



**UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR**

**TRABAJO
FIN DE GRADO**



**GRADO EN
INGENIERÍA MECÁNICA**

Título:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
OLEONEUMÁTICO AUTOMATIZADO PARA
EMBALAJE INDUSTRIAL MEDIANTE ATADO
POR HILO DE ACERO PARA MERCANCÍAS
PESADAS**

Autor:

PABLO MORÁN PEREIRO

Tutores:

**JAVIER BOUZA FERNÁNDEZ
JOSÉ CARLOS ÁLVAREZ FEAL**

Fecha:

SEPTIEMBRE 2016

ÍNDICE

-MEMORIA

1. Título del proyecto.
2. Introducción.
3. Objetivos.
4. Análisis previo y Especificaciones del Diseño.
 - 4.1. Introducción.
 - 4.2. Análisis previo.
 - 4.3. Especificación del Diseño.
5. Diseño y desarrollo del sistema.
 - 5.1. Secuencia de funcionamiento.
 - 5.2. Definición del subsistema operativo
 - 5.2.1. Descripción general.
 - 5.2.2. Cilindro de posicionamiento A.
 - 5.2.3. Brazo de Atado.
 - 5.2.4. Guía C.
 - 5.2.5. Cabezal.
 - 5.2.6. “Flaps” FX
 - 5.3. Definición del subsistema de mando
 - 5.3.1. Información general del PLC
 - 5.3.2. Ampliación de entradas y salidas
 - 5.3.3. Definición de variables
 - 5.3.3.1. Entradas del autómatas 1
 - 5.3.3.1.1. Sensores de posición
 - 5.3.3.1.2. Sensores inductivos y ópticos
 - 5.3.3.1.3. Seta de Emergencia
 - 5.3.3.2. Entradas del autómatas 2
 - 5.3.3.2.1. Pulsadores
 - 5.3.3.2.2. Interruptores
 - 5.3.3.2.3. Sensores de posición
 - 5.3.3.3. Entradas del autómatas 3
 - 5.3.3.3.1. Sensores de posición

- 5.3.3.4. Salidas del autómata 1
 - 5.3.3.4.1. Electroválvulas 5/3
 - 5.3.3.4.2. Motor
- 5.3.3.5. Salidas del autómata 2
 - 5.3.3.5.1. Electroválvulas 5/3
 - 5.3.3.5.2. Actuador del torsionador
 - 5.3.3.5.3. Electroválvula 5/2
- 5.3.3.6. Salidas del autómata 3
- 5.3.4. Variables de estado
 - 5.3.4.1. Marcas de estado
 - 5.3.4.1.1. Estados de Secuencia MD5
 - 5.3.4.1.2. Estados de Máquina MB9
 - 5.3.4.1.3. Condición de Emergencia
 - 5.3.4.2. Entradas HMI
 - 5.3.4.3. Marcas auxiliares
- 5.3.5. Definición del HMI
 - 5.3.5.1. Descripción general del HMI
 - 5.3.5.2. Pantallas HMI
 - 5.3.5.2.1. Pantalla de Control
 - 5.3.5.2.2. Pantalla de supervisión
- 6. Algoritmo de control
 - 6.1. Introducción
 - 6.2. Descripción de los diferentes segmentos del programa de control
 - 6.2.1. Reinicialización de marcas
 - 6.2.2. Comunicación entre autómatas
 - 6.2.3. Control de estados de la máquina
 - 6.2.3.1. Condición de marcha
 - 6.2.3.2. Condición de ciclo continuo
 - 6.2.3.3. Condición de vueltas
 - 6.2.3.4. Condición de Emergencia
 - 6.2.3.5. Condición de Rearme
 - 6.2.3.6. Fin de Rearme
 - 6.2.3.7. Condiciones iniciales
 - 6.2.3.8. Condición de Paro

6.2.3.9. Inicio sin condiciones iniciales

6.2.4. Salidas

- 6.2.4.1. Aire
- 6.2.4.2. Cilindros de posición A
- 6.2.4.3. Guía C
- 6.2.4.4. Motor
- 6.2.4.5. Pinza de agarre D
- 6.2.4.6. Pinza de agarre E
- 6.2.4.7. Torsionador
- 6.2.4.8. “Flaps”

6.2.5. Etapas

- 6.2.5.1. Etapa 1
- 6.2.5.2. Etapa 2/3
- 6.2.5.3. Etapa 3
- 6.2.5.4. Etapa 4
- 6.2.5.5. Etapa 5/6/10
- 6.2.5.6. Etapa 7 y explicación de temporizadores
- 6.2.5.7. Etapa 8
- 6.2.5.8. Etapa 9
- 6.2.5.9. Etapa 10
- 6.2.5.10. Etapa 11
- 6.2.5.11. Etapa 12
- 6.2.5.12. Etapa 13
- 6.2.5.13. Etapa 14
- 6.2.5.14. Etapa 15
- 6.2.5.15. Etapa 16
- 6.2.5.16. Etapa 17
- 6.2.5.17. Fin de programa

-ANEXOS

ANEXO I: Graficet de funcionamiento

ANEXO II: Esquema Neumático

ANEXO III: Croquis de la máquina atadora

ANEXO IV: Variables del algoritmo principal

ANEXO V: Algoritmo de control del PLC principal

ANEXI VI: Algoritmo de control del PLC 2

ANEXO VII: Algoritmo de control del PLC 3

ANEXO VIII: Variables del algoritmo principal de simulación

ANEXO IX: Algoritmo de control del PLC principal de simulación

ANEXO X: Algoritmo de control del PLC 2 de simulación

ANEXO XI: Algoritmo de control del PLC 3 de simulación

-MEMORIA

1-Título del proyecto

Diseño e implementación de un sistema oleoneumático automatizado para embalaje industrial mediante atado por hilo de acero para mercancías pesadas.

2 -Introducción:

Este Trabajo Fin de Grado diseña y desarrolla un sistema neumático de atado por hilo de acero para mercancías pesadas. El diseño engloba tanto el mecanismo neumático como su programa de control y de supervisión. Además el documento plasma la simulación y los resultados obtenidos de un modelo desarrollado en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior.

La finalidad de esta máquina neumática de atado es permitir agrupar en paquetes materiales pesados (por ejemplo, tubería de acero para el sector de la construcción naval o varilla de acero para la construcción civil) para facilitar su posterior clasificación o almacenamiento.

3-Objetivos:

El sistema neumático propuesto en este Trabajo Fin de Grado, tiene por finalidad mejorar la eficiencia y la calidad del proceso total de atado en relación a máquinas industriales que realiza dicho proceso.

Los objetivos a alcanzar con el sistema experto son:

1. El mecanismo deberá realizar el atado con hilo de acero en forma de paquetes de distinto peso.
2. Debe realizar el control del funcionamiento de atado desde un único punto de control y reducir la presencia humana un único operario que podrá simultanear con otros procesos de la planta.
3. En todo momento el sistema de control deberá supervisar el correcto funcionamiento y seguridad del proceso de atado. Esto aumentará la

seguridad del sistema, y por tanto, también, evitará cualquier posible riesgo de accidente.

4. Por último, será realizar una simulación y experimentación del modelo o modelos a desarrollar y de su control y automatización en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática.

4- Análisis previo y Especificaciones del Diseño.

4.1- Introducción.

La idea de las atadoras está principalmente concebida para su uso en una acería en la que se fabrican barras de acero corrugado y en la necesidad de agrupar estas varillas en paquetes para poder trasladarlas y clasificarlas. Naturalmente esta aplicación de atado podría utilizarse en otras circunstancias, aunque el campo de aplicación no es demasiado amplio ya que el hilo metálico como elemento de atado limita mucho el tipo de objetos a atar.

En el caso de una acería, estas atadoras deben ser muy eficientes para que sean máquinas rentables. Si estas máquinas atadoras se convierten en el último elemento de la larga cadena de producción de las barras de acero, deben ser lo suficientemente rápidas como para realizar los paquetes de atado sin provocar un cuello de botella. Y con la tecnología actual de una acería como puede ser la del Grupo Megasa en Narón (Ferrol) se puede llegar a producir una media de 3 millones toneladas anuales. Además, estas barras (que parten de un bloque más grande al que se le va reduciendo su diámetro en diferentes elementos de la cadena de producción, y como el flujo es constante, van ganando velocidad a medida que son más finas) pueden alcanzar velocidades de hasta 30 m/s. Todo esto sirve para ejemplificar que en efecto, las máquinas atadoras deben ser muy eficientes.

4.2- Análisis Previo.

Tomamos como base una máquina atadora de un modelo antiguo en desuso (del año 1995) y además de realizar diferentes visitas a la empresa MEGASA para estudiar el modelo que actualmente se utiliza.

A continuación realizamos una descripción general de la atadora de referencia y de su funcionamiento.

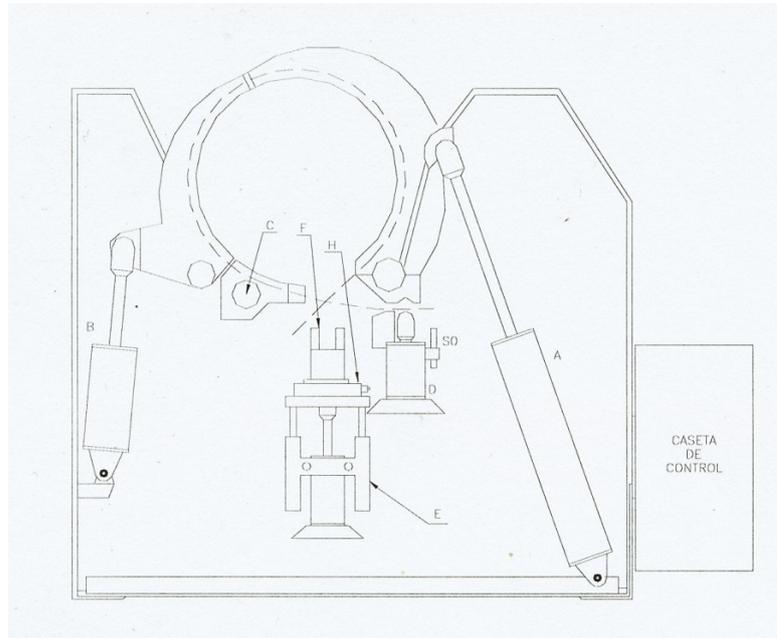


Imagen 1: Esquema de la máquina atadora antigua (1998)

La secuencia comenzaba colocando los bazos atadores A y B. Disponíamos de dos brazos accionados por cilindros que se cerraban en torno a los objetos a atar. Después se accionaba una pequeña guía (C) que orientaba en el tramo final el hilo para que alcanzase correctamente el punto de agarre.. Después de accionarse C el motor alimentaba el hilo que recorría los brazos hasta llegar a un sensor (S0). En ese momento se detenía el motor y una pinza (D) agarraba el hilo. Entonces el motor actuaba en sentido contrario apretando el hilo alrededor de los objetos a atar. Una vez apretado, un cilindro posicionaba un conjunto torsionador-pinza (E). Este, mediante una pinza neumática (F) agarraba el hilo en el punto en que se cruzaba consigo mismo, y mediante el torsionador H retorció el hilo para realizar el nudo. Antes de que actuase el torsionador, una cizalla G cortaba el hilo a la salida del motor. Por último, se abría la pinza, se recogía el conjunto torsionador-pinza y los brazos de atado volvían a su posición inicial.

4.3.- Especificación de diseño.

El objetivo es mejorar la eficiencia del modelo anterior ya que su productividad no era suficiente en relación a sus costes. También con este fin, se

ha estudiado otro modelo que actualmente se emplea en la empresa Megasa (Narón).

Por ello se estudia simplificar el proceso complejo de atado de la máquina de referencia por una opción más simple. Esto facilitará realizar el proceso de una manera mucho más productivo, algo crucial para la rentabilidad de este tipo de máquinas en la industria a la que están destinadas.

Los cambios a realizar en relación al modelo de referencia son:

1. Se eliminarán los brazos de atado y se sustituirán por un elemento fijo (aunque le seguiremos llamando brazo de atado). Estos brazos al cerrarse tenían siempre el mismo perímetro así que, el paso de abrir y cerrar los brazos para colocar los objetos se elimina lo que mejora la rapidez de la máquina. El brazo de atado para la nueva máquina atadora será un elemento fijo, y los elementos a atar serán posicionados mediante una cinta transportadora que pasará por el interior del brazo.
2. Se añadirá una secuencia de “flaps”. Estos son unos elementos que en el momento de apretar el hilo metálico, impiden que este hilo se separe del brazo de atado. De este manera, abriéndolos en sincronía con el motor y secuencialmente, podemos controlar mejor el atado, asegurándonos que todo el hilo estará en contacto con los objetos a atar y de que no se forman lazos extraños.
3. Se eliminará el conjunto torsionador-pinza y la cizalla, y se sustituirá por un cabezal especial. Esto mejora de manera ostensible la rapidez de proceso. Este cabezal especial integra dos funciones:
 - 3.1. El cortado del hilo mediante un borde afilado (en vez de una cizalla).
 - 3.2. Realización del nudo mediante un movimiento tornillo.

5- Diseño y desarrollo del sistema.

5.1.- Secuencia de funcionamiento.

El proceso a realizar por la máquina es el siguiente: los objetos a atar serán colocados en el interior del brazo de atado mediante una cinta transportadora (esta cinta no es objeto del proyecto). Después la máquina se posiciona dependiendo del tamaño que tengan los objetos a atar. Esto se realiza mediante el cilindro A, que moverá todo el conjunto de la máquina verticalmente hasta que un sensor (s_a1) detecte la presencia de los objetos. La máquina dispondrá de dos posibles líneas de actuación dependiendo de si queremos que los objetos se aten con una o dos vueltas de hilo metálico. Una pequeña guía (cilindro C) actuará si solo queremos una vuelta de atado, modificando la dirección original del hilo que sería de dos vueltas. Después un motor empezará a alimentar hilo metálico a la máquina, que recorrerá el brazo de atado con una o dos vueltas hasta llegar a un cabezal especial. El que haya llegado se indicará mediante un sensor (s_hilo). Al llegar al cabezal el motor se detiene y el hilo se agarra en su extremo final (pinza de agarre D). En este momento el motor de hilo gira en sentido contrario apretando el paquete. Hay una serie de “flaps” a lo largo del brazo de atado que irán soltando el hilo del brazo de atado en secuencia, para asegurar que el atado se realiza correctamente. Actuarán 4 “flaps” por cada vuelta de hilo. Una vez está el paquete apretado el hilo se agarra en el cabezal por el otro extremo mediante la pinza de agarre E. Estas dos pinzas marcan los dos extremos de hilo para hacer el nudo. Una vez agarrado el hilo entra a funcionar el torsionador mediante el cabezal especial, que corta el hilo y realiza el atado. Después la guía C y las pinzas de agarre D y E se recogen, y por último los “flaps”, el torsionador y la máquina en sí (cilindro A) vuelven a ponerse en posición inicial dando por terminado el ciclo.

5.2 - Definición del sistema operativo.

5.2.1 Descripción general

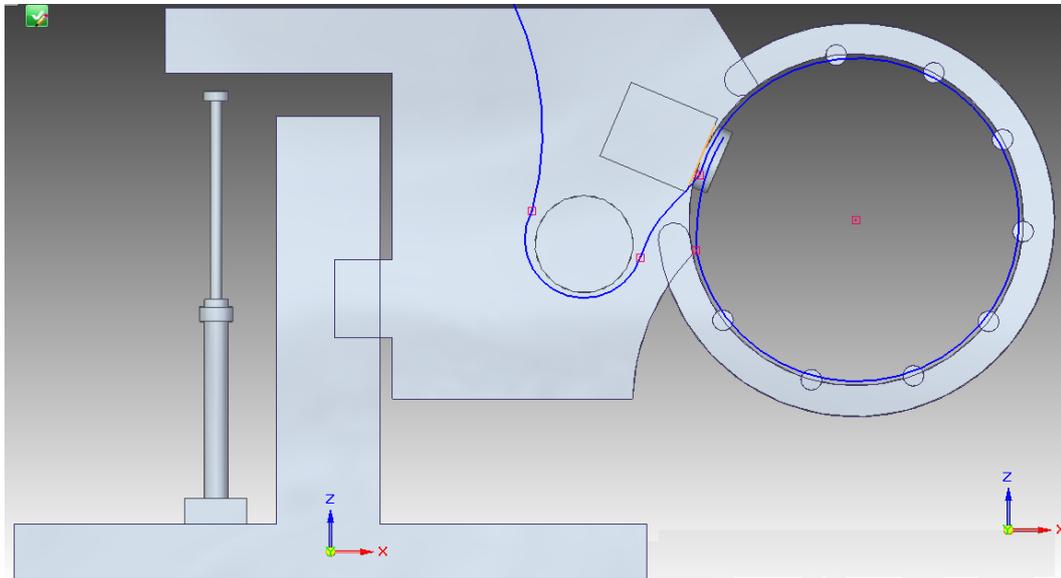


Imagen 2: Croquis general de la máquina atadora, incluido en ANEXO 3

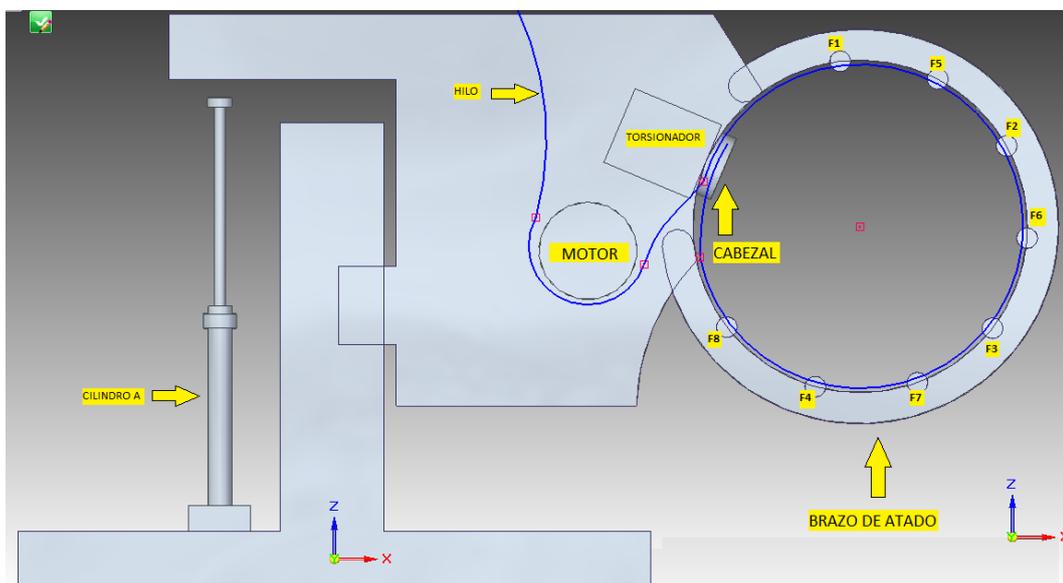


Imagen 3: Croquis con elementos principales señalizados

En las figuras anteriores se muestra la estructura de la máquina a implementar. Con esta solución propuesta se responde a la Especificación de diseño anteriormente relatada. En las figuras no se muestra las pinzas de agarre D y E y la guía C (debido a su reducido tamaño).

En los siguientes apartados se describen los elementos principales de la atadora propuesta.

5.2.2 *Cilindro de posicionamiento A*

Disponemos de un cilindro A que es el que posiciona la maquina. Este cilindro mueve el conjunto de la máquina para colocarla en la posición adecuada, dependiendo del tamaño que tengan los objetos que vamos a atar.

5.2.3 *Brazo de atado*

El brazo de atado tiene una forma de circunferencia, e interiormente en la superficie tendrá una hendidura en espiral de dos vueltas por la que circulará el hilo metálico cuando lo alimente el motor. Conduce el hilo desde la salida del motor y la primera ranura del cabezal hasta la segunda ranura del cabezal.

5.2.4 *Guía C*

Esta guía está situada poco después de la salida del motor, después de que pase el hilo por el cabezal. Consiste en un pequeño cilindro que empuja una guía, pudiendo así seleccionar una o dos vueltas de atado.

Independientemente del número de vueltas conduce el hilo hacia la hendidura en espiral del brazo de atado. Si este cilindro no actúa, el hilo sigue el camino natural marcado por la espiral de dos vueltas del brazo de atado. Si este cilindro actúa, entonces forzará el hilo a seguir el camino de la segunda vuelta de espiral sin pasar por la primera.

5.2.5 Cabezal



Imagen 4: Cabezal zona exterior

Mediante el uso de este cabezal especial cumplimos dos funciones a la vez, el corte del hilo de alimentación y el nudo de atado.

El hilo circula dos veces por el cabezal. Primero al alimentar hilo al brazo de atado, justo después de salir del motor. El hilo atraviesa el cabezal por el camino de la derecha (con respecto a la Imagen 4). Después el hilo da las vueltas al brazo de atado y pasa por el camino de la izquierda. Este camino de la izquierda no tiene salida, ahí estará el tope a partir del cual el hilo no puede continuar.



Imagen 5: Cabezal zona interior

En este cabezal actúan las pinzas D y E, concretamente actúan sobre los dos agujeros más grandes que vemos en la Imagen 5. D actúa en el camino que tiene un tope y E en el otro camino.



Imagen 6: Cabezal zona de corte

En esta tercera foto vemos una ampliación de la zona por la que entra el hilo a la salida del motor. Puede apreciarse que la parte inferior de esta entrada está afilada. Gracias a este borde, cuando el cabezal actúa para realizar el nudo, con el movimiento que realiza corta el hilo a la salida del motor.

Para realizar el nudo, el cabezal realiza un movimiento de tornillo. Este cabezal se movería verticalmente con respecto a la foto 3 y tendría una rotación en torno a ese mismo eje.

5.2.6 *Pinzas de agarre D y E*

Llamamos así a los dos cilindros que van a sujetar el hilo en el cabezal. La pinza D sujeta el extremo del hilo, permitiendo el apretado de los objetos cuando el motor actúa en sentido contrario. E agarra el hilo una vez realizado el apriete justo antes de realizar el corte y de realizar el nudo.

5.2.7 *“Flaps” FX*

Esta es la denominación coloquial que se le da a la serie de cilindros que al abrirse secuencialmente durante el apriete permiten que éste se realice de manera controlada.



Imagen 7: Flap abierto



Imagen 8: Flap cerrado

Se trata de un cilindro que actúa sobre una articulación. Cuando el cilindro se encuentra recogido esta articulación permitirá el paso del hilo, mientras que cuando el cilindro ha avanzado la articulación cierra el paso al hilo.

En esta máquina tendremos un total de ocho “flaps”. Cuatro por el lado izquierdo y cuatro por el lado derecho del brazo de atado. Cada uno de estos grupos de 4 controla una vuelta de hilo. Así, si solo se realiza una vuelta de atado, solo 4 de los “flaps” (los que se encargan de la segunda vuelta) entrarán en funcionamiento. Si por el contrario el atado se realiza con dos vueltas, funcionarán todos, primero los de la segunda vuelta en secuencia y luego los de la primera.

