



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

*TRABAJO FINAL DEL*

*REALIZADO POR*

*TUTORIZADO POR*

*FECHA:* Valencia,

## RESUMEN

El proyecto realizado se basa en la automatización de una maqueta de carácter industrial, que se encuentra en el laboratorio de Automatización del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, edificio 5C del Campus de Vera; y el diseño de una aplicación SCADA.

La automatización consistirá en la clasificación de dos tipos de piezas. Se ha programado un modo de seguridad que detenga todos los procesos tras el accionamiento de una seta de emergencia y dos modos de marcha. Un modo automático monitorizado mediante la aplicación SCADA y un modo manual controlado desde la aplicación SCADA.

Para la automatización se han empleado dos autómatas Modicon M241 de la marca Schneider Electric conectados en red y una pantalla HMI modelo NB7W-TW01B de la marca Omron también conectada en red. Se han empleado los softwares de programación SoMACHINE y NB-Designer.

**Palabras Clave:** SoMachine, NB-Designer, M241, Schneider, HMI, SCADA, PLC, RED.

## RESUM

El projecte realitzat es basa en l'automatització d'una maqueta de caràcter industrial, que es troba al laboratori d'Automatització del Departament d'Enginyeria de Sistemes y Automàtica, edifici 5C del Campus de Vera; y el disseny d'una aplicació SCADA.

L'automatització consistirà en la classificació de dos tipus de peces. S'ha programat un modo de seguretat que detingui tots els processos després de l'accionament d'una seta d'emergència y dos modos de marxa. Un modo automàtic monitoritzat mediant l'aplicació SCADA y un modo manual controlat amb l'aplicació SCADA.

Per l'automatització s'han empleat dos autòmats Modicon M241 de la marca Schneider Electric connectats en xarxa y una pantalla HMI model NB7W-TW01B de la marca Omrom que també es troba connectada en xarxa. S'han empleat els softwares de programació SoMACHINE y NB-Designer.

**Paraules Clau:** SoMachine, NB-Designer, M241, Schneider, HMI, SCADA, PLC.

## ABSTRACT

The project is based on the automation of an industrial model, which is located in the Automation Laboratory of the Department of Systems and Automation Engineering, building 5C Vera Campus; and the design of a SCADA application.

Automation will consist of the classification of two types of parts. A safety mode has been programmed to stop all processes after the operation of an emergency stop button and two running modes. An automatic mode monitored by the SCADA application and a manual mode controlled from the SCADA application.

Two Modicon M241 controllers from Schneider Electric connected in network, were used for the automation. Also an HMI display model NB7W-TW01B from Omron is connected to network. SoMACHINE and NB-Designer programming software have been used.

**Key Words:** SoMACHINE, NB-Designer, M241, Schneider, HMI, SCADA, PLC.

## ÍNDICE DE CONTENIDO DEL PROYECTO

- MEMORIA
- PLIEGO DE CONDICIONES
- PRESUPUESTO
- ANEXOS

# PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA DE LABORATORIO CON AUTÓMATAS SCHNEIDER M241 CONECTADOS EN RED. DESARROLLO DE APLICACIÓN SCADA EN HMI DE OMRON.

## I. MEMORIA

## Tabla de contenido

1.	OBJETO DEL PROYECTO.....	9
2.	CONTEXTO.....	9
3.	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO EMPLEADO.....	10
3.1.	DOS AUTÓMATAS MODICON M241 LOGIC CONTROLLER (TM241CE40R).....	10
3.2.	PANTALLA HMI.....	11
3.3.	MAQUETA ARTITECNIC.....	11
3.3.1.	Bastidor.....	12
3.3.2.	Cintas transportadoras.....	13
3.3.3.	Eje lineal eléctrico.....	15
3.3.4.	Pick and Place.....	16
3.3.5.	Piezas.....	16
4.	ENTRADAS Y SALIDAS ASOCIADAS A LOS CONECTORES C1 Y C2.....	17
4.1.	CONTROL DE VARIADORES.....	19
4.2.	CONTROL DEL EJE ELÉCTRICO.....	20
5.	DISEÑO DEL AUTOMATISMO.....	21
5.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL.....	21
5.2.	MODO AUTOMÁTICO.....	22
5.2.1.	Cinta de Alimentación.....	23
5.2.2.	Cinta Central.....	23
5.2.3.	Cinta de Recirculación.....	23
5.2.4.	Eje Lineal-Eléctrico.....	23
5.2.5.	Eje Pick and Place.....	23
5.3.	MODO MANUAL.....	24
5.3.1.	Cinta de alimentación.....	24
5.3.2.	Cinta Central.....	25
5.3.3.	Cinta de Recirculación.....	25
5.3.4.	Componente X Eje Lineal-Eléctrico.....	25
5.3.5.	Componente Z Eje Lineal-Eléctrico.....	25
5.3.6.	Estación de Prensado.....	25
5.3.7.	Compuerta.....	25
5.3.8.	Eje Pick and Place.....	25
5.4.	JERARQUÍA DE GRAFCETS.....	26
5.4.1.	Grafcet de Seguridad.....	26
5.4.2.	Selección de Modo de Marcha.....	26
5.5.	CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA DURANTE LA PROGRAMACIÓN:.....	27
6.	DISEÑO DEL AUTOMATISMO EN SOMACHINE.....	27
6.1.	CREACIÓN DEL PROYECTO.....	27
6.2.	PRIMEROS PASOS PARA PROGRAMAR EN SOMACHINE.....	30
6.3.	CONFIGURACIÓN DE LA COMUNICACIÓN ENTRE LOS CONTROLADORES.....	33
6.4.	DISEÑO DE LA COMUNICACIÓN ENTRE CONTROLADORES EN SOMACHINE.....	34

6.5.	DEFINICIÓN DE LAS E/S.....	39
6.6.	FORZADOS EN SOMACHINE .....	42
6.7.	CONSIDERACIONES PARA LA PROGRAMACIÓN EN SOMACHINE.....	43
7.	DISEÑO DE LA APLICACIÓN SCADA EN NB-DESIGNER.....	44
7.1.	CREACIÓN DEL PROYECTO NUEVO EN NB-DESIGNER .....	44
7.2.	CONFIGURACIÓN DE LA CONEXIÓN ENTRE LA PANTALLA HMI Y EL CLIENTE EN NB-DESIGNER.....	45
7.3.	PRIMEROS PASOS PARA PROGRAMAR EN NB-DESIGNER .....	47
7.4.	VINCULACIÓN DE LOS OBJETOS FUNCIONALES BOTÓN DE BIT Y LÁMPARA DE BIT CON LAS E/S Y DEMÁS VARIABLES DEL PROYECTO. ....	47
7.5.	TRANSFERENCIA DEL PROGRAMA A LA PANTALLA HMI .....	50
8.	LA APLICACIÓN SCADA .....	51
8.1.	PANTALLA INICIO .....	51
8.2.	MODO AUTOMÁTICO .....	51
8.3.	MODO MANUAL.....	52
9.	CONCLUSIONES .....	53
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	54

### 1. Objeto del proyecto

El objeto del proyecto es la automatización de una maqueta industrial para la clasificación de dos tipos de piezas, mediante el uso de dos autómatas Schneider Electric Modicon M241 conectados en red y el diseño de una aplicación SCADA en una pantalla HMI de Omron para la monitorización y/o control del proceso.

El diseño del automatismo debe realizarse íntegramente en el software SoMachine de la marca Schneider Electric mediante la utilización de los lenguajes de programación SFC y diagrama de contactos (LD).

La comunicación entre los diferentes elementos que intervienen en el desarrollo del proyecto se ha de ser vía Ethernet.

La aplicación SCADA ha de ser diseñada mediante el uso del software NB-Designer de Omron y tiene la función de monitorizar el proceso, así como permitir el control de ciertos actuadores siempre y cuando se esté ejecutando el modo de marcha manual.

Finalmente debe redactarse toda la documentación relativa al desarrollo del proyecto en un documento que conste de las siguientes partes:

- Memoria
- Pliego de condiciones
- Presupuesto
- Anexos

### 2. Contexto

La maqueta industrial es facilitada por el cliente con el objetivo de que se ejecute la programación de un automatismo en base a las especificaciones que este también nos proporciona. Se dispone de dos autómatas Schneider Electric Modicon M241 junto con el software de programación e implementación de código SoMachine. Los autómatas se encuentran conectados a los sensores y actuadores de la maqueta mediante dos cables de conexión.

El código a implementar deberá hacerse responsable de la clasificación de dos tipos de piezas, además de garantizar el correcto funcionamiento de los elementos de seguridad y contar con dos modos de marcha; manual y automático.

También se precisa el desarrollo de una aplicación SCADA la cual permita la monitorización del modo automático y control del modo manual. Para ello se precisa del software NB-Designer y de una pantalla HMI de Omron NB7W-TW01B.

Finalmente, para hacer posible la conexión entre dispositivos y hacer posible el flujo de información sobre el estado de las diferentes variables que intervienen en el proceso, se precisa de un total de tres cables de conexión Ethernet; uno para cada automático y un tercero para la conexión de la pantalla HMI.

### 3. Descripción del equipo empleado

En este apartado se detallan las características más relevantes sobre cada uno de los equipos empleados en la realización de este proyecto.

#### 3.1. Dos Autómatas Modicon M241 Logic Controller (TM241CE40R)

Se trata de un modelo de autómata que data de 2014 y que proviene de la marca Schneider Electric, consta con una amplia gama de funciones y aplicaciones. Entre sus características principales, posee de 24 entradas digitales (8 de las cuales rápidas), 16 salidas digitales (4 de las cuales rápidas) y ofrece diversos medios de comunicación mediante: 2 puertos línea serie, 1 puerto de programación USB mini-B y 1 puerto Ethernet, de este último, nos valdremos para la realización de las conexiones entre los diferentes equipos que intervienen. Además, consta con la posibilidad de implementarle módulos de ampliación, tanto al lado derecho como al izquierdo, lo que permite maximizar las posibilidades del autómata, por ejemplo, aumentando el número de E/S digitales [2].

El software que emplea este tipo de autómatas para su configuración, programación y puesta en funcionamiento se conoce como SoMachine. Un software que, de manera muy gráfica e intuitiva, nos permite la utilización de diversos lenguajes de programación, como el diagrama de contactos (LD) o el diagrama funcional secuencial (SFC), más conocido como lenguaje Grafcet.

Para la realización de este proyecto se han utilizado dos de estos autómatas, dado que el número de E/S existente en solo uno de ellos, no era suficiente para cubrir las necesidades del proyecto. Los dos dispositivos empleados se encuentran en el Laboratorio de Automatización del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática (DISA). Para la conexión entre ambos autómatas se ha optado por una arquitectura cliente-servidor, la cual se explica en apartados futuros.

Cada dispositivo consta con un adhesivo en el que se puede leer la dirección IP del mismo, esta es de vital importancia puesto que nos permitirá establecer la conexión no solo entre el software y el autómata, sino también entre ambos autómatas.

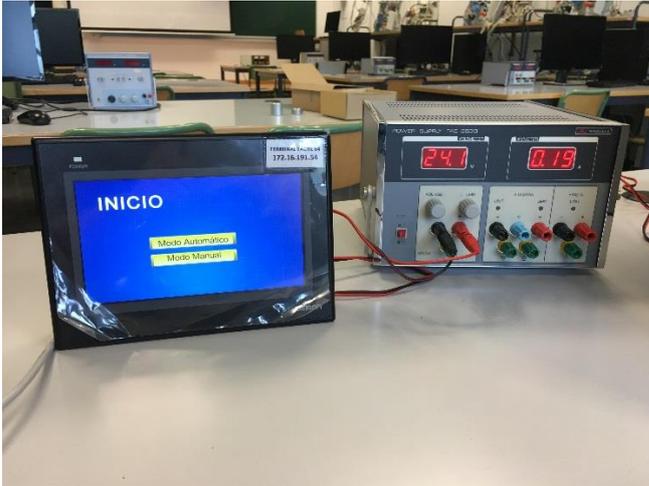


*Imagen 1. Autómatas Schneider Electric Modicon M241.*

### 3.2. Pantalla HMI

Se trata de una pantalla HMI táctil de la marca Omron, la cual consta con la posibilidad de transferir datos mediante una conexión vía Ethernet, entre otras. Al igual que como ocurría con los autómatas, su dirección IP se encuentra reflejada en un adhesivo que encontramos sobre la misma. Para funcionar, precisa de una fuente de alimentación de 24V DC, la cual también podemos encontrar en el Laboratorio de Automatización.

La pantalla también requiere de un programa de control de la interfaz, el cual ha sido diseñado mediante el software NB-Designer, este software también pertenece a la marca Omron.



*Imagen 2. Pantalla HMI y fuente de alimentación*

### 3.3. Maqueta ARTITECNIC

Es una maqueta definida como una célula de simulación de procesos industriales automática. Su propósito es la simulación de un proceso industrial a pequeña escala, de tal forma que su puesta en marcha se realice íntegramente mediante autómatas programables, es por esto que tiene una finalidad plenamente didáctica. Esta maqueta ofrece muchas posibilidades de programación, otorgando al usuario cierto grado de libertad a la hora de programarla. La maqueta es impulsada de manera electro-neumática y la conexión con los autómatas se realiza mediante dos conectores que contienen todas las E/S de las que el equipo dispone. Las características citadas en los próximos subapartados han sido extraídas de la memoria de la maqueta [1].



*Imagen 3. Maqueta ARTITECNIC.*

El conjunto de la maqueta puede ser desglosado en 5 subconjuntos que serán mencionados y explicados en los siguientes subapartados.

### 3.3.1. Bastidor

El bastidor comprende la estructura principal de la maqueta, esta, está construida íntegramente en perfilería de aluminio estructural. El cuadro eléctrico también forma parte de este subconjunto.

El cuadro eléctrico engloba todos los elementos tanto electrónicos como neumáticos necesarios para el control y la seguridad de la máquina, está formado por los siguientes dispositivos:

- **Variadores de frecuencia:** Hay un total de 3 variadores de frecuencia Siemens Micromaster. Hay un variador para cada una de las cintas transportadoras de las que dispone la maqueta. La velocidad de los variadores se puede configurar mediante señales digitales.
- **Electroválvulas:** comprende el conjunto de las electroválvulas necesarias para el accionamiento de actuadores y eyectores de vacío de las ventosas.
- **Fuente de alimentación:** se trata de una fuente de 24V DC cuya función es alimentar al conjunto maqueta.
- **Botonera industrial:** se encuentra en la parte frontal de la maqueta y está pensada para controlar el funcionamiento de la maqueta. Consta de dos botones, un piloto auxiliar y una seta de emergencia. El pulsador verde se corresponderá con el sensor MARCHA1, mientras que el rojo lo hará con el sensor MARCHA2. La Seta de emergencia deberá detener el proceso inmediatamente tras su accionamiento.



*Imagen 4. Botonera industrial de la maqueta.*

- **Mecanismos de protección:** conjunto de protecciones eléctricas, magneto térmico y diferencial.

- Cableado y control: En este apartado nos interesa destacar, de entre todo el cableado y conexiones existentes en la caja, los dos conectores disponibles para realizar la conexión entre la maqueta y los autómatas (C1 y C2). Son estos conectores los encargados de realizar el intercambio de información sobre el estado de las E/S entre la maqueta y los autómatas y viceversa.

### 3.3.2. Cintas transportadoras

Engloba al conjunto de las tres cintas transportadoras dispuestas a lo largo del recorrido propuesto en la maqueta. A continuación, serán analizadas de manera individual cada una de ellas.

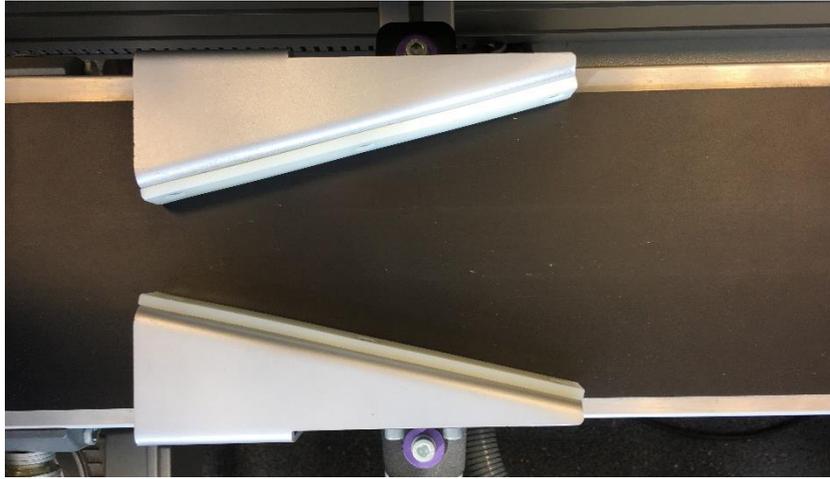


*Imagen 5. Cintas de alimentación de la maqueta.*

- Cinta de Alimentación:

Es la primera de las tres cintas y el primer elemento en intervenir, su función es alimentar de piezas el proceso. Esta cinta se caracteriza por ser la única en disponer de un sistema de centrado de piezas, que asegura que las piezas acaben en la posición correcta al final de la cinta. Además, consta de un sensor en la parte final que informa de cuando una pieza ha alcanzado este punto.

El hecho de que sea la única cinta en disponer de un sistema de centrado de piezas se debe a que, en esta cinta, las piezas son colocadas manualmente y hay que garantizar que las piezas lleguen al final de la cinta en la posición correcta para así poder ser recogidas por el eje lineal-eléctrico.



*Imagen 6. Sistema de centrado de piezas de la cinta de alimentación.*

- Cinta central

Esta cinta se caracteriza por albergar dos de los elementos más importantes del proceso, la estación de prensado y el tope móvil.

La estación de prensado está formada por un conjunto de tres elementos: un pórtico metálico, un actuador neumático y un sensor foto-eléctrico de detección, y como su propio nombre indica es la encargada de someter a un prensado las piezas. Además, es este el elemento que nos permite conocer si se trata de una pieza alta o baja.



*Imagen 7. Estación de prensado de la cinta central.*

El tope móvil se encuentra al final de la cinta junto con un detector de pieza. Este elemento nos permite la separación de los dos tipos de piezas distintos con los que trabaja.

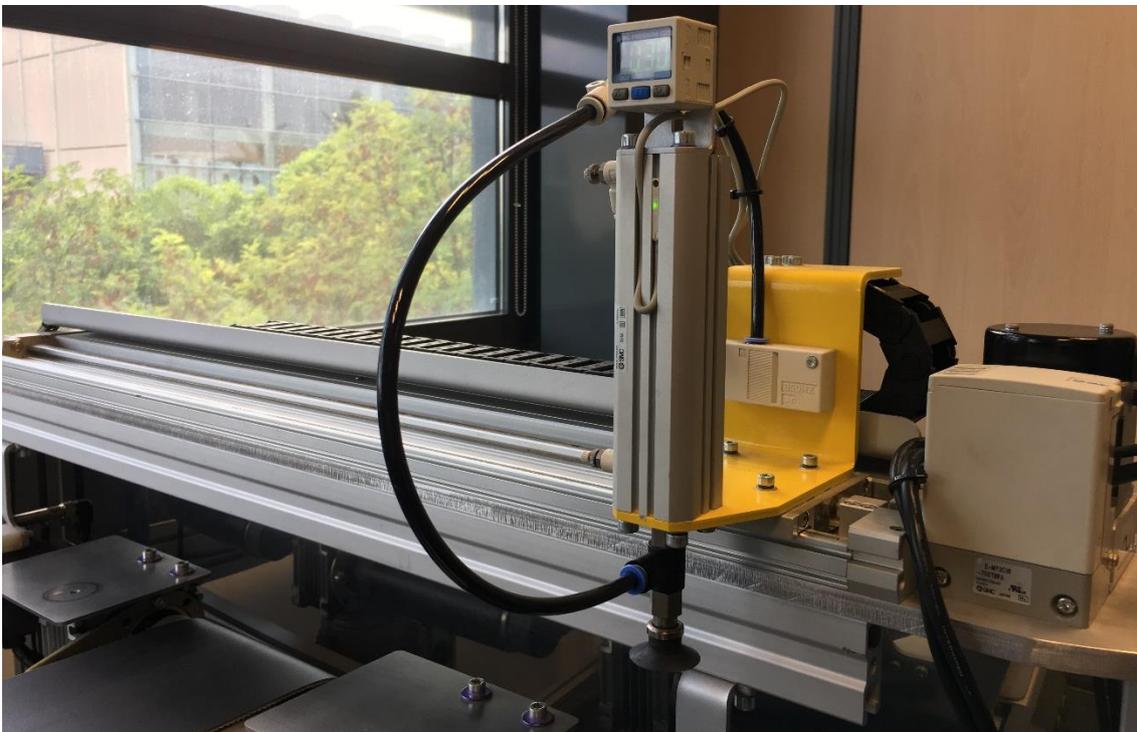
- Cinta de Recirculación:

Es la última de las tres cintas y dispone de un sensor foto-eléctrico de detección de paso de piezas a mitad de recorrido y de un sensor de detección de pieza al final de la cinta. Las piezas que lleguen a esta cinta han de ser retiradas manualmente.

### 3.3.3. Eje lineal eléctrico

Está compuesto por dos elementos diferenciados: un eje lineal de precisión y un actuador neumático.

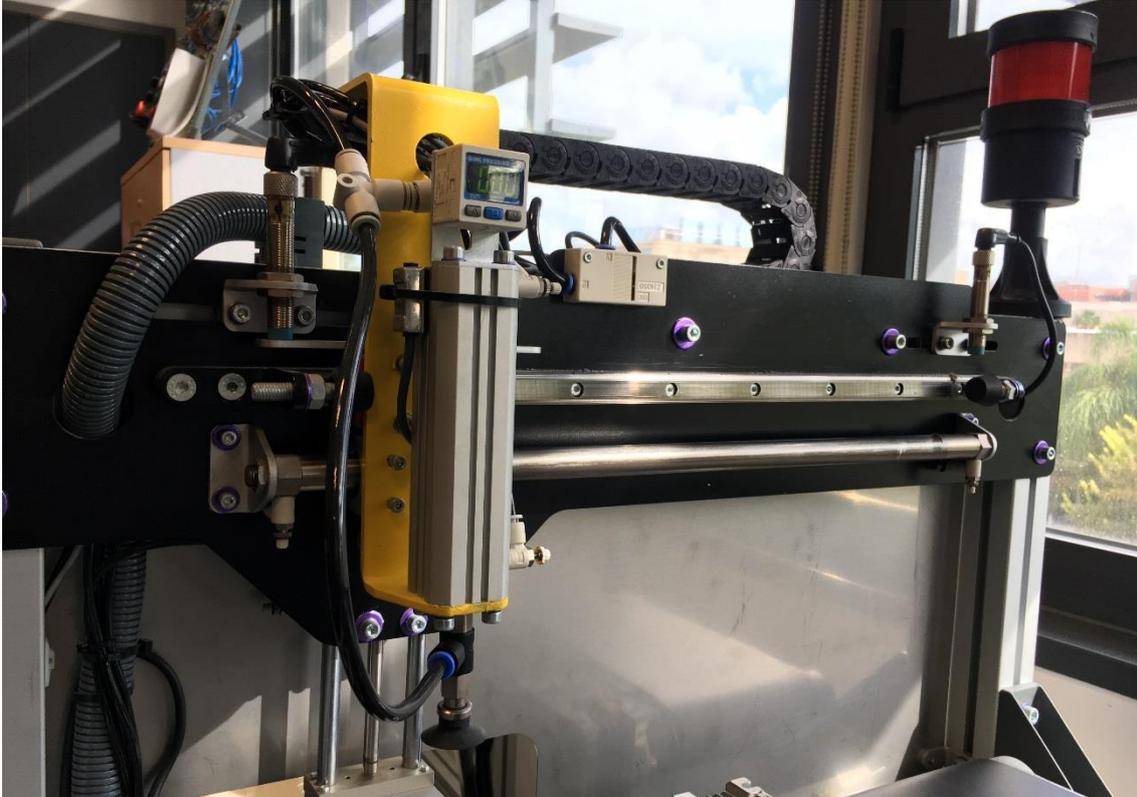
- Eje Lineal de Precisión: mediante el accionamiento de un motor paso a paso es capaz de desplazarse a lo largo del eje X de la maqueta y realizar hasta 5 paradas. Estas posiciones son además configurables; dos de ellas se pueden configurar mecánicamente mediante el uso de topes y las otras 3 se pueden configurar a través del keypad del eje.
- Actuador neumático: permite el desplazamiento en el eje Y, característica que junto con la ventosa que posee en el extremo y un mecanismo de vacío, permite la sujeción de piezas gracias al efecto ventosa.



