



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática

**Cambio del sistema control actual y HMI local de
un conjunto guía lineal–mesa circular por otro
compacto y HMI de laboratorio.**

Autor:

Pérez Trigueros, Sergio

Tutor:

**Poncela Méndez, Alfonso Valentín
Dpto. de Ingeniería de Sistemas y
Automática**

Valladolid, Diciembre de 2025.



Resumen

El presente TFG consiste en la actualización de un conjunto formado por una guía lineal y una mesa circular giratoria situados en el laboratorio 1115 del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Se va a llevar a cabo el reemplazo del sistema de control existente para instalar un PLC compacto de la marca Siemens. Un modelo S7-1512C con el que poder leer el encoder situado en la mesa circular y controlar la velocidad de los motores de la mesa y cinta a través de señales analógicas.

También se incorporará una nueva maniobra de seguridad externa al PLC, que permitirá impedir el descontrol de la guía.

Además, se cambiará el antiguo HMI local de 4" situado en el mismo armario, por el HMI de laboratorio. Un HMI de 15", con mayores prestaciones y que dará servicio a varios proyectos del laboratorio. Estará albergado en un cuadro eléctrico distinto al del PLC de este proyecto.

Palabras clave

PLC Siemens S7 1500, Guía lineal, Mesa circular, HMI, TIA Portal.

Abstract

This Final Degree Project focuses on the upgrade of a system composed of a linear guide and a rotatory circular table, located in laboratory 1115 of the Department of Systems and Automation Engineering.

The existing control system will be replaced with a Siemens S7-1512C compact PLC. This PLC will read the encoder located on the rotary table and control the speed of the table and conveyor motors through analog signals.

A new safety mechanism, external to the PLC, will also be incorporated to prevent uncontrolled movements of the linear guide.

Additionally, the old 4" local HMI located in the same cabinet will be replaced by the laboratory's HMI. This will be a 15" HMI with improved features and will serve the entire laboratory. It will be housed in a different electrical enclosure from the one containing the PLC for this project.

Keywords

Siemens S7-1500 PLC, Linear guide, Rotary table, HMI, TIA Portal.



Índice de contenidos

Relación de figuras	7
Relación de tablas	9
Glosario	11
1. Introducción y objetivos	13
1.1. Introducción	13
1.2. Objetivos	14
2. Situación inicial	15
2.1. Cinta transportadora	15
2.2. Mesa circular	16
2.3. Armario	17
3. Cambios realizados	18
3.1. CPU	18
3.2. Encoder incremental	22
3.3. Finales de carrera	24
3.4. Maniobra de seguridad auxiliar	24
3.5. HMI	26
3.6. Control de velocidad	27
4. Programación	29
4.1. Programación de la CPU	29
4.1.1. Configuración del encoder	30
4.2. Programación del HMI	35
4.2.1. HMI Template Suite	37
4.2.2. Conexión entre HMI y PLC	40
4.2.3. Pantallas del programa	41
5. Manual de usuarios	44
5.1. Cargar el proyecto en la CPU	44
5.2. Cargar el proyecto en el HMI	45
5.3. Modos de funcionamiento	47
5.3.1. Modo manual	47
5.3.2. Modo automático	49
5.4. Controles	52
5.4.1. Modo Local	52



5.4.2. Modo Remoto.....	55
6. Conclusiones	59
7. Líneas futuras.....	60
8. Bibliografía	61
ANEXOS	65
ANEXO 1. Configuración manual del HSC	65
ANEXO 2. Tabla de entradas y salidas del PLC	70
ANEXO 3. Esquemas eléctricos del armario	72

Relación de figuras

FIGURA 1: SITUACIÓN INICIAL DEL PROYECTO GUÍA LINEAL-MESA CIRCULAR	15
FIGURA 2: MOTOR DE LA CINTA	16
FIGURA 3: FINALES DE CARRERA DEL EXTREMO DERECHO DE LA CINTA.....	16
FIGURA 4: MESA CIRCULAR.....	16
FIGURA 5: ENCODER INCREMENTAL TRD-GK100-RZ	17
FIGURA 6: SENSOR INDUCTIVO	17
FIGURA 7: SITUACIÓN INICIAL DEL ARMARIO CERRADO	18
FIGURA 8: SITUACIÓN INICIAL DEL ARMARIO ABIERTO	18
FIGURA 9: VISTA DE LA CPU 1512C-1PN CON LAS TAPAS FRONTALES CERRADAS [5]	19
FIGURA 10: VISTA DE LA CPU 1512C-1PN SIN TAPAS FRONTALES [5].....	19
FIGURA 11: ESQUEMA DE PRINCIPIO Y CONEXIONES DE LA PERIFERIA DIGITAL INTEGRADA X11 [5]	21
FIGURA 12: ESQUEMA DE PRINCIPIO Y CONEXIONES PARA SALIDA DE INTENSIDAD [5].....	22
FIGURA 13: CABLEADO DEL ENCODER TRD-GK100-RZ [4]	23
FIGURA 14: PULSOS DE LAS SEÑALES DEL ENCODER TRD-GK100-RZ [4]	23
FIGURA 15: MEDICIÓN DE LAS SEÑALES DEL ENCODER CON OSCILOSCOPIO	23
FIGURA 16: RELÉS DE LA MANIOBRA AUXILIAR	25
FIGURA 17: SELECTOR Y PULSADOR DE MANIOBRA AUXILIAR	25
FIGURA 18: ANTIGUO HMI KPT 400 Y HUECO DE LA PANTALLA CEGADO	26
FIGURA 19: DISPOSICIÓN DE HMI DE LABORATORIO	26
FIGURA 20: AISLADORES ANALÓGICOS INSTALADOS EN EL ARMARIO	27
FIGURA 21: AISLADOR ANALÓGICO.....	27
FIGURA 22: DIAGRAMA DE CABLEADO DE VARIADOR ALTIVAR 18 [11].....	28
FIGURA 23: DIAGRAMA DE CABLEADO DE VARIADOR ALTIVAR 16 [12].....	28
FIGURA 24: SUSTITUCIÓN DE CPU ANTIGUA EN TIA PORTAL	29
FIGURA 25: ELECCIÓN DE CPU NUEVA EN TIA PORTAL.....	30
FIGURA 27: SALIDAS DE RESPUESTA RÁPIDA ASOCIADAS A LOS HSC EN LA CPU 1512C [5]	31
FIGURA 26: CONEXIONES DE BORNEROS PARA HSC EN LA CPU 1512C [5].....	31
FIGURA 28: LLAMADA EN PROGRAMA DEL BLOQUE “HIGH_SPEED_COUNTER”	32
FIGURA 29: AJUSTE DE CONTADOR Y CANAL UTILIZADO EN EL HSC	32
FIGURA 30: AJUSTE DEL TIPO DE SEÑAL DEL ENCODER Y FILTRADO DE ENTRADAS.....	33
FIGURA 31: AJUSTE DEL VALOR INICIAL, LOS LÍMITES Y EL COMPORTAMIENTO DEL HSC.....	33
FIGURA 32: AJUSTE DE COMPORTAMIENTO DE LA SALIDA DQ1	34
FIGURA 33: CONFIGURACIÓN DE SALIDAS Y HABILITACIÓN DE ALARMAS PARA DQ1	34
FIGURA 34: ÁRBOL DEL PROYECTO: AGREGAR DISPOSITIVO.....	35
FIGURA 35: SELECCIÓN DEL NUEVO MODELO DE HMI EN EL PROYECTO	36
FIGURA 36: PANTALLA INICIAL DE LA APLICACIÓN "HMI TEMPLATE SUITE"	37
FIGURA 37: SELECCIÓN DE DISPOSITIVO EN APLICACIÓN "HMI TEMPLATE SUITE"	38
FIGURA 38: SELECCIÓN DEL PROYECTO DE TIA PORTAL EN "HMI TEMPLATE SUITE"	38
FIGURA 39: RESUMEN DE PROPIEDADES DEL PROYECTO AL QUE SE ACCEDE EN "HMI TEMPLATE SUITE"	39
FIGURA 40: SELECCIÓN DE OPCIONES Y PANTALLAS DE LA PLANTILLA EN "HMI TEMPLATE SUITE"	39
FIGURA 41: RESUMEN DE LA CONFIGURACIÓN HECHA EN "HMI TEMPLATE SUITE"	40
FIGURA 42: REALIZAR CONEXIÓN ENTRE CPU Y HMI (VISTA DE REDES)	40
FIGURA 43: PARÁMETROS DE LA CONEXIÓN ENTRE CPU Y HMI.....	41
FIGURA 44: MENÚ PRINCIPAL DE HMI DE LABORATORIO.....	41
FIGURA 45: PANTALLA CONTROL MESA-CINTA EN MODO MANUAL	42
FIGURA 46: PANTALLA CONTROL MESA-CINTA EN MODO AUTOMÁTICO	43
FIGURA 47: CARGAR PROGRAMA EN LA CPU.....	44
FIGURA 48: CONEXIÓN CON LA CPU PARA REALIZAR LA CARGA.....	45



FIGURA 49: CARGAR PROGRAMA EN EL HMI	46
FIGURA 50: CONEXIÓN CON EL HMI PARA REALIZAR LA CARGA	46
FIGURA 51: REALIZAR LA CARGA DEL PROGRAMA EN EL HMI	47
FIGURA 52: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CINTA EN MODO MANUAL	48
FIGURA 53: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA MESA EN MODO MANUAL	49
FIGURA 54: DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO EN MODO AUTOMÁTICO	51
FIGURA 55: FRONTAL DEL ARMARIO CON BOTONERA ROTULADA	52
FIGURA 56: ASIGNACIÓN DE DIRECCIONES DE ENTRADA Y SALIDA DE LA CPU	65
FIGURA 57: INTERFAZ DE CONTROL: ÁREA DE RESPUESTA HSC (16 BYTES ENTRADAS) [5]	66
FIGURA 58: INTERFAZ DE CONTROL: ÁREA DE SALIDAS HSC (12 BYTES SALIDAS) [5]	67
FIGURA 59: AJUSTE DEL FILTRADO DE ENTRADA DEL CANAL 0	68
FIGURA 60: AJUSTES MANUALES PARA EL HSC1	68
FIGURA 61: RESTO DE AJUSTES MANUALES PARA EL HSC1	69



Relación de tablas

TABLA 1: CODIFICACIÓN DE LAS SEÑALES DE CONTROL DE CALIDAD DE LAS PIEZAS	50
TABLA 2: SEÑALIZACIÓN LUMINOSA DE LOS PULSADORES	53
TABLA 3: FUNCIONAMIENTO DE LA BOTONERA DEL ARMARIO EN MODO MANUAL	54
TABLA 4: FUNCIONAMIENTO DE LA BOTONERA DEL ARMARIO EN MODO AUTOMÁTICO	55
TABLA 5: FUNCIONAMIENTO DE LA BOTONERA DEL HMI EN MODO MANUAL	56
TABLA 6: FUNCIONAMIENTO DE LA BOTONERA DEL HMI EN MODO AUTOMÁTICO	57
TABLA 7: ENTRADAS DIGITALES DEL PLC	70
TABLA 8: SALIDAS DIGITALES DEL PLC	71
TABLA 9: SALIDAS ANALÓGICAS DEL PLC	71



Glosario

- PLC - *Programmable Logic Controller* (Controlador Lógico Programable)
- HMI - *Human-Machine Interface* (Interfaz Hombre-Máquina)
- CPU - *Central Processing Unit* (Unidad Central de Procesamiento)
- HSC - *High Speed Counter* (Contador de Alta Velocidad)
- HTML - *HyperText Markup Language* (Lenguaje de Marcado de Hipertexto)
- SVG - *Scalable Vector Graphics* (Gráficos Vectoriales Ampliables)
- OPC UA - *Open Platform Communications Unified Architecture* (Arquitectura Unificada de Comunicaciones de Plataforma Abierta)
- MQTT - *Message Queuing Telemetry Transport* (Transporte de Telemetría por Cola de Mensajes)
- LSP – *Low Speed* (Velocidad Mínima)
- HSP – *High Speed* (Velocidad Máxima)



1. Introducción y objetivos

1.1. Introducción

La automatización industrial [1] consiste en el uso de elementos, como pueden ser sensores, actuadores, controladores y distintos tipos de software para el control y operación de máquinas y procesos, sin necesidad de una intervención humana directa. Por estas razones se convierte en un área clave para la mejora de la eficiencia, la seguridad y la precisión de los procesos productivos.

En este campo de la ingeniería se centra el presente trabajo de fin de grado, a través del cual se conseguirá, utilizando un PLC (Controlador Lógico Programable, computadora de tipo industrial que permite la automatización de procesos [2]), la automatización y el control de un sistema formado por una guía lineal (cinta transportadora) y una mesa circular giratoria. También forma parte de este proyecto un HMI (del inglés *Human Machine Interface*, pantalla o panel de control que hace de interfaz entre el usuario y el sistema a través de una representación visual [3]), con el cual se podrá manejar y visualizar el funcionamiento del sistema.

El fin de este TFG, no es construirlo desde cero, sino aprovechar el conjunto de la guía lineal y la mesa circular que se encuentran en el laboratorio 1115 del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid (Sede Mergelina) y que ya ha sido objeto de otros trabajos previos [4]. Lo que se hará, será tomar esto como punto de partida para la realización de cambios y mejoras para obtener el funcionamiento y prestaciones deseadas.

1.2. Objetivos

Para la realización de este TFG, como ya se ha comentado, no se parte desde cero, sino que se cuenta con lo realizado en otros trabajos previos [4]. Por ello, los objetivos principales a desarrollar son los siguientes:

- Sustituir de la CPU 1511 con sus módulos de entradas y salidas, por una CPU 1512C [5], manteniendo la configuración de cableado existente.
- Cablear el encoder incremental [6] situado en la mesa a la nueva CPU para su utilización en el proyecto.
- Modificar el cableado existente de los finales de carrera externos y añadir una maniobra de seguridad auxiliar, sin la utilización del PLC, que permita evitar el descontrol de la guía.
- Retirar la actual pantalla, modelo KTP400 Basic [7], y cegar el hueco que deja en el frontal del armario.
- Modificar el programa de control original del PLC, para trabajar con contadores rápidos y el encoder incremental, y poder parar la mesa en las posiciones deseadas.
- Trabajar con las salidas analógicas del PLC para controlar la velocidad de la cinta y de la mesa, introduciendo unas bornas de aislamiento galvánico [8] para la conexión entre el PLC y los variadores.
- Programar en el PLC una maniobra de control similar a la que se hace en uno de los entregables de varias asignaturas del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, a modo de demostrador para enseñar a los estudiantes lo que deben programar en los equipos de prácticas.
- Rehacer el programa del HMI para ser utilizado en el HMI de laboratorio, modelo MPT1500 Unified Comfort [9].

La utilidad de este TFG es sobre todo académica ya que, tal y como está planteado y ejecutado, permite a los alumnos observar y comprender el funcionamiento de los componentes habituales en entornos industriales automatizados. Un ejemplo práctico, sería mostrar su aplicación como un clasificador de piezas. Para poder ser utilizado en un entorno industrial, sería necesario añadir más elementos, como un sistema de visión, un sistema de transferencia de la cinta a la mesa, un sistema de expulsión, etc.

2. Situación inicial

El objetivo principal de este trabajo consiste en actualizar, modificar y mejorar otro proyecto ya existente (Figura 1), situado en el laboratorio 1115 del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid (Sede Mergelina).



FIGURA 1: SITUACIÓN INICIAL DEL PROYECTO GUÍA LINEAL-MESA CIRCULAR

El proyecto del que se parte consistía en una cinta transportadora y una mesa circular con dos modos de trabajo, uno manual y otro automático. La funcionalidad era la siguiente:

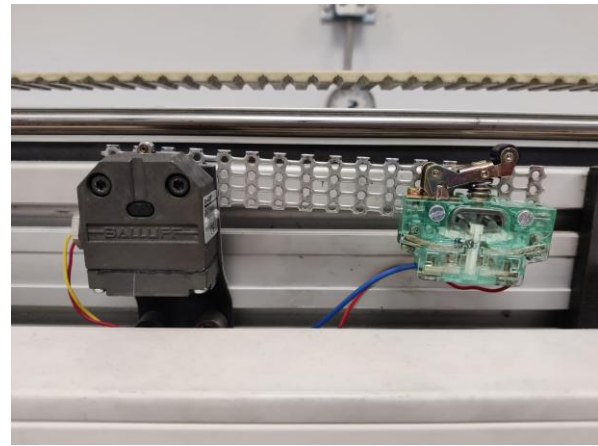
- En el modo manual se podía mover la cinta y la mesa a voluntad del usuario, utilizando los pulsadores del armario.
- En el modo automático, la cinta llegaba hasta el extremo, la mesa daba una vuelta completa, y la cinta retornaba al punto de partida. El ciclo se repetía indefinidamente hasta que el usuario daba por finalizado el ciclo.

A continuación, y para dar un mayor contexto, se hará un breve repaso de los elementos con los que cuenta el proyecto inicialmente y el punto de partida del mismo.

2.1. Cinta transportadora

Se trata de una guía lineal que, a través de un motor trifásico de la marca ABB, modelo MU63B11-4 MK129094-S (Figura 2), unido a una reductora con relación de reducción 1/35, es capaz de mover una correa dentada inelástica que cuenta con una mesa rectangular, que sería la encargada de realizar el

transporte de piezas. Además, tiene colocados cuatro finales de carrera (Figura 3), dos de ellos para detectar cuando la mesa ha llegado a los extremos y poder detenerse y cambiar de sentido (en la instalación, son los de color negro). Los otros dos están conectados en serie y son de seguridad, que cortarán la corriente en el caso de que la cinta se des controle y así evitar que choque contra los topes (en la instalación, son los de color verde).

**FIGURA 2: MOTOR DE LA CINTA****FIGURA 3: FINALES DE CARRERA DEL EXTREMO DERECHO DE LA CINTA**

2.2. Mesa circular

Es una mesa circular con un radio de 30 centímetros (Figura 4), capaz de girar sobre si misma gracias a un motor trifásico de la marca Siemens (modelo 32181-7802-OH040-006) [10], conectado a una reductora con relación de reducción 1/100. La mesa también cuenta con un encoder incremental TRD-GK100-RZ de la marca Pepperl+Fuchs [6] (Figura 5) y con un sensor inductivo (Figura 6).

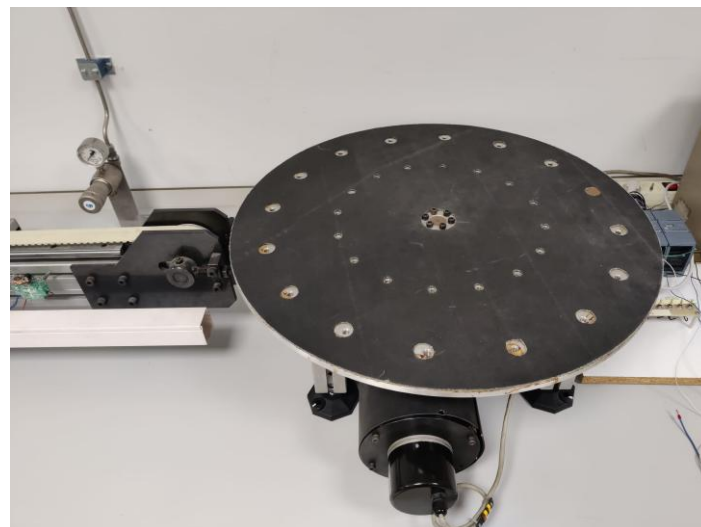
**FIGURA 4: MESA CIRCULAR**



FIGURA 5: ENCODER INCREMENTAL TRD-GK100-RZ

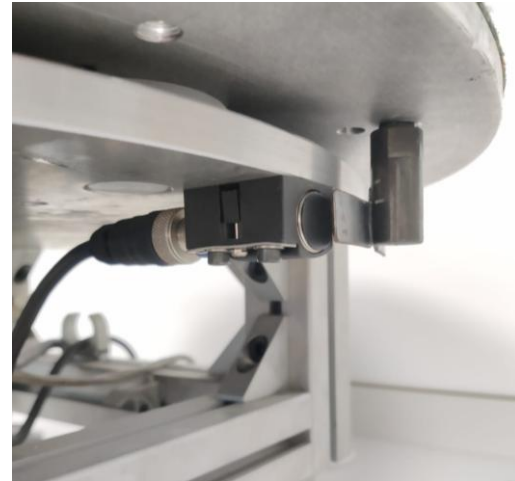


FIGURA 6: SENSOR INDUCTIVO

2.3. Armario

El armario utilizado (Figura 7 y Figura 8), inicialmente estaba compuesto por [4]:

- ▶ Fuente de alimentación de 24V, marca Legrand.
- ▶ Portafusibles LS1-D2531A65, marca Telemecanique.
- ▶ Interruptor diferencial 30mA, marca Merlin Gerin.
- ▶ Interruptor magnetotérmico 4A, marca Telemecanique.
- ▶ 2 guardamotores GV2-P06, marca Telemecanique.
- ▶ CPU 1511-1PN, marca Siemens.
- ▶ Fuente alimentación PM 70W 120/230VAC, marca Siemens.
- ▶ Módulo de entradas digitales, DI 16X24VDC HF, marca Siemens.
- ▶ Módulo de salidas digitales DQ 16X24VDC/0.5A ST, marca Siemens.
- ▶ 4 relés CR-P024DC1, marca ABB.
- ▶ Variador Altivar 18 [11].
- ▶ Variador Altivar 16 [12].
- ▶ Pantalla HMI táctil 4" KTP400 Basic PN, marca Siemens [7].
- ▶ Seta de emergencia.
- ▶ Lámpara de indicación de tensión.
- ▶ Botonera, compuesta por 8 pulsadores luminosos sin enclavamiento.



