



Universidad de Oviedo

Manual del Programador PLC del Trabajo Fin de Máster realizado por

PABLO GONZÁLEZ ÁLVAREZ

para la obtención del título de

Máster en Ingeniería de Automatización e Informática Industrial

**AUTOMATIZACIÓN DE UNA CÉLULA DE
FABRICACIÓN DEL SUBCHASIS TRASERO DE
AUTOMÓVILES**

JUNIO de 2017

TABLA DE CONTENIDO

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO	1
1.2.- DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO.....	1
1.3.- ESQUEMA DEL DOCUMENTO.....	2
1.4.- DOCUMENTOS REFERENCIADOS	2
1.4.1.- <i>Documentos del Proyecto</i>	2
1.4.2.- <i>Documentos Externos</i>	3
2.- PLC DE CONTROL.....	4
2.1.- DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DE CONTROL	4
2.2.- VARIABLES DE E/S.....	9
2.3.- DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE	9
2.3.1.- <i>CX – Programmer</i>	9
2.3.2.- <i>Programación en LADDER (LD)</i>	10
2.3.3.- <i>Programación de una secuencia en LD</i>	11
2.4.- DESCRIPCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN.....	11
2.4.1.- <i>STANDARD_START</i>	12
2.4.2.- <i>STANDARD_END</i>	13
2.4.3.- <i>NS_SCREEN</i>	13
2.4.4.- <i>STEP_DECODE</i>	14
2.4.5.- <i>GENERAL</i>	14
2.4.6.- <i>LAMPS</i>	15
2.4.7.- <i>SEQ1_OP610_P1</i>	17
2.4.8.- <i>SEQ2_OP620_P2</i>	19
2.4.9.- <i>SEQ3_OP630</i>	20
2.4.10.- <i>SEQ4_OP640_MARKER</i>	21
2.4.11.- <i>SEQ5_OP650_VISION</i>	22
2.4.12.- <i>SEQ6_OP680</i>	23
2.4.13.- <i>SEQ7_OP685</i>	25
2.4.14.- <i>SEQ8_OP690</i>	26
2.4.15.- <i>OP601_CONVEYOR_UNLOAD</i>	27
2.4.16.- <i>OP602_CONVEYOR_UNLOAD</i>	28
2.4.17.- <i>CONV_OP695</i>	29
2.4.18.- <i>ROBOT_OP680_COMMONS</i>	29
2.4.19.- <i>ROBOT_OP685_COMMONS</i>	30

2.4.20.-	ROBOT_OP690_COMMONS.....	30
2.4.21.-	PRODUCTION	30
2.4.22.-	SCREEN_MIMIC.....	30
2.4.23.-	DIAGNOSTICS	31
2.4.24.-	CYCLE_TIME	31
2.4.25.-	PUNCH_DIE_PIERCING.....	31
2.4.26.-	MARKER_SERIAL_MODE.....	31
2.4.27.-	PASSWORD.....	32
2.4.28.-	END	32
3.-	PLC'S DE SEGURIDAD	33
3.1.-	DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE.....	33
3.2.-	VARIABLES DE E/S.....	34
3.3.-	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....	34
3.3.1.-	Pluto Manager	34
3.4.-	DESCRIPCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN	35
3.4.1.-	Funciones principales.....	36
3.4.2.-	PLUTO 1	36
3.4.3.-	PLUTO 2	37
3.4.4.-	PLUTO 3	37
3.4.5.-	PLUTO 4	37
3.4.6.-	PLUTO 5	38
4.-	RED DE COMUNICACIONES	39
4.1.-	TOPOLOGÍA DE LA RED DE COMUNICACIONES	39
4.2.-	ELEMENTOS DE LA RED	40
4.3.-	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....	42
4.3.1.-	ET200S	44
4.3.2.-	ABS-PRT.....	44
4.3.3.-	PLUTO	44
4.3.4.-	ET200ECO.....	44
4.3.5.-	SMC EX260.....	45

1.- Introducción

En este documento se describe el manual del programador del PLC empleado en el proyecto “Automatización de una Célula de Fabricación del Subchasis Trasero de un Automóvil”. Se describirán todos aquellos aspectos necesarios para que cualquier persona con conocimientos en el campo de la automatización, pueda entender y modificar el proyecto realizado para el PLC utilizado.

1.1.- IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Título: **Automatización de una Célula de Fabricación del Subchasis Trasero de un Automóvil**

Autor: **Pablo González Álvarez**

Tutor Académico: **Antonio Robles Álvarez**

Empresa: **ISOTRON S.A. (ISASTUR).**

Fecha de Presentación: **Mayo – Junio 2017**

1.2.- DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO

En el presente documento se tiene como objetivo proporcionar soporte e información detallada sobre la programación y configuración del PLC desarrollado para este proyecto. Se indicará tanto el software utilizado para la realización del proyecto, así como el modelo de PLC utilizada junto con los componentes necesarios para su funcionamiento, y la configuración utilizada para realizar la programación del PLC.

También se describirán los aspectos pertenecientes a la configuración de la red de comunicaciones, como son la topología y la configuración de dispositivos. Además de describir el funcionamiento de los PLC's de seguridad empleados, junto con la configuración y programación realizada.

1.3.- ESQUEMA DEL DOCUMENTO

En esta sección se explica la organización del documento, buscando una estructura sencilla que intenta facilitar tanto la lectura como la comprensión de los aspectos teóricos y técnicos y la solución adoptada.

El primer apartado, “PLC de Control”, definirá los aspectos relacionados con la programación del PLC, como son la configuración de módulos adoptada (módulos E/S, módulos de comunicaciones...). Además, se detallará el software de programación utilizado, así como la metodología basada en secuencias y programada en el lenguaje LADDER (LD). Por último, se describirá detalladamente cada uno de los módulos de programa realizados.

El segundo apartado, “PLC de seguridad”, consiste en describir el uso y el funcionamiento de los PLC’s de seguridad utilizados con el fin de monitorizar y gestionar las seguridades de la estación, evitando de esta forma que pueda haber problemas materiales o humanos derivados del mal uso de la instalación.

Por último, en el tercer apartado, “Red de Comunicaciones”, se describe tanto la topología de la red PROFINET utilizada, como el programa utilizado para realizar las distintas configuraciones de los dispositivos con el fin de obtener un funcionamiento apropiado.

1.4.- DOCUMENTOS REFERENCIADOS

En este apartado se describen los documentos que forman parte de la documentación general de este proyecto, así como aquellos documentos que forman parte de la documentación previa al proyecto, empleada para su realización.

1.4.1.- Documentos del Proyecto

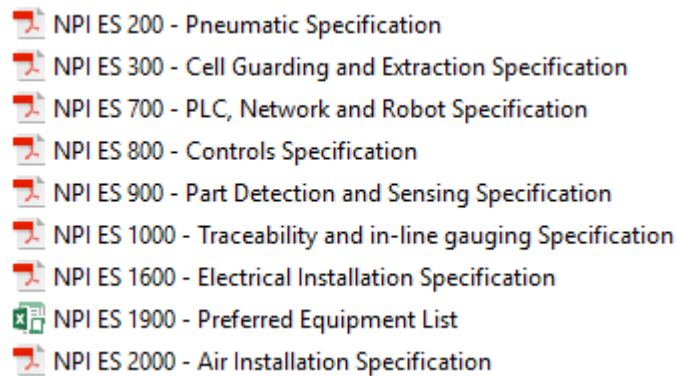
Los documentos adjuntos que forman parte de este proyecto y a los cuales se hace referencia son los siguientes:

- Memoria
- Manual de Usuario del HMI

1.4.2.- Documentos Externos

Los documentos externos previos a la realización del proyecto y proporcionados por la empresa cliente con el fin de llevar a cabo el trabajo fueron los siguientes:

- Documentos de estándares de la empresa cliente



- Layout de la planta completa con todos los componentes: Layout_D8_Rear.pdf
- Planos eléctricos EPLAN P8 de las diferentes estaciones:
 - o 31096_OP600.pdf
 - o R680_20161003.pdf
 - o R685_20161003.pdf
 - o R690_20161003.pdf
 - o OB1757 ACU-005 – 500_600.pdf
 - o OB1757 ACU-006 – 500_600.pdf
 - o 31096_OP640.pdf
 - o 31096_OP600_GATEMAPVISION.pdf
 - o Piercing machine D8 Rear Subframe M1_electric diagram.pdf
 - o Piercing machine D8 Rear Subframe M2_electric diagram.pdf
- Documentos descriptivos de la secuencia a seguir por las punzonadoras, así como las direcciones de memoria y direcciones IP a utilizar en su configuración:
 - o Piercing machine D8 Rear Subframe M1_piercing sequence.pdf
 - o Piercing machine D8 Rear Subframe M2_piercing sequence.pdf
 - o PROFINET SETUP D8 Rear and SpaFront2 (addresses).doc

2.- PLC de Control

En este apartado se describirán en detalle los aspectos necesarios y utilizados para realizar la programación del programa de control del PLC, así como su configuración para el correcto funcionamiento.

2.1.- DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DE CONTROL

CJ2M es una familia de PLC's ideal para necesidades de empaquetado y automatización general de máquinas. La conectividad está asegurada gracias al puerto USB integrado y a la opción de interfaces RS-232C/422/485 en la CPU. Además, dispone de puerto Ethernet estándar con función de enlace de datos vía EtherNet/IP.

