



UNIVERSITAT JAUME I

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS
MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL

*AUTOMATIZACIÓN DE UNA CÉLULA DE
FABRICACIÓN CON SISTEMA DE
TRANSFERENCIA DE PALETS Y ROBOT
ANTROPOMÓRFICO PARA USO DOCENTE*

TRABAJO FIN DE MÁSTER

AUTORA

Sonia Gili Cabedo

DIRECTORES

Julio Ariel Romero Pérez

Julio Serrano Mira

Castellón, febrero de 2021

Agradecimientos

Me gustaría agradecer los esfuerzos de las personas que han contribuido a que este proyecto se lleve a cabo. En primer lugar, me gustaría dar las gracias a D. Julio Ariel Romero Pérez y a D. Julio Serrano Mira, por dedicarme su tiempo y responder a mis cuestiones, así como por haberme dado la oportunidad de trabajar en este proyecto y haber sido mis guías durante este período.

Finalmente, me gustaría dar las gracias a mi familia y amigos más cercanos, que siempre fueron un apoyo para mí durante la realización de este proyecto.

Sonia Gili Cabedo

Índice general

1. Memoria	1
1.1. Objeto	2
1.2. Alcance	2
1.3. Antecedentes	3
1.4. Descripción del equipo existente	4
1.5. Análisis de soluciones	30
1.6. Solución propuesta	32
1.7. Implementación de la solución	41
1.8. Estudio de viabilidad	59
1.9. Conclusiones	60
Referencias	61
2. Planos	63
P1. Plano de situación	63
P2. Plano de emplazamiento	63
P3. Plano de distribución en planta	63
P4. Esquema de conexiones	63
P5. Esquema de las tarjetas SYSIO y BASICIO	63
3. Pliego de condiciones	69
3.1. Objeto y lugar de emplazamiento	70
3.2. Personal	70
3.3. Disposiciones legales y de carácter técnico	70
3.4. Especificaciones de los materiales de la instalación y la ejecución del proyecto	70
3.5. Normas para la utilización de los equipos	71
4. Presupuesto	73
4.1. Coste de personal	74
4.2. Coste de dirección y gestión del proyecto	74

4.3. Amortizaciones y coste del software	74
4.4. Gastos complementarios	75
4.5. Coste total del proyecto	76
5. Anexos	77
5.1. Anexo I: Diagramas de Grafcet	78
5.2. Anexo II: Programas en Codesys	90
5.3. Anexo III: Código del robot	99
5.4. Anexo IV: Manual de instrucciones del sistema	104

Índice de figuras

1.1. RX90 - Elementos: brazo robot, armario de mando (parte posterior y anterior) y terminal de programación	4
1.2. RX90 - Ejes de referencia WORLD (izquierda) y TOOL (derecha)	5
1.3. RX90 - Volumen de trabajo: plano vertical (izquierda) y plano horizontal (derecha)	5
1.4. Sistema de filtrado y regulación de aire a presión del robot y su llave de paso	6
1.5. CS7 - Arquitectura general del armario de mando	7
1.6. CS7 - Conexiones entre las tarjetas SIO y BASICIO	8
1.7. CS7 - Panel frontal (derecha) y mando manual de aprendizaje (izquierda) .	10
1.8. CS7 - Consola de programación WYSE	10
1.9. TS 2 plus - Palet protapiezas: cara superior (izquierda) e inferior (derecha)	11
1.10. Vista global del sistema	12
1.11. Esquema global del sistema	12
1.12. TS 2 plus - Tramo recto	13
1.13. TS 2 plus - Dos estaciones de desviación adyacentes conectadas mediante 2 vías de rodillos	14
1.14. TS 2 plus - Tramo curvo	14
1.15. TS 2 plus - Separador de tramos (izquierda) con su detector de proximidad (derecha)	15
1.16. Interruptores del sistema	15
1.17. Detector inductivo de proximidad del sistema	16
1.18. Electroválvula del sistema	17
1.19. Sistema de regulación de aire a presión del sistema de transferencia de palets	18
1.20. Motor reductor del sistema	19
1.21. Esquema de alimentación de los motores del sistema	20
1.22. Sistema de alimentación del sistema de transferencia de palets	21
1.23. Elementos del armario eléctrico del sistema de transferencia de palets . . .	22
1.24. Apariencia del autómatas Wago PFC200 750-8202	23
1.25. Esquema del módulo de entradas digitales Wago 750-430	24

1.26. Esquema del módulo de salidas digitales Wago 750-530	25
1.27. Apariencia del módulo final Wago 750-600 (conectores laterales en verde)	26
1.28. Configuración de los módulos de entradas y salidas del PLC	26
1.29. Movimientos básicos del sistema de transferencia de palets	34
1.30. Secuencia de funcionamiento 1	36
1.31. Secuencia de funcionamiento 2	37
1.32. Secuencia de funcionamiento 3	38
1.33. Pestaña de sujeción del PLC	41
1.34. Sujeción de los cables al PLC mediante el sistema Cage Clamp	42
1.35. Esquema de las conexiones realizadas en la tarjeta BASICIO	43
1.36. Apariencia del PLC tras realizar las conexiones necesarias	44
1.37. Apariencia de la tarjeta BASICIO tras realizar las conexiones necesarias	44
1.38. Apariencia del editor SEE	46
1.39. Herramienta utilizada en el robot	47
1.40. Diagrama de estados para el funcionamiento del robot	49
1.41. Guardado de un punto mediante el comando HERE	51
1.42. Apariencia del editor DEBUG	51
1.43. Configuración de <i>Target Settings</i> en Codesys	52
1.44. Configuración de <i>PLC Configuration</i> en Codesys	55
1.45. Asignación de nombres a las entradas y salidas del PLC	55
1.46. Orden de asignación de las entradas y salidas según el cableado (izquierda) y según Codesys (derecha)	56
1.47. Declaración de la variable SFCInit en el programa principal (izquierda) y en el resto de programas (derecha)	57
1.48. Declaración de variables globales en Codesys	57
1.49. Configuración de la tarea cíclica de ejecución en Codesys	58
5.1. Diagrama principal (G1)	79
5.2. Diagrama de selección de secuencia (G2)	80
5.3. Diagrama de selección de paro o marcha (G3)	80
5.4. Diagramas de movimientos básicos (G4, G5)	81
5.5. Diagrama de movimiento básico (G6)	81

5.6. Diagrama de movimiento básico (G7)	82
5.7. Diagramas de movimientos básicos (G8, G9)	82
5.8. Diagrama de movimiento básico (G10)	83
5.9. Diagramas de movimientos básicos (G11, G12)	83
5.10. Diagramas de movimientos básicos (G13, G15)	84
5.11. Diagrama de movimiento básico (G14)	84
5.12. Diagrama de movimiento básico (G16)	85
5.13. Diagramas de movimientos básicos (G17, G18)	85
5.14. Diagramas de funcionamiento de los motores (G19, G20)	86
5.15. Diagramas de funcionamiento de los motores (G21, G22)	86
5.16. Diagrama de funcionamiento del robot (G23)	87
5.17. Diagrama de funcionamiento del robot (G24)	88
5.18. Diagrama de funcionamiento del robot (G25)	89
5.19. Programa principal: PLC_PRG	90
5.20. Programa de selección de secuencia: Seleccion_secuencia	91
5.21. Programa de selección de paro o marcha: Paro_Marcha	91
5.22. Programas de movimientos básicos: Mov_A, Mov_B, Mov_C	92
5.23. Programas de movimientos básicos: Mov_D, Mov_E, Mov_F	93
5.24. Programas de movimientos básicos: Mov_G, Mov_G_sec_1, Mov_G_sec_2	94
5.25. Programas de movimientos básicos: Mov_H, Mov_I, Mov_J	95
5.26. Programas de movimientos básicos: Mov_K, Mov_L, Mov_M	96
5.27. Programas de funcionamiento de los motores: Motores_1_2 y Motores_3_6	97
5.28. Programas de funcionamiento de los motores: Motores_4_5 y Motores_7_8_9	97
5.29. Programas de funcionamiento del robot: Robot_secuencia_1, Robot_secuencia_2 y Robot_secuencia_3	98
5.30. Posición de los arrancadores manuales	104
5.31. Disposición de las piezas para los palets impares (derecha) y pares (izquierda) en la secuencia 1	105
5.32. Disposición de las piezas para los palets impares (derecha) y pares (izquierda) en la secuencia 2	105
5.33. Disposición de las piezas para los palets en la secuencia 3	106

Índice de tablas

1.1. Características de las entradas y salidas de la tarjeta BASICIO	9
1.2. Características de los detectores inductivos de proximidad (BD)	16
1.3. Características de las electroválvulas (YV)	17
1.4. Características del presostato (BP)	18
1.5. Características de los motores reductores (M)	19
1.6. Características del autómatas Wago PFC200 750-8202	23
1.7. Características del módulo de entradas digitales Wago 750-430	24
1.8. Características del módulo de salidas digitales Wago 750-530	25
1.9. Entradas digitales del PLC	27
1.10. Salidas digitales del PLC	28
1.11. Funciones disponibles en la consola de programación	45
1.12. Instrucciones V+ utilizadas	50
1.13. Entradas digitales del PLC	53
1.14. Salidas digitales del PLC	54
4.1. Coste de personal	74
4.2. Coste de dirección y gestión	74
4.3. Coste de amortización	75
4.4. Gastos complementarios	75
4.5. Coste total del proyecto	76

Lista de acrónimos

LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> - Pantalla de cristal líquido
LD	<i>Ladder Diagram</i> - Diagrama de contactos
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> - Autómata programable
RAM	<i>Random Access Memory</i> - Memoria de trabajo en computadoras y otros dispositivos
SFC	<i>Sequential Function Chart</i> - Lenguaje gráfico basado en el método Grafcet
ST	<i>Structured Text</i> - Texto estructurado

1. Memoria

Índice

1.1. Objeto	2
1.2. Alcance	2
1.3. Antecedentes	3
1.4. Descripción del equipo existente	4
1.4.1. Robot Stäubli RX90	4
1.4.2. Sistema de transferencia de palets modular Transfer System TS 2 plus	11
1.4.3. Sistema de control original del sistema de transferencia de palets	23
1.5. Análisis de soluciones	30
1.6. Solución propuesta	32
1.6.1. Definición del patrón de funcionamiento	34
1.7. Implementación de la solución	41
1.7.1. Configuración de los componentes hardware	41
1.7.2. Programación	45
1.7.3. Manual de instrucciones del sistema	58
1.8. Estudio de viabilidad	59
1.8.1. Viabilidad técnica	59
1.8.2. Viabilidad económica	59
1.9. Conclusiones	60
Referencias	61

1.1. Objeto

El objetivo del TFM es integrar el funcionamiento de los elementos de una célula de fabricación formada por un sistema de transferencia de palets y un brazo robot.

El sistema de transferencia de palets está formado por varias cintas transportadoras controladas mediante distintos sensores y actuadores que permiten el desplazamiento controlado de 8 palets capaces de soportar piezas de hasta 25 kg. Por otro lado, el brazo robot es de tipo antropomórfico de 6 grados de libertad y está dotado de un sistema automático de cambio de elemento terminal. Se sitúa junto a una de las cintas transportadoras y permite realizar ciertas acciones sobre las piezas situadas en esta cinta.

Actualmente se pueden utilizar ambos equipos de forma individual, pero no de forma conjunta. En el transcurso de este TFM se pretende implementar diversas secuencias automáticas de funcionamiento del sistema de fabricación integrado. El principal objetivo del proyecto es conseguir el funcionamiento automatizado del conjunto formado por el sistema de transferencia de palets y el robot.

1.2. Alcance

El proyecto se realiza en el laboratorio de Fabricación Integrada del departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño de la Universitat Jaume I. En este laboratorio se dispone de un sistema de transferencia de palets modular Bosch Transfer System TS 2 plus y de un brazo robot Stäubli RX90. Aunque en el pasado se llevó a cabo un proyecto de integración de ambos equipos, actualmente no es posible hacer uso de ellos como un sistema integrado debido a que el sistema inicial de control quedó obsoleto y se realizaron cambios en las conexiones del sistema integrado.

La integración de los dos equipos mediante la definición de un nuevo patrón de funcionamiento permitirá explotar al máximo las capacidades de ambos equipos, ya que no fueron adquiridos para su uso independiente sino para conformar una unidad de fabricación integrada, capaz de realizar demostraciones de su funcionamiento para uso docente.

En primer lugar, se realizará un estudio de los equipos disponibles en el laboratorio (sensores y actuadores del sistema de transferencia de palets y elementos del brazo robot), con el fin de familiarizarse con sus elementos, funcionamiento y posibilidades de integración. Para ello, se inspeccionará el sistema real y se consultará la documentación disponible en el laboratorio.

Teniendo en cuenta lo anterior se analizarán las posibles opciones de integración entre el sistema de transferencia y el robot. Entre ellas se seleccionará la que se considere más adecuada teniendo en cuenta criterios de viabilidad técnica y objetivos de la automatiza-

ción. Para ello, se establecerán los elementos hardware y software necesarios (autómata/s programable utilizado, cableado necesario, software de control del sistema, etc.).

A continuación se implementará la solución propuesta. Para ello, será necesario definir un nuevo patrón de funcionamiento para el sistema integrado, que se modelará mediante diagramas de Grafcet. Finalmente, se implementará el nuevo patrón de funcionamiento en el software de control del sistema y se comprobará que funciona correctamente.

1.3. Antecedentes

Tanto el sistema de transferencia de palets Transfer System TS 2 plus como el robot antropomórfico Stäubli RX90 fueron adquiridos por la Universitat Jaume I alrededor del año 2000. Ambos equipos han sido utilizados en varios proyectos desde su adquisición. En la actualidad, el robot Stäubli se utiliza para hacer demostraciones en el ámbito docente, pero no así el transportador de palets.

La instalación inicial del sistema de transferencia de palets fue encargada a Freixas i Ros S.L., una ingeniería externa, que realizó el montaje de los distintos elementos existentes (electroválvulas, motores, posicionamiento de las cintas transportadoras, etc.) [1]. En 2006, se llevó a cabo un proyecto dirigido por el profesor José Vicente Abellán en el que se integró el funcionamiento del transportador de palets y del brazo robot [2]. Sin embargo, con el paso del tiempo el sistema quedó obsoleto y dejó de utilizarse. Posteriormente, en el año 2011 el profesor Julio Serrano dirigió otro proyecto aplicado únicamente al robot, pero que no lo integraba en el sistema de transporte de palets [3]. En 2020, se llevó a cabo un proyecto dirigido por el profesor Julio Ariel Romero en el que se renovó el sistema de control del transportador de palets, con la implantación de un nuevo PLC programado mediante el software Codesys [4]. En este proyecto se mencionó la integración del transportador con el brazo robot como una posible vía de trabajo futuro. El presente proyecto desarrolla esta línea de trabajo, ya que su objetivo es conseguir el funcionamiento automatizado del conjunto formado por el sistema de transferencia de palets y el robot.

1.4. Descripción del equipo existente

1.4.1. Robot Stäubli RX90

El robot Stäubli RX90 está formado por un brazo robot conectado a un armario de mando. A su vez, una consola de programación conectada al armario de mando permite programar el funcionamiento del robot (Figura 1.1).

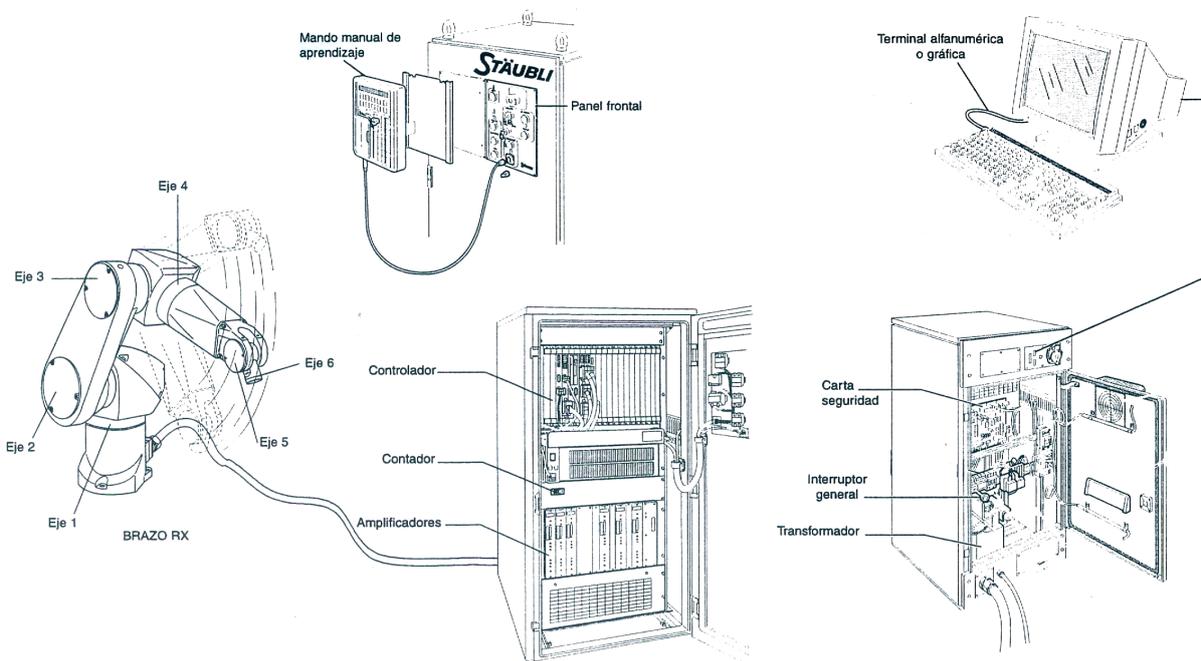


Figura 1.1: RX90 - Elementos: brazo robot, armario de mando (parte posterior y anterior) y terminal de programación

Brazo robot

El brazo robot Stäubli RX90 es un robot antropomórfico de tipo rotoide de 6 grados de libertad, accionado mediante servomotores sin escobillas. El control de posición se realiza mediante resolvers absolutos, de manera que se puede conocer la posición absoluta del brazo robot en cualquier momento. La posición del elemento terminal del robot puede expresarse según el referencial fijo WORLD (ejes de referencia de base) o según el referencial móvil TOOL (ejes de referencia de la herramienta), según se muestra en la Figura 1.2.

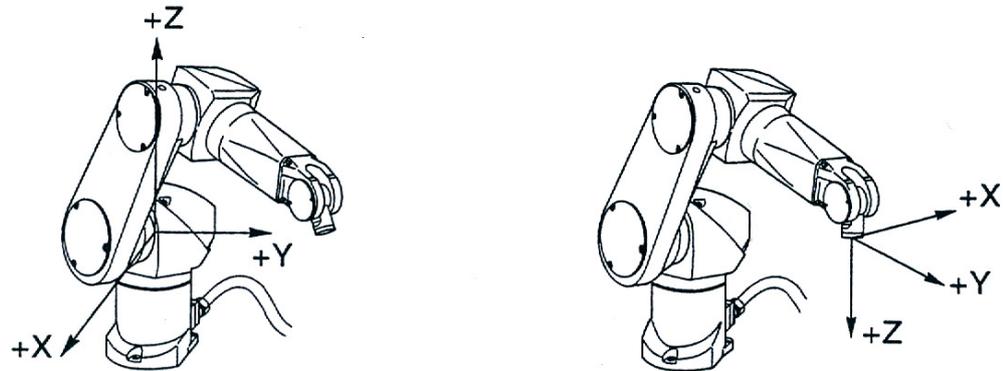


Figura 1.2: RX90 - Ejes de referencia WORLD (izquierda) y TOOL (derecha)

El brazo robot se compone de varios elementos: placa base (sujeta al suelo), hombro, brazo, codo, antebrazo y muñeca. Su peso total es de 112 kg y es capaz de transportar hasta 6 kg de carga. Su velocidad máxima es de 11 m/s. Como se muestra en la Figura 1.3, el radio de trabajo máximo es de 900 mm (entre los ejes 2 y 5).

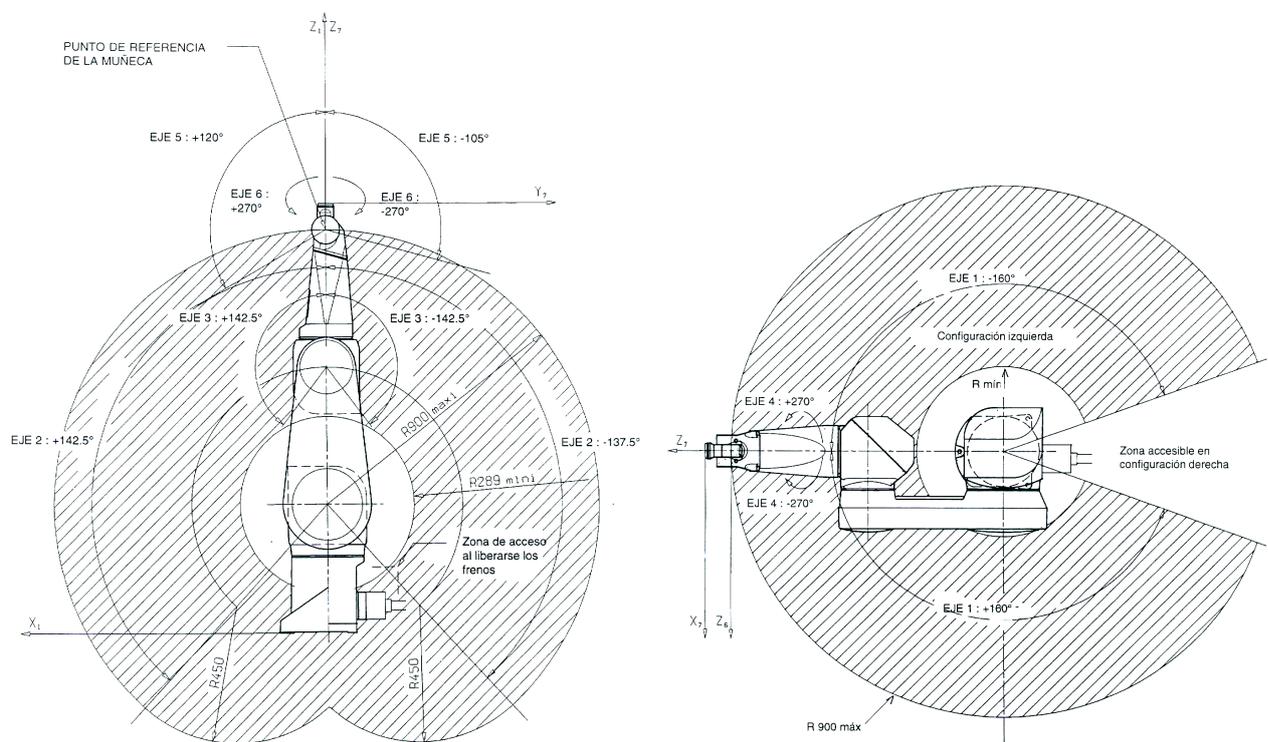


Figura 1.3: RX90 - Volumen de trabajo: plano vertical (izquierda) y plano horizontal (derecha)

El robot dispone de un sistema de cambio automático de elemento terminal y de varias herramientas que se pueden acoplar a la brida de fijación de la muñeca, en función de la aplicación específica requerida para el robot. La brida es de tipo normalizado: ISO 9409-1-A40. La fijación de la herramienta a la brida, así como la posición de la herramienta (pinza abierta o cerrada) se controlan mediante 2 electroválvulas monoestables integradas en la estructura del brazo robot. Estas electroválvulas permiten o impiden el paso de aire a presión hacia los mecanismos de sujeción de la herramienta. La conexión del brazo a la red de aire comprimido del laboratorio se efectúa en la placa de base del brazo. Para permitir el paso de aire a presión desde la red de aire comprimido del laboratorio es necesario abrir la llave manual de paso situada al lado del armario de mando. A continuación, el aire a presión pasa por el sistema de filtrado y regulación de aire, que regula su presión hasta los 6 bares. El sistema de filtrado y regulación de aire se muestra en la Figura 1.4 y es de la marca Krippe.



Figura 1.4: Sistema de filtrado y regulación de aire a presión del robot y su llave de paso

El cableado eléctrico necesario para controlar el brazo robot está conectado al armario de mando mediante una toma conectada a la placa base del brazo.

Armario de mando CS7

El armario de mando contiene el controlador del robot, que dirige el brazo robot mediante amplificadores de potencia para cada eje del brazo. Además, incorpora los convertidores necesarios para alimentar cada uno de sus elementos desde la toma trifásica de 400 V, así como los elementos de seguridad eléctrica oportunos. La regulación térmica de las tarjetas del controlador y de los convertidores de potencia se realiza mediante un intercambiador aire-aire y dos grupos de ventiladores.

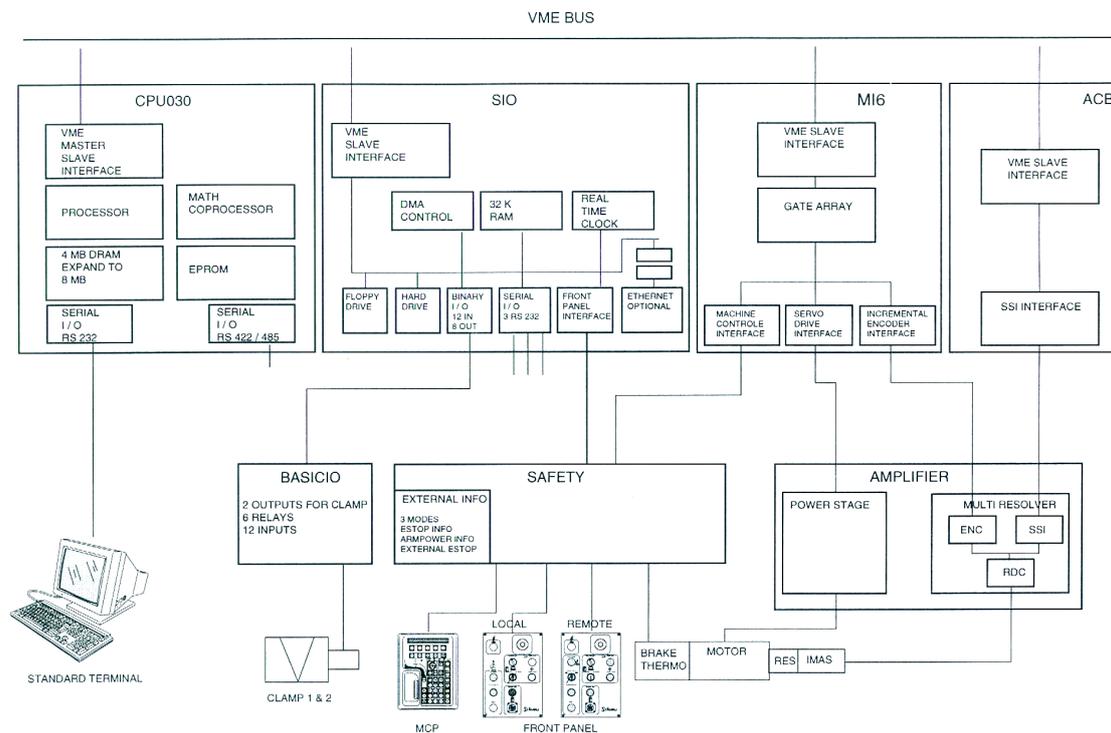


Figura 1.5: CS7 - Arquitectura general del armario de mando

La arquitectura general del armario de mando se muestra en la Figura 1.5 y se compone de los siguientes elementos:

- **Controlador Adept MV8.** Permite generar las órdenes de movimiento de los ejes del brazo robot a partir de los archivos programados en lenguaje V+. Para ello, se comunica con el resto de elementos del armario de mando y con la consola de programación. Su arquitectura es de tipo VME y está compuesto por varias tarjetas:
 - **Tarjeta CPU 030.** Es la tarjeta unidad central. Dispone de un microprocesador central Motorola 68030 (40 MHz), un coprocesador matemático Motorola 68882 (33 MHz), memoria RAM de 4MB y 1 puerto RS422/485 para uso general. Gestiona las comunicaciones con la consola de programación a través de 1 puerto RS232C.
 - **Tarjeta SIO.** Es la tarjeta de gestión de periféricos. Controla el lector de disquetes de 3" 1/2, el disco duro de 40 MB, las señales de entradas y salidas de la tarjeta BASICIO, las comunicaciones serie de 3 puertos RS232, y las comunicaciones con el mando manual de aprendizaje y con el cuadro de mando del panel frontal.

- **Tarjeta MI6.** Es la tarjeta que conecta la unidad central con los amplificadores de potencia de los motores del brazo robot. Permite dirigir hasta 6 ejes.
- **Tarjeta ACB.** Es la tarjeta que gestiona el calibrado del robot al encenderlo. Recupera la posición absoluta del robot a partir de la lectura de 18 resolvers (3 por motor por 6 ejes).
- **Tarjeta SAFETY.** Garantiza que el funcionamiento de la instalación se realiza en condiciones seguras.
- **Tarjeta AMPLIFIER.** Proporciona potencia a los motores del brazo robot según las órdenes recibidas de la tarjeta MI6 y devuelve al controlador informaciones sobre la posición absoluta del robot.
- **Tarjeta BASICIO.** Es la tarjeta de entradas y salidas accesible al usuario. Dispone de 12 entradas digitales optoacopladas y 6 salidas de relés disponibles para el usuario. Además, dispone de dos salidas de transistores que controlan las 2 electroválvulas del brazo robot que controlan la sujeción y posición de la herramienta. Su esquema se puede ver en la Figura 1.6.

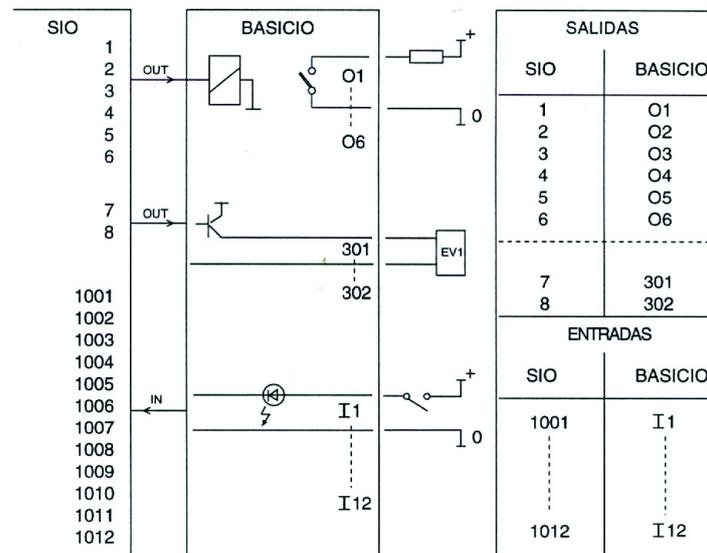


Figura 1.6: CS7 - Conexiones entre las tarjetas SIO y BASICIO

Las características de las entradas y salidas se muestran en la Tabla 1.1. Hay que destacar que las entradas y salidas accesibles al usuario no vienen alimentadas por defecto, por lo que, si se desean utilizar, el usuario debe realizar las conexiones necesarias para alimentarlas.

Tensión de entrada (0)	0 VDC ... 3 VDC
Tensión de entrada (1)	10 VDC ... 24 VDC
Máx. corriente de entrada	20 mA
Máx. potencia de los relés	60 W
Máx. corriente de salida	1 A

Tabla 1.1: Características de las entradas y salidas de la tarjeta BASICIO

Para poner en funcionamiento el robot se debe girar el interruptor general situado en la parte trasera del armario de mando hasta la posición ON. El panel frontal del armario de mando (Figura 1.7) contiene distintos indicadores y pulsadores a través de los cuales se puede conocer y controlar el estado del sistema.

- **Power (1)**. Indica el encendido del armario de mando (cuando el interruptor general está en posición ON).
- **Arm Power (2)**. Indica que el brazo robot está alimentado.
- **Arm Power On (2)**. Indica que se puede autorizar la alimentación del brazo robot. Al ser pulsado activa la alimentación del brazo robot.
- **Fault (2)**. Indica la activación de la parada de emergencia.
- **Prog Run (3)**. Indica que el controlador está ejecutando un programa.
- **Prog Start (3)**. Indica que se puede solicitar la ejecución de un programa. Al ser pulsado valida el arranque del programa.
- **Parada de emergencia (4)**. Corta la potencia del brazo robot y activa los frenos.