FIGURA 7: SITUACIÓN INICIAL DEL ARMARIO CERRADO



FIGURA 8: SITUACIÓN INICIAL DEL ARMARIO ABIERTO

3. Cambios realizados

Partiendo del estado inicial comentado en el punto anterior, se ha procedido a realizar una serie de mejoras que han optimizado el rendimiento y que se detallan a continuación.

3.1. CPU

Uno de los principales cambios ha sido la sustitución de la CPU 1511-PN que se encontraba anteriormente, junto a los módulos de entradas y salidas. La principal razón del cambio es que esta no cuenta con entradas de contaje rápido (HSC) que son necesarias para la correcta lectura del encoder de la mesa circular.

La nueva CPU instalada es una CPU 1512C-1 PN [5] (Figura 9 y Figura 10). Al igual que la CPU anterior, esta también se trata de un modelo de la serie SIMATIC S7 1500 de Siemens.



FIGURA 9: VISTA DE LA CPU 1512C-1PN CON LAS TAPAS FRONTALES CERRADAS [5]

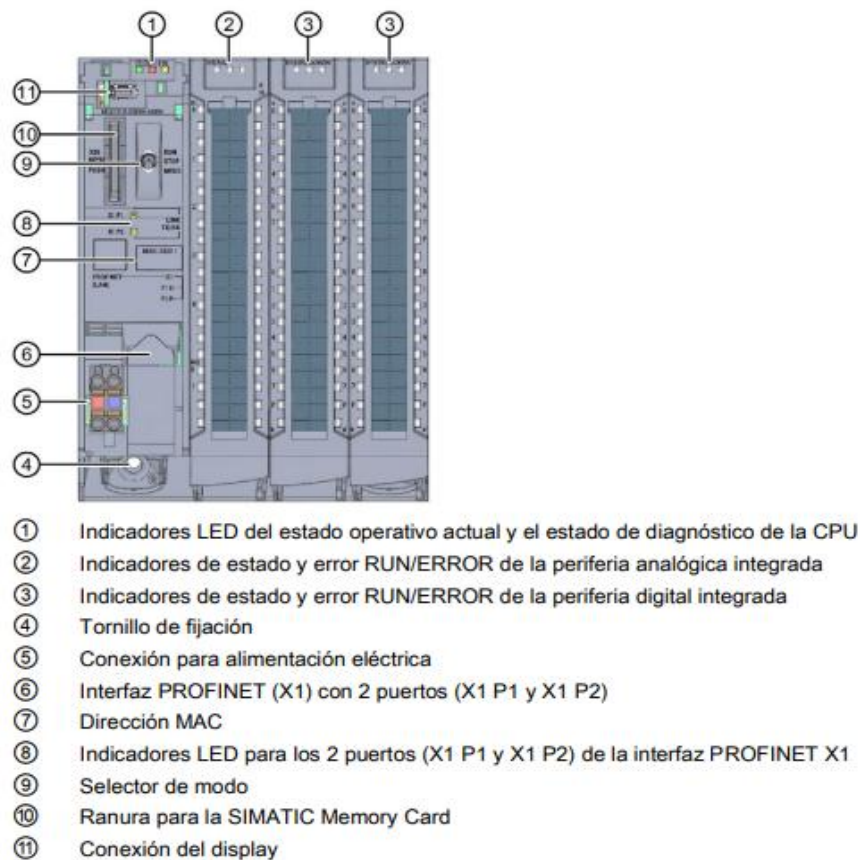


FIGURA 10: VISTA DE LA CPU 1512C-1PN SIN TAPAS FRONTALES [5]

Se trata de una CPU compacta para aplicaciones medianas. Cuenta con una memoria de programa de 250 KB, una memoria de datos de 1 MB y un tiempo de ejecución para operaciones con bits de 48 ns. Puede soportar hasta 32 módulos adicionales (la propia CPU y 31 módulos más).

Al igual que todas las CPU de la familia SIMATIC S7 1500, cuenta con un display que muestra información en texto plano. Sirve para dar al usuario información relativa a las referencias, las versiones de firmware y los números de serie de los módulos conectados. Otra funcionalidad que incluye es la de permitir el ajuste de la dirección IP de la CPU y realizar otros ajustes directamente “in situ” y sin programaciones. Además, muestra los mensajes de error producidos, ayudando así al cliente a poder reducir los tiempos de parada.

En cuanto a la conectividad y las comunicaciones, tiene una interfaz PROFINET (X1) con dos puertos (P1 R y P2 R). También soporta PROFINET IO RT (Realtime) e IRT (Isochronous Realtime) para la configuración en tiempo real. Tiene soporte OPC UA para la integración con sistemas de terceros. Además, también dispone de un servidor web integrado, que permite a usuarios autorizados la vigilancia y administración de la CPU a través de la red.

Respecto a las entradas y salidas, tenemos:

- 32 entradas digitales rápidas para señales de hasta máximo 100 kHz. Estas se pueden usar como entradas estándar o como entradas para funciones tecnológicas.
- 32 salidas digitales, de las cuales 8 pueden utilizarse como salidas rápidas para funciones tecnológicas.
- 5 entradas analógicas.
- 2 salidas analógicas.

Las dos salidas analógicas nos serán de utilidad a la hora de poder modificar la velocidad de la mesa y de la cinta a través de los variadores de frecuencia existentes.

Además, cuenta con 6 contadores rápidos (HSC) que se pueden utilizar como A/B/N (Figura 27), imprescindibles para la correcta lectura del encoder de la mesa.

Para realizar la conexión de las entradas y salidas digitales, se ha mantenido la misma configuración que en la CPU anterior. Las entradas digitales han sido conectadas en la periferia digital integrada X11 (Figura 11) y las salidas digitales han sido conectadas a la periferia digital X12. En este caso, tanto las salidas como las entradas digitales han de ser alimentadas, por lo que es necesario llevar la alimentación de la fuente de 24Vcc hasta los conectores correspondientes de la periferia digital integrada. La alimentación para X11 y X12 se realiza de la misma forma.

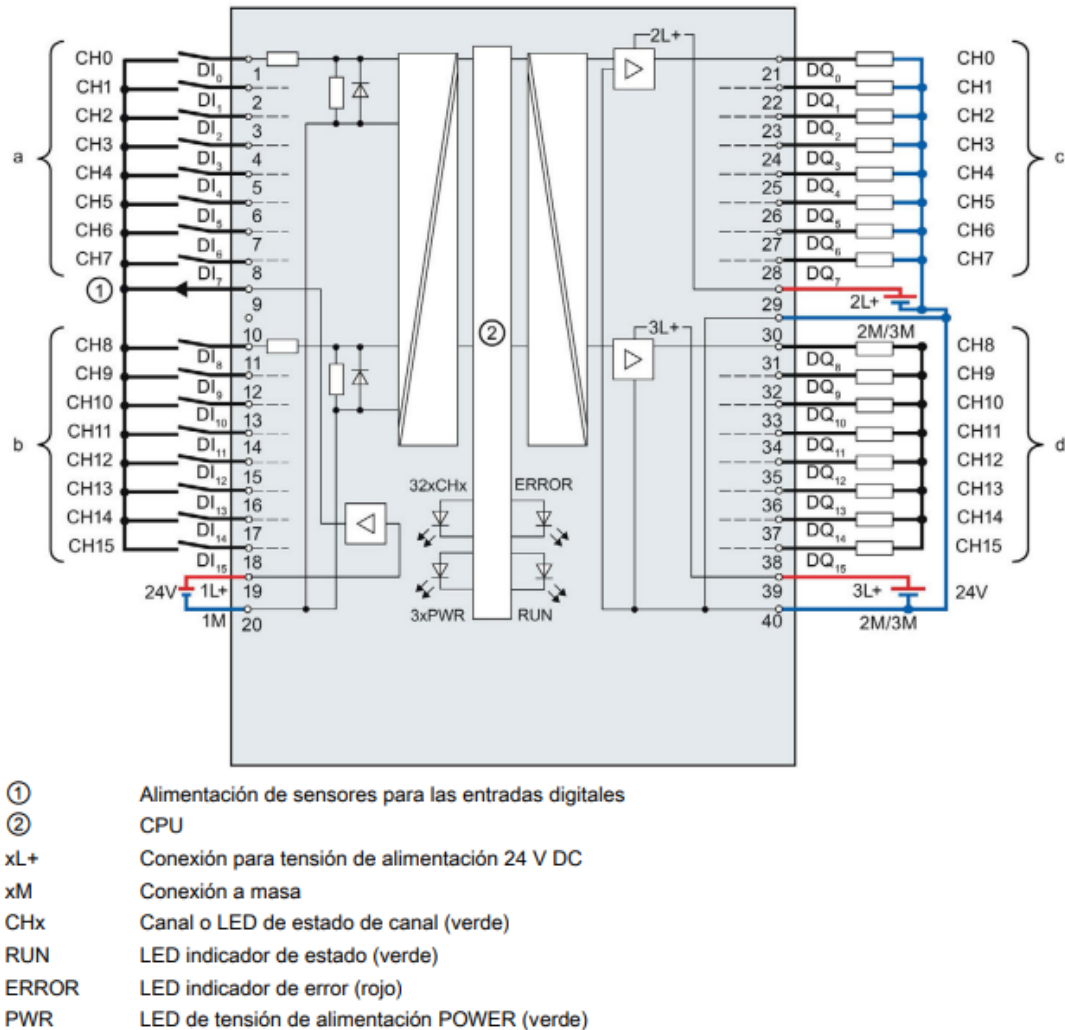


FIGURA 11: ESQUEMA DE PRINCIPIO Y CONEXIONES DE LA PERIFERIA DIGITAL INTEGRADA X11 [5]

En el caso de las salidas analógicas (Figura 12), para la variación de velocidad de la mesa y la cinta, se han usado las dos salidas existentes. Además, para evitar problemas asociados a los ceros del PLC y los variadores, las salidas se han cableado a través de unas bornas de aislamiento galvánico. Esto se explicará con más detalle en el apartado 3.6.

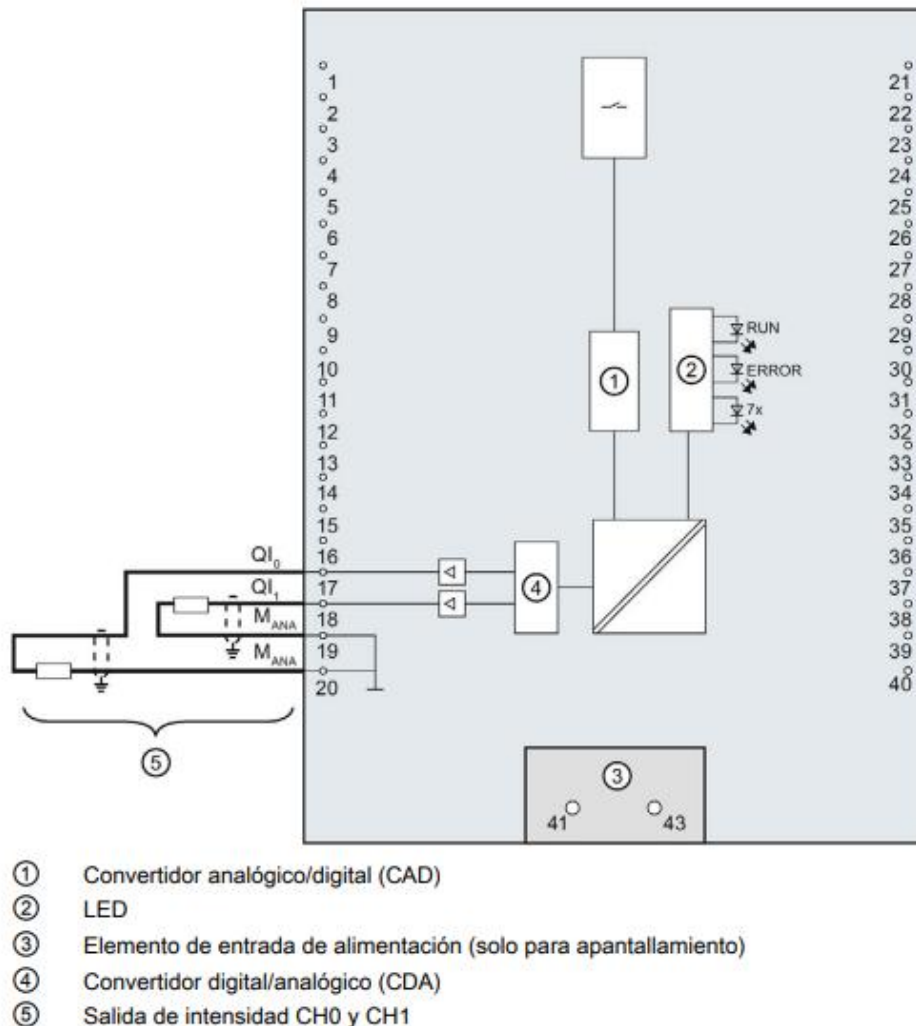


FIGURA 12: ESQUEMA DE PRINCIPIO Y CONEXIONES PARA SALIDA DE INTENSIDAD [5]

3.2. Encoder incremental

La mesa circular tenía un encoder incremental instalado anteriormente, no obstante, debido a que la anterior CPU no contaba con contadores rápidos no era posible su uso sin añadir módulos adicionales muy costosos. Por esta razón, se cambió la CPU 1511 original por la aquí usada CPU 1512C. Esta última proviene de otro equipo del laboratorio en el que se realizó una actualización [13], y por lo tanto, quedó libre de uso.

El encoder mencionado es un TRD-GK100-RZ de la marca Pepperl+Fuchs [6] (Figura 5), con dos salidas que sirven para indicar el conteo de los pulsos y la

detección del sentido de giro del rotor, y otra que indica el paso por cero (Figura 14 y Figura 13). En este caso concreto, se usarán únicamente las señales de salida y no la de paso por cero. El encoder tiene una resolución de 100 impulsos por vuelta.

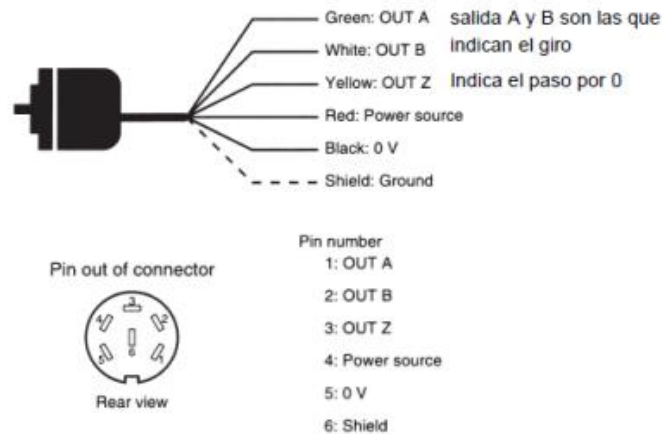


FIGURA 14: CABLEADO DEL ENCODER TRD-GK100-RZ [4]

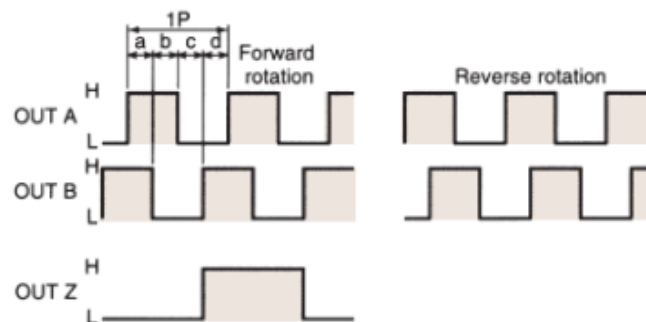


FIGURA 13: PULSOS DE LAS SEÑALES DEL ENCODER TRD-GK100-RZ [4]

El primer paso ha sido comprobar el correcto funcionamiento del encoder. Para ello, se ha utilizado un osciloscopio y se ha comprobado que las señales de salida eran correctas (Figura 15).

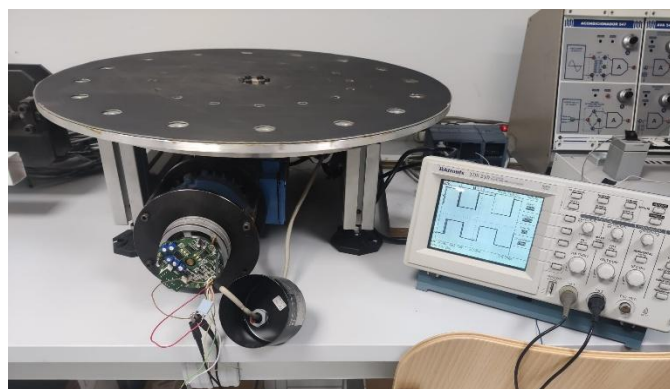


FIGURA 15: MEDICIÓN DE LAS SEÑALES DEL ENCODER CON OSCILOSCOPIO

Una vez comprobado el correcto funcionamiento, se ha procedido a conectar las señales A y B del encoder a las entradas digitales del PLC correspondientes al HSC1.

Más adelante se especificará detalladamente cómo se ha realizado su configuración y programación con el software TIA Portal.

3.3. Finales de carrera

La cinta cuenta con cuatro finales de carrera (Figura 3), dos de ellos serán los encargados de guiar el movimiento, indicando cuando la mesa ha llegado a los extremos y cuando tiene que cambiar de sentido. Los otros dos están puestos por seguridad, y se encargan de cortar la corriente en el caso de que la cinta se des controle. Esto evita que golpee contra los topes y provoque averías en el sistema, las cuales obligarían a desmontar el arrastre de la mesa y volver a enganchar de nuevo los extremos de la correa dentada.

Anteriormente, los finales de carrera externos, los de seguridad, estaban cableados en serie, de forma que, si uno de los dos era pisado, se cortaba la corriente. En el presente trabajo, se han cableado de forma independiente utilizando dos entradas del PLC en lugar de una y así saber en qué lado de la cinta se encuentra.

Adicionalmente, también se ha cableado la segunda cámara de contactos de los finales de carrera externos para implementar una maniobra de seguridad, que se llevará a cabo sin necesidad de la participación del PLC.

Para llevar a cabo este cableado, ha sido necesario cambiar el conector de cuatro pines existente en el lateral del armario por un nuevo cable de ocho hilos. De estos, serán utilizados siete. Uno para llevar la alimentación de 24Vcc y 6 para devolver las señales de los finales de carrera, teniendo en cuenta que en los de seguridad se utilizan las dos cámaras. Estos cables son conducidos a través de una canaleta situada en paralelo con la cinta.

3.4. Maniobra de seguridad auxiliar

Para mejorar la seguridad, se ha decidido incorporar una nueva maniobra auxiliar, que permitirá mover la cinta a izquierda o derecha sin la necesidad de pasar las señales por el PLC. Esto permitirá mover la cinta de forma “manual” y poder devolverla a su sitio en el caso de que se haya salido de su zona de actuación. Además, al haberla realizado con la segunda cámara de contactos disponible de los finales de carrera de seguridad (los externos), hará que la cinta no golpee contra los topes ni se des controle en caso de que se produzca algún error o problema en el PLC. Situación que es habitual al comienzo del

curso con estudiantes que trabajan por primera vez con el equipo y que no programan bien la maniobra de la mesa, y no llegan a pulsar la parada de emergencia a tiempo.

Para poder realizar la maniobra, se han incorporado cuatro nuevos relés (Figura 16) (Anexo 3). Dos de ellos se encargan de cortar la corriente en el caso de que uno de los finales de carrera este pisado, de forma que solo se permitirá el movimiento en el otro sentido. Otro de los relés, es utilizado para realizar el cambio de sentido y efectuar el movimiento a la izquierda o a la derecha en función de la opción seleccionada. Por último, el relé restante se encarga de cortar la alimentación a los relés que controlan la cinta a través del PLC mientras se usa esta maniobra, de forma que siempre va a tener prioridad frente al control del PLC.

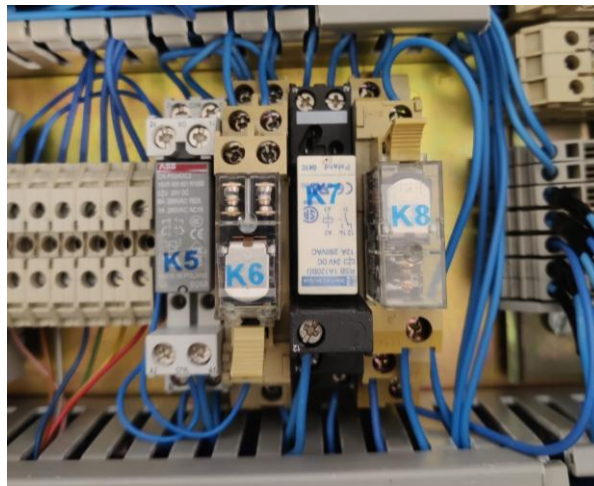


FIGURA 16: RELÉS DE LA MANIOBRA AUXILIAR

Adicionalmente, para controlar la maniobra se ha incorporado a la botonera, en la parte frontal del armario, un selector de tres posiciones que permitirá seleccionar el sentido, y un pulsador que activa el movimiento (Figura 17) (Anexo 3).