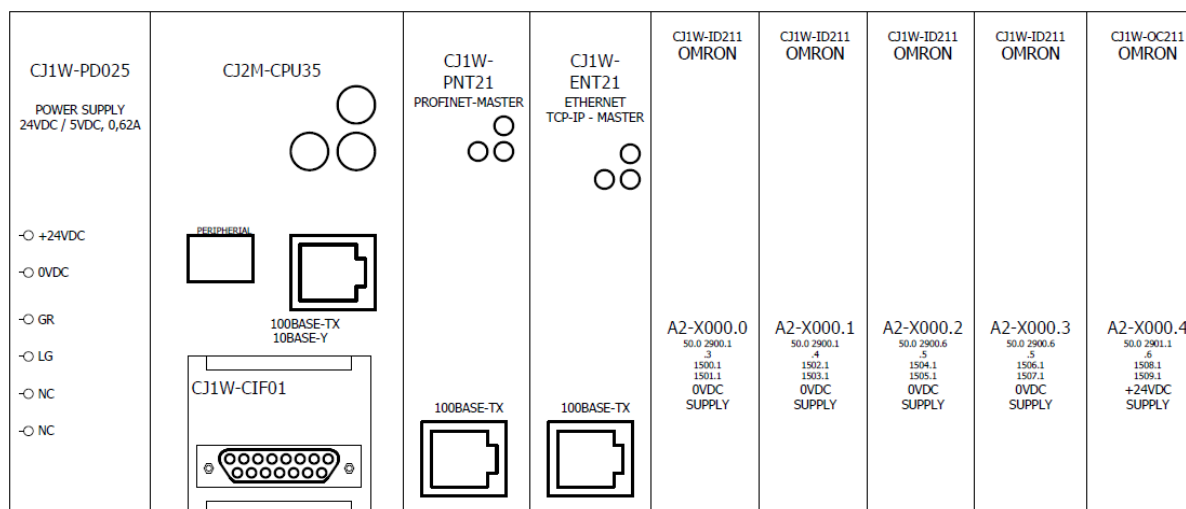


Figura 1: Bastidor del PLC de control Omron.

CJ1W-PD025: Fuente de alimentación

Se utiliza para proporcionar alimentación a la CJ2M-CPU35, tarjetas de comunicación y unidades de E/S. Se fija a la izquierda de la CPU.



Figura 2: Fuente de alimentación CJ1W-PD025.

CJ2M-CPU35: CPU del PLC

Dispone de la opción de utilizar EtherNet/IP. Tiene una capacidad de 2560 E/S. Capacidad de programa de 60K steps y capacidad de memoria de 160K words.



Figura 3: CPU del PLC de control Omron CJ2M-CPU35.

CJ1W-PNT21: PROFINET MASTER

Dispositivo utilizable por cualquier CPU de alto rendimiento de Omron de la serie CJ2. Es la encargada de gestionar la comunicación con la red PROFINET de la instalación.



Figura 4: Tarjeta de red de comunicación PROFINET CJ1W-PNT21.

CJ1W-ENT21: Ethernet TCP-IP MASTER

Se utiliza tanto para conectar el lugar de producción con las estaciones de dirección o para comunicarse con otras estaciones de operario, ordenadores personales o módulos Ethernet de otros fabricantes.



Figura 5: Tarjeta de red de comunicación Ethernet CJ1W-ENT21.

CJ1W-ID211: Módulos de entradas digitales. Dispone de 16 entradas por bloque.

CJ1W-OC211: Módulos de salidas digitales. Dispone de 16 salidas digitales por bloque



Figura 6: Módulos de entrada y salida digitales.

Además, como el equipo se encuentra en una red conectado mediante bus PROFINET, dispone de una serie de remotas repartidas por la estación que permiten aumentar el número de E/S de la instalación. Uno de los equipos utilizados para el montaje de la periferia descentralizada son las ET200S de Siemens. Su comunicación se basa en un enlace PROFINET al bus de la instalación y para su funcionamiento es necesario adjuntar un módulo de alimentación 24V DC, así como los módulos de E/S necesarios.



Figura 7: Remota de control ET200S de Siemens.

El segundo tipo de remota utilizado se corresponde con la ET200ECO, también de Siemens. Es un dispositivo compacto y no ampliable como el anterior que permite gestionar entradas y salidas. No es necesario un módulo de alimentación para su funcionamiento, sino que el modulo incorpora todo lo necesario para su uso. En el caso de esta instalación, el modelo utilizado es el que proporciona 16 entradas digitales al bus.



Figura 8: Remota de control ET200ECO de Siemens.

Finalmente, con el fin de gestionar todos los elementos neumáticos de la instalación, y poder llevar a cabo el control realizado en el PLC, se utilizan electroválvulas neumáticas para el accionamiento de los dispositivos neumáticos. El modelo utilizado es el EX260 de SMC en su versión PN1 o PN2, especialmente diseñados para soportar el protocolo PROFINET. Disponen de la posibilidad de accionar hasta 32 bobinas.



Figura 9: Tarjeta de control de válvulas SMC EX260.

2.2.- VARIABLES DE E/S

La tabla de variables de E/S, así como la tabla de variables comunicadas mediante la red PROFINET utilizada, se muestran en el documento adjunto “TablaVariables” debido a su extensión.

2.3.- DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

En este apartado se describe el software utilizado para realizar la programación offline del programa de control del PLC de Omron, así como sus características principales y los principios básicos utilizados en la programación.

2.3.1.- CX – Programmer

El programa empleado para realizar la programación en los PLCs de Omron es el CX-Programmer v9.4. Proporciona las herramientas necesarias para realizar el programa de control y transferirlo a los PLCs de la marca Omron, proporcionando las herramientas necesarias para la depuración y el diagnóstico.

Además, este programa está diseñado para cumplir con la norma IEC61131-3.

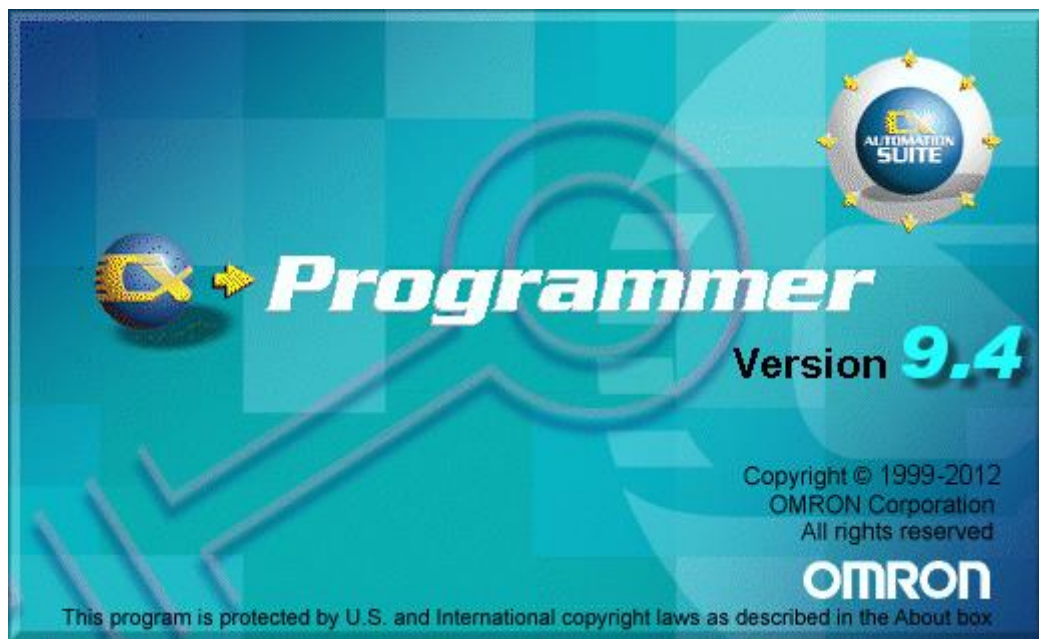


Figura 10: Software de control utilizado en la programación del PLCs Omron.

2.3.2.- Programación en LADDER (LD)

En el sector del automóvil existen unos estándares fuertemente implantados en esta industria a la hora de realizar la programación de los autómatas. Esto es debido a que, en este tipo de industria, la tarea de mantenimiento dentro de la fábrica suele ser muy común, por lo que los operarios son instruidos para conocer la programación basada en el estándar seleccionado por la empresa y todo lo que se salga de esa enseñanza, no tendrán los conocimientos necesarios para poder modificarlo y mantenerlo, aunque se pueda realizar de forma más sencilla. Es por esto que, aunque el código implementado se podría realizar más fácil y rápidamente en otro lenguaje de programación, como puede ser SFC, o incluso mediante la combinación de varios lenguajes, no se ha hecho así, sino que se ha seguido el estándar proporcionado por la empresa cliente. Aunque este estándar se basa en el uso de secuencias para su funcionamiento, no se utiliza el lenguaje basado en secuencias SFC, sino que se utiliza el lenguaje de contactos o escalera LADDER (LD) para todas las secciones del programa.

2.3.3.- Programación de una secuencia en LD

Debido al uso del lenguaje de programación LD, en lugar de optar por un lenguaje basado en secuencias como el SFC, es necesario implementar un funcionamiento basado en secuencias. Para ello, se emplea un contador que se incrementa en 1 en el momento en el que se cumplen todas las condiciones necesarias que verifican que los pasos dados en el paso anterior de la secuencia se han cumplido. Para saber qué hacer en cada secuencia, se compara ese contador con el paso de funcionamiento de cada accionamiento, permitiendo su ejecución.

2.4.- DESCRIPCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN

En este apartado se describen detalladamente las distintas partes de código desarrolladas en el programa del PLC. Entre ellas se encargan de gestionar todos los elementos de la estación, así como realizar las comunicaciones, control de los turnos de producción y, además, control de la producción.