Para efectos del programa les llamaremos como FX, siendo X el número de “flap”. Los “flaps” desde F1 a F4 serán los que están asociados a la primera vuelta, mientras que los “flaps” desde F5 a F8 serán los asociados a la segunda vuelta.

5.3 - Definición del subsistema de mando

5.3.1 Información general del PLC

Utilizaremos para controlar la secuencia de la atadora un controlador SIMATIC S7-1200, concretamente una versión 1214C-AC/DC/Rly. Estos controladores destacan por su completo equipamiento con funciones tecnológicas y entradas y salidas integradas, así como por su diseño compacto que ahorra espacio. Gracias a los protocolos de telecontrol estandarizados, los controladores SIMATIC S7-1200 se conectan a la central de supervisión directamente y sin necesidad de programación. Una gran ventaja de estos controladores es su integración en la plataforma Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal, nosotros utilizamos la versión TIA 12). Esta plataforma permite a los controladores SIMATIC compartir la base de datos y el sistema de manejo, como por ejemplo protocolos de comunicación PROFINET.



Imagen 9: Controlador S7-1200, 1214C-AC/DC/Rly

A continuación en una tabla se describen las características del autómata 1214C-AC/DC/Rly:

| <i>Paquete de programación</i> | <i>STEP 7 V11.0 SP2 o superior</i> |
|--------------------------------|------------------------------------|
| Tensión de alimentación | 120 V AC y 230 V AC |
| Alimentación de sensores 24V | Rango 20,4 a 28,8V |
| Pérdidas | 14W |
| Memoria de trabajo integrada | 75 kbyte |
| Memoria de carga entregada | 4 Mbyte |
| Áreas de datos y su remanencia | 8 kbyte; Tamaño del área de marcas |
| Reloj por hardware tiempo real | Sí |
| Entradas digitales | 14 integradas |
| Salidas digitales | 10; Relé |
| Entradas analógicas | 2, a 0 y 10 V |
| Tipo de interfaz | PROFINET |
| Norma física | Ethernet |
| Nº de Contadores | 6 |

| <i>Paquete de programación</i> | <i>STEP 7 V11.0 SP2 o superior</i> |
|---|------------------------------------|
| Frecuencia de contaje de contadores (Máx) | 100 kHz |
| Condiciones Ambientales | De -20 °C a 60 °C |
| Dimensiones (mm) | 110x100x75 |
| Peso | 455 g |

5.3.2 *Ampliación de entradas y salidas*

El autómata siemens S7-1214 dispone de 14 entradas y 10 salidas, algo insuficiente para el programa de control de la atadora. La solución a este problema sería añadir al autómata un módulo de expansión, que al conectarse al autómata permite ampliar tanto el número de entradas como de salidas.

Por cuestiones económicas y de disponibilidad, no se pudo conseguir un módulo de expansión, con lo que la solución que se tomó fue comunicar diferentes autómatas entre sí para disponer de sus entradas y salidas. La forma de comunicarse se explicará posteriormente en el apartado del programa de control.

Hay que mencionar que el precio de un módulo de expansión no está muy por debajo del precio del propio autómata, por lo que esta solución podría tener aplicación en otras circunstancias.

5.3.3 *Definición de variables.*

Las entradas del autómata son el conjunto de sensores de posición, sensores ópticos, pulsadores e interruptores del sistema. Estas entradas, al igual que las salidas, estarán distribuidas en tres autómatas distintos.

Las salidas del autómata son las señales que éste envía a las diferentes válvulas de los cilindros, los “flaps”, el motor y el torsionador para que realicen la secuencia del programa. Al igual que las entradas están distribuidos en 3 autómatas diferentes.

A continuación se muestran en tablas las diferentes entradas y salidas de los autómatas y se explica brevemente su funcionalidad.

Consideraremos para este proyecto que estamos tratando una máquina neumática, ya que utilizaremos la neumática para realizar la simulación del programa. Aun así hay que señalar que el programa valdría tanto para una máquina neumática como una hidráulica.

Se describirán entonces los elementos que se utilizan para realizar la simulación, que serán elementos neumáticos.

5.3.3.1 Entradas del autómata 1

| <i>NOMBRE VARIABLE</i> | <i>TIPO DE SENSOR</i> | <i>ENTRADA AL AUTOMATA 1</i> | <i>ENTRADA PARA EL PROGRAMA</i> |
|------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------|
| s_a0 | Sensor de posición | I0.0 | I0.0 |
| s_a1 | Sensor de posición | I0.1 | I0.1 |
| s_c0 | Sensor de posición | I0.2 | I0.2 |
| s_c1 | Sensor de posición | I0.3 | I0.3 |
| s_d0 | Sensor de posición | I0.4 | I0.4 |
| s_d1 | Sensor de posición | I0.5 | I0.5 |
| s_e0 | Sensor de posición | I0.6 | I0.6 |
| s_e1 | Sensor de posición | I0.7 | I0.7 |
| s_pieza | Sensor inductivo | I1.0 | I1.0 |
| I_Emergencia(ext) | Seta de emergencia | I1.1 | I1.1 |
| s_hilo | Sensor inductivo | I1.2 | I1.2 |
| s_torsionador1 | Sensor de posición | I1.3 | I1.3 |
| s_torsionador2 | Sensor de posición | I1.4 | I1.4 |
| s_presencia | Sensor óptico | I1.5 | I1.5 |

Como puede verse hay una separación entre entradas al autómata en sí y entradas al programa. Así separamos las entradas físicas de cada autómata, que siempre tienen esos nombres, y las entradas que representan en el programa global de la atadora. Naturalmente en el primer autómata, tanto para entradas como para salidas, estas dos columnas son idénticas.

5.3.3.1.1 Sensores de posición



Imagen 10: Sensor de Posición

Desde la entrada IO.0 a la IO.7 tenemos los sensores de posición. Estos sensores están asociados a cilindros (utilizando una letra que indica a que elemento se refiere), e indican al autómatas cuando el cilindro está recogido (cuando se activa el sensor de posición que tiene un 0 al lado de la letra de identificación) y cuando el cilindro ha avanzado (cuando se activa el sensor de posición que tiene un 1 al lado de la letra de identificación). Hay que indicar que el sensor s_a1 no tiene una posición fija, si no que se activa cuando el cilindro A posiciona la atadora en la posición correcta para atar los objetos.

5.3.3.1.2 Sensores inductivos y ópticos



Imagen 11: Sensor de tipo inductivo

.Por medio de los sensores inductivos se detecta la presencia de una pieza (de un paquete de objetos para atar) y se detecta que el hilo metálico ha llegado a su posición final en el tope del cabezal. Este tipo de sensores tienen un alcance muy reducido y solo detectan objetos metálicos.

El sensor de presencia es un sensor óptico que detecta la presencia humana o de algún objeto extraño en las proximidades de la zona de atado. Este tipo de sensores tiene un alcance mayor y detectan cualquier tipo de materiales.

5.3.3.1.3 Seta de emergencia



Imagen 12: Seta de Emergencia

La seta de emergencia es un interruptor especial que al pulsarlo se queda enclavado, y para desenclavarlo hay que girar la “seta”. Es llamativo y grande ya que en caso de alguna emergencia es el interruptor que hay que pulsar para parar toda la máquina. Según la Directiva de Máquinas 2006/43/CE es necesario disponer siempre una seta de emergencia física en la máquina.

5.3.3.2 Entradas del autómata 2

| NOMBRE VARIABLE | TIPO DE SENSOR | ENTRADA AL AUTOMATA 2 | ENTRADA PARA EL PROGRAMA |
|------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|
| p_marcha(ext) | Pulsador | I0.0 | I2.0 |
| p_paro(ext) | Pulsador | I0.1 | I2.1 |
| p_rearme(ext) | Pulsador | I0.2 | I2.2 |
| I_CContinuo(ext) | Interruptor | I0.3 | I2.3 |
| I_Vueltas(ext) | Interruptor | I0.4 | I2.4 |
| s_f1.0 | Sensor de posición | I0.5 | I2.5 |
| s_f1.1 | Sensor de posición | I0.6 | I2.6 |
| s_f2.0 | Sensor de posición | I0.7 | I2.7 |
| s_f2.1 | Sensor de posición | I1.0 | I3.0 |
| s_f3.0 | Sensor de posición | I1.1 | I3.1 |
| s_f3.1 | Sensor de posición | I1.2 | I3.2 |
| s_f4.0 | Sensor de posición | I1.3 | I3.3 |
| s_f4.1 | Sensor de posición | I1.4 | I3.4 |
| S_f5.0 | Sensor de posición | I1.5 | I3.5 |

5.3.3.2.1 Pulsadores

Se dispone de 3 pulsadores, marcha, paro y rearme; que ejecutan la orden correspondiente a su nombre. En su nombre todos tienen añadido “(ext)”, indicando que son pulsadores externos, es decir físicos. Esto es así para diferenciarlos de los pulsadores del HMI que son virtuales y cumplen la misma función.

5.3.3.2.2 Interruptores

Se dispone además de dos interruptores que sirven para seleccionar entre diferentes modos de funcionamiento: un solo ciclo de atado, o ciclo continuo (que continuará funcionando automáticamente cuando a la atadora le llegue un nuevo paquete para atar) y atado de una vuelta de hilo o atado de dos vueltas de hilo.

Al igual que con los pulsadores el indicativo “(ext)” se refiere a que son pulsadores físicos, diferenciados de los interruptores virtuales que cumplen la misma función.

5.3.3.2.3 *Sensores de posición*

Se trata de sensores de posición similares a los utilizados en el autómata 1. Estos sensores indicarán al autómata cuando cada “flap” está recogido o cuando ha avanzado.

5.3.3.3 *Entradas del autómata 3*

| NOMBRE VARIABLE | TIPO DE SENSOR | ENTRADA AL AUTOMATA 3 | ENTRADA PARA EL PROGRAMA |
|------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------|
| s_f5.1 | Sensor de posición | I0.0 | I4.0 |
| s_f6.0 | Sensor de posición | I0.1 | I4.1 |
| s_f6.1 | Sensor de posición | I0.2 | I4.2 |
| s_f7.0 | Sensor de posición | I0.3 | I4.3 |
| s_f7.1 | Sensor de posición | I0.4 | I4.4 |
| s_f8.0 | Sensor de posición | I0.5 | I4.5 |
| s_f8.1 | Sensor de posición | I0.6 | I4.6 |

5.3.3.3.1 *Sensores de posición*

Se trata de sensores similares a los utilizados en los autómatas anteriores. Su función es idéntica en el caso de los tres primeros, que se corresponden a “flaps”. Los sensores del torsionador actúan de la misma forma, indicando si el torsionador está recogido o ha avanzado. En este caso, cuando el torsionador ha avanzado es el momento en el que el cabezal ha terminado de hacer el nudo y ha terminado su movimiento de tornillo. 7

5.3.3.4 Salidas del autómata 1

| NOMBRE VARIABLE | TIPO DE SALIDA | SALIDA DEL AUTOMATA 1 | SALIDA PARA EL PROGRAMA |
|-----------------|----------------|-----------------------|-------------------------|
| A+ | Válvula 5/3 | Q0.0 | Q0.0 |
| A- | Válvula 5/3 | Q0.1 | Q0.1 |
| C+ | Válvula 5/3 | Q0.2 | Q0.2 |
| C- | Válvula 5/3 | Q0.3 | Q0.3 |
| D+ | Válvula 5/3 | Q0.4 | Q0.4 |
| D- | Válvula 5/3 | Q0.5 | Q0.5 |
| E+ | Válvula 5/3 | Q0.6 | Q0.6 |
| E- | Válvula 5/3 | Q0.7 | Q0.7 |
| Motor1 | Motor de hilo | Q1.0 | Q1.0 |
| Motor2 | Motor de hilo | Q1.1 | Q1.1 |

5.3.3.4.1 Electroválvulas 5 tomas 3 posiciones



Imagen 13: Electroválvula 5/3

Las válvulas de 5 entradas y 3 posiciones son las que van a usarse en todos los cilindros del programa. Estas válvulas tienen un orificio de entrada de aire y dos de salida, y pueden conducir el aire por cualquiera de los dos orificios de salida (y solo uno) o por ninguno.

Se dispondrá de una de estas válvulas por cada cilindro, permitiendo el avance y la recogida de cada uno. Cada salida lleva el nombre de la letra del cilindro al que está asociado, y va asociado a un signo + o – dependiendo de si el cilindro avanza o recoge respectivamente.

5.3.3.4.2 Motor



Imagen 14: Motor de simulación

El motor de hilo metálico es el que suministra el hilo al brazo de atado y el que realiza el apriete de los objetos a atar. Tenemos dos salidas diferentes, una por cada sentido de giro del motor. Motor1 será la salida para el giro del motor alimentando hilo a la atadora, y Motor2 recogiendo para el apriete.

Aunque las características de este motor se desconocen (ya que no es objeto de este proyecto) a continuación se muestra un esquema con relés que permitiría los dos sentidos de giro utilizando las dos salidas que nos proporciona el programa:

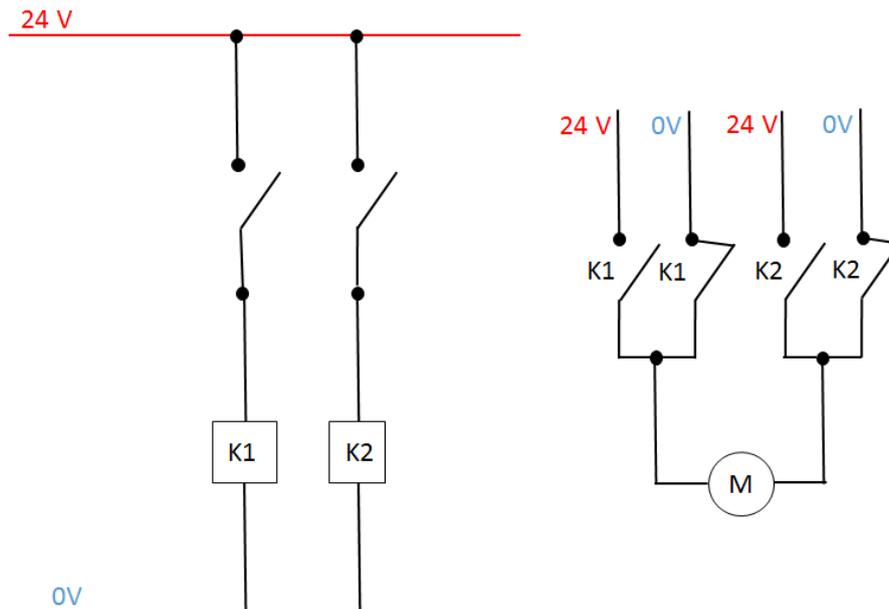


Imagen 15: Esquema de relés para el motor

Éste es el esquema utilizado para la simulación del programa en el laboratorio.

5.3.3.5 Salidas del autómeta 2

| NOMBRE VARIABLE | TIPO DE SALIDA | SALIDA DEL AUTOMATA 2 | SALIDA PARA EL PROGRAMA |
|-----------------|----------------|-----------------------|-------------------------|
| Aire_ON | Válvula 5/2* | Q0.0 | Q2.0 |
| Torsionador1 | Válvula 5/3* | Q0.1 | Q2.1 |
| Torsionador2 | Válvula 5/3* | Q0.2 | Q2.2 |
| F1+ | Válvula 5/3 | Q0.3 | Q2.3 |
| F1- | Válvula 5/3 | Q0.4 | Q2.4 |
| F2+ | Válvula 5/3 | Q0.5 | Q2.5 |
| F2- | Válvula 5/3 | Q0.6 | Q2.6 |
| F3+ | Válvula 5/3 | Q0.7 | Q2.7 |
| F3- | Válvula 5/3 | Q1.0 | Q3.0 |
| F4+ | Válvula 5/3 | Q1.1 | Q3.1 |

* = una utilización taponada

5.3.3.5.1 *Electroválvulas 5 tomas 3 posiciones*

Como puede verse en la tabla la mayoría de las válvulas son del mismo tipo de 5 tomas 3 posiciones que las utilizadas en el autómata 1.

5.3.3.5.2 *Actuador del torsionador*

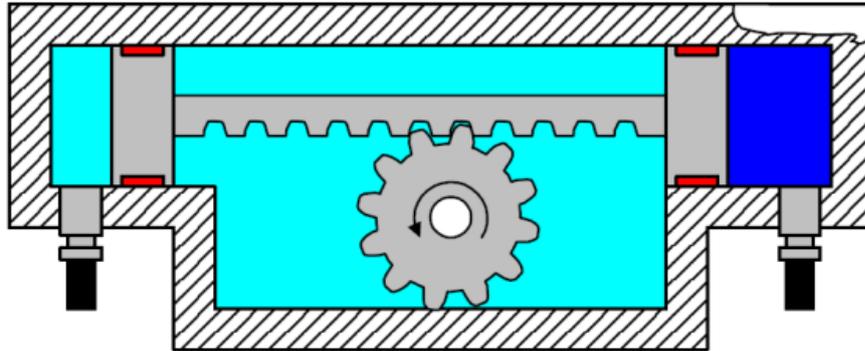


Imagen 16: Cilindro piñón-cremallera

En el apartado 9.4 explicábamos cómo funcionaba el cabezal del torsionador. El torsionador es un elemento complejo, así que a efectos de la simulación lo hemos sustituido por un cilindro piñón-cremallera como el que vemos en la foto. Utilizando el movimiento lineal del cilindro transmitimos fuerza a un engranaje del que obtenemos un movimiento de giro.

Utilizando una válvula de 5 tomas y 3 posiciones como las utilizadas anteriormente y el mismo tipo de sensores de posición podemos controlar el torsionador como si fuese un cilindro estándar.

5.3.3.5.3 *Válvula 5/2*



Imagen 17: Válvula 5/2

La excepción es la salida Aire_On, que controla todo el flujo del aire. Para esta salida utilizamos una válvula de 5 tomas y 2 posiciones, utilizando un tapón en uno de los orificios de salida. De esta manera conseguimos que el aire salga por uno de los orificios o no salga.

5.3.3.6 Salidas del autómata 3

| NOMBRE VARIABLE | TIPO DE SALIDA | SALIDA DEL AUTOMATA 2 | SALIDA PARA EL PROGRAMA |
|-----------------|----------------|-----------------------|-------------------------|
| F4- | Válvula 5/3 | Q0.0 | Q4.0 |
| F5+ | Válvula 5/3 | Q0.1 | Q4.1 |
| F5- | Válvula 5/3 | Q0.2 | Q4.2 |
| F6+ | Válvula 5/3 | Q0.3 | Q4.3 |
| F6- | Válvula 5/3 | Q0.4 | Q4.4 |
| F7+ | Válvula 5/3 | Q0.5 | Q4.5 |
| F7- | Válvula 5/3 | Q0.6 | Q4.6 |
| F8+ | Válvula 5/3 | Q0.7 | Q4.7 |
| F8- | Válvula 5/3 | Q1.0 | Q5.0 |

En este autómata tenemos las salidas del resto de “flaps”. Utiliza el mismo tipo de válvula de 5 tomas y 3 posiciones que las utilizadas anteriormente.

5.3.4 Variables de estado

A continuación explicamos las diferentes variables de estado botones del HMI y marcas auxiliares que utiliza el programa de control de la atadora.

5.3.4.1 Marcas de estado

| NOMBRE | MARCA EN EL AUTÓMATA |
|----------------------|----------------------|
| Estados de Secuencia | MD5 |
| Estados de Máquina | MB9 |
| C_Emergencia | M10.0 |

Llamamos a éstas marcas de control ya que se utilizan para gobernar la secuencia del programa.

El método de programación se fundamenta en la Programación por BYTE desarrollado por el Profesor Javier Bouza.

5.3.4.1.1 *Estados de Secuencia MD5*

Se utiliza esta marca para indicar en qué etapa del programa nos encontramos. Al llamarla “MD” estamos utilizando una “Doble Word”, de 32 bits, por lo cual estamos abarcando los bytes 5, 6, 7 y 8.

Realizamos una clasificación de manera que a cada bit se le corresponda una etapa de la secuencia del programa. El programa consta de 17 etapas y solo utilizaremos 18 bits de MD5. Utilizar un orden geriátrico menos (una Word de 16 bits) sería insuficiente.

A continuación mostramos una tabla con el significado atribuido a cada bit:

| NUMERO DE BIT | SIGNIFICADO |
|---------------|-------------|
| 0 | En espera |
| 1 | Etapa 1 |
| 2 | Etapa 2 |
| 3 | Etapa 3 |
| 4 | Etapa 4 |
| 5 | Etapa 5 |
| 6 | Etapa 6 |
| 7 | Etapa 7 |
| 8 | Etapa 8 |
| 9 | Etapa 9 |
| 10 | Etapa 10 |
| 11 | Etapa 11 |

| | |
|----|----------|
| 12 | Etapa 12 |
| 13 | Etapa 13 |
| 14 | Etapa 14 |
| 15 | Etapa 15 |
| 16 | Etapa 16 |
| 17 | Etapa 17 |

Así a cada bit le corresponde la etapa de su mismo número. Tenemos además un bit 0 que utilizaremos cuando la máquina esté en espera (cuando no esté en ninguna etapa).

5.3.4.1.2 Estados de Máquina MB9

Utilizamos esta marca para indicar el estado en el que está la máquina, es decir, que proceso está realizando. Al utilizar una MB estamos utilizando todo el byte, por lo que disponemos de 8 bits.

Realizamos una clasificación de manera que a cada bit se le corresponda un estado de la máquina. Tendremos 5 distintos estados de máquina que se muestran en la tabla siguiente:

| NUMERO DE BIT | SIGNIFICADO |
|---------------|---|
| 0 | Paro |
| 1 | Marcha 1 vuelta |
| 2 | Rearme |
| 3 | Inicio sin Condiciones Iniciales |
| 4 | Marcha 2 vueltas |
| 5 | Condición de emergencia-Obligado Rearme |

Los bits 0, 1, 2 y 4 indican que está haciendo la máquina en ese momento tal y como describe su nombre. En Paro la máquina está en un estado de paro impuesto por el sensor de presencia o el pulsador de paro. Marcha de 1 vuelta o de 2 indica que la máquina está funcionando y el número de vueltas para el que está

programada la secuencia. Rearme es un estado que al activarlo hace que todos los cilindros vuelvan a su posición inicial y resetea las marcas de secuencia y marcas auxiliares.

El bit 3 de Inicio sin Condiciones Iniciales es un estado en el que la máquina aún no se ha puesto a funcionar y en el que los diferentes cilindros no se encuentran en la posición inicial de la que deberían partir.

El bit 5 de Condición de Emergencia-Obligado rearme es un estado de la máquina que se activa al pisar la seta de emergencia, y una vez liberada la seta de emergencia se mantiene. De esta manera, aun liberando la seta, la máquina sigue en un estado de emergencia. La única forma de salir de este estado es, como bien dice el nombre de este estado, rearmando la máquina.