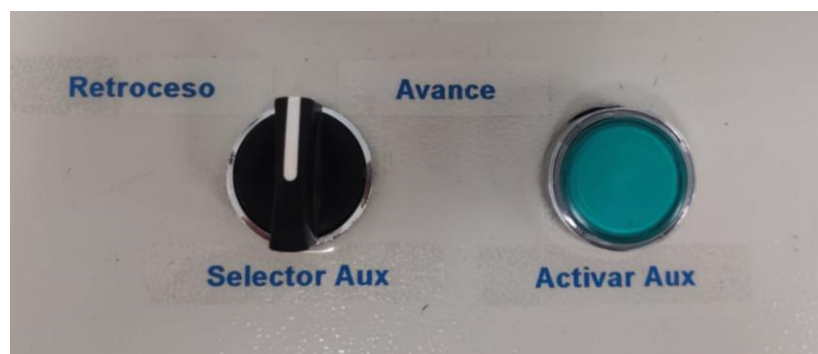


FIGURA 17: SELECTOR Y PULSADOR DE MANIOBRA AUXILIAR

3.5. HMI

En cuanto al HMI, el antiguo proyecto contaba con un modelo KTP400 Basic Pn de la marca Siemens [7]. Una pantalla táctil de 4" instalada en la parte frontal del armario. Como ya no se va a utilizar, lo primero que se ha hecho, ha sido retirarla y cegar el agujero que ha dejado en la puerta del armario (Figura 18).



FIGURA 18: ANTIGUO HMI KPT 400 Y HUECO DE LA PANTALLA CEGADO

En lugar del antiguo HMI, para este proyecto se va a utilizar un nuevo modelo. Un panel MTP1500 Unified Comfort [9] de la marca Siemens (Figura 19). Es una pantalla capacitiva multitáctil, de 15,6" con una resolución de 1366x768 píxeles. Es alimentada a través de 24V DC y cuenta con interfaz Ethernet PROFINET para la comunicación con PLCs y redes industriales.

Este nuevo HMI no está en el propio armario como lo estaba el anterior, sino que se encuentra en otro armario diferente. Esto se debe a que su finalidad no es solo ser utilizado en este proyecto, sino dar soporte a otros proyectos que se encuentran en el laboratorio.



FIGURA 19: DISPOSICIÓN DE HMI DE LABORATORIO

Al tratarse de un modelo más nuevo y con mayores prestaciones, el programa creado para el anterior HMI no es compatible y se ha tenido que rehacer de nuevo. Este programa será detallado en el apartado 4.2.

3.6. Control de velocidad

En el estado inicial, la velocidad de la cinta se podía regular mediante un potenciómetro, mientras que la velocidad de la mesa no se podía variar. Como nueva función se ha querido incorporar el control de velocidad tanto de la cinta como de la mesa a través del HMI. Para realizar esta tarea se aprovecharán las salidas analógicas con las que cuenta el PLC (Figura 12).

Como medida, antes de conectar directamente la salida del PLC al variador, se comprobó la diferencia de potencial existente entre el común del variador (COM) y el cero del PLC, tanto con el variador de la cinta (Altivar 16) [12] (Figura 23) como con el de la mesa (Altivar 18) [11] (Figura 22). Al medirlo con el polímetro en corriente continua el resultado era cero, pero al realizar la medición en corriente alterna sí que existía una diferencia de potencial. Por esta razón se creyó conveniente instalar unas bornas de aislamiento galvánico o aisladores analógicos (Figura 20).

Estos aisladores, lo que consiguen es proporcionar aislamiento óptico entre dos partes de un sistema, en este caso entre el PLC y el variador, transmitiendo una señal analógica de un lado a otro sin la necesidad de una conexión eléctrica directa.

En este caso se utilizan dos aisladores 0-10V de la marca Weidmüller [8] (Figura 21), que una vez alimentados con 24Vcc, reciben la señal analógica del PLC y la llevan al variador. Los 0V se llevan a la entrada COM del variador y la señal analógica a la entrada AIV en el Altivar 16 (cinta) (Figura 23) y a la entrada AI1 en el Altivar 18 (mesa) (Figura 22) (Anexo 3).

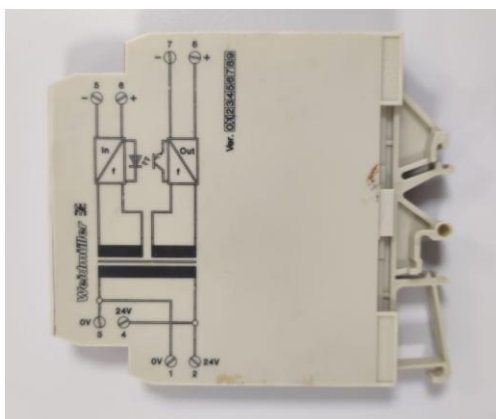


FIGURA 21: AISLADOR ANALÓGICO



FIGURA 20: AISLADORES ANALÓGICOS INSTALADOS EN EL ARMARIO

Para asegurar que se trabaja con unos rangos de velocidad adecuados y el funcionamiento sea el correcto, se han ajustado los parámetros de velocidad mínima (LSP) y velocidad máxima (HSP) de cada variador desde los displays de cada uno de ellos. Para la cinta (Altivar 16) [12], los valores introducidos son LSP = 0Hz y HSP = 30Hz. Y para la mesa (Altivar 18) [11], los valores utilizados son LSP = 0Hz y HSP = 45Hz.

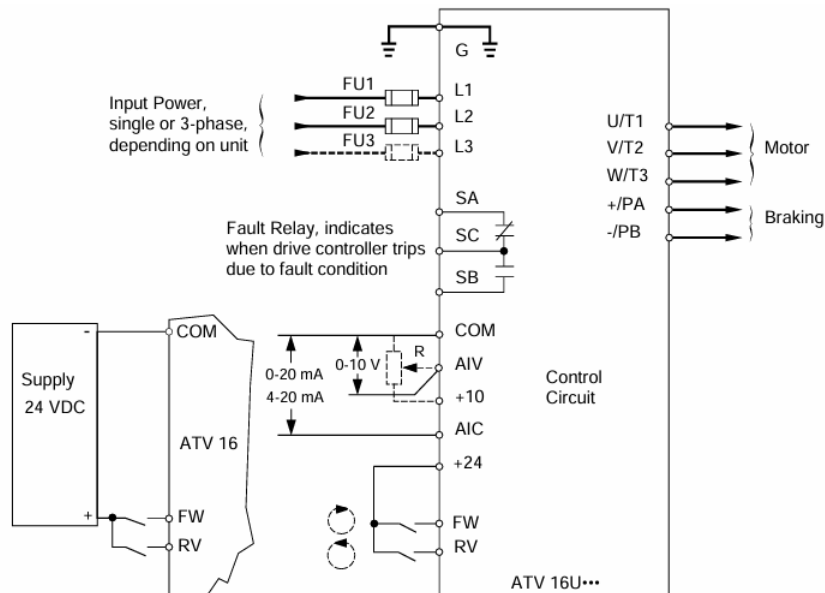
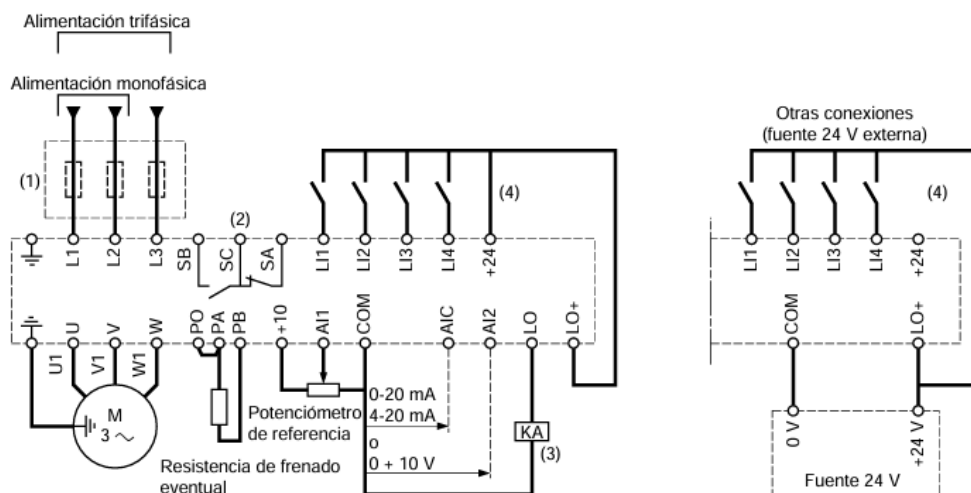


FIGURA 23: DIAGRAMA DE CABLEADO DE VARIADOR ALTIVAR 16 [12]



- (1) Inductancia de línea eventual (1 fase o 3 fases).
- (2) Contactos del relé de seguridad, para señalar a distancia el estado del variador.
- (3) Relé o entrada del automático = 24 V.
- (4) + 24 V interno. En caso de utilización de una fuente externa de + 24 V, conectar el 0 V a la borna COM, y no utilizar la borna + 24 del variador.

Nota: Equipar con antiparásitos todos los circuitos inductivos a proximidad al variador o acoplados al mismo circuito (relés, contactores, electroválvulas,...)

FIGURA 22: DIAGRAMA DE CABLEADO DE VARIADOR ALTIVAR 18 [11]

4. Programación

Para realizar la programación de las maniobras del sistema, así como las pantallas del HMI, ya que ambos son de la marca Siemens, se ha utilizado el software de TIA Portal en su versión V17. Además, se ha instalado la herramienta HMI Template Suite [14] para facilitar la programación del HMI.

4.1. Programación de la CPU

Partiendo del programa previo a la realización de este TFG, lo primero que se hizo fue sustituir la CPU 1511 antigua por la 1512c nueva. Para ello, en el árbol del proyecto, se pulsa el botón derecho del ratón sobre la CPU antigua y se selecciona “Sustituir dispositivo” (Figura 24).

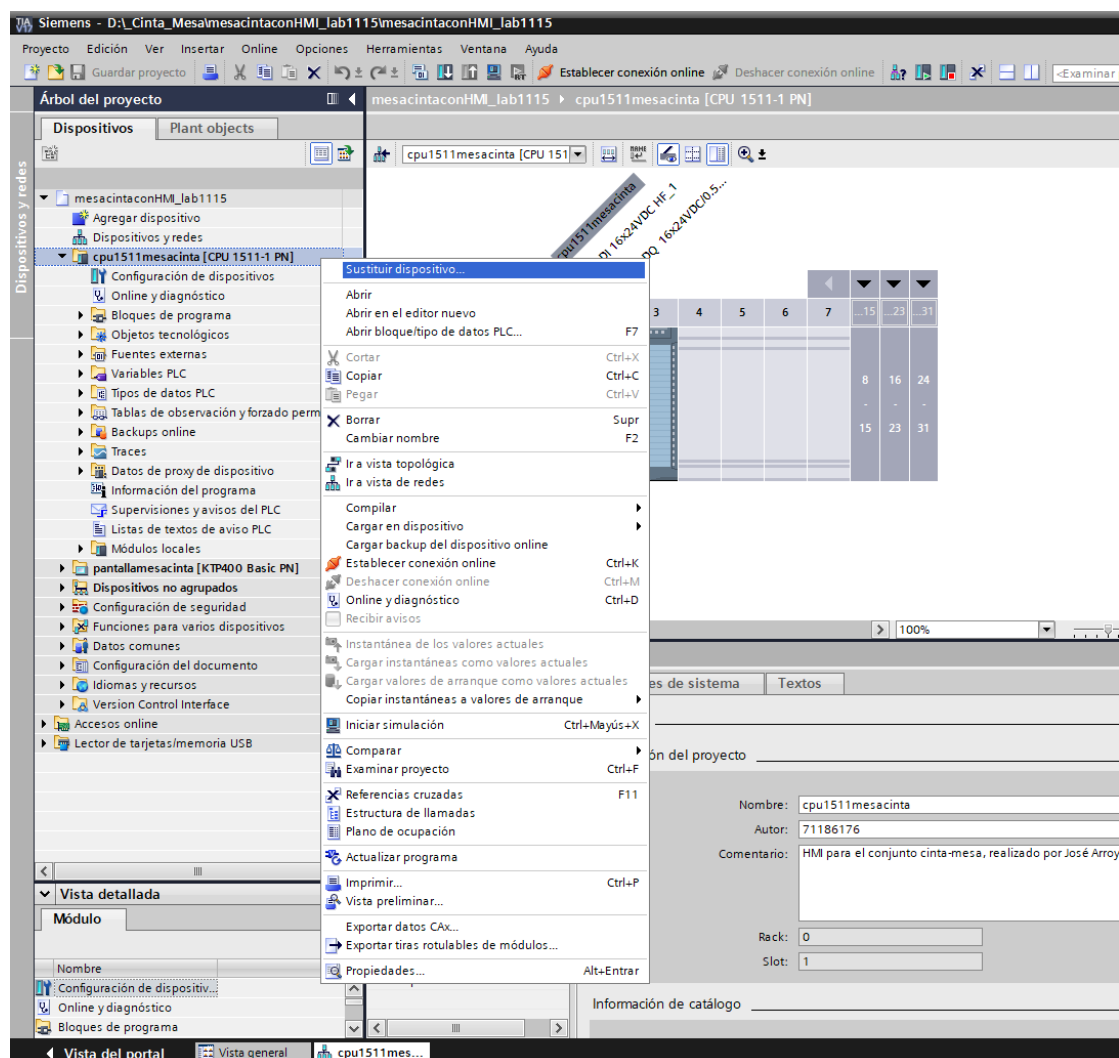


FIGURA 24: SUSTITUCIÓN DE CPU ANTIGUA EN TIA PORTAL

A continuación, se elige la nueva CPU (Figura 25), seleccionando la versión de firmware V1.8.

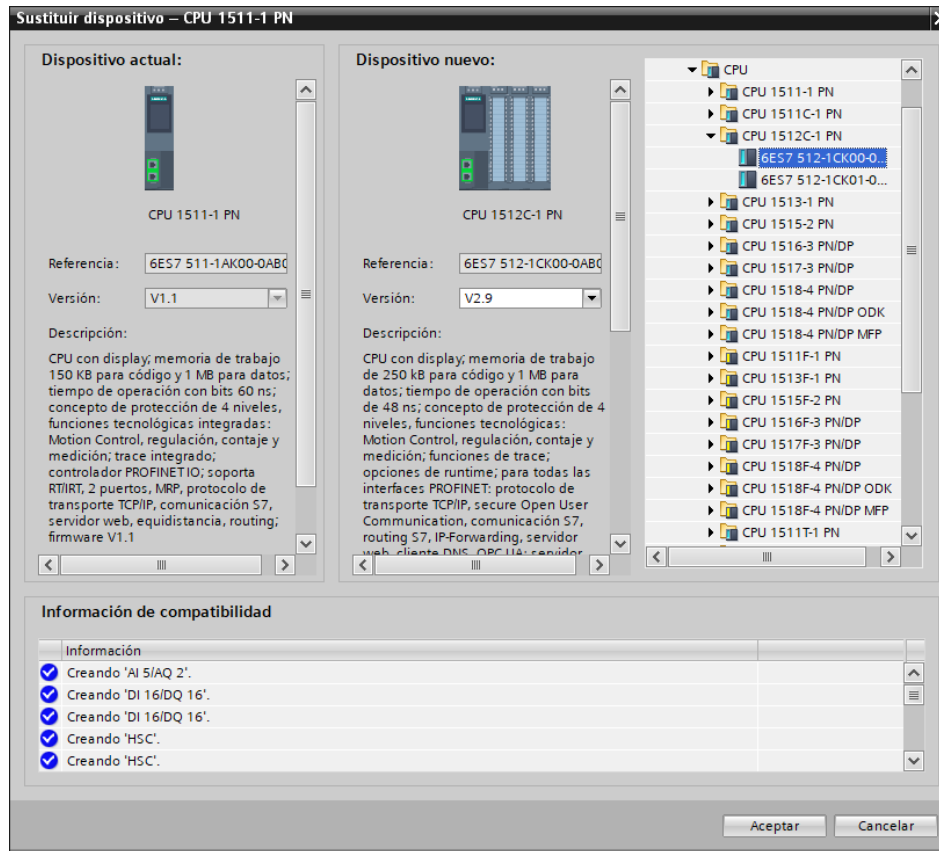


FIGURA 25: ELECCIÓN DE CPU NUEVA EN TIA PORTAL

En este caso concreto, al tratarse de dos dispositivos de la misma familia, S7 1500, el programa que había en la anterior CPU se mantiene en la nueva.

4.1.1. Configuración del encoder

Una de las principales mejoras a realizar en este TFG, ya que el nuevo modelo de CPU lo permite, es la incorporación del encoder de la mesa circular. Esto facilitará que la mesa pare automáticamente cuando se alcance la posición deseada en función de la posición especificada para calidad de pieza. Para ello es necesario hacer una serie de ajustes [15].

Al contrario que en los S7 1200, en los que se pueden elegir las entradas de cada contador rápido, en este S7 1512C, las entradas vienen predefinidas en el hardware y tienen que cablearse en las entradas correspondientes. En este caso, al usar el HSC1, las señales A y B del encoder se han cableado a las entradas digitales DIO y DI1 del bornero X11 respectivamente (Figura 27) (Anexo 2). Del mismo modo, para las salidas de reacción rápida asociadas a cada contador, solo se podrán utilizar las salidas concretas vinculadas (Figura 26).

Bornero X11																
HSC	DI0	DI1	DI2	DI3	DI4	DI5	DI6	DI7	DI8	DI9	DI10	DI11	DI12	DI13	DI14	DI15
HSC 1	A	[B]	[N]						[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]
HSC 2				A	[B]	[N]			[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]
HSC 3							A	[B]	[N]							
									[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]

Bornero X12																
HSC	DI0	DI1	DI2	DI3	DI4	DI5	DI6	DI7	DI8	DI9	DI10	DI11	DI12	DI13	DI14	DI15
HSC 4	A	[B]	[N]						[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]
HSC 5				A	[B]	[N]			[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]
HSC 6							A	[B]	[N]							
									[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]	[DI]

El tipo de señal indicado se marca como opcional mediante los corchetes [...]

[DI] significa [HSC DI0/HSC DI1] = función DI o B o N opcional: modo tecnológico o estándar

La asignación a [B] o [N] tiene preferencia frente a la asignación a HSC DI0 o HSC DI1. Es decir, las direcciones de entrada que se han asignado a la señal de contaje [B] o [N] debido al tipo de señal elegido, no se pueden utilizar para otras señales, como HSC DI0 o HSC DI1.

FIGURA 27: CONEXIONES DE BORNEROS PARA HSC EN LA CPU 1512C [5]

Conector frontal	Canal		Uso como salida HSC	
			Utilizable como DQ1 HSC	Retardo de salida máximo
X11	Canal 0	DQ0	no	--
	Canal 1	DQ1	sí, para HSC1	5 µs
	Canal 2	DQ2	no	--
	Canal 3	DQ3	sí, para HSC2	5 µs
	Canal 4	DQ4	sí, para HSC3	
	Canal 5	DQ5	sí, para HSC4	
	Canal 6	DQ6	sí, para HSC6	
	Canal 7	DQ7	sí, para HSC5	
	Canal 8	DQ8	no	--
	Canal 9	DQ9	sí, para HSC1	500 µs
	Canal 10	DQ10	no	--
	Canal 11	DQ11	sí, para HSC2	500 µs
	Canal 12	DQ12	sí, para HSC3	
	Canal 13	DQ13	sí, para HSC4	
	Canal 14	DQ14	sí, para HSC6	
	Canal 15	DQ15	sí, para HSC5	
X12	No es posible interconectar las salidas digitales del conector frontal X12 a un contador rápido. Las salidas digitales del conector frontal X12 solo pueden utilizarse como salidas estándar.			

FIGURA 26: SALIDAS DE RESPUESTA RÁPIDA ASOCIADAS A LOS HSC EN LA CPU 1512C [5]

Es necesario añadir que, la configuración del contador rápido se puede hacer de dos maneras diferentes, de forma manual (Anexo 1) o utilizando un objeto tecnológico. Esta última es la que se ha utilizado en el presente trabajo, al ser más simple y cómoda de realizar.

4.1.1.1. Configuración del HSC mediante objeto tecnológico

La configuración utilizando un objeto tecnológico, disponible en los modelos de CPU S7 1500, es la que se ha utilizado a la hora de realizar este TFG, al tratarse de un método más sencillo de gestionar, ya que no es necesario configurar las direcciones físicas del módulo y se trabaja con variables internas.

Para añadir el objeto tecnológico y que se cree de forma automática, se ha colocado en el programa el bloque “High_Speed_Counter” (Figura 28).

