



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de
Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al
cuadro de control original y actualización aplicaciones
correspondientes (control y supervisión)**

Autor:

González Pascual, Raúl

Tutor:

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

Valladolid, septiembre de 2025.



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)



RESUMEN

Se parte de un sistema de clasificación de piezas por peso que, debido al paso del tiempo y al reciente traslado al nuevo laboratorio, se encontraba deteriorado y con partes obsoletas. Para su rehabilitación se diseñó y fabricó un nuevo alimentador de piezas mediante modelado e impresión 3D. Así mismo, se implementó un HMI físico de última generación y se actualizó el sistema de control con una nueva CPU, integrando el uso de objetos tecnológicos en TIA Portal para el control del eje lineal consiguiendo así optimizar la programación y el diagnóstico del sistema. La instalación eléctrica ha sido rediseñada en EPLAN, incluyendo el saneamiento del cableado y mejoras de seguridad. Además, se optimizaron las comunicaciones de las redes Profinet, y se reacondicionó el sistema de pesaje. Con todas estas actuaciones, se consiguió un sistema más eficiente, seguro y preparado para futuras ampliaciones.

PALABRAS CLAVE

Automatización Industrial
PLC (Controlador Lógico Programable)
HMI (Interfaz Hombre-Máquina)
TO (Objetos tecnológicos)
Variador de frecuencia

ABSTRACT

There is a weight-based part classification system which, due to the passage of time and the recent move to the new laboratory, was deteriorated and had obsolete parts. To refurbish it, a new parts feeder was designed and manufactured using 3D modeling and printing. Likewise, a state-of-the-art physical HMI was implemented and the control system was update with a new CPU, integrating the use of Technological Objects in TIA Portal for linear axis control, thus optimizing the programming and diagnosis of the system. The electrical installation was redesigned in EPLAN, including wiring refurbishment and safety improvements. In addition, Profinet network communications were optimized and the weighing system was reconditioned. All these actions resulted in a more efficient and secure system that is ready for future expansion.

KEYWORDS

Industrial Automation
PLC (Programmable Logic Controller)
HMI (Human-Machine Interface)
TO (Technology Objets)
Variable Frequency Drive



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)



Índice

Glosario	9
1. Introducción.....	11
1.1. Breve descripción del sistema previo a la modificación.....	11
1.2. Deficiencias detectadas en el sistema	15
2. Objetivos	19
3. Desarrollo del trabajo.....	21
3.1. Diseño y fabricación del alimentador de piezas.....	21
3.2. Dosieres eléctricos, saneamiento de cableado y nuevas modificaciones	23
3.3. Descripción de los objetos tecnológicos (TO)	37
3.4. Programación del variador	38
3.5. Programación del autómatas e interfaz hombre-máquina.....	47
3.5.1. Configuración Hardware.....	47
3.5.2. Programación Software del PLC	51
3.5.3. Programación Software del HMI	80
4. Manual de Usuario	91
5. Conclusiones	93
6. Líneas futuras.....	95
7. Bibliografía.....	97
ANEXO I – Modelos 3D	101
ANEXO II – Dossier eléctrico	101
ANEXO III – Proyecto de STARTER	101
ANEXO IV – Proyecto de TIA Portal V18.....	101
ANEXO V – Manual de Usuario	101



Índice de Tablas y Figuras

Tabla 1. Direcciones IP de los elementos del sistema.....	28
Figura 1. Vista general de la instalación previa a la modificación.....	11
Figura 2. Manipulador electroneumático.....	12
Figura 3. Sistema alimentador de piezas antiguo.....	12
Figura 4. Pieza posicionada en alimentador antiguo.....	13
Figura 5. A la izquierda, acondicionador de señal. A la derecha, célula de carga.....	13
Figura 6. Célula de carga tipo viga en voladizo".	13
Figura 7. Vista del armario eléctrico previa a la modificación.....	14
Figura 8. Zona de dejada de piezas ya clasificadas.....	14
Figura 9. Vista general del armario eléctrico previo a la intervención. (Con el nuevo HMI ya montado)	15
Figura 10. Estado del armario eléctrico previo a la intervención.....	16
Figura 11. Conexión eléctrica de potencia del servomotor sobre la mesa.....	16
Figura 12. Fotocélulas de seguridad anuladas.....	17
Figura 13. Seta de emergencia con un solo canal.....	17
Figura 14. Vistas del alimentador de piezas en posición "cargar pieza".	21
Figura 15. Vistas del alimentador de piezas en posición "descargar pieza".	21
Figura 16. Vista detallada del mecanismo piñón-cremallera del alimentador de piezas.....	22
Figura 17. Alimentador de piezas fabricado y montado.....	23
Figura 18. Extracto del antiguo esquema eléctrico [2]. Se elimina el compresor de aire.	24
Figura 19. A la izquierda, extracto del esquema eléctrico nuevo. A la derecha, protecciones ya implementadas en el armario eléctrico.....	24
Figura 20. A la izquierda, CPU antigua. A la derecha, CPU nueva.....	25
Figura 21. Extracto del esquema eléctrico. Alimentación eléctrica al armario del horno y depósitos.....	25
Figura 22. Red Profibus DP para el control del horno y depósitos.....	26
Figura 23. Esquema eléctrico del HMI.....	26
Figura 24. A la izquierda, antiguo frontal del armario. A la derecha, frontal del armario tras la integración del HMI.....	27
Figura 25. Extracto del esquema eléctrico. Redes Profinet.....	28
Figura 26. Extracto del esquema eléctrico. Salidas digitales de la báscula HBM.....	29
Figura 27. Extracto del esquema eléctrico. Cadena de paradas de emergencia.....	30
Figura 28. Extracto del esquema eléctrico. Alimentación 24V del variador.....	31
Figura 29. A la izquierda, estado previo del variador. A la derecha, conexiones del variador tras la modificación.....	31
Figura 30. A la izquierda, extracto del esquema eléctrico. A la derecha, contactor de línea ya montado en el armario.....	32
Figura 31. Finales de carrera duplicados.....	32
Figura 32. Extremos izquierdo y derecho de la guía previos al cambio de motor.....	33
Figura 33. Nueva ubicación del motor en el extremo derecho de la guía.....	33
Figura 34. Plano de conexiones del bornero del manipulador.....	34
Figura 35. Saneamiento general del armario. Antes (izquierda) y después (derecha).....	35
Figura 36. Elementos del armario eléctrico etiquetados.....	35
Figura 37. Parte inferior del armario eléctrico. Salida de mangueras.....	36
Figura 38. Elementos de campo debidamente etiquetados. Servomotor, seta de emergencia móvil y sensórica del alimentador.....	36
Figura 39. Telegramas estándar ProfiDRIVE. Extracto del manual de Siemens [18].	37
Figura 40. Telegramas específicos de Siemens ProfiDRIVE [18].	37
Figura 41. Página de inicio de STARTER.....	39



Figura 42. Creación del proyecto de STARTER.	39
Figura 43. Búsqueda "online" del variador.	40
Figura 44. Conexión "online" con el variador.	40
Figura 45. Carga de los parámetros del variador en la PG.	41
Figura 46. Proyecto con los parámetros iniciales del variador.	41
Figura 47. Cambio de la dirección IP del variador.	42
Figura 48. Telegramas iniciales de comunicación del variador.	42
Figura 49. Menú "Configuración dispositivo" de STARTER.	43
Figura 50. Configuración del variador. Estructura de regulación.	43
Figura 51. Configuración del variador. Intercambio de datos del proceso.	44
Figura 52. Configuración del variador. Función de paro segura STO.	44
Figura 53. Configuración del variador. Entradas y salidas digitales.	45
Figura 54. Configuración del variador. Carga de parámetros al variador.	46
Figura 55. TIA Portal. Vista de dispositivos y catálogo hardware.	47
Figura 56. Configuración hardware del PLC. Módulos de entradas y salidas.	48
Figura 57. Asignación de dirección IP al PLC. Red Profinet local.	48
Figura 58. Asignación de dirección IP al PLC. Red Profinet del laboratorio.	49
Figura 59. Asignación de dirección IP al HMI. Red Profinet del laboratorio.	49
Figura 60. Asignación de dirección IP al variador. Red Profinet local.	50
Figura 61. Asignación del telegrama de comunicación al variador.	50
Figura 62. Diagrama de flujo del programa de control en ciclo automático.	51
Figura 63. Tabla de variables de entrada del PLC.	52
Figura 64. Tabla de variables de salida del PLC.	53
Figura 65. Creación del objeto tecnológico.	53
Figura 66. Configuración del TO. Parámetros básicos.	54
Figura 67. Configuración del TO. Enlace con el variador.	55
Figura 68. Configuración del TO. Configuración del método de medida del encoder.	55
Figura 69. Configuración del TO. Relación mecánica motor-carga.	56
Figura 70. Configuración del TO. Finales de carrera.	56
Figura 71. Configuración del TO. Límites dinámicos.	57
Figura 72. Configuración del TO. Valores dinámicos predefinidos.	57
Figura 73. Configuración del TO. Valores dinámicos ante paro de emergencia.	58
Figura 74. Configuración del TO. Referenciado activo del eje.	59
Figura 75. Bloques de programa "General".	60
Figura 76. Vista general FB "Informaciones".	60
Figura 77. Ejemplo informaciones del Manipulador. Informaciones de la garra.	61
Figura 78. Vista general FC "Salidas".	61
Figura 79. Ejemplo salidas digitales. Electroválvula cerrar garra.	62
Figura 80. Bloques de programa "Grafcet".	63
Figura 81. Ciclo de trabajo en automático.	63
Figura 82. Vista general DB "GrafcetManipulador".	63
Figura 83. Vista general FC "Grafcet_Ciclo".	64
Figura 84. Ejemplo cambio de etapa del grafcet.	65
Figura 85. Ejemplo acciones del manipulador. Orden cerrar garra en automático.	65
Figura 86. Condiciones para pasar de la etapa 4 a la etapa 6 del Grafcet.	66
Figura 87. Estructura de datos con las condiciones para pasar a la siguiente etapa del Grafcet.	67
Figura 88. Bloques de programa "Motor".	68
Figura 89. Vista general FB "Motor_Servo".	68
Figura 90. Seguridades mecánicas del manipulador para trasladar.	69
Figura 91. Informaciones generales del eje. Eje referenciado y manipulador en posición báscula.	70



Figura 92. Instrucciones de control del TO.	71
Figura 93. Consignas de velocidad y aceleración del eje.	71
Figura 94. Bloque "MC_POWER" del TO.	72
Figura 95. Bloque "MC_HOME" del TO.	72
Figura 96. Bloque "MC_RESET" del TO.	73
Figura 97. Órdenes de los movimientos tipo JOG.	73
Figura 98. Bloque "MC_MOVEJOG" del TO.	74
Figura 99. Carga de cota para movimientos absolutos.	75
Figura 100. Orden de movimiento absoluto en automático.	76
Figura 101. Orden de movimiento absoluto en manual.	76
Figura 102. Bloque "MC_MOVEABSOLUTE" del TO.	77
Figura 103. Bloques de programa "Defectos".	77
Figura 104. Vista general DB "DEF".	78
Figura 105. Configuración de acceso no optimizado del DB "DEF".	78
Figura 106. Vista defectos de emergencias FB "Defectos".	79
Figura 107. Tablas de variables del HMI.	80
Figura 108. Copia de variables del PLC.	80
Figura 109. Pegado de variables en la tabla del HMI.	81
Figura 110. Variables de defectos en el HMI.	81
Figura 111. Imagen principal "01_General".	82
Figura 112. Configuración de la imagen visible en una ventana de imagen.	82
Figura 113. Imagen "02_Cabecera" del HMI.	83
Figura 114. Imagen "03_NavegadorIzquierda" del HMI.	83
Figura 115. Imagen "00_Inicio" del HMI.	84
Figura 116. Imagen "01_Seguridades" del HMI.	84
Figura 117. Animación de las setas de emergencia.	85
Figura 118. Animación del color de la fotocélula frontal.	85
Figura 119. Imagen "02_GraficetCiclo" del HMI.	86
Figura 120. Faceplate de cambio de etapa, librería del proyecto.	87
Figura 121. Imagen "03_Guia" del HMI.	87
Figura 122. Ventana emergente de ayuda para avance en manual	88
Figura 123. Imagen "04_Manipulador" del HMI.	88
Figura 124. Imagen "05_Bascula" del HMI.	89
Figura 125. Imagen "06_Alimentador" del HMI.	89
Figura 126. Imagen "07_Estadisticas" del HMI.	90
Figura 127. Imagen "10_Defectos" del HMI.	90



Glosario

Retrofitting	Actualización o modernización de un sistema.
PLC	Controlador Lógico Programable (<i>Programmable Logic Controller</i>).
CPU	Unidad Central de Procesamiento (<i>Central Processing Unit</i>).
HMI	Interfaz Hombre-Máquina (<i>Human Machine Interface</i>).
STO	Desconexión segura del par (<i>Safe Torque Off</i>).
CU	Unidad de Control (<i>Control Unit</i>).
TO	Objeto tecnológico (<i>Technology Objects</i>).
EPOS	Posicionador simple.
FC	Función (<i>Function</i>).
FB	Bloque de Función (<i>Function Block</i>).
DB	Bloque de Datos (<i>Data Block</i>).
F-DI	Entrada digital de seguridad.
PG	Consola de programación.
PLA	Ácido poliláctico.



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)



1. Introducción

Se parte de una instalación de un sistema de clasificación de piezas por peso el cuál ha sufrido ya varios retrofitings en los últimos años [1][2][3], con la intención de actualizar el hardware antiguo e implementar una interfaz hombre-máquina física para el manejo y supervisión del sistema.

1.1. Breve descripción del sistema previo a la modificación

El sistema (Figura 1) consta de un manipulador electropneumático de 4 grados de libertad (Figura 2), embarcado sobre una guía lineal Bosch [4], lo que le proporciona un grado de libertad extra. En las inmediaciones de la guía, se tiene un sistema alimentador de piezas (Figura 3 y Figura 4), así como una báscula para conocer el peso de estas (Figura 5). La báscula se compone de una célula de carga (Figura 6) equipada con galgas extensiométricas dispuestas en configuración de puente completo (cuatro brazos activos), integrada en una plataforma de cuatro apoyos con compensación mecánica, y su correspondiente acondicionador de señal para tratar el puente Wheatstone, todo ello de HBM [5]. Previo a la modificación que nos compete, la lectura de la báscula se realizaba mediante una señal analógica, que pasará a realizarse mediante un grupo de señales digitales.

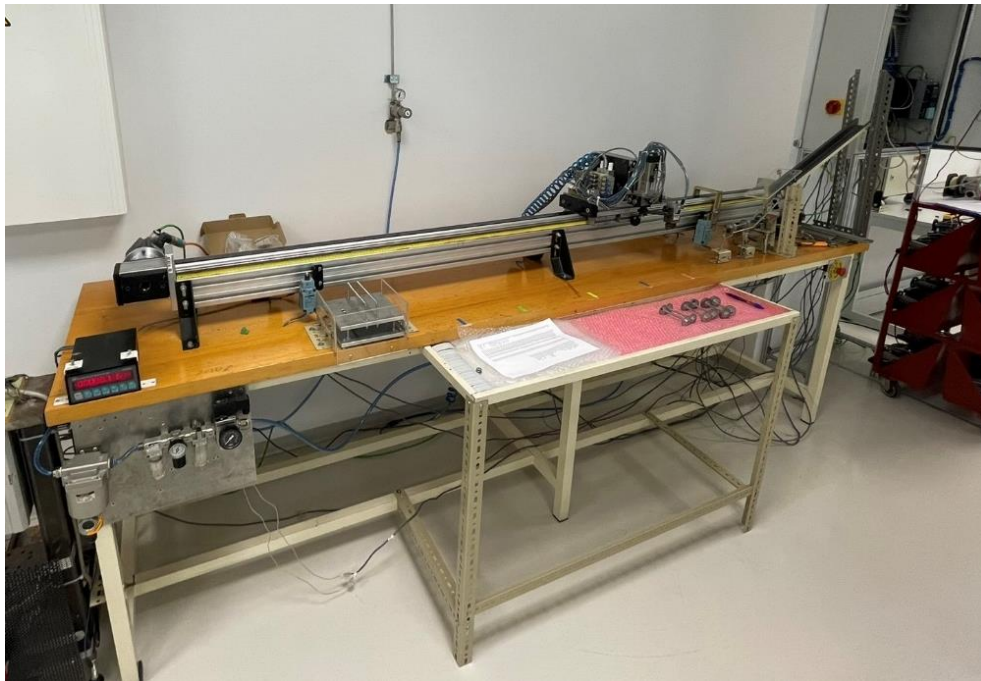


Figura 1. Vista general de la instalación previa a la modificación.

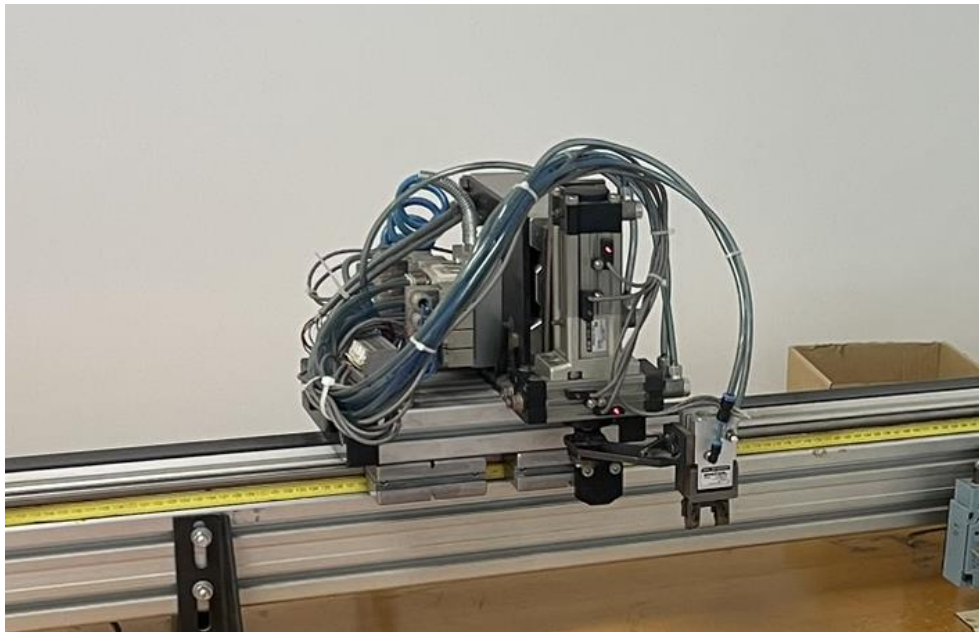


Figura 2. Manipulador electroneumático.

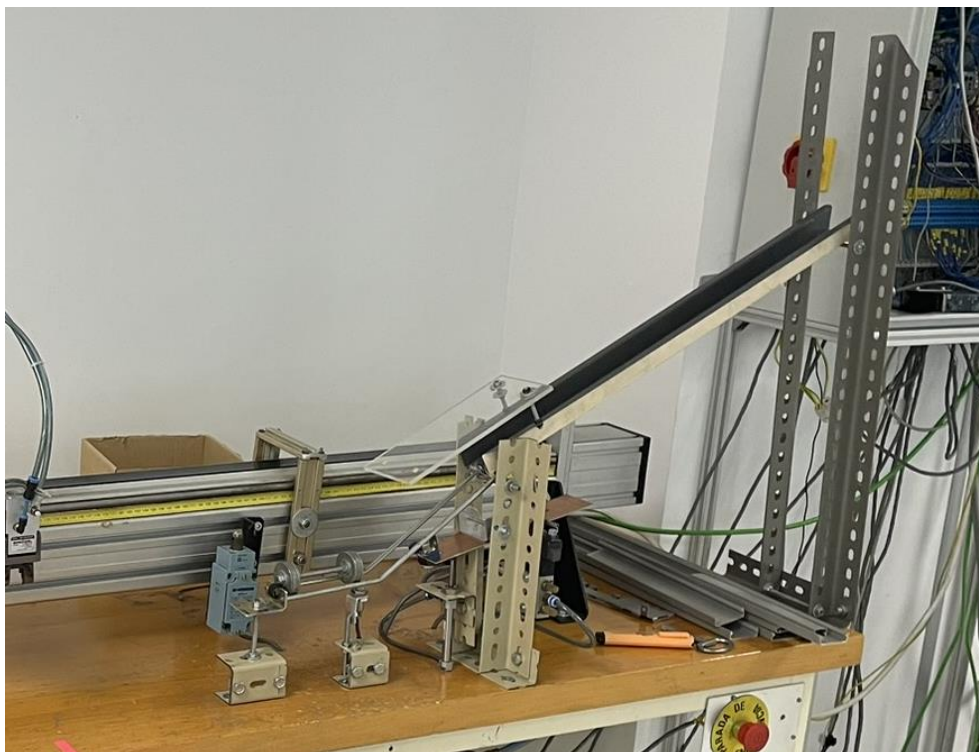


Figura 3. Sistema alimentador de piezas antiguo.

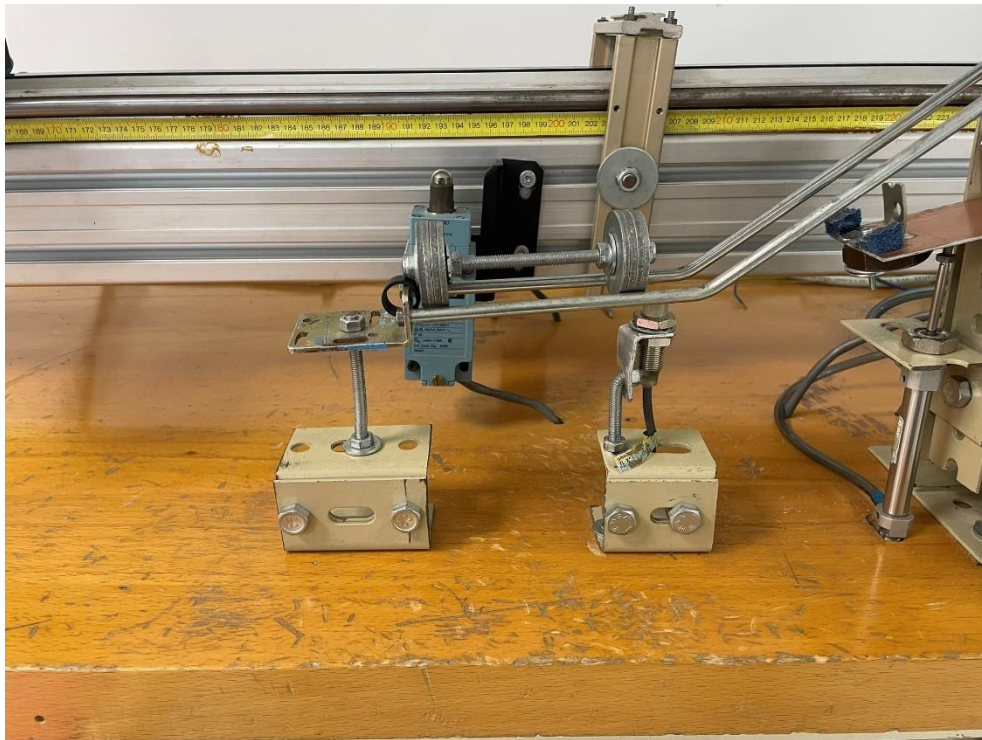


Figura 4. Pieza posicionada en alimentador antiguo.



Figura 5. A la izquierda, acondicionador de señal. A la derecha, célula de carga.

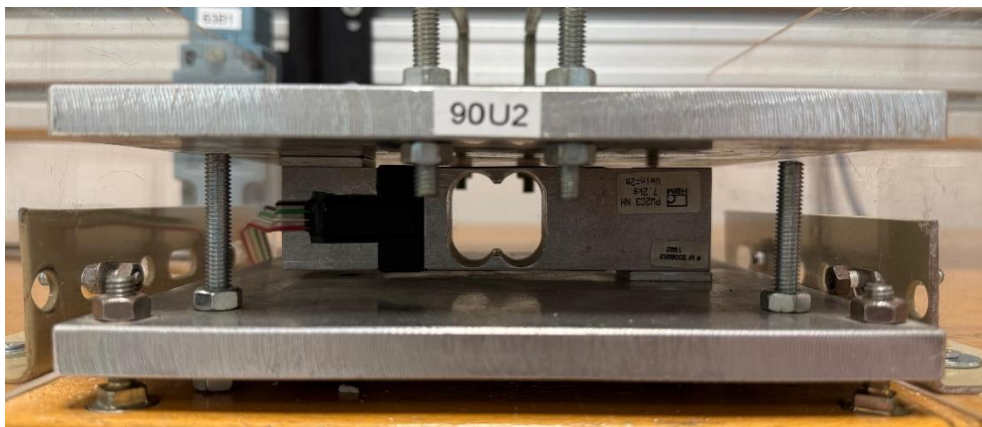


Figura 6. Célula de carga tipo viga en voladizo".



Todos los elementos de control, protecciones eléctricas y relés de mando se encuentran centralizados en el armario eléctrico de la instalación (Figura 7), al que llegan también todas las mangueras de los elementos de campo.



Figura 7. Vista del armario eléctrico previa a la modificación.

En modo automático, el manipulador se desplaza hasta el alimentador de piezas y, en caso de no haber disponible una pieza para su recogida, se alimenta una pieza. Acto seguido, el manipulador procede a su recogida y posterior traslado a la báscula. Una vez conocido el peso de la pieza, se procede a su retirada de la báscula y dejada en el cajón correspondiente (Figura 8).



Figura 8. Zona de dejada de piezas ya clasificadas.

Para cada una de las acciones indicadas anteriormente, el manipulador adopta la configuración de ejes necesaria, modificando la extensión del brazo, altura o giro en función del origen o destino en el que coger o dejar pieza.



1.2. Deficiencias detectadas en el sistema

Debido a la amplia y rápida evolución en el ámbito de la automatización industrial, el método de control empleado hasta ahora para el eje de la guía lineal ha quedado prácticamente obsoleto, dificultando además el diagnóstico de fallas en el sistema.

La interfaz hombre-máquina (HMI) actual se trata de un sistema simulado, de modo que se depende de un ordenador para poder operarlo. Esto conlleva problemas de operabilidad y comodidad en el uso de la instalación.

El sistema toma demasiado tiempo desde que se pone en tensión la instalación hasta que está lista para su uso, tomando varios minutos este proceso.

Debido al reciente traslado de la instalación al nuevo laboratorio del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática del Edificio Mergelina (anteriormente en el edificio Paseo del Cauce) se observan deficiencias en el cableado, elementos desconectados, hilos sin etiquetar o etiquetados de forma errónea, cables colgando por el armario eléctrico, cableado que no corresponde con el esquema eléctrico y mangueras sin canalizar y con empalmes al aire a lo largo de toda la instalación (Figura 9 a Figura 11).



Figura 9. Vista general del armario eléctrico previo a la intervención. (Con el nuevo HMI ya montado)

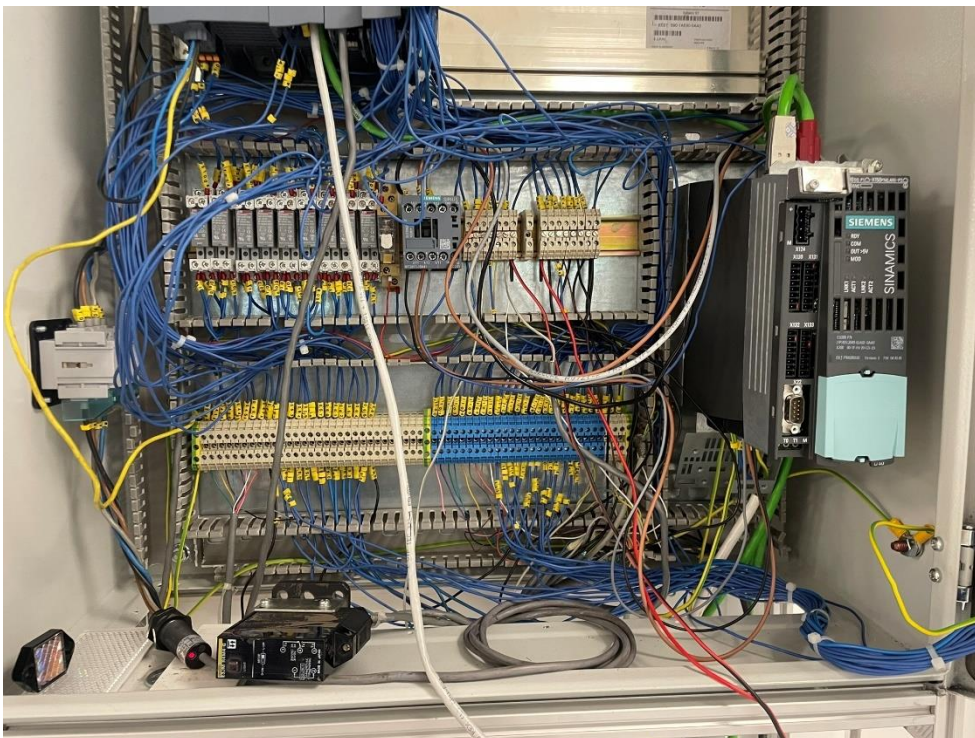


Figura 10. Estado del armario eléctrico previo a la intervención.



Figura 11. Conexión eléctrica de potencia del servomotor sobre la mesa.

Al suprimir la alimentación del sistema se provoca el disparo del diferencial del armario eléctrico de la instalación, así como el del armario eléctrico general del laboratorio, lo que provoca que parte de los ordenadores del alumnado del laboratorio se apaguen.

Los sistemas de seguridad de protección a personas actualmente implementados no son adecuados para las exigencias del entorno industrial moderno y no cumplen con los requisitos establecidos por la normativa vigente. Las fotocélulas anti-intrusión se encuentran desmontadas y enfrentadas al espejo dentro del armario (Figura 12), mientras que las setas de emergencia disponen de un solo canal (Figura 13), conectadas a entradas no seguras del autómat.

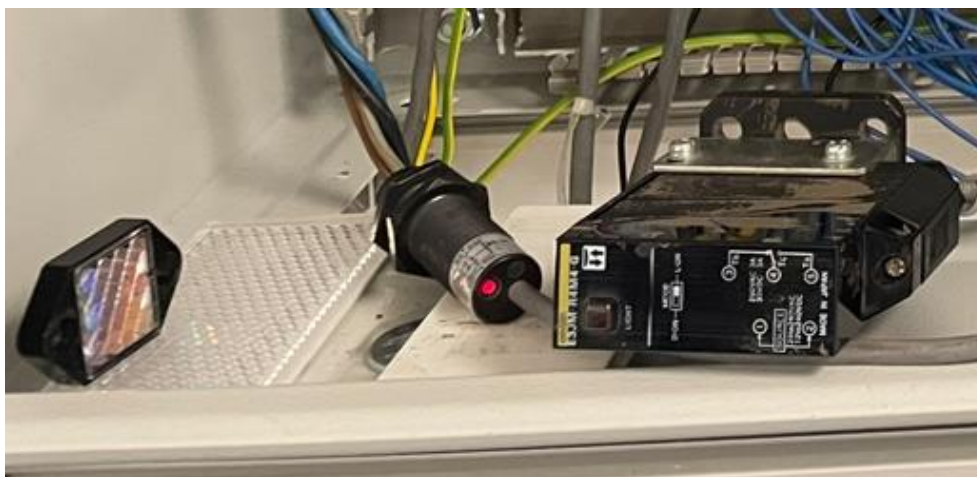


Figura 12. Fotocélulas de seguridad anuladas.



Figura 13. Seta de emergencia con un solo canal.

La báscula HBM no está operativa, el autómatas no recibe la señal analógica del peso de la pieza, por lo que el sistema no es capaz de clasificar las piezas correctamente.

El alimentador de piezas al sistema carece de la robustez y fiabilidad requeridos en un entorno industrial. Las piezas se quedan atascadas en numerosas ocasiones, incluso llegando a ser proyectadas violentamente cierta distancia.



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)



2. Objetivos

Con el fin de dar solución a las deficiencias descritas anteriormente, se proponen los siguientes objetivos para este trabajo fin de grado:

- Diseño, fabricación y construcción de un nuevo sistema de alimentación de piezas.
- Implementación de un HMI físico de última generación para el control, supervisión y diagnóstico del sistema, con objetivo de dar servicio en futuro a cualquiera de los autómatas del laboratorio.
- Actualización del sistema de control del eje lineal, tanto hardware (autómata) como software, implementado el uso de objetos tecnológicos para el control del servomotor.
- Mejora y adaptación de las seguridades de la instalación conforme a la normativa actual.
- Actualización de dossieres eléctricos con las nuevas implementaciones al sistema.
- Reparación del cableado actual en mal estado, saneamiento general del cuadro y etiquetado de todos los elementos.
- Cambio del método de adquisición de datos del acondicionador del puesto de pesada, renunciando a las entradas analógicas que disponía el antiguo PLC y utilizando las salidas digitales del acondicionador, así como la nueva puesta en marcha del equipo.
- Optimización del tiempo de arranque del sistema.
- Supresión de los disparos de los diferenciales durante el apagado del sistema.
- Liberación de la dirección IP de la red del laboratorio ocupada por el variador para su utilización por el nuevo HMI.
- Proveer de alimentación y red Profibus [6] al armario secundario del laboratorio del horno y depósitos ya que en un futuro será controlado por el mismo PLC.



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)



3. Desarrollo del trabajo

3.1. Diseño y fabricación del alimentador de piezas

Tras analizar diversos métodos para la alimentación de piezas al sistema, se ha optado por un cilindro ranurado giratorio, con un buffer de piezas en su parte superior. Cuando la ranura del cilindro se encuentra en la parte superior (Figura 14), una pieza ingresa por gravedad a su interior. Una vez dentro, el cilindro gira 180° (Figura 15), dejando caer la pieza contenida a la rampa hacia la estación de recogida de pieza del Manipulador.

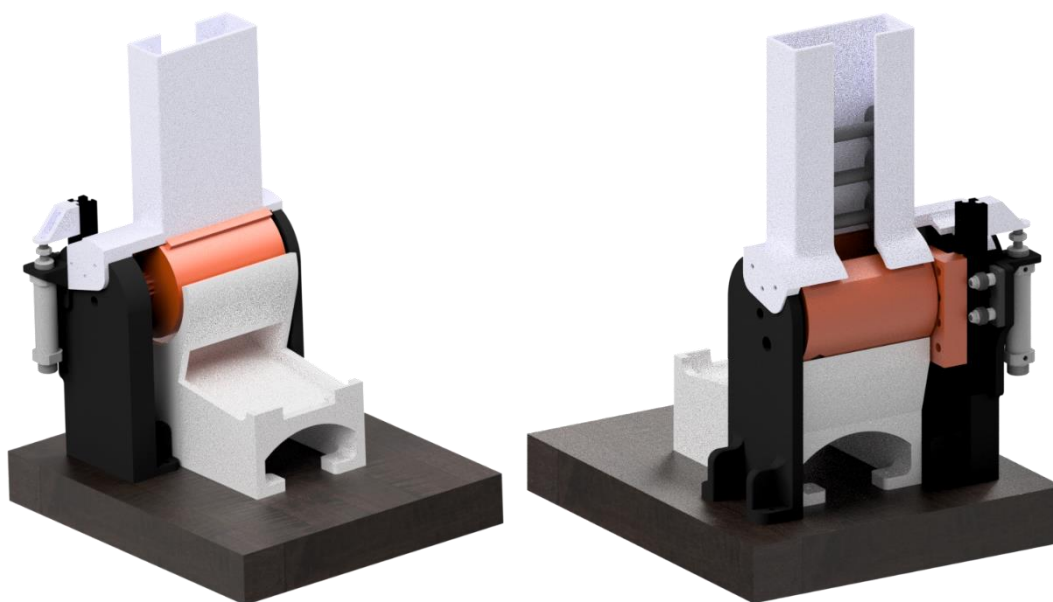


Figura 14. Vistas del alimentador de piezas en posición "cargar pieza".