5.3.4.1.3 Condición de emergencia

La condición de emergencia está como una marca aparte de los estados de secuencia. Esta marca solo está activada mientras la seta de emergencia está pulsada. Al estar diferenciado del estado C.Emergencia-Obligado.Rearme podemos distinguir entre estar en condición de emergencia y haber estado en condición de emergencia. Durante la condición de emergencia no funcionará ningún botón físico ni virtual de la máquina y ésta estará parada. En estado de Obligado Rearme solo funcionará el botón de rearme que preparará la máquina y la pondrá en estado inicial.

5.3.4.2 Botones del HMI

| NOMBRE | MARCA EN EL AUTÓMATA |
|-------------------|----------------------|
| I_emergencia(HMI) | M10.1 |
| p_marcha(HMI) | M3.0 |
| p_paro(HMI) | M3.1 |
| p_rearme(HMI) | M3.2 |
| I_CCcontinuo(HMI) | M3.7 |
| I_Vueltas(HMI) | M4.0 |

Estas marcas son utilizadas para que funcionen los diferentes pulsadores e interruptores virtuales del HMI. Cumplen la misma función que los botones físicos de su mismo nombre y posibilitan el control de la máquina desde otro dispositivo.

5.3.4.3 Marcas auxiliares

| NOMBRE | MARCA EN EL AUTÓMATA |
|----------------------|----------------------|
| M_Aux_Flanco | M2.1 |
| C_I | M3.3 |
| Estado Secuencia Aux | M3.4 |
| M_C_Continuo | M3.5 |
| M_Vueltas | M3.6 |

Estas marcas son marcas auxiliares que se utilizan en el programa y que cumplen diferentes funciones. M_Aux_Flanco es una marca que se utiliza en los pulsadores físicos, para que la máquina responda solo con un pulso. De esta manera aunque mantengamos pulsado cualquiera de los pulsadores estos no responden hasta que se dejen de pulsar y se pulsen de nuevo. C_I es una marca que se activa cuando estamos en condiciones iniciales (todos los cilindros recogidos). Estado de secuencia Aux es una marca que controlará el apriete del motor. Es una marca aparte para que permita simultáneamente que el motor esté recogiendo hilo y que los “flaps” se vayan abriendo en secuencia. M_C_Continuo es una marca que se activa con el interruptor de ciclo continuo (virtual o físico) y M_Vueltas otra marca que se activa con el interruptor de vueltas.

5.3.5 Definición del HMI.

5.3.5.1 Descripción general del HMI

Se utiliza el software WinCC de la plataforma de ingeniería TIA Portal. Este sistema SCADA ofrece la máxima funcionalidad y una interfaz de usuario fácil de usar. Con este sistema configurable y escalable, nos permite definir un interface hombre máquina totalmente compatible con el PLC escogido. Además integra una base de datos de proceso lo que nos permite disponer de un registro de la producción para su posterior análisis.

5.3.5.2 Pantallas del HMI

Dispondremos de dos pantallas distintas, una para el control de la secuencia de la máquina y una para la supervisión de la misma. Al iniciar el HMI aparecerá como comienzo la imagen de control y desde esa pantalla podemos acceder a la pantalla de supervisión. También se puede salir del programa desde cualquiera de las dos pantallas.

5.3.5.2.1 Pantalla de control

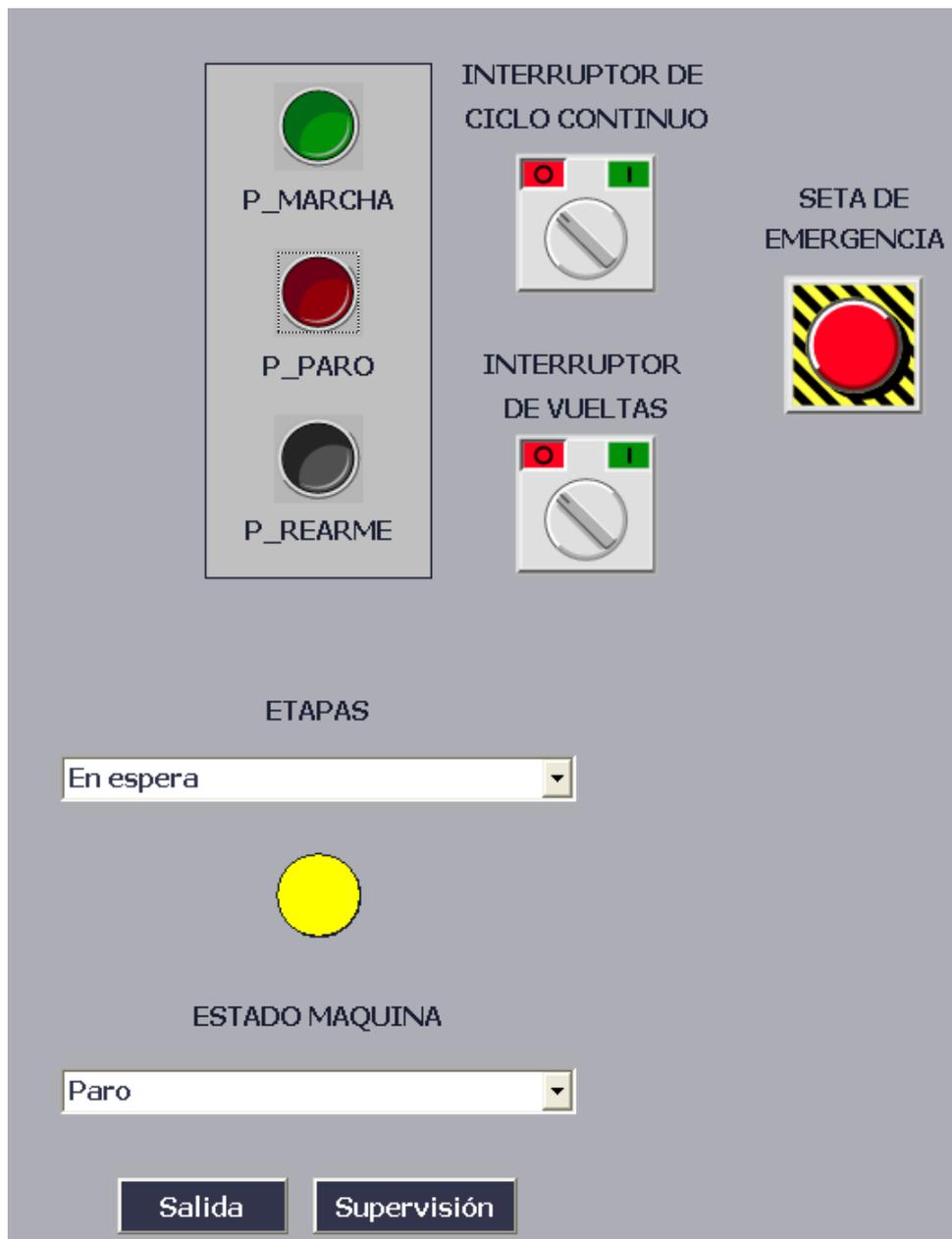


Imagen 18: Pantalla de control del HMI

En la imagen que vemos en este apartado mostramos la apariencia que tiene el cuadro de control del HMI que permite el control de la máquina y su secuencia. Cada uno de los botones e interruptores está asociado a una de las marcas del HMI explicadas en el apartado 5.3.4.2 y cumplen la misma función que los botones físicos.

El botón de marcha pone el circuito en funcionamiento (siempre que haya una pieza en posición para realizarle el atado). El botón de paro hace una pausa en la secuencia de atado, pudiendo en ese momento rearmar la máquina o seguir la secuencia donde se dejó pulsando el botón de marcha. El botón de rearme pone todos los elementos de la máquina en posición inicial siempre que la máquina no esté en marcha. Con el interruptor de vueltas controlamos si se realiza un atado de una vuelta o un atado de dos vueltas y con el interruptor de ciclo continuo activamos la condición de ciclo continuo (que hace que la máquina comience una nueva secuencia de atado cuando termine la secuencia que esté realizando).

Con el fin de poder controlar esta máquina aún cuando no se está físicamente presente en su localización tenemos dos cuadros en los que se muestra el estado de la máquina (que es lo que está haciendo la máquina en cada momento) y el estado de secuencia (en qué etapa se encuentra). También se incluye un cuadro que muestra si está activada la condición de ciclo continuo.

Además para hacer más intuitivo el control tendremos una luz que se iluminará de diferentes colores dependiendo del estado de la máquina. A continuación en una tabla describimos los diferentes colores y parpadeos de esta luz dependiendo del estado de la máquina:

| ESTADO DE LA MAQUINA | ESTADO DE LA MAQUINA (BIT) | COLOR FONDO | COLOR DE BORDE | PARPADEO |
|----------------------|----------------------------|-------------|----------------|----------|
| PARO | 0 | Amarillo | Negro | No |
| MARCHA 1 VUELTA | 1 | Verde | Blanco | Si |
| REARME | 2 | Azul | Negro | No |
| INICIO SIN C_I | 3 | Amarillo | Blanco | Si |

| ESTADO DE LA MAQUINA | ESTADO DE LA MAQUINA (BIT) | COLOR FONDO | COLOR DE BORDE | PARPADEO |
|---------------------------------|----------------------------|-------------|----------------|----------|
| MARCHA 2 VUELTAS | 4 | Verde | Negro | No |
| PARO EMERGENCIA-OBLIGADO REARME | 5 | Azul | Blanco | Si |

5.3.5.2.2 Pantalla de supervisión

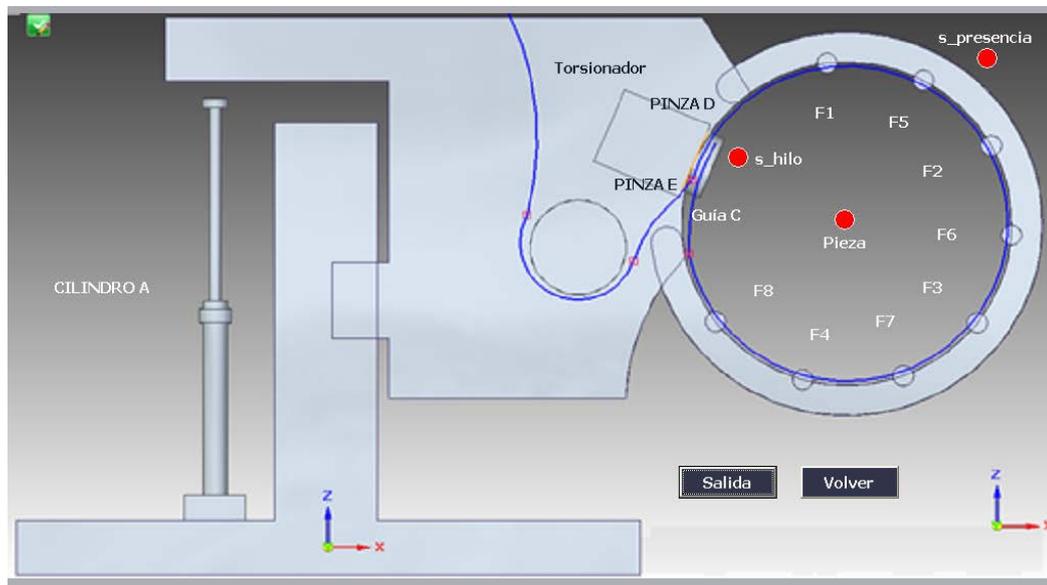


Imagen 19: Pantalla de Supervisión del HMI

En esta pantalla se muestra la localización aproximada de todos los sensores sobre el boceto de la máquina y además muestra si estos sensores están activados. De esta manera, incluso sin estar presente en la localización de la máquina, podríamos saber si hay algún problema con alguno de los sensores o con alguno de los cilindros si es que los sensores están en buen estado.

Para los sensores de posición se encenderá una luz roja cuando están recogidos y una luz verde parpadeante cuando hayan avanzado. Los sensores ópticos e inductivos encenderán el mismo tipo de luz verde cuando se activen, y si no detectan nada encenderán una luz roja.

Hay dos pantallas de supervisión, una para el programa principal y otra para el programa de simulación de la secuencia. En la imagen 18 podemos ver la pantalla de supervisión de la máquina real que no fue montada, por lo que no hay ningún sensor de posición activado y sus luces correspondientes no aparecen. Una circunstancia como ésta en la vida real podría indicar que los sensores están averiados o que los diferentes actuadores de la máquina se encuentran en posiciones intermedias entre los sensores.

6 Algoritmo de Control

6.1 Introducción

A continuación iremos explicando segmento a segmento las diferentes líneas del programa y su funcionalidad. Como apoyo se puede utilizar el Graffcet del ANEXO 1.

6.2 Descripción de los diferentes segmentos del programa de control

6.2.1 Reinicialización de Marcas

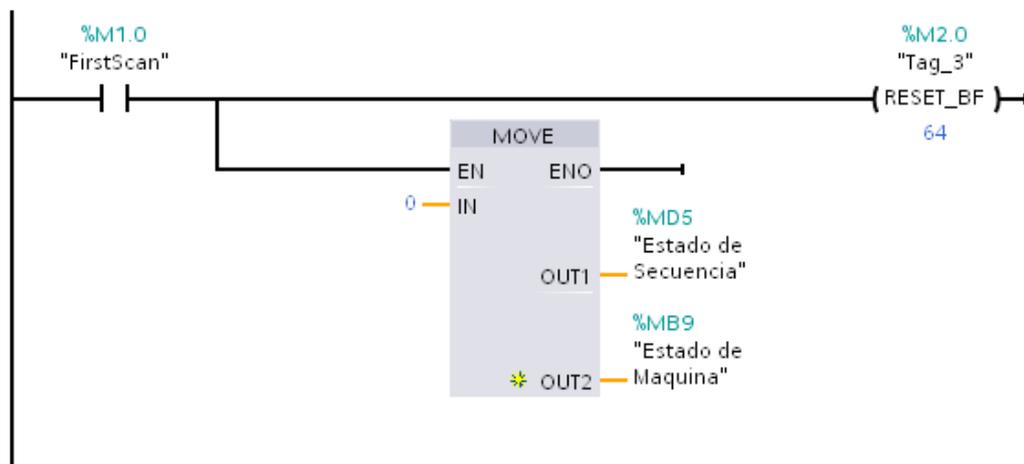


Imagen 20: Reinicialización de Marcas

Este segmento sirve para reinicializar todas las marcas del programa al arrancar el programa. La marca M1.0 es una marca especial que se activa justo al comenzar el programa y solo entonces.

Con esta línea nos aseguramos de que no haya ninguna marca que accidentalmente este activada al iniciar el programa, lo que podría ser peligroso si estuviese activada alguna marca que pusiese en marcha la máquina.

