

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

PUESTA EN MARCHA DE UNA CÉLULA DE FABRICACIÓN: ROBOT, ALMACÉN Y COMUNICACIONES MEDIANTE PROFIBUS

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL
ESPECIALIDAD ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

Autora: Ruth Chamorro Casado

Tutor: Ramón Barber Castaño

JULIO 2009

En primer lugar quiero agradecer a mi tutor, Ramón, el tiempo que me ha dedicado y la paciencia que ha tenido conmigo en el desarrollo de este proyecto, ayudándome a resolver las dudas que me han surgido, que no eran pocas. Además de colaborar en la búsqueda de todos los elementos necesarios para llevarlo a cabo.

A mis padres y a mis hermanos, por apoyarme durante estos años, que tampoco han sido pocos, en mis “depresiones e histerias” provocadas por los nerviosismos estudiantiles.

Y no me olvido de mis compañeros de la universidad, ni de mis amigos de toda la vida, con especial mención a Jonathan, que me ha mimado, aconsejado y proporcionado mucho ánimo.

Muchas gracias a todos, por ser mis mejores fans.

Índice:

| | |
|--|----------|
| Capítulo 1: Introducción | 3 |
| 1.1. Motivación | 3 |
| 1.2. Objetivos | 5 |
| 1.3. Partes del documento..... | 7 |
| | |
| Capítulo 2: Célula flexible de fabricación | 8 |
| 2.1. Objetivo del sistema | 8 |
| 2.2. Funcionamiento | 11 |
| 2.2.1. Alimentación y verificación..... | 13 |
| 2.2.1.1. Descripción de los subprocesos..... | 13 |
| 2.2.1.2. Descripción del hardware | 13 |
| 2.2.2. Separación y procesado..... | 16 |
| 2.2.2.1. Descripción de los subprocesos..... | 16 |
| 2.2.2.2. Descripción del hardware | 16 |
| 2.2.3. Manipulación y pulmón | 19 |
| 2.2.3.1. Descripción de los subprocesos..... | 19 |
| 2.2.3.2. Descripción del hardware | 20 |
| 2.2.4. Sistema de ensamblaje | 22 |
| 2.2.4.1. Descripción de los subprocesos..... | 22 |
| 2.2.4.2. Descripción del hardware | 22 |
| 2.2.5. Sistema de almacenamiento..... | 25 |
| 2.2.5.1. Descripción de los subprocesos..... | 25 |
| 2.2.5.2. Descripción del hardware | 26 |
| 2.2.6. Integración por Profibus. | 27 |
| 2.2.6.1. Objetivos..... | 27 |
| 2.2.6.2. Descripción del hardware | 28 |
| 2.2.7. Sistema de adquisición de datos y control de supervisión..... | 29 |
| 2.2.7.1. Objetivos..... | 29 |
| 2.2.7.2. Descripción del hardware | 30 |

| | |
|--|-----------|
| Capítulo 3: Sistema de ensamblaje | 31 |
| 3.1. Introducción..... | 31 |
| 3.2. Descripción del hardware | 31 |
| 3.3. Funcionamiento | 35 |
| 3.4. Implementación del funcionamiento | 39 |
| 3.4.1. Estación del robot | 39 |
| 3.4.2. Estación de montaje | 43 |
| | |
| Capítulo 4: Sistema de almacenamiento..... | 49 |
| 4.1. Introducción..... | 49 |
| 4.2. Descripción del hardware | 49 |
| 4.3. Funcionamiento | 52 |
| 4.4. Implementación del funcionamiento | 61 |
| | |
| Capítulo 5: Integración por Profibus | 67 |
| 5.1. Integración por Profibus en la FMC | 67 |
| | |
| Capítulo 6: Pruebas y resultados experimentales | 73 |
| 6.1. Introducción..... | 73 |
| 6.2. Primer caso... .. | 73 |
| 6.3. Segundo caso | 77 |
| | |
| Capítulo 7: Conclusiones y trabajos futuros | 81 |
| 7.1. Conclusiones..... | 81 |
| 7.2. Trabajos futuros..... | 82 |
| | |
| Capítulo 8: Bibliografía..... | 83 |

CAPÍTULO 1: *Introducción.*

1.1. Motivación.

Uno de los indicadores que se utiliza para catalogar el desarrollo de un país es su grado de tecnología; una industria con una gran cantidad de tecnología de punta define lo que se llama un país industrializado. El uso de esta tecnología en la fabricación de innumerable cantidad de productos conlleva a obtener productos de alta calidad y a un precio altamente competitivo; razón por lo que es de suma importancia para el desarrollo del país.

En la actualidad, la tecnología de automatización toma en la industria una posición cada vez más preponderante debido a la automatización de los procesos, un área cuya importancia se encuentra en constante ascenso. La tecnología de automatización está casi siempre ligada a las tecnologías de accionamiento, control y a la informática. Debido al acelerado desarrollo de la tecnología de microcontroladores y ordenadores, la tecnología de automatización se ha convertido en el área más innovadora y con mayor vida. A ello se deben agregar las nuevas soluciones industriales adoptadas, como la descentralización y visualización.

En la automatización de los procesos se integran los avances en la tecnología de automatización que permiten una mejora en la eficiencia de fabricación, el diseño del producto, maquinaria y herramienta, disponibilidad de materiales, control de la producción, automatización... Estos avances se encuentran en los Sistemas de Fabricación Flexible (FMS, Flexible Manufacturing Systems) cuya finalidad es responder a cualquier cambio que se presente precisamente de forma flexible al sistema de producción, es decir, adaptándose al cambio rápidamente.

Una parte que constituye un sistema de fabricación flexible es una Célula de Fabricación Flexible (FMC, Flexible Manufacturing Cell) que consiste en un conjunto de máquinas-herramienta capaces de mecanizar total o casi totalmente una cierta categoría de piezas y realizar el control de calidad sobre ellas.

En el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática se encuentra la Célula de Fabricación Flexible MPS-C de la marca Festo con fines docentes, en la que se va a centrar este proyecto, teniendo por objeto completar y aumentar sus funcionalidades; ya que la razón por la que se realiza este proyecto subyace en la necesidad de querer establecer un sistema de gestión de la producción en la FMC. Sin embargo, para que esto sea posible, se tiene que comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los puestos e implementar todos los avisos y funciones que se quieren gestionar en cada uno de ellos. Además de implementar una gestión de comunicaciones que permita la coordinación de los puestos y el desarrollo del trabajo de cada uno de ellos de manera simultánea.

Esta FMC constituye una fábrica destinada a la producción y expedición de unas determinadas piezas que simulan cilindros neumáticos de simple efecto. El proceso de producción y expedición se divide en los siguientes 5 puestos:

- Alimentación y verificación.
- Separación y procesado.
- Manipulación y pulmón.
- Sistema de ensamblaje.
- Y sistema de almacenamiento.

Para que los 5 puestos funcionen de manera coordinada será necesaria la comunicación entre éstos, para lo que se establece una red Profibus y el diseño de un sistema de control y adquisición de datos (SCADA) para la visualización y el control del proceso.

En la figura 1.1 se muestra la apariencia física de la célula:

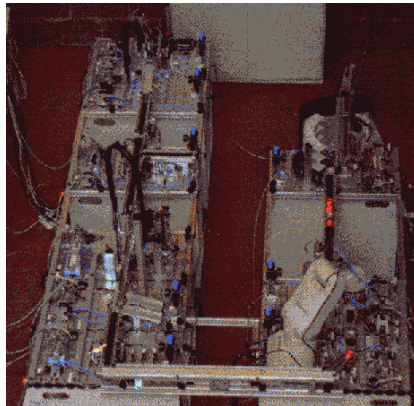


Figura 1.1. Célula de fabricación flexible.

1.2. Objetivos.

Este proyecto se ha realizado de manera complementaria y simultánea a otro proyecto con el que comparte los siguientes objetivos generales:

- *Puesta en marcha de la Célula de Fabricación Flexible comprobando el funcionamiento de todos los puestos.*
- *Implementación de las comunicaciones entre puestos mediante Profibus.*
- *Implementación de un sistema de gestión de la producción.*

En concreto, los objetivos marcados para este proyecto son tres:

1. *Puesta en marcha del sistema de ensamblaje:*

Implementando el sistema de gestión de piezas y notificando la falta de suministro de los elementos necesarios para el ensamblaje de las piezas cuando se efectuó su desabastecimiento, lo que va a ofrecer una buena gestión del propio proceso de montaje de la pieza.

2. *Puesta en marcha del sistema de almacenamiento:*

Implementando para ello, tanto la recepción como expedición de piezas del proceso.

Se va a ofrecer la posibilidad de realizar una gestión de la producción en base al conocimiento del stockaje disponible en el almacén final de la FMC y no limitar la producción al espacio disponible de éste.

3. *Puesta en marcha de la red Profibus:*

Definiendo los buzones de comunicación, mediante el uso de bytes y palabras, y programando la gestión de comunicaciones para la coordinación de toda la FMC, permitiendo trabajar a todos los puestos de manera simultánea.

1.3. Partes del documento.

A continuación se procede a describir la estructuración de la memoria:

- En el capítulo 2, se describe el objetivo de la FMC, describiendo para ello las piezas a fabricar y los puestos en los que se divide la FMC; explicando así, el funcionamiento de cada uno de ellos para llevar a cabo el proceso de producción y expedición de piezas.

- En el capítulo 3, se detalla el hardware y el funcionamiento paso a paso que realiza el puesto que constituye el sistema de ensamblaje, explicando las soluciones adoptadas para su implementación.

- En el capítulo 4, se describe el hardware y el funcionamiento paso a paso del sistema de almacenamiento, explicando las soluciones adoptadas para su implementación.

- En el capítulo 5, se detallan los buzones implementados en la red de comunicaciones Profibus y la gestión de comunicaciones que realiza para la coordinación de la FMC logrando el trabajo simultáneo de todos los puestos.

- En el capítulo 6, se analizan 2 posibles casos que han sido probados y que podrían suceder durante la producción de piezas en la FMC y se explica cómo reacciona la FMC ante ellos.

- Por último en el capítulo 7, se resumen las conclusiones obtenidas en la realización del proyecto y las posibles ampliaciones futuras.

CAPÍTULO 2: Célula flexible de fabricación.

2.1. Objetivo del sistema.

Como bien se ha citado en el capítulo 1, una FMC consiste en un conjunto de máquinas-herramienta capaces de mecanizar total o casi totalmente una cierta categoría de piezas y realizar el control de calidad sobre ellas. A continuación, se procede a describir detalladamente la FMC tratada:

Ésta constituye una fábrica destinada a la producción y expedición de unas determinadas piezas que simulan cilindros neumáticos de simple efecto.

El resultado final que tienen las piezas se muestra en la figura 2.1:

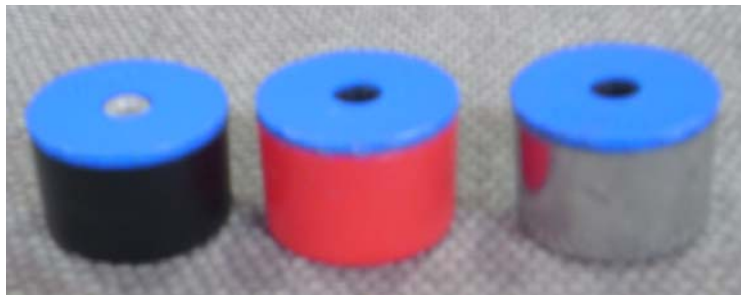


Figura 2.1. Cilindros neumáticos de simple efecto.

Como se puede apreciar existen 3 posibilidades según el color de la pieza: negra, roja o plateada. Cada una de éstas está formada por los siguientes elementos:

-Camisa: Es la pieza que constituye la parte exterior o carcasa del cilindro neumático a fabricar. Es el soporte del resto de los elementos a colocar en el proceso de producción.

-Émbolo: Este elemento es el encargado de provocar el desplazamiento del eje al inyectar aire comprimido sobre el orificio destinado a tal efecto en la camisa. El diseño de los mismos evita que el aire se escape a la atmósfera gracias a una junta que posee en su interior.

-Muelle: Dado que los cilindros neumáticos a fabricar son de simple efecto, se debe provocar el retorno del émbolo a su posición de origen una vez cortado el flujo de aire comprimido. Así la misión del muelle es la de proporcionar esta fuerza de retorno del émbolo para que se recoja.

-Tapa enroscada o culata: La camisa del cilindro neumático se debe cerrar para que las piezas internas no abandonen dicha situación al inyectar aire comprimido al cilindro neumático. Esta función se lleva a cabo por medio de la colocación de la tapa mencionada.

Cada uno de los 3 tipos de piezas a fabricar tiene unas características que las hacen diferentes entre sí. Así existen diferencias en lo referente a los colores y tamaños de los elementos que lo forman. A continuación se procede a comentar cada una de estas características de cada tipo de pieza:

Las piezas difieren en la altura: por lo que, se debe mencionar que las camisas de color negro tienen una altura menor que las rojas y las plateadas.

En lo referente a los muelles no hay ningún tipo de diferencia para cada una de las piezas fabricadas. La diferencia existente en la altura de las diferentes piezas únicamente diferirá en la compresión del muelle dentro de cada una de las camisas.

Existe una diferencia en el diámetro del alojamiento del émbolo: en las camisas negras es menor que en las camisas rojas y plateadas. Por lo que se han de disponer de los dos tipos de émbolos: émbolos plateados para las camisas negras y émbolos negros para las camisas rojas y plateadas.

En cuanto a las tapas no existe ninguna diferencia para cada una de las piezas.

En la figura 2.2 se puede ver la relación de elementos de cada una de las piezas a fabricar:



Figura 2.2. Relación de elementos de las piezas.

En el caso en que se suministren camisas que no pertenezcan a ninguno de estos 3 tipos, serán filtradas a lo largo del proceso a través de los filtros de identificación del color, altura y profundidad del agujero.

2.2. Funcionamiento.

Para poder alcanzar el resultado descrito, cada una de los puestos que conforman la FMC posee unas funciones determinadas y concretas; y lleva a cabo unos subprocesos para conseguir montar la pieza con las características adecuadas.

La FMC ofrece 2 posibilidades para la fabricación de las piezas:

La primera se basa en la producción continua, de manera que se ordena la fabricación de las piezas de un tipo determinado y se almacenan. En el caso en el que se supere el límite máximo de piezas de un tipo determinado que caben en el almacén, no se admitirá la recogida de ninguna pieza de este tipo hasta que no se proceda a la expedición de alguna de las que se albergan en el almacén.

La segunda consiste en fabricar bajo pedido. La fabricación de las piezas se realiza teniendo en cuenta el mantenimiento de un stock dentro del almacén para poder atender los posibles pedidos. De manera que en el almacén final se tengan acumuladas un número de piezas para poder servir pedidos, ordenando la fabricación cuando el número de piezas de un determinado tipo sea inferior a un margen prefijado.

En la FMC se pueden distinguir 3 zonas:

-Zona de fabricación: en la cual se realiza el control y montaje de cada uno de los tipos de pieza solicitados.

-Zona de almacenaje: en la cual se depositan las piezas fabricadas hasta que se solicite la expedición de las mismas.

-Zona de expedición: en la cual se realizan las operaciones necesarias para la composición del pedido solicitado.

El proceso se lleva a cabo por mediación de los siguientes 5 puestos que se integran en una red Profibus que gestiona su coordinación y proporciona la información que necesita el sistema SCADA para que este realice la gestión de la producción:

-Alimentación y verificación.

-Separación y procesado.

-Manipulación y pulmón.

-Sistema de ensamblaje.

-Sistema de almacenamiento.

A continuación, se procede a la descripción del hardware y la funcionalidad que realiza cada uno de los puestos, la funcionalidad de la red Profibus establecida y el sistema SCADA implementado.

2.2.1 Alimentación y verificación.

2.2.1.1. Descripción de los subprocesos.

El objetivo de este puesto es el suministro e identificación de piezas a la cadena de producción y para ello está constituido por dos estaciones o dos subprocesos, detallados a continuación:

-Estación de alimentación: Se encarga de proporcionar piezas al sistema productivo. Las piezas se almacenan en un cargador vertical y son extraídas mediante un sistema deslizante. Un cilindro rotativo, provisto de una ventosa, se encarga de retirar las piezas del cargador y transferirlas hacia la estación de verificación utilizando la técnica de vacío. [Man-1]

-Estación de verificación: Se identifica el material de la pieza por su color (negra/no negra) y se realiza una medición de la altura de la pieza. En base a esto, se aplican dos filtros sobre las piezas que se procesan, dejándose pasar las piezas solicitadas al puesto de separación y procesado. Las piezas catalogadas como erróneas se depositan en una rampa alternativa. [Man-2]

2.2.1.2 Descripción del hardware.

Para la realización de estos subprocesos, la estación de alimentación dispone de:

-Un módulo de almacén apilador de piezas, en el cual se pueden almacenar hasta un máximo de 8 piezas que deben introducirse de tal manera que la superficie abierta de la pieza quede a la vista. La disponibilidad de pieza en el almacén se detecta por medio de un sensor óptico de barrera. El cilindro de doble efecto se encarga de empujar la pieza más baja del alimentador por gravedad hasta el tope mecánico. La posición del cilindro de extracción se detecta mediante dos sensores de tipo REED y su velocidad de avance y retroceso se ajusta mediante reguladores de caudal.

- Un módulo cambiador o brazo rotativo, que es un dispositivo manipulador neumático provisto de una ventosa de aspiración, con la que se retira la pieza del almacén apilador, y con un ángulo de trabajo ajustable entre 0° y 180° , gracias a unos topes mecánicos de final de recorrido. La detección de las posiciones se realiza por medio de finales de carrera eléctricos.

Y la estación de verificación cuenta con:

-Sensores de proximidad ópticos, que constituyen la zona de identificación y que se encargan de identificar el color de la pieza (negra/no negra) con ajuste de sensibilidad incorporado; y un sensor capacitivo, que se utiliza como detector de presencia de pieza.

-Un módulo elevador, el cual transporta las piezas desde la zona de identificación hasta el área de medición. El actuador utiliza un cilindro sin vástago y un cilindro de expulsión. La detección de las posiciones finales de los cilindros se realiza por medio de sensores de proximidad inductivos o magnéticos.

-Un sensor analógico, el cual se utiliza para la medición de la altura de la pieza. El principio de funcionamiento se basa en un potenciómetro lineal con una corredera deslizante que ejerce de divisor de tensión.

-Un módulo de rampa con colchón de aire, que se utiliza para transportar las piezas correctas al puesto de separación y procesado. El colchón de aire se encarga de minimizar los efectos de rozamiento entre la superficie de la rampa y la pieza.

-Y un módulo de rampa de rechazos o rampa alternativa, en la cual se almacenan las piezas que no han superado alguno de los dos filtros aplicados. Puede albergar hasta un máximo de 4 piezas.