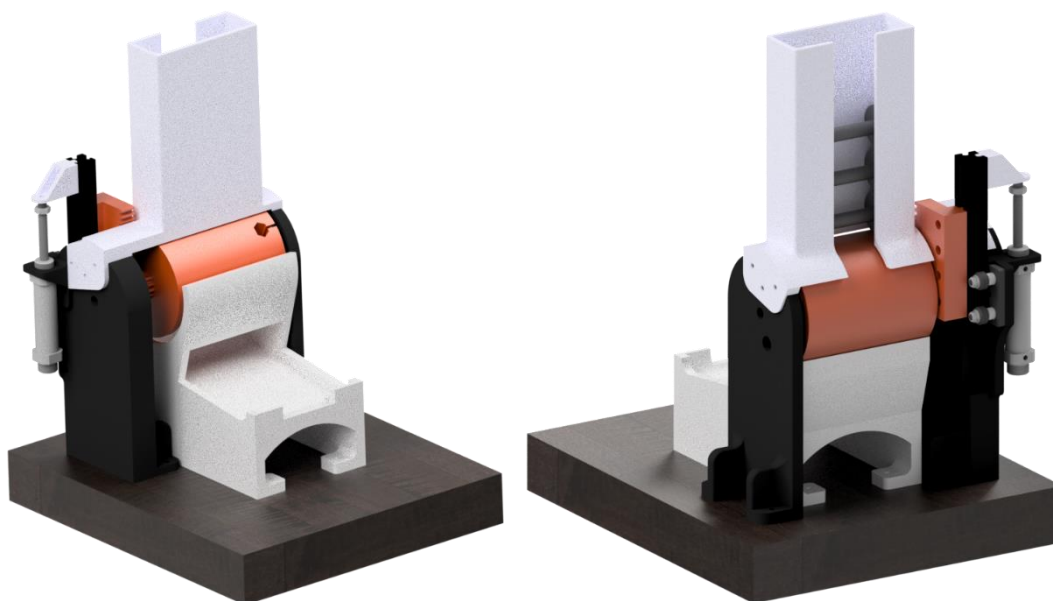


Figura 15. Vistas del alimentador de piezas en posición "descargar pieza".



El mecanismo de giro del cilindro está basado en un sistema piñón-cremallera (Figura 16), de forma que un actuador lineal neumático mueve la cremallera y hace girar el cilindro.

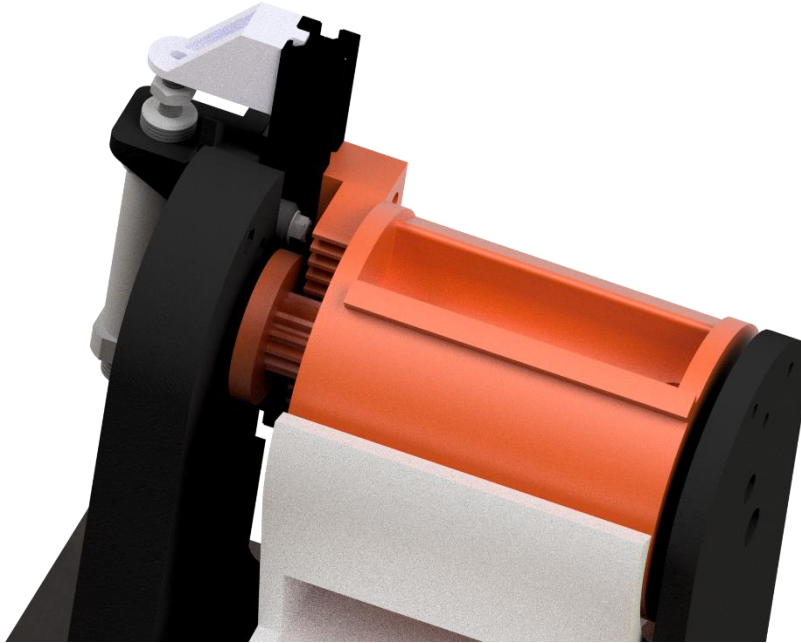


Figura 16. Vista detallada del mecanismo piñón-cremallera del alimentador de piezas.

Se tendrán dos detectores inductivos de presencia de pieza, uno para la presencia de pieza lista para ser recogida por el manipulador (en la rampa), y otro para presencia de pieza en buffer (lista para ser alimentada).

El diseño y modelado de todas las piezas (



ANEXO I – Modelos 3D) se ha realizado con el programa de diseño *Autodesk Inventor Professional 2025* [7], habiendo sido fabricadas mediante impresión 3D con material PLA (Figura 17).

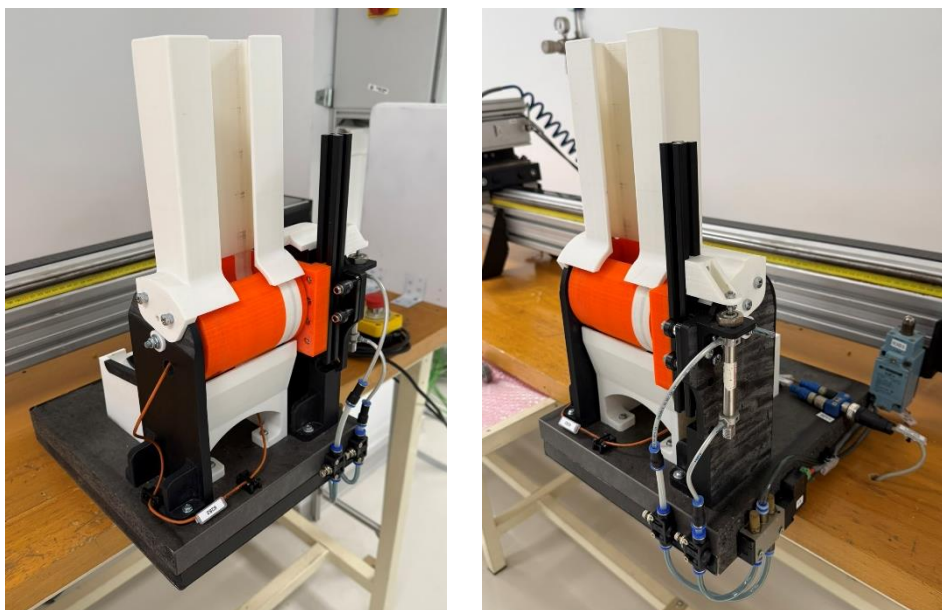


Figura 17. Alimentador de piezas fabricado y montado.

3.2. Dosieres eléctricos, saneamiento de cableado y nuevas modificaciones

Aunque se disponía del esquema eléctrico antiguo de la instalación [2], este únicamente se encontraba en formato pdf y no se disponía del archivo editable. Por ello, ha sido necesario rehacerlo completamente (ANEXO II – Dossier eléctrico). Se ha optado por el software *EPLAN Electric P8 2.9* [8].

Para minimizar los esfuerzos posteriores de cableado y etiquetado, se ha mantenido los elementos y numeración existente en el cuadro en la medida de lo posible.

Los cambios más significativos respecto a la instalación antigua son los siguientes:

- Eliminación del compresor de aire

El nuevo laboratorio dispone de canalización central de aire comprimido por lo que, al no ser necesario el compresor externo, se ha optado por su eliminación (Figura 18). Se consigue así una valiosa mejora el confort en la sala al eliminar el ruido provocado por el mismo.

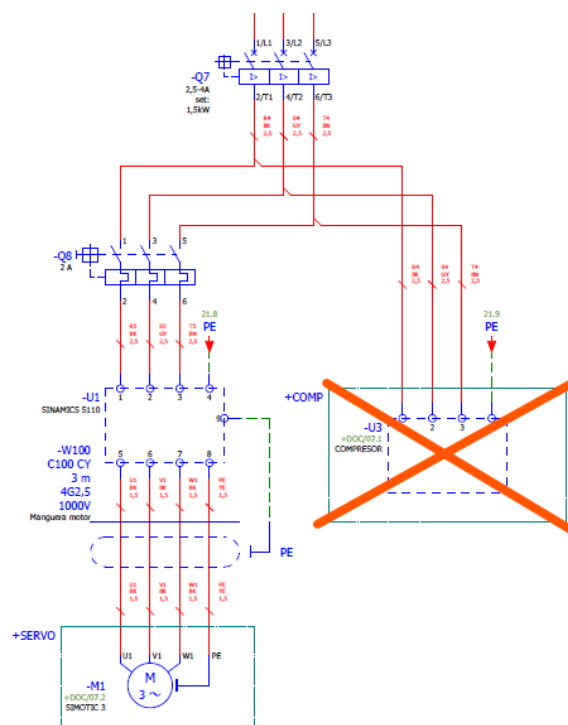


Figura 18. Extracto del antiguo esquema eléctrico [2]. Se elimina el compresor de aire.

- Protecciones térmicas para 24V

Se han añadido 2 protecciones térmicas para la tensión de control de 24 V (Figura 19). Una de ellas será exclusiva para la alimentación del nuevo HMI, mientras que la otra dará servicio al resto de componentes con alimentación de corriente continua.

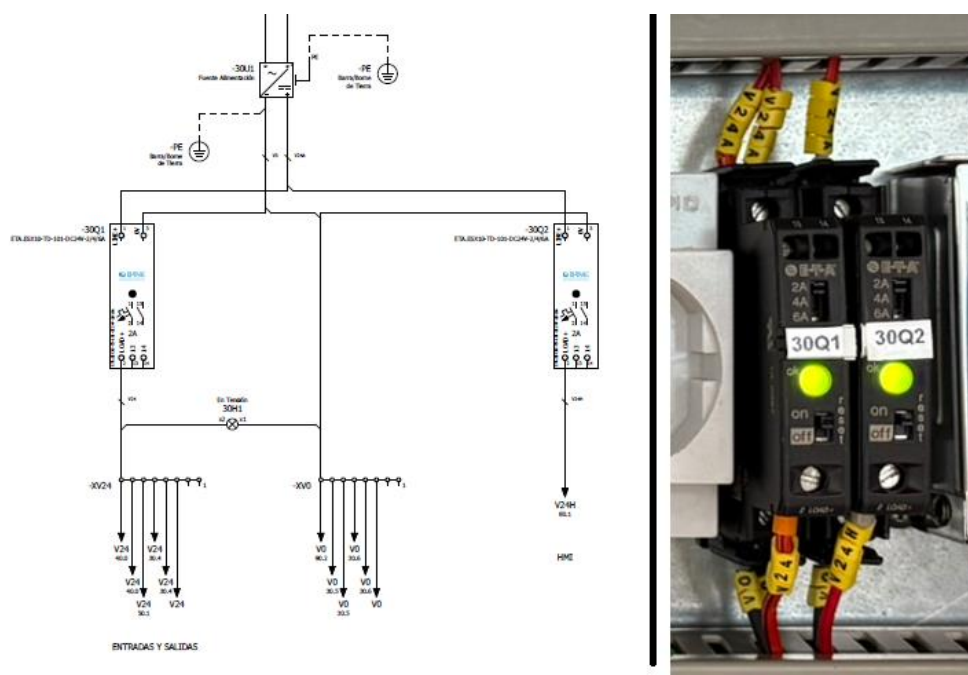


Figura 19. A la izquierda, extracto del esquema eléctrico nuevo. A la derecha, protecciones ya implementadas en el armario eléctrico.



- Sustitución de la CPU.

La antigua CPU compacta 1512C [9] ha sido sustituida por la nueva CPU 1516-3PN/DP [10]. La nueva CPU no dispone de entradas y salidas integradas como la anterior, por lo que se ha añadido un módulo de 32 salidas digitales [11] y un módulo de 32 entradas digitales [12] (Figura 20).



Figura 20. A la izquierda, CPU antigua. A la derecha, CPU nueva.

- Alimentación eléctrica y conexión Profibus al armario horno-depósitos

La nueva CPU dispone además de un puerto Profibus DP que permitirá controlar otros dos sistemas del laboratorio que son el horno y los depósitos mediante periferia descentralizada, compartiendo a su vez el HMI. Se ha dotado de alimentación eléctrica monofásica (230 V – Fase, neutro y tierra) y conexión Profibus al armario eléctrico de dichas instalaciones.

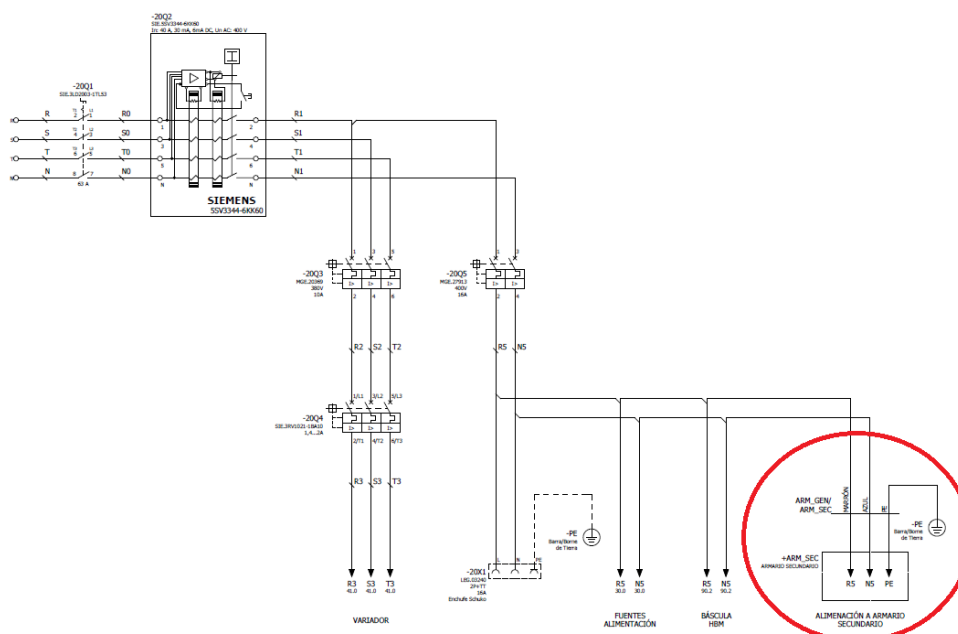


Figura 21. Extracto del esquema eléctrico. Alimentación eléctrica al armario del horno y depósitos.

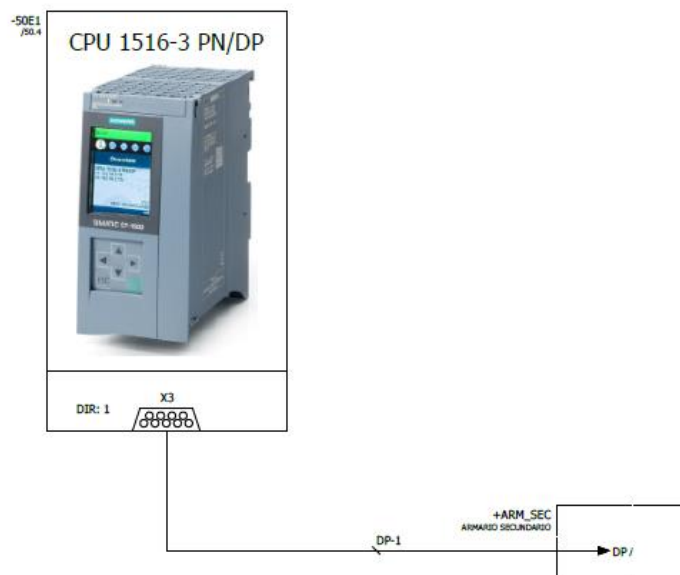


Figura 22. Red Profibus DP para el control del horno y depósitos.

- Integración del nuevo HMI Unified Comfort de 15"

Se integra en el dossier eléctrico el nuevo panel de control [13] (Figura 23), proveyéndolo de alimentación de tensión 24V, así como de red Profinet [16]. Posteriormente se ha montado el panel en el armario eléctrico de la instalación realizando el cajeado necesario en el frontal del mismo, para lo que ha sido necesario trasladar la lámpara “En tensión” a la zona inferior (Figura 24).

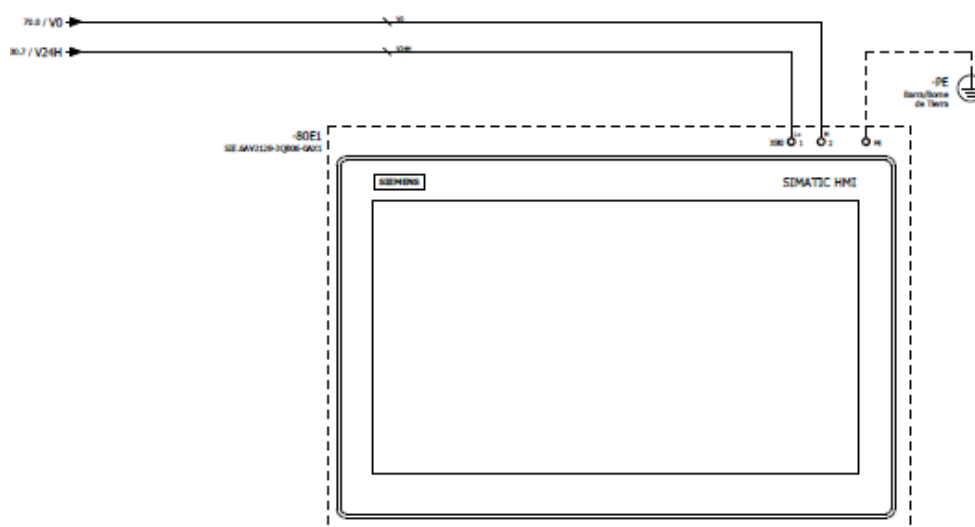


Figura 23. Esquema eléctrico del HMI.

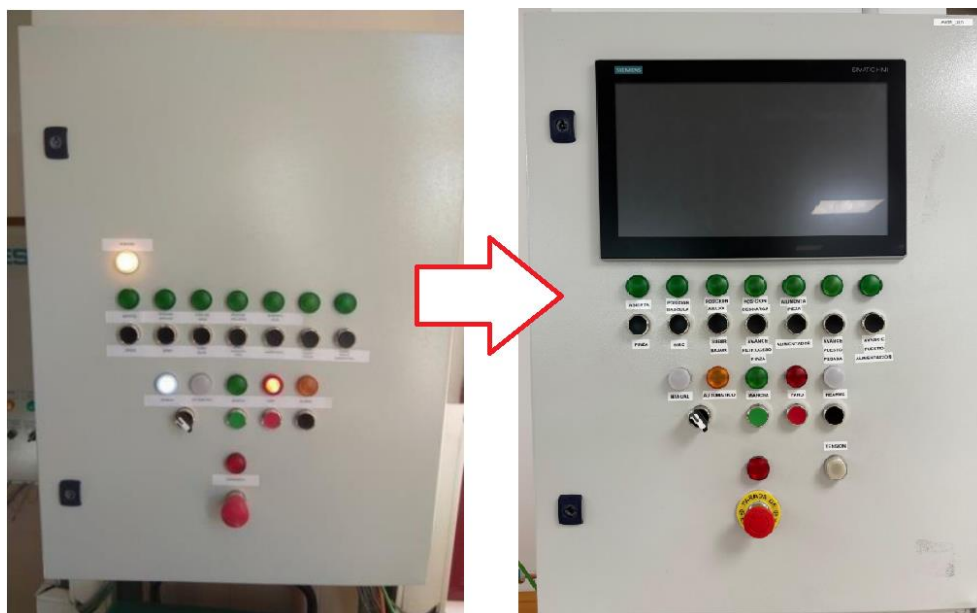


Figura 24. A la izquierda, antiguo frontal del armario. A la derecha, frontal del armario tras la integración del HMI.

El nuevo HMI pasará a ser HMI del laboratorio, dando servicio a la instalación que nos compete en este TFG, al sistema de horno y depósitos conectado a la CPU a través de Profibus DP y a un tercer sistema que será controlado con la antigua CPU que hemos retirado de esta instalación.

El alcance de este TFG no incluye las modificaciones ni el control de ninguna de las dos instalaciones anteriormente comentadas, lo que ha dado lugar a otros dos TFGs ya en marcha a fecha de este TFG.



- Separación de las redes Profinet

Se ha mejorado la red Profinet de la instalación, para ello se ha optado por integrar el variador en una red Profinet local del PLC, de forma que éste quede conectado directamente a la CPU la dirección IP de la red del laboratorio que tenía previamente asignada (157.88.201.191) quede liberada para asignársela posteriormente al HMI (Figura 25). Este cambio ha sido posible gracias a los dos puertos PN independientes de los que dispone la nueva CPU 1516-3PN/DP (Tabla 1).

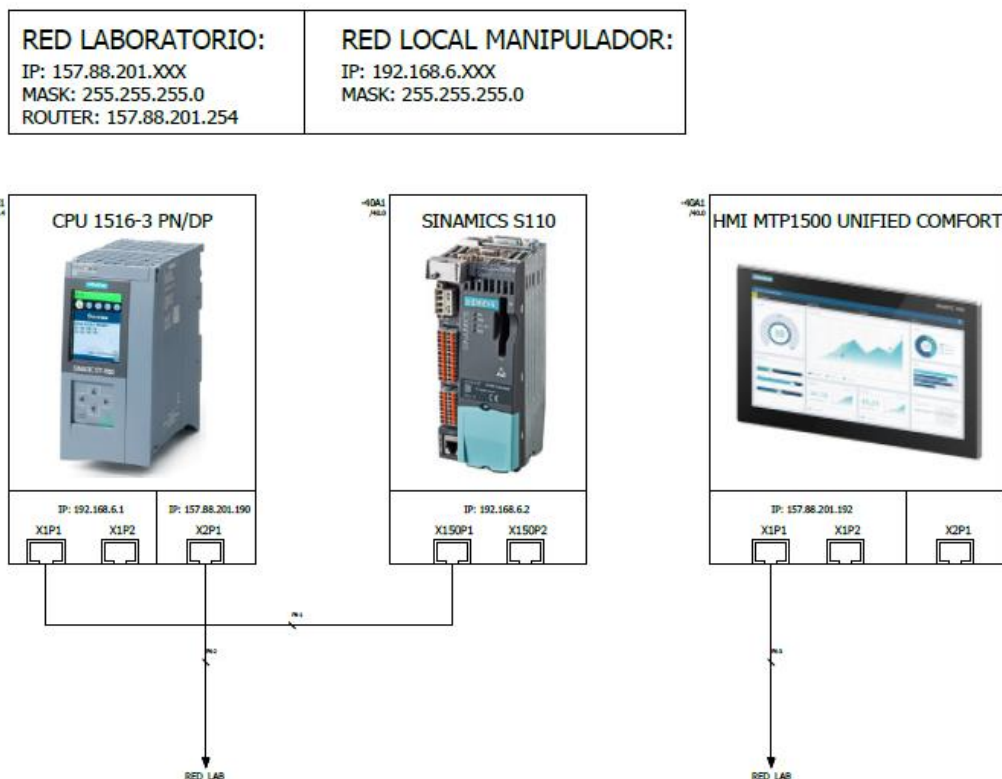


Figura 25. Extracto del esquema eléctrico. Redes Profinet.

REDES PROFINET – DIRECCIONES IP		
	RED LABOATORIO IP: 157.88.201.XXX Máscara: 255.255.255.0	RED LOCAL IP: 157.88.201.XXX Máscara: 255.255.255.0
PLC	157.88.201.190	192.168.6.1
VARIADOR	X	192.168.6.2
HMI	157.88.201.191	X

Tabla 1. Direcciones IP de los elementos del sistema.



- Recableado de la báscula HBM

A pesar de que anteriormente se disponía de una entrada analógica para la lectura de la báscula, se ha optado por realizar la clasificación de las piezas usando entradas digitales. Para ello, se conectarán 4 salidas digitales de la báscula HBM a 4 entradas digitales del autómatas (Figura 26).

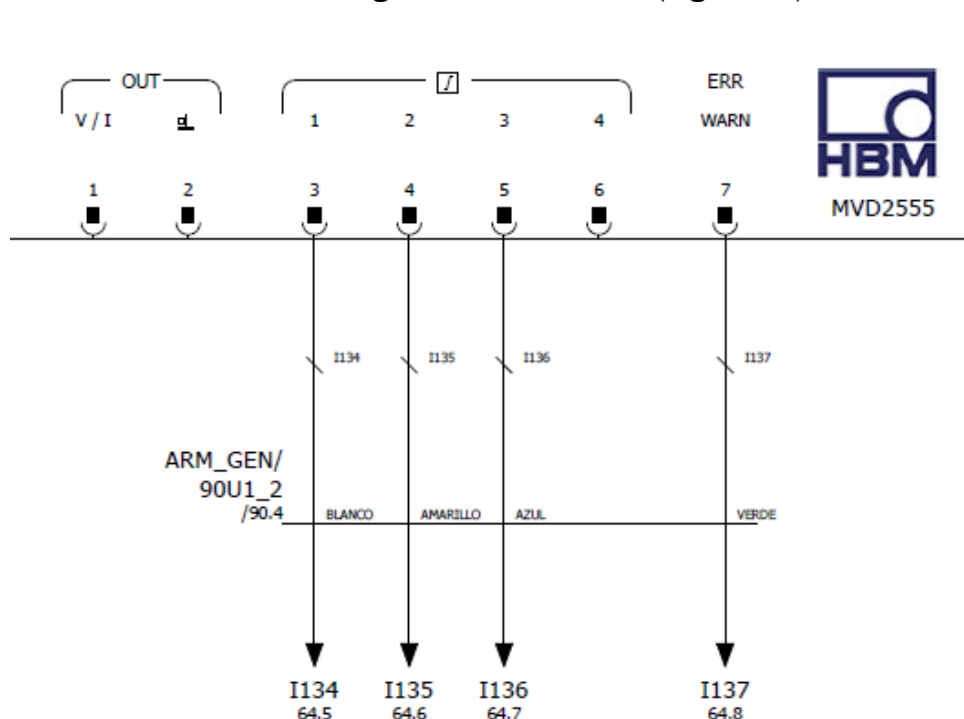


Figura 26. Extracto del esquema eléctrico. Salidas digitales de la báscula HBM.

Es preciso configurar la báscula HBM para que active unas salidas u otras en función del rango de peso detectado [14]. Estos son los siguientes:

- Rango 1 – De 40 a 150 gramos. Salida 1.
- Rango 2 – De 150 a 210 gramos. Salidas 1 y 2.
- Rango 3 – De 210 a 1000 gramos. Salidas 1, 2 y 3.

La salida “ERR” permanece en estado alto de forma permanente, a menos que haya un error en la báscula, entonces pasa a estado bajo (0).

Con esta modificación se eliminan los posibles ruidos eléctricos que se pudieran generar en el cableado de la señal analógica y causar medidas erróneas.

- Recableado de las setas de emergencia

Con el objetivo de mejorar la seguridad de la instalación y asegurar la parada de los movimientos peligrosos en caso de activación de una parada de emergencia se han realizado las siguientes acciones:

- Se ha añadido una segunda cámara de contactos a las 3 setas de emergencia de la instalación.



- Se han seriado las tres setas de la instalación y su señal se envía directamente a una entrada digital segura del variador F-DI (Figura 27).
- Se ha conectado una salida digital del variador a una entrada del PLC, con el objetivo de que el sistema conozca el estado de las paradas del sistema.

Con estas modificaciones, ante un paro de emergencia es el propio variador el encargado de activar la función STO (Safe Torque Off) y parar los movimientos de forma segura, consiguiendo un extra de seguridad imprescindible.

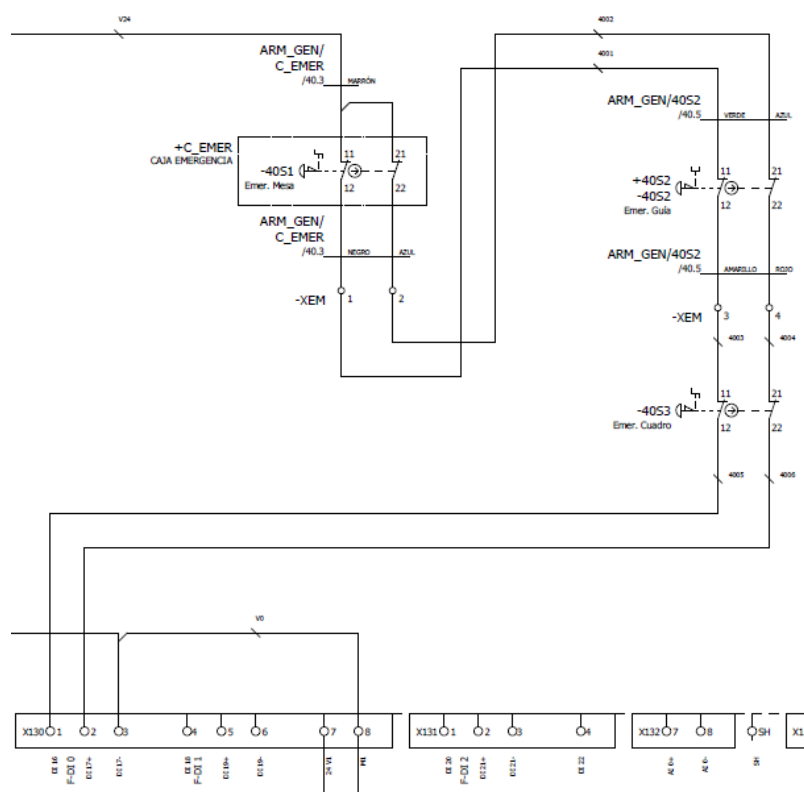


Figura 27. Extracto del esquema eléctrico. Cadena de paradas de emergencia.

- Alimentación de 24V al variador

Se ha dotado de alimentación de 24V a la CU305-PN [15] del variador (Figura 28 y Figura 29), permitiendo la comunicación entre el autómatas y el variador a pesar de no tener activo el contactor de línea del variador. Esto mejora la velocidad de arranque del sistema, ya que el PLC realiza una búsqueda de todos los periféricos en el arranque y si no es capaz de encontrar alguno lo reintenta durante un par de minutos antes de pasar a RUN.

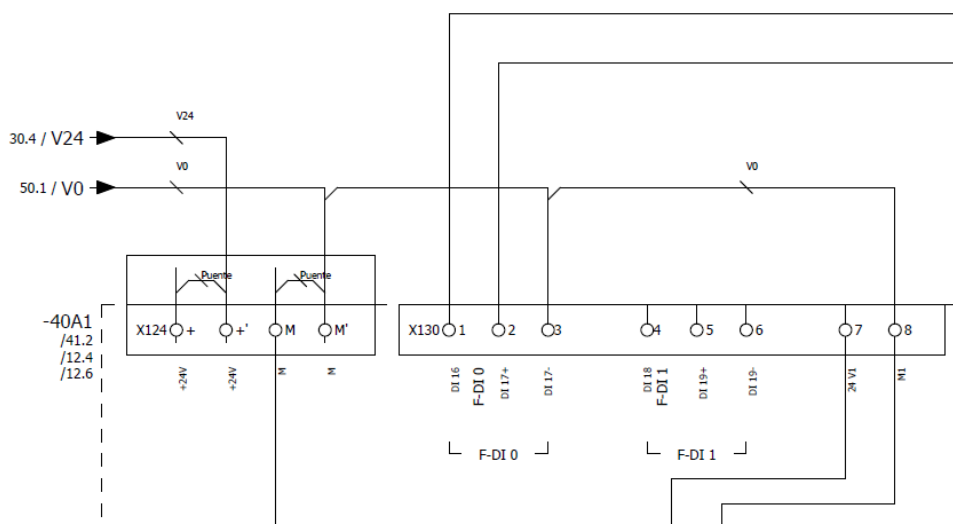


Figura 28. Extracto del esquema eléctrico. Alimentación 24V del variador.

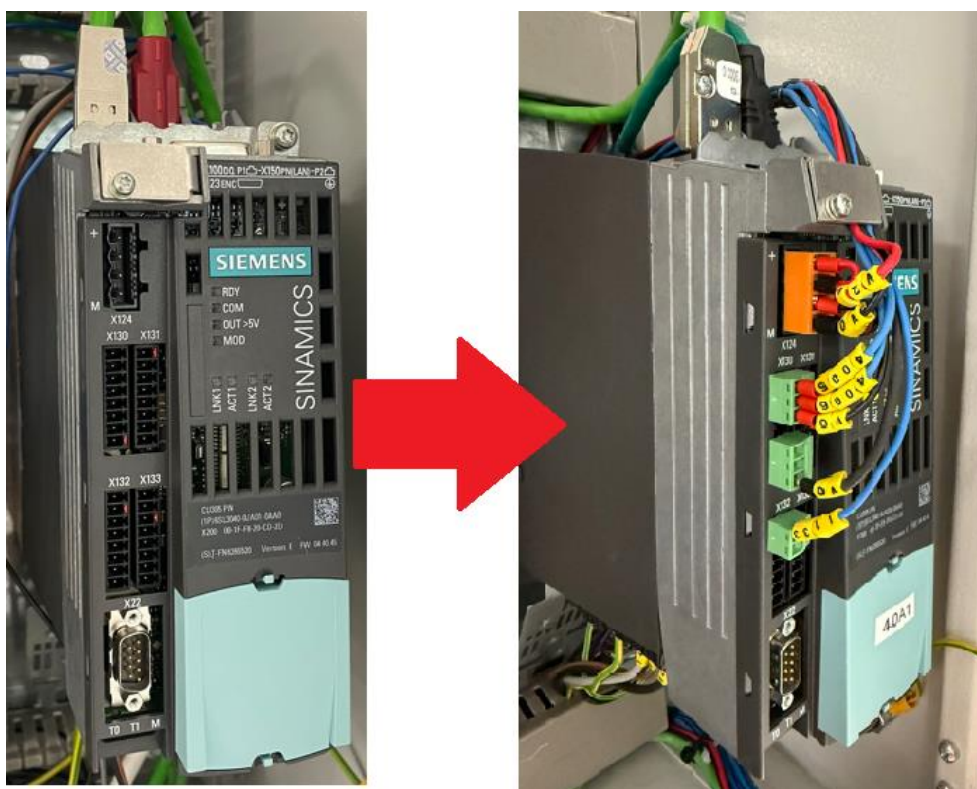


Figura 29. A la izquierda, estado previo del variador. A la derecha, conexiones del variador tras la modificación.

- Adición de un contactor de línea en el variador

Se ha detectado que los saltos del diferencial durante el apagado del sistema son provocados por el variador, por lo que se ha dotado de un contactor de línea al variador (Figura 30), con el objetivo de cortar la alimentación de potencia del mismo previamente a cortar la tensión general del armario. Con esto se consigue aislar el variador de la red antes del corte de suministro, evitando así los saltos intempestivos de los diferenciales. Se cortará potencia al variador cuando alguna de las seguridades (setas de emergencia o



fotocélula) se encuentre activa, por lo que será preciso cortar alguna de estas seguridades antes de proceder a quitar tensión al armario.

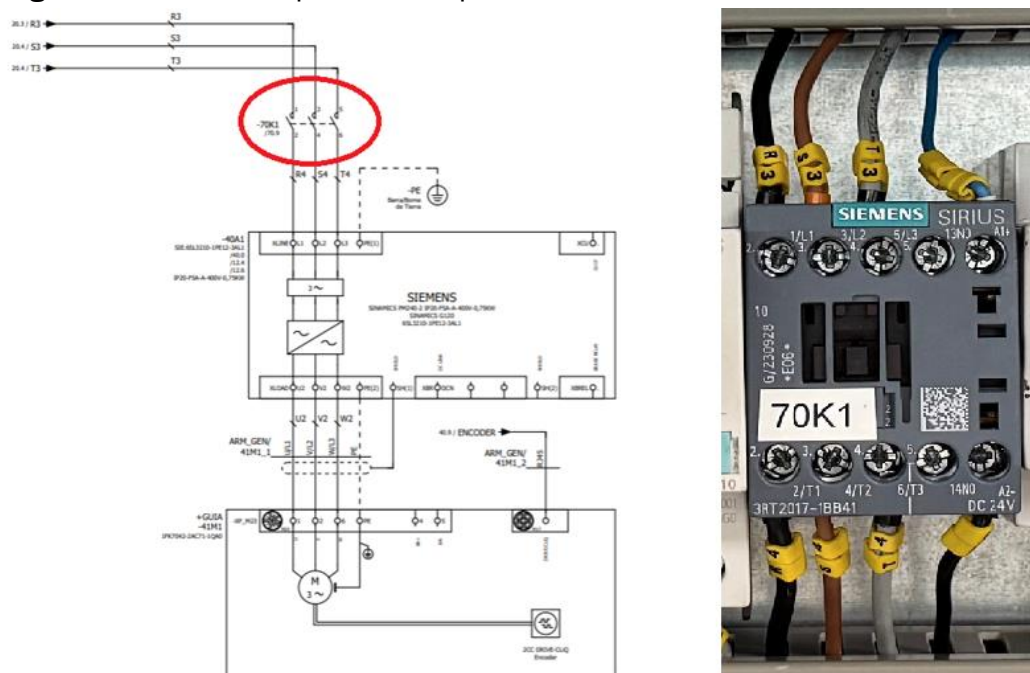


Figura 30. A la izquierda, extracto del esquema eléctrico. A la derecha, contactor de línea ya montado en el armario.