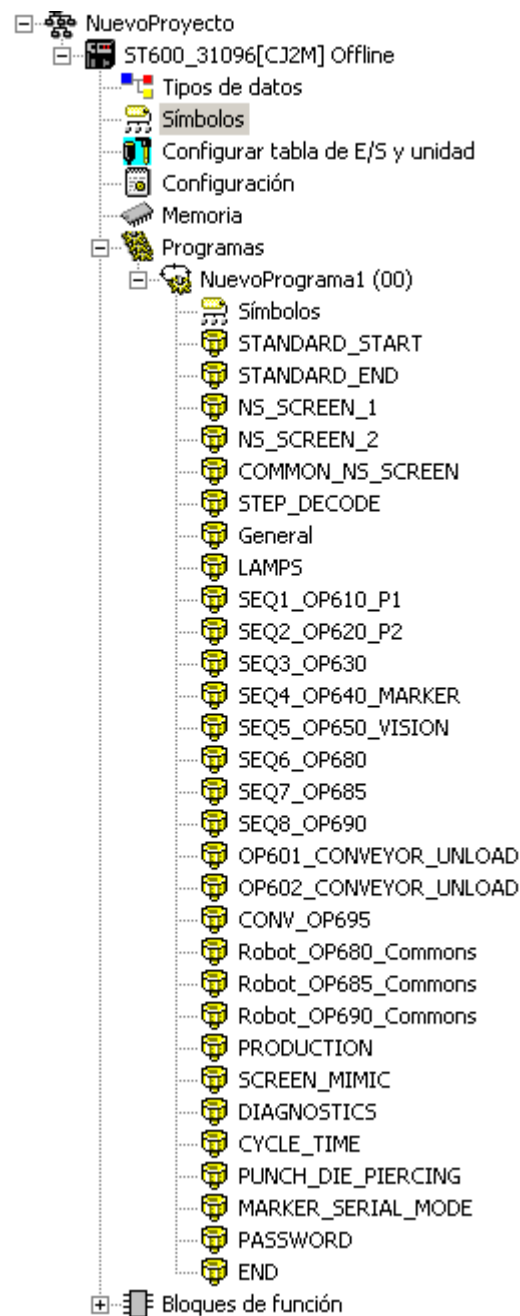


Figura 11: Estructura del proyecto de control del PLC.

2.4.1.- STANDARD_START

En el programa STANDART_START se realizan las gestiones básicas y más comunes de la estación. Entre ellas se encuentran la selección del modo de funcionamiento entre manual y automático, así como realizar la gestión de estos modos en aquellos elementos cuyo

funcionamiento sea una secuencia, realizando funciones añadidas como pueden ser aumentar pasos de secuencia o reducirlos.

Además, se gestionan las funciones de mantenimiento de la instalación, el funcionamiento de la luz interior de la estación y se gestiona la solicitud de entrada en la celda, así como la gestión del permiso de apertura de la puerta.

2.4.2.- STANDARD_END

En este programa, básicamente se realiza la gestión de avisos y de alarmas, llamados CMZ. Se analizan los elementos críticos de la instalación, y en caso de producirse un fallo, se activa un bit que notificaría la alarma en el PLC o serviría de enclavamiento para el funcionamiento de otras máquinas.

Entre los elementos que se analizan se encuentran:

- Interruptores automáticos
- Interruptores magnetotérmicos de los motores
- Diagnóstico de la red Profinet
- Presión del sistema de aire
- Paradas de emergencia
- Light Guard's
- Heartbeat de los PLC de seguridad
- Protecciones motor de los conveyors
- Análisis de las protecciones de las punzonadoras

2.4.3.- NS_SCREEN

Esta parte del programa es la encargada de gestionar el HMI de la instalación, activando variables o marcas que permiten realizar animaciones en el HMI con el fin de informar al operario de los distintos modos de funcionamiento o problemas existentes.

De esta parte del programa existen dos exactamente idénticos debido a la existencia de dos HMIs para el control de la misma instalación, pero situados en posiciones distintas. Debido a eso, toda la gestión de los HMI se realiza de la misma forma, pero con una salvedad. Los HMIs deben ser independientes, pudiendo interactuar con pantallas diferentes en cada HMI

de forma simultánea, por lo que fue necesario realizar un duplicado de todas las variables necesarias para el control del HMI.

Entre las distintas funciones que se gestionan y es posible realizar desde el HMI se encuentran el reseteo o aumento del paso de la secuencia en modo manual, o la decodificación de las funciones de manual de las secuencias o la decodificación de los bits de la pantalla MASK en el HMI.

Para realizar el cambio entre pantallas del HMI desde el PLC, se dispone de dos grupos de bits cuya activación permite realizar esta gestión. Un grupo de bits denominados “bits de menú” permiten acceder a las distintas pantallas del menú principal, compuesto de 16 niveles, por lo que se necesitan un total de 16 bits para esta gestión. Una vez en ese menú, los “bits de página” permiten moverse entre las distintas páginas pertenecientes al menú seleccionado anteriormente, donde existen de nuevo un total de 16 posibilidades.

Para mostrar las pantallas en el HMI, la gestión se realiza cargando un valor en un determinado registro de las pantallas. Esta palabra de configuración permite mostrar una pantalla concreta de la forma que, si se carga el valor 1 en este registro, la pantalla mostrada será la que tenga asignado el valor 1 en el proyecto del HMI.

2.4.4.- STEP_DECODE

El programa STEP_DECODE es el encargado de gestionar y realizar todas las acciones necesarias para que las secuencias puedan funcionar correctamente. Analizan constantemente si existe algún tipo de fallo en la secuencia, si esta no avanza durante un periodo largo de tiempo, etc.

Desde este programa también se gestiona el reseteo de las secuencias cuando se pretende que vuelvan a comenzar, también se realiza la gestión de los pasos vacíos que se encuentran en una secuencia y además se generan los flags necesarios para permitir que el resto de programas puedan avanzar correctamente.

2.4.5.- GENERAL

En este programa se realizan tareas generales de la estación. Se analiza el requerimiento de desbloquear las puertas de entrada a la celda, así como las condiciones de los robots para

realizar el PICK and PLACE en elementos complejos como son las punzonadoras y la MAP VISION. Por último, también se gestiona la posición del robot dentro de los rangos establecidos.

2.4.6.- LAMPS

El funcionamiento del programa LAMPS únicamente se basa en la gestión de la activación y desactivación de las numerosas lámparas fijas presentes en la instalación.

Gestión de todas las lámparas físicas de la estación:

- Auto Start: Parpadeo cuando se realiza la solicitud para puesta en modo automático, y fija cuando se encuentra en modo automático.
- All Start: Funcionamiento equivalente a “Auto Start”.
- Auto Selected: Parpadeo cuando en todas las secuencias de la estación se ha seleccionado el modo automático, y fija cuando todas las secuencias entran en modo automático.
- Manual Selected: Parpadeo cuando en todas las secuencias de la estación se ha seleccionado el modo manual, y fija cuando todas las secuencias entran en modo manual.
- Robot ready: Parpadeo cuando algún robot no se encuentra en la posición HOME, o fija cuando se encuentran los 3 robots en posición HOME o con un programa cargado.
- Robot Start: Parpadeo cuando algún robot se encuentra con los servos en funcionamiento, con el programa cargado y en modo automático, y fija cuando los tres robots se encuentran en funcionamiento.
- Robot Hold: Fija cuando el robot está en posición estática sin moverse.

- Alarm Reset: Parpadeo cuando existe alguna alarma en la estación.
- Safety Reset: Parpadeo si existe alguna protección de seguridad activa, y fija en caso de que todas las seguridades principales estén activas.
- Parada de emergencia: Fija en caso de activarse alguna de las paradas de emergencia de la célula.
- Solicitud de entrada en la célula: Parpadeo en caso de solicitud de entrada en la célula, y fija en caso de que la solicitud sea concedida.
- Indicación (Beacon) general: Fija en caso de que se produzca alguna alarma en la instalación.
- Sirena general: Activa en caso de producirse alguna alarma en automático.
- Indicaciones y sirena de las puertas: Se produce en caso de que las protecciones de seguridad de las puertas se encuentren en los modos de funcionamiento adecuados.
- Indicadores punzonadoras: Indican las posiciones activas de los cilindros de punzonado y posicionamiento.
- Indicadores robots: Indican cuando están activas las garras de los robots.
- Indicadores visión: Indican cuando la puerta de MAP VISION está abierta.
- Indicadores cintas transportadoras de salida: Indican cuando está en funcionamiento cada una de las cintas.

2.4.7.- SEQ1_OP610_P1

El programa SEQ1_OP610_P1 es el encargado de activar o desactivar cada una de las salidas que gestionan el funcionamiento de la punzonadora 1 en función de las entradas y el paso de la secuencia.

El funcionamiento consiste en que una vez comprobado que la punzonadora se encuentra en condiciones de trabajo, el robot deja una pieza en el transfer de la punzonadora, y antes de salir, se activan las clampas que sujetaran la pieza en todo el funcionamiento de la punzonadora.

La punzonadora 1 se basa en 3 fases idénticas (o estaciones) de punzonado. El primer paso en cada fase consiste en activar los cilindros de posicionamiento, dos neumáticos y uno hidráulico, que permiten sujetar la pieza en la posición correcta durante el punzonado. A continuación, se realiza el punzonado mediante 2 cilindros hidráulicos, limpiando los restos mediante un chorro de aire denominado “airblast”. Para finalizar, los cilindros de posicionamiento vuelven a su posición inicial.

El cambio entre las distintas posiciones de la punzonadora se realiza mediante un servomotor, siendo la secuencia de desplazamiento empezando en la posición 1 (inicial), a continuación, la posición 2, en el extremo contrario de la punzonadora, y la tercera sería la posición 3, situada en la parte intermedia de la punzonadora. Finalmente, la pieza vuelve a la primera posición para que el robot recoja la pieza y la lleve al siguiente paso en la estación.

