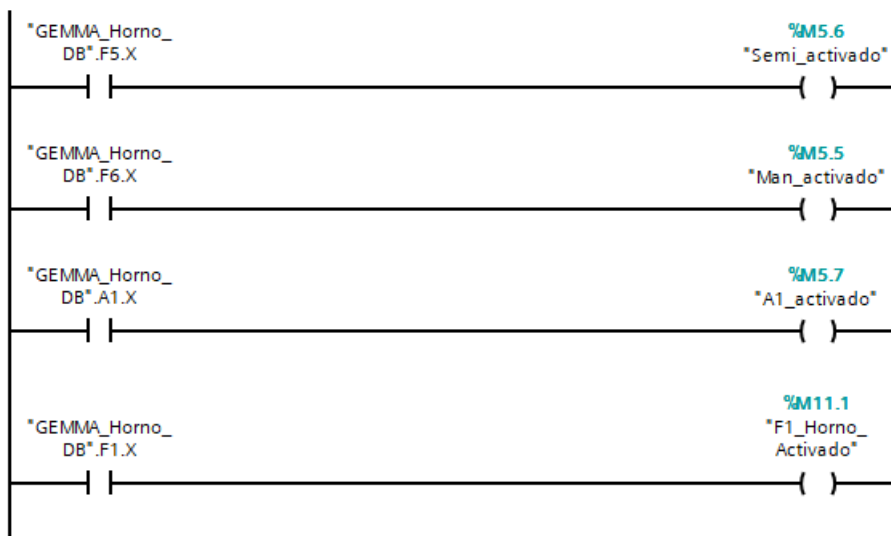
**Segmento 13: Vector hacia almacen**

Para informar de que pieza llega al almacen, se genera un vector nuevo con las piezas que salen ...



**Segmento 14: Indicador de estados para HMI**

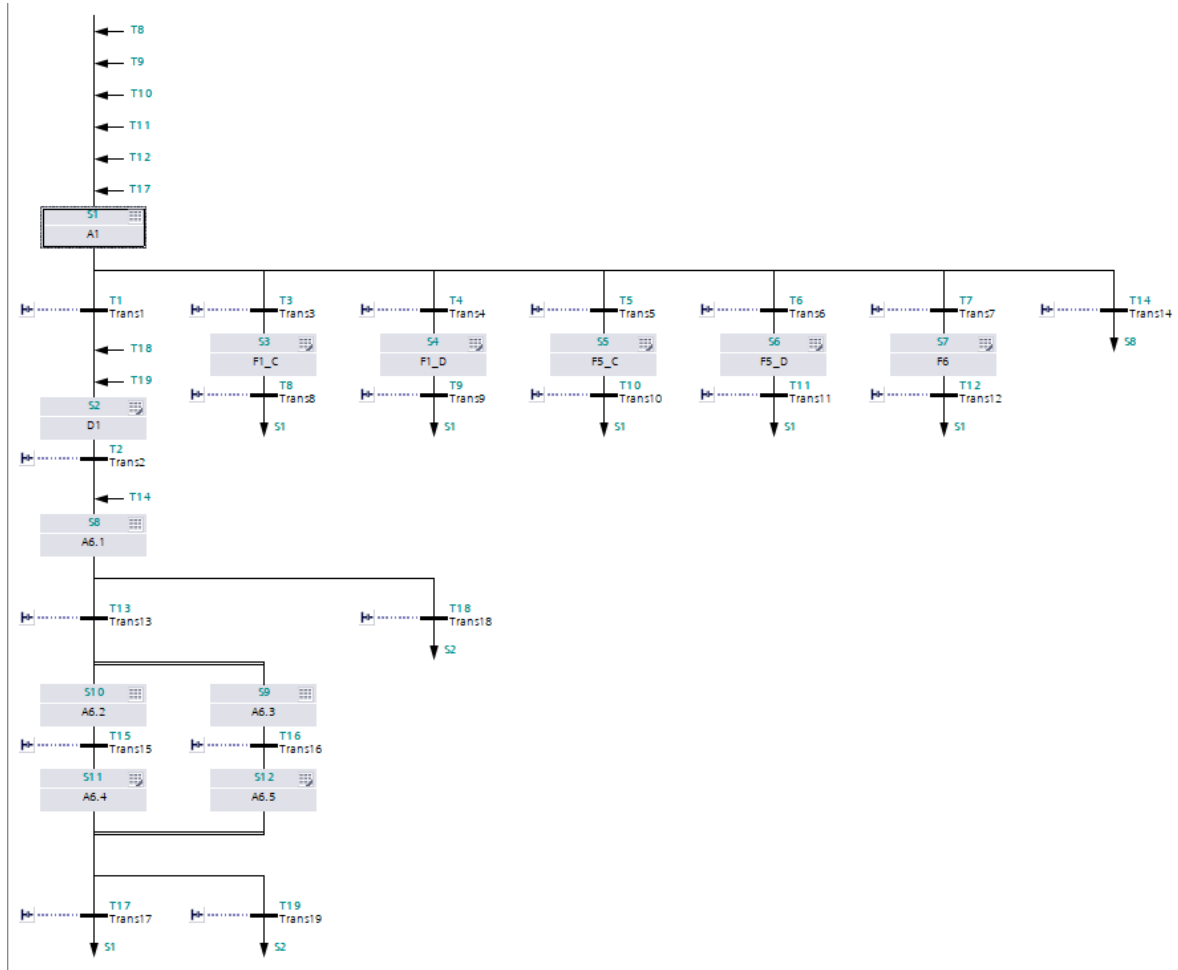
Comentario



## 4. Programa almacén

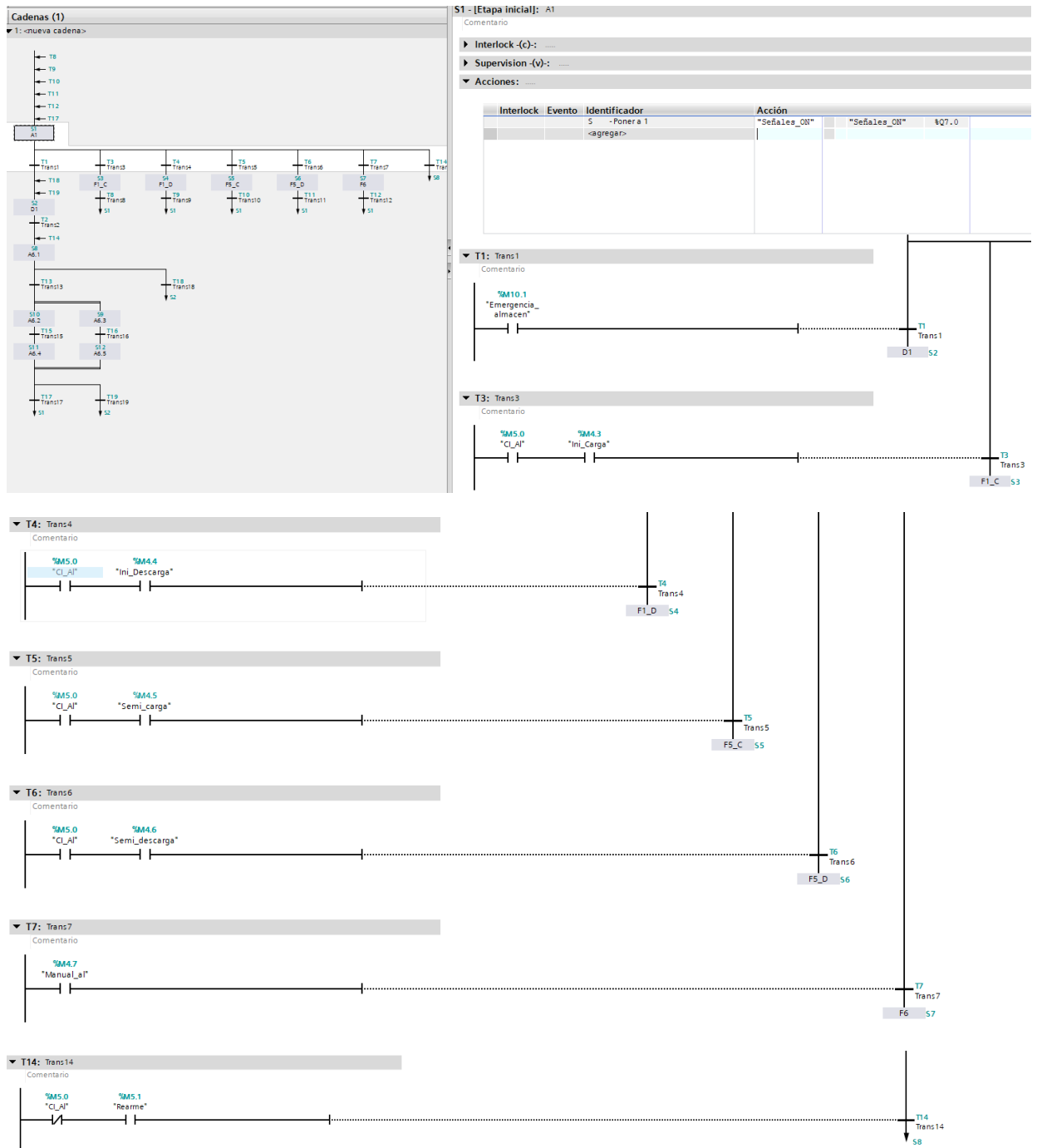
### 4.1 GEMMA

#### Graph

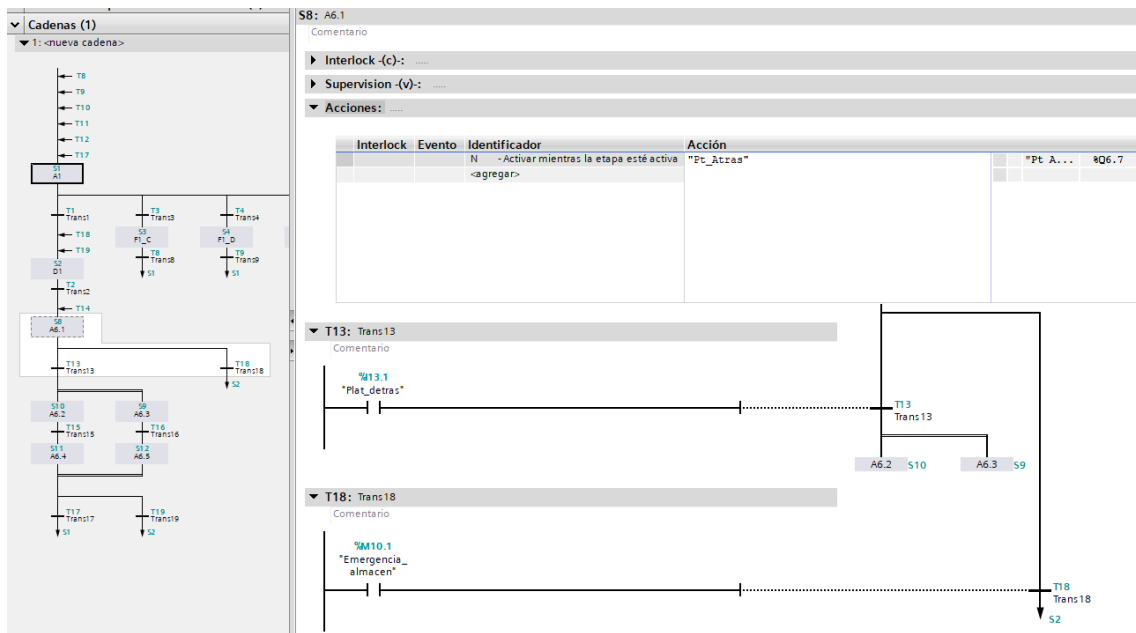
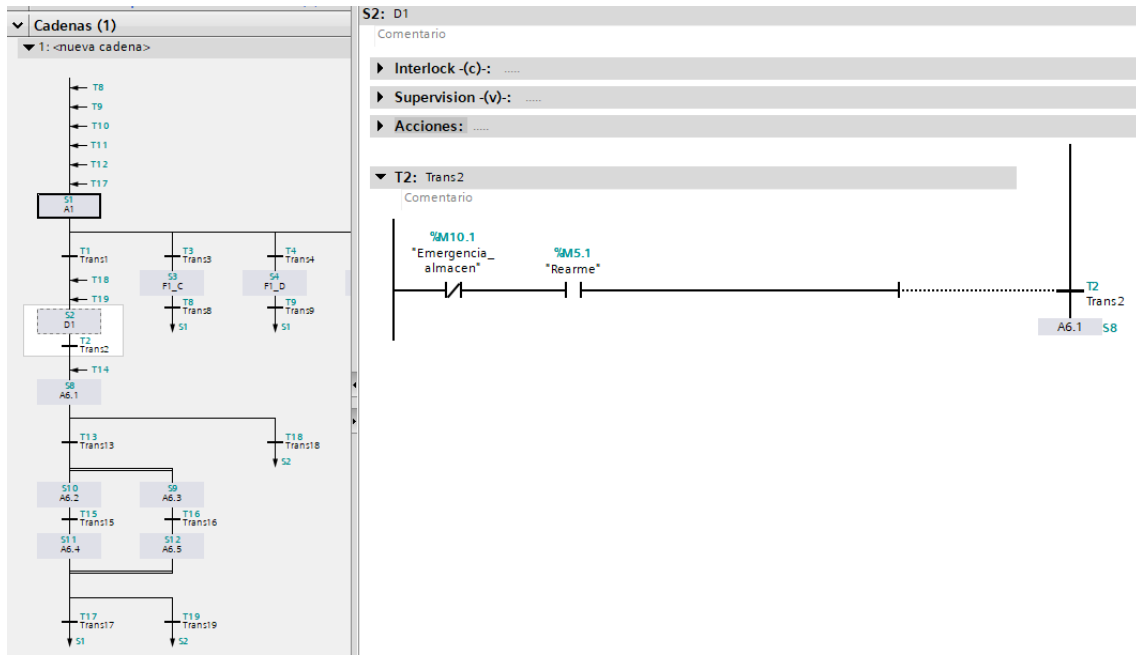


## Transiciones

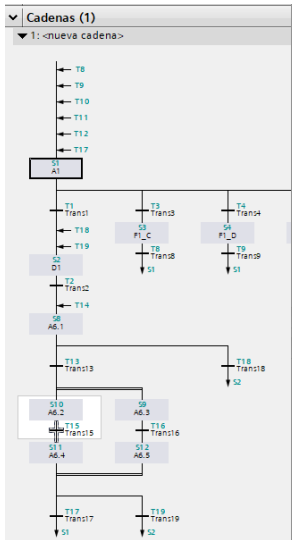
La ventana de las acciones en las etapas en las que no se realiza ninguna acción se oculta.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

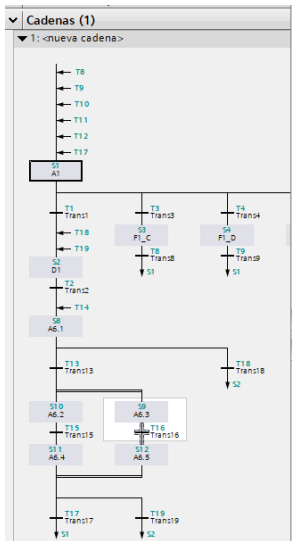


**S10: A6.2**  
Comentario

► Interlock -(c)-: ....  
► Supervision -(v)-: ....  
► Acciones: ....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Rt_Horizontal"

► **T15: Trans15**  
Comentario

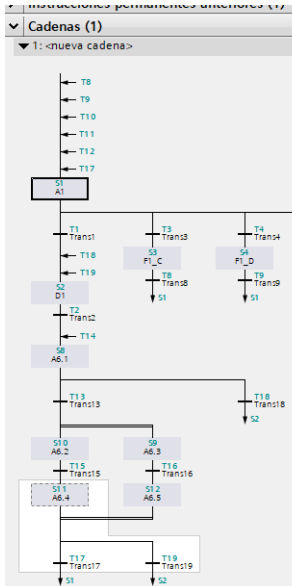


**S9: A6.3**  
Comentario

► Interlock -(c)-: ....  
► Supervision -(v)-: ....  
► Acciones: ....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Arriba_vertical"

► **T16: Trans16**  
Comentario



**S11: A6.4**  
Comentario

► Interlock -(c)-: ....  
► Supervision -(v)-: ....  
► Acciones: ....

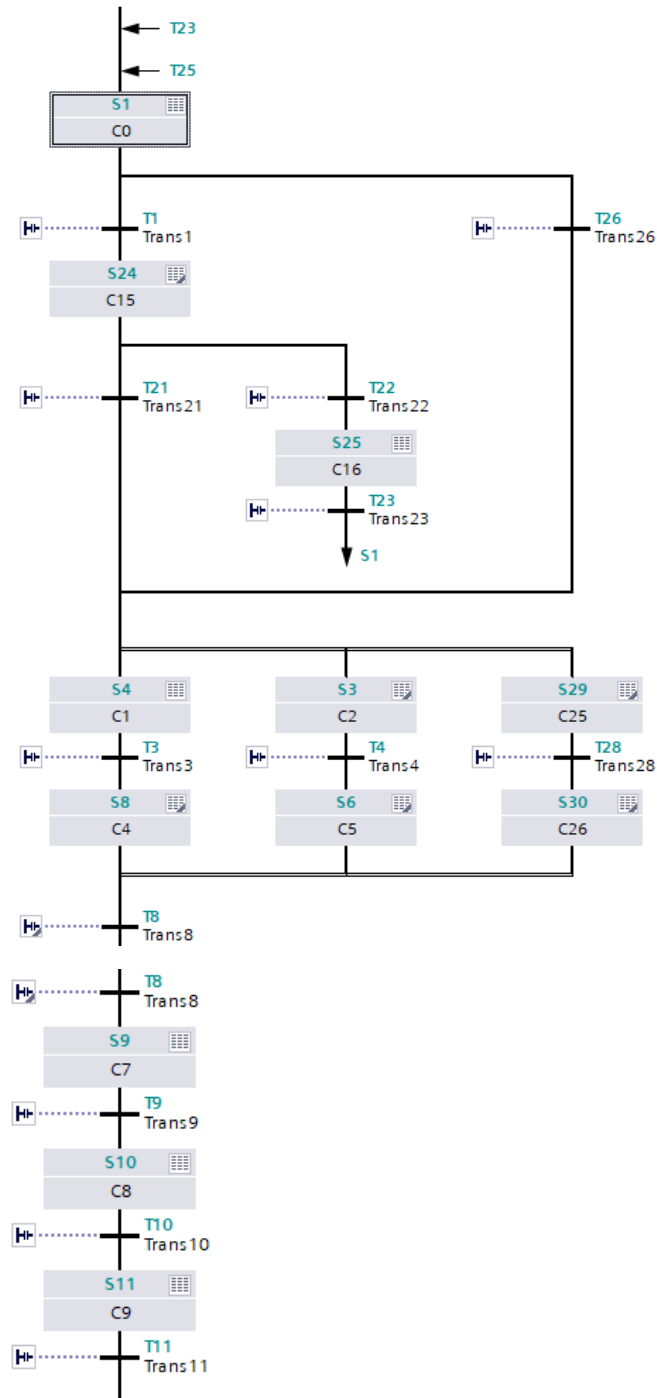
► **T17: Trans17**  
Comentario

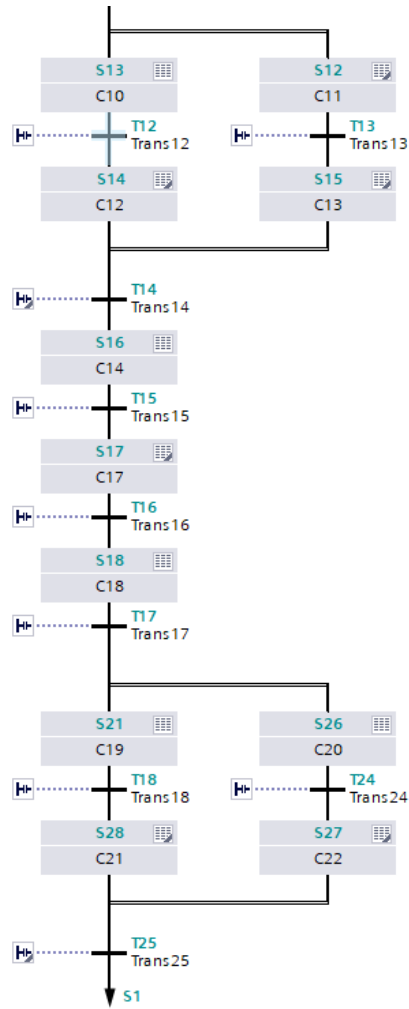
► **T19: Trans19**  
Comentario



## 4.2 Carga (F1\_C, carga automática y semiautomática)

### Graph





## Transiciones

▼ Cadenas (1)

▼ 1: <nueva cadena>

S1 - [Etapa inicial]: C0

Comentario

► Interlock -(c)-: ...