- Eliminación de finales de carrera duplicados

El sistema contaba con finales de carrera por duplicado (Figura 31) en cada extremo de la guía. Dos de ellos actuaban como seguridad cortando potencia al variador y los otros dos paraban el movimiento por programa de autómatas. Con la nueva programación utilizando objetos tecnológicos no es necesario esta redundancia de sensores, ya que el propio objeto gestiona el paro efectivo del movimiento en caso de activarse alguno de ellos.

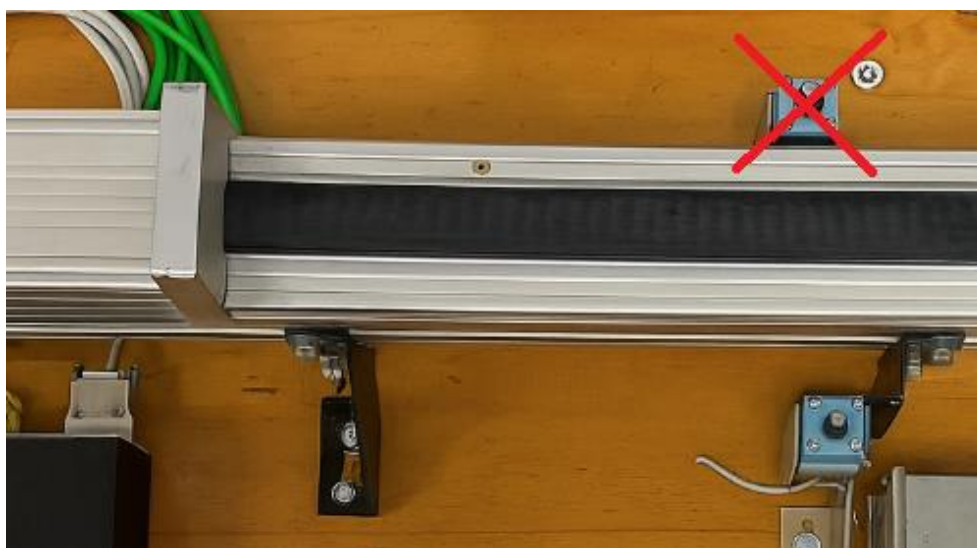


Figura 31. Finales de carrera duplicados.



- Cambio de la ubicación del servomotor

Anteriormente el motor eléctrico de la guía lineal se encontraba en el lado izquierdo de la misma (Figura 32), justo en el lado opuesto al armario eléctrico. A consecuencia, el cable de potencia del motor no llegaba hasta el armario eléctrico y se hallaba empalmado a una manguera a mitad de la mesa (Figura 11). Se ha desmontado físicamente el motor y montado en el lado derecho de la guía, permitiendo así conectar el motor directamente al variador (Figura 33).

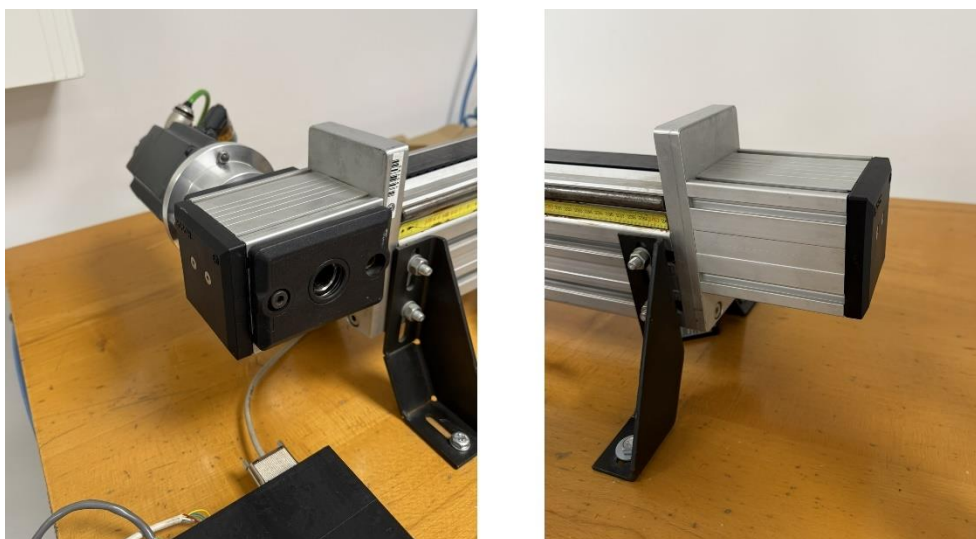
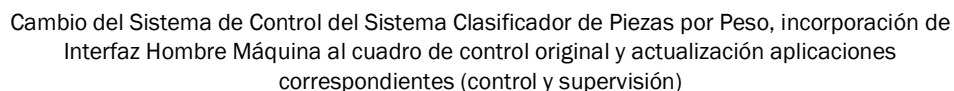


Figura 32. Extremos izquierdo y derecho de la guía previos al cambio de motor.



Figura 33. Nueva ubicación del motor en el extremo derecho de la guía.



Se han generado planos de conexiones para cada una de las mangueras y borneros de la instalación (Figura 34), con el objetivo de facilitar las tareas de mantenimiento e identificación de problemas futuros.

Figura 34. Plano de conexiones del bornero del manipulador.

Se ha realizado un saneamiento integral de todos los hilos y mangueras de la instalación, tanto del interior del armario eléctrico como del resto de los elementos de campo, sustituyendo todos ellos que se encontraban en mal estado (Figura 35). A su vez, se han etiquetado todos y cada uno de los hilos, mangueras y elementos de la instalación, acorde a los nuevos esquemas eléctricos, a la vez que se ha colocado la tapa de cierre de la parte inferior del armario utilizando prensaestopas para el paso de las mangueras (Figura 36 a Figura 38).



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)

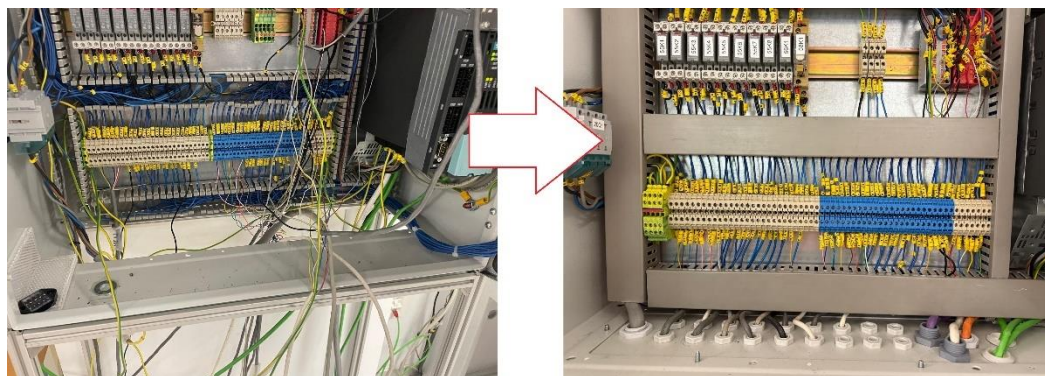


Figura 35. Saneamiento general del armario. Antes (izquierda) y después (derecha).



Figura 36. Elementos del armario eléctrico etiquetados.



Figura 37. Parte inferior del armario eléctrico. Salida de mangueras.



Figura 38. Elementos de campo debidamente etiquetados. Servomotor, seta de emergencia móvil y sensórica del alimentador.



3.3. Descripción de los objetos tecnológicos (T0)

El intercambio de datos entre el autómatas y el variador a través de Profinet se realiza con telegramas, que son estructuras de datos estándar conforme al perfil de aplicación ProfiDRIVE [17] que permiten la comunicación y control de controladores y sistemas de accionamiento. En función del tipo de aplicación se deberán de usar unos telegramas u otros (Figura 39 y Figura 40).

1. Telegramas estándar

Los telegramas estándar están configurados conforme al PROFIdrive Profile. La conexión interna de los datos de proceso se realiza automáticamente, conforme al número de telegrama ajustado.

Se pueden ajustar los siguientes telegramas estándar con el parámetro p0922:

- 1 Consigna de velocidad de 16 bits
- 2 Consigna de velocidad de 32 bits
- 3 Consigna de velocidad de 32 bits con 1 encóder de posición
- 4 Consigna de velocidad de 32 bits con 2 encóder de posición
- 7 Posicionamiento telegrama 7 (posicionador simple)
- 9 Posicionamiento telegrama 9 (posicionador simple con entrada directa)

Figura 39. Telegramas estándar ProfiDRIVE. Extracto del manual de Siemens [18].

2. Telegramas específicos del fabricante

Los telegramas específicos del fabricante están configurados conforme a las especificaciones internas de la empresa. La conexión interna de los datos de proceso se realiza automáticamente, conforme al número de telegrama ajustado.

Se pueden ajustar los siguientes telegramas específicos del fabricante a través de p0922:

- 102 Consigna de velocidad de 32 bits con 1 encóder de posición y reducción de par
- 103 Consigna de velocidad de 32 bits con 2 encóder de posición y reducción de par
- 110 Posicionamiento telegrama 10 (posicionador simple con MDI, Override y XIST_A)
- 111 Posicionamiento telegrama 11 (posicionador simple en el modo de operación MDI)
- 390 Control Unit con entradas y salidas digitales
- 391 Control Unit con entradas y salidas digitales y 2 detectores
- 392 Control Unit con entradas y salidas digitales y 4 detectores
- 393 Control Unit con entradas y salidas digitales, entrada analógica y 4 detectores
- 394 Control Unit con entradas y salidas digitales

Figura 40. Telegramas específicos de Siemens ProfiDRIVE [18].

Se tienen 3 lazos de control PID para el control de un posicionamiento. Estos son:

- Lazo de intensidad
- Lazo de velocidad
- Lazo de posición



Hasta ahora, el posicionamiento del eje de la guía se ha estado realizando con lo que se denomina *posicionamiento básico EPOS*. En este caso, es el propio variador el que gestiona los tres lazos de control descritos anteriormente, de modo que el PLC únicamente le transmite a través del telegrama ProfiDRIVE 111 la consigna de posición deseada.

Con el uso de objetos tecnológicos, el control del lazo de posición queda delegado al PLC, mientras que los otros dos (intensidad y velocidad) siguen en el variador. En este caso, la comunicación variador-autómata deberá ser a través de un telegrama de consigna de velocidad, como pudieran ser los telegramas 3, 103 o 105.

Para este proyecto se ha optado por el uso de TO para el control del eje por las numerosas ventajas que ofrece, entre las que destacan:

- Integración total en TIA Portal, ofreciendo la posibilidad de parametrizar el variador y programar la maniobra en un único entorno de desarrollo. (No disponible para Control Units antiguas).
- Programación más sencilla, con comandos de alto nivel utilizando FBs estandarizadas, definidas y probadas por Siemens, lo que da lugar a menor número de errores y ahorro de tiempo de programación y puesta a punto.
- Implementan funciones automáticas para el referenciado de ejes, sincronismo de varios ejes, gestión de colisiones o movimientos complejos.
- Facilitan el diagnóstico de errores
- Permite realizar simulaciones del eje

3.4. Programación del variador

La unidad de control del variador de la que disponemos (CU305-PN) no se encuentra actualmente integrada en el catálogo de TIA Portal, por lo que no es posible realizar la parametrización y configuración del variador. Es preciso recurrir al software de Siemens STARTER [22], con el que se realizó la puesta en marcha del equipo en sus inicios [2].

Puesto que no se dispone del proyecto de STARTER con los parámetros del variador en funcionamiento, el objetivo es crear un nuevo proyecto desde cero, conectarse online al variador y rescatar su configuración actual. Una vez tengamos el proyecto con toda la parametrización del eje, se procederá a cambiar el telegrama de comunicación por uno apto para el uso de TO y la configuración de las entradas de seguridad F-DI para las paradas de emergencia.

- Creación de un nuevo proyecto y rescate de configuración del variador
El primer paso se trata de crear un nuevo proyecto en el programa STARTER. Será necesario conectar el ordenador a uno de los puertos del variador mediante un cable ethernet. Nada más abrir el programa se abre un cuadro de diálogo (Figura 41) donde se debe seleccionar “*Buscar unidades de accionamiento online*”

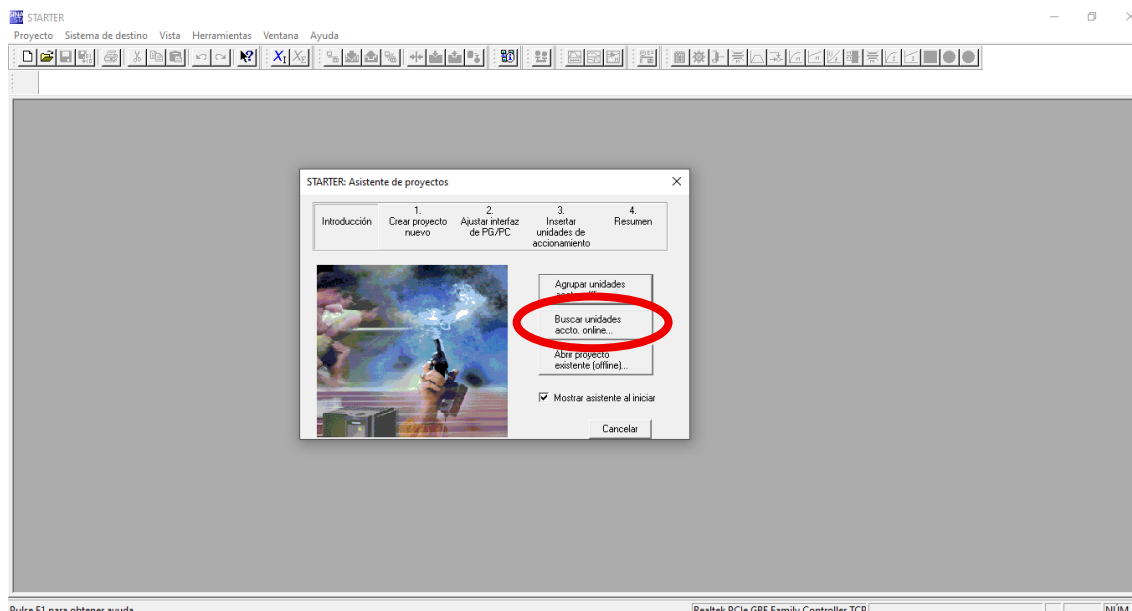


Figura 41. Página de inicio de STARTER.

Posteriormente se debe elegir un nombre para el proyecto y la ruta en la que se va a guardar (Figura 42).



Figura 42. Creación del proyecto de STARTER.

El programa buscará automáticamente los dispositivos accesibles y mostrará el variador (Figura 43). Una vez aparezca en pantalla la CU305_PN se deberá seleccionar y pulsar en continuar.

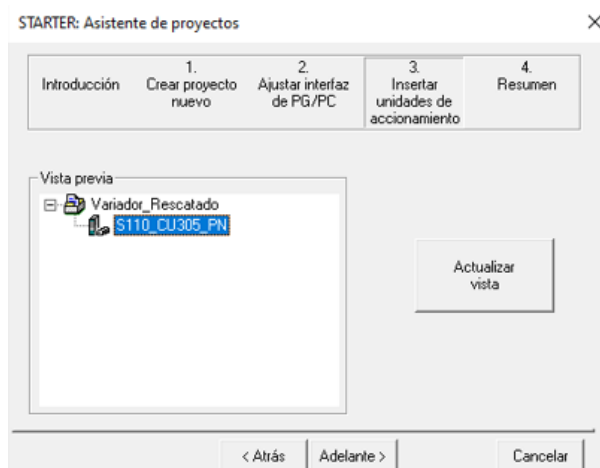


Figura 43. Búsqueda "online" del variador.

En este punto, ya se tiene un nuevo proyecto con el variador integrado. El siguiente paso es conectarse online al accionamiento y cargar en el proyecto (PG) los parámetros del mismo. Para ello es preciso seleccionar el accionamiento en el árbol de navegación izquierda y pulsar sobre el icono correspondiente en la parte superior. Aparecerá un cuadro de diálogo para seleccionar nuevamente el dispositivo de destino (variador) y aceptar (Figura 44).

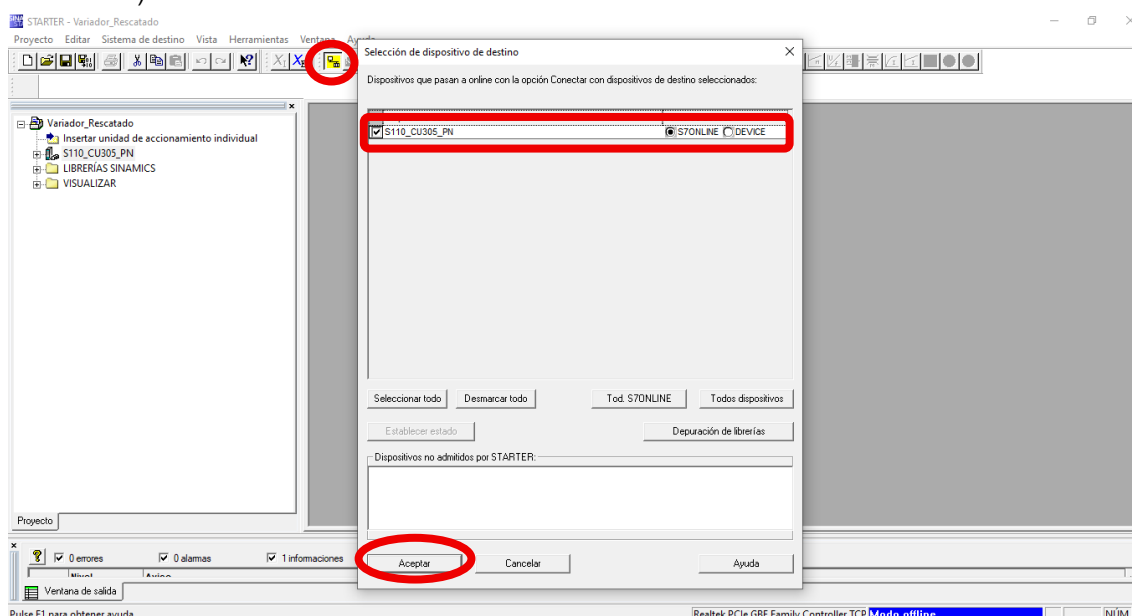


Figura 44. Conexión "online" con el variador.

Una vez se realiza la conexión con el variador, automáticamente se abre una nueva ventana indicando que la configuración del variador online es distinta a la que se tiene en el proyecto (Figura 45). Se deberá pulsar sobre "Cargar en la PG" para que los parámetros del variador sean transferidos al proyecto del STARTER.

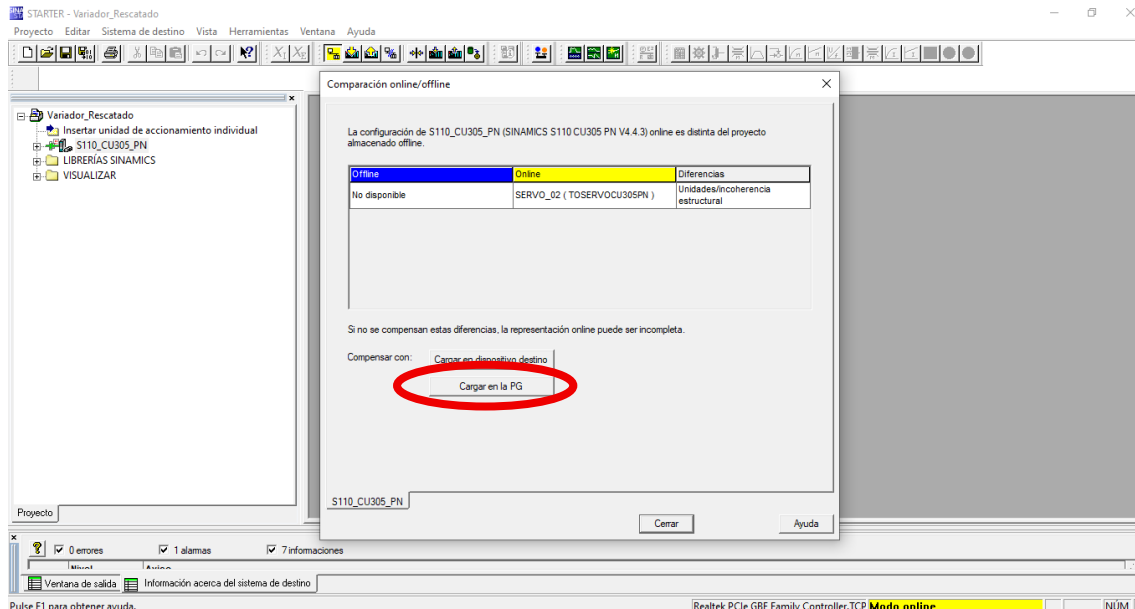


Figura 45. Carga de los parámetros del variador en la PG.

Este proceso lleva unos minutos. Una vez finaliza, ya se tiene en el proyecto toda la configuración actual del variador (Figura 46).

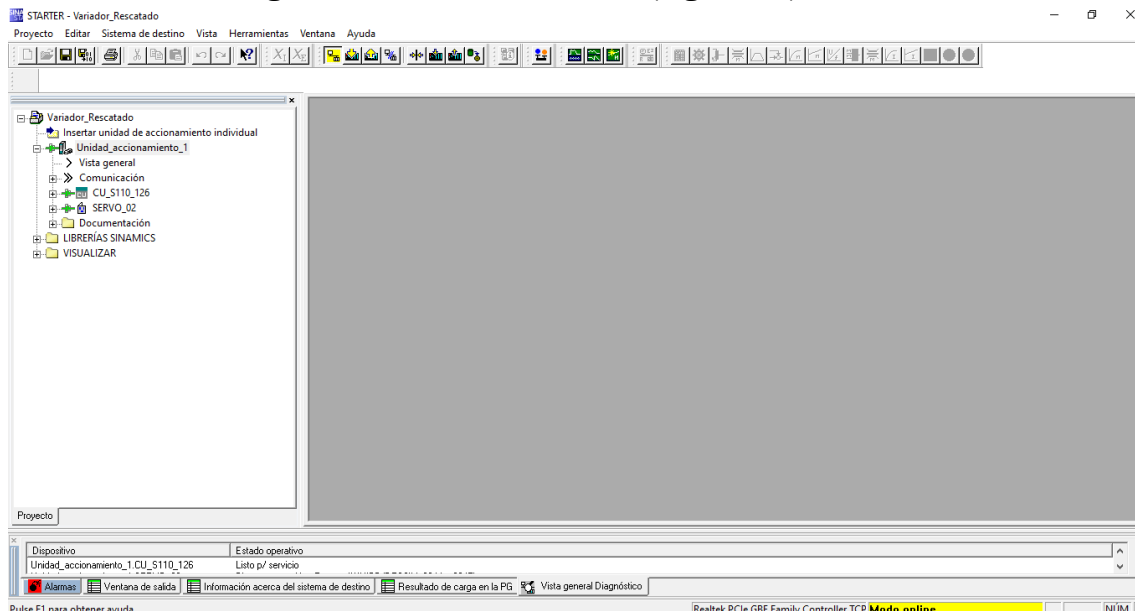


Figura 46. Proyecto con los parámetros iniciales del variador.

- **Cambio de dirección IP**

Como se ha descrito en apartados anteriores, la IP que tenía asociada previamente el variador será la utilizada por el HMI de laboratorio, por lo que es preciso configurar la nueva IP que utilizará el variador para comunicarse con el autómat. Es necesario acceder al apartado “Comunicación > Interfaz PeM” en el panel de navegación izquierda para poder modificar la dirección IP (Figura 47).



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)

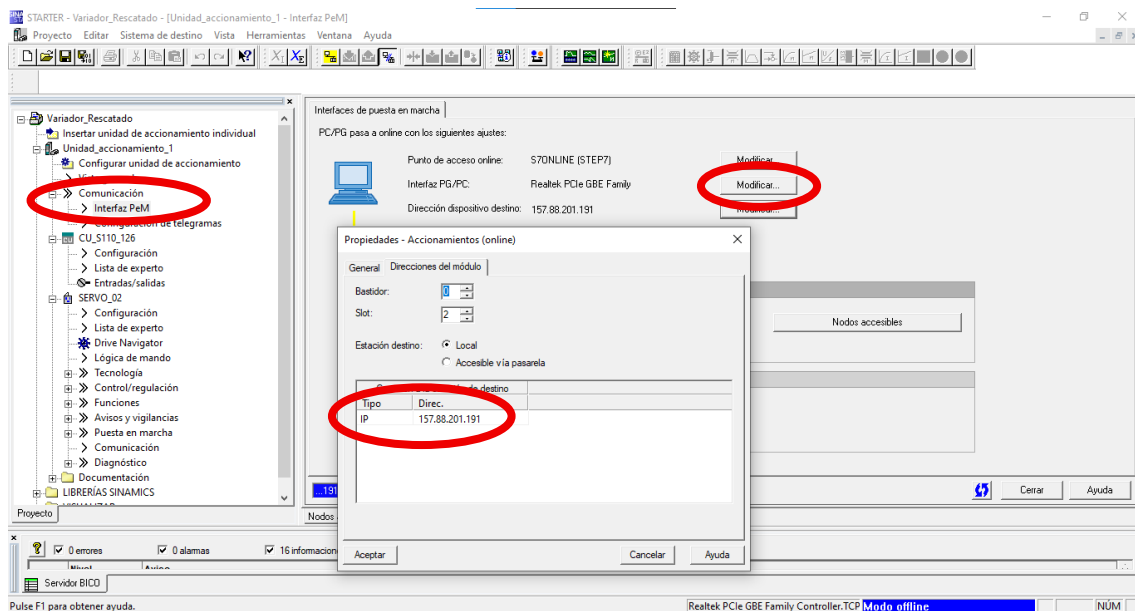


Figura 47. Cambio de la dirección IP del variador.

• Cambio de telegrama de comunicación

Hasta ahora, la comunicación Autómata-Variador se ha estado realizando mediante el Telegrama de posición 111 (Figura 48).

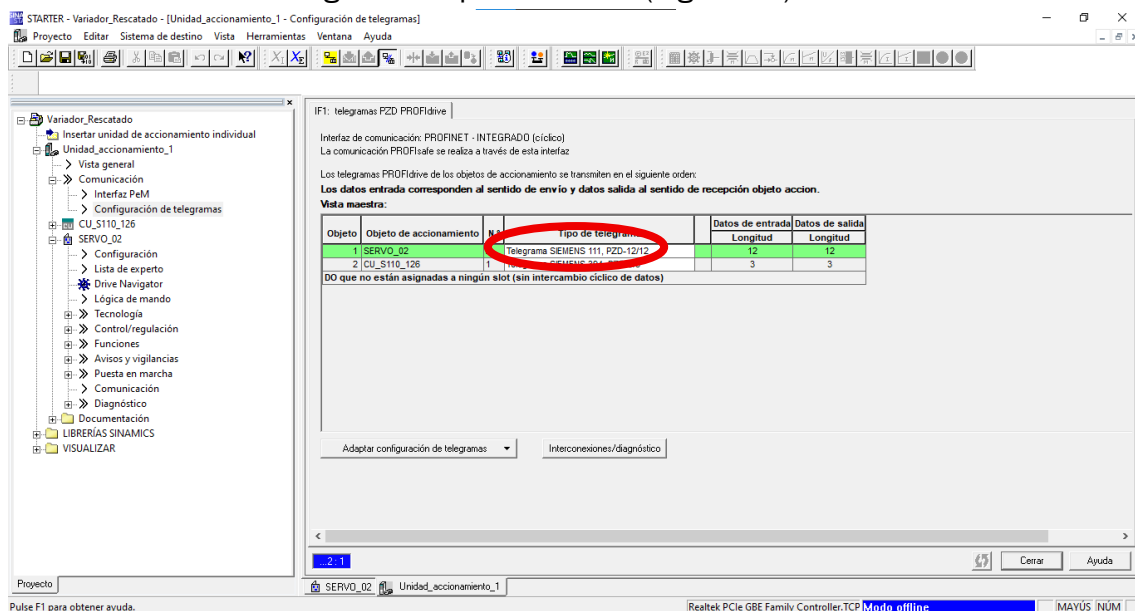


Figura 48. Telegramas iniciales de comunicación del variador.

Para poder cambiar la configuración del telegrama a uno de velocidad es necesario acceder al menú 'Drive Navigator > Config. Dispositivo > Realizar configuración del accionamiento' (Figura 49).

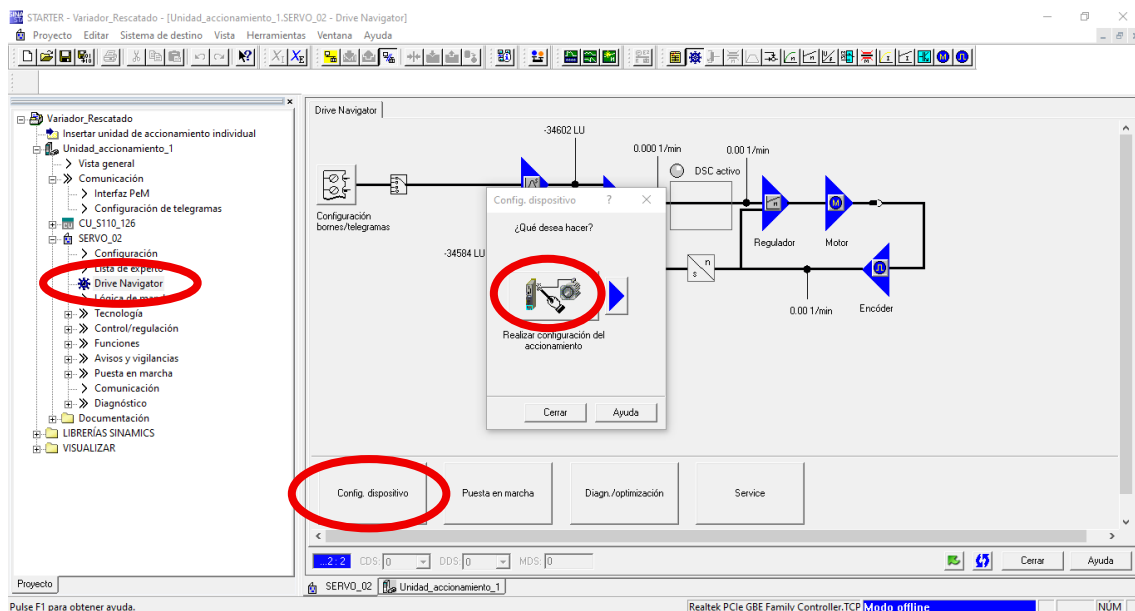


Figura 49. Menú "Configuración dispositivo" de STARTER.

En el apartado "Módulos de función" se debe desactivar la casilla Posicionador simple, activar la casilla de Regulador tecnológico (Figura 50).

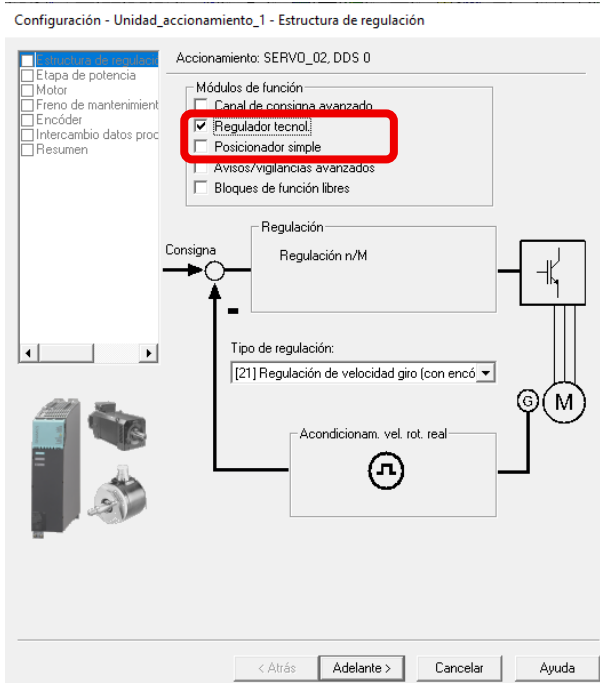


Figura 50. Configuración del variador. Estructura de regulación.

En los siguientes pasos, no se debe cambiar ningún parámetro, hasta llegar a la ventana de selección del Telegrama de comunicación. Es ahora, cuando se debe elegir el telegrama de velocidad deseado, en este caso el Telegrama estándar 3, y aceptar la configuración (Figura 51).



Figura 51. Configuración del variador. Intercambio de datos del proceso.

- Configuración de entradas de seguridad

Para poder realizar una parada segura en el caso de activación de cualquiera de las setas de emergencia, se debe activar la función safety STO. En el apartado “*Funciones > Safety Integrated*” se ha de seleccionar “*Funciones básicas mediante bornes integrados*” (Figura 52). Automáticamente se seleccionan las entradas de seguridad DI16 y DI17 para la activación de la desconexión segura del par (STO).

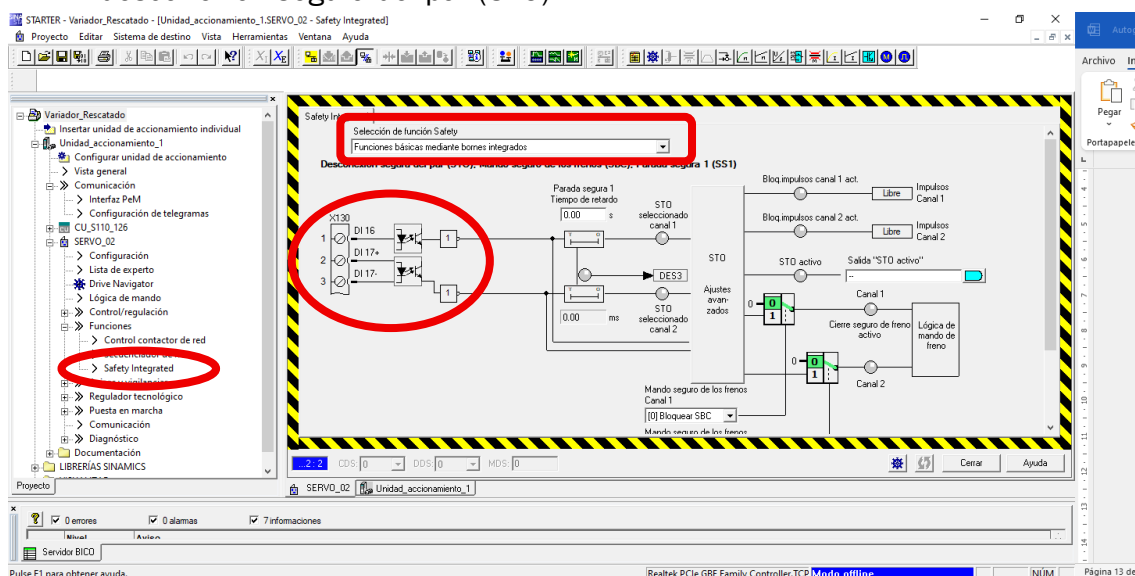


Figura 52. Configuración del variador. Función de paro segura STO.



