

Universidad Tecnológica Nacional

Proyecto Final

Upgrade Máquina Desencajonadora

Autor:

- *Lima, Mateo.*

Director:

- *Gustavo, Katzenelson.*

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos
para acceder al título de Ingeniero Electrónico
en la*

Facultad Regional Paraná

Fecha: mayo de 2022

Declaración de autoría:

Yo declaro que el Proyecto Final “Upgrade Maquina Desencajadora” y el trabajo realizado son propios. Declaro:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firmas:

- Lima, Mateo

Fecha: 01/05/2022

Agradecimientos:

En primer lugar, agradecer al Ingeniero Gustavo Katzenelson, cuya ayuda y gran disposición como director del proyecto fue fundamental para poder realizar el mismo.

A la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Paraná, por otorgarme una formación académica y profesional. Así como también a sus docentes y personal, por su disposición para atender mis consultas y por jugar un rol fundamental en formación como profesional per también como persona.

A las empresas Boole Automation Y SIE Ingeniería, por confiar en mí y por su inconmensurable aporte en mi formación.

A mis padres, hermanos, pareja, a toda mi familia y amigos cuyo apoyo a lo largo de todos estos años fue vital, y sin cuya ayuda sin dudas no habría llegado hasta este punto del camino.

A todos mis compañeros de la universidad, ya que gracias a su compañía y apoyo en cada día, han hecho de mi carrera universitaria un trayecto increíble.

¡Gracias!

Lima, Mateo

Universidad Tecnológica Nacional

Abstract

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

Upgrade Máquina Desencajonadora

Lima, Mateo

Abstract:

In order to satisfy a customer's request in the food industry, of the Santa Fe province. It was carried out the upgrade of a 1 liter returnable glass bottle unpacking machine.

To achieve this project the survey of the initial conditions of the machine was carried out and, after a study of the system and the sensors to be used, the programming of the PLC in charge of controlling the automation of the machine was carried out, as well as that of the HMI screen for interaction with operators.

Finally, a system was obtained that met the client's demands, managing to satisfy the stated needs.

Keywords:

Automation, Control, HMI, PLC.

Resumen:

Con el fin de satisfacer el pedido de un cliente del rubro alimenticio de la provincia de Santa Fe, se llevó a cabo el upgrade de una maquina desencajonadora de botellas de retornables de vidrio de 1 litro.

Para lograr este proyecto se llevó a cabo el relevamiento de las condiciones iniciales de la máquina y, luego de un estudio del sistema y de los sensores a utilizar, se realizó la programación del PLC encargado de controlar el autismo de la máquina, así como el de la pantalla HMI para la interacción con los operadores.

Finalmente se obtuvo un sistema a la altura de las exigencias del cliente, logrando satisfacer las necesidades planteadas.

Palabras Clave:

Automatización, Control, HMI, PLC.

Índice:

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Fundamentación del proyecto:	1
1.2 Breve descripción del funcionamiento de la máquina:	2
1.3 Estudio de mercado:	2
Capítulo 2: Desarrollo	4
2.1 Relevamiento y estudio del proyecto:	6
2.2 Estudio de materiales	26
2.3 Clasificación de señales. Listado I/O:	34
2.4 Programación:	36
Programación de Maestro IO-Link:.....	36
Programación del PLC:	37
Programación del HMI:	48
2.5 Pruebas y simulaciones:	57
2.6 Puesta en Marcha:.....	58
Capítulo 3: Resultados	60
Capítulo 4: Análisis de Costos	63
Capítulo 5: Discusión y Conclusión	64
Capítulo 6: Literatura Citada	66

Lista de Figuras:

<i>Figura 2.1: diagrama de bloques del sistema.</i>	4
<i>Figura 2.1.1: Fotografía durante relevamiento de maquina desencajonadora.</i>	6
<i>Figura 2.1.2: Imagen de algunas páginas del manual de la máquina desencajonadora.</i>	7
<i>Figura 2.1.3: esquema de accionamiento de sensor de fin de carrera. [1]</i>	8
<i>Figura 2.1.4: Distintas opciones de elemento móvil para sensor de fin de carrera. [1]</i>	8
<i>Figura 2.1.5: Sensor fotoeléctrico. Modelo reflectivo. [2]</i>	9
<i>Figura 2.1.6: Sensor fotoeléctrico. Modelo de barrera. [2]</i>	9
<i>Figura 2.1.7: Sensor fotoeléctrico. Modelo retroreflectivo. [2]</i>	9
<i>Figura 2.1.8: Distribución en máquina de sensores originalmente relevados.</i>	10
<i>Figura 2.1.9: Sensores de posición de cabezal.</i>	10
<i>Figura 2.1.10: Sensor LS3 y traba de salida de cajones.</i>	11
<i>Figura 2.1.11: Sensor LS4.</i>	12
<i>Figura 2.1.12: Sensor LS5.</i>	13
<i>Figura 2.1.13: Sensor LS7.</i>	14
<i>Figura 2.1.14: Sensor LCT.</i>	15
<i>Figura 2.1.15: Sensor LS9.</i>	16
<i>Figura 2.1.16: Sensores LS10 y LS11.</i>	17
<i>Figura 2.1.17: Sensor LS12.</i>	18
<i>Figura 2.1.18: Cilindro neumático.</i>	19
<i>Figura 2.1.19: Motor cinta de cajones.</i>	19
<i>Figura 2.1.20: Motor cabezal.</i>	20
<i>Figura 2.1.21: Electroválvulas de sistema neumático.</i>	21
<i>Figura 2.1.22: Esquema neumático de máquina desencajonadora. Extracto de manual. [3]</i>	22
<i>Figura 2.1.23: Disposición interna tablero de control. [3]</i>	23
<i>Figura 2.1.24: Detalle interna tablero de control. [3]</i>	23
<i>Figura 2.2.1: Encóder incremental ROP520 marca IFM. [5]</i>	27
<i>Figura 2.2.2: Maestro IO-Link AL1100 marca IFM. [6]</i>	27
<i>Figura 2.2.3: Sensor OGT100 marca IFM. [7]</i>	28
<i>Figura 2.2.4: Sensor IGS200 marca IFM. [8]</i>	28
<i>Figura 2.2.5: PLC SIMATIC S7-1200 de marca Siemens. [9]</i>	31

<i>Figura 2.2.6: HMI SIMATIC KTP700 Basic de marca Siemens. [10]</i>	32
<i>Figura 2.5.1: Esquema de red del sistema.</i>	36
<i>Figura 2.5.2: Captura de pantalla. Software LR Device. [11]</i>	37
<i>Figura 2.5.3: Trayectoria cabezal y puntos de interés.</i>	41
<i>Figura 2.5.4: Diagrama de flujo cabezal. Secuenciador = 1.</i>	42
<i>Figura 2.5.5: Diagrama de flujo cabezal. Secuenciador = 2.</i>	43
<i>Figura 2.5.6: Diagrama de flujo cabezal. Secuenciador = 3.</i>	44
<i>Figura 2.5.7: Diagrama de flujo cinta de cajones. Despacho</i>	45
<i>Figura 2.5.8: Diagrama de flujo cinta de cajones. Reposición.</i>	46
<i>Figura 2.5.9: Diagrama de flujo cinta de botellas.</i>	47
<i>Figura 2.5.10: Pantalla de inicio</i>	50
<i>Figura 2.5.11: Pantalla de operación manual.</i>	51
<i>Figura 2.5.12: Pantalla de operación automática - 1.</i>	52
<i>Figura 2.5.13: Pantalla de operación automática - 2.</i>	53
<i>Figura 2.5.14: Histórico de alarmas.</i>	54
<i>Figura 2.5.15: Pantalla de logueo.</i>	54
<i>Figura 2.5.16: Pantalla de ingeniería – 1.</i>	55
<i>Figura 2.5.17: Pantalla de ingeniería – 2.</i>	56
<i>Figura 2.6.1: Fotografía puesta en marcha de máquina descajonadora.</i>	59
<i>Figura 3.1: Máquina descajonadora finalizada.</i>	61
<i>Figura 3.2: Encóder incremental montado en máquina</i>	61
<i>Figura 3.3: Pantalla HMI con máquina en funcionamiento</i>	62