El armario de mando dispone, además, de un completo mando para manejo manual y programación mediante aprendizaje situado en la parte delantera izquierda del armario (Figura 1.7). Este mando permite controlar el movimiento del brazo robot de forma manual, pulsando los distintos botones disponibles. Las principales funciones del mando manual son las siguientes:

- **Tecla Man (5)**. Permite pasar al modo de control del movimiento del brazo mediante el mando manual de aprendizaje.
- **Tecla Comp (5)**. Permite pasar al modo de control del movimiento del brazo a través de la consola de programación. Esta es la opción por defecto al encender el sistema.
- **Teclas de comandos manuales (6)**. Selecciona la dirección de movimiento del brazo robot: traslación (X, Y, Z) o rotación (RX, RY, RZ) según el eje X, Y o Z.

- **Barras de velocidad de desplazamiento (7).** Ajusta la velocidad y el sentido del movimiento del brazo robot en el eje determinado por las teclas de comandos manuales (6).
- **Pantalla de cristal líquido (LCD) (8).** Muestra distintas informaciones, como la posición actual del brazo robot.
- **Parada de emergencia (9).** Corta la potencia del brazo robot y activa los frenos.



Figura 1.7: CS7 - Panel frontal (derecha) y mando manual de aprendizaje (izquierda)

Consola de programación

La consola de programación está conectada al armario de mando mediante un puerto serie y permite la programación del funcionamiento del brazo robot. Dispone de un terminal alfanumérico WISE y de un teclado (Figura 1.8).



Figura 1.8: CS7 - Consola de programación WYSE

1.4.2. Sistema de transferencia de palets modular Transfer System TS 2 plus

Se trata de un sistema de transferencia de palets de la marca Bosch Automation. Está formado por los siguientes elementos:

■ Palets portapiezas

Los palets portapiezas (Figura 1.9) tienen unas dimensiones de 400x400 mm y pesan 6,6 kg. Cada uno de ellos puede transportar cargas de hasta 25 kg. Están formados por una placa de acero de 4,8 mm de espesor montada sobre 4 módulos de bastidor, uno por lado. Cada módulo incorpora 2 plaquitas de activación que permiten la detección del palet a medida que se desplaza por el sistema, gracias a diversos detectores inductivos situados en distintos puntos del sistema. En total se dispone de 8 palets portapiezas.

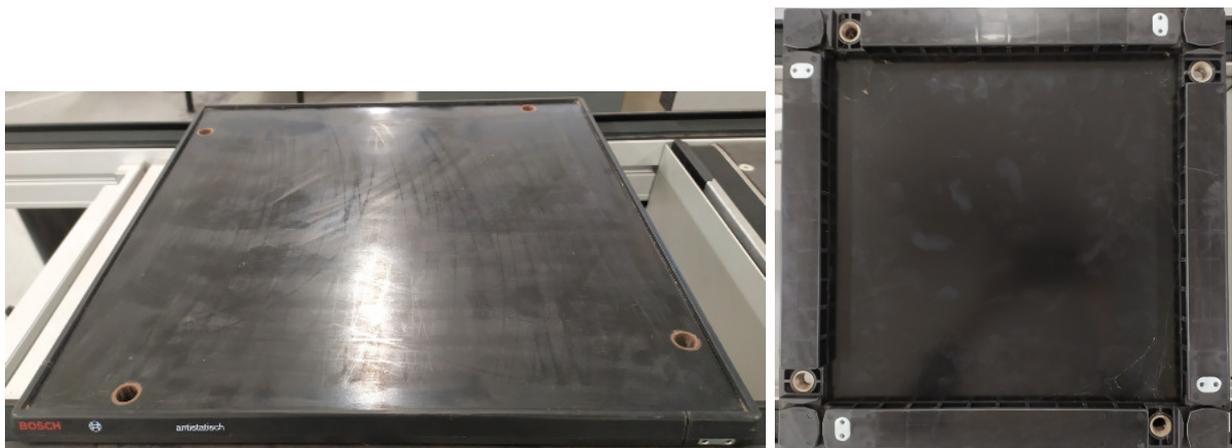


Figura 1.9: TS 2 plus - Palet portapiezas: cara superior (izquierda) e inferior (derecha)

■ Tramos de transporte

Permiten el desplazamiento de los palets portapiezas. La estructura de los tramos de transporte está compuesta por perfiles extruidos de aluminio, que disponen de ranuras longitudinales para facilitar el montaje. Al tratarse de un sistema modular, existen diversas configuraciones de montaje en función del uso deseado del sistema. En este caso, la configuración de montaje del sistema consiste en una zona central para la circulación en bucle de los palets que está conectada a dos circuitos de desviación, uno a cada lado de la zona central. En uno de los circuitos de desviación se encuentra el robot Stäubli RX90, por lo que este puede realizar acciones sobre los palets que circulan por este circuito.



Figura 1.10: Vista global del sistema

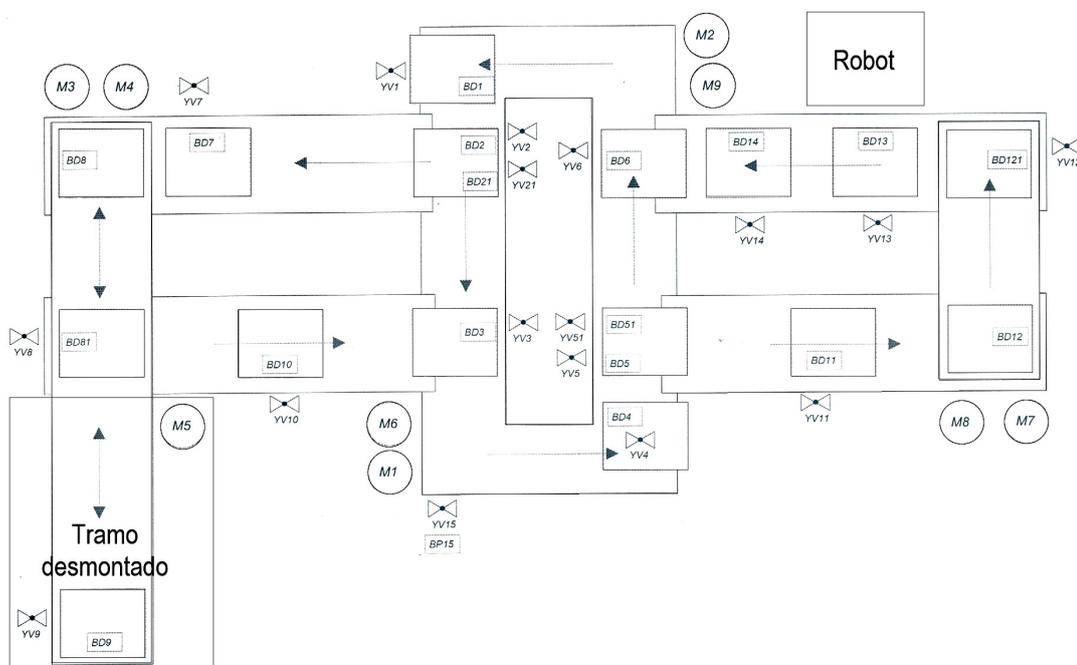


Figura 1.11: Esquema global del sistema

Las figuras 1.10 y 1.11 muestran la configuración global del sistema de transferencia de palets, así como la localización del brazo robot. Actualmente, uno de los tramos rectos del circuito de desviación izquierdo que alimenta a una máquina de medida por coordenadas (MMC) se encuentra desmontado para evitar que transmita vibraciones a la MMC. Los distintos tramos de transporte que componen el sistema son:

- **Tramos rectos**

Permiten el transporte de los palets en línea recta (Figura 1.12). Su medio de transporte está formado por 2 cintas, una a cada lado del bastidor, accionadas mediante un motor-reductor y sobre las que se apoya el palet portapiezas.



Figura 1.12: TS 2 plus - Tramo recto

- **Estaciones de desviación**

Permiten que el palet realice un cambio de dirección de 90° respecto al tramo de transporte recto (Figura 1.13). Para ello, disponen de un elevador accionado mediante una electroválvula que permite elevar la estación cuando el palet se encuentra en ella.

El medio de transporte, en este caso, es un par de cintas transportadoras colocadas perpendicularmente al tramo recto y accionadas mediante un motor-reductor independiente. Gracias a la disposición perpendicular de estas cintas, el palet puede viajar en la dirección perpendicular a la del tramo recto en el que se coloca la estación de desviación. El medio de transporte entre 2 estaciones de desviación adyacentes son 2 vías de rodillos sobre las que se apoya el palet portapiezas.

Las estaciones de desviación se sitúan en los extremos de los circuitos de desviación y en los enlaces entre los circuitos de desviación y la zona central de circulación en bucle.



Figura 1.13: TS 2 plus - Dos estaciones de desviación adyacentes conectadas mediante 2 vías de rodillos

- **Tramos curvos.** La zona central del sistema está formada por dos tramos curvos de 180° que permiten la circulación en bucle de los palets (Figura 1.14). En este caso, el medio de transporte consiste en una correa circular (color verde) sobre la que se apoyan los palets. La correa está accionada por un motor-reductor.

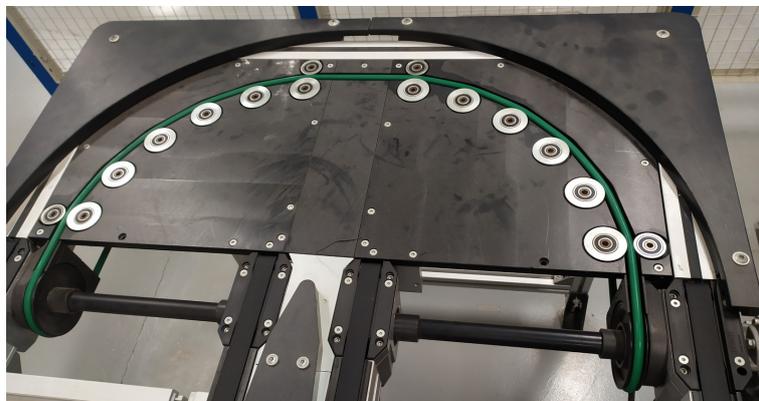


Figura 1.14: TS 2 plus - Tramo curvo

- **Separadores de tramos.** Permiten controlar el paso o no de los palets gracias a la posición de una pestaña accionada por una electroválvula (Figura 1.15). Están repartidos a lo largo de todo el sistema. Asociado a cada separador hay instalado un detector inductivo de proximidad que permite advertir de la presencia de un palet en el separador de tramos.



Figura 1.15: TS 2 plus - Separador de tramos (izquierda) con su detector de proximidad (derecha)

Además de los elementos estructurales y de transporte ya mencionados, el sistema dispone de varios elementos auxiliares que permiten su correcto funcionamiento y su control por parte del autómatá programable instalado. Los distintos elementos auxiliares son:

- **Interruptores de control.** Se encuentran en la parte superior del armario eléctrico donde se encuentra el autómatá que controla el sistema (Figura 1.16). De izquierda a derecha son:



Figura 1.16: Interruptores del sistema

- **Interruptor general (QS1).** Permite suministrar o cortar la alimentación al sistema de transferencia de palets, así como al PLC y a todos los elementos del armario eléctrico. Forma parte del sistema de alimentación del armario eléctrico.
- **Parada de emergencia (SPE1, SPE2, SPE3).** Es un pulsador normalmente cerrado sin retorno automático. Además del interruptor situado en el armario eléctrico hay dos interruptores más situados en los tramos de transporte.
- **Marcha (SP1).** Es un pulsador normalmente abierto con retorno automático. Además, incorpora una luz (H1) que se puede activar mediante una salida digital del PLC.
- **Paro (SP2).** Es un pulsador normalmente cerrado con retorno automático. Además, incorpora una luz (H2) que se puede activar mediante una salida digital del PLC.

- **Manual/Auto (SS1)**. Es un interruptor giratorio que permite seleccionar entre varios modos de funcionamiento en el programa de control existente.
 - **Secuencia 1, 2, 3 y 4 (SP3, SP4, SP5, SP6)**. Permiten seleccionar distintas secuencias de funcionamiento en el programa de control existente. Son pulsadores normalmente abiertos con retorno automático. El pulsador de secuencia 2 está fuera de servicio.
- **Detectores inductivos de proximidad (BD)**

El sistema tiene instalados 18 detectores inductivos de proximidad Sick IM12-04NPS-ZC1, que permiten detectar el paso de los palets a lo largo de los tramos de transporte gracias a las plaquitas de activación instaladas en los palets. Sus características se muestran en la Tabla 1.2.

Tensión de alimentación	10 V DC ... 30 V DC
Consumo de corriente	20 mA

Tabla 1.2: Características de los detectores inductivos de proximidad (BD)

Los detectores situados a lo largo de los tramos de transporte (Figura 1.17) se activan cuando se les aproxima un palet, por lo que, por defecto, su entrada digital asociada en el PLC está a 0. Por otro lado, los detectores situados en las estaciones de desviación (BD2-1, BD3, BD5-1, BD6 y BD12-1) tienen un montaje distinto que hace que por defecto estén activos, y es cuando se aproxima un palet cuando el estado de su entrada digital pasa a 0.



Figura 1.17: Detector inductivo de proximidad del sistema

- **Electroválvulas (YV).** El sistema tiene instaladas 17 electroválvulas neumáticas Bosch 0 820 019 631 con solenoides Bosch 1 824 210 243, que permiten accionar el sistema de regulación de aire a presión, los separadores de tramo y las estaciones de desviación del sistema (Figura 1.18). Sus características se muestran en la Tabla 1.3.

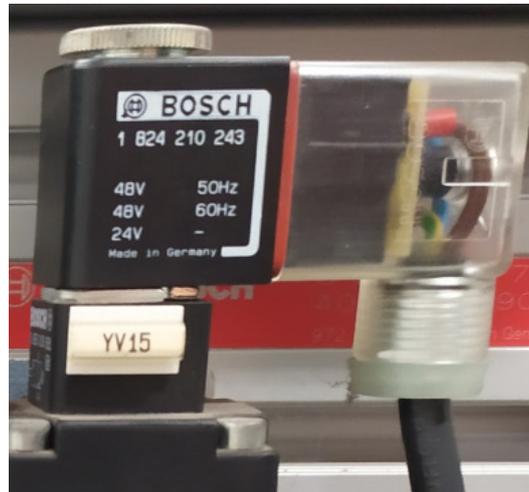


Figura 1.18: Electroválvula del sistema

Tensión nominal	24 V
Presión nominal	4-6 bar
Potencia nominal	4,8 W
Tipo de válvula	3/2

Tabla 1.3: Características de las electroválvulas (YV)

La posición abierta o cerrada de cada una de ellas se controla mediante el estado de una salida digital del PLC. En general, las válvulas están cerradas y se abren al activar la salida correspondiente del PLC.

Las electroválvulas del sistema son las siguientes:

- **Electroválvulas de los separadores de tramos:** YV1, YV2-1, YV4, YV5-1, YV7, YV9, YV10, YV11, YV13, YV14.

Permiten el paso de los palets si el estado de su salida digital es 1 y, en caso contrario, bloquean su paso. Es decir, los separadores de tramos, por defecto, bloquean el paso de los palets.

- **Electroválvulas de las estaciones de desviación:** YV2, YV3, YV5, YV6, YV8, YV12.

Permiten elevar la plataforma de desviación cuando su salida digital es 1. En caso contrario, la plataforma permanece en su posición baja. Por lo tanto, por defecto, las estaciones de desviación se encuentran en su posición más baja.

- **Electroválvula del sistema de regulación de aire a presión: YV15.**

Permite el paso de aire si su salida digital es 1.

■ Sistema de regulación de aire a presión

El conjunto de electroválvulas está conectado a la red de aire comprimido del laboratorio a través del sistema de regulación de aire a presión Bosch 0 821 300 288 (Figura 1.19). Este sistema mantiene la presión del circuito entre 4 y 6 bar. Además, filtra y lubrica el aire. Antes del sistema de regulación, una llave de paso permite abrir o cerrar el paso de aire de forma manual. Además, el sistema dispone de una electroválvula (YV15) que permite o impide el paso de aire hacia las electroválvulas en función del estado de la salida correspondiente del PLC. Por otro lado, también dispone de un presostato Bosch 0 821 100 022 (BP15) que permite detectar desde el PLC si el paso de aire está abierto o cerrado. El presostato tiene las características indicadas en la Tabla 1.4.

Rango de presión	0,5 - 8 bar
Tensión máxima	250 V

Tabla 1.4: Características del presostato (BP)



Figura 1.19: Sistema de regulación de aire a presión del sistema de transferencia de palets

■ Motores reductores trifásicos (M)

El sistema tiene instalados 9 motores reductores trifásicos que permiten el movimiento de los medios de transporte del sistema (cintas transportadoras y correas circulares) gracias a las que se desplazan los palets (Figura 1.20). Sus características se muestran en la Tabla 1.5.

Motor	Potencia (kW)	Corriente nominal (A)
M1	0,09	0,38
M2	0,12	0,44
M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9	0,18	0,7

Tabla 1.5: Características de los motores reductores (M)



Figura 1.20: Motor reductor del sistema

Los motores reductores se controlan a través de relés de potencia (KA) que están conectados a una salida del PLC. Los motores se ponen en funcionamiento cuando la salida correspondiente del PLC está activa. El funcionamiento de cada motor no es independiente del resto, sino que están agrupados como se muestra en la Figura 1.21 y se describe a continuación:

- Relé KA3: controla los motores 1 y 2 (zona central).
- Relé KA4: controla los motores 7, 8 y 9 (circuito de desviación derecho).

- Relé KA5: controla los motores 3 y 6 (tramos longitudinales del circuito de desviación izquierdo).
- Relés KA6 y KA7: controlan los motores 4 y 5 (marcha adelante y atrás respectivamente) (tramos transversales del circuito de desviación izquierdo).

Además, el sistema de alimentación de los motores cuenta con los siguientes elementos de protección (Figura 1.21):

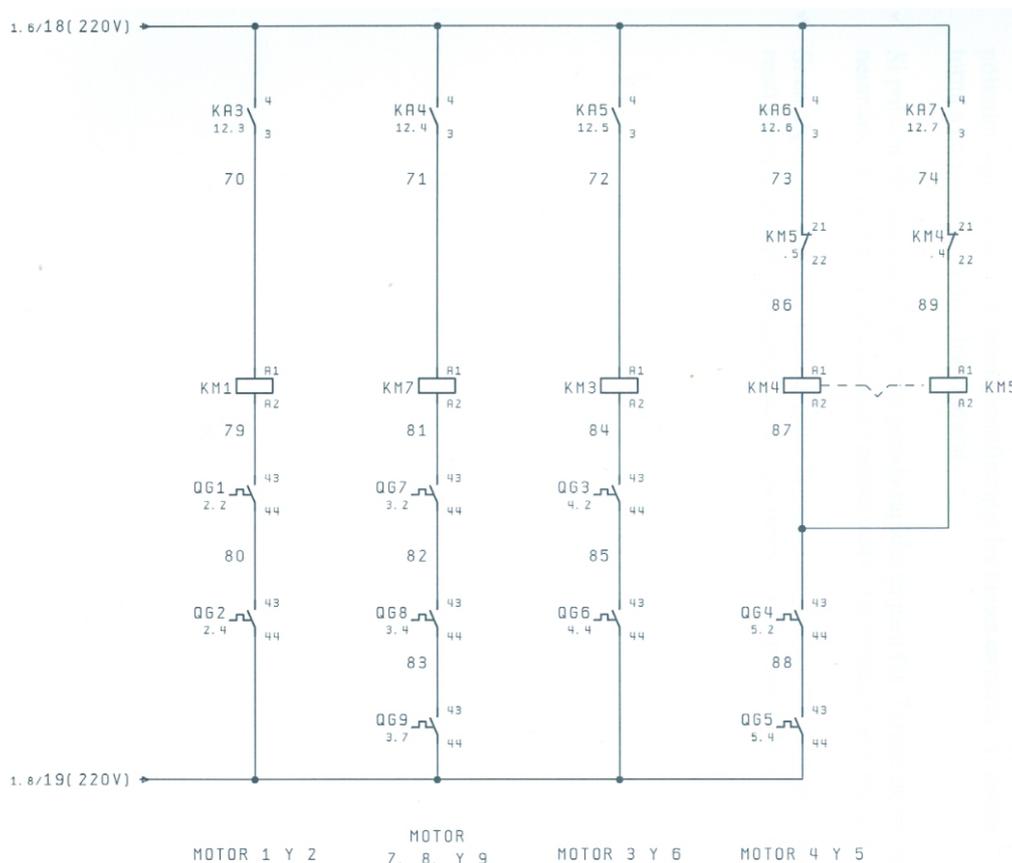


Figura 1.21: Esquema de alimentación de los motores del sistema

- **Contactores (KM)**. Permiten interrumpir la corriente eléctrica de las cargas por medios electromecánicos. Estos elementos están instalados dentro del armario eléctrico, junto al PLC.
- **Arrancadores manuales (QG)**. Permiten conectar o desconectar las cargas de forma manual gracias a un interruptor, y se disparan en caso de sobrecarga. Estos arrancadores están conectados a las entradas digitales del PLC, de manera que desde el programa de control se puede saber si los motores han sufrido una sobrecarga. Estos elementos están instalados dentro del armario eléctrico, junto al PLC.

■ Sistema de alimentación

El armario eléctrico dispone de los elementos necesarios para suministrar potencia al PLC que controla el sistema, así como al resto de elementos mencionados hasta ahora. Para ello, dispone de los siguientes elementos, que forman parte de su sistema de alimentación (Figura 1.22):

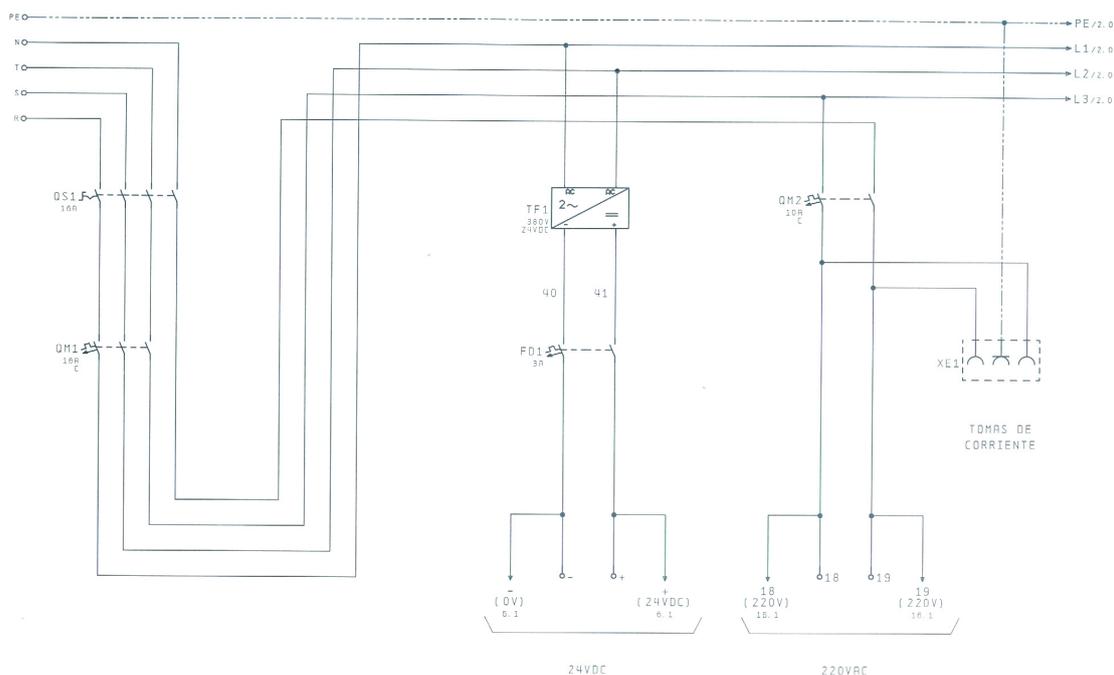


Figura 1.22: Sistema de alimentación del sistema de transferencia de palets

- **Interruptor general (QS1).** Permite suministrar o cortar la alimentación al sistema de transferencia de palets, así como al PLC y a todos los elementos del armario eléctrico.
- **Disyuntores magnetotérmicos (QM1, FD1 y QM2).** Son elementos de protección contra cortocircuitos que permiten interrumpir el paso de corriente y proteger los elementos del circuito de sobretensiones. El disyuntor FD1 protege el circuito de 24 V y QM2 protege el circuito de 220 VAC. Finalmente, el disyuntor QM1 se sitúa a nivel de la línea trifásica, justo después del interruptor general.
- **Fuente de alimentación de 24 V (TF1).** Permite obtener una tensión continua de 24V a partir de su conexión de entrada a 380 V de corriente alterna. Este elemento suministra una tensión continua de 24 V a todos los elementos del sistema que así lo requieren.
- **Toma de corriente (XE1).** Se trata de una toma de corriente de 220 VAC con conexión a tierra.

La disposición de los elementos instalados en el armario eléctrico es la mostrada en la Figura 1.23 y que se detalla a continuación.

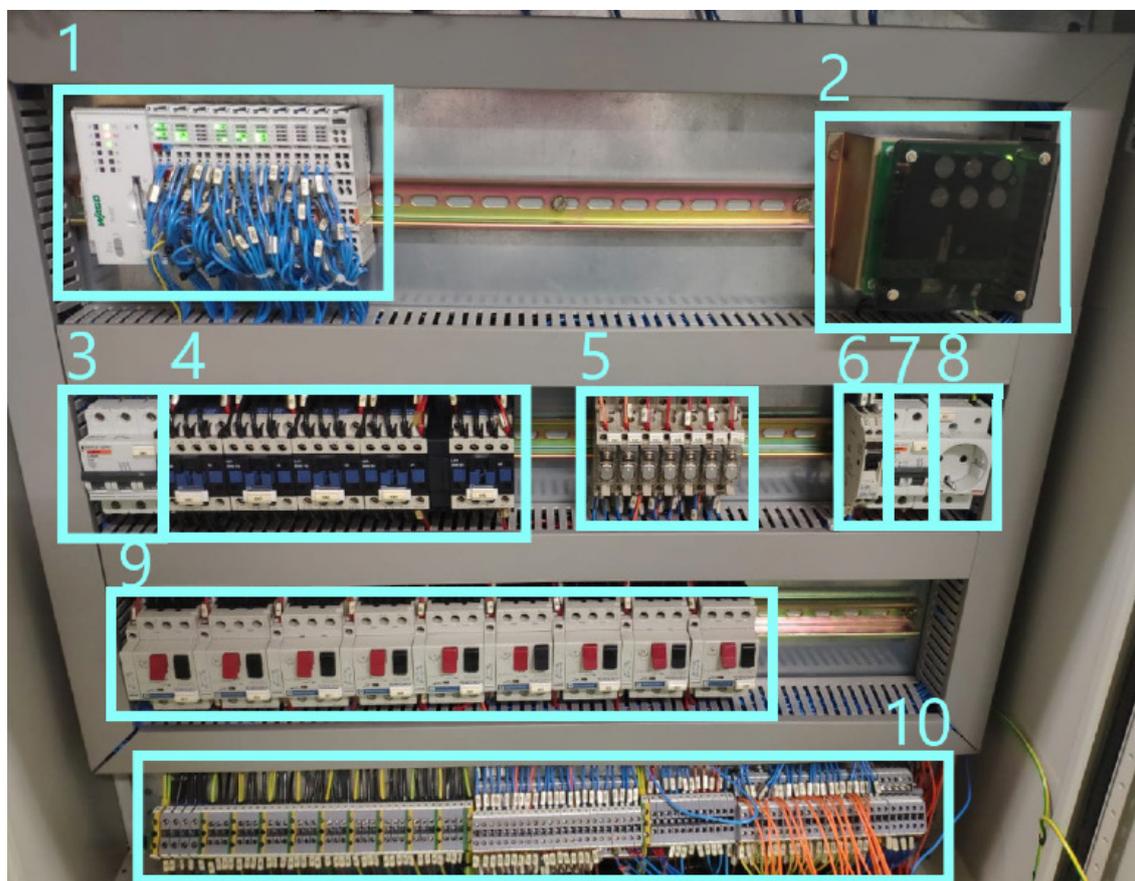


Figura 1.23: Elementos del armario eléctrico del sistema de transferencia de palets

1. Autómata programable WAGO PFC200 750-8202
2. Fuente de alimentación de 24 V (TF1)
3. Disyuntor magnetotérmico (QM1)
4. Contactores (KM)
5. Relés electromagnéticos de potencia (KA)
6. Disyuntor magnetotérmico (FD1)
7. Disyuntor magnetotérmico (QM2)
8. Toma de corriente (XE1)
9. Arrancadores manuales (QG)
10. Conexiones con los elementos del sistema de transferencia de palets

1.4.3. Sistema de control original del sistema de transferencia de palets

Autómata programable WAGO PFC200 750-8202

El sistema de control existente del sistema de transferencia de palets se basa en el autómata programable WAGO PFC200 750-8202, que tiene las especificaciones indicadas en la Tabla 1.6.

Tensión de alimentación	24 V DC (-25 % ... +30 %)
Máxima corriente de entrada	550 mA
Memoria de programa (Flash)	16 MB
Memoria de datos (RAM)	64 MB
Memoria no volátil (NVRAM)	128 KB
Sección de cable	0,08 mm ² ... 2,5 mm ²

Tabla 1.6: Características del autómata Wago PFC200 750-8202

Su sistema operativo es Linux con RT-Preemption patch y permite la programación según el estándar IEC 61131 mediante el software Codesys. Se alimenta a 24 V, a través de sus conectores de potencia, que están conectados a la fuente de alimentación de 24 V del armario eléctrico en el que se encuentra el autómata. El autómata (Figura 1.24) también dispone de un puerto serie RS-232/RS-485, 2 puertos Ethernet y una ranura para tarjeta SD. Dispone de varios leds con los que refleja el estado del sistema. Por otro lado, sus conectores laterales transmiten los datos y la potencia necesarios a los módulos de entradas y salidas conectados a la derecha del autómata.

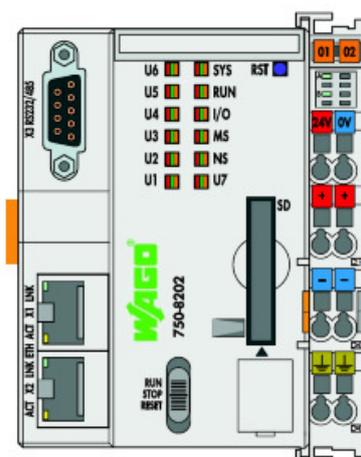


Figura 1.24: Apariencia del autómata Wago PFC200 750-8202

Módulo de 8 entradas digitales WAGO 750-430

El sistema de control dispone de 4 módulos WAGO 750-430 de 8 entradas digitales optoacopladas con las especificaciones indicadas en la Tabla 1.7.

Tensión de entrada (0)	-3 VDC ... +5 VDC
Tensión de entrada (1)	15 VDC ... 30 VDC
Filtro de entrada	3,0 ms
Corriente de entrada (típica)	2,8 mA
Sección de cable	0,08 mm ² ... 2,5 mm ²

Tabla 1.7: Características del módulo de entradas digitales Wago 750-430

La corriente de entrada está limitada por un sistema interno de limitación de corriente. Un led indica, para cada entrada, si esta está activa o no. Finalmente, la conexión de las entradas a la referencia de 0V se realiza de forma interna, por lo que solo es necesario conectar un cable por cada entrada digital. Los módulos (Figura 1.25) se alimentan a 24V a través de los conectores laterales que conectan cada módulo con el módulo adyacente, hasta alcanzar el módulo principal de alimentación del PLC.

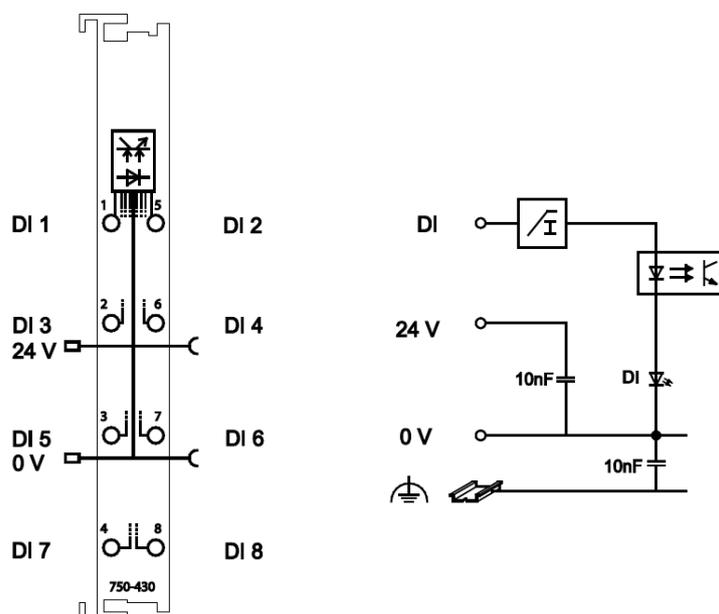


Figura 1.25: Esquema del módulo de entradas digitales Wago 750-430

Módulo de 8 salidas digitales WAGO 750-530

El sistema de control dispone de 4 módulos 750-530 de 8 salidas digitales optoacopladas con las especificaciones indicadas en la Tabla 1.8.