- Configuración de salida digital de estado de las emergencias

Se quiere conocer el estado de las emergencias en el PLC, para así poder realizar un correcto control y diagnóstico del sistema. Para configurar una salida digital del variador con este propósito se debe acudir al apartado “Entradas/Salidas > Entradas/Salidas digitales bidireccionales” (Figura 53). Se configura la DO8 como salida digital, vinculada al parámetro r9773.1: STO en accionamiento activo.

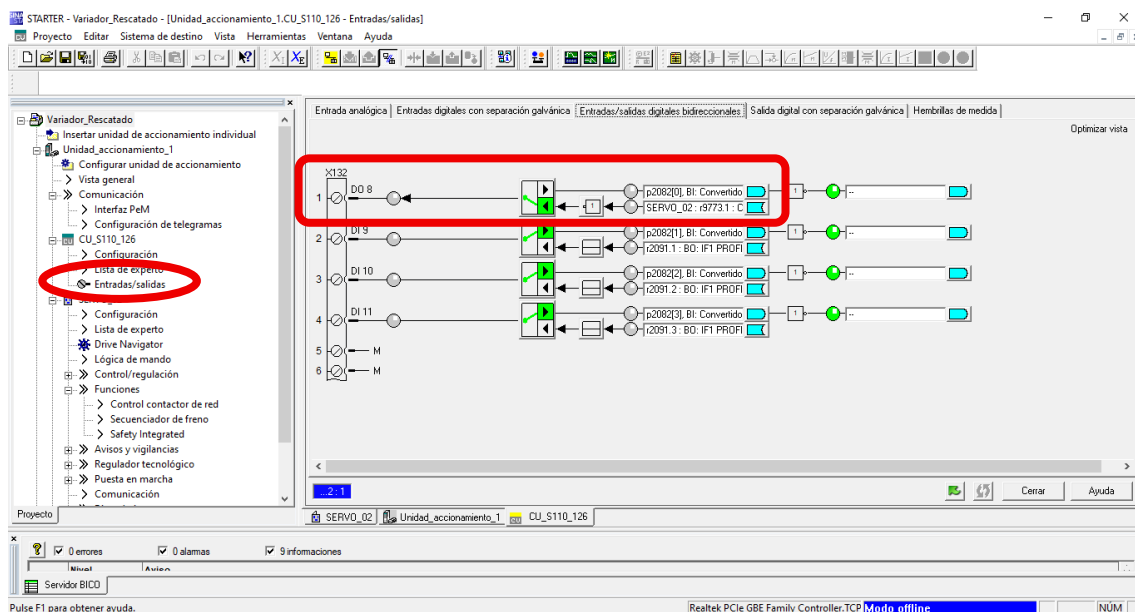


Figura 53. Configuración del variador. Entradas y salidas digitales.

- Carga del proyecto en el variador

Una vez finalizada toda la configuración, se debe cargar el proyecto en el dispositivo de destino (variador). Para ello se debe pulsar sobre el icono oportuno en el panel superior e iniciar el proceso. Es de especial importancia marcar la casilla “Copiar RAM en ROM tras la carga”, ya que en caso de no hacerlo se perderá toda la configuración realizada en el variador al quitar tensión al sistema (Figura 54).

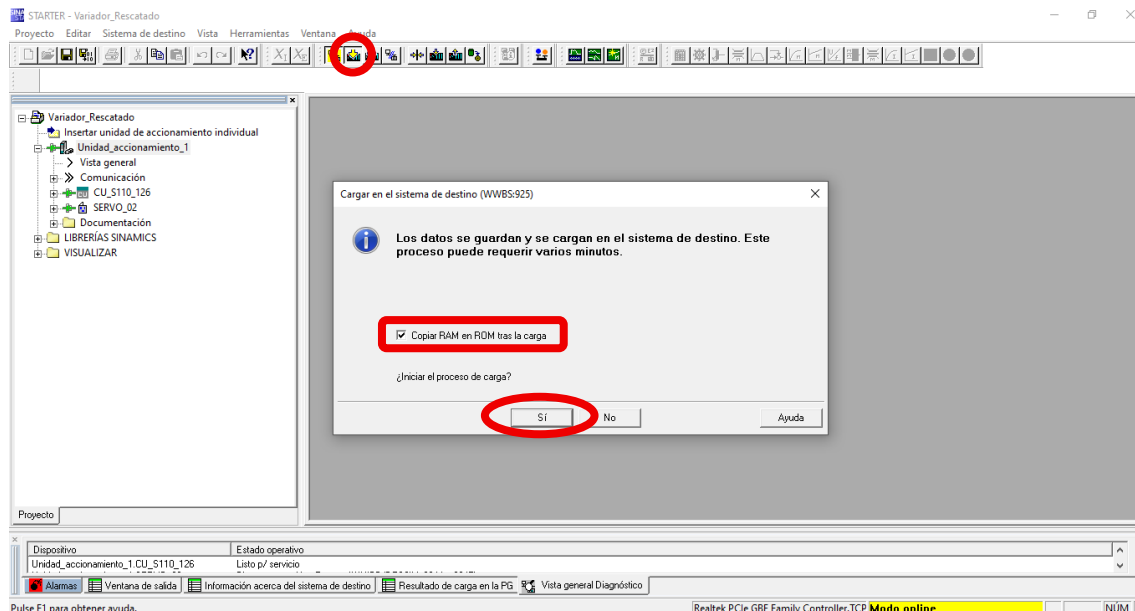


Figura 54. Configuración del variador. Carga de parámetros al variador.

Este proyecto con la configuración del variador se encuentra en el ANEXO III – Proyecto de STARTER.



3.5. Programación del autómatas e interfaz hombre-máquina

Para la programación del PLC se ha utilizado el software de ingeniería de Siemens *TIA Portal V18*, que unifica e integra todas las herramientas para la configuración y programación tanto del autómatas como del nuevo HMI, desarrollando una programación íntegramente nueva, adaptándola específicamente a los requerimientos del sistema y al nuevo sistema de supervisión y control HMI. El proyecto completo se encuentra en el ANEXO IV – Proyecto de TIA Portal V18.

3.5.1. Configuración Hardware

El primer paso por realizar es incorporar al proyecto de TIA Portal los tres elementos hardware de los que se dispone: CPU, HMI y Variador, y realizar las conexiones Profinet entre ellos. Esta operación se realiza en la vista de “Redes y dispositivos”, incorporando cada uno de ellos desde el catálogo de la parte derecha (Figura 55).

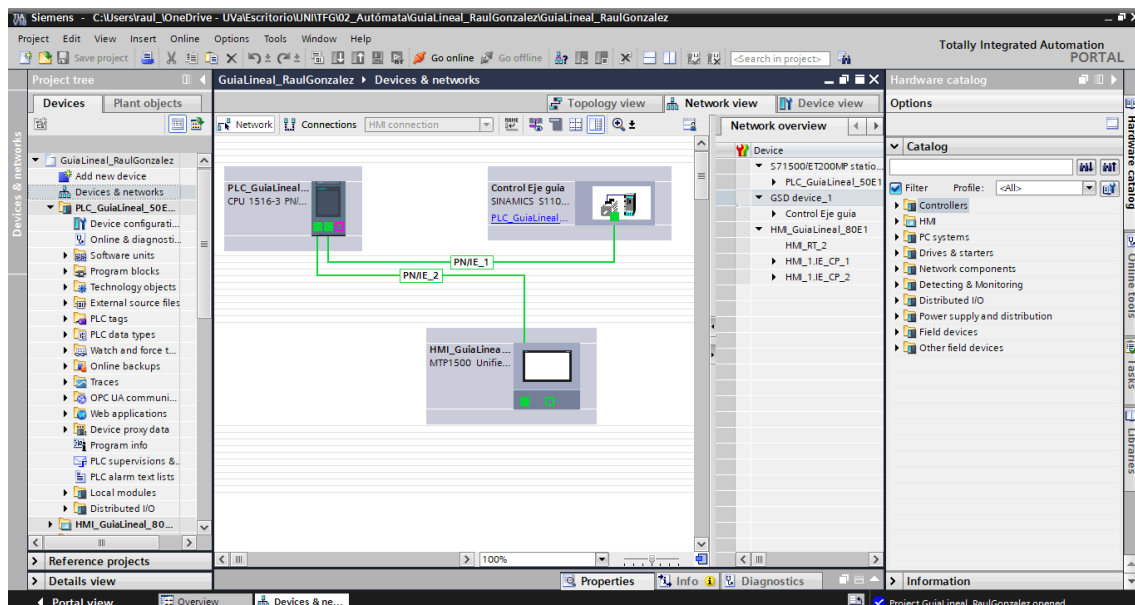


Figura 55. TIA Portal. Vista de dispositivos y catálogo hardware.

Se puede apreciar las dos redes Profinet independientes, de forma que de la red del laboratorio únicamente están conectados los elementos CPU y HMI, mientras que en la red local se encuentra la CPU y el variador (Tabla 1).



3.5.1.1. Autómata

Dentro de la configuración Hardware del PLC, se añade desde el catálogo hardware los módulos de entradas y salidas digitales que se van a utilizar (Figura 56).

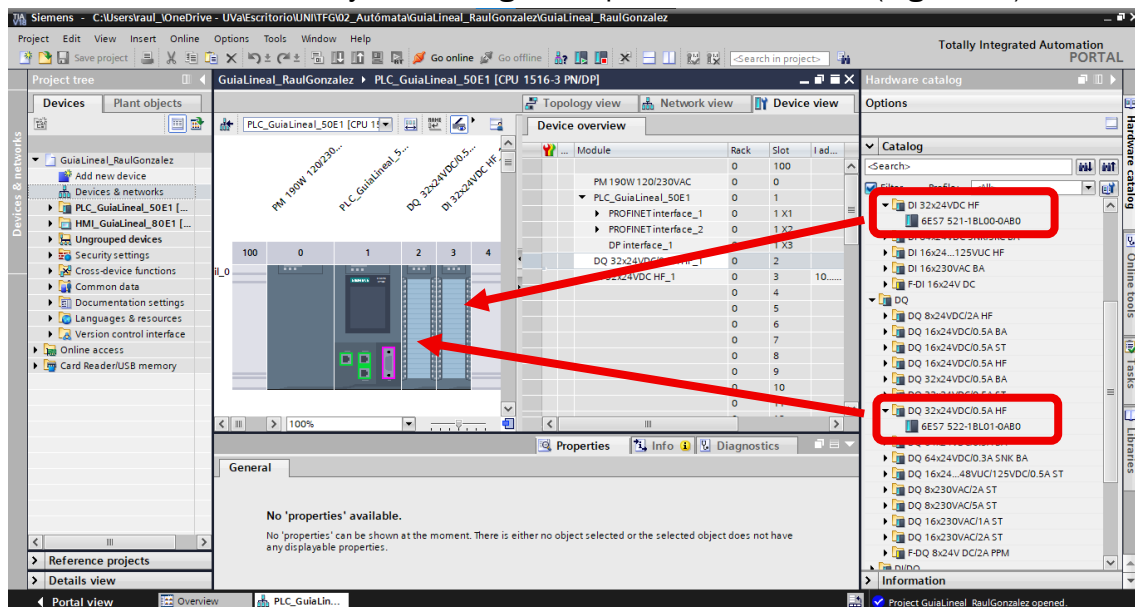


Figura 56. Configuración hardware del PLC. Módulos de entradas y salidas.

El siguiente paso es la configuración de las interfaces de Profinet del dispositivo. Usaremos el puerto X1 para la red local de control con el variador, por lo que se le asigna la dirección IP 192.168.6.1 (Figura 57).

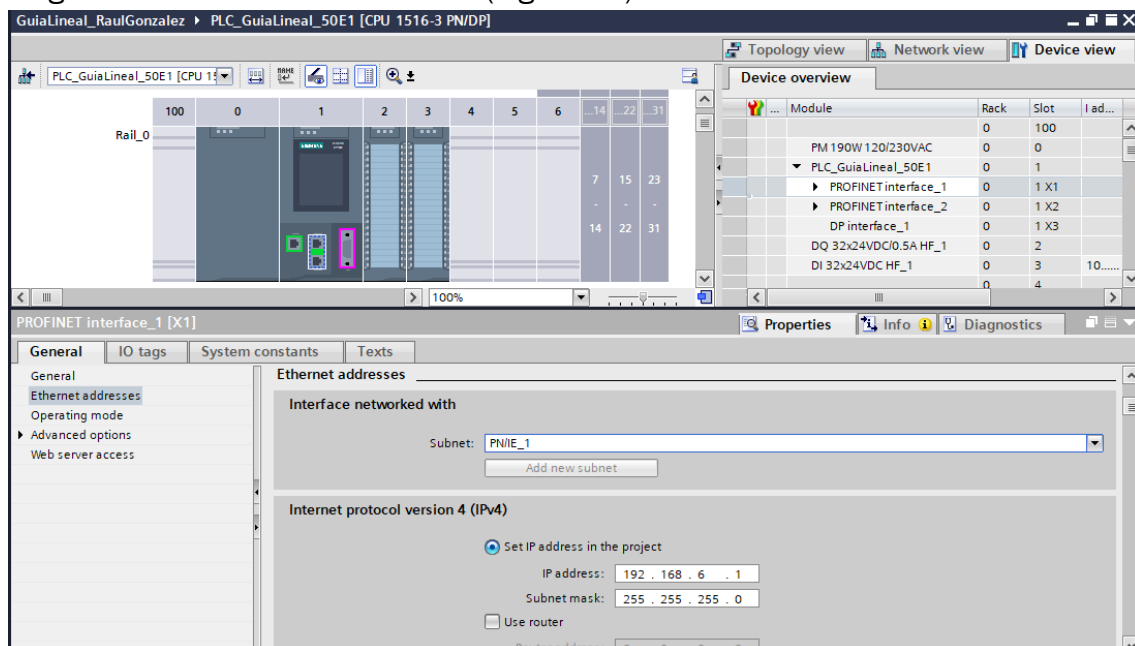


Figura 57. Asignación de dirección IP al PLC. Red Profinet local.

Al puerto X2, que será el que se conecte a la red del laboratorio, se le asigna la IP 157.88.201.190. Además, es preciso configurar el uso de router con dirección



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)

157.88.201.254, para poder acceder al PLC de forma remota desde cualquier PC del laboratorio (Figura 58).

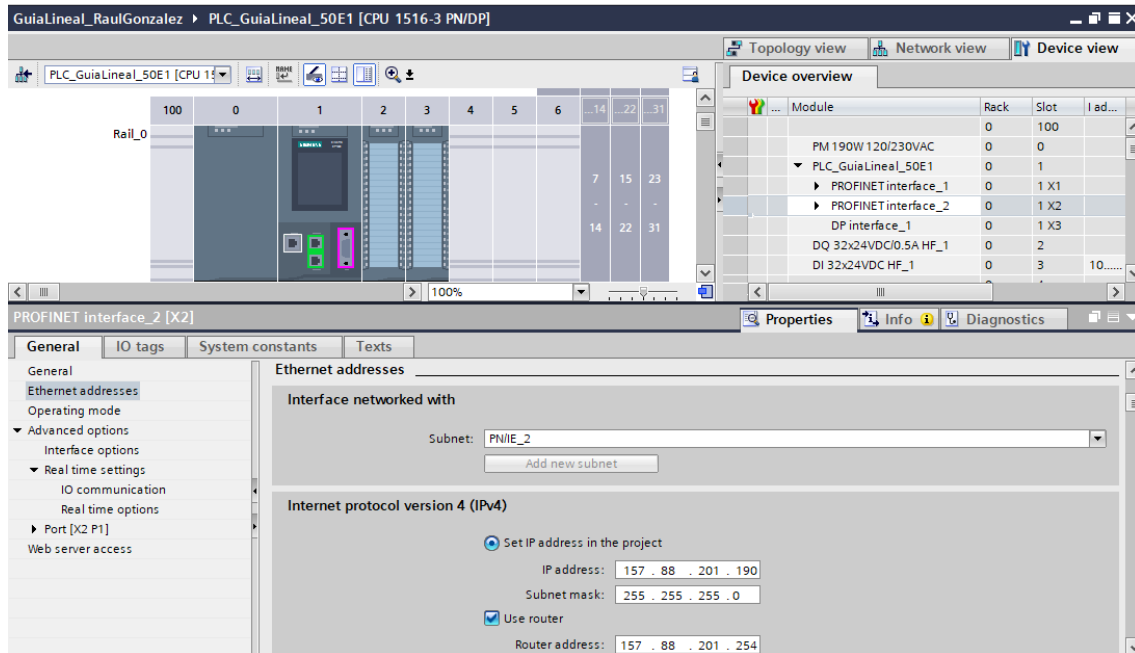


Figura 58. Asignación de dirección IP al PLC. Red Profinet del laboratorio.

3.5.1.2. HMI

De igual forma que para el autómata, se debe asignar al puerto de Profinet X1 del HMI la dirección IP 157.88.201.191, también con el uso de router habilitado para su acceso remoto (Figura 59).

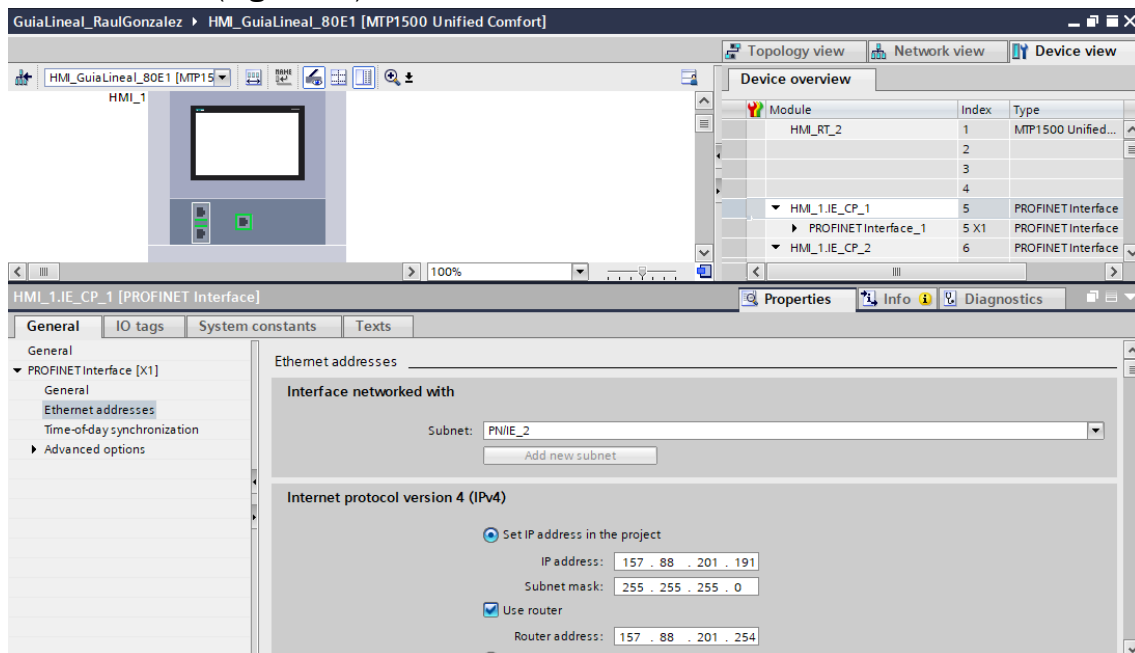


Figura 59. Asignación de dirección IP al HMI. Red Profinet del laboratorio.



3.5.1.3. Variador

Adicionalmente a la configuración de la IP (Figura 60), se debe añadir desde el catálogo hardware los componentes que forman el variador (Control Unit y Servo) y el telegrama de control utilizado (Figura 61).

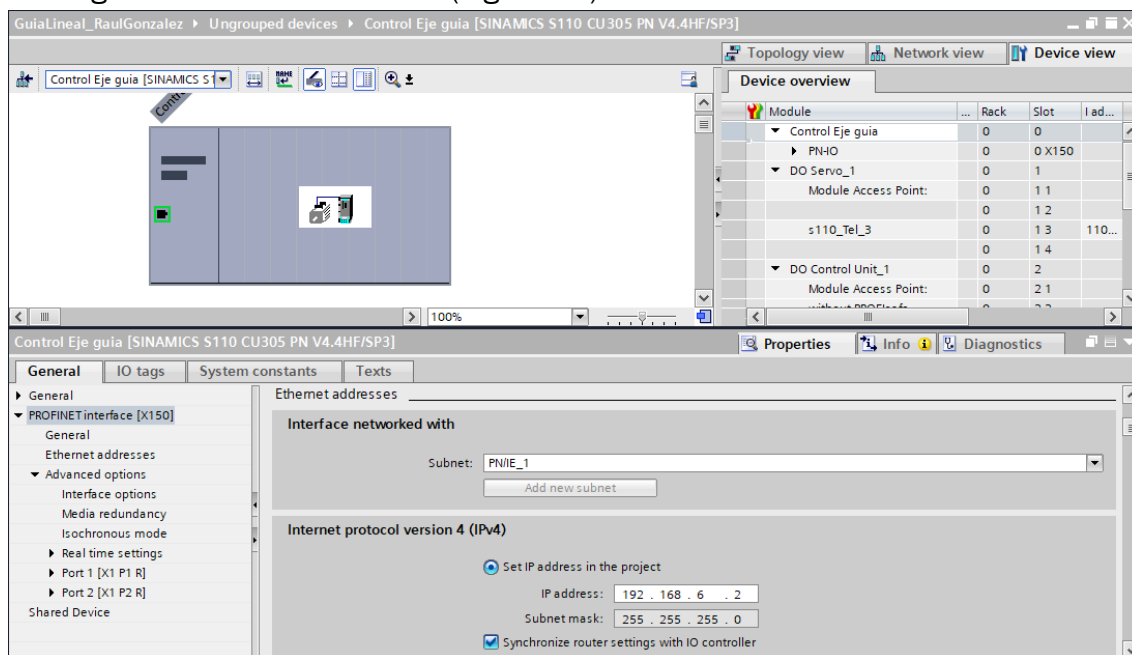


Figura 60. Asignación de dirección IP al variador. Red Profinet local.

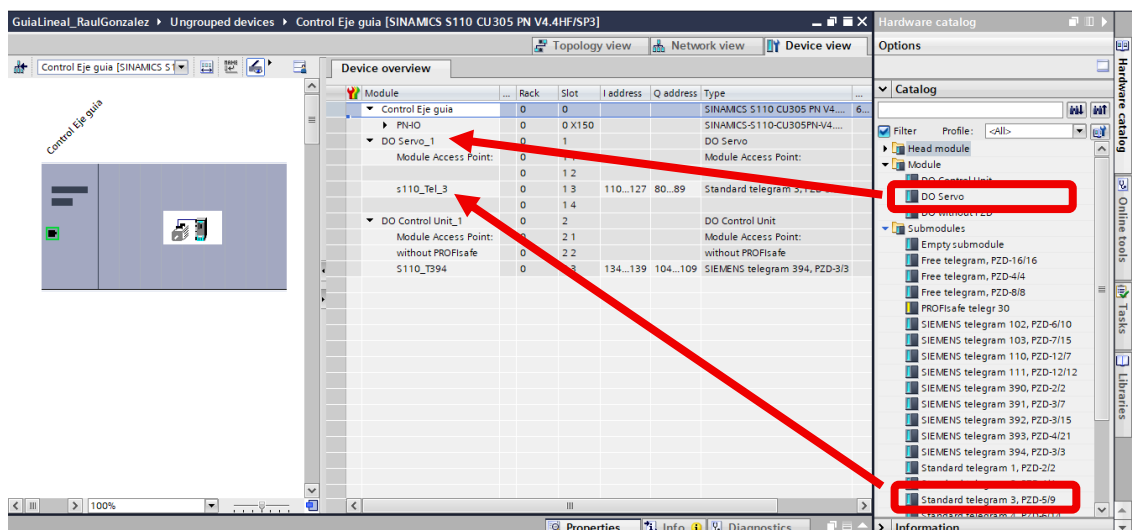


Figura 61. Asignación del telegrama de comunicación al variador.



3.5.2. Programación Software del PLC

La programación del autómatas debe comprender ambos modos de funcionamiento de la instalación, manual y automático. El modo manual deberá permitir movimientos manuales e independientes tanto del eje lineal como de las articulaciones del manipulador, teniendo en cuenta siempre las condiciones mecánicas necesarias para evitar daños mecánicos en el sistema. El modo automático deberá comprender el funcionamiento autónomo del sistema sin intervención del operario, siguiendo el diagrama de flujo del sistema (Figura 62).

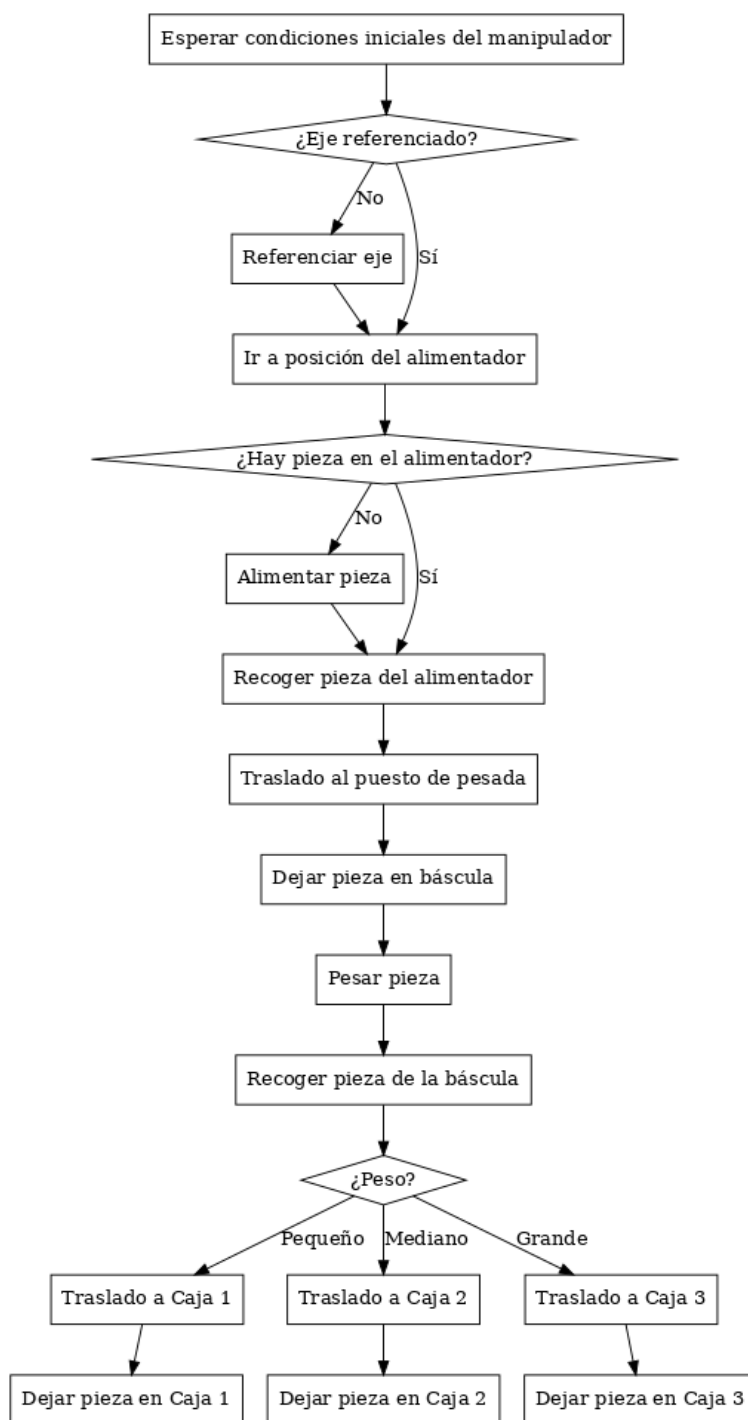
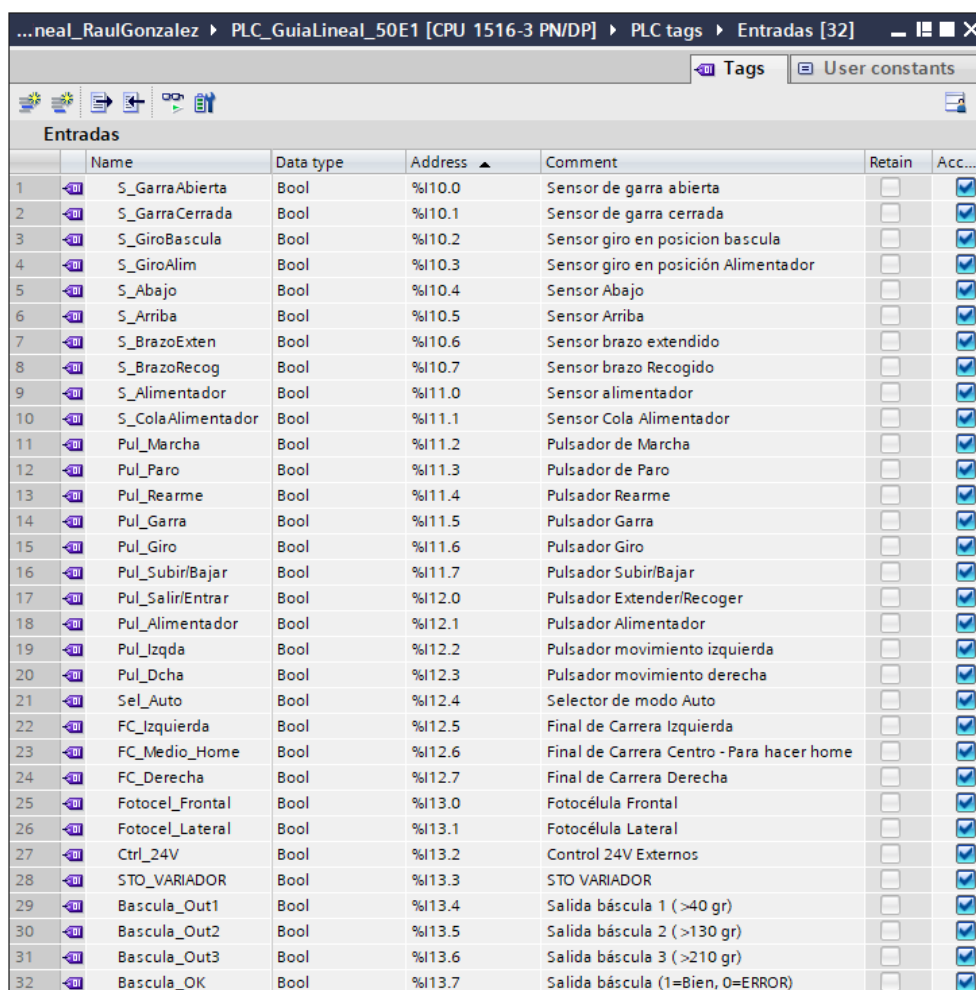


Figura 62. Diagrama de flujo del programa de control en ciclo automático.



3.5.2.1. Tablas de variables

Se han creado dos tablas de variables distintas, una para las entradas digitales (Figura 63) y otra para las salidas (Figura 64). Estas direcciones han sido creadas acorde a los esquemas eléctricos, y utilizando nombres autoexplicativos con la intención de facilitar la programación y entendimiento del programa.



	Name	Data type	Address	Comment	Retain	Acc...
1	S_GarraAbierta	Bool	%I10.0	Sensor de garra abierta	☐	☒
2	S_GarraCerrada	Bool	%I10.1	Sensor de garra cerrada	☐	☒
3	S_GiroBascula	Bool	%I10.2	Sensor giro en posicion bascula	☐	☒
4	S_GiroAlim	Bool	%I10.3	Sensor giro en posición Alimentador	☐	☒
5	S_Abajo	Bool	%I10.4	Sensor Abajo	☐	☒
6	S_Ariba	Bool	%I10.5	Sensor Arriba	☐	☒
7	S_BrazoExten	Bool	%I10.6	Sensor brazo extendido	☐	☒
8	S_BrazoRecog	Bool	%I10.7	Sensor brazo Recogido	☐	☒
9	S_Alimentador	Bool	%I11.0	Sensor alimentador	☐	☒
10	S_ColaAlimentador	Bool	%I11.1	Sensor Cola Alimentador	☐	☒
11	Pul_Marcha	Bool	%I11.2	Pulsador de Marcha	☐	☒
12	Pul_Paro	Bool	%I11.3	Pulsador de Paro	☐	☒
13	Pul_Rearme	Bool	%I11.4	Pulsador Rearme	☐	☒
14	Pul_Garra	Bool	%I11.5	Pulsador Garra	☐	☒
15	Pul_Giro	Bool	%I11.6	Pulsador Giro	☐	☒
16	Pul_Subir/Bajar	Bool	%I11.7	Pulsador Subir/Bajar	☐	☒
17	Pul_Salir/Entrar	Bool	%I12.0	Pulsador Extender/Recoger	☐	☒
18	Pul_Alimentador	Bool	%I12.1	Pulsador Alimentador	☐	☒
19	Pul_Izqda	Bool	%I12.2	Pulsador movimiento izquierda	☐	☒
20	Pul_Dcha	Bool	%I12.3	Pulsador movimiento derecha	☐	☒
21	Sel_Auto	Bool	%I12.4	Selector de modo Auto	☐	☒
22	FC_Izquierda	Bool	%I12.5	Final de Carrera Izquierda	☐	☒
23	FC_Medio_Home	Bool	%I12.6	Final de Carrera Centro - Para hacer home	☐	☒
24	FC_Derecha	Bool	%I12.7	Final de Carrera Derecha	☐	☒
25	Fotocel_Frontal	Bool	%I13.0	Fotocélula Frontal	☐	☒
26	Fotocel_Lateral	Bool	%I13.1	Fotocélula Lateral	☐	☒
27	Ctrl_24V	Bool	%I13.2	Control 24V Externos	☐	☒
28	STO_VARIADOR	Bool	%I13.3	STO VARIADOR	☐	☒
29	Bascula_Out1	Bool	%I13.4	Salida báscula 1 (>40 gr)	☐	☒
30	Bascula_Out2	Bool	%I13.5	Salida báscula 2 (>130 gr)	☐	☒
31	Bascula_Out3	Bool	%I13.6	Salida báscula 3 (>210 gr)	☐	☒
32	Bascula_OK	Bool	%I13.7	Salida báscula (1=Bien, 0=ERROR)	☐	☒

Figura 63. Tabla de variables de entrada del PLC.



Salidas				
	Name	Data type	Address	Comment
1	Ev_AbrirGarra	Bool	%Q4.0	Electr. apertura Garra
2	Ev_CerrarGarra	Bool	%Q4.1	Electr. cierre Garra
3	Ev_GiroPosBascula	Bool	%Q4.2	Electr. apertura Muñeca
4	Ev_GiroPosAlimen	Bool	%Q4.3	Electr. cierre Muñeca
5	Ev_Bajar	Bool	%Q4.4	Electr. apertura Codo
6	Ev_Subir	Bool	%Q4.5	Electr. cierre Codo
7	Ev_Extender	Bool	%Q4.6	Electr. apertura Hombro
8	Ev_Recoger	Bool	%Q4.7	Electr. cierre Hombro
9	Ev_Alimentador	Bool	%Q5.0	Electr. Alimentador
10	L_Emer	Bool	%Q5.1	Lamp. Emergencias
11	L_Marcha	Bool	%Q5.2	Lamp. Marcha
12	L_Paro	Bool	%Q5.3	Lamp. Paro
13	L_Rearme	Bool	%Q5.4	Lamp. Rearme
14	L_Garra	Bool	%Q5.5	Lamp. Garra
15	L_Muñeca	Bool	%Q5.6	Lamp. Muñeca
16	L_Codo	Bool	%Q5.7	Lamp. Codo
17	L_Hombro	Bool	%Q6.0	Lamp. Hombro
18	L_Alimentador	Bool	%Q6.1	Lamp. Alimentador
19	L_MovIzquierda	Bool	%Q6.2	Lamp. movimiento izquierda
20	L_MovDerecha	Bool	%Q6.3	Lamp. movimiento derecha
21	L_Manual	Bool	%Q6.4	Lamp. modo manual
22	L_Auto	Bool	%Q6.5	Lamp. modo automatico
23	Ev_AireGeneral	Bool	%Q6.6	Electr. Alimentacion de aire al si.
24	K_PotenciaVariador	Bool	%Q7.0	rele contactor simamics 110

Figura 64. Tabla de variables de salida del PLC.