► Supervision -(v)-: ...

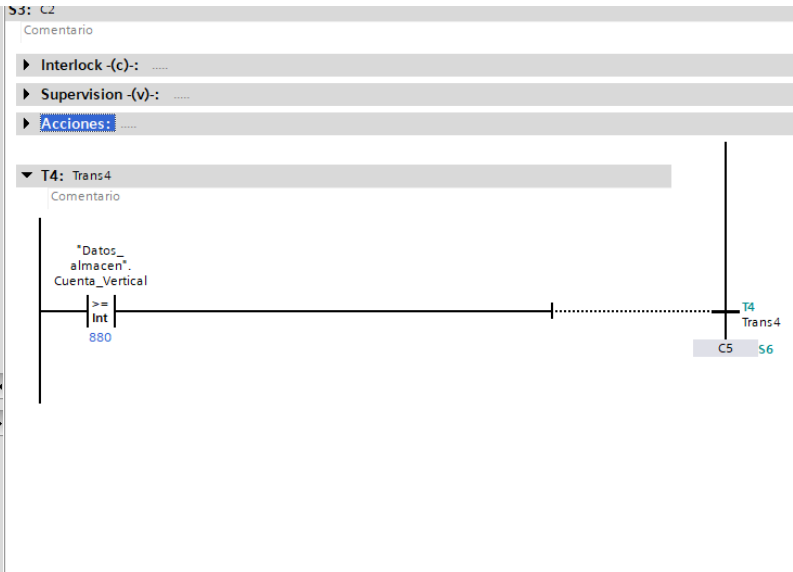
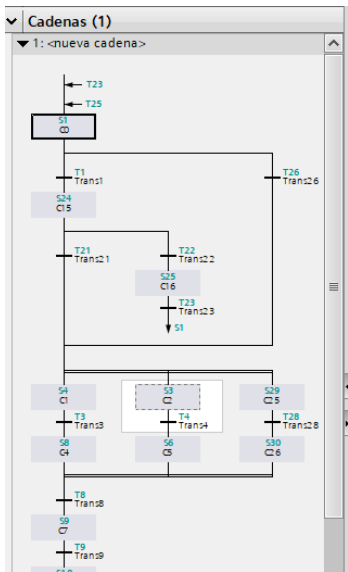
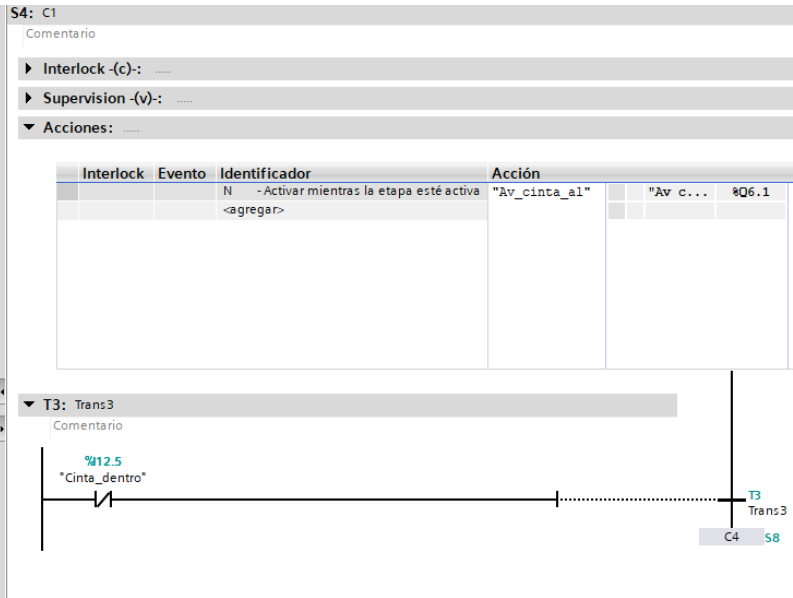
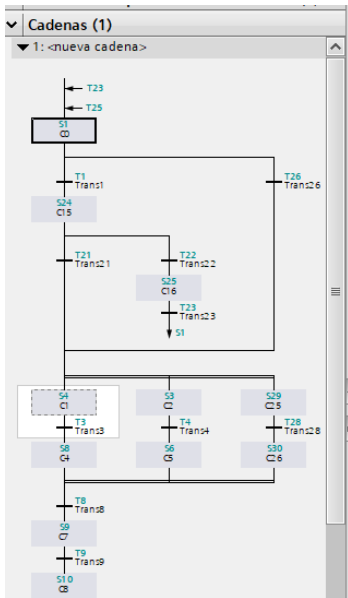
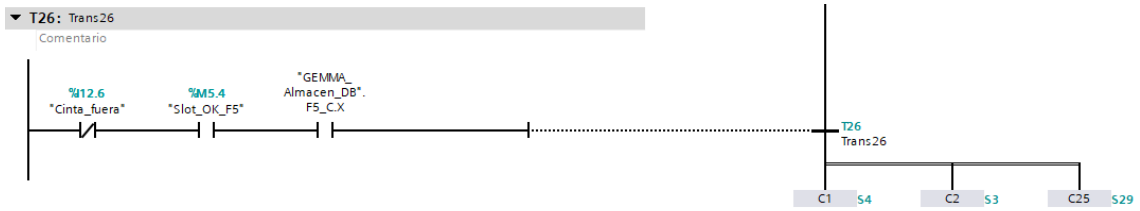
▼ Acciones: ...

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa	"Almacen_lleno":=0
	<agregar>		"Alma... 8M10.3

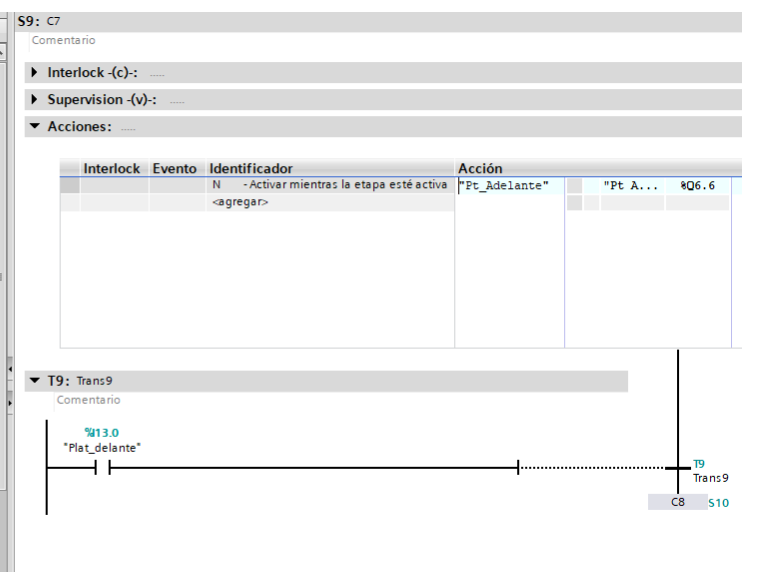
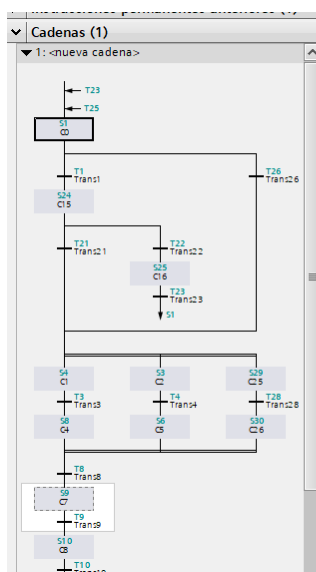
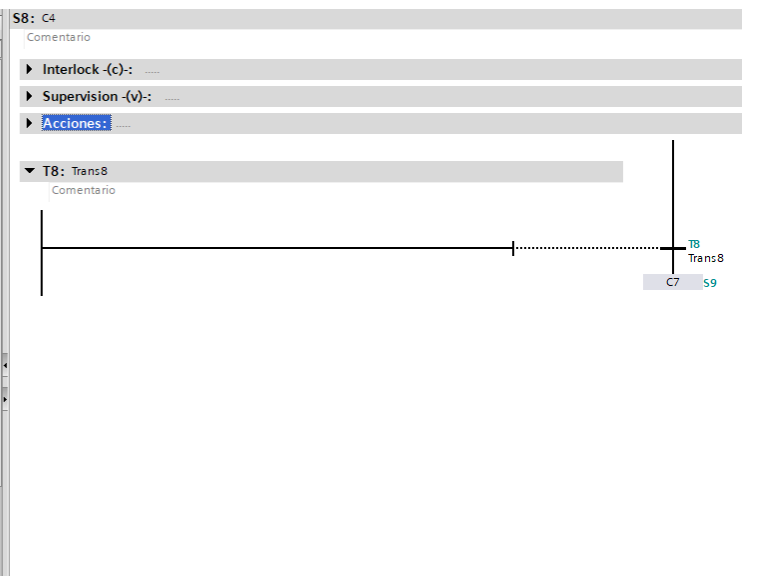
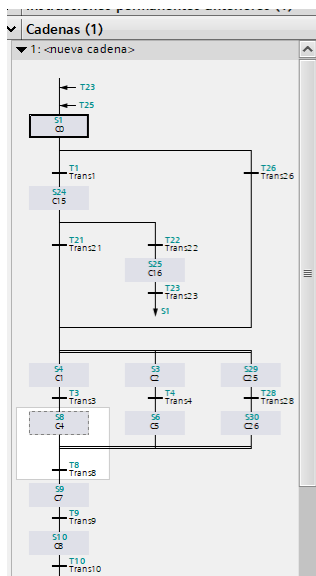
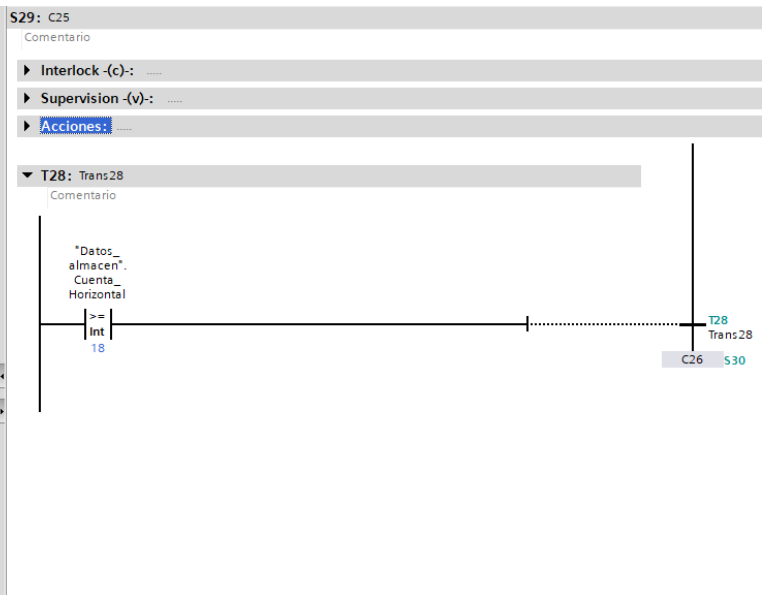
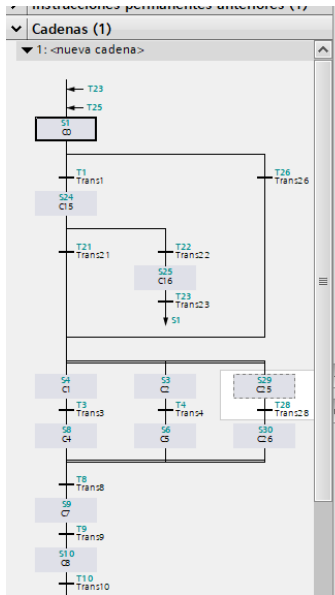
▼ T1: Trans1

Comentario

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

**S10: C8**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Arriba_vertical" "Arri... %Q6.5

▼ T10: Trans10  
Comentario

**S11: C9**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Pt_Atras" "Pt A... %Q6.7

▼ T11: Trans11  
Comentario

**S13: C10**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

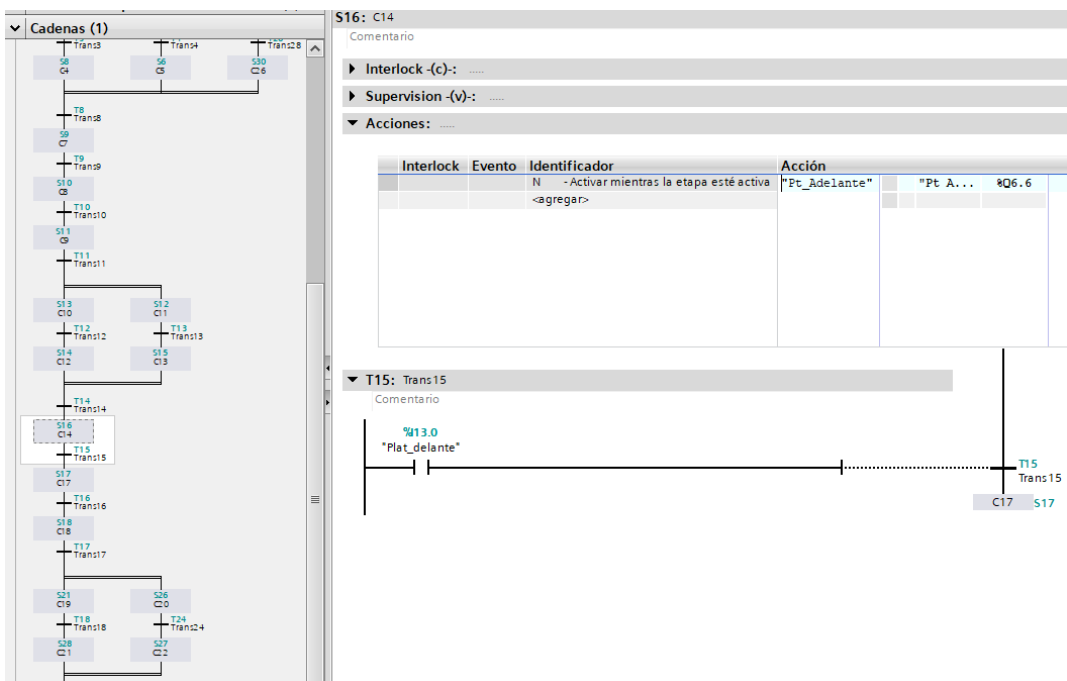
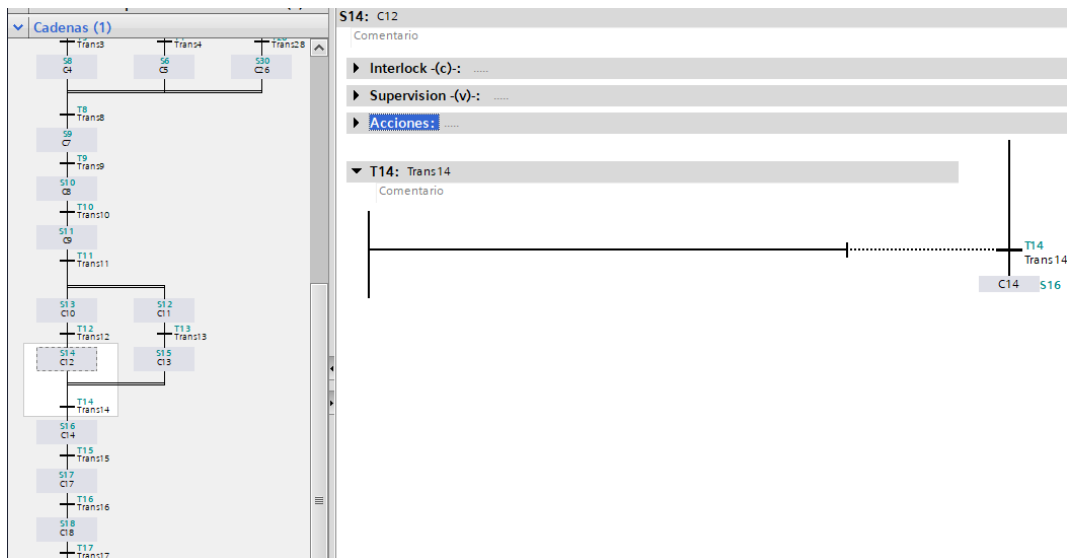
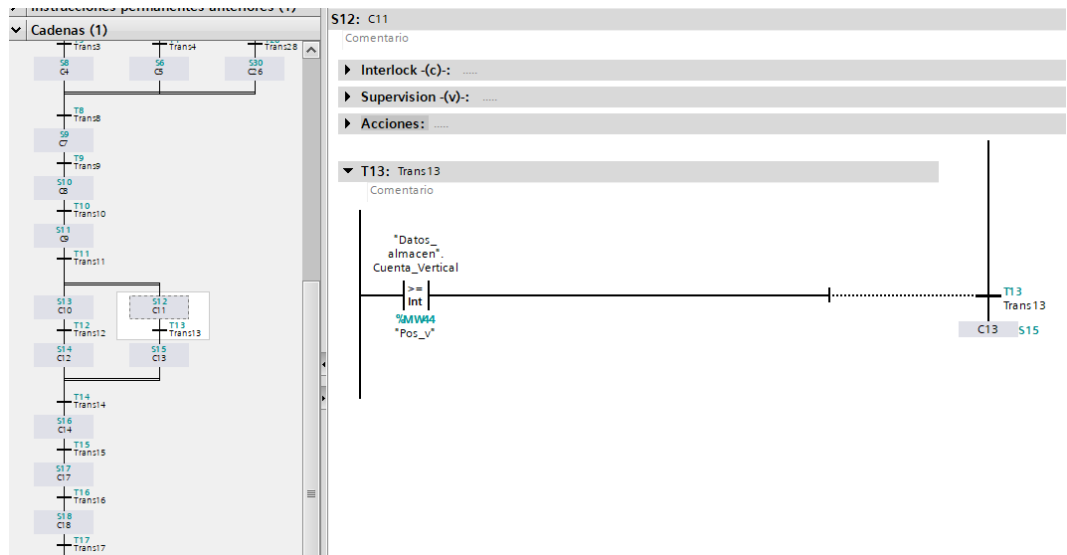
► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