Tensión de salida	24 V DC
Máx. corriente de salida	0,5 A
Sección de cable	0,08 mm ² ... 2,5 mm ²

Tabla 1.8: Características del módulo de salidas digitales Wago 750-530

Las salidas están protegidas contra cortocircuitos. Un led indica, para cada salida, si esta está activa o no. Finalmente, la conexión de las salidas a la alimentación de 24 V se realiza de forma interna, por lo que solo es necesario conectar un cable por cada salida digital. Los módulos (Figura 1.26) se alimentan a 24 V a través de los conectores laterales que conectan cada módulo con el módulo adyacente, hasta alcanzar el módulo principal de alimentación del PLC.

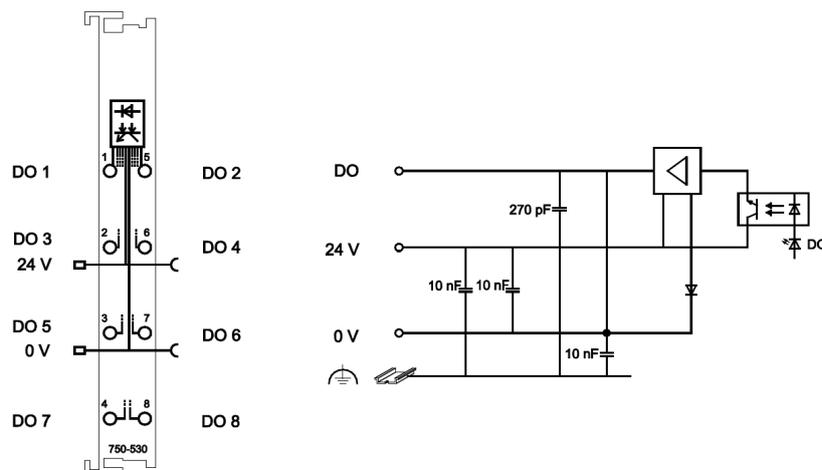


Figura 1.26: Esquema del módulo de salidas digitales Wago 750-530

Módulo final WAGO 750-600

El sistema de control dispone de un módulo final Wago 750-600 que asegura la correcta transmisión de información desde los módulos de entradas y salidas (Figura 1.27). No es necesario realizar ninguna conexión con este módulo, ya que las conexiones de datos y alimentación necesarias se realizan automáticamente a través del conector lateral que conecta cada módulo con el módulo adyacente, hasta alcanzar el módulo principal del PLC.



Figura 1.27: Apariencia del módulo final Wago 750-600 (conectores laterales en verde)

Conexiones del PLC

La configuración de los 8 módulos de entradas (I0, I1, I2 e I3) y salidas (Q0, Q1, Q2 y Q3) se muestra en la Figura 1.28. Las conexiones existentes entre los módulos de entradas y salidas y los elementos del sistema de transferencia de palets se muestran en las tablas 1.9 y 1.10. Como se puede observar, hay libres 3 entradas y 8 salidas digitales en el PLC, por lo que podrán usarse para conectar elementos adicionales al sistema de control existente.

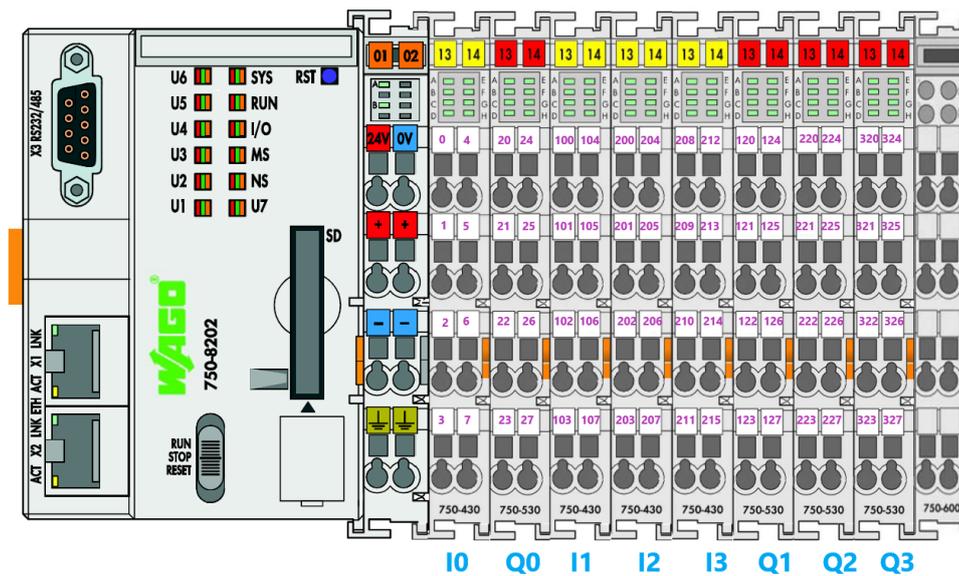


Figura 1.28: Configuración de los módulos de entradas y salidas del PLC

Módulo	Cable	Elemento	Función
I0	0	BD1	Detectores inductivos de proximidad
	1	BD2	
	2	BD2-1	
	3	BD3	
	4	BD4	
	5	BD5	
	6	BD5-1	
	7	BD6	
I1	100	BD7	
	101	BD8	
	102	BD8-1	
	103	BD9	
	104	BD10	
	105	BD11	
	106	BD12	
	107	BD12-1	
I2	200	BD13	Presostato
	201	BD14	
	202	BP15	
	203		
	204		
	205	QG1, QG2	Arrancadores manuales
	206	QG7, QG8, QG9	
207	QG3, QG6, QG4, QG5		
I3	208	SPE1, SPE2, SPE3	Parada de emergencia
	209	SP1	Marcha
	210	SP2	Paro
	211	SS1	Manual/Auto
	212	SP3	Secuencia 1
	213		
	214	SP5	Secuencia 3
215	SP6	Secuencia 4	

Tabla 1.9: Entradas digitales del PLC

Módulo	Cable	Elemento	Función
Q0	20		
	21		
	22	KA3	Relés marcha motores
	23	KA4	
	24	KA5	
	25	KA6	
	26	KA7	
	27		
Q1	120	YV1	Electroválvulas
	121	YV2	
	122	YV2-1	
	123	YV3	
	124	YV4	
	125	YV5	
	126	YV5-1	
	127	YV6	
Q2	220	YV7	
	221	YV8	
	222	YV9	
	223	YV10	
	224	YV11	
	225	YV12	
	226	YV13	
	227	YV14	
Q3	320	YV15	
	321	H1	Piloto marcha
	322	H2	Piloto paro
	323		
	324		
	325		
	326		
	327		

Tabla 1.10: Salidas digitales del PLC

Ordenador de control

El ordenador de control está conectado al PLC a través de una conexión Ethernet. Se trata de un ordenador con sistema operativo Windows 7 Professional 32 bits, procesador Intel Core 3 y 4 GB de memoria RAM. Tiene instaladas las siguientes aplicaciones que permiten configurar y programar el PLC:

- **WAGO Ethernet Settings.** Permite identificar el PLC conectado al puerto Ethernet del ordenador y modificar su dirección IP.
- **WAGO-IO-PRO Demo Version.** Permite instalar los drivers de control adecuados para el PLC 750-8202. Gracias a esto, desde el software de programación Codesys se puede interactuar con las entradas y salidas digitales del autómata.
- **Codesys v2.3.** Permite desarrollar la aplicación que controlará el autómata según el estándar IEC 61131, el más extendido a nivel industrial. Se ha instalado esta versión debido a que es la versión compatible con los drivers disponibles en la versión gratuita de WAGO-IO-PRO. En el ordenador de control, existe una aplicación programada en Codesys que permite el funcionamiento del transportador de palets [4]. Durante este TFM, se desarrollará una nueva aplicación que permitirá el funcionamiento integrado del transportador de palets y del brazo robot.

1.5. Análisis de soluciones

El objetivo que se persigue con este proyecto es conseguir el funcionamiento automatizado del conjunto formado por el sistema de transferencia de palets y el brazo robot. Para ello se plantean diversas alternativas. La solución final se elegirá teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- La solución deberá permitir el funcionamiento automatizado del conjunto formado por el sistema de transferencia de palets y el brazo robot simulando una aplicación en el marco de una línea de fabricación automatizada. La solución permitirá pausar y reanudar el funcionamiento del sistema a través de los pulsadores disponibles. Además, también se deberá poder realizar la parada inmediata del sistema mediante los pulsadores de parada de emergencia, que deberán paralizar tanto el sistema de transferencia de palets como el movimiento del brazo robot. Finalmente, la solución deberá permitir seleccionar al usuario entre varias secuencias de funcionamiento disponibles.
- La solución elegida deberá ser técnicamente viable utilizando los equipos disponibles en el laboratorio. En caso de tener que adquirir equipamiento adicional, el coste deberá ser razonable.
- Se favorecerá que la solución permita reutilizar al máximo los equipos actuales, especialmente el PLC que se adquirió el año pasado al renovar el sistema de control del sistema de transferencia de palets.

Para cumplir con estos requisitos funcionales y técnicos, se han planteado las siguientes alternativas:

1. Control centralizado mediante IEC 61131

En esta alternativa, el PLC existente, además del sistema de transferencia de palets, también controla el funcionamiento del brazo robot. Para ello, el PLC y el robot deben poder comunicarse. Para ello, se deben tener en cuenta las capacidades de comunicación de cada uno de los equipos. El programa que se ejecuta en el robot realiza, en función de las órdenes recibidas del PLC, diversas acciones previamente programadas. El PLC, por tanto, controla el funcionamiento del sistema en conjunto. El PLC se sigue programando desde el ordenador de control existente, mediante el estándar IEC 61131 y el software Codesys.

La principal ventaja de esta alternativa es que permite aprovechar al máximo los recursos disponibles en el laboratorio, ya que simplemente sería necesario realizar las conexiones necesarias entre el controlador del robot y el PLC.

2. Control distribuido mediante IEC 61131

En esta alternativa, el PLC existente sigue controlando el funcionamiento del sistema de transferencia de palets. Además, se adquiere un nuevo PLC destinado a controlar el funcionamiento del brazo robot. La comunicación entre ambos PLCs se realiza a través de una conexión Ethernet, mediante el protocolo ModBus. Ambos PLCs se programan desde el ordenador existente, mediante el estándar IEC 61131 y el software Codesys.

La principal ventaja de esta alternativa es que permite seguir utilizando el PLC que se adquirió el año pasado. Sin embargo, al tratarse de un control distribuido, es necesario adquirir un segundo PLC para implantar esta alternativa, lo cual supone un incremento del coste respecto a la primera alternativa.

3. Control distribuido mediante IEC 61499

En esta alternativa, el PLC existente sigue controlando el funcionamiento del sistema de transferencia de palets. Además, se adquiere un nuevo PLC destinado a controlar el funcionamiento del brazo robot. Sin embargo, los PLCs se programan ahora mediante el estándar IEC 61499 y el software 4diac. IEC 61499 es un estándar reciente específicamente diseñado para el control distribuido de sistemas. Para poder implantar esta alternativa es necesario utilizar un ordenador de control basado en el sistema operativo Ubuntu. También es necesario instalar en los PLCs una nueva versión del firmware que incluya el paquete 4diac FORTE. Este paquete permite la programación de los PLCs mediante el software 4diac. Las comunicaciones entre ambos PLCs se realizan mediante una conexión Ethernet.

La principal ventaja de esta alternativa es que permite desarrollar al máximo las opciones de control distribuido que ofrece el software 4diac. Este software permite programar el funcionamiento del sistema de forma global y asignar, posteriormente, qué partes de la aplicación se ejecutan en qué PLC. El estándar IEC 61499 permite, por lo tanto, mayor flexibilidad a la hora de programar aplicaciones de control distribuido.

Por otro lado, esta opción requiere de la adquisición de un nuevo PLC, así como de la utilización de un nuevo ordenador con sistema operativo Ubuntu. Además, no existe la certeza de que los módulos de entradas y salidas existentes en el PLC sean compatibles con el firmware 4diac FORTE, por lo que es posible que se deban adquirir nuevos módulos de entradas y salidas para el PLC existente. Finalmente, debido a la novedad de este estándar, su aplicación conllevará mayores dificultades técnicas que las alternativas mencionadas.

1.6. Solución propuesta

Tras el análisis de soluciones realizado, se ha determinado aplicar la alternativa 1: Control centralizado mediante IEC 61131, por las siguientes razones:

- Esta solución cumple ampliamente los requisitos funcionales de la aplicación permitiendo, además, reutilizar al máximo los recursos ya existentes en el laboratorio.
- No requiere de la adquisición de un nuevo PLC, por lo que la inversión necesaria es muy reducida.
- La utilización del estándar IEC 61131, que está muy extendido a nivel industrial, facilitará el desarrollo del proyecto a nivel técnico, ya que se puede obtener información fácilmente tanto del estándar como de su implantación a través del software Codesys. Además, desde un punto de vista docente se justifica más la enseñanza del IEC 61131, cuyo uso está muy extendido, mientras que el IEC 61499 apenas se conoce en el entorno industrial.

El control del sistema integrado se realizará desde el PLC existente, que controlará tanto el funcionamiento del sistema de transferencia de palets como del brazo robot. El PLC se comunicará mediante una conexión Ethernet con el ordenador de control, donde se programará la aplicación en el software de control Codesys v2.3.

El PLC monitoreará y controlará el estado del sistema integrado a través de las conexiones realizadas entre el sistema y sus módulos de entradas y salidas digitales. Para ello, no es necesario realizar ninguna modificación en las conexiones ya existentes entre el sistema de transferencia de palets y los módulos de entradas y salidas del PLC. Por otro lado, para integrar el brazo robot en el sistema de control se plantean varias opciones de comunicación entre el robot y el PLC:

- **Comunicación mediante conexión serie RS232.** Será necesario conectar el puerto serie del PLC con uno de los puertos serie de la tarjeta SIO del robot. En este método, las comunicaciones no están limitadas al número de entradas y salidas digitales disponibles en los equipos, lo cual puede ser una ventaja a la hora de desarrollar un funcionamiento del sistema muy complejo. Por otro lado, con este método se deberá gestionar correctamente el envío de mensajes entre ambos equipos, lo cual supone mayor complejidad que la otra alternativa.
- **Comunicación mediante conexión de entradas y salidas digitales.** Será necesario conectar las entradas y salidas libres del PLC a la tarjeta de entradas y salidas BASICIO del armario de mando del robot. Esta opción permite una implantación más simple que la anterior, ya que únicamente habrá que gestionar la lectura y escritura de las entradas y salidas digitales de ambos equipos. El PLC es el equipo que

limita el número de conexiones disponibles, ya que solo tiene libres 3 entradas y 8 salidas digitales. Como se explicará más adelante, es posible cumplir los objetivos de la automatización con este número de conexiones, por lo que esto no constituye un limitante en este caso.

Finalmente, se opta por seleccionar la interacción mediante entradas y salidas digitales, ya que este método permite cumplir los objetivos planteados con la mayor simplicidad.

El programa que se ejecutará en el robot realizará, en función de las órdenes recibidas del PLC, diversas acciones que habrán sido programadas previamente. En función de la secuencia de funcionamiento elegida por el usuario, el PLC enviará unas órdenes u otras al robot. Además, la aplicación incorporará las funciones de paro y marcha, así como la parada de emergencia, cumpliendo con los requisitos funcionales mencionados previamente.

1.6.1. Definición del patrón de funcionamiento

En primer lugar, se han identificado los desplazamientos básicos del sistema de transferencia de palets (movimientos A a M), representados en la figura 1.29. Cada uno de estos movimientos empieza y acaba en una estación del sistema en la que hay un detector de presencia del palet (BD) y una electroválvula (YV) con la que se controla el avance del palet a la siguiente estación (mediante el accionamiento del separador de tramos o la elevación de la estación de desviación correspondiente). Como se muestra en la figura, las estaciones están numeradas.

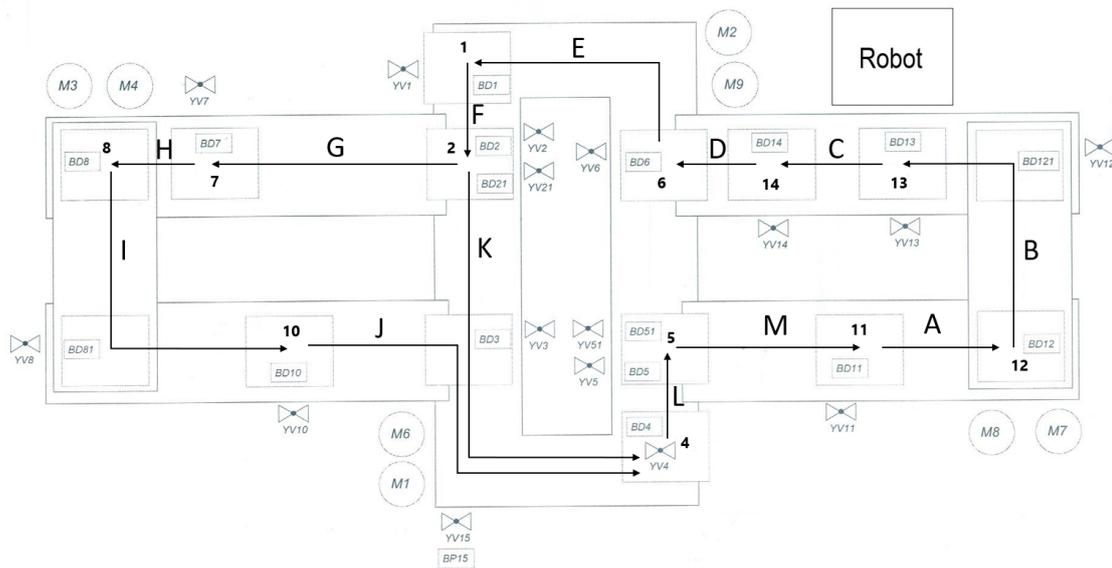


Figura 1.29: Movimientos básicos del sistema de transferencia de palets

Como regla básica para la definición del patrón de funcionamiento se ha tenido en cuenta que en ningún momento debe haber más de un palet efectuando el mismo movimiento básico. De lo contrario, se podrían producir choques indeseados entre los palets. Por este motivo, para permitir la correcta detección de los palets por parte del sistema de control, antes de la puesta en marcha del sistema habrá que comprobar que todos los palets se encuentran en alguna de las estaciones y no en el espacio entre estaciones.

El patrón de funcionamiento desarrollado dispone de 3 secuencias distintas que se explicarán a continuación. Al iniciar el sistema, el usuario elige la secuencia deseada mediante los pulsadores de Secuencia (SP3, SP5, SP6) situados en el armario eléctrico del sistema. A continuación, el usuario puede poner en marcha el sistema con el pulsador Marcha (SP1), y pausarlo con el pulsador Paro (SP2). Al pulsar Paro, el sistema no se para inmediatamente, sino que cualquier movimiento básico iniciado se completa. Por ejemplo, si al pulsar Paro un palet está realizando el movimiento I, el movimiento de los actuadores necesarios no cesará hasta que este palet alcance la estación 10, que es la estación final del movimiento I.

De igual forma, las acciones básicas programadas en el robot no se interrumpirán al pulsar Paro. Por tanto, el pulsador Paro permite realizar un paro no abrupto en el funcionamiento del sistema. Por ese motivo, tras un Paro se puede continuar con el funcionamiento normal del sistema pulsando Marcha. Por otro lado, el sistema sí se para inmediatamente mediante los pulsadores de Parada de emergencia (SPE1, SPE2, SPE3). Cualquier movimiento básico del sistema de transferencia de palets o del brazo robot que se haya iniciado quedará interrumpido. Para volver a poner en marcha el sistema será necesaria la reinicialización manual del sistema (colocación correcta de los palets en las estaciones y acondicionamiento manual del robot).

Como se ha explicado anteriormente, los motores de cada tramo de transporte no son independientes, sino que están agrupados. Esto significa, por ejemplo, que si se quiere efectuar el movimiento B (motores M8 y M9) el motor M7 también se pondrá en marcha debido a que los tres motores están controlados por el mismo relé. Pese a esto, en lugar de decidir poner en marcha todos los motores de forma continua, se ha implementado un sistema para que cada grupo de motores solo funcione cuando sea necesario. Como resultado:

- Los motores M1 y M2 (zona central) solo funcionan si se realiza alguno de los siguientes movimientos: E, F, K, J o L.
- Los motores M3 y M6 (tramos longitudinales del circuito de desviación izquierdo) solo funcionan si se realiza alguno de los siguientes movimientos: G, H, I o J.
- Los motores M4 y M5 (tramos transversales del circuito de desviación izquierdo) solo funcionan si se realiza el movimiento I.
- Los motores M7, M8 y M9 (circuito de desviación derecho) solo funcionan si se realiza alguno de los siguientes movimientos: M, A, B, C o D.

Secuencia de funcionamiento 1

La secuencia de funcionamiento 1 se muestra en la figura 1.30. En esta secuencia de funcionamiento el robot realiza un ensamblaje entre dos piezas colocadas en 2 palets que viajan por el sistema uno detrás de otro.

La secuencia comienza en la estación n° 11, donde un operario coloca dos tipos de piezas en palets alternos. Para ello, los palets realizan una parada de 5 segundos en esta estación. Cuando el palet 1 llega a la estación n° 13, situada frente al brazo robot, el robot coge la pieza con su pinza neumática. Una vez el robot ha finalizado esta acción, el palet 1 continua sus desplazamientos por el sistema. Cuando el palet 2 llega a la estación n° 13, el robot ensambla la pieza que tenía cogida con la pieza situada sobre el palet 2. Una vez finalizada esta acción, este segundo palet también continua con su recorrido por el sistema. Como resultado, tras el paso por la estación n° 13, los palets pares transportan las dos piezas ensambladas, mientras que los palets impares viajan sin pieza.

Al llegar a la estación n° 2, al finalizar el movimiento básico F, los palets impares (sin pieza) continúan por la zona central del sistema con el movimiento K. Por otro lado, los palets pares (con las piezas ensambladas) son dirigidos hacia la estación n° 7 mediante el movimiento G, donde un operario recoge las piezas ensambladas. Para ello, los palets realizan una parada de 5 segundos en esta estación. A continuación, ya sin pieza, los palets se reincorporan a la zona central mediante el movimiento J. Los movimientos J y K son excluyentes, es decir, ninguno de los dos puede comenzar si el otro todavía no ha concluido. De esta forma se evitan colisiones entre palets.

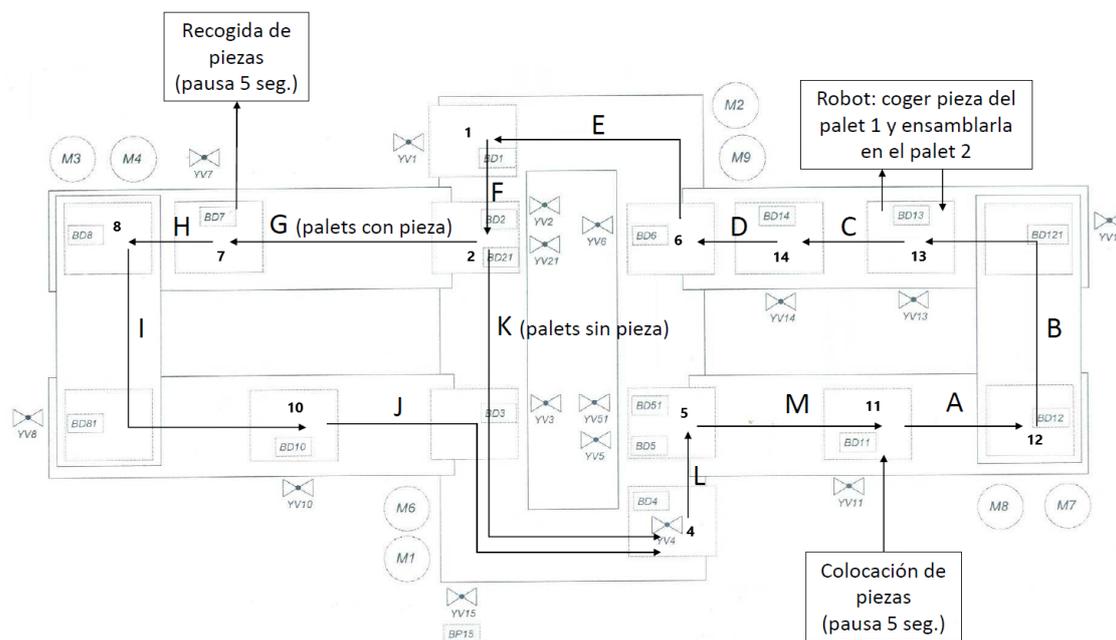


Figura 1.30: Secuencia de funcionamiento 1

Secuencia de funcionamiento 2

La secuencia de funcionamiento 2 se muestra en la figura 1.31. En esta secuencia de funcionamiento el robot realiza un ensamblaje entre dos piezas colocadas en 2 palets que viajan por el sistema uno detrás de otro. La diferencia entre esta y la primera secuencia es que en este caso ambos palets se encuentran frente al robot cuando este realiza el ensamblaje, a diferencia de la secuencia 1, en la que los palets se detenían frente al robot de uno en uno. Por lo tanto, en esta secuencia los palets viajan por parejas. Con esta nueva secuencia existe una única acción del robot, mientras que en la secuencia anterior el robot realizaba 2 acciones separadas: coger la pieza y ensamblarla.

La secuencia comienza en la estación n° 11, donde un operario coloca dos tipos de piezas en palets alternos. Para ello, los palets realizan una parada de 5 segundos en esta

estación. Cuando el palet 1 llega a la estación n° 14 y el palet 2 llega a la estación n° 13, el robot coge la pieza del palet 2 y la ensambla con la pieza del palet 1. Una vez el robot ha finalizado esta acción, ambos palets continúan sus desplazamientos por el sistema. Como resultado, tras el paso por la estación n° 14, los palets impares transportan las dos piezas ensambladas, mientras que los palets pares viajan sin pieza.

Al llegar a la estación n° 2, al finalizar el movimiento básico F, los palets pares (sin pieza) continúan por la zona central del sistema con el movimiento K. Por otro lado, los palets impares (con las piezas ensambladas) son dirigidos hacia la estación n° 7 mediante el movimiento G, donde un operario recoge las piezas ensambladas. Para ello, los palets realizan una parada de 5 segundos en esta estación. A continuación, ya sin pieza, los palets se reincorporan a la zona central mediante el movimiento J. Los movimientos J y K son excluyentes, es decir, ninguno de los dos puede comenzar si el otro todavía no ha concluido. De esta forma se evitan colisiones entre palets.

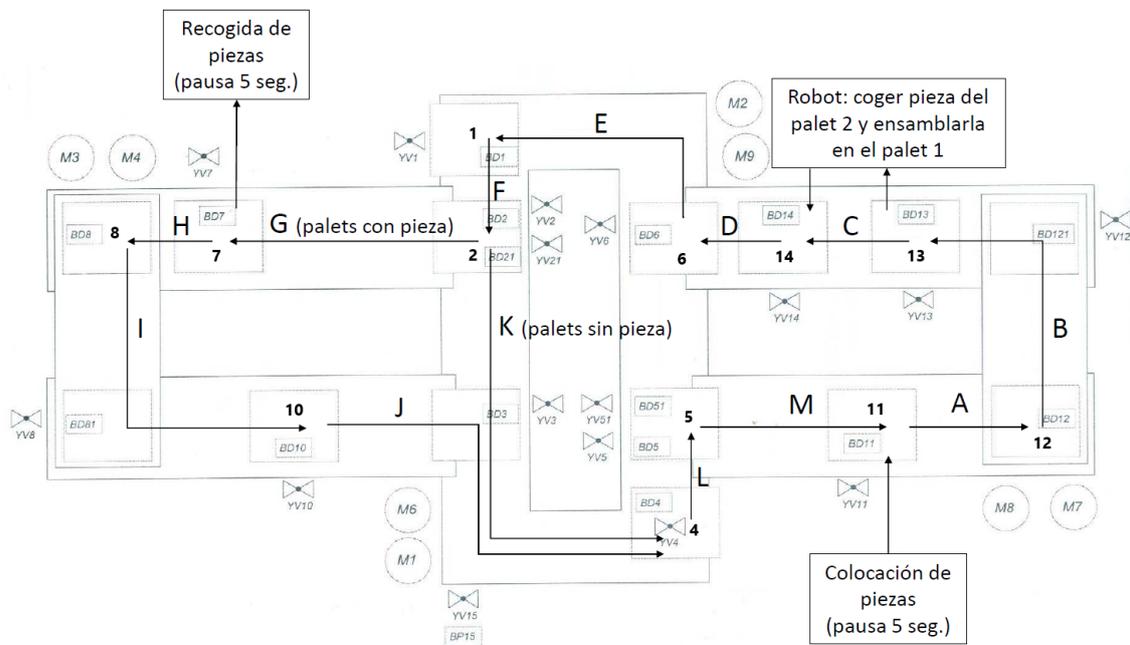


Figura 1.31: Secuencia de funcionamiento 2

Secuencia de funcionamiento 3

La secuencia de funcionamiento 3 se muestra en la figura 1.32. En esta secuencia de funcionamiento el robot realiza un giro en la pieza colocada en el palet y luego la deposita nuevamente en ese mismo palet. Por lo tanto, en esta secuencia los palets viajan de uno en uno, y todos terminan transportando una pieza después de su paso por el robot.

La secuencia comienza en la estación n° 11, donde un operario coloca una pieza en cada

Este patrón de funcionamiento se ha modelado mediante diagramas de Grafset, que se pueden consultar en el anexo 5.1. Concretamente, se trata de un sistema de diagramas Grafset jerarquizado de la siguiente manera:

- **Diagrama Grafset principal (G1)**

Constituye el diagrama de más alto nivel jerárquico, lo cual significa que desde este diagrama se controla la ejecución del resto de diagramas del sistema. Para ello, se utiliza el forzado del resto de diagramas. El forzado permite iniciar o interrumpir la ejecución de un diagrama Grafset desde otro con mayor nivel jerárquico.

Este diagrama principal implementa las funciones de Paro, Marcha y Parada de emergencia del sistema. Antes de permitir el inicio del funcionamiento requiere que se haya seleccionado la secuencia deseada mediante los pulsadores correspondientes y que el robot se haya iniciado correctamente. Para ello, el PLC comprueba el estado de la señal **robot_ok** que le envía el robot. Igualmente, a través de la salida digital **PLC_on**, el PLC comunica al robot que se encuentra en funcionamiento. Cuando se realiza una parada de emergencia, se activa la salida digital **emergencia_robot** para efectuar la parada de emergencia también en el robot.

- **Diagramas de Selección de secuencia (G2) y Selección de paro o marcha (G3)**

Ambos diagramas son forzados desde el diagrama principal al iniciar el sistema. Permiten al usuario seleccionar la secuencia y el Paro o Marcha del sistema, antes de que desde el diagrama principal se permita el inicio del funcionamiento del resto de diagramas.

- **Diagramas de movimientos básicos (G4 a G18)**

Un diagrama controla la activación de los actuadores necesarios (separadores de tramos y estaciones de desviación) para realizar cada movimiento básico (A a M), excluyendo los motores, que son controlados por diagramas aparte. En general, la condición para permitir el movimiento del palet es que la siguiente estación del sistema esté libre. Sin embargo, algunos movimientos (C, D, G y K) requieren condiciones de activación extra para cada secuencia de funcionamiento. Concretamente, para el movimiento G se han modelado 3 diagramas, cada uno adaptado a cada una de las secuencias.

- **Diagramas de funcionamiento de los motores (G19 a G22)**

Un diagrama controla el funcionamiento de cada grupo de motores (4 diagramas en total) en función de si se está efectuando o no alguno de los movimientos para los que se requiere su funcionamiento.