6.2.2 Comunicación entre autómatas

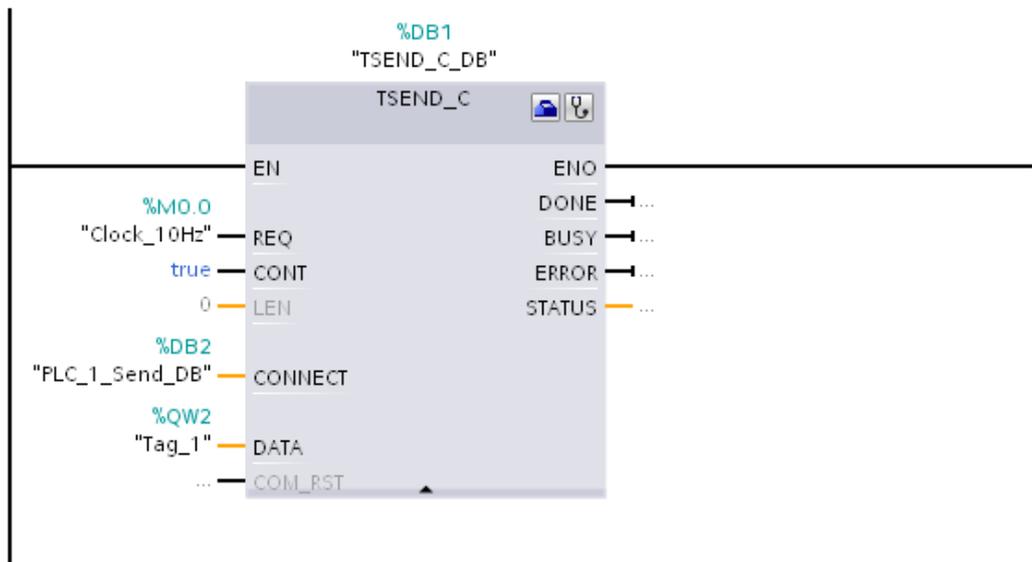


Imagen 21: Envío de de los bytes 2 y 3 de salidas al autómata 2

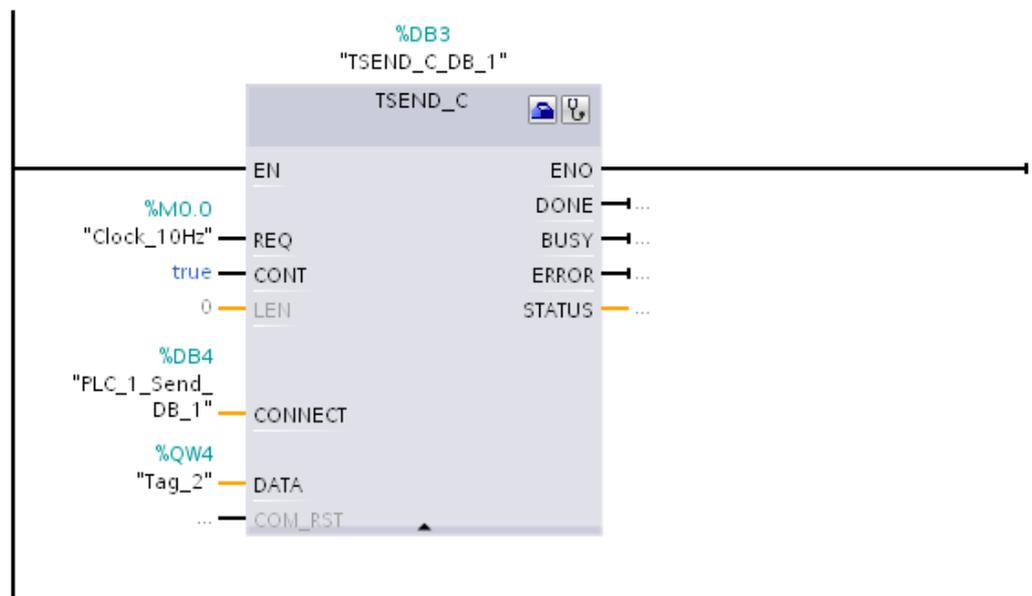


Imagen 22: Envío de los bytes 4 y 5 de salidas al autómata 3

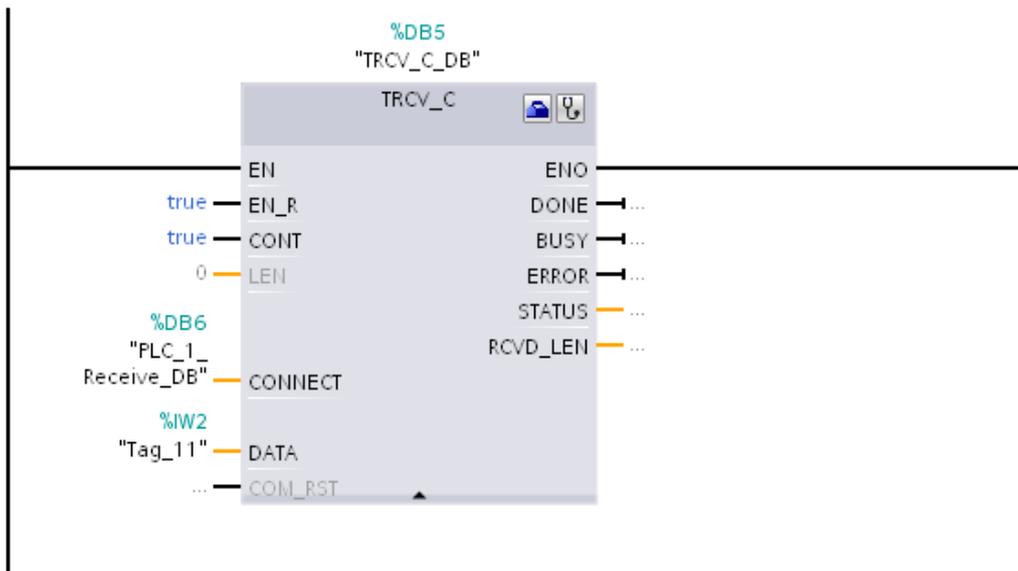


Imagen 23: Recibo de los bytes de entrada 2 y 3 desde el autómata 2

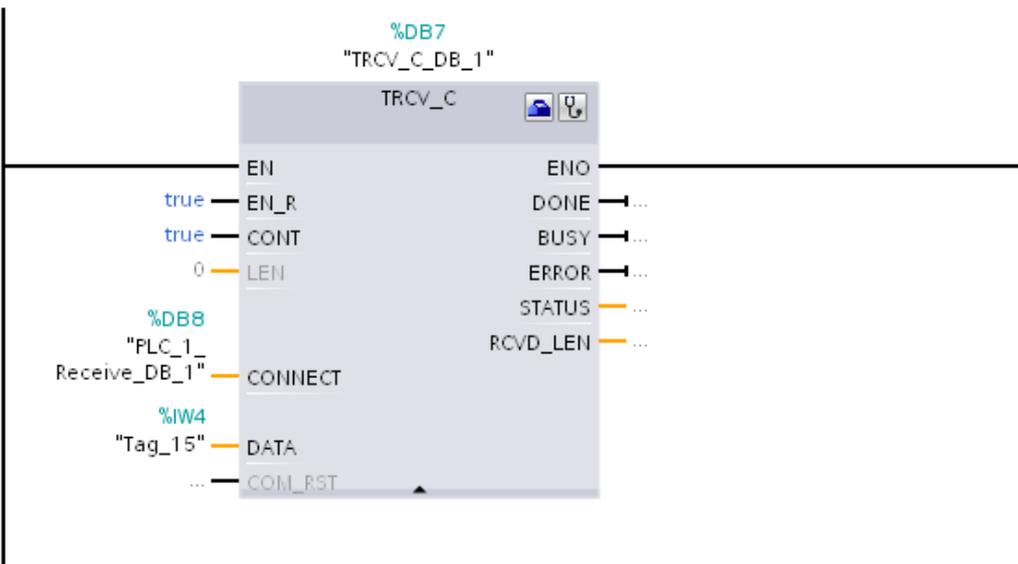


Imagen 24: Recibo de los bytes de entrada 4 y 5 desde el autómata 3

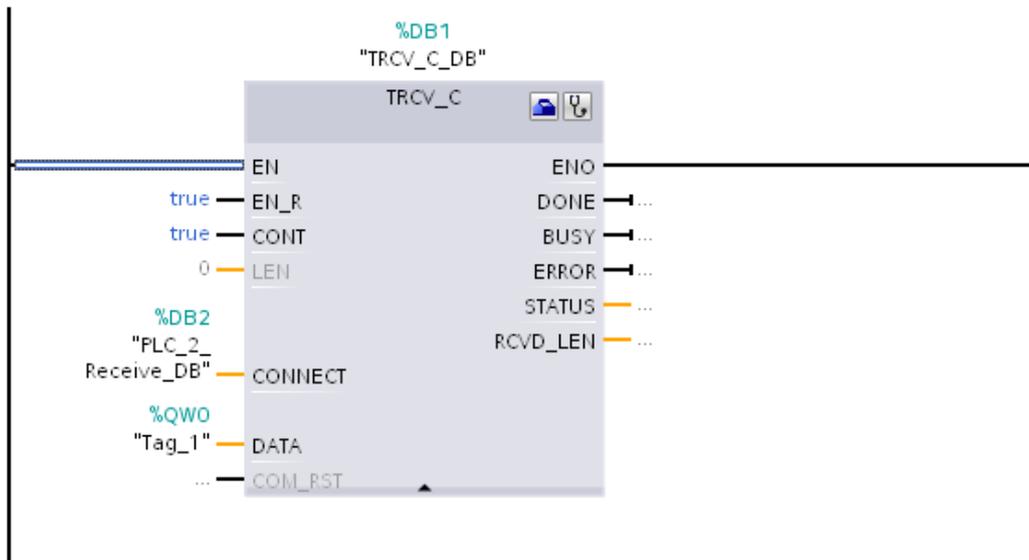


Imagen 25: Recibo de bytes 2 y 3 de salida por el autómata 2

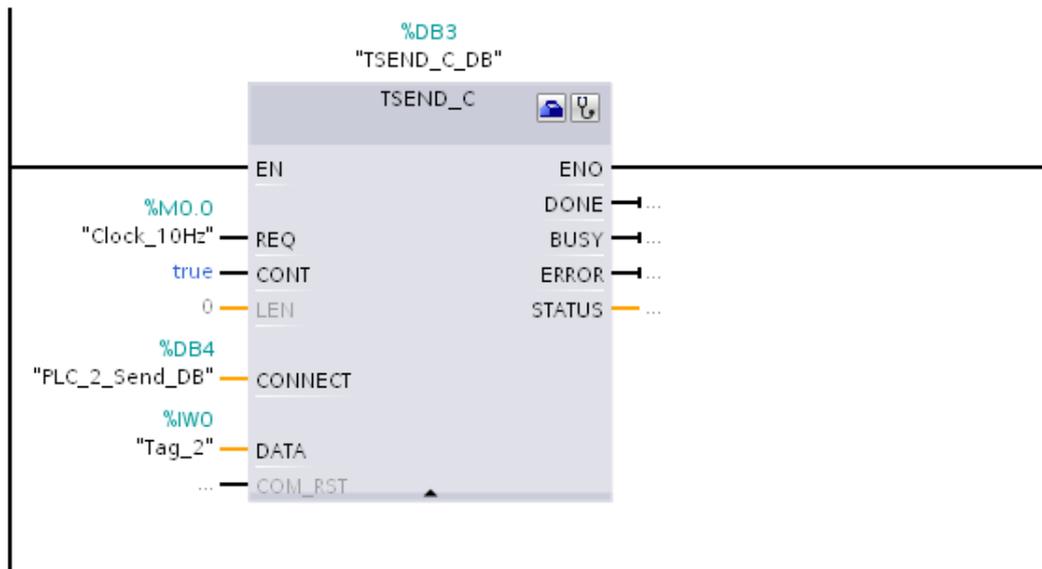


Imagen 26: Envío de bytes de entrada 0 y 1 del autómata 2

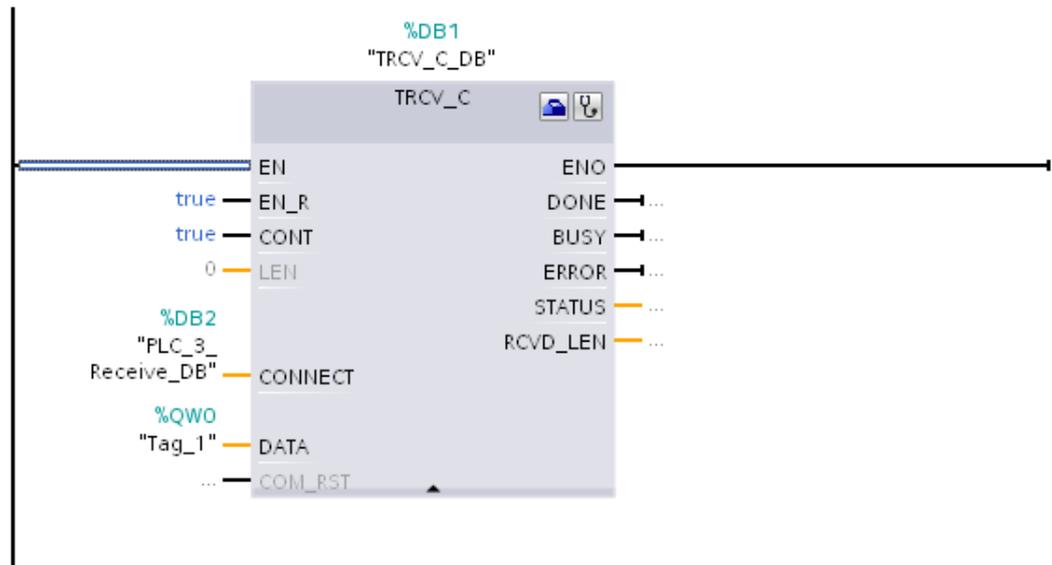


Imagen 27: Recibo de bytes 4 y 5 por el autómata 3

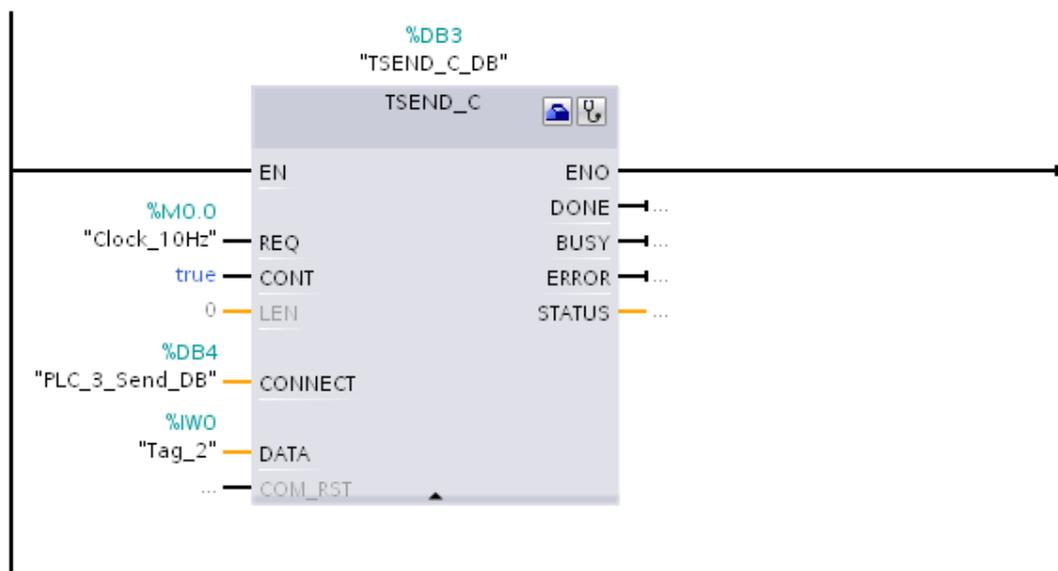


Imagen 28: Envío de bytes de entrada 0 y 1 del autómata 3

En estos segmentos se muestran las líneas de programa necesarias para la comunicación entre los 3 autómatas. Como se dijo con anterioridad, un solo autómata no dispone de las entradas y salidas suficientes para manejar este programa y un módulo de expansión no estaba disponible.

El autómata 1 es el autómata principal y el que gobierna a los otros dos autómatas. Éste es el autómata que precisa de un mayor número de entradas y de salidas, y necesita acudir a los otros dos autómatas para utilizar sus entradas y salidas.

Para las salidas, el autómata 1 debe enviar sus salidas virtuales, de las que no dispone, a los otros dos autómatas, de manera que estos ejecuten las órdenes que dicte el autómata principal. Esto se realiza mediante el comando TSEND_C. En la línea de programa de los otros dos autómatas hay unos comandos similares que recogen estas salidas y las colocan en sus salidas físicas. El comando para este fin es el TRCV_C.

Para ejemplificar este proceso vamos a describir las imágenes 20 y 22. En este segmento el autómata envía la Word QW2 (que incluye de la salida Q2.0 a la Q3.7, aunque en el autómata solo dispondremos de las salidas Q3.0 y Q3.1 del byte entero). En el segmento 1 del programa del autómata 2 hay un bloque de programa (TRCV_C) (Imagen 22) que recoge esa información que manda el autómata 1 y lo coloca en su Word de salida QW0.

De esta forma las salidas QW0 del autómata 2 se comportarán como si fueran las salidas QW2 del autómata 1.

El proceso para las entradas es similar pero contrario. El autómata 1 no tiene que enviar sus entradas, si no que tiene que recoger la información que le llega a las entradas de los otros autómatas.

Para ejemplificar el proceso describimos las imágenes 21 y 23. En el autómata 2 hay un bloque de programa (TSEND_C) que envía la Word IW0 al autómata 1. En el autómata 1 tendremos un bloque de programa TRCV_C que recoge esa información del autómata 2 y la coloca en el autómata 1 en la Word IW2 (que es virtual).

De esta forma, las entradas IW0 del autómata 2 se comportan como si fueran las entradas IW2 del autómata 1.

El proceso a seguir es similar en el resto de los segmentos de este apartado, llegando hasta el byte QB5 y IB4.

6.2.3 Control de estados de la máquina

En los apartados siguientes se describen los segmentos que modifican los estados de la máquina, es decir el byte MB9, que controla el proceso a realizar por la máquina.

6.2.3.1 Condición de marcha

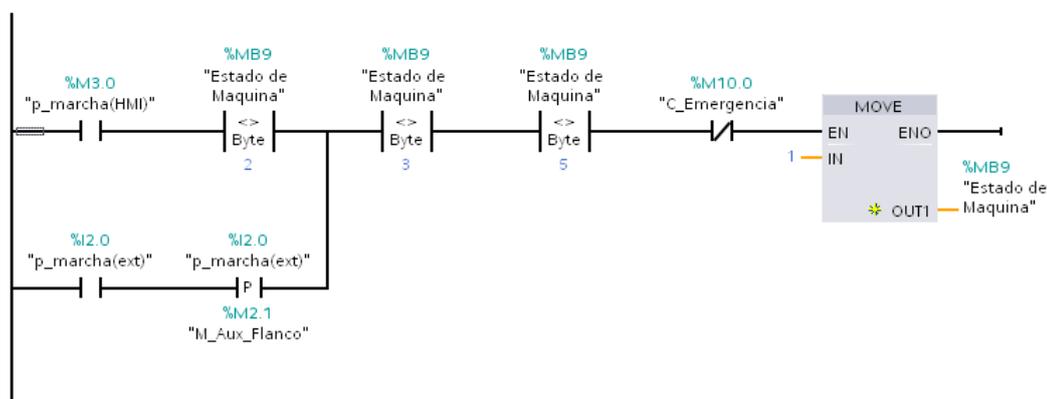


Imagen 29: Condición de Marcha

En este segmento controlamos cómo y cuando la máquina se pone en condición de marcha. Hay dos pulsadores que pueden iniciar la marcha: p_marcha(ext) y p_marcha(HMI). En el pulsador físico tenemos la marca M_Aux_Flanco que se describe en el apartado 10.4.3.

La lógica que sigue este segmento es que solo funcionarán estos pulsadores (poniendo efectivamente la máquina en estado de Marcha) siempre y cuando la máquina no esté en los estados de Reseteo, Inicio sin Condiciones Iniciales o en Condición de Emergencia y Condicion de Emergencia-Obligado Rearme. De esta forma, la máquina no comienza el ciclo de atado mientras esta reseteando los cilindros a su posición inicial, mientras no están los cilindros en su posición inicial, mientras está activada la condición de emergencia y una vez desactivada la seta de emergencia mientras no se haya activado la secuencia de reseteo con anterioridad.

6.2.3.2 Condición de ciclo continuo

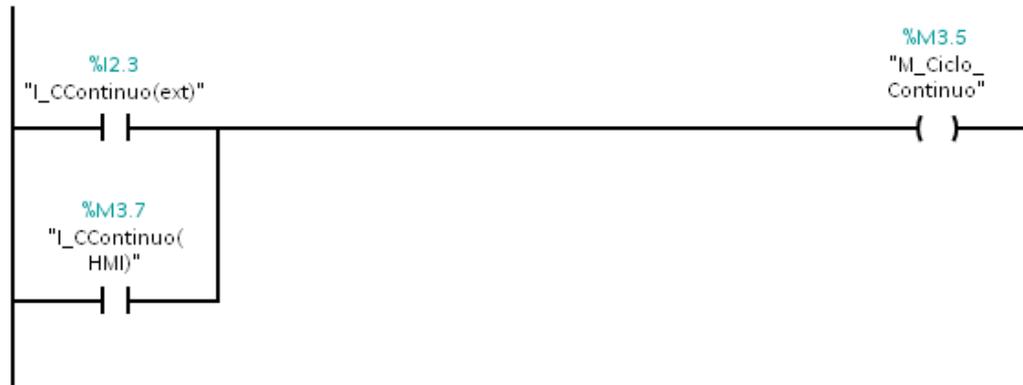


Imagen 30: Condición Ciclo Continuo

En este segmento se controla la activación de la condición de ciclo continuo. Es una marca aparte, separada del byte de Estados de la Máquina MB9 ya que la máquina no puede estar en dos estados de ese byte a la vez. Así conseguimos que la máquina pueda estar en ciclo continuo o no independientemente de si la máquina realizará un atado de una o dos vueltas.

En este segmento el interruptor de ciclo continuo (tanto el físico como el del HMI) activan la marca auxiliar de ciclo continuo. El funcionamiento de esta marca se describe más adelante en el momento de su utilización, en el apartado de la Etapa 1 (6.2.5.1).

6.2.3.3 Condición de vueltas

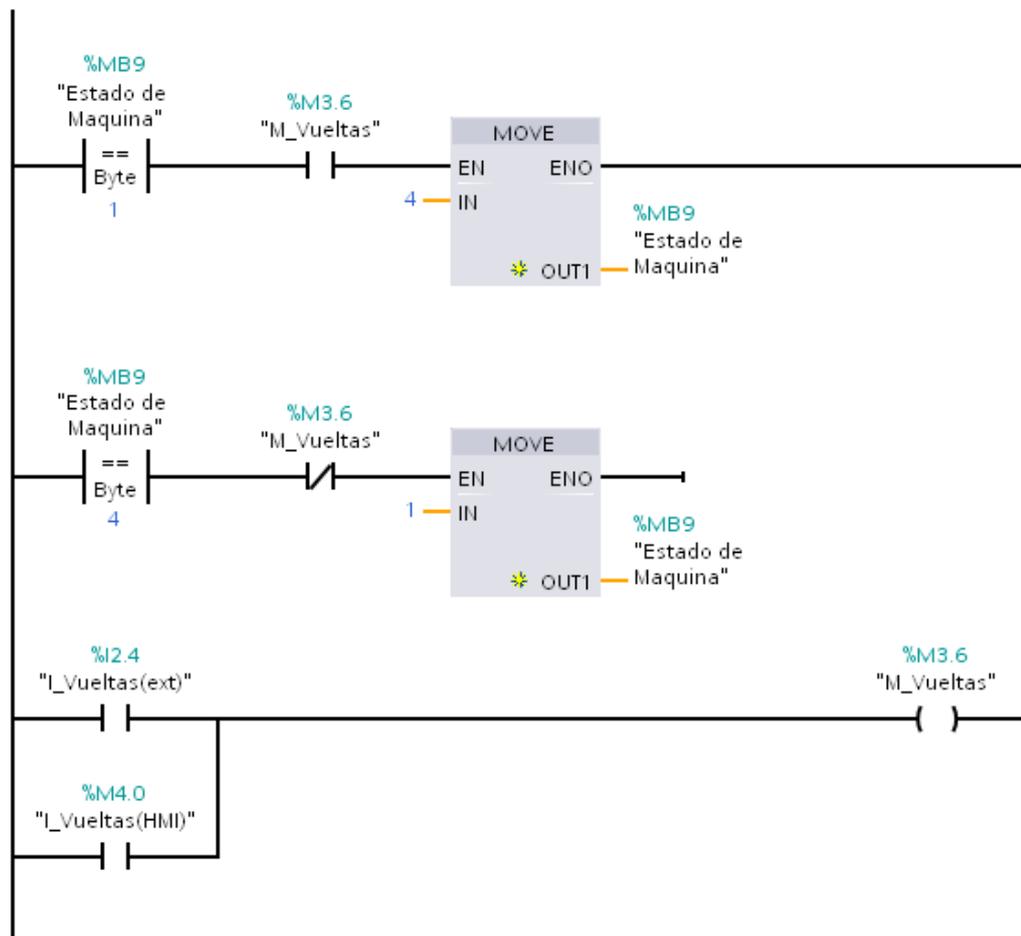


Imagen 31: Condición de vueltas

En este segmento controlamos que ciclo de atado debe seguir la máquina, ciclo de atado de una vuelta o ciclo de atado de dos vueltas.

La lógica que sigue este segmento es que una vez que la máquina está en marcha (una vez que el byte MB9 ha pasado a 1-Marcha de una vuelta) si está activado alguno de los dos interruptores de vueltas (el físico y el virtual) el estado de la máquina pasa a Marcha de 2 vueltas (MB9 pasa a estar en posición 4). Además, si los dos interruptores están desactivados y estamos en condición de marcha de 2 vueltas, pasamos a condición de marcha de 1 vuelta.

Esto es así para poder desactivar el interruptor físico o el virtual y hacer que la máquina funcione solo con uno de ellos. Cuando cualquiera de los dos está

activado la máquina realiza el ciclo de dos vueltas, pero cuando los dos están desactivados (o alguno de ellos directamente está desconectado mientras el otro está desactivado) entonces la máquina realizará el ciclo de una vuelta

6.2.3.4 Condición de Emergencia

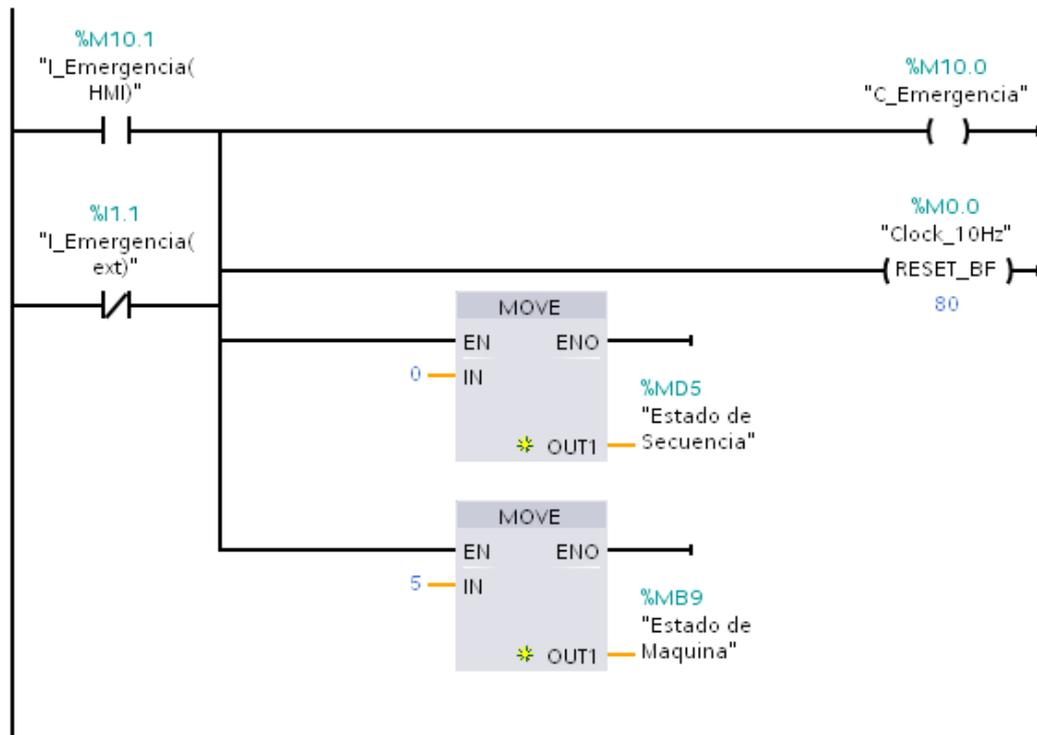


Imagen 32: Condición de Emergencia

En este segmento se controla la parada de emergencia.

La lógica que se sigue es la siguiente: al pulsar la seta de emergencia física o del HMI se activa la condición de emergencia M10.0 y se resetean todas las marcas (excepto la propia condición de emergencia y el interruptor de emergencia del HMI). Además se pone directamente el estado de secuencia MD5 en 0 (En espera) y el estado de la máquina MB9 en 5 (C.Emergencia-Obligado.Rearme).

Al desclavar la seta de emergencia la condición de emergencia desactiva, pero se mantiene la condición de Obligado Rearme. Como se podrá ver en los segmentos que se describen posteriormente cuando la máquina está en este estado

solo puede rearmarse. La condición de rearme que se describe en el apartado siguiente es la única que puede entrar en funcionamiento en este estado.

6.2.3.5 Condición de Rearme

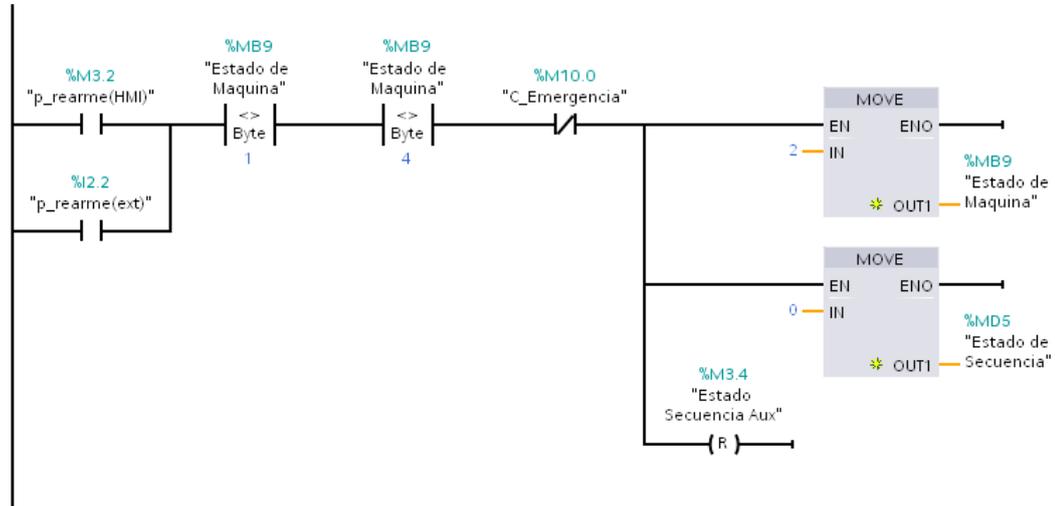


Imagen 33: Condición de Rearme

En este segmento se controla el rearme de la máquina, que posiciona todos los cilindros en sus condiciones iniciales de funcionamiento.