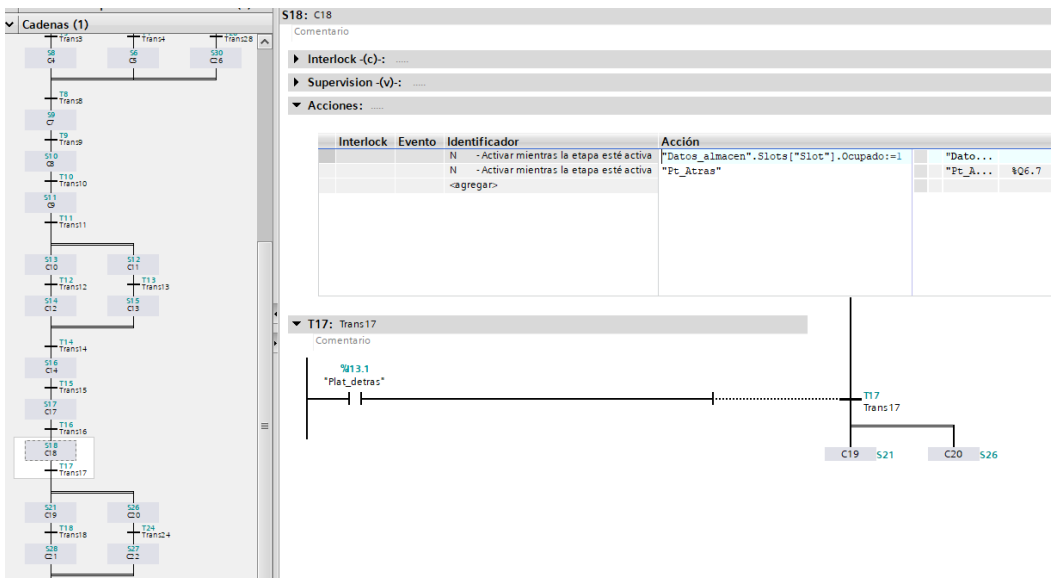
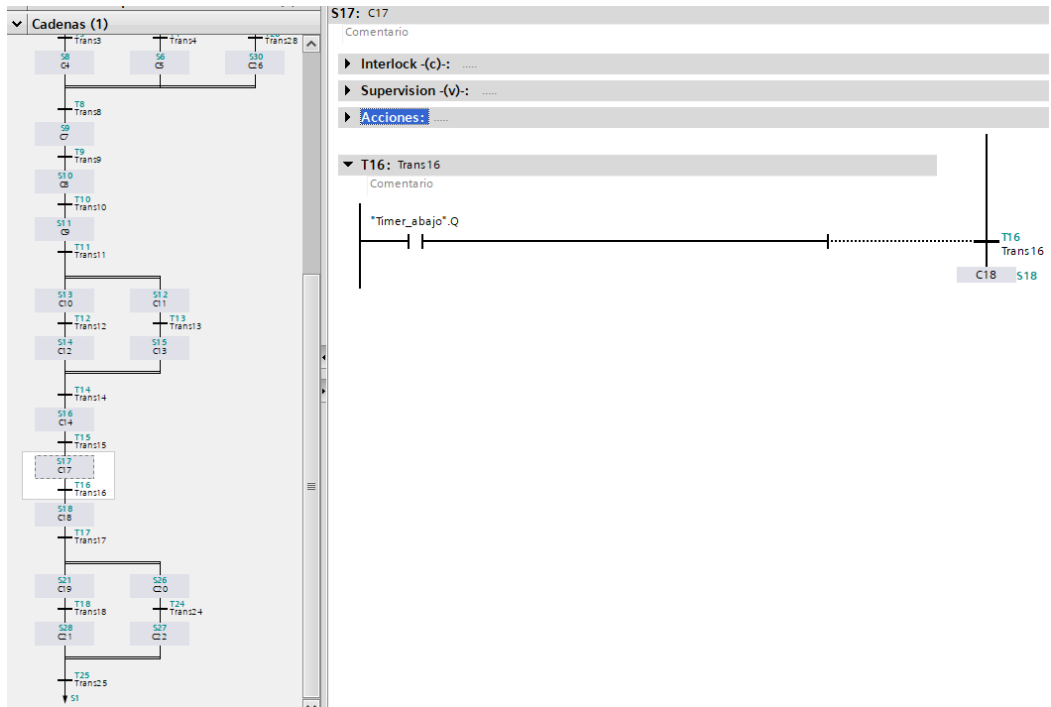
Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Av_Horizontal" "Av H... %Q6.2

▼ T12: Trans12  
Comentario

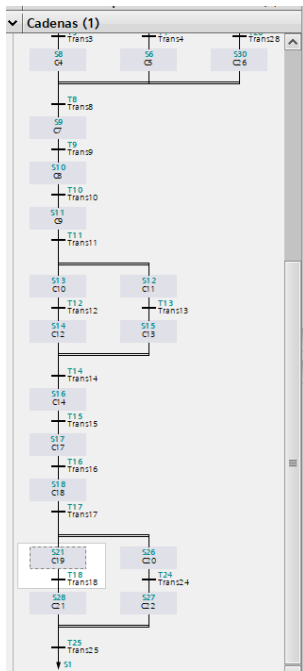
Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



**S21: C19**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

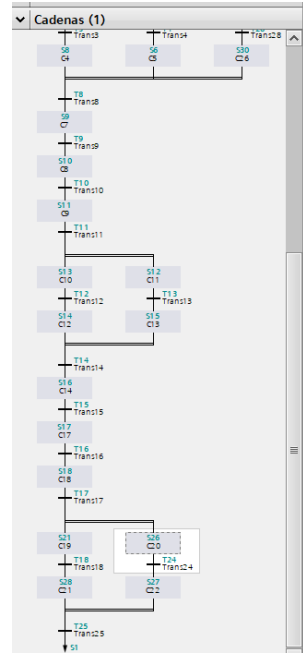
▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Rr_Horizontal"
			"Rr_H..." %Q6.3

▼ T18: Trans18  
Comentario

%I12.4  
"Ref\_H"

T18  
Trans18  
C21 S28



**S26: C20**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Arriba_vertical"
			"Arri..." %Q6.5

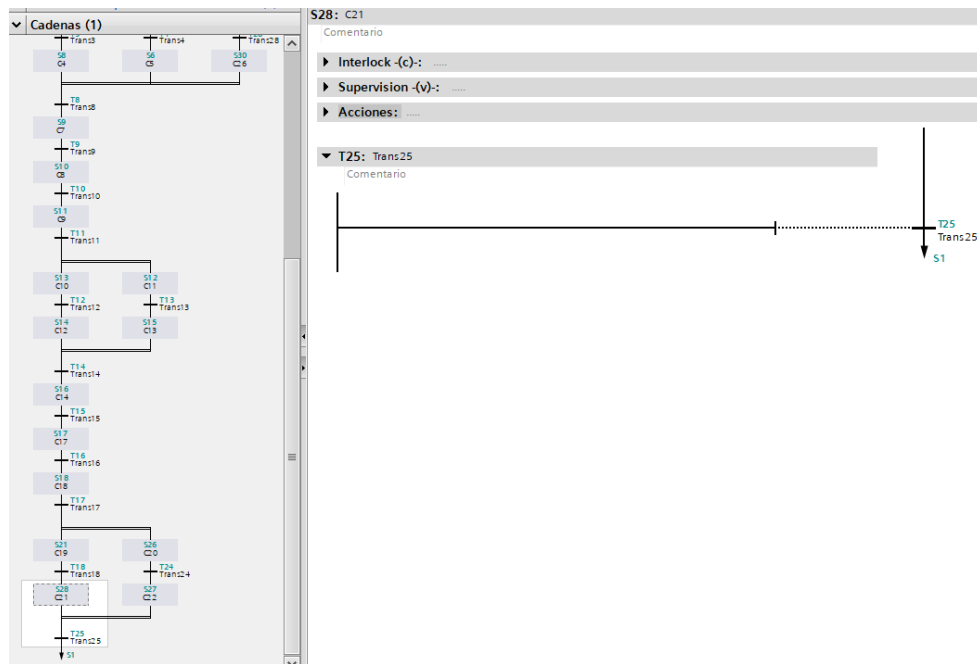
▼ T24: Trans24  
Comentario

%I12.7  
"Ref\_V"

T24  
Trans24  
C22 S27

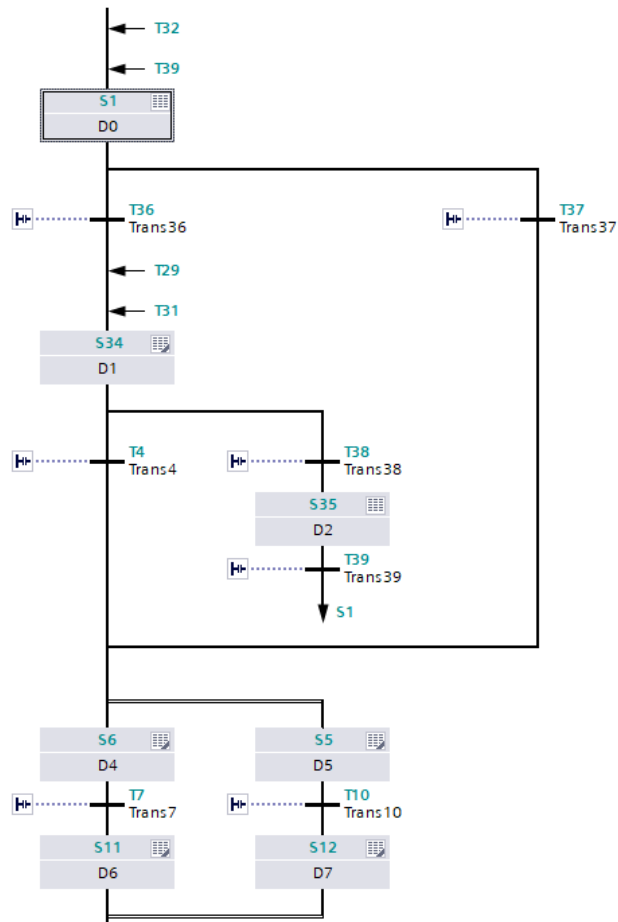


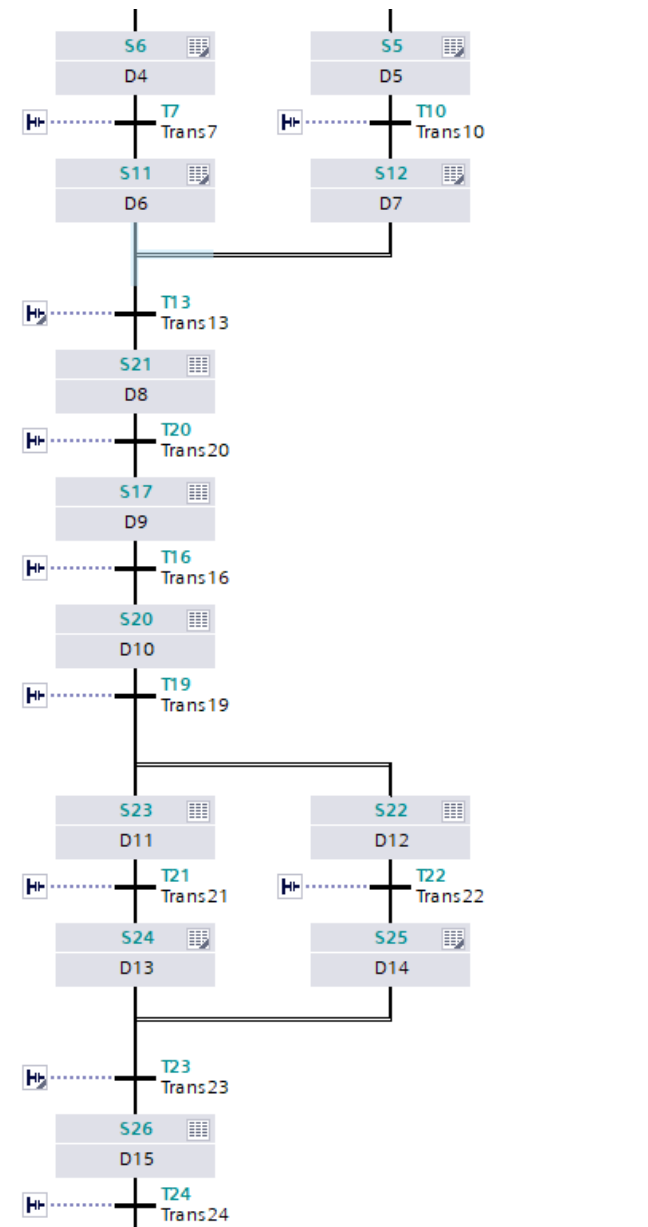
Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



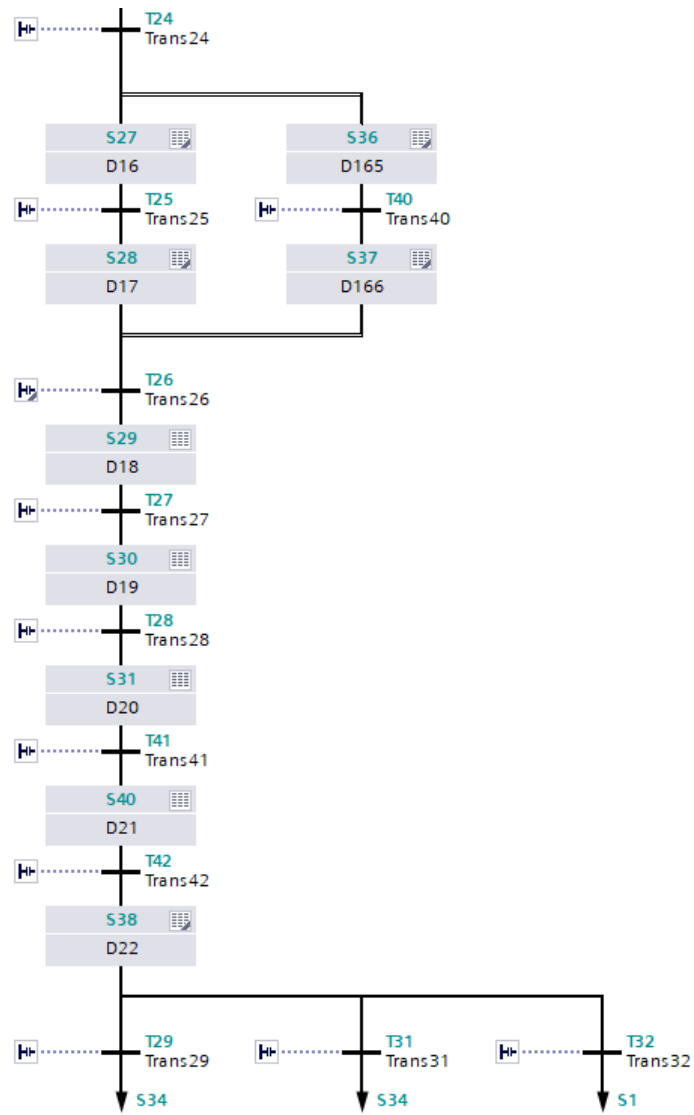
### 4.3 Descarga (F1\_D, descarga automática y semiautomática)