3.5.2.2. Objeto tecnológico del eje lineal

El primer paso es la creación del objeto tecnológico (TO), como el eje a controlar es un eje de posición, el TO deberá ser del tipo “TO_PositioningAxis” (Figura 65).

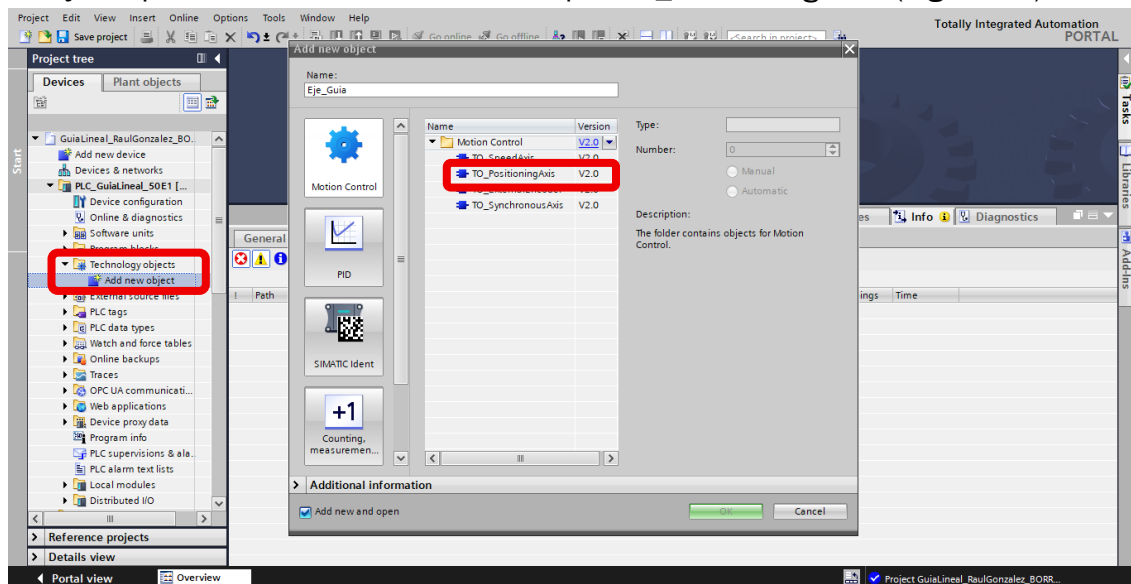


Figura 65. Creación del objeto tecnológico.



Una vez creado, se abre automáticamente el panel de configuración desde donde se configurarán los parámetros físicos y mecánicos del sistema, así como los límites dinámicos del mismo.

Interfaz hardware

En el apartado de parámetros básicos se debe seleccionar si el eje es de tipo lineal o rotativo y las unidades de medida (Figura 66). En el caso que nos compete, eje lineal y las unidades de medida en mm y mm/s para la posición y velocidad respectivamente.

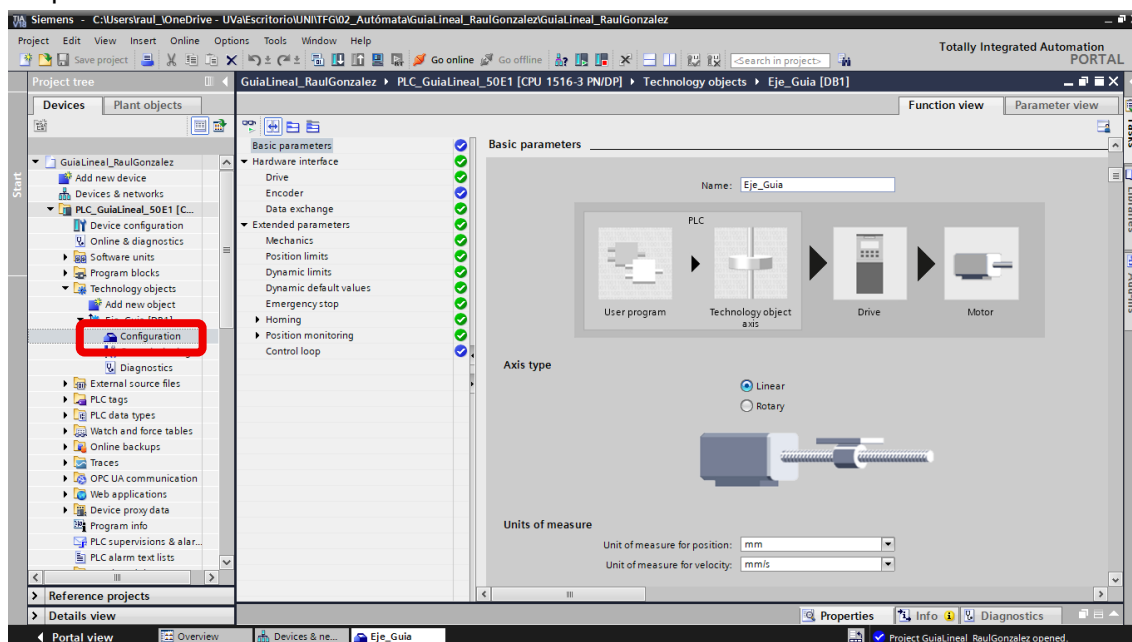


Figura 66. Configuración del TO. Parámetros básicos.

En el apartado “Drive” se ha de vincular el objeto tecnológico con el variador que se ha configurado previamente en el hardware (Figura 67), mientras que sen el apartado “Encoder” se debe indicar que el encoder se encuentra conectado directamente al variador (Figura 68).

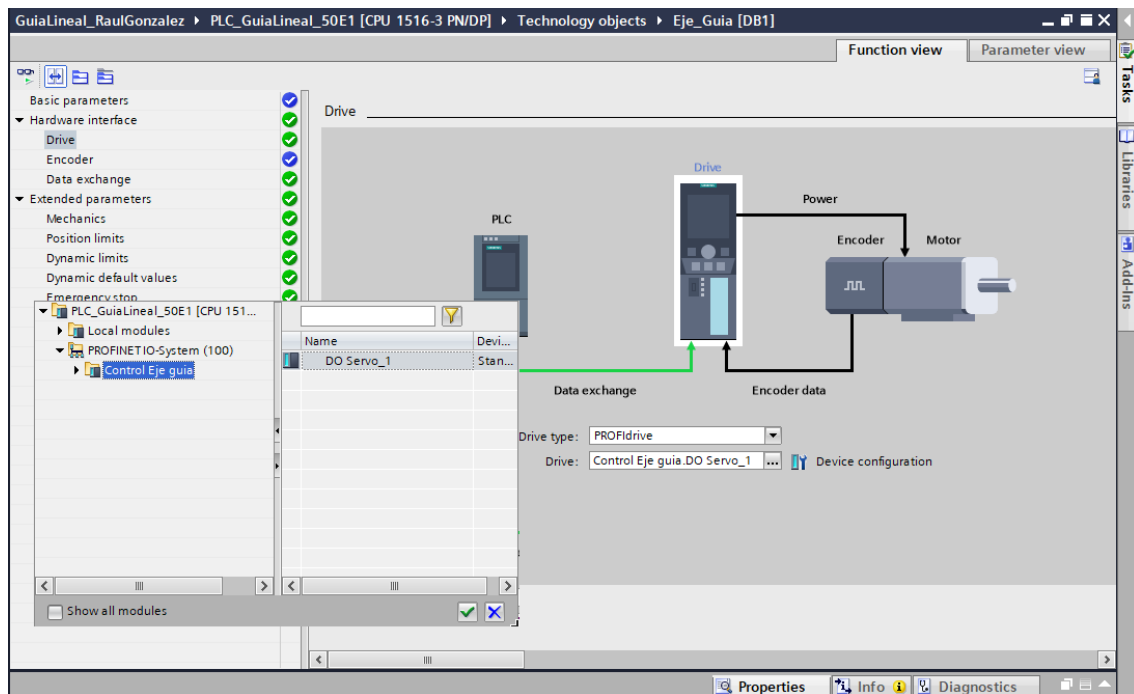


Figura 67. Configuración del TO. Enlace con el variador.

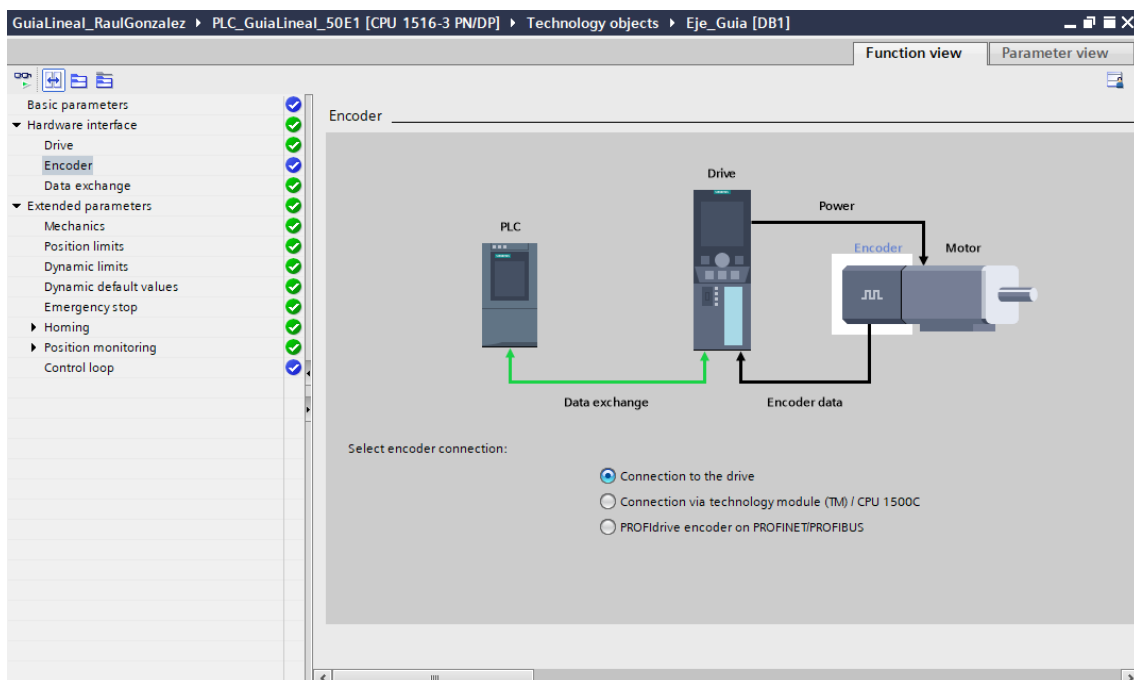


Figura 68. Configuración del TO. Configuración del método de medida del encoder.



Parámetros extendidos

Es preciso definir los parámetros mecánicos del sistema, tales como la relación de la reductora o la distancia recorrida por vuelta del motor. Todo ello se configura en el apartado “Mechanics” (Figura 69).

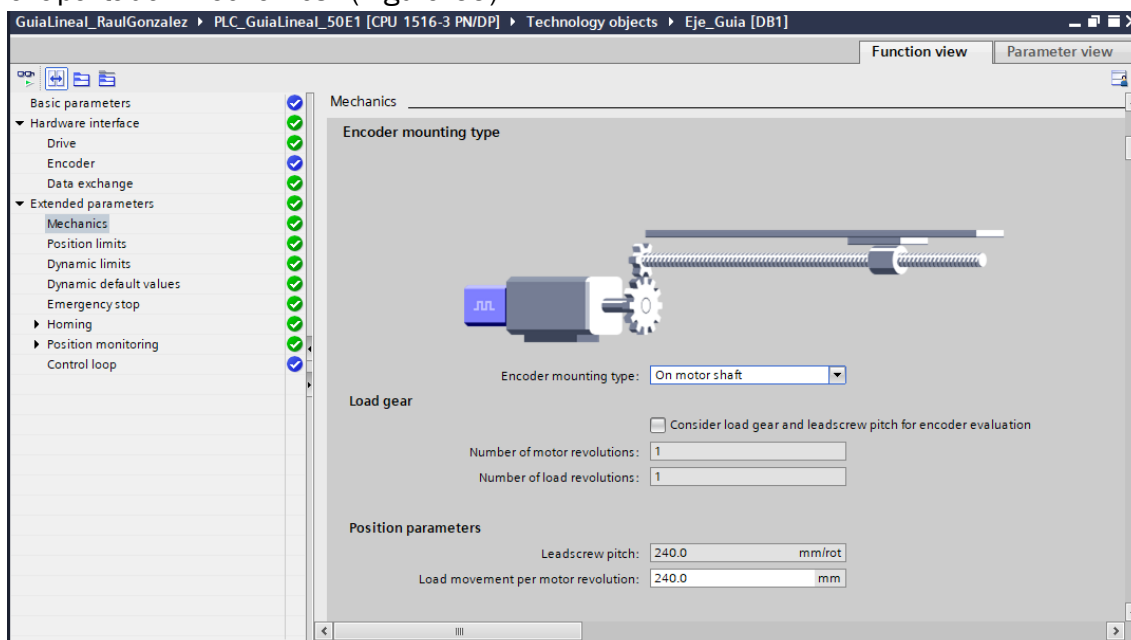


Figura 69. Configuración del TO. Relación mecánica motor-carga.

Los finales de carrera de los extremos de la guía lineal pasarán ahora a ser gestionados por el TO. Se deben vincular cada una de las entradas de ambos sensores en el apartado “Position Limits” (Figura 70).

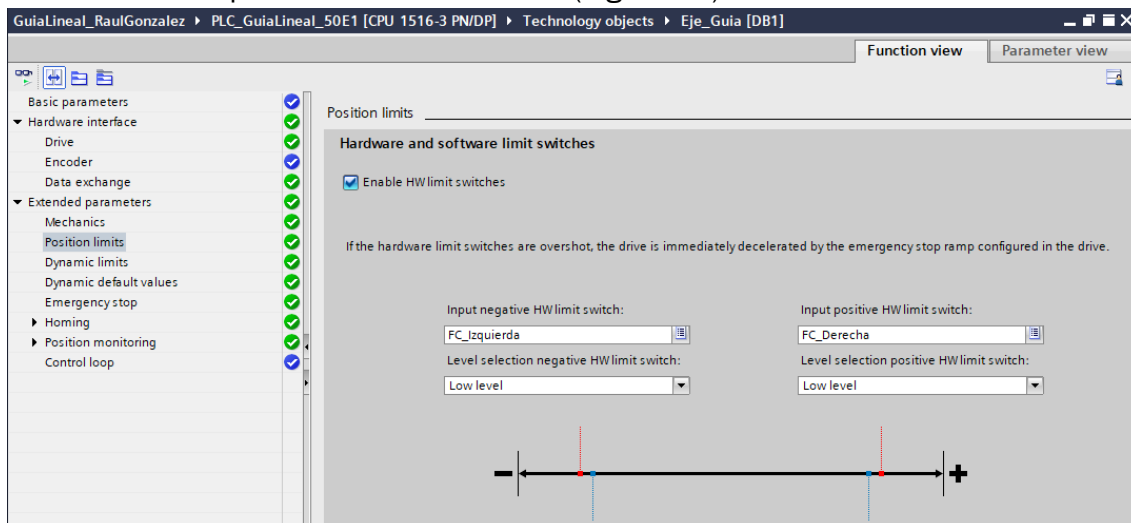


Figura 70. Configuración del TO. Finales de carrera.

Los valores máximos de velocidad y aceleración son configurados en el apartado “Dynamic Limits”. Aunque posteriormente en el programa de usuario del autómatas se puede modificar tanto la velocidad como la aceleración del eje, estos parámetros



funcionan como límites de seguridad, asegurando que ante un fallo de programación nunca se sobrepases los límites establecidos (Figura 71).

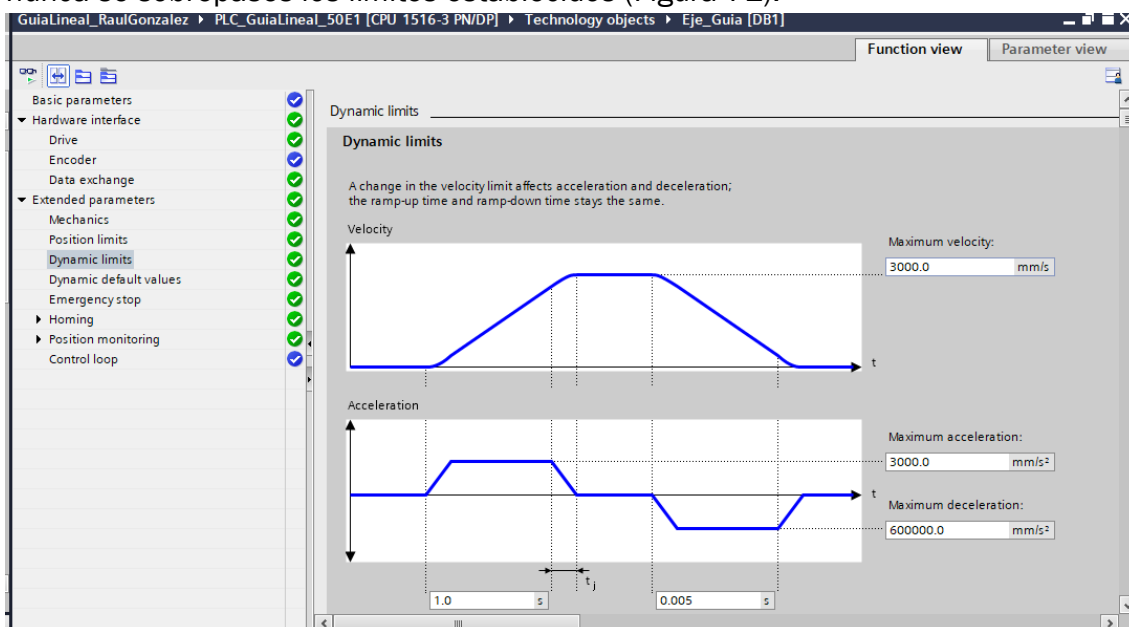


Figura 71. Configuración del TO. Límites dinámicos.

Otros parámetros de interés son los valores de velocidad y aceleración que tomará el eje por defecto (si no se especifica por programa ningún otro) o dichos valores ante una parada de emergencia. Estos son configurables en los apartados “Dynamic default values” (Figura 72) y “Emergency stop” (Figura 73) respectivamente.

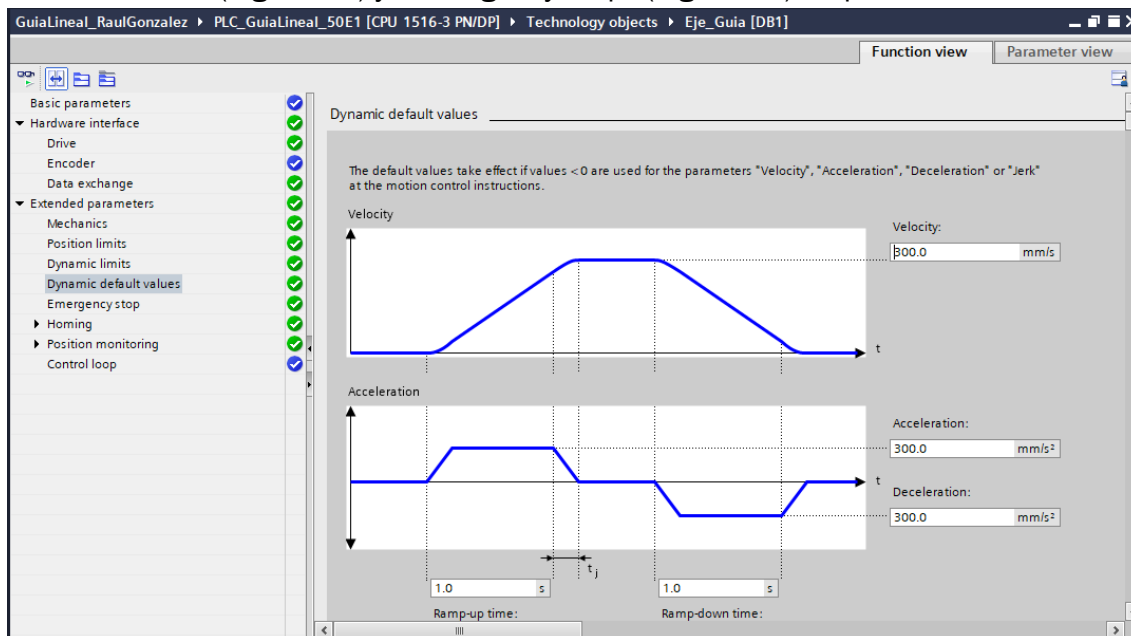


Figura 72. Configuración del TO. Valores dinámicos predefinidos.

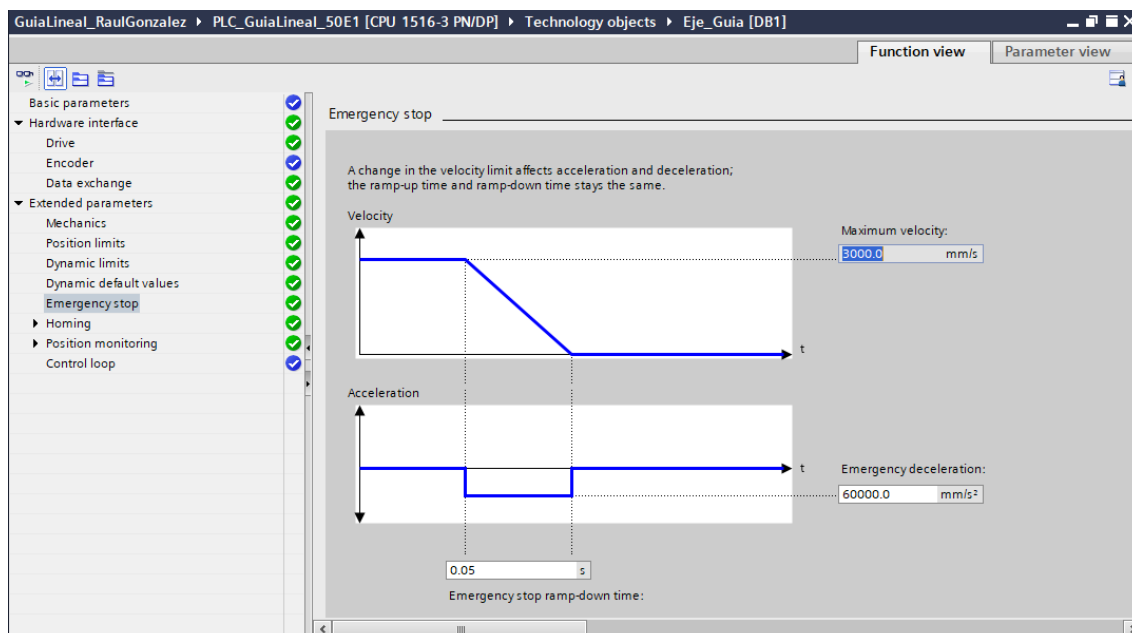


Figura 73. Configuración del TO. Valores dinámicos ante paro de emergencia.

Una de las principales ventajas del uso del TO, es la función de referenciado automático del eje. Esta función se denomina referenciado activo, y mediante una orden dada por autómatas, el eje realiza un movimiento hasta encontrar el final de carrera o leva provisto para esta función. Una vez alcanzada, el eje queda referenciado en esa posición con el valor de posición previamente configurado. La entrada digital de la leva, así como las velocidades de aproximación o referenciado se establecen en el apartado “Active homing” (Figura 74). Se tiene activa la función de inversión del sentido de giro durante el referenciado en caso de activarse el final de carrera sin haber encontrado la leva de referenciado previamente.

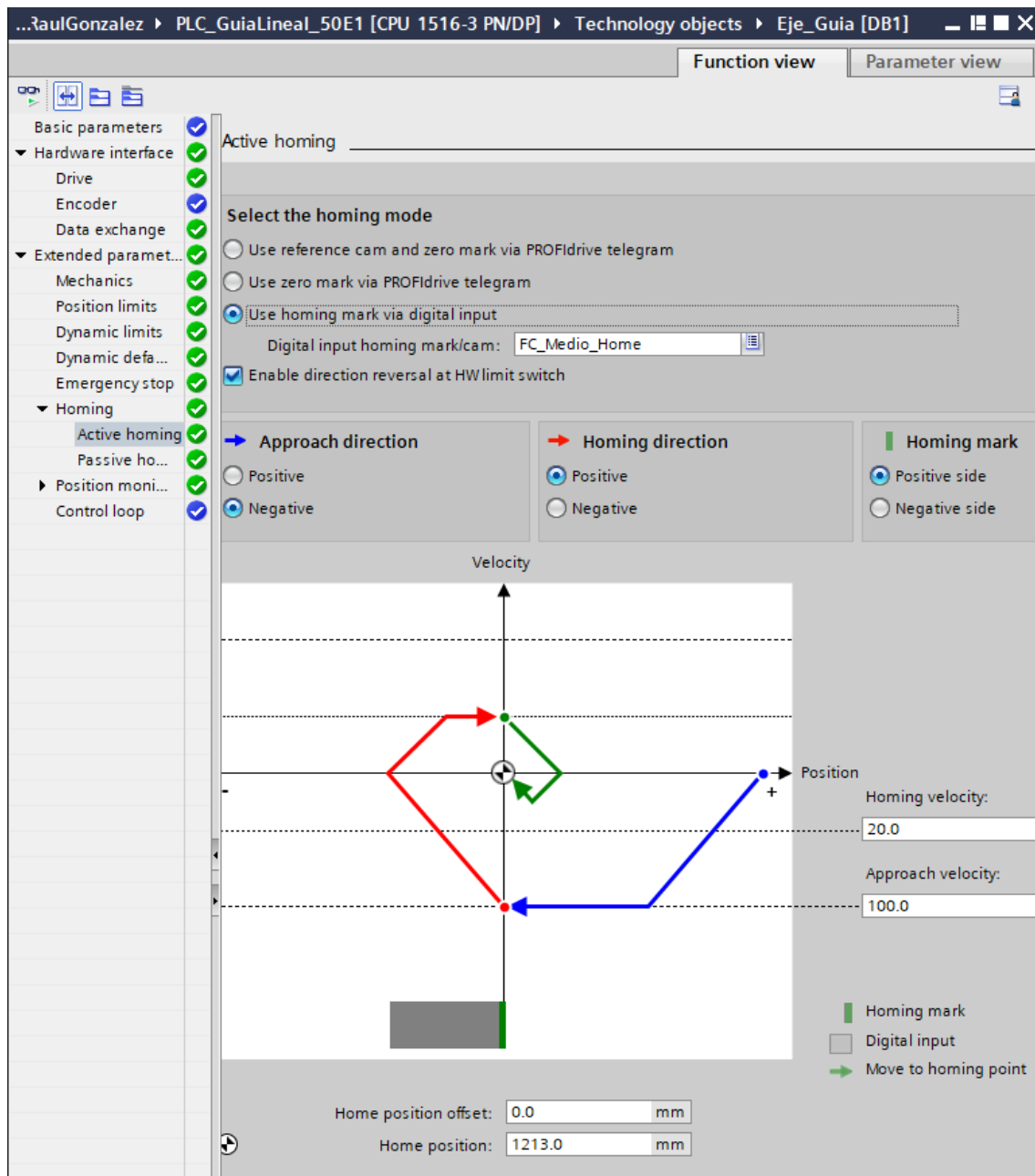


Figura 74. Configuración del TO. Referenciado activo del eje.



3.5.2.3. Programa de usuario

En un autómata, el conjunto de instrucciones secuenciales que describen el comportamiento y funcionamiento del sistema forma el llamado programa de usuario. Este se encuentra dividido en llamadas a funciones (FC) o bloques de función (FB). Un FB, a diferencia de un FC, está asociado a un bloque de datos (DB), por lo que permite almacenar datos entre ciclos de scan del PLC. Se ha estructurado la programación en varios subgrupos.

3.5.2.3.1. General

Este grupo reúne el conjunto de instrucciones y datos generales de la instalación, tales como las informaciones generales, las salidas digitales y los bloques de datos con las informaciones de cada elemento de la instalación (Figura 75).



Figura 75. Bloques de programa "General".

Informaciones (FB)

Se trata del bloque de función encargado de generar las informaciones del estado del sistema, tales como el estado de las emergencias, informaciones de presencia de pieza en cada elemento o la configuración de ejes del manipulador (Figura 76).

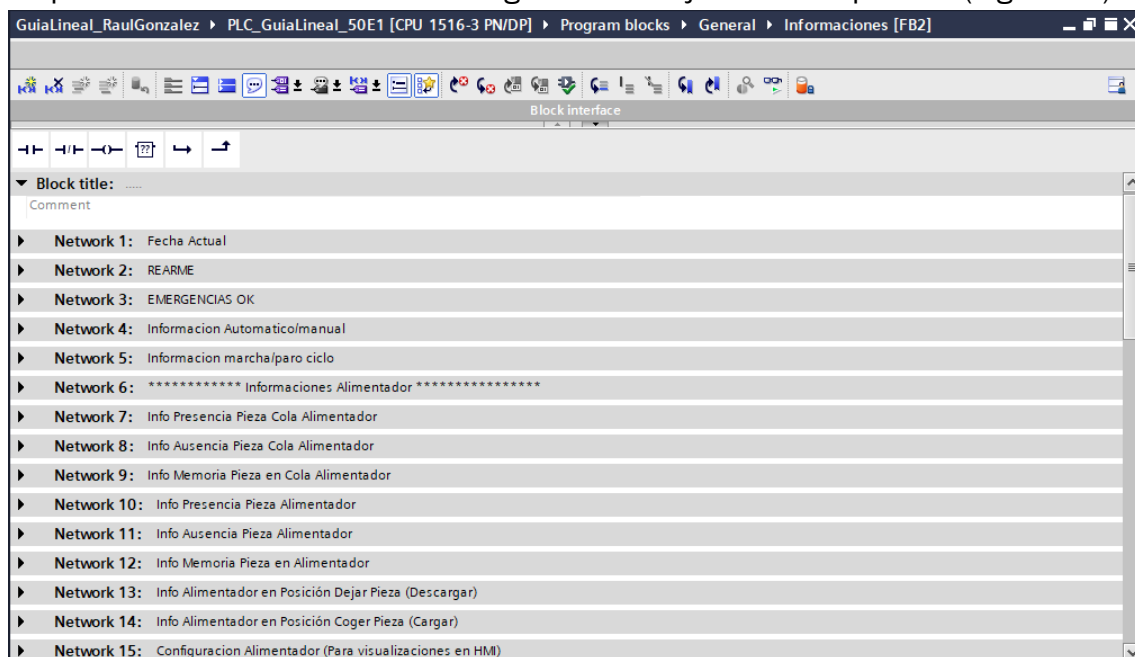


Figura 76. Vista general FB "Informaciones".



En cada uno de los segmentos del bloque se escribe una información, que se guardará en el DB correspondiente en función de si se trata de informaciones generales del sistema (VAR), del alimentador, de la báscula o del manipulador (Figura 77).

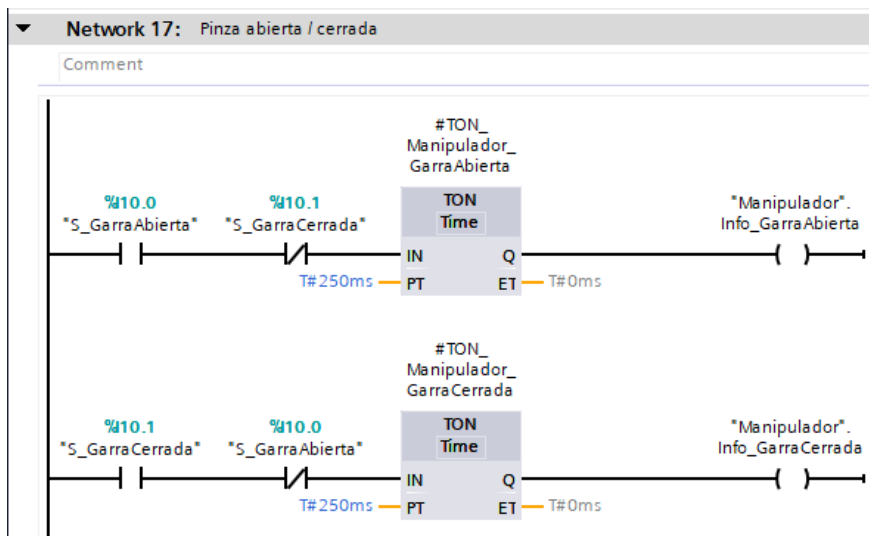


Figura 77. Ejemplo informaciones del Manipulador. Informaciones de la garra.

Salidas (FC)

Todas las salidas del sistema se escriben única y exclusivamente en esta FC (Figura 78).

▶	Network 1: Contactor de Línea VARIADOR
▶	Network 2: Electr. Aire General
▶	Network 3: ——— ELECTROVÁLVULAS MANIPULADOR ———
▶	Network 4: Electr. apertura Garra
▶	Network 5: Electr. cierre Garra
▶	Network 6: Electr. Giro Muñeca Pos Báscula
▶	Network 7: Electr. Giro Muñeca Pos Alimentador
▶	Network 8: Electr. Bajar
▶	Network 9: Electr. Subir
▶	Network 10: Electr. Extender
▶	Network 11: Electr. Recoger
▶	Network 12: Electr. Alimentador
▶	Network 13: ——— LAMPARAS ———
▶	Network 14: Piloto emergencias activas
▶	Network 15: Piloto Marcha
▶	Network 16: Piloto Paro
▶	Network 17: Piloto Rearme
▶	Network 18: Piloto Garra Abierta
▶	Network 19: Piloto Giro Pos Bascula
▶	Network 20: Piloto Abajo
▶	Network 21: Piloto Extendido

Figura 78. Vista general FC "Salidas".



Estás salidas están condicionadas a una serie de condiciones en función de si el sistema se encuentra en modo manual o automático (Figura 79).

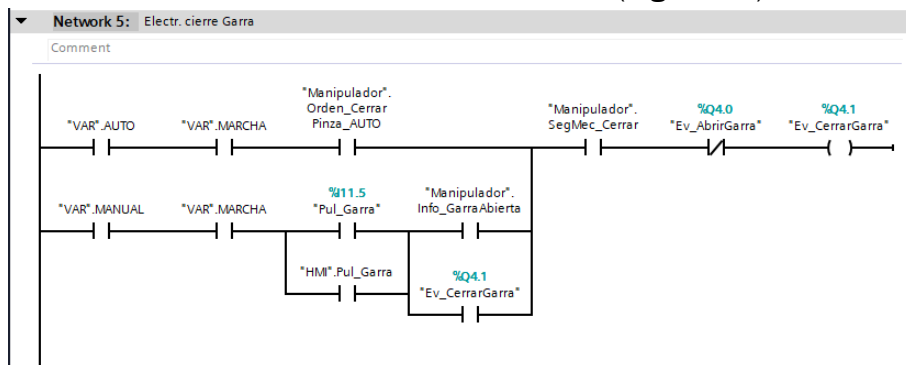


Figura 79. Ejemplo salidas digitales. Electroválvula cerrar garra.



3.5.2.3.2. Grafcet

Se encuentra aquí la FC de gestión del ciclo de trabajo, así como la DB con los datos de cada una de las etapas (Figura 80).

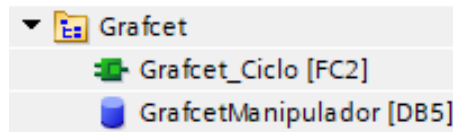


Figura 80. Bloques de programa "Grafcet".