Para iniciar el estado de rearme hay que pulsar alguno de los dos pulsadores de rearme, el físico o el del HMI. La condición de rearme solo puede entrar cuando la máquina no está funcionando en marcha de una vuelta o marcha de 2 vueltas. De esta manera, el rearme puede entrar cuando estamos en condición de Paro, cuando estamos en estado de Inicio sin Condiciones Iniciales y cuando estamos en Condición de Emergencia-Obligado Rearme.

El rearme no puede funcionar mientras se está en Condición de Emergencia (es decir mientras está la seta de emergencia activada) pero es la única secuencia que puede ponerse en marcha después de desactivar la seta de emergencia.

Cuando se cumplen estas condiciones el byte MB9 de estados de la máquina se posiciona en 2-Condición de Rearme, pone el estado de secuencia

MD5 en 0-En espera y resetea además la marca auxiliar de estado de secuencia que gobierna el motor durante el apriete.

6.2.3.6 Fin de Rearme

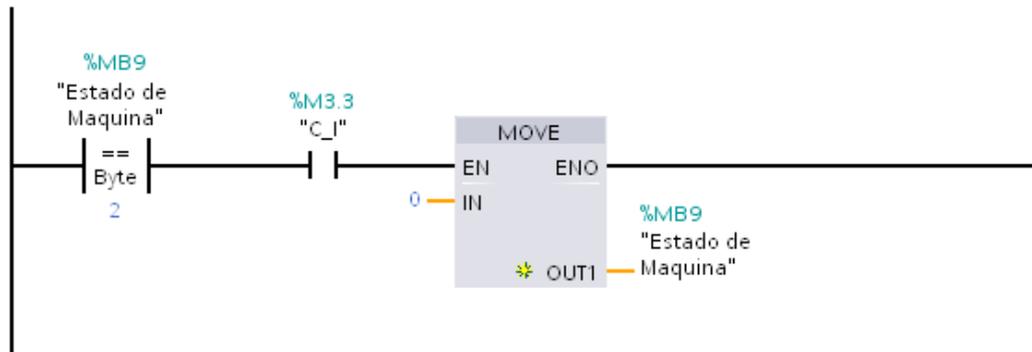


Imagen 34: Fin de rearme

En este segmento se muestran las circunstancias en las que el rearme se desactiva a sí mismo por haber completado la tarea de posicionar todos los cilindros en posición inicial.

El rearme se desactiva cuando estando en condición de rearme se alcanzan las condiciones iniciales. En ese momento el estado de maquina MB9 pasa a 0-Paro.

6.2.3.7 Condiciones iniciales

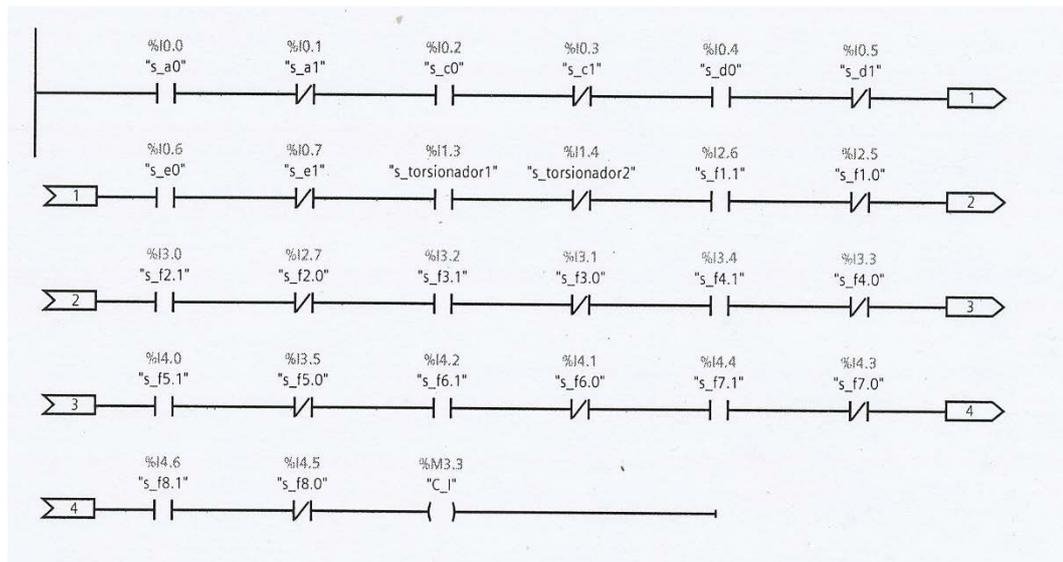


Imagen 35: Condiciones iniciales

En este segmento se muestran las circunstancias en las que se activa la marca auxiliar C_I.

C_I es una marca auxiliar que se activará cuando todos los cilindros estén en su posición inicial. Esto es cuando todos los sensores de condiciones iniciales están activados y cuando los sensores de la posición contraria están desactivados.

Cuando un cilindro está en su posición inicial se activa el sensor correspondiente (sensores 0 de cada elemento excepto los de los “flaps” que en posición inicial no están recogidos). En la práctica no sería necesario incluir que las condiciones iniciales se dan cuando además los sensores contrarios no están activados (un cilindro no puede estar en dos posiciones a la vez). Estos se incluyen sin embargo ya que así podemos detectar también si hay algún sensor que está averiado. Si en un mismo cilindro tenemos los dos sensores activados o ninguno podemos suponer que uno de los sensores no está funcionando correctamente o que hay algún problema con el cilindro correspondiente.

6.2.3.8 Condición de Paro

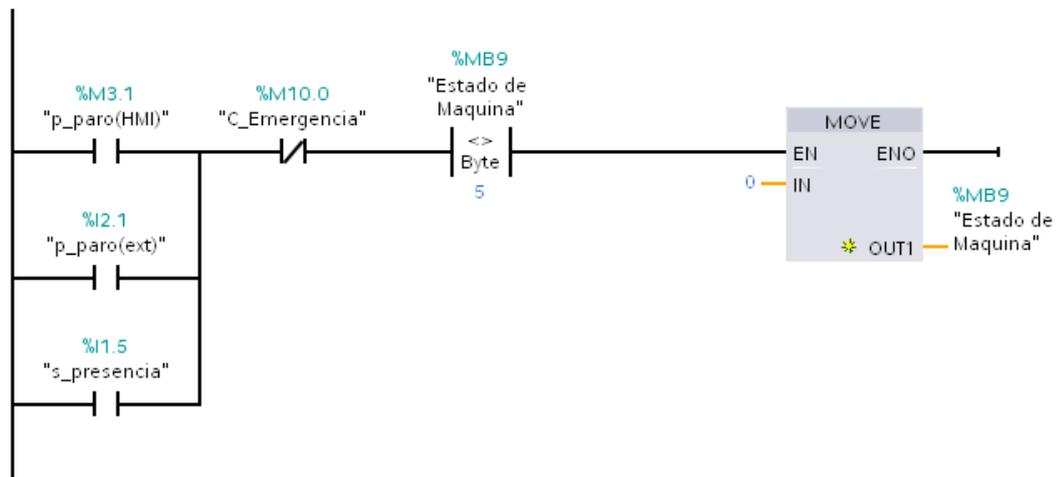


Imagen 36: Condición de Paro

En este segmento se controlan las condiciones en las que la máquina entra en estado de Paro.

El paro puede activarse o bien mediante alguno de los interruptores de paro (físico o del HMI) o mediante el sensor de presencia. En ese caso el estado de máquina cambia a 0-Paro siempre que no se esté en Condición de Emergencia o en condición de Obligado Rearme.

A diferencia del paro que se realiza debido a la Condición de Emergencia este paro no modifica el estado de secuencia de la máquina. Esto significa que podemos salir del paro de dos formas: con el pulsador de rearme, haciendo que la máquina vuelva a condiciones iniciales; o con el pulsador de marcha, haciendo que la máquina reanude la secuencia de atado.

6.2.3.9 Inicio sin condiciones iniciales

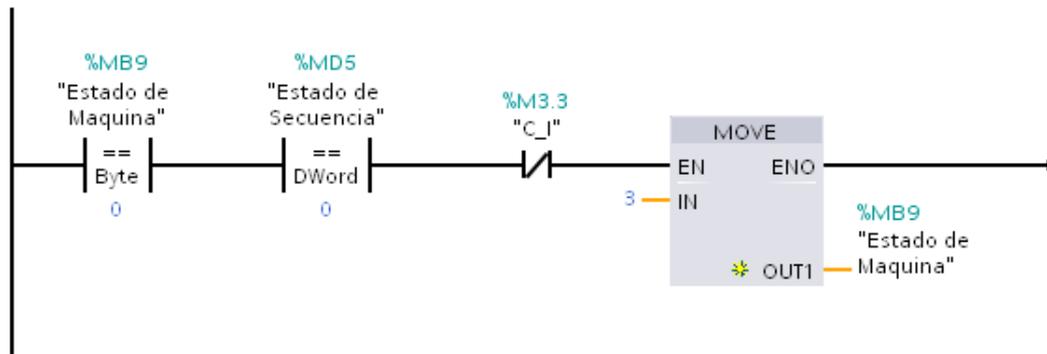


Imagen 37: Inicio sin Condiciones Iniciales

En este segmento se controla el estado de Inicio sin Condiciones Iniciales.

Este es un estado de la máquina que se activa cuando el estado de secuencia de la máquina MD5 está en 0-En espera y cuando el estado de secuencia de la máquina MB9 está en 0-Paro y además la marca C_I no está activada.

Es decir, este estado se activa cuando la maquina está parada, cuando no está en medio de la secuencia de atado y cuando en ese momento haya algún cilindro que no se encuentre en su posición inicial para realizar el ciclo de atado.

6.2.4 Salidas

En los apartados siguientes se describen las líneas de programa que controlan las circunstancias en las que debe activar cada salida.

6.2.4.1 Aire

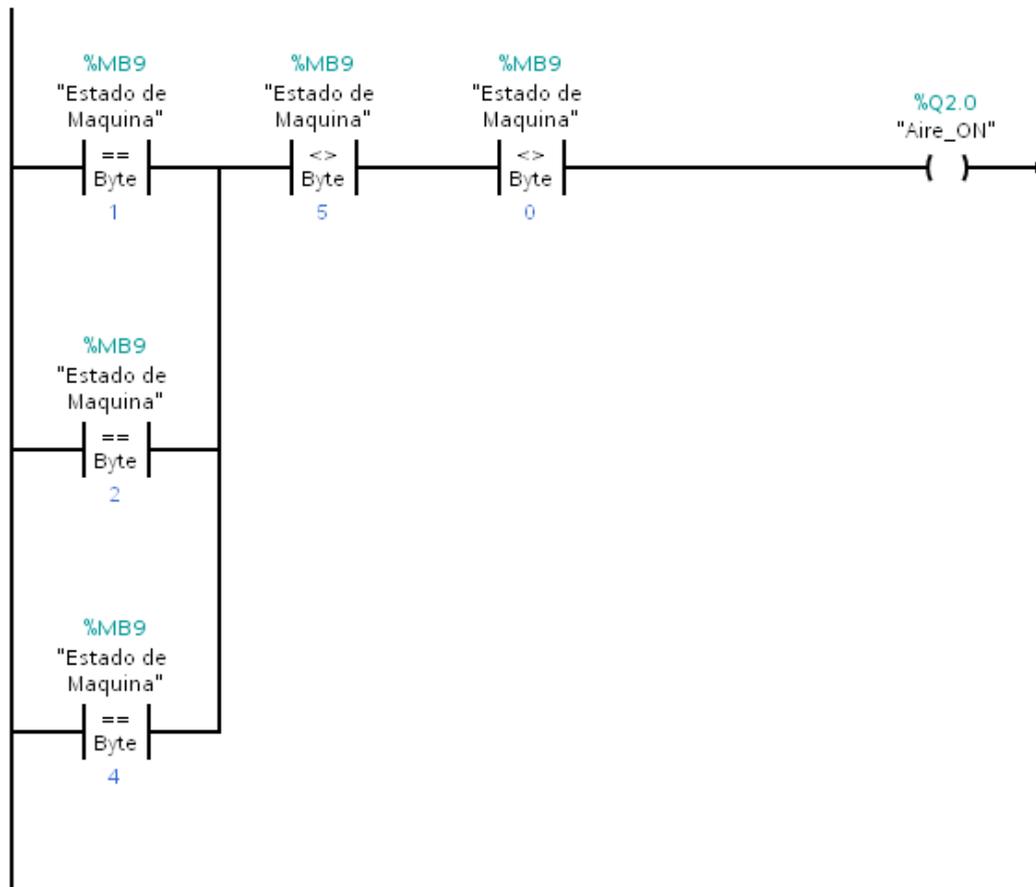


Imagen 38: Salida Aire

Este segmento controla cuando se activa la válvula que alimenta aire a todo el circuito, por lo que tendrá que estar activada siempre que haya que mover algún cilindro.

Como puede verse en la foto de este apartado, el aire se activará cuando la máquina esté en condición de marcha de una o de dos vueltas y cuando esté en condición de rearme, siempre y cuando que no esté activada en ese momento la condición de paro o de emergencia-obligado rearme.

6.2.4.2 Cilindro de posición A

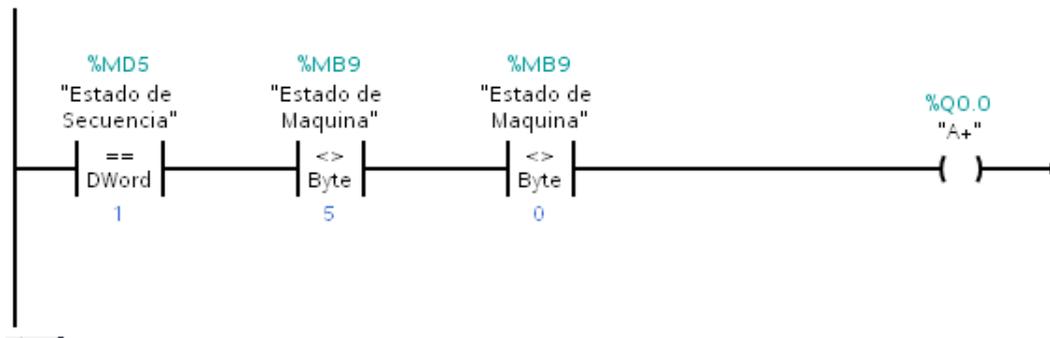


Imagen 39: Salida A+

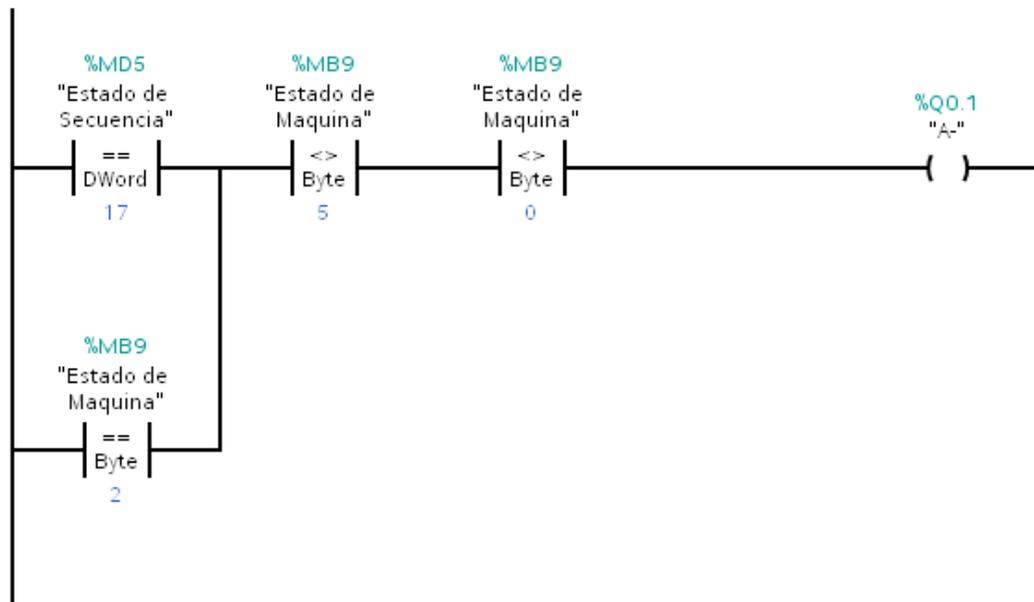


Imagen 40: Salida A-

En estos segmentos se controla el avance y el retroceso del cilindro de posicionamiento A. A avanzará en la etapa 1 (Estado de secuencia MD5 en posición 1) y retrocederá en la etapa 17 (Estado de secuencia MD5 en posición 17) o cuando esté activado el estado de rearme. Todo esto siempre que no esté activado el estado de paro o de emergencia-obligado rearme.

6.2.4.3 Guía C

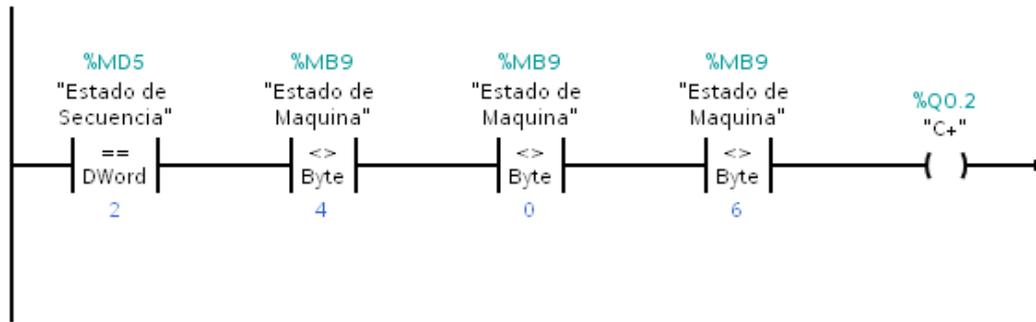


Imagen 41: C+

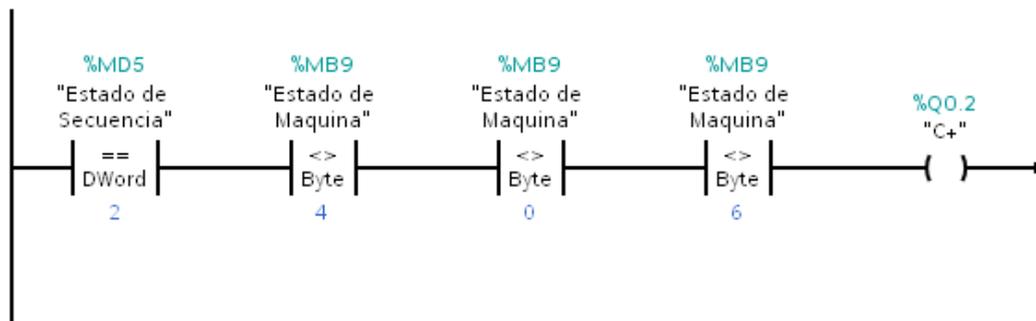


Imagen 42: C-

En estos segmentos se controla el avance y el retroceso de la guía C. C avanzará en la etapa 2 (Estado de secuencia MD5 en posición 2) y retrocederá en la etapa 16 (Estado de secuencia MD5 en posición 16) o cuando esté activada la condición de rearme. Todo esto siempre que no esté activado el estado de paro o de emergencia-obligado rearme y además siempre que no esté activado el estado de máquina MB9 4-Marcha de dos vueltas (ya que el cilindro C solo actúa en el ciclo de atado de una vuelta).

6.2.4.4 Motor

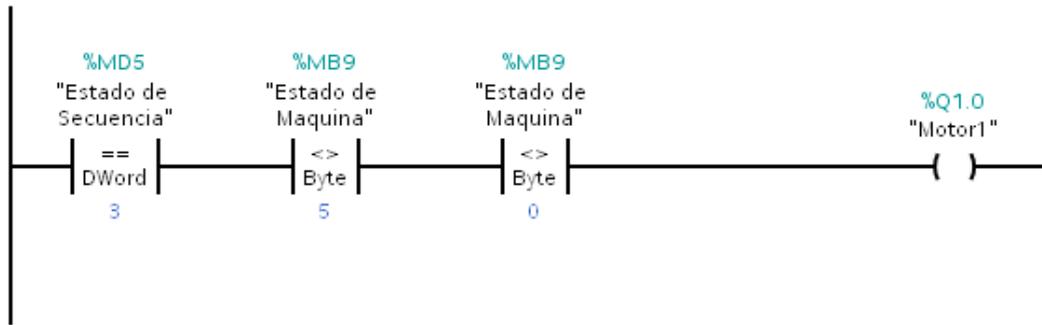


Imagen 43: Motor giro 1

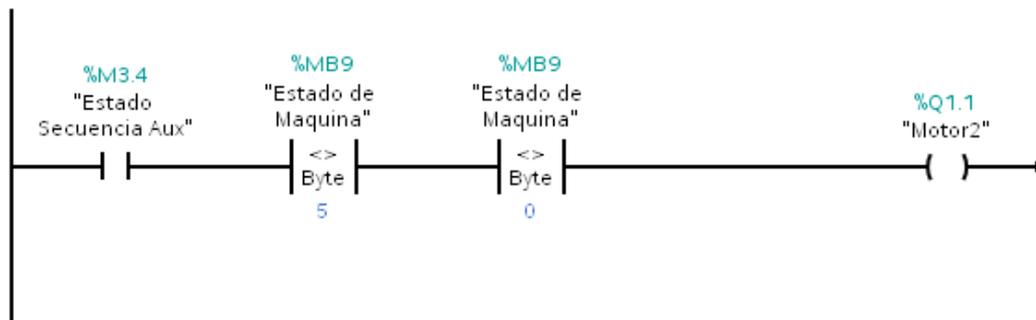


Imagen 44: Motor giro 2

En estos segmentos se controla el movimiento del motor en los dos sentidos. En el segmento 23 controlamos el giro del motor que alimenta el hilo al brazo de atado, que entra en funcionamiento durante la etapa 3 (Estado de secuencia MD5 en posición 3). En el segmento 24 controlamos el giro del motor que aprieta el paquete de atado, que es activado por la marca auxiliar Estado de secuencia Aux. Todo esto siempre que no esté activado el estado de paro o de emergencia-obligado rearme. El motor como es natural no tiene rearme.