#### Graph

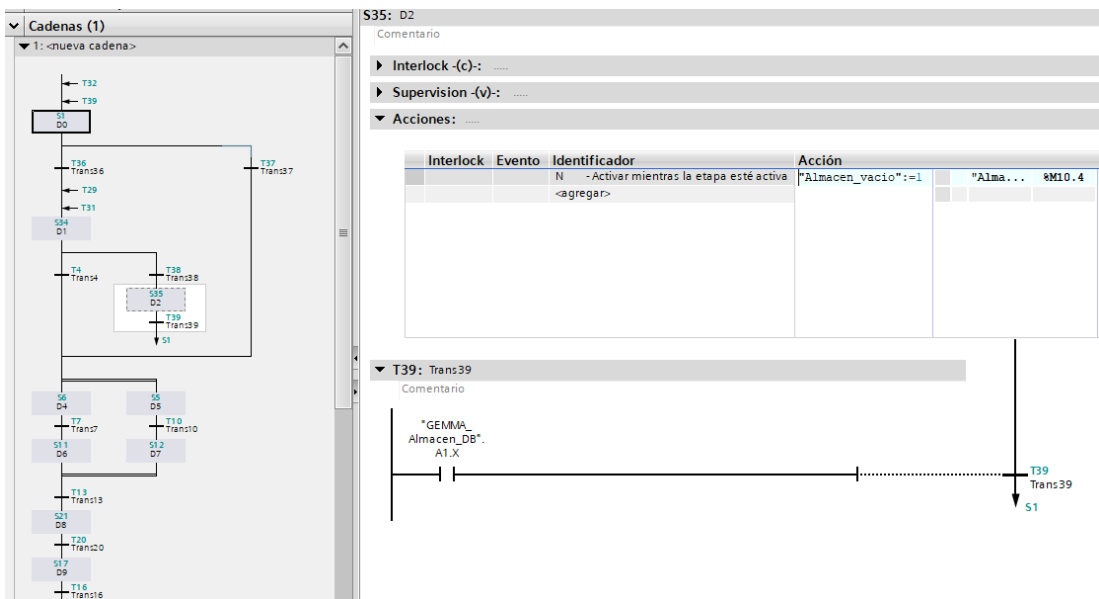
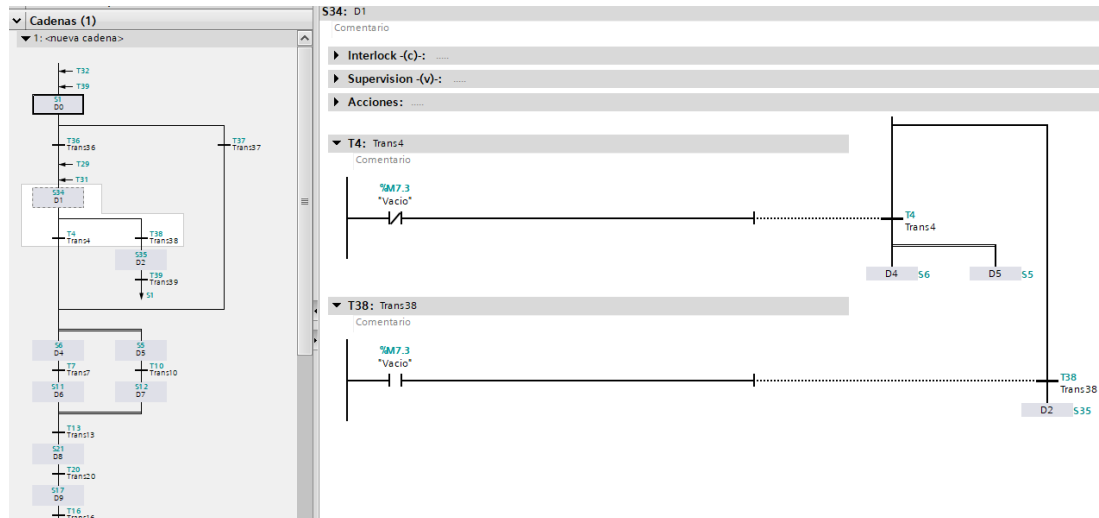
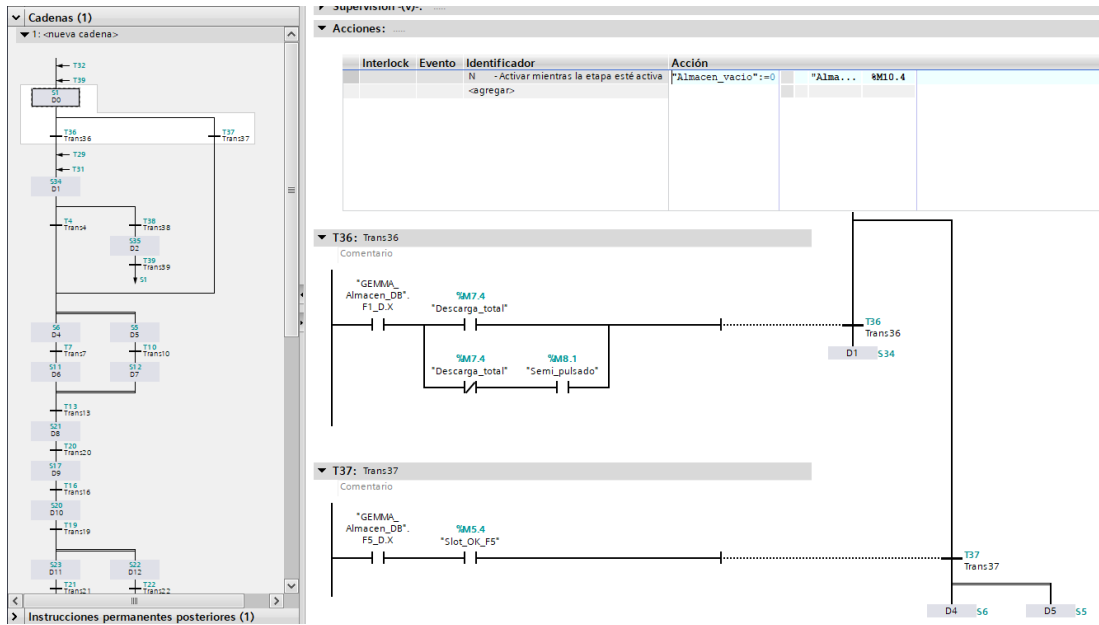




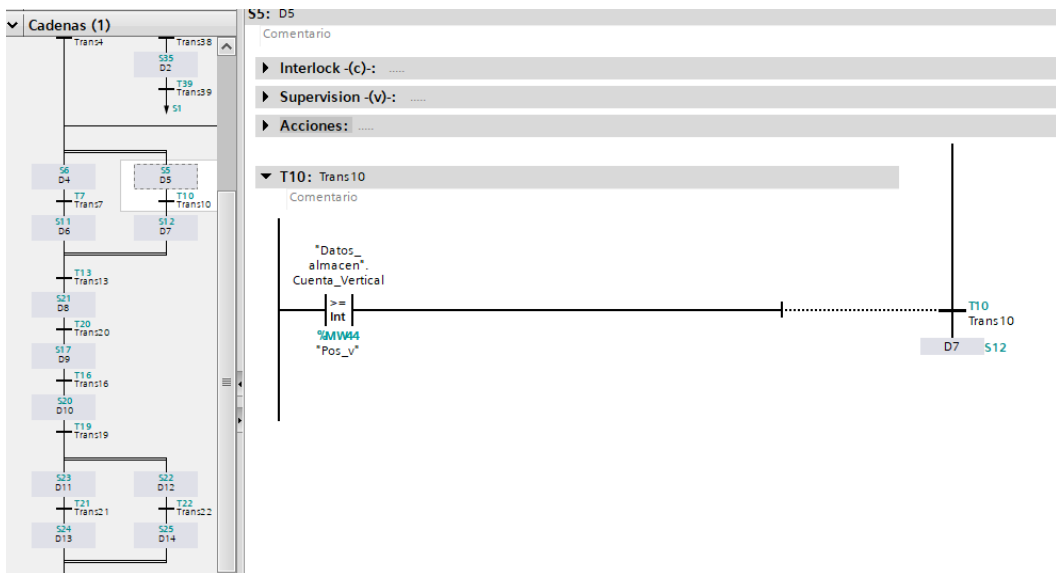
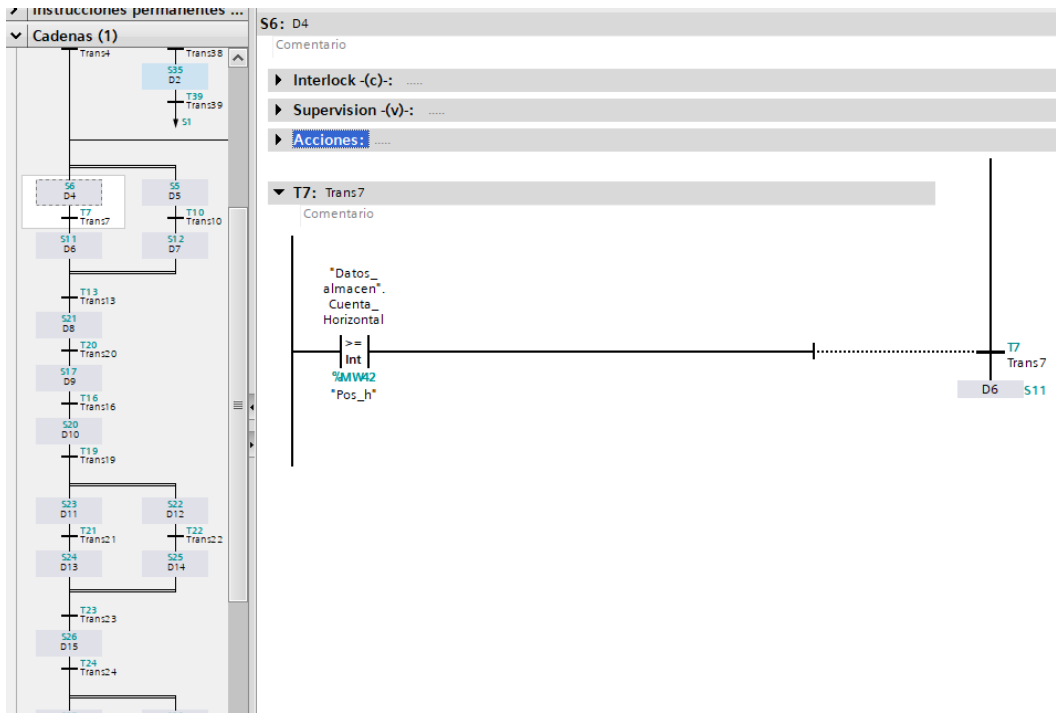
Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómata Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



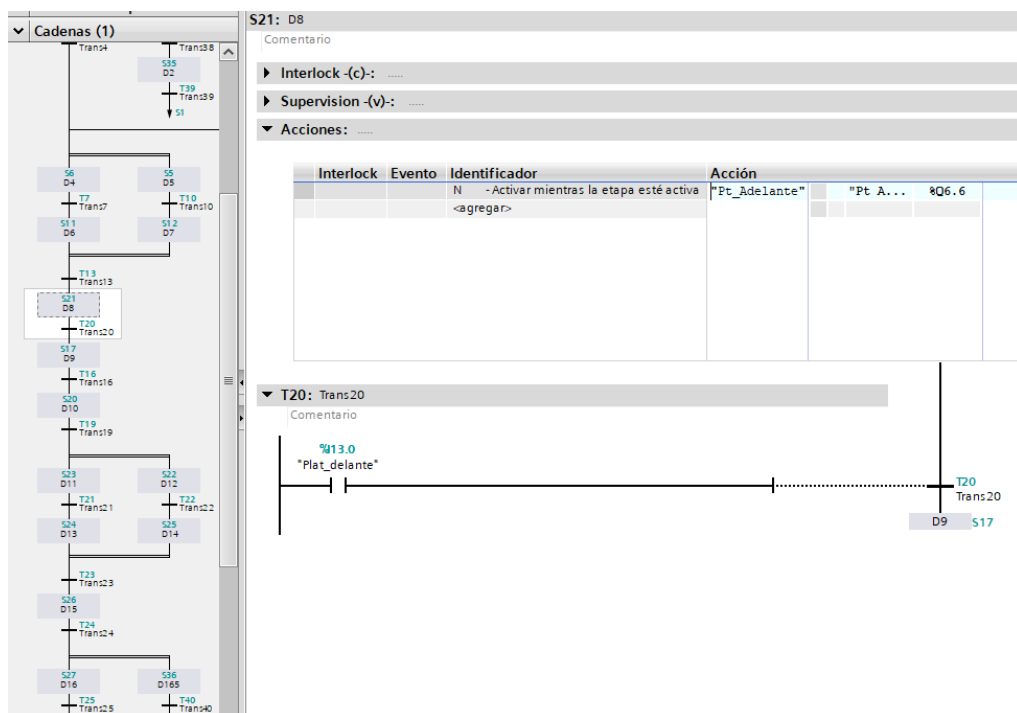
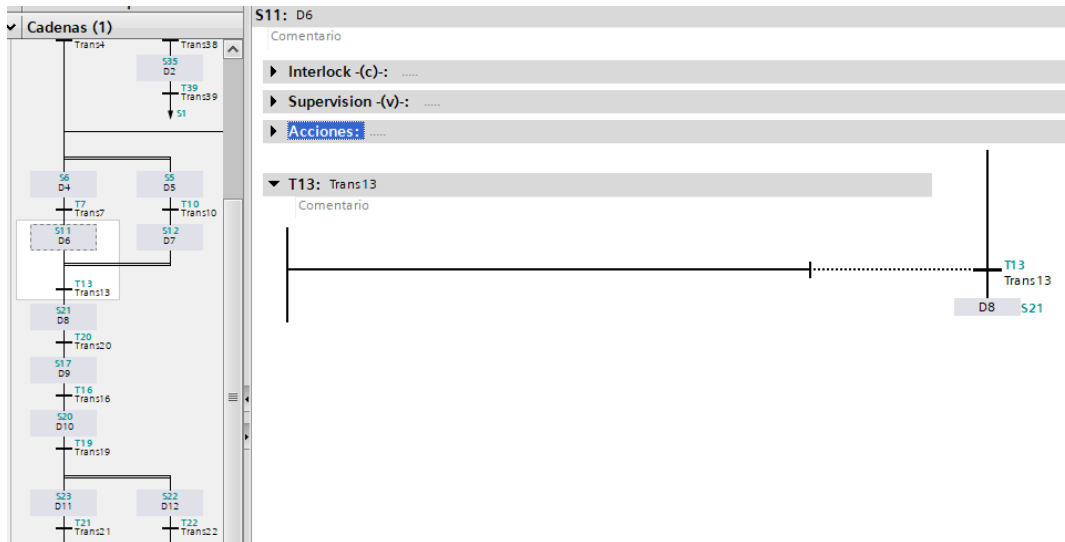
## Transiciones



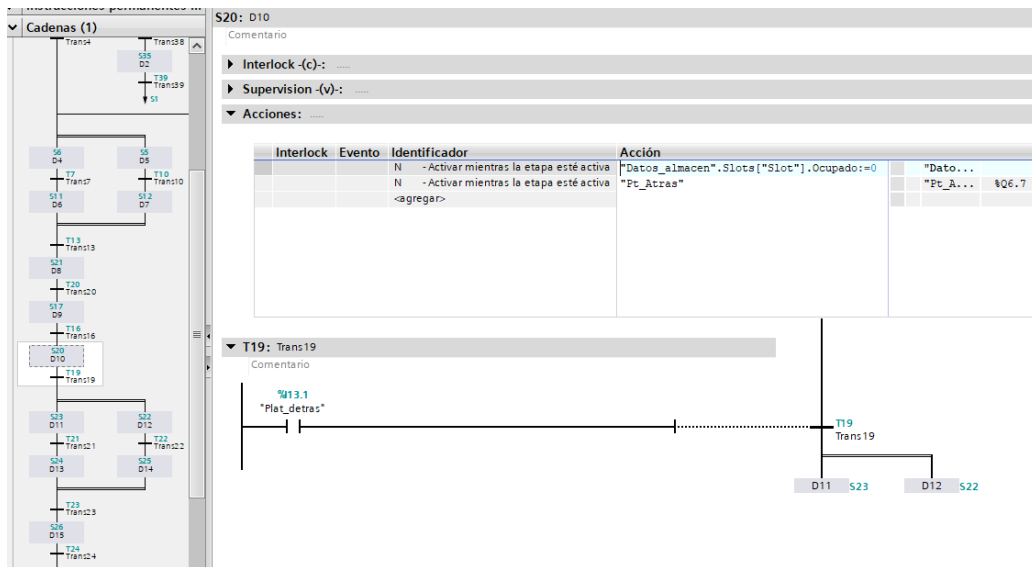
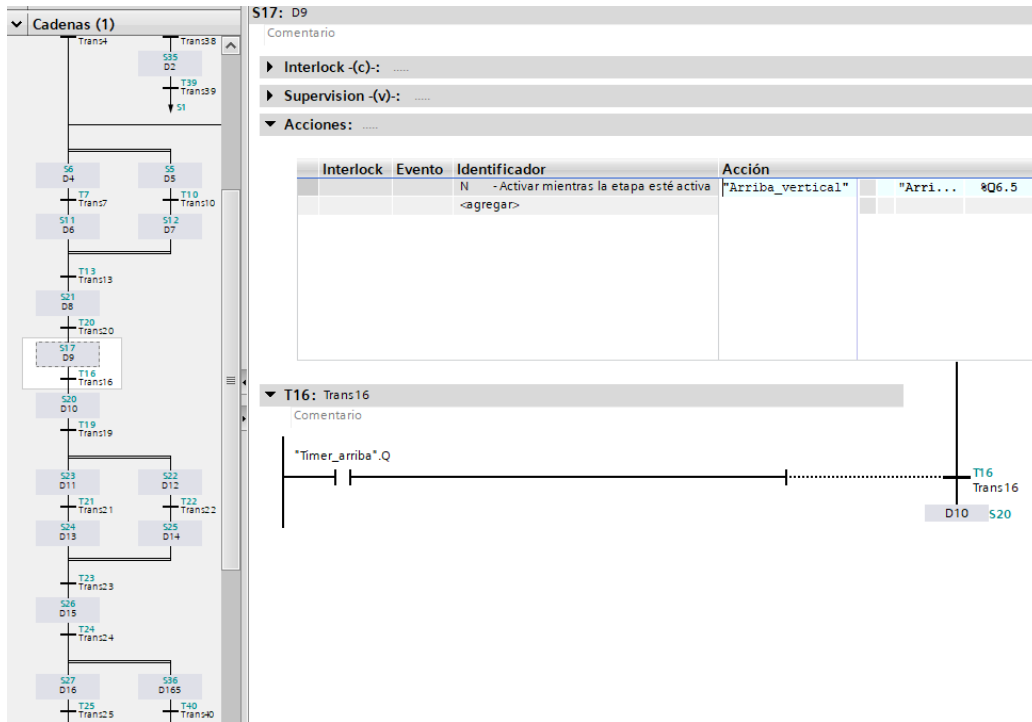
Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



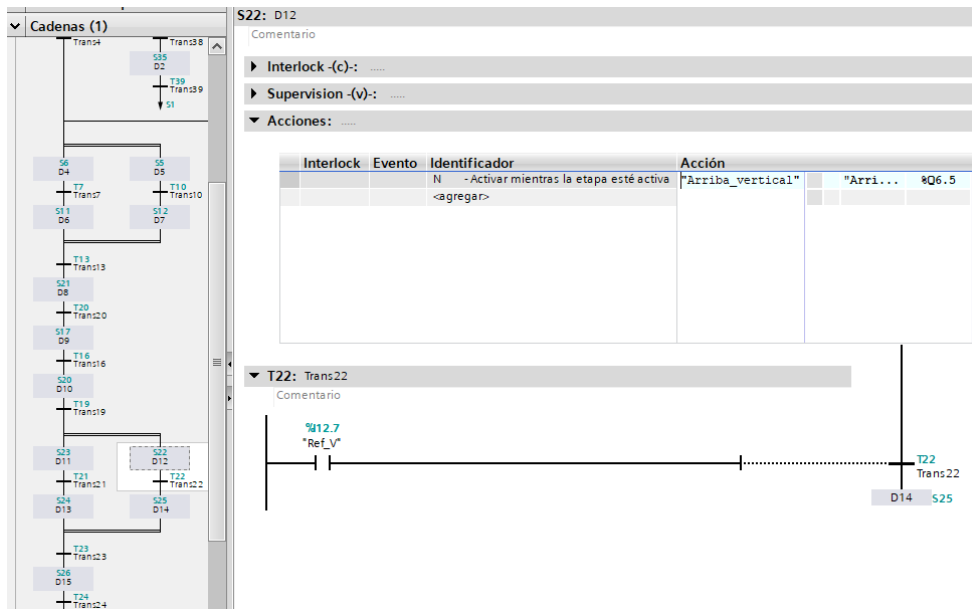
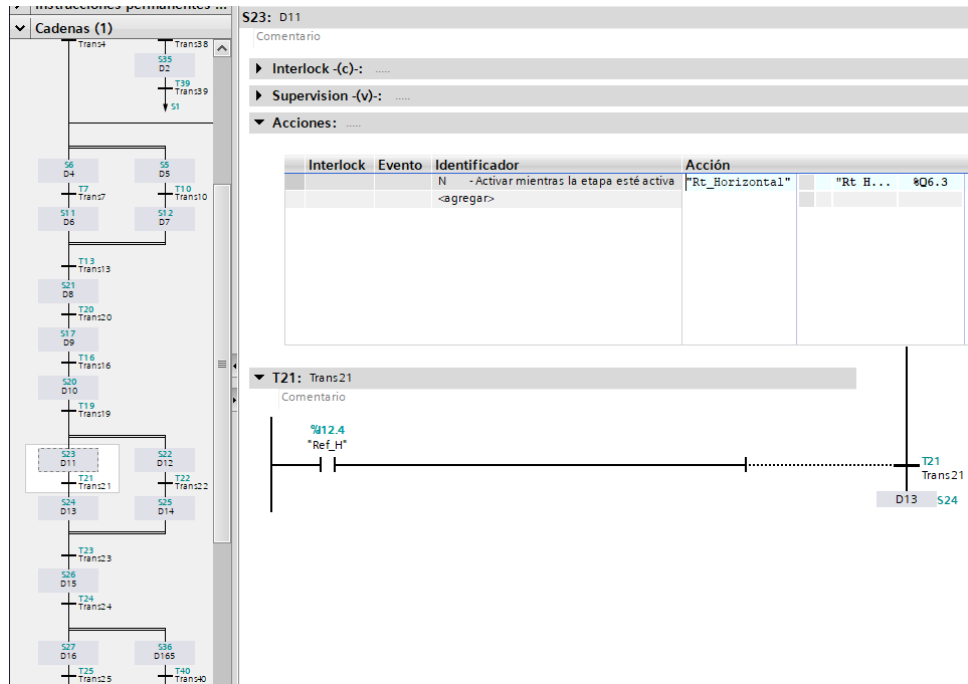
Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