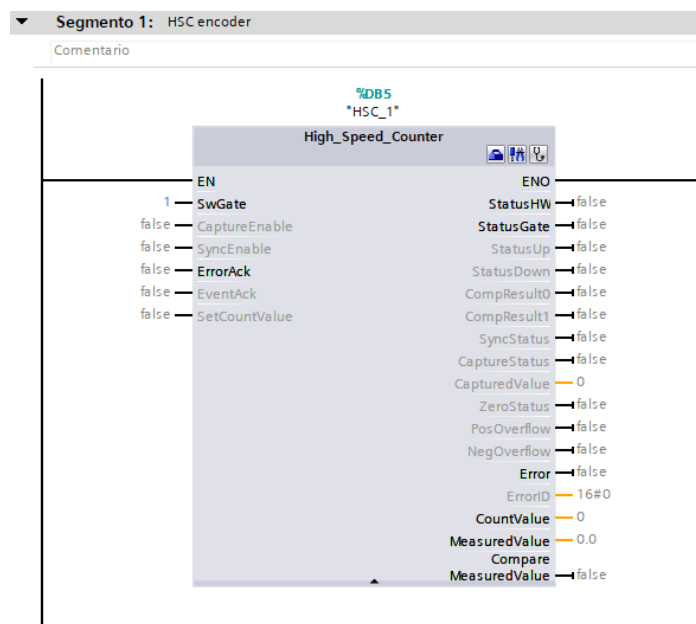


FIGURA 28: LLAMADA EN PROGRAMA DEL BLOQUE “HIGH_SPEED_COUNTER”

A continuación, hay que entrar en la configuración del bloque. El primer paso será especificar el contador que se va a utilizar y el canal (Figura 29).

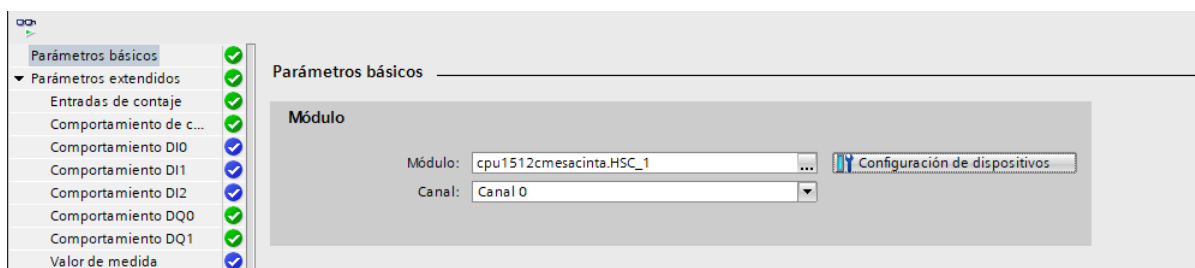


FIGURA 29: AJUSTE DE CONTADOR Y CANAL UTILIZADO EN EL HSC

Solo con esta configuración ya se podrían contar los pulsos del encoder, sin embargo, esto es insuficiente para las funciones que se busca conseguir en este TFG.

El siguiente paso será seleccionar el tipo de señal y su evaluación, así como la frecuencia de filtrado (Figura 30). En este caso será un encoder incremental con señales A y B desfasadas, y una evaluación cuádruple de la señal. De esta forma se conseguirán más pulsos por vuelta al contarse los flancos ascendentes y descendentes tanto de la señal A como de la B. La frecuencia de filtrado por defecto será de 100kHz, lo que permite que no haya que hacer el filtrado de las entradas como en el caso manual.

FIGURA 30: AJUSTE DEL TIPO DE SEÑAL DEL ENCODER Y FILTRADO DE ENTRADAS

Seguidamente, se deberá especificar el comportamiento del contador (Figura 31). Se ha determinado que los límites superior e inferior sean de 40.000 y -40.000 respectivamente. Esto es porque, el motor tiene una reductora con relación 1/100, el encoder tiene una resolución de 100 impulsos por vuelta, y la evaluación de la señal es cuádruple, por lo tanto, una vuelta completa de la mesa corresponde a 40.000 pulsos. De esta forma, al sobrepasar uno de los límites, es decir, dar una vuelta completa de la mesa, el contador vuelve al valor inicial, que es 0.

FIGURA 31: AJUSTE DEL VALOR INICIAL, LOS LÍMITES Y EL COMPORTAMIENTO DEL HSC

Para este TFG, solo será necesario activar el comportamiento de la salida DQ1, donde se establecerán los límites de conteo y el valor de referencia (Figura 32).

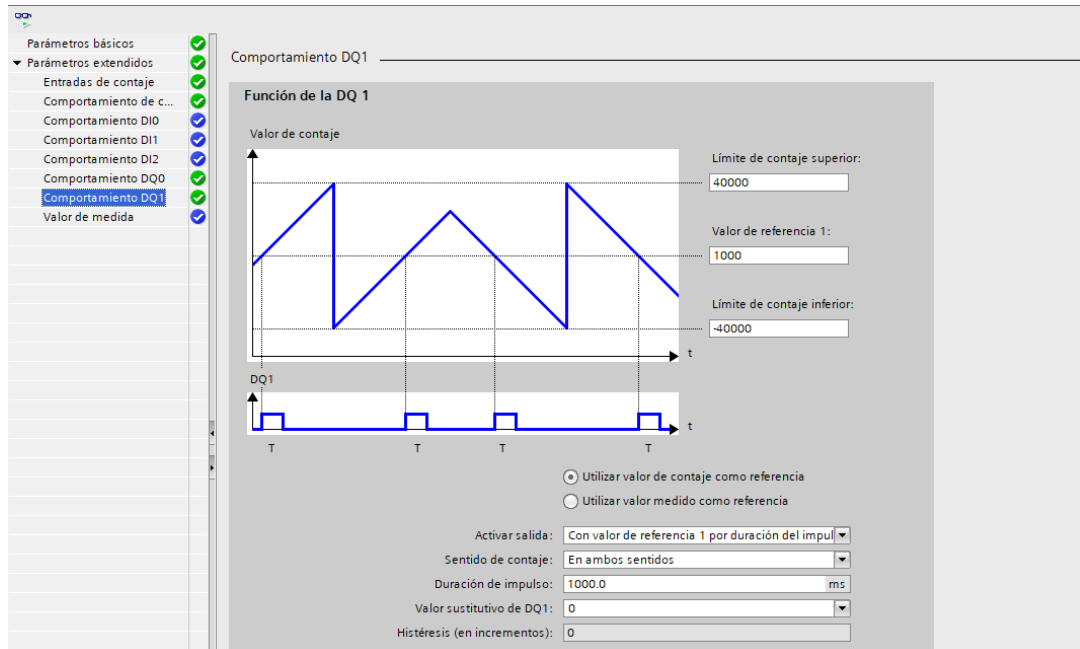


FIGURA 32: AJUSTE DE COMPORTAMIENTO DE LA SALIDA DQ1

Para terminar la configuración del HSC, hay que indicar cual es la salida digital utilizada y habilitar la aparición de alarmas por evento de comparación para DQ1 (Figura 33).

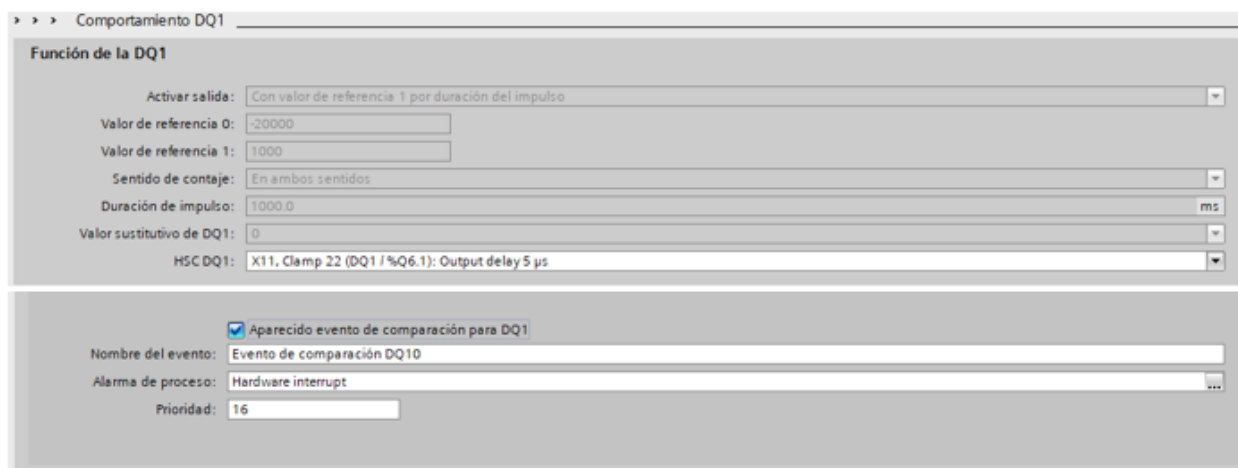


FIGURA 33: CONFIGURACIÓN DE SALIDAS Y HABILITACIÓN DE ALARMAS PARA DQ1

Una vez finalizada la configuración ya se puede implementar el uso del encoder en el programa para conseguir que, al fijar una coordenada de destino, se modifique el valor de referencia para la comparación con DQ1, y, por lo tanto, la posición en la que se quiere colocar la mesa.

La mesa empieza a girar, y al alcanzarse este valor por el conteo del encoder, se genera una interrupción que habilita el bloque OB40 lo cual activa una variable que indica que la mesa ha alcanzado la posición deseada, y provoca que la mesa se detenga. El programa también cumple la función de devolver a la mesa a la posición cero después de haber colocado una pieza.

4.2. Programación del HMI

La programación del HMI ha tenido que realizarse desde cero, ya que el programa hecho para la anterior pantalla no era compatible con el nuevo modelo. En este apartado se explicará la forma de configuración del mismo.

Para poder añadir y trabajar con la nueva pantalla utilizada en este proyecto (Figura 34 y Figura 35), modelo MPT1500 Unified Comfort [9], el primer paso será instalar el paquete de WinCC Unified [16].

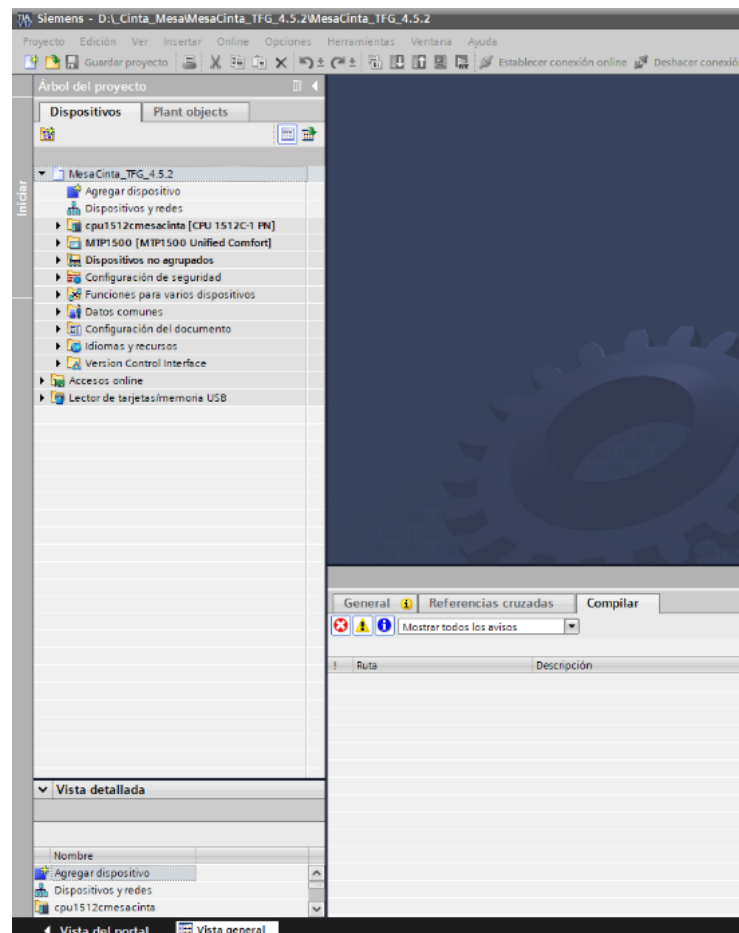


FIGURA 34: ÁRBOL DEL PROYECTO: AGREGAR DISPOSITIVO

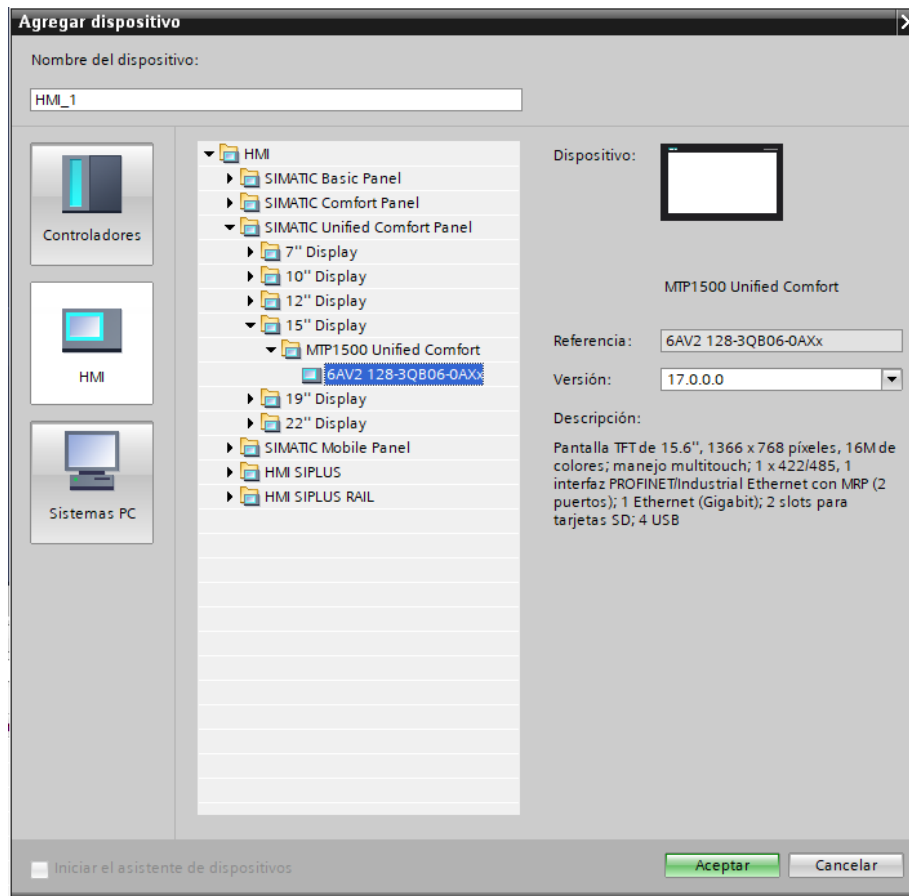


FIGURA 35: SELECCIÓN DEL NUEVO MODELO DE HMI EN EL PROYECTO

Es necesario tener en cuenta que los modelos de HMI Unified Comfort ofrecen ventajas significativas frente a otros modelos como los Basic o los Comfort. Algunas de estas ventajas son, su capacidad para desarrollar interfaces más flexibles y con una mayor potencia gráfica, basado en tecnologías web modernas como HTML5 [17], SVG [18] y JavaScript [19]. También ofrecen una mayor calidad de visualización con pantallas de alta resolución y paneles multitáctiles capacitivos, que mejoran la experiencia del usuario. Cuentan con una ciberseguridad integrada más avanzada, incluyendo funciones como la gestión de sesiones, usuarios, contraseñas o el control de acceso y la firma digital. Además, su conectividad más avanzada tiene soporte nativo de OPC UA [20], MQTT [21] y comunicación con sistemas en la nube y bases de datos, así como la posibilidad de tener acceso remoto a través de un navegador.

4.2.1. HMI Template Suite

Para no empezar a desarrollar el programa del HMI desde cero, con el lienzo en blanco, Siemens ofrece una herramienta llamada HMI Template Suite [14], que se ha instalado desde la página de Siemens para la versión de TIA Portal V17, y que permite partir desde una navegación ya creada gracias a una serie de plantillas. De esta forma no hay que añadir el HMI al proyecto como se ha indicado anteriormente, sino que se hace a través de la misma aplicación de la herramienta como se mostrará a continuación.

El primer paso es abrir la aplicación de HMI Template Suite y elegir el estilo de navegación entre pantallas que se quiere usar (Figura 36). En este caso se ha optado por la barra de navegación.



FIGURA 36: PANTALLA INICIAL DE LA APLICACIÓN "HMI TEMPLATE SUITE"

Posteriormente, se selecciona el modelo de HMI que se va a utilizar. En este caso es la MPT1500 Unified Comfort (Figura 37).

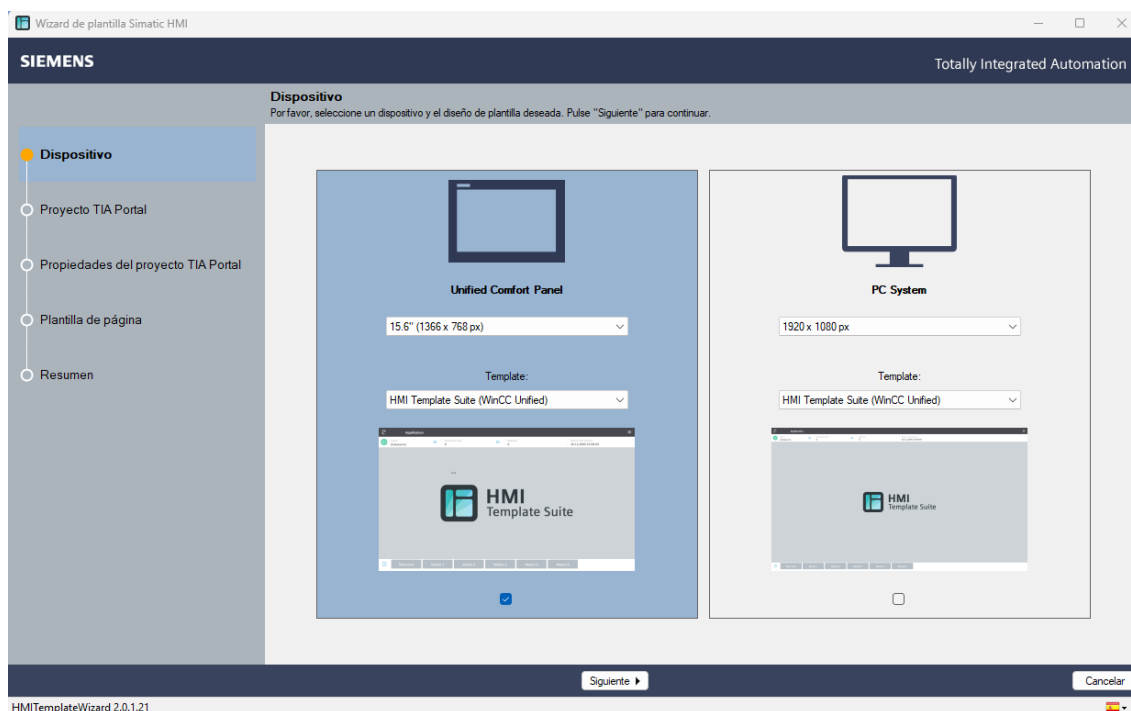


FIGURA 37: SELECCIÓN DE DISPOSITIVO EN APLICACIÓN "HMI TEMPLATE SUITE"

Después se selecciona el proyecto de TIA Portal en el que se va a incorporar la pantalla (Figura 38).

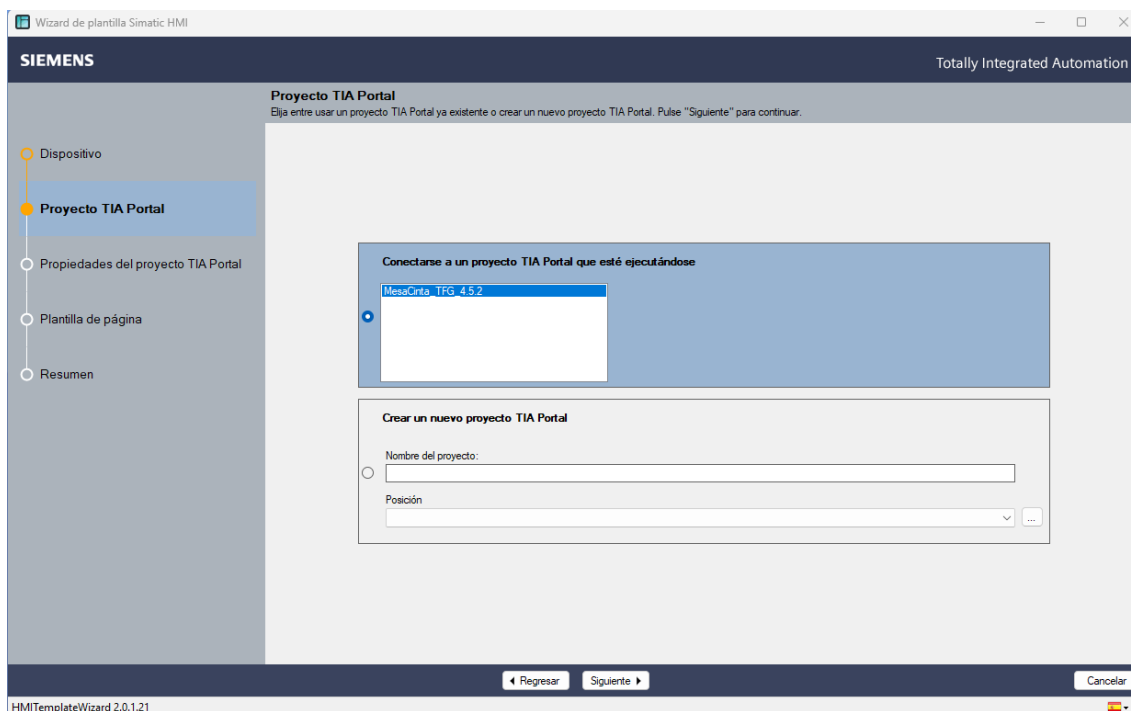


FIGURA 38: SELECCIÓN DEL PROYECTO DE TIA PORTAL EN "HMI TEMPLATE SUITE"

Se muestran las propiedades del proyecto de TIA Portal seleccionado (Figura 39).