El diagrama de flujo del funcionamiento se muestra a continuación (Figura 81).



Figura 81. Ciclo de trabajo en automático.

GrafcetManipulador (DB)

En este bloque de datos se tiene, para cada etapa, una variable booleana que indica que el ciclo se encuentra en dicha etapa (Figura 82).

GrafcetManipulador			
	Name	Data type	
3	Et00_Inicio	Bool	
4	Et02_Referenciado	Bool	
5	Et04_Ir_A_Alimentador	Bool	
6	Et06_¿HayPieza?	Bool	
7	Et08_AlimentarPieza	Bool	
8	Et10_Bajar	Bool	
9	Et12_CerrarPinza	Bool	
10	Et14_Subir	Bool	
11	Et16_Ir_A_Bascula	Bool	
12	Et18_Giro	Bool	
13	Et20_Bajar	Bool	
14	Et22_AbrirPinza	Bool	
15	Et24_¿DondeDejar?	Bool	
16	Et26_CerrarPinza	Bool	
17	Et28_Subir	Bool	
18	Et30_Ir_A_Caja	Bool	
19	Et32_Extender+Bajar	Bool	
20	Et34_AbrirPinza	Bool	
21	Et36_Recoger+Giro+Subir	Bool	

Figura 82. Vista general DB "GrafcetManipulador".



Grafcet_Ciclo (FC)

Esta FC se encuentra estructurada en diferentes secciones (Figura 83). Estas son las siguientes:

- Condiciones para el cambio de etapa [1]
- Acciones [2]
- Visualizaciones para el HMI [3]

▶	Network 1:	GRAFCET MANIPULADOR
▶	Network 2:	Reset Grafcet
[1]	▶	Network 3: ET00: INICIO -> ET02: REFERENCIADO
▶	Network 4:	ET02: REFERENCIADO -> ET04: IR A POSICIÓN ALIMENTADOR
▶	Network 5:	ET04: IR A POSICIÓN ALIMENTADOR -> ET06: ¿HAY PIEZA?
▶	Network 6:	ET06: ¿HAY PIEZA? -> ET08: ALIMENTAR PIEZA / ET10: BAJAR
▶	Network 7:	ET08: ALIMENTAR PIEZA -> ET10: BAJAR
▶	Network 8:	ET10: BAJAR -> ET12: CERRAR PINZA
▶	Network 9:	ET12: CERRAR PINZA -> ET14: SUBIR
▶	Network 10:	ET14: SUBIR -> ET16: IR A BÁSCULA
▶	Network 11:	ET16: IR A BÁSCULA -> ET18: GIRO
▶	Network 12:	ET18: GIRO -> ET20: BAJAR
▶	Network 13:	ET20: BAJAR -> ET22: ABRIR PINZA
▶	Network 14:	ET22: ABRIR PINZA -> ET24: ¿DONDE DEJAR?
▶	Network 15:	ET24: ¿DONDE DEJAR? -> ET26: CERRAR PINZA
▶	Network 16:	ET26: CERRAR PINZA -> ET28: SUBIR
▶	Network 17:	ET28: SUBIR -> ET30: IR A CAJA DESTINO
▶	Network 18:	ET30: IR A CAJA DESTINO -> ET32: EXTENDER + BAJAR
▶	Network 19:	ET32: EXTENDER +BAJAR -> ET34: ABRIR PINZA
▶	Network 20:	ET34: ABRIR PINZA -> ET36: RECOGER + GIRO + SUBIR
▶	Network 21:	ET36: RECOGER + GIRO +SUBIR -> ET04: IR A ALIMENTADOR
▶	Network 22:	ACCIONES
[2]	▶	Network 23: Orden Abrir Pinza
▶	Network 24:	Orden Cerrar Pinza
▶	Network 25:	Orden Girar Posicion Alimentador
▶	Network 26:	Orden Girar Posición Báscula
▶	Network 27:	Orden Subir
▶	Network 28:	Orden Bajar
▶	Network 29:	Orden recoger brazo
▶	Network 30:	Orden extender Brazo
▶	Network 31:	Alimentar pieza
▶	Network 32:	VISUALIZACIONES HMI
[3]	▶	Network 33: ET00
▶	Network 34:	ET02
▶	Network 35:	ET04
▶	Network 36:	ET06
▶	Network 37:	ET08
▶	Network 38:	ET10
▶	Network 39:	ET12
▶	Network 40:	ET14
▶	Network 41:	ET16
▶	Network 42:	ET18
▶	Network 43:	ET20

Figura 83. Vista general FC "Grafcet_Ciclo".



Condiciones para el cambio de etapa

Para cada etapa, se tienen unas condiciones para pasar a la siguiente etapa. En caso de cumplirse, se desactiva la variable booleana de la etapa actual y se activa la de la etapa siguiente (Figura 84).

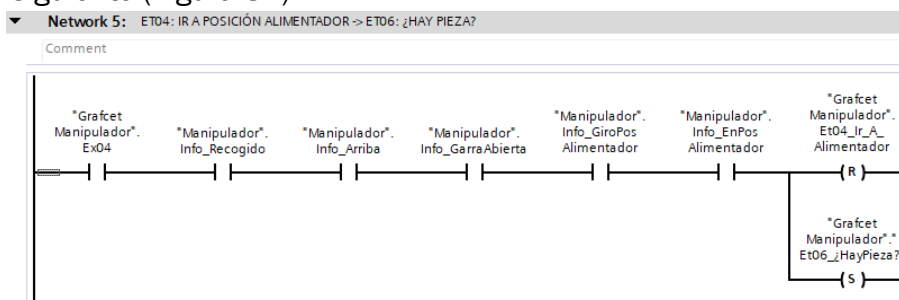


Figura 84. Ejemplo cambio de etapa del grafcet.

Acciones

Se tiene un resumen de cada acción a realizar con la agrupación de todas las etapas en las que se debe realizar dicha acción (Figura 85). Estas órdenes generadas, se usan en la FC de salidas descrita anteriormente.

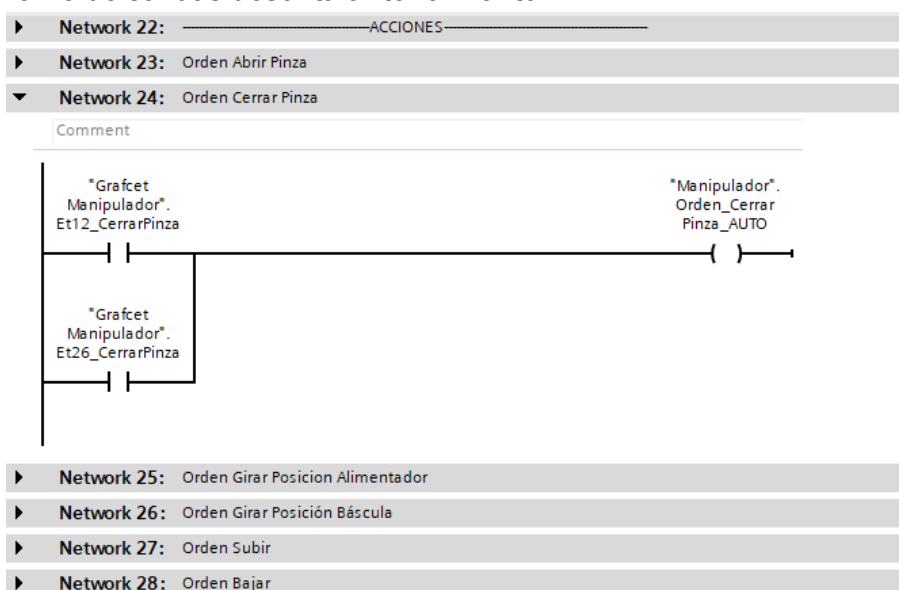


Figura 85. Ejemplo acciones del manipulador. Orden cerrar garra en automático.

Visualizaciones HMI

En el HMI se visualizará las condiciones necesarias para pasar a la siguiente etapa. En función de la etapa del ciclo activa, se copian las condiciones necesarias para pasar a la siguiente a una estructura de datos que se usará posteriormente en la programación del HMI (Figura 86 y Figura 87).



Figura 86. Condiciones para pasar de la etapa 4 a la etapa 6 del Grafset.



HMI			
		Name	Data type
14		▼ Texto_PasoGrafcet_1	*Texto_PasoGrafcet...
15		Nro_EtapaActual	SInt
16		Nro_EtapaSig	SInt
17		C1_Texto	String
18		C1_OK	Bool
19		C2_Texto	String
20		C2_OK	Bool
21		C3_Texto	String
22		C3_OK	Bool
23		C4_Texto	String
24		C4_OK	Bool
25		C5_Texto	String
26		C5_OK	Bool
27		C6_Texto	String
28		C6_OK	Bool
29		C7_Texto	String
30		C7_OK	Bool
31		C8_Texto	String
32		C8_OK	Bool
33		C9_Texto	String
34		C9_OK	Bool
35		C10_Texto	String
36		C10_OK	Bool

Figura 87. Estructura de datos con las condiciones para pasar a la siguiente etapa del Grafcet.



3.5.2.3.3. Motor

Se agrupan todos los bloques encargados de gestionar el eje lineal. Los bloques OB92 y OB92 son bloques generados por el software automáticamente a la hora de crear el objeto tecnológico (Figura 88).

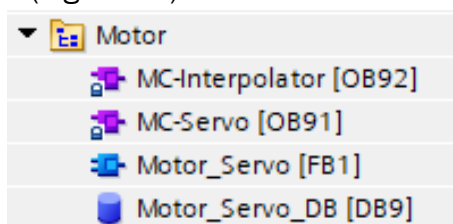


Figura 88. Bloques de programa "Motor".

Motor Servo (FB)

Este bloque de función recopila toda la gestión del motor del eje lineal. Se divide en los siguientes apartados (Figura 89).

- Seguridades mecánicas [1]
- Informaciones del eje [2]
- Gestión Objeto tecnológico [3]

▶ [1]	Network 1: Seguridad mecanica para trasladar (movimientos absolutos)
▶	Network 2: Seguridad mecanica para trasladar (movimientos jog)
▶	Network 3: ————— INFORMACIONES EJE —————
▶ [2]	Network 4: Info Eje Referenciado
▶	Network 5: Info Eje Parado
▶	Network 6: Auxiliares Posiciones
▶	Network 7: Información Manipulador en Posición Báscula
▶	Network 8: Información Manipulador en Posición Caja X
▶	Network 9: Información Manipulador en Posición Alimentador
▶	Network 10: ————— OBJETO TECNOLÓGICO —————
▶ [3]	Network 11: Consignas velocidades / Aceleraciones
▶	Network 12: MC Power
▶	Network 13: MC Home
▶	Network 14: MC_Reset
▶	Network 15: ————— Movimientos Jog —————
▶	Network 16: Orden Jog+
▶	Network 17: Orden Jog-
▶	Network 18: MC_MoveJog
▶	Network 19: ————— Movimientos Absolutos —————
▶	Network 20: Carga Posicion a la que ir
▶	Network 21: Orden Ir a posicion absoluta AUTO
▶	Network 22: Orden Ir a posicion absoluta MANUAL
▶	Network 23: MC_MoveAbs

Figura 89. Vista general FB "Motor_Servo".



En la gestión de los movimientos se distinguen dos tipos de ellos.

- Movimientos absolutos: movimientos con una consigna de posición. El manipulador se desplaza hasta la cota deseada.
- Movimientos jog: movimientos de avance o retroceso mientras la orden esté activa.

Seguridades mecánicas

Se tienen dos bits que reúnen las condiciones mecánicas necesarias para poder trasladar el manipulador, uno de ellos para movimientos absolutos y el otro para movimientos tipo jog (Figura 90).

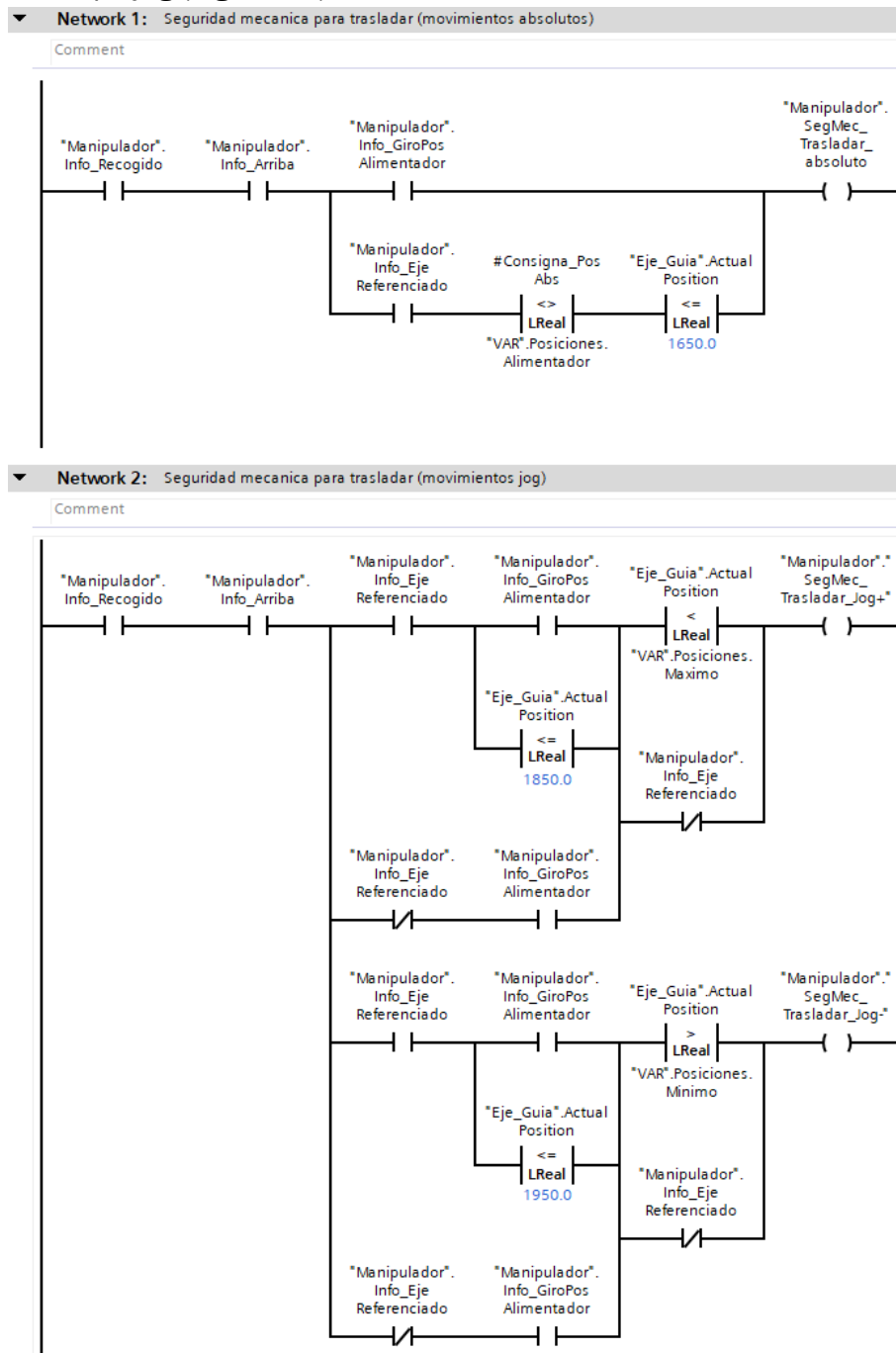


Figura 90. Seguridades mecánicas del manipulador para trasladar.



Estas condiciones se han definido para evitar colisiones del manipulador con el resto de los elementos de la instalación, especialmente con el alimentador de piezas.

Informaciones del eje

Se describen informaciones del eje lineal, tales como si este se encuentra o no referenciado, o en qué parte de la instalación se encuentra posicionado el manipulador (Figura 91).

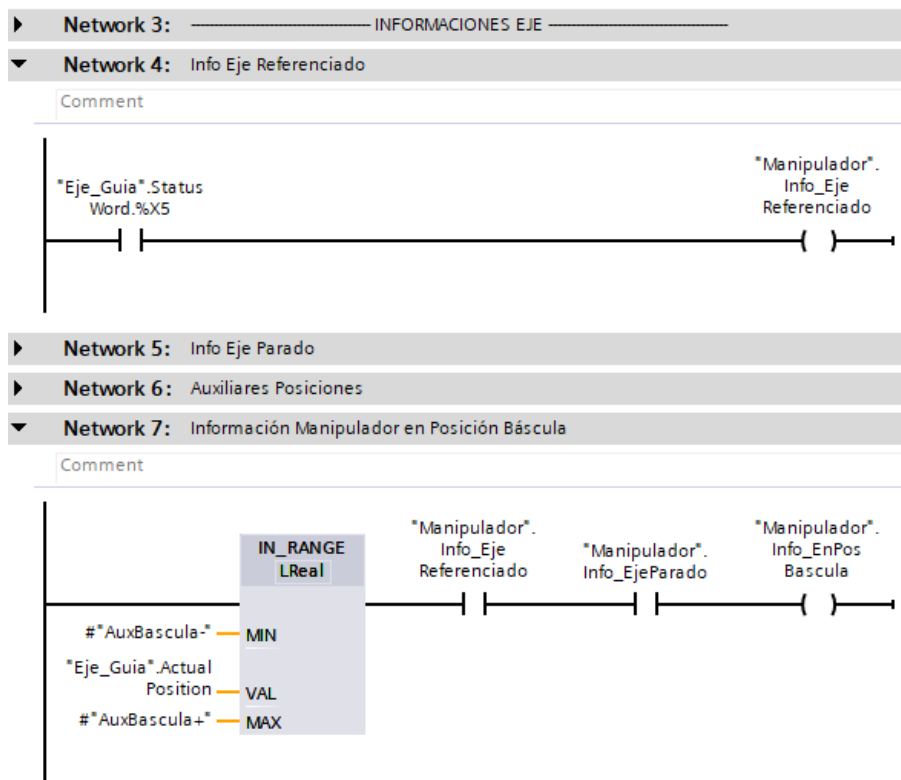


Figura 91. Informaciones generales del eje. Eje referenciado y manipulador en posición báscula.

Gestión del objeto tecnológico (TO)

La gestión del TO se realiza mediante FBs estándar de Siemens [19]. Estas se encuentran ya integradas en el software de Siemens en la carpeta "Motion Control" del apartado "Technology" (Figura 92).

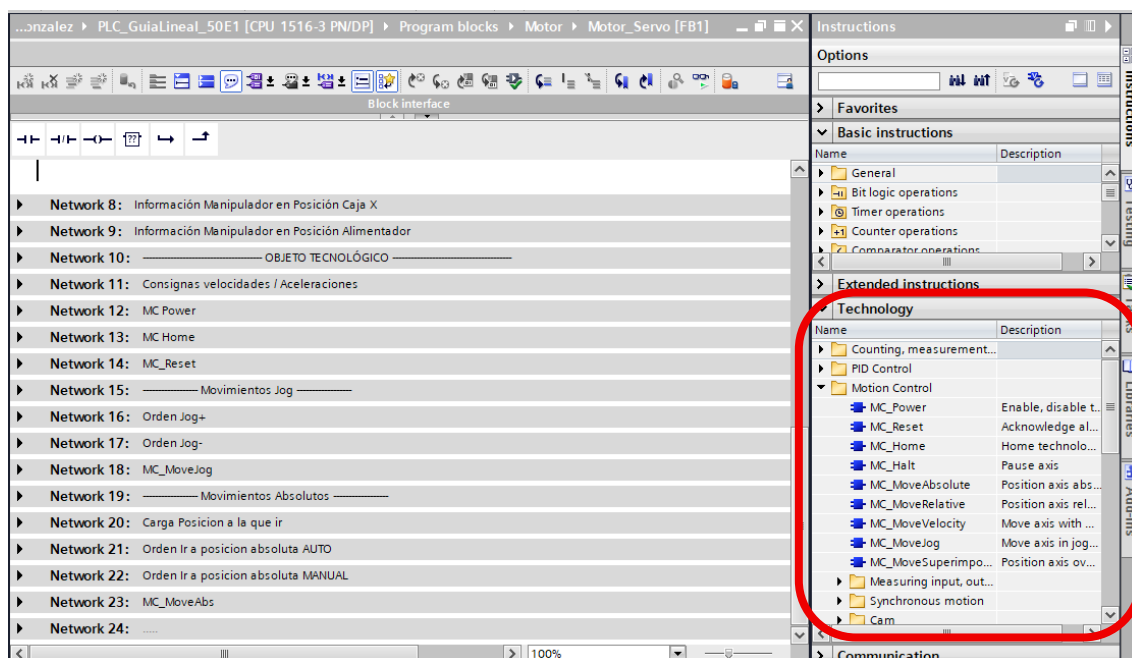


Figura 92. Instrucciones de control del TO.

- **Consignas de velocidad y aceleración**

Se carga en unas variables estáticas de la FB las consignas de velocidad y aceleración del eje en función de si se está operando en modo manual o modo automático (Figura 93).

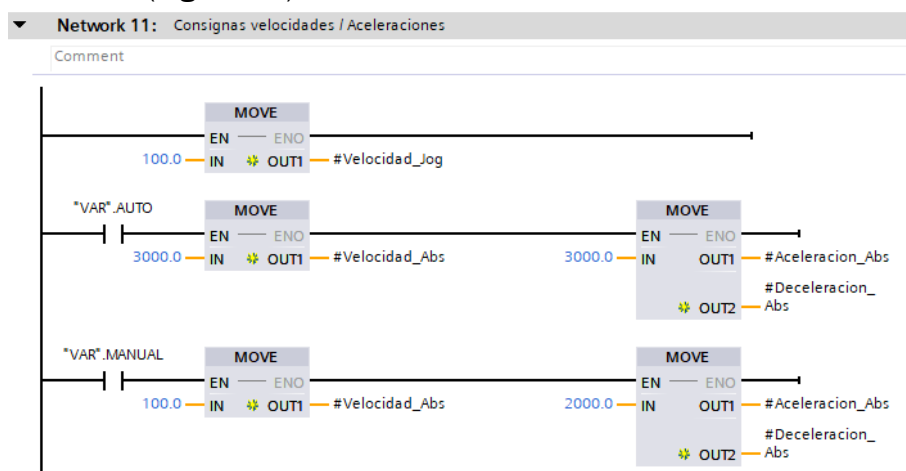


Figura 93. Consignas de velocidad y aceleración del eje.

- **Bloque MC_POWER**

Este bloque es el encargado de habilitar el motor. En la entrada “Axis” se debe hacer referencia al DB asociado al TO creado, esto debe hacerse en todos los bloques que se explican a continuación.

Con la entrada “Enable” activa, el eje es habilitado, de forma que el motor se mantiene bloqueado en su posición actual. Esta entrada será activada siempre que todas las emergencias se encuentren rearmadas y la instalación esté en marcha (Figura 94).

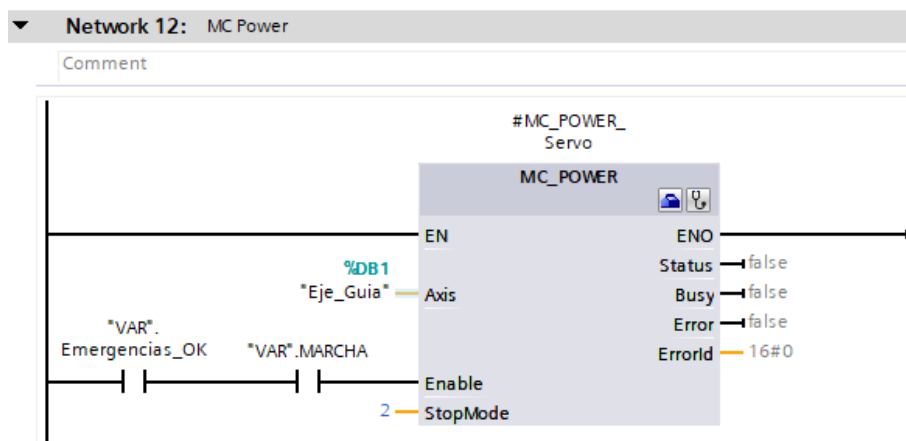


Figura 94. Bloque "MC_POWER" del TO.

- **Bloque MC_HOME**

Gracias a esta FB, se realizará el referenciado automático del eje. Para realizar un referenciado activo se precisa el número 5 en la entrada "Mode". El referenciado comenzará cuando la entrada "Execute" pase del valor 0 a 1, bien en modo automático en manual desde la orden del HMI (Figura 95).

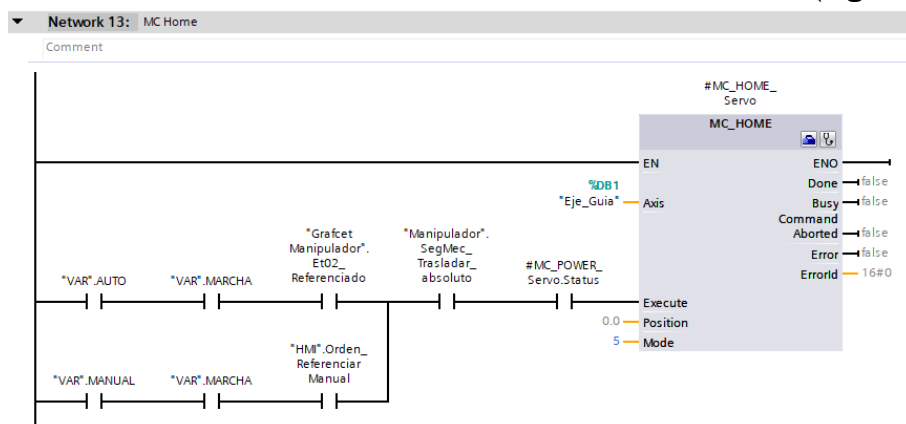


Figura 95. Bloque "MC_HOME" del TO.

- **Bloque MC_RESET**

Si el objeto tecnológico o el variador se encuentran en error, se debe rearmar el defecto mediante este bloque. Esta acción se realiza con un flanco ascendente en la entrada "Execute", que se realizará con la variable rearme general (Figura 96).

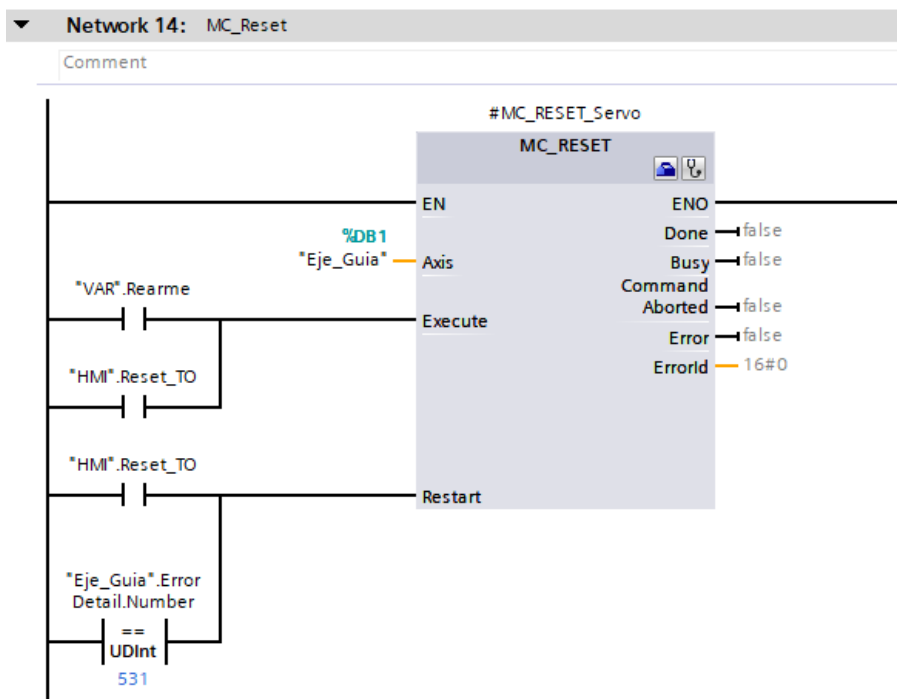


Figura 96. Bloque "MC_RESET" del TO.

- **Movimientos Jog (avance o retroceso)**

Este tipo de movimientos se realizarán siempre únicamente en modo manual de la instalación, bien a través de los pulsadores oportunos del armario eléctrico o mediante pulsadores virtuales del HMI. Las ordenes de avance y retroceso se agrupan en JOG+ y JOG- (Figura 97).

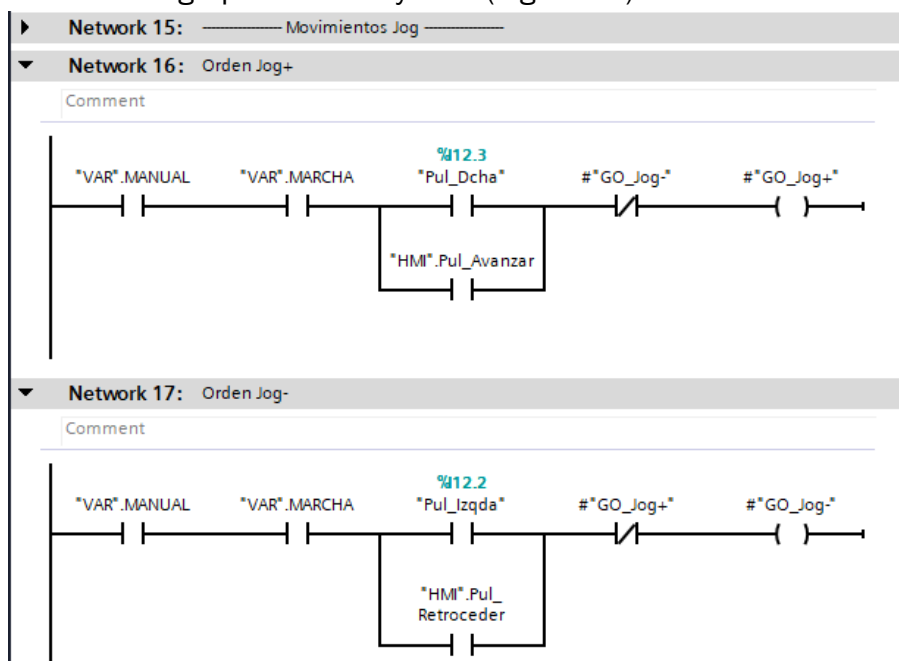


Figura 97. Órdenes de los movimientos tipo JOG.



Bloque MC_MOVEJOG

Este bloque dispone de las entradas “JogForward” y “JogBackward” que corresponden con avance y retroceso respectivamente. Estas entradas se activarán con las ordenes de avance o retroceso descritas anteriormente siempre que se tenga seguridad mecánica para trasladar y el servomotor se encuentre habilitado (Figura 98).

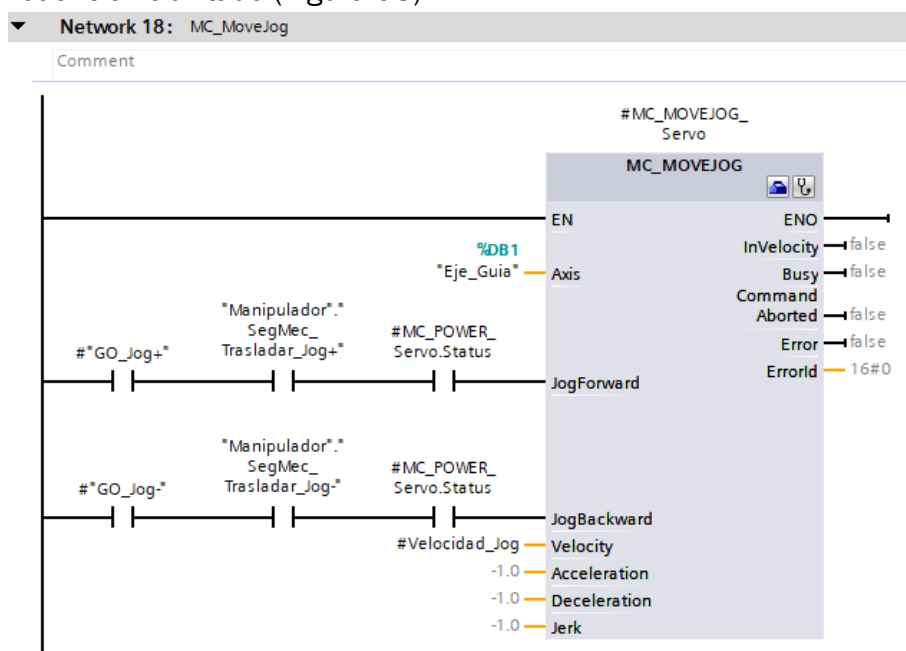


Figura 98. Bloque "MC_MOVEJOG" del T0.

Mediante las entradas “Velocity”, “Acceleration” y “Deceleration” se puede especificar estas variables del movimiento. Si se especifica “-1.0” se tomarán los valores por defecto configurados en el apartado 3.5.2.2 Objeto tecnológico del eje lineal.

- **Movimientos absolutos (ir a una posición determinada)**

Estos movimientos se realizarán tanto en modo automático como en modo manual desde el HMI.

Se cargará en la variable estática #Consigna_PosAbs la consigna en milímetros a la que ir según condiciones (Figura 99).

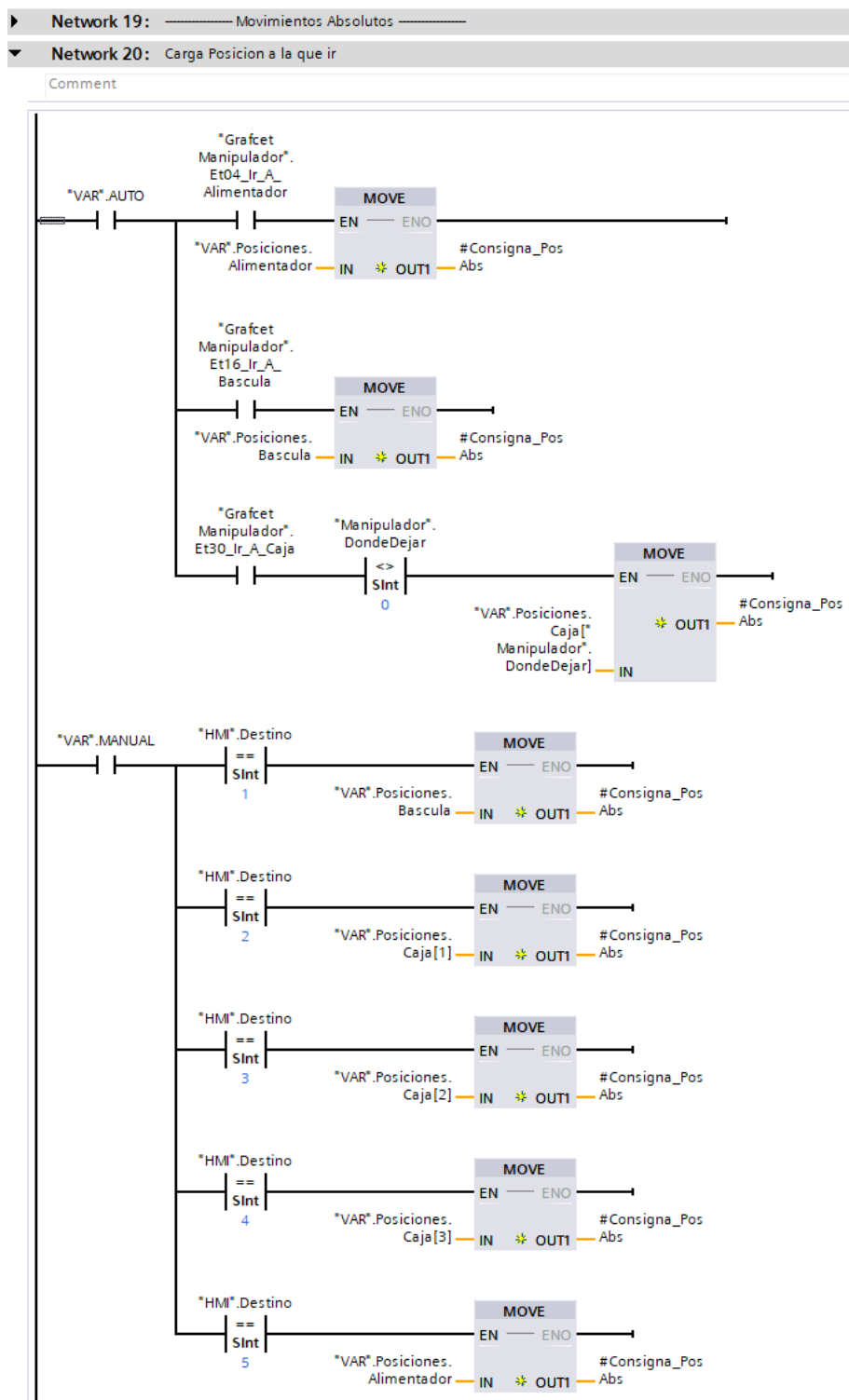


Figura 99. Carga de cota para movimientos absolutos.