*Imagen 8. Eje lineal-eléctrico de la maqueta.*

### 3.3.4. Pick and Place

Se trata de un elemento neumático que permite el transporte de piezas desde la cinta central hasta la cinta de recirculación gracias al mecanismo de sujeción de piezas por vacío mediante ventosa que incorpora.



*Imagen 9. Eje pick and place de la maqueta.*

### 3.3.5. Piezas

Las piezas son otro elemento del conjunto maqueta, puesto que estas vienen con ella. Las piezas están fabricadas en aluminio y la maqueta está diseñada para la manipulación de las mismas. Encontramos dos tipos de piezas, las piezas altas con unas medidas de  $\text{Ø}40 \times 40 \text{mm}$  y las piezas con unas medidas de  $\text{Ø}40 \times 20 \text{mm}$ .



*Imagen 10. Piezas.*

#### 4. Entradas y Salidas asociadas a los conectores C1 y C2

En las siguientes tablas se enumeran cada uno de los sensores y actuadores presentes en la maqueta junto con una breve descripción de su propósito y la dirección donde podremos obtener la información sobre el estado de un sensor o ordenar la puesta en marcha de un actuador. También se diferencia entre las E/S pertenecientes al conector 1 y al conector 2.

- ENTRADAS:

CONECTOR 1		
Señal/Sensor	Descripción	Dirección
SEN1	Fin Cinta de Alimentación.	%IX0.0
SEN2	Fin Cinta Central.	%IX0.1
SEN3	Pieza en estación de prensado.	%IX0.2
SEN4	Cilindro de prensado arriba.	%IX0.3
SEN5	Cilindro prensado abajo.	%IX0.4
SEN6	Cilindro compuerta arriba.	%IX0.5
SEN7	Cilindro compuerta abajo.	%IX0.6
SEN8	Final Cinta Recirculación.	%IX0.7
SEN9	Pieza en Cinta Recirculación.	%IX1.0
SEN10	Inicio cilindro Eje X (Pick and Place).	%IX1.1
SEN11	Final cilindro Eje X (Pick and Place).	%IX1.2
SEN12	Cilindro Eje Z_1 arriba (Pick and Place).	%IX1.3
SEN13	Pieza en ventosa_1 (Pick and Place).	%IX1.4
SEN14	Cilindro Eje Z_2 arriba (Eje Lineal Eléctrico).	%IX1.5
SEN15	Pieza en ventosa_2 (Eje Lineal Eléctrico).	%IX1.6
READY	Señal del Eje Eléctrico que indica que éste se encuentra habilitado, sin alarmas y listo para su accionamiento.	%IX1.7
CONECTOR 2		
Señal/Sensor	Descripción	Dirección
FP_1	Código del Eje Eléctrico que indica su posición actual.	%IX0.0
FP_2	Código del Eje Eléctrico que indica su posición actual.	%IX0.1
FP_3	Código del Eje Eléctrico que indica su posición actual.	%IX0.2
ALARMA	Señal del Eje Eléctrico que indica que éste se encuentra en alarma.	%IX0.3
MARCHA I	Pulsador Verde.	%IX0.4
MARCHA II	Pulsador Rojo.	%IX0.5
SETA	Seta de seguridad.	%IX0.6

Tabla 1. Entradas de los conectores 1 y 2.

- SALIDAS:

CONECTOR 1		
Señal/Actuador	Descripción	Dirección
VEL_VAR1_1	Código de selección de frecuencia del variador 1. (Cinta Alimentación)	%QX0.4
VEL_VAR1_2	Código de selección de frecuencia del variador 1. (Cinta Alimentación)	%QX0.5
VEL_VAR1_3	Código de selección de frecuencia del variador 1. (Cinta Alimentación)	%QX0.6
VEL_VAR2_1	Código de selección de frecuencia del variador 2. (Cinta Central)	%QX0.7
VEL_VAR2_2	Código de selección de frecuencia del variador 2. (Cinta Central)	%QX1.0
VEL_VAR2_3	Código de selección de frecuencia del variador 2. (Cinta Central)	%QX1.1
VEL_VAR3_1	Código de selección de frecuencia del variador 3. (Cinta Recirculación)	%QX1.2
VEL_VAR3_2	Código de selección de frecuencia del variador 3. (Cinta Recirculación)	%QX1.3
VEL_VAR3_3	Código de selección de frecuencia del variador 3. (Cinta Recirculación)	%QX1.4
IN_POS_1	Código del Eje Eléctrico para indicar la posición a la que debe desplazarse.	%QX1.5
IN_POS_2	Código del Eje Eléctrico para indicar la posición a la que debe desplazarse.	%QX1.6
IN_POS_3	Código del Eje Eléctrico para indicar la posición a la que debe desplazarse.	%QX1.7
CONECTOR 2		
Señal/Actuador	Descripción	Dirección
Y1	Electroválvula cilindro de Prensado.	%QX0.4
Y2	Electroválvula cilindro Compuerta.	%QX0.5
Y3	Electroválvula cilindro Eje X (Pick and Place).	%QX0.6
Y4	Electroválvula cilindro Eje Z_1 (Pick and Place).	%QX0.7
Y5	Electroválvula Vacío Ventosa_1 (Pick and Place).	%QX1.0
Y6	Electroválvula cilindro Eje Z_2 (Eje Lineal Eléctrico).	%QX1.1
Y7	Electroválvula Vacío Ventosa_2 (Eje Lineal Eléctrico).	%QX1.2
PILOTO_AUX_1	Piloto Rojo auxiliar situado en la botonera de mando.	%QX1.3
BALIZA	Baliza Luminosa.	%QX1.4
ON_VAR	Orden de habilitación de los variadores.	%QX1.5

Tabla 2. Salidas de los conectores 1 y 2.

Cabe destacar que todas las señales correspondientes a las entradas y salidas son positivas, es decir, cuando están desactivadas valen 0 y activadas 1; con excepción de las variables MARCHA II Y SETA que tiene un comportamiento negativo, es decir funcionan de manera inversa.

#### 4.1. Control de Variadores

Al conmutar a ON el selector principal de la maqueta, siempre y cuando la seta no esté pulsada, los tres variadores entran en tensión pero se encuentran deshabilitados.

Para ejecutar de manera correcta el proceso de habilitación de los variadores debe de existir un flanco positivo encargado de la activación de la señal ON\_VAR (que podemos observar en la anterior tabla). Esta señal es la encargada de habilitar el funcionamiento de los variadores.

En el manual se recomienda que ON\_VAR se active con la pulsación del botón verde (MARCHA I) y se mantenga así durante todo el proceso, con una única excepción, la activación de la seta de emergencia (SETA) [1].

Siempre y cuando los variadores estén habilitados podremos gestionar la velocidad de cada uno de ellos mediante la combinación binaria de tres señales, pudiendo obtener hasta siete velocidades distintas para cada uno de ellos [1]. Se muestra en las siguientes tablas:

VARIADOR 1	CINTA DE ALIMENTACIÓN			
VELOCIDAD	VEL_VAR1_1	VEL_VAR1_2	VEL_VAR1_3	FREQ. VARIADOR (Hz)
PARO	ON	OFF	OFF	0
LENTA	OFF	ON	OFF	25
RÁPIDA	ON	ON	OFF	50
LENTA INVERSA	OFF	OFF	ON	-25
RÁPIDA INVERSA	ON	OFF	ON	-50
MUY LENTA	OFF	ON	ON	10
INTERMEDIA	ON	ON	ON	35

Tabla 3. Combinación binaria variador 1.

VARIADOR 2	CINTA CENTRAL			
VELOCIDAD	VEL_VAR2_1	VEL_VAR2_2	VEL_VAR2_3	FREQ. VARIADOR (Hz)
PARO	ON	OFF	OFF	0
LENTA	OFF	ON	OFF	25
RÁPIDA	ON	ON	OFF	50
LENTA INVERSA	OFF	OFF	ON	-25
RÁPIDA INVERSA	ON	OFF	ON	-50
MUY LENTA	OFF	ON	ON	10
INTERMEDIA	ON	ON	ON	35

Tabla 4. Combinación binaria variador 2.

VARIADOR 3	CINTA DE RECIRCULACIÓN			
VELOCIDAD	VEL_VAR3_1	VEL_VAR3_2	VEL_VAR3_3	FREQ. VARIADOR (Hz)
PARO	ON	OFF	OFF	0
LENTA	OFF	ON	OFF	25
RÁPIDA	ON	ON	OFF	50
LENTA INVERSA	OFF	OFF	ON	-25
RÁPIDA INVERSA	ON	OFF	ON	-50
MUY LENTA	OFF	ON	ON	10
INTERMEDIA	ON	ON	ON	35

*Tabla 5. Combinación binaria variador 3.*

Si bien es cierto que cada variador dispone de siete velocidades del posibles, se han considerado prescindibles algunas de ellas, dejando tan solo cinco velocidades posibles por variador.

#### 4.2. Control del eje eléctrico

Es importante ser conocedores del funcionamiento de las señales READY y ALARMA para la correcta programación y puesta en funcionamiento del eje eléctrico.

Para que se ejecuten las órdenes de movimiento del eje eléctrico la señal READY debe ser igual a 1. La señal ALARMA debe permanecer igual a 0 durante las órdenes de movimiento del eje, de lo contrario indicaría alguna anomalía en el funcionamiento del eje eléctrico como un exceso de suciedad en la guía o una velocidad excesiva [1].

Para el envío de las órdenes de posición y la recepción de la posición del eje eléctrico nos encontramos con una situación parecida a las órdenes de velocidad de los variadores.

El eje puede ocupar un total de 5 posiciones a lo largo del eje x, cada posición está codificada en binario mediante 3 señales como se muestra en la siguiente tabla.

POSICIÓN	IN_POS_1	IN_POS_2	IN_POS_3
POS.1	ON	OFF	OFF
POS.2	OFF	OFF	ON
POS.3	ON	OFF	ON
POS.4	OFF	ON	ON
POS.5	OFF	ON	OFF

*Tabla 6. Combinación binaria actuadores Eje Eléctrico.*

La posición en la que se encuentra el eje se encuentra codificada de la misma forma.

POSICIÓN	FP_1	FP_2	FP_3
POS.1	ON	OFF	OFF
POS.2	OFF	OFF	ON
POS.3	ON	OFF	ON
POS.4	OFF	ON	ON
POS.5	OFF	ON	OFF

*Tabla 7. Combinación binaria sensores Eje Eléctrico.*

Teniendo en cuenta el proceso para el cual ha sido programada la maqueta, se ha estimado que la posición número 5 carecía de trascendencia y por ello ha sido obviada durante el proceso.

## 5. Diseño del automatismo

### 5.1. Descripción del proceso industrial

El diseño del automatismo se ha realizado teniendo en cuenta el cumplimiento de los objetivos citados a continuación:

- El objetivo principal del proceso es la discriminación de piezas altas y bajas y su posterior almacenamiento en lugares diferentes.
- Todas las piezas han de ser sometidas a un proceso de prensado, independientemente de su altura. Este se realizará antes del almacenamiento de la separación de las piezas en base a su altura.
- Con la finalidad de agilizar y economizar el proceso, el eje lineal-eléctrico además de encargarse de transportar piezas desde la cinta de alimentación a la central, dispondrá de dos posiciones de espera en las que depositar piezas mientras la cinta central queda libre. Una vez dicha cinta quede libre respetará el orden de llegada a las posiciones de espera para la incorporación de nuevas piezas a la cinta.
- El diseño del automatismo debe contar con un modo automático encargado de maximizar la eficiencia del proceso y un modo manual que permita a los operarios la realización de labores de mantenimiento, comprobaciones sobre el correcto funcionamiento de los elementos o el sometimiento de alguna de las piezas a un proceso concreto sin necesidad de completar el ciclo completo.
- La activación de la seta de emergencia por parte de alguno de los operarios conllevará de manera inmediata la detención de todos los procesos que se estén llevando a cabo en la máquina, independientemente de si esta se encuentra en modo manual o automático. Mientras la seta permanezca accionada, la BALIZA se iluminará de forma intermitente durante un segundo.

## 5.2. Modo Automático

Orden secuencial del proceso:

1. Tras el accionamiento del pulsador verde (MARCHA I) la cinta de alimentación se pondrá en funcionamiento.
2. Un operario será el encargado de proveer de piezas al proceso situándolas en la parte izquierda de la cinta de alimentación.
3. Cuando una de las piezas alcance el final de la cinta esta se detendrá y quedará a la espera de ser recogida por el eje lineal eléctrico.
4. La pieza será recogida por el eje lineal eléctrico y llevada hasta la cinta central. En caso de que esta estuviera ocupada pasaría a ocupar una de las dos posiciones de espera disponibles para ser más tarde situada sobre la cinta central.
5. Una vez en la cinta central la pieza avanzará hasta someterse al prensado, es esta misma estación donde además será clasificada como alta o baja.
6. Tras el prensado continuará avanzando hasta llegar al final del recorrido de la cinta, donde se plantean dos situaciones.
7. Si se trata de una pieza baja esperará a ser recogida por el eje pick and place, en cambio si se tratara de una pieza alta la compuerta se abriría dejando caer la pieza sobre la bandeja azul y quedando de esta manera almacenada para su recogida.
8. La pieza baja será transportada por el eje pick and place hasta la cinta de recirculación.
9. La pieza alcanzará por la cinta hasta alcanzar el sensor que se encuentra aproximadamente a 1/3 de su recorrido, donde permanecerá a la espera de ser recogida por un operario para su almacenamiento.

Consideraciones sobre el proceso automático:

- Cuando la cinta central permanezca ocupada por una de las piezas, el eje lineal-eléctrico dispondrá de dos posiciones de espera en las que depositar piezas para agilizar el proceso. Una vez esté libre la cinta central, el mismo eje será el encargado de colocar en la cinta las piezas que se encuentran en las posiciones de espera respetando el orden de llegada.
- Si las piezas no son recogidas de la cinta de recirculación, estas irán avanzando por la cinta hasta que finalmente una de ellas haga tope con el detector de pieza al final del recorrido. En este momento el proceso se detendrá hasta que uno de los operarios despeje todas las piezas que hayan completado el proceso y, por lo tanto, se encuentren en esta cinta.
- Cuando se accione el pulsador rojo (MARCHA II), el proceso debe detenerse, quedando este congelado hasta que se accione el pulsador verde (MARCHA I), entonces el proceso

continuará por el mismo punto en el que se había quedado. Mientras el proceso se encuentre detenido por este motivo, el piloto luminoso rojo (PILOTO\_AUX\_1) permanecerá encendido.

Dada la extensión y complejidad de algunos de los graficets que conforman el modo automático, se ha decidido no incluir las ilustraciones correspondientes en la memoria. Dichos graficets se encuentran disponibles como parte del proyecto en el ANEXO 1, apartado 3. Graficets de modo automático.

A continuación, sí se citarán algunas de las características y particularidades de cada uno de los graficets que forman parte del modo automático en la memoria.

### 5.2.1. Cinta de Alimentación

Se accionará con la pulsación del botón verde (MARCHA I) y tan solo se detendrá cuando una de las piezas llegue al final de la cinta. Una vez el eje lineal-eléctrico retire dicha pieza, la cinta de alimentación volverá a ponerse en funcionamiento.

### 5.2.2. Cinta Central

La cinta central se activará con la llegada de una pieza. El proceso de prensado también está programado en este graficet para el modo automático. Además, es aquí donde está programada la clasificación de piezas, las piezas bajas serán recogidas por el eje pick and place y las altas serán almacenadas en el depósito del final de la cinta tras la apertura de la compuerta.

### 5.2.3. Cinta de Recirculación

Llegarán a esta cinta las piezas bajas que provengan de la cinta central. Las piezas recién llegadas avanzarán hasta alcanzar el primero de los sensores de esta cinta. En caso de que las piezas no fueran retiradas por el operario y una de ellas alcanzara el sensor del final de la cinta, la cinta quedará inmóvil hasta que dicha pieza sea retirada.

### 5.2.4. Eje Lineal-Eléctrico

Es uno de los graficets más extensos y complejos, eso se debe a que cuenta con 4 posiciones de desplazamiento. En la posición 1 y 3 recogerá y depositará las piezas respectivamente, mientras que en las posiciones 2 y 4 podrá tanto depositar como recoger piezas.

### 5.2.5. Eje Pick and Place

Lleva las piezas bajas desde la cinta central a la cinta de recirculación, si una pieza se encontrase al final de la cinta central, se espera a que esta sea retirada para depositar una nueva pieza.

### 5.3. Modo Manual

Como se ha mencionado con anterioridad, este modo facilita a los operarios la realización de labores de mantenimiento, comprobaciones sobre el correcto funcionamiento de los elementos o el sometimiento de alguna de las piezas a un proceso concreto sin necesidad de completar el ciclo completo.

En este modo cada subproceso puede realizarse de forma aislada, desligando por ejemplo el uso de la estación de prensado o de la compuerta al funcionamiento de la cinta central. El eje lineal-eléctrico contará con libertad para moverse entre las cuatro posiciones disponibles.

Se podrá seleccionar entre cinco velocidades distintas para cada una de las tres cintas, incluyendo la posibilidad de mover la cinta en sentido contrario evitando de esta manera la realización de correcciones manuales durante el tratado de piezas.

El control del modo manual va estrechamente ligado a la pantalla HMI, ya que será este elemento el que nos permitirá la ejecución de los distintos procesos y puesta en marcha de elementos gracias a la creación de nuevas variables.

Las variables creadas para el control del modo manual son:

- LENTAVAR1/2/3: Velocidad lenta en la cinta correspondiente.
- INTERVAR1/2/3: Velocidad intermedia en la cinta correspondiente.
- RAPIDVAR1/2/3: Velocidad rápida en la cinta correspondiente.
- PAROVAR1/2/3: Paro en la cinta correspondiente.
- ATRASVAR1/2/3: Marcha atrás en la cinta correspondiente
- POS1/POS2/POS3/POS4: Posición seleccionada en el eje lineal-eléctrico.
- COGER\_EE/DEJAR\_EE: Acciones de eje lineal-eléctrico.
- COGER\_PP: Acción del eje pick and place.
- PRENSAR: Acción de la prensa.
- ABRIR/CERRAR: Acción de la compuerta.

Dada la extensión y complejidad de algunos de los graficets que conforman el modo manual, se ha decidido no incluir las ilustraciones correspondientes en la memoria. Dichos graficets se encuentran disponibles como parte del proyecto en el ANEXO 1, apartado 4. Graficets de modo manual.

A continuación, sí se citarán algunas de las características y particularidades de cada uno de los graficets que forman el modo manual en la memoria.

#### 5.3.1. Cinta de alimentación

Para el modo manual la cinta de alimentación ha sido programada de tal manera que se podrá seleccionar entre 5 velocidades, en función de la activación de las variables descritas anteriormente para el movimiento de los variadores.

### 5.3.2. Cinta Central

Para el modo manual la cinta de central ha sido programada de tal manera que se podrá seleccionar entre 5 velocidades, en función de la activación de las variables descritas anteriormente para el movimiento de los variadores.

### 5.3.3. Cinta de Recirculación

Para el modo manual la cinta de recirculación ha sido programada de tal manera que se podrá seleccionar entre 5 velocidades, en función de la activación de las variables descritas anteriormente para el movimiento de los variadores.

### 5.3.4. Componente X Eje Lineal-Eléctrico

Permite el desplazamiento del eje lineal eléctrico de forma libre entre las cuatro posiciones que se han programado para la ejecución del proyecto. El desplazamiento se realizará tras la activación de las variables anteriormente descritas.

### 5.3.5. Componente Z Eje Lineal-Eléctrico

Permite realizar la acción tanto de coger como de dejar piezas tras la activación de las variables descritas anteriormente para tal propósito. En caso de que la variable COGER\_EE se activase en una posición que no contiene una pieza, el eje intentaría coger la pieza durante 5s, una vez transcurrido ese tiempo volvería a su estado inicial.

### 5.3.6. Estación de Prensado

Permite la activación de la estación de prensado siempre y cuando la variable anteriormente descrita esté activa.

### 5.3.7. Compuerta

Permite la apertura y el cierre de la compuerta que se encuentra al final de la cinta central mediante la activación de las variables anteriormente descritas.

### 5.3.8. Eje Pick and Place

Permite el traslado de piezas desde la cinta central hasta la cinta de recirculación mediante la activación de la variable anteriormente descrita. Al igual que el eje lineal-eléctrico, si se activase la orden cuando no se encuentra ninguna pieza en posición, pasarían 5 segundos antes de reiniciarse.

### 5.4. Jerarquía de Graficets

La jerarquía es uno de los principios más importantes a respetar durante la programación de un automatismo, pues garantizará el correcto funcionamiento de los elementos de seguridad y de los diferentes modos de marcha programados

Lo habitual es encontrarse con un graphicet de Seguridad el cual ocupa el nivel 0 en la jerarquía y tiene prioridad ante cualquier otro graphicet. En el nivel 1 suele encontrarse el graphicet de Modo de marcha, el cual permite seleccionar cuál de los diferentes modos programados debe entrar en funcionamiento. Finalmente, en el nivel 2 encontramos el resto de graphicets, los que contienen la secuencia de acciones a realizar en base a las diferentes situaciones posibles y hacen posible el funcionamiento de los diferentes modos de marcha programados.

Los forzados son un recurso muy útil a aplicar que facilita la imposición de la jerarquía anteriormente descrita. Consultar apartado 6.6. Forzados en SoMachine.

#### 5.4.1. Graphicet de Seguridad

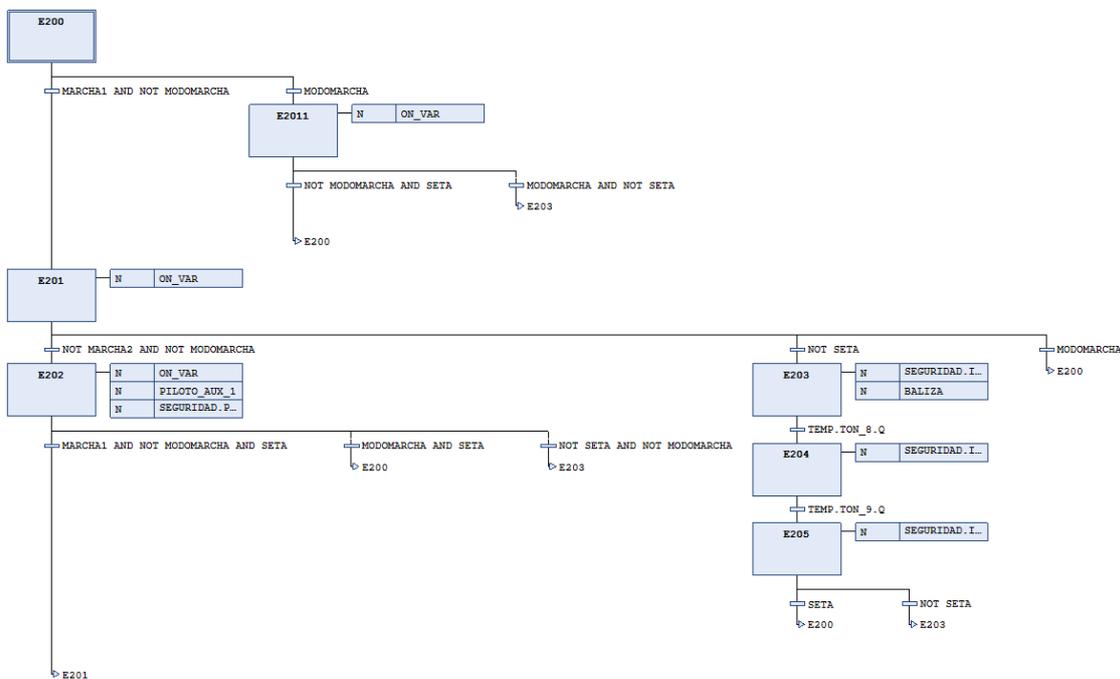


Imagen 11. Graphicet de seguridad.