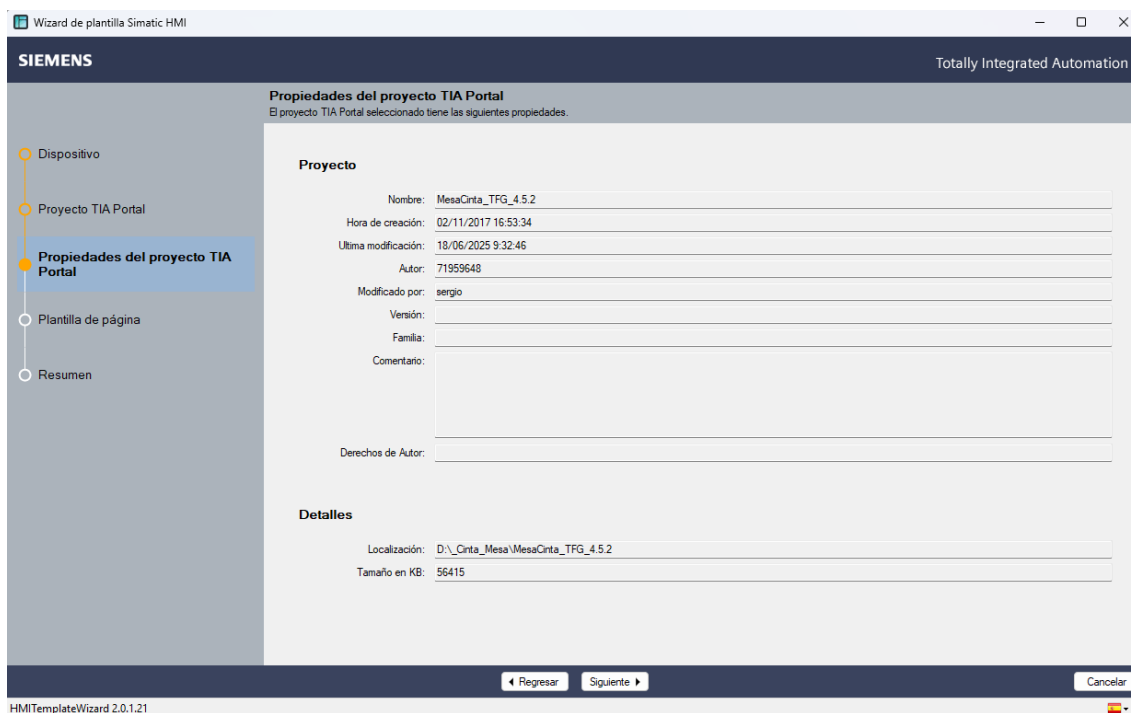


FIGURA 39: RESUMEN DE PROPIEDADES DEL PROYECTO AL QUE SE ACCEDE EN "HMI TEMPLATE SUITE"

Ahora se pide que se seleccione las opciones y pantallas que van a añadirse a la plantilla que se va a crear (Figura 40).

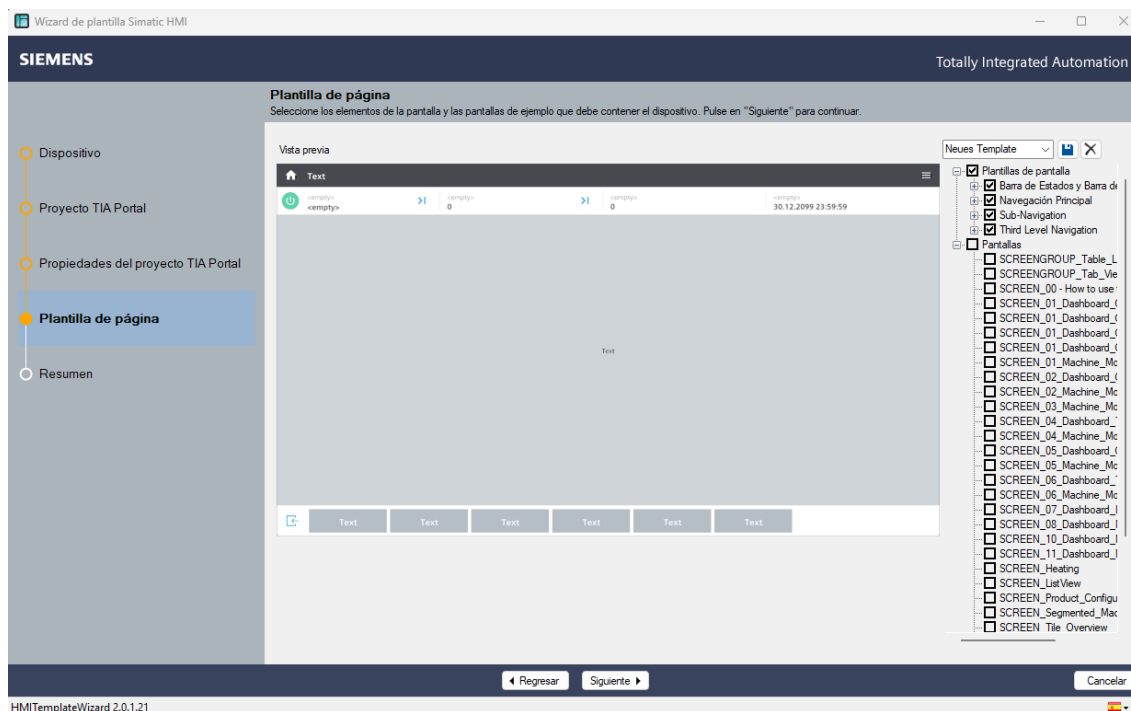


FIGURA 40: SELECCIÓN DE OPCIONES Y PANTALLAS DE LA PLANTILLA EN "HMI TEMPLATE SUITE"

Por último, se muestra un resumen de la configuración hecha (Figura 41). Se pulsa en terminar y se añadirá en el proyecto de TIA Portal escogido, el HMI con las pantallas y la navegación elegidas.

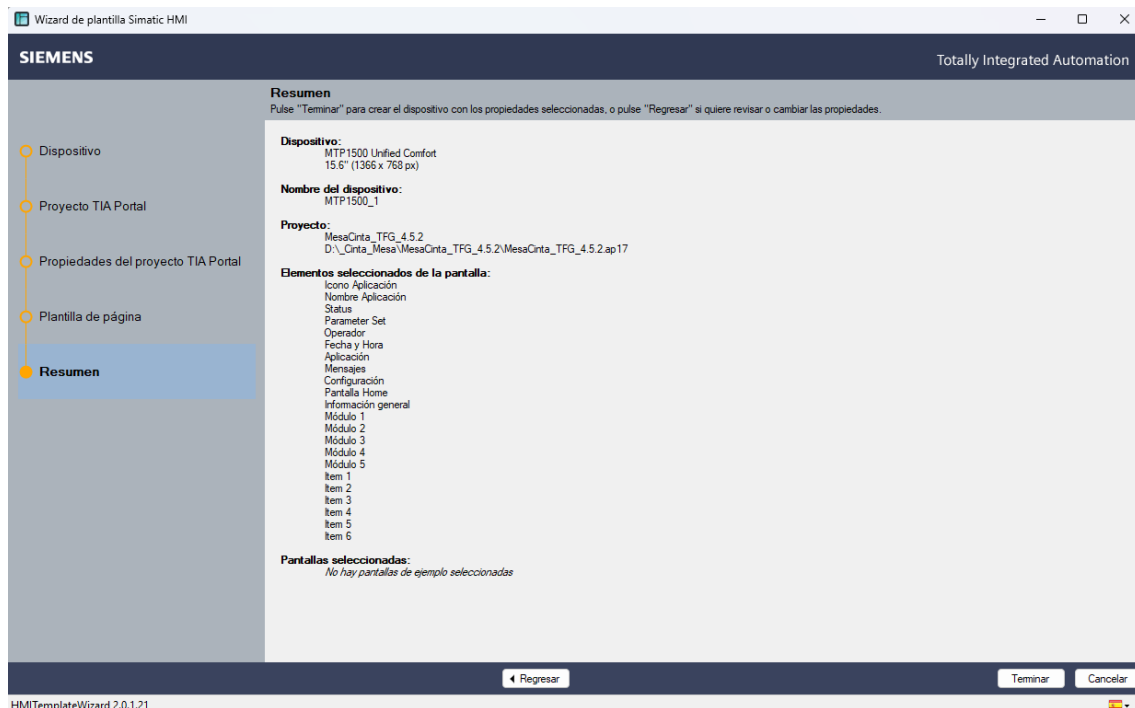


FIGURA 41: RESUMEN DE LA CONFIGURACIÓN HECHA EN "HMI TEMPLATE SUITE"

4.2.2. Conexión entre HMI y PLC

Para que el HMI y el PLC se comuniquen correctamente, es necesario establecer una conexión en el programa de TIA Portal. La forma más fácil y rápida de hacerlo es yendo a la ventana de dispositivos y redes, accesible desde el árbol del proyecto, y buscar la pestaña de "vista de redes". Una vez ahí, se debe seleccionar la opción de "conexiones" y elegir "conexión HMI". Hecho esto, solo queda hacer "clic" y arrastrar para unir los puertos ethernet utilizados de HMI y del PLC (Figura 42), en ambos casos se utiliza el puerto "X1 P1" correspondiente. Esta conexión se realiza a través de la subred "PN/IE_1". El PLC cuenta con la dirección IP "157.88.201.192", la máscara de subred es "255.255.255.0", y al estar conectado a la red del laboratorio, la dirección del router es "157.88.201.254". El HMI cuenta con la dirección IP "157.88.201.191" y la máscara de subred "255.255.255.0".



FIGURA 42: REALIZAR CONEXIÓN ENTRE CPU Y HMI (VISTA DE REDES)

De esta forma se creará automáticamente la conexión entre ambos dispositivos (Figura 43).

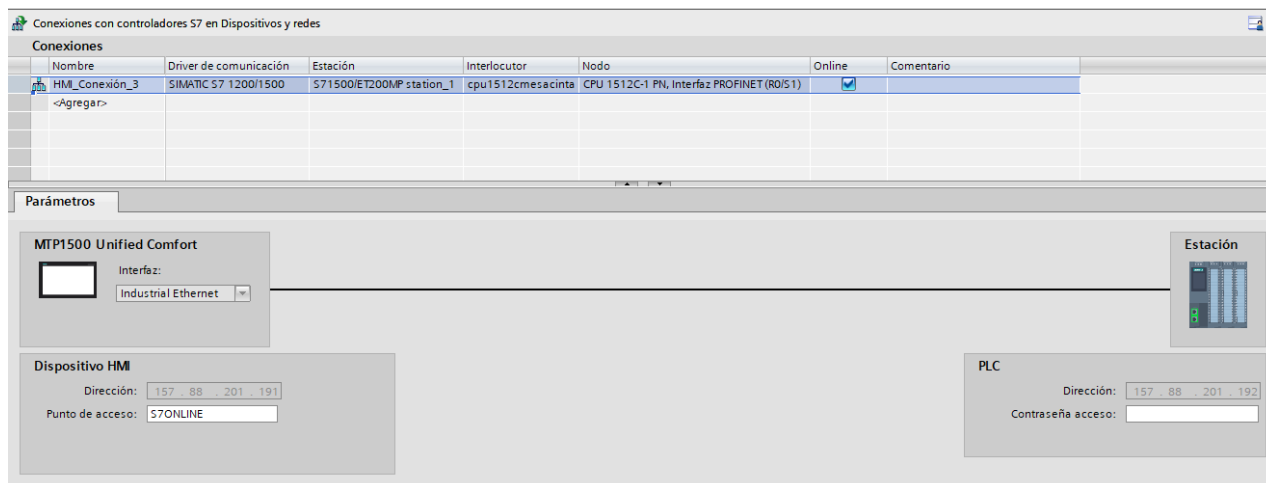


FIGURA 43: PARÁMETROS DE LA CONEXIÓN ENTRE CPU Y HMI

4.2.3. Pantallas del programa

El HMI del laboratorio está pensado para dar servicio a otros sistemas que se encuentran en él. Por esta razón, la primera pantalla que se ha creado es un pequeño menú desde el que poder elegir con que proyecto se quiere trabajar (Figura 44).

Como este proyecto solo se centra en la mesa y la cinta, las pantallas para el resto de los proyectos no se han programado.

Para el conjunto mesa-cinta, se han diseñado una serie de pantallas (Figura 45 y Figura 46), a través de las cuales se podrá controlar y visualizar el estado tanto de la cinta como de la mesa.

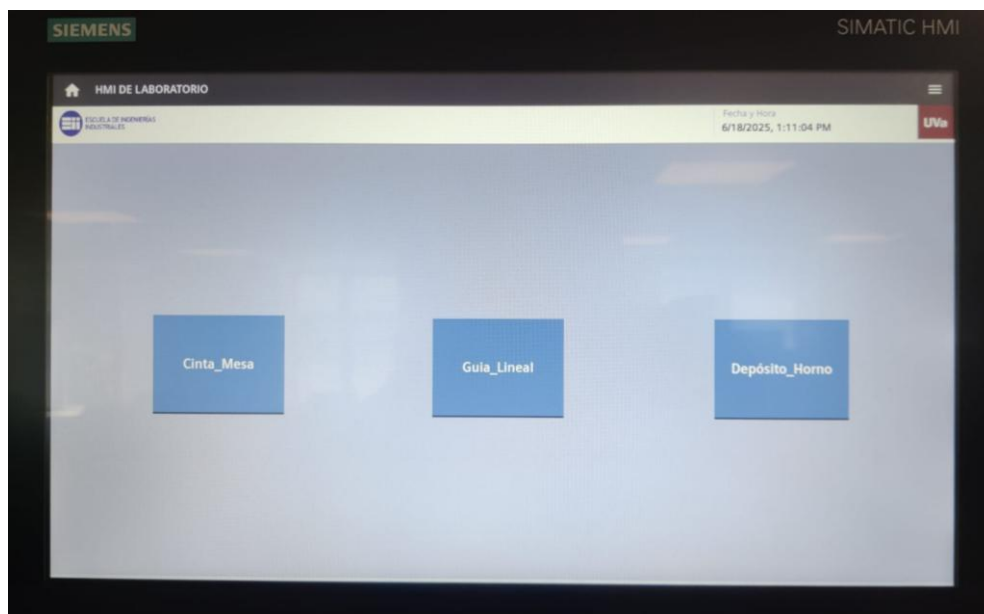


FIGURA 44: MENÚ PRINCIPAL DE HMI DE LABORATORIO

La pantalla se divide en dos zonas, una de visualización (a la derecha), en la que se muestra una simulación de la cinta y la mesa, y otra zona de control (a la izquierda), en la que se sitúan los botones.

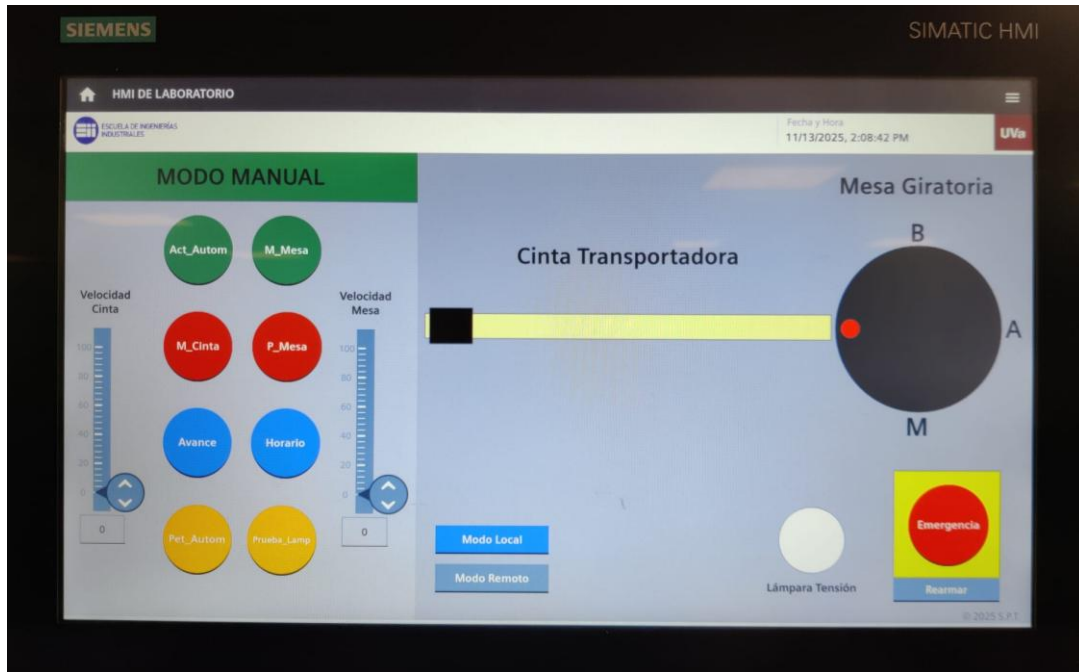


FIGURA 45: PANTALLA CONTROL MESA-CINTA EN MODO MANUAL

En la simulación de la cinta, se puede ver si la mesa se encuentra en uno de los dos extremos o si, por el contrario, está en el centro. Además, si está en movimiento, aparece una flecha que indica el sentido del mismo.

En cuanto a la simulación de la mesa, al contar esta con un encoder, se puede simular el movimiento completo. Además, cuando está girando, se muestran unas flechas en sentido horario o antihorario, dependiendo del sentido de giro, que acompañan el movimiento de la mesa.

En la zona de visualización, también se sitúan los botones de selección de modo local o remoto, el botón de emergencia junto a su rearme, y un indicador que muestra si hay tensión en el armario.

En la zona izquierda de la pantalla, en la parte de control, se sitúa la botonera con la que se podrá controlar el conjunto. Esta parte cambiará de aspecto, mostrando una serie de funciones u otras, dependiendo si se está trabajando en modo manual o automático.

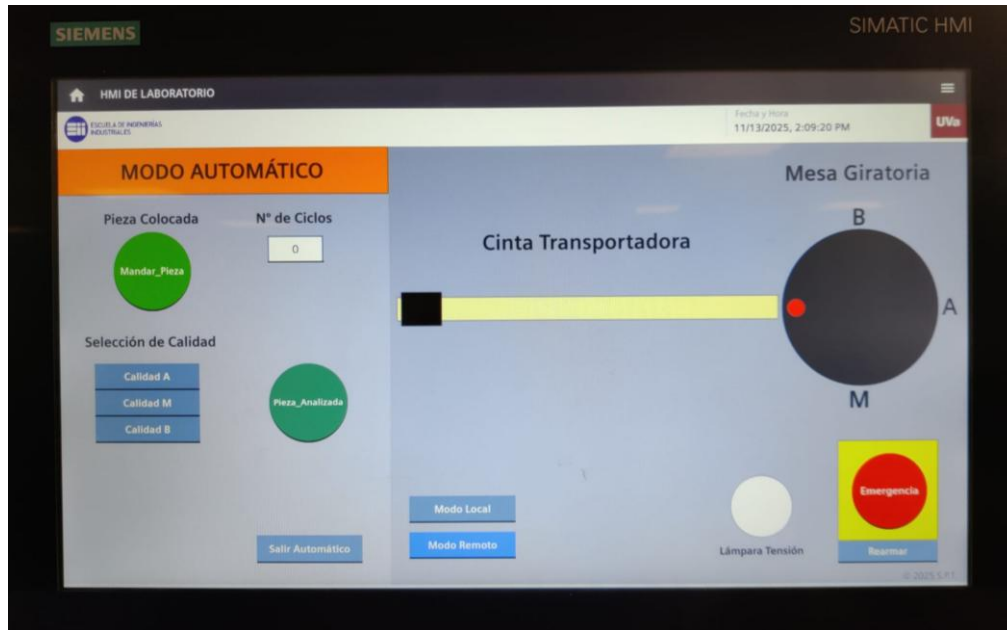


FIGURA 46: PANTALLA CONTROL MESA-CINTA EN MODO AUTOMÁTICO

Cuando se encuentra en modo de trabajo manual (Figura 45), la botonera que se muestra es equivalente a la del armario. Cuenta con un botón de marcha/paro de la cinta, un botón de marcha y otro de paro para la mesa, dos botones de inversión del giro de cinta y mesa, la petición del modo automático y la activación del mismo. También se ha incorporado unos controles deslizantes para controlar la velocidad de cinta y mesa.