- **Diagramas de funcionamiento del robot (G23 a G25)**

Para cada secuencia, un diagrama controla la comunicación del PLC con las entradas y salidas digitales de robot. Estos diagramas permiten comunicar en cada caso la

acción que debe realizar el robot en cada momento. Concretamente, existen 4 acciones distintas que el robot puede realizar:

1. Coger la pieza del palet en la estación nº 13 (secuencia 1): código 00.
2. Ensamblar la pieza cogida con la pieza sobre el palet de la estación nº 13 (secuencia 1): código 01.
3. Girar la pieza sobre el palet de la estación nº 13 (secuencia 3): código 10.
4. Coger la pieza del palet en la estación nº 13 y ensamblarla con la pieza sobre el palet de la estación nº 14 (secuencia 2): código 11.

Estas 4 acciones se pueden codificar mediante 2 bits, por lo que solo se necesitan 2 salidas del PLC para transmitir la acción deseada al robot. Además, una señal adicional indica al PLC cuando se debe iniciar cada acción. Por tanto, el robot recibe las órdenes desde el PLC mediante 3 señales digitales:

- **orden_robot**. Indica que el PLC le ha enviado una orden al robot.
- **orden_1**. Indica el bit menos significativo del código de la orden.
- **orden_2**. Indica el bit más significativo del código de la orden.

Por otro lado, el robot comunica su estado al PLC mediante 3 señales digitales:

- **robot_ok**. Indica que el robot está preparado y espera recibir una orden del PLC.
- **ejecutando_robot**. Indica que el robot ha recibido la orden del PLC y está ejecutándola.
- **operacion_robot_ok**. Indica que el robot ha finalizado correctamente la acción demandada y el palet puede continuar con el siguiente movimiento.

En total se requieren 3 entradas y 5 salidas digitales del PLC para comunicar con el robot. El funcionamiento del robot y sus comunicaciones con el PLC se explicarán con mayor detalle en la sección 1.7.2.

1.7. Implementación de la solución

1.7.1. Configuración de los componentes hardware

Para la implementación de la solución se parte del sistema de control ya existente en el laboratorio para el sistema de transferencia de palets, por lo que el PLC (formado por su módulo principal 750-8202, sus módulos de entradas y salidas, y el módulo final 750-600) ya se encuentra ensamblado y sujeto al carril de sujeción del armario eléctrico mediante la pestaña de sujeción naranja que lleva incorporado el PLC para que quede bien sujeto (Figura 1.33).

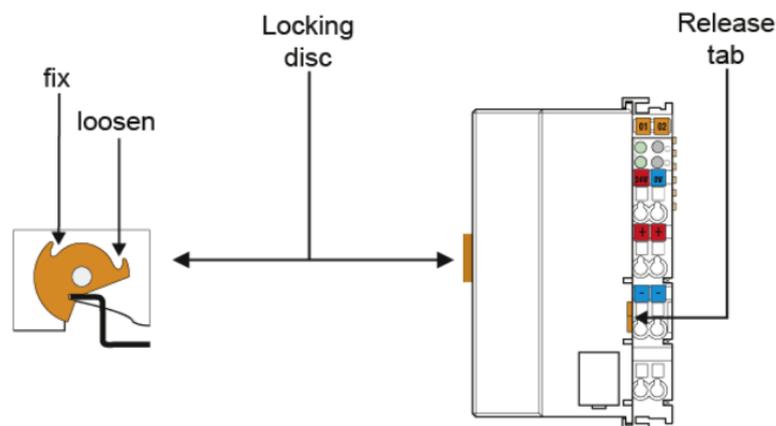


Figura 1.33: Pestaña de sujeción del PLC

Para implementar el nuevo sistema de control, es necesario realizar las conexiones entre los módulos de entradas y salidas del PLC y la tarjeta de entradas y salidas BASICIO del armario de mando del robot. Concretamente, se conectan 3 entradas y 5 salidas del PLC a 3 salidas y 5 entradas de la tarjeta BASICIO del robot. Para ello, es necesario utilizar cables de unos 2 metros de longitud, ya que esta es aproximadamente la distancia entre el armario eléctrico donde está instalado el PLC y el armario de mando del robot.

Se utilizan cables de tipo P LC-6 C (6 hilos de $0,22 \text{ mm}^2$ de sección), que hay disponibles en el laboratorio. Se cortan a la medida requerida y se añade en cada extremo de los cables una pestaña metálica rígida que es la que se insertará en los conectores del PLC y de la tarjeta BASICIO.

En el PLC, los cables se conectan con la ayuda de un destornillador pequeño, según el sistema Cage Clamp mostrado en la Figura 1.34. En la tarjeta BASICIO, los conectores se abren o se cierran haciendo girar un tornillo con el destornillador.

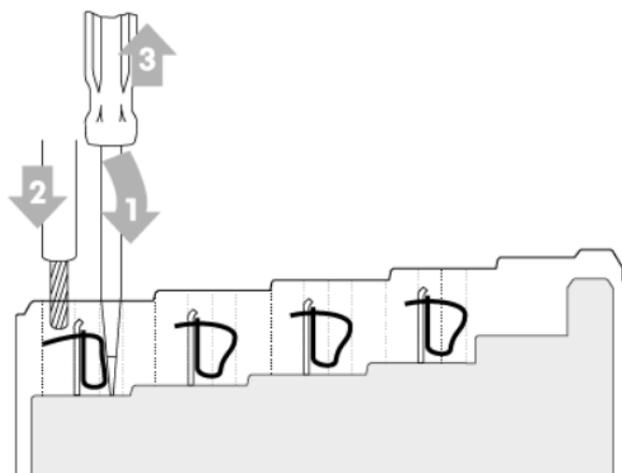


Figura 1.34: Sujeción de los cables al PLC mediante el sistema Cage Clamp

Una vez conectadas las entradas y salidas entre el PLC y la tarjeta BASICIO, se debe conectar la alimentación de las entradas y salidas de la tarjeta BASICIO ya que, a diferencia de los módulos del PLC, la tarjeta BASICIO no alimenta internamente sus entradas y salidas. Esto se había observado en el esquema de la tarjeta BASICIO de la Figura 1.6.

Para alimentar estas entradas y salidas se utiliza el conector J4 disponible en la tarjeta BASICIO. Este conector dispone de dos contactos: a 0V y 24V. Estos contactos están conectados internamente a los relés de las salidas digitales de la tarjeta, como se puede observar en los planos ?? y ?. Para realizar las conexiones entre el conector J4 y las distintas entradas y salidas digitales utilizadas, se han elaborado unos cables a la medida necesaria, insertando nuevamente pestañas metálicas en los extremos para facilitar el montaje. Los cables conectan el terminal positivo (+) de las salidas a la tensión continua de 24V. Por otro lado, el terminal negativo (-) de las entradas se conecta al punto de referencia de 0V. La figura 1.35 muestra el esquema de las conexiones realizadas, así como la numeración de los cables conectados al PLC. Como se puede observar, se ha conectado únicamente el número necesario de entradas y salidas: 5 y 3 respectivamente.

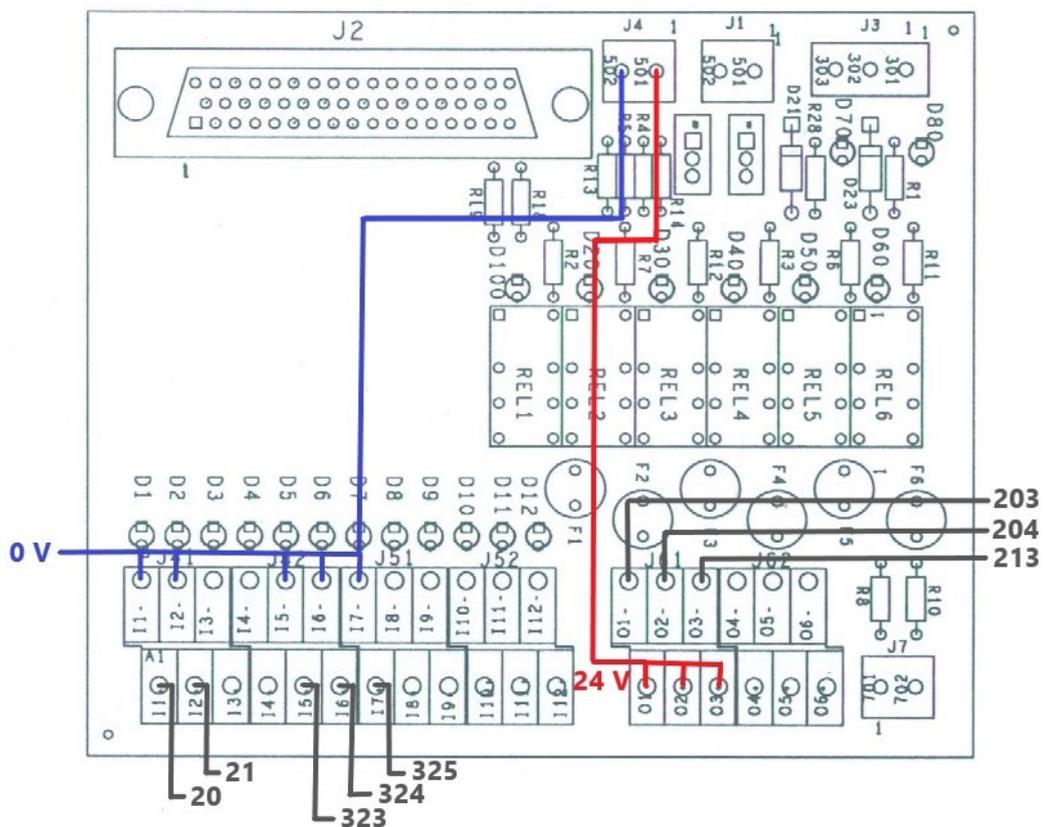


Figura 1.35: Esquema de las conexiones realizadas en la tarjeta BASICIO

Finalmente, se conecta la referencia de 0V de la tarjeta BASICIO con la del PLC, ya que para que puedan comunicarse a través de entradas y salidas digitales ambos equipos deben compartir la misma referencia de tensión.

Cada uno de los cables se ha etiquetado debidamente para facilitar la comprensión del cableado en trabajos futuros. Las figuras 1.36 y 1.37 muestran la apariencia del sistema tras las conexiones realizadas entre el PLC y la tarjeta BASICIO.

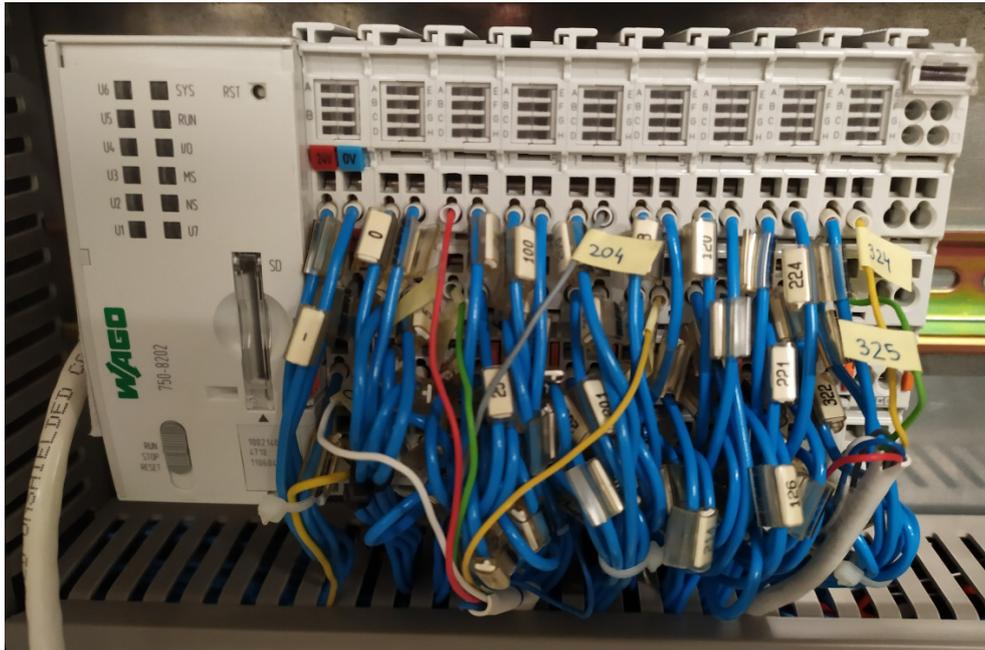


Figura 1.36: Apariencia del PLC tras realizar las conexiones necesarias

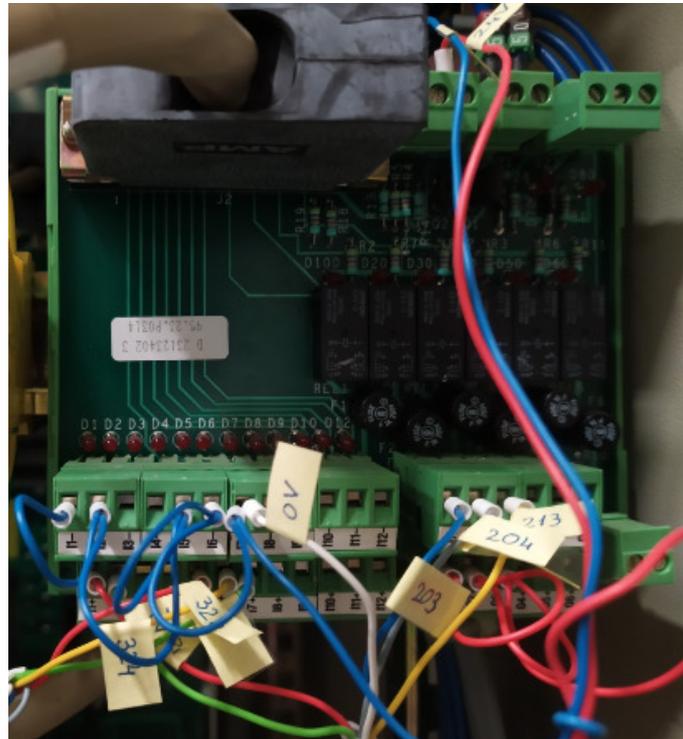


Figura 1.37: Apariencia de la tarjeta BASICIO tras realizar las conexiones necesarias

Una vez realizado el montaje, se cierra el armario de mando del robot y el armario eléctrico donde se encuentra el PLC. Para poner en marcha el sistema, se gira el interruptor general del armario eléctrico hasta la posición ON. Gracias a los indicadores visuales del PLC se puede conocer el estado en que se encuentra. Los indicadores SYS e I/O se iluminan en verde, lo cual indica que el PLC se ha inicializado correctamente. El indicador RUN se ilumina en rojo, lo cual indica que no hay un programa guardado en la memoria del PLC. Para poner en marcha el robot, se gira el interruptor situado en la parte trasera de su armario de mando.

1.7.2. Programación

Programación del brazo robot desde su consola de programación

La programación del programa que se ejecuta en el controlador del brazo robot se realiza desde su consola de programación. En primer lugar, es necesario alimentar el controlador del robot. Para ello, se gira el interruptor general del robot, situado en la parte posterior del armario de mando, hasta su posición ON. El indicador POWER del panel de control se enciende. A continuación, cuando se indique en la pantalla del terminal del robot, se presionan los botones ARM POWER ON y PROG START del panel de control. Esto activa la alimentación del brazo robot y lanza la ejecución del programa instalado por defecto. En la pantalla nos da la opción de ejecutar una secuencia de ensamblaje pregrabada fruto de un trabajo anterior o de abrir la consola de programación. Se elige esta segunda opción para poder crear un nuevo programa. Las principales funciones de la consola utilizadas en este proyecto se muestran en la Tabla 1.11.

Comando	Función
DIR	Muestra los programas cargados en la memoria viva del robot.
SEE programa	Abre el programa estipulado con el editor SEE. Si no existe, lo crea.
DEBUG programa	Abre el programa estipulado con el editor DEBUG.
EX programa	Ejecuta el programa estipulado.
ABORT	Interrumpe la ejecución del programa en curso.
HERE punto	Guarda la posición actual del robot en la variable punto.
FDIR	Muestra los ficheros contenidos en el disco de almacenamiento.
STORE fichero = prog1, prog2 ...	Guarda los programas estipulados y sus variables asociadas en el fichero indicado del disco de almacenamiento. Si no existe, lo crea.
LOAD fichero	Carga el fichero estipulado en la memoria viva del robot.
FDELETE fichero	Elimina el fichero estipulado.

Tabla 1.11: Funciones disponibles en la consola de programación

En primer lugar, se crea un nuevo programa con el comando SEE. Aparece en la pantalla el entorno del editor (Figura 1.38), desde el que se puede modificar el código del programa. En la parte inferior aparece, de izquierda a derecha, el nombre del programa que se está visualizando (1), el número de línea en que se encuentra el cursor (2) y el modo en que se encuentra el editor: Command o Insert. Para modificar el programa se pulsa la tecla I (modo Insert). Para visualizar el contenido sin modificarlo se pulsa la tecla Esc (modo Command).

```

FDX      1- 21
PROGRAM prog_test()
;Configuracion inicial
RUNSIG 6
SPEED 40 MONITOR
MOVE espera
BREAK

;Comprueba si esta colocada la herramienta
PROMPT "Esta colocada la herramienta? (y/n)", $ans
IF $ans == "n" THEN
  MOVE inicio
  BREAK
  PROMPT "Active el aire comprimido, coloque la herramienta y pulse IN
  SIGNAL 8
  BREAK
  MOVE espera
  BREAK
END
;WAIT SIG(-1001,-1002,-1003,-1004,-1005,1006)
;REACTI 1005, prog_emergencia
  
```

1 prog_test 2 Step 1 of 152 3 Command mode

Figura 1.38: Apariencia del editor SEE

La Figura 1.40 muestra el funcionamiento deseado del robot en diagrama de estados. Los estados marcados en naranja se ejecutan de forma autónoma por el robot y corresponden al funcionamiento integrado del robot con el sistema de transferencia de palets. Los estados en blanco constituyen la puesta en marcha y parada del robot, que necesitan de la interacción con el operario a través del terminal, y colocando y retirando la herramienta.

El programa del robot sigue los siguientes pasos. En primer lugar, se selecciona la velocidad deseada para los movimientos del robot. En una escala de 1 a 100, se selecciona una velocidad por defecto de 40. El brazo se posiciona en la posición de espera, que ha sido guardada previamente con el comando HERE. En la terminal, se pregunta al operario si la herramienta ya se encuentra colocada. La Figura 1.39 muestra la herramienta utilizada. El operario debe responder tecleando y (yes) o n (no). Si la respuesta es negativa, el brazo se coloca en la posición adecuada para montar la herramienta e indica al operario que abra la

llave de paso del aire a presión, coloque la herramienta y pulse Enter. A continuación, se acciona la electroválvula que fija la herramienta y el brazo vuelve a la posición de espera.

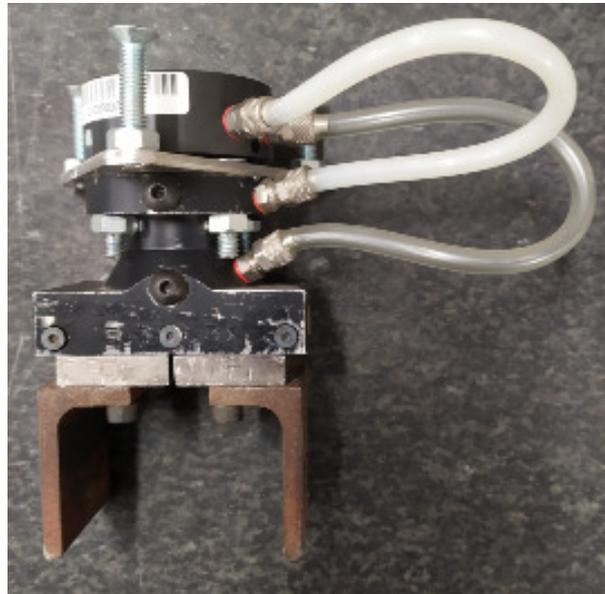


Figura 1.39: Herramienta utilizada en el robot

Cuando se detecta la activación de la señal **PLC_on**, esto significa que el PLC se ha puesto en marcha. Por lo tanto, el robot activa la interrupción asociada a la entrada n° 5 (señal **emergencia_robot**), que permite realizar la parada de emergencia. También activa una interrupción asociada a la entrada n° 6 (señal **PLC_on**), que permite detectar cuando se ha apagado el PLC para finalizar la ejecución del programa en el robot. A continuación, el robot entra en el modo de funcionamiento cíclico (estados de color naranja).

El funcionamiento automático del robot es cíclico. En primer lugar, el robot activa la señal **robot_ok** y espera que el PLC le comunique la acción que debe realizar. Cuando la entrada n° 7 (señal **orden_robot**) se activa, el robot recupera el valor de las entradas 1 y 2 (**orden_1** y **orden_2**), que codifican la acción que debe realizar. Mientras realiza la acción demandada, el robot activa su salida n° 2 (señal **ejecutando_robot**). Esta señal permite que el PLC sepa que su orden ha sido recibida, por lo que puede desactivar la señal **orden_robot** para evitar que, al seguir esta señal activa, el robot ejecute la acción 2 veces. Al finalizar la acción, el robot activa su salida n° 1 (**operacion_robot_ok**) y vuelve a la posición de espera hasta recibir la próxima orden por parte del PLC.

Si durante la ejecución del programa el PLC activa la señal **emergencia_robot**, se activa la interrupción programada en el robot. Esto provoca el salto al programa **prog_emergencia**, cuya única instrucción es la instrucción HALT. Esta instrucción interrumpe cualquier movimiento del robot de forma inmediata, por lo que es ideal para implementar la parada de emergencia. A continuación, para volver a lanzar un programa,

el operario deberá realizar las acciones necesarias de forma manual desde la consola de programación.

La otra condición posible para salir del modo cíclico de funcionamiento es que el PLC se haya apagado, es decir, que se desactive la señal **PLC_on**. En ese caso, la ejecución salta al programa **prog_finalizar**, que permite al operario decidir si quiere retirar la herramienta antes de finalizar la ejecución del programa. Si la respuesta es y (yes), el brazo se coloca en la posición adecuada y expulsa la herramienta. A continuación, vuelve a la posición de espera. Tras el fin del programa, el operario puede lanzar de nuevo el programa o realizar cualquier otra acción desde la consola de programación.

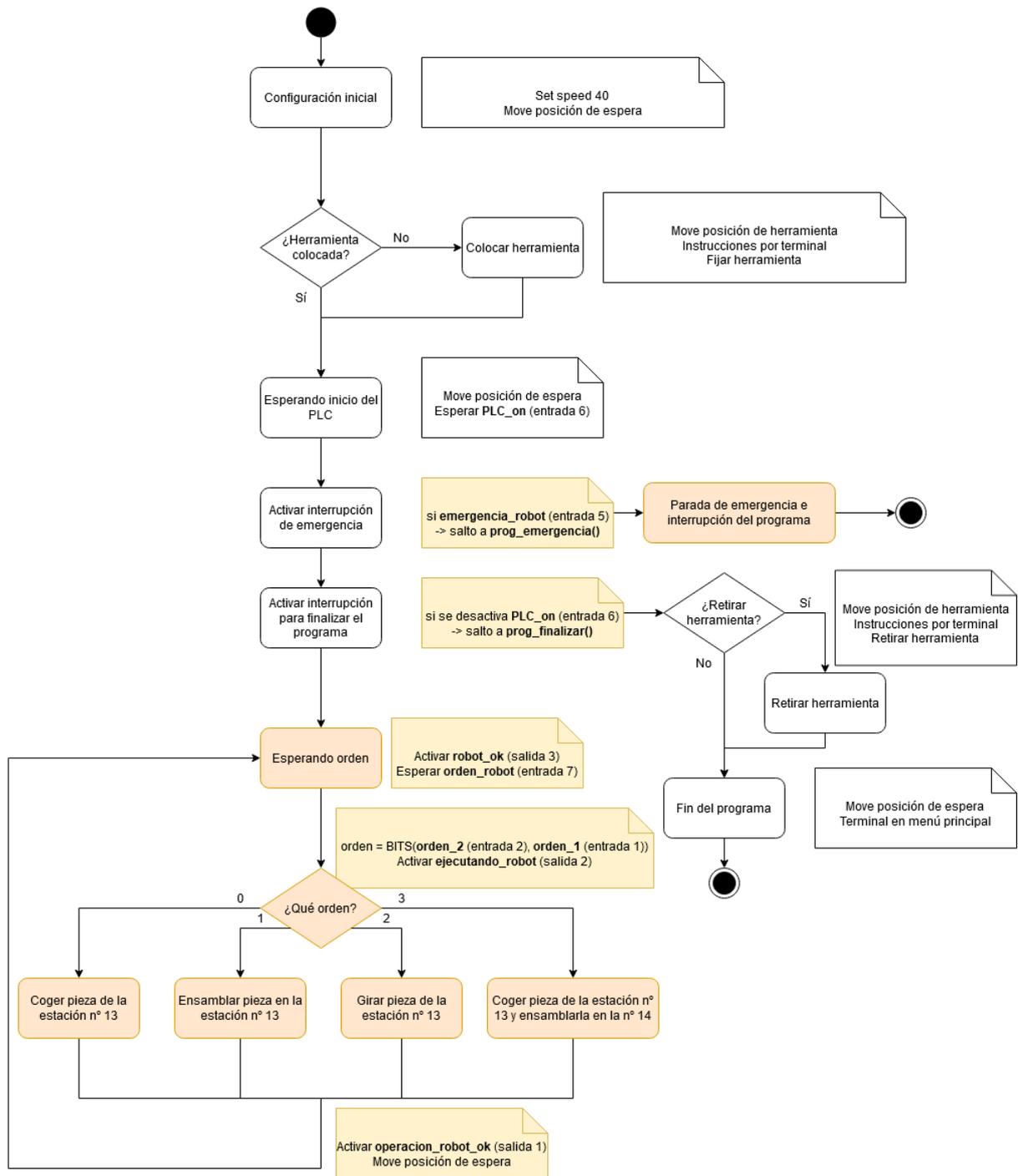


Figura 1.40: Diagrama de estados para el funcionamiento del robot

Instrucción	Función
TYPE "texto"	Muestra el texto por la consola.
PROMPT "texto", \$ans	Muestra el texto por la consola y guarda el valor tecleado por el operario en la variable ans.
SPEED valor	Establece la velocidad de movimiento del robot.
MOVE punto	El robot se mueve hasta el punto indicado.
MOVES punto	El robot se mueve en línea recta hasta el punto indicado.
BREAK	No continúa la ejecución de las instrucciones posteriores hasta que el movimiento anterior del robot ha concluido.
APPRO punto, distancia	El robot se sitúa a la distancia indicada del punto indicado.
DEPARTS distancia	El robot se aleja, en la dirección de la herramienta, la distancia indicada del punto actual.
OPENI	Apertura de la pinza neumática con parada del movimiento del robot de 50 ms.
CLOSEI	Cierre de la pinza neumática con parada del movimiento del robot de 50 ms.
SIGNAL valor	Asigna un valor de 1 (si valor >0) o de 0 (si valor es <0) a la salida digital número <i>valor</i> . La salida 7 controla la posición de la pinza neumática (abierta o cerrada) y la salida 8 controla la sujeción o expulsión de la herramienta.
SIG(100x)	Lee el valor (0 o 1) de la entrada digital número <i>x</i> .
BITS (1001,2)	Lee el valor de 2 entradas digitales a partir de la entrada número 1 y devuelve el valor correspondiente a la disposición de los bits binarios de estas.
REACT -100x, prog	Cuando se desactiva la entrada digital número <i>x</i> , salta al subprograma indicado (tras finalizar el movimiento en curso).
REACTI 100x, prog	Cuando se activa la entrada digital número <i>x</i> , salta al subprograma indicado (interrumpe el movimiento en curso).
GOTO 10	Permite al programa saltar al número de etiqueta especificada.
HALT	Se interrumpe la ejecución del programa de forma inmediata.

Tabla 1.12: Instrucciones V+ utilizadas

El código del programa se ha creado en el lenguaje V+, según las indicaciones del fabricante [6]. Siguiendo estas instrucciones, se han utilizado dos velocidades distintas de desplazamiento del robot. Por un lado, se han programado con baja velocidad (10) los movimientos en los que la pinza se acerca a las piezas y las coge o las deposita en los palets, ya que se trata de las acciones que requieren mayor delicadeza. El resto de movimientos,

como pueden ser desplazamientos del brazo a la posición de espera, se han programado a velocidad alta (100). Las principales instrucciones utilizadas en el programa se muestran en la tabla 1.12. El código completo se muestra en el anexo 5.3.

Para la correcta ejecución del programa ha sido necesario guardar en la memoria del robot varios puntos de posicionamiento del mismo. En primer lugar, se ha posicionado el robot en el punto deseado con la ayuda del mando manual de aprendizaje, según lo explicado en el apartado 1.4.1 de esta memoria. A continuación, se ha guardado el punto desde la terminal con el comando HERE (Figura 1.41). A partir de ese momento, ya se puede utilizar el punto en el programa.

```
.here inicio
      X      Y      Z      y      p      r
-103.700 -746.825 -38.173 -91.606 46.489 88.292
```

Figura 1.41: Guardado de un punto mediante el comando HERE

Para probar el funcionamiento del programa, este se ejecuta mediante el editor DEBUG (Figura 1.42). Este editor permite visualizar al mismo tiempo el programa con el editor SEE (1) y la terminal de comandos (2). Desde la ventana de la terminal, se puede ejecutar el programa línea por línea pulsando Ctr + X. Desde la ventana del editor se pueden añadir modificaciones pulsando I (modo Insert). Se puede pasar de una ventana a la otra pulsando Ctr + E. Una vez validado el funcionamiento del programa se puede ejecutar de forma completa con la instrucción EX.

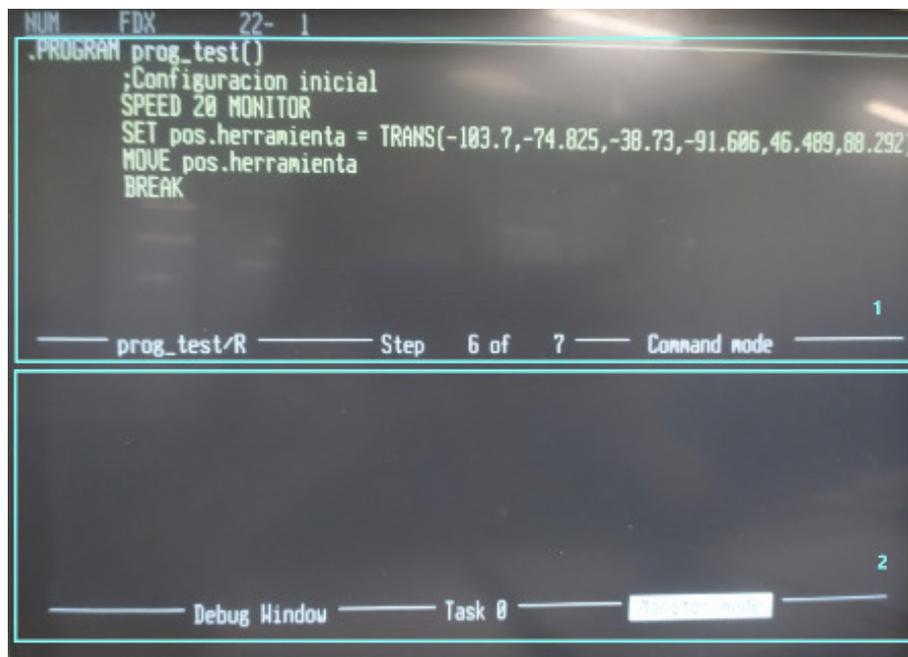


Figura 1.42: Apariencia del editor DEBUG

Programación del PLC mediante Codesys

Como se ha comentado anteriormente en la sección 1.4.3, el ordenador de control ya tenía instalados los softwares necesarios para comunicarse con el PLC y poder programarlo mediante Codesys. Por esta razón, el trabajo se ha centrado en programar en Codesys el funcionamiento del sistema, modelado previamente mediante diagramas de Grafcet. Para ello, se ha creado en Codesys un nuevo proyecto. Para permitir que el proyecto sea ejecutado por el PLC, se ha seleccionado en la pestaña *Target Settings* la configuración adecuada para los drivers instalados para nuestro PLC: WAGO_750-8202_(FW03-...) - 750-8202/040-000_Demo (Figura 1.43).