6.2.4.5 Pinza de agarre D

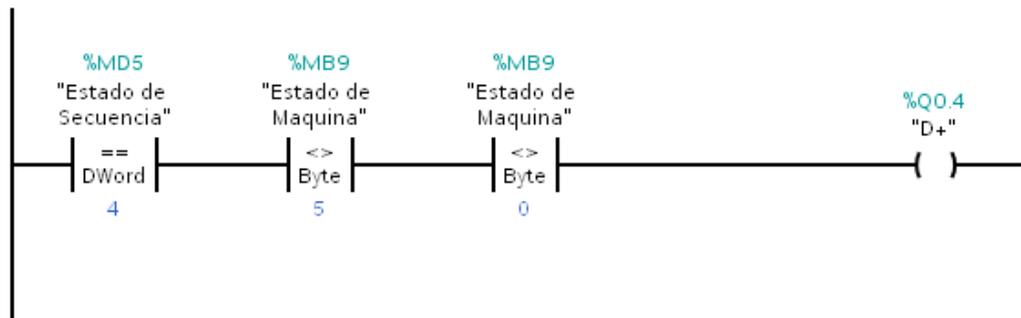


Imagen 45: D+

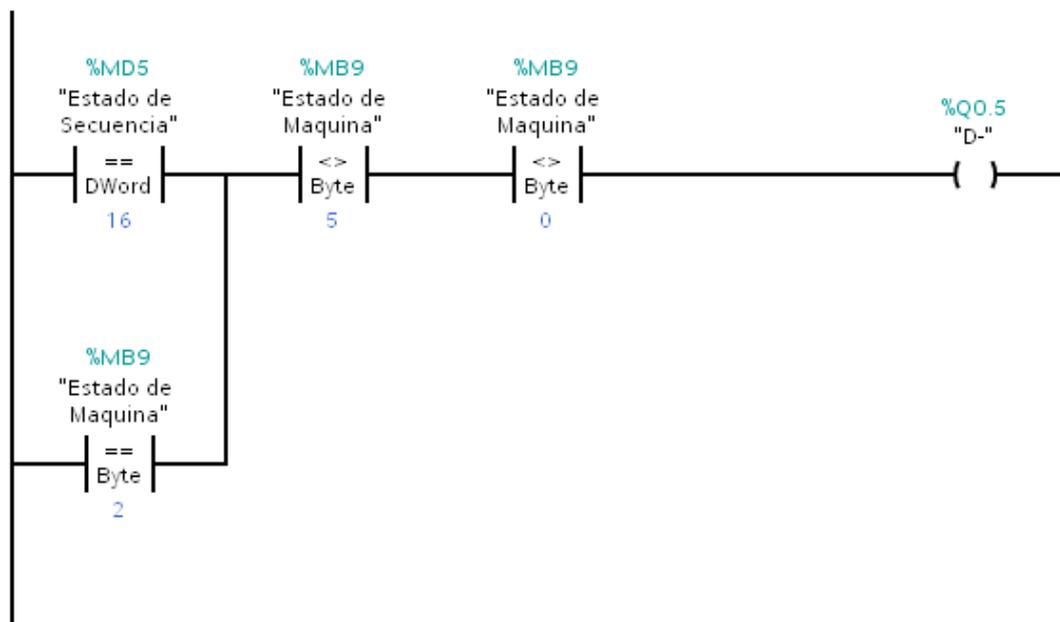


Imagen 46: D-

En estos segmentos se controla el avance y el retroceso de la pinza de agarre D. Ésta avanzará durante la etapa 4 (Estado de secuencia MD5 en posición 4) y retrocederá durante la etapa 16 (Estado de secuencia MD5 en posición 16) y cuando esté activada la condición de rearme. Todo esto siempre que no esté activado el estado de paro o de emergencia-obligado rearme.

6.2.4.6 Pinza de agarre E

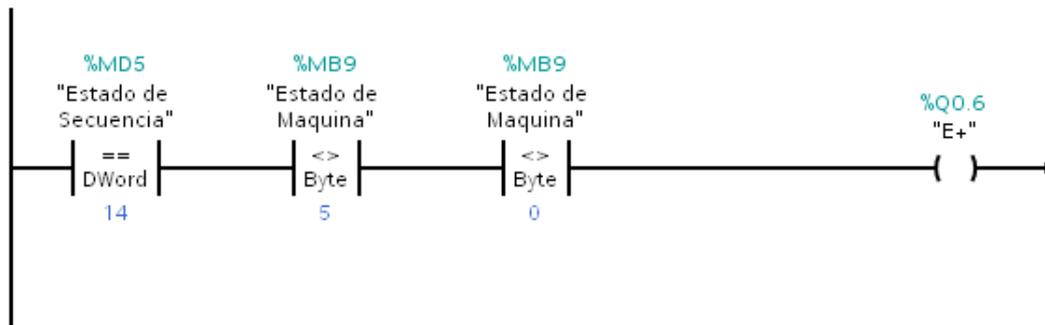


Imagen 47: E+

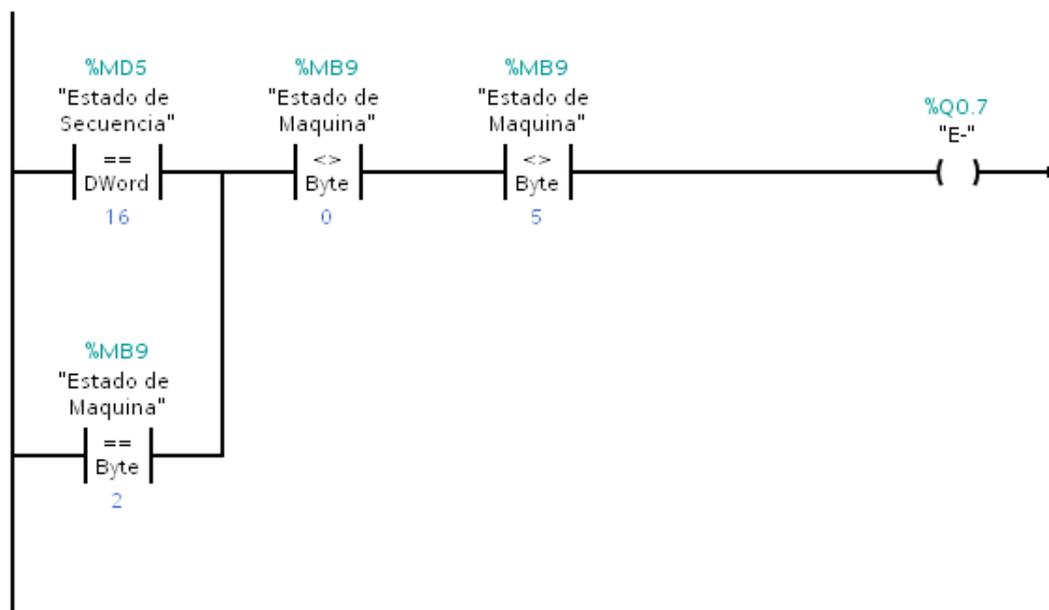


Imagen 48: E-

En estos segmentos se controla el avance y el retroceso de la pinza de agarre E. Ésta avanzará durante la etapa 14 (Estado de secuencia MD5 en posición 14) y retrocederá durante la etapa 16 (Estado de secuencia MD5 en posición 16) y cuando esté activada la condición de rearme. Todo esto siempre que no esté activado el estado de paro o de emergencia-obligado rearme.

6.2.4.7 Torsionador

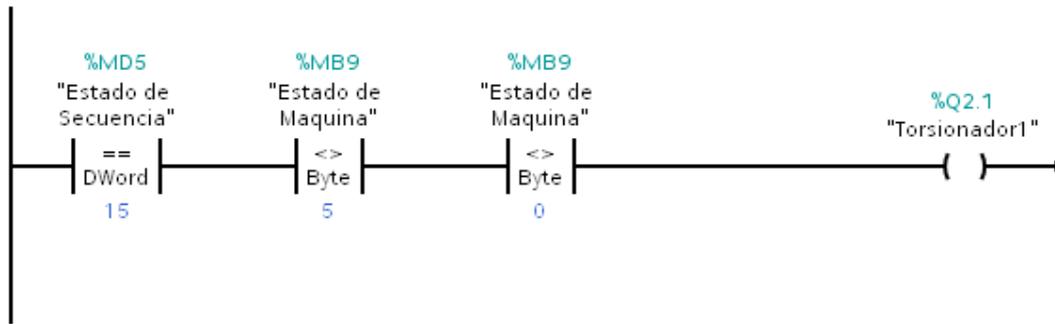


Imagen 49: Torsionador giro 1

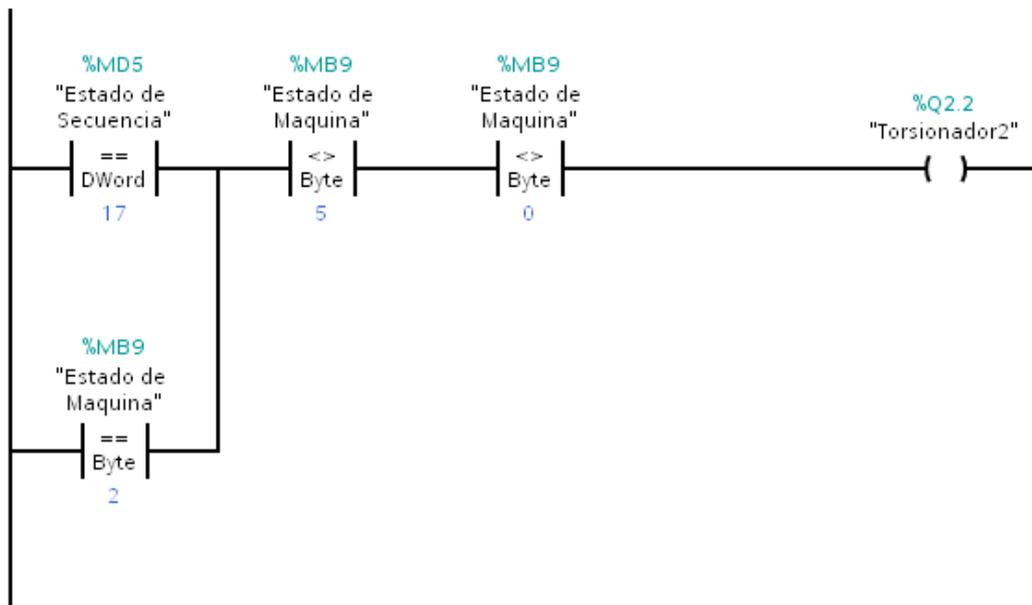


Imagen 50: Torsionador giro 2

En estos segmentos controlamos los giros del torsionador que realiza el nudo. Durante la etapa 15 (Estado de secuencia MD5 en posición 15) gira en un sentido, realizando el nudo de atado. Durante la etapa 17 (Estado de secuencia MD5 en posición 17) o mientras está activada la condición de rearme gira en sentido contrario volviendo a su posición inicial.

6.2.4.8 "Flaps"