#### 5.4.2. Selección de Modo de Marcha

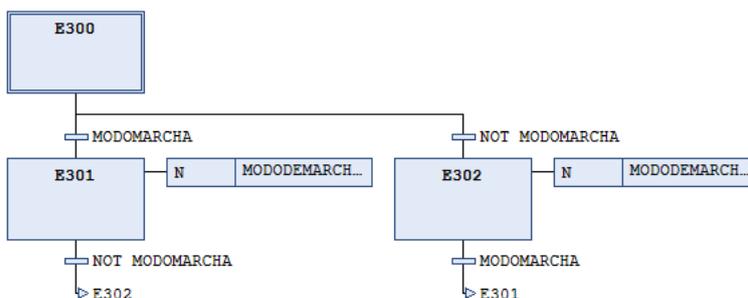


Imagen 12. Graphicet de selección de modo de marcha.

### 5.5. Consideraciones a tener en cuenta durante la programación:

El fabricante de la maqueta nos describe una serie de situaciones que debemos evitar puesto que estas podrían ocasionar daños al equipo [1].

- Evitar el despliegue del vástago extraíble del eje lineal-eléctrico en el eje z cuando este se encuentre realizando algún movimiento en el eje x, pues esto podría provocar choques con las posiciones de espera dos y cuatro.
- Evitar colisiones en los desplazamientos del eje pick and place.
- Siempre que se tome o se deje una pieza sobre una cinta esta debe de estar detenida, de lo contrario podrían ocasionarse daños tanto en las cintas como en las ventosas de vacío que sujetan las piezas.
- Evitar aplastamientos de piezas al bajar la compuerta del final de la cinta central.

## 6. Diseño del Automatismo en SoMachine

### 6.1. Creación del proyecto

En este apartado se muestran los pasos a seguir para crear de manera correcta un nuevo proyecto en SoMachine.

Una vez accedemos al software SoMachine nos encontramos con la siguiente ventana en la que deberemos de seleccionar: Nuevo Proyecto > Proyecto Vacío. Ahora le damos un nombre al proyecto y pulsamos sobre Crear proyecto.

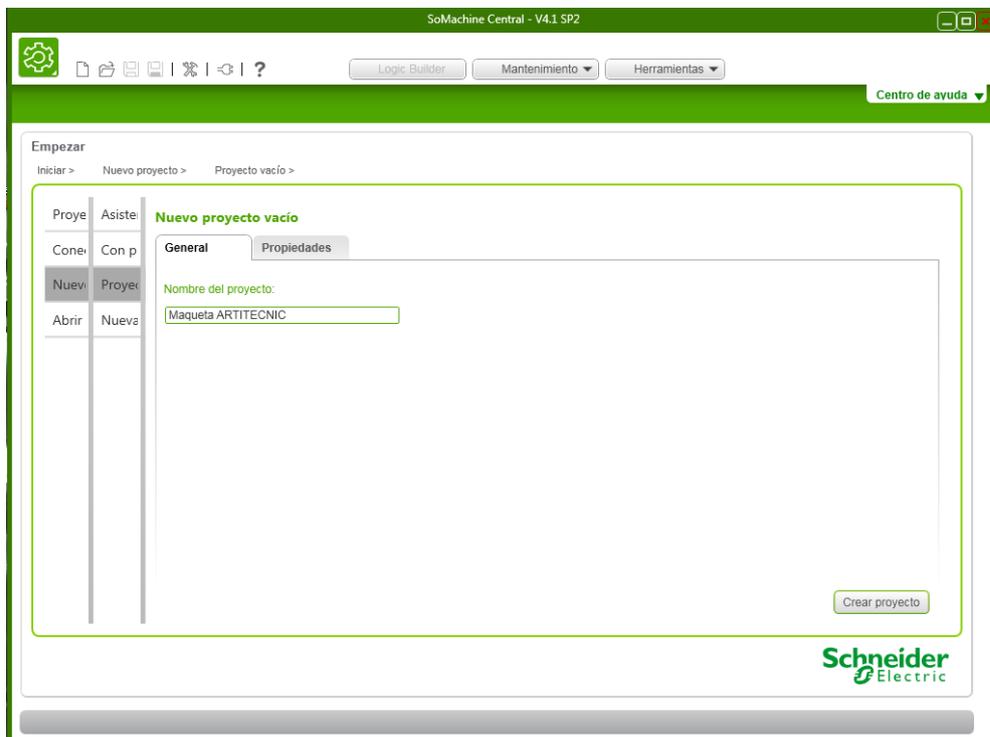


Imagen 13. Captura SoMachine 1.

Ahora nos aparece una nueva ventana donde deberemos de hacer doble clic sobre Añadir y eliminar dispositivos.

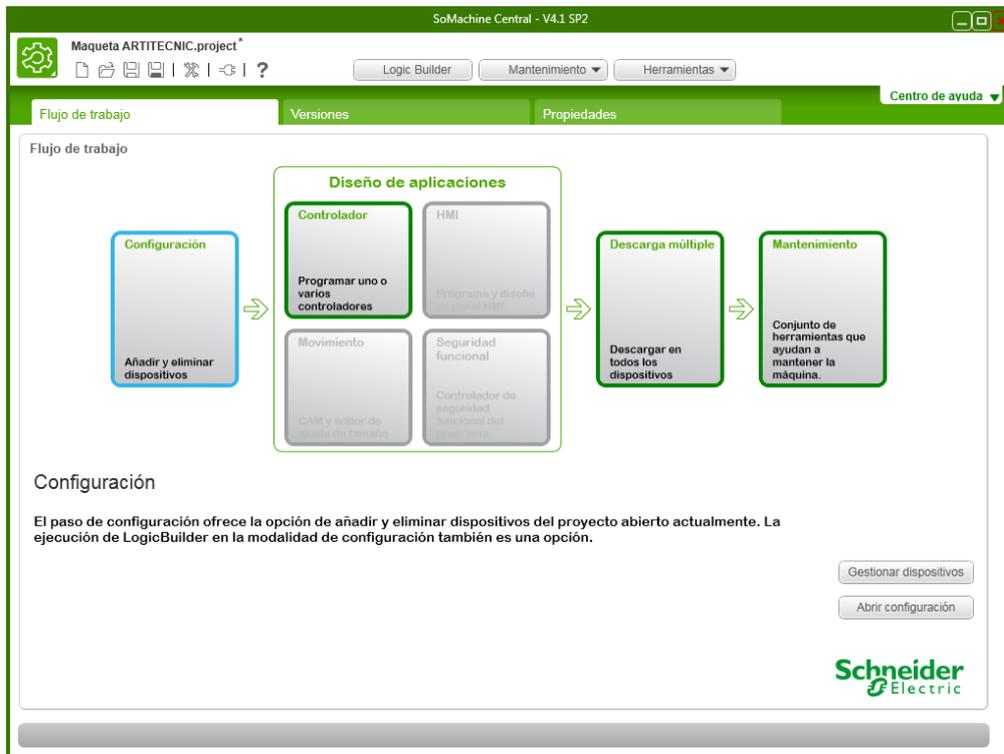


Imagen 14. Captura SoMachine 2.

En el apartado de Controlador Lógico buscaremos el modelo de los autómatas con los que vamos a trabajar, en nuestro caso estos se encuentran en la siguiente ruta: Controlador Lógico > M241 > TM241CE40R.

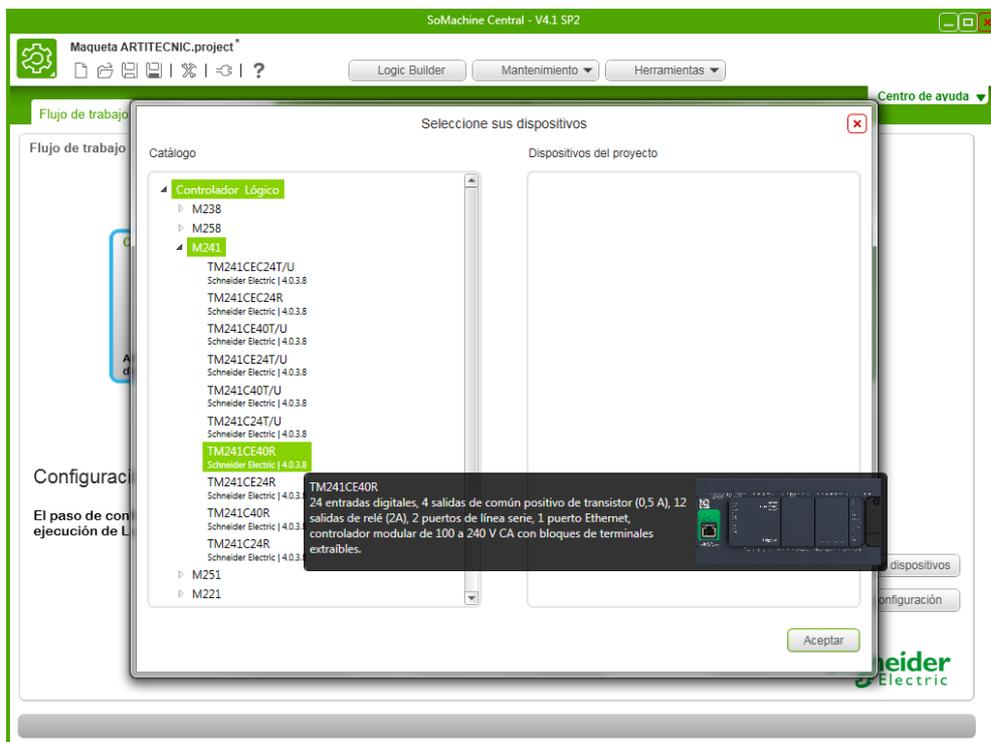


Imagen 15. Captura SoMachine 3.

Puesto que vamos a trabajar con dos de estos controladores, deberemos añadir dos al apartado Dispositivos del proyecto. Además, dado que el protocolo de conexión entre los autómatas que se va a utilizar se basa en la arquitectura cliente-servidor, nombraremos a uno de los controladores como Cliente y otro como Servidor.

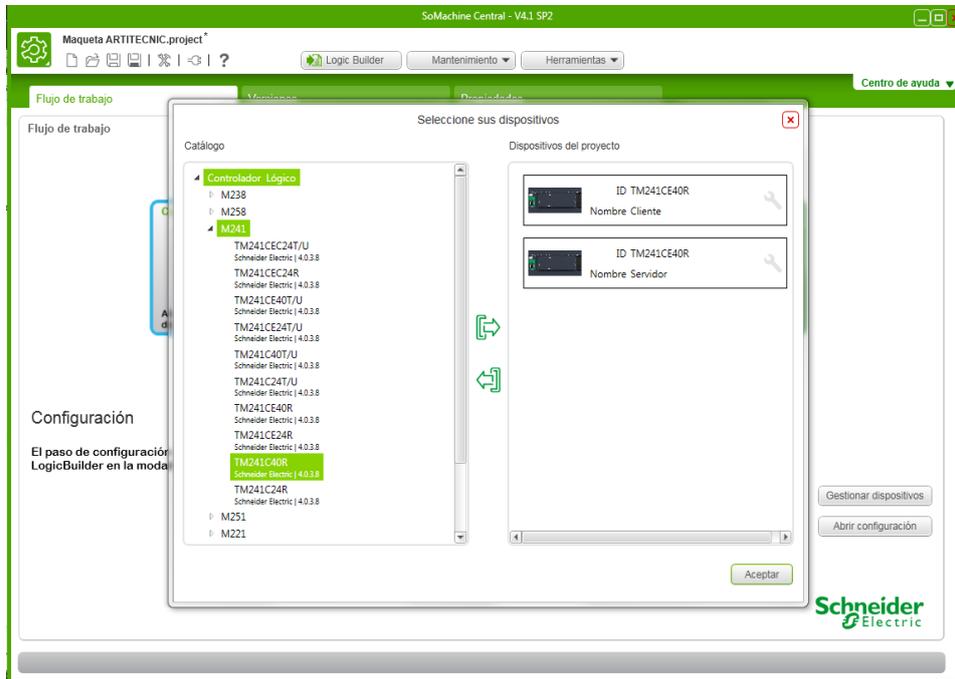


Imagen 16. Captura SoMachine 4.

Ahora, de vuelta en la ventana anterior hacemos doble clic en el apartado Programar uno o varios controladores.

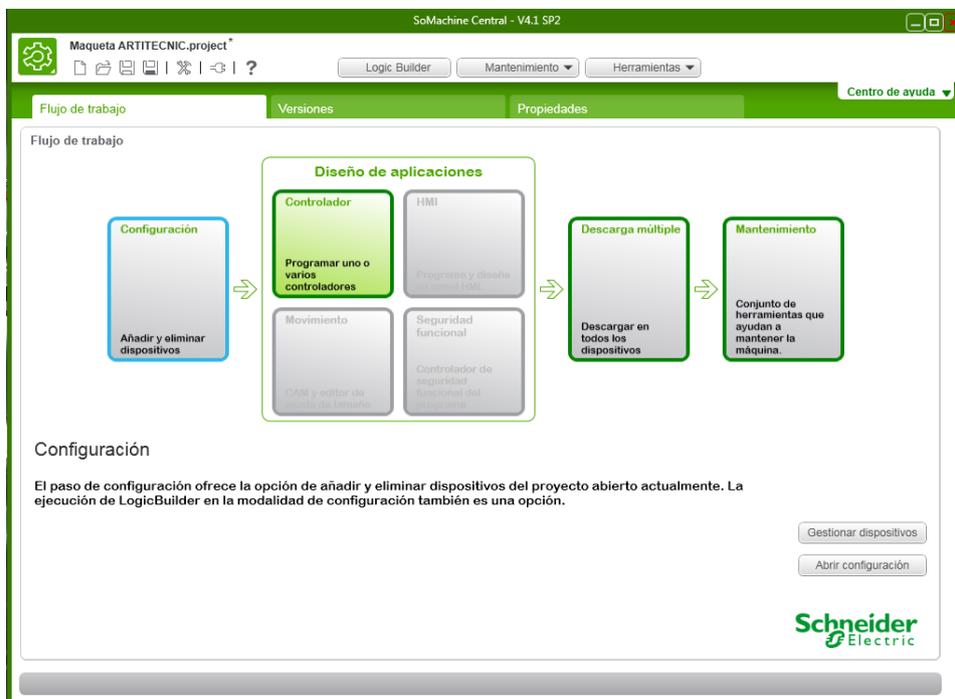


Imagen 17. Captura SoMachine 5.

Antes de empezar a programar deberemos dirigirnos a la ventana Dispositivos, donde deberemos añadir los Cartridges 1 y 2 de ambos dispositivos. Para ello arrastraremos desde el apartado I/O Modules de la parte inferior derecha los Cartridges TMC4A12 (1) y TMC4AQ2 (2) como se muestra en la imagen.

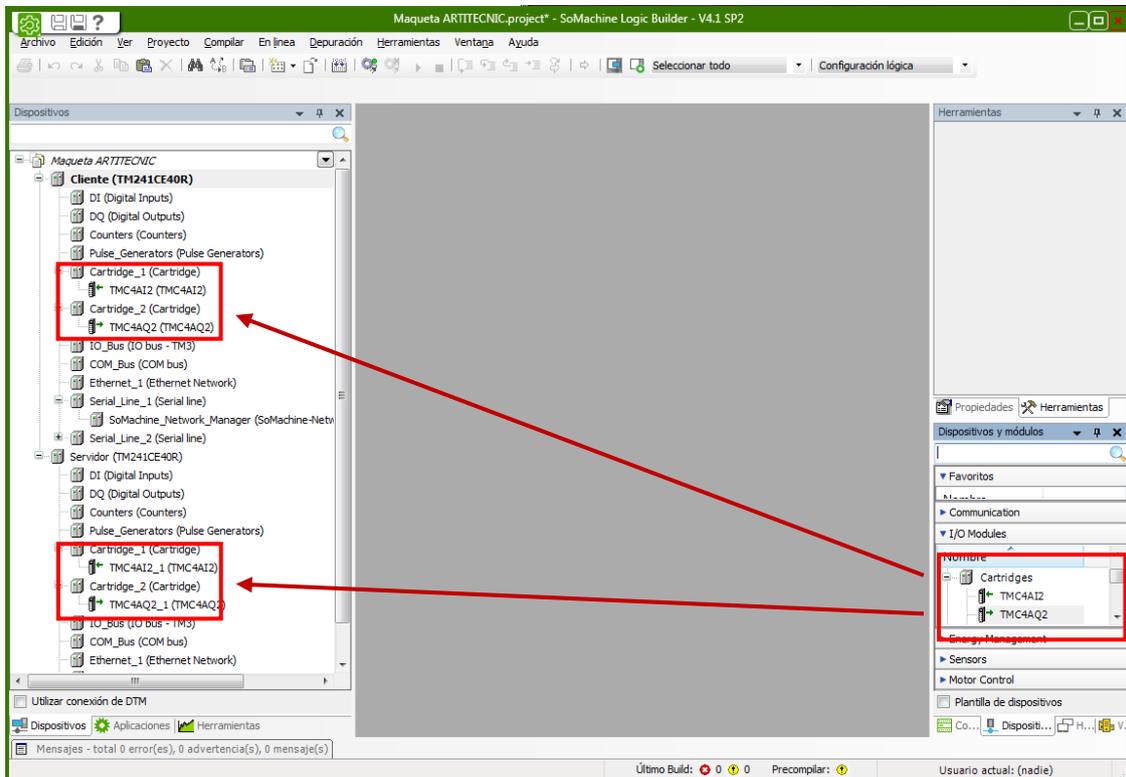


Imagen 18. Captura SoMachine 6.

## 6.2. Primeros pasos para programar en SoMachine

Una vez hemos llevado a cabo la configuración del proyecto, podemos empezar a programar. Para ello deberemos de dirigirnos a la ventana Aplicaciones y, al menú Application del controlador que trabajará como Cliente. Haremos clic sobre el símbolo '+' que aparece a la derecha y agregaremos un POU.

En cada POU que creamos hay que seleccionar el lenguaje de implementación que se va a utilizar. En este proyecto utilizaremos dos lenguajes: Diagrama de contactos (LD) y Diagrama funcional secuencial (SFC).

Cada POU creado es como una nueva página en blanco sobre la que programar cada uno de los graficets que se han diseñado para el correcto funcionamiento del proceso. Por este motivo, es de vital importancia nombrar correctamente cada uno de los POU's en base a la información que van a contener.

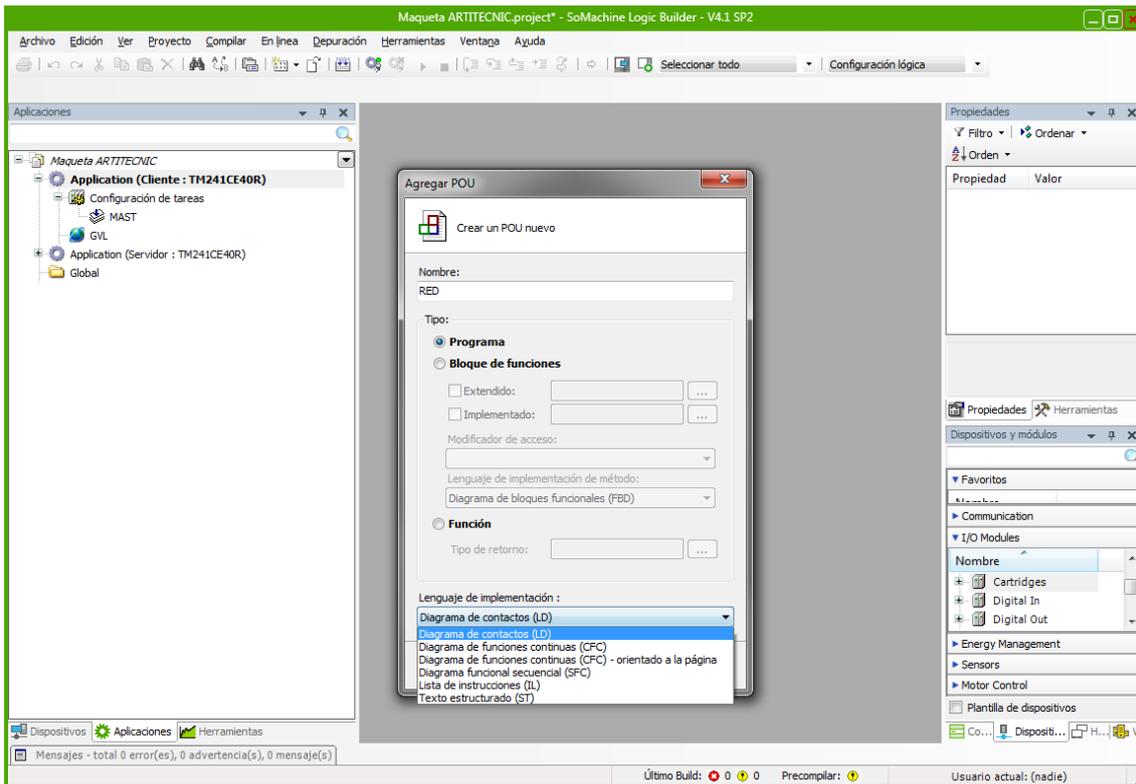


Imagen 19. Captura SoMachine 7.

Una vez creado el POU, es importante arrastrarlo hasta el interior del apartado MAST para que este compute dentro del programa cuando se compile. Al arrastrarlo al interior se creará un subapartado dentro del MAST con el mismo nombre que le hemos dado previamente al POU.

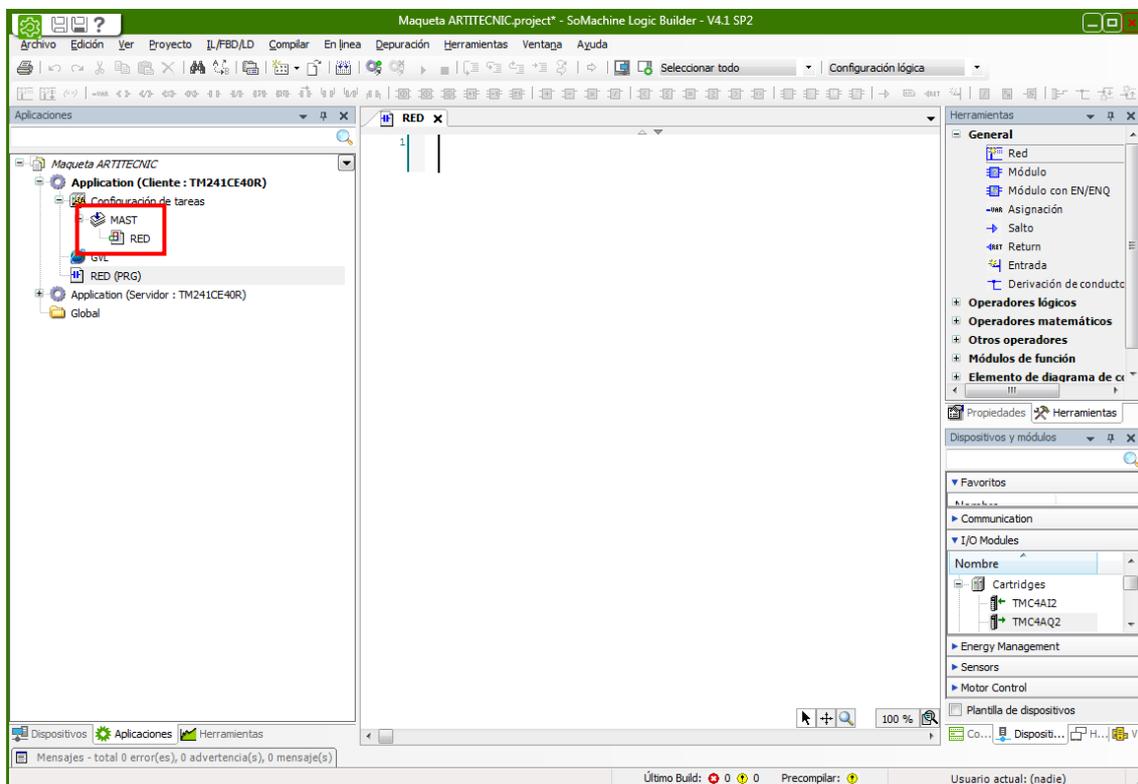


Imagen 20. Captura SoMachine 8.