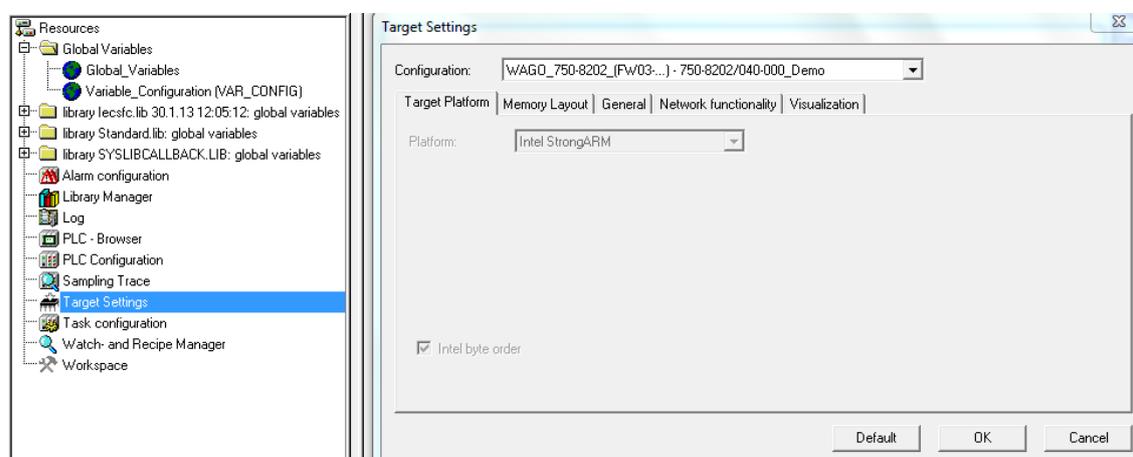


Figura 1.43: Configuración de *Target Settings* en Codesys

A continuación, se ha realizado la configuración de los módulos de entradas y salidas del PLC, que se pueden visualizar desde la pestaña *PLC Configuration*.

Las entradas y salidas del PLC utilizadas incluyen las conexiones iniciales para el sistema de transferencia de palets y las 8 nuevas conexiones para el control del brazo robot (3 entradas y 5 salidas). Las tablas 1.13 y 1.14 muestran las conexiones del sistema, así como el nombre dado a cada variable en Codesys. Para facilitar la identificación de las variables, el nombre de las variables asociadas a las entradas del PLC comienza por *i_* y el de las variables asociadas a las salidas comienza por *o_*. Por otro lado, se ha tenido en cuenta que la entrada de los pulsadores de emergencia está conectada por defecto al nivel alto de tensión, por lo que un estado de 1 indica que no se ha pulsado ninguno de los pulsadores de parada de emergencia. Por tanto, el nombre dado a esta entrada ha sido *i_no_emergencia*. Lo mismo ocurre con la entrada conectada al pulsador de paro, que se ha nombrado *i_no_paro*. A la hora de programar el funcionamiento se ha tenido en cuenta el valor por defecto de cada uno de los detectores inductivos de proximidad (BD), que ya se había mencionado en el apartado 1.4.2 de esta memoria.

Módulo	Cable	Elemento	Variable	Función	
I0	0	BD1	i_BD1	Detectores inductivos de proximidad	
	1	BD2	i_BD2		
	2	BD2-1	i_BD2_1		
	3	BD3	i_BD3		
	4	BD4	i_BD4		
	5	BD5	i_BD5		
	6	BD5-1	i_BD5_1		
I1	7	BD6	i_BD6		
	100	BD7	i_BD7		
	101	BD8	i_BD8		
	102	BD8-1	i_BD8_1		
	103	BD9	i_BD9		
	104	BD10	i_BD10		
	105	BD11	i_BD11		
I2	106	BD12	i_BD12		
	107	BD12-1	i_BD12_1		
	200	BD13	i_BD13	Presostato	
	201	BD14	i_BD14		
	I2	202	BP15	i_BP15	Comunicación robot
		203	OUT 1 robot	i_operacion_robot_ok	
		204	OUT 2 robot	i_ejecutando_robot	
205		QG1, QG2	i_termico_motor_1_2	Arrancadores manuales	
206		QG7, QG8, QG9	i_termico_motor_7_8_9		
207	QG3, QG6, QG4, QG5	i_termico_motor_3_6_4_5			
I3	208	SPE1, SPE2, SPE3	i_no_emergencia	Parada de emergencia	
	209	SP1	i_marcha	Marcha	
	210	SP2	i_no_paro	Paro	
	211	SS1	i_manual	Manual/Auto	
	212	SP3	i_secuencia_1	Secuencia 1	
	213	OUT 3 robot	i_robot_ok	Comunicación robot	
	214	SP5	i_secuencia_2	Secuencia 3	
	215	SP6	i_secuencia_3	Secuencia 4	

Tabla 1.13: Entradas digitales del PLC

Módulo	Cable	Elemento	Variable	Función
Q0	20	IN 1 robot	o_orden_1	Comunicación robot
	21	IN 2 robot	o_orden_2	
	22	KA3	o_motor_1_2	Relés marcha motores
	23	KA4	o_motor_7_8_9	
	24	KA5	o_motor_3_6	
	25	KA6	o_motor_4_5_avanzar	
	26	KA7	o_motor_4_5_retroceder	
	27			
Q1	120	YV1	o_YV1	Electroválvulas
	121	YV2	o_YV2	
	122	YV2-1	o_YV2_1	
	123	YV3	o_YV3	
	124	YV4	o_YV4	
	125	YV5	o_YV5	
	126	YV5-1	o_YV5_1	
	127	YV6	o_YV6	
Q2	220	YV7	o_YV7	
	221	YV8	o_YV8	
	222	YV9	o_YV9	
	223	YV10	o_YV10	
	224	YV11	o_YV11	
	225	YV12	o_YV12	
	226	YV13	o_YV13	
	227	YV14	o_YV14	
Q3	320	YV15	o_YV15	
	321	H1	o_piloto_marcha	Piloto marcha
	322	H2	o_piloto_paro	Piloto paro
	323	IN 5 robot	o_emergencia_robot	Comunicación robot
	324	IN 6 robot	o_PLC_on	
	325	IN 7 robot	o_orden_robot	
	326			
	327			

Tabla 1.14: Salidas digitales del PLC

Desde la pestaña *PLC Configuration* de Codesys, seleccionando los módulos de uno en uno, se pueden visualizar sus 8 entradas o salidas digitales, y se les puede dar el nombre deseado (Figura 1.44). Las entradas y salidas se pueden utilizar posteriormente en los distintos programas del proyecto.

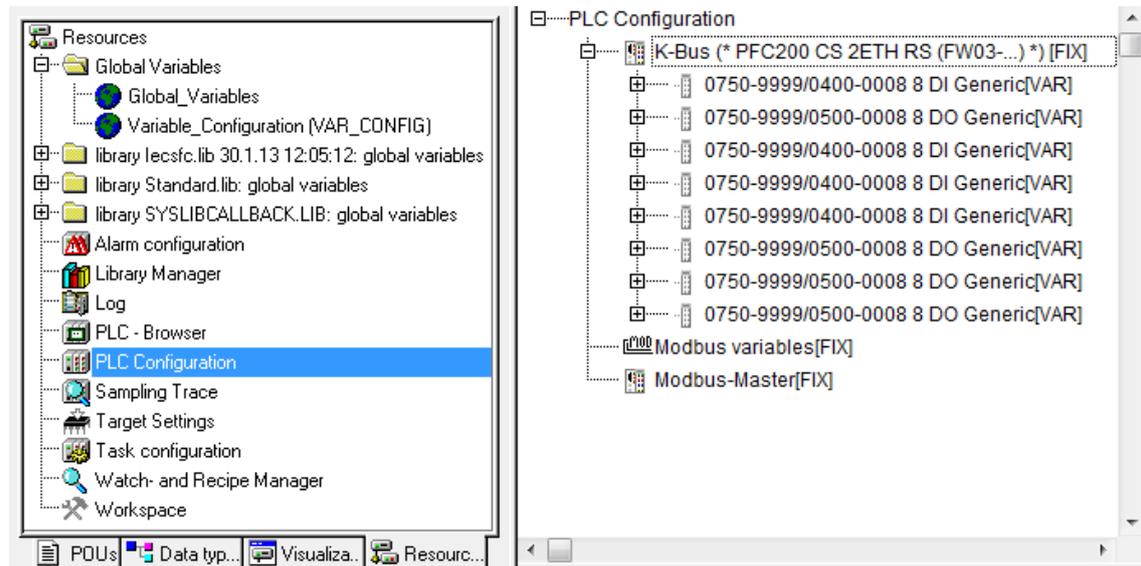


Figura 1.44: Configuración de *PLC Configuration* en Codesys

Pos.	Item Number	Description	Comment
1	750-9999/400-...	8 DI Generic	
2	750-9999/500-...	8 DO Generic	
3	750-9999/400-...	8 DI Generic	
4	750-9999/400-...	8 DI Generic	
5	750-9999/400-...	8 DI Generic	
6	750-9999/500-...	8 DO Generic	
7	750-9999/500-...	8 DO Generic	
8	750-9999/500-...	8 DO Generic	

750-9999/400-008 - 8 DI Generic			
Name	Address	Type	Comment
i_BD7	%IX0.8	BOOL	Ch_1 Digital input
i_BD10	%IX0.9	BOOL	Ch_2 Digital input
i_BD8	%IX0.10	BOOL	Ch_3 Digital input
i_BD11	%IX0.11	BOOL	Ch_4 Digital input
i_BD8_1	%IX0.12	BOOL	Ch_5 Digital input
i_BD12	%IX0.13	BOOL	Ch_6 Digital input
i_BD9	%IX0.14	BOOL	Ch_7 Digital input
i_BD12_1	%IX0.15	BOOL	Ch_8 Digital input

Figura 1.45: Asignación de nombres a las entradas y salidas del PLC

Como se observa en la figura 1.45, el orden de asignación de las entradas y salidas de Codesys no coincide con el orden dado en las tablas 1.13 y 1.14. Esto se debe a que Codesys sigue un orden distinto del utilizado para numerar los cables del sistema. El orden de asignación se puede entender mejor teniendo en cuenta la forma en que Codesys ordena las distintas entradas y salidas del PLC (Figura 1.46).

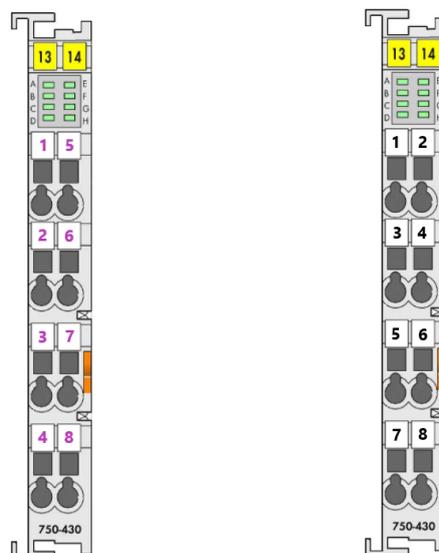


Figura 1.46: Orden de asignación de las entradas y salidas según el cableado (izquierda) y según Codesys (derecha)

Una vez configuradas las distintas entradas y salidas del PLC en Codesys, se pasa a programar el funcionamiento del sistema. De los distintos lenguajes de programación que ofrece Codesys se ha elegido el lenguaje Sequential Function Chart (SFC) debido a que guarda muchas similitudes con los diagramas de Grafset y es el lenguaje que permite una implantación más simple. Cada uno de los diagramas de Grafset se ha implementado en Codesys como un programa en lenguaje SFC. Dentro de los programas SFC, las distintas acciones de entrada y salida de los estados se han programada en el lenguaje Structured Text (ST).

Implementación de forzados en el lenguaje SFC de Codesys

El lenguaje SFC no incorpora la posibilidad de programar forzados directamente. Por tanto, los forzados entre el programa principal y el resto de programas se han programado de forma manual. Para ello, se ha utilizado la variable SFCInit. Se trata de una variable booleana que Codesys utiliza internamente para controlar la ejecución de cada uno de los programas SFC definidos en el proyecto de Codesys. Pese a ser una variable interna, esta puede ser modificada por el usuario si se declara una variable con ese nombre en cada uno de los programas SFC que se quieran controlar mediante forzado. En ese caso, se debe declarar la variable booleana SFCInit como variable de entrada en los programas que van a ser forzados, y como variable de salida en el programa desde el que se realizará el forzado. En este caso, solamente se realizan forzados desde el programa principal, que en Codesys tiene por defecto el nombre PLC_PRG. El resto de programas se activan mediante forzado desde el programa

principal, por lo que en todos ellos se ha declarado SFCInit como variable de entrada (Figura 1.47).

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR_OUTPUT
  SFCInit: BOOL;
END_VAR

VAR_INPUT
  SFCInit: BOOL;
END_VAR
```

Figura 1.47: Declaración de la variable SFCInit en el programa principal (izquierda) y en el resto de programas (derecha)

Para forzar la activación de un programa, desde el programa principal PLC_PRG se asigna un valor de 1 a la variable *programa.SFCInit*, donde *programa* es el nombre del programa que se quiere forzar. Para detener la ejecución del programa, se le asigna un valor de 0 a la variable *programa.SFCInit*. La próxima vez que se fuerce la ejecución del programa, este empezará a ejecutarse desde su estado inicial, independientemente del estado que estuviera activo cuando se detuvo su ejecución. Esta forma manual de implementar los forzados es válida en este caso de aplicación debido a que todos los forzados que se habían modelado en los diagramas de Grafset requerían que la ejecución del diagrama empezara desde su estado inicial y no desde cualquier otro de sus estados. En caso de querer implementar un forzado en que la ejecución empiece en un estado distinto al inicial, la utilización de SFCInit no cumpliría con los requerimientos deseados y habría que buscar formas alternativas de implementación, por ejemplo, mediante lenguaje Ladder Diagram (LD).

Teniendo esto en cuenta, se realiza la programación del funcionamiento del sistema siguiendo los diagramas de Grafset realizados. Los programas resultantes en SFC se muestran en el anexo 5.2. Para permitir el correcto funcionamiento de los programas creados, es necesario declarar algunas variables globales, que se muestran en la figura 1.48.