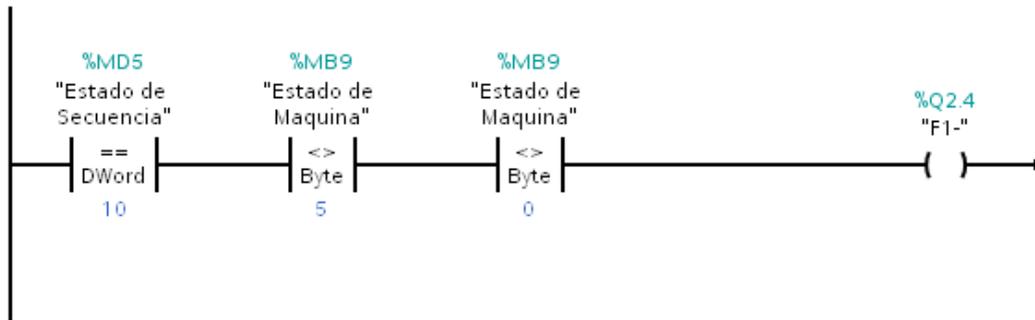


Imagen 51: F1-

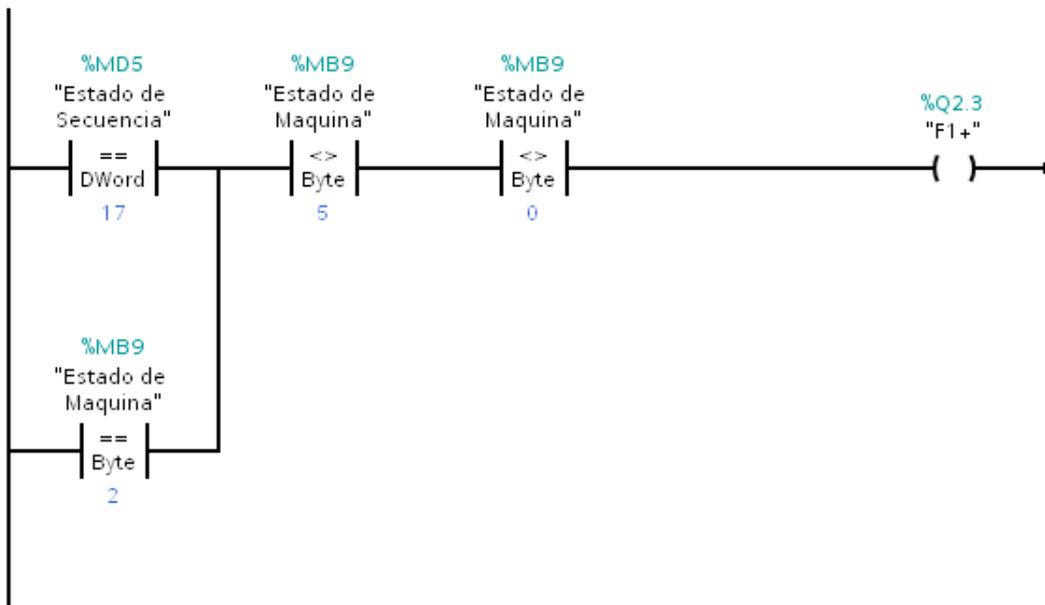


Imagen 52: F1+

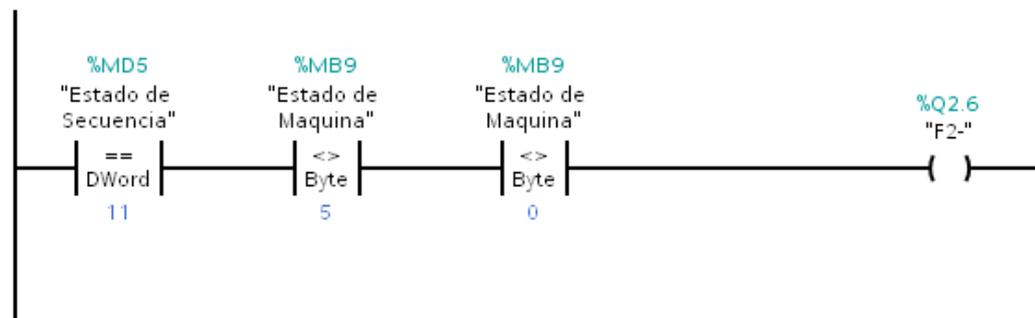


Imagen 53: F2-

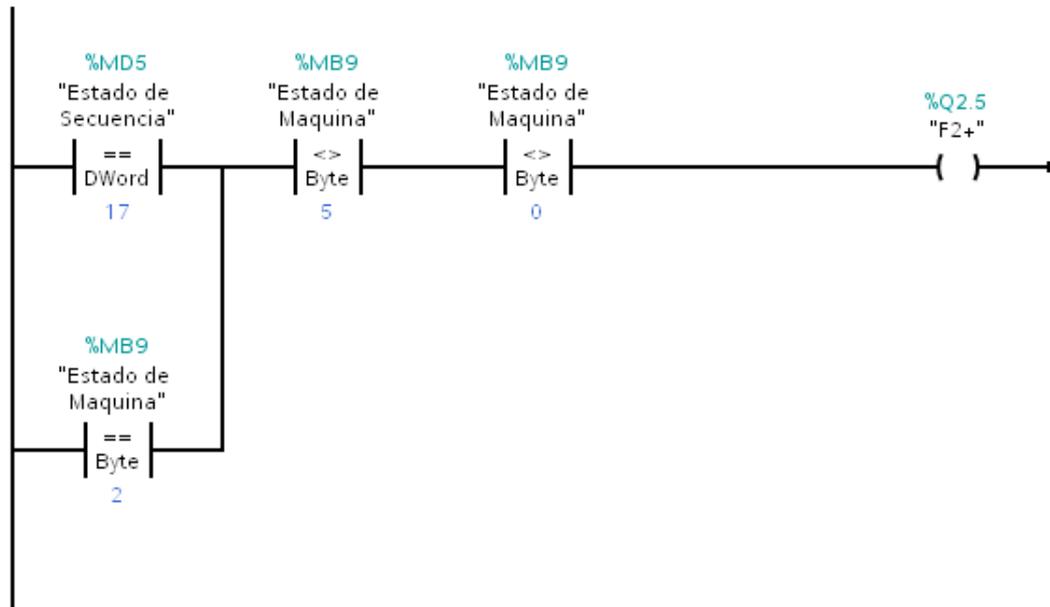


Imagen 54: F2+

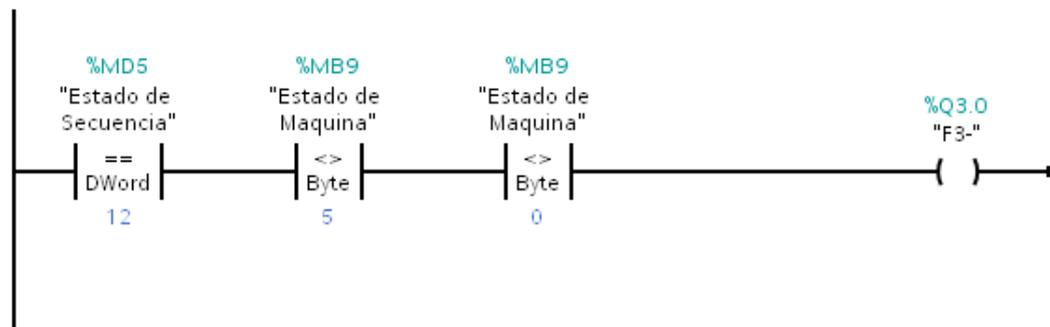


Imagen 55: F3-

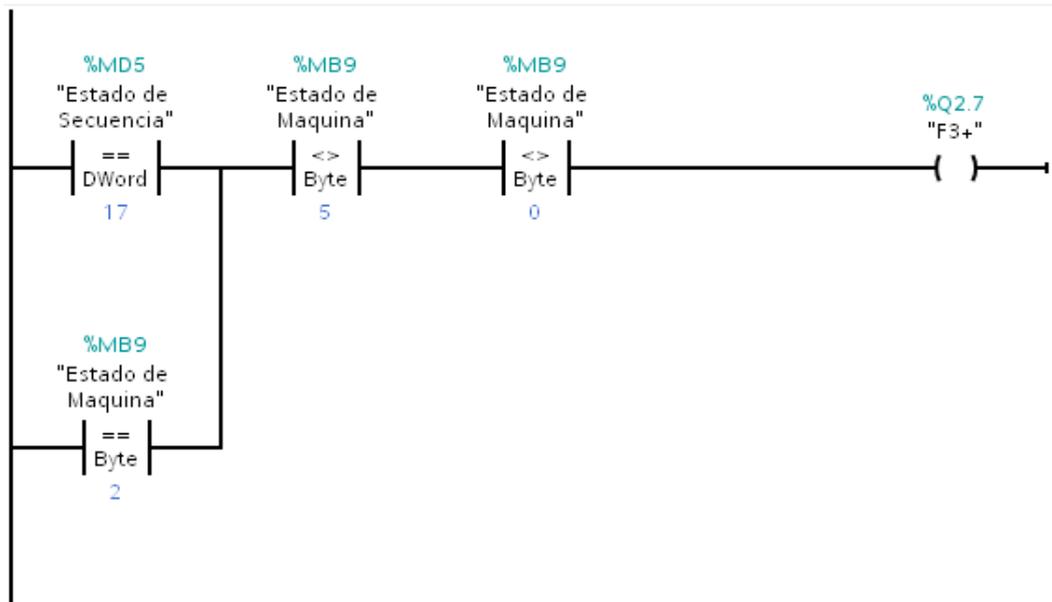


Imagen 56: F3+

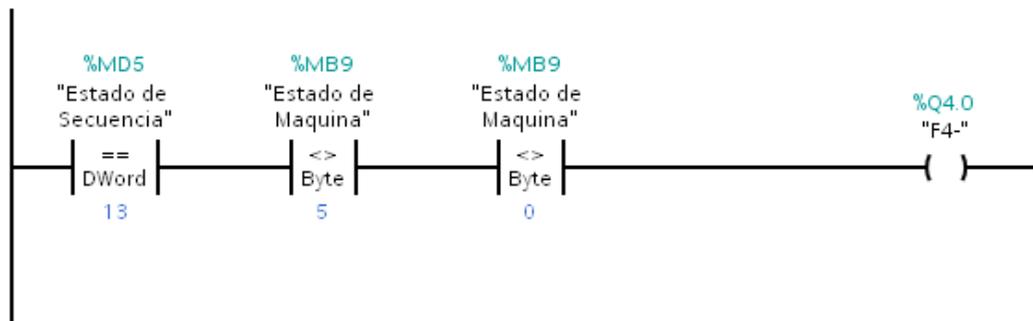


Imagen 57: F4-

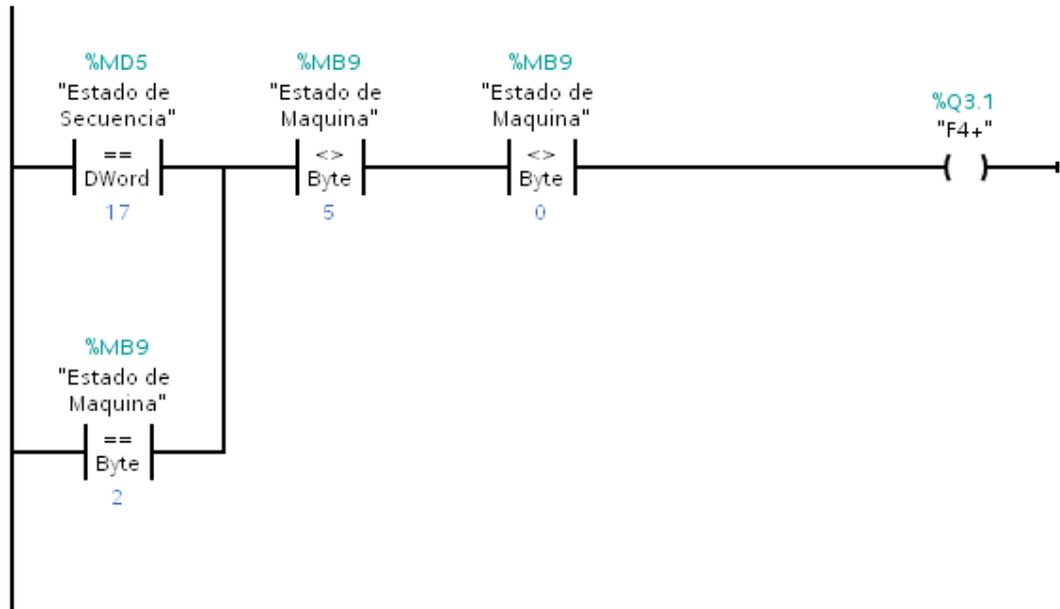


Imagen 58: F4+

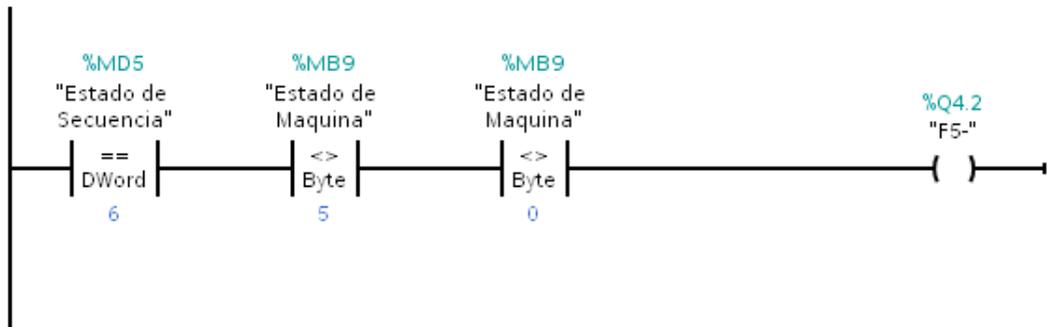


Imagen 59: F5-

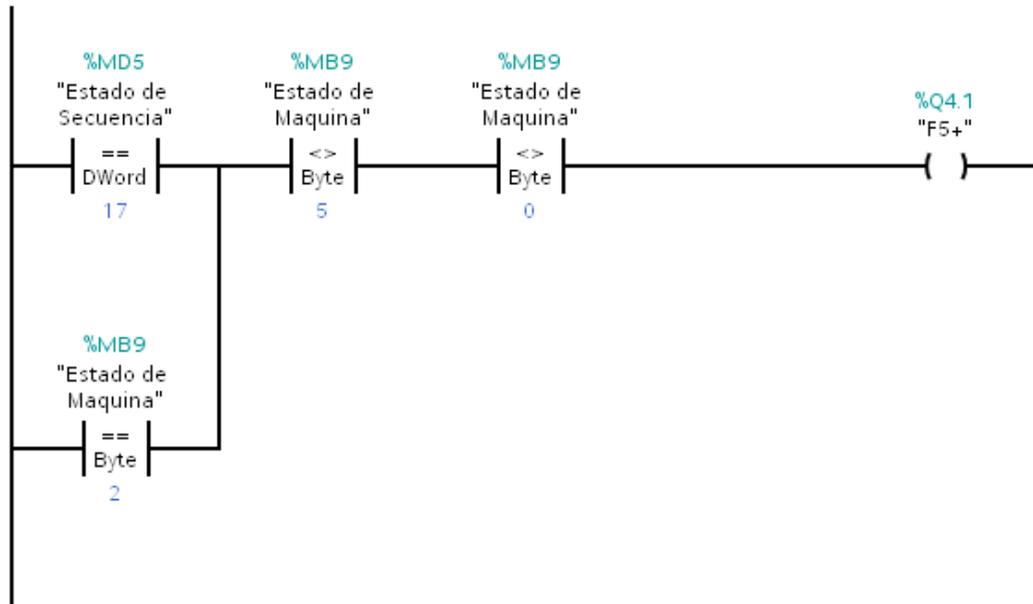


Imagen 60: F5+

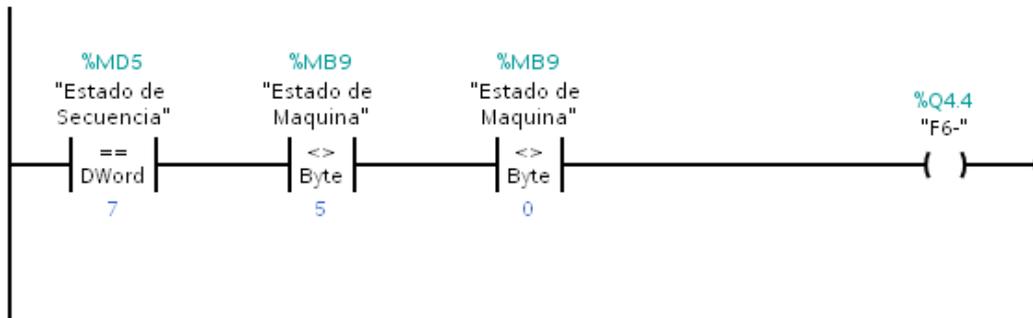


Imagen 61: F6-

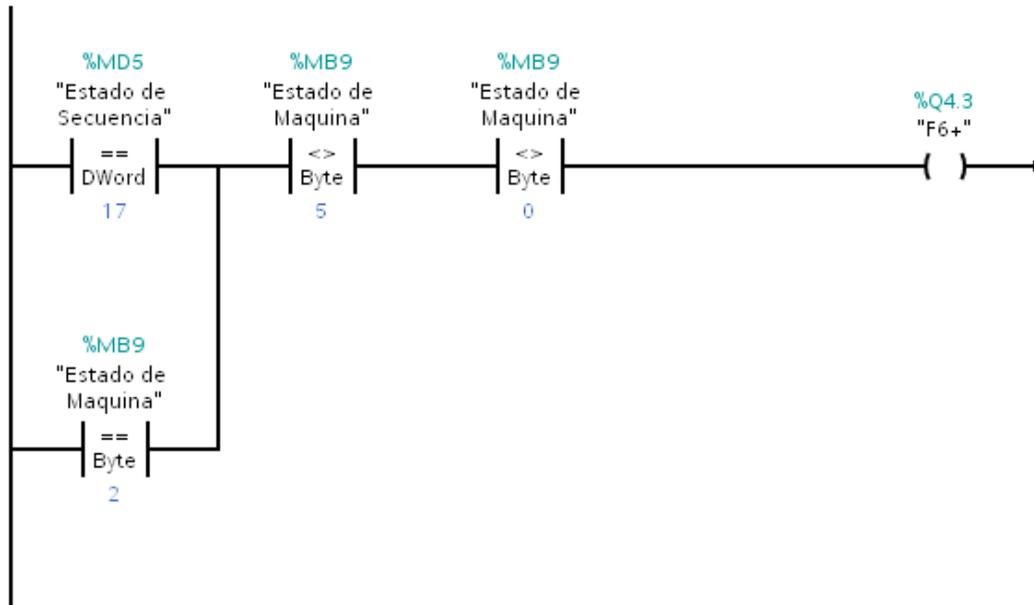


Imagen 62: F6+

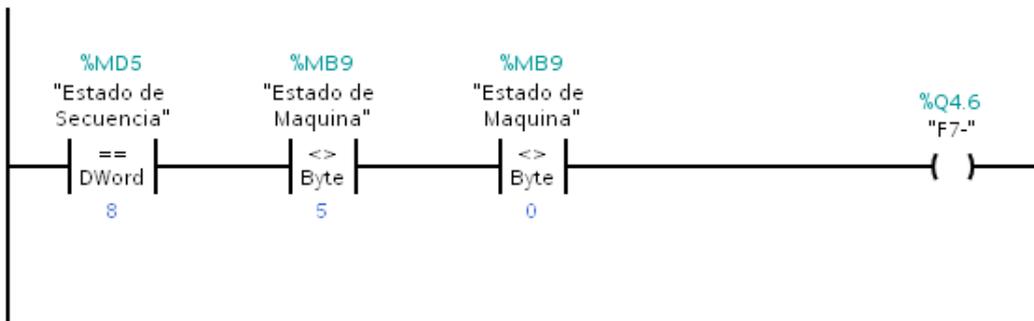


Imagen 63: F7-

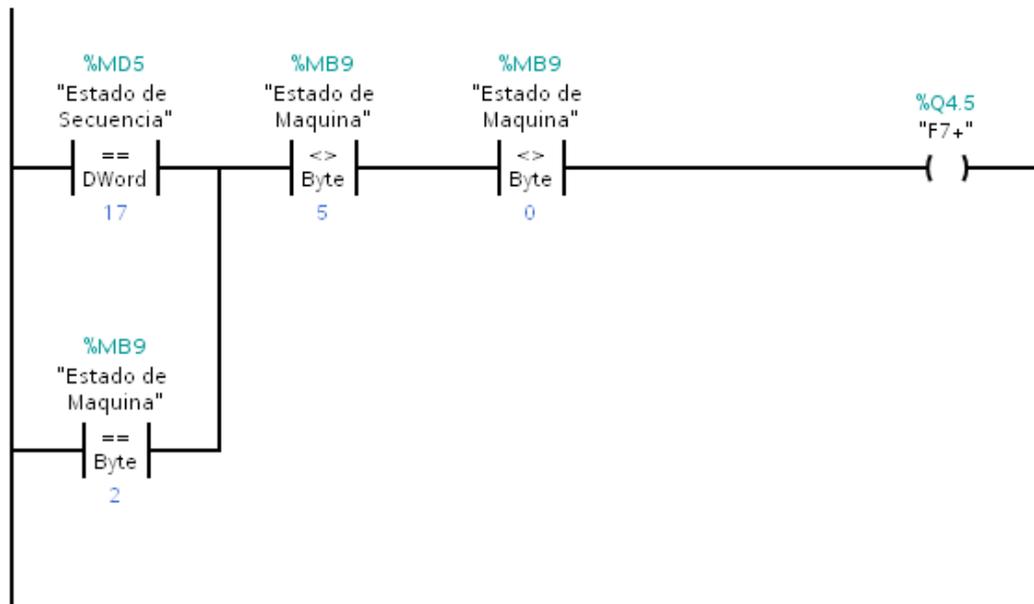


Imagen 64: F7+

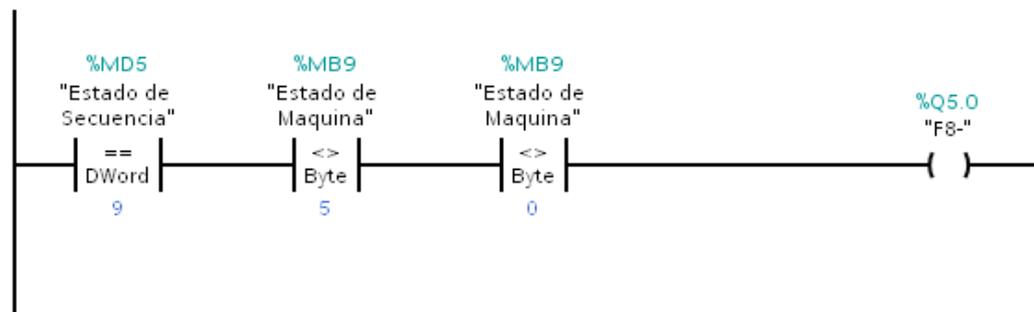


Imagen 65: F8-

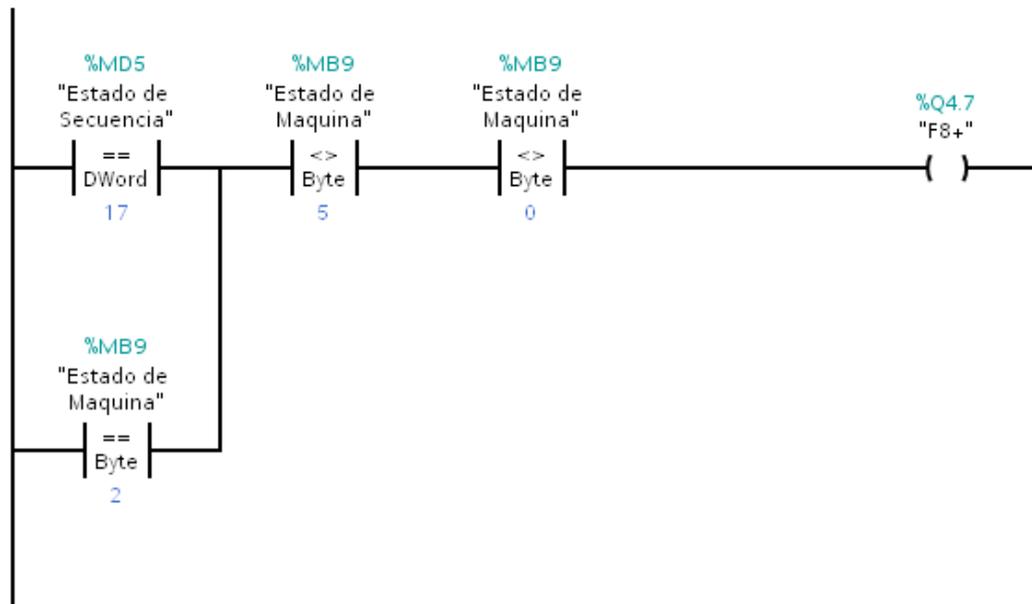


Imagen 66: F8+

En estos segmentos controlamos las etapas en las que actúan los diferentes “flaps”. Al contrario que con los otros cilindros del programa los “flaps” estarán en posición inicial cuando estén adelantados. En cada uno de los FX- el “flap” correspondiente se recoge. Esto se produce en secuencia, como podrá verse en las etapas del programa. Cada “flap” está asociado a una etapa en la que se recoge:

| NUMERO DE FLAP | ETAPA QUE LO ACTIVA (+) |
|----------------|-------------------------|
| 1 | 10 |
| 2 | 11 |
| 3 | 12 |
| 4 | 13 |
| 5 | 6 |
| 6 | 7 |
| 7 | 8 |
| 8 | 9 |

El avance a la posición inicial de todos los “flaps” se produce en la etapa 17 o durante la condición de rearme. Todo esto siempre que no esté activado el estado de paro o de emergencia-obligado rearme.

6.2.5 Etapas

En los apartados siguientes se describen las diferentes etapas del programa. Cada apartado muestra en su título la etapa que activa en ese segmento.

6.2.5.1 Etapa 1

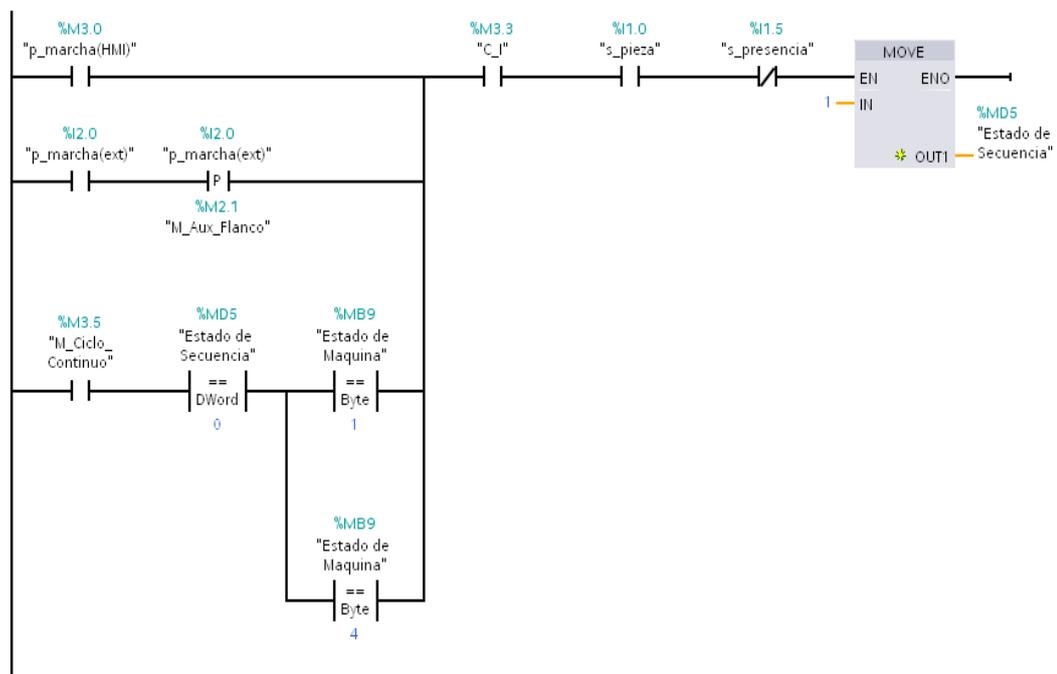


Imagen 67: Etapa 1

En este segmento se inicia la primera etapa de la secuencia de atado. Hay dos formas de activar esta primera etapa:

- 1- Con alguno de los pulsadores de marcha.
- 2- Cuando esté activada la etapa de ciclo continuo, el estado de secuencia MD5 esté en 0-En espera y estemos en estado de máquina MB9 1 o 4 (marcha con una vuelta o dos vueltas). En la etapa final del programa podrá verse que cuando la marca de ciclo continuo está activada al

finalizar la secuencia de atado el programa no pone la maquina es estado de Paro. De esta manera, al completar el ciclo de atado la máquina automáticamente comienza un nuevo ciclo.

Todo esto está además sujeto a que estemos en condiciones iniciales (la marca C_I esté activada) a que se detecten objetos para realizarles el atado (el sensor de pieza se active) y que no haya presencia humana o de algún objeto en las proximidades de la zona de atado (que el sensor de presencia no esté activado).

Si se cumplen todas esas condiciones el programa inicia la Etapa 1 del ciclo de atado poniendo MD5 en posición 1.

6.2.5.2 Etapa 2/3

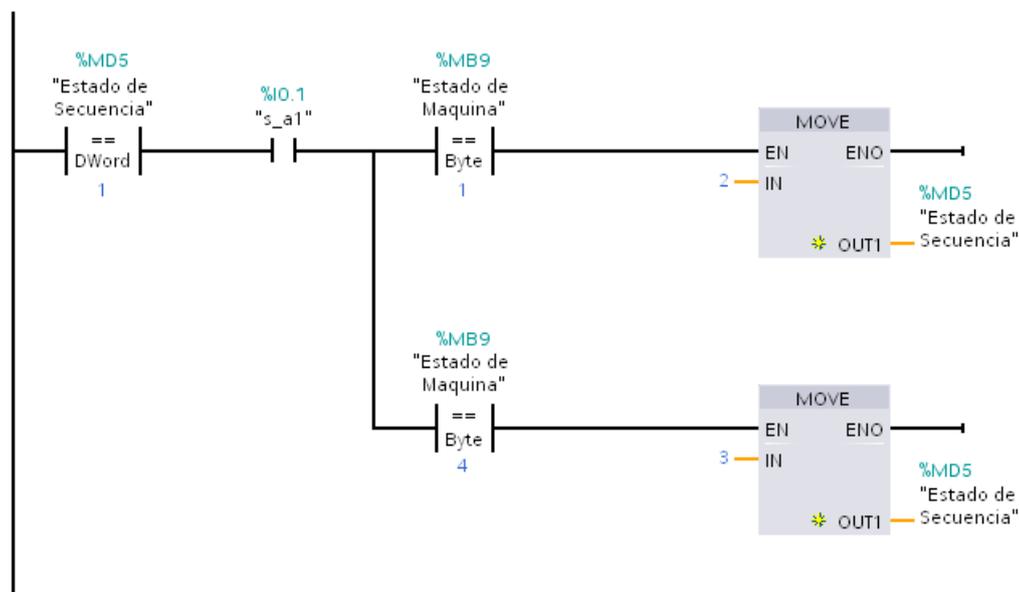


Imagen 68: Etapa 2/3

En este segmento se controla el inicio de la etapa 2 o el inicio de la etapa 3 en función de la secuencia de atado que se esté realizando.

Cuando se activa el sensor de posición s_a1 durante la etapa 1 se activa la etapa siguiente. La etapa siguiente puede ser la 2 o la 3, dependiendo del estado de máquina. Durante la etapa 2 actúa la guía C, pero ésta solo puede actuar cuando estamos realizando el atado de dos vueltas. De esta manera, si estamos en estado de maquina 1-Marcha de una vuelta pasaremos a la etapa 2 mientras que si

estamos en estado de maquina 4-Marcha de dos vueltas entonces pasaremos a la etapa 3 saltándonos la etapa 2.

6.2.5.3 Etapa 3

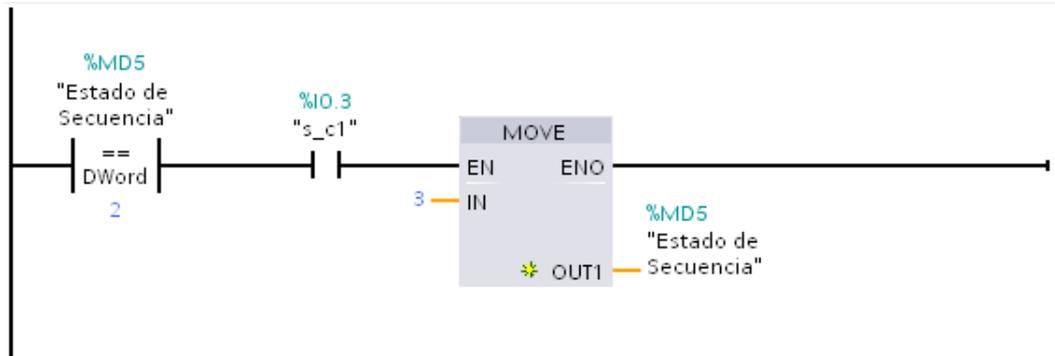


Imagen 69: Etapa 3

Este segmento inicia la etapa 3 si antes hemos pasado por la etapa 2. En el caso de que estemos en una secuencia de atado de dos vueltas la etapa 3 será activada después de terminarse la etapa 1 (saltándose la etapa 2). Así, este segmento solo entra en funcionamiento si estamos en un ciclo de atado de una vuelta. Cuando se activa el sensor s_c1 durante la etapa 2 se activa la etapa 3.

6.2.5.4 Etapa 4

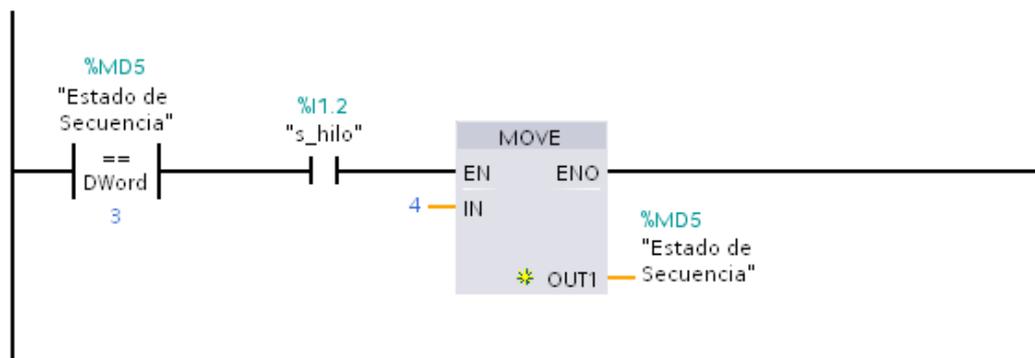


Imagen 70: Etapa 4

Este segmento inicia la etapa 4 cuando se activa el sensor de hilo durante la etapa 3. Esto ocurre cuando el motor termina de alimentar el hilo al brazo de atado y llega hasta el tope del cabezal.