El conjunto de condiciones que activan la orden de realizar el movimiento absoluto en modo automático y manual se describen en los siguientes segmentos (Figura 100 y Figura 101).



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)

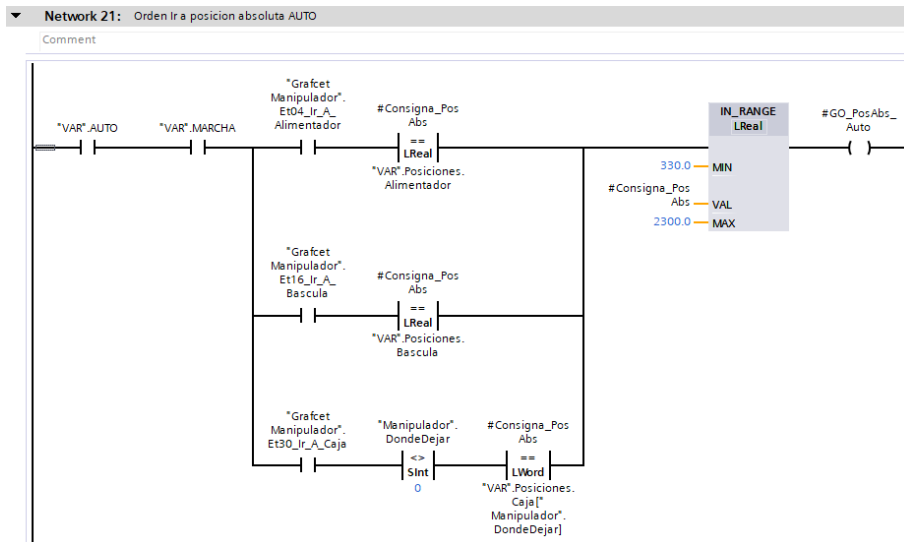


Figura 100. Orden de movimiento absoluto en automático.

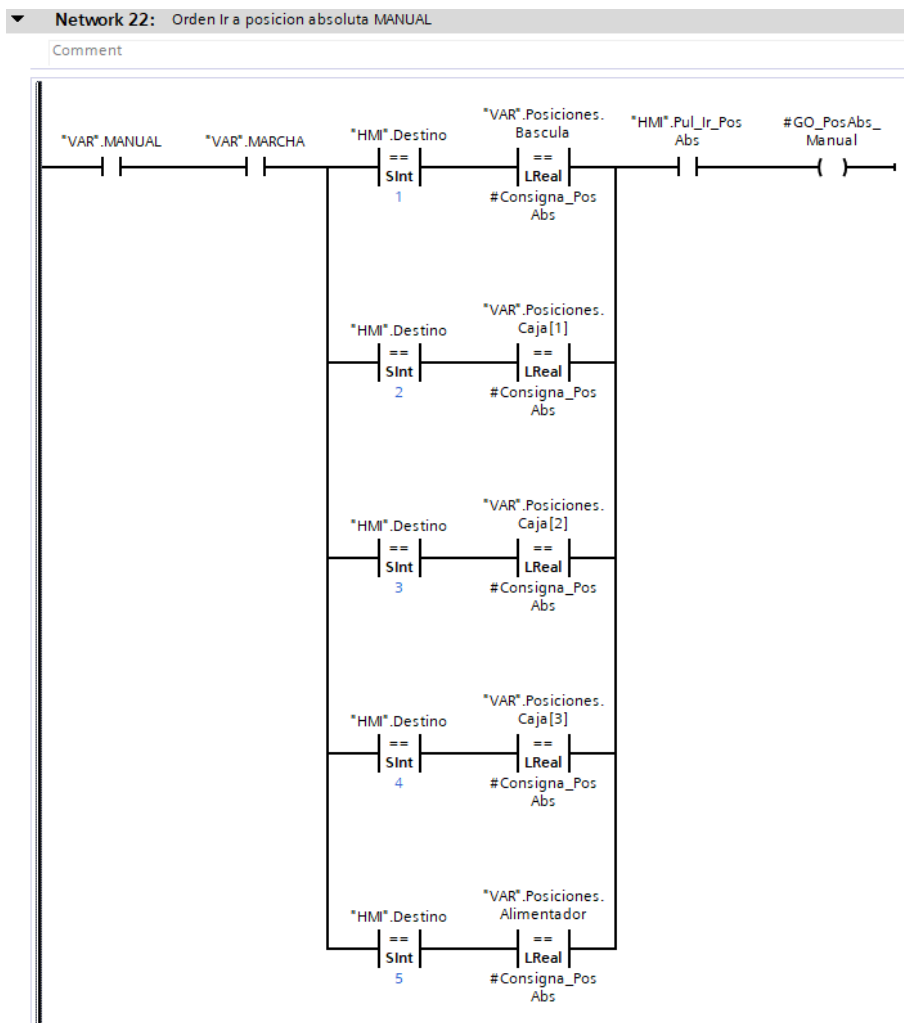


Figura 101. Orden de movimiento absoluto en manual.



Bloque MC_MOVEABSOLUTE

Este bloque mueve el eje hasta la cota indicada en la entrada “Position” cuando recibe un flanco ascendente en la entrada “Execute” (Figura 102).

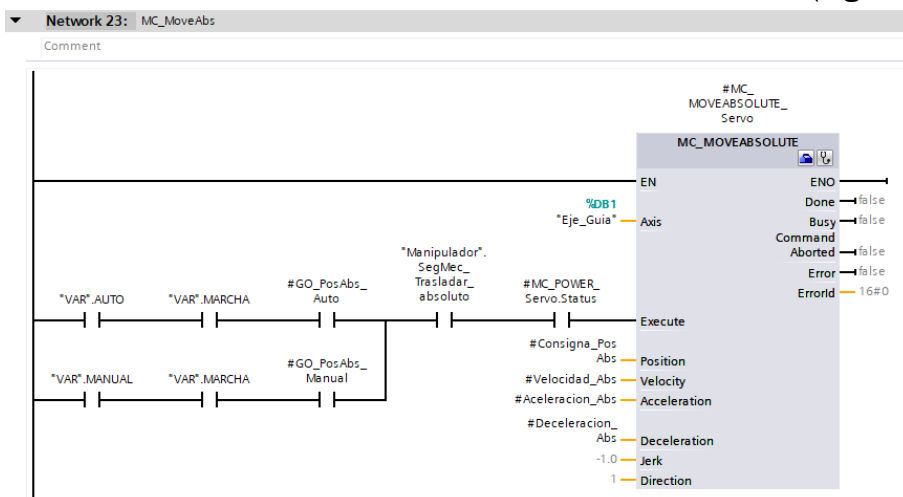


Figura 102. Bloque "MC_MOVEABSOLUTE" del TO.

Al igual que con el bloque MC_MOVEJOG, se puede especificar unos parámetros de velocidad o aceleración distintos a los predeterminados mediante las entradas “Velocity”, “Acceleration” y “Deceleration”.

3.5.2.3.4. Defectos

Se tiene la FB “Defectos” donde se generan todos los defectos de la instalación, así como el DB “DEF” donde se registran todos ellos (Figura 103).

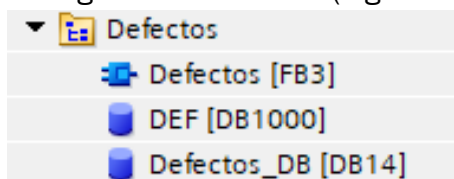


Figura 103. Bloques de programa "Defectos".

DEF (DB)

Se trata del bloque de datos que agrupa los defectos identificados que pueden darse en el sistema (Figura 104). Se recoge una lista de todos en el ANEXO V – Manual de Usuario.



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)

GuiaLineal_RaulGonzalez ▸ PLC_GuiaLineal_50E1 [CPU 1516-3 PN/DP] ▸ Program blocks ▸ Defectos ▸ DEF [DB1000]

Keep actual values Snapshot Copy snapshots to start values Load start values

	Name	Data type	Offset	Start value	Comment
1	Static				
2	ALARMA	Bool	0.0	false	Defectos agrupados de alarma
3	AVISO	Bool	0.1	false	Defectos agrupados de aviso
4	DEF0.2	Bool	0.2	false	
5	DEF0.3	Bool	0.3	false	
6	DEF0.4	Bool	0.4	false	
7	DEF0.5	Bool	0.5	false	
8	DEF0.6	Bool	0.6	false	
9	DEF0.7	Bool	0.7	false	
10	DEF1.0	Bool	1.0	false	
11	DEF1.1	Bool	1.1	false	
12	DEF1.2	Bool	1.2	false	
13	DEF1.3	Bool	1.3	false	
14	DEF1.4	Bool	1.4	false	
15	DEF1.5	Bool	1.5	false	
16	DEF1.6	Bool	1.6	false	
17	DEF1.7	Bool	1.7	false	
18	EMERGENCIAS	Bool	2.0	false	RESUMEN EMERGENCIAS
19	REARME_EMERG	Bool	2.1	false	Emergencias sin rearmar. Por favor, pulse el b.
20	SETAS	Bool	2.2	false	Alguna Seta de Emergencia Enclavada
21	FOTO_FRONTAL	Bool	2.3	false	Fotocélula Frontal Cortada
22	FOTO_LATERAL	Bool	2.4	false	Fotocélula Lateral Cortada
23	DEF2.5	Bool	2.5	false	
24	DEF2.6	Bool	2.6	false	
25	DEF2.7	Bool	2.7	false	
26	DEF3.0	Bool	3.0	false	

Figura 104. Vista general DB "DEF".

Este DB debe estar configurado sin el acceso optimizado activado (Figura 105), de forma que el HMI pueda acceder a las variables mediante direccionamiento absoluto para la gestión de Alarmas.

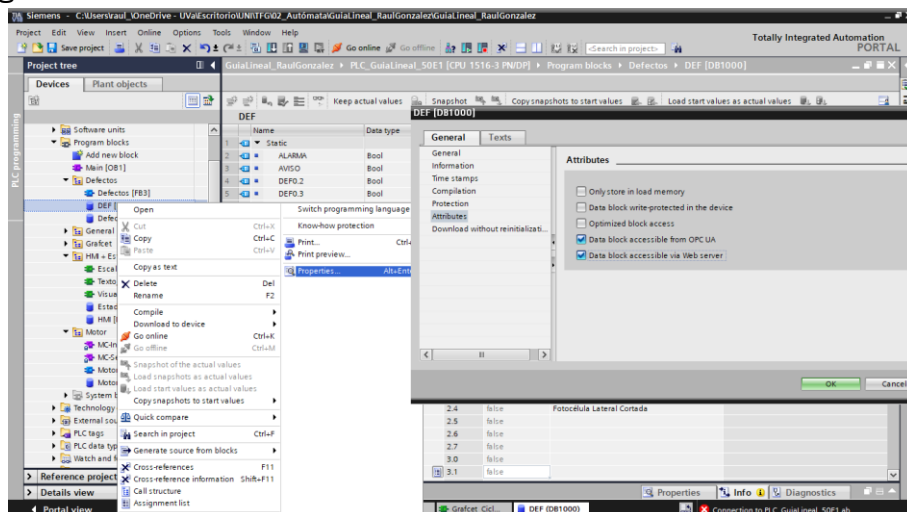


Figura 105. Configuración de acceso no optimizado del DB "DEF".



Defectos (FB)

En cada segmento se escribe uno de los defectos identificados, que se agrupan posteriormente en resúmenes por tipos de defectos (Figura 106).

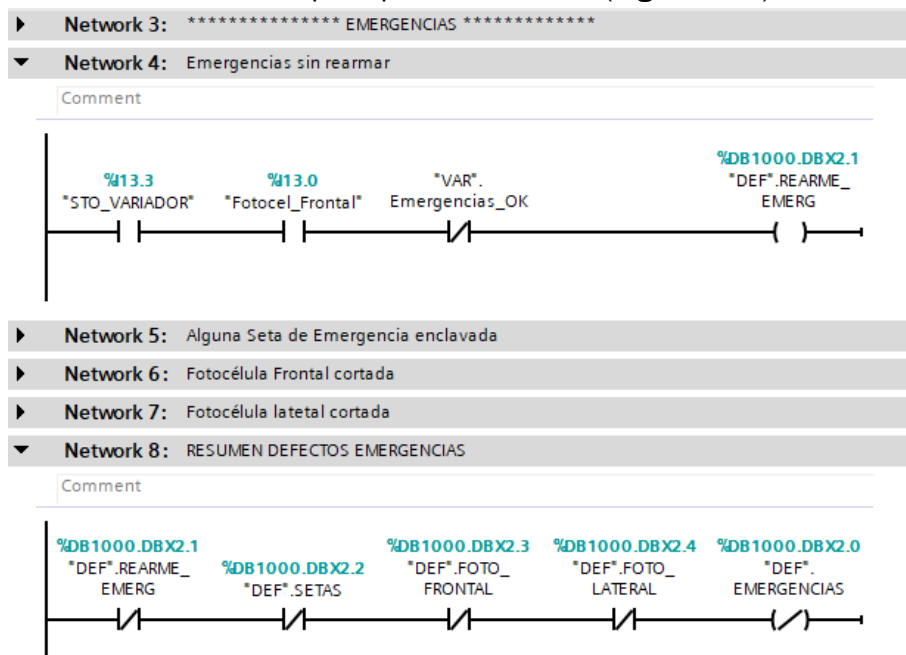


Figura 106. Vista defectos de emergencias FB "Defectos".



3.5.3. Programación Software del HMI

3.5.3.1. Tablas de variables

El primer paso para poder visualizar o controlar variables del PLC desde el HMI de control es vincular estas variables. Se han creado diversas tablas de variables con el objetivo de mantener en la medida de lo posible la misma estructura y orden en el HMI que en el PLC (Figura 107).

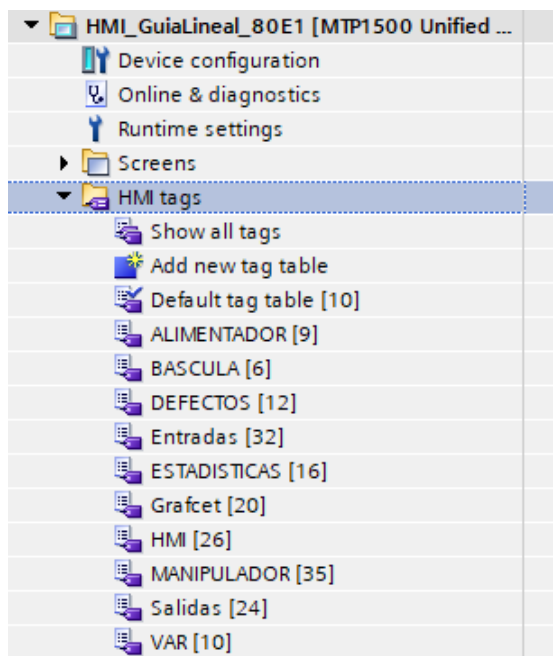


Figura 107. Tablas de variables del HMI.

Para vincular las variables del PLC con el HMI es tan sencillo como seleccionar todas las variables deseadas del DB correspondiente, copiarlas y pegarlas en la tabla de variables deseada del HMI (Figura 108 y Figura 109).

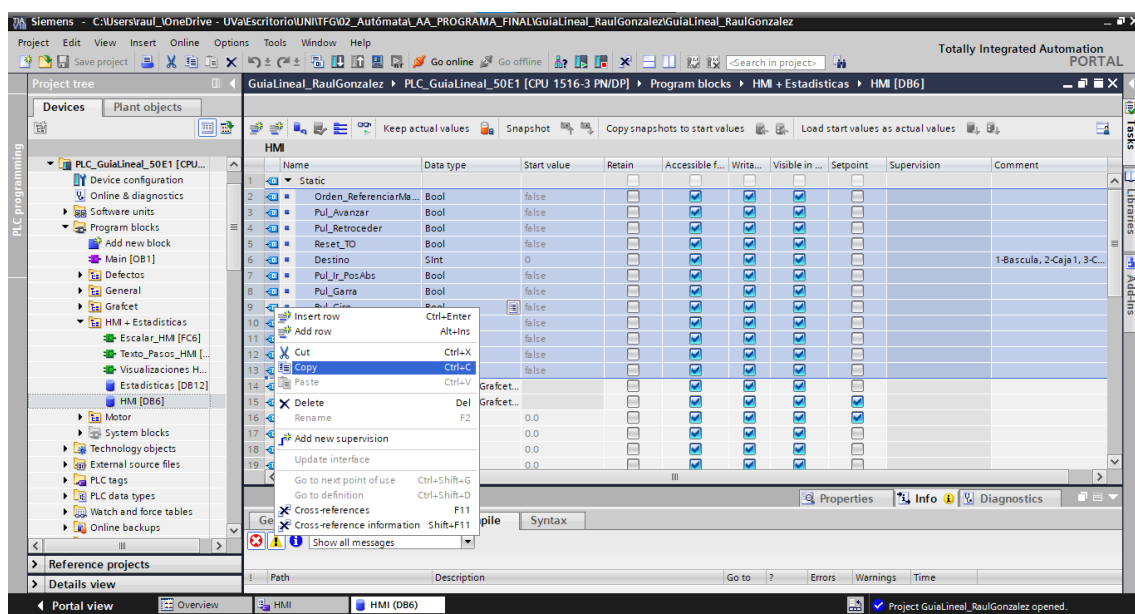


Figura 108. Copia de variables del PLC.

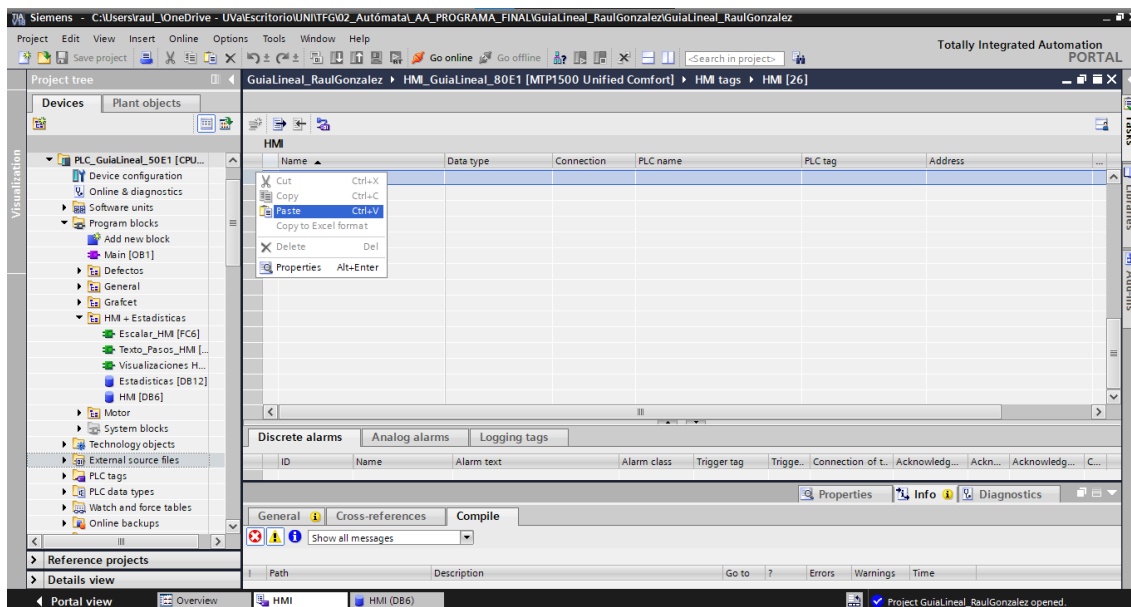


Figura 109. Pegado de variables en la tabla del HMI.

Para los defectos, es necesario crear las variables en el HMI de forma manual. Puesto que el número de defectos es bastante grande, se ha optado por crear variables del tipo palabra (16 bits), agrupando hasta 16 defectos distintos en cada uno de los bits de la palabra. Estas variables están creadas con acceso absoluto a las direcciones del DB “DEF”. En el apartado “Discrete alarms”, se especifica el texto que se mostrará por pantalla para cada una de las alarmas, así como el bit de la palabra que la activa (Figura 110).

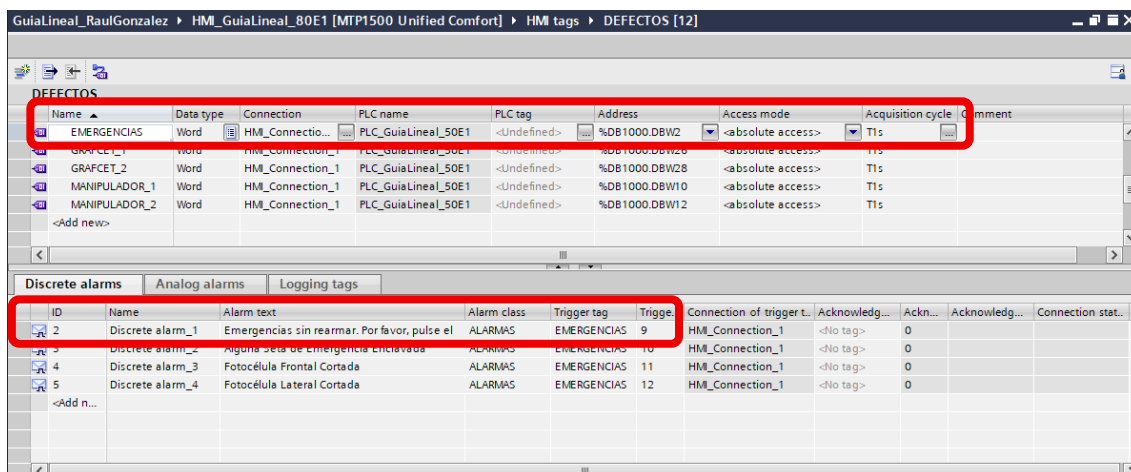


Figura 110. Variables de defectos en el HMI.



3.5.3.2. Ventanas de imágenes

Se ha creado una imagen principal llamada “01_General”. Esta imagen contiene 3 objetos del tipo ventana de imagen (Screen Window) sobre los que se cargarán distintas imágenes (Figura 111).

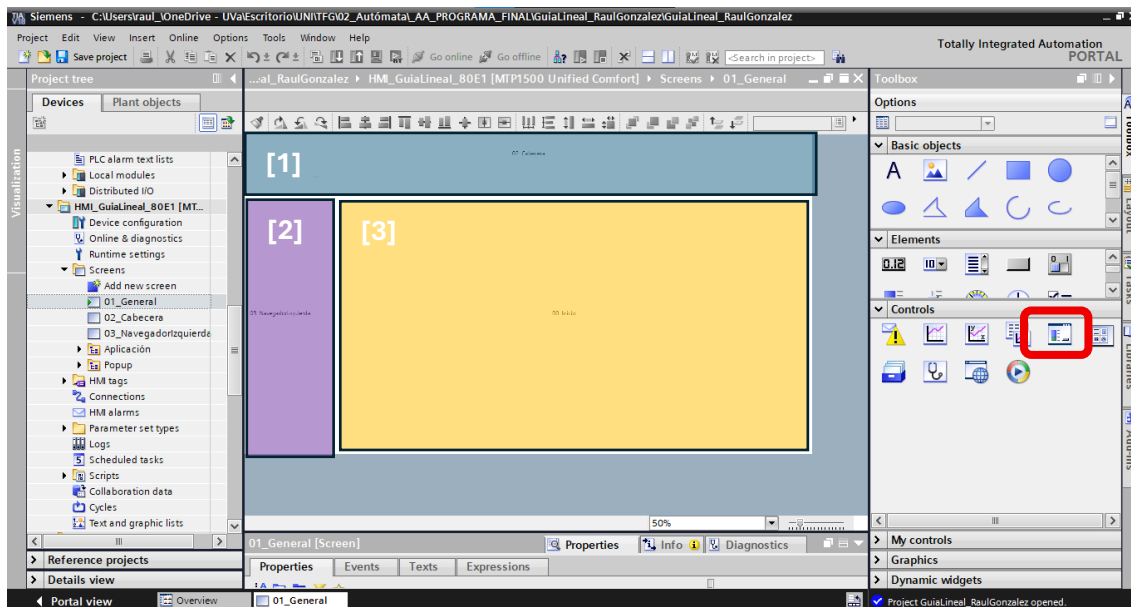


Figura 111. Imagen principal "01_General".

En la ventana de imagen superior se carga la imagen “02_Cabecera” (Figura 112), mientras que en la ventana de imagen izquierda se carga la imagen “03_NavegadorIzquierda”. Estas dos ventanas de imagen permanecerán fijas, siempre con las imágenes indicadas anteriormente.

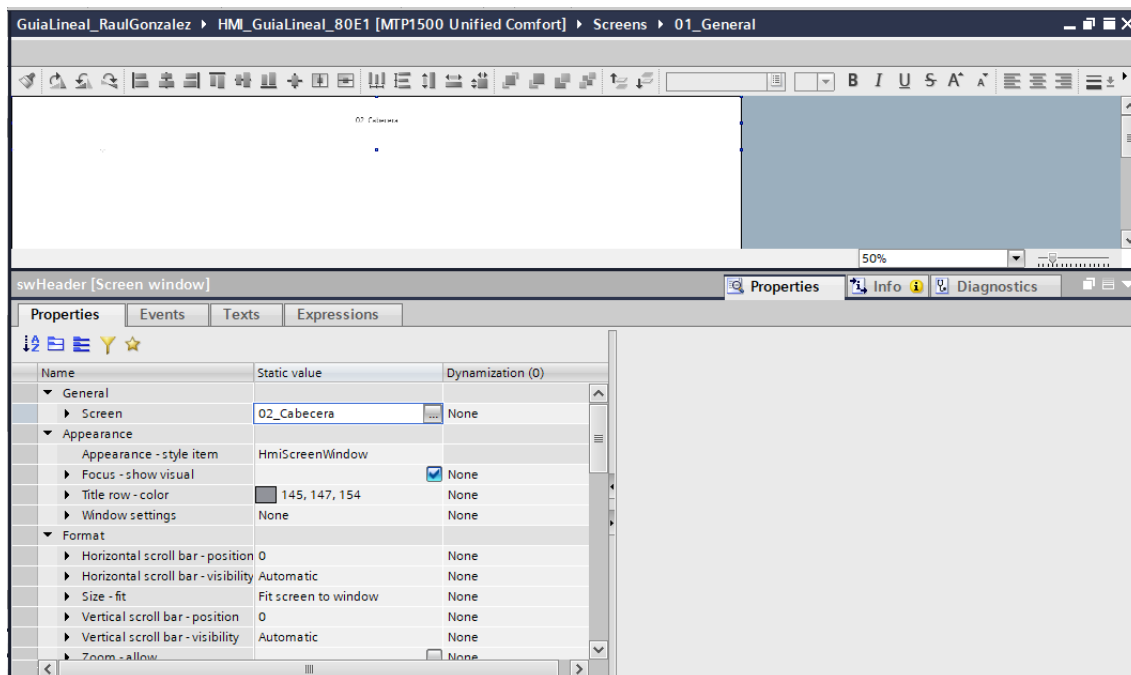


Figura 112. Configuración de la imagen visible en una ventana de imagen.



En la ventana de imagen restante, se carga de forma predeterminada la imagen “00_Inicio”. Se trata de la imagen con la que arrancará el sistema, pero la imagen contenida en esta ventana de imagen se cambiará durante la operativa desde los botones del panel de navegación izquierda que se explica más adelante.

3.5.3.2.1. 02_Cabecera

Esta imagen se muestra siempre en la parte superior de la pantalla. Contiene información general sobre el estado de las seguridades del sistema, de la selección de modo (manual o automático), así como la existencia o no de alarmas y defectos (Figura 113).

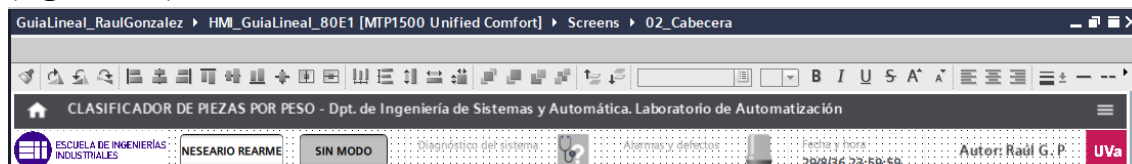


Figura 113. Imagen "02_Cabecera" del HMI.

3.5.3.2.2. 03_NavegadorIzquierda

Se trata de la imagen que contiene los botones para el cambio entre cada una de las pantallas o imágenes. Cada uno de los botones tiene asociado un evento del tipo “ChangeScreen” para seleccionar la imagen a visualizar en la ventana de imagen principal (Figura 114).

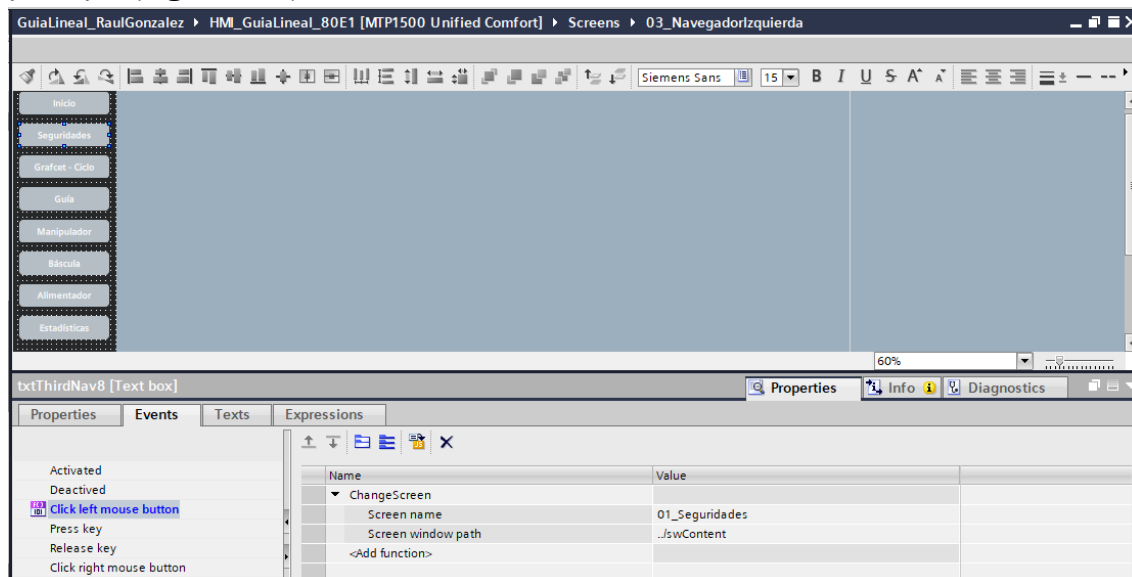


Figura 114. Imagen "03_NavegadorIzquierda" del HMI.

3.5.3.2.3. 00_Inicio

Consiste en una pantalla meramente informativa, pues desde ella no se puede realizar ningún movimiento manual. Se tiene una imagen modelada en 3D de la instalación completa, así como informaciones sobre el modo actual de la instalación, estado de las emergencias o del aire comprimido.

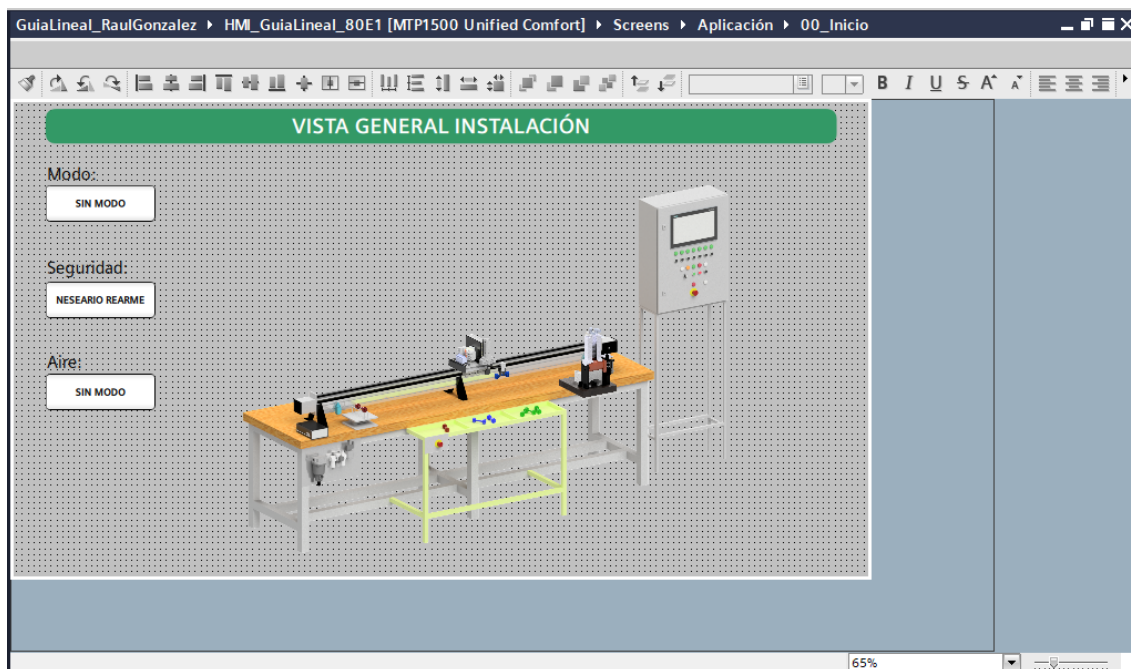


Figura 115. Imagen "00_Inicio" del HMI.

3.5.3.2.4. 01_Seguridades

Se trata de una vista frontal de la instalación sobre la cual se han supuesto los elementos de seguridad existentes en la instalación como son las setas de emergencia y la fotocélula frontal (Figura 116).

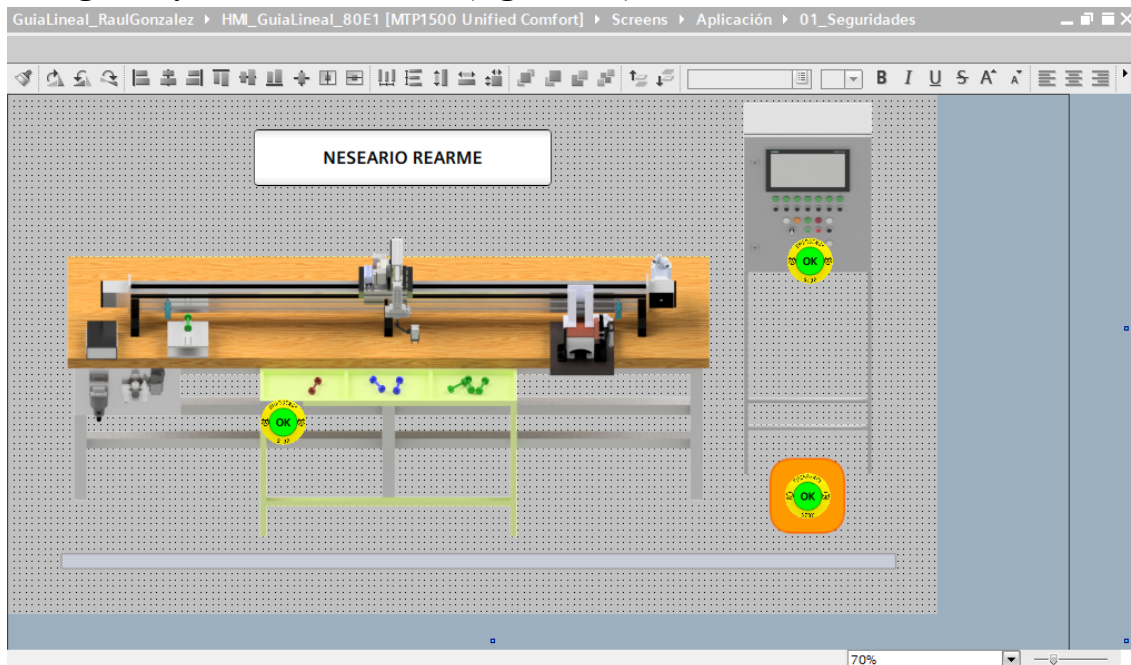


Figura 116. Imagen "01_Seguridades" del HMI.