Ahora, dentro del POU que hemos creado podremos empezar a programar:

- Para POU's en los que el lenguaje de implementación seleccionado sea Diagrama de contactos, se muestra en la siguiente imagen la ubicación de los diferentes elementos que podremos utilizar. Elementos como resistencias, bobinas o temporizadores entre otros.

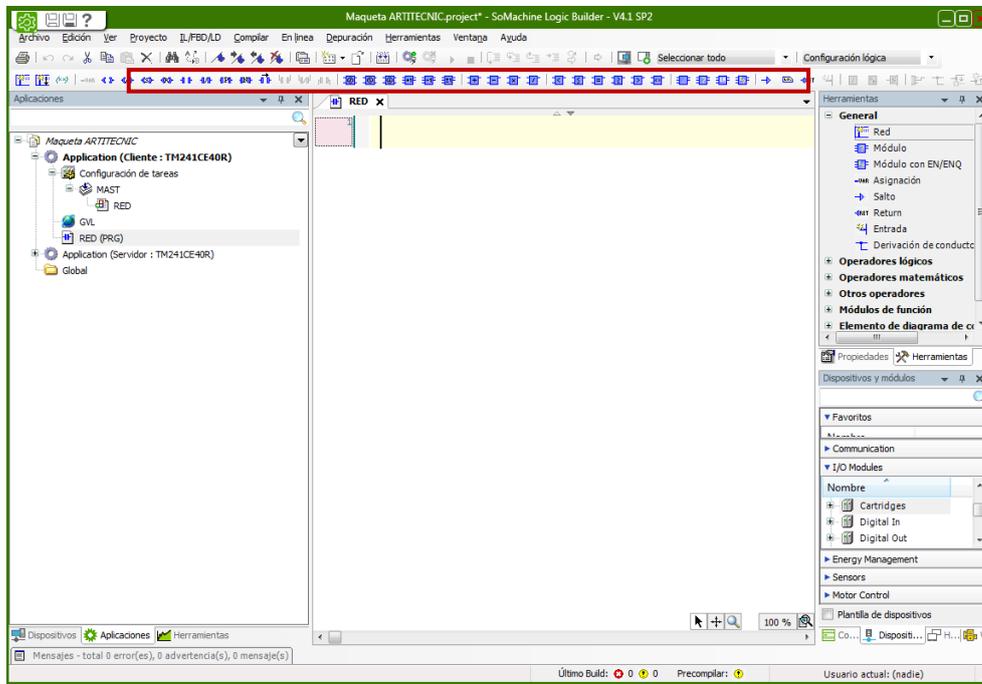


Imagen 21. Captura SoMachine 9.

- En caso de que estemos utilizando el Lenguaje de implementación Diagrama funcional secuencial (SFC), en la siguiente imagen se muestra la ubicación de los diferentes elementos a utilizar como transiciones, etapas, acciones...

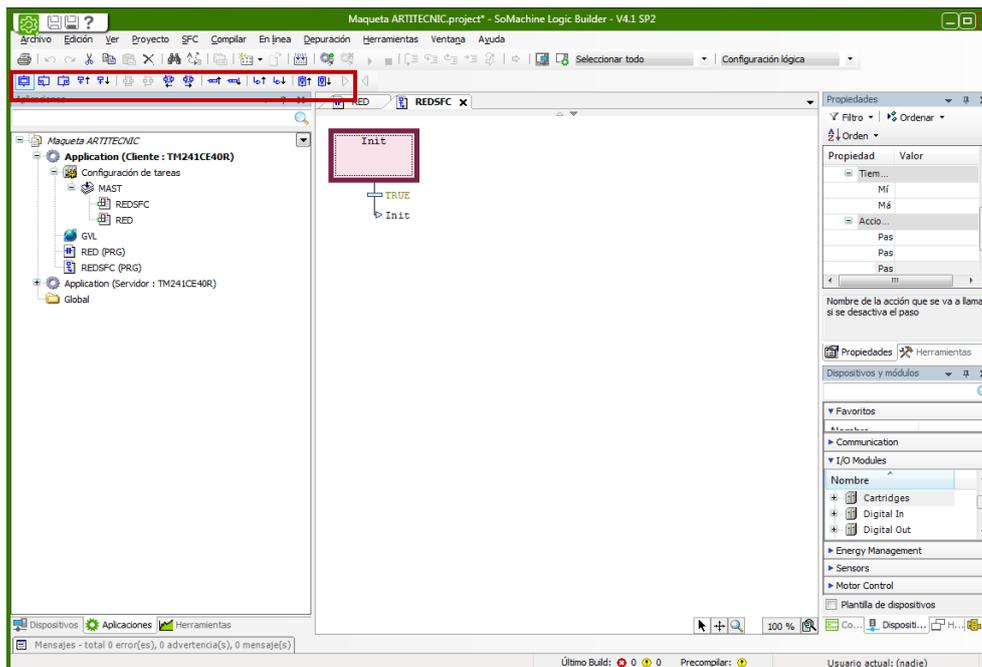


Imagen 22. Captura SoMachine 10.

### 6.3. Configuración de la comunicación entre los controladores

Como se ha mencionado con anterioridad el protocolo de comunicación entre los autómatas de este proyecto está basado en la arquitectura cliente-servidor; en la que el cliente es el encargado de recibir la información, procesarla y emitir una respuesta, mientras que el servidor tan solo actuará como una pasarela de información en la que por un lado, llevará información sobre el estado de los sensores hasta el cliente y por otro, devolverá las órdenes del cliente a los actuadores después de que este haya procesado la información y emitido una respuesta.

En primer lugar, deberemos de dirigirnos al apartado Dispositivo y acceder al subapartado Ethernet de cada uno de los controladores. Al hacer doble clic se desplegará una ventana donde debemos de seleccionar de entre las diferentes opciones Dirección IP de DHCP.

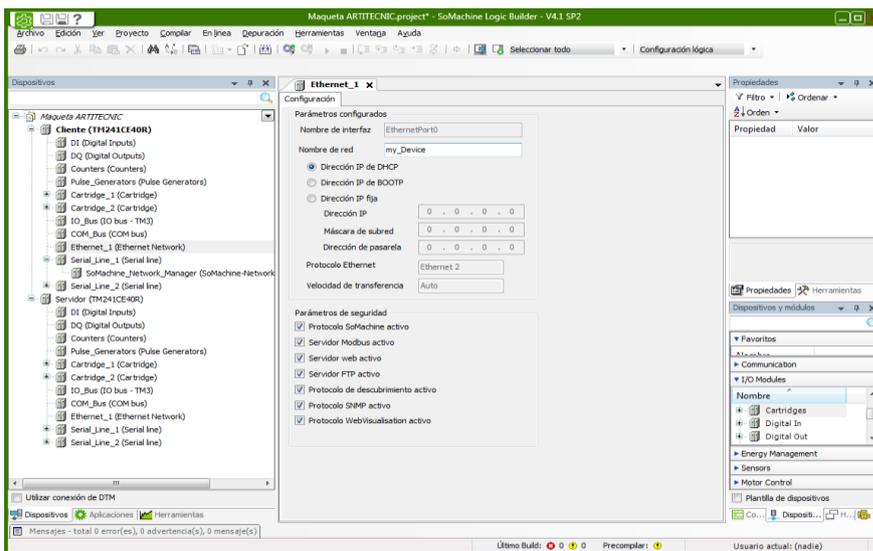


Imagen 23. Captura SoMachine 11.

Además, en el subapartado Ethernet del servidor, deberemos de hacer clic sobre el símbolo ‘+’ que aparece a su derecha y seleccionar ModbusTCP Slave Device y Agregar el dispositivo en la ventana emergente como se muestra en la siguiente imagen.

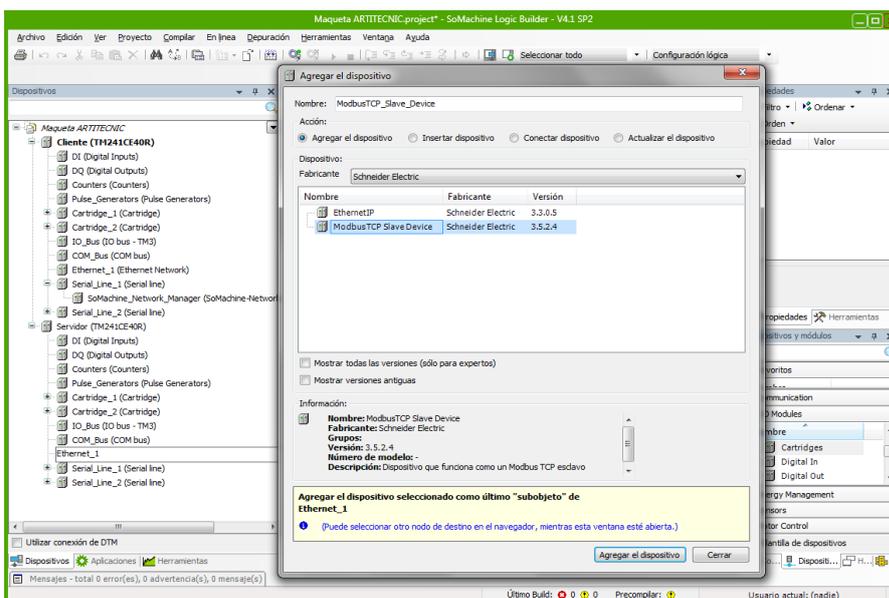


Imagen 24. Captura SoMachine 12.

Finalmente haciendo doble clic sobre el nuevo dispositivo que hemos añadido ModbusTCP Slave Device, accedemos a una nueva ventana donde debemos introducir la dirección IP del Cliente en el apartado Dirección Maestro IP.

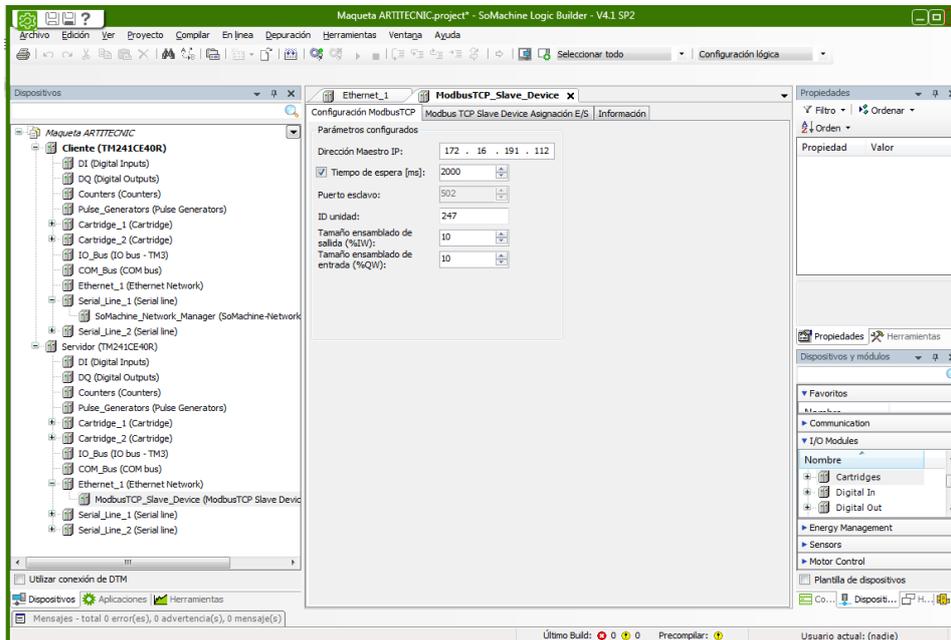


Imagen 25. Captura SoMachine 13.

#### 6.4. Diseño de la comunicación entre controladores en Somachine

Ahora, ambos controladores están preparados para conectarse entre ellos y comenzar a intercambiar información. Pero primero, hemos de diseñar dicha comunicación.

Durante el transcurso de este apartado, todos los bloques utilizados para establecer la comunicación pertenecen a la biblioteca PLCCommunication. Es de vital importancia asegurarse de que tenemos dicha biblioteca, de lo contrario, deberemos de añadirla.

Esta biblioteca nos da acceso a las siguientes funciones:

Función	Descripción
ADDM	Esta función toma la dirección de destino de un dispositivo externo y convierte su representación de cadena en una estructura ADDRESS.
READ_VAR	Esta función lee bits o registros estándar de un dispositivo Modbus.
WRITE_VAR	Esta función escribe bits o registros estándar en un dispositivo Modbus.
WRITE_READ_VAR	Esta función lee y escribe bits o registros estándar en dispositivos Modbus.
SINGLE_WRITE	Esta función escribe un solo registro en un dispositivo externo.
SEND_RECV_MSG	Esta función envía y recibe mensajes definidos por el usuario en medios seleccionados; por ejemplo, una línea serie (no compatible con XBT GC, XBT GT, XBT GK y HMI SCU).

Tabla 8. Funciones de la biblioteca PLCCommunication [4].

En nuestro caso, para llevar a cabo la conexión nos valdremos de las tres primeras: ADDM, READ\_VAR y WRITE\_VAR. A continuación, se muestra cómo utilizar de manera correcta dichos módulos de funciones.

- Módulo ADDM

Este bloque nos permite hacer un direccionamiento al destino previo antes de la utilización de los módulos READ\_VAR Y WRITE\_VAR.

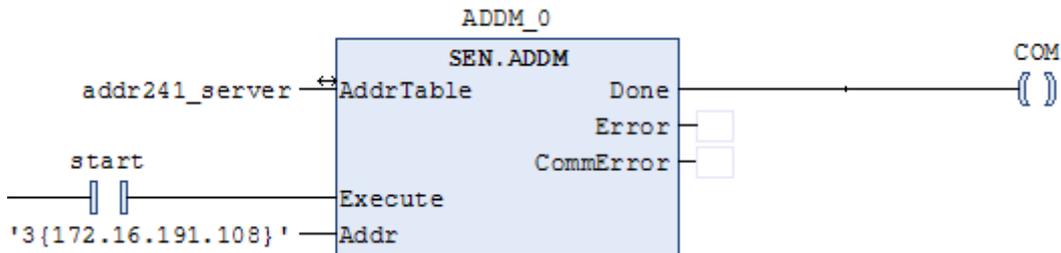


Imagen 26. Módulo ADDM.

Deberemos de conectar los siguientes nodos para hacerlo funcionar:

AddrTable: es donde se guarda la dirección del dispositivo al que vamos a dirigir. Está constituida por una variable de tipo ADDRES que deberemos crear.

Execute: se corresponde con el flanco positivo encargado de activar el bloque. En este caso se corresponde con la variable start, una variable de tipo BOOL que creada para este cometido.

Addr: presenta la siguiente estructura: '[link number].[IP esclavo]'. Donde link number deberá ser seleccionado en base a la siguiente tabla.

Enumerador	Valor (hexadecimal)	Descripción
USBConsole	00	Puerto USB no disponible para los intercambios de comunicación
COM1	01	COM 1 serie (enlace serie incorporado)
COM2	02	Serie COM 2
EthEmbed	03	Conexión Ethernet integrada
CANEmbed	04	Conexión CANopen integrada
COM3	05	COM 3 serie

Tabla 9. Código numérico del nodo Addr [4].

En nuestro caso Addr quedaría como '3{172.16.191.108}' tras seleccionar ambos parámetros.

Done: se activará siempre y cuando el bloque se haya ejecutado con éxito. Se ha creado la variable COM de tipo BOOL para que funcione como testigo.

- Módulo READ\_VAR

Su propósito es leer el estado de los bits asociados a un dispositivo Modbus.

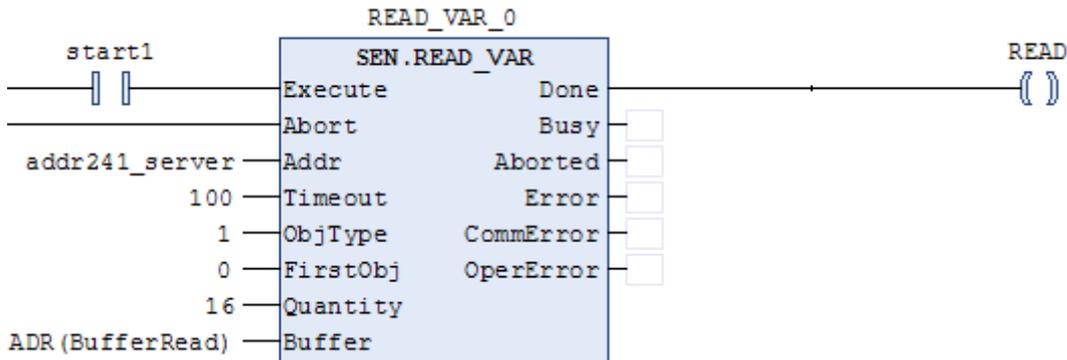


Imagen 27. Módulo READ\_VAR.

Execute: se corresponde con el flanco positivo encargado de activar el bloque. En este caso se corresponde con la variable start1, una variable de tipo BOOL que creada para este cometido.

Addr: la misma variable de tipo ADDRESS que hemos utilizado en el bloque ADDM.

Timeout: es el valor de espera, normalmente se utilizan los valores 10 o 100.

ObjType: referencia al tipo de objeto a leer. En base a la información mostrada en siguiente tabla, se introducirá un 0.

Enumerador	Valor (hexadecimal)	Tipo de objeto
MW	00	Registro de mantenimiento (16 bits)
I	01	Entrada digital (1 bit)
Q	02	Bit interno o salida digital (bobina) (1 bit)
IW	03	Registro de entrada (16 bits)

Tabla 28. Código numérico del nodo ObjType [4].

FirstObj: se corresponde con el primer objeto a leer. Teniendo en cuenta la tabla de entradas del conector 2, en este caso será 0.

Quantity: es la cantidad de objetos a leer.

Buffer: es la matriz donde se almacenan los datos leídos. Se ha creado expresamente la variable BufferRead de tipo WORD y se le ha asignado una posición donde almacenar los datos leídos. La definición de la variable queda así: BufferRead AT %MW0: WORD;

Done: se activará siempre y cuando el bloque se haya ejecutado con éxito. Se ha creado la variable READ de tipo BOOL para que funcione como testigo.

- Módulo WRITE\_VAR

Esta función se utiliza para modificar el estado de los bits asociados a un dispositivo Modbus.

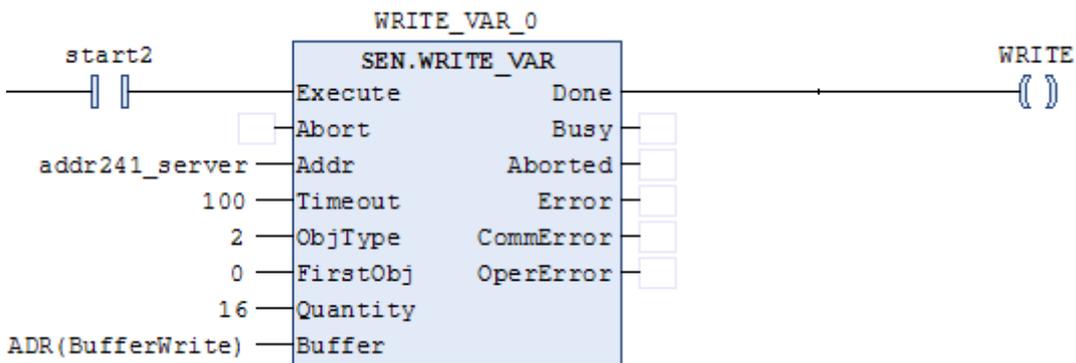


Imagen 29. Módulo WRITE\_VAR.

El funcionamiento de este módulo es muy parecido al módulo READ\_VAR, por lo que únicamente se describen las variables creadas para este bloque.

start2: variable de tipo BOOL cuyo flanco positivo de activación pondrá el funcionamiento el bloque.

BufferRead: variable de tipo WORD y almacenada en %MW2. BufferWrite AT %MW2: WORD.

WRITE: variable de tipo BOOL que funcione como testigo de que e proceso se ha ejecutado de forma correcta.

Ahora que contamos con los tres bloques necesarios para encontrar, leer y escribir las señales del servidor, necesitamos provocar la activación de los flancos positivos de las tres variables creadas para cada uno de los nodos Execute (start, start1 y start2).

Para ello se ha diseñado este grafcet, el cual se ejecuta cada 0,002s con la intención de garantizar que los estados de las señales del servidor se encuentren actualizados en todo momento.

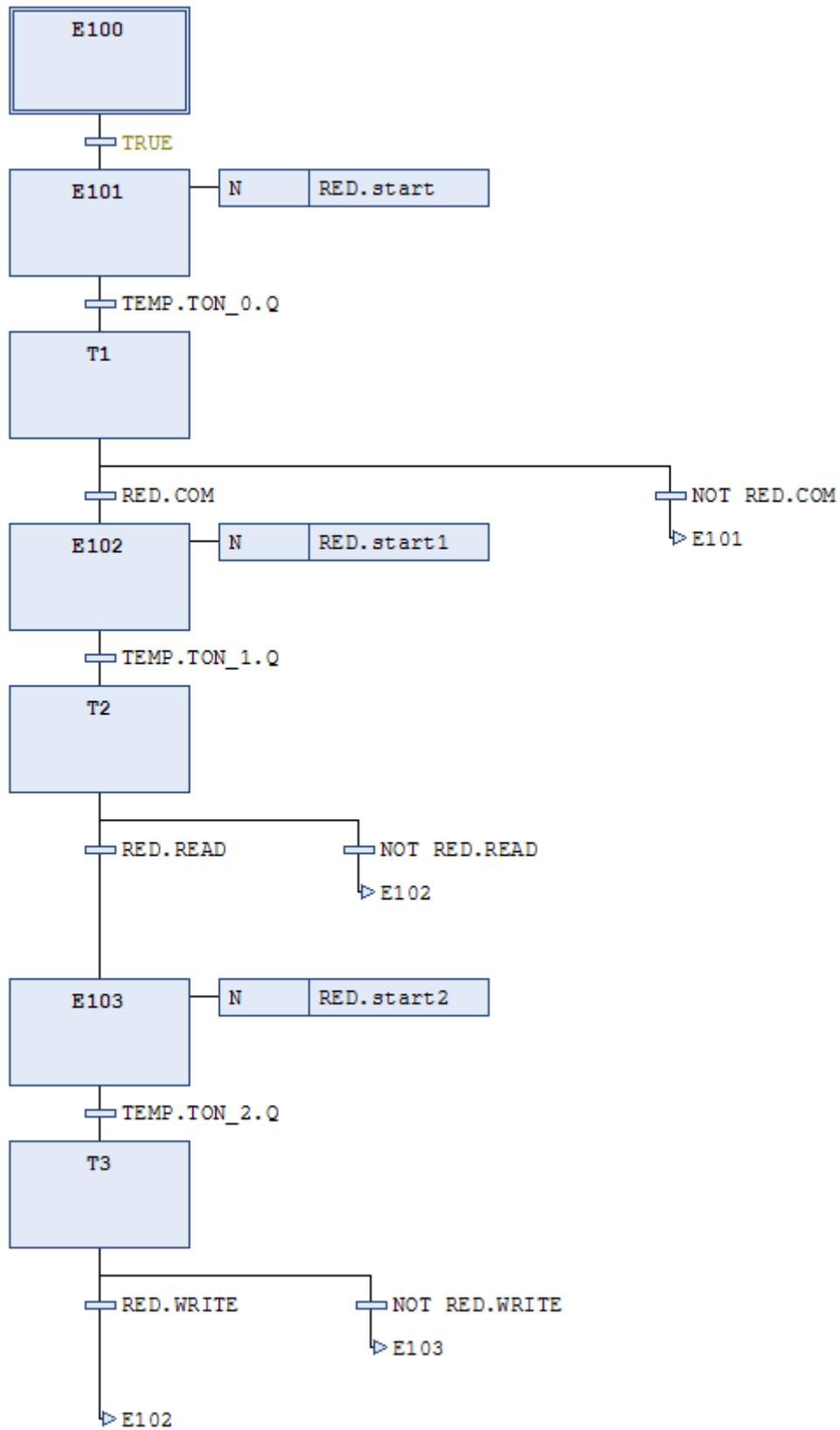


Imagen 30. Grafcet RED-SFC.