6.2.5.5 Etapa 5/6/10

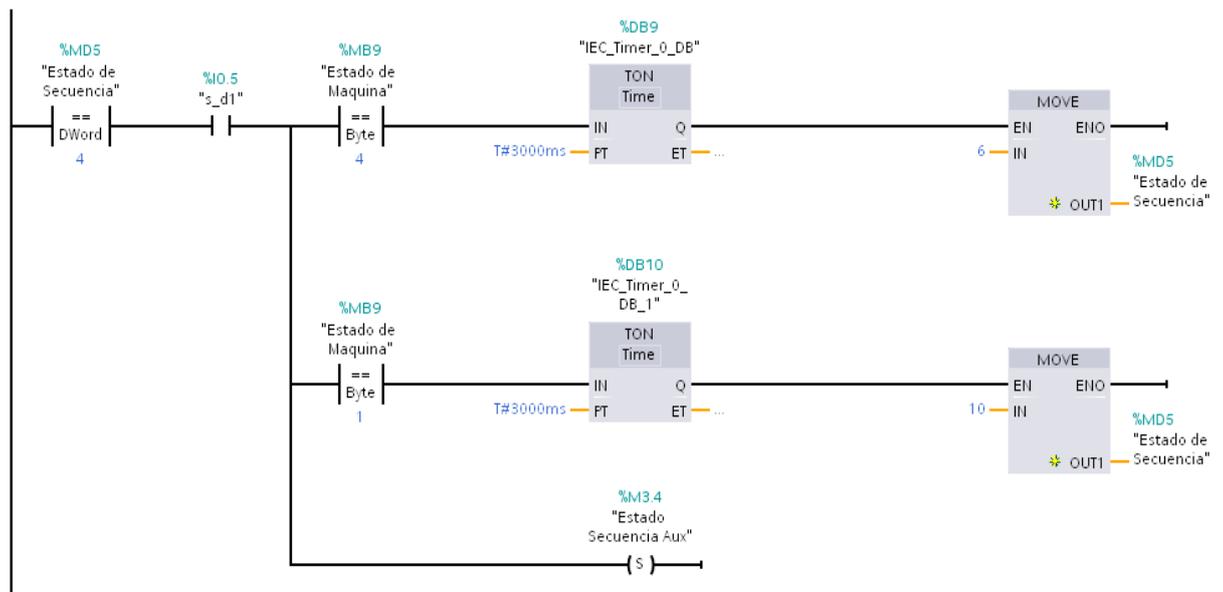


Imagen 71: Motor giro 2 e inicio de la secuencia de “flaps”

Este segmento inicia el apriete que realiza el motor en el segundo sentido de giro y la secuencia de “flaps” que apoyará el proceso.

Una vez que la pinza de agarre D agarre el hilo (s_d1) iniciamos el proceso. Se activa la marca “Estado Secuencia Aux” que mientras esté activa hará que el motor apriete el hilo en torno a los objetos a atar y se inicia la secuencia de flaps:

- 1- Si la máquina está realizando un atado de una vuelta solo actuarán los “flaps” de un lado (4 “flaps”) por lo que saltamos directamente a la etapa 10 y se inicia la secuencia de “flaps” de la segunda vuelta.
- 2- Si la máquina está realizando un atado de dos vueltas entonces actuarán todos los “flaps”. El programa pasa a la etapa 6 (la 5 es una etapa ficticia que sería ocupada por el motor durante su

segundo giro) y comienza la secuencia de “flaps” de la primera vuelta y después la secuencia de “flaps” de la segunda.

6.2.5.6 Etapa 7 y explicación de temporizaciones

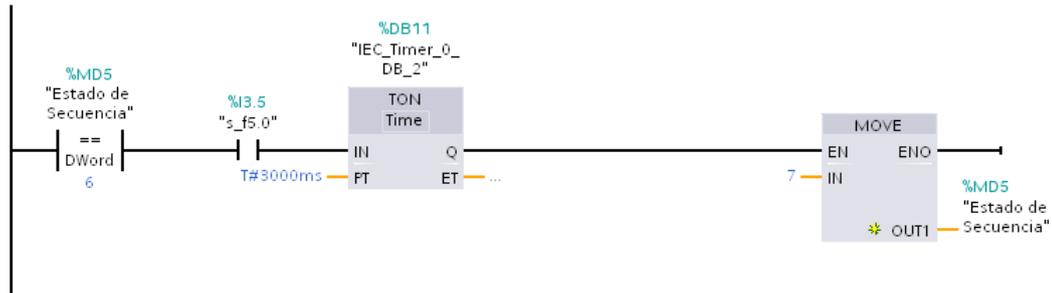


Imagen 72: Etapa 7

Esta etapa es activada por la etapa 6 una vez que se pise el sensor s_f5.0 y pase el tiempo establecido en el temporizador.

La secuencia de “flaps” debe controlarse para se abran en el momento justo mientras el motor aprieta el paquete de atado. En este programa se ha optado por el uso de temporizadores. Cada vez que se abra un “flap” un temporizador se pondrá en marcha y después del tiempo indicado por el mismo permitirá la activación de la siguiente etapa, es decir, permitirá que se abra el siguiente “flap”. El tiempo de los temporizadores debe determinarse de manera empírica ya que depende de las características de la máquina y del motor. Pueden modificarse fácilmente, permitiendo realizar estos ensayos. A efectos de nuestra simulación los temporizadores tendrán un tiempo suficiente que permita seguir la secuencia con facilidad (en una máquina real los “flaps” se abren de manera casi instantánea).

6.2.5.7 Etapa 8

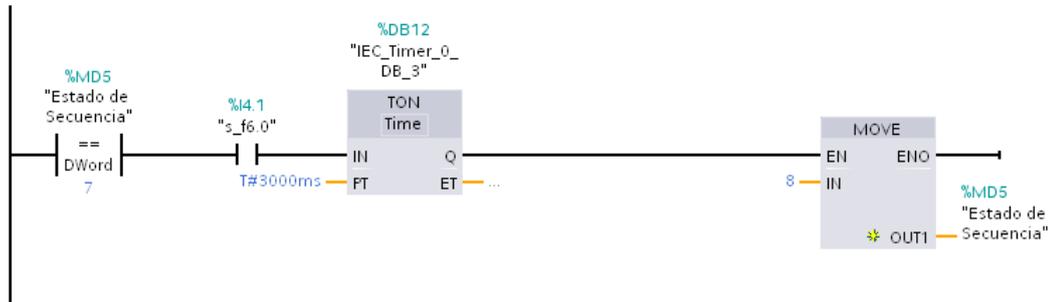


Imagen 73: Etapa 8

En este segmento se activa la etapa 8 una vez activado el sensor s_f6.0 y transcurrido el tiempo del temporizador.

6.2.5.8 Etapa 9

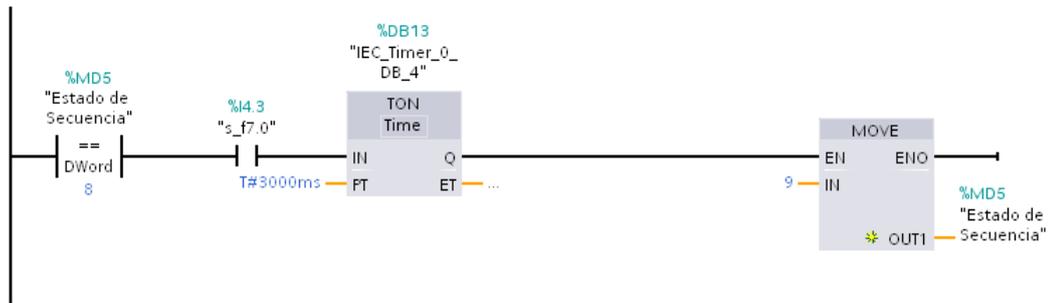


Imagen 74: Etapa 9

En este segmento se activa la etapa 9 una vez activado el sensor s_f7.0 y transcurrido el tiempo del temporizador.

6.2.5.9 Etapa 10 desde etapa 9

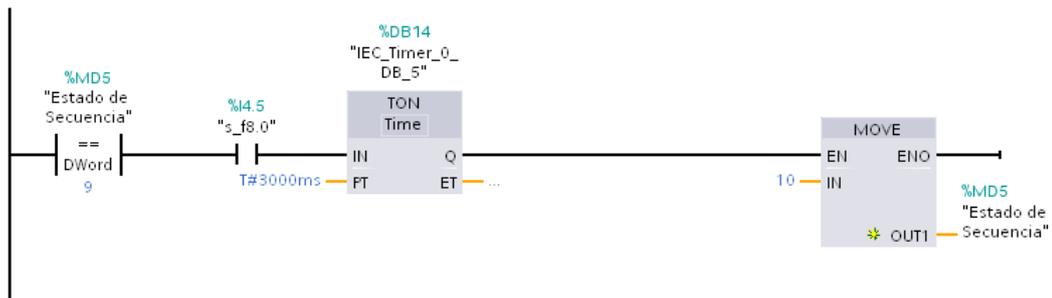


Imagen 75: Etapa 10 desde etapa 9

En este segmento se activa la etapa 10 una vez activado el sensor s_f8.0 y transcurrido el tiempo del temporizador. Hay que indicar que la etapa 10 también puede activarse después de la etapa 4 si estamos en un ciclo de atado de dos vueltas.

6.2.5.10 Etapa 11

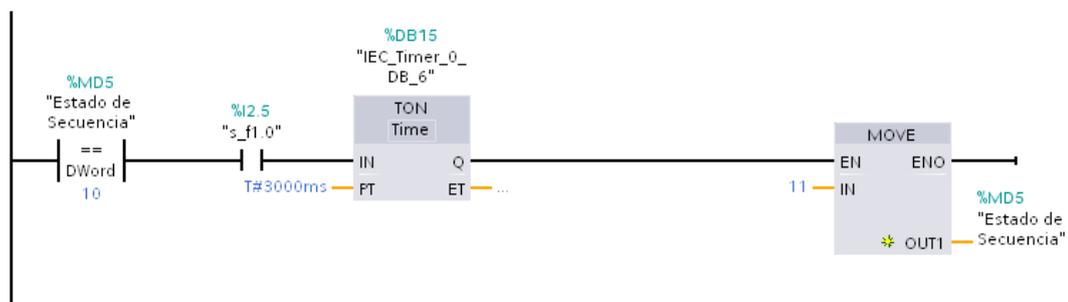


Imagen 76: Etapa 11

En este segmento se activa la etapa 11 una vez activado el sensor s_f1.0 y transcurrido el tiempo del temporizador.

6.2.5.11 Etapa 12

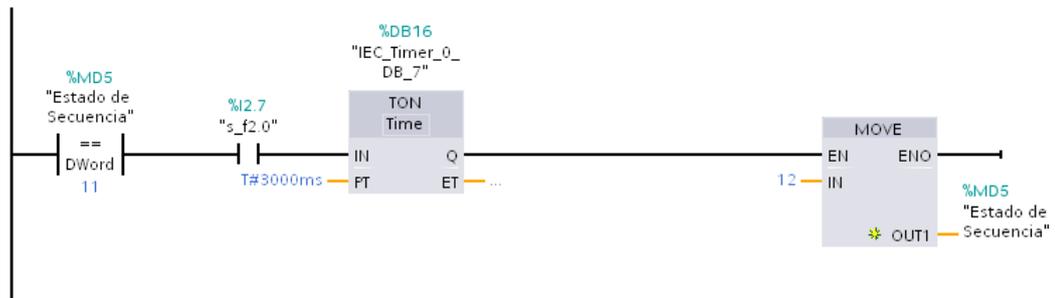


Imagen 77: Etapa 12

En este segmento se activa la etapa 12 una vez activado el sensor s_f2.0 y transcurrido el tiempo del temporizador.

6.2.5.12 Etapa 13

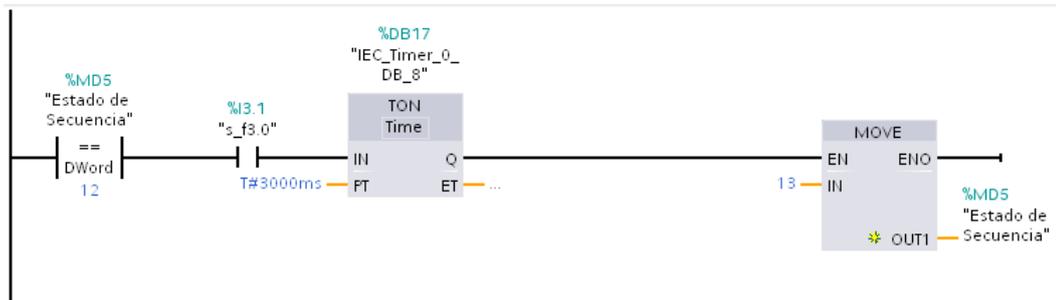


Imagen 78: Etapa 13

En este segmento se activa la etapa 13 una vez activado el sensor s_f3.0 y transcurrido el tiempo del temporizador.

6.2.5.13 Etapa 14

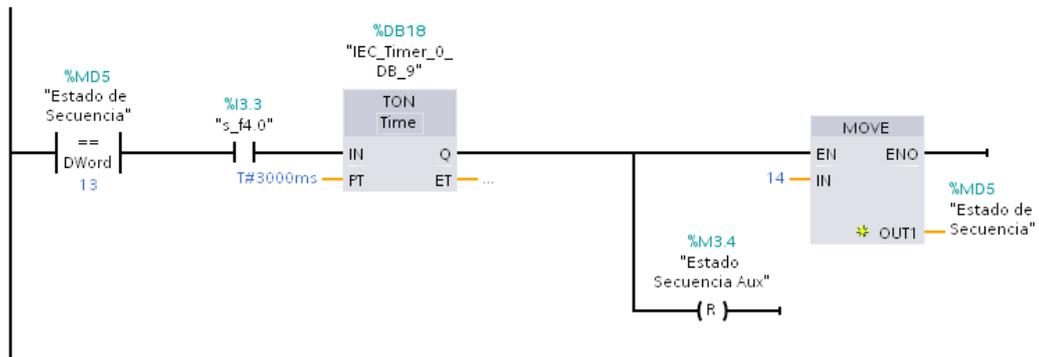


Imagen 79: Etapa 14

En este segmento se activa la etapa 14 una vez activado el sensor s_f4.0 y transcurrido el tiempo del temporizador. En este momento se termina la secuencia de “flaps” tanto para un ciclo de una vuelta como un ciclo de dos vueltas. Además se resetea la marca Estado Secuencia Aux parando el motor.

6.2.5.14 Etapa 15

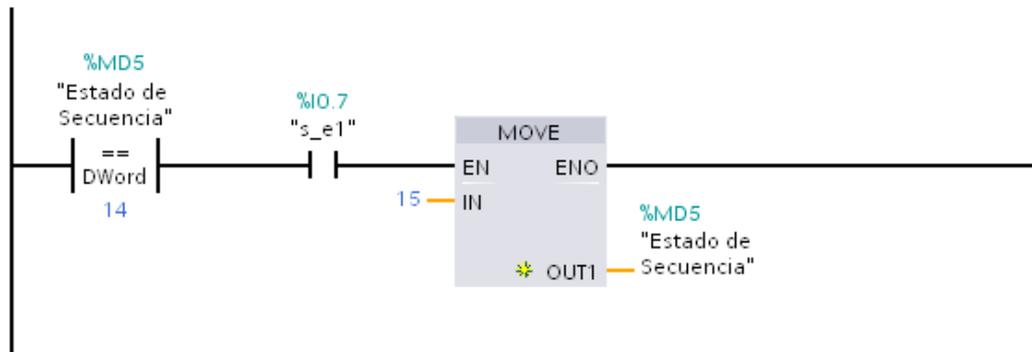


Imagen 80: Etapa 15

En este segmento se inicia la etapa 15 una vez que se activa el sensor s_e1. Esto ocurre cuando la pinza de agarre E sujeta el hilo metálico.

6.2.5.15 Etapa 16

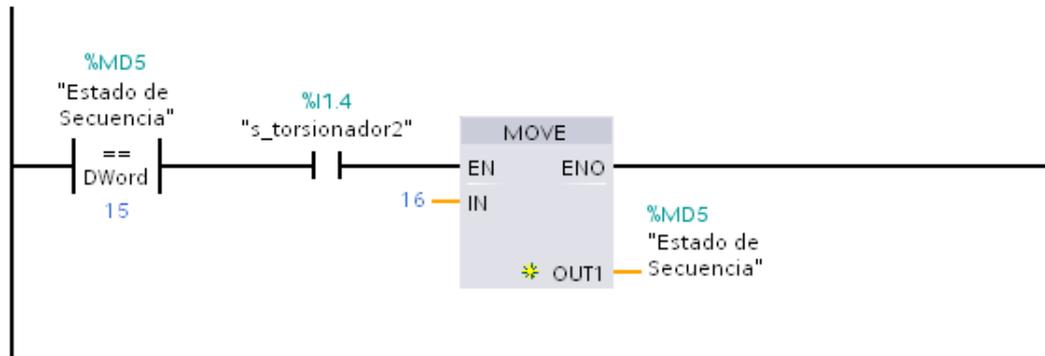


Imagen 81: Etapa 16

En este segmento se activa la etapa 16 una vez que se activa el “sensor_torsionador 1”. Esto ocurre en el momento en el que el cabezal ha terminado de realizar el nudo de atado.

6.2.5.16 Etapa 17

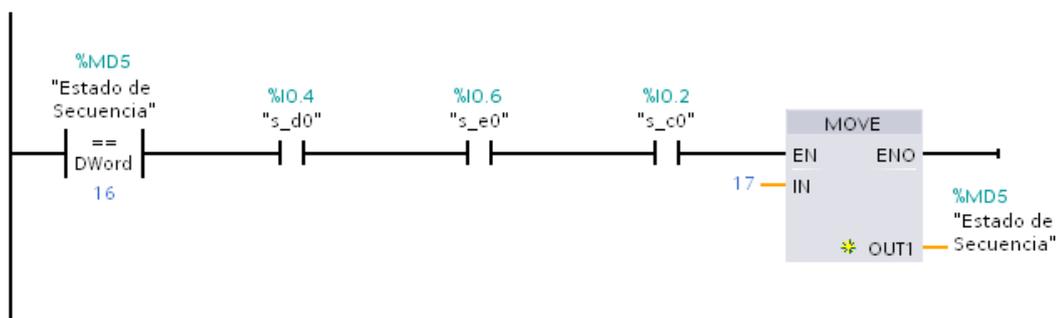


Imagen 82: Etapa 17

En esta etapa se activa la etapa 17 una vez que se activan los sensores s_d0, s_e0 y s_c0. Esto ocurre cuando las pinzas de agarre D y E y la guía C vuelven a su posición inicial.

6.2.5.17 Fin de programa

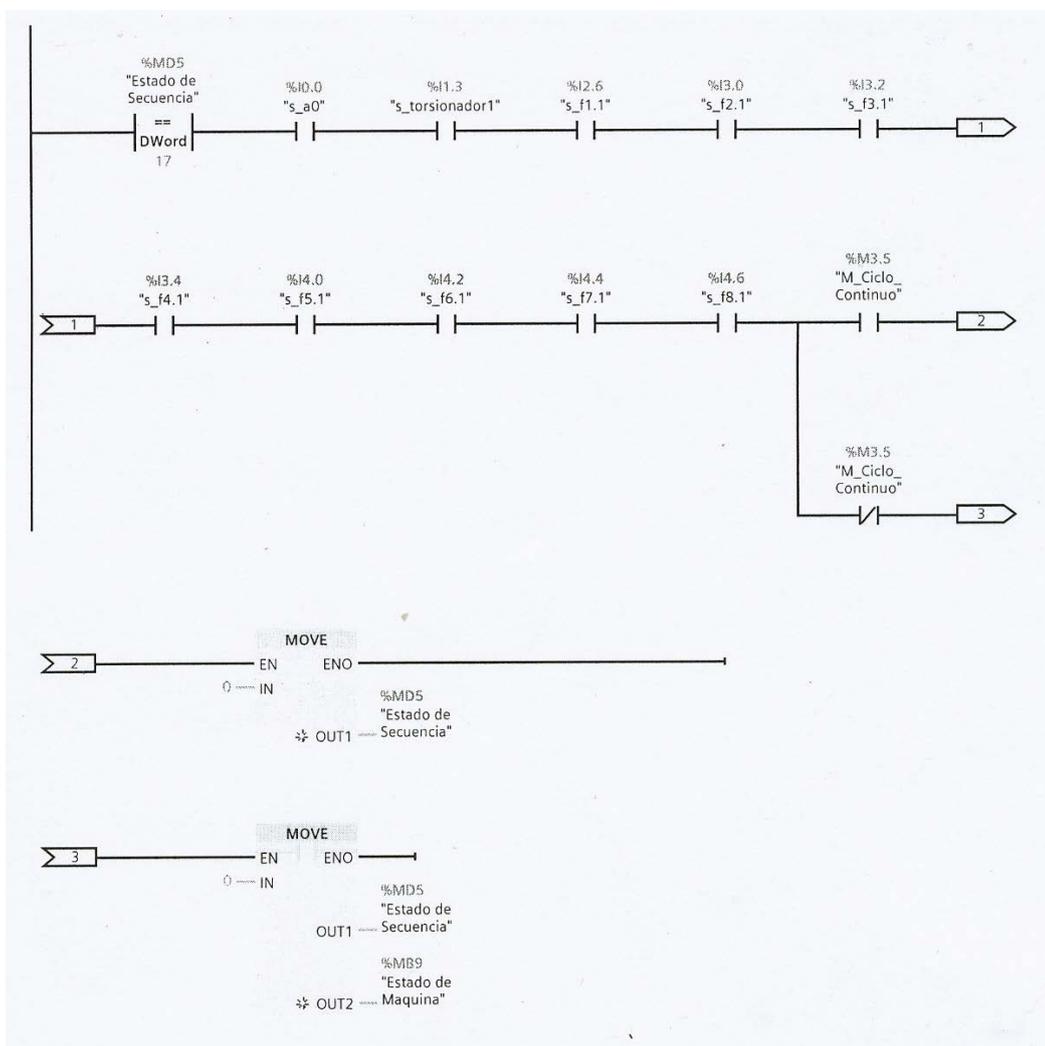


Imagen 83: Fin de programa

En esta línea se termina el programa de control y el resto de elementos vuelven a su posición inicial. Durante la etapa 17 el torsionador, los “flaps” y el cilindro de posición A vuelven a sus respectivas posiciones iniciales. En este momento el programa tiene dos formas de terminar el ciclo de atado:

- 1- Si está activada la marca de ciclo continuo el programa pone el estado de secuencia en la posición 0-En espera pero no cambia el estado de la maquina. Hay una pequeña línea en el segmento que activa la etapa 1 que evita tener que darle de nuevo al pulsador de marcha para realizar

un ciclo de atado. Estando en condición de ciclo continuo en el momento en el que el sensor de pieza detecta objetos para atar se inicia un nuevo ciclo de atado.

- 2- Si no está activada la marca de ciclo continuo el programa pone el estado de secuencia en la posición 0-En espera y el estado de la maquina en 0-Paro. De esta manera la máquina queda en condiciones iniciales y corta la válvula de aire dejándola parada. A partir de aquí puede iniciarse un nuevo ciclo de atado si se utiliza alguno de los pulsadores de marcha.