En la figura 2.3 se puede observar la apariencia física de ambas estaciones:

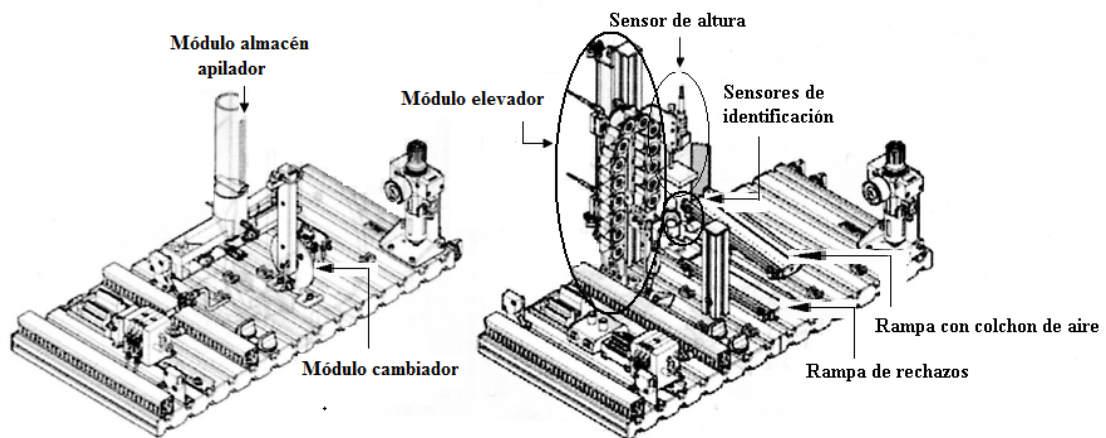


Figura 2.3. Estaciones de alimentación y verificación.

2.2.2. Separación y procesado.

2.2.2.1. Descripción de los subprocesos.

Este puesto desarrolla las funciones de verificación y manipulación de la pieza. Al igual que el puesto de alimentación y verificación, también consta de dos estaciones:

- *Estación de separación:* en la cual se comprueba que la profundidad del agujero central de la pieza es la adecuada, determinándose así las piezas del sistema productivo que se deben procesar de las que no se deben procesar, en cuanto a color, altura y profundidad del agujero central. Las piezas que no se deben procesar se desvían a un almacén intermedio. [Man-3]

- *Estación de procesado:* formada por una mesa giratoria de indexación que realiza dos procedimientos paralelos para las piezas recibidas de la estación de separación. En el primero, se verifica que la pieza tiene la posición adecuada para poder realizar el segundo procedimiento, que trata de pulir el agujero de la pieza mediante un taladro. Una vez finalizado el pulido se expulsa la pieza hacia una cinta transportadora que lleva a ésta hasta el puesto de manipulación y pulmón. [Man-4]

2.2.2.2. Descripción del hardware.

La estación de separación dispone de un módulo de verificación formado por:

- Dos cintas mecánicas para el movimiento de las piezas, una es la cinta principal, que recoge la pieza procedente del puesto anterior, y se encarga también de llevar la pieza que es aceptada a la estación de procesado; la otra cinta, es la cinta del almacén temporal, que recoge las piezas que se rechazan. En la cinta principal se sitúan diversos sensores de posición que detectan la llegada de una pieza.

- Un tope mecánico de accionamiento neumático, que consiste en una mordaza que impide el paso a la pieza cuando está extendida.

- Un sensor óptico, que comprueba la profundidad del agujero.

- Un desviador mecánico, que dependiendo del proceso de selección a elegir, éste se sitúe o no cruzado sobre la trayectoria de la propia pieza respecto de la cinta transportadora y así conseguir su desvío a la cinta transversal o permitir que continúe con su trayectoria natural.

En la misma estación de separación se sitúan las barreras ópticas de salida que determinan si la pieza es apta para pasar al siguiente puesto o no lo es, activándose cómo corresponda la barrera de salida respecto al almacén temporal o bien la barrera de salida respecto a la estación de manipulación.

Por otro lado, la estación de procesamiento se compone de:

-Una mesa giratoria: cuyo movimiento se realiza gracias a un motorreductor de corriente continua. Dispone de 6 posiciones definidas por unos tornillos de posicionado que se detectan con la ayuda de un sensor inductivo situado en la parte inferior de la mesa. Cada posición contiene un retenedor semicircular provisto de un taladro central para facilitar la detección de la pieza mediante un sensor de proximidad capacitivo.

-Un módulo de verificación: que se encarga de reafirmar que la pieza se encuentra en la posición deseada: Si el agujero mira hacia arriba, el émbolo del electroimán alcanza su posición final, la cual se detecta mediante un sensor de proximidad inductivo, reportando que la pieza se encuentra en la posición correcta.

-Un módulo de taladrado: se utiliza para pulir la pieza y consta de un motor de velocidad no ajustable y que funciona a 24 V DC. Los movimientos de avance y retroceso se llevan a cabo por medio de un eje lineal con correa dentada. Un motorreductor se encarga de accionar el eje lineal y un circuito de relés para poner en marcha el motor. La detección de la posición final se realiza por medio de finales de carrera mecánicos, que cuando se activan provocan la inversión del sentido de movimiento del eje lineal.

- Una mordaza eléctrica, que retiene la pieza para que no se gire durante el pulido de la pieza.

- Y una compuerta de clasificación: para expulsar las piezas procesadas hacia el puesto de manipulación y pulmón.

En la figura 2.4 se muestra el hardware de las estaciones del puesto de separación y procesado:

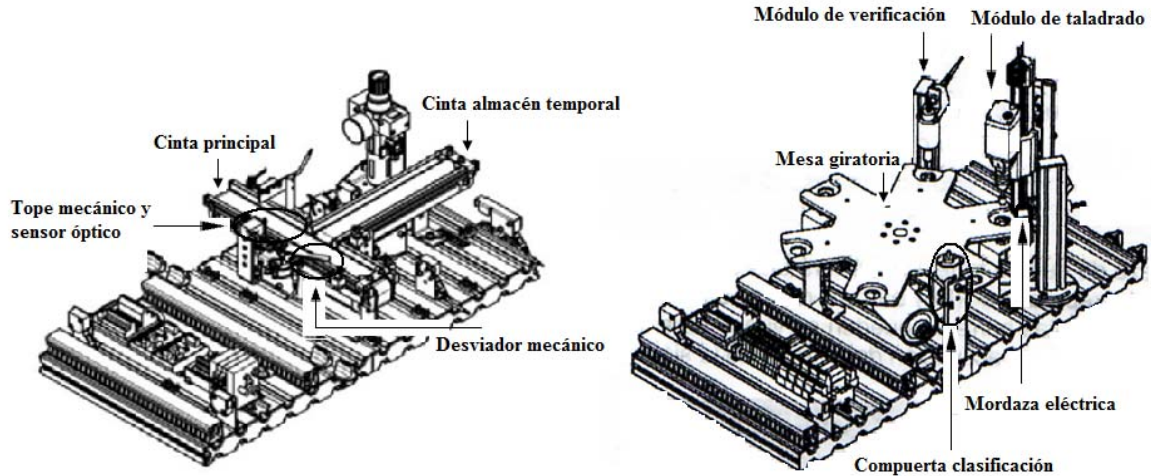


Figura 2.4. Estaciones de separación y procesado.

2.2.3. Manipulación y pulmón.

2.2.3.1. Descripción de los subprocesos.

La funcionalidad del puesto de manipulación y pulmón son el transporte, clasificación y control del flujo de las piezas, que se consigue mediante los subprocesos de las siguientes estaciones:

-Estación de manipulación: Se detecta la pieza recibida y se recoge con la ayuda de una pinza neumática, distinguiendo entre piezas negras/no negras. Por tanto, se transportan las piezas que cumplen con los requerimientos de filtrado hasta la estación de pulmón y se desechan las piezas no aptas en una rampa de rechazos, en caso de que hayan llegado hasta este puesto. [Man-5 y Man-9]

-Estación de pulmón: en la cual es posible retener y separar hasta 4 piezas. Si el puesto siguiente está libre, el separador deja pasar una pieza; en caso contrario, espera hasta que esté libre. [Man-6]

2.2.3.2. Descripción del hardware.

En la estación de manipulación se encuentra:

-Un módulo de recepción o receptáculo, compuesto por una bandeja con fibra óptica ajustada para la detección de la presencia de la pieza.

-Un módulo manipulador, que puede posicionarse con una cierta rapidez, incluso en posiciones intermedias, gracias a un eje lineal neumático con amortiguación y ajuste flexible de la posición final. El cilindro de elevación para el eje z detecta la posición final y en él, hay montada una pinza neumática con un sensor óptico integrado en la mandíbula para detectar las piezas. Este módulo llamado PickAlfa es excepcionalmente flexible, pudiendo ajustarse la longitud de carrera, inclinación de los ejes, configuración de los sensores de posiciones finales y posición del montaje.

-Un módulo de rampa de rechazos.

-Y un módulo de rampa de piezas correctas.

Por otro lado, la estación de pulmón consta de:

-Una cinta transportadora: que se encarga de mover las piezas y que contiene al principio y final sensores de proximidad ópticos con cables de fibra óptica (barreras de luz). El accionamiento de la cinta se lleva a cabo por medio de un motorreductor de corriente continua.

-Un módulo de paso a paso: en el cual se ejercen las funciones de tope mecánico y separador de piezas para las piezas en espera, dejando pasar una pieza cada vez.

-Y otra cinta transportadora: encargada de trasladar la pieza hasta el puesto del sistema de ensamblaje.

En la figura 2.5 se puede observar todos los componentes que conforman las estaciones de manipulación y pulmón:

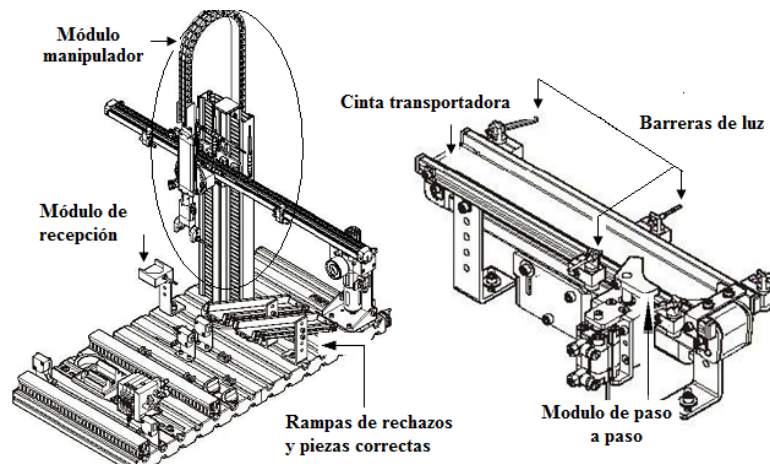


Figura 2.5. Estaciones de manipulación y pulmón.

2.2.4 Sistema de ensamblaje.

2.2.4.1. Descripción de los subprocesos.

Este puesto se encarga de realizar la operación de montaje de las piezas, disponiendo para ello de las dos siguientes estaciones:

-Estación del robot: se encarga de transportar la pieza/camisa que llega al módulo de recepción al módulo de montaje, con la ayuda de una pinza neumática distinguiendo el color de la pieza/camisa (negra/no negra) por medio de su altura, en el cual se realiza el ensamblaje de los elementos que conforman la pieza con la ayuda de la estación siguiente, la estación de montaje. Una vez finalizado este, el robot procede a llevar la pieza ensamblada completamente a la cinta transportadora. [Man-8]

-Estación de montaje: la cual trabaja conjuntamente con la estación del robot. Se encarga de suministrar los componentes que se requieren para el montaje de la pieza: un émbolo, un muelle y una tapa. Los émbolos se hallan en un palet. Un cilindro de doble efecto se encarga de empujar el muelle para sacarlo así del almacén de los muelles. Y otro cilindro extrae la tapa del almacén de las tapas. Además, activa la cinta transportadora que lleva la pieza hasta el puesto del sistema de almacenamiento. [Man-7]

2.2.4.2. Descripción del hardware.

La estación del robot está formada por:

-El Robot Mitsubishi RV-2AJ: cuya finalidad es ensamblar el cuerpo básico de la pieza (camisa), el émbolo, el muelle y la tapa. Consta básicamente de un controlador, en el que radica el control real del robot y que se encuentra conectado a una unidad de programación o Teaching Box (T/B) y un manipulador o brazo robótico articulado.

En el extremo del manipulador se encuentra una pinza neumática que alberga un sensor óptico de reflexión directa, para la identificación de la pieza/camisa (negra/no negra).

-Un módulo de rampa, por donde se recibe la pieza que llega del puesto de manipulación y pulmón.

-Un módulo retenedor, situado al final del módulo de rampa que retiene la pieza recibida y que lleva incorporado un sensor óptico de reflexión directa para la detección de la llegada de una pieza/camisa.

-Y un módulo de montaje, donde permanece la pieza durante su montaje.

Los componentes más destacados de la estación de montaje son:

-El módulo alimentador de émbolos, que consiste en un palet donde se encuentran disponibles los dos tipos diferentes de émbolos (negros/plateados).

-El módulo cargador de tapas, compuesto por un almacén vertical donde se encuentran apiladas las tapas, que se introducen con la superficie plana orientada hacia arriba y se detectan por medio de un sensor óptico ubicado en la base del alimentador. La extracción de las piezas se realiza a través de un sistema de carga deslizante accionado por un cilindro de doble efecto. Mediante sensores ópticos de reflexión, de tipo SOEG-L, colocados como barrera fotoeléctrica, se detecta que la tapa está colocada en la posición de recogida por el brazo robótico articulado.

-El módulo cargador de muelles, formado por un almacén vertical y una bandeja extractora. Los muelles se desplazan al punto de transferencia mediante un cilindro de doble efecto que acciona la bandeja extractora. En el punto de transferencia se encuentra situado un sensor de final de carrera mecánico, el cual se encarga de detectar si hay muelle.

-Y el módulo de rampa de salida, donde se depositan las piezas una vez ensambladas, que lleva la pieza a una cinta transportadora que se encarga de que la pieza llegue hasta el puesto del sistema de almacenamiento.

En la figura 2.6 se muestra el hardware que constituye el sistema de ensamblaje:

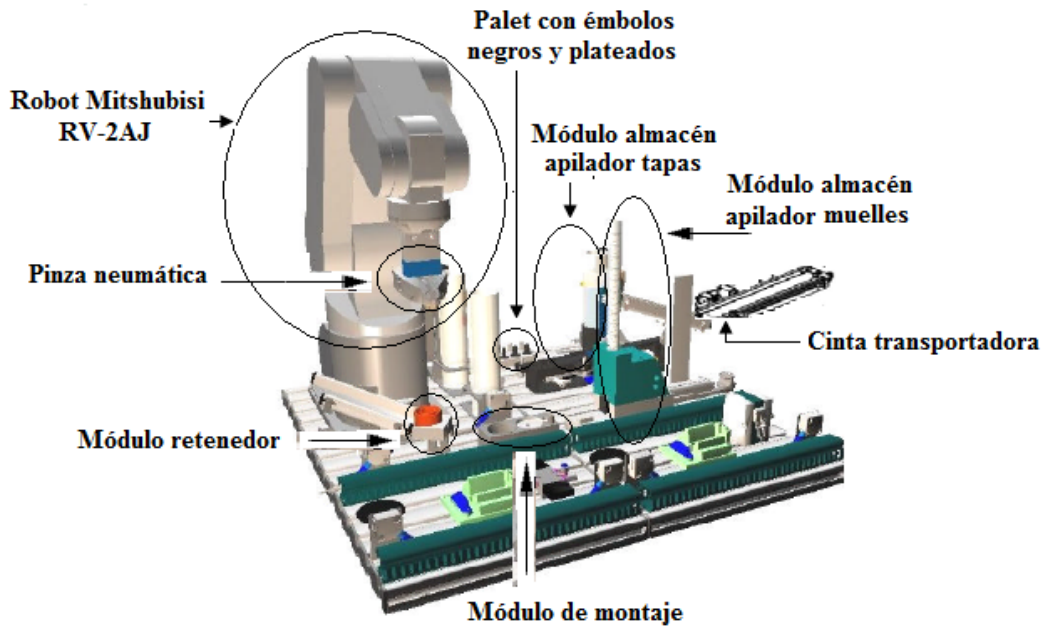


Figura 2.6. Sistema de ensamblaje.

2.2.5. Sistema de almacenamiento.

2.2.5.1. Descripción de los subprocesos.

Este puesto combina las funciones de reconocimiento, manipulación y almacenamiento de las piezas. Además, está configurado para dos modos de operación: el modo de recepción de piezas y el modo de entrega de piezas.

-Estación de almacenamiento: La estación está equipada con tres niveles de almacenamiento, cada uno con capacidad para seis piezas (negras/rojas/plateadas). El subproceso en el modo de recepción es el siguiente: La pieza llega al módulo de recepción, a través de la cinta transportadora del puesto anterior, donde se recoge a través de una pinza neumática que alberga un sensor óptico de color, reconociendo así de qué color es la pieza recibida (negra, roja, plateada) y dependiendo de éste, la pieza es colocada en el siguiente compartimento libre del correspondiente nivel de almacenamiento. Por otro lado, el subproceso en el modo de entrega es el detallado a continuación: el SCADA le comunica a este puesto a través de la gestión de comunicaciones de la red Profibus que se desea la expedición de un tipo de pieza, en el caso en que exista una pieza en el almacén con las condiciones requeridas, se procede a la extracción de dicha pieza del almacén.

[Man-10]

2.2.5.2. Descripción del hardware.

Este puesto consta de tres módulos principales:

-El módulo de recepción o receptáculo, en el cual se retiene la pieza hasta que la pinza neumática del módulo de manipulación recoge dicha pieza.

-El módulo de manipulación, se usa para colocar y recoger piezas. Consta de los siguientes componentes: Una pinza neumática con un sensor óptico con ajuste de sensibilidad para la detección e identificación de la pieza (negra/plateada/roja), un cilindro neumático de doble efecto para ejecutar un movimiento lineal con el que consigue alcanzar a coger y depositar la pieza en su debido lugar y no chocar con la estructura del almacén mientras se realizan movimientos horizontales o verticales, una unidad giratoria manejada a través de un servomotor con controlador integrado MTR-DCI y una unidad lineal manejada mediante un eje lineal eléctrico con controlador separado SFC-DC.

-Y el módulo de rack o estantería de almacenamiento, donde se almacenan las piezas. Consta de tres niveles diferentes con una capacidad de 6 piezas por nivel.

En la figura 2.7 se observa el sistema de almacenamiento:

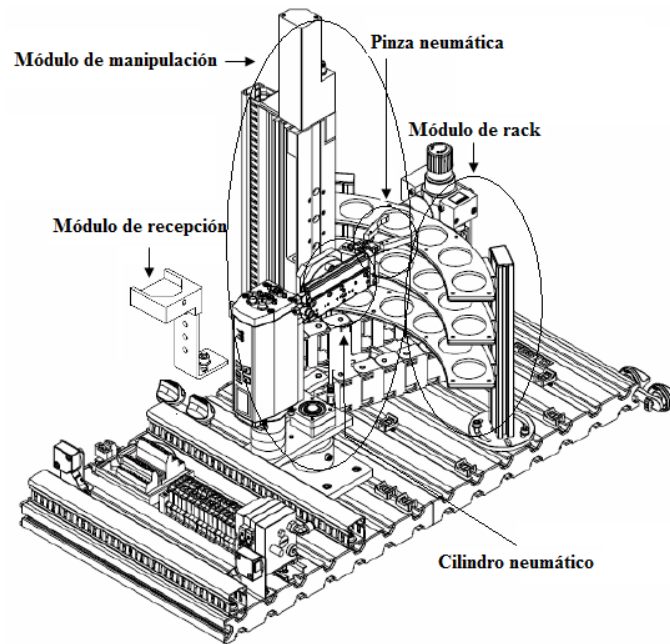


Figura 2.7. Sistema de almacenamiento.