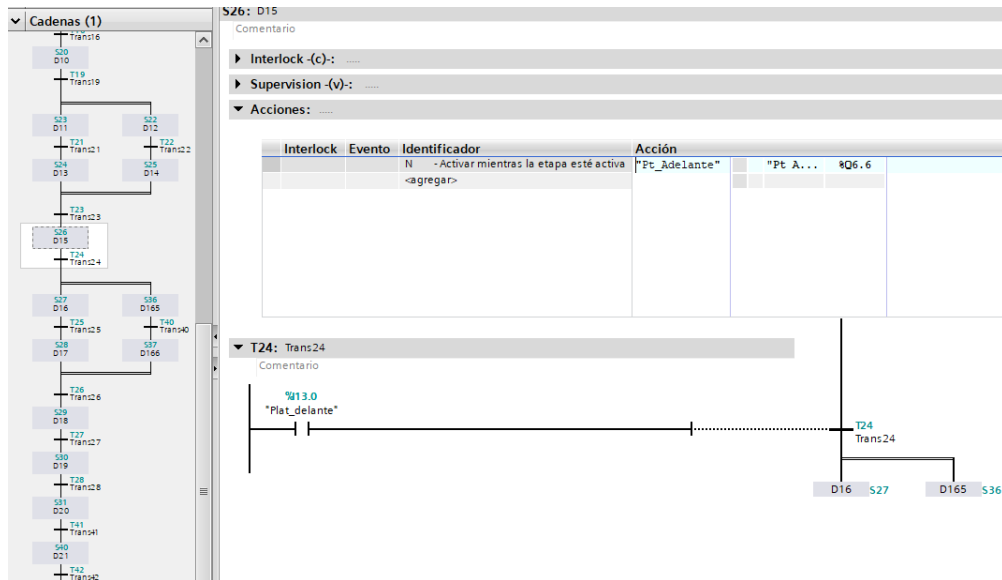
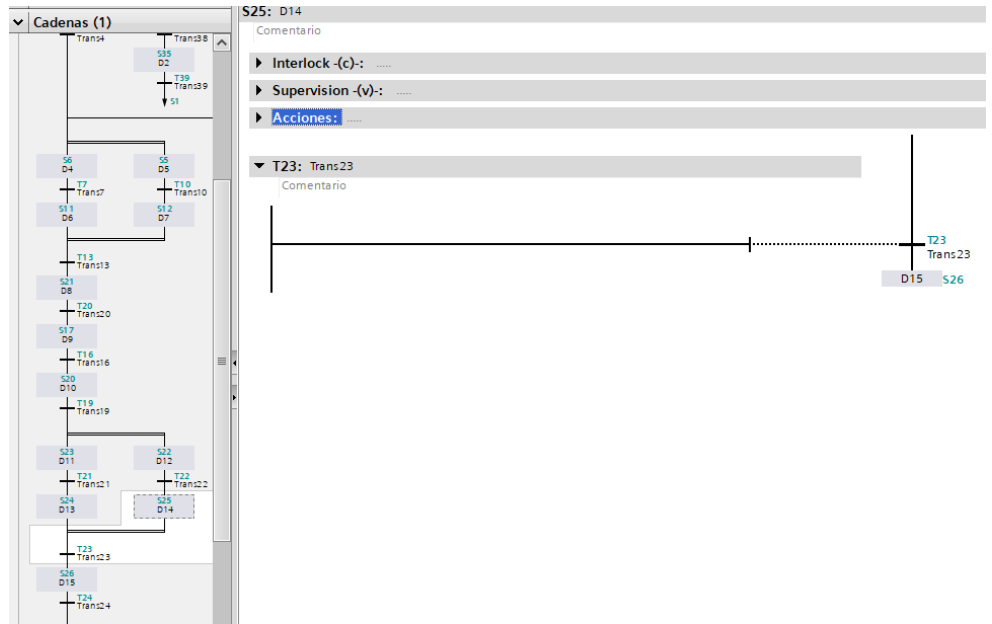


Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

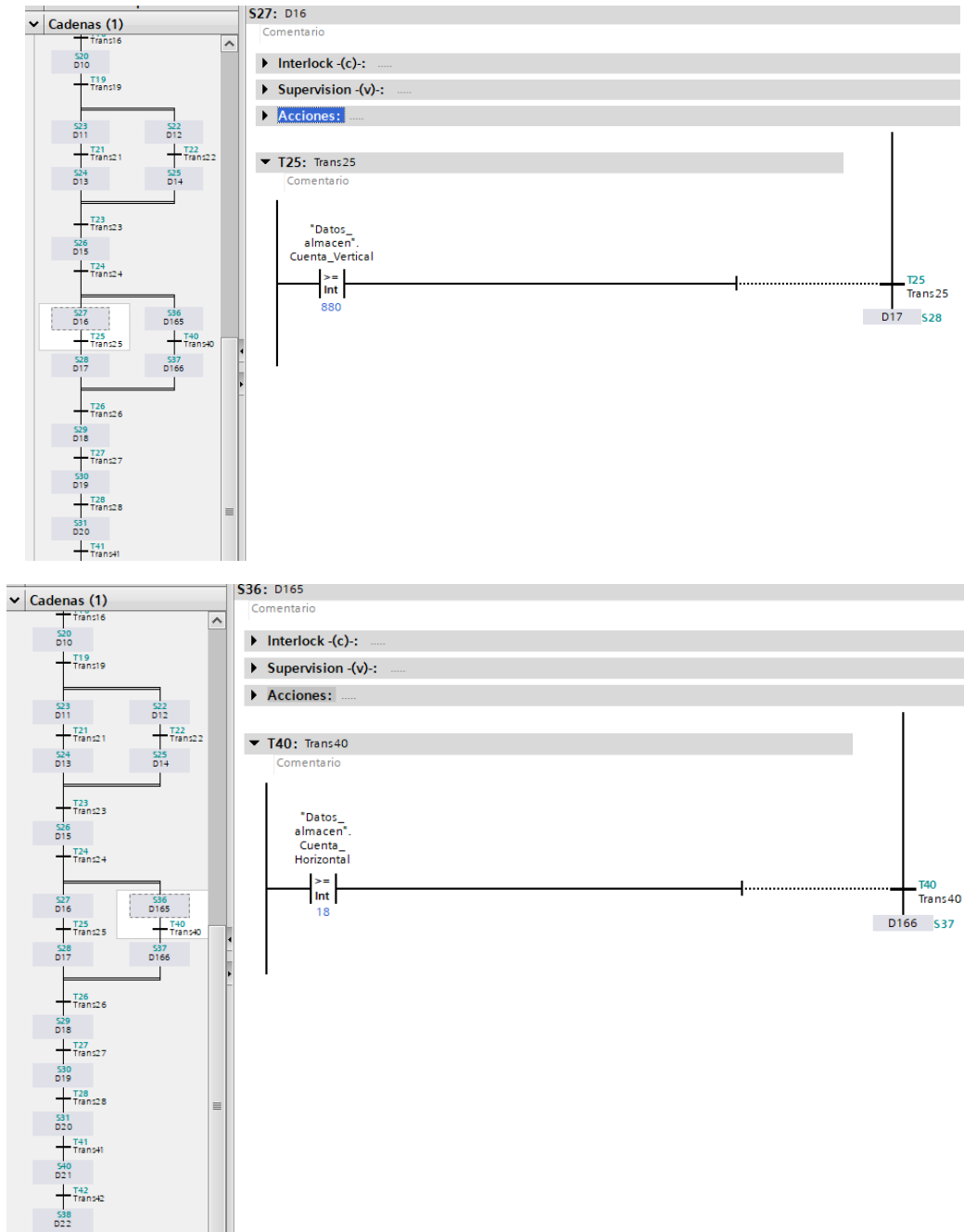




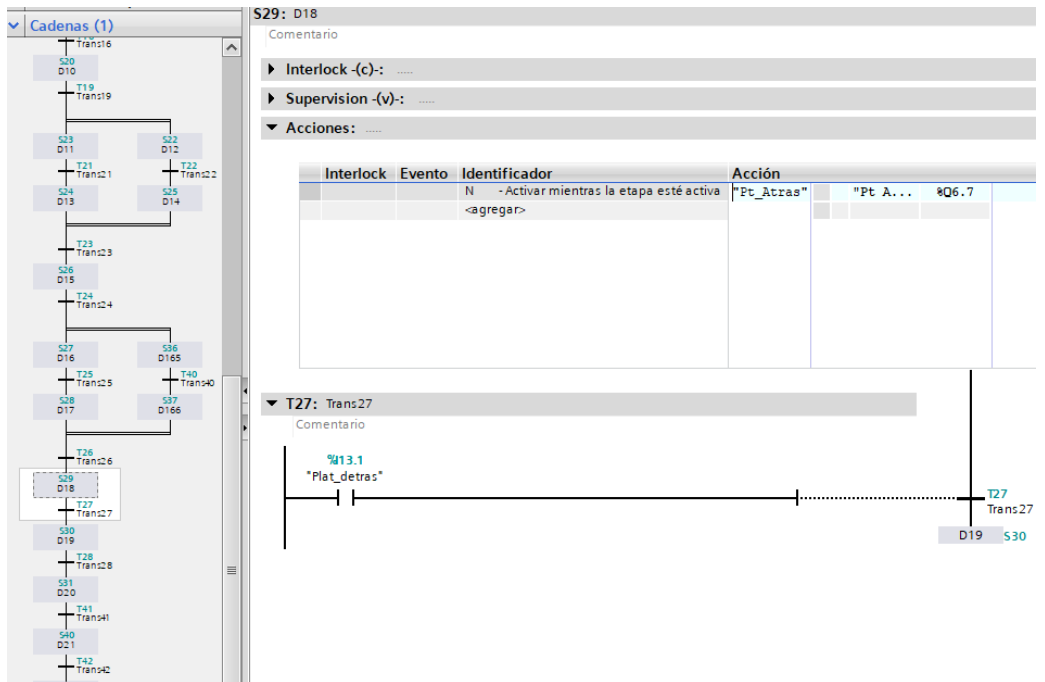
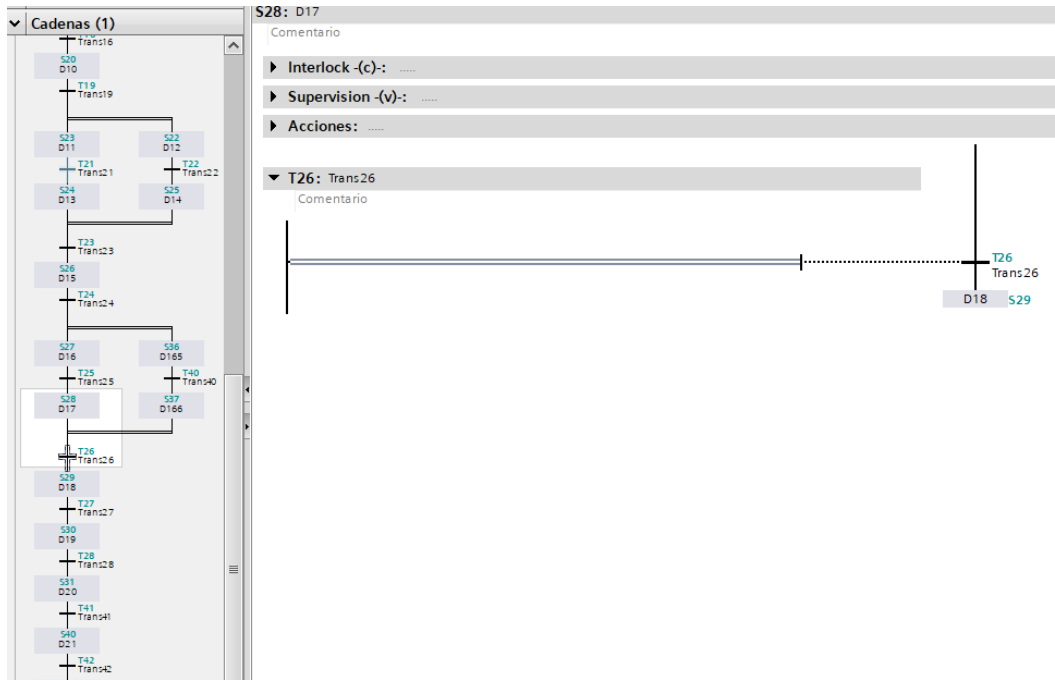
Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

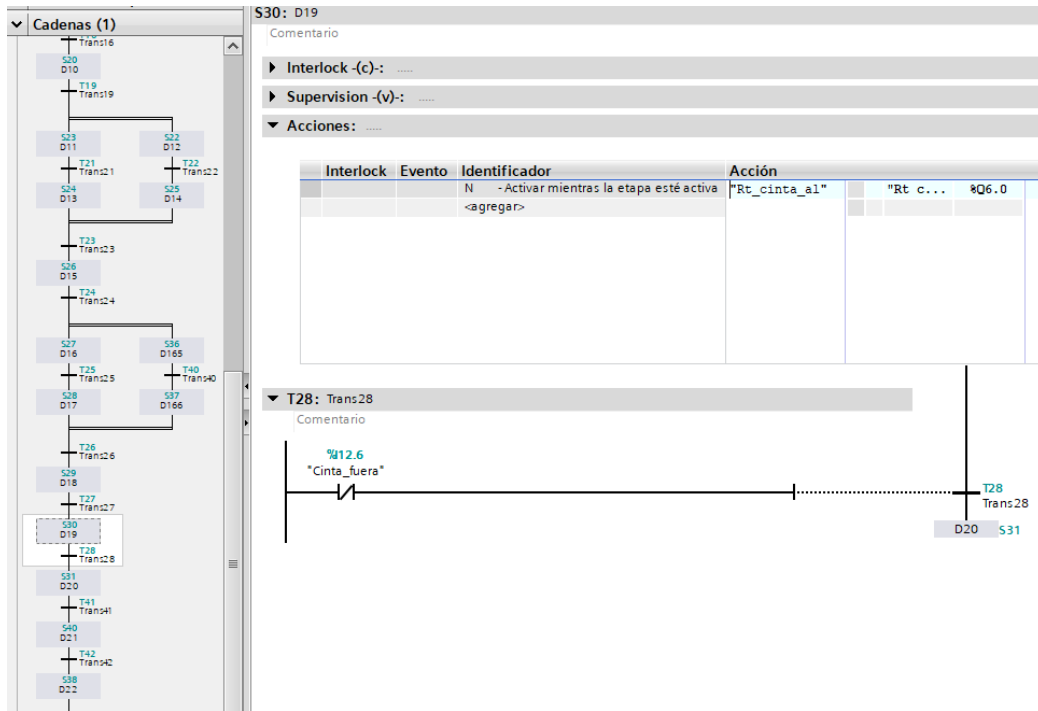


Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

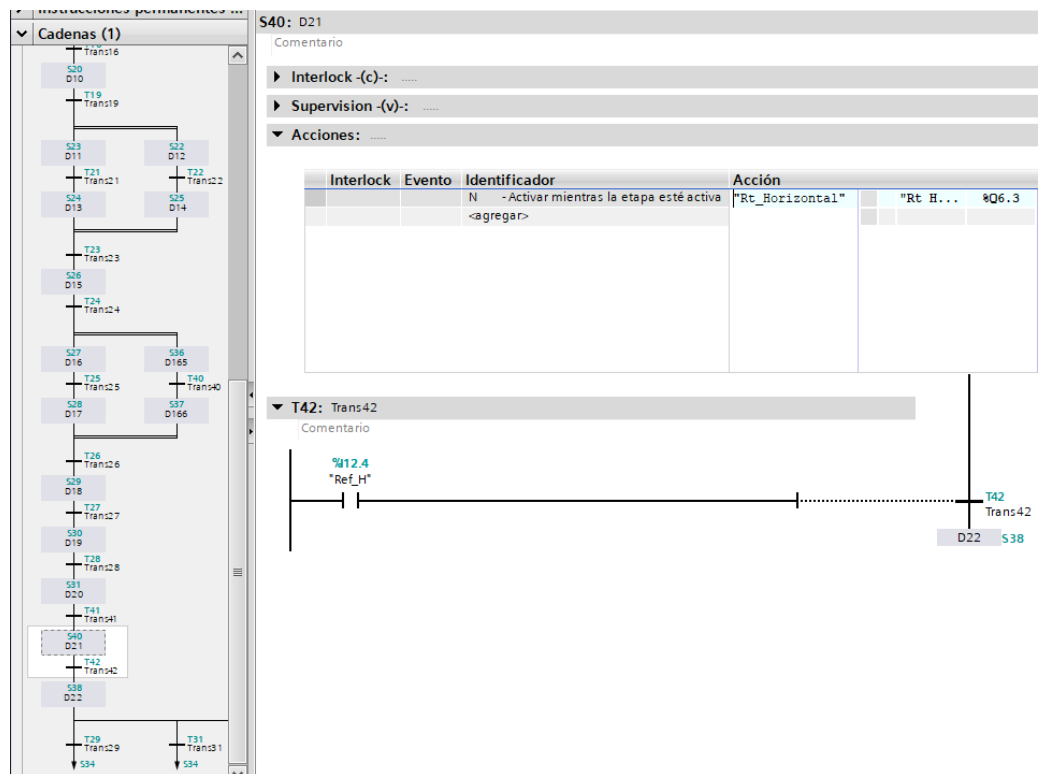
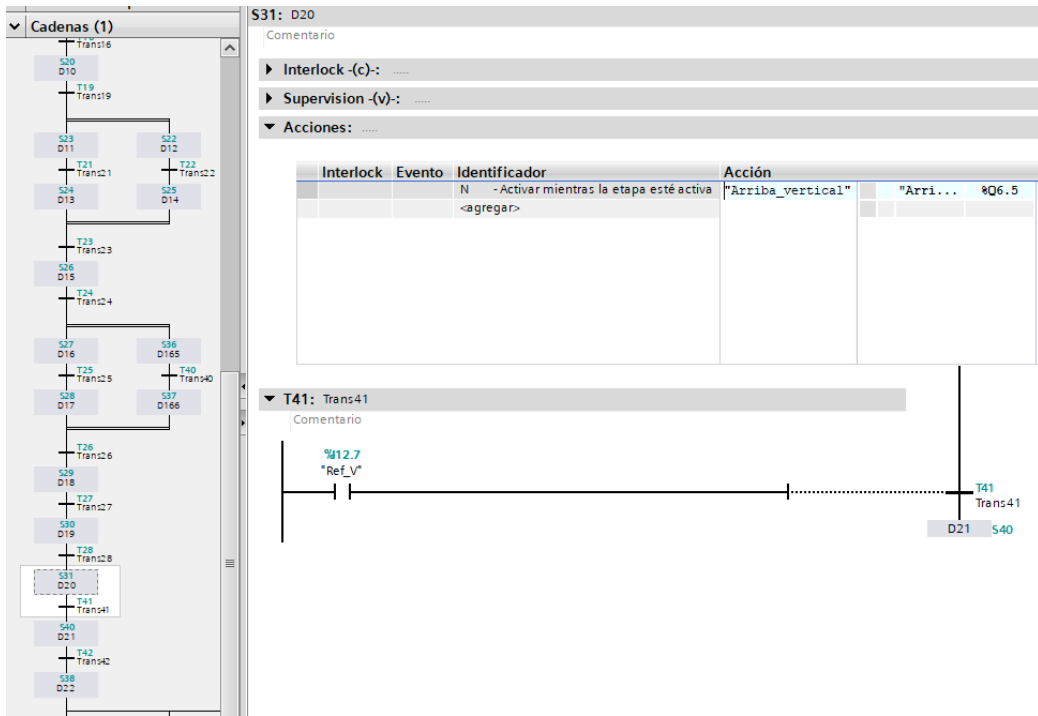


Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

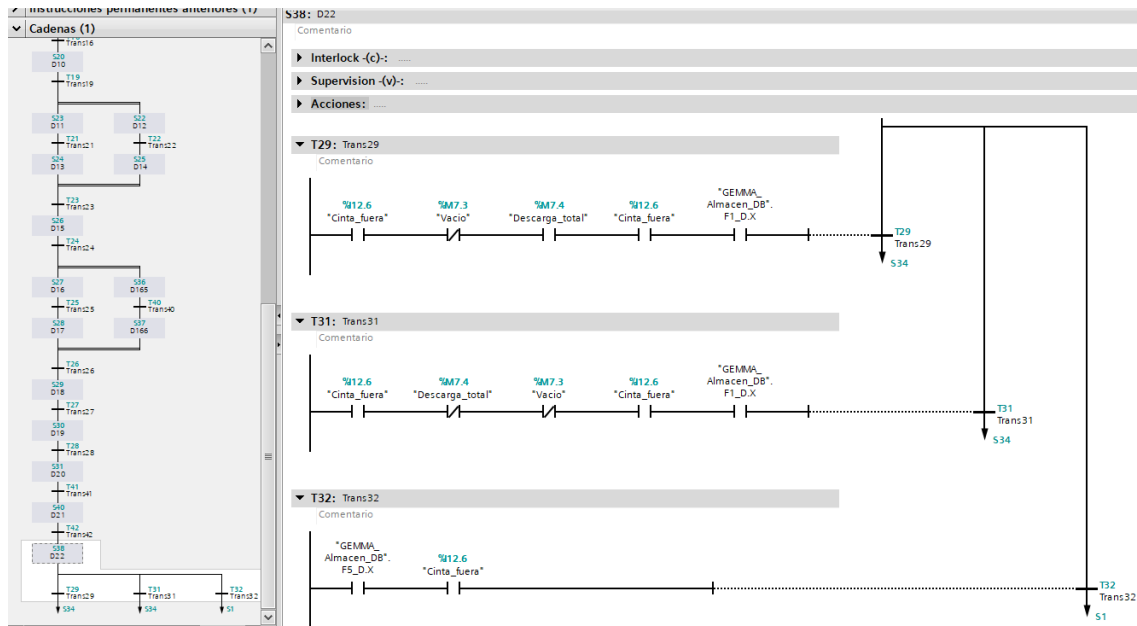




Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

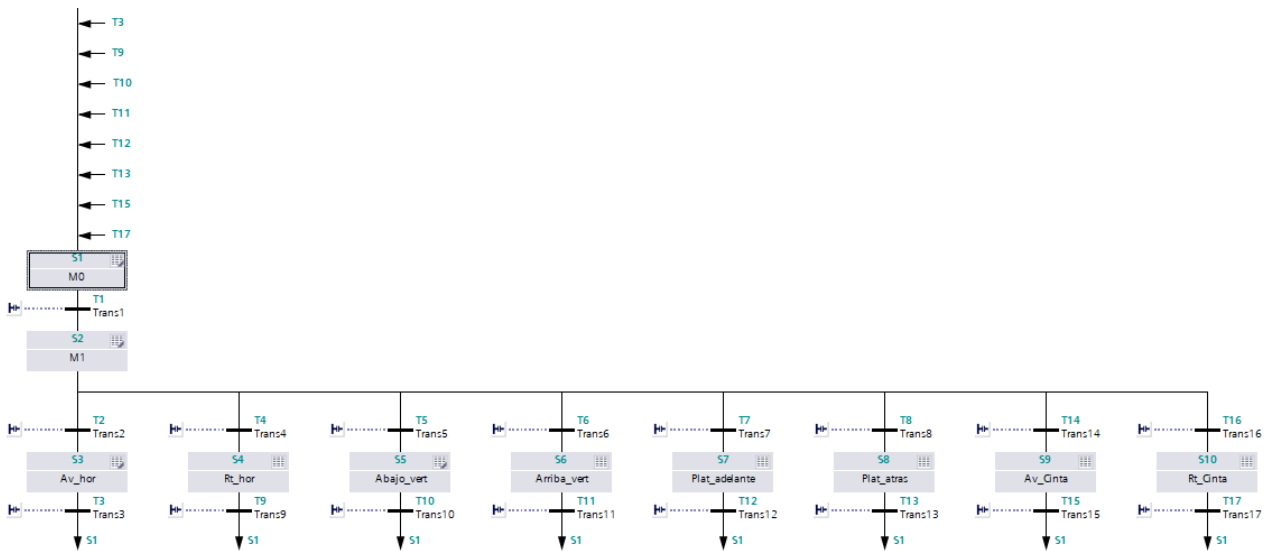


Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

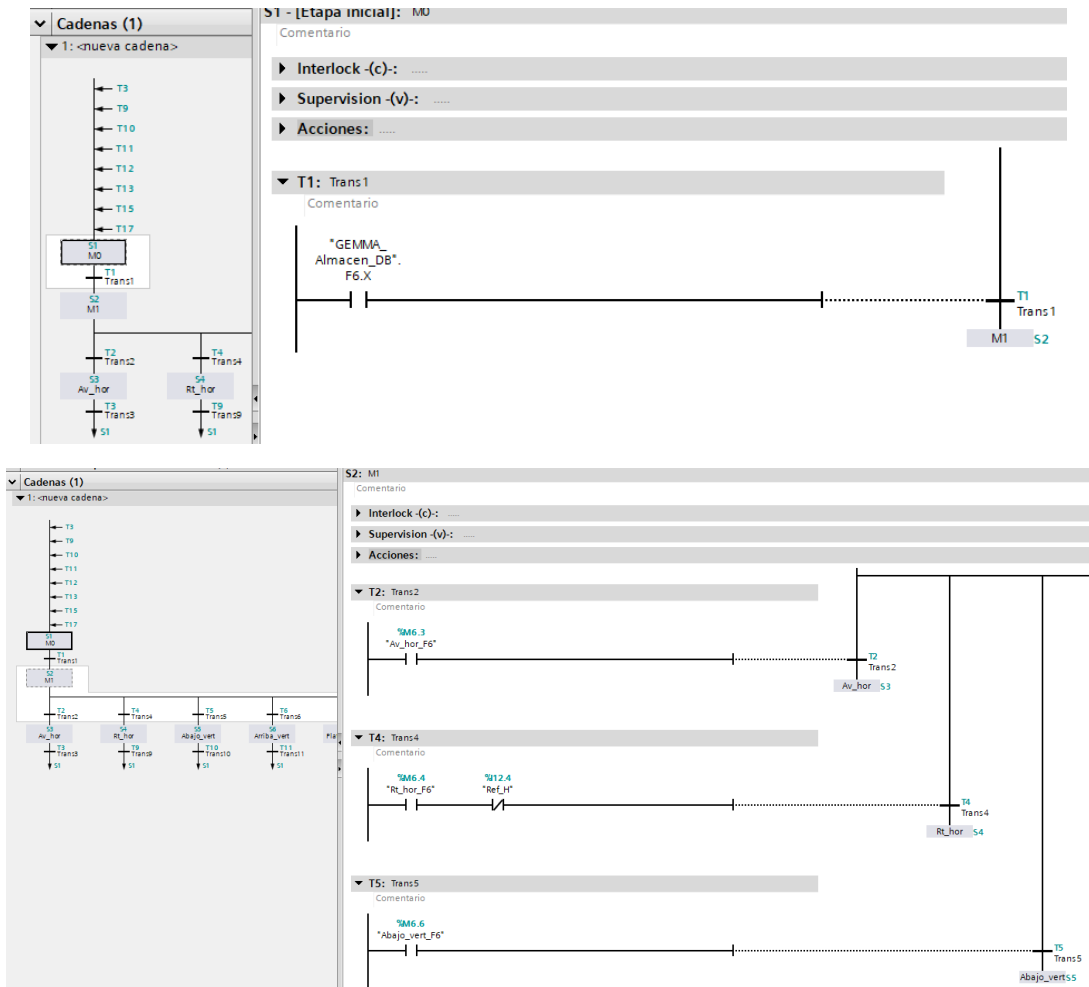


## 4.4 Manual (F6)

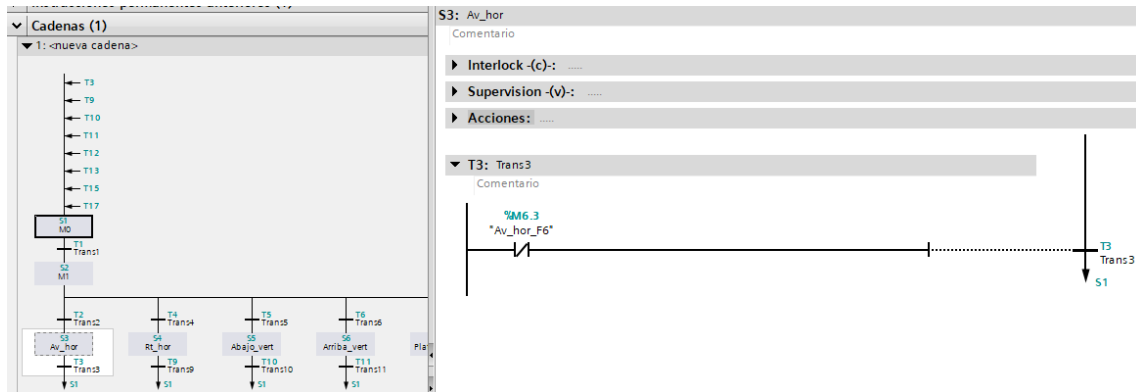
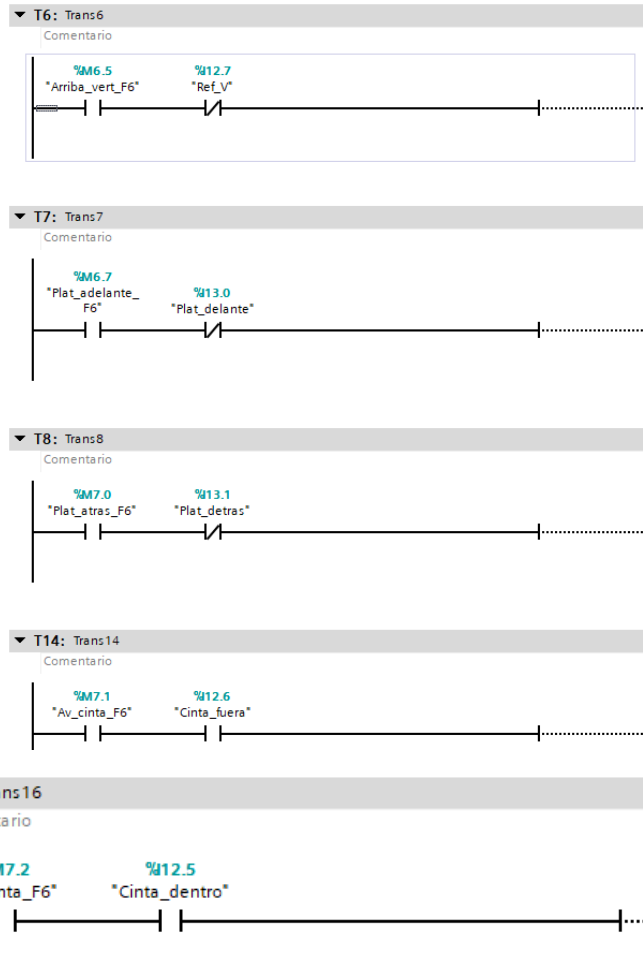
### Graph



## Transiciones

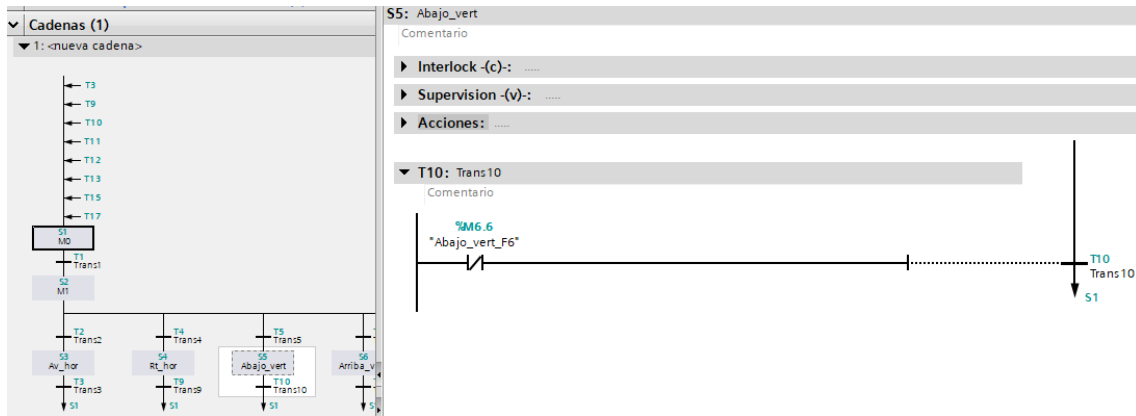
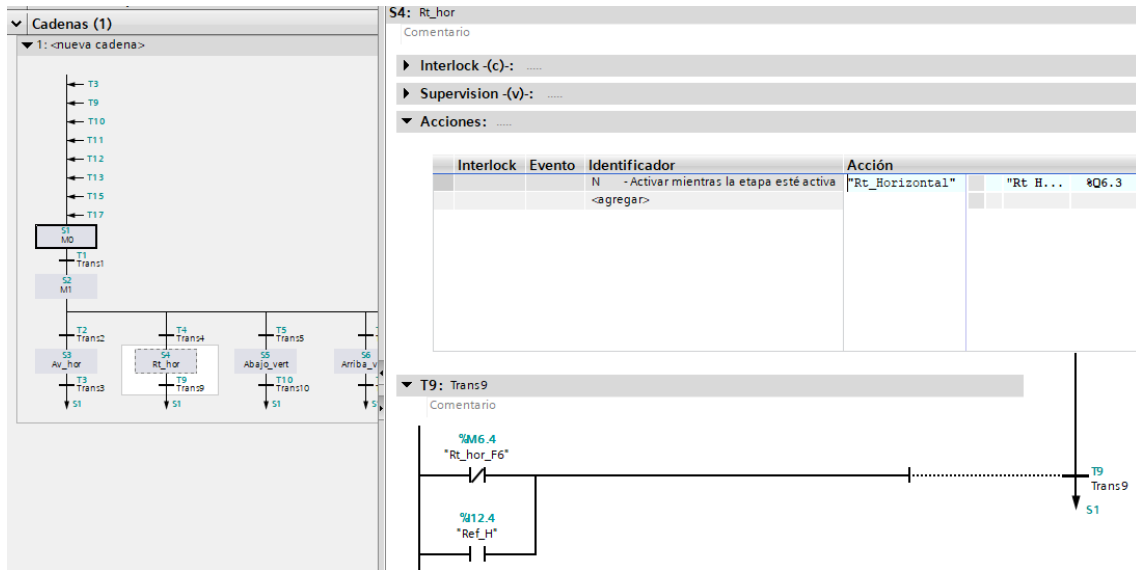


Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.





Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.



Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

**S6: Arriba\_vert**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Arriba_vertical" "Arri... #Q6.5

▼ T11: Trans11

Comentario

**S7: Plat\_adelante**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Pt_Adelante" "Pt A... #Q6.6

▼ T12: Trans12

Comentario

**S8: Plat\_atras**

Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Pt_Atras" "Pt A... #Q6.7

▼ T13: Trans13

Comentario

Proyecto de automatización coordinada y remota de dos prototipos de laboratorio mediante periferia distribuida con autómatas Siemens S7 1500, desarrollo de SCADA en WinCC RT y de aplicación HMI.

▼ Cadenas (1)

**S9: Av\_Cinta**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Av_cinta_a1" "Av c... %Q6.1

▼ T15: Trans15  
Comentario

▼ Cadenas (1)

**S10: Rt\_Cinta**  
Comentario

► Interlock -(c)-: .....