```
0001 VAR_GLOBAL
0002   SFCInit: BOOL;
0003
0004 (* Variables internas *)
0005   secuencia: INT;
0006   secuencia_ok: BOOL;
0007   movimiento: BOOL;
0008   mover_G: BOOL;
0009   A: BOOL;
0010   B: BOOL;
0011   C: BOOL;
0012   D: BOOL;
0013   E: BOOL;
0014   F: BOOL;
0015   G: BOOL;
0016   H: BOOL;
0017   I: BOOL;
0018   J: BOOL;
0019   K: BOOL;
0020   L: BOOL;
0021   M: BOOL;
0022
0023 END_VAR
0024
```

Figura 1.48: Declaración de variables globales en Codesys

Finalmente, se incorpora cada uno de los programas creados a la tarea cíclica del proyecto, que dirigirá su ejecución. Esto se realiza en la pestaña *Task Configuration* (Figura 1.49).

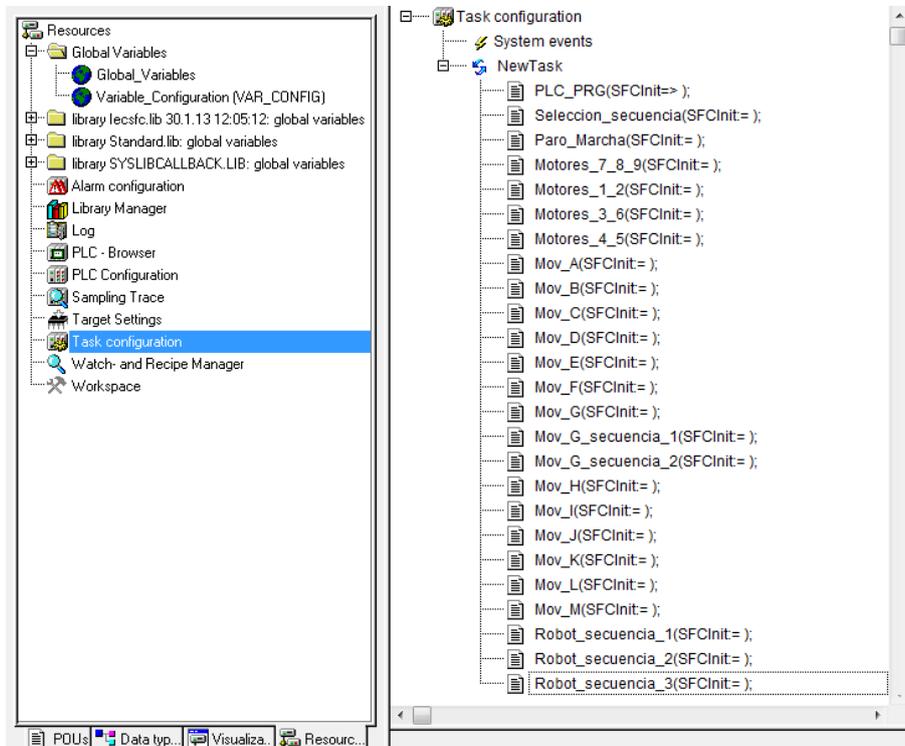


Figura 1.49: Configuración de la tarea cíclica de ejecución en Codesys

Una vez finalizada la programación, se lanza su ejecución para comprobar su correcto funcionamiento.

1.7.3. Manual de instrucciones del sistema

Se ha elaborado un manual de instrucciones del sistema que se adjunta en el anexo 5.4.

1.8. Estudio de viabilidad

1.8.1. Viabilidad técnica

La viabilidad técnica del proyecto implica que los diferentes recursos técnicos necesarios para la puesta en marcha del mismo estén disponibles. En este caso, durante el análisis de soluciones ya se ha tenido en cuenta este factor para comparar las distintas alternativas. La solución adoptada es técnicamente viable, ya que se ha podido tener acceso a los distintos recursos necesarios.

En el desarrollo general del proyecto, la viabilidad técnica está marcada por el acceso al transportador de palets y al brazo robot, así como al PLC y al resto de elementos necesarios para el correcto funcionamiento de los equipos (tomas de alimentación, red de aire comprimido, elementos del armario eléctrico, etc.).

Asimismo, ha sido necesario conocer las características de los equipos. Para ello, se han consultado las fichas técnicas de cada uno de ellos, bien a través de la página web del fabricante (módulos WAGO), bien desde los documentos en papel disponibles en el laboratorio (TS 2 plus y robot Stäubli).

Respecto a la programación del PLC, la viabilidad técnica está marcada por el acceso a un software de programación de autómatas instalado en el ordenador de control. En este caso se ha utilizado la versión 2.3 de Codesys, a la que tienen acceso los ordenadores del laboratorio. De igual modo, ha sido necesario el acceso a los softwares WAGO Ethernet Settings y WAGO-IO-PRO Demo Version, que ya estaban instalados en el ordenador de control.

1.8.2. Viabilidad económica

El análisis de viabilidad económica del proyecto tendría sentido si se pretendiera obtener algún ingreso con la puesta en marcha de las instalaciones. No es el caso, ya que serán utilizadas para uso docente. Por lo tanto, no se espera obtener ninguna rentabilidad económica del proyecto.

Pese a que no habrá ingresos derivados del proyecto, el proyecto sí permitirá aprovechar de nuevo los equipos que forman el sistema integrado, que llevaba en desuso varios años, permitiendo así sacar provecho a nivel docente de la inversión inicial realizada.

En conclusión, los beneficios del proyecto se valoran en términos de una mejor formación de los estudiantes, no en términos económicos, por lo que es difícil cuantificar estos beneficios.

1.9. Conclusiones

A lo largo del proyecto se han realizado las acciones necesarias para alcanzar el objetivo principal del proyecto: conseguir el funcionamiento automatizado del conjunto formado por el sistema de transferencia de palets y el brazo robot.

En primer lugar, se ha realizado un estudio de los equipos existentes en el laboratorio y se han evaluado las distintas alternativas para conseguir su integración. Teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes de cada alternativa, se ha elegido la solución que conseguía alcanzar los objetivos de la automatización y, a la vez, permitía reutilizar al máximo los equipos disponibles en el laboratorio. A continuación, se ha implantado la solución adoptada. Esto ha abarcado la definición del patrón de funcionamiento del sistema integrado, la realización de ajustes en las conexiones físicas del equipo de control y la programación del funcionamiento en el brazo robot y el PLC. Finalmente, se ha comprobado el buen funcionamiento del sistema y se ha elaborado un manual de instrucciones para permitir el uso del sistema para uso docente. Por tanto, el objetivo del proyecto se ha alcanzado con éxito.

Actualmente, el sistema integrado tiene programadas 3 secuencias de funcionamiento distintas, que el usuario puede seleccionar desde los pulsadores del armario eléctrico. Como trabajo futuro, se podrían plantear las siguientes vías de desarrollo:

- Para extender las posibilidades del sistema se podrían integrar en el sistema 3 sensores inteligentes que hay en el laboratorio y que actualmente no se utilizan. Estos sensores permitirían identificar de forma individual cada uno de los palets. Por tanto, se podría conseguir que la acción que realiza el robot en cada palet no dependa de la secuencia seleccionada por el usuario, sino de la lectura individual de cada palet realizada mediante los sensores inteligentes, es decir, se podría conseguir un funcionamiento más flexible del sistema integrado.
- La programación del sistema actual se ha realizado según el estándar IEC 61131, que está muy extendido a nivel industrial. El funcionamiento del sistema actual se podría implementar con un control distribuido utilizando el estándar IEC 61499, que es un estándar que todavía no se ha extendido a nivel industrial, pero ofrece mayor flexibilidad a la hora de implantar un control distribuido en un sistema. Esta vía de desarrollo permitiría conocer mejor la forma de implementar este estándar en un sistema industrial.

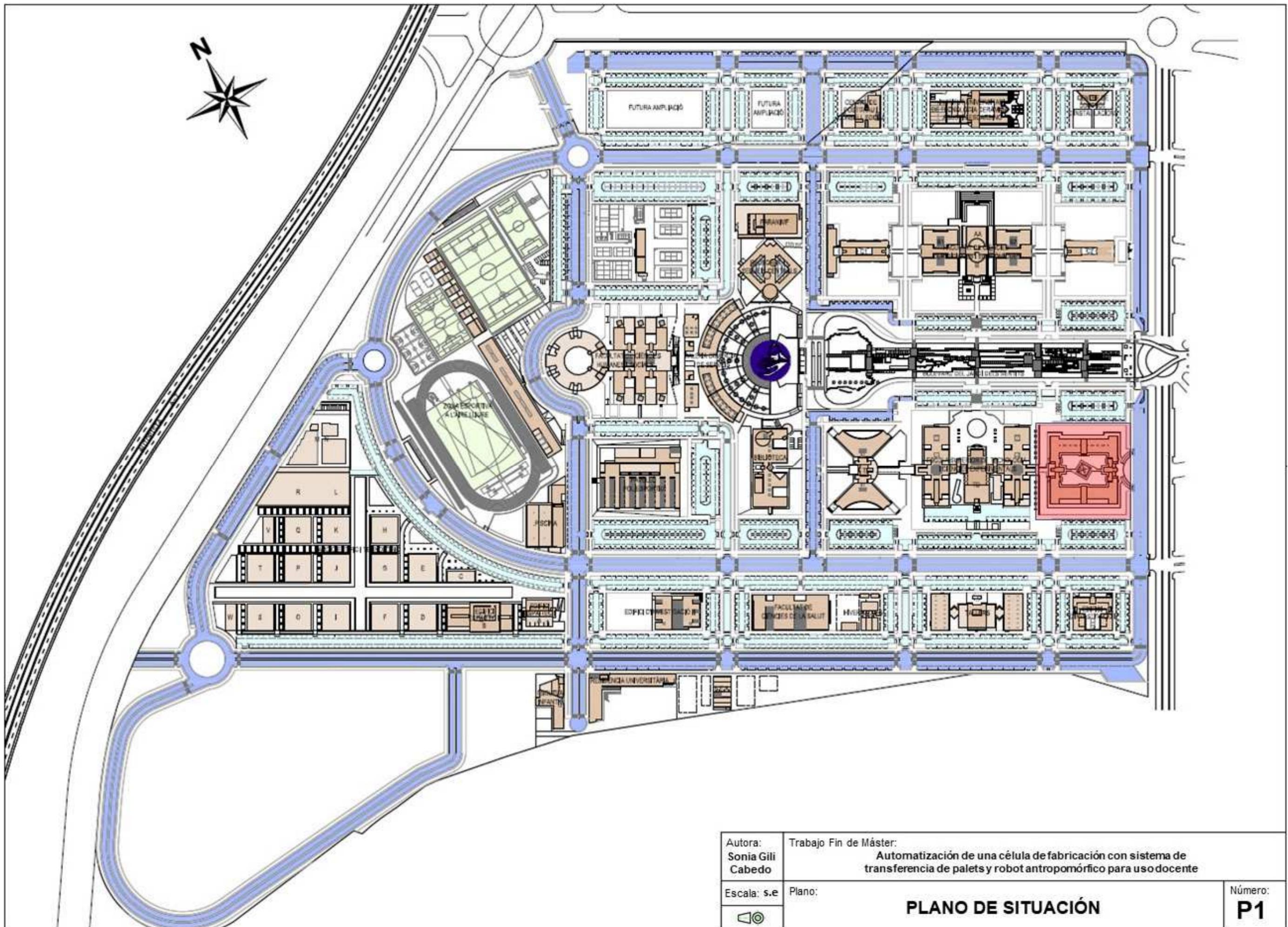
Referencias

- [1] Freixas i Ros S.L. (2000), *Documentació Transportador Automàtic de Palets*.
- [2] Saborido Monferrer, J. y Mouriño Alegre, J. (2006), *Integración de equipos para una célula de fabricación flexible*, IV Concurso de Aplicaciones Industriales OMRON.
- [3] Luna Pacho, Julio A. (2011), *Desarrollo de un Entorno Robotizado para el Montaje y Rejuntado de Paneles de Muestras de Piezas Cerámicas para su Implantación a nivel Industrial*, Proyecto Final de Carrera de Ingeniería Industrial, Univ. Jaume I.
- [4] Rios Peris, J. (2020), *Renovación del sistema de control de un sistema de transferencia de palets modular*, Trabajo Fin de Máster.
- [5] Bosch Automation (1999), *Técnica de montaje Sistema transfer TS 2plus*, versión 1.0.
- [6] Stäubli Faverges (1996), *Manual de formación V+1 - D.280.191.25 A*, Rev. A 10/97.
- [7] Stäubli S.C.A. (1995), *CS7, RX90-RX130, RX170 Electrical drawing set - D.280.040.04 B*, Rev. B 02/96.
- [8] Stäubli S.A. (1995), *Robot, RX90-RX90 L , CS7 - D.280.190.05 A*, Rev. A 11/95.
- [9] WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG (2014), *WAGO-I/O-SYSTEM 750-8202 Manual*, Version 1.1.0
<https://www.wago.com/global/d/6767>
- [10] WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG (2015), *WAGO-I/O-SYSTEM 750-430 Manual*, Version 1.3.0
<https://www.wago.com/global/d/99>
- [11] WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG (2015), *WAGO-I/O-SYSTEM 750-530 Manual*, Version 1.2.0
<https://www.wago.com/global/d/1870>
- [12] WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG (2015), *WAGO-I/O-SYSTEM 750-600 Manual*, Version 1.3.0
<https://www.wago.com/global/d/1163>
- [13] Información sobre SFCInit en Codesys:
https://help.codesys.com/api-content/2/codesys/3.5.13.0/en/_cfs_sfc_sfc_flags/

2. Planos

Índice

P1. Plano de situación	64
P2. Plano de emplazamiento	65
P3. Plano de distribución en planta	66
P4. Esquema de conexiones	67
P5. Esquema de las tarjetas SYSIO y BASICIO	68



Autora:
Sonia Gili Cabedo

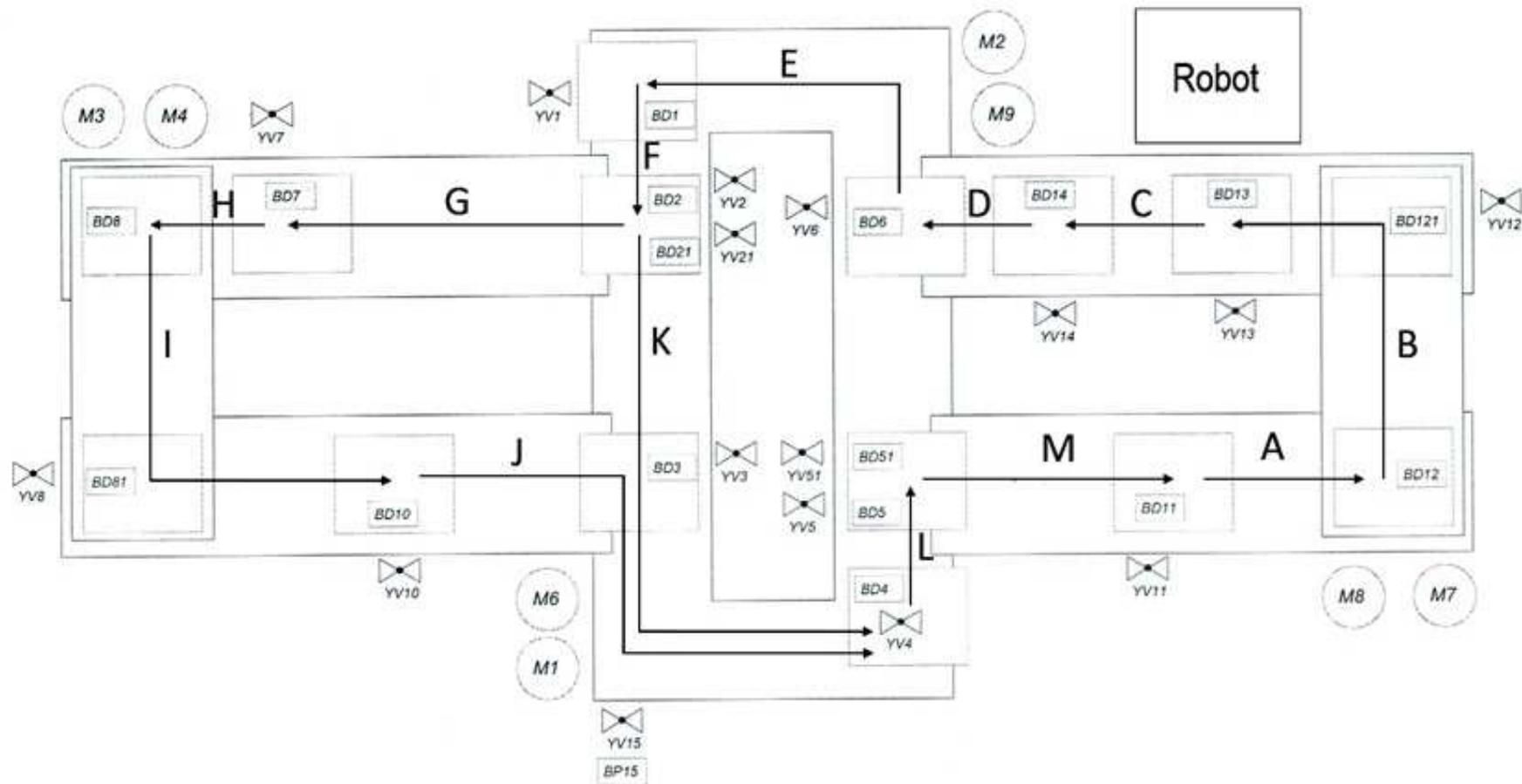
Trabajo Fin de Máster:
Automatización de una célula de fabricación con sistema de transferencia de palets y robot antropomórfico para uso docente

Escala: s.e


Plano:

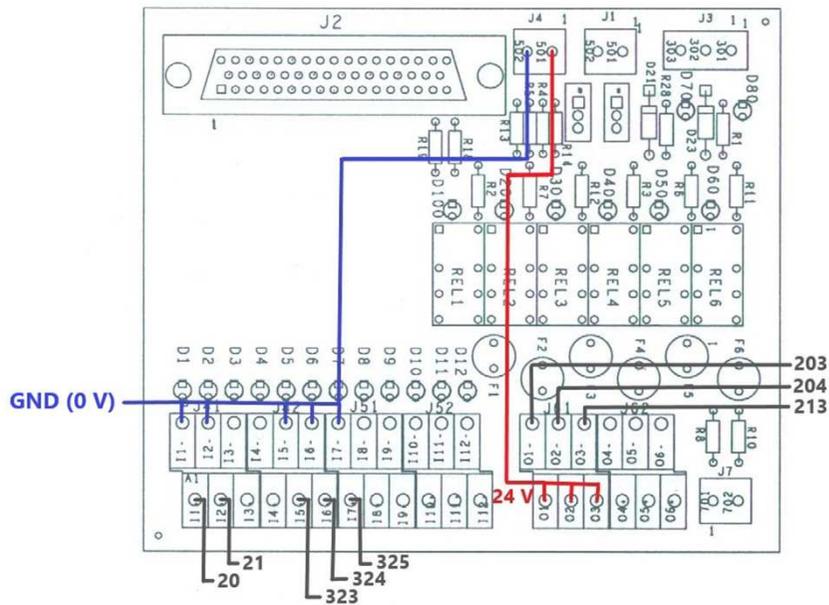
PLANO DE SITUACIÓN

Número:
P1



Autora: Sonia Gili Cabedo	Trabajo Fin de Máster: Automatización de una célula de fabricación con sistema de transferencia de palets y robot antropomórfico para uso docente	
Escala: s.e	Plano:	Número:
	PLANO DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	
		P3

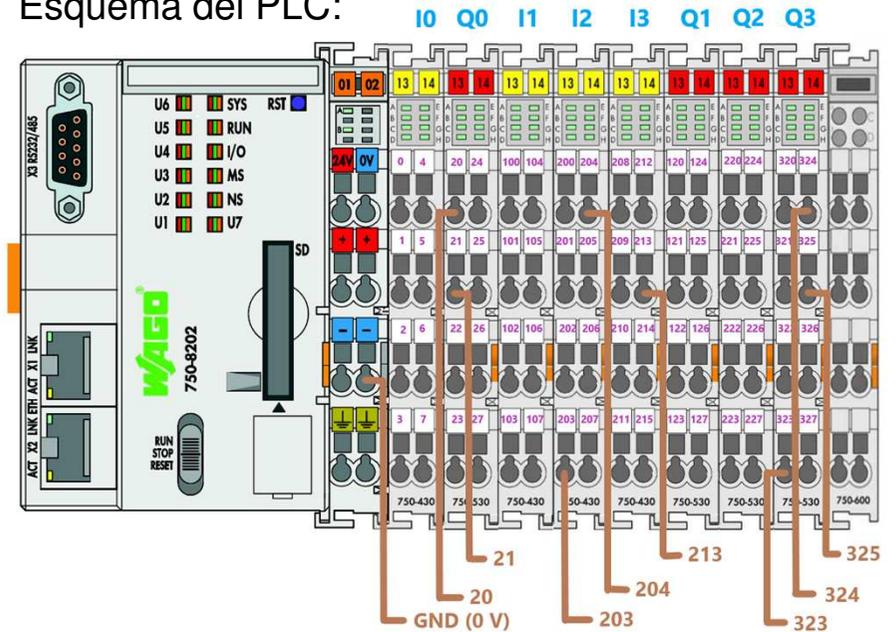
Esquema de la tarjeta BASICIO del robot:



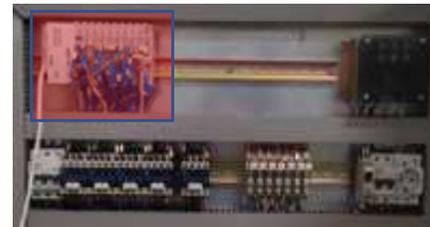
Posición de la tarjeta BASICIO en el armario de mando del robot:



Esquema del PLC:

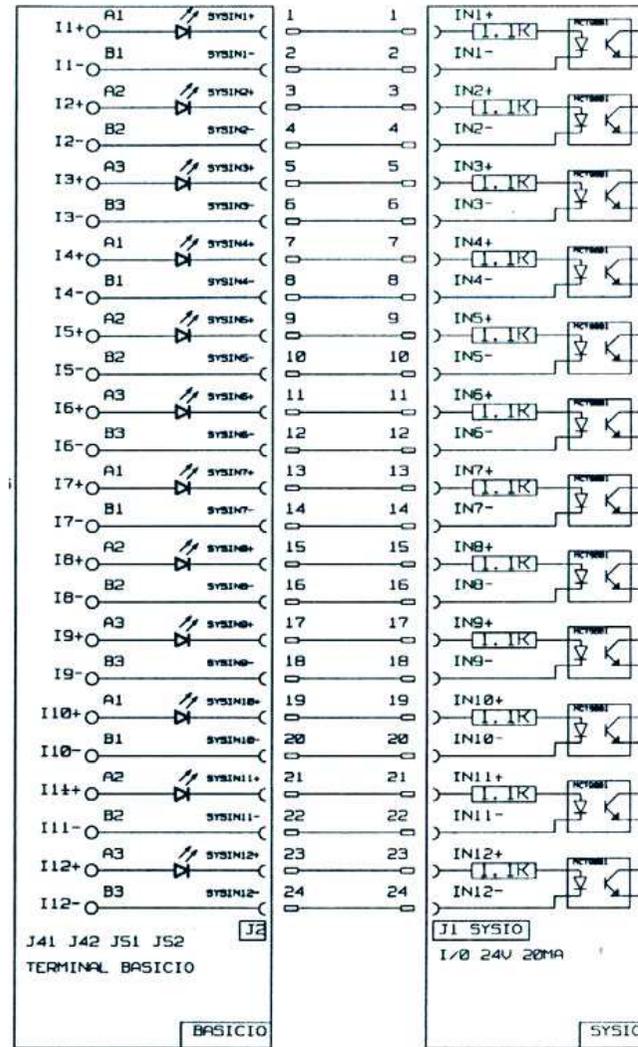
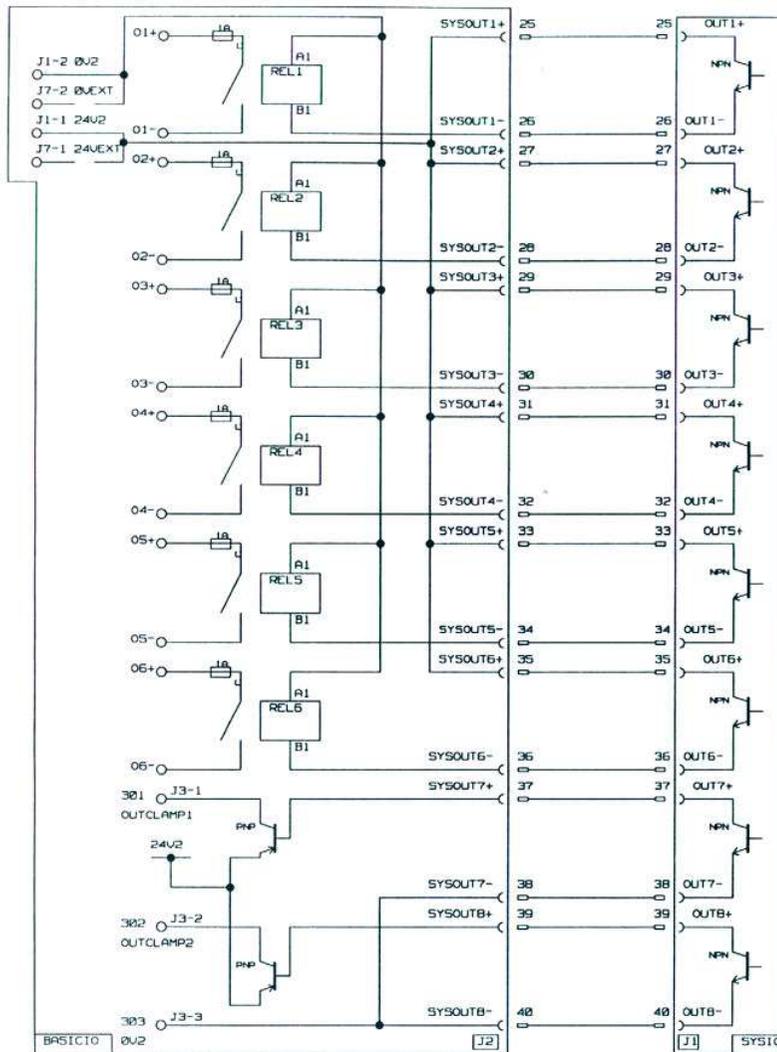


Posición del PLC en el armario eléctrico:



Cableado: cobre flexible sección entre 0,22 y 0,5 mm²

Autora: Sonia Gili Cabedo	Trabajo Fin de Máster: Automatización de una célula de fabricación con sistema de transferencia de palets y robot antropomórfico para uso docente	
Escala: s.e 	Plano: ESQUEMA DE CONEXIONES	Número: P4



Autora: Sonia Gili Cabedo	Trabajo Fin de Máster: Automatización de una célula de fabricación con sistema de transferencia de palets y robot antropomórfico para uso docente	
Escala: s.e 	Plano: ESQUEMA DE LAS TARJETAS SYSIO Y BASICIO	Número: P5

3. Pliego de condiciones

Índice

3.1. Objeto y lugar de emplazamiento	70
3.2. Personal	70
3.3. Disposiciones legales y de carácter técnico	70
3.4. Especificaciones de los materiales de la instalación y la ejecución del proyecto	70
3.4.1. Equipos informáticos	70
3.4.2. Softwares	71
3.4.3. Instalación del cableado	71
3.4.4. Elementos de control, protección y seguridad	71
3.5. Normas para la utilización de los equipos	71

En este documento se detallan las condiciones en las que se debe desarrollar el proyecto.

3.1. Objeto y lugar de emplazamiento

Las acciones llevadas a cabo en este proyecto son aquellas necesarias para la instalación y puesta a punto del sistema automatizado formado por el sistema de transferencia de palets Bosch Transfer System TS 2 plus y el brazo robot Stäubli RX90.

El sistema quedará situado en el laboratorio de Fabricación Integrada del departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño de la Universitat Jaume I, en Castellón.

3.2. Personal

El montaje de las instalaciones se ha de realizar in situ por personal cualificado.

Una vez finalizado el montaje, las instalaciones solo podrán ser utilizadas por personal con formación específica para ello. En caso de utilizarse por parte de los estudiantes, estos deberán haber sido formados previamente y deberán estar supervisados por personal cualificado durante la totalidad del tiempo de uso de las instalaciones.