## 6.5. Definición de las E/S

Dado el protocolo de conexión utilizado entre los autómatas, la definición de las E/S del cliente se ejecutará de manera diferente a la definición de las E/S del servidor. Mientras que para las del cliente podremos valernos del procedimiento habitual de introducción de entradas en SoMachine, en el caso de las E/S del cliente necesitaremos hacerlo a través del apartado GVL (Variables Globales).

Esto se debe a que, tras la ejecución del paso anterior (4.4. Diseño de la comunicación entre controladores en Somachine) el estado de las señales del servidor se almacenan en las matrices BufferRead y BufferWrite, ubicadas en las Palabras %MW0 y %MW2 de la memoria del controlador cliente.

En el apartado GVL también aprovecharemos para definir las variables creadas expresamente para la ejecución del modo manual (descritas en el apartado 3.3 Modo Manual). La ubicación de estas variables será la que utilicemos para direccionar los botones de la pantalla HMI, como se describirá en apartados futuros.

- E/S Cliente

Para introducir las entradas del cliente nos dirigiremos a la pestaña Dispositivos y haremos doble clic sobre DI (Digital Inputs). En la ventana que se abre podremos introducir las entradas de acuerdo a las direcciones de cada uno de los sensores.

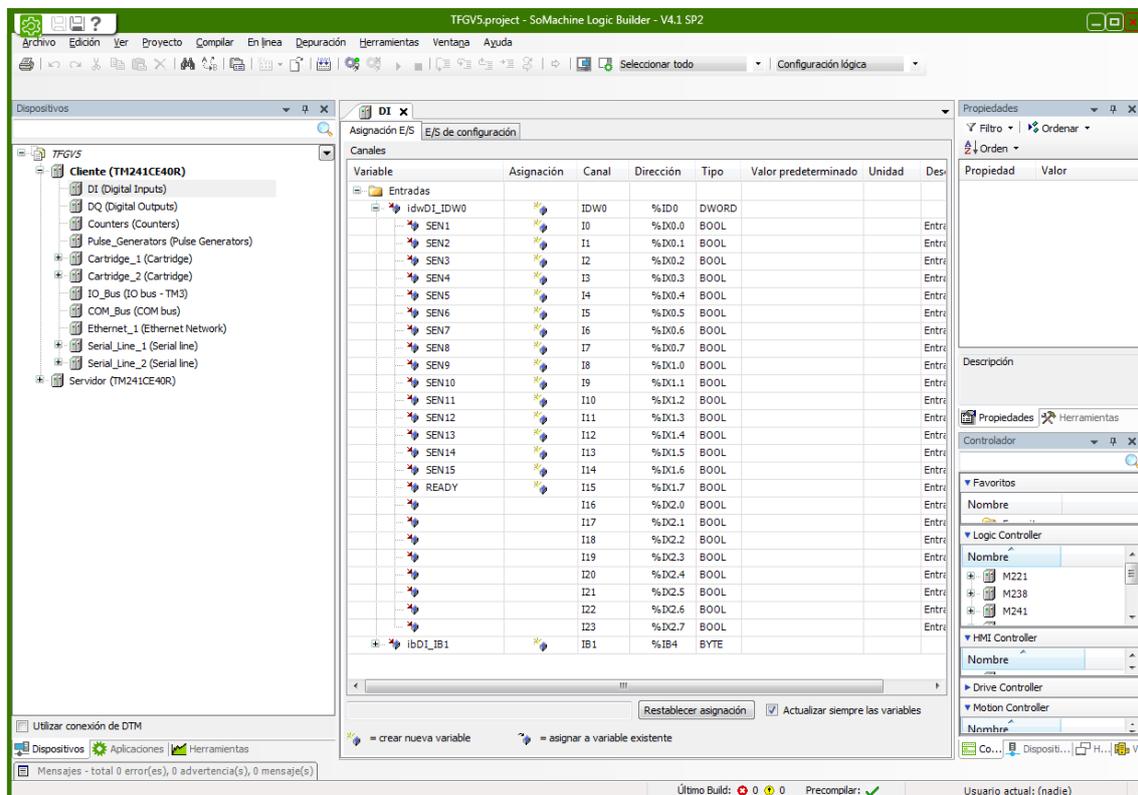


Imagen 31. Declaración de entradas des cliente en SoMachine.

Para las salidas haremos lo mismo, solo que esta vez haremos doble clic sobre DO (Digital Outputs) para hallar la ventana donde introducir las salidas.

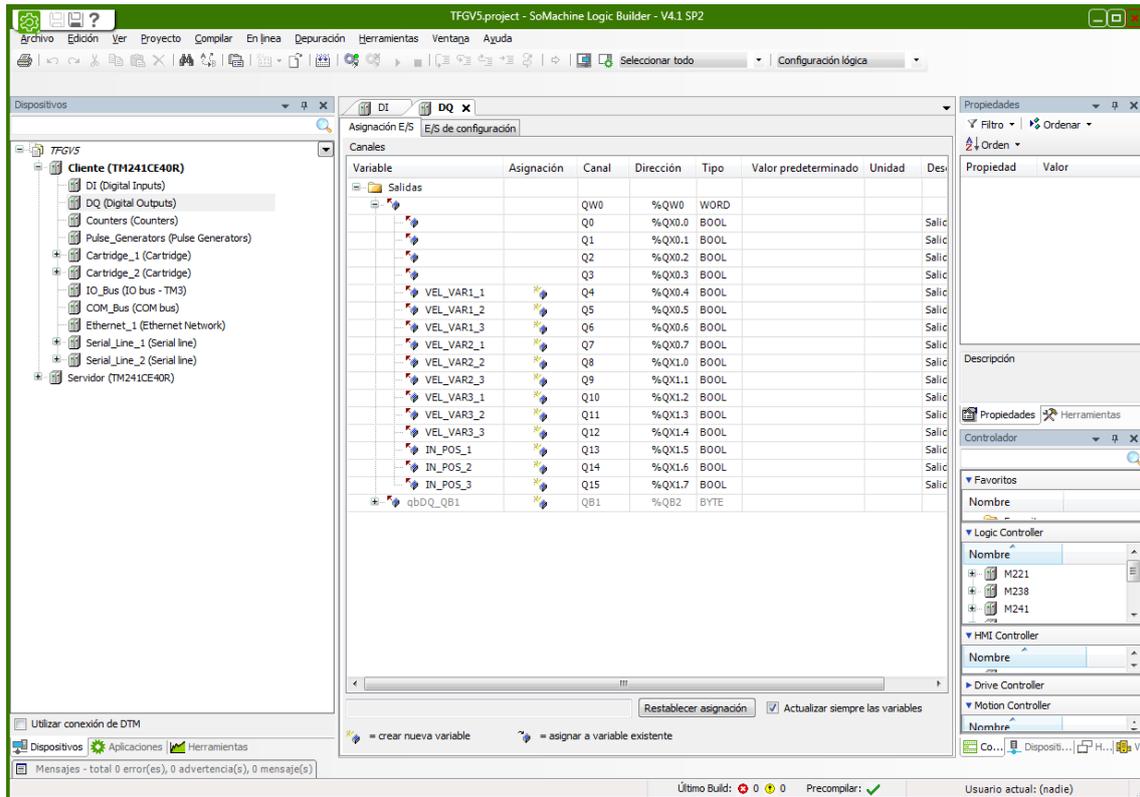


Imagen 32. Declaración de las salidas del cliente en SoMachine.

- E/S Servidor y variables Modo Manual

Introduciremos las entradas y salidas de forma manual en el apartado GVL.

```

1  VAR_GLOBAL
2  //VARIABLES PARA ESTABLECER COMUNICACIÓN ETHERNET
3  BufferRead AT %MW0: WORD;
4  BufferWrite AT %MW2: WORD;
5  //VARIABLES PARA SENSORES SERVIDOR171.16.191.108
6  FE_1 AT %MX0.0: BOOL;
7  FE_2 AT %MX0.1: BOOL;
8  FE_3 AT %MX0.2: BOOL;
9  ALARMA AT %MX0.3: BOOL;
10 MARCHA1 AT %MX0.4: BOOL;
11 MARCHA2 AT %MX0.5: BOOL;
12 SETA AT %MX0.6: BOOL;
13 //VARIABLES PARA ACTUADORES SERVIDOR 172.16.191.108
14 Y1 AT %MX4.4: BOOL;
15 Y2 AT %MX4.5: BOOL;
16 Y3 AT %MX4.6: BOOL;
17 Y4 AT %MX4.7: BOOL;
18 Y5 AT %MX5.0: BOOL;
19 Y6 AT %MX5.1: BOOL;
20 Y7 AT %MX5.2: BOOL;
21 PILOTO_AUX_1 AT %MX5.3: BOOL;
22 BALIZA AT %MX5.4: BOOL;
23 ON_VAR AT %MX5.5: BOOL;
24 //VARIABLES PARA LA PANTALLA HMI 172.16.191.54
25 MODOMARCHA AT %MX6.0: BOOL;
26 LENTAVARI AT %MX6.1: BOOL;
27 INTERVARI AT %MX6.2: BOOL;
28 RAPIDVARI AT %MX6.3: BOOL;
29 PAROVARI AT %MX6.4: BOOL;
30 ATRASVARI AT %MX6.5: BOOL;
31 LENTAVAR2 AT %MX6.6: BOOL;
32 INTERVAR2 AT %MX6.7: BOOL;
33 RAPIDVAR2 AT %MX7.0: BOOL;
34 PAROVAR2 AT %MX7.1: BOOL;
35 ATRASVAR2 AT %MX7.2: BOOL;
36 LENTAVAR3 AT %MX7.3: BOOL;
37 INTERVAR3 AT %MX7.4: BOOL;
38 RAPIDVAR3 AT %MX7.5: BOOL;
39 PAROVAR3 AT %MX7.6: BOOL;
40 ATRASVAR3 AT %MX7.7: BOOL;
41 POS1 AT %MX8.0: BOOL;
42 POS2 AT %MX8.1: BOOL;
43 POS3 AT %MX8.2: BOOL;
44 POS4 AT %MX8.3: BOOL;
45 COGER_EE AT %MX8.4: BOOL;
46 DEJAR_EE AT %MX8.5: BOOL;
47 COGER_PP AT %MX8.6: BOOL;
48 PRENSAR AT %MX8.7: BOOL;
49 ABRIR AT %MX9.0: BOOL;
50 CERRAR AT %MX9.1: BOOL;
51 //VARIABLES PARA LA POSICIÓN DEL EJE LIENAL-ELÉCTRICO
52 LEP1 AT %MX9.2: BOOL;
53 LEP2 AT %MX9.3: BOOL;
54 LEP3 AT %MX9.4: BOOL;
55 LEP4 AT %MX9.5: BOOL;
56 END_VAR
    
```

Imagen 33. Declaración de variables globales en SoMachine.

Para entender mejor el funcionamiento de la memoria de los controladores M241, recurriremos a la siguiente tabla:

Palabras dobles	Palabras	Bytes	Bits			
%MD0	%MW0	%MB0	%MX0.7	...	%MX0.0	
		%MB1	%MX1.7	...	%MX1.0	
	%MW1	%MB2	%MX2.7	...	%MX2.0	
		%MB3	%MX3.7	...	%MX3.0	
%MD1	%MW2	%MB4	%MX4.7	...	%MX4.0	
		%MB5	%MX5.7	...	%MX5.0	
	%MW3	%MB6	%MX6.7	...	%MX6.0	
		%MB7	%MX7.7	...	%MX7.0	
%MD2	%MW4	%MB8	%MX8.7	...	%MX8.0	
		---	---	---	---	
	---	---	---	---	---	---
		---	---	---	---	---

Tabla 11. Estructura de la memoria de un controlador M241 [2].

6.6. Forzados en SoMachine

Los forzados nos permiten modificar el estado de ciertos graficets en base a la jerarquía establecida en el diseño. En el apartado 3.4. Jerarquía de graficets, se incluye toda información necesaria en cuanto a la jerarquía impuesta en el diseño de este automatismo.

Para el uso de forzados en SoMachine podemos valernos de algunas variables implícitas disponibles denominadas como Indicadores SFC. El primer paso para la utilización de estos indicadores será su activación, siguiendo la siguiente ruta: Proyecto > Configuración del proyecto > SFC y seleccionando los recuadros de los indicadores a utilizar [3].

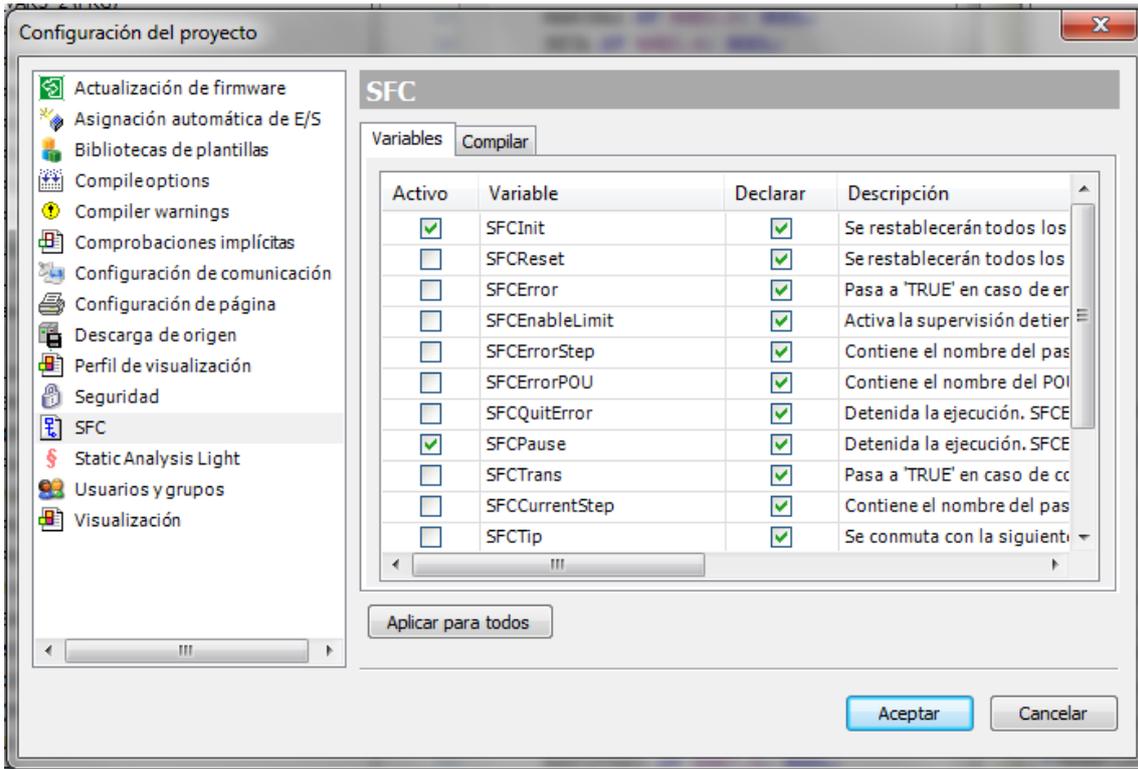


Imagen 34. Activación de los indicadores SFC.

En la siguiente tabla se muestran las descripciones de las variables utilizadas para la ejecución de este proyecto.

Variable	Tipo	Descripción
SFCInit	BOOL	Si esta variable se convierte en TRUE, el diagrama funcional secuencial se establecerá de nuevo en el Paso inicial (véase página 363). Todos los pasos y acciones y otros indicadores SFC se restablecerán (inicialización). El paso inicial se mantendrá activo, pero no se ejecutará mientras la variable sea TRUE. Vuelva a ajustar SFCInit a FALSE para volver al procesamiento normal.
SFCPause	BOOL	Siempre que esta variable sea TRUE, la ejecución del diagrama SFC se detendrá.

Tabla 12. Descripción de los indicadores SFC [3].

Ahora, antes de poder utilizar los Indicadores SFC, debemos de declarar las variables. Esto se puede realizar de forma global o local. En este caso se ha realizado una declaración local de las variables en cada uno de los graficets que se verán afectados por el forzado. Declaración local de la variable:

```
VAR_INPUT
    SFCPause:BOOL;
    SFCInit:BOOL;
END_VAR
```

Finalmente, para la utilización del forzado deberemos de incluir una Acción en el graficet donde queramos que se imponga el forzado y programar en lenguaje LD la activación de dichas variables en las etapas correspondientes.

Las Acciones programadas en SoMachine para los graficets de Seguridad y Modo de marcha se incluyen en el ANEXO I.

### 6.7. Consideraciones para la programación en SoMachine

A la hora de programar el automatismo en SoMachine, se han tomado las siguientes precauciones con el fin de prevenir errores en el funcionamiento. Algunos de estos errores no provocan ninguna alerta en el programa y sin embargo impiden el funcionamiento del proceso.

- En ningún momento podrá haber una acción repetida en dos POU's separados, puesto esto provocará un conflicto en la ejecución de la orden y supondrá la no activación del actuador en cuestión. Dado que en el funcionamiento del modo manual y el automático se requiere el uso de los mismos actuadores, estos han sido unificados en POU's en lenguaje LD y activados mediante la referenciación a las etapas correspondientes. Esto se incluye en el Anexo I.
- Habrá que tener especial cuidado a la hora de no realizar solapamientos en la activación de los temporizadores, pues esto podría suponer un comportamiento incorrecto en alguno de ellos y por lo tanto una colisión en la maqueta.

### 6.8. Inicio de sesión en los controladores

Puesto que estamos trabajando con dos controladores en un mismo proyecto, la puesta en línea deberá realizarse desde la ventana Aplicaciones, haciendo clic secundario sobre el apartado Application del controlador que queremos conectar y seleccionando Inicio de sesión.

Previamente a la ejecución de esta orden, deberemos de haber seleccionado en que autómatas queremos iniciar sesión. En este caso el Cliente iniciará sesión en el autómatas con dirección IP 172.16.191.112 y el Servidor en el autómatas con dirección IP 172.16.191.108.

Sabemos que un controlador tiene seleccionado un autómata para su inicio de sesión porque este parece en negrita.

Una vez iniciada sesión en ambos controladores, volveremos a hacer clic secundario sobre el apartado Application de cada controlador y seleccionaremos RUN en cada uno de ellos.

Si este proceso se ha llevado a cabo de manera correcta en ambos autómatas, podremos apreciar que los leds PWR y RUN de cada uno de ellos permanecen verdes y fijos.

## 7. Diseño de la aplicación SCADA en NB-Designer

### 7.1. Creación del proyecto nuevo en NB-Designer

Crear un proyecto nuevo en NB-Designer es muy sencillo, debemos de dirigirnos a la parte superior izquierda y hacer clic sobre Archivo > Nuevo.

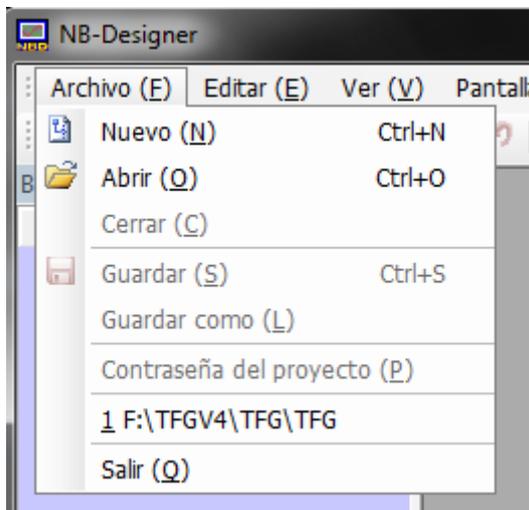


Imagen 35. Captura NB-Designer 1.

Nos aparecerá una ventana donde deberemos de dar un nombre al proyecto.

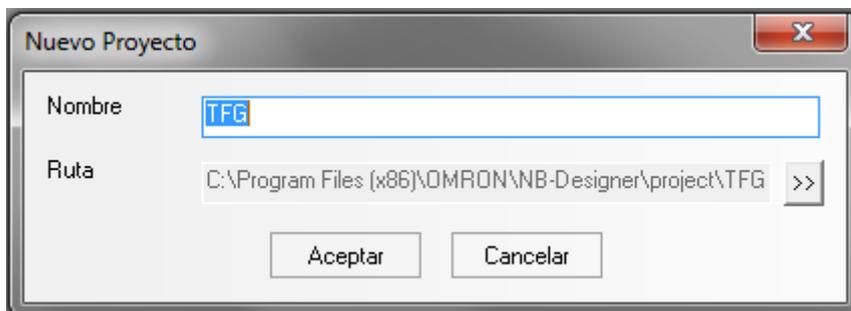


Imagen 36. Captura NB-Designer 2.

En este punto, nos aparecerá un fondo gris al que deberemos de arrastrar los diferentes elementos con los que vamos a trabajar. Primero accederemos al apartado HMI que nos aparece a la izquierda de la imagen y arrastraremos la pantalla con el nombre NB7W-TW01B. Ahora

accederemos al apartado PLC y buscaremos el dispositivo con el nombre Modbus TCP Slave. Una vez localizado, procederemos a arrastrarlo sobre el fondo gris. En este caso, tan solo será necesario añadir el autómatas que está trabajando como cliente [5].

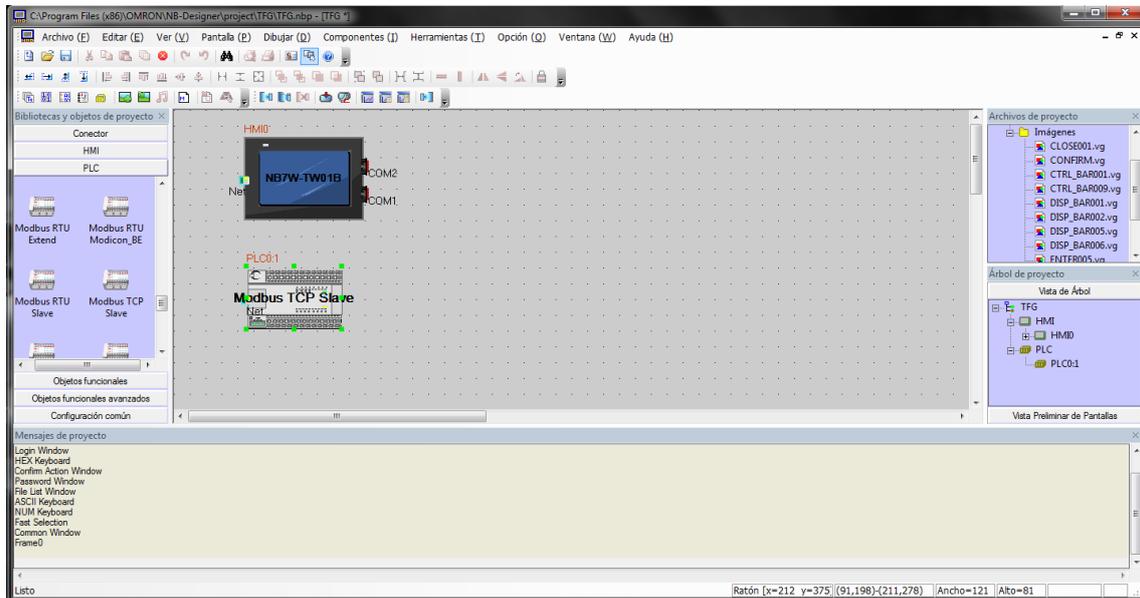


Imagen 37. Captura NB-Designer 3.