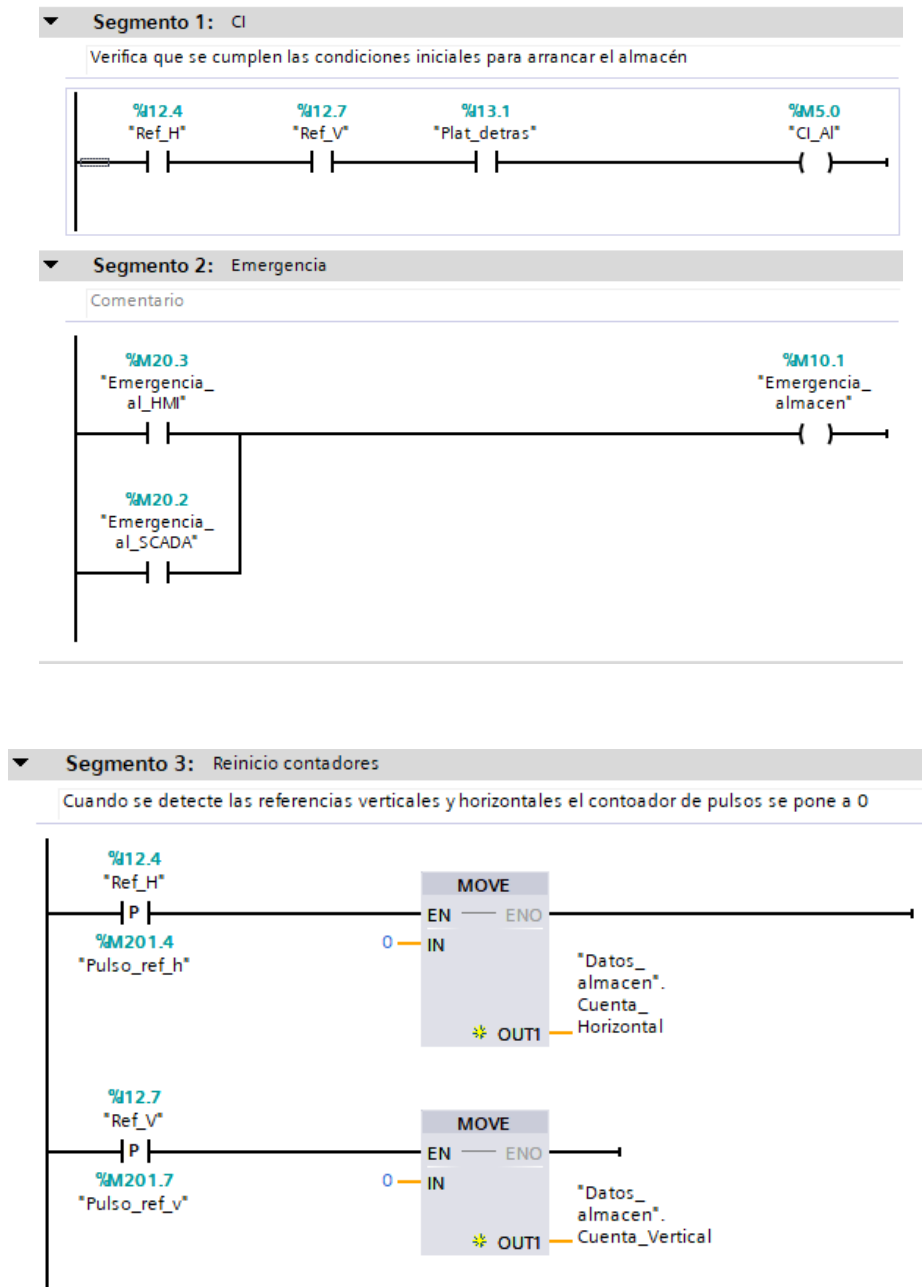
► Supervision -(v)-: .....

▼ Acciones: .....

Interlock	Evento	Identificador	Acción
	N	- Activar mientras la etapa esté activa <agregar>	"Rt_cinta_a1" "Rt c... %Q6.0

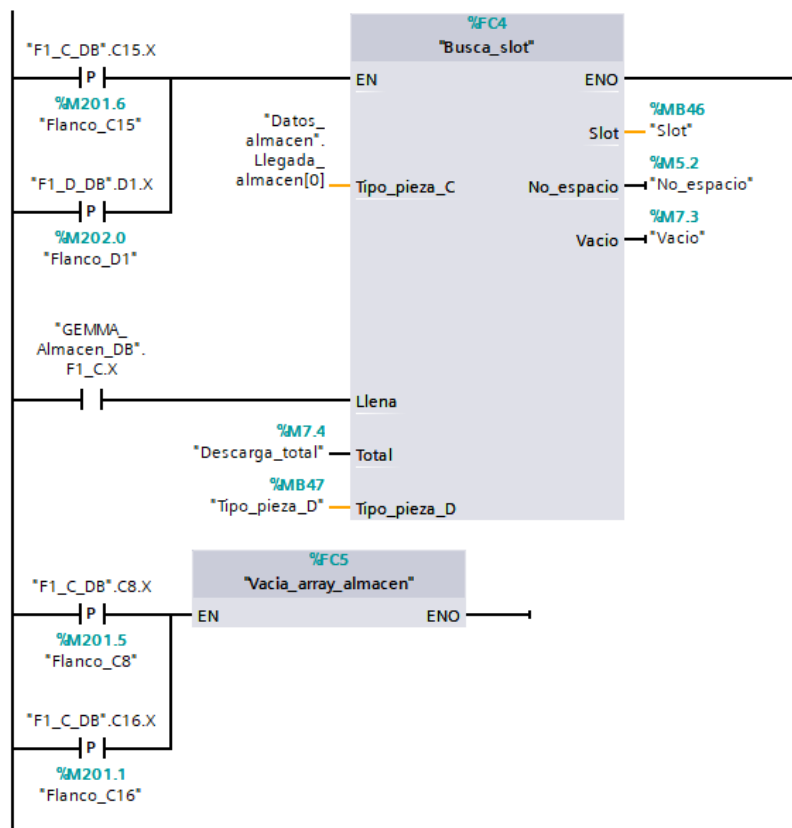
▼ T17: Trans17  
Comentario

## 4.5 Auxiliares almacén



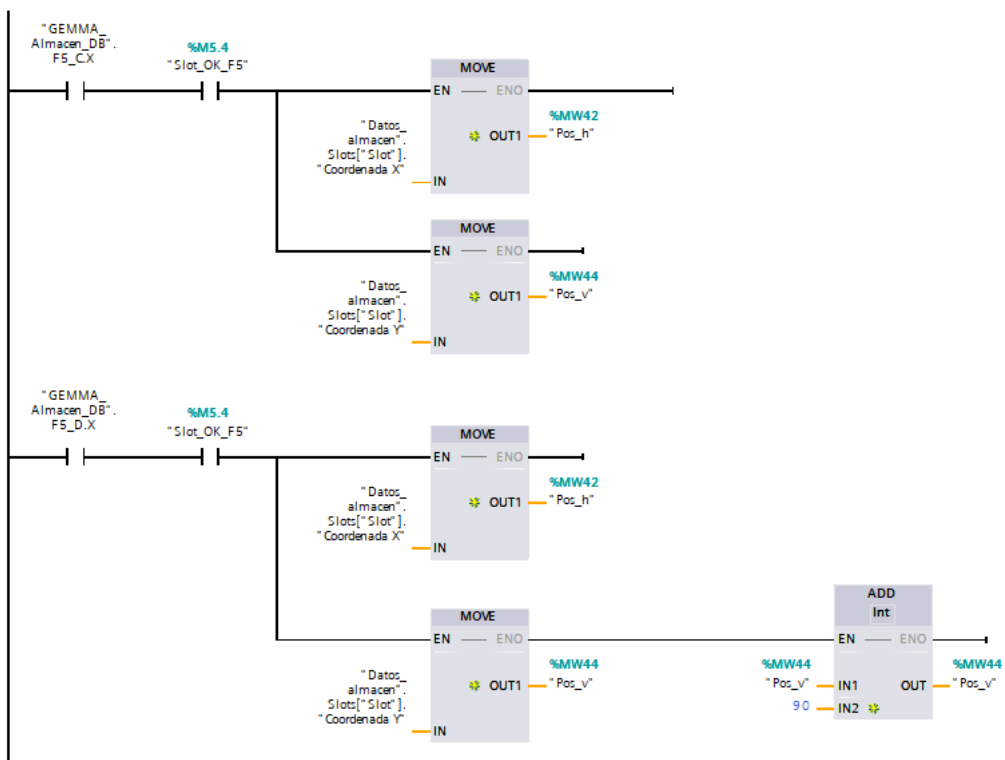
**Segmento 4: Funciones auxiliares**

Funciones que permiten el funcionamiento del almacén



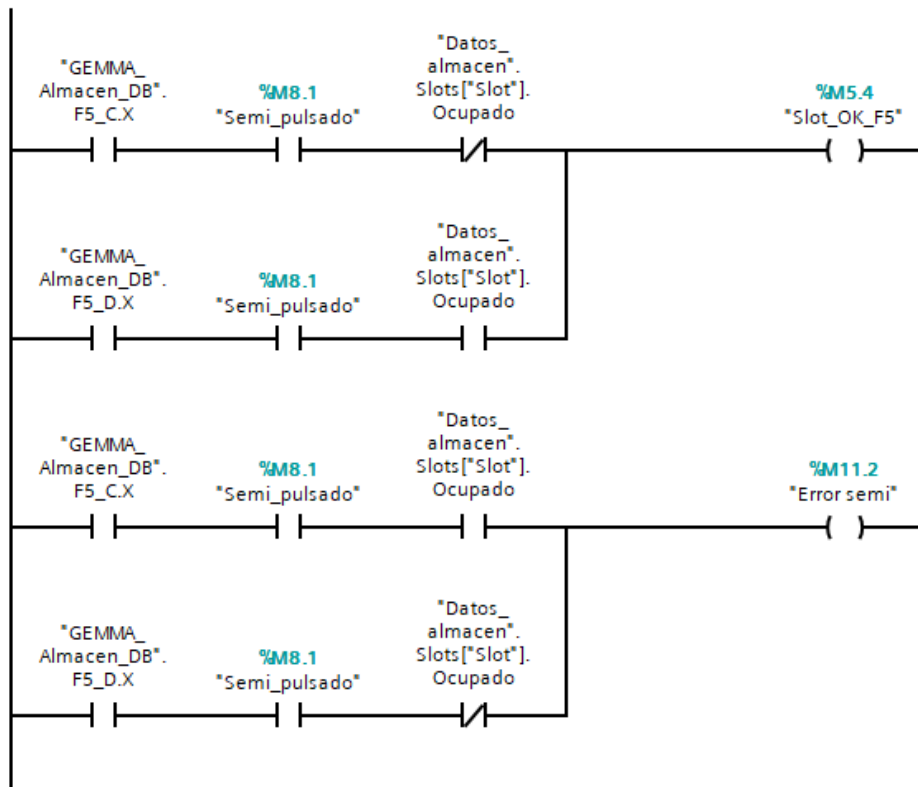
**Segmento 5: Semi-auto**

Comentario



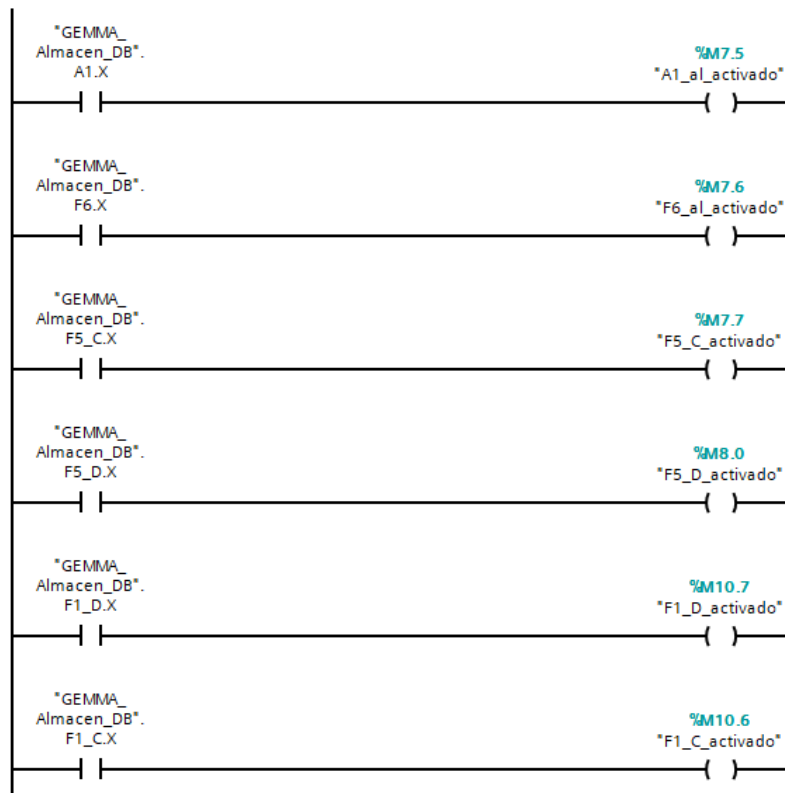
▼ Segmento 6: .....

Comentario



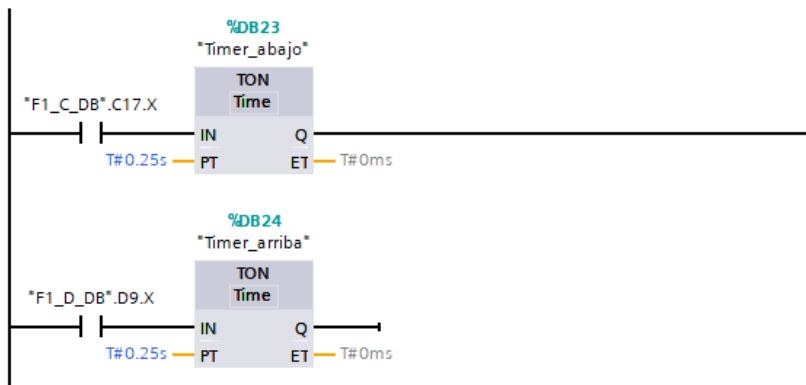
▼ **Segmento 7: Auxiliares HMI**

Variables auxiliares activación estados de HMI



▼ **Segmento 8: .....**

Tiempo para dejar o recoger una pieza



## 5. Funciones auxiliares

### 5.1 Interrupción pulsos horizontal

```
1 IF "Av_Horizontal" THEN
2     // Statement section IF
3     "Datos_almacen".Cuenta_Horizontal := "Datos_almacen".Cuenta_Horizontal + 1;
4 END_IF;
5
6 IF "Rt_Horizontal" THEN
7     "Datos_almacen".Cuenta_Horizontal := "Datos_almacen".Cuenta_Horizontal - 1;
8 END_IF;
```

### 5.2 Interrupción pulsos vertical

```
1 IF "Abajo_vert" THEN
2     // Statement section IF
3     "Datos_almacen".Cuenta_Vertical := "Datos_almacen".Cuenta_Vertical + 1;
4 END_IF;
5
6 IF "Arriba_vertical" THEN
7     "Datos_almacen".Cuenta_Vertical := "Datos_almacen".Cuenta_Vertical - 1;
8 END_IF;
```

### 5.3 Cargar\_cargador

```
1 #i := FALSE;
2 #j := 0;
3 WHILE #i=0 DO
4     // Statement section WHILE
5     IF "Cargador".Cargador[#j]=0 THEN
6         // Statement section IF
7         #i := 1;
8         "Cargador".Cargador[#j]:="Cargador".Pieza ;
9     ELSE
10        #j := #j + 1;
11    END_IF;
12    IF #j = 9 THEN
13        // Statement section IF
14        #i := 1;
15    END_IF;
16
17 END_WHILE;
```



## 5.4 Vacia\_cargador

```
1 #i := 0;
2 FOR #i := 0 TO 7 DO
3     // Statement section FOR
4     "Cargador".Cargador[#i] := "Cargador".Cargador[#i+1];
5 END_FOR;
6 "Cargador".Cargador[8] := 0;
```

## 5.5 Hacia\_almacen

```
1 #i := FALSE;
2 #j := 0;
3 WHILE #i = 0 DO
4     // Statement section WHILE
5     IF "Datos_almacen".Llegada_almacen[#j] = 0 THEN
6         // Statement section IF
7         #i := 1;
8         "Datos_almacen".Llegada_almacen[#j] := #Tipo_pieza;
9         "Array_al_full" := 0;
10    ELSE
11        #j := #j + 1;
12    END_IF;
13    IF #j = 11 THEN
14        // Statement section IF
15        #i := 1;
16        "Array_al_full" := 1;
17    END_IF;
18
19 END_WHILE;
```

## 5.6 Vacia\_array\_almacen

```
1 FOR #i := 0 TO 9 DO
2     // Statement section FOR
3     "Datos_almacen".Llegada_almacen[#i] := "Datos_almacen".Llegada_almacen[#i + 1];
4 END_FOR;
5 "Datos_almacen".Llegada_almacen[10] := 0;
```

## 5.7 Busca\_slot

```
1 IF #Llena THEN
2     #i := 0;
3     #No_espacio := 0;
4     #encontrado := 0;
5     WHILE #encontrado = 0 DO
6         // Statement section WHILE
7         IF #i = 9 THEN
8             // Statement section IF
9             #encontrado := 1;
10            #No_espacio := 1;
11        ELSE
12            IF "Datos_almacen".Slots[#i].Ocupado = 0 AND "Datos_almacen".Slots[#i]."Tipo Pieza" = #Tipo_pieza_C THEN
13                // Statement section IF
14                "Pos_h" := "Datos_almacen".Slots[#i]."Coordenada X";
15                "Pos_v" := "Datos_almacen".Slots[#i]."Coordenada Y";
16                #Slot := #i;
17                #encontrado := 1;
18                #No_espacio := 0;
19            ELSE
20                #i := #i + 1;
21            END_IF;
22        END_IF;
23    END_WHILE;
24
25 ELSE
26     #i := 0;
27     #Vacio := 0;
28     #encontrado := 0;
29     IF #Total THEN
30         WHILE #encontrado = 0 DO
31             // Statement section WHILE
32             IF #i = 9 THEN
33                 // Statement section IF
34                 #encontrado := 1;
35                 #Vacio := 1;
36             ELSE
37                 IF "Datos_almacen".Slots[#i].Ocupado = 1 THEN
38                     "Pos_h" := "Datos_almacen".Slots[#i]."Coordenada X";
39                     "Pos_v" := "Datos_almacen".Slots[#i]."Coordenada Y" + 90;
40                     #Slot := #i;
41                     #encontrado := 1;
42                     #Vacio := 0;
43                 ELSE
44                     #i := #i + 1;
45                 END_IF;
46             END_IF;
47         END_WHILE;
48     ELSE
49         WHILE #encontrado = 0 DO
50             // Statement section WHILE
51             IF #i = 9 THEN
52                 // Statement section IF
53                 #encontrado := 1;
54                 #Vacio := 1;
55             ELSE
56                 IF "Datos_almacen".Slots[#i].Ocupado = 1 AND "Datos_almacen".Slots[#i]."Tipo Pieza" = #Tipo_pieza_D THEN
57                     "Pos_h" := "Datos_almacen".Slots[#i]."Coordenada X";
58                     "Pos_v" := "Datos_almacen".Slots[#i]."Coordenada Y" + 90;
59                     #Slot := #i;
60                     #encontrado := 1;
61                     #Vacio := 0;
62                 ELSE
63                     #i := #i + 1;
64                 END_IF;
65             END_IF;
66         END_WHILE;
67     END_IF;
68 END_IF;
69
```

## 6. Manuales de usuario

Se dispone de dos aplicaciones para interactuar y controlar la línea de producción, una en una pantalla HMI para ser utilizada por los operarios de la línea y otra ejecutada en un PC para ser utilizada con personal más cualificado con mayores responsabilidades que los operarios. A continuación, se explica el funcionamiento de ambas aplicaciones.

### 6.1 Aplicación HMI

Al encender la pantalla, aparece la imagen por defecto, donde el usuario debe iniciar sesión. Hasta que no inicie sesión, no podrá acceder a ninguna funcionalidad de la aplicación, salvo la activación de las paradas de emergencia. Una vez iniciada la sesión, se le indicará su nombre de usuario y grupo al que pertenece, además de indicarle que ha iniciado sesión. Desde esta imagen usted podrá cerrar su sesión o cambiar de usuario. Una vez ha iniciado sesión, podrá acceder a las demás imágenes de la aplicación. En la imagen inferior se muestra información sobre esta ventana de inicio de sesión.