3.3. Disposiciones legales y de carácter técnico

La instalación deberá adaptarse a las normas y reglamentos que le sean de aplicación según la normativa vigente y en particular a las siguientes:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

3.4. Especificaciones de los materiales de la instalación y la ejecución del proyecto

3.4.1. Equipos informáticos

Los requisitos mínimos del ordenador de control del sistema son los siguientes:

- Sistema operativo Windows 7 Professional 32 bits

- Procesador Intel Core 3
- Memoria RAM de 4GB
- Tarjeta de red con conector RJ-45
- Monitor de 19 pulgadas

3.4.2. Softwares

Los equipos informáticos deberán tener instaladas las aplicaciones siguientes necesarias para la correcta ejecución del proyecto:

- WAGO Ethernet Settings
- WAGO-IO-PRO Demo Version
- Codesys v2.3

3.4.3. Instalación del cableado

Para el cableado entre las entradas y salidas digitales del autómatas programable y del robot se utilizará cable de tipo P LC-6 C (6 hilos de 0,22 mm² de sección).

Las manipulaciones de los elementos eléctricos se realizarán según lo dispuesto en el Reglamento Eléctrico de Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

3.4.4. Elementos de control, protección y seguridad

La instalación dispondrá de los elementos de seguridad necesarios para su utilización, de acuerdo con el Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Antes de iniciar la implantación del proyecto, se comprobará el buen funcionamiento de los equipos: sistema TS 2 plus y robot Stäubli, así como de los elementos eléctricos del armario eléctrico, el ordenador de control y las conexiones a las tomas de aire comprimido del laboratorio.

Durante la primera prueba de funcionamiento del robot, se comprobará que su sistema de parada de emergencia funciona adecuadamente.

3.5. Normas para la utilización de los equipos

Antes de la puesta en marcha de los equipos, el personal cualificado encargado se asegurará de que no haya nadie en el entorno del sistema que pueda sufrir un accidente

derivado del contacto con los equipos. El robot solo se pondrá en marcha tras comprobar que no hay ninguna persona dentro de su volumen de trabajo, ni elemento con el que pueda interferir en sus desplazamientos.

El personal que utilice el sistema deberá ser formado para ello. En especial, deberá conocer los mecanismos de parada de emergencia de los que dispone el sistema y estar preparado para accionarlos si fuera necesario.

Los elementos de control del sistema y, especialmente, los pulsadores de parada de emergencia, no deben ser obstaculizados por otros elementos, de manera que no haya dificultades para poder accionarlos.

Las llaves de paso de la red de aire comprimido solo se abrirán cuando se estén utilizando los equipos. En caso contrario se mantendrán cerradas.

Se realizarán las tareas de mantenimiento necesarias en los equipos para permitir su correcto funcionamiento. En caso de detectar alguna avería se comunicará a los técnicos del laboratorio para que procedan a su reparación.

Cualquier modificación llevada a cabo en la instalación deberá cumplir con la normativa legal vigente y en particular con las disposiciones presentadas en el apartado 3.4.

4. Presupuesto

Índice

4.1. Coste de personal	74
4.2. Coste de dirección y gestión del proyecto	74
4.3. Amortizaciones y coste del software	74
4.4. Gastos complementarios	75
4.5. Coste total del proyecto	76

Los costes del proyecto se dividen en las siguientes categorías: coste de personal, coste de dirección y gestión del proyecto, amortizaciones y coste del software y gastos complementarios.

4.1. Coste de personal

El tiempo de trabajo invertido en el desarrollo del proyecto ha sido aproximadamente de 200 horas, repartidas a lo largo de 5 meses, con una dedicación media de 10 horas por semana. Para sufragar esta dedicación se ha previsto una beca a tiempo parcial (10 horas/semana) durante este período con un coste de 315 euros mensuales. Por lo tanto, el coste de personal asciende a 1.575 euros, tal y como se muestra en la Tabla 4.1.

Concepto	Meses	€/mes	Total (€)
Coste beca de investigación	5	315,00	1.575,00
		TOTAL (€)	1.575,00

Tabla 4.1: Coste de personal

4.2. Coste de dirección y gestión del proyecto

El coste de dirección y gestión del proyecto corresponde a las tareas de dirección, coordinación y gestión que realiza el director del proyecto durante la duración del mismo. Se ha estimado una dedicación media de 1 hora por semana durante los 5 meses de duración del proyecto, con un coste de 30 €/hora, con lo que el coste total asciende a 600 euros, tal y como se muestra en la Tabla 4.2.

Concepto	Horas	€/hora	Total (€)
Coste de dirección y gestión	5 x 4 = 20	30,00	600,00
		TOTAL (€)	600,00

Tabla 4.2: Coste de dirección y gestión

4.3. Amortizaciones y coste del software

Este apartado desarrolla los costes asociados a los bienes amortizables que se han utilizado en el proyecto. En el caso del brazo robot y del transportador de palets, se considera

que ya han transcurrido sus períodos de amortización (20 años), ya que fueron adquiridos hacia el año 2000. Por lo tanto, no se considera ningún coste de amortización asociado a estos equipos. Por otro lado, los softwares utilizados en el proyecto (Codesys v2.3, WAGO Ethernet Settings y WAGO-IO-PRO Demo Version) son gratuitos y se han descargado directamente desde la página web del fabricante, por lo que no se contabilizan costes de software en el proyecto.

La Tabla 4.3 muestra el coste de amortización asociado al resto de bienes amortizables utilizados en el proyecto. Se ha considerado un período de amortización de 5 años (60 meses) para el ordenador y de 10 años (120 meses) para el PLC y sus módulos. Para el cálculo de las amortizaciones se ha considerado que el tiempo de utilización de los equipos ha sido de un 25 % de su disponibilidad (10 horas/semana) durante 5 meses, lo cual equivale a 1,25 meses de utilización. El coste total de amortización asciende a 24,65 euros.

Concepto	Coste (€/ud.)	Cantidad	Período de amortización (meses)	Tiempo de utilización (meses)	Amortización (€)
Ordenador de control	700,00	1	60	1,25	14,58
PLC WAGO 750-8202	588,08	1	120	1,25	6,13
Módulo WAGO 750-430	44,41	4	120	1,25	1,85
Módulo WAGO 750-530	50,11	4	120	1,25	2,09
TOTAL (€)					24,65

Tabla 4.3: Coste de amortización

4.4. Gastos complementarios

En este apartado se indican los gastos complementarios del proyecto, en los que se incluye el coste de los materiales auxiliares que han sido utilizados en el proyecto y que se detallan en la Tabla 4.4. El coste de los gastos complementarios asciende a 100 euros.

Concepto	Coste (€)
Coste del cableado y pequeño material	100,00
TOTAL (€)	100,00

Tabla 4.4: Gastos complementarios

4.5. Coste total del proyecto

El coste total del proyecto es la suma de cada uno de los costes detallados anteriormente. El coste total del proyecto, mostrado en la Tabla 4.5, asciende a 2.299,65 euros.

Concepto	Total (€)
Coste de personal	1.575,00
Coste de dirección y gestión	600,00
Coste de amortización	24,65
Gastos complementarios	100,00
TOTAL (€)	2.299,65

Tabla 4.5: Coste total del proyecto

5. Anexos

Índice

5.1. Anexo I: Diagramas de Grafcet	78
5.2. Anexo II: Programas en Codesys	90
5.3. Anexo III: Código del robot	99
5.4. Anexo IV: Manual de instrucciones del sistema	104

5.1. Anexo I: Diagramas de Grafet

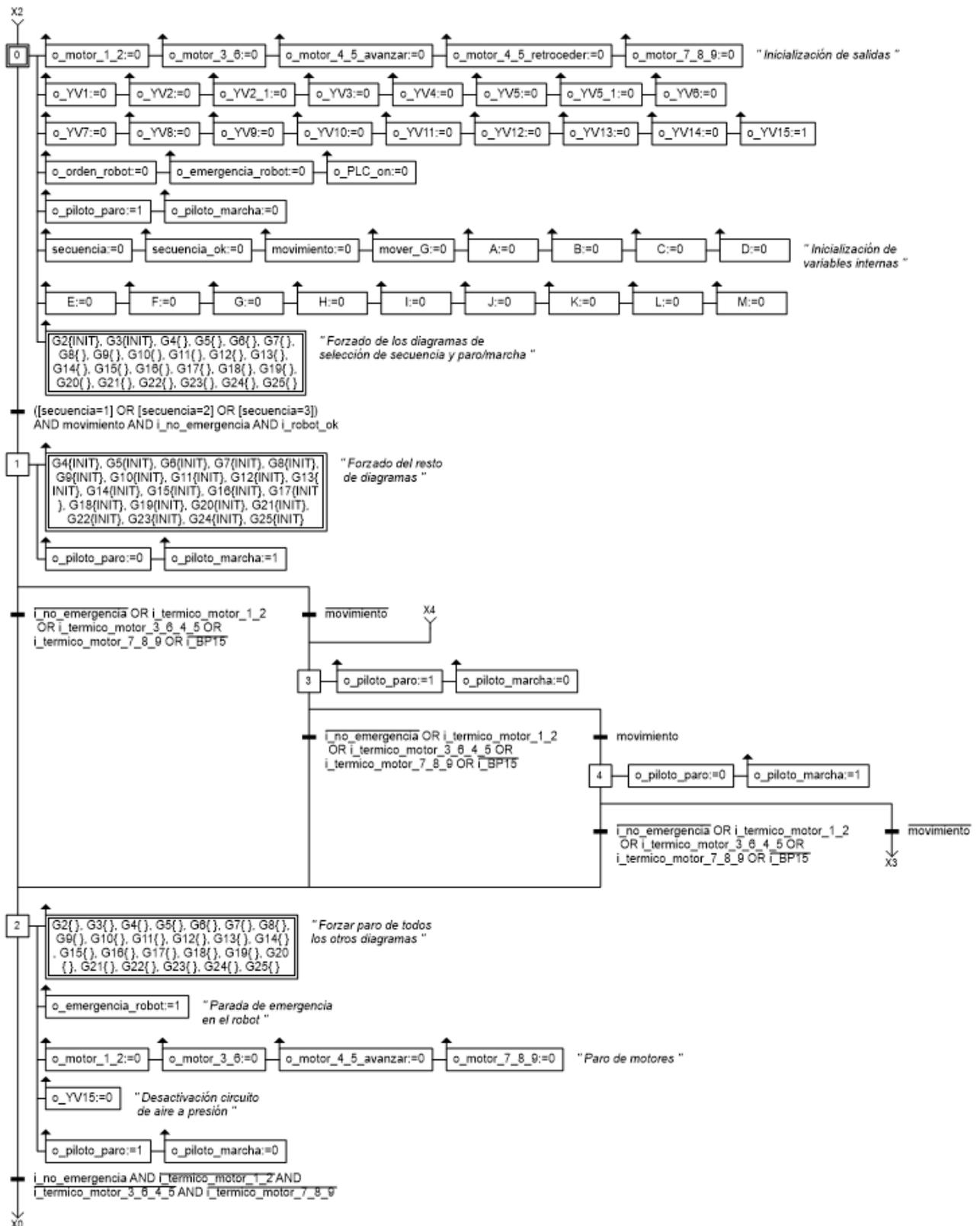


Figura 5.1: Diagrama principal (G1)

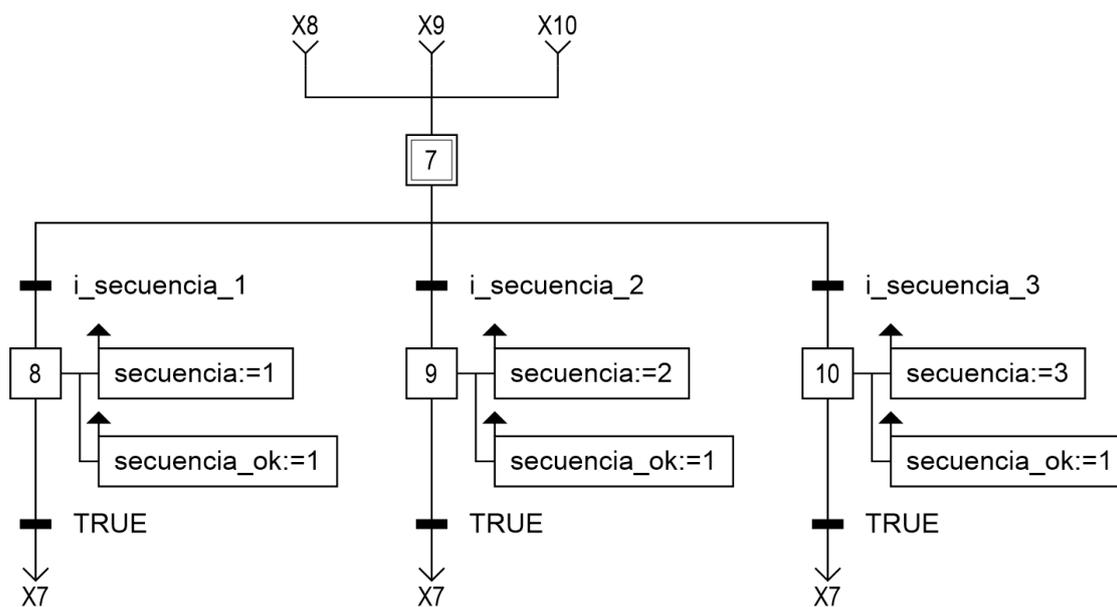


Figura 5.2: Diagrama de selección de secuencia (G2)

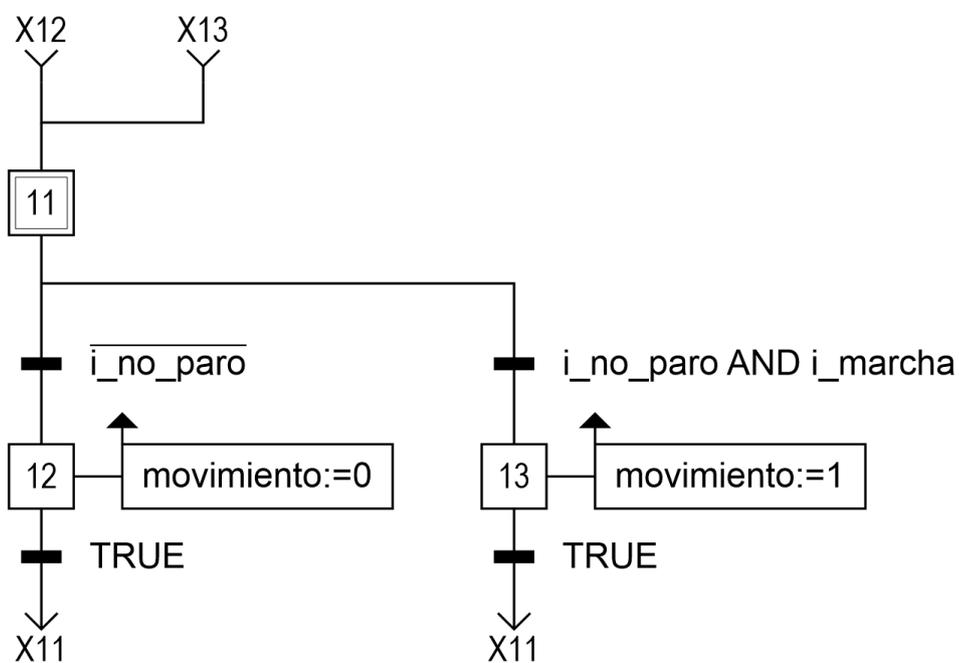


Figura 5.3: Diagrama de selección de paro o marcha (G3)

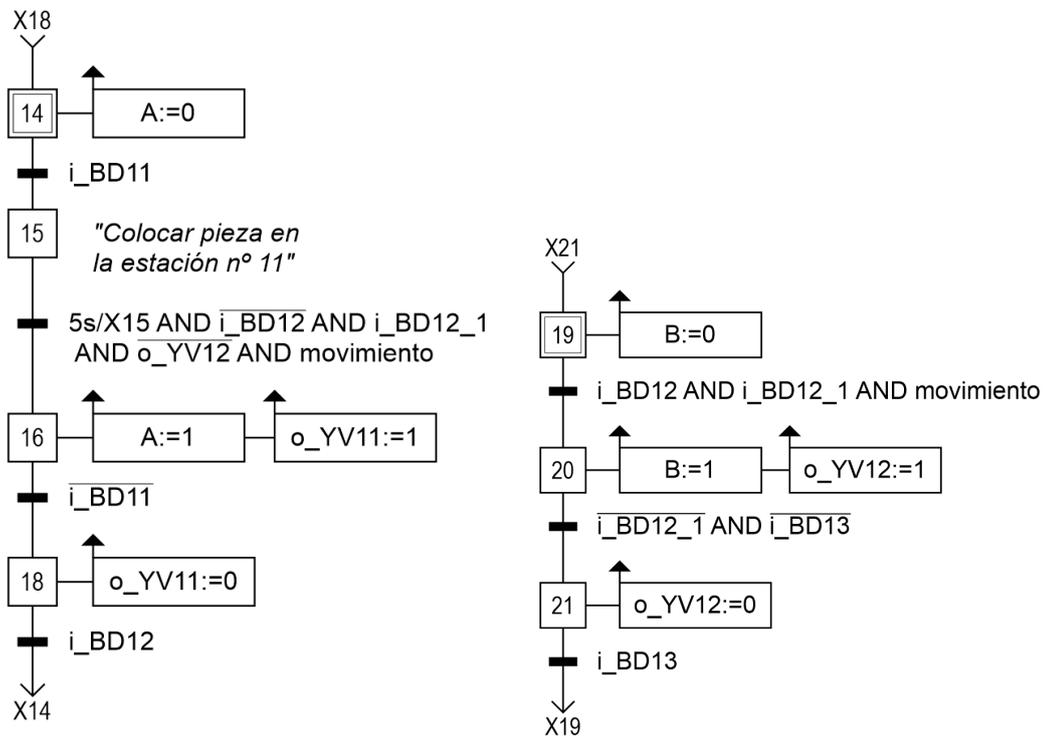


Figura 5.4: Diagramas de movimientos básicos (G4, G5)

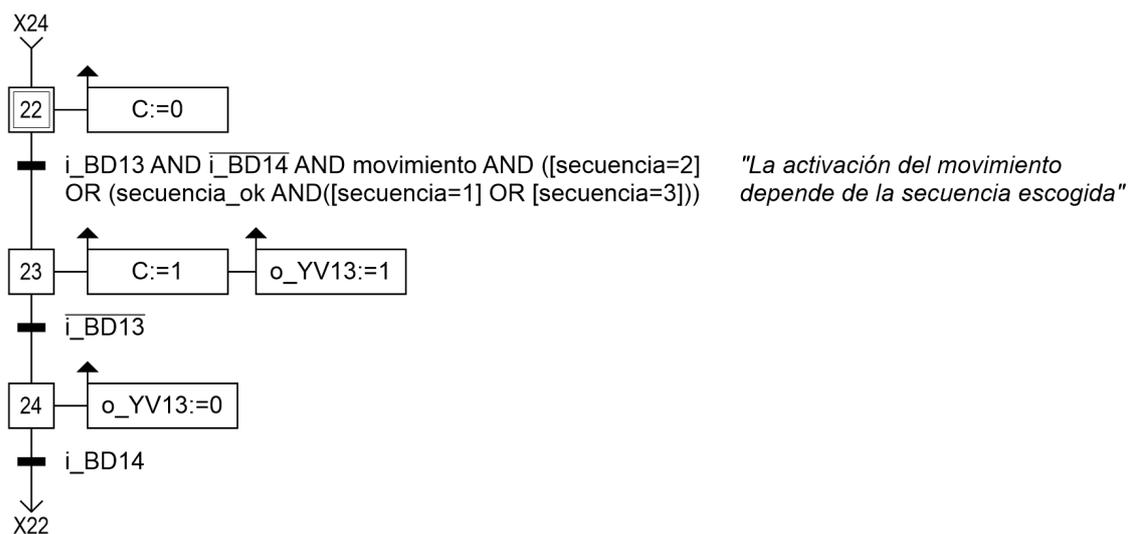


Figura 5.5: Diagrama de movimiento básico (G6)

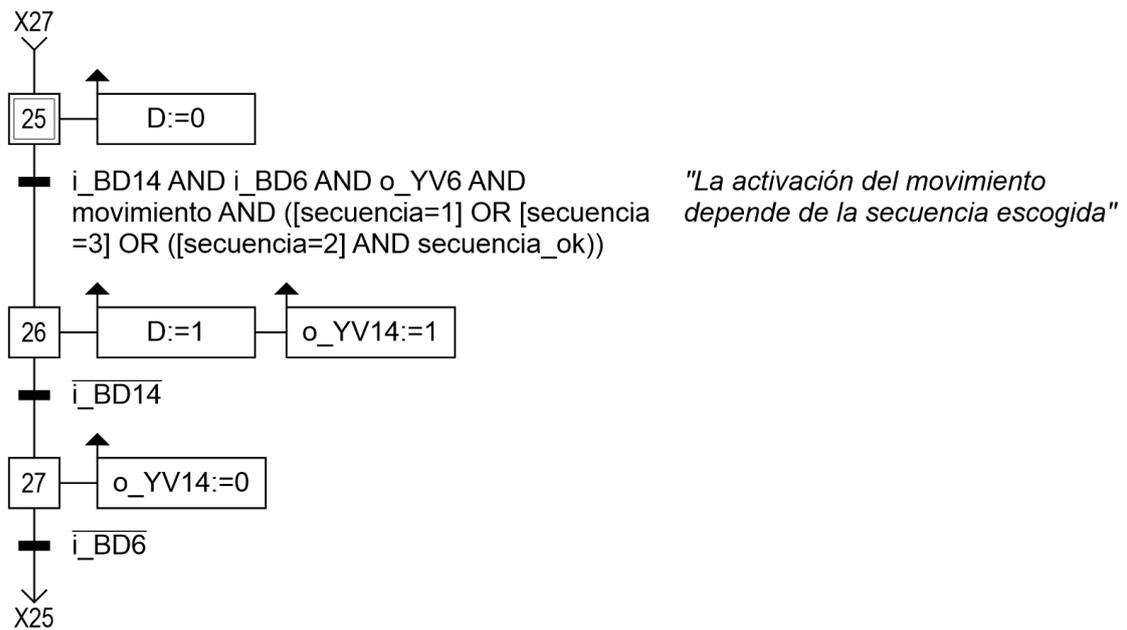


Figura 5.6: Diagrama de movimiento básico (G7)

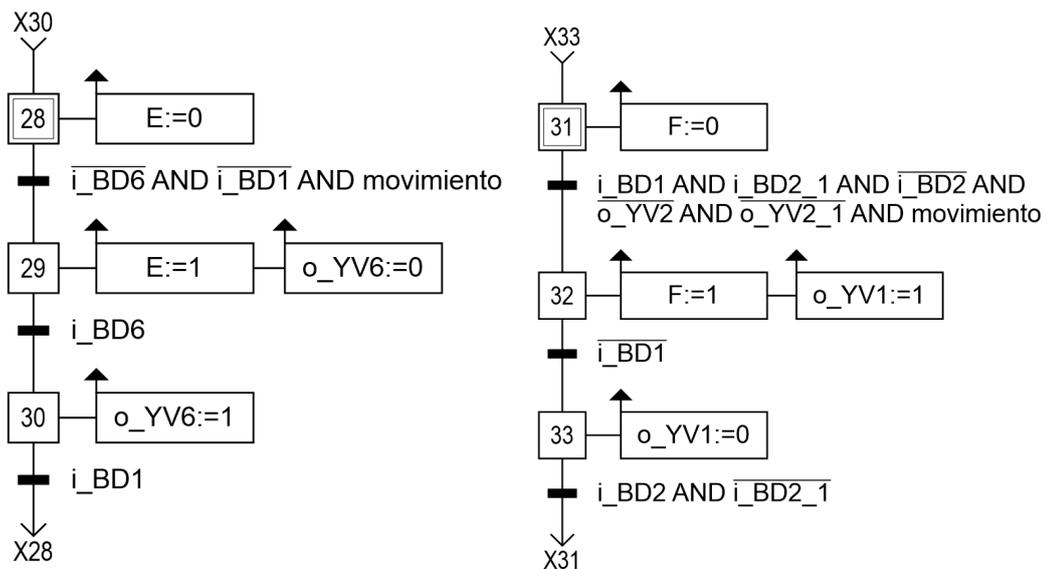


Figura 5.7: Diagramas de movimientos básicos (G8, G9)

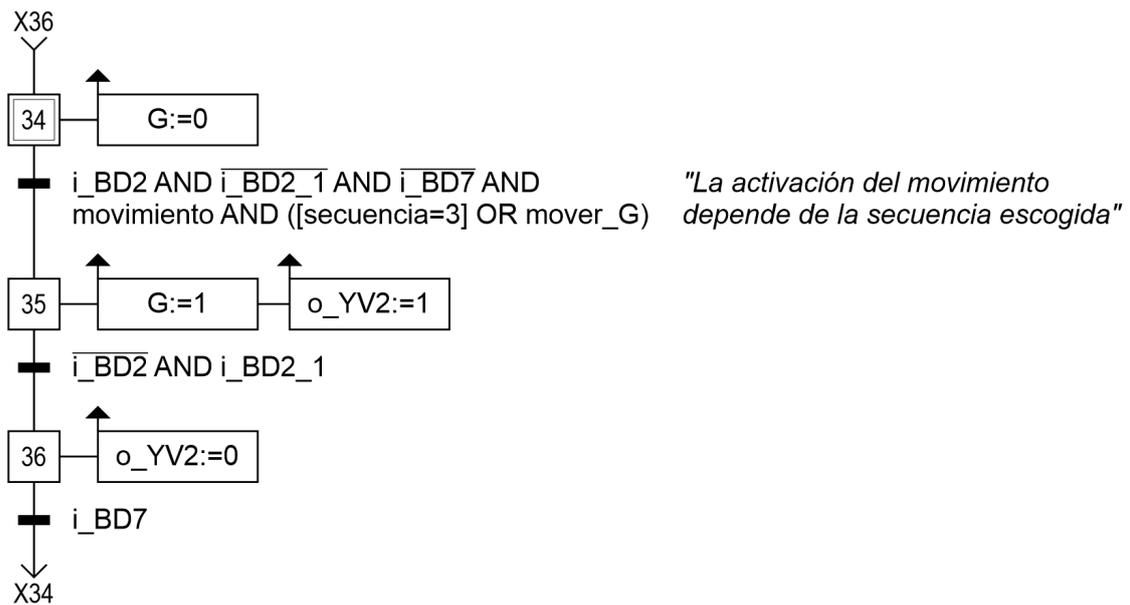


Figura 5.8: Diagrama de movimiento básico (G10)

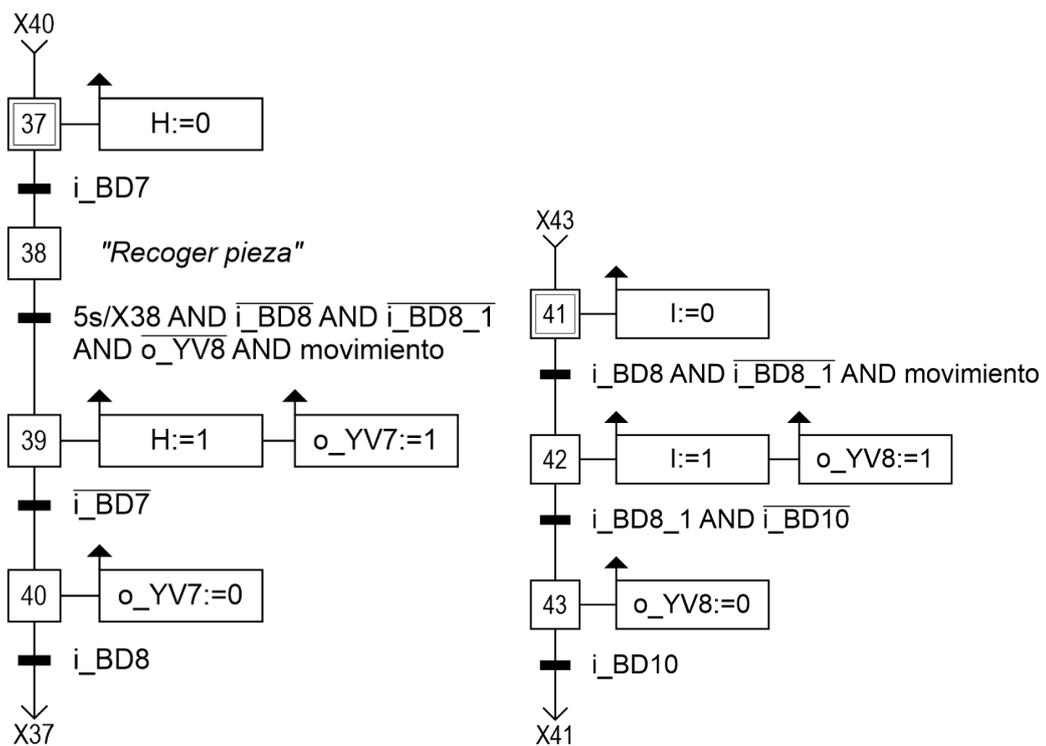


Figura 5.9: Diagramas de movimientos básicos (G11, G12)

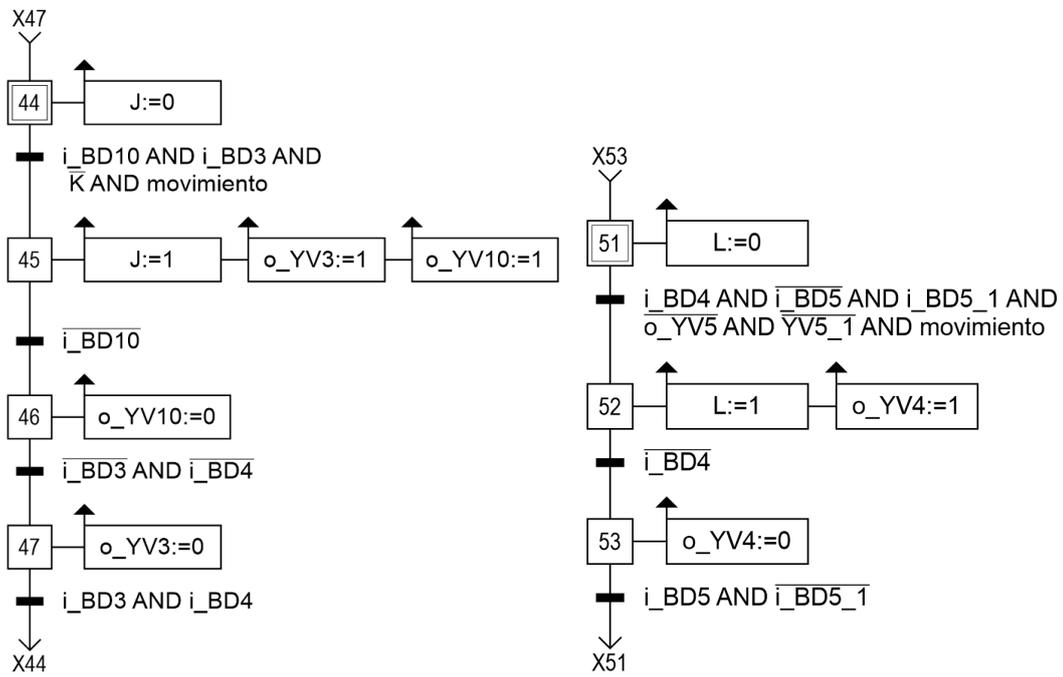


Figura 5.10: Diagramas de movimientos básicos (G13, G15)

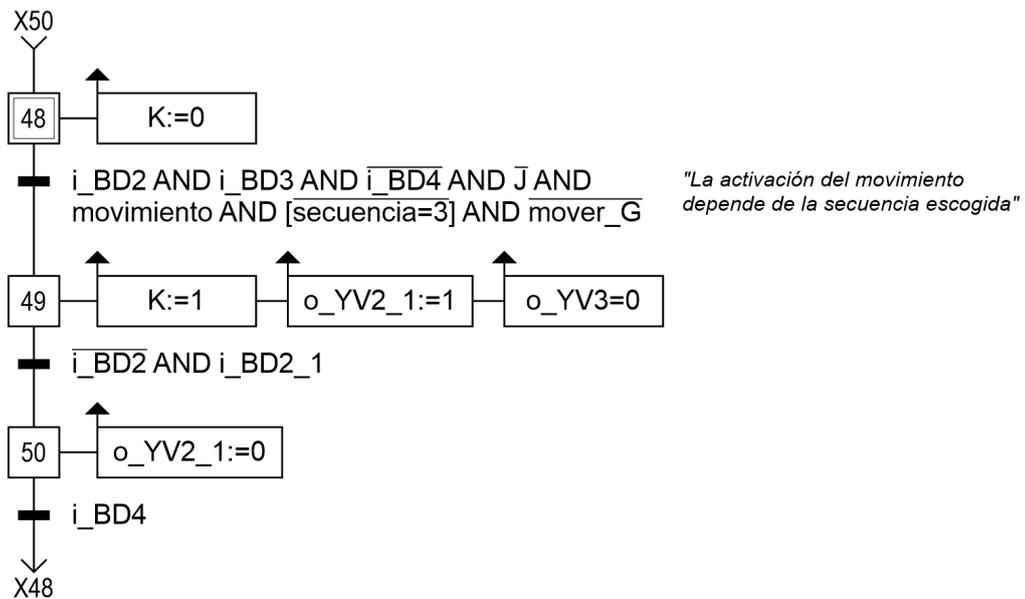


Figura 5.11: Diagrama de movimiento básico (G14)

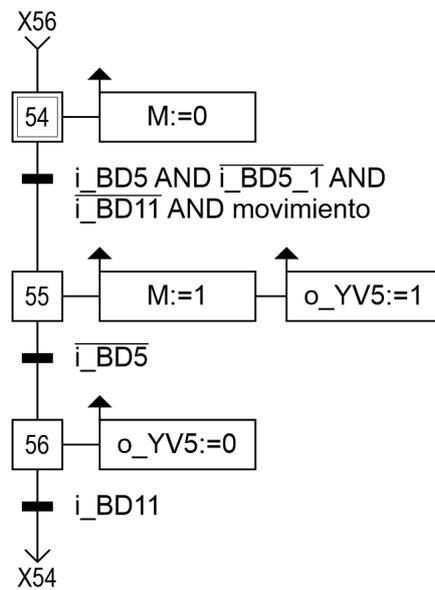


Figura 5.12: Diagrama de movimiento básico (G16)

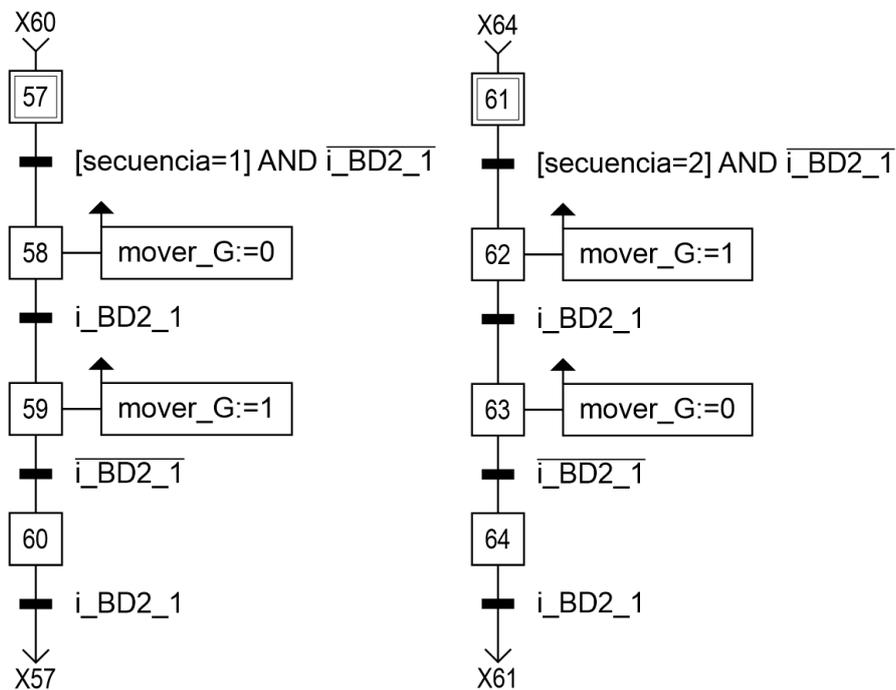


Figura 5.13: Diagramas de movimientos básicos (G17, G18)

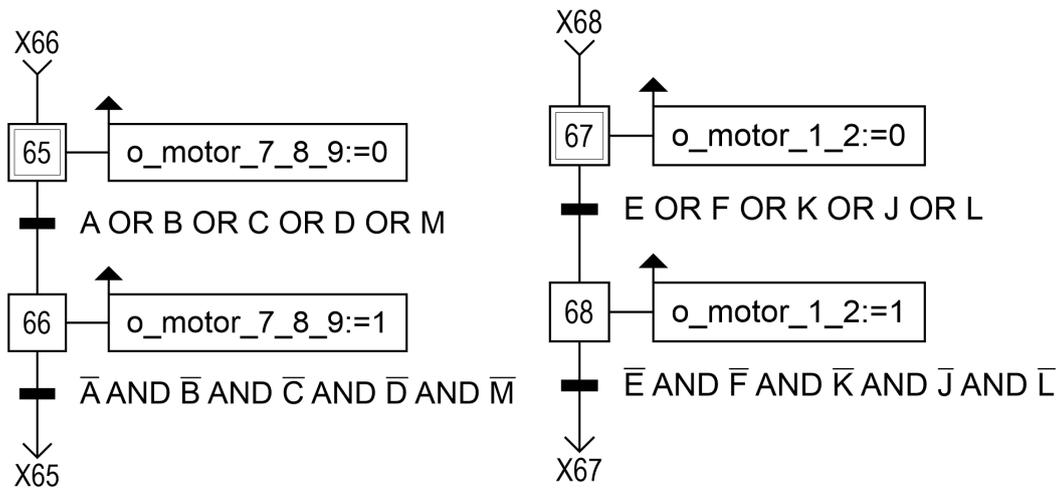


Figura 5.14: Diagramas de funcionamiento de los motores (G19, G20)

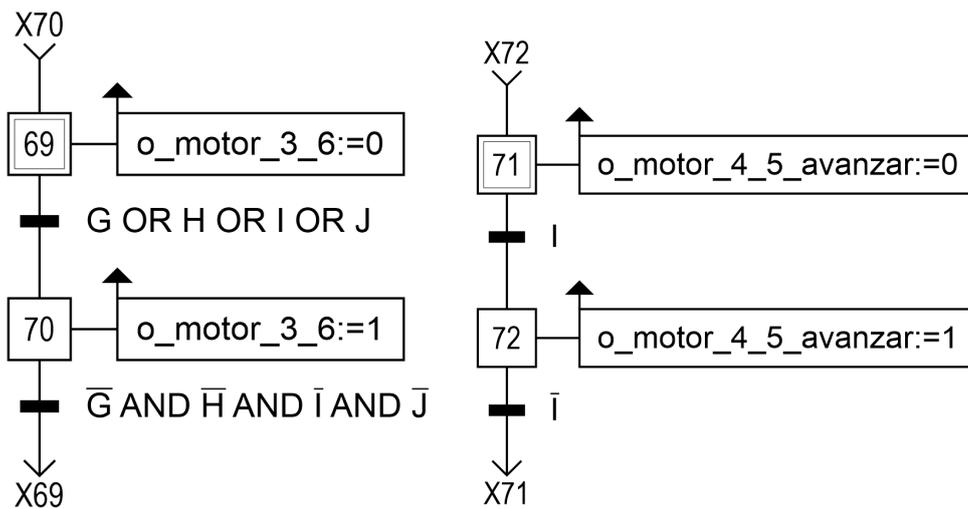


Figura 5.15: Diagramas de funcionamiento de los motores (G21, G22)

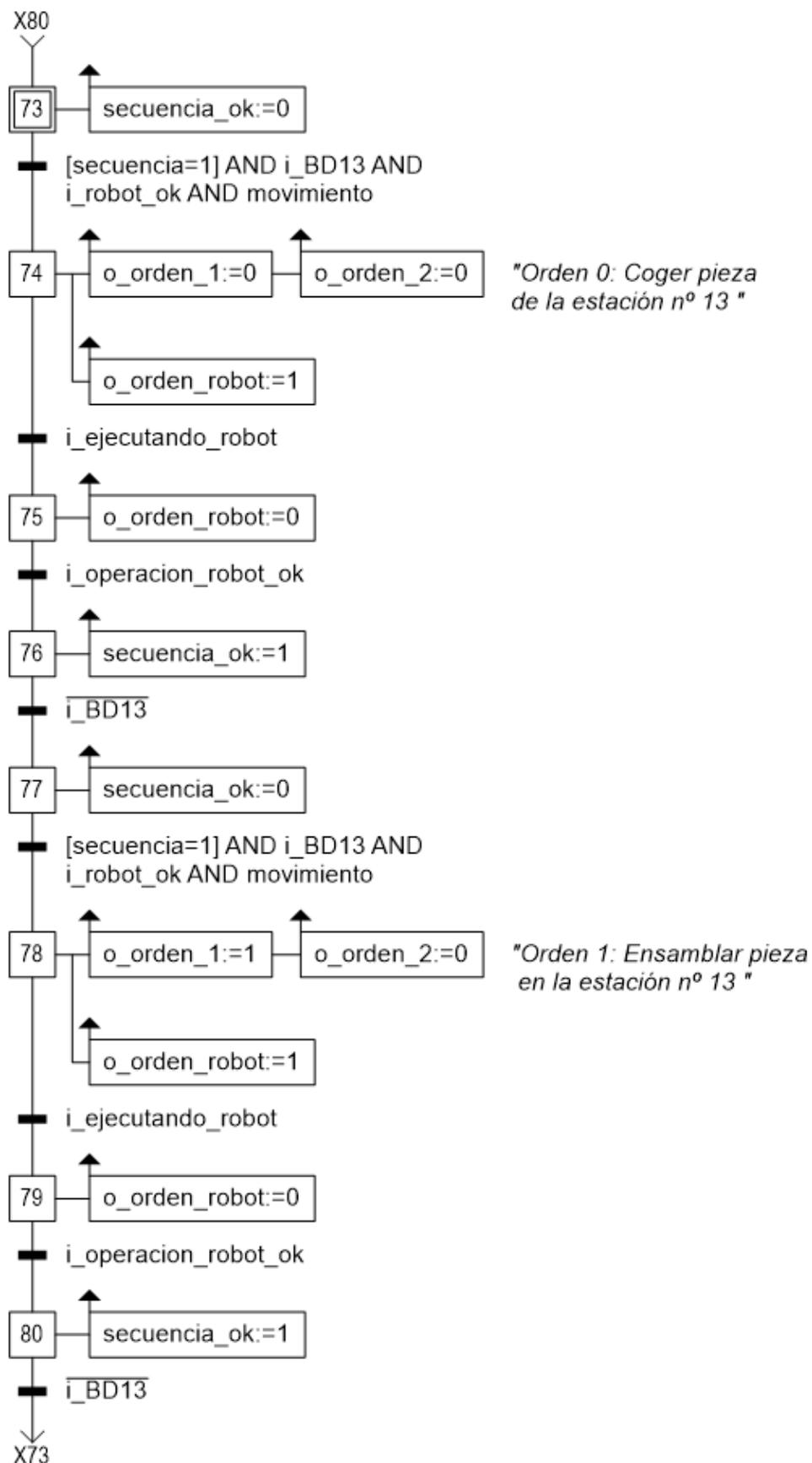


Figura 5.16: Diagrama de funcionamiento del robot (G23)



Figura 5.17: Diagrama de funcionamiento del robot (G24)

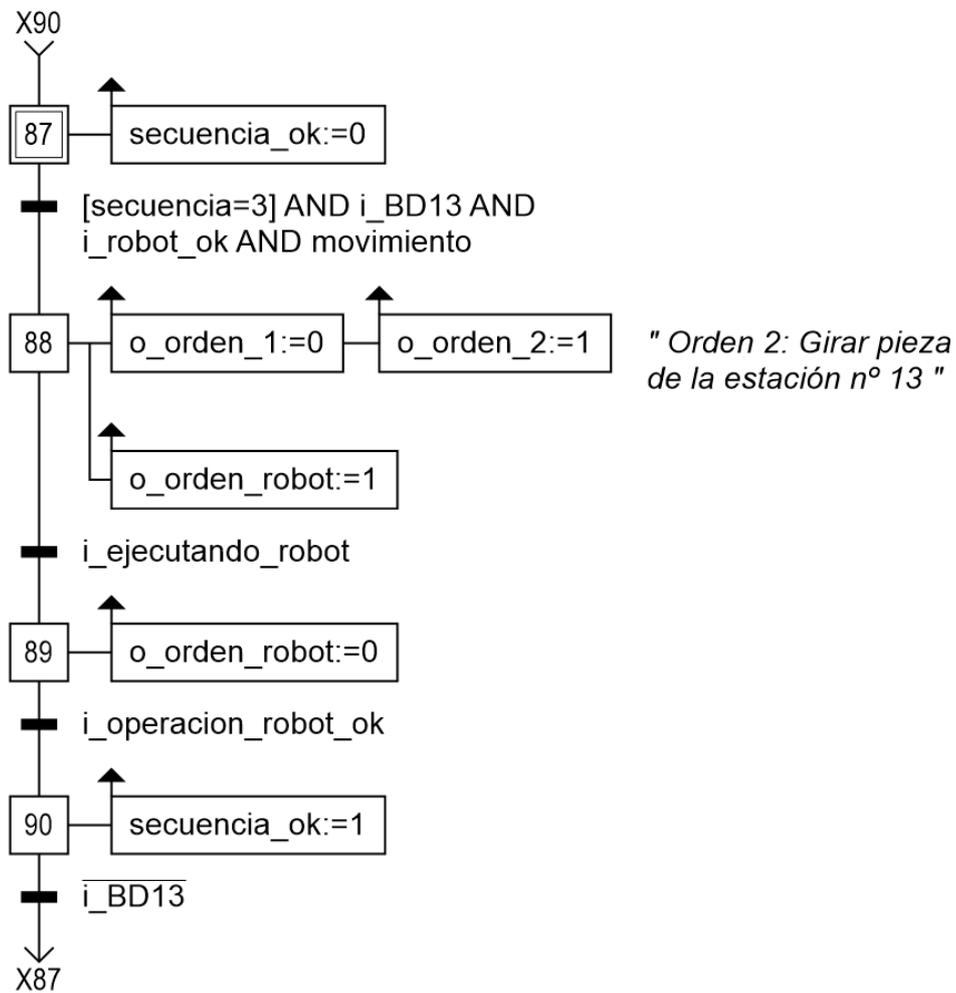


Figura 5.18: Diagrama de funcionamiento del robot (G25)

5.2. Anexo II: Programas en Codesys

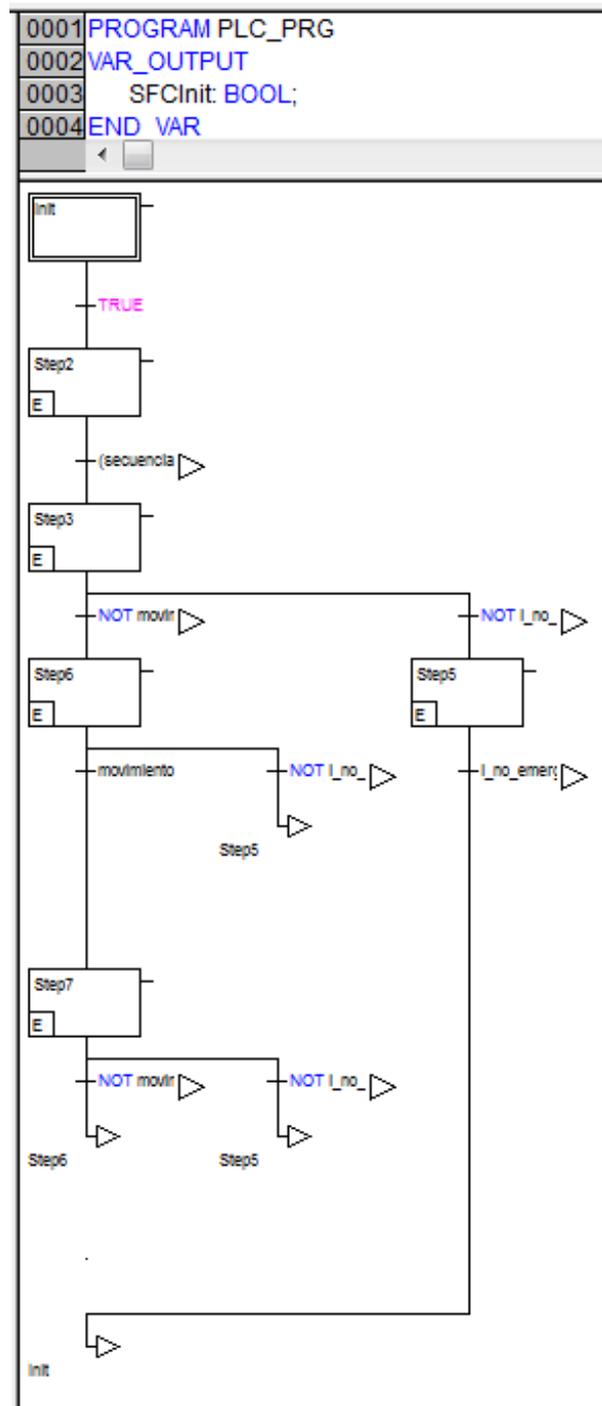


Figura 5.19: Programa principal: PLC_PRG

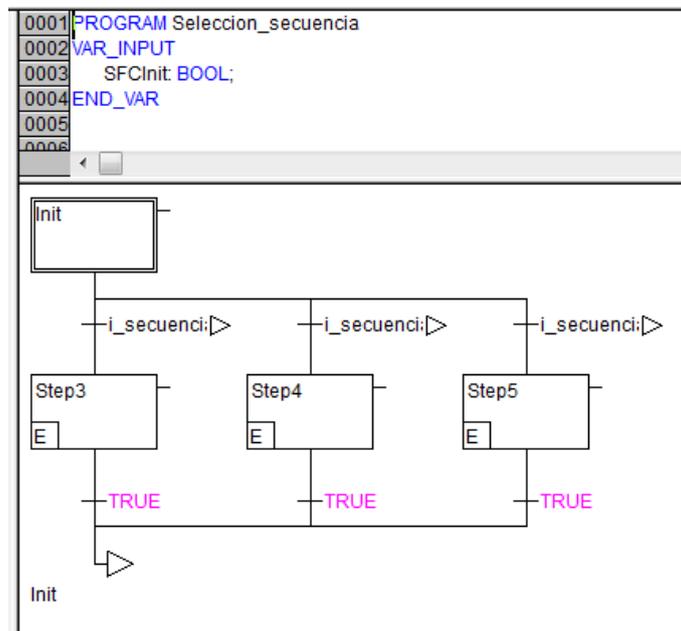


Figura 5.20: Programa de selección de secuencia: Seleccion_secuencia

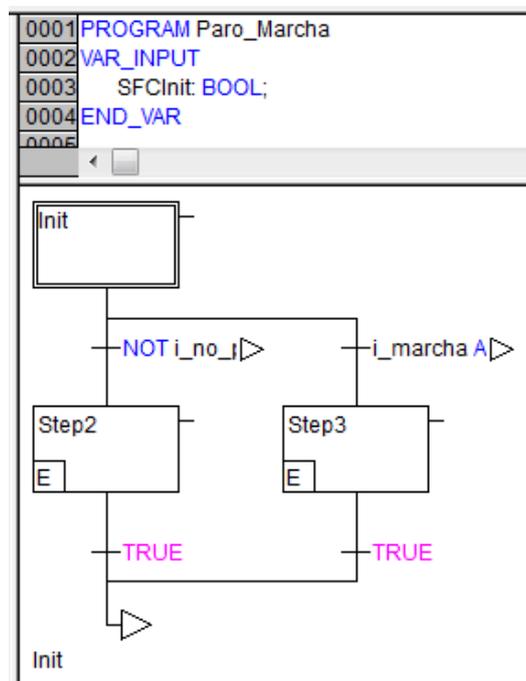


Figura 5.21: Programa de selección de paro o marcha: Paro_Marcha

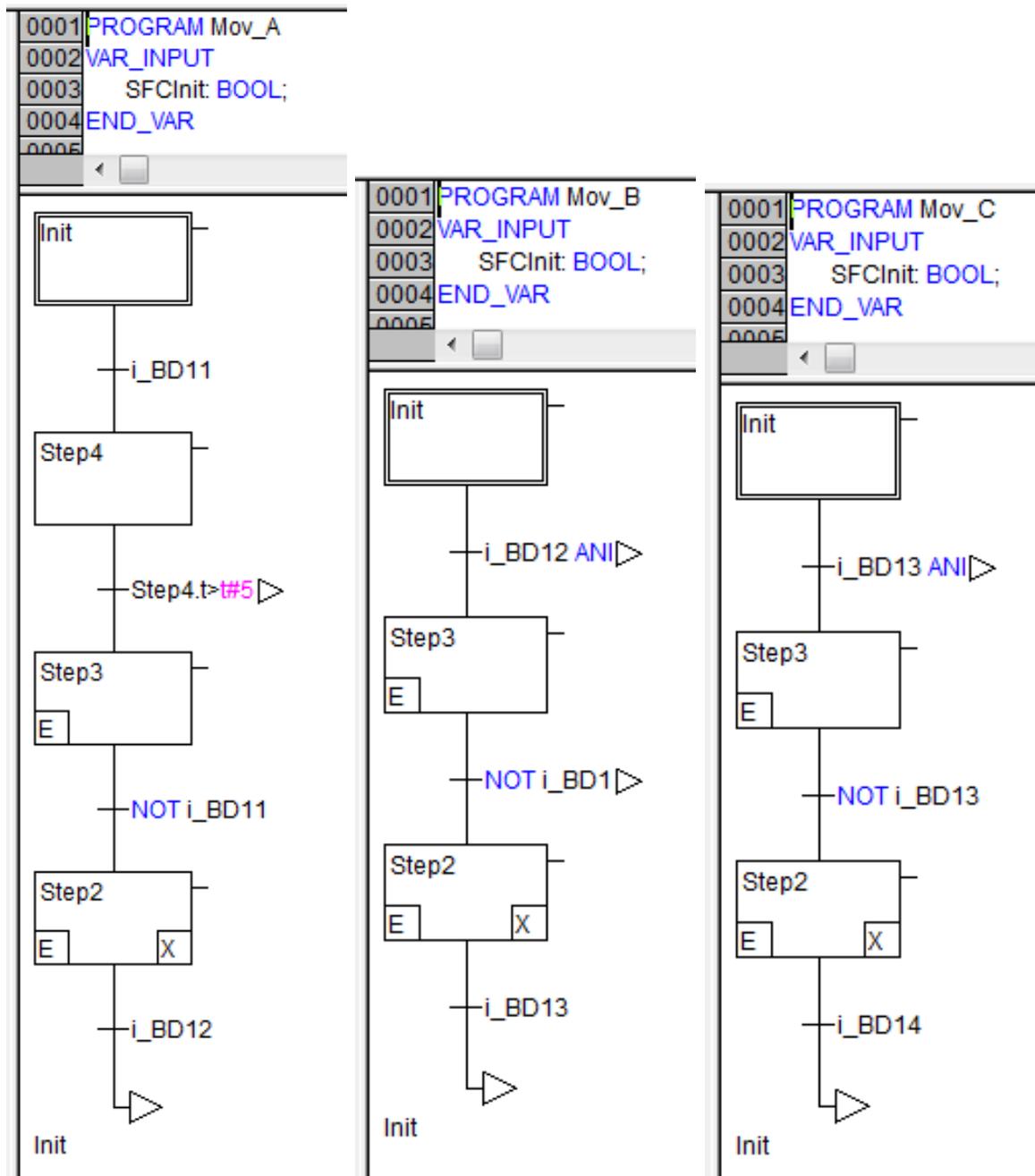


Figura 5.22: Programas de movimientos básicos: Mov_A, Mov_B, Mov_C

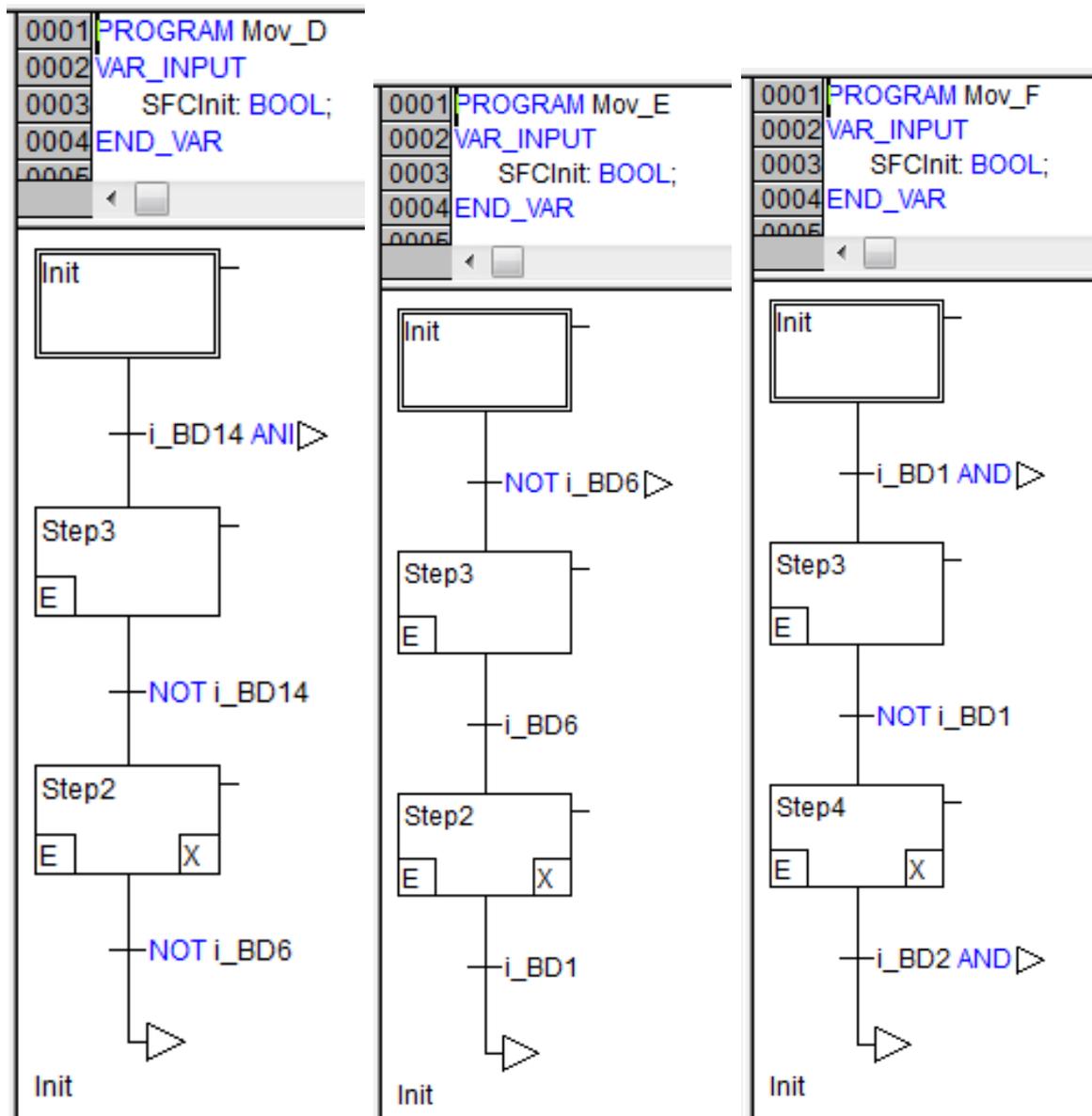


Figura 5.23: Programas de movimientos básicos: Mov_D, Mov_E, Mov_F

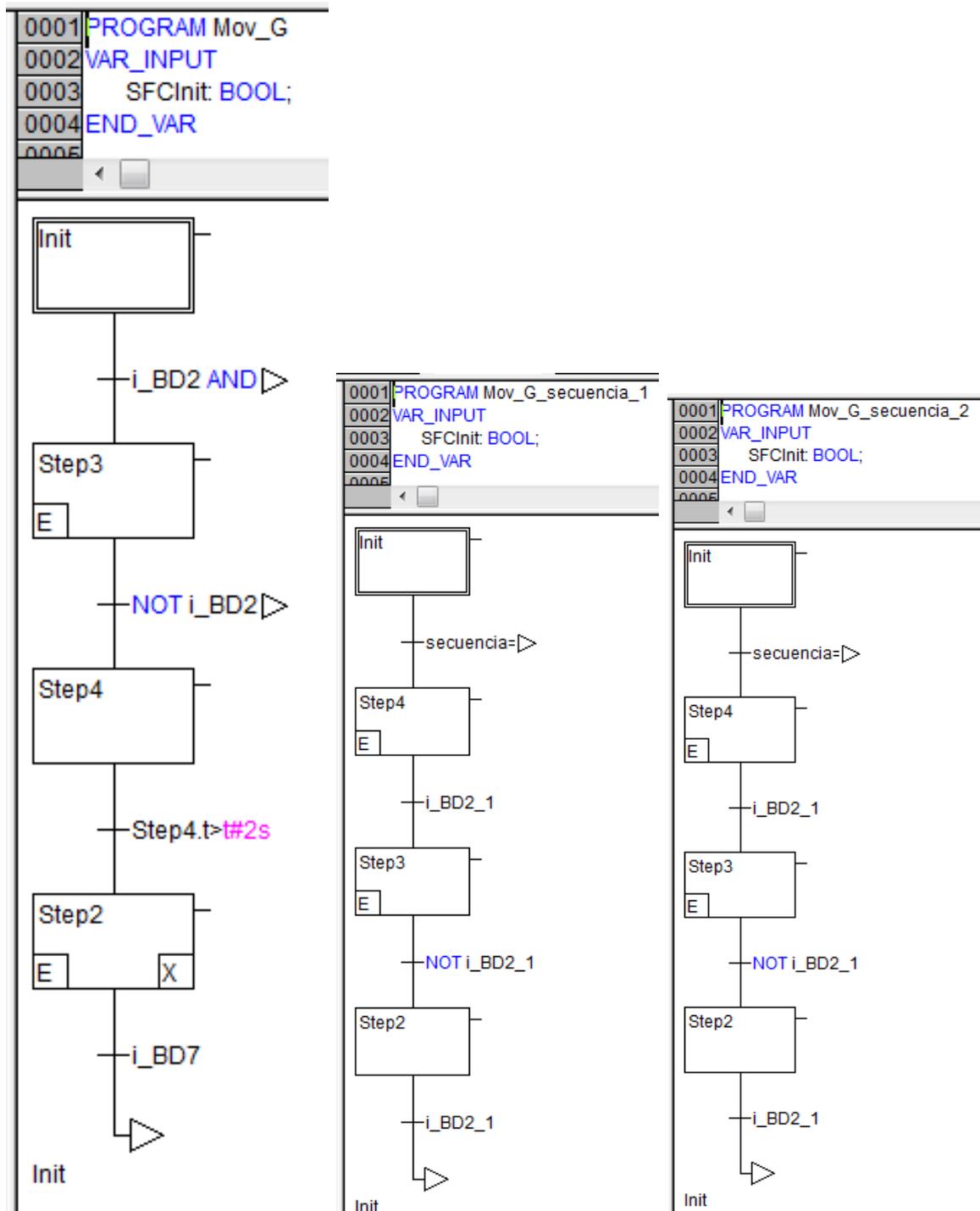


Figura 5.24: Programas de movimientos básicos: Mov_G, Mov_G_sec_1, Mov_G_sec_2

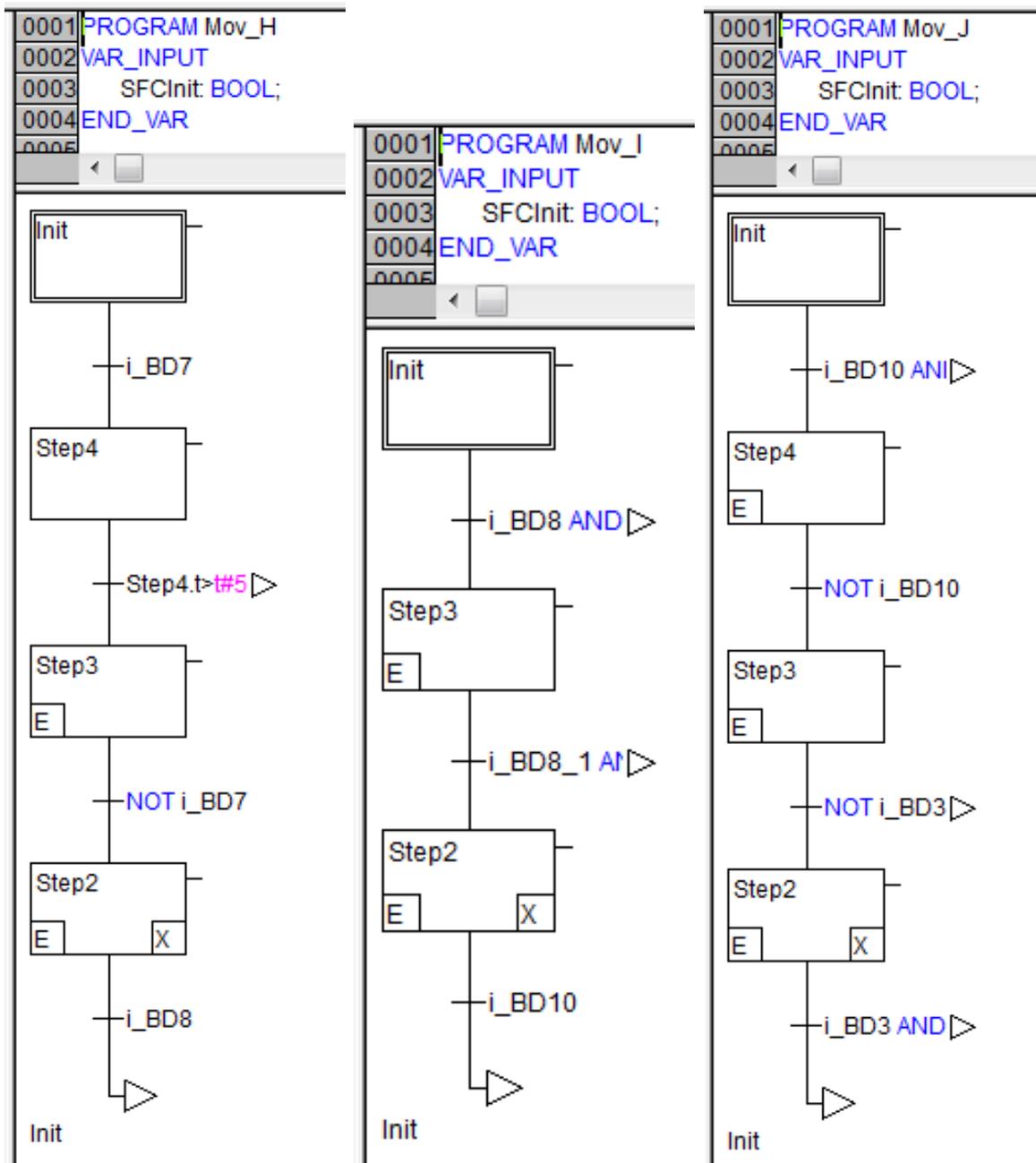


Figura 5.25: Programas de movimientos básicos: Mov_H, Mov_I, Mov_J

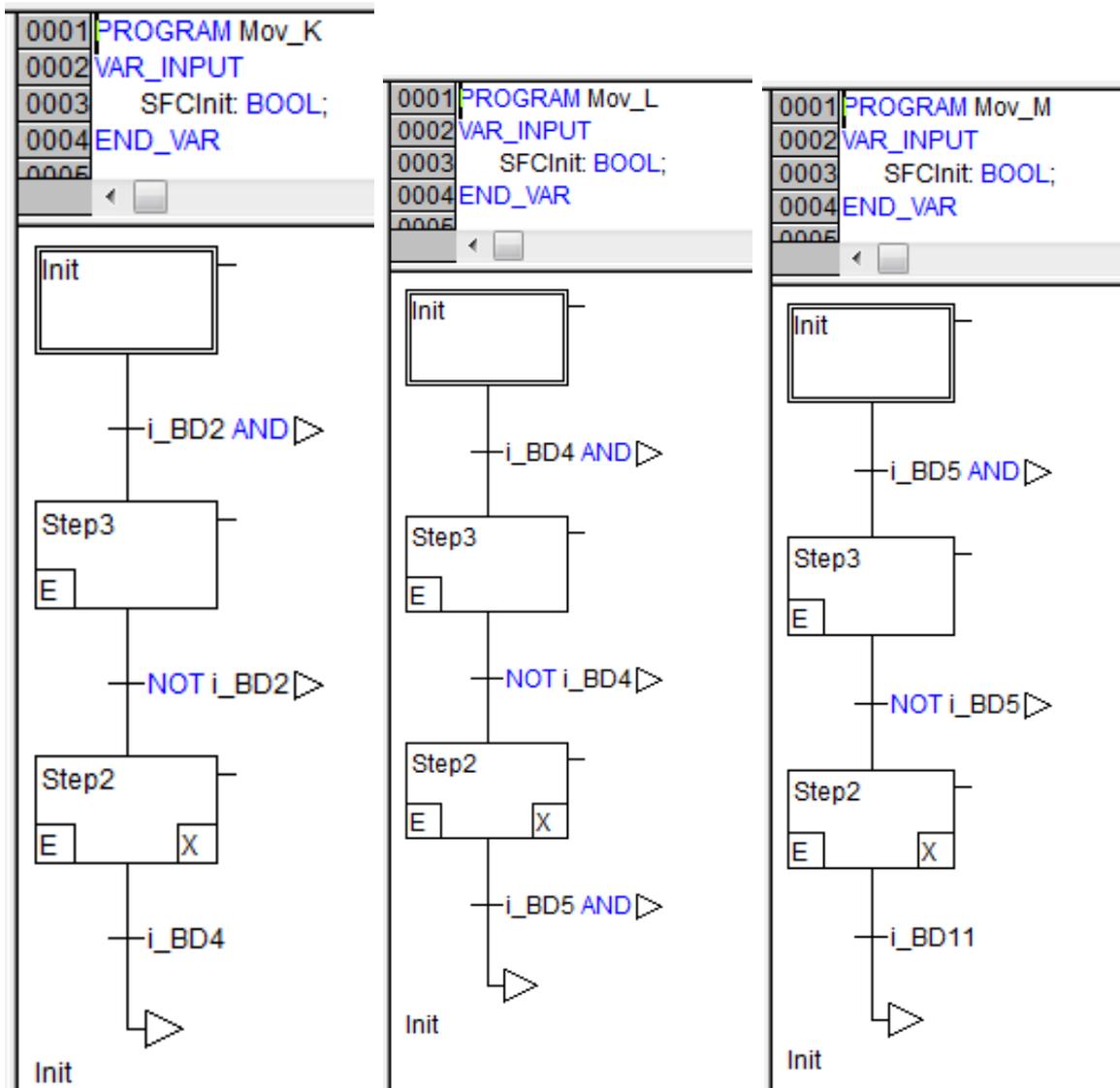


Figura 5.26: Programas de movimientos básicos: Mov_K, Mov_L, Mov_M

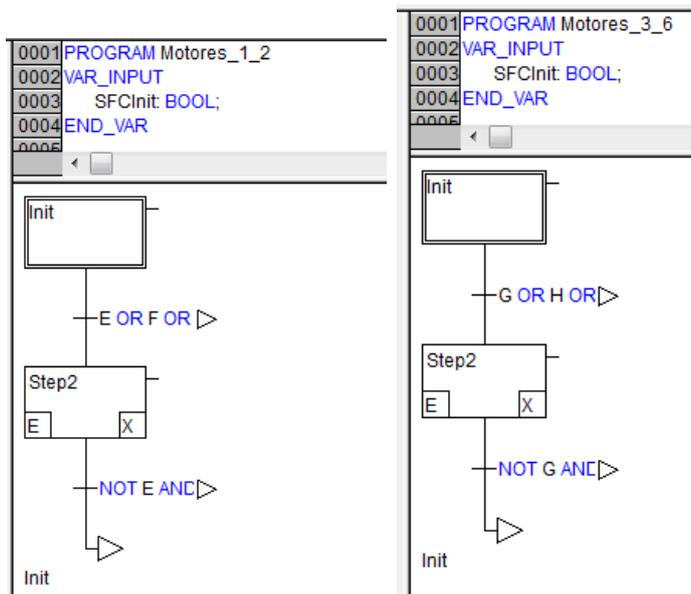


Figura 5.27: Programas de funcionamiento de los motores: Motores_1_2 y Motores_3_6

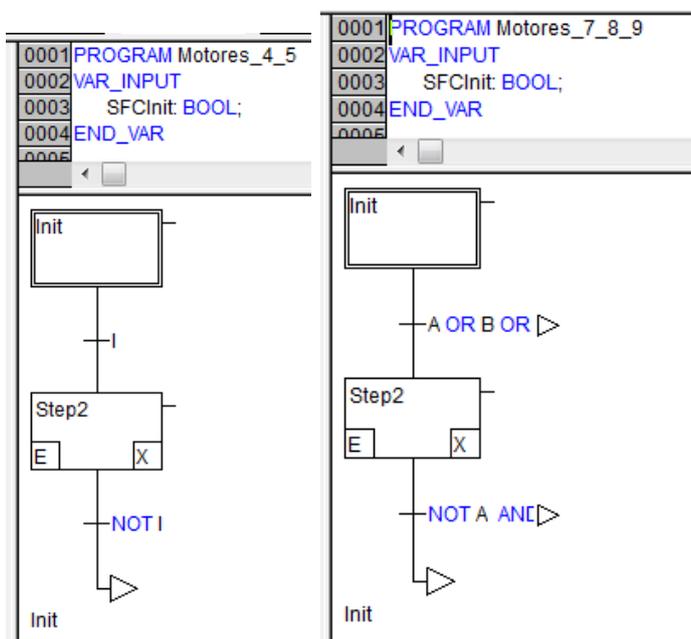


Figura 5.28: Programas de funcionamiento de los motores: Motores_4_5 y Motores_7_8_9

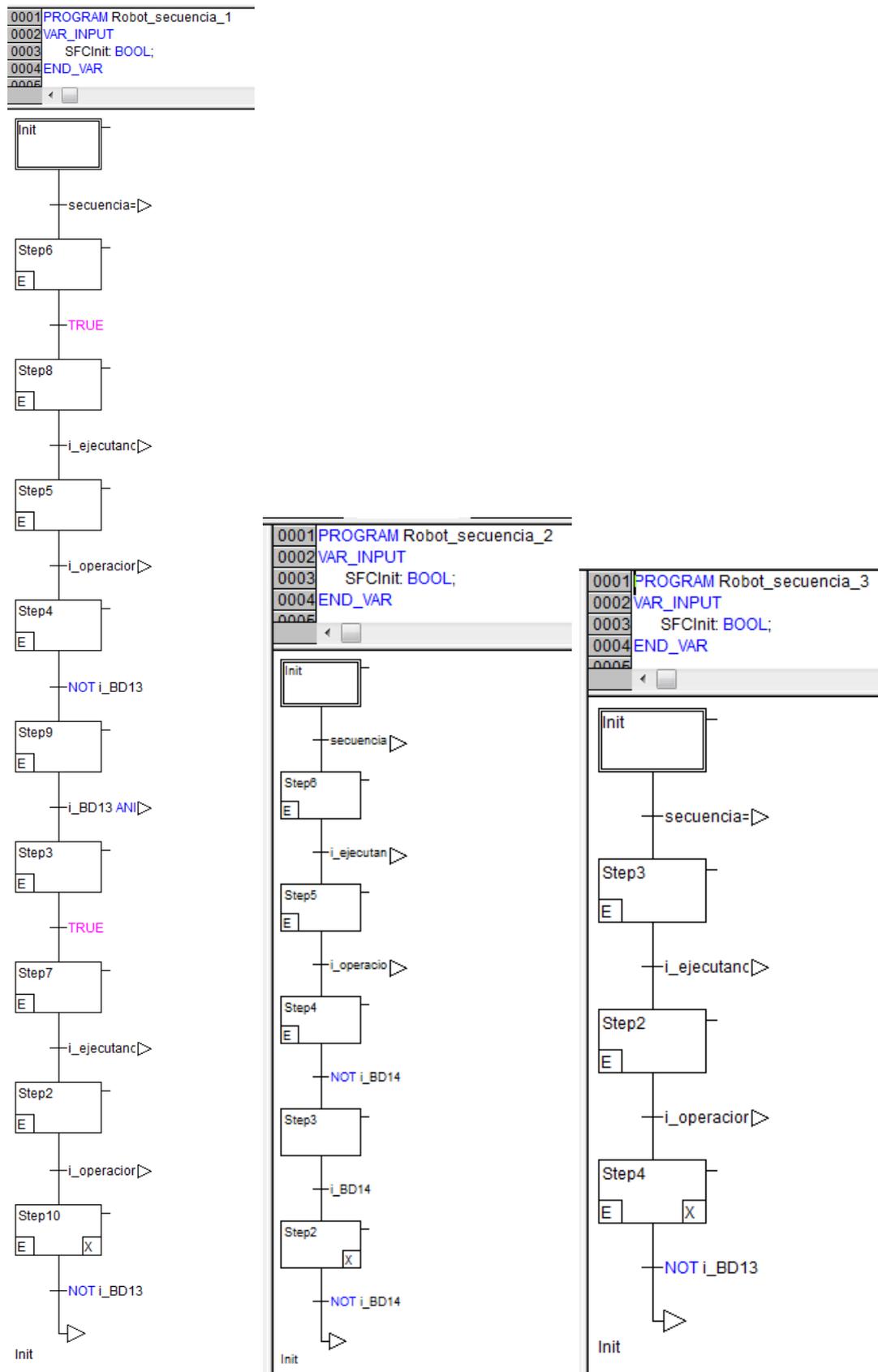


Figura 5.29: Programas de funcionamiento del robot: Robot_secuencia_1, Robot_secuencia_2 y Robot_secuencia_3

5.3. Anexo III: Código del robot