## 7.2. Configuración de la conexión entre la pantalla HMI y el cliente en NB-Designer

Una vez colocados todos los elementos podemos acceder al apartado Conector y arrastrar el cable Ethernet, al hacerlo se nos abrirá una ventana. Donde deberemos pulsar sobre Añadir.

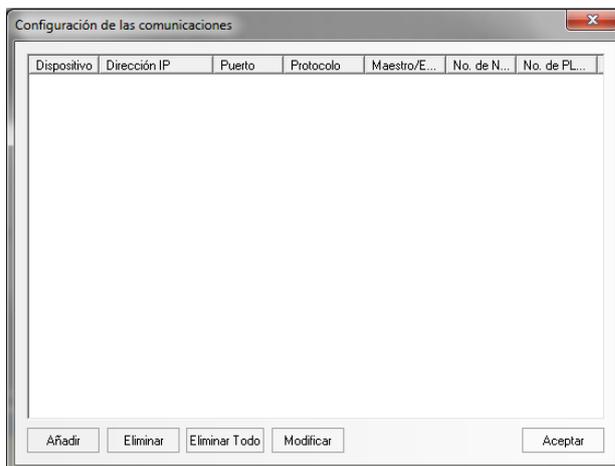


Imagen 38. Captura NB-Designer 4.

Primero añadiremos la información correspondiente a la pantalla HMI. Introduciremos la Dirección IP del dispositivo a utilizar, seleccionaremos el protocolo Modbus TCP e introduciremos el número de puerto 21845.

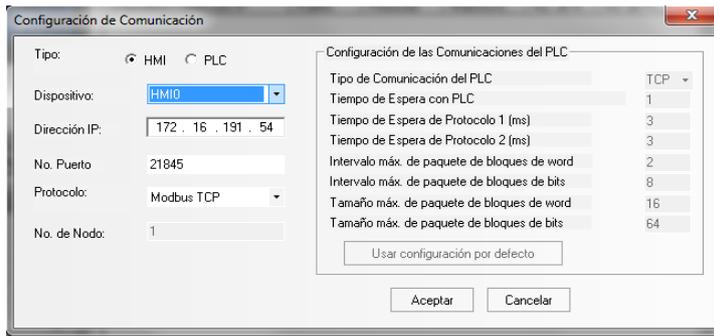


Imagen 39. Captura NB-Designer 5.

Cuando pulsemos aceptar regresaremos a la ventana anterior, donde deberemos de volver a pulsar sobre Añadir para incluir el PLC.

Ahora añadiremos la información correspondiente al autómatas servidor. Introduciremos su dirección IP y nos aseguraremos de que el número de puerto que aparece por defecto sea el 502. Una vez listo pulsaremos sobre Aceptar.

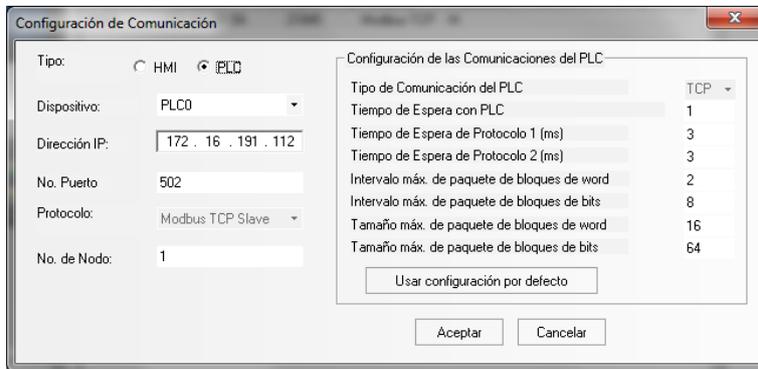


Imagen 40. Captura NB-Designer 6.

La ventana de la conexión ethernet ahora se muestra de la siguiente manera.

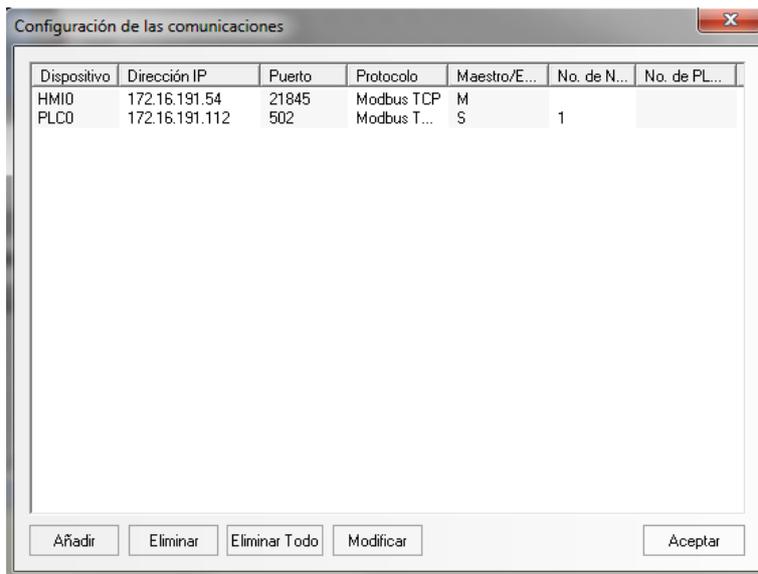


Imagen 41. Captura NB-Designer 7.

### 7.3. Primeros pasos para programar en NB-Designer

La programación en NB-Designer se basa en la creación de pantallas. Para la creación de pantallas se dispone de una amplia gama de objetos funcionales. Estos objetos son los encargados de dotar de funcionalidad cada una de las pantallas programadas [5].

Para el diseño de la aplicación SCADA se han empleados los siguientes objetos funcionales:



Imagen 42. Objetos funcionales empleados.

Para incrustar los diferentes objetos funcionales en las pantallas tan solo deberemos de arrastrar el objeto en cuestión desde el apartado Objetos funcionales hasta la pantalla donde lo queramos colocar. Ahora, haciendo doble clic sobre el objeto, accedemos a un menú donde podemos modificar diferentes parámetros. Cada objeto cuenta con parámetros distintos.

### 7.4. Vinculación de los objetos funcionales Botón de Bit y Lámpara de Bit con las E/S y demás variables del proyecto.

En este apartado se muestra como introducir de manera correcta las direcciones de lectura y escritura en los objetos funcionales lámpara de bit y botón de bit respectivamente.

Al hacer doble clic sobre el Objeto (lámpara o botón), en el apartado Básicos nos aparece la siguiente ventana, en la que para vincular el objeto con la señal deberemos de asegurarnos de rellenar de forma correcta los campos Área/Etiqueta y Dirección.

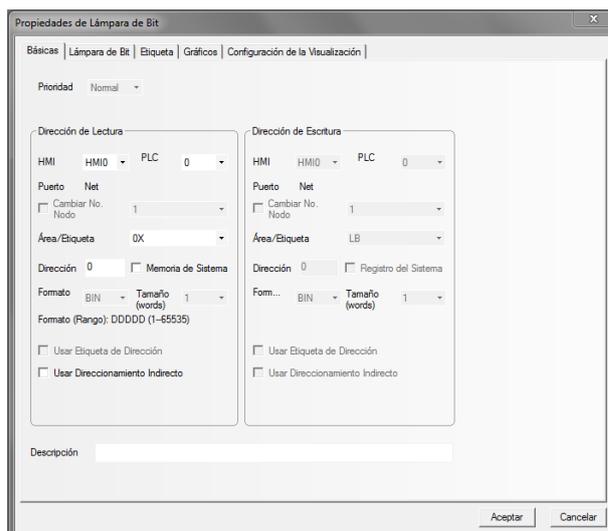


Imagen 43. Captura NB-Designer 8.

- Vinculación para E/S cliente
  - El campo Área/Etiqueta puede tener los valores 0X ó 1X.
  - El campo Dirección puede ser cualquier entero de 1 a 16.

En la siguiente tabla se muestra el valor de los campos Área/Etiqueta para cada una de las E/S del conector 1:

Entradas Cliente			
Señal/Sensor	Dirección	Área/Etiqueta	Dirección
SEN1	%IX0.0	1X	1
SEN2	%IX0.1	1X	2
SEN3	%IX0.2	1X	3
SEN4	%IX0.3	1X	4
SEN5	%IX0.4	1X	5
SEN6	%IX0.5	1X	6
SEN7	%IX0.6	1X	7
SEN8	%IX0.7	1X	8
SEN9	%IX1.0	1X	9
SEN10	%IX1.1	1X	10
SEN11	%IX1.2	1X	11
SEN12	%IX1.3	1X	12
SEN13	%IX1.4	1X	13
SEN14	%IX1.5	1X	14
SEN15	%IX1.6	1X	15
READY	%IX1.7	1X	16
Salidas Cliente			
Señal/Actuador	Dirección	Área/Etiqueta	Dirección
VEL_VAR1_1	%QX0.4	0X	5
VEL_VAR1_2	%QX0.5	0X	6
VEL_VAR1_3	%QX0.6	0X	7
VEL_VAR2_1	%QX0.7	0X	8
VEL_VAR2_2	%QX1.0	0X	9
VEL_VAR2_3	%QX1.1	0X	10
VEL_VAR3_1	%QX1.2	0X	11
VEL_VAR3_2	%QX1.3	0X	12
VEL_VAR3_3	%QX1.4	0X	13
IN_POS_1	%QX1.5	0X	14
IN_POS_2	%QX1.6	0X	15
IN_POS_3	%QX1.7	0X	16

Tabla 13. Valores de los campos Área/Etiqueta y Dirección en las E/S del Servidor.

- Vinculación para E/S servidor y variables GVL

- El campo Área/Etiqueta siempre será 4x\_Bit.
- El campo Dirección consta de dos valores separados por un punto:

El valor delante del punto hace referencia al apartado Palabra del direccionamiento de memoria del M241 siendo: %MW0 igual a 1, %MW1 igual a 2... (Tabla 11)

El valor detrás del punto hace referencia al número de bit dentro de la Palabra, hay un total de 16 bits por palabra (0-15).

En la siguiente tabla se muestra el valor de los campos Área/Etiqueta para cada una de las E/S del servidor:

Entradas Servidor				
Señal/Sensor	Dirección	Dirección Memoria	Área/Etiqueta	Dirección
FP_1	%IX0.0	%MX0.0	4x_Bit	1.00
FP_2	%IX0.1	%MX0.1	4x_Bit	1.01
FP_3	%IX0.2	%MX0.2	4x_Bit	1.02
ALARMA	%IX0.3	%MX0.3	4x_Bit	1.03
MARCHA I	%IX0.4	%MX0.4	4x_Bit	1.04
MARCHA II	%IX0.5	%MX0.5	4x_Bit	1.05
SETA	%IX0.6	%MX0.6	4x_Bit	1.06
Salidas Servidor				
Señal/Actuador	Dirección	Dirección Memoria	Área/Etiqueta	Dirección
Y1	%QX0.4	%MX4.4	4x_Bit	3.04
Y2	%QX0.5	%MX4.5	4x_Bit	3.05
Y3	%QX0.6	%MX4.6	4x_Bit	3.06
Y4	%QX0.7	%MX4.7	4x_Bit	3.07
Y5	%QX1.0	%MX5.0	4x_Bit	3.08
Y6	%QX1.1	%MX5.1	4x_Bit	3.09
Y7	%QX1.2	%MX5.2	4x_Bit	3.10
PILOTO_AUX_1	%QX1.3	%MX5.3	4x_Bit	3.11
BALIZA	%QX1.4	%MX5.4	4x_Bit	3.12
ON_VAR	%QX1.5	%MX5.5	4x_Bit	3.13

Tabla 14. Valores de los campos Área/Etiqueta y Dirección en las E/S del Cliente.

En la siguiente tabla se muestra el valor de los campos Área/Etiqueta para cada una de las E/S del servidor:

Variables GVL			
Variable	Dirección Memoria	Área/Etiqueta	Dirección
MODOMARCHA	%M6.0	4x_Bit	4.00
LENTAVAR1	%M6.1	4x_Bit	4.01
INTERVAR1	%M6.2	4x_Bit	4.02
RAPIDVAR1	%M6.3	4x_Bit	4.03
PAROVAR1	%M6.4	4x_Bit	4.04
ATRASVAR1	%M6.5	4x_Bit	4.05
LENTAVAR2	%M6.6	4x_Bit	4.06
INTERVAR2	%M6.7	4x_Bit	4.07
RAPIDVAR2	%M7.0	4x_Bit	4.08
PAROVAR2	%M7.1	4x_Bit	4.09
ATRASVAR2	%M7.2	4x_Bit	4.10
LENTAVAR3	%M7.3	4x_Bit	4.11
INTERVAR3	%M7.4	4x_Bit	4.12
RAPIDVAR3	%M7.5	4x_Bit	4.13
PAROVAR3	%M7.6	4x_Bit	4.14
ATRASVAR3	%M7.7	4x_Bit	4.15
POS1	%M8.0	4x_Bit	5.00
POS2	%M8.1	4x_Bit	5.01
POS3	%M8.2	4x_Bit	5.02
POS4	%M8.3	4x_Bit	5.03
COGER_EE	%M8.4	4x_Bit	5.04
DEJAR_EE	%M8.5	4x_Bit	5.05
COGER_PP	%M8.6	4x_Bit	5.06
PRENSAR	%M8.7	4x_Bit	5.07
ABRIR	%M9.0	4x_Bit	5.08
CERRAR	%M9.1	4x_Bit	5.09
LEP1	%M9.2	4x_Bit	5.10
LEP2	%M9.3	4x_Bit	5.11
LEP3	%M9.4	4x_Bit	5.12
LEP4	%M9.5	4x_Bit	5.13

Tabla 15. Valores de los campos Área/Etiqueta y Dirección en las variables GVL.

### 7.5. Transferencia del programa a la pantalla HMI

Una vez tengamos el diseño compilado y guardado, podemos transferirlo a la pantalla y ponerlo en funcionamiento, pero antes debemos de asegurarnos de que la transferencia se va a realizar de manera correcta. Para ello, accederemos a Herramientas > Configuración de la transferencia y nos aseguraremos de que estos parámetros coincidan con los introducidos en HMI0 en el apartado 7.2. Configuración de la conexión entre la pantalla HMI y el cliente en NB-Designer (*Imagen 39*).

## 8. La aplicación SCADA

Una SCADA es una interfaz que tiene como finalidad que los operarios de un proceso de producción obtengan información sobre lo que está sucediendo de forma clara y sencilla sin necesidad de poseer conocimientos en el diseño de automatismos.

Digamos que es una manera simple y visual de representar la complejidad de un proceso industrial. Además, también estar dotadas de diferentes modos de funcionamiento que permiten a los operarios realizar comprobaciones o pruebas, como es el caso de la programación de un modo manual.

La aplicación SCADA que ha sido programada con el software NB-Designer consta de 4 pantallas y 2 modos de funcionamiento.

### 8.1. Pantalla Inicio

En esta pantalla podemos seleccionar entre dos pantallas, la del modo automático y la del modo manual. Importante destacar que el modo automático puede funcionar tanto en la pantalla de inicio como la de modo automático, mientras que el modo manual, solo se activará cuando estemos en la pantalla de modo manual.



Imagen 44. Pantalla de inicio SCADA.

### 8.2. Modo Automático

Permite la visualización del estado y posición de diferentes sensores y actuadores. Además, incluye una alarma por parpadeo que indica cuando las piezas han de ser retiradas de la cinta de recirculación.



Imagen 45. Pantalla modo automático SCADA.

### 8.3. Modo Manual

Consta de dos pantallas y la entrada a la primera de ellas supondrá que la variable MODOMARCHA pase de 0 a 1, activando de esta manera modo de marcha manual.

Todos los botones están configurados como pulsadores, por lo que en el caso de las cintas y el prensado será necesario mantenerlos pulsados para su accionamiento, además incluye acceso a una segunda pantalla donde se dispone de más velocidades de cintas.

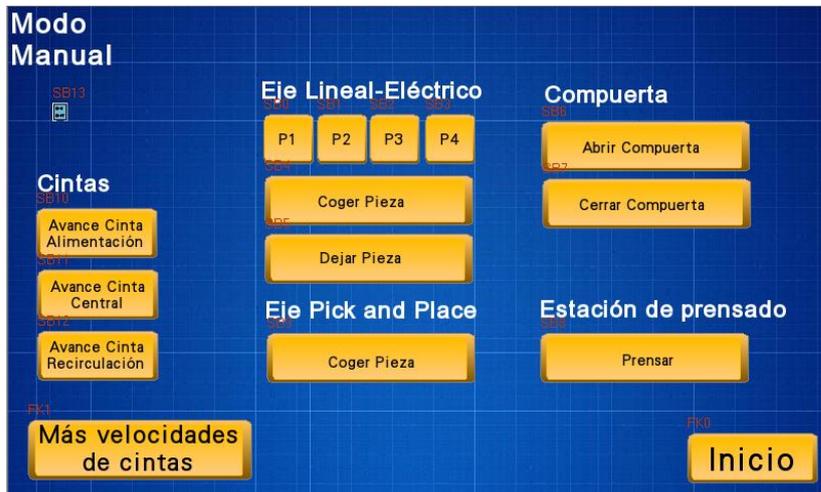


Imagen 56. Pantalla modo manual 1 SCADA.



Imagen 57. Pantalla modo manual 2 SCADA.

## 9. Conclusiones

Tras la finalización del trabajo puedo afirmar que su ejecución, como ya esperaba, ha supuesto un reto en muchos sentidos. Pero que sin duda, también ha conllevado un gran aprendizaje tanto a nivel teórico como a práctico.

Uno de los puntos fuertes del proyecto, es la creación de un diseño del automatismo muy robusto, fiable y difícil de burlar que, además, gracias a la correcta implementación de los diferentes elementos disponibles, también podemos catalogar como seguro tanto para los operarios como para la integridad de la propia máquina.

Sin duda la mayor dificultad en la programación la hallé durante el diseño del eje lineal-eléctrico, pues quería cerciorarme de que este funcionaba de la manera más eficiente posible. Eso supuso que la longitud y la complejidad de la programación de este eje se vieran considerablemente incrementadas.

También, el diseño del protocolo de comunicación entre autómatas M241 supuso un gran reto puesto que nunca antes había trabajado con más de un autómata. Esto supuso la necesidad de familiarizarme con la utilización de la biblioteca PLCCommunication en SoMachine.

Finalmente, nunca antes había programado una aplicación SCADA y me ha sorprendido gratamente tanto lo fácil e intuitivo que es manejar el software NB\_Designer, como el grado de utilidad y cantidad de información que es capaz de suministrar una SCADA de estas características, multiplicando exponencialmente las posibilidades de la maqueta.

## 10. Bibliografía

[1]- José María Martínez Fuentes. Maqueta Célula de procesos industriales automática. 1ª Edición. Valencia: ARTITECNIC AUTOMATIZACION, S.L. 2009.

[2]- Schneider Electric. Modicon M241 Logic Controller Guía de programación. 03/2018.

[3]- Schneider Electric. SoMachine - Guía de programación. 04/2014

[4]- Schneider Electric. SoMachine Funciones de lectura/escritura Modbus y ASCII Guía de la biblioteca PLCCommunication. 04/2012

[5] - Omron Corporation. Programmable Terminals. NB-Designer Operation Manual. 08/2012.

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE  
UNA PLANTA DE LABORATORIO CON  
AUTÓMATAS SCHNEIDER M241  
CONECTADOS EN RED. DESARROLLO  
DE APLICACIÓN SCADA EN HMI DE  
OMRON.

**II. PLIEGO DE CONDICIONES**

## Tabla de contenido

1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO
2. CONDICIONES GENERALES
  - 2.1. CONDICIONES ECONÓMICAS
3. CONDICIONES PARTICULARES
  - 3.1. CONDICIONES DE COMPATIBILIDAD DEL SISTEMA
  - 3.2. CONDICIONES DE INSTALACIÓN
  - 3.3. CONDICIONES DE GARANTÍA

### 1. Definición y alcance del pliego

El proyecto a realizar se basa en la automatización de una maqueta de carácter industrial suministrada por el cliente. Dicha automatización deberá llevarse a cabo mediante el uso de dos autómatas Modicon M241 de la marca Schneider Electric conectados en red. Además, dicho proceso debe de poder ser controlado y/o monitorizado mediante la proyección de una aplicación SCADA en una pantalla HMI modelo NB7W-TW01B de la marca Omrom. El diseño de la aplicación SCADA también se encuentra dentro del alcance del proyecto.

La automatización consistirá en la clasificación de dos tipos de piezas. Además, se requiere la programación de un modo de seguridad que detenga todos los procesos tras el accionamiento de la seta de emergencia y de dos modos de marcha. Un modo automático monitorizado mediante la aplicación SCADA y un modo manual controlado desde la aplicación SCADA.

Para el diseño y ejecución del automatismo se empleará el software de programación de controladores lógicos SoMachine de la marca Scheneider Electric. Para el diseño de la aplicación SCADA se empleará el software NB-Designer de Omrom.

Los materiales empleados para la automatización son:

- 2 uds. x Autómata Schneider Modicon M241 Logic Controller (TM241CE40R)
- 1 ud. x Pantalla HMI NB7W-TW01B de Omrom.
- 3 uds. x Cable de conexión a Ethernet.

Finalmente se requiere la entrega de un proyecto dotado de los siguientes apartados:

- Memoria
- Pliego de Condiciones
- Presupuesto
- Anexos

### 2. Condiciones generales

Dado que se trata de un proyecto de ingeniería de automatización y que la maqueta es proporcionada por el cliente, podemos concluir que las responsabilidades asignadas a la ejecución del proyecto son nulas. Por lo que en este apartado, únicamente se contemplan las condiciones económicas pactadas entre las partes.

#### 2.1. Condiciones económicas

Ambas partes acuerdan la realización de un único pago, que se hará efectivo tras la comprobación del correcto funcionamiento de la automatización y la entrega del proyecto tal y como se especifica en el apartado 1. Definición y alcance del pliego.

Para el cumplimiento de estas condiciones el plazo de finalización no debe exceder de la fecha límite, octubre de 2019.

### 3. Condiciones particulares

Dado que se trata de un proyecto de automatización, las condiciones técnicas van ligadas a la lista de materiales empleados, quedando este apartado dividido en tres partes.

#### 3.1. Condiciones de compatibilidad del sistema

Este apartado contiene los requisitos necesarios del equipo empleado para la ejecución de cada uno de los softwares utilizados.

##### 3.1.1. Software SoMachine

El software de programación de los PLC TM241, 251, se debe instalar sobre un PC que cumpla con las siguientes características:

- Procesador: Intel® Core™ 2 Duo o equivalente (recomendado: Intel® Core™ i7 o equivalente)
- Memoria RAM: 2 GB (recomendado 4 GB)
- Disco duro: 6 GB (recomendado 10GB)
- Sistema operativo: Microsoft Windows 7 SP1, Microsoft Windows 8.1, Microsoft Windows 10
- Resolución recomendada: 1280 X 1024 o superior
- Este producto cuenta con 21 días de prueba, después debe licenciarse.

##### 3.1.2. Software NB-Designer

El software de programación NB-Designer, se debe instalar sobre un PC que cumpla con las siguientes características:

- Procesador: Intel Pentium II o superior
- Memoria RAM: 512 MB o superior
- Disco duro: 2.5 GB o más
- Sistema operativo: Microsoft Windows XP SP3, Microsoft Windows Vista, Microsoft Windows 7, Microsoft Windows 8, Microsoft Windows 8.1, Microsoft Windows 10
- Resolución recomendada: 800 X 600 (recomendada: 1024 X 768)

#### 3.2. Condiciones de instalación

El ingeniero será responsable de la compra de los diferentes materiales empleados en el proceso, así mismo deberá encargarse del proceso de instalación y programación de los mismos con el objetivo de cumplir con las especificaciones solicitadas por el cliente.