2.2.6. Integración por Profibus.

2.2.6.1. Objetivos.

Para que el sistema SCADA pueda realizar una gestión de la producción, necesita una vía por donde recibir y transmitir información, para ello se ha configurado una red Profibus. Entre los diversos protocolos que ofrece, se ha utilizado el protocolo PROFIBUS DP (Periferia Descentralizada), lo que significa que existe un sólo maestro (maestro Profibus) del que dependen los esclavos, que son cada uno de los 5 puestos que forman la cadena de producción. [Man-11, Pfc-2 y Pfc-3]

El maestro profibus tiene 2 objetivos principales:

1.- Suministrar toda la información necesaria al SCADA para que éste pueda operar. Para ello, necesita que cada uno de los esclavos le transmita información del estado en qué se encuentra. Esto lo consigue recibiendo a través de una serie de buzones, asignados a cada uno de los esclavos, toda la información concerniente a lo que acontece en cada uno de ellos: donde se encuentra la pieza, identificación del material, piezas rechazadas, piezas aceptadas, posibles fallos acaecidos tras el transcurso del subproceso, etc.

2.- Realizar la coordinación de los 5 puestos. Consiguiendo que la FMC funcione como una unidad, estableciendo un mecanismo de sincronización necesario entre los 5 puestos mediante la realización de un programa que autoriza a cada uno de los esclavos para comenzar su cometido.

2.2.6.2. Descripción del hardware.

En la implementación se utilizan los siguientes componentes:

-Un ordenador personal PC (Personal Computer), que se emplea para el control, supervisión y gestión de la producción de la FMC.

- 6 Automatas programables S7-300 CPU 314-2DP: para el control del proceso.

Cada uno de los puestos dispone de un autómatas “esclavo” en el sistema de comunicaciones, que controla dos módulos de la FMC, a excepción del último autómatas que controla un único módulo. Cada módulo está conectado a su vez al hardware de la estación correspondiente. [Pfc-2]

El sexto autómatas se incluye para la coordinación de estos 5 autómatas, funcionando así como “maestro” en el sistema de comunicaciones y sirviendo de enlace al ordenador de control.

-El bus de comunicación o cable Profibus: cable bifilar apantallado, trenzado con sección circular, apto para entornos industriales con fuertes interferencias electromagnéticas y difícilmente inflamable, con fácil determinación de la longitud mediante las marcas de metros impresas y puesta a tierra a extremo realizable a través de la pantalla del cable de bus y de los bornes de puesta a tierra del terminal de bus. [Pfc-3]

2.2.7. Sistema de adquisición de datos y control de supervisión, SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

2.2.7.1. Objetivos.

El sistema gestor de la producción de toda la FMC es un sistema SCADA, que utiliza el entorno de ingeniería de proyectos de WinCC.

Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para el control y gestión de la producción, proporcionando comunicación (gracias a la red profibus) con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. [Pfc-2]

Además, efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamientos de datos y control de los subprocesos. Y contiene la información suficiente para realizar un control de calidad y obtener así estadísticas fiables sobre la producción.

2.2.7.2. Descripción del hardware.

Los requisitos necesarios para poder configurar el entorno de trabajo de WinCC se reflejan en la tabla 2.1:

| | Valores mínimos | Valores recomendados |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| CPU | INTEL Pentium II 266MHz | INTEL Pentium II 400MHz |
| RAM | 96MB | 128MB |
| Controlador gráfico | SVGA (4MB) | XGA (8MB) |
| Resolución | 800*600 | 1024*768 |
| Disco duro | Espacio disponible: 500MB | Espacio disponible:<500mb |
| | Unidad de CD-ROM | Unidad de CD-ROM |

Tabla 2.1.Requisitos para la configuración de WinCC.

CAPÍTULO 3: Sistema de ensamblaje.

3.1. Introducción.

En este capítulo se describe el hardware, se detalla el funcionamiento paso a paso que debe realizar el sistema de ensamblaje y se explica cómo se ha conseguido dicho funcionamiento.

3.2. Descripción del hardware.

El sistema de ensamblaje consta de la estación del robot y la estación de montaje.

En la primera se dispone del conexionado de los elementos de la figura 3.1:



Figura 3.1. Elementos de la estación del robot.

* RS-232, es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Data Communication Equipment, Equipo de Comunicación de datos).

Además del módulo de rampa y del módulo retenedor, por donde se reciben las piezas procedentes del puesto de manipulación y pulmón y el módulo de montaje, donde permanece la pieza durante su ensamblaje y cuyas posiciones se pueden observar en la figura 3.2:

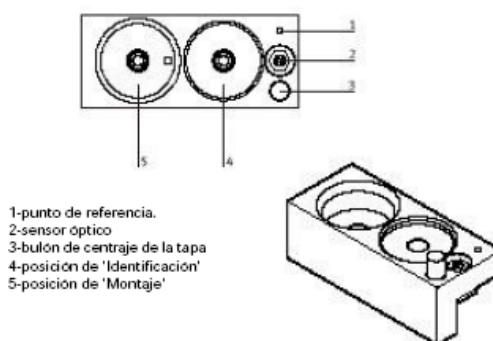


Figura 3.2. Módulo de montaje.

El robot Mitsubishi RV-2AJ es el encargado de ejecutar las acciones de montaje, que se le ordenan realizar a través de la controladora. Existen dos opciones para transferirle a la controladora los movimientos a realizar por el brazo robot: A través de la botonera y mediante el PC utilizando el software COSIROP (entorno de programación para todos los robots de Mitsubishi). [Man-12 y Man-13]

Ambas posibilidades permiten la interacción con la controladora, proporcionando así las facilidades de:

- Cargar/borrar programas a la controladora, tras la comprobación y optimización.
- Cargar posiciones a la controladora.
- Mover el robot.
- Ejecutar/depurar programas.
- Monitorización de variables: I/O, parámetros, velocidades, fuerzas, etc.

Sin embargo, mediante la segunda opción es posible supervisar y visualizar el robot durante la ejecución a través de las amplias funcionalidades de diagnóstico, pudiendo reconocer así posibles errores de forma sencilla y segura. Las velocidades de eje y las corrientes de motor momentáneas se presentan de forma clara e ilustrativa junto a los estados actuales de todas las entradas y salidas del robot.

Otras ventajosas funciones son:

- "Teach In" online de posiciones
- Representación de las posiciones en la imagen 3D del robot
- Y control de sintaxis.

Los movimientos que permiten las articulaciones del brazo robot se muestran en la figura 3.3:

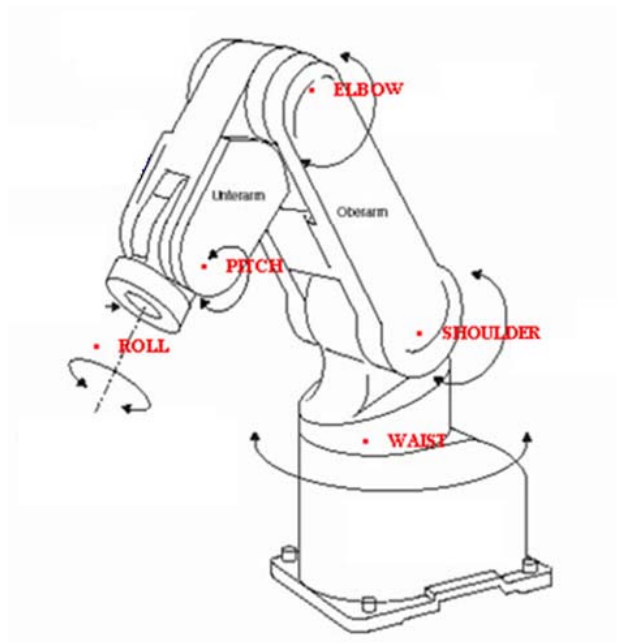


Figura 3.3 .Movimientos de las articulaciones del brazo robot.

Por otro lado, la estación de montaje consta de los siguientes módulos:

-El módulo alimentador de émbolos, que consiste en un palet donde se encuentran disponibles los dos tipos diferentes de émbolos (negros/plateados).

-El módulo cargador de tapas, compuesto por un almacén vertical donde se encuentran apiladas las tapas, que se introducen con la superficie plana orientada hacia arriba y se detectan por medio de un sensor óptico ubicado en la base del alimentador. La extracción de las piezas se realiza a través de un sistema de carga deslizante accionado por un cilindro de doble efecto. Mediante sensores ópticos de reflexión, de tipo SOEG-L, colocados como barrera fotoeléctrica, se detecta que la tapa está colocada en la posición de recogida por el brazo robótico articulado.

-El módulo cargador de muelles, formado por un almacén vertical y una bandeja extractora. Los muelles se desplazan al punto de transferencia mediante un cilindro de doble efecto que acciona la bandeja extractora. En el punto de transferencia se encuentra situado un sensor de final de carrera mecánico, el cual se encarga de detectar si hay muelle.

-Y el módulo de rampa de salida, donde se depositan las piezas una vez ensambladas, que lleva la pieza a una cinta transportadora que se encarga de que la pieza llegue hasta el puesto del sistema de almacenamiento.

3.3. Funcionamiento.

La puesta en marcha del sistema de ensamblaje se consigue cuando este comunica que está libre (no está realizando el montaje de ninguna pieza) y que se dispone de émbolo, muelle y tapa para la pieza que se va a recibir. Por lo que se permite al puesto de manipulación y pulmón el envío de una pieza. En este momento, el robot está colocado en su posición inicial a la espera de la llegada de una camisa/pieza. Una vez que llegue la pieza al módulo de recepción, comenzará el proceso siguiendo la siguiente secuencia descrita a continuación:

Un cilindro de doble efecto se encarga de extraer un muelle de su almacén y otro cilindro empuja una tapa que le proporciona el almacén de tapas, dejándolo en la posición donde el robot la retirará. El brazo robot retira la pieza del módulo de recepción mediante la pinza neumática situada en su extremo y la deposita en la posición de identificación del módulo de montaje. Determina la altura de la pieza gracias al sensor óptico que lleva incorporado la pinza, para retirar del palet el émbolo adecuado para la pieza que manipula y lo coloca en la pieza. A continuación, el brazo robot retira el muelle y lo coloca en la pieza.

Previamente a la retirada de la tapa por este, coge la pieza y determina su orientación con la ayuda del sensor que está situado en el lateral del módulo de montaje, depositándola a continuación en la posición de montaje del módulo de montaje; tras lo mencionado, retira la tapa y la centra utilizando el bulón de centraje de la tapa, determina su orientación mediante el sensor óptico del módulo de montaje, colocándola posteriormente sobre la pieza y enrosándola. Para finalizar, toma la pieza y la deposita en el extremo de una rampa que llega a la cinta transportadora, encargada de transportar la pieza hasta el receptáculo del sistema de almacenamiento y que será activada por la estación de montaje cuando el sistema de almacenamiento se encuentre disponible para recibir la pieza.

De una manera visual, se muestra la secuencia de las operaciones más importantes que realiza el robot en la figura 3.4:

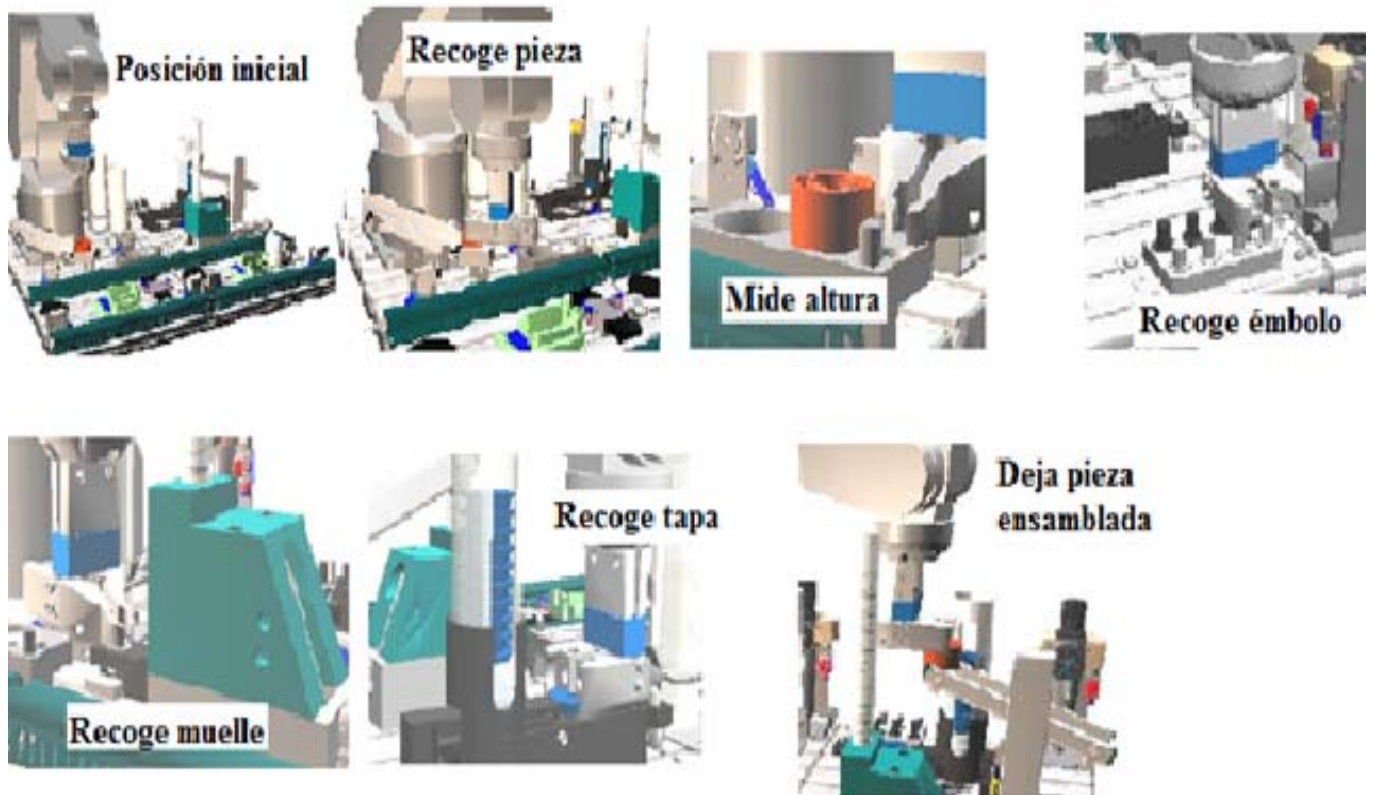
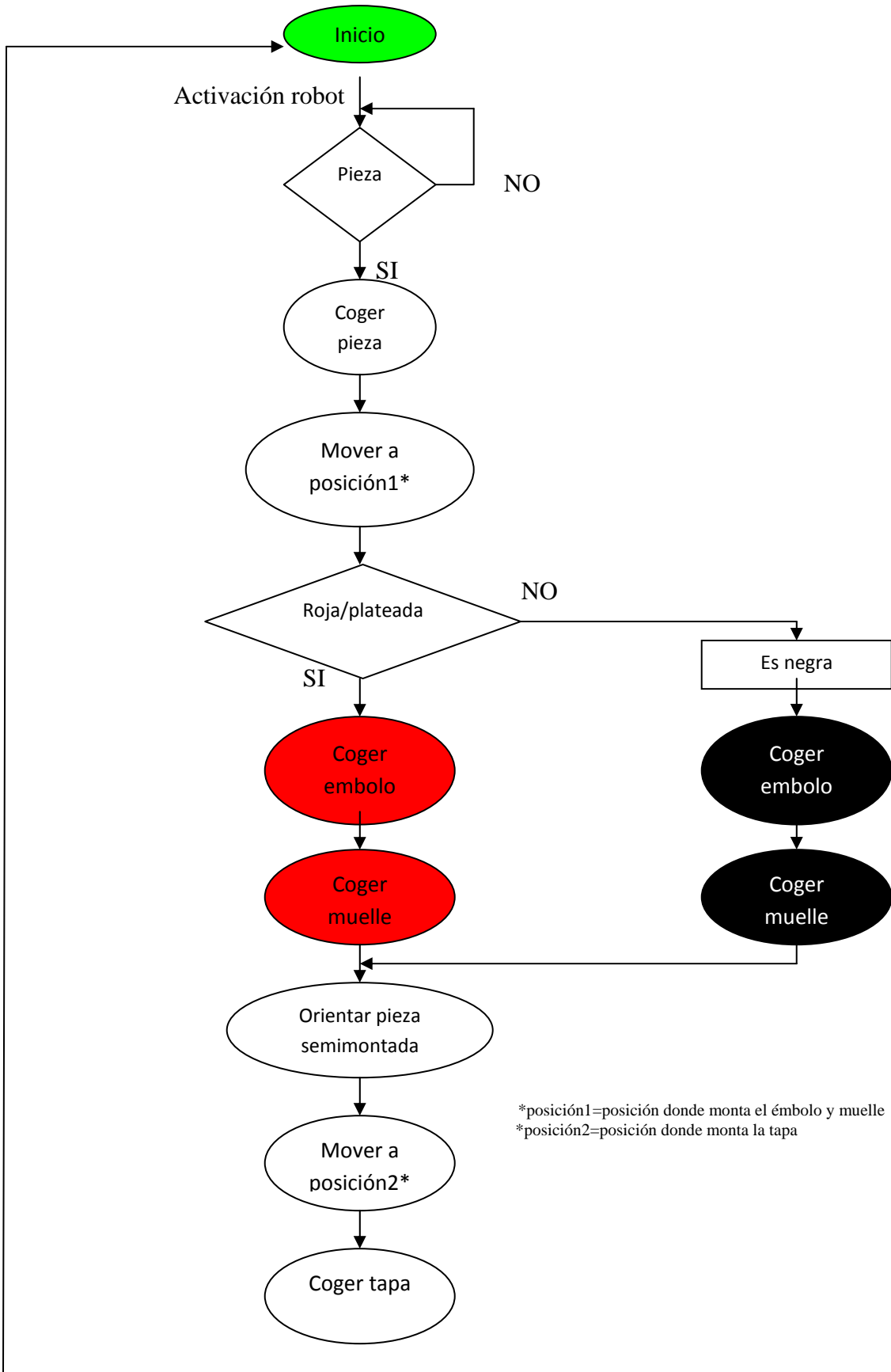


Figura 3.4. Secuencia de operaciones del sistema de ensamblaje.

En los flujogramas siguientes se detalla el funcionamiento del programa del robot y de la estación montaje:



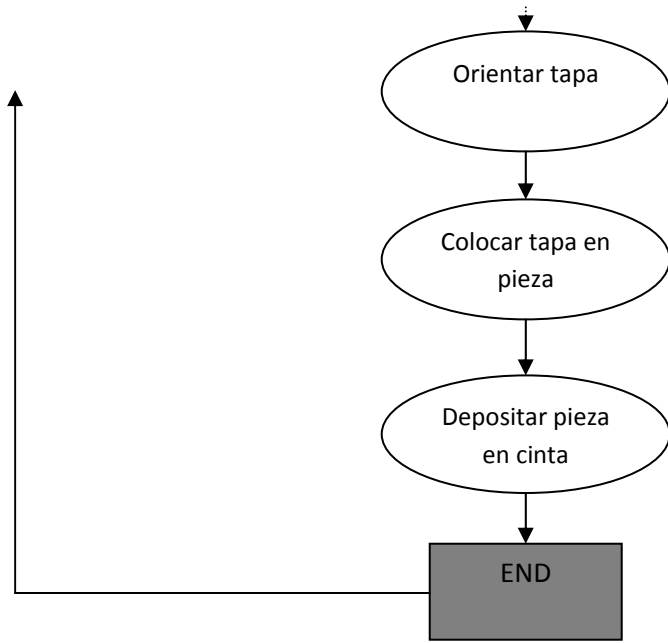


Figura 3.5. Flujograma de la estación del robot.