A continuación, se muestra la secuencia concreta que realiza la máquina:

SEQ 1 STEP COUNTER OP610 (1st PIERCING STATION)		INTERLOCKS OK	
1	CHECK WORK CONDITIONS	24	TRANSF. LOCK POSITIONING Y31 BACK
2		25	
3	WAIT ROBOT INSIDE TO LOAD	26	START TRANSFER TO UNIT 2
4		27	
5	TRANSFER CLOSE CLAMPS Y33	28	
6	WAIT ROBOT OUTSIDE TO LOAD	29	TRANSFER AT UNIT 2
7		30	TRANSFER LOCK POSITIONING Y31 FORWARD
8		31	
9		32	HYD.POSITIONING PIERCING Y6 FORWARD
10		33	LOCK POSITIONING Y15 FORWARD
11		34	LOCK PIERCING Y16 BACK
12		35	HYD. PIERCING Y4 BACK
13		36	HYD. PIERCING (Y4 + Y5) FORWARD
14		37	HYDRAULIC PIERCING Y5 BACK + AIRBLAST Y17
15	HYD.POSITIONING PIERCING Y3 FORWARD	38	LOCK PIERCING Y16 FORWARD
16	LOCK PIERC.POSITIONING Y11 FORWARD	39	LOCK POSITIONING Y15 BACK
17	LOCK PIERCING Y12 BACK	40	POSITIONING PIERCING Y6 BACK
18	HYDRAULIC PIERCING Y1 FORWARD	41	TRANSF. LOCK POSITIONING Y31 BACK
19	HYD. PIERCING (Y1 + Y2) BACK	42	
20	HYDRAULIC PIERCING Y2 FORWARD + AIRBLAST Y13	43	START TRANSFER TO UNIT 3
21	LOCK PIERCING Y12 FORWARD	44	
22	LOCK POSITIONING Y11 BACK	45	TRANSFER AT UNIT 3
23	POSITIONING PIERCING Y3 BACK	46	TRANSFER LOCK POSITIONING Y31 FORWARD

SEQ 1 STEP COUNTER OP610 (1st PIERCING STATION)		INTERLOCKS OK	
47		70	
48	HYD. POSITIONING Y9 FORWARD	71	
49	LOCK POSITIONING Y19 FORWARD	72	
50	LOCK PIERCING Y20 BACK	73	
51	HYD. PIERCING Y7 BACK	74	
52	HYD. PIERCING (Y7 + Y8) FORWARD	75	
53	HYDRAULIC PIERCING Y8 BACK	76	
54	LOCK PIERCING Y20 FORWARD	77	
55	LOCK POSITIONING Y19 BACK	78	
56	POSITIONING PIERCING Y9 BACK	79	
57	TRANSF. LOCK POSITIONING Y31 BACK	80	
58		81	
59	START TRANSFER TO UNIT 1	82	
60		83	
61	TRANSFER AT UNIT 1	84	
62	TRANSFER LOCK POSITIONING Y31 FORWARD	85	
63		86	
64	TRANSFER OPEN CLAMPS Y33	87	
65		88	
66	WAIT ROBOT INSIDE TO UNLOAD	89	
67		90	
68		91	
69	WAIT ROBOT OUTSIDE AFTER UNLOAD	92	

Figura 12: Secuencia seguida por la punzonadora OP610.

2.4.8.- SEQ2_OP620_P2

El programa SEQ2_OP620_P2 es el encargado de activar o desactivar cada una de las salidas que gestionan el funcionamiento de la punzonadora 2 en función de las entradas y el paso de la secuencia.

El funcionamiento consiste en que una vez comprobado que la punzonadora se encuentra en condiciones de trabajo, el robot deja una pieza en el transfer de la punzonadora, y antes de salir, se activan las clampas que sujetarán la pieza en todo el funcionamiento de la punzonadora.

La punzonadora 2 se basa en dos fases idénticas, cuyo funcionamiento es similar a la punzonadora 1, con la salvedad de que únicamente existe un cilindro punzonador en cada fase. El resto del equipamiento en cada estación es el mismo.

En el caso del desplazamiento entre las distintas fases, en este caso no existe un servomotor, sino que el encargado es un cilindro neumático, cuya posición de reposo sitúa la pieza en la posición 1, y su posición de trabajo sitúa la pieza en la posición 2.

En la siguiente imagen se muestra la secuencia completa a seguir por la punzonadora 2.

SEQ 2 STEP COUNTER OP620 (2nd PIERCING STAGE)		INTERLOCKS OK
1	CHECK WORK CONDITIONS	24
2		25
3	WAIT ROBOT INSIDE TO LOAD	26 START TRANSFER TO UNIT 2
4		27 POSITION CYLINDER Y10 FORWARD
5	CLOSE TRANSFER CLAMPS Y11	28
6	WAIT ROBOT OUTSIDE TO LOAD	29 TRANSFER AT UNIT 2
7		30 TRANSFER LOCK POSITIONING Y12 FORWARD
8		31
9		32 HYD.POSITIONING PIERCING Y4 FORWARD
10		33 LOCK POSITIONING Y17 FORWARD
11		34 LOCK PIERCING Y18 BACK
12		35 HYD. PIERCING Y3 FORWARD
13		36 HYD. PIERCING Y3 BACK + AIRBLAST Y19
14		37 LOCK PIERCING Y18 FORWARD
15	HYD.POSITIONING PIERCING Y2 FORWARD	38 LOCK POSITIONING Y17 BACK
16	LOCK PIERC.POSITIONING Y13 FORWARD	39 HYD.POSITIONING PIERCING Y4 BACK
17	LOCK PIERCING Y14 BACK	40 TRANSF. LOCK POSITIONING Y12 BACK
18	HYDRAULIC PIERCING Y1 FORWARD	41
19	HYD. PIERCING Y1 BACK + AIRBLAST Y15	42
20	LOCK PIERCING Y14 FORWARD	43
21	LOCK PIERC.POSITIONING Y13 BACK	44
22	HYD.POSITIONING PIERCING Y2 BACK	45
23	TRANSF. LOCK POSITIONING Y12 BACK	46

SEQ 2 STEP COUNTER OP620 (2nd PIERCING STAGE)		INTERLOCKS OK
47		70
48		71
49		72
50		73
51		74
52		75
53		76
54		77
55		78
56		79
57		80
58		81
59	START TRANSFER TO UNIT 1	82
60	POSITION CYLINDER Y10 BACK	83
61		84
62	TRANSFER AT POSITION 1	85
63	TRANSFER LOCK POSITIONING Y12 FORWARD	86
64		87
65	OPEN CLAMPS Y11	88
66	WAIT ROBOT INSIDE TO UNLOAD	89
67		90
68		91
69	WAIT ROBOT OUTSIDE AFTER UNLOAD	92

Figura 13: Secuencia seguida por la punzonadora OP620.

2.4.9.- SEQ3_OP630

El programa SEQ3_OP630 es el encargado de gestionar el funcionamiento de la mesa intermedia OP630.

Su funcionamiento es muy sencillo. Primero se comprueba que no hay ninguna pieza situada en la mesa, y en ese caso el robot R680 sitúa la pieza en la mesa, y cuando se activan todos los sensores que verifican que la pieza está correctamente posicionada, éste suelta la pieza y sale del recinto. A continuación, el robot R685 coge la pieza, la levanta, y cuando los sensores se desactivan, el robot sale del recinto.

A continuación, se muestra la secuencia concreta que realiza:

SEQ 3 STEP COUNTER		INTERLOCKS OK
OP630 TOOL		
1	CHECK TOOL EMPTY	24
2		25
3	START ROBOT R680	26
4		27
5	ROBOT R680 IN TOOLING	28
6		29
7	ROBOT R680 TOOL REQUEST 4 ON	30
8		31
9	PART PRESENTS ON	32
10		33
11	ROBOT R680 CLEAR OF TOOLING	34
12		35
13	START ROBOT R685	36
14		37
15	ROBOT R685 IN TOOLING	38
16		39
17	ROBOT R685 TOOL REQUEST 1 ON	40
18		41
19	PART PRESENTS OFF	42
20		43
21	ROBOT R685 CLEAR OF TOOLING	44
22		45
23		46 *** GO TO STEP 1 ***

Figura 14: Secuencia seguida por la mesa intermedia OP630.

2.4.10.- SEQ4_OP640_MARKER

La secuencia SEQ4_OP640_MARKER se corresponde con el programa encargado del funcionamiento de la marcadora. El funcionamiento es similar al visto en SEQ3_OP630, con la salvedad que entre el momento en el que el robot R685 sitúa la pieza y el robot R690 recoge la pieza, la marcadora realiza el proceso de marcado con la información que recibe de MAP VISION.

Durante el proceso de marcado, la marcadora inscribe en la pieza un número de referencia, la fecha de fabricación, y un número identificativo. Además, en caso de que la pieza sea incorrecta, se marcará también en la pieza.

A continuación, se muestra la secuencia concreta a realizar por esta máquina.

SEQ 4 STEP COUNTER OP640 TOOL		INTERLOCKS OK	
1	CHECK TOOL EMPTY	24	WAIT MARKER READY ON / WAIT MARKER BUSY OFF
2		25	
3	START ROBOT R685	26	
4		27	
5	ROBOT R685 IN TOOLING	28	
6		29	
7	ROBOT R685 TOOL REQUEST 4 ON	30	START ROBOT R690
8		31	
9	PART PRESENTS ON	32	ROBOT R690 IN TOOLING
10		33	
11	ROBOT R685 CLEAR OF TOOLING	34	ROBOT R690 TOOL REQUEST 1 ON
12		35	
13		36	PART PRESENTS OFF
14		37	
15		38	ROBOT R690 CLEAR OF TOOLING
16		39	
17		40	
18		41	
19		42	
20	CHECK MARKER MACHINE OK	43	
21		44	
22	WAIT MARKER READY OFF / WAIT MARKER BUSY ON	45	
23		46	*** GO TO STEP 1 ***

Figura 15: Secuencia seguida por la marcadora OP640.

2.4.11.- SEQ5_OP650_VISION

En este programa se gestiona el funcionamiento del MAP VISION. En este caso, se gestiona el posicionamiento de la pieza dentro del recinto de la máquina y a continuación, el robot cierra la puerta del sistema de verificación.

Después, se le da permiso a la máquina para que comience el proceso y genere un resultado entre OK y NOK para la pieza. Una vez finalizado el proceso, el robot abre la puerta y retira la pieza de su interior para seguir la secuencia.

A continuación, se muestra la secuencia completa de esta máquina.