Por otra parte, la zona de control cuando se trabaja en automático (Figura 46), cuenta con un botón de pieza colocada, tres botones para indicar la calidad de la pieza, y uno más para indicar que la pieza ya ha sido analizada. Se ha incluido también un contador en el que poder visualizar el número de ciclos que se han hecho en automático. Por último, cuenta con el botón para salir del modo automático.

5. Manual de usuarios

5.1. Cargar el proyecto en la CPU

Para cargar el proyecto en la CPU, lo primero será arrancar el programa TIA Portal, en este caso la versión v17, y seleccionar el proyecto deseado. Una vez abierto, para cargarlo en el PLC, se deberá seleccionar la CPU y hacer “clic” en el botón de “cargar en dispositivo”, situado en la barra de herramientas superior. Otra forma de hacerlo será haciendo “clic” derecho sobre la CPU en el árbol del proyecto y seleccionar “cargar en dispositivo” (Figura 47).

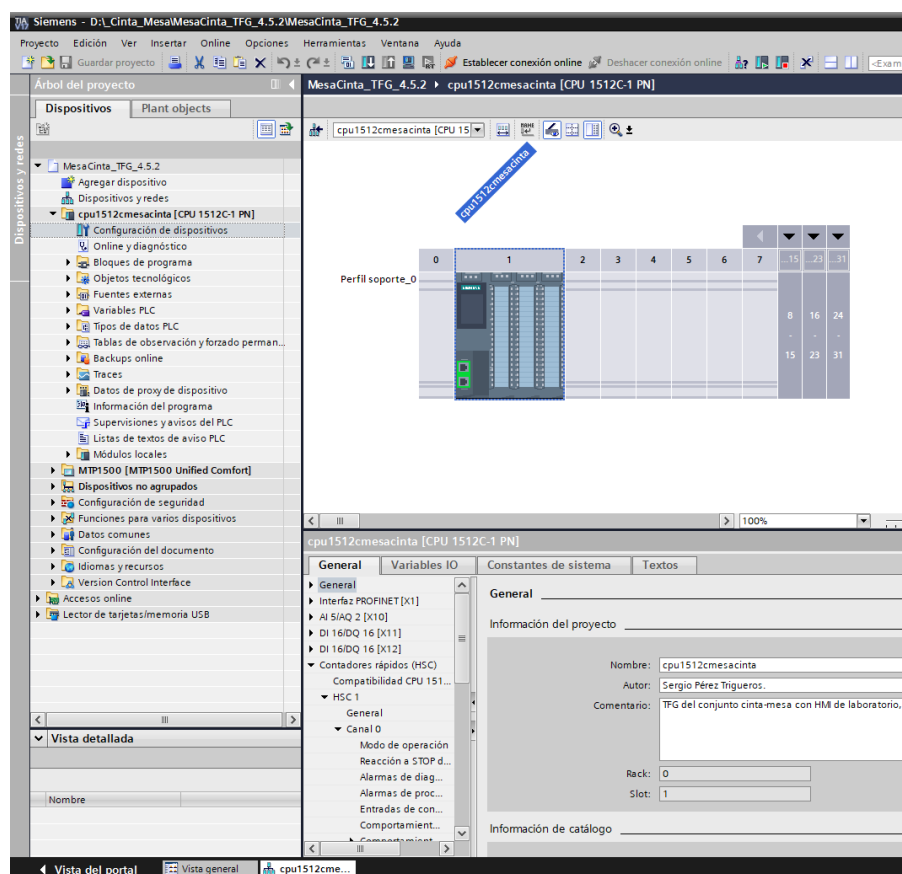


FIGURA 47: CARGAR PROGRAMA EN LA CPU

Realizado el paso anterior, aparecerá una ventana (Figura 48). En ella se buscarán los dispositivos compatibles y se seleccionará la CPU del proyecto, la CPU 1512C, asegurando que la IP utilizada en el proyecto se corresponde con la IP de destino. Acto seguido, se ha de seleccionar el botón de “cargar” y de este modo, se completaría la carga del proyecto en el PLC.

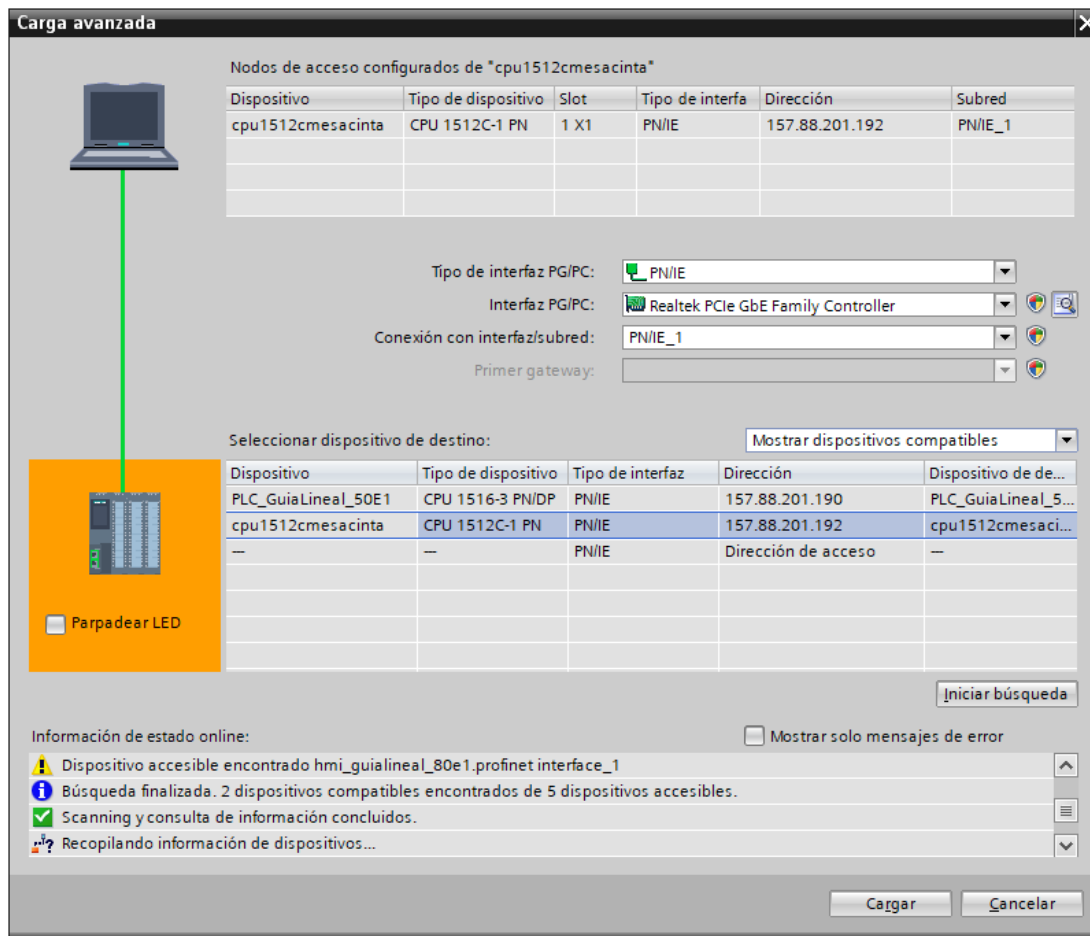


FIGURA 48: CONEXIÓN CON LA CPU PARA REALIZAR LA CARGA

5.2. Cargar el proyecto en el HMI

De forma similar a lo que se ha hecho para cargar el proyecto en la CPU, se hará para cargar el proyecto en el HMI.

Una vez arrancado el programa TIA Portal y abrir el proyecto correspondiente, teniendo seleccionado el HMI, se pulsa sobre el botón de “cargar en dispositivo” o se hace clic derecho sobre el HMI en el árbol del proyecto y se selecciona “cargar en dispositivo” (Figura 49).

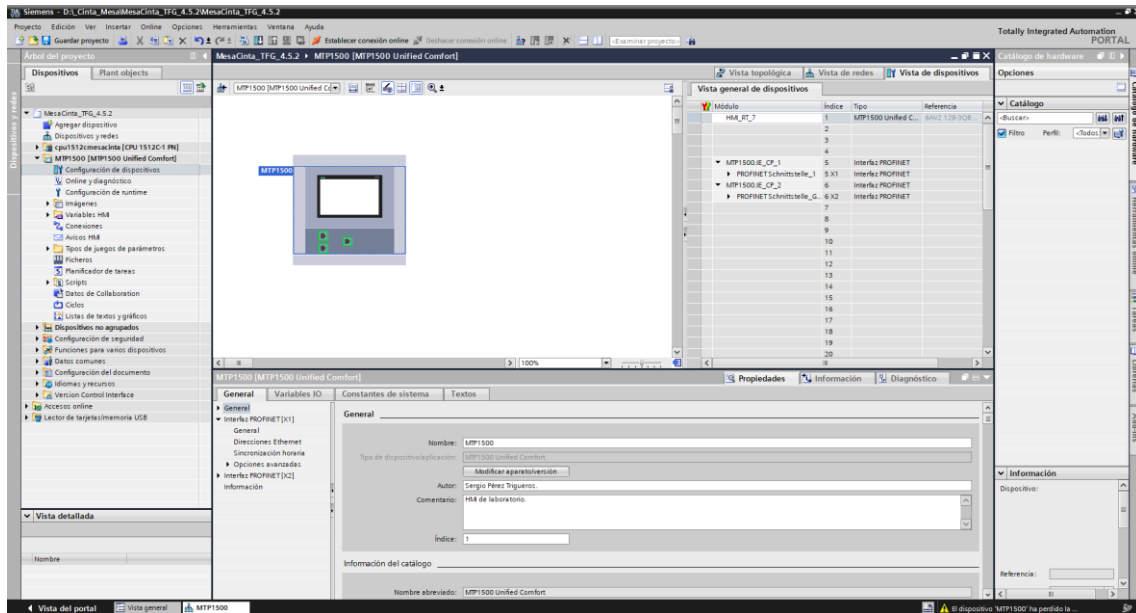


FIGURA 49: CARGAR PROGRAMA EN EL HMI

A continuación, aparecerá una ventana (Figura 50) desde la que se buscarán los dispositivos compatibles y se elegirá el dispositivo HMI, el MPT1500, asegurando que la IP utilizada corresponde con la de destino.

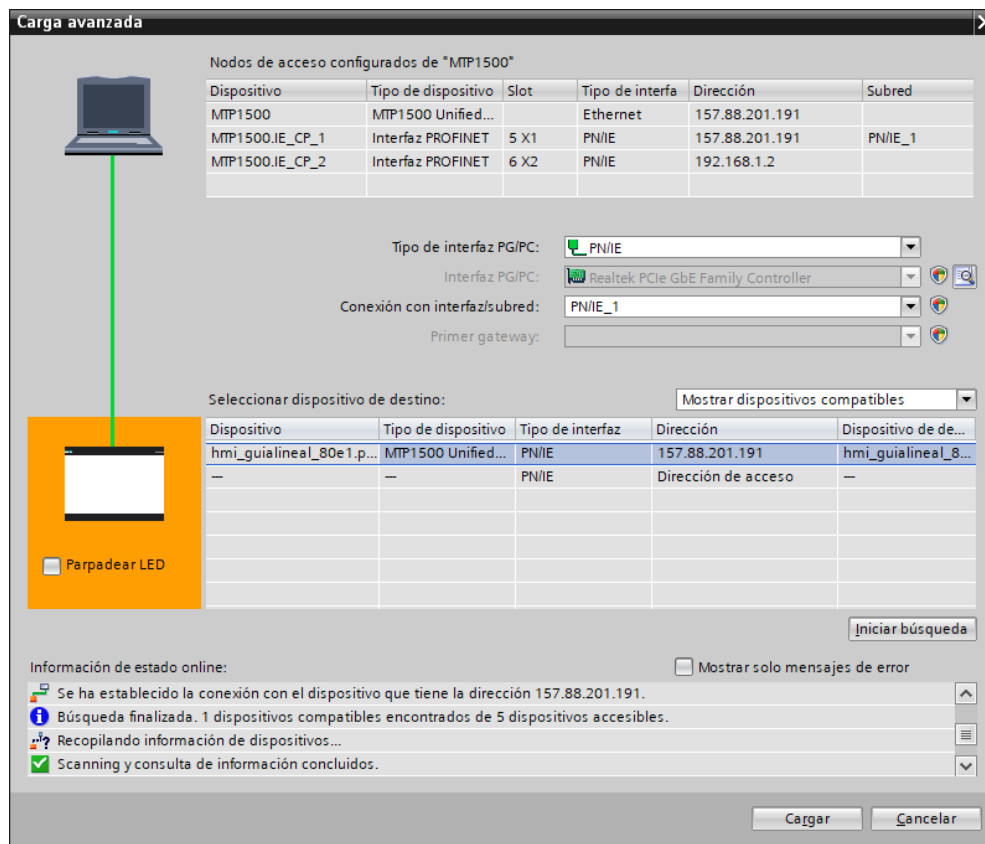


FIGURA 50: CONEXIÓN CON EL HMI PARA REALIZAR LA CARGA

Por último, saldrá una pantalla en la que habrá que elegir la opción de carga completa para cargar el “runtime” (Figura 51).

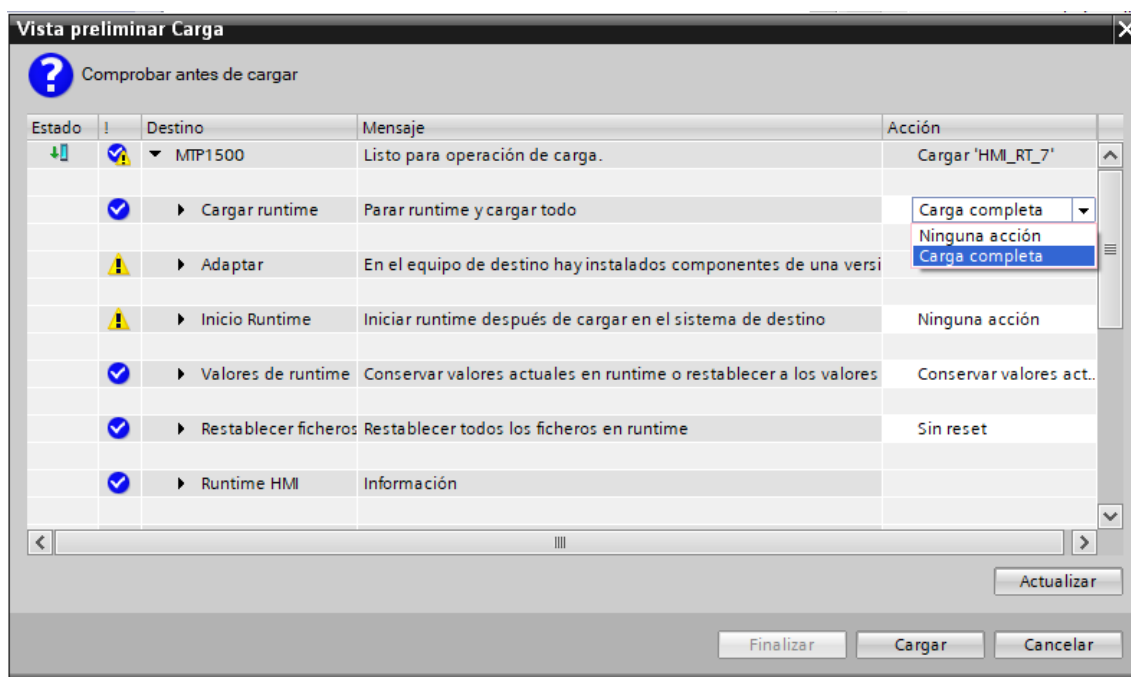


FIGURA 51: REALIZAR LA CARGA DEL PROGRAMA EN EL HMI

5.3. Modos de funcionamiento

El sistema cuenta con dos modos de funcionamiento, un modo manual y un modo automático.

El manual es el modo por defecto. Se establece de forma automática cuando se arranca el PLC y pasa a estar en “RUN”, después de rearmar una emergencia o al pasar de control local a remoto (control desde el armario o el HMI respetivamente).

Cabe añadir que, si hay una emergencia activada, ya sea desde la seta de emergencia o desde el botón emergencia del HMI, el movimiento del conjunto mesa-cinta quedará inhabilitado hasta que se haya solucionado y rearmado.

5.3.1. Modo manual

La característica principal de este modo es que permite el movimiento libre, tanto de la cinta como de la mesa, a voluntad del usuario.

La cinta (Figura 52) se puede desplazar a izquierda o derecha, siempre dentro de los límites de funcionamiento marcados por los finales de carrera. Cuando la cinta llega a uno de los extremos, esta se detiene y se activa el movimiento en sentido contrario, de forma que si se da marcha de nuevo lo haga hacia el

otro lado. Este movimiento se controla a través de un pulsador marcha/paro y otro de cambio de sentido.

La mesa (Figura 53) se puede hacer rotar en sentido horario o antihorario. En este caso, la mesa puede girar libremente hasta que se ordene su detención, ya que no cuenta con ningún tope que limite su movimiento. Este movimiento se controla a través de un pulsador de marcha, uno de paro y otro de cambio de sentido.

Como añadido a este modo, realizando el control desde el HMI se ha incorporado el control de la velocidad de ambos elementos móviles a través de unos controles deslizantes.

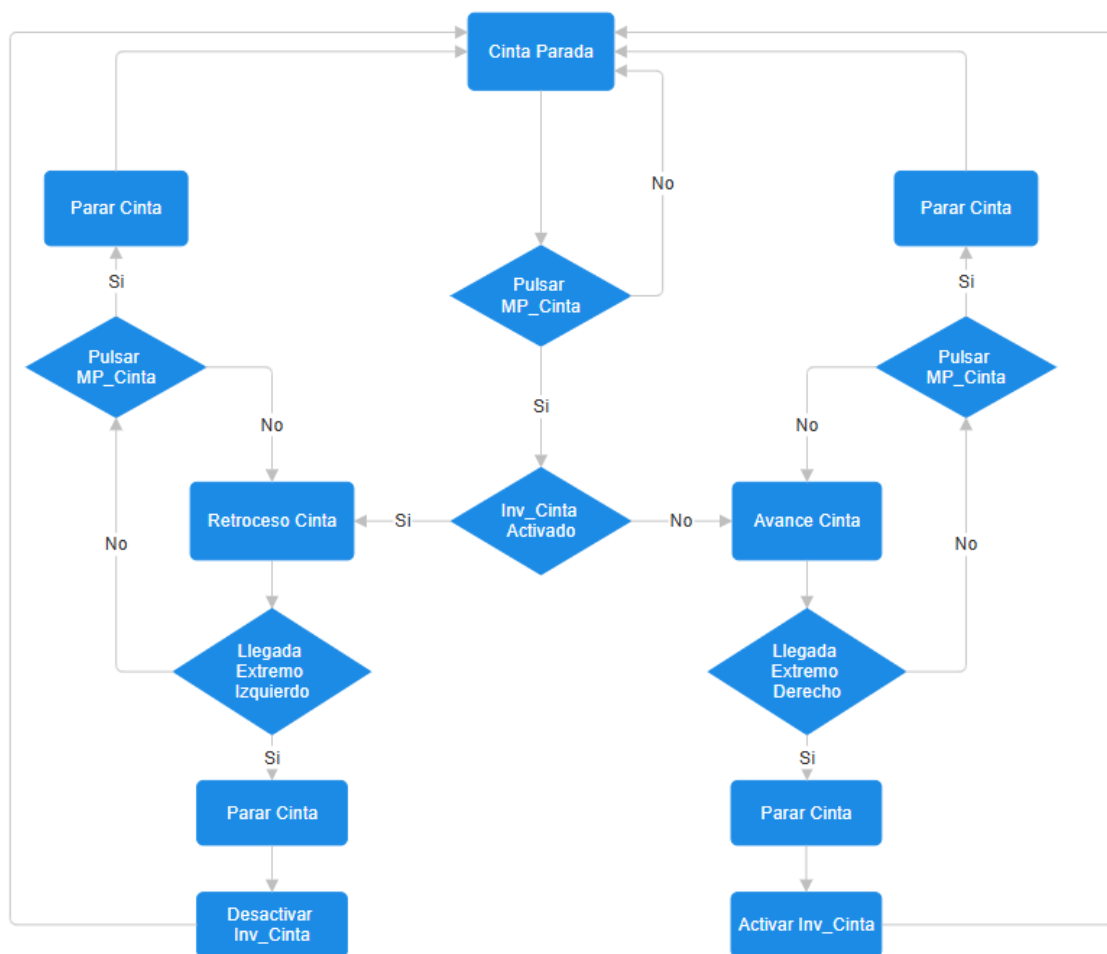


FIGURA 52: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CINTA EN MODO MANUAL

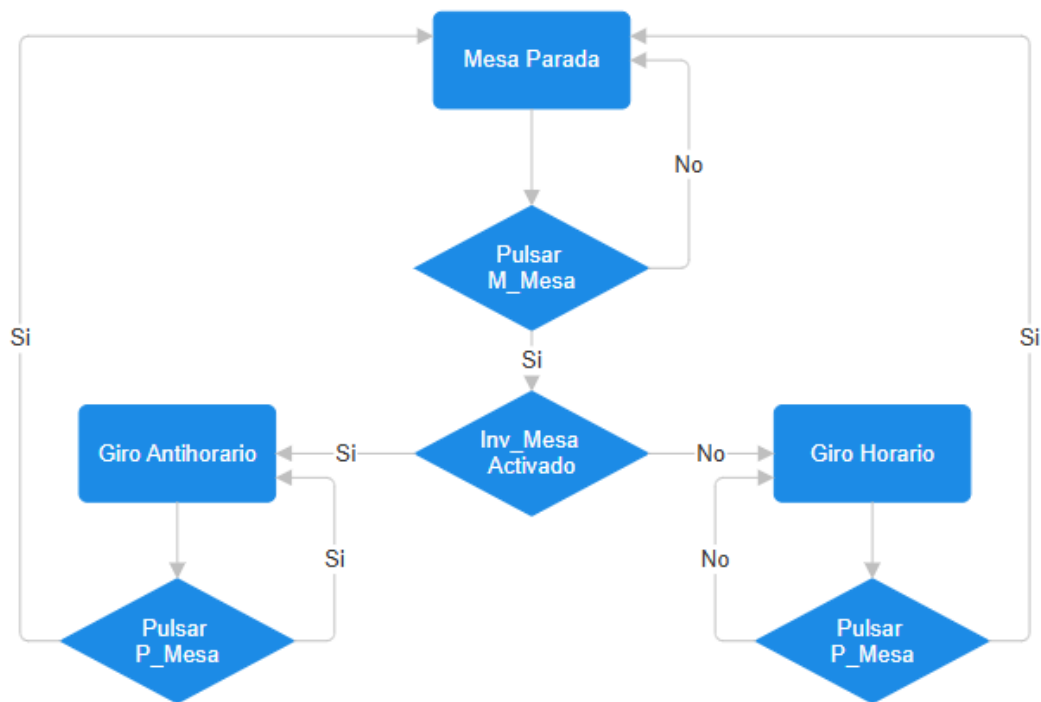


FIGURA 53: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA MESA EN MODO MANUAL

5.3.2. Modo automático

El modo automático programado, corresponde al de un sistema de control de calidad con visión artificial (no implementado), que recibe las piezas en la cinta y las lleva al puesto de control, donde detecta si la calidad es baja, media o alta, y las evacua por la zona asignada.