Además, el ingeniero es responsable de la verificación de la automatización diseñada e implementada con el fin de garantizar un correcto funcionamiento. De lo contrario la resolución de errores es una tarea que también está englobada en el ámbito de obligaciones del ingeniero.

### 3.3. Condiciones de garantía

Se establece un periodo de garantía de dos años en la programación del automatismo. En caso de que antes de la finalización de este período se detectara un fallo o error a causa de una programación incorrecta del automatismo, será el ingeniero la parte responsable de hacerse cargo económicamente de los desperfectos que este percance pudiera ocasionar, así mismo como de la solución de dicho error en la programación.

Garantizando así, la oferta del mejor servicio posible y una automatización libre de errores y revisada.

En cuanto a los materiales adquiridos, la garantía de los mismos no es competencia del ingeniero, sino que cada elemento llevará unas condiciones asociadas al fabricante.

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE  
UNA PLANTA DE LABORATORIO CON  
AUTÓMATAS SCHNEIDER M241  
CONECTADOS EN RED. DESARROLLO  
DE APLICACIÓN SCADA EN HMI DE  
OMRON.

**III. PRESUPUESTO**

## Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN
2. COSTE DEL HARDWARE EMPLEADO
3. PRECIOS A AMORTIZAR
4. MANO DE OBRA
5. PRECIOS DESCOMPUESTOS
6. PRECIOS UNITARIOS
7. PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN

### 1. Introducción

En este documento se elaborado el presupuesto relativo a los costes de material y mano de obra asociados a la ejecución del proyecto.

La maqueta Artitecnic no ha sido considerada en el presupuesto puesto que esta ha sido cedida por el cliente.

Los softwares utilizados para la ejecución del proyecto SoMachine y NB-Designer poseen licencias gratuitas por lo que no han sido incluidos en el presupuesto.

### 2. Coste del hardware empleado

Producto	Unidades	Coste unitario	Coste Total (€)
Autómata Modicon M241 Logic Controller	2	341,95 €	683,90 €
Pantalla HMI NB7W-TW01B	1	746,71 €	746,71 €
Cable de conexión a Ethernet	3	10,00 €	30,00 €
<b>TOTAL</b>			<b>1.460,61 €</b>

Tabla 1. Coste del hardware empleado.

### 3. Precios a amortizar

	Coste Total	Tiempo de amortización (h)	Precio a amortizar (€/h)
Hardware	1.460,61 €	8000	0,18258

Tabla 2. Amortizaciones.

#### 4. Mano de Obra

Para la obtención la elaboración de la siguiente tabla se ha consultado el Documento BOE-A-2017-542 para obtener el valor de los parámetros Salario base anual y Plus de convenio anual. También se ha consultado en la web de la seguridad social (<http://www.seg-social.es>) para conocer las Bases y tipos de cotización 2019.

Mano de obra (Graduado en Ingeniería Mecánica)			
Descripción		Importe	
Salario base anual		23.618,28 €	
Plus de convenio anual		2.109,69 €	
<b>SALARIO TOTAL ANUAL</b>		<b>25.727,97 €</b>	
Régimen General de la seguridad social			
Descripción		Valor	Importe
Contingencias comunes		23,60%	6.071,80 €
Desempleo		6,70%	1.723,77 €
FOGASA		0,20%	51,46 €
Formación Profesional		0,60%	154,37 €
<b>TOTAL DEDUCCIONES SS</b>			<b>8.001,40 €</b>
<b>SALARIO TOTAL ANUAL + SS</b>			<b>33.729,37 €</b>
Retenciones a cuenta del IRPF			
Descripción		Valor	Importe
Clase de renta		15%	5.059,41 €
<b>TOTAL DEDUCCIÓN POR IRPF</b>			<b>5.059,41 €</b>
<b>SALARIO TOTAL ANUAL + SS+ IRPF</b>			<b>38.788,77 €</b>
Jornada ordinaria máxima de trabajo efectivo (anual)		1800 h/año	21,55 €
<b>PRECIO TOTAL POR HORA</b>			<b>21,55 €</b>

Tabla 3. Cálculo del precio total por hora de la mano de obra.

### 5. Precios descompuestos

Para el desarrollo del siguiente apartado, se ha considerado coste del Laboratorio de Automatización como 7,5€/h en base al equipamiento que alberga.

N.O.	Nombre de la unidad de obra		
1	Familiarización con el proyecto		
Rendimiento (h)	Descripción	Precio (€/h)	Importe
6	Graduado en Ingeniería Mecánica	21,55	129,30 €
3	Hardware	0,18	0,55 €
3	Laboratorio de Automatización	7,5	22,50 €
<b>Costes Directos:</b>			<b>152,35 €</b>
Costes indirectos			
(3,5%)			5,33 €
<b>TOTAL</b>			<b>157,68 €</b>

Tabla 4. Precios descompuestos número 1.

N.O.	Nombre de la unidad de obra		
2	Sincronización de los autómatas en RED		
Rendimiento (h)	Descripción	Precio (€/h)	Importe
7,5	Graduado en Ingeniería Mecánica	21,55	161,63 €
7,5	Hardware	0,18	1,37 €
7,5	Laboratorio de Automatización	7,5	56,25 €
<b>Costes Directos:</b>			<b>219,24 €</b>
Costes indirectos			
(3,5%)			7,67 €
<b>TOTAL</b>			<b>226,92 €</b>

Tabla 5. Precios descompuestos número 2.

N.O.	Nombre de la unidad de obra		
3	Diseño del automatismo en SoMachine		
Rendimiento (h)	Descripción	Precio (€/h)	Importe
67,5	Graduado en Ingeniería Mecánica	21,55	1.454,63 €
45	Hardware	0,18	8,22 €
45	Laboratorio de Automatización	7,5	337,50 €
<b>Costes Directos:</b>			<b>1.800,34 €</b>
Costes indirectos			
(3,5%)			63,01 €
<b>TOTAL</b>			<b>1.863,35 €</b>

Tabla 6. Precios descompuestos número 3.

N.O.	Nombre de la unidad de obra		
4	Aprendizaje de manejo NB-Designer		
Rendimiento (h)	Descripción	Precio (€/h)	Importe
4	Graduado en Ingeniería Mecánica	21,55	86,20 €
1	Hardware	0,18	0,18 €
1,5	Laboratorio de Automatización	7,5	11,25 €
<b>Costes Directos:</b>			97,63 €
Costes indirectos			
(3,5%)			3,42 €
<b>TOTAL</b>			<b>101,05 €</b>

Tabla 7. Precios descompuestos número 4.

N.O.	Nombre de la unidad de obra		
5	Diseño e implementación de la aplicación SCADA		
Rendimiento (h)	Descripción	Precio (€/h)	Importe
15	Graduado en Ingeniería Mecánica	21,55	323,25 €
7,5	Hardware	0,18	1,37 €
7,5	Laboratorio de Automatización	7,5	56,25 €
<b>Costes Directos:</b>			380,87 €
Costes indirectos			
(3,5%)			13,33 €
<b>TOTAL</b>			<b>394,20 €</b>

Tabla 8. Precios descompuestos número 5.

N.O.	Nombre de la unidad de obra		
6	Redacción del documento		
Rendimiento (h)	Descripción	Precio (€/h)	Importe
60	Graduado en Ingeniería Mecánica	21,55	1.293,00 €
4	Hardware	0,18	0,73 €
1	Laboratorio de Automatización	7,5	7,50 €
<b>Costes Directos:</b>			1.301,23 €
Costes indirectos			
(3,5%)			45,54 €
<b>TOTAL</b>			<b>1.346,77 €</b>

Tabla 9. Precios descompuestos número 6.

## 6. Precios unitarios

N.O.	Nombre de la unidad de obra	Cantidad	Precio	Importe (€)
1	Familiarización con el proyecto	1	157,68 €	157,68 €
2	Sincronización de los autómatas en RED	1	226,92 €	226,92 €
3	Diseño del automatismo en SoMachine	1	1.863,35 €	1.863,35 €
4	Aprendizaje de manejo NB-Designer	1	101,05 €	101,05 €
5	Diseño e implementación de la aplicación SCADA	1	394,20 €	394,20 €
6	Redacción del documento	1	1.346,77 €	1.346,77 €
<b>TOTAL</b>				<b>4.089,97 €</b>

Tabla 10. Precios unitarios.

## 7. Presupuesto base de licitación

PRESUPUESTO	IMPORTE
<b>Presupuesto de Ejecución Material</b>	<b>4.089,97 €</b>
Gastos Generales (13%)	531,70 €
Beneficio industrial (6%)	245,40 €
<b>Presupuesto total de Ejecución por Contrata</b>	<b>4.867,07 €</b>
IVA (21%)	1.022,08 €
<b>Presupuesto total Base de Licitación del proyecto</b>	<b>5.889,15 €</b>

Tabla 11. Cálculo del presupuesto total base de licitación.

El presupuesto Base de Licitación será de:

**Cinco mil ochocientos ochenta y nueve euros con quince céntimos.**

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE  
UNA PLANTA DE LABORATORIO CON  
AUTÓMATAS SCHNEIDER M241  
CONECTADOS EN RED. DESARROLLO  
DE APLICACIÓN SCADA EN HMI DE  
OMRON.

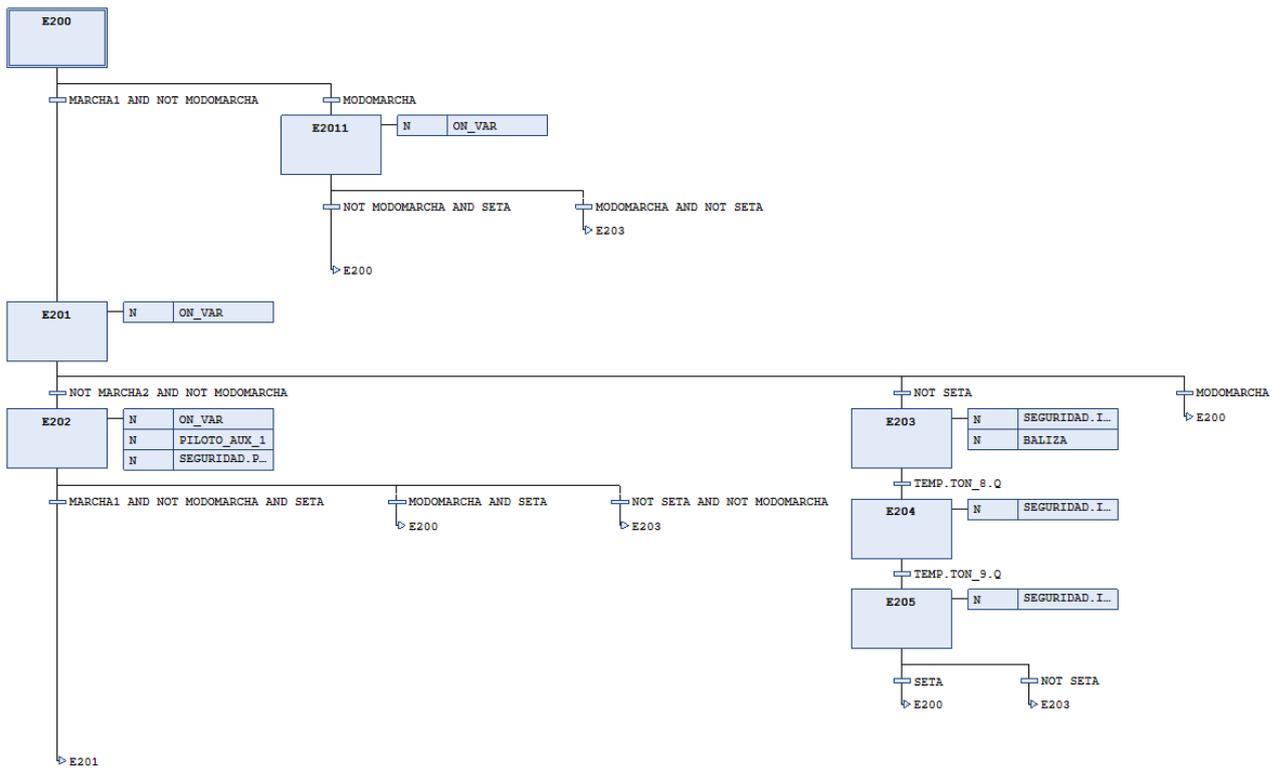
**IV. ANEXOS**

## Tabla de contenido

### ANEXO 1: POUS DEL AUTOMATISMO EN SOMACHINE

1. GRAFCET DE SEGURIDAD
  - 1.1. CONDICIONES ECONÓMICAS
  - 1.1. CONDICIONES ECONÓMICAS
2. GRAFCET DE MODO DE MARCHA
  - 2.1. CONDICIONES ECONÓMICAS
3. GRAFCETS DE MODO AUTOMÁTICO
  - 3.1. CINTA DE ALIMENTCIÓN
  - 3.2. CINTA CENTRAL
  - 3.3. CINTA DE RECIRCULACIÓN
  - 3.4. EJE LINEAL-ELÉCTRICO
  - 3.5. EJE PICK AND PLACE
4. GRAFCETS DE MODO MANUAL
  - 4.1. CINTA DE ALIMENTCIÓN
  - 4.2. CINTA CENTRAL
  - 4.3. CINTA DE RECIRCULACIÓN
  - 4.4. COMPONENTE X EJE LINEAL-ELÉCTRICO
  - 4.5. COMPONENTE Z EJE LINEAL-ELÉCTRICO
  - 4.6. ESTACIÓN DE PRENSADO
  - 4.7. COMPUERTA
  - 4.8. EJE PICK AND PLACE
5. ACCIONES
  - 5.1. IN\_POS\_1
  - 5.2. IN\_POS\_2
  - 5.3. IN\_POS\_3
  - 5.4. VEL\_VAR1\_2
  - 5.5. VEL\_VAR2\_2
  - 5.6. VEL\_VAR3\_2
  - 5.7. Y1
  - 5.8. Y2
  - 5.9. Y3
  - 5.10. Y4
  - 5.11. Y5
  - 5.10. Y6
  - 5.11. Y7
6. TEMPORIZADORES
7. OTROS