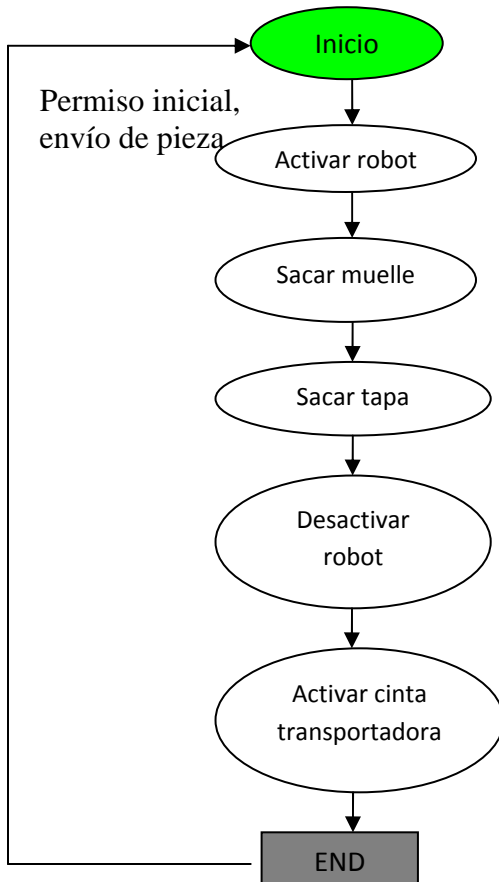


Figura 3.6. Flujograma de la estación de montaje.

3.4 .Implementación del funcionamiento.

3.4.1 .Estación del robot.

Para la implementación de las funciones que realiza esta estación se va a hacer uso del software COSIROP. [Man-13]

Una vez abierto el programa, creado el proyecto y configurado el robot, se proceden a realizar los siguientes pasos:

1.- Editar y guardar una serie de posiciones a las que se desea que el robot se mueva.
Empezando por ir a recoger la pieza y acabando por dejarla en la rampa que la lleva al siguiente puesto. Entre estos dos extremos existen una gran cantidad de posiciones y movimientos que el robot debe realizar.

Cabe destacar que en ocasiones las posiciones que se desean grabar no están permitidas y por lo tanto no se permiten grabar; esto se debe a que el robot tiene un perímetro establecido donde le está permitido moverse y cuando se sale del mismo se activa una señal de error. La misma señal que informa también, si la pinza del robot está sometida a una excesiva presión.

Una vez grabadas todas las posiciones, la ventana de posiciones del programa presenta un aspecto como el de la tabla 3.1, en función de las coordenadas de posición y orientación escogidas en cada caso para los diferentes puntos:

| No | Posición | Orientación | Comentar |
|------|----------------------|-----------------|--|
| P1 | 172.7, 175.7, 322.6 | 1, 170, R, A | INICIO |
| P2 | 250.2, 59.1, 250.2 | -57, 179, R, A | encima de recogida pieza |
| P3 | 247.5, 56.7, 170.7 | -59, 178, R, A | Recogida pieza |
| P4 | 272.7, 177.6, 152.5 | 1, 170, R, A | Deja pieza para medir altura |
| P5 | 258.1, 170.2, 215.6 | 1, 170, R, A | Intermedia medir altura |
| P6 | 200.8, 225.2, 152.1 | 4, 176, R, A | Miramos altura pieza en sensor. 0--> pieza negra |
| P24 | 71.8, 276.7, 335.3 | -2, 179, R, A | Alto, para evitar tubo de muelles |
| P15 | -84.2, 260.5, 270.0 | -178, 178, R, A | Encima de coger círculo negro |
| P14 | -84.2, 260.5, 119.8 | -178, 178, R, A | Coger círculo negro |
| P21 | 236.1, 141.9, 202.6 | -91, 181, R, A | ENCIMA DEJAR HUELLE EN PIEZA |
| P20 | 236.1, 141.9, 165.0 | -91, 181, R, A | DEJAR HUELLE EN PIEZA |
| P9 | -196.1, 340.6, 215.8 | -3, 180, R, A | Arriba de coger pieza gris |
| P8 | -193.2, 341.2, 121.2 | -3, 180, R, A | Coger pieza gris |
| P19 | 237.7, 251.0, 208.1 | -91, 181, R, A | ENCIMA COGER HUELLE |
| P18 | 237.7, 251.0, 145.0 | -91, 181, R, A | COGER HUELLE |
| P69 | 234.1, 179.6, 165.0 | -1, 179, R, A | encima coger pieza semimontada |
| P70 | 234.1, 179.6, 151.5 | -1, 179, R, A | coger pieza con embudo y muelles |
| P90 | 217.3, 210.7, 158.0 | -52, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA VENA |
| P93 | 217.3, 210.7, 158.0 | -63, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA LOGRADOS MENOS |
| P94 | 217.3, 210.7, 158.0 | -74, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA LOGRADOS MENOS |
| P95 | 217.3, 210.7, 158.0 | -85, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA LOGRADOS MENOS |
| P96 | 217.3, 210.7, 158.0 | -95, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA LOGRADOS MENOS |
| P97 | 217.3, 210.7, 158.0 | -106, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA LOGRADOS MENOS |
| P98 | 217.3, 210.7, 158.0 | -116, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA LOGRADOS MENOS |
| P99 | 217.3, 210.7, 158.0 | -125, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA LOGRADOS MENOS |
| P100 | 217.3, 210.7, 158.0 | -135, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA LOGRADOS MENOS |
| P91 | 217.3, 210.7, 158.0 | -145, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA VENA HORARIO |
| P101 | 217.3, 210.7, 158.0 | -155, 178, R, A | BUSCA HUECO NEGRA VENA HORARIO |

Tabla 3.1. Posiciones del robot.

-En la primera columna figura el número de posición con el que se ha guardado la misma.

-En la segunda columna constan los datos de la posición guardada respecto al eje X, Y, Z respectivamente.

-En la tercera columna se sitúan los datos relativos a la orientación del movimiento.

-Y en la cuarta columna se atiende la posibilidad de poner un comentario sobre esa posición a modo de recordatorio para saber qué función desempeña.

A modo de ejemplo, se muestra la posición inicial con la que parte el robot en la tabla 3.2:

| No | Position | Orientation | Comment |
|----|---------------------|--------------|---------|
| P1 | 172.7, 175.7, 322.6 | 1, 178, R, A | INICIO |

Tabla 3.2. Posición inicial del brazo robot.

Al ser la primera posición se le asigna el número 1, su posición en el eje de las X, Y, Z es respectivamente 127.7, 175.7, 322.6, su orientación (giro) es 1, 178, R, A y por último el comentario añadido es “INICIO”.

2.- Realizar el programa que implementa las acciones del robot para conseguir el movimiento de una posición a la siguiente mediante el lenguaje de programación MELFA BASIC IV. Conocida la lista de puntos en los que el robot debe realizar operaciones, se escribe un programa que mueve al robot por todos estos puntos y por todos los puntos intermedios entre ellos; el robot calcula por interpolación todos los puntos de paso.

El robot también permite realizar el movimiento con distintos grados de aceleración, puede valer desde un 1% hasta un 100%; si la aceleración es la máxima, en muchos casos el robot no podrá seguir la trayectoria. Un buen valor para las maniobras de aproximación es del orden del 50% al 70% mientras que alrededor de un 10% es lo aconsejable para los movimientos de precisión donde la aceleración deseada debe ser lo menor posible para poder desprestigiar la inercia de la masa del robot.

Para llevar a cabo la implementación del programa se deben tener en cuenta:

1.-Los tres sensores de los que dispone la estación del robot:

1.- El primero de ellos es el sensor con el que empieza el programa. Éste es un sensor de proximidad de modo que cuando esté activo, indica que hay pieza lista para ser tratada y comienza el movimiento del robot.

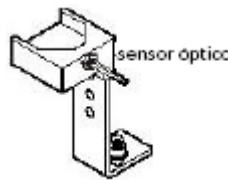


Figura 3.7.Sensor óptico del módulo de recepción.

2.- El segundo sensor a tener en cuenta es el sensor de altura, también de proximidad: Mientras la pieza está en el módulo de montaje, el brazo del robot que incorpora dicho sensor, determina de qué pieza se trata, activándose o no, en función de si detecta pieza o no; condición que en el programa se traduce a :



Detecta pieza → pieza roja/plateada

No detecta pieza → pieza negra

Figura 3.8.Sensor óptico incorporado en la pinza del brazo robot.

Esto se debe a la pequeña diferencia de alturas entre las piezas rojas/plateadas y negras. Una vez determinado el tipo de pieza que se manipula, el programa lleva a cabo las acciones para ese tipo de pieza.

3.- Por último cabe señalar el sensor óptico situado en un lateral del módulo de montaje.

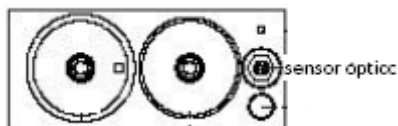


Figura 3.9. Sensor óptico del módulo de montaje.

Cuando la pieza se sitúa sobre el sensor centrada y girando sobre sí misma, buscando su orientación, este permanece activo hasta dar con uno de los 3 orificios simétricos que posee en su base, momento en el que el sensor deja de estar activo.

Para el proceso de la orientación de la tapa el sensor se activa cuando detecta una de las tres pestañas de cierre que posee.

2.- Las salidas que se desean implementar en el programa del robot: son 4 avisos que proporcionan el conocimiento del lugar por donde se halla el brazo robot:

- 1.-Recogiendo pieza del módulo de recepción.
- 2.-Cogiendo el émbolo del palet.
- 3.-Depositando la pieza en el módulo de rampa.
- 4.-Fin de la secuencia a realizar por el brazo robot - posición inicial.

3.4.2. Estación de montaje.

Antes de comenzar la implementación de las funciones a realizar por la estación de montaje se debe tener pleno conocimiento de los sensores y actuadores que se disponen en la estación y las señales de entradas y salidas de la estación del robot para poder establecer la coordinación de ésta con la estación de montaje.

Se han cableado las entradas y salidas de los módulos del sistema de ensamblaje con las entradas y salidas del autómatas del puesto según se detallan en las tablas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6:

| ENTRADAS/SENSORES MÓDULO | DENOMINACIÓN | ENTRADAS AUTÓMATA |
|--------------------------|--|-------------------|
| I0 | EXPENDEDOR MUELLE DENTRO=1/FUERA=0 | E124.0 |
| I1 | | |
| I2 | EXPENDEDOR TAPAS FUERA=1/DENTRO=0 | E124.1 |
| I3 | | |
| I4 | MUELLE PREPARADO PARA RECOGIDA | E124.2 |
| I5 | NO TAPA=1/TAPA=0 PREPARADA PARA RECOGIDA | E124.4 |
| I6 | ALMACÉN TAPAS VACÍO=1/LLENO=0 | E124.3 |
| I7 | | |

Tabla 3.3.Sensores del módulo de la estación de montaje.

| SALIDAS/ACTUADORES MÓDULO | DENOMINACIÓN | SALIDAS AUTÓMATA |
|---------------------------|--------------|------------------|
| O0 | MUELLE ON | A124.4 |
| O1 | TAPAS ON | A124.3 |
| O2 | | |
| O3 | | |
| O4 | | |
| O5 | | |
| O6 | CINTA ON | A124.5 |
| O7 | | |

Tabla 3.4.Actuadores del módulo de la estación de montaje.

| DENOMINACIÓN | SALIDA AUTÓMATA |
|------------------|-----------------|
| STOP | A124.7 |
| SERVO OFF | A124.6 |
| START | A124.2 |
| SERVO ON | A124.1 |
| OPERATION RIGHTS | A124.0 |

Tabla 3.5.Entradas del módulo del robot.

| DENOMINACIÓN | ENTRADA AUTÓMATA |
|----------------|------------------|
| RECOGIDA PIEZA | E125.0 |
| COGE ÉMBOLO | E125.1 |
| DEPOSITA PIEZA | E125.2 |
| FIN | E125.3 |

Tabla 3.6.Salidas del módulo del robot.

Tras realizar completamente el cableado se procede a la implementación de las funciones que realiza la estación de montaje y para ello se utiliza el programa Simatic Siemens Step 7. [Man-17]

Una vez abierto el programa, creado el proyecto y configurado el equipo, se diseña el código del funcionamiento que ejecuta el autómata: encargado de hacer cumplir las especificaciones de funcionamiento de dicha estación. Para el diseño de este código se ha utilizado el lenguaje de contactos KOP, siendo posible diseñar el código en AWL o FUP. [Man-19]

La solución adoptada para el correcto funcionamiento de este puesto es la siguiente:

Se ha dotado el programa con una señal de inicialización, para dar la seguridad de que el proceso se encuentra en el estado inicial de reposo.

Entonces este puesto comunica que está libre (no está realizando el montaje de ninguna pieza). A continuación se le comunica el color de la pieza que se le desea enviar, comprobando éste si dispone de todos los elementos necesarios para el montaje de esa pieza:

En primer lugar, se comprueba si existe tapa en el almacén de éstas gracias al sensor del que se dispone en él. La disposición de émbolo disponible para el ensamblaje en el palet del tipo de pieza que se recibe, se consigue gracias a 2 contadores implementados que llevan la cuenta de cada uno de los dos tipos de émbolos que se cogen del palet.

En el caso de los muelles, puesto que no se goza de ningún sensor que permita dar el conocimiento previo de si existen muelles en el almacén, como ocurre en el caso de las tapas, se activa el actuador que extrae el muelle a la posición de recogida del muelle para el robot donde está situado un sensor y ahí es donde se detecta si existe muelle a disposición o no. Este mismo sensor informa también cuando se desactive (estando en marcha el brazo robot) de que se ha cogido el muelle para el montaje de la pieza.

En el caso de que se disponga de todos los elementos, comunica que todo está a disposición, permitiendo que el puesto de manipulación y pulmón le transfiera una pieza.

Cuando el puesto de manipulación y pulmón le manda una pieza se lo comunica a través de Profibus, poniéndose en funcionamiento el sistema de ensamblaje.

En caso de que no exista cualquiera de los 3 elementos necesarios, no se activará el robot, comunicando al SCADA la falta de tapa, émbolo o muelle, hasta que no se proceda a la recarga por un operario (en el caso de los émbolos y muelles) y el SCADA le comunique que ya está hecha la recarga. En el caso en que el SCADA le comunique que se ha hecho la recarga y sea falso, este volverá a manifestar que falta el mismo elemento.

Se debe destacar que para que el robot comience su proceso debe recibir 3 señales que son: Operation rights, Servo on, y Start, pero se debe tener en cuenta que las debe recibir con un tiempo de asimilación entre cada una de ellas, por lo que se hace necesario el uso de temporizadores.

Necesariamente, también se activa la extracción de tapas para ponerla a disposición del robot, comprobando que queda en el lugar correcto para la recogida del robot mediante el sensor del que se dispone para ello. Cuando este sensor se desactive, se comunicará al maestro que se ha cogido la tapa para el ensamblaje de la pieza.

Las señales Servo off y Stop se encargan de desactivar el robot cuando se ha terminado todo el proceso de ensamblaje, siendo posible su activación de manera simultánea.

Por último, se activa la señal que pone en marcha la cinta transportadora (comunicando al sistema de almacenamiento que se le envía pieza) durante el periodo que tarda la pieza en llegar al puesto del sistema de almacenamiento, al recibir el permiso del sistema de almacenamiento de que le puede enviar pieza.

También se ofrece la posibilidad de tener acceso desde el SCADA a resetear los contadores de los émbolos.

Como ya se ha mencionado, se ha tenido en cuenta en el diseño del código del programa la información que se quiere enviar y recibir. Añadiendo en él, los buzones de salidas que informen de su estado y los buzones de entradas para poder ser controlado.

En este caso, los buzones de entrada implementados para la coordinación y el control del puesto se resumen en la tabla 3.7:

| BUZONES DE ENTRADA | DENOMINACIÓN |
|--------------------|---|
| E118.0 | INICIALIZACIÓN |
| E118.1 | ORDEN PARA COMENZAR |
| E118.2 | PERMISO SISTEMA DE ALMACENAMIENTO |
| E118.4 | PIEZA NEGRA |
| E118.5 | PIEZA NO NEGRA |
| E118.6 | PIEZA RECIBIDA EN SIST.DE ALMACENAMIENTO. |
| E119.0 | RESET CONTADOR ÉMBOLOS PLATEADOS |
| E119.1 | RESET CONTADOR ÉMBOLOS NEGROS |
| E119.2 | RECARGA MUELLES REALIZADA |

Tabla 3.7. Buzones de entrada del sistema de ensamblaje.

Y los buzones de salida implementados para el conocimiento del estado en el que se encuentra el proceso de ensamblaje y la gestión de alarmas son los mostrados en la tabla 3.8:

| BUZONES DE SALIDA | DENOMINACIÓN |
|-------------------|---------------------------------------|
| A120.0 | ALMACÉN TAPAS VACÍO |
| A120.1 | BIT_OCUPADO=1/LIBRE=0 |
| A120.2 | ENVIO DE PIEZA AL SIST.ALMACENAMIENTO |
| A120.3 | NO DISPONIBLES ÉMBOLOS PLATEADOS |
| A120.4 | NO DISPONIBLES ÉMBOLOS NEGROS |
| A120.5 | NO DISPONIBLES MUELLES |
| A121.0 | LLEGADA PIEZA |
| A121.1 | COGIENDO ÉMBOLO |
| A121.2 | COGIENDO MUELLE |
| A121.3 | COGIENDO TAPA |
| A121.4 | DEPOSITANDO PIEZA |
| A121.5 | PREPARADO |
| AW114 | CONTADOR ÉMBOLOS NEGROS |
| AW112 | CONTADOR ÉMBOLOS PLATEADOS |

Tabla 3.8. Buzones de salida del sistema de ensamblaje.

CAPÍTULO 4: Sistema de almacenamiento.

4.1. Introducción.

En este capítulo se describe el hardware, se detalla el funcionamiento paso a paso que debe realizar el sistema de almacenamiento y se explica cómo se ha conseguido dicho funcionamiento.

4.2. Descripción del hardware.

Antes de comenzar a describir el funcionamiento del proceso del sistema de almacenamiento, es necesaria la comprensión de la estructura básica del almacén.

La estación está equipada con tres niveles de almacenamiento cada uno con capacidad para 6 piezas. En cada nivel se colocan las piezas de un determinado color: plateadas en el nivel superior (nivel 3), rojas en el nivel intermedio (nivel 2) y negras en el nivel inferior (nivel 1), según la solución adoptada para su funcionamiento, siendo posible cualquier otra distribución. (figura 4.1).

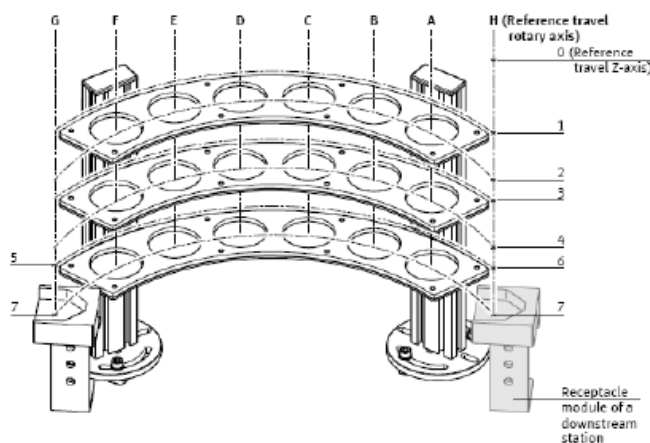


Figura 4.1. Estructura de la estantería de almacenamiento.