Para utilizar a este modo de funcionamiento se debe realizar la petición a través de pulsador correspondiente. Una vez evaluado y siendo viable, hay que activar el modo automático mediante otro pulsador. Al estar activado, la cinta y la mesa buscarán su posición inicial, la cinta mediante el final de carrera en el lado del armario y la mesa a través del sensor inductivo.

Una vez situados, el sistema se queda a la espera de la llegada de una pieza. Esta detección se va a simular a través de un pulsador. Cuando se detecta la pieza (accionando el pulsador), la cinta se pondrá en movimiento hacia el extremo contrario, al lado de la mesa.

Al llegar al otro extremo, se detectará la calidad de la pieza, pudiendo ser alta, media o baja. Esto se simulará introduciendo la calidad de forma manual mediante de las diferentes combinaciones de dos pulsadores (en modo local) (Tabla 1) o bien seleccionándola directamente en el HMI (en modo remoto).

C.Calidad	Calidad 1	Calidad 2
Baja	0	1
Media	1	0
Alta	1	1

TABLA 1: CODIFICACIÓN DE LAS SEÑALES DE CONTROL DE CALIDAD DE LAS PIEZAS

Una vez introducida la calidad y la pieza haya sido analizada (pulsando el botón de pieza analizada), la mesa se pone en movimiento hasta a la posición deseada gracias al encoder, siendo esta posición 180° para la calidad alta, 90° en sentido antihorario para la calidad media y 90° en sentido horario para la calidad baja.

Cuando se ha alcanzado la posición, la mesa se detiene durante unos segundos (tiempo que simula la expulsión de la pieza) y vuelve a la posición inicial. Mientras tanto, la cinta también vuelve a la posición inicial a la vez que la mesa.

Este proceso se repetirá de forma indefinida o hasta que se desee salir del modo automático. Esto es, pulsando el botón “Salir Automático” desde el HMI o activando los pulsadores “SalirAutom1” y “SalirAutom2” simultáneamente desde el armario.

Es necesario recalcar que, al entrar en modo automático, la velocidad de la cinta y de la mesa se ajustan automáticamente a una ya fijada previamente para evitar problemas en el funcionamiento.

A continuación, se mostrará un diagrama de secuencia del funcionamiento en modo automático (Figura 54).

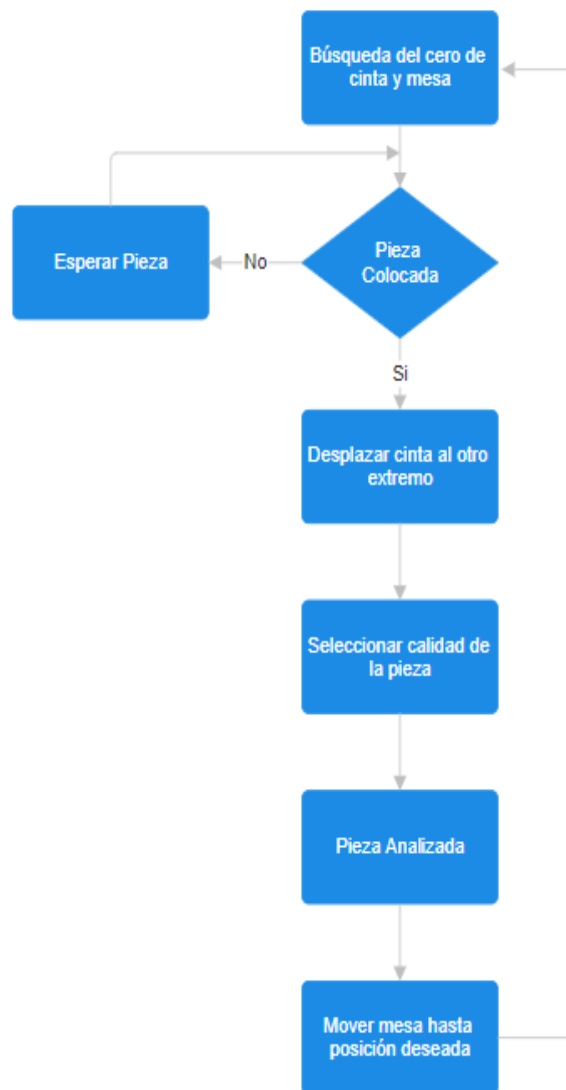


FIGURA 54: DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO EN MODO AUTOMÁTICO

5.4. Controles

El control del conjunto guía lineal-mesa circular, se puede llevar a cabo a través de la botonera situada en el armario (modo local) o a través de la pantalla del HMI del laboratorio (modo remoto).

Para realizar el control correctamente, debe seleccionarse primero el modo correspondiente, ya que el sistema sólo responderá ante las instrucciones aportadas por uno de los dos puntos de control (armario o HMI). En caso de querer cambiar de modo, este se realizará por lo general desde el HMI, y cuando se lleve a cabo, el sistema se llevará a modo manual independientemente del modo en el que se encontrara en ese momento. Por si hubiera algún fallo en el HMI, para poder realizar el control desde el armario, se ha implementado en este la opción de entrar en modo local a través de una combinación con los pulsadores.

5.4.1. Modo Local

Este modo se refiere al manejo y control desde la botonera instalada en el propio armario (Figura 55). Al entrar en este modo, el control de velocidad queda desactivado y la cinta y la mesa se moverán a una velocidad previamente fijada. No todos los pulsadores sirven para la misma función, dependiendo de si se trabaja en modo manual (Tabla 3) o automático (Tabla 4). Por ello se indicará la función que realiza cada uno dependiendo del modo en que se encuentre. Además, se trata de pulsadores luminosos, por lo que cumplen también una función de señalización (Tabla 2).



FIGURA 55: FRONTAL DEL ARMARIO CON BOTONERA ROTULADA

PULSADOR	SEÑALIZACIÓN	FUNCIÓN
Act Autom	Encendida	Funcionamiento en modo manual
	Apagada	Funcionamiento en modo automático
MP Cinta	Encendida	La mesa de la cinta está pisando un final de carrera, por lo tanto, situada en uno de los extremos
	Apagada	La mesa de la cinta no está pisando ningún final de carrera, por lo tanto, situada en el medio
Inv Cinta	Encendida	El movimiento de la cinta será de retroceso
	Apagada	El movimiento de la cinta será de avance
Pet Autom	Encendida	Funcionamiento en modo automático
	Apagada	Funcionamiento en modo manual
M Mesa	Encendida intermitente	Petición de modo automático realizada, pendiente de confirmación
	Encendida fija	Funcionamiento en modo automático confirmado
P Mesa	Encendida intermitente	En estado de emergencia
	Apagada	No hay emergencia
Inv Mesa	Encendida	El giro de la mesa será en sentido antihorario
	Apagada	El giro de la mesa será en sentido horario
Prueba Lamp	Encendida	Función de prueba lampara activada
	Apagada	Función de prueba lampara desactivada

TABLA 2: SEÑALIZACIÓN LUMINOSA DE LOS PULSADORES

5.4.1.1. Modo manual

El funcionamiento de los elementos de la botonera del armario en modo manual es el siguientes:

PULSADOR	FUNCIÓN
Seta_Emerg	En caso de emergencia, para todos los procesos de manera inmediata, deteniendo el movimiento. Al rearmar la emergencia se establece de nuevo el modo manual independientemente del modo en que se encontrara previamente.
MP Cinta	Activar o desactivar el movimiento de la cinta en función de si está parada o en movimiento respectivamente.
Inv Cinta	Activar o desactivar la inversión de movimiento de la cinta, para que esta se mueva hacia la derecha (desactivado) o hacia la izquierda (activado).
M Mesa	Activar el movimiento de la mesa cuando esta está parada.
P Mesa	Desactivar el movimiento de la mesa cuando esta está en movimiento.
Inv Mesa	Activar o desactivar la inversión de movimiento de la mesa, para que esta se mueva en sentido horario (desactivado) o en sentido antihorario (activado).
Pet Autom	Petición para entrar en modo de funcionamiento automático, pero no se entrará en este modo hasta que sea confirmado.
Act Autom	Activar el modo automático después de haber realizado la petición.
Prueba Lamp	Encender las lámparas de todos los pulsadores y comprobar que la señalización está operativa.
P Mesa + Prueba Lamp	Entrar en modo local para el control desde el armario si se estaba en modo remoto.
Selector Aux	Selector de la maniobra de seguridad auxiliar, a través del cual se indicará en qué sentido se desea mover la cinta.
Activar Aux	Mientras se mantiene pulsado, se activa el movimiento de la cinta en el sentido indicado con el "Selector Aux". Este movimiento se ordena a través de la maniobra de seguridad auxiliar, por lo que tiene prioridad frente al indicado por la CPU.

TABLA 3: FUNCIONAMIENTO DE LA BOTONERA DEL ARMARIO EN MODO MANUAL

5.4.1.2. Modo automático

El funcionamiento de los elementos de la botonera del armario en modo manual es el siguientes:

PULSADOR	FUNCIÓN
Seta_Emerg	En caso de emergencia, para todos los procesos de manera inmediata, deteniendo el movimiento. Al rearmar la emergencia se establece de nuevo el modo manual independientemente del modo en que se encontrara previamente.
Mandar Pieza	Simulación de la detección de la llegada de una pieza al inicio de la cinta para que inicie el movimiento.
Calidad 1	Junto a “Calidad_2”, pulsadores que sirven para simular la detección de calidad de las piezas. Esta será identificada según se muestra en la <i>tabla1</i> . Es necesario mantener los pulsadores presionados por al menos 1s para la correcta identificación de la calidad.
Calidad 2	Junto a “Calidad_1”, pulsadores que sirven para simular la detección de calidad de las piezas. Esta será identificada según se muestra en la <i>tabla1</i> . Es necesario mantener los pulsadores presionados por al menos 1s para la correcta identificación de la calidad.
Pieza Analizada	Presionado mientras se mantienen los pulsadores de calidad, indica que la pieza ya ha sido analizada para su posterior clasificación con la mesa.
SalirAutom 1	Junto a “SalirAutom 2”, si son pulsados a la vez, se sale del modo automático para volver de nuevo al modo manual.
SalirAutom 2	Junto a “SalirAutom 1”, si son pulsados a la vez, se sale del modo automático para volver de nuevo al modo manual.
Selector Aux	Selector de la maniobra de seguridad auxiliar, a través del cual se indicará en qué sentido se desea mover la cinta.
Activar Aux	Mientras se mantiene pulsado, se activa el movimiento de la cinta en el sentido indicado con el “Selector Aux”. Este movimiento se ordena a través de la maniobra de seguridad auxiliar, por lo que tiene prioridad frente al indicado por la CPU.

TABLA 4: FUNCIONAMIENTO DE LA BOTONERA DEL ARMARIO EN MODO AUTOMÁTICO

5.4.2. Modo Remoto

Este modo hace referencia al control a través del HMI del laboratorio (Figura 45 y Figura 46). Las funcionalidades y el modo en que trabajan la mesa y la cinta es igual que en el modo local, con la única diferencia de que, para el modo

remoto y con control manual, se ha añadido el control de velocidad para la mesa y la cinta. También incorpora los botones para cambiar entre modo manual y remoto. A continuación, se mostrará la función que cumple cada botón dentro de cada modo de trabajo (Tabla 5 y Tabla 6).

5.4.2.1. Modo manual

BOTÓN HMI	FUNCIÓN
Emergencia	En caso de emergencia, para todos los procesos de manera inmediata, deteniendo el movimiento. Al rearmar la emergencia se establece de nuevo el modo manual independientemente del modo en que se encontrara previamente.
Rearmar	Sirve para rearmar la emergencia.
M/P_Cinta	Activar o desactivar el movimiento de la cinta en función de si está parada o en movimiento respectivamente.
Avance/Retroceso	Activar o desactivar la inversión de movimiento de la cinta, para que esta se mueva hacia la derecha (desactivado) o hacia la izquierda (activado).
M_Mesa	Activar el movimiento de la mesa cuando esta está parada.
P_Mesa	Desactivar el movimiento de la mesa cuando esta está en movimiento.
Horario/Antihorario	Activar o desactivar la inversión de movimiento de la mesa, para que esta se mueva en sentido horario (desactivado) o en sentido antihorario (activado).
Pet_Autom	Petición para entrar en modo de funcionamiento automático, pero no se entrará en este modo hasta que sea confirmado.
Act_Autom	Activar el modo automático después de haber realizado la petición.
Modo Local	Entrar en modo local para el control desde el armario si se estaba en modo remoto.
Modo Remoto	Entrar en modo Remoto para el control desde el HMI si se estaba en modo local.
Prueba_Lamp	Encender las lámparas de todos los pulsadores del armario y comprobar que la señalización está operativa.

TABLA 5: FUNCIONAMIENTO DE LA BOTONERA DEL HMI EN MODO MANUAL

Trabajando en modo manual desde el HMI se puede controlar la velocidad de la cinta y de la mesa mediante dos controles deslizantes (pueden apreciarse en la Figura 45). La velocidad máxima de los dos elementos está limitada desde sus respectivos variadores para evitar problemas mayores.

5.4.2.2. Modo automático

BOTÓN HMI	FUNCIÓN
Emergencia	En caso de emergencia, para todos los procesos de manera inmediata, deteniendo el movimiento. Al rearmar la emergencia se establece de nuevo el modo manual independientemente del modo en que se encontrara previamente.
Rearmar	Sirve para rearmar la emergencia.
Mandar_Pieza	Simulación de la detección de la llegada de una pieza al inicio de la cinta para que inicie el movimiento.
Calidad A	Simula la detección de una pieza de clase alta para su clasificación.
Calidad M	Simula la detección de una pieza de clase media para su clasificación.
Calidad B	Simula la detección de una pieza de clase baja para su clasificación.
Pieza_Analizada	Indica que la pieza ya ha sido analizada para su posterior clasificación con la mesa.
Salir Automático	Sale del modo automático para volver de nuevo al modo manual.
Modo Local	Entrar en modo local para el control desde el armario si se estaba en modo remoto.
Modo Remoto	Entrar en modo Remoto para el control desde el HMI si se estaba en modo local.

TABLA 6: FUNCIONAMIENTO DE LA BOTONERA DEL HMI EN MODO AUTOMÁTICO



6. Conclusiones

Revisando los objetivos definidos al principio de este trabajo de fin de grado, se puede afirmar que se han cumplido satisfactoriamente dado que:

- Se sustituyó la antigua CPU 1511 por una CPU 1512c, incorporando con este la utilización del encoder de la mesa circular gracias a que cuenta con entradas de conteo rápido.
- Se implementaron dos modos de operación, uno manual y otro automático, para el control del conjunto mesa-cinta.
- Se integró una maniobra de seguridad auxiliar sin la utilización del PLC, que permite evitar un movimiento descontrolado de la cinta, así como poder realizar el movimiento de la misma a izquierda o derecha.
- El anterior HMI fue retirado, dejando cegado el hueco que quedaba en el frontal del armario.
- Se desarrolló un nuevo programa para el HMI de laboratorio, que permite la visualización del movimiento y estado de la cinta y la mesa, así como un control en modo remoto pudiendo adicionalmente modificar la velocidad tanto de la cinta como de la mesa gracias a las salidas analógicas del PLC.

La realización de este trabajo me ha servido para poder poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera. Me ha hecho darme cuenta de que, el haber superado todas las asignaturas no te proporciona todos los conocimientos, sino una base a partir de la cual ser capaz por uno mismo de investigar, buscar y poder realizar los objetivos que te propongas. También me ha dado la posibilidad de utilizar elementos que hasta ahora solo había visto de forma teórica y con los que no había tenido la oportunidad de trabajar, como puede ser la programación de un HMI.

Otra de las cosas de las que me ha hecho darme cuenta este trabajo, es la importancia de dejar todo bien documentado y de la mejor forma posible para que, en caso de que otra persona vaya a utilizar nuestro trabajo en un futuro no tenga problemas a la hora de entender como está realizado y su funcionamiento.

Uno de los principales motivos para la elección de este TFG es que, durante mi periodo de prácticas en la empresa INGEMOV S.L.L. [22], gran parte de las tareas que realicé fueron relacionadas con los PLCs, la automatización y también pude ver algo sobre los armarios eléctricos en alguno de los proyectos que estaban llevando a cabo en ese momento. Ya que me llamó la atención, decidí preguntarle a mi tutor Alfonso si me podía proponer algún TFG relacionado con este tema. Y una vez terminado el proyecto, puedo ratificar que

la automatización es una de las ramas de la ingeniería, y relacionadas con el grado de ingeniería en electrónica industrial y automática, que más me gusta.

7. Líneas futuras

Con la finalización de este TFG, surgen posibles líneas futuras que podrían ser objeto de nuevos TFGs, que mejorarían su funcionamiento como son:

- Añadir un sistema de control de calidad mediante visión artificial e integrar con el control de los movimientos.
- Añadir un sistema de evacuación de piezas para la mesa giratoria, así como un sistema de transferencia de la mesa de la cinta a la mesa giratoria.
- Añadir detectores de presencia de piezas en la mesa de la cinta.

Igualmente, existe en estos momentos una línea de mejora que está relacionada con dos proyectos académicos, y es la de integrar en un solo proyecto de TIA Portal los diferentes HMIs de los trabajos realizados en el laboratorio 1115 del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, a saber:

- Sistema clasificador de piezas por peso mediante guía lineal.
- Control y supervisión de dos sistemas, depósito y horno, utilizando la misma CPU que la guía lineal a través de PROFIBUS.
- Sistema cinta-mesa objeto del presente TFG.

8. Bibliografía

- [1] Brolla, «brollafactory.com,» [En línea]. Available: <https://brollafactory.com/es/blog/automatizacion-industrial-que-es-y-sus-caracteristicas/>. [Último acceso: 10 Junio 2025].
- [2] RS, «es.rs-online.com,» [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/content/blog-rs/ideas-consejos/guia-plc>. [Último acceso: 10 Junio 2025].
- [3] aula21, «www.cursosaula21.com,» [En línea]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-hmi/>. [Último acceso: 10 Junio 2025].
- [4] G. Sánchez Fernández, «Diseño e implementación de la comunicación entre tres CPUs, para el control de dos sistemas móviles,» Valladolid, 2015. Available: https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991005349459705774. [Último acceso: 12 Noviembre 2025].
- [5] Siemens, «CPU 1512C-1 PN (6ES7512-1CK00-0AB0),» Septiembre 2016. [En línea]. Available: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109478676/s71500_cpu1512c_1_pn_manual_es-ES_es-ES.pdf. [Último acceso: 26 Junio 2025].
- [6] JTEKT Electronics India, «jtektele.in,» [En línea]. Available: <https://jtektele.in/Product/Incremental-Rotary-Encoder/TRD-GK100-RZ>. [Último acceso: 23 Septiembre 2025].
- [7] SIEMENS, «sieportal.siemens.com,» [En línea]. Available: <https://sieportal.siemens.com/es-es/products-services/detail/6AV21232DB030AX0?tree=CatalogTree>. [Último acceso: 26 Junio 2025].
- [8] Besturingen, «besturingen.com,» [En línea]. Available: https://besturingen.com/handleidingen/832766manual.pdf?srsId=AfmBOopvgptYf0JXmI2gSXnnwxOQZPu1wlsTqVvW2KVQvpMZlr_pr-e0. [Último acceso: 23 Septiembre 2025].
- [9] SIEMENS, «support.industry.siemens.com,» [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/1544976?pdtd=td&dl=en&lc=en-CR>. [Último acceso: 26 Junio 2025].
- [10] Maxodeals, «www.maxodeals.com,» [En línea]. Available: <https://www.maxodeals.com/es/3218178020h040006-sie>. [Último acceso: 26 Junio 2025].