```
.PROGRAM prog_test()
;Configuración inicial
SPEED 40 monitor
MOVE espera
BREAK

;Comprueba si está colocada la herramienta
PROMPT "Esta colocada la herramienta? (y/n)", $ans
IF $ans == "n" THEN
;Colocar herramienta
MOVE inicio
BREAK
PROMPT "Active el aire comprimido, coloque la herramienta y pulse ENTER.",
$ans
SIGNAL 8
BREAK
MOVE espera
BREAK
END

;Esperando inicio del PLC
WAIT SIG (1006)

;Activar interrupción de emergencia
REACTI 1005, prog_emergencia

;Activar interrupción para finalizar el programa
REACTI -1006, prog_finalizar

;Inicio bucle de ejecución
;Esperando orden
10 SIGNAL -1, -2, 3
TYPE "Robot OK (salida 3). Esperando orden"
WAIT SIG (1007)

;Nueva orden
orden = BITS(1001,2)
CASE orden OF
```

VALUE 0:

```
;Coger pieza de la estación nº 13 (secuencia 1)
TYPE "Ejecutando orden 0 (salida 2)"
SIGNAL -1, 2, -3
SPEED 100 ALWAYS
APPRO pos.c, 50
OPENI
SPEED 10 ALWAYS
MOVES pos.c
CLOSEI
DEPARTS 50
BREAK
TYPE "Orden realizada (salida 1)"
SIGNAL 1, -2, -3
SPEED 100 ALWAYS
MOVE espera
BREAK
```

VALUE 1:

```
;Ensamblar pieza en la estación nº 13 (secuencia 1)
TYPE "Ejecutando orden 1 (salida 2)"
SIGNAL -1, 2, -3
SPEED 100 ALWAYS
APPRO pos.d, 50
BREAK
SPEED 10 ALWAYS
MOVES pos.d
OPENI
BREAK
DEPARTS 50
BREAK
TYPE "Orden realizada (salida 1)"
SIGNAL 1, -2, -3
SPEED 100 ALWAYS
MOVE espera
BREAK
```

VALUE 2:

```
;Girar pieza de la estación nº 13 (secuencia 3)
```

```
TYPE "Ejecutando orden 2 (salida 2)"
SIGNAL -1, 2, -3
SPEED 100 ALWAYS
APPRO pos.f, 50
SPEED 10 ALWAYS
MOVES pos.f
BREAK
CLOSEI
SPEED 100 ALWAYS
MOVE pos.g
MOVE pos.h
SPEED 10 ALWAYS
MOVE pos.i
BREAK
OPENI
MOVES pos.k
MOVES pos.h
SPEED 100 ALWAYS
MOVE pos.j
TYPE "Orden realizada (salida 1)"
SIGNAL 1, -2, -3
MOVE espera
BREAK
```

VALUE 3:

;Coger pieza de la estación nº 13 y ensamblarla en la estación nº 14 (se-
cuencia 2)

```
TYPE "Ejecutando orden 3 (salida 2)"
SIGNAL -1, 2, -3
SPEED 100 ALWAYS
APPRO pos.c, 50
OPENI
SPEED 10 ALWAYS
MOVES pos.c
CLOSEI
DEPARTS 50
BREAK
SPEED 100 ALWAYS
APPRO pos.e, 150
SPEED 10 ALWAYS
```

```
MOVES pos.e
OPENI
BREAK
DEPARTS 50
BREAK
TYPE "Orden realizada (salida 1)"
SIGNAL 1, -2, -3
SPEED 100 ALWAYS
MOVE espera
BREAK

END
GOTO 10
```

```
.PROGRAM prog_finalizar()
;¿Retirar herramienta?
PROMPT "Finalizacion del ensamblaje. Desea retirar la herramienta) (y/n)", $ans
SPEED 100 ALWAYS
IF $ans == "y" THEN

;Retirar herramienta
MOVE inicio
BREAK
PROMPT "Prepare el carton bajo del brazo robot y pulse Enter.", $ans
SIGNAL -8
PROMPT "Retire la herramienta, cierre el aire comprimido y pulse Enter", $ans
MOVE espera
BREAK
ELSE

;Fin del programa
IF $ans == "n" THEN
MOVE espera
BREAK
END
END
ABORT
```

```
.PROGRAM prog_emergencia()  
;Parada de emergencia  
HALT
```

5.4. Anexo IV: Manual de instrucciones del sistema

1. Encienda el ordenador de control y abra el único usuario que tiene configurado, cuya contraseña es: **sonia**. Encienda el robot girando el interruptor general de la parte trasera del cuadro de mando del robot hasta la posición ON.
2. Siga las instrucciones de la consola de programación del robot: pulse los botones ARM POWER ON y PROG START del panel frontal del armario de mando. A continuación, desde la consola, seleccione la opción 2: Abrir la consola de programación. Cargue el fichero en la memoria viva del robot con “LOAD TFM.V2”.
3. A continuación, lance la ejecución del programa con “EX prog_test”. El programa le preguntará si está colocada la herramienta. En caso de no estarlo siga las instrucciones de la terminal para colocarla y pulse Enter. Después de esto el robot está preparado para funcionar.
4. Abra la llave de paso azul del circuito de aire del sistema de transferencia de palets. En el armario eléctrico, compruebe que el cable Ethernet conecta el PLC al ordenador de control. Compruebe también que los arrancadores manuales están en posición ON (con las pestañas negras presionadas), según se muestra en la Figura 5.30. A continuación, cierre la puerta del armario eléctrico y encienda el sistema de transferencia de palets girando el interruptor general del armario eléctrico hasta la posición ON.



Figura 5.30: Posición de los arrancadores manuales

5. Abra el proyecto de Codesys *Celula_fabricacion* que se encuentra en la carpeta *TFM_Sonia_Gili*, en el escritorio del ordenador.
6. En la pestaña *Online*, clique sobre *Login* e introduzca la contraseña del PLC: **wago**.
7. Antes de iniciar la ejecución del programa asegúrese de que:
 - Para el buen funcionamiento del programa, todos los palets deben encontrarse en alguna de las estaciones del sistema (figura 1.29), no en una posición intermedia entre dos estaciones.

- Para la secuencia 1, el número de palets entre las estaciones n° 14 y n° 2 debe ser par, y no debe haber palets en las estaciones n° 12 y n° 13. La disposición inicial de las piezas en los palets de la estación n° 11 se muestra en la Figura 5.31.



Figura 5.31: Disposición de las piezas para los palets impares (derecha) y pares (izquierda) en la secuencia 1

- Para la secuencia 2, el número de palets entre las estaciones n° 12 y n° 14, y n° 2 y n° 6 debe ser par. La disposición inicial de las piezas en los palets de la estación n° 11 se muestra en la Figura 5.32.



Figura 5.32: Disposición de las piezas para los palets impares (derecha) y pares (izquierda) en la secuencia 2

- Para la secuencia 3, la disposición inicial de las piezas en los palets de la estación nº 11 se muestra en la Figura 5.33.

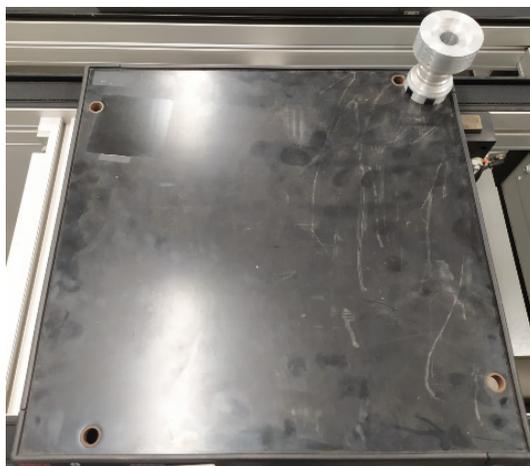


Figura 5.33: Disposición de las piezas para los palets en la secuencia 3

8. Para iniciar la ejecución del programa clique en *Run*. A continuación, seleccione la secuencia deseada mediante los pulsadores Secuencia 1, 3 y 4 para seleccionar la secuencia 1, 2 y 3, respectivamente. A continuación, pulse Marcha y el sistema comenzará a moverse.
9. Para realizar una pausa en el funcionamiento del sistema pulse Paro. Tras el paro, puede reanudar el funcionamiento pulsando Marcha de nuevo.
10. Para realizar una parada inmediata del sistema pulse cualquiera de los 3 pulsadores de emergencia del sistema. Tras el paro de emergencia será necesario configurar el robot de forma manual desde la terminal. Si lo desea, puede volver a lanzar el programa realizando el paso nº 3 de este manual.
11. Para apagar el sistema, clique en *Stop* y luego en *Logout*. A continuación, gire el interruptor general del armario eléctrico donde se encuentra el PLC hasta la posición OFF y cierre la llave de paso azul del circuito de aire del sistema de transferencia de palets. En la terminal del robot se le preguntará si desea retirar la herramienta. Pulse y (yes) y siga las instrucciones de la pantalla para retirarla y finalizar la ejecución del programa. Cuando el programa haya finalizado su ejecución, teclee la instrucción DISABLE POWER para desactivar la alimentación del brazo robot. A continuación, apague el robot girando el interruptor general del armario de mando del robot hasta la posición OFF. Por último, apague el ordenador de control.