Para realizar los movimientos que llevan la pieza desde el módulo retenedor o receptáculo de entrada hasta cada posición en la estantería de almacenamiento o desde esta hasta la posición de entrega, el sistema de almacenamiento consta de:

-Una unidad giratoria manejada a través de un servomotor con controlador integrado MTR-DCI, que se encarga de los movimientos giratorios horizontales. [Man-14]

-Y una unidad lineal manejada mediante un eje lineal eléctrico con controlador separado SFC-DC, que realiza los movimientos verticales. [Man-15]

Además, dispone también de un cilindro neumático de doble efecto para ejecutar un movimiento lineal con el que consigue alcanzar a coger y depositar la pieza en su debido lugar y no chocar con la estructura del almacén mientras se realizan movimientos horizontales o verticales y de una pinza neumática para coger y dejar la pieza, donde alberga el sensor de color.

Para que el módulo de manipulación se mueva hacia las diferentes posiciones de la estantería de almacenamiento se deben tener en cuenta los valores de los siguientes bits:

Los Bit_1, Bit_2 y Bit_3 posiciones definen las posiciones en el sistema de coordenadas a la que debe dirigirse el motor correspondiente; puesto que estos 3 Bits se utilizan para definir las posiciones de ambos motores. En las tablas 4.1 y 4.2 se detallan los valores de los 3 Bits para cada posición y para cada motor:

| Posición | Bit_3 | Bit_2 | Bit_1 | Posición [mm] | V [mm/s] | Comentario |
|----------|-------|-------|-------|---------------|----------|--|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | Altura 0, Punto de referencia de en el eje Z |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 15 | Altura 1 / Manejo en el nivel 1 de Rack |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 20 | 15 | Altura 2 / Almacenamiento en el nivel 1 de Rack |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 63 | 15 | Altura 3 / Manejo en el nivel 2 de Rack |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 85 | 15 | Altura 4 / Almacenamiento en el nivel 2 de Rack |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 133 | 15 | Altura 5/ Identificación de color |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 126 | 15 | Altura 6 / Manejo en el nivel 3 de Rack |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 150 | 15 | Altura 7/ Modulo de Recepción, Punto para retirar la pieza, Almacenamiento en el nivel 3 de Rack |

Tabla 4.1. Posiciones del motor SFC-DC.

| Posición | Bit_3 | Bit_2 | Bit_1 | Posición [°] | V [°/s] | Comentario |
|----------|-------|-------|-------|--------------|---------|--|
| 8 | 0 | 0 | 0 | -33,5 | 30 | Posición rotatoria A, Posición en rack 1 |
| 9 | 0 | 0 | 1 | -49,5 | 30 | Posición rotatoria B, Posición en rack 2 |
| 10 | 0 | 1 | 0 | -65,5 | 30 | Posición rotatoria C, Posición en rack 3 |
| 11 | 0 | 1 | 1 | -81,5 | 30 | Posición rotatoria D, Posición en rack 4 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | -97,5 | 30 | Posición rotatoria E, Posición en rack 5 |
| 13 | 1 | 0 | 1 | -113,5 | 30 | Posición rotatoria F, Posición en rack 6 |
| 14 | 1 | 1 | 0 | -136,0 | 30 | Posición rotatoria G, Posición del Modulo de Recepción |
| 15 | 1 | 1 | 1 | -16,6 | 30 | Posición rotatoria H, Punto para retirar la pieza, Punto de referencia para el eje giratorio |

Tabla 4.2. Posiciones del motor MTR-DCI.

Además, para que el motor SFC-DC vaya a la posición definida por los 3 Bits se debe “activar el SFC-DC” y para que el motor MTR-DCI se dirija a la posición definida por esos mismos 3 Bits, se debe “activar el MTR-DCI”. Teniendo en cuenta que no se pueden activar los 2 de manera simultánea, ya que lo único que creará es confusión al módulo de manipulación.

4.3. Funcionamiento.

El sistema de almacenamiento se pone en marcha cuando comunica que está libre (no está manipulando ninguna pieza) y, o bien se le transfiere una pieza desde el sistema de ensamblaje que le hará trabajar en modo de recepción de piezas o bien, se le comunica que se desea que trabaje en modo de entrega.

En el caso del modo de recepción, el sistema de almacenamiento se coloca en su posición inicial (G7) a la espera de detectar una pieza, que llega a través de la cinta transportadora del puesto anterior, donde se recoge a través de un cilindro de doble efecto y una pinza neumática que alberga un sensor óptico de color con ajuste de sensibilidad, reconociendo así de qué color es la pieza recibida y dependiendo de éste, la pieza es colocada en el siguiente compartimento libre del correspondiente nivel de almacenamiento.

En el modo de entrega se coloca en su posición inicial (H7) , que es diferente al modo de recepción, se le notifica el tipo de pieza que se desea expender y en el caso en que exista una pieza en el almacén con las condiciones requeridas, se procede a la extracción de dicha pieza del almacén. Se debe destacar que la última pieza que se reciba de un color será la primera en ser entregada. Por lo que se trata de una estructura LIFO (Last In First Out).

De una manera visual, se puede observar el funcionamiento en el diagrama de flujo siguiente:

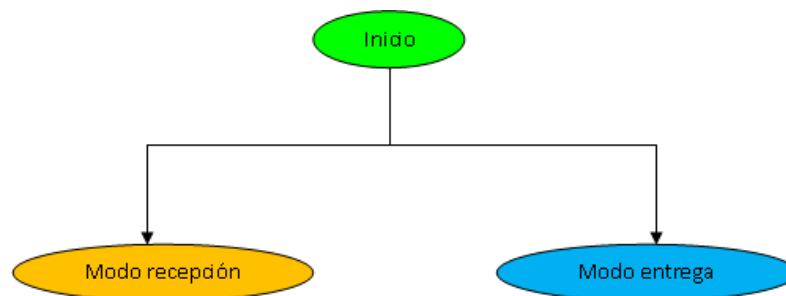
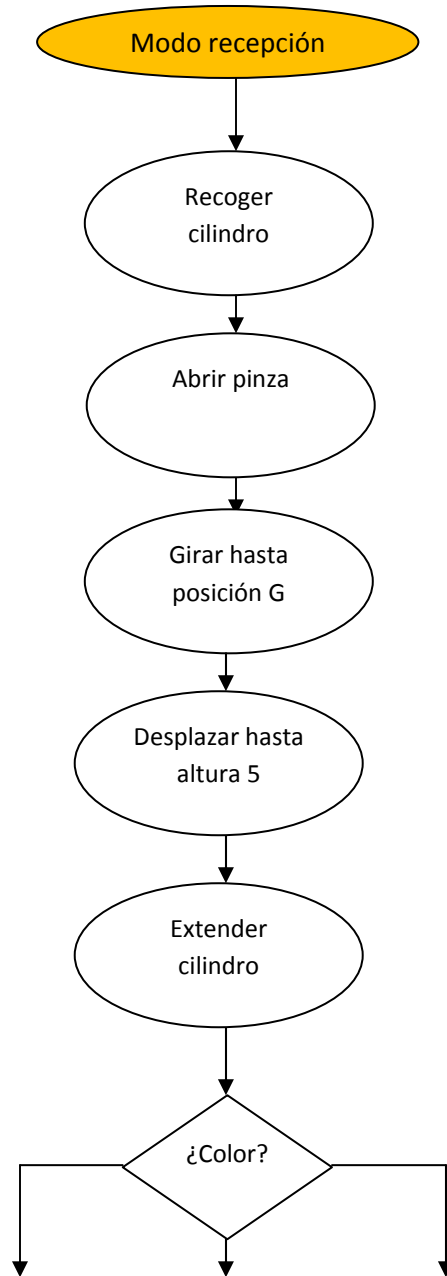
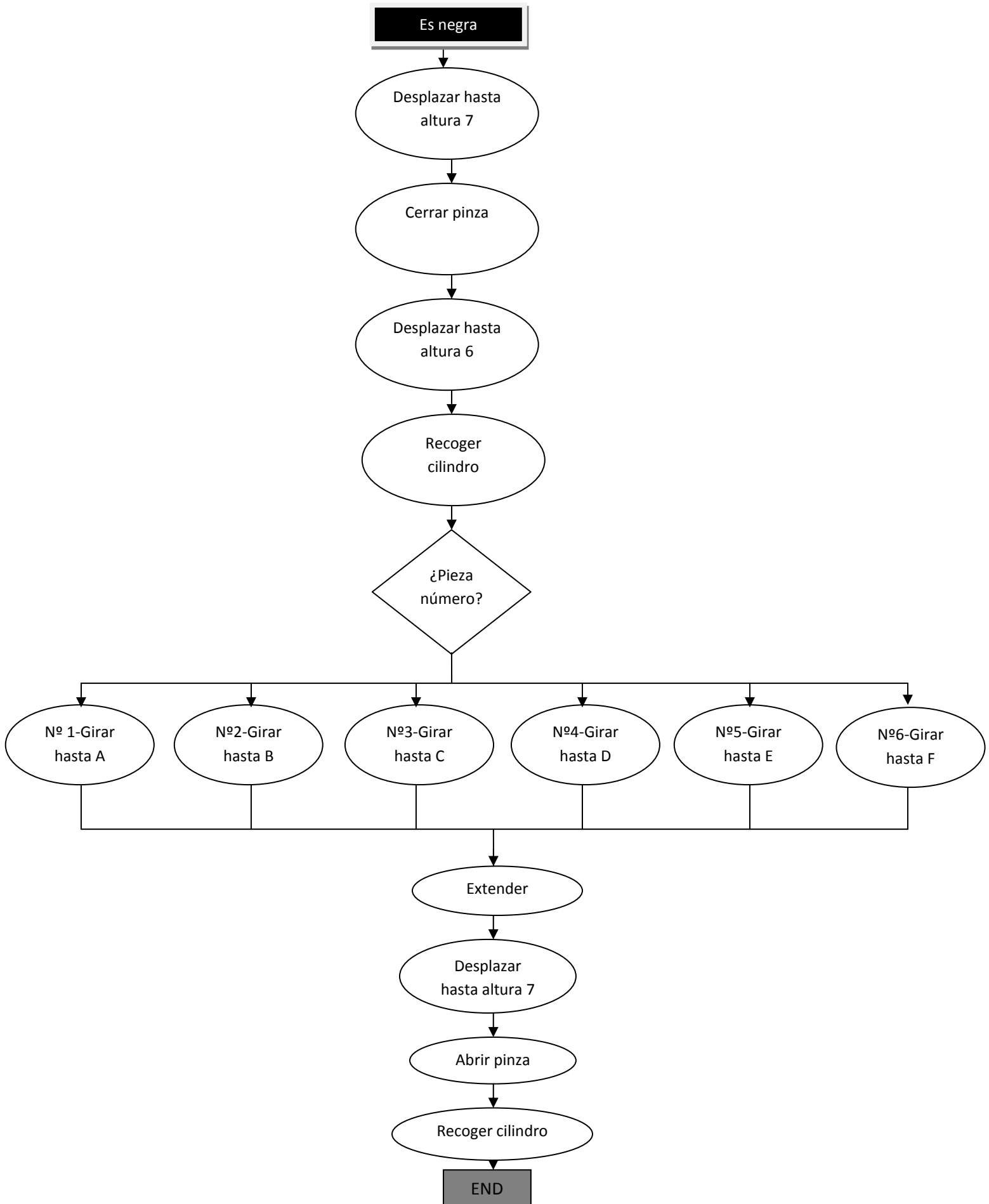
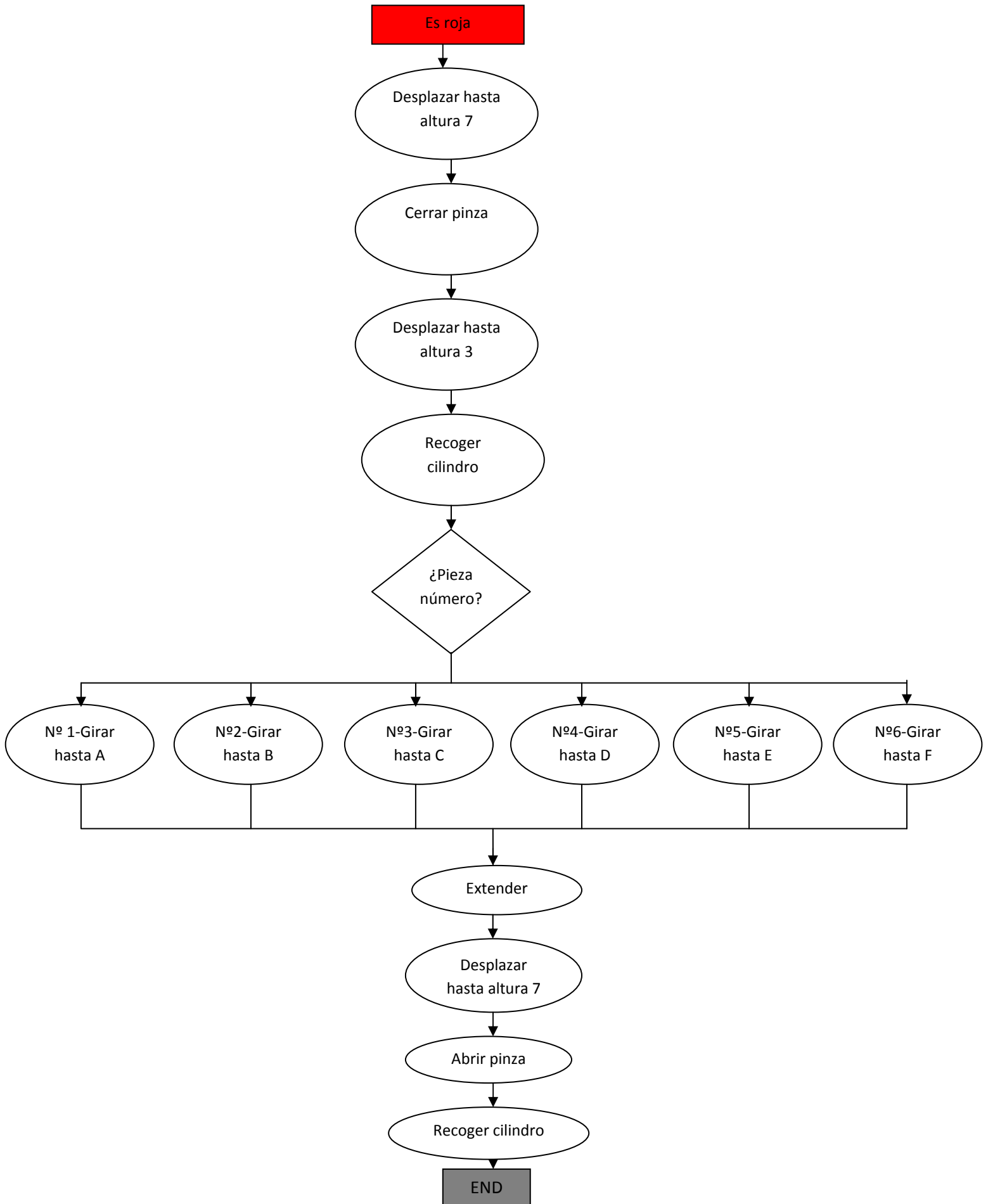


Figura 4.2.Flujograma de la selección de los modos de operación del sistema de almacenamiento.

-Modo recepción:







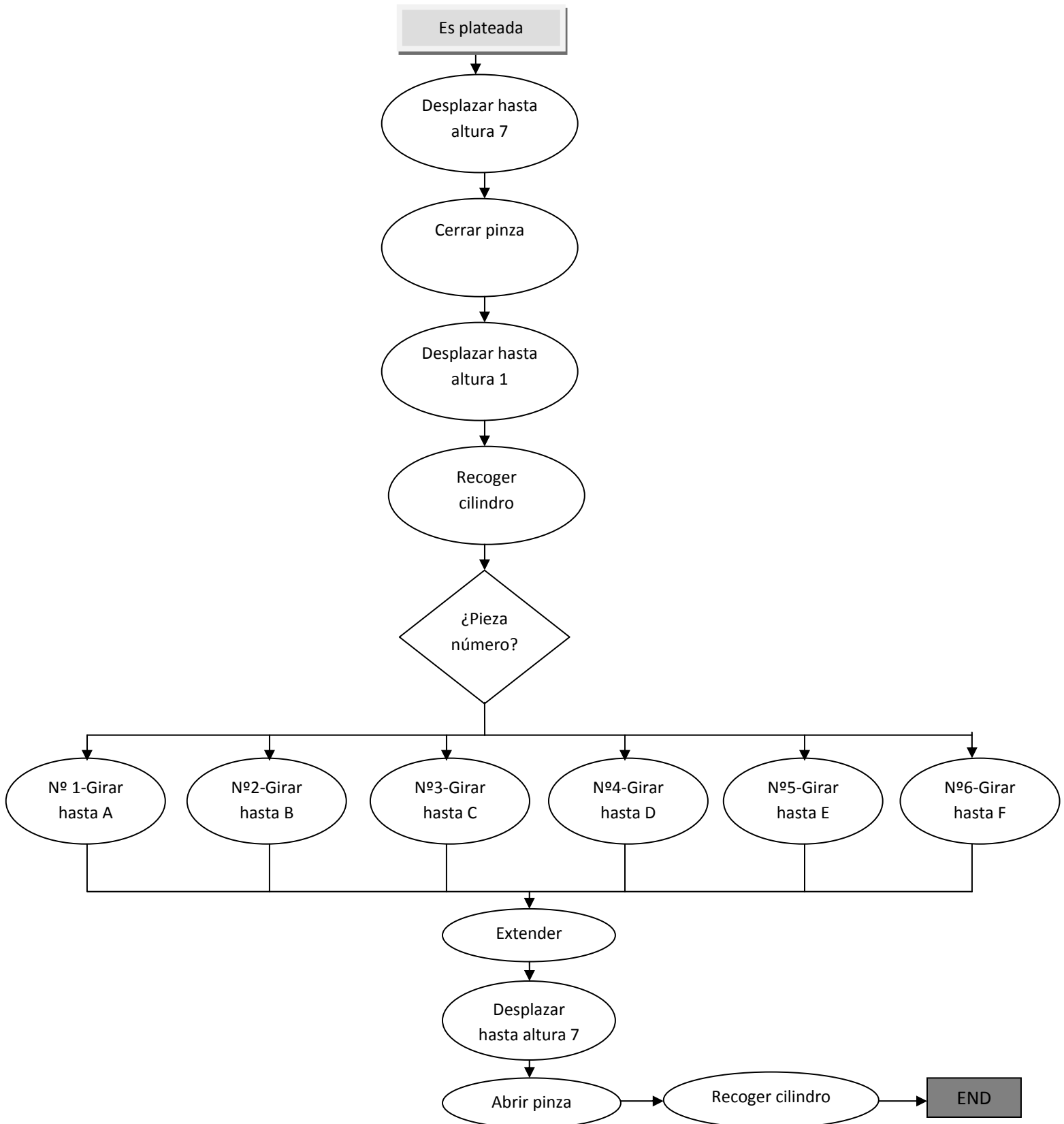
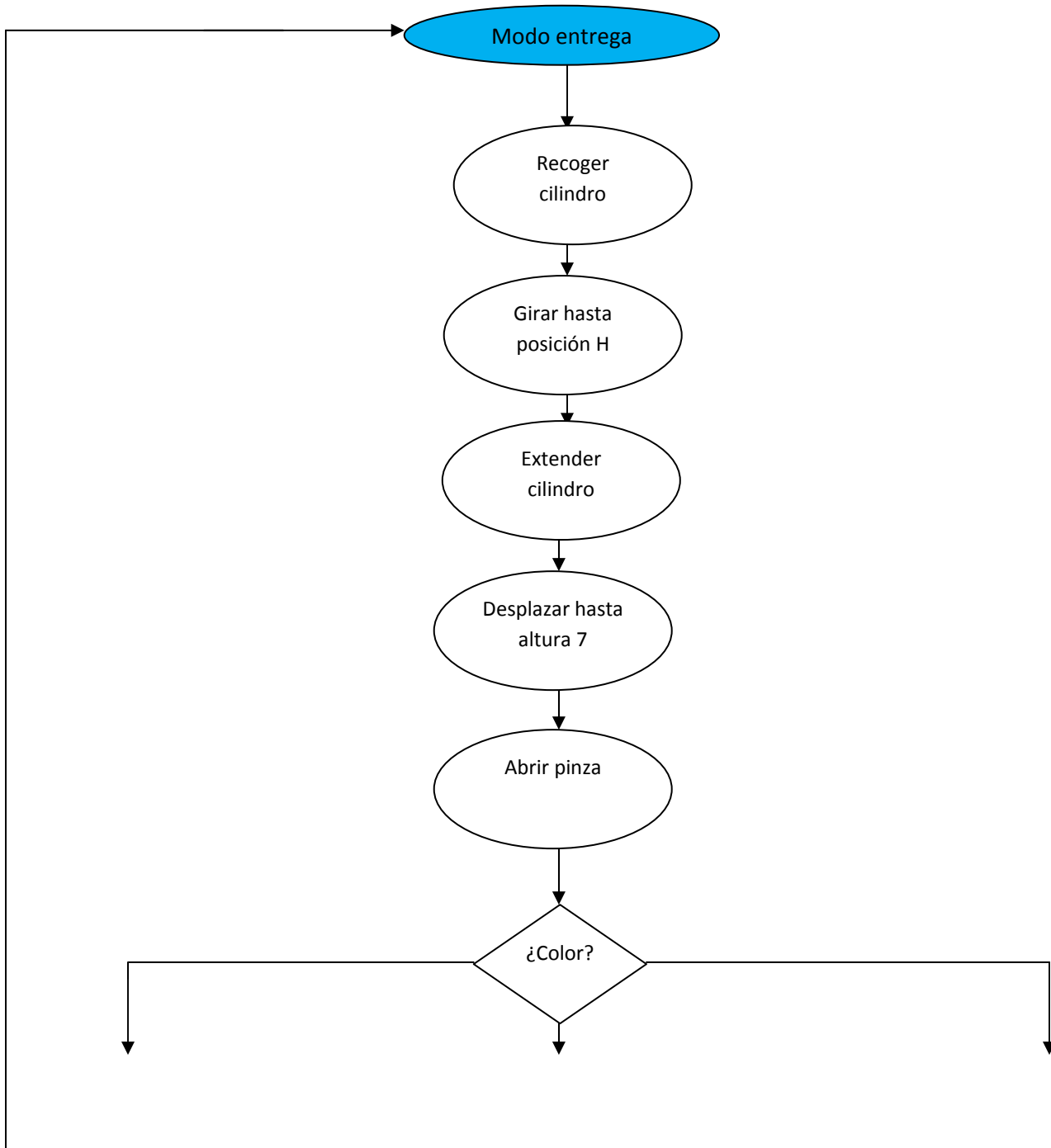
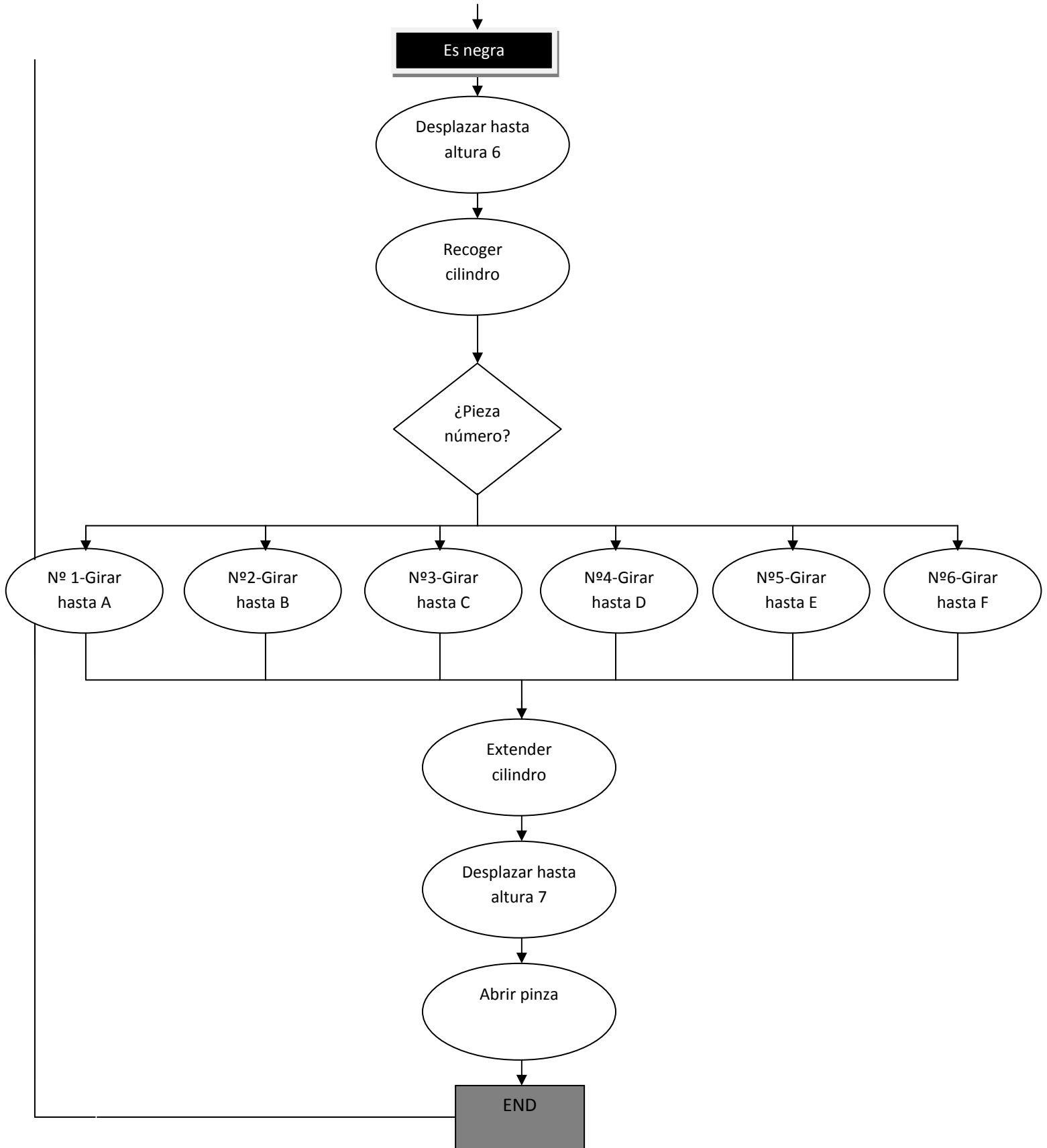
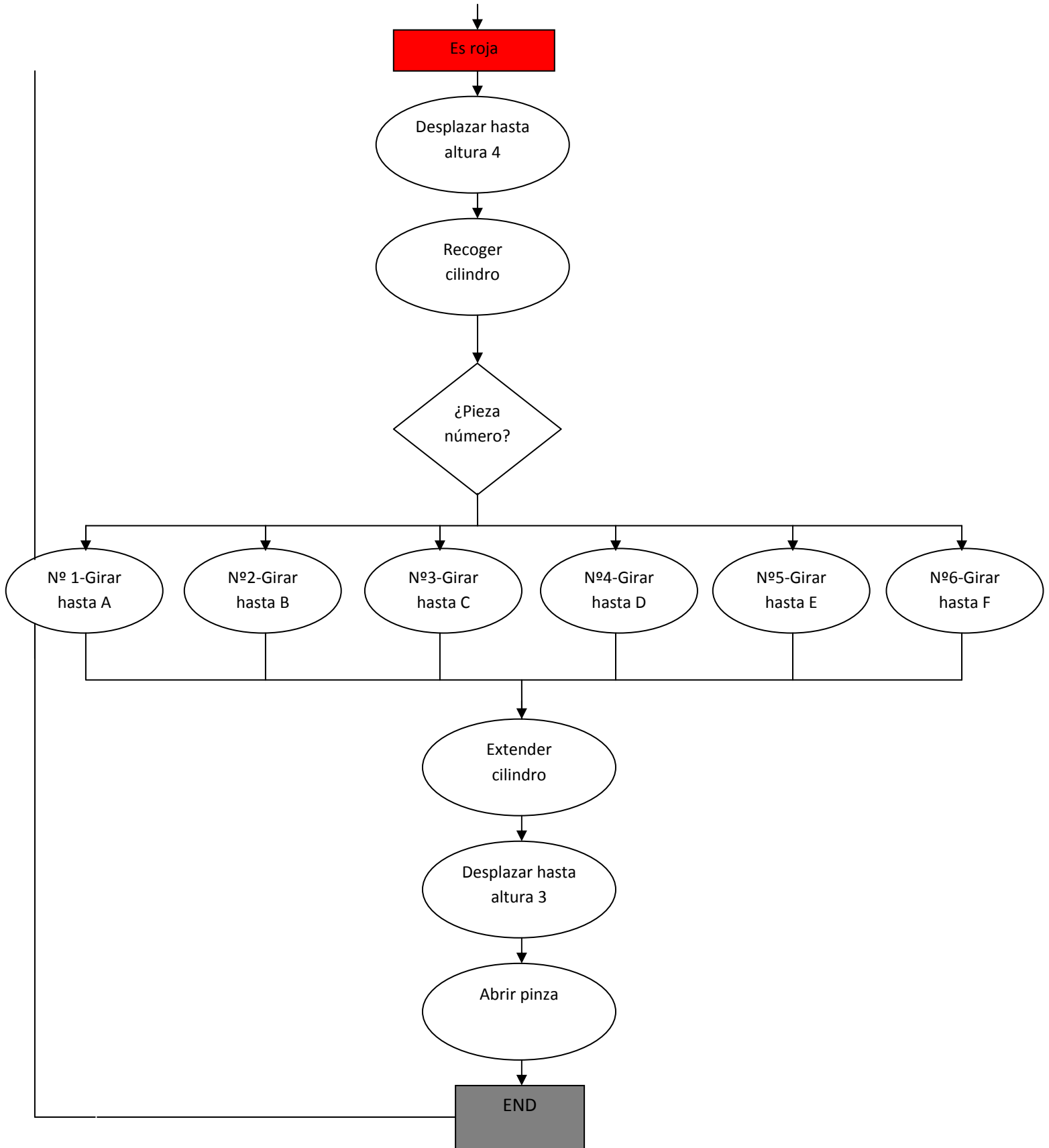


Figura 4.3. Flujograma del funcionamiento en modo de recepción.

-Modo entrega:







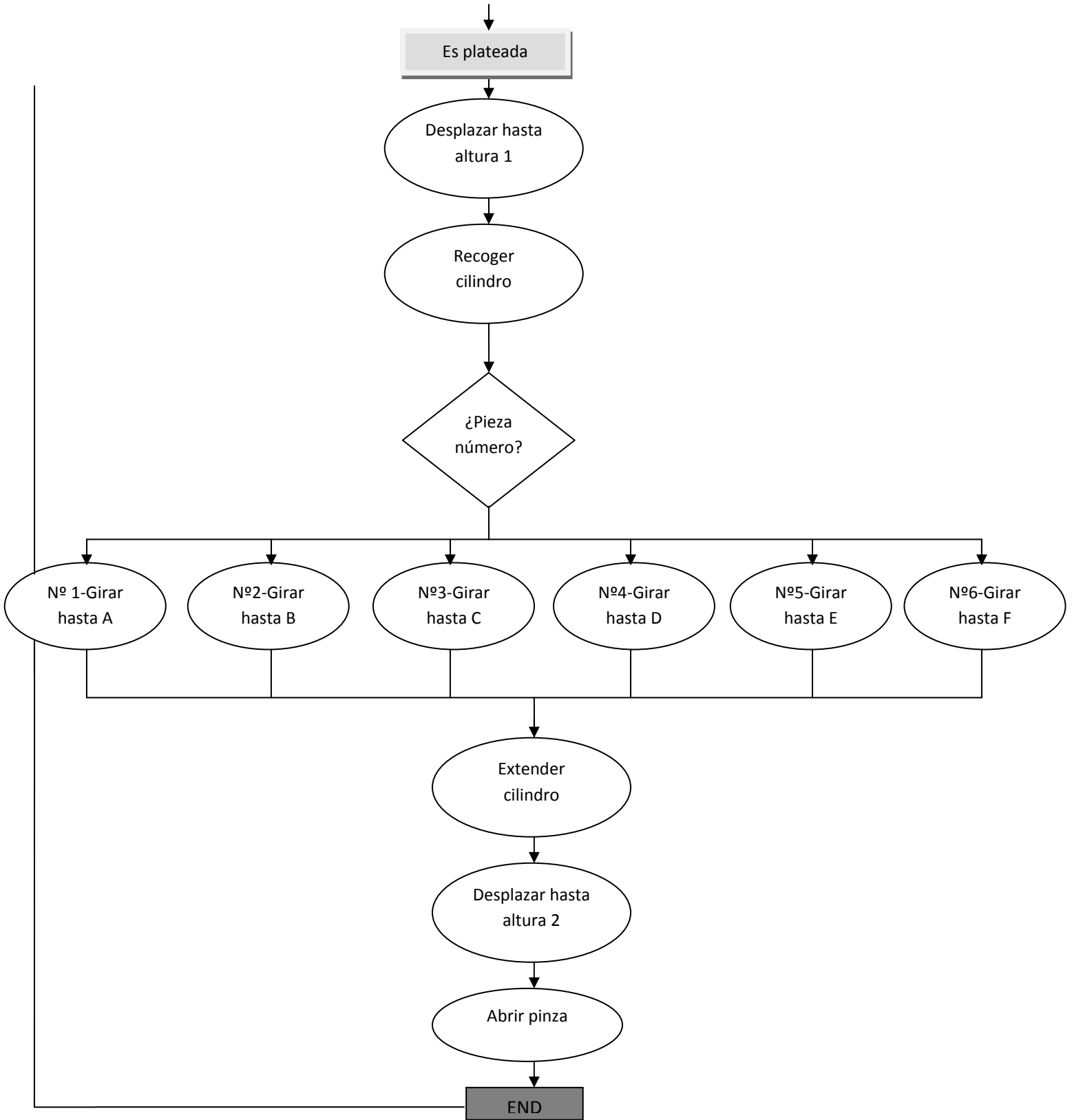


Figura 4.4. Flujograma del funcionamiento en modo de entrega.

4.4. Implementación del funcionamiento.

Para el correcto funcionamiento de este puesto deben configurarse los motores del almacén; bien de forma manual, a través de las pantallas y teclas de los controladores de cada motor o bien mediante el PC con el software Festo Configuration Tool FCT 1.0.9., conectado por puertos RS232 a cada uno de los motores, el MTR-DCI y el SFC-DC. [Man-16]

El siguiente paso es implementar las funciones a realizar por el sistema de almacenamiento; sin embargo, antes de comenzar se debe tener pleno conocimiento de los sensores y actuadores que se disponen en la estación.

Se han cableado las entradas (sensores) y salidas (actuadores) de los módulos del sistema de almacenamiento con las entradas y salidas del autómatas del puesto según se detalla en las tablas 4.3 y 4.4:

| ENTRADAS MÓDULO | DENOMINACIÓN | ENTRADAS AUTÓMATA |
|-----------------|---------------------------|-------------------|
| I0 | EXTIENDE=1/RECOGE=0 BRAZO | E124.0 |
| I1 | SENSOR DETECCIÓN PIEZA | E124.1 |
| I2 | SENSOR COLOR = PLATA | E124.2 |
| I3 | SENSOR COLOR = ROJA | E124.3 |
| I4 | SENSOR COLOR =NEGRA | E124.4 |
| I5 | SENSOR MOTOR VERTICAL | E124.5 |
| I6 | SENSOR MOTOR GIRO=0 | E124.6 |
| I7 | | |

Tabla 4.3. Entradas digitales del módulo del sistema de almacenamiento.

| SALIDAS MÓDULO | DENOMINACIÓN | SALIDAS AUTÓMATA |
|----------------|-------------------------------------|------------------|
| O0 | ACTUADOR EXTENDER=1/RECOGER=0 BRAZO | A124.0 |
| O1 | ACTUADOR CERRAR=1/ABRIR=0 PINZA | A124.1 |
| O2 | BIT_1 POSICIONES | A124.2 |
| O3 | BIT_2 POSICIONES | A124.3 |
| O4 | BIT_3 POSICIONES | A124.4 |
| O5 | SUBIR | A124.5 |
| O6 | GIRAR | A124.6 |
| O7 | | |

Tabla 4.4.Salidas digitales del módulo del sistema de almacenamiento.

Tras realizar completamente el cableado se procede a la implementación de las funciones que realiza la estación de almacenamiento y para ello se utiliza el programa Simatic Siemens Step 7. [Man-16]

Una vez abierto el programa, creado el proyecto y configurado el equipo, se diseña el código del funcionamiento que ejecuta el autómata: encargado de hacer cumplir las especificaciones de funcionamiento de dicha estación. Para el diseño de este código se ha utilizado el lenguaje de contactos KOP, siendo posible diseñar el código en AWL o FUP. [Man-19]

-La solución adoptada para el correcto funcionamiento de este puesto es la siguiente:

Se ha implementado un programa principal (OB1) y 2 funciones (FC1 y FC2), una para cada modo de operación.

El programa principal se encarga de comunicar si el puesto está libre u ocupado al maestro. Puesto que se tienen dos modos de operación: modo de recogida y modo de entrega, este comunica que está libre cuando no está en ningún modo, de manera que está en estado de reposo (no está manipulando ninguna pieza).

A partir de que esté comunicando que esté libre, pueden darse 2 casos:

1.- Que el puesto del sistema de ensamblaje le transfiera una pieza. Entonces, el sistema de ensamblaje se lo comunica al maestro, que manda la orden de que el sistema de almacenamiento recoja la pieza, seleccionando así en el programa principal del sistema de almacenamiento el modo de recogida de piezas y ordenando que comience su proceso en la función de recogida de piezas (FC1); el programa principal llamará a la función que se encarga de la recogida de piezas colocándose así el manipulador en la posición inicial (G7); donde recibirá la pieza del color correspondiente; y, atendiendo al contador, la colocará donde corresponda.

2.- Que el SCADA le ordene la extracción de una pieza, seleccionando así en el programa principal del sistema de almacenamiento el modo de entrega de piezas y ordenando que comience su proceso en la función de entrega de piezas; el programa principal llamará a la función que se encarga de extraer piezas (FC2) colocándose el manipulador en la posición inicial (H7). Una vez en la posición inicial, el SCADA le comunicará el color del que desea que extraiga la pieza, procediendo a continuación a la toma de la pieza de la estantería de almacenamiento teniendo en cuenta el valor del contador correspondiente y entregándola.

En las funciones para la recogida y entrega de piezas se han implementado en cada una, cada uno de los movimientos necesarios para poder coger y dejar la pieza como se muestra en el flujograma de funcionamiento. Además de la implementación de los buzones de salida para saber en qué posición se encuentra el sistema de almacenamiento y los buzones de entrada para permitir que se realice el proceso.

Cabe destacar que en el código se han implementado 3 contadores, cada uno de ellos lleva la cuenta de las piezas de un color que están almacenadas en la estantería de almacenamiento en el momento actual; incrementándose el contador correspondiente cuando se recibe una pieza para poder colocarla en el siguiente compartimento libre del correspondiente nivel de almacenamiento y decrementándose cuando se entrega (cumpliendo así con el comportamiento de una estructura LIFO-Last In First Out).