- [11] Salesforce, «ckm-content.se.com,» [En línea]. Available: <https://ckm-content.se.com/ckmContent/sfc/servlet.shepherd/document/download/0698V00000noaGYQAY>. [Último acceso: 26 Junio 2025].
- [12] Schneider Electric, «www.se.com,» [En línea]. Available: <https://www.se.com/us/en/product/ATV16U09M2/altivar-atv16-230-v-0-37-kw-single-phase-ip-31/>. [Último acceso: 26 Junio 2025].
- [13] R. Gonzalez, «Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión),» Valladolid, 2025.
- [14] SIEMENS, «www.siemens.com,» [En línea]. Available: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/hmi-template-suite.html>. [Último acceso: 26 Junio 2025].
- [15] R. AS, «automatizacioncavanilles.blogspot.com,» 6 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://automatizacioncavanilles.blogspot.com/2021/12/hsc-siemens-1512c.html>. [Último acceso: 26 Junio 2025].
- [16] SIEMENS, «www.siemens.com,» [En línea]. Available: <https://www.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/hmi/wincc-unified.html#WinCCUnifiedCommunity>. [Último acceso: 23 Septiembre 2025].
- [17] OpenWebinars, «openwebinars.net,» [En línea]. Available: <https://openwebinars.net/blog/que-es-html5/>. [Último acceso: 23 Septiembre 2025].
- [18] S. J. Bustamante, «www.freecodecamp.org,» 18 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.freecodecamp.org/espanol/news/que-es-svg-explicacion-de-etiquetas-imagenes/>. [Último acceso: 23 Septiembre 2025].
- [19] MDN, «developer.mozilla.org,» [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>. [Último acceso: 23 Septiembre 2025].
- [20] PAESSLER, «www.paessler.com,» [En línea]. Available: <https://www.paessler.com/es/it-explained/opc-ua>. [Último acceso: 23 Septiembre 2025].
- [21] MQTT, «mqtt.org,» [En línea]. Available: <https://mqtt.org/>. [Último acceso: 23 Septiembre 2025].
- [22] Ingemov, «ingemov.es,» [En línea]. Available: <https://ingemov.es/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2025].





ANEXOS

ANEXO 1. Configuración manual del HSC

La configuración manual del HSC es la forma más laboriosa y complicada de realizar, ya que consiste en manejar los contadores rápidos a través de una serie de bytes del área de entradas y salidas que permiten el control modificando una serie de bits o palabras de control y estado.

La asignación de entradas y salidas es de, 16 bytes para el área de entradas (Figura 57) y 12 bytes para el área de salidas (Figura 58). En este caso al utilizar el HSC1, las entradas van del byte 16 al 31 y las salidas del byte 10 al 21 (Figura 56).

Vista general de dispositivos								
	Módulo	Rack	Slot	Dirección I	Dirección S	Tipo	Referencia	Firmware
	cpu1512cmesacinta	0	1			CPU 1512C-1 PN	6ES7 512-1CK00-0AB0	V1.8
	AI 5/AQ 2_1	0	1 8	2...11	2...5	AI 5/AQ 2		
	DI 16/DQ 16_1	0	1 9	12...13	6...7	DI 16/DQ 16		
	DI 16/DQ 16_2	0	1 10	14...15	8...9	DI 16/DQ 16		
	HSC_1	0	1 16	16...31	10...21	HSC		
	HSC_2	0	1 17	32...47	22...33	HSC		
	HSC_3	0	1 18	48...63	34...45	HSC		
	HSC_4	0	1 19	64...79	46...57	HSC		
	HSC_5	0	1 20	80...95	58...69	HSC		
	HSC_6	0	1 21	96...111	70...81	HSC		
	Interfaz PROFINET_1	0	1 X1			Interfaz PROFINET		

FIGURA 56: ASIGNACIÓN DE DIRECCIONES DE ENTRADA Y SALIDA DE LA CPU

Offset respecto a la dirección de inicio	Parámetro	Significado
Bytes 0 ... 3	COUNT VALUE	Valor de conteo actual
Bytes 4 ... 7	CAPTURED VALUE	Último valor de captura leído
Bytes 8 ... 11	MEASURED VALUE	Valor medido actual
Byte 12	–	Bits 3 a 7: reservado; ajustado a 0
	LD_ERROR	Bit 2: error al cargar a través de la interfaz de control
	ENC_ERROR	Bit 1: señal de encóder errónea
	POWER_ERROR	Bit 0: tensión de alimentación L+ incorrecta
Byte 13	–	Bits 6 a 7: reservado; ajustado a 0
	STS_SW_GATE	Bit 5: estado puerta SW
	STS_READY	Bit 4: periferia digital integrada arrancada y parametrizada
	LD_STS_SLOT_1	Bit 3: solicitud de carga para Slot 1 detectada y realizada (alternando)
	LD_STS_SLOT_0	Bit 2: solicitud de carga para slot 0 detectada y realizada (alternando)
	RES_EVENT_ACK	Bit 1: borrado en curso de los bits de evento
	–	Bit 0: reservado; ajustado a 0
Byte 14	STS_DI2	Bit 7: reservado; ajustado a 0
	STS_DI1	Bit 6: estado HSC DI1
	STS_DI0	Bit 5: estado HSC DI0
	STS_DQ1	Bit 4: estado HSC DQ1
	STS_DQ0	Bit 3: estado HSC DQ0
	STS_GATE	Bit 2: estado puerta interna
	STS_CNT	Bit 1: impulso de conteo leído en los últimos 0,5 s aprox.
	STS_DIR	Bit 0: sentido del último cambio del valor de conteo
Byte 15	STS_M_INTERVAL	Bit 7: impulso de conteo leído en el intervalo de medición anterior
	EVENT_CAP	Bit 6: aparecido evento de captura
	EVENT_SYNC	Bit 5: sincronización ocurrida
	EVENT_CMP1	Bit 4: aparecido evento de comparación para DQ1
	EVENT_CMP0	Bit 3: aparecido evento de comparación para DQ0
	EVENT_OFLW	Bit 2: aparecido rebase por exceso
	EVENT_UFLW	Bit 1: aparecido rebase por defecto
	EVENT_ZERO	Bit 0: paso por cero ocurrido

FIGURA 57: INTERFAZ DE CONTROL: ÁREA DE RESPUESTA HSC (16 BYTES ENTRADAS) [5]

Offset respecto a la dirección de inicio	Parámetro	Significado																																																												
Bytes 0 ... 3	Slot 0	Valor de carga (el significado del valor se especifica en LD_SLOT_0)																																																												
Bytes 4 ... 7	Slot 1	Valor de carga (el significado del valor se especifica en LD_SLOT_1)																																																												
Byte 8	LD_SLOT_0*	Especifica el significado del valor en Slot 0																																																												
		<table><tr><th>Bit 3</th><th>Bit 2</th><th>Bit 1</th><th>Bit 0</th><th></th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>Ninguna acción, reposo</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>Cargar valor de conteo</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>Reservado</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>Cargar valor de arranque</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Cargar valor de referencia 0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>Cargar valor de referencia 1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>Cargar límite de conteo inferior</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>Cargar límite de conteo superior</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>Reservado</td></tr><tr><td colspan="4">a</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td></tr></table>	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0		0	0	0	0	Ninguna acción, reposo	0	0	0	1	Cargar valor de conteo	0	0	1	0	Reservado	0	0	1	1	Cargar valor de arranque	0	1	0	0	Cargar valor de referencia 0	0	1	0	1	Cargar valor de referencia 1	0	1	1	0	Cargar límite de conteo inferior	0	1	1	1	Cargar límite de conteo superior	1	0	0	0	Reservado	a					1	1	1	1	
		Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0																																																									
		0	0	0	0	Ninguna acción, reposo																																																								
		0	0	0	1	Cargar valor de conteo																																																								
		0	0	1	0	Reservado																																																								
		0	0	1	1	Cargar valor de arranque																																																								
		0	1	0	0	Cargar valor de referencia 0																																																								
		0	1	0	1	Cargar valor de referencia 1																																																								
		0	1	1	0	Cargar límite de conteo inferior																																																								
		0	1	1	1	Cargar límite de conteo superior																																																								
		1	0	0	0	Reservado																																																								
	a																																																													
	1	1	1	1																																																										
	LD_SLOT_1*	Especifica el significado del valor en Slot 1																																																												
		<table><tr><th>Bit 7</th><th>Bit 6</th><th>Bit 5</th><th>Bit 4</th><th></th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>Ninguna acción, reposo</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>Cargar valor de conteo</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>Reservado</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>Cargar valor de arranque</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Cargar valor de referencia 0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>Cargar valor de referencia 1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>Cargar límite de conteo inferior</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>Cargar límite de conteo superior</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>Reservado</td></tr><tr><td colspan="4">a</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td></tr></table>	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4		0	0	0	0	Ninguna acción, reposo	0	0	0	1	Cargar valor de conteo	0	0	1	0	Reservado	0	0	1	1	Cargar valor de arranque	0	1	0	0	Cargar valor de referencia 0	0	1	0	1	Cargar valor de referencia 1	0	1	1	0	Cargar límite de conteo inferior	0	1	1	1	Cargar límite de conteo superior	1	0	0	0	Reservado	a					1	1	1	1	
		Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4																																																									
		0	0	0	0	Ninguna acción, reposo																																																								
		0	0	0	1	Cargar valor de conteo																																																								
		0	0	1	0	Reservado																																																								
		0	0	1	1	Cargar valor de arranque																																																								
		0	1	0	0	Cargar valor de referencia 0																																																								
		0	1	0	1	Cargar valor de referencia 1																																																								
0		1	1	0	Cargar límite de conteo inferior																																																									
0		1	1	1	Cargar límite de conteo superior																																																									
1	0	0	0	Reservado																																																										
a																																																														
1	1	1	1																																																											
Byte 9	EN_CAPTURE	Bit 7: habilitación de la función de captura																																																												
	EN_SYNC_DN	Bit 6: habilitar sincronización retroceso																																																												
	EN_SYNC_UP	Bit 5: habilitación de la sincronización ascendente																																																												
	SET_DQ1	Bit 4: ajuste DQ1																																																												
	SET_DQ0	Bit 3: ajuste DQ0																																																												
	TM_CTRL_DQ1	Bit 2: habilitación función tecnológica DQ1																																																												
	TM_CTRL_DQ0	Bit 1: habilitación función tecnológica DQ0																																																												
	SW_GATE	Bit 0: puerta software																																																												
Byte 10	SET_DIR	Bit 7: sentido de conteo (en encóder sin señal de sentido)																																																												
	-	Bits 2 a 6: reservado; los bits deben estar ajustados a 0																																																												
	RES_EVENT	Bit 1: borrado de los eventos almacenados																																																												
	RES_ERROR	Bit 0: borrado de los estados de error almacenados																																																												
Byte 11	-	Bits 0 a 7: reservado; los bits deben estar ajustados a 0																																																												

* Si se cargan valores simultáneamente a través de LD_SLOT_0 y LD_SLOT_1, se adoptará internamente el valor de Slot 0 en primer lugar y seguidamente el valor de Slot 1. De este modo pueden originarse estados intermedios inesperados.

FIGURA 58: INTERFAZ DE CONTROL: ÁREA DE SALIDAS HSC (12 BYTES SALIDAS) [5]

Para la configuración, lo primero que hay que hacer es ajustar el filtrado de las entradas. Es importante para que los pulsos del encoder se registren de forma correcta. Para ello hay que ir a los canales de entrada 0 y 1, que son los utilizados en este caso, y en los ajustes de parámetros seleccionar “Manual”. A continuación, hay que elegir un retardo a la entrada de 0.1 ms (Figura 59).

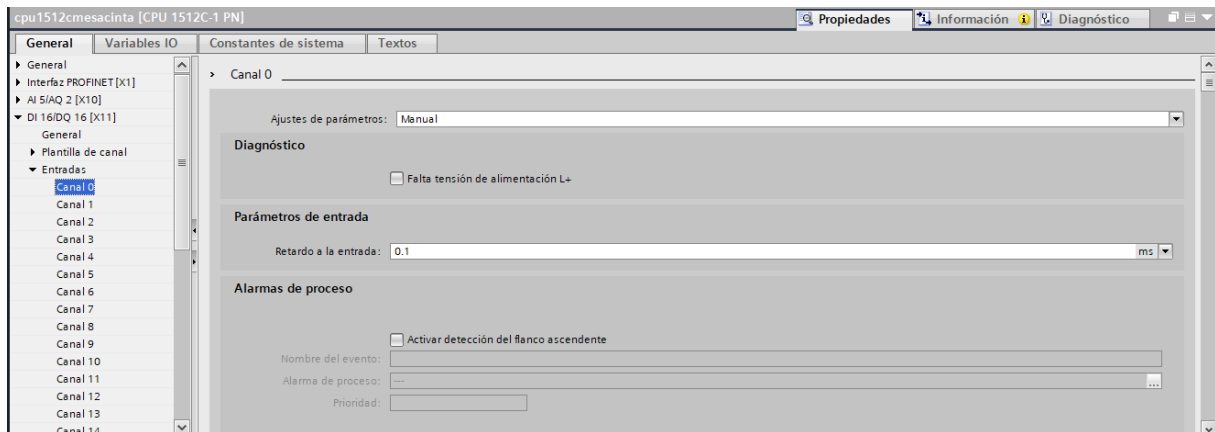


FIGURA 59: AJUSTE DEL FILTRADO DE ENTRADA DEL CANAL 0

Una vez conocidas las direcciones con las que hay que trabajar, hay que ir a la ventana de configuración para activar el HSC1, seleccionar el modo manual, sin objeto tecnológico y el modo de trabajo “Contador/Lectura de posición” (Figura 60).

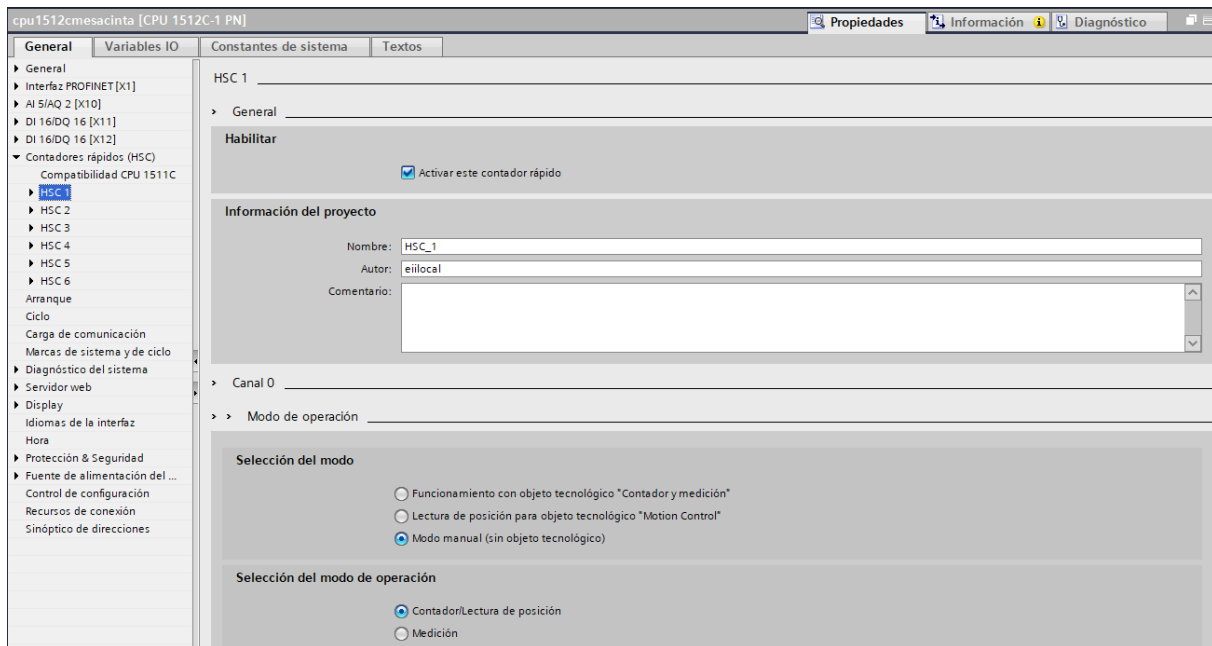


FIGURA 60: AJUSTES MANUALES PARA EL HSC1

No se habilitarán las alarmas de diagnóstico ni de proceso por eventos externos, sólo se habilitará la alarma de proceso por valor de conteo/valor de posición en evento de comparación con DQ1. La configuración quedará de la siguiente forma (Figura 61).

☒ Aparecido evento de comparación para DQ1

Nombre del evento:

Alarma de proceso:

Prioridad:

> > Comportamiento DQ1

Función de la DQ1

Activar salida:

Valor de referencia 0:

Valor de referencia 1:

Sentido de conteo:

Duración de impulso: ms

Valor sustitutivo de DQ1:

HSC DQ1:

> > Reacción a STOP de la CPU

Reacción a STOP de la CPU:

Valor sustitutivo de DQ0:

Valor sustitutivo de DQ1:

> > Entradas de contador

Especificar señales de entrada/tipo de encóder

Tipo de señal:

☐ Invertir sentido

Parámetros adicionales

Evaluación de señal:

Frecuencia de filtro:

Comportamiento con señal N:

> > Comportamiento de contador

Límites de contador y valor inicial

Límite superior:

Valor inicial:

Límite inferior:

Comportamiento del contador en límites y ante apertura puerta

Comportamiento al rebasar un límite del contador:

Inicializar al rebasar un límite de contador:

Comportamiento ante apertura de puerta:

FIGURA 61: RESTO DE AJUSTES MANUALES PARA EL HSC1

Una vez hecha la configuración específica para el caso de este TFG, la forma de controlar el HSC sería a través de la modificación de los bits asociados a las salidas y las entradas.

ANEXO 2. Tabla de entradas y salidas del PLC

- Entradas digitales:

Borne PLC	Tipo	Nombre variable	Dirección	Señal
X11.1	DI	HSC1	I12.0	Encoder de la mesa giratoria. Señal A
X11.2	DI	HSC1	I12.1	Encoder de la mesa giratoria. Señal B
X11.3	DI	FC_ext_iz	I12.2	Final de carrera de seguridad. Lado izquierdo
X11.4	DI	Sensor_inductivo	I12.3	Sensor inductivo
X11.5	DI	Seta_emergencia	I12.4	Seta de emergencia
X11.6	DI	FC_ext_der	I12.5	Final de carrera de seguridad. Lado derecho
X11.7	DI	FC_cercano	I12.6	Final de carrera izquierdo
X11.8	DI	FC_lejano	I12.7	Final de carrera derecho
X11.11	DI	MP_cinta	I13.0	Pulsador “MP Cinta”
X11.12	DI	Act_automático	I13.1	Pulsador “Act Autom”
X11.13	DI	Inv_cinta	I13.2	Pulsador “Inv Cinta”
X11.14	DI	Pet_modo_autom	I13.3	Pulsador “Pet Autom”
X11.15	DI	M_mesa	I13.4	Pulsador “M Mesa”
X11.16	DI	P_mesa	I13.5	Pulsador “P Mesa”
X11.17	DI	Inv_mesa	I13.6	Pulsador “Inv Mesa”
X11.18	DI	Prueba_lamp	I13.7	Pulsador “Prueba Lamp”

TABLA 7: ENTRADAS DIGITALES DEL PLC

- Salidas digitales:

Borne PLC	Tipo	Nombre variable	Dirección	Señal
X12.24	DQ	Sal_M_cinta	Q8.3	Relé de tensión cinta
X12.25	DQ	Sal_M_mesa	Q8.4	Relé de tensión mesa
X12.26	DQ	Sal_inv_cinta	Q8.5	Relé de sentido cinta
X12.27	DQ	Sal_inv_mesa	Q8.6	Relé de sentido mesa
X12.31	DQ	Lamp_manual	Q9.0	Lámpara de modo manual
X12.32	DQ	Lamp_lim_cintas	Q9.1	Lámpara de límites de la cinta
X12.33	DQ	Lamp_retroceso_cinta	Q9.2	Lámpara de retroceso de la cinta
X12.34	DQ	Lamp_autom	Q9.3	Lámpara de modo automático
X12.35	DQ	Lamp_autom_pedido	Q9.4	Lámpara de petición de modo automático
X12.36	DQ	Lamp_emergencia	Q9.5	Lámpara de emergencia
X12.37	DQ	Lamp_inv_mesa	Q9.6	Lámpara de giro antihorario de la mesa
X12.38	DQ	Lamp_prueba_lamp	Q9.7	Lámpara de función “prueba lámparas”

TABLA 8: SALIDAS DIGITALES DEL PLC

- Salidas analógicas:

Borne PLC	Tipo	Nombre variable	Dirección	Señal
X10.17	AQ	Vel_Cinta	QW2	Parámetro de velocidad de la cinta
X10.18	AQ	Vel_Mesa	QW4	Parámetro de velocidad de la mesa

TABLA 9: SALIDAS ANALÓGICAS DEL PLC



ANEXO 3. Esquemas eléctricos del armario