SEQ 5 PAGES OP650 (VISION STAGE)		INTERLOCKS OK
1	CHECK VISION SYSTEM OK	24
2		25
3	WAIT ROBOT INSIDE TO LOAD	26
4		27
5		28
6	WAIT ROBOT OUTSIDE AFTER LOAD	29
7		30
8		31
9		32
10	WAIT ROBOT CLOSE DOOR	33
11		34 WAIT ROBOT OPEN DOOR
12		35
13		36 WAIT ROBOT INSIDE TO UNLOAD
14		37
15	START VISION SYSTEM/ CHECK IMAGE GRABBIN	38
16		39 WAIT ROBOT OUTSIDE AFTER UNLOAD
17		40
18	R685 REQUEST CLOSE DOOR (TOOL REQUEST 3 ON)	41
19	ROLLING DOOR CLOSED (TOOL REQUEST 3 ON)	42
20	PART IN AGREE WITH MAPVISION	43
21		44
22		45
23	WAIT MAPVISION SAY PART OK OR PART NOK	46 *** GO TO STEP 1 ***

Figura 16: Secuencia seguida por la MAP VISION OP650.

2.4.12.- SEQ6_OP680

En este programa se gestiona el funcionamiento del robot R680, correspondiente con la secuencia 6 de la instalación. Para los robots manipuladores el funcionamiento es siempre similar, primero se analizan las condiciones de trabajo para comprobar que todo esté correcto y a continuación se comprueba el programa de funcionamiento seleccionado.

En el proceso de funcionamiento del robot se pueden dar dos casos, que el robot deje la pieza o que la recoja. En cada caso se comprueba que se produzca el flanco de bajada o el flanco de subida en los sensores de pieza presente de las garras del robot.

El funcionamiento comenzaría introduciéndose el robot en el área de la máquina y, en caso de recoger iría con las garras abiertas y en caso contrario, con ellas cerradas sujetando la pieza. A continuación, dejaría o cogería la pieza y volvería a la posición neutral.

En el caso de este robot, gestiona la recogida de piezas de los dos conveyor de entrada y de la punzonadora 1, y gestionaría la dejada de piezas en la punzonadora y en la mesa intermedia.

A continuación, se muestra la secuencia a seguir por el robot R680:

SEQ 6 STEP COUNTER OP680 (HANDLING ROBOT)		INTERLOCKS OK
1	CHECK WORK CONDITIONS	
2	CHECK PROGRAM SELECTED	
3		
4		
5	** CHECK CONVEYOR TO UNLOAD **	
6		
7		
8		30 *** OP610 UNLOAD ***
9		31 START ROBOT TO UNLOAD OP610
10	*** OP601 UNLOAD ***	32 OP600R1 TOOL REQUEST 3
11	START ROBOT TO UNLOAD OP601	33 PART PRESENT GRIPPER 2 ON
12	OP600R1 TOOL REQUEST 1	34 GRIPPER 2 CLAMPED
13	PART PRESENT GRIPPER 1 ON	35 ROBOT CLEAR TOOL 3
14	GRIPPER 1 CLAMPED	36
15	ROBOT CLEAR TOOL 1	37
16		38
17		39
18		40 *** OP610 LOAD ***
19		41 START ROBOT TO LOAD OP610
20	*** OP602 UNLOAD ***	42 OP600R1 TOOL REQUEST 3
21	START ROBOT TO UNLOAD OP602	43 GRIPPER 1 UNCLAMPED
22	OP600R1 TOOL REQUEST 2	44 PART PRESENT GRIPPER 1 OFF
23	PART PRESENT GRIPPER 1 ON	45 ROBOT CLEAR TOOL 3
		46

SEQ 6 STEP COUNTER OP680 (HANDLING ROBOT)		INTERLOCKS OK
47		70
48		71
49		72
50	*** OP630 LOAD ***	73
51	START ROBOT TO LOAD OP630	74
52	OP600R1 TOOL REQUEST 4	75
53	GRIPPER 2 UNCLAMPED	76
54	PART PRESENT GRIPPER 2 OFF	77
55	ROBOT CLEAR TOOL 4	78
56		79
57		80
58		81
59		82
60		83
61		84
62		85
63		86
64		87
65		88
66		89
67		90
68		91
69		92

Figura 17: Secuencia seguida por el robot manipulador OP680.

2.4.13.- SEQ7_OP685

La secuencia 7 se corresponde con la secuencia a seguir por el robot R685 situado en la parte intermedia de la estación. Al ser otro robot manipulador, su funcionamiento es igual al descrito para el robot R680.

Este robot gestiona la recogida de piezas de la mesa intermedia, la punzonadora 2 y la MAP VISION, y gestiona la dejada de piezas en la punzonadora 2, en la MAP VISION y en la marcadora.

A continuación, se muestra la secuencia completa a seguir por este robot.

SEQ 7 STEP COUNTER OP685 (HANDLING ROBOT)		INTERLOCKS OK
1	CHECK WORK CONDITIONS	24 GRIPPER 2 CLAMPED
2	CHECK PROGRAM SELECTED	25 ROBOT CLEAR TOOL 2
3		26
4		27
5		28
6		29
7		30 *** OP620 LOAD ***
8		31 START ROBOT TO LOAD OP620
9		32 OP600R2 TOOL REQUEST 2
10	*** OP630 UNLOAD ***	33 GRIPPER 1 UNCLAMPED
11	START ROBOT TO UNLOAD OP630	34 PART PRESENT GRIPPER 1 OFF
12	OP600R2 TOOL REQUEST 1	35 ROBOT CLEAR TOOL 2
13	PART PRESENT GRIPPER 1 ON	36
14	GRIPPER 1 CLAMPED	37
15	ROBOT CLEAR TOOL 1	38
16		39
17		40 *** OP650 UNLOAD ***
18		41 START ROBOT TO UNLOAD OP650
19		42 OP600R2 TOOL REQUEST 3
20	*** OP620 UNLOAD ***	43 PART PRESENT GRIPPER 1 ON
21	START ROBOT TO UNLOAD OP620	44 GRIPPER 1 CLAMPED
22	OP600R2 TOOL REQUEST 2	45 ROBOT CLEAR TOOL 3
23	PART PRESENT GRIPPER 2 ON	46

SEQ 7 STEP COUNTER OP685 (HANDLING ROBOT)		INTERLOCKS OK
47		70
48		71
49		72
50	*** OP650 LOAD ***	73
51	START ROBOT TO LOAD OP650	74
52	OP600R2 TOOL REQUEST 3	75
53	GRIPPER 2 UNCLAMPED	76
54	PART PRESENT GRIPPER 2 OFF	77
55	ROBOT CLEAR TOOL 3	78
56		79
57		80
58		81
59		82
60	*** OP640 LOAD ***	83
61	START ROBOT TO LOAD OP640	84
62	OP600R2 TOOL REQUEST 4	85
63	GRIPPER 1 UNCLAMPED	86
64	PART PRESENT GRIPPER 1 OFF	87
65	ROBOT CLEAR TOOL 4	88
66		89
67		90
68		91
69		92

Figura 18: Secuencia seguida por el robot manipulador OP685.

2.4.14.- SEQ8_OP690

Esta secuencia se corresponde con la secuencia 8 seguida por el robot R690, situado en la parte final de la estación. Al ser otro robot manipulador, su funcionamiento es similar al descrito en los casos anteriores.

Este robot gestiona la dejada de piezas en cada una de las cintas transportadoras de salida y la recogida de piezas en la marcadora.

A continuación, se muestra la secuencia completa a seguir por el robot.

```

SEQ 8 STEP COUNTER
OP690 (HANDLING ROBOT)
INTERLOCKS OK

1 CHECK WORK CONDITIONS
2 CHECK PROGRAM SELECTED
3
4
5
6
7
8
9
10 *** OP640 UNLOAD ***
11 CHECK OP640 MARKER CONDITIONS
12 OP600R3 TOOL REQUEST 1
13 PART PRESENT GRIPPER 1 ON
14 GRIPPER 1 CLAMPED
15 ROBOT CLEAR TOOL 1
16
17
18
19 *** JUMP TO STEP 30 IF IS PART NOK ***
20 *** OP695 LOAD ***
21 START ROBOT TO LOAD OP695
22 OP600R3 TOOL REQUEST 2
23 GRIPPER 1 UNCLAMPED
24 PART PRESENT GRIPPER 1 OFF
25 ROBOT CLEAR TOOL 2
26
27 *** GO TO STEP 1 IF IS PART OK ***
28
29
30 *** OP697 LOAD ***
31 START ROBOT TO LOAD OP697
32 OP600R3 TOOL REQUEST 3
33 GRIPPER 1 UNCLAMPED
34 PART PRESENT GRIPPER 1 OFF
35 ROBOT CLEAR TOOL 3
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46 *** GO TO STEP 1 ***

```

Figura 19: Secuencia seguida por el robot manipulador OP690.

2.4.15.- OP601_CONVEYOR_UNLOAD

Este programa gestiona la secuencia a seguir por el conveyor OP601 de entrada de piezas en la estación. Este tipo de conveyor se dividen en 3 secuencias distintas, la entrada de piezas y la de tratamiento intermedio se gestionan desde la estación anterior, y, por tanto, desde esta estación solo se gestiona la salida de piezas.

El funcionamiento consiste en detectar un trolley en la posición de pre-descarga. En caso de no haber trolley situado en la posición de descarga, se permite el paso del trolley en espera hasta esta posición donde se esperará hasta que el robot recoja la pieza situada en él. A continuación, se comprueba que el trolley no tiene pieza, y en ese caso se permite su avance hasta el siguiente ciclo de recogida.

En la siguiente figura se muestra la secuencia a seguir por el conveyor.