- **Proceso de horneado y serrado:** A través de esta imagen usted podrá ver el funcionamiento del proceso de horneado y serrado. En esta pantalla se observa un esquema simplificado del proceso, indicando los sensores activados mediante indicadores luminosos. En el dibujo del horno podrá poner en funcionamiento el calentamiento del horno, viendo el tiempo que falta para que se alcance la temperatura deseada (50 segundos). En la zona izquierda tiene información sobre el cargador de piezas del horno. Pulsando en los botones que se muestran a su lado puede cargar una nueva pieza en el cargador.

En la parte inferior de la imagen se encuentran los controles del proceso. Aquí podrá alternar entre los distintos modos de funcionamiento (automático, semiautomático y manual). Debe tener en cuenta que para iniciar los modos automático y semiautomático debe cumplir antes las condiciones iniciales. Se indicará con un mensaje parpadeante que estas condiciones no se cumplen. Al pulsar sobre el botón de modo manual o semiautomático se abrirá una nueva imagen con los controles correspondientes a estos modos de funcionamiento. Para volver a la ventana del proceso, pulse el botón *Salir*.



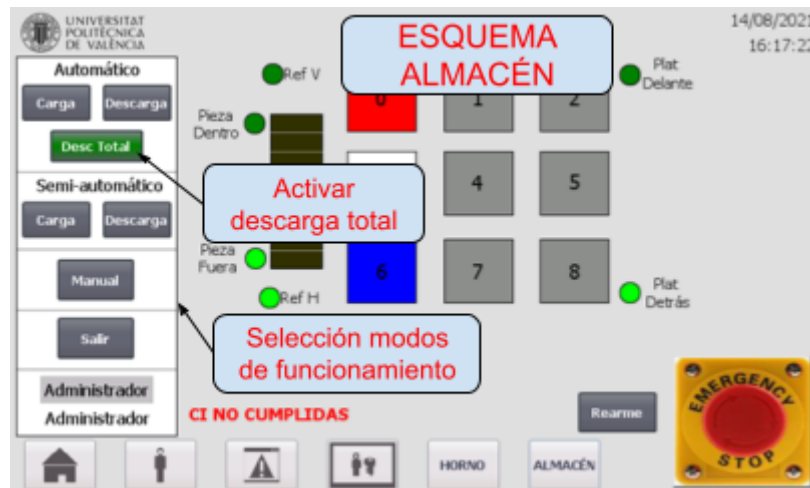
A continuación, se muestra la ventana de control manual de este proceso. La ventana de control semiautomático funciona de la misma forma que la ventana de modo manual.



Cuando active la parada de emergencia, deberá volver a pulsar el botón de parada de emergencia para desactivarla. Después debe pulsar en *Manual*, entrando así en el modo de funcionamiento manual.

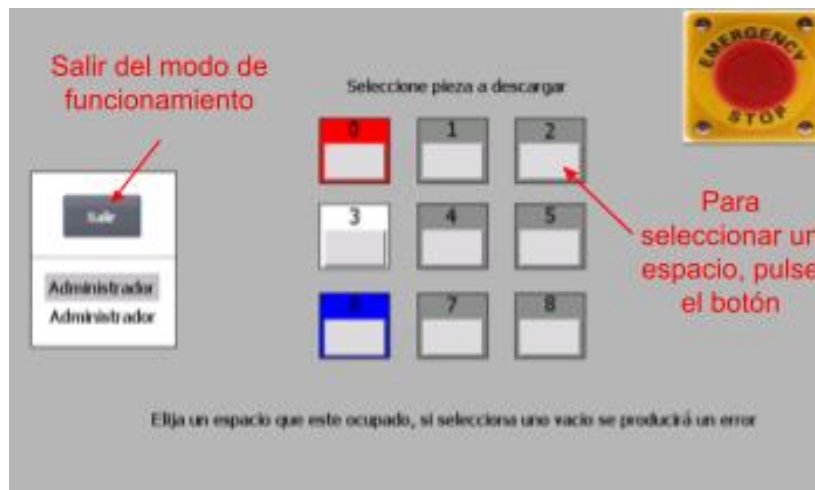
- **Almacén:** En esta imagen podrá ver el estado actual del almacén, indicando la pieza que ocupa una posición determinada, así como el tipo de pieza almacenada. En la parte izquierda de la pantalla tiene disponible el control de los modos de funcionamiento del almacén. Puede seleccionar entre carga y descarga automática, carga y descarga semiautomática y modo manual. Para iniciar los modos automático y semiautomático deben cumplirse las condiciones iniciales. Si estas condiciones no se cumplen, aparecerá un mensaje parpadeante indicando que no se reúnen las condiciones iniciales.

El modo de descarga automática tiene dos modalidades. Si selecciona el botón *Descarga total*, se vaciará completamente el almacén. Si no lo selecciona, deberá elegir el tipo de pieza que quiere descargar del almacén.



Los controles del modo manual aparecerán en la misma pantalla del almacén cuando selecciones este modo.

Cuando seleccione una opción semiautomática, se abrirá una nueva ventana con información sobre este modo de funcionamiento. Para salir de esta imagen, pulse el botón *Salir*.



Cuando active una parada de emergencia, deberá desactivar la seta de emergencia de la aplicación, pulsando otra vez sobre ella. Tras esto, debe pulsar el botón *Rearme*. Tenga en cuenta que la opción *Rearme* puede elegirla para poner el sistema en condiciones iniciales si estas no se cumplen, sin tener que activar previamente la emergencia.

Cada vez que se produzca un aviso de la HMI, aparecerá en una ventana emergente que le proporcionará información sobre el aviso. Estos avisos debe acusarlos en la opción *Acusar*, en la parte inferior derecha de la ventana. También puede acceder a la imagen de Administración de usuarios, donde podrá cambiar su contraseña o administrar otros usuarios si usted pertenece al grupo de administradores.

## 6.2 Aplicación SCADA

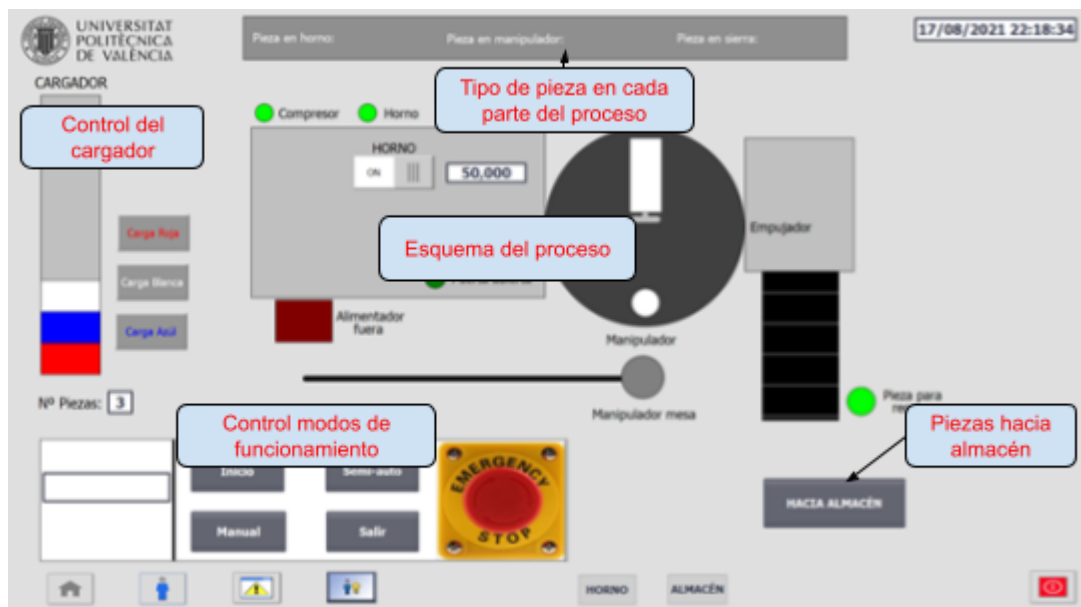
Al encender la pantalla, aparece la imagen por defecto, donde el usuario debe iniciar sesión. Hasta que no inicie sesión, no podrá acceder a ninguna funcionalidad de la aplicación, salvo la activación de las paradas de emergencia. Una vez iniciada la sesión, se le indicará su nombre de usuario y grupo al que pertenece, además de indicarle que ha iniciado sesión. Desde esta imagen usted podrá cerrar su sesión o cambiar de usuario. Una vez ha iniciado sesión, podrá acceder a las demás imágenes de la aplicación.



- **Proceso de horneado y serrado:** En esta ventana tiene disponible un esquema con movimiento. Las partes del proceso se moverán según la posición en la que se encuentre. En la parte superior de la ventana tiene disponible información sobre el tipo de pieza que hay en cada parte del proceso. En la zona izquierda tiene información sobre el cargador de piezas del horno. Pulsando en los botones que se muestran a su lado puede cargar una nueva pieza en el cargador.

Podrá poner en marcha el calentamiento del horno pulsando el interruptor que se muestra en el esquema del proceso, encima de la representación del horno. También se muestra información sobre el tiempo de calentamiento, indicando que se alcanza la temperatura (a los 50 segundos).

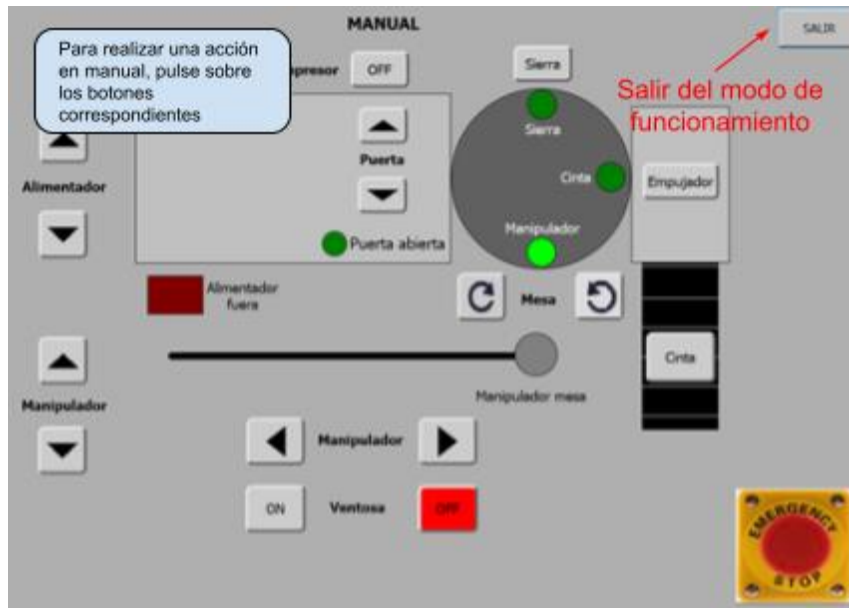
En la parte inferior tiene los controles de los diferentes modos de funcionamiento del proceso (automático, semiautomático y manual). Debe tener en cuenta que para iniciar los modos automático y semiautomático debe cumplir antes las condiciones iniciales. Se indicará con un mensaje parpadeante que estas condiciones no se cumplen. En la ventana del proceso, en la zona inferior derecha, tiene un botón para activar la vista de las piezas que hay actualmente en la cintra transportadora hacia el almacén.



Al pulsar sobre el botón de modo manual o semiautomático se abrirá una ventana emergente con los controles correspondientes a estos modos de funcionamiento. Para volver a la ventana del proceso, pulse el botón *Salir*.

Cuando active la parada de emergencia, deberá volver a pulsar el botón de parada de emergencia para desactivarla. Después debe pulsar en *Manual*, entrando así en el modo de funcionamiento manual.

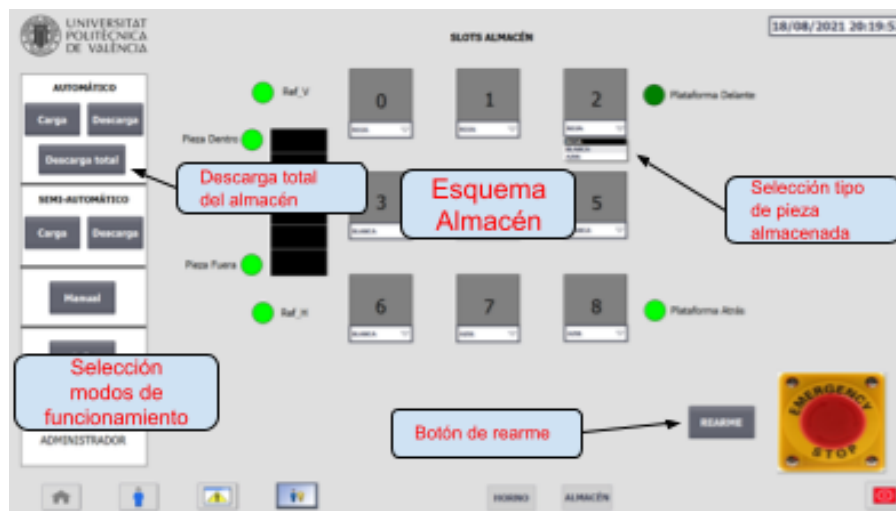
A continuación, se muestra la ventana de control manual de este proceso. La ventana de control semiautomático funciona de la misma forma que la ventana de modo manual.



- Almacén:** En esta imagen podrá ver el estado actual del almacén, indicando la pieza que ocupa una posición determinada, así como el tipo de pieza almacenada. Desde esta ventana, usted podrá cambiar la configuración del almacén, cambiando el tipo de pieza que se podrá almacenar en un espacio determinado. No podrá modificar el tipo de pieza a almacenar de un espacio ocupado. Para poder cambiar la configuración, el almacén debe estar en reposo, sin ningún modo de funcionamiento activado. Los sensores activados se muestran con indicadores luminosos.

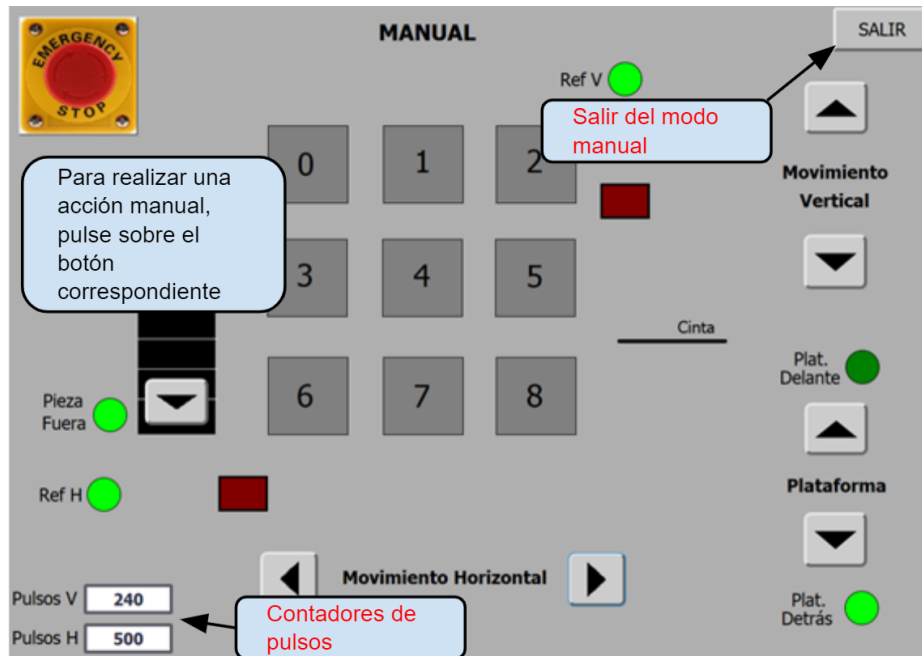
En la parte izquierda de la pantalla tiene disponible el control de los modos de funcionamiento del almacén. Puede seleccionar entre carga y descarga automática, carga y descarga semiautomática y modo manual. Para iniciar los modos automático y semiautomático deben cumplirse las condiciones iniciales. Si estas condiciones no se cumplen, aparecerá un mensaje parpadeante indicando que no se reúnen las condiciones iniciales.

El modo de descarga automática tiene dos modalidades. Si selecciona el botón *Descarga total*, se vaciará completamente el almacén. Si no lo selecciona, deberá elegir el tipo de pieza que quiere descargar del almacén.

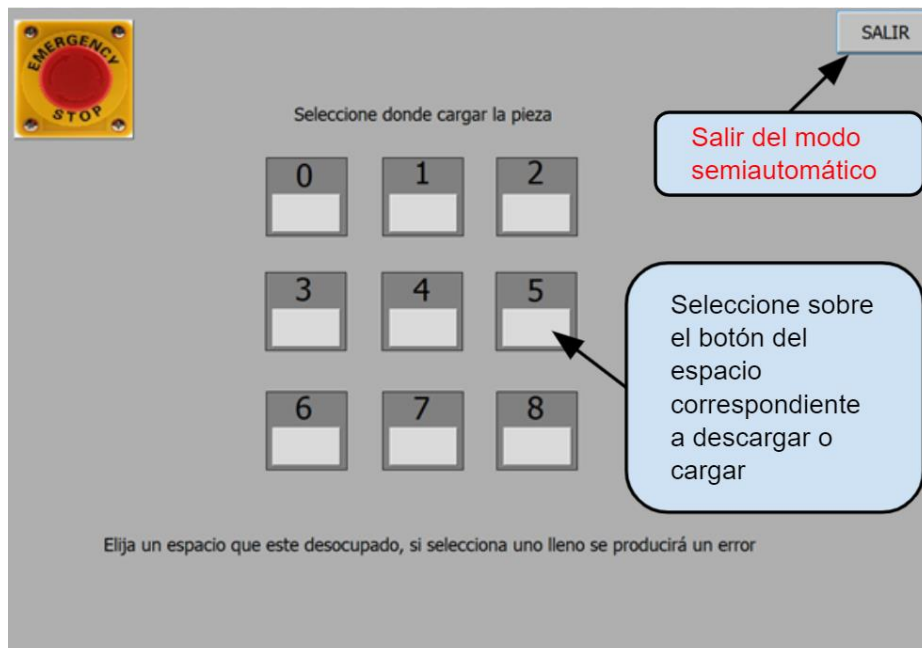




Al activar el modo manual se abrirá una ventana emergente que mostrará los controles manuales. En esta ventana, mientras mueve el manipulador del almacén, la representación de este mecanismo en la pantalla también se desplazará, dependiendo de su posición real.



El modo semiautomático también se controla con una ventana emergente, que mostrará información sobre el modo de funcionamiento seleccionado (carga o descarga).



Cuando active una parada de emergencia, deberá desactivar la seta de emergencia de la aplicación, pulsando otra vez sobre ella. Tras esto, debe pulsar el botón *Rearme*. Tenga en cuenta que la opción *Rearme* puede elegirla para poner el sistema en condiciones iniciales si estas no se cumplen, sin tener que activar previamente la emergencia.

Cada vez que se produzca un aviso de la aplicación SCADA, aparecerá en una ventana emergente que le proporcionará información sobre el aviso. Estos avisos debe acusarlos en la opción *Acusar*, en la parte inferior derecha de la ventana. También puede acceder a la imagen de Administración de usuarios, donde podrá cambiar su contraseña o administrar otros usuarios si usted pertenece al grupo de administradores.