### 1. Grafcet de seguridad

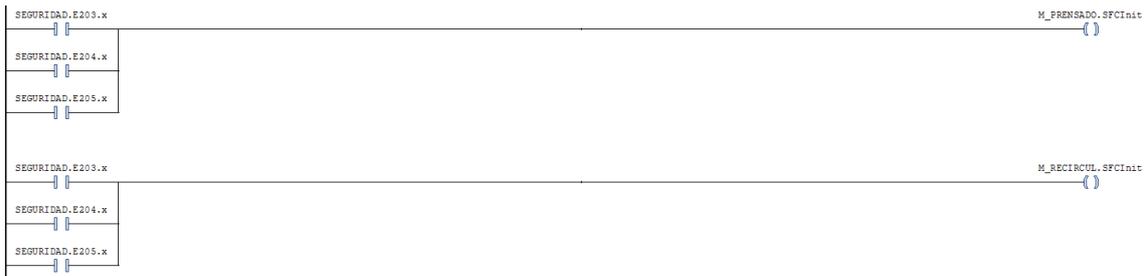


#### 1.1. Forzado SFCPause

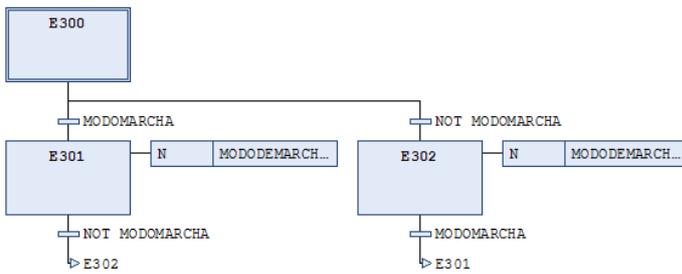


1.2. Forzado SFCInit





## 2. Grafcet de modo de marcha



### 2.1. Forzado SFCInit modo manual

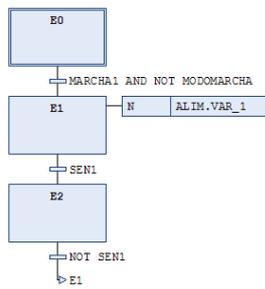


### 2.2. Forzado SFCInit modo automático



### 3. Graficets de modo automático

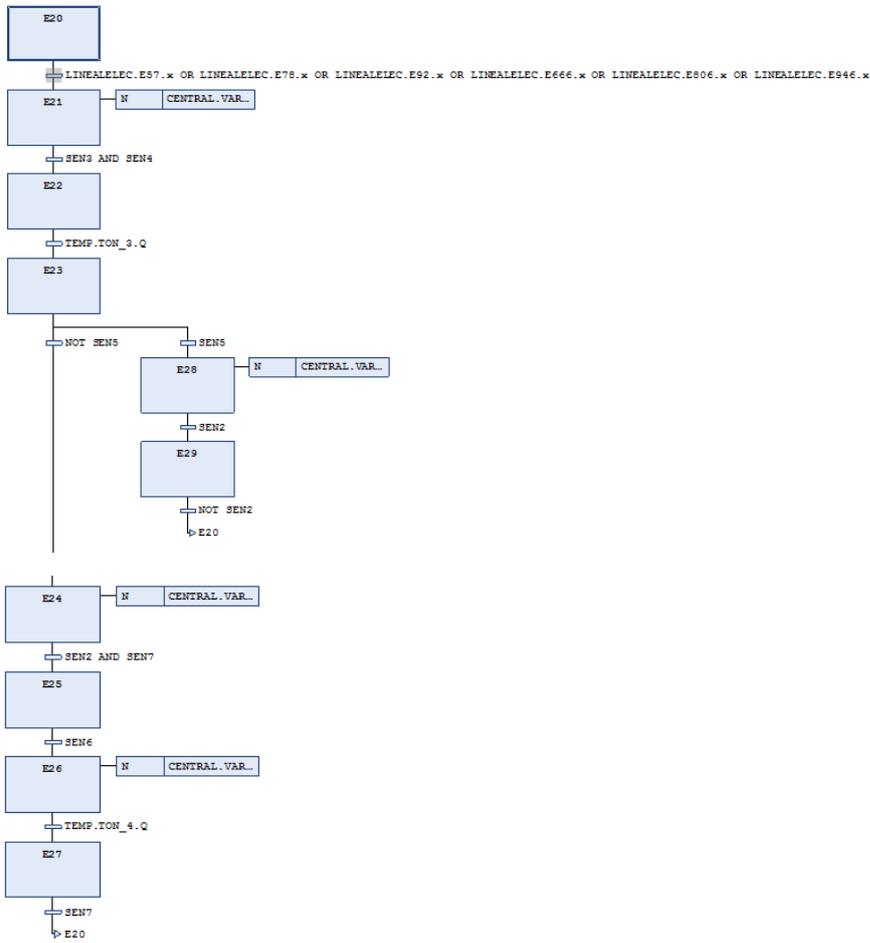
#### 3.1. Cinta de alimentación



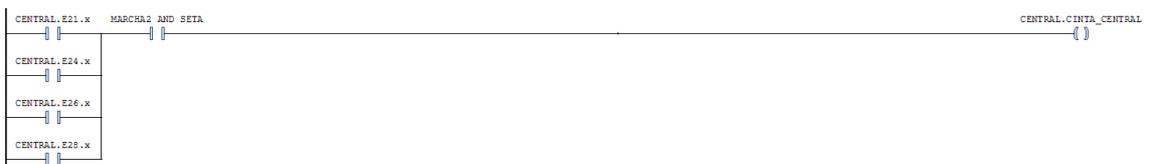
##### 3.1.1. Variador 1



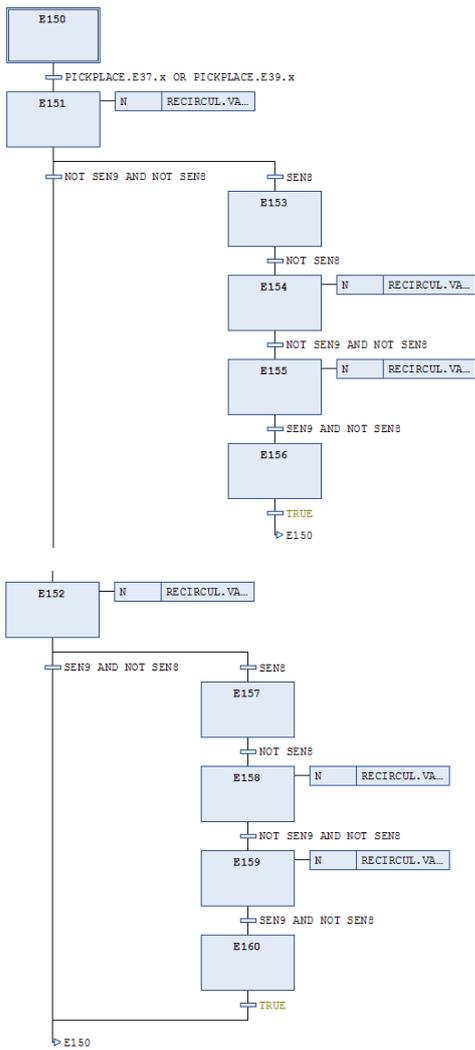
### 3.2. Cinta central



#### 3.2.1. Variador 2



### 3.3. Cinta de recirculación

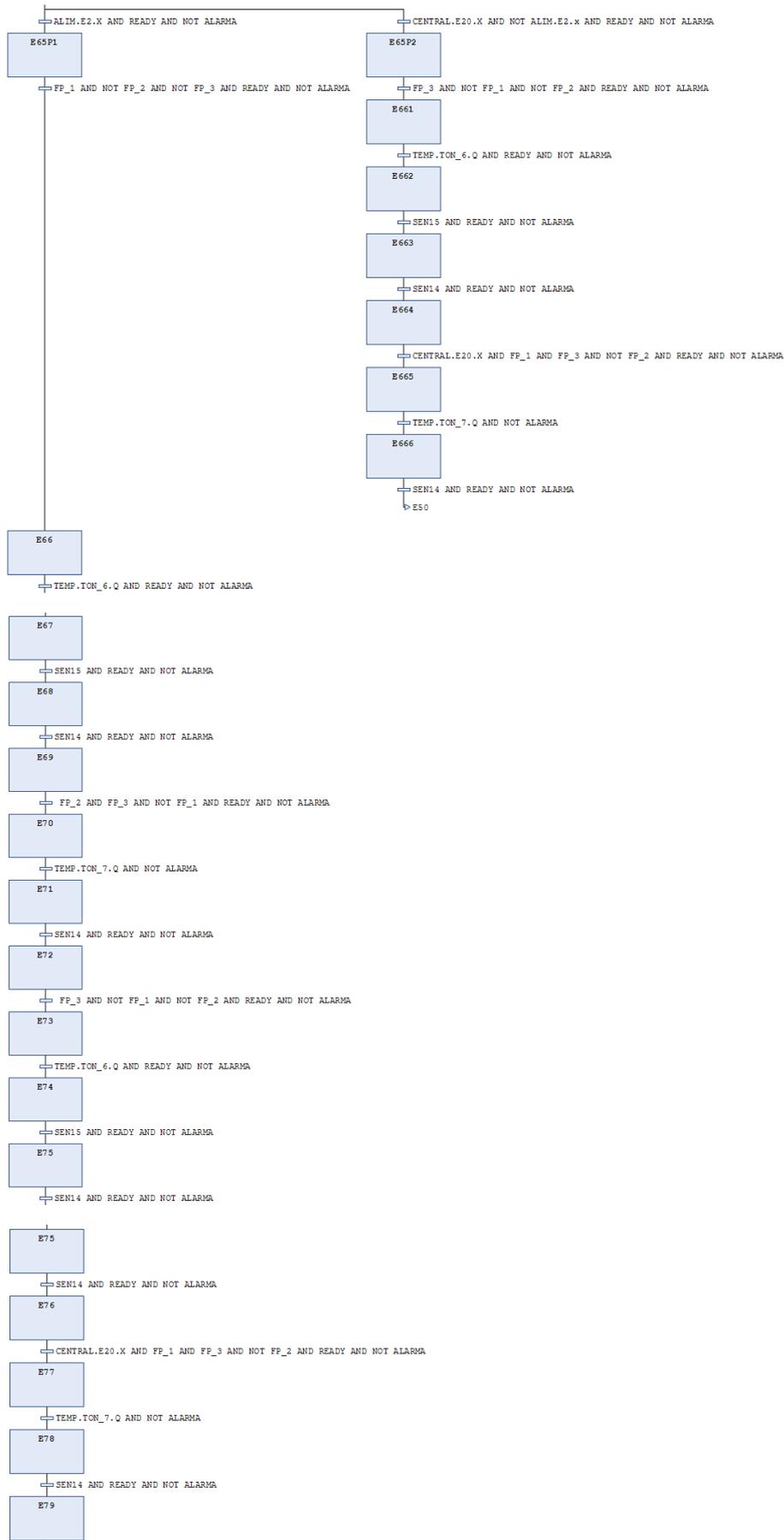


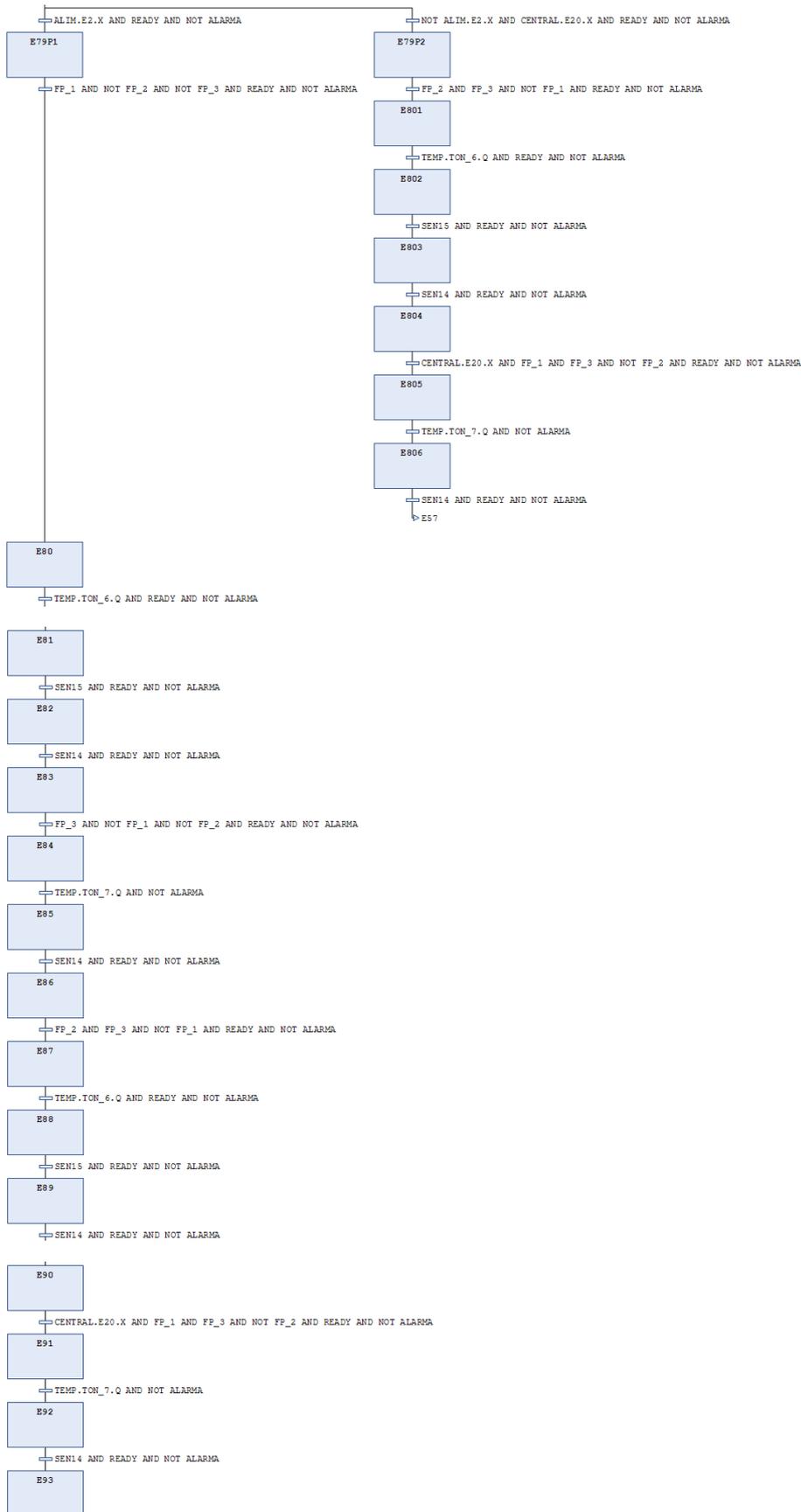
#### 3.3.1. Variador 3

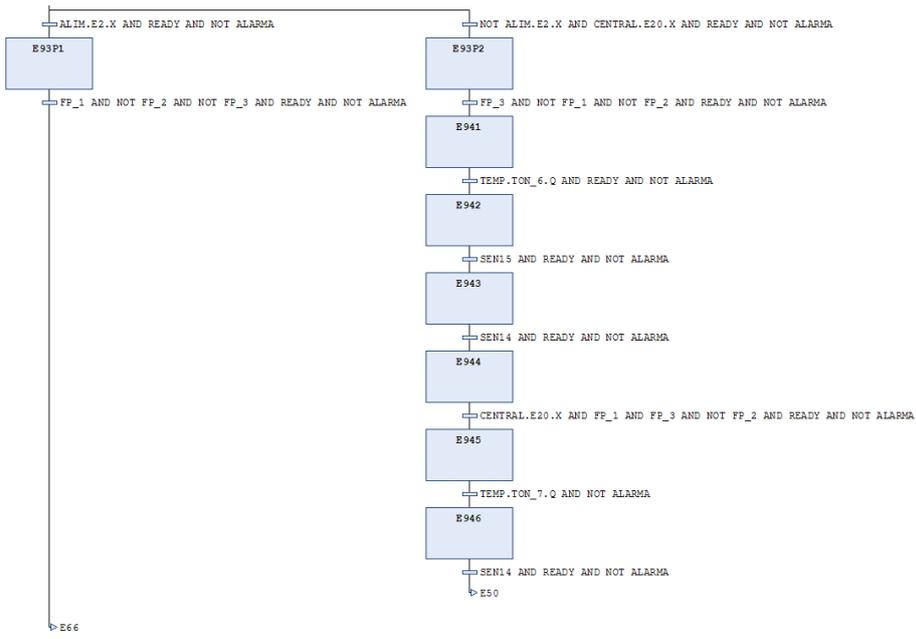


### 3.4. Eje Lineal-Eléctrico

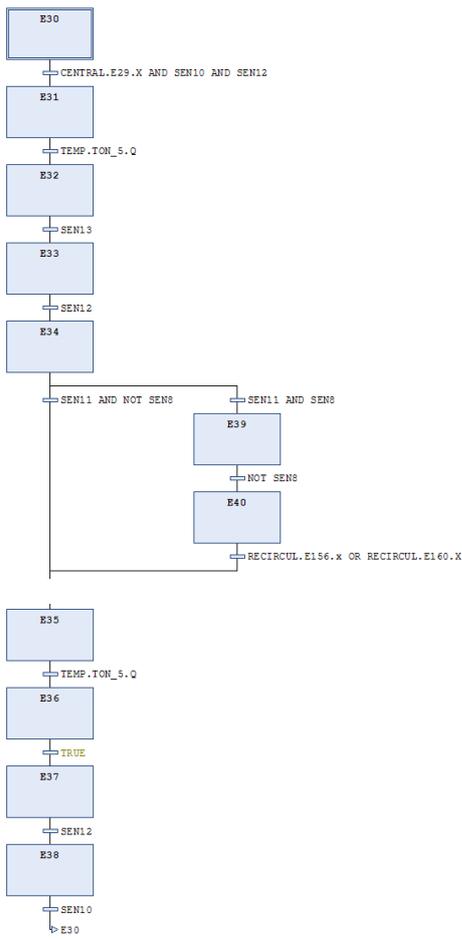






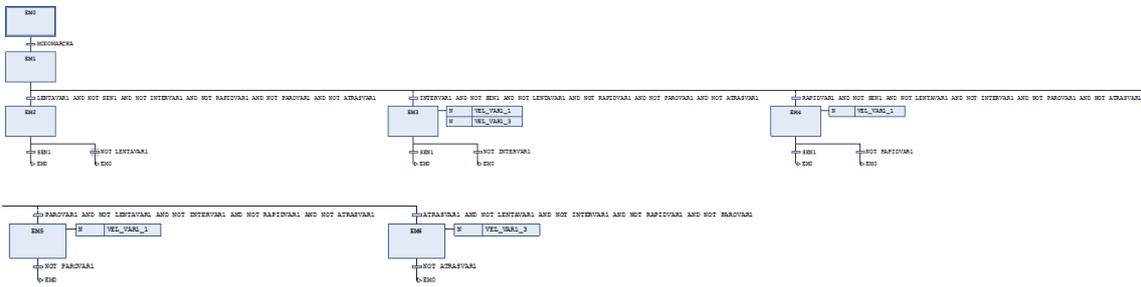


### 3.5. Eje pick and Place

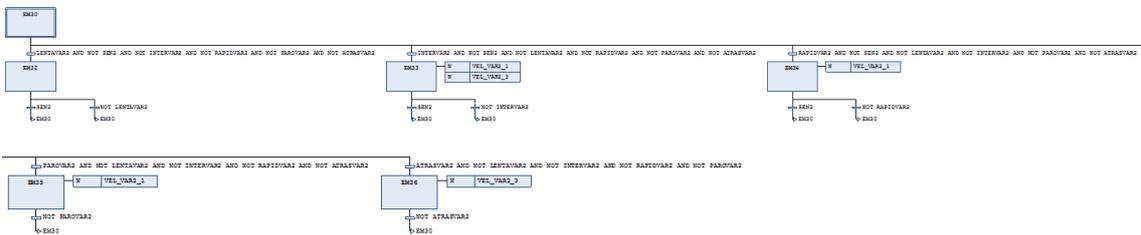


## 4. Graficets de modo manual

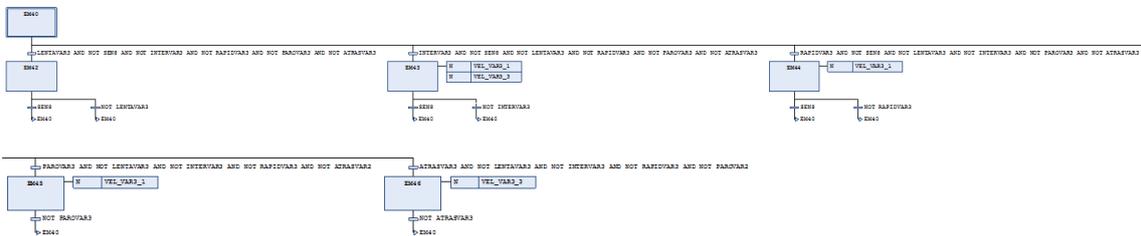
### 4.1. Cinta de alimentación



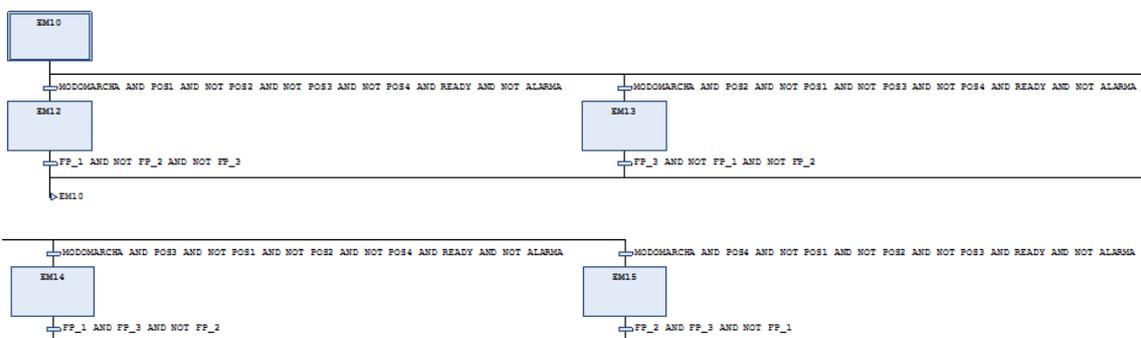
### 4.2. Cinta central



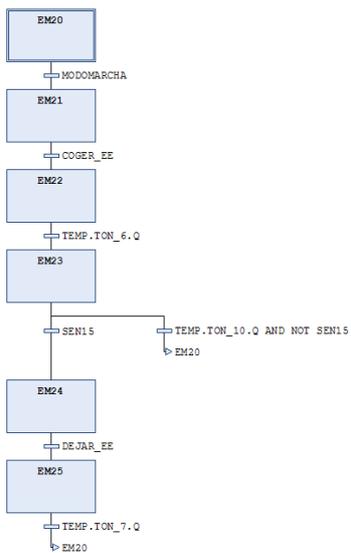
### 4.3. Cinta de recirculación



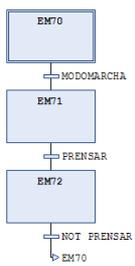
### 4.4. Componente X eje lineal-eléctrico



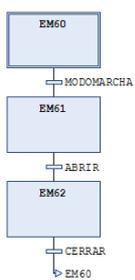
### 4.5. Componente Z eje lineal-eléctrico



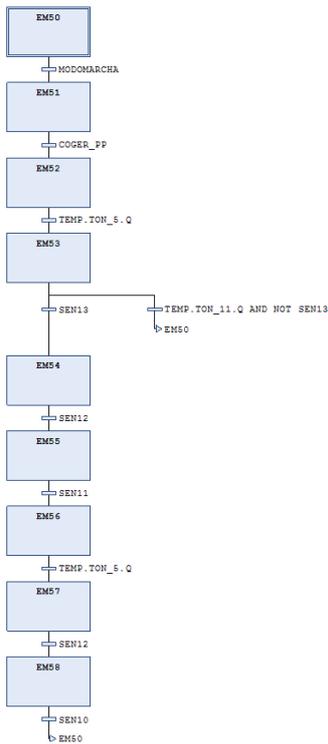
### 4.6. Estación de prensado



### 4.7. Compuerta

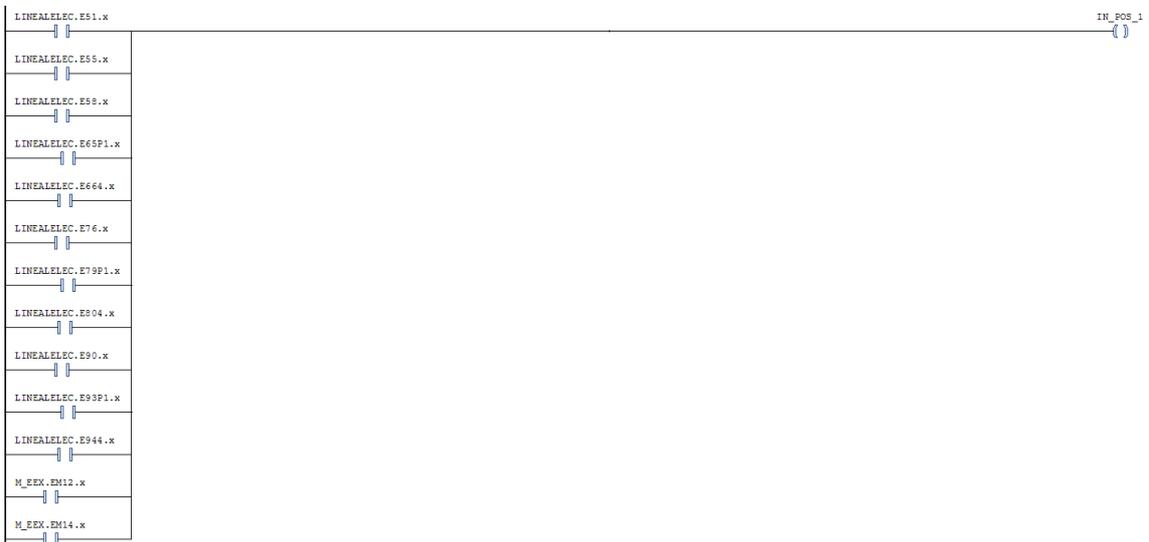


### 4.8. Eje Pick and Place

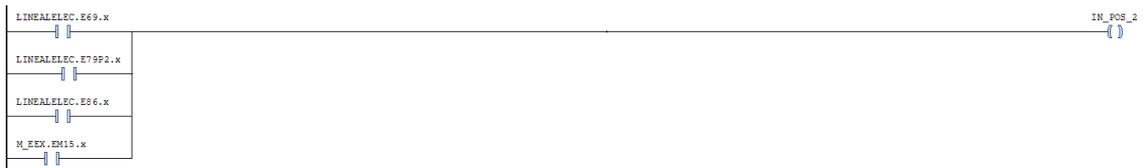


## 5. Acciones

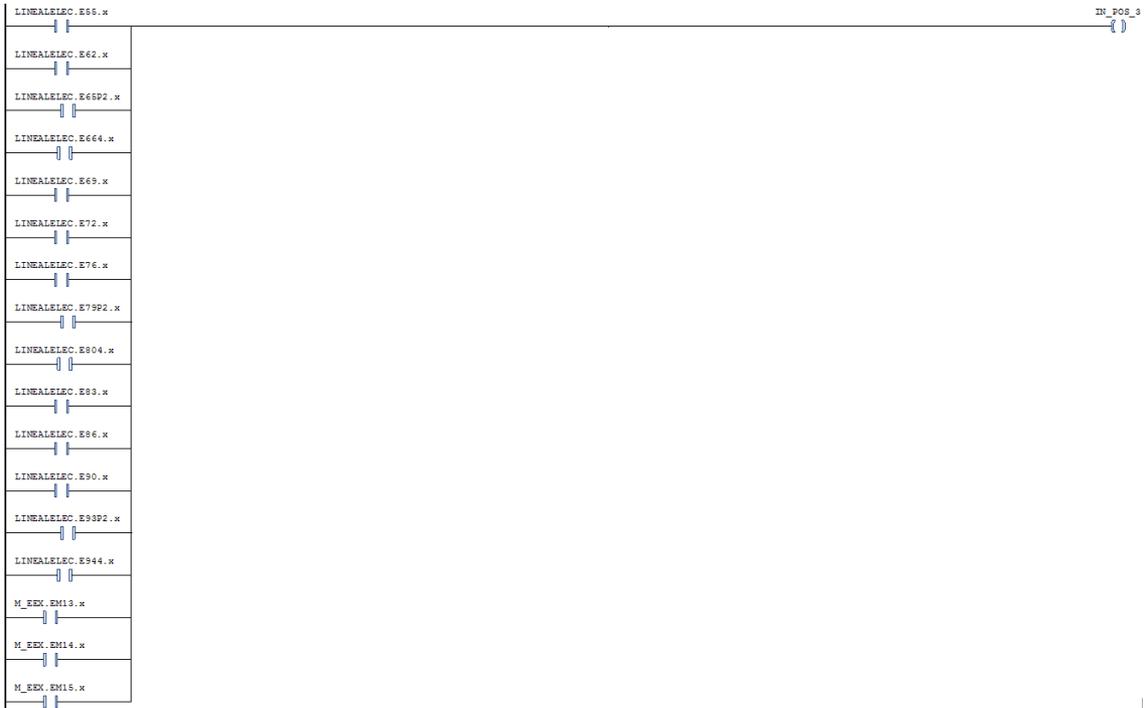
### 5.1. IN\_POS\_1



### 5.2. IN\_POS\_2



### 5.3. IN\_POS\_3



### 5.4. VEL\_VAR1\_2



### 5.5. VEL\_VAR2\_2



### 5.6. VEL\_VAR3\_2



5.7. Y1



5.8. Y2



5.9. Y3



5.10. Y4



5.11. Y5

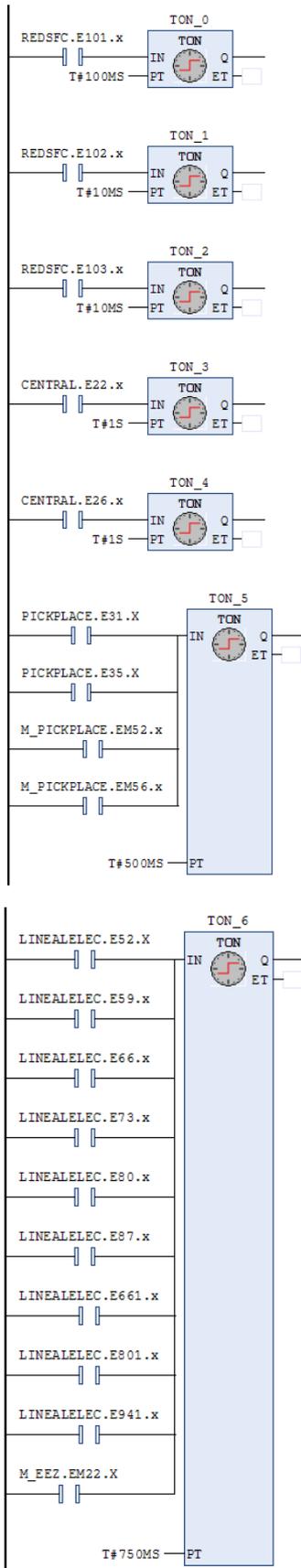


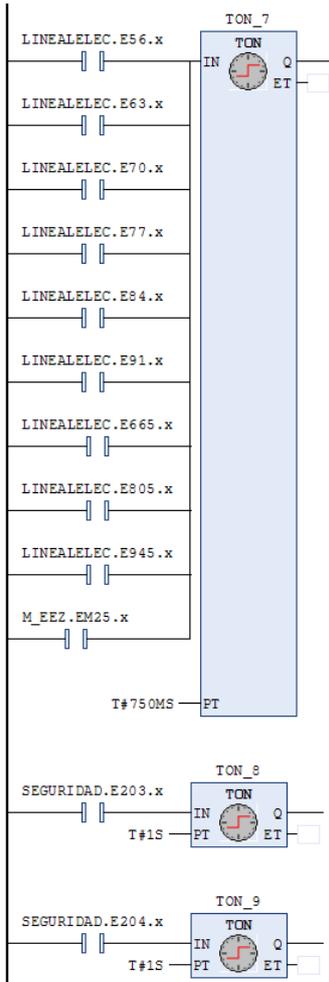
5.12. Y6

LINEALELEC.E52.x		Y6 (1)
LINEALELEC.E53.x		
LINEALELEC.E56.x		
LINEALELEC.E59.x		
LINEALELEC.E60.x		
LINEALELEC.E63.x		
LINEALELEC.E661.x		
LINEALELEC.E662.x		
LINEALELEC.E665.x		
LINEALELEC.E66.x		
LINEALELEC.E67.x		
LINEALELEC.E70.x		
LINEALELEC.E73.x		
LINEALELEC.E74.x		
LINEALELEC.E77.x		
LINEALELEC.E801.x		
LINEALELEC.E802.x		
LINEALELEC.E805.x		
LINEALELEC.E80.x		
LINEALELEC.E81.x		
LINEALELEC.E84.x		
LINEALELEC.E87.x		
LINEALELEC.E88.x		
LINEALELEC.E91.x		
LINEALELEC.E941.x		
LINEALELEC.E942.x		
LINEALELEC.E945.x		
M_EEZ_EM22.x		
M_EEZ_EM23.x		
M_EEZ_EM25.x		



## 6. Temporizadores





## 7. Otros