OP601 STEP COUNTER (INPUT CONVEYOR) CONVEYOR SEQ1		INTERLOCKS OK
1	TROLLEY DETECT AT PRE-UNLOAD STATION	24
2		25
3	CHECK TROLLEY CLEAR OF UNLOAD STATION	26
4		27
5	PRE-UNLOAD STOP Z5 WORK TO RELEASE TROLLEY	28
6		29
7	TROLLEY DETECT AT UNLOAD STATION	30
8		31 GO TO STEP 1
9	PRE-UNLOAD STOP Z5 BACK TO ACCEPT TROLLEY	
10	REACTION CYLINDERS Z7 TO WORK POSITION??	
11	HANDLING ROBOT IN TOOLING - PART UNLOAD	
12		
13	HANDLING ROBOT TOOL REQUEST	
14		
15	HANDLING ROBOT CLEAR TOOLING - PART UNLOAD	
16	REACTION CYLINDERS Z7 TO BACK POSITION??	
17	CHECK TROLLEY CLEAR AFTER UNLOAD STATION	
18		
19	UNLOAD STOP Z6 WORK TO RELEASE TROLLEY	
20		
21	TROLLEY DETECT CLEAR OF UNLOAD STATION	
22		
23	UNLOAD STOP Z6 BACK TO ACCEPT TROLLEY	

Figura 20: Secuencia seguida por la descarga del conveyor OP601.

2.4.16.- OP602_CONVEYOR_UNLOAD

Este programa describe la secuencia a seguir por el conveyor OP602 de entrada de piezas en la estación.

Su funcionamiento es idéntico al visto anteriormente para el otro conveyor, por lo que su funcionamiento es similar al descrito anteriormente.

A continuación, se muestra la secuencia a seguir por este conveyor.

OP602 STEP COUNTER (INPUT CONVEYOR) CONVEYOR SEQ2		INTERLOCKS OK
1	TROLLEY DETECT AT PRE-UNLOAD STATION	24
2		25
3	CHECK TROLLEY CLEAR OF UNLOAD STATION	26
4		27
5	PRE-UNLOAD STOP Z5 WORK TO RELEASE TROLLEY	28
6		29
7	TROLLEY DETECT AT UNLOAD STATION	30
8		31 GO TO STEP 1
9	PRE-UNLOAD STOP Z5 BACK TO ACCEPT TROLLEY	
10	REACTION CYLINDERS Z7 TO WORK POSITION??	
11	HANDLING ROBOT IN TOOLING - PART UNLOAD	
12		
13	HANDLING ROBOT TOOL REQUEST	
14		
15	HANDLING ROBOT CLEAR TOOLING - PART UNLOAD	
16	REACTION CYLINDERS Z7 TO BACK POSITION??	
17	CHECK TROLLEY CLEAR AFTER UNLOAD STATION	
18		
19	UNLOAD STOP Z6 WORK TO RELEASE TROLLEY	
20		
21	TROLLEY DETECT CLEAR OF UNLOAD STATION	
22		
23	UNLOAD STOP Z6 BACK TO ACCEPT TROLLEY	

Figura 21: Secuencia seguida por la descarga del conveyor OP602.

2.4.17.- CONV_OP695

Este programa se encarga de gestionar el funcionamiento de las dos cintas transportadoras de salida. Para cada cinta transportadora de controla la activación y desactivación del motor de la cinta en función del paso de piezas por las diferentes partes de las cintas transportadoras.

2.4.18.- ROBOT_OP680_COMMONS

En este programa se gestiona las partes comunes de la configuración del robot R680 como:

- Selección del programa de funcionamiento del robot.
- Activación o desactivación de las funciones del robot de ir a casa, mantener posición.
- Generación de enclavamientos para recoger o posicionar las piezas.

2.4.19.- ROBOT_OP685_COMMONS

Este programa funciona de forma idéntica al descrito en el apartado anterior para los aspectos comunes de la configuración del robot R680.

2.4.20.- ROBOT_OP690_COMMONS

Este programa funciona de forma idéntica al descrito en el apartado anterior para los aspectos comunes de la configuración del robot R680.

2.4.21.- PRODUCTION

Este programa es el encargado de realizar la gestión y el control de todas las partes relacionadas con los números de producción de la instalación. Para ello se gestiona el número de piezas producidas en las últimas 24 horas, así como la gestión del número de piezas realizadas por turno de producción (1 y 2 de 12 horas o 1, 2 y 3 de 8 horas). También se tienen en cuenta en número de piezas rechazadas por turno y por día, con el fin de poder controlar la producción y controlar que turnos son más rentables y en cuales hubo más problemas en la instalación.

Además de lo mencionado, también se realiza un control de producción por hora de trabajo en las 24 horas del día, reiniciándose cada nuevo día.

El “Comissioning” tiene permisos para poder modificar la producción controlada por el PLC con el fin de conseguir unos números más fiables.

Por último, también se analiza los tiempos muertos en cada una de las máquinas, es decir, el tiempo en el que la máquina no puede trabajar, ya sea por paradas necesarias o por tiempos de carga y descarga de los robots.

2.4.22.- SCREEN_MIMIC

Se encarga de generar la activación y desactivación de los bits de la pantalla MIMIC indicativos del funcionamiento de un sensor o actuador de la máquina, con el fin de realizar la indicación para cada uno de los elementos para que el operador siempre este informado del proceso de la instalación.

2.4.23.- DIAGNOSTICS

En esta sección de programa se realiza el análisis de todas las seguridades y variables de comunicación presentes en la instalación.

Se analiza cada una de las entradas, salidas y memorias globales de los PLCs de seguridad PLUTO instalados y encargados de realizar el control de seguridad.

También se realiza el diagnóstico de la red PROFINET, analizando los elementos que se encuentran en fallo y cuales tienen una correcta comunicación con el PLC mediante las palabras de estado de estos elementos.

2.4.24.- CYCLE_TIME

En este programa se realiza un control de tiempos. Se realiza la cuantificación de los tiempos que tardan en realizarse las distintas operaciones de la estación, es decir, el tiempo en el que la estación se encuentra funcionando correctamente, y los tiempos muertos de carga y de descarga de los robots en cada una de las máquinas de la instalación. Esto permite calcular los tiempos totales de funcionamiento de toda la instalación, permitiendo obtener estadísticas del tiempo empleado en cada pieza.

2.4.25.- PUNCH_DIE_PIERCING

Esta parte del programa es la encargada de analizar y cuantificar el número de punzonados de cada estación de las punzonadoras, así como realizar la gestión de las lámparas de aviso en caso de alarma.

2.4.26.- MARKER_SERIAL_MODE

Este programa es el encargado de gestionar la comunicación entre la MAP VISION y la marcadora. La MAP VISION se encarga de analizar la pieza y genera todos los datos necesarios para la marcadora, es decir, el número de serie y si está correcta o no. Mediante una comunicación serie envía a la marcadora estos datos a través del PLC. Este programa se encarga de monitorizar y configurar esta comunicación serie.

2.4.27.- PASSWORD

La utilidad de esta parte del programa es la de gestionar el uso de la contraseña de usuario para eliminar los avisos de alarma de la pantalla HMI, no pudiendo eliminarse estos avisos a no ser que se introduzca la contraseña.

2.4.28.- END

Programa que indica el final de las secciones de código, con el fin de iniciar un nuevo ciclo de programa.

3.- PLC's de Seguridad

En este apartado se describirán en detalle los aspectos necesarios y utilizados para realizar la programación del programa de seguridad de los PLC PLUTO de seguridad, así como su configuración para el correcto funcionamiento.

3.1.- DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

Los PLCs de seguridad son dispositivos que se encargan únicamente de controlar la seguridad en la estación en la que se instalan. Para este trabajo se han empleado los PLCs de seguridad PLUTO de la marca ABB.

Estos pequeños PLCs disponen de un número limitado de entradas y salidas integradas en ellos, además de una pequeña memoria interna para la declaración de variables. En el caso concreto de los PLCs de seguridad PLUTO, disponen de 16 entradas digitales y 4 salidas digitales, por lo que el número de elementos a controlar es muy pequeño.



Figura 22: PLCs de seguridad PLUTO de ABB.

Debido al pequeño número de salidas disponibles, estos PLCs incorporan la posibilidad de utilizar varios de ellos en serie, pudiendo ampliar el número de elementos a controlar. Disponen de un bus especial que los comunica entre ellos, lo que permite que puedan compartir entre ellos las variables de entrada de cada uno de ellos, así como unas variables de memoria globales (16 registros digitales) para enviarse información entre ellos. El único requisito es que, cada PLC de seguridad gestione sus propias salidas digitales.

Para la estación OP600 se dispusieron 5 PLCs de seguridad PLUTO en serie, haciendo un total de:

- 20 salidas digitales
- 80 entradas digitales
- 80 memorias globales comunicadas entre ellos

Con esto fue suficiente para gestionar los distintos elementos de seguridad disponibles en la estación.

Cabe destacar que 8 de las 16 entradas digitales se pueden configurar también como salidas digitales, pero no disponen de la condición de ser salidas seguras, por lo que no se utilizan como tal, utilizando solo las 4 salidas seguras disponibles.

La comunicación entre estos PLCs y el PLC de control se realiza mediante la red PROFINET existente, pudiendo acceder directamente al estado de las señales de entrada, salida y a las direcciones globales de memoria.

3.2.- VARIABLES DE E/S

La tabla de variables de entradas, salidas y variables de memoria globales se muestran en el documento adjunto “TablaVariables” debido a su extensión.

3.3.- DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

En este apartado se describe el software utilizado para realizar la programación offline del programa de seguridad en los PLCs de seguridad PLUTO de ABB utilizados, así como los métodos empleados para su programación.

3.3.1.- Pluto Manager

El programa empleado para realizar la programación en los PLCs de seguridad PLUTO de ABB es el Pluto Manager v2.30 en su versión demo, que permite realizar el programa y cargarlo en los PLCs como función básica.