Estos 3 contadores son de suma importancia, ya que son los que van a regir la gestión de la producción, como se ha mencionado en el capítulo 2. Por lo que el programa principal, se encarga de comunicar al SCADA el valor que tienen los contadores, una vez finalizada la recogida o entrega de la pieza.

Como ya se ha mencionado, se ha tenido en cuenta en el diseño del código del programa la información que se quiere enviar y recibir. Añadiendo en él, los buzones de salidas que informen de su estado y los buzones de entradas para poder ser controlado.

En este caso, los buzones de entrada implementados para la coordinación y el control del puesto se resumen en la tabla 4.5:

| BUZONES DE ENTRADA | DENOMINACIÓN |
|--------------------|--------------------------|
| E122.0 | PIEZA PLATEADA |
| E122.1 | COMENZAR RECEPCIÓN |
| E122.2 | COMENZAR ENTREGA |
| E122.3 | SELECCIÓN MODO RECEPCIÓN |
| E122.4 | SELECCIÓN MODO ENTREGA |
| E122.5 | PIEZA ROJA |
| E122.6 | PIEZA NEGRA |

Tabla 4.5. Buzones de entrada del sistema de almacenamiento.

Y los buzones de salida implementados para el conocimiento del estado en el que se encuentra el proceso de almacenamiento y la gestión de alarmas, se muestran en la tabla 4.6:

| BUZONES DE SALIDA | DENOMINACIÓN |
|-------------------|--------------------------------|
| A123.0 | POSICIÓN A2 |
| A123.1 | POSICIÓN B2 |
| A123.2 | POSICIÓN C2 |
| A123.3 | POSICIÓN D2 |
| A123.4 | POSICIÓN E2 |
| A123.5 | POSICIÓN F2 |
| A123.6 | POSICIÓN A4 |
| A123.7 | POSICIÓN B4 |
| A127.0 | POSICIÓN C4 |
| A127.1 | POSICIÓN D4 |
| A127.2 | POSICIÓN E4 |
| A127.3 | POSICIÓN F4 |
| A127.4 | POSICIÓN A7 |
| A127.5 | POSICIÓN B7 |
| A127.6 | POSICIÓN C7 |
| A122.0 | POSICIÓN D7 |
| A122.1 | POSICIÓN E7 |
| A122.2 | POSICIÓN F7 |
| A122.3 | POSICIÓN G7-INICIO RECOGIDA |
| A122.4 | VACIAR ALMACÉN-LLENO |
| A122.5 | POSICIÓN H7-INICIO ENTREGA |
| A127.7 | BIT_LIBRE=1/OCUPADO=0 |
| AW60 | PIEZAS ROJAS EN EL ALMACÉN |
| AW62 | PIEZAS NEGRAS EN EL ALMACÉN |
| AW64 | PIEZAS PLATEADAS EN EL ALMACÉN |

Tabla 4.6. Buzones de salida del sistema de almacenamiento.

CAPÍTULO 5: Integración por Profibus.

5.1. Integración por Profibus de la FMC.

En la FMC se ha configurado una red Profibus. De esta manera se consigue que la FMC funcione como una unidad y permite al SCADA la gestión de la producción. Entre los diversos protocolos que ofrece, se ha utilizado el protocolo PROFIBUS DP (Periferia Descentralizada), lo que significa que existe un sólo maestro (maestro Profibus) del que dependen los esclavos, que son cada uno de los 5 puestos que forman la cadena de producción. [Pfc-2 y Pfc-3]

Una vez configurada toda la red Profibus mediante el programa Simatic Siemens Step 7, configurando así todas las estaciones que lo forman: insertando equipos, configurando los diferentes módulos de los autómatas, asignando direcciones, realizando la conexión a Profibus, definiendo el maestro y los esclavos, acoplando estos últimos, asignando las direcciones de memoria y el tamaño de la información que se va a intercambiar el maestro con sus respectivos esclavos en cada ciclo y cargando la configuración en cada uno de los autómatas que componen la red Profibus [Man-17], se procede a:

1.- Suministrar toda la información necesaria al SCADA para que éste pueda operar. Para ello, necesita que cada uno de los esclavos le transmita información del estado en qué se encuentra. Esto lo consigue recibiendo a través de una serie de buzones, asignados a cada uno de los esclavos, toda la información concerniente a lo que acontece en cada uno de ellos: donde se encuentra la pieza, identificación del material, piezas rechazadas, piezas aceptadas, posibles fallos acaecidos tras el transcurso del subproceso, etc.

Los buzones asignados a cada uno de los puestos son los que se muestran desde la tabla 5.1 hasta la tabla 5.5:

-Alimentación y verificación:

| Maestro | Esclavo | Longitud |
|---------|---------|----------|
| A80 | E80 | Byte |
| E80 | A80 | Byte |
| E81 | A81 | Byte |
| E82 | A82 | Word |
| E84 | A84 | Word |
| E86 | A86 | Word |

Tabla 5.1. Buzones asignados al puesto de alimentación y verificación.

-Separación y procesado:

| Maestro | Esclavo | Longitud |
|---------|---------|----------|
| A90 | E90 | Byte |
| E90 | A90 | Byte |
| E91 | A91 | Byte |
| E92 | A92 | Word |
| E94 | A94 | Word |
| E96 | A96 | Word |

Tabla 5.2. Buzones asignados al puesto de separación y procesado.

-Manipulación y pulmón:

| Maestro | Esclavo | Longitud |
|---------|---------|----------|
| A100 | E100 | Byte |
| E100 | A100 | Byte |
| E100 | A100 | Byte |
| E102 | A102 | Word |
| E104 | A104 | Word |
| E106 | A106 | Word |

Tabla 5.3. Buzones asignados al puesto de manipulación y pulmón.

-Sistema de ensamblaje:

| Maestro | Esclavo | Longitud |
|---------|---------|----------|
| E112 | A112 | Word |
| E114 | A114 | Word |
| A118 | E118 | Byte |
| A119 | E119 | Byte |
| E120 | A120 | Byte |
| E121 | A121 | Byte |

Tabla 5.4. Buzones asignados al puesto del sistema de ensamblaje.-Y sistema de almacenamiento:

| Maestro | Esclavo | Longitud |
|---------|---------|----------|
| E60 | A60 | Word |
| E62 | A62 | Word |
| E64 | A64 | Word |
| A122 | E122 | Byte |
| E122 | A122 | Byte |
| E123 | A123 | Byte |
| E127 | A127 | Byte |

Tabla 5.5. Buzones asignados al puesto del sistema de almacenamiento.

Se ha tenido que tener en cuenta al realizar la asignación de los buzones, que no todas las direcciones están libres, ya que son usadas para otros fines; por lo que no se permiten su asignación como buzones. Así pues, se hace necesario y muy útil, tener un mapeado de la memoria libre para este fin.

2.- Realizar la coordinación de los 5 puestos. Consiguiendo que la FMC funcione como una unidad, se ha establecido un mecanismo de sincronización necesario entre los 5 puestos mediante la realización de un programa que autoriza a cada uno de los esclavos para comenzar su cometido. Este programa se ha implementado también haciendo uso del programa Simatic Siemens Step 7 y con el lenguaje de contactos KOP, siendo posible el uso en AWL y FUP. [Man-19]

Para la coordinación de los 5 puestos, se ha implementado un código que se basa en el siguiente flujograma:

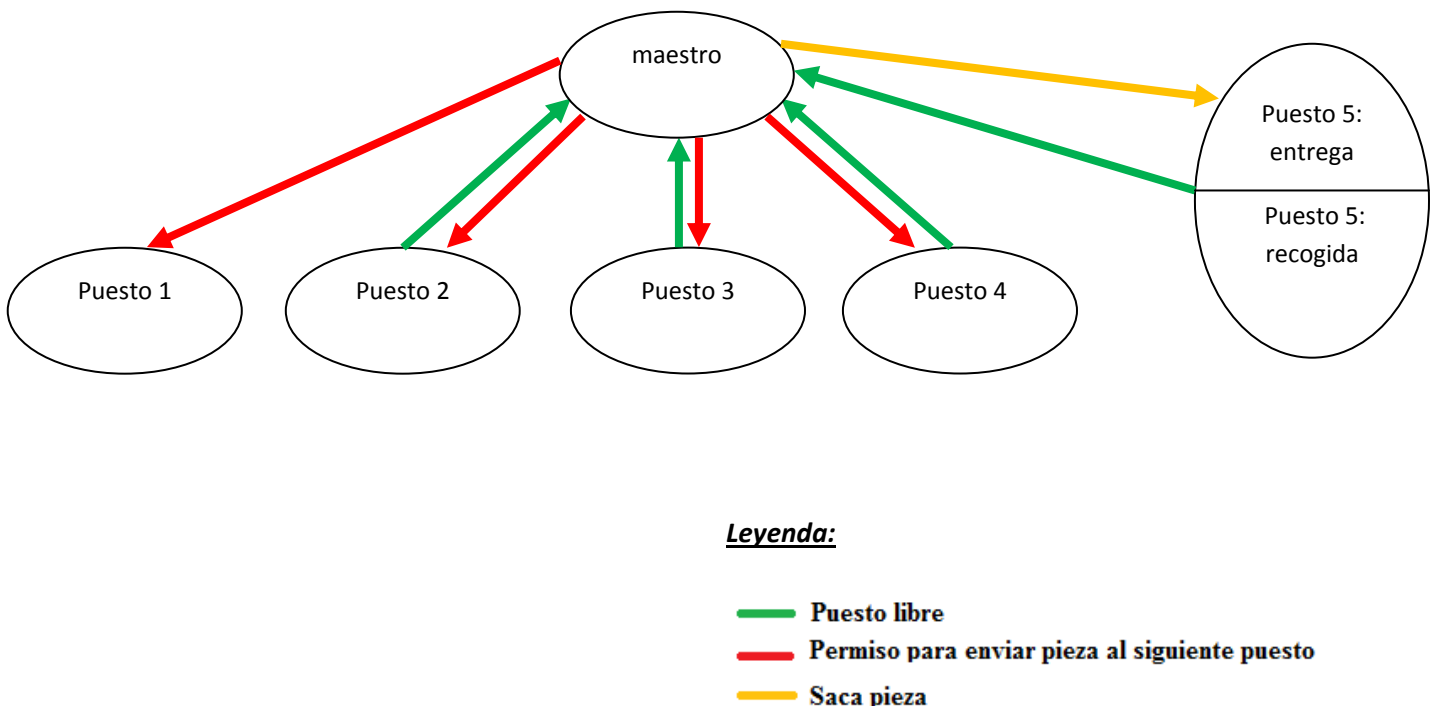


Figura 5.1. Coordinación de la FMC.

Cuando el puesto 2 transmite el buzón de libre/ocupado =1 (puesto libre) al maestro, este da permiso al puesto 1 para que le envíe una pieza. Lo mismo ocurre entre el puesto 2 y 3.

Sin embargo entre el puesto 3 y 4, se ha implementado un sistema algo más complejo. El puesto 4 comunicará cuando se encuentra libre al maestro y el puesto 3 comunicará el color de la pieza a enviar también al maestro, comunicando este último al puesto 4 un buzón en concepto de pregunta de si tiene todos los elementos disponibles para el tipo de pieza a recibir. Si el puesto 4 dispone de todos los elementos comunicará un buzón de preparado=1 al maestro, el cual dará permiso para enviar pieza al puesto 3, confirmando éste mediante otro buzón que manda la pieza. Por lo que el maestro enviará un buzón con el que pondrá en marcha el proceso del sistema de ensamblaje.

En el caso de no disponer todos los elementos comunicará el buzón de preparado=0 al maestro, por lo que no se dará permiso para enviar pieza al puesto 3 hasta que no se dispongan de los elementos necesarios.

La coordinación entre el puesto 4 y el puesto del sistema de almacenamiento es también diferente, puesto que se tienen 2 modos de funcionamiento. Cuando el sistema de almacenamiento comunica que está libre es porque no está en ninguno de los 2 modos. A partir de aquí pueden darse dos casos:

- 1.-Si el sistema de ensamblaje tiene a disposición una pieza para transferirle al sistema de almacenamiento se la transferirá y le comunicará al maestro que le envía una pieza al sistema de almacenamiento, para que el maestro ordene la puesta en marcha del modo de recepción de piezas al sistema de almacenamiento, el cual pasará a comunicar que está ocupado hasta que finalice la recepción.

2.-El SCADA puede ordenar la extracción de una pieza al sistema de almacenamiento, momento en el que este pasará a comunicar que está ocupado hasta que finalice la entrega.

De esta manera, se ha cubierto la posibilidad de que si el sistema de almacenamiento está ocupado entregando una pieza y el sistema de ensamblaje tiene una pieza a disposición para transferírsela al sistema de almacenamiento, no se la transferirá hasta que el sistema de almacenamiento no comunique que esté libre y viceversa.

En el caso en que se transmita al maestro el bit libre/ocupado=0 de cualquier puesto (puesto ocupado), no se enviará ninguna pieza al siguiente puesto hasta que esté libre.

A través de esta coordinación de los puestos se consigue que cada puesto pueda manipular una pieza de manera simultánea.

CAPÍTULO 6: Pruebas y resultados experimentales.

6.1. Introducción.

En éste capítulo se analizan 2 posibles casos que han sido probados y que podrían suceder durante la producción de piezas en la FMC y se explica cómo reacciona la FMC ante ellos.

6.2. Primer caso.

El puesto de manipulación y pulmón tiene una pieza negra lista para pasar al proceso de ensamblaje y el sistema de ensamblaje se encuentra en las siguientes condiciones: No está manipulando ninguna pieza, hay tapas en el almacén de las tapas y émbolos negros en el palet. Sin embargo, no hay disponibles ni émbolos plateados, ni muelles. (Ver figura 6.1.)

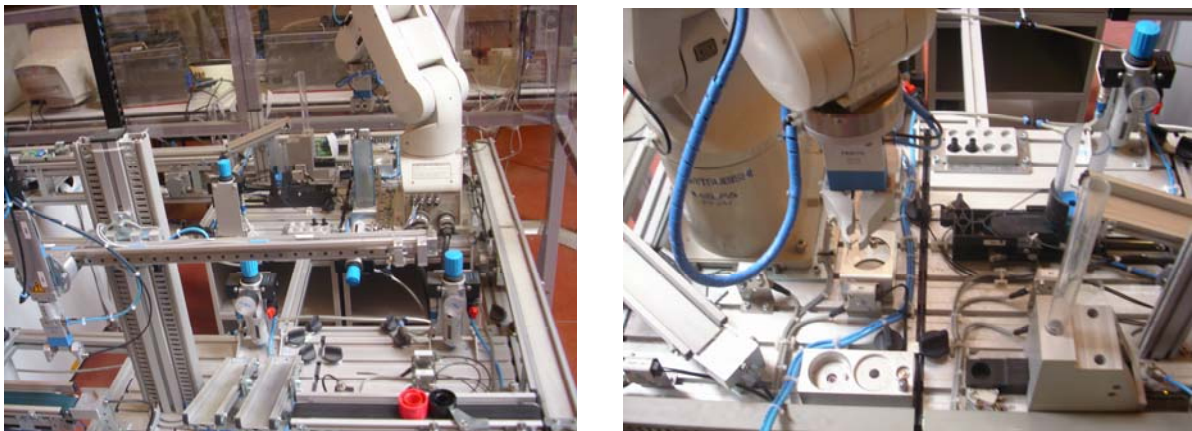


Figura 6.1. Estado de los puestos de manipulación y pulmón y sistema de ensamblaje.

La FMC actúa de la siguiente manera:

El puesto de manipulación y pulmón comunica al maestro que tiene una pieza negra para el siguiente puesto. El sistema de ensamblaje al no está manipulando ninguna pieza, comunica al maestro que está libre. Además, puesto que se ha utilizado el último émbolo plateado del palet está comunicando también que no hay émbolos plateados y puesto que no detecta muelle, comunica también que no hay muelles disponibles. A la vez que comunica que no está preparado al maestro, por lo que no da permiso al puesto 3 para que le envíe pieza. Por lo que el sistema SCADA está recibiendo 2 alarmas: “No hay muelles-RECARGAR” y “No hay émbolos plateados-RECARGAR”. (Ver figura 6.2)

| Operando | Simbolo | Formato de visualizaci | Valor de estado | Valor de forzado |
|----------|-------------------------------|------------------------|-----------------|------------------|
| 1 | E 120.1 "ROBOT LIBRE" | BOOL | true | |
| 2 | E 121.5 "PREPARADO" | BOOL | false | |
| 3 | E 121.0 "LLEGADA PIEZA" | BOOL | false | |
| 4 | E 121.1 "COGE EMBOLO" | BOOL | false | |
| 5 | E 121.2 "COGE MUELLE" | BOOL | false | |
| 6 | E 121.3 "COGE TAPA" | BOOL | false | |
| 7 | E 121.4 "DEPOSITA PIEZA" | BOOL | false | |
| 8 | EW 112 "EMBOLOS GRISES" | DEC | 4 | |
| 9 | EW 114 "EMBOLOS NEGROS" | DEC | 2 | |
| 10 | E 120.0 "NO HAY TAPAS" | BOOL | false | |
| 11 | E 120.3 "NO EMBOLOS GRISES" | BOOL | true | |
| 12 | E 120.4 "NO ÉMBOLOS NEGROS" | BOOL | false | |
| 13 | E 120.5 "NO MUELLES" | BOOL | true | |
| 14 | E 127.7 "LIBRE ALMACEN" | BOOL | true | |
| 15 | EW 60 "PIEZAS ROJAS" | DEC | 3 | |
| 16 | EW 62 "PIEZAS NEGRAS" | DEC | 0 | |
| 17 | EW 64 "PIEZAS PLATEADAS" | DEC | 0 | |
| 18 | E 101.6 | BOOL | false | |
| 19 | E 101.5 "MANIPULACION NEGRA" | BOOL | true | |
| 20 | E 100.7 "MANIPULACION LIBRE" | BOOL | true | |
| 21 | E 90.7 "PROCESADO LIBRE" | BOOL | false | |
| 22 | E 90.6 "ALMACÉN LLENO PROC" | BOOL | false | |
| 23 | E 80.7 "ALIMENTACIÓN LIBRE" | BOOL | false | |
| 24 | E 123.5 "ALMACEN PLATEADAS L" | BOOL | false | |
| 25 | E 127.3 "ALMACEN ROJAS LLEN" | BOOL | false | |
| 26 | E 122.2 "ALMACEN NEGRAS LLE" | BOOL | false | |
| 27 | | | | |

Figura 6.2. Estado de las señales de comunicación.

Un operario procederá a la recarga de muelles y una recarga de 4 émbolos plateados. Una vez hecha la recarga, el SCADA comunicará al sistema de ensamblaje que se ha realizado la recarga de ambos elementos.

El sistema de ensamblaje recoge el cilindro que extrae los muelles para poder extraer del almacén de los muelles donde se ha ingresado la recarga de los muelles, un muelle y ponerlo a disposición del brazo robot para el montaje de la pieza, siendo así detectado la existencia de muelle disponible.