En el caso de las setas, se ha configurado una visualización con el texto OK sobre ellas, que aparecen cuando todas las setas se encuentran desenchavadas (Figura 117).

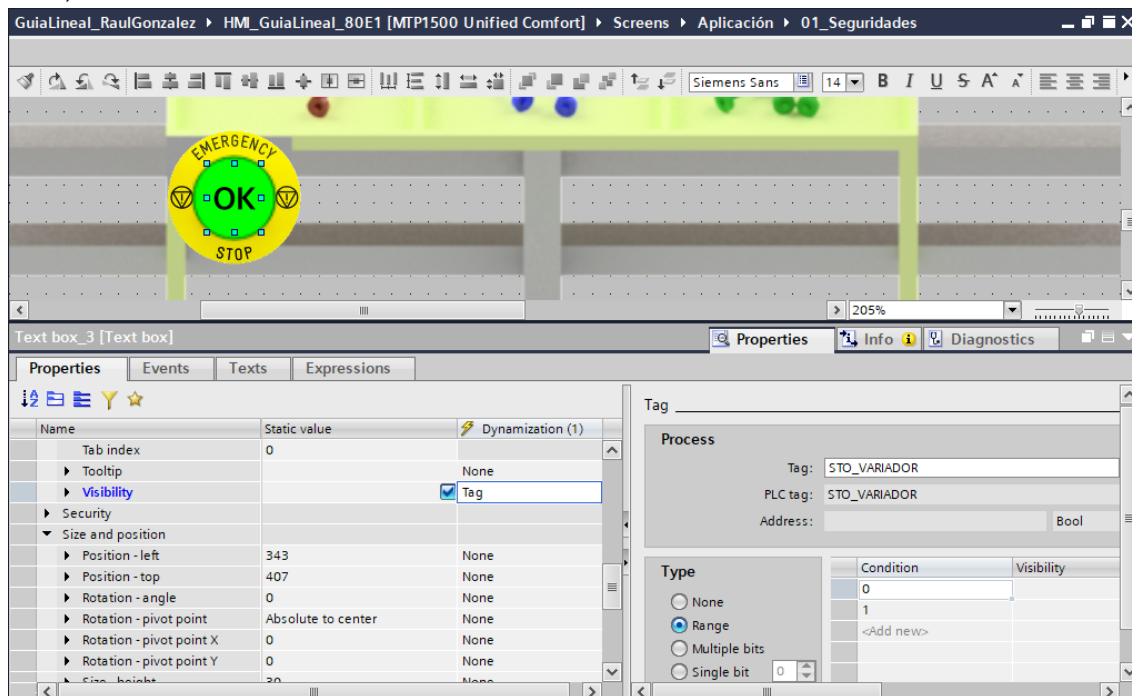


Figura 117. Animación de las setas de emergencia.

Para la fotocélula frontal, se ha animado el color del rectángulo en función de si la fotocélula se encuentra cortada (rojo) o libre (verde) (Figura 118).

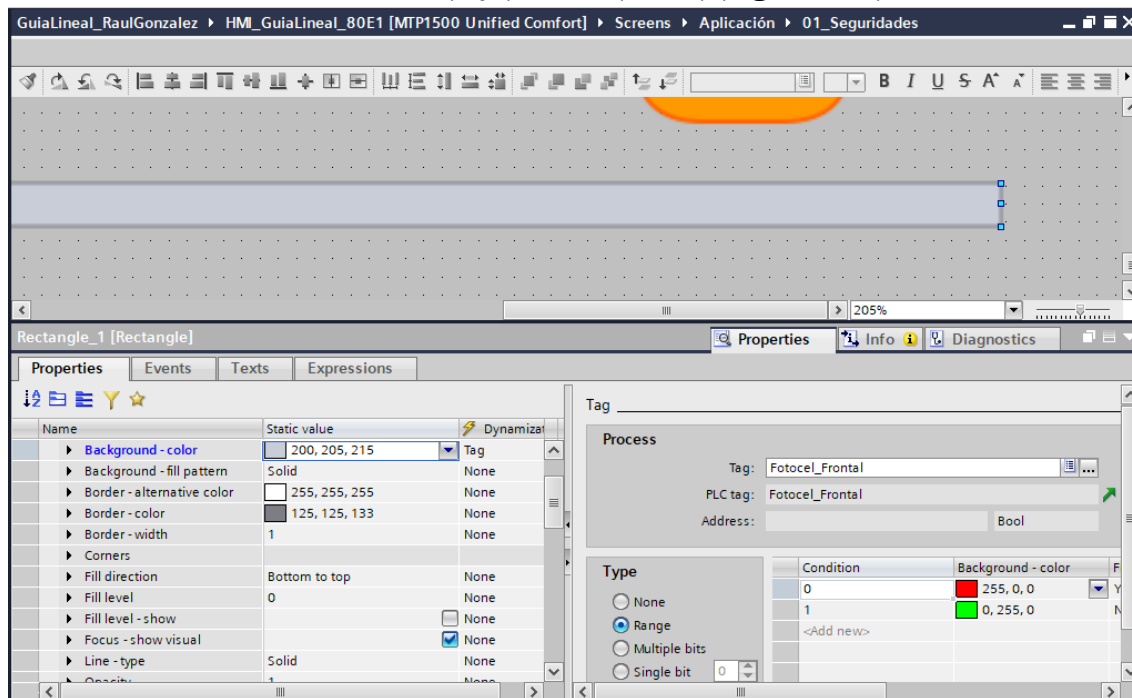


Figura 118. Animación del color de la fotocélula frontal.



3.5.3.2.5. 02_GrafcetCiclo

A la izquierda se muestra el ciclo de trabajo en modo automático, a la derecha se tiene un faceplate que muestra las condiciones necesarias para el paso de etapa (Figura 119). Un faceplate se trata de un bloque gráfico reutilizable que agrupa controles y/o indicadores, de es fácilmente aprovechable en otros proyectos.

Los rectángulos de cada una de las etapas se han animado con la variable booleana de dicha etapa, de forma que se muestra en verde la etapa activa.

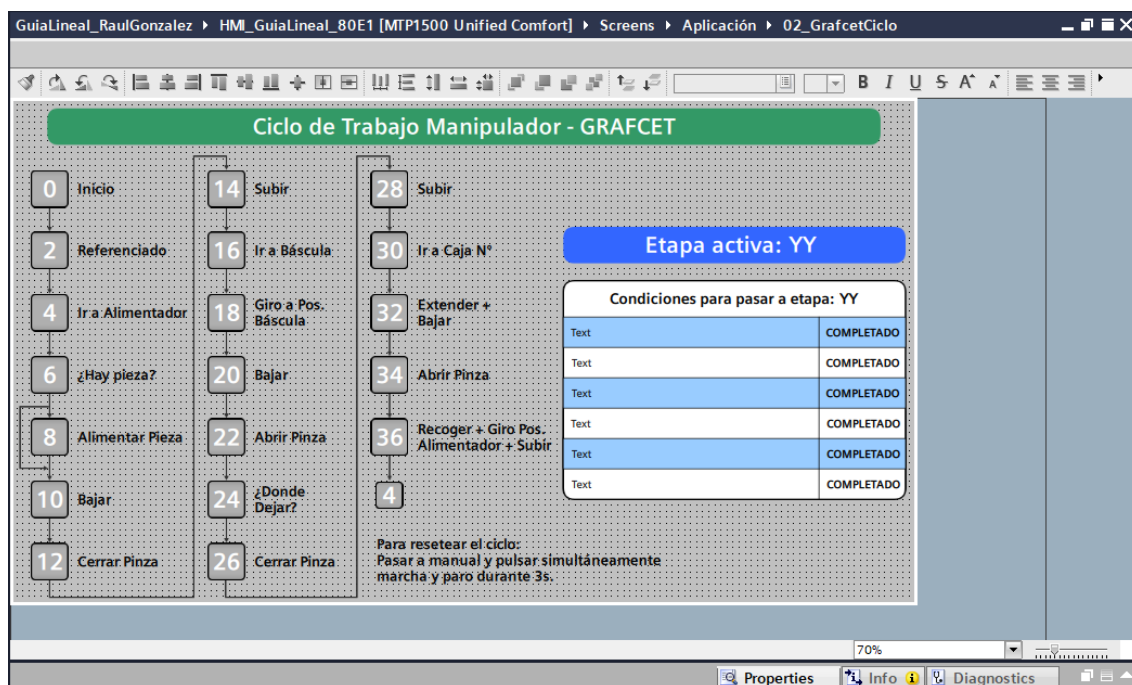


Figura 119. Imagen "02_GrafcetCiclo" del HMI.

El faceplate tiene como argumento la estructura de datos con las condiciones para pasar a la siguiente etapa. Los faceplates se crean y se editan en la ventana de librería del proyecto (Figura 120).



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)

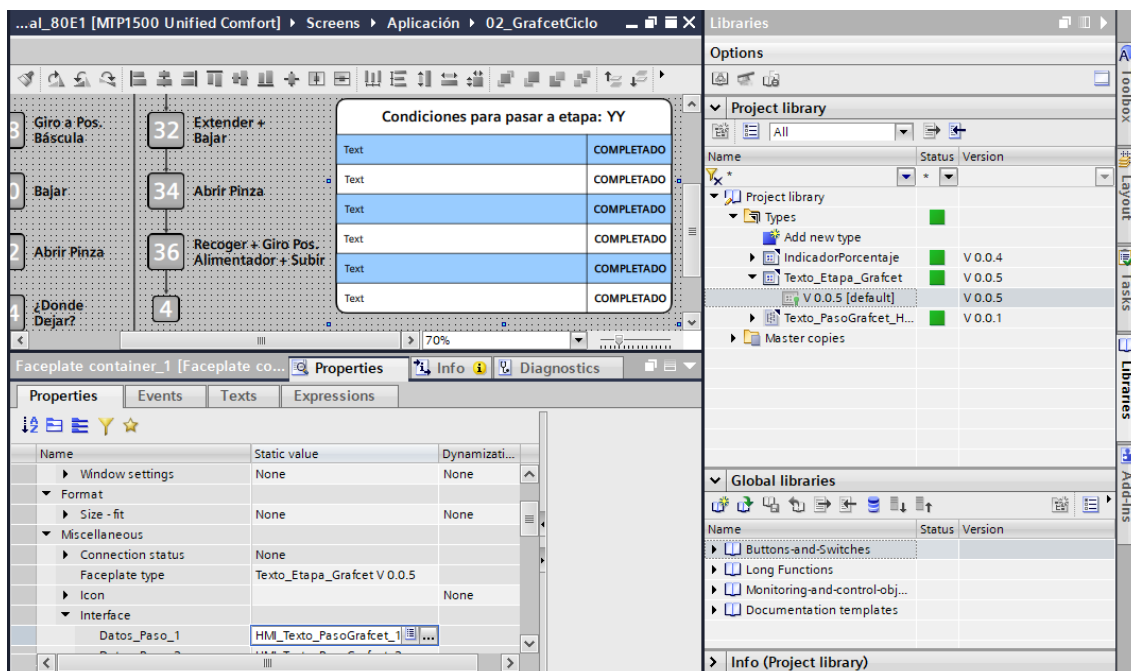


Figura 120. Faceplate de cambio de etapa, librería del proyecto.

3.5.3.2.6. 03_Guia

En esta imagen se muestran las informaciones relativas a la guía lineal, tales como la posición y velocidad del eje (Figura 121). En los extremos de la parte de inferior se tienen los pulsadores de “Retroceso” y “Avance”, que funcionan de la misma manera que los pulsadores físicos del armario eléctrico. En la parte central, se tiene un desplegable para seleccionar un destino y un pulsador para llevar el manipulador a dicho destino.

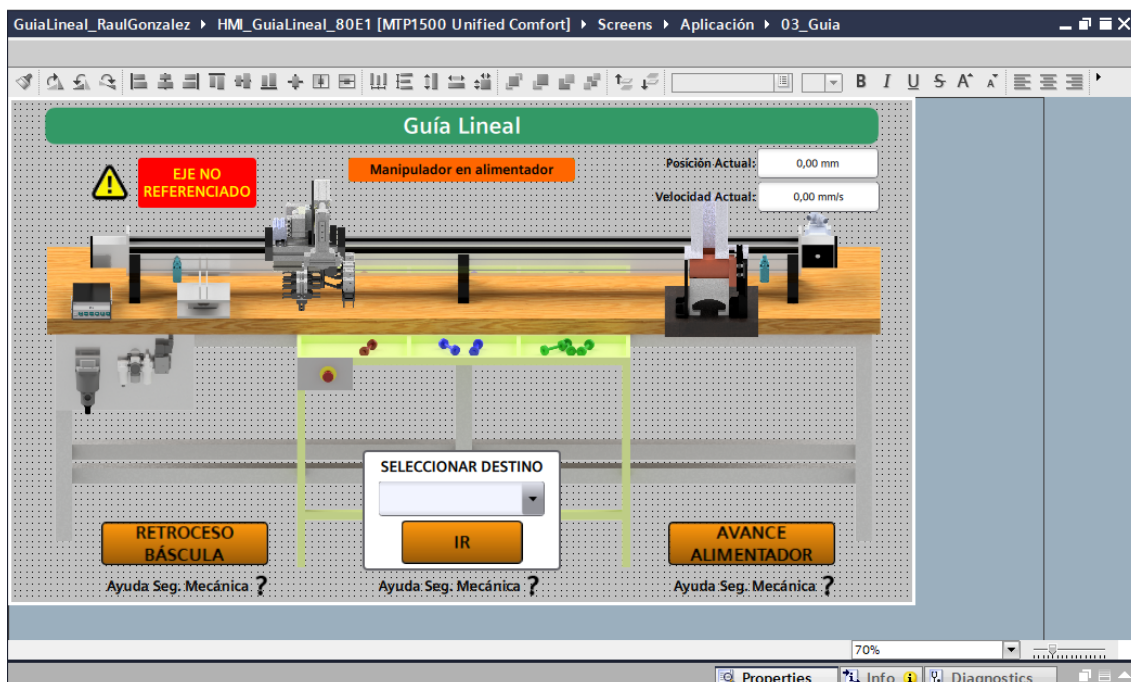


Figura 121. Imagen "03_Guia" del HMI.



En la parte inferior de cada botón, se tiene una ayuda sobre las condiciones para tener seguridad mecánica para cada uno de los movimientos. Pulsando sobre cada uno de ellos se abre una ventana emergente donde se muestran las condiciones necesarias para poder trasladar (Figura 122).

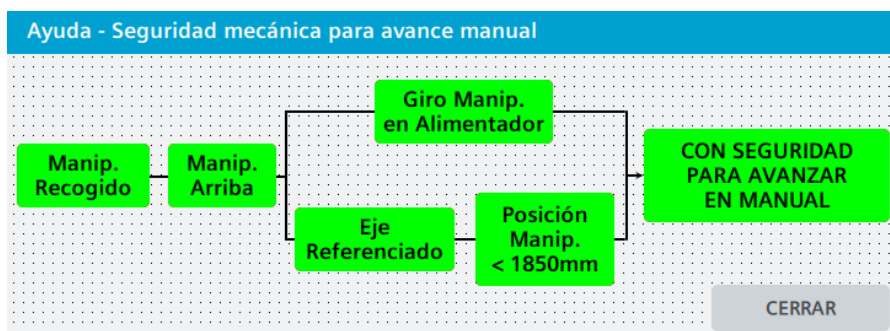


Figura 122. Ventana emergente de ayuda para avance en manual

3.5.3.2.7. 04_Manipulador

Se tienen dos vistas renderizadas del manipulador. En cada una de ellas se tienen imágenes superpuestas, una por cada posible configuración de ejes que puede adoptar el manipulador. Por animaciones, únicamente se muestra la imagen que corresponda con la configuración actual del manipulador (Figura 123). En la parte inferior, se tienen pulsadores para realizar movimientos manuales, de la misma forma que con los pulsadores del armario de la instalación.

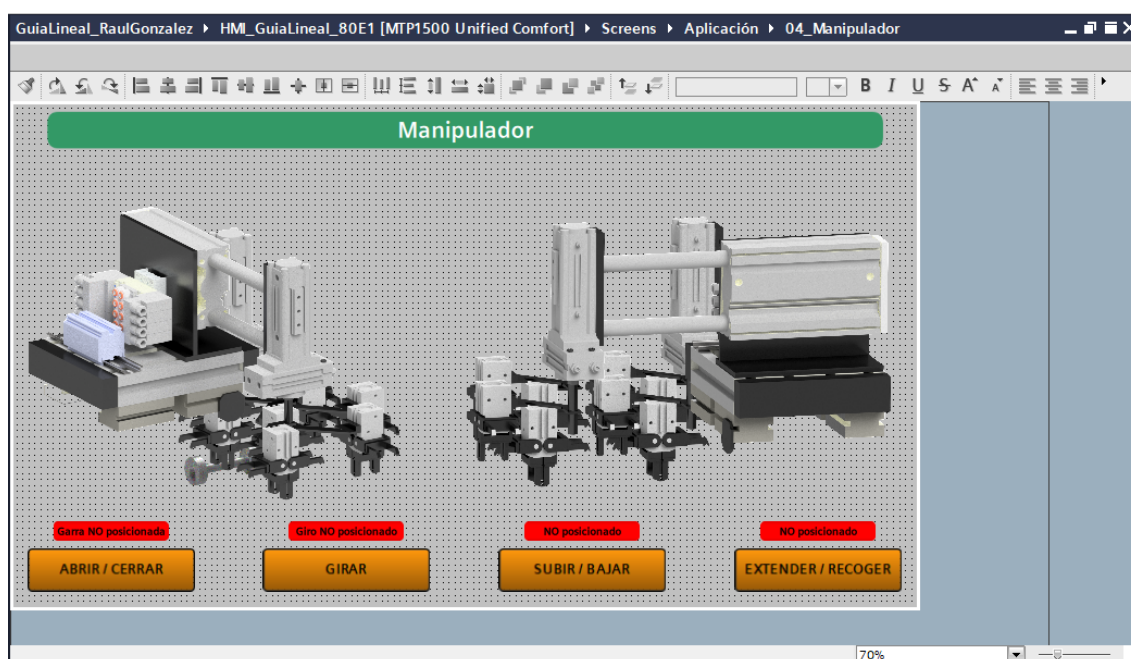


Figura 123. Imagen "04_Manipulador" del HMI.



3.5.3.2.8. 05_Bascula

Se tiene una vista ampliada de la báscula. Sobre ella se muestra la información del tipo de pieza presente en la misma, así como la presencia de error en ella (Figura 124).

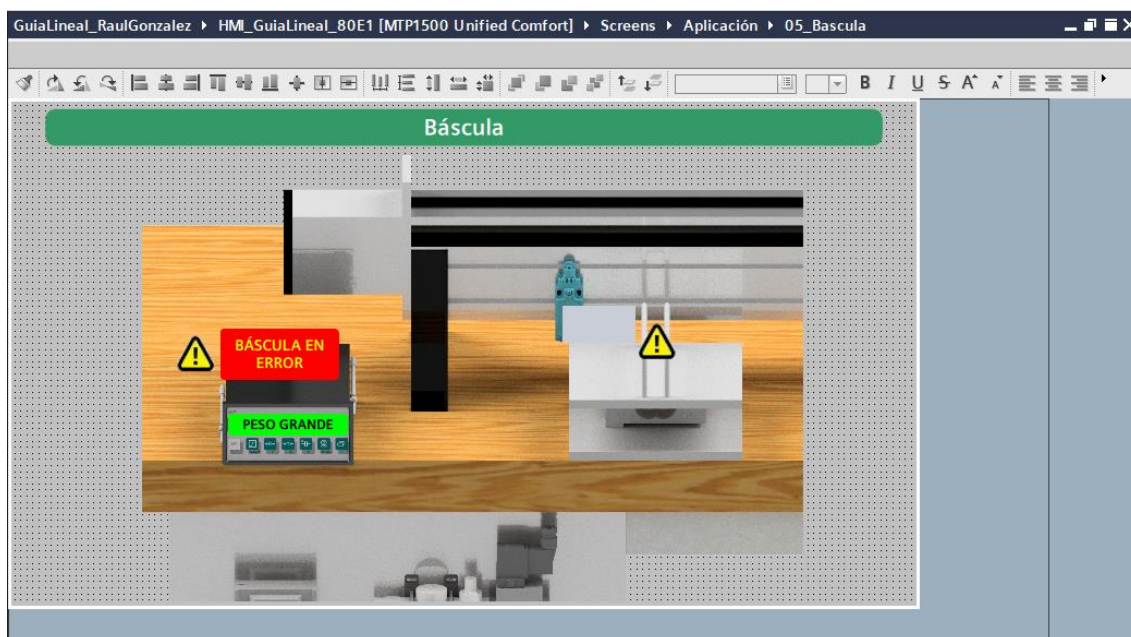


Figura 124. Imagen "05_Bascula" del HMI.

3.5.3.2.9. 06_Alimentador

Esta imagen dispone de dos vistas del alimentador (Figura 125). A la derecha se tienen informaciones sobre la presencia o no de pieza en el alimentador, mientras que en la parte inferior se dispone del pulsador para alimentar una pieza en modo manual.

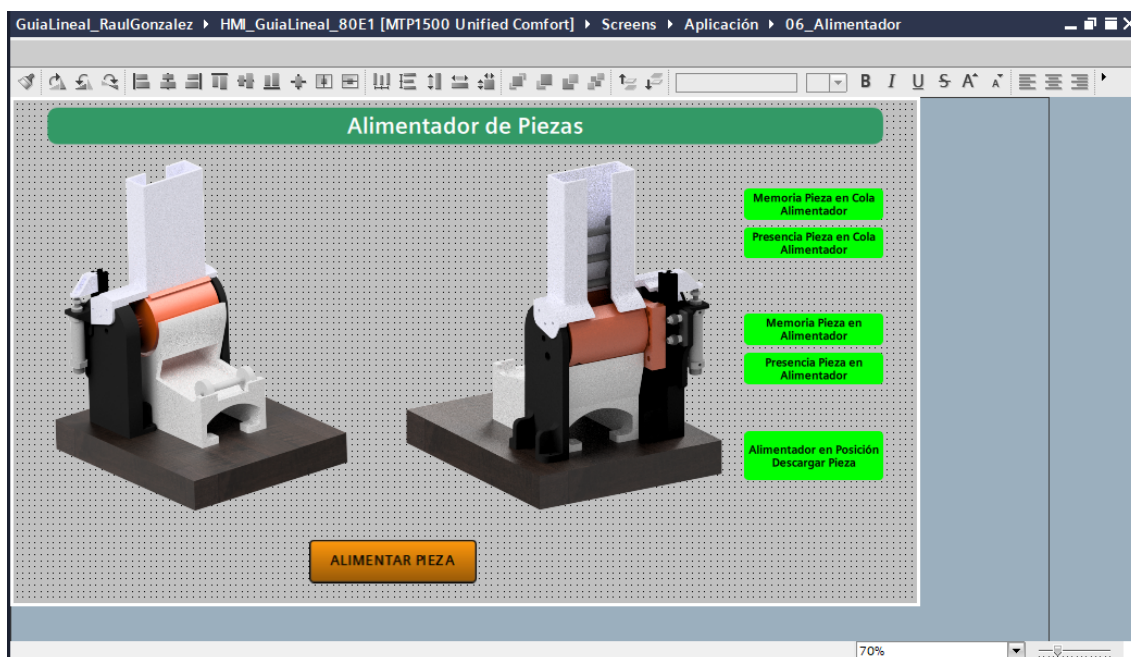


Figura 125. Imagen "06_Alimentador" del HMI.



3.5.3.2.10. 07_Estadísticas

Se tiene una vista general del número total y porcentaje de piezas clasificadas durante el día de cada tipo de pieza (Figura 126). En la parte inferior se muestra esta misma información, pero referida al día anterior.

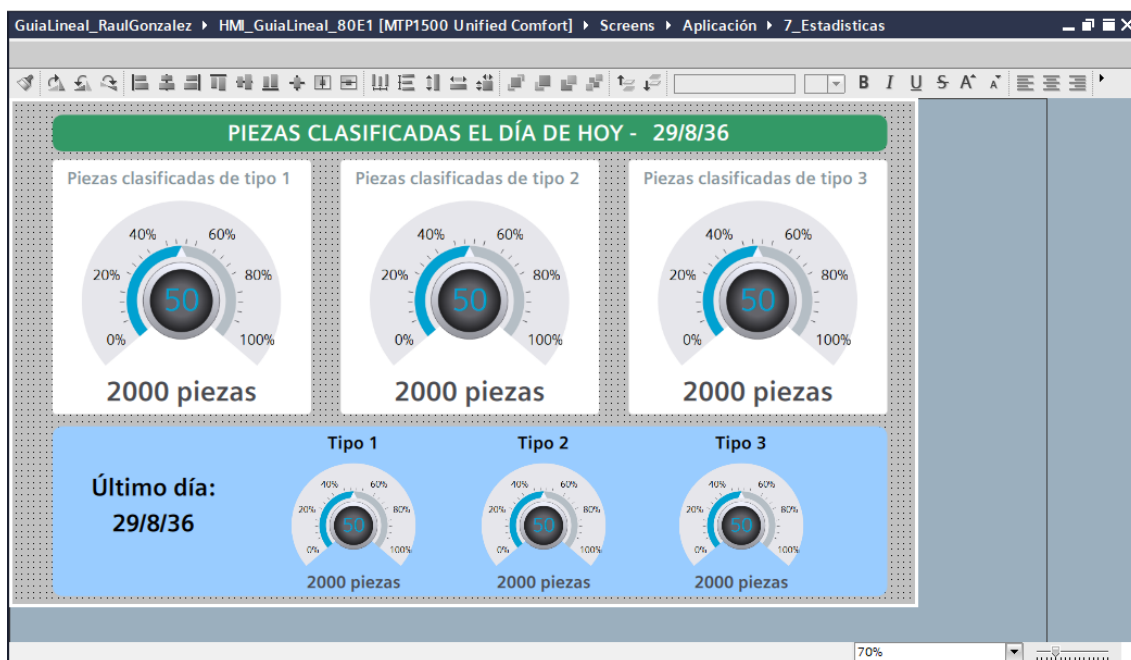


Figura 126. Imagen "07_Estadísticas" del HMI.

3.5.3.2.11. 10_Defectos

En esta imagen se tiene el visor de alarmas del sistema. Se accede a esta vista pulsando sobre el icono oportuno de la cabecera de la pantalla (Figura 127).

ID	Alarm class	Alarm text
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

Figura 127. Imagen "10_Defectos" del HMI.



4. Manual de Usuario

Como parte del presente TFG, se ha elaborado un manual de usuario de la instalación. Este documento, incluido como ANEXO V – Manual de Usuario, recopila la información necesaria para el manejo seguro de la máquina.

En este, se describen los elementos de seguridad de la instalación, modos de funcionamiento, procedimientos de puesta en marcha y parada, así como posibles problemas y pautas para su resolución.



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)



5. Conclusiones

Finalizado el presente trabajo fin de grado, se han cumplido los siguientes objetivos marcados al comienzo de este:

- Se tiene un nuevo sistema de alimentación de piezas, diseñado mediante el software “Autodesk Inventor” y fabricado mediante impresión 3D en material PLA, que mejora con creces en cuanto a fiabilidad y robustez al alimentador existente previamente.
- Se tiene un nuevo HMI de última generación instalado en el armario eléctrico.
- El control del sistema es totalmente nuevo, cumpliendo los requisitos de funcionamiento de la instalación y haciendo uso de los objetos tecnológicos.
- Las seguridades humanas de la instalación han sido mejoradas y se encuentran operativas.
- Se tiene el proyecto eléctrico del control del sistema, en formato pdf. También se dispone del formato editable para posibles modificaciones futuras, condicionado a la posesión de licencia de EPLAN.
- Todos los elementos eléctricos se encuentran debidamente etiquetados, y las mangueras se encuentran canalizadas en canaletas.
- La báscula del sistema se encuentra operativa y la información es leída en el PLC a través de entradas digitales.
- Se ha optimizado el tiempo de arranque del sistema.
- Se ha solucionado el fallo de salto de diferenciales, siempre que se sigan las indicaciones dada en manual de usuario (activar alguna de las setas de emergencia antes de quitar la tensión a la instalación).
- Se ha liberado la dirección IP de la red del laboratorio ocupada antiguamente por el variador y se ha traspasado al nuevo HMI.
- Se ha provisto de alimentación eléctrica y de comunicación Profibus al armario de control del horno-depósitos.

Con todo ello, se da por conseguidos todos y cada uno de los objetivos marcados.



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)



6. Líneas futuras

Como líneas futuras en vista a una mejora aún más notable de la instalación en particular, y del laboratorio en general se plantean las siguientes mejoras:

- Sustitución de la fotocélula anti-intrusión frontal por una barrera fotoeléctrica de seguridad y su integración en la cadena de seguridades de las setas de emergencia.
- Modificación del programa del autómatas para contemplar en un mismo proyecto de TIA Portal el autómatas de control del manipulador y del sistema de horno y depósitos, así como el autómatas correspondiente al sistema cinta-mesa, evitando así tener que cargar el proyecto correspondiente en el PLC cada vez que sea requerido operar uno de ellos.
- Modificación de la programación del HMI para incluir en el mismo proyecto el monitoreo del resto de sistemas del laboratorio asignados a esta pantalla (sistema de horno y depósitos, sistema cinta-mesa y futuros proyectos), evitando tener que cargar un proyecto distinto cada vez que se quiera operar cada uno de los sistemas.



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)



7. Bibliografía

- [1] Saez Hidalgo, J. (1999). *Manipulador electro-neumático controlado en posición mediante servomotor de C.A.: Supervisión y control del conjunto mediante PLC SIEMENS y PC*. [Proyecto fin de carrera, Universidad de Valladolid]. Registro antiguo de la biblioteca de la ETSII Uva, signatura P-1999 SAE man, número de registro 14814.
https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991006410349705774
- [2] Blázquez Gutiérrez, M. (2017). *Retrofitting sistema manipulador electro-neumático servocontrolado clasificador de piezas por peso mediante PLC S7-1500*. [Trabajo fin de grado, Universidad de Valladolid]. UVaDoc. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/25843>
- [3] Martín Martín, S. (2018). *Retrofitting del sistema de motorización de un manipulador electroneumático clasificador de piezas por peso servo controlado con HW siemens S7-1500*. [Trabajo fin de grado, Universidad de Valladolid]. UVaDoc. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/31292>
- [4] Bosch Rexroth (2025). *Soluciones Industriales > Tecnología de movimiento lineal. Guía Lineal Bosch*.
<https://www.boschrexroth.com/es/es/productos/soluciones-industriales/tecnologia-de-movimiento-lineal/>
- [5] HBM. (2025). *Sobre Nosotros*. HBM. <https://www.hbm.com/es/0011/sobre-nosotros/>
- [6] PROFIBUS Nutzerorganisation. (2025). *PROFIBUS: Qué es y cómo funciona*.
https://profibus.com.ar/profibus_que_es_y_como_funciona/
- [7] Autodesk. (2025). *Software Autodesk Inventor*.
<https://www.autodesk.com/es/products/inventor/overview>
- [8] EPLAN. (2025). *EPLAN Electric P8*. <https://www.eplan.es/soluciones/eplan-electric-p8/>
- [9] Siemens. (s.f.). *SIMATIC S7-1500 CPU compacta CPU 1512C-1 PN*.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ES75121CK000AB0>
- [10] Siemens. (s.f.). *SIMATIC S7-1500, CPU 1516-3 PN/DP*.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ES7516-3AN02-0AB0>
- [11] Siemens. (s.f.). *SIMATIC S7-1500, digital output module DQ 32x24V DC/0.5A HF*.



<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7522-1BL01-0AB0>

- [12] Siemens. (s.f.). *SIMATIC S7-1500, digital input module DI 32x24 V DC HF*.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7521-1BL00-0AB0>
- [13] Siemens. (s.f.). *SIMATIC HMI MTP1500*.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product?mlfb=6AV2128-3QB06-0AX1&SiepCountryCode=ES>
- [14] HBM. (2012). *MVD2555 – Operating Manual*.
https://www.hbm.com/es/2652/amplificador-de-medida-mvd2510-de-montaje-en-panel-para-control-de-procesos/?product_type_no=Amplificadores%20de%20frecuencia%20portadora%20y%20CC%20serie%20MVD
- [15] Siemens. (s.f.). *SINAMICS S110 CONTROL UNIT CU305 PN*.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6SL3040-OJA01-OAA0>
- [16] PROFIBUS Nutzerorganisation. (2025). *Explicación de PROFINET - La tecnología en detalle*. <https://www.profinet.com/profinet-explained?deepl=ES>
- [17] PROFIBUS Nutzerorganisation. (2025). *PROFIdrive - The Leading Drive Control Profile*. <https://www.profinet.com/profinet-explained/profidrive>
- [18] Siemens. (2012). *SINAMICS S110 – Manual de funciones*.
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/59737625/manual-de-funciones-sinamics-s120-funciones-de-accionamiento?dti=0&lc=es-ES>
- [19] Siemens. (2022). *SIMATIC S7-1500/S7-1500T Sinopsis de Motion Control V9.0, STEP 7 V18 o superior – Manual de funciones*.
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109812056/simatic-s7-1500-step-7-s7-1500-s7-1500t-sinopsis-de-motion-control-v7-0-step-7-v18-o-superior?dti=0&lc=es-ES>
- [20] Siemens. (2024). *SIMATIC S7-1500/ET 200MP Sistema de automatización – Manual de sistema*.
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/59191792/simatic-s7-1500-et-200mp-sistema-de-automatizaci%C3%B3n?dti=0&lc=es-ES>
- [21] Siemens. (s.f.). *SINAMICS S110 CONTROL UNIT CU305 PN*.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6SL3040-OJA01-OAA0>



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)

- [22] Siemens. (s.f.). *Herramienta de puesta en marcha STARTER*.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10018085?activeTab=product>



Cambio del Sistema de Control del Sistema Clasificador de Piezas por Peso, incorporación de Interfaz Hombre Máquina al cuadro de control original y actualización aplicaciones correspondientes (control y supervisión)



ANEXO I – Modelos 3D

Contiene los archivos del modelado 3D detallado del sistema de alimentación de piezas del sistema, así como el modelado 3D del resto de elementos de la instalación. Todo ello en formato *Autodesk Inventor 2025*.

ANEXO II – Dossier eléctrico

Contiene el dossier eléctrico de la instalación en formato pdf, así como en formato editable *EPLAN P8 2.9*.

ANEXO III – Proyecto de STARTER

Contiene el proyecto de STARTER con la configuración y parametrización del Variador.

ANEXO IV – Proyecto de TIA Portal V18

Contiene el proyecto de TIA Portal V18 con la configuración y programación del autómatas y HMI.

ANEXO V – Manual de Usuario

Contiene el manual de usuario de la instalación en formato pdf.