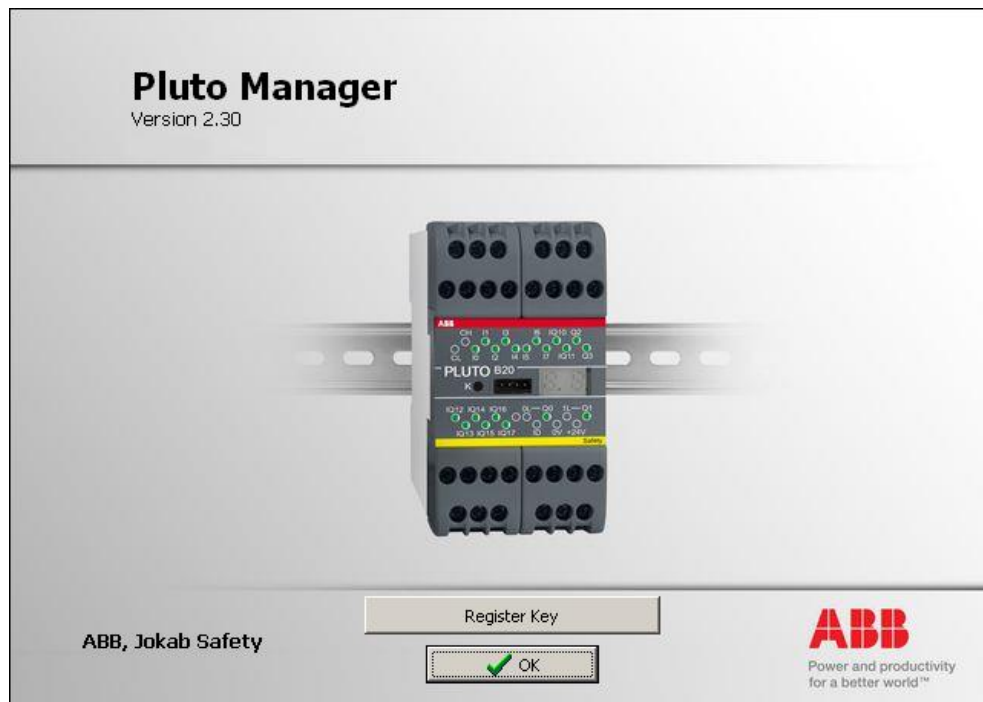


Figura 23: Software de programación de los PLC de seguridad PLUTO.

3.4.- DESCRIPCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN

En esta sección se describen los conceptos básicos de la programación en PLCs de seguridad del tipo empleado en la instalación, así como las funciones principales de las que disponen estos dispositivos y la programación realizada.

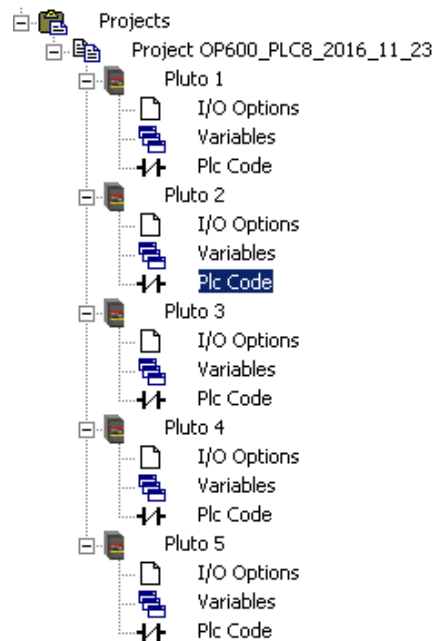


Figura 24: Estructura del proyecto de programación del PLC de seguridad.

3.4.1.- Funciones principales

Los PLCs de seguridad disponen de funciones y elementos de los que los PLCs de control usuales carecen, ya que son necesarias funciones especialmente diseñadas para mantener la seguridad en funcionamiento siempre.

El lenguaje de programación a utilizar en estos dispositivos es el Ladder (LD) únicamente, debiendo hacer los programas siempre en este lenguaje.

Entre las funciones disponibles se encuentran temporizadores para controlar tiempos de actividad, funciones de seguridad que contemplan las entradas redundantes de los elementos de seguridad, así como funciones que contemplan el feedback de las señales de seguridad.

3.4.2.- PLUTO 1

El PLUTO 1 es el encargado de gestionar la parada de emergencia, analizando cada uno de los elementos que pueden provocar una parada como setas de emergencia de la estación o de las puertas de entrada en la celda, así como tirones de seguridad.

También realiza el control de las puertas y de las barreras de luz de seguridad, pudiendo usar este valor para permitir o rechazar la activación de las distintas máquinas de la estación.

Además, diagnostica y gestiona las seguridades en las zonas de las punzonadoras y de la MAP VISION, en función de las emergencias que sucedan en la estación. Por último, es el encargado de permitir el activado del aire comprimido en la estación, cortando el suministro en caso de emergencia.

3.4.3.- PLUTO 2

El PLUTO 2 es el encargado de permitir la alimentación de las punzonadoras, cortando dicha alimentación si es necesario debido a una parada de emergencia, la apertura de las puertas de la celda o en caso de fallar el sistema hidráulico.

Además, gestiona la alimentación a los conveyor de entrada, en caso de que las seguridades de la estación estén en condiciones favorables.

3.4.4.- PLUTO 3

El PLUTO 3 se encarga principalmente de realizar el control y diagnóstico de las seguridades del robot R680, controlando las zonas de seguridad del robot, activando las seguridades en caso de que, por error, el robot se salga de sus zonas de trabajo.

Además, gestiona individualmente las zonas de seguridad de los conveyors de entrada, en función de que los elementos de seguridad concretos de cada uno, como los lightguards.

Finalmente, gestiona la alimentación principal de los robots, así como la alimentación secundaria del robot R680.

3.4.5.- PLUTO 4

El PLUTO 4 se encarga principalmente de realizar el control y diagnóstico de las seguridades del robot R685, controlando las zonas de seguridad del robot, activando las seguridades en caso de que, por error, el robot se salga de sus zonas de trabajo.

Además, se encarga de gestionar el permiso de activación a los motores de las cintas transportadoras de salida.

Finalmente, gestiona la alimentación secundaria de los robots R685 y R690.

3.4.6.- PLUTO 5

El PLUTO 5 se encarga principalmente de realizar el control y diagnóstico de las seguridades del robot R690, controlando las zonas de seguridad del robot, activando las seguridades en caso de que, por error, el robot se salga de sus zonas de trabajo.

Además, se encarga de gestionar el permiso de activación a los motores hidráulicos de las punzonadoras, así como gestionar el permiso de funcionamiento de ambas punzonadoras.

Finalmente, se encarga de realizar la comunicación con el PLC de control, recibiendo las señales de solicitud de activación de cada uno de los motores de la instalación mediante la comunicación PROFINET.

4.- Red de Comunicaciones

En este apartado se describe la red de comunicaciones utilizada en la estación. Para este proyecto la red de comunicaciones es la encargada de comunicar los diferentes elementos presentes en la estación con el PLC para su control.

La red seleccionada es la red PROFINET, basada en Ethernet, y se encarga de comunicar los 42 elementos PROFINET de los que se compone toda la red entre ellos y con el PLC.

4.1.- TOPOLOGÍA DE LA RED DE COMUNICACIONES

La red utilizada se basa en una red en estrella, donde todos los elementos están comunicados mediante un switch SCALANCE X124 de Siemens, lo que permite que, ante fallo de un elemento de la instalación, el resto no vea comprometida la comunicación con el PLC y continúe realizando su funcionamiento normal.

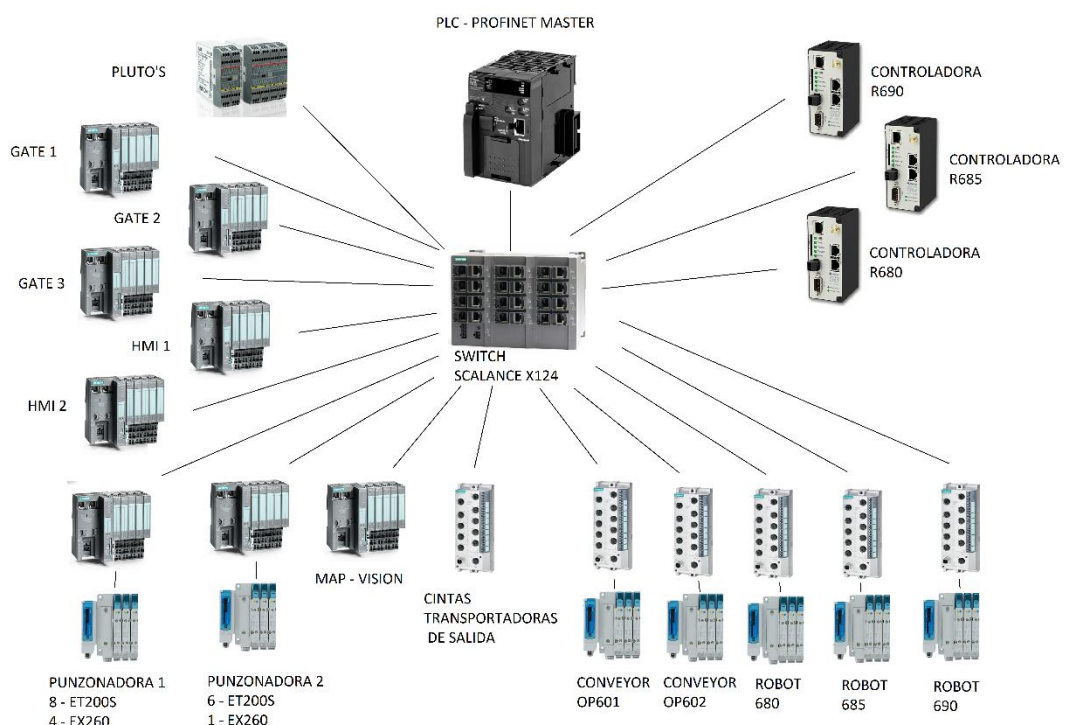


Figura 25: Estructura de la red PROFINET de la estación.