Por tanto, se deja de comunicar el desabastecimiento de émbolos plateados y muelles como se aprecia en la figura 6.3; por lo que el maestro da permiso al puesto de manipulación y pulmón para enviarle la pieza al sistema de ensamblaje; poniéndose en funcionamiento el brazo robot (comunicando que el puesto está ocupado).

| | Operando | Símbolo | Formato de visualizaci | Valor de estado | Valor de forzado |
|----|----------|-----------------------|------------------------|-----------------|------------------|
| 1 | E 120.1 | "ROBOT LIBRE" | BOOL | false | |
| 2 | E 121.5 | "PREPARADO" | BOOL | false | |
| 3 | E 121.0 | "LLEGADA PIEZA" | BOOL | false | |
| 4 | E 121.1 | "COGE ÉMBOLO" | BOOL | false | |
| 5 | E 121.2 | "COGE MUELLE" | BOOL | false | |
| 6 | E 121.3 | "COGE TAPA" | BOOL | false | |
| 7 | E 121.4 | "DEPOSITA PIEZA" | BOOL | false | |
| 8 | EW 112 | "EMBOLOS GRISAS" | DEC | 1 | |
| 9 | EW 114 | "EMBOLOS NEGROS" | DEC | 2 | |
| 10 | E 120.0 | "NO HAY TAPAS" | BOOL | false | |
| 11 | E 120.3 | "NO EMBOLOS GRISAS" | BOOL | false | |
| 12 | E 120.4 | "NO ÉMBOLOS NEGROS" | BOOL | false | |
| 13 | E 120.5 | "NO MUELLES" | BOOL | false | |
| 14 | E 127.7 | "LIBRE ALMACEN" | BOOL | true | |
| 15 | EW 60 | "PIEZAS ROJAS" | DEC | 3 | |
| 16 | EW 62 | "PIEZAS NEGRAS" | DEC | 0 | |
| 17 | EW 64 | "PIEZAS PLATEADAS" | DEC | 0 | |
| 18 | E 101.6 | | BOOL | false | |
| 19 | E 101.5 | "MANIPULACION NEGRA" | BOOL | false | |
| 20 | E 100.7 | "MANIPULACIÓN LIBRE" | BOOL | true | |
| 21 | E 90.7 | "PROCESADO LIBRE" | BOOL | false | |
| 22 | E 90.6 | "ALMACÉN LLENO PROC" | BOOL | false | |
| 23 | E 80.7 | "ALIMENTACIÓN LIBRE" | BOOL | false | |
| 24 | E 123.5 | "ALMACEN PLATEADAS L" | BOOL | false | |
| 25 | E 127.3 | "ALMACEN ROJAS LLEN" | BOOL | false | |
| 26 | E 122.2 | "ALMACEN NEGRAS LLE" | BOOL | false | |
| 27 | | | | | |

Figura 6.3.Estado de las señales de comunicación.

Y continuando todo el proceso de ensamblaje normalmente, como se puede observar desde la figura 6.4 hasta la figura 6.9:



Figura 6.4. Recibiendo pieza.

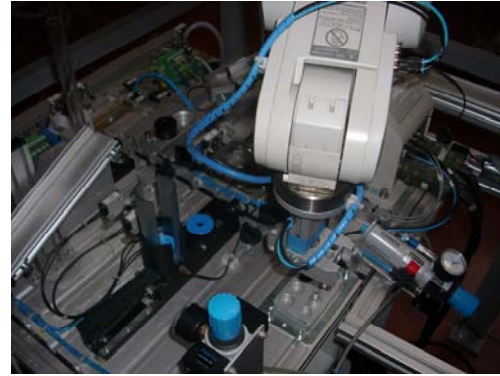


Figura 6.5. Cogiendo émbolo.



Figura 6.6. Cogiendo muelle.



Figura 6.7. Determinando orientación de la pieza.



Figura 6.8. Ensamblando tapa.

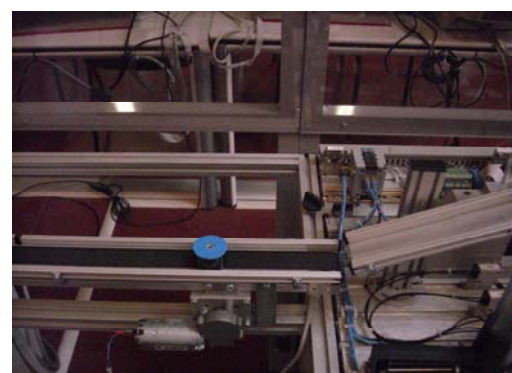


Figura 6.9. Enviando pieza al sistema de almacenamiento.

6.3. Segundo caso.

El sistema de almacenamiento alberga 3 piezas plateadas, 6 piezas rojas y 2 piezas negras. No está manipulando ninguna pieza y el sistema de ensamblaje dispone de una pieza roja para su recogida por el sistema de almacenamiento. (Ver figura 6.10)



Figura 6.10. Puestos del sistema de ensamblaje y sistema de almacenamiento.

La FMC reacciona de la siguiente manera:

El sistema de almacenamiento comunica que está libre, por lo que se le permitirá al puesto 4 que le envíe la pieza, ya que hasta este momento sólo se tiene el conocimiento de que la pieza es no negra, siendo el único puesto capaz de diferenciar entre piezas rojas y plateadas el sistema de almacenamiento. Puesto que se disponen de 6 piezas rojas en la estantería de almacenamiento, significa que el segundo nivel se encuentra lleno, por lo que el sistema SCADA está recibiendo una alarma comunicada por el sistema de almacenamiento que dice: “BALDA DE PIEZAS ROJAS LLENA-VACIAR”. (Ver figura 6.11)

| Operando | Símbolo | Formato de visualizaci | Valor de estado | Valor de forzado |
|----------|---------|------------------------|-----------------|------------------|
| 1 | E 120.1 | "ROBOT LIBRE" | BOOL | false |
| 2 | E 121.5 | "PREPARADO" | BOOL | false |
| 3 | E 121.0 | "LLEGADA PIEZA" | BOOL | false |
| 4 | E 121.1 | "COGE ÉMBOLO" | BOOL | false |
| 5 | E 121.2 | "COGE MUELLE" | BOOL | false |
| 6 | E 121.3 | "COGE TAPA" | BOOL | false |
| 7 | E 121.4 | "DEPOSITA PIEZA" | BOOL | false |
| 8 | EW 112 | "EMBOLOS GRISES" | DEC | 2 |
| 9 | EW 114 | "EMBOLOS NEGROS" | DEC | 2 |
| 10 | E 120.0 | "NO HAY TAPAS" | BOOL | false |
| 11 | E 120.3 | "NO EMBOLOS GRISES" | BOOL | false |
| 12 | E 120.4 | "NO EMBOLOS NEGROS" | BOOL | false |
| 13 | E 120.5 | "NO MUELLES" | BOOL | false |
| 14 | E 127.7 | "LIBRE ALMACEN" | BOOL | true |
| 15 | EW 60 | "PIEZAS ROJAS" | DEC | 6 |
| 16 | EW 62 | "PIEZAS NEGRAS" | DEC | 2 |
| 17 | EW 64 | "PIEZAS PLATEADAS" | DEC | 2 |
| 18 | E 101.6 | | BOOL | false |
| 19 | E 101.5 | "MANIPULACION NEGRA" | BOOL | false |
| 20 | E 100.7 | "MANIPULACIÓN LIBRE" | BOOL | true |
| 21 | E 90.7 | "PROCESADO LIBRE" | BOOL | false |
| 22 | E 90.6 | "ALMACÉN LLENO PROC" | BOOL | false |
| 23 | E 80.7 | "ALIMENTACIÓN LIBRE" | BOOL | false |
| 24 | E 123.5 | "ALMACEN PLATEADAS L" | BOOL | false |
| 25 | E 127.3 | "ALMACEN ROJAS LLEN" | BOOL | true |
| 26 | E 122.2 | "ALMACEN NEGRAS LLE" | BOOL | false |
| 27 | | | | |

Figura 6.11. Estado de las comunicaciones.

Una vez recibida la pieza en el receptáculo de este, se procede a la identificación del color, como se aprecia en la figura 6.12:

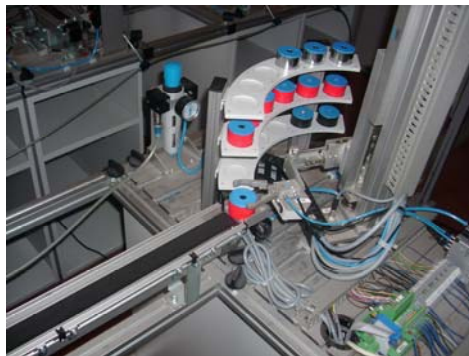


Figura 6.12. Identificación del color

Siendo esta roja, el maestro (encargado de la coordinación de los puestos) no permite la recogida de más piezas hasta que no se proceda a la entrega de una pieza roja. Por lo que tras la identificación del color no coge la pieza, vuelve al estado de reposo. (Ver figura 6.13)

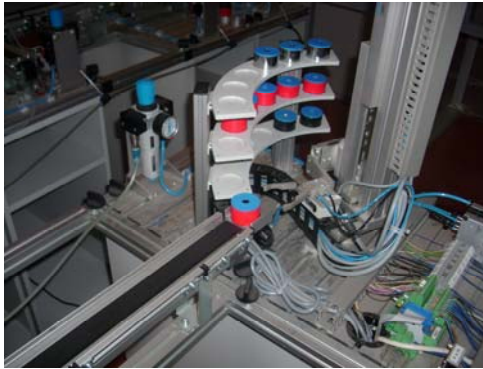


Figura 6.13. Vuelta al estado de reposo.

Volviendo a comunicar que está libre. De esta manera, se podrá acceder al modo de entrega. En las figuras 6.14 y 6.15, se aprecia como se entrega una pieza roja, descontándose 1 pieza roja del contador.

| Operando | Símbolo | Formato de visualizaci | Valor de estado | Valor de forzado |
|----------|-------------------------------|------------------------|-----------------|------------------|
| 1 | E 120.1 "ROBOT LIBRE" | BOOL | true | |
| 2 | E 121.5 "PREPARADO" | BOOL | false | |
| 3 | E 121.0 "LLEGADA PIEZA" | BOOL | false | |
| 4 | E 121.1 "COGE EMBOLLO" | BOOL | false | |
| 5 | E 121.2 "COGE MUELLE" | BOOL | false | |
| 6 | E 121.3 "COGE TAPA" | BOOL | false | |
| 7 | E 121.4 "DEPOSITA PIEZA" | BOOL | false | |
| 8 | EW 112 "EMBOLOS GRISES" | DEC | 2 | |
| 9 | EW 114 "EMBOLOS NEGROS" | DEC | 2 | |
| 10 | E 120.0 "NO HAY TAPAS" | BOOL | false | |
| 11 | E 120.3 "NO EMBOLOS GRISES" | BOOL | false | |
| 12 | E 120.4 "NO EMBOLOS NEGROS" | BOOL | false | |
| 13 | E 120.5 "NO MUELLES" | BOOL | false | |
| 14 | E 127.7 "LIBRE ALMACEN" | BOOL | true | |
| 15 | EW 60 "PIEZAS ROJAS" | DEC | 5 | |
| 16 | EW 62 "PIEZAS NEGRAS" | DEC | 2 | |
| 17 | EW 64 "PIEZAS PLATEADAS" | DEC | 2 | |
| 18 | E 101.6 | BOOL | false | |
| 19 | E 101.5 "MANIPULACION NEGRA" | BOOL | false | |
| 20 | E 100.7 "MANIPULACION LIBRE" | BOOL | true | |
| 21 | E 90.7 "PROCESADO LIBRE" | BOOL | false | |
| 22 | E 90.6 "ALMACÉN LLENO PROC" | BOOL | false | |
| 23 | E 80.7 "ALIMENTACIÓN LIBRE" | BOOL | false | |
| 24 | E 123.5 "ALMACEN PLATEADAS L" | BOOL | false | |
| 25 | E 127.3 "ALMACEN ROJAS LLEN" | BOOL | false | |
| 26 | E 122.2 "ALMACEN NEGRAS LLE" | BOOL | false | |
| 27 | | | | |

Figura 6.14. Estado de las comunicaciones.



Figura 6.15. Entrega de una pieza roja.

Una vez realizada la entrega de una pieza roja, se procede a la recogida de la pieza que le transfirió el sistema de ensamblaje, como se observa en la figura 6.16:

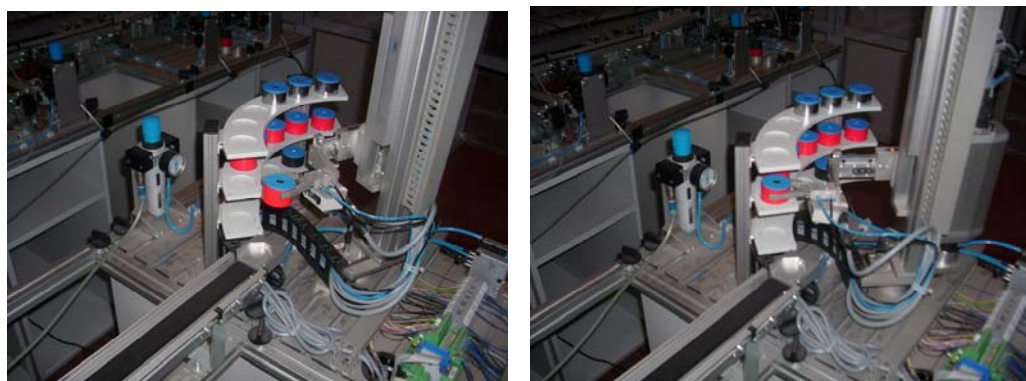


Figura 6.16. Recogida de la pieza.

Esta manera de proceder se debe a las limitaciones de la FMC; ya que el sistema de almacenamiento es el único puesto que dispone de un sensor óptico de color, por lo que es el único capaz de distinguir entre piezas rojas y plateadas (determinadas como no negras, por el resto de los puestos) de manera que hasta que la pieza no llega hasta este puesto no se puede determinar si se va a recibir una pieza roja o plateada.

CAPÍTULO 7: Conclusiones y trabajos futuros.

7.1. Conclusiones.

Tras la realización de la puesta en marcha de la FMC, se ha conseguido la automatización del proceso de fabricación en el transporte, identificación, y verificación de las piezas. Además de proporcionar una fiabilidad del proceso gracias al mantenimiento preventivo y el control de condiciones de mecanizado.

La FMC goza de flexibilidad: en el producto en cuanto a dimensiones y materiales; y en la producción en cuanto a cantidad.

También se consigue una reducción de los costos de fabricación, al eliminar las camisas defectuosas antes de la llegada al sistema de ensamblaje; puesto que de esta manera no se desperdician émbolos, muelles, ni tapas.

Debido al estricto control al que se somete cada pieza, en cuanto a tipo de color, altura y profundidad del agujero se consigue un grado significativo de eficacia del proceso realizado por la célula; logrando así una elevada calidad del producto.

Como se ofrecen 2 posibilidades de producción, producción continua o producción bajo pedido, en el caso de trabajar con la segunda opción, se consigue una reducción del stockaje de producto terminado, debido a la precisión en la planificación de la producción. Y no se tendrá por qué almacenar stockaje inmovilizado, con lo que la empresa conseguiría liquidez.

Mediante la red Profibus establecida se proporciona el perfecto sistema de comunicación para la FMC, ya que permite que cada puesto manipule una pieza de manera simultánea. Y así conseguir una velocidad de fabricación mayor. Lo que será una ventaja competitiva para la empresa, ya que podrá proporcionar al cliente un producto de alta calidad en un tiempo mínimo.

7.2. Trabajos futuros.

La estación del robot Mitsubishi permite implementar un mayor número de alarmas, aprovechando todas las entradas y salidas que ofrece el controlador, para así tener un mayor control del brazo robot. Pudiéndose así, añadir alarmas que avisen de algún error en el manipulador que pueda ocurrir durante el proceso de ensamblaje de la pieza. Así como que realice una secuencia alternativa que resuelva el problema de manera automática en el momento en que se de alguna de éstas.

El hardware del sistema de almacenamiento se puede dotar con algún tipo de base que sirva para conformar los pedidos para la entrega de piezas, ya que hasta el momento se carece de ello. Además, también se puede estudiar la posibilidad de añadir alarmas que permitan avisar de los errores de los controladores MTR-DCI y SFC-DC y también solucionarlos de manera automática.

En cuanto a posibles trabajos futuros con las comunicaciones, se podría realizar la comunicación mediante el uso de DB's en sustitución de bytes y palabras, lo que proporcionaría una mayor potencia en la comunicación.

Por otro lado, con toda la información que se le suministra actualmente al SCADA se podrían realizar estudios fiables en el área de la gestión de la calidad: realizando estadísticas sobre la calidad de las piezas fabricadas, ya que se conoce cuantas son aceptadas y cuantas son rechazadas, pudiéndose clasificarse tanto por color, altura o profundidad del agujero.

CAPÍTULO 8: Bibliografía.

-Proyectos Fin de Carrera:

[Pfc-1] **“Integración de un robot industrial y un almacén automatizado en una célula de fabricación flexible modular para docencia I”** Gutiérrez-Juárez Sienes, Beatriz. Universidad Carlos III de Madrid. Julio, 2007.

[Pfc-2] **“Desarrollo de un sistema Scada y configuración de una red Profibus para una célula de fabricación flexible docente”** La Puente Iribas, Juan. Universidad Carlos III de Madrid. Septiembre, 2007.

[Pfc-3] **“Interconexión de equipos de fabricación con Profibus”** de Prado Lucas, Sara. Universidad Carlos III de Madrid. Septiembre, 1998.

-Manuales:

[Man-1] **“Célula de Fabricación flexible, MPS-C. Estación 1: Distribución”** Festo Didactic 2006.

[Man-2] **“Célula de Fabricación flexible, MPS-C. Estación 2: Verificación”** Festo Didactic 2003.

[Man-3] **“FESTO. Separating Station ”**. Art. No. 696682.

[Man-4] **“Célula de Fabricación flexible, MPS-C. Estación 3: Proceso”** Festo Didactic 2006.

[Man-5] **“Célula de Fabricación flexible, MPS-C. Estación 4: Manipulación”** Festo Didactic 2006.

[Man-6] **“Célula de Fabricación flexible, MPS-C. Estación 5: Pulmón”** Festo Didactic 2006.

[Man-7] **“Célula de Fabricación flexible, MPS-C. Estación 6A: Montaje”** Festo Didactic 2006.

[Man-8] **“Célula de Fabricación flexible, MPS-C. Estación 6: Robot”** Festo Didactic 2006.

[Man-9] **“Célula de Fabricación flexible, MPS-C. Estación 7: Clasificación”** Festo Didactic 2006.

[Man-10] **“FESTO. Storing Station ”**. Art. No. 696683.

[Man-11] **“Célula de Fabricación flexible, MPS-C. Comunicaciones mediante bus de campo con controladores Siemens S7-300”**. Festo Didactic 2005.

[Man-12] **“Célula de Fabricación flexible, MPS-C. Guía rápida del robot Mitsubishi RV-2AJ”**. Festo Didactic 2006.

[Man-13] **“Manual de instrucciones de COSIROP para el lenguaje MELFA BASIC IV”**. Festo Didactic 2005.

[Man-14] **“FESTO. Manual Motor Unit MTR-DCI”**. Art. No. 539616.

[Man-15] **“FESTO. Manual Motor Controller SFC-DC”**. Art. No. 685976.

[Man-16] **“Festo Configuration Tool. Project: Lagern”**. Art. No. 685976.

[Man-17] **“SIEMENS. Simatic. Configurar el hardware y la comunicación con STEP 7 V5.2. Manual**. Edición 12/2002.

[Man-18] **“SIEMENS. Simatic. STEP 7 V5.2 Introducción y ejercicios prácticos. Getting Started**. Edición 12/2002.

[Man-19] **“Esquema de contactos (KOP) para S7-300 y S7-400”**. Edición 12/2002.

-Direcciones Web:

[www-1] <http://www.profibus.com/>

[www-2] <http://www.automation.siemens.com>

[www-3] <http://www.lhusurbil.com/irjlmartinez/MANUALES/Manual%20Usuario%20MPS-C.pdf>

[www-4] http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1452/ISAD_Tema4.pdf