4.2.- ELEMENTOS DE LA RED

En este apartado se describen los elementos que componen la red PROFINET de la instalación. La red PROFINET está formada por un total de 42 elementos, con sus correspondientes IP.

La situación de los elementos de red en el plano de la instalación se muestra en la siguiente figura:

OP600 PROFINET DIAGNOSTICS

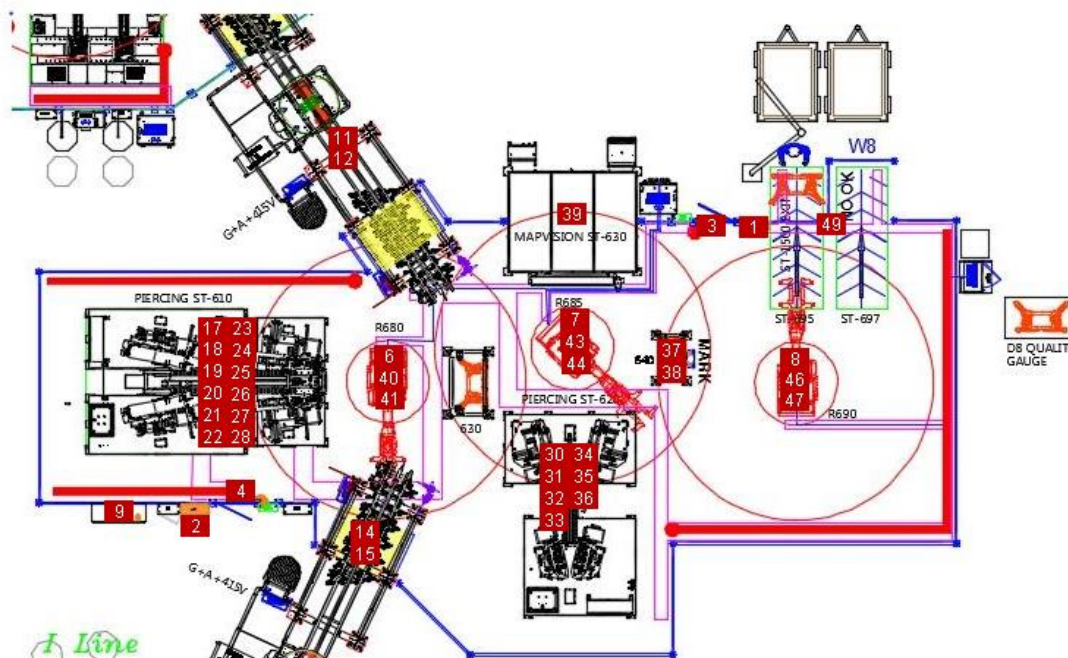


Figura 26: Disposición de elementos PROFINET en la estación OP600.

Los elementos de la red son los que se describen en la siguiente tabla:

Tabla 1: Elementos de la red PROFINET.

Nº	Nombre	Tipo	Descripción	Dirección IP
0	PLC	CJ2M - CPU35	PLC de control	10.15.8.1
1	HMI1	ET200S	Remota panel de control 1	10.15.8.2
2	HMI2	ET200S	Remota panel de control 2	10.15.8.3

3	DOOR1	ET200S	Remota puerta 1	10.15.8.4
4	DOOR2	ET200S	Remota puerta 2	10.15.8.5
6	R1	ABS-PRT	Controladora robot 1	10.15.8.151
7	R2	ABS-PRT	Controladora robot 2	10.15.8.152
8	R3	ABS-PRT	Controladora robot 3	10.15.8.153
9	SAFE1	GATE-PN	Comunicación Pluto	10.15.8.10
11	601.ET1	ET200S	Remota conveyor 1	10.15.8.11
12	601.SMC1	SMC EX260	Electroválvula conveyor 1	10.15.8.19
14	602.ET1	ET200ECO	Remota conveyor 2	10.15.8.21
15	602.SMC1	SMC EX260	Electroválvula conveyor 2	10.15.8.29
17	610.ET1	ET200ECO	Remota 1 punzonadora 1	10.15.8.31
18	610.ET2	ET200ECO	Remota 2 punzonadora 1	10.15.8.32
19	610.ET3	ET200ECO	Remota 3 punzonadora 1	10.15.8.33
20	610.ET4	ET200ECO	Remota 4 punzonadora 1	10.15.8.34
21	610.ET5	ET200ECO	Remota 5 punzonadora 1	10.15.8.35
22	610.ET6	ET200ECO	Remota 6 punzonadora 1	10.15.8.36
23	610.ET7	ET200ECO	Remota 7 punzonadora 1	10.15.8.37
24	610.ET8	ET200ECO	Remota 8 punzonadora 1	10.15.8.38
25	610.SMC1	SMC EX260	Electroválvula 1 punzonadora 1	10.15.8.39
26	610.SMC2	SMC EX260	Electroválvula 2 punzonadora 1	10.15.8.40
27	610.SMC3	SMC EX260	Electroválvula 3 punzonadora 1	10.15.8.131
28	610.SMC4	SMC EX260	Electroválvula 4 punzonadora 1	10.15.8.132
30	620.ET1	ET200ECO	Remota 1 punzonadora 2	10.15.8.41
31	620.ET2	ET200ECO	Remota 2 punzonadora 2	10.15.8.42
32	620.ET3	ET200ECO	Remota 3 punzonadora 2	10.15.8.43
33	620.ET4	ET200ECO	Remota 4 punzonadora 2	10.15.8.44
34	620.ET5	ET200ECO	Remota 5 punzonadora 2	10.15.8.45
35	620.ET6	ET200ECO	Remota 6 punzonadora 2	10.15.8.46
36	620.SMC1	SMC EX260	Electroválvula 1 punzonadora 2	10.15.8.49
37	640.ET1	ET200ECO	Remota Mesas OP630 y OP640	10.15.8.61

38	640.SMC1	SMC EX260	Electroválvula Mesas OP630 y OP640	10.15.8.69
39	650.a91	ET200S	Remota MAP-VISION	10.15.8.71
40	680.ET1	ET200ECO	Remota robot 1	10.15.8.81
41	680.SMC1	SMC EX260	Electroválvula robot 1	10.15.89
43	685.ET1	ET200ECO	Remota robot 2	10.15.8.91
44	685.SMC1	SMC EX260	Electroválvula robot 2	10.15.99
46	690.ET1	ET200ECO	Remota robot 3	10.15.8.101
47	690.SMC1	SMC EX260	Electroválvula robot 3	10.15.109
49	695.ET1	ET200ECO	Remota cintas de salida	10.15.8.111

4.3.- DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

En la instalación, como se ha mencionado, se utilizan gran cantidad de elementos pertenecientes a la red de distintos fabricantes, no todos ellos son de Omron, sin que existen elementos de Siemens, ABB, Yaskawa, SMC... Por tanto, se hizo necesario un software que permitiera la configuración de la red para todos los dispositivos, pertenecientes al fabricante Omron o no.

El programa utilizado ha sido el ConfiguratorFDT v1.3. Este programa dispone de los archivos de configuración PROFINET para dispositivos de Omron, pero también para dispositivos ajenos a la compañía, con el fin de poder aportar un mayor grado de unión.



Figura 27: Configurador de la red PROFINET.

En el programa basta con seleccionar el elemento de la red en función de su fabricante, añadirlo a la red que se va a utilizar dentro del proyecto, y configurar los parámetros necesarios para cada elemento, como el nombre, la dirección de memoria con el PLC o la dirección IP de comunicaciones.

La equivalencia de elementos físicos con los dispositivos existentes en el programa es:

Tabla 2: Equivalencia elementos reales con drivers genéricos del programa de configuración de la red PROFINET.

Dispositivo Físico	Dispositivo en el programa
ET200S	IM151-3_PN_ST_V6.1
ABS_PRT	ABS_PRT
PLUTO	GATE-PN
ET200ECO	16_DI_DC24V_8xM12_V6.0

SMC EX260

EX260_SPN_1_2

4.3.1.- ET200S

Para realizar la configuración de la remota de Siemens ET200S, además de configurar los parámetros mencionados antes y comunes a todos los dispositivos como dirección IP, mapa de memoria y nombre de dispositivo, es necesario añadir los módulos de los que se compone la remota, por orden físico. Las remotas pueden llevar fuentes de alimentación a 24V (PM-E DC24V), además de tarjetas de ocho entradas digitales (8DI DC24V ST) o tarjetas de ocho salidas digitales (8DO DC24V/0.5A ST)

4.3.2.- ABS-PRT

Este dispositivo es el que se encarga de simular la controladora de los robots manipuladores. Su configuración requiere los cambios comunes y además, establecer el mapa de memoria propio de la controladora, ya que al ser un dispositivo genérico, es necesario configurar los campos de direcciones de entrada y direcciones de salida. En el caso de las controladoras utilizadas en este proyecto, disponen de 8 bytes de entrada de datos y 8 bytes de salida de datos.

4.3.3.- PLUTO

En el caso de los PLCs PLUTO, como se ha mencionado, solo existe un enlace de comunicación para obtener las variables de todos ellos, por lo que es necesario configurar el número de PLUTOs disponibles, así como el mapa de direcciones de memoria utilizados por estos. Además, requieren la configuración común como la dirección IP.

4.3.4.- ET200ECO

Las remotas ET200ECO de Siemens son dispositivos no extensibles que disponen de lo necesario para su funcionamiento en el propio dispositivo, al no ser extensibles, no disponen de parámetros configurables, disponiendo como mapa de memoria 16 bits correspondientes con la tarjeta de entradas digitales de la que dispone. Requiere además de la configuración común.

4.3.5.- SMC EX260

El dispositivo EX260 de SMC se encarga de realizar el control de las electroválvulas disponibles en la instalación. Cada dispositivo puede realizar el control de 32 válvulas ya que dispone de 4 bytes de memoria para direccionar salidas digitales. No son ampliables por lo que no existe configuración posible a realizar. Requiere la configuración común del resto de elementos.