Lista de Tablas:

<i>Tabla 2.2.1: Comparativa de sensores en sistema antiguo contra sistema nuevo.</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 2.2.2: Listado de materiales.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2.4.1: listado de entradas del PLC.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 2.4.2: listado de salidas del PLC.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4.1: Listado de costos del proyecto.....</i>	<i>63</i>

Lista de Abreviaciones y Símbolos

PLC: Controlador Lógico Programable.

HMI: Interfaz Hombre-Máquina

Dedicado a:

Este trabajo está dedicado a mi familia, pareja y amigos como agradecimiento a su aliento y apoyo incondicional, sin los cuales nada de esto hubiera sido posible.

Les estaré eternamente agradecido por ayudarme a ser la persona que soy.

Capítulo 1: Introducción

El presente proyecto consistió en el desarrollo del upgrade de una maquina desencajadora de cajones de botellas retornables de vidrio de 1 litro. El sistema en cuestión se compone de tres partes: una parte neumática, una parte eléctrica y una parte mecánica; conformados por dos cintas transportadoras, una de ellas con un motor con arranque directo y otra con un variador de velocidad; un cabezal cuyo movimiento se da por un motor con arranque directo y freno neumático; un sistema de copas neumáticas para poder tomar y soltar las botellas según corresponda; y un sistema de trabas accionadas por cilindros neumáticos con el fin de controlar el tráfico de cajones. Asimismo, el sistema cuenta con una serie de sensores fotoeléctricos y sensores inductivos que se utilizan en funciones de producción y funciones de seguridad, y con un encóder incremental para determinar el posicionamiento exacto del cabezal en todo momento. La interacción de todos estos elementos se controla a través de un PLC marca Siemens y la interacción con el operario se da a través de una pantalla HMI de la misma marca.

1.1 Fundamentación del proyecto:

El proyecto se realizó por pedido de una importante empresa del rubro alimenticio de la provincia de Santa Fe, y abarcó el relevamiento de las condiciones de la maquina al momento de realizarse el pedido, observando no solo los elementos que componían cada una de sus partes sino también su funcionamiento, así como el estudio de planos y documentación que pudo obtenerse. Posteriormente se realizó la intervención de la máquina, haciendo especial énfasis en su circuito eléctrico de control, donde se reemplazó la que originalmente era una lógica cableada controlada por una serie de pulsadores en un tablero de control, para dar lugar a un circuito eléctrico cuya lógica de funcionamiento está controlada por un PLC, y la interacción con el operador se da a través de una pantalla HMI.

El motivo del cliente para realizar el upgrade de la máquina desencajadora se basó no solo en la necesidad de mejorar el rendimiento de esta debido al deterioro por su antigüedad, tratándose de una máquina que lleva en servicio más de 20 años, sino también para lograr una mayor flexibilidad en su uso gracias a la posibilidad de configurar con precisión los parámetros de

funcionamiento, y así posibilitar el ajuste óptimo para el máximo rendimiento de la misma.

1.2 Breve descripción del funcionamiento de la máquina:

El equipo cuenta con una cinta transportadora por donde ingresan cajones repletos de botellas. Una vez alojados un número específico de cajones, la máquina, mediante un cabezal móvil y copas accionadas neumáticamente, extrae las botellas de los cajones y las deposita en otra cinta transportadora ubicada en el extremo opuesto de la máquina, la cual se encarga de transportar las botellas hacia el siguiente punto de la línea de producción; los cajones vacíos son despachados y se ingresan nuevos cajones repletos de botellas, dando inicio al ciclo nuevamente. El operario puede controlar la máquina en modo automático, utilizando solo un único botón para dar inicio y fin al proceso; o en modo manual, operando independientemente cada uno de los elementos que componen la máquina.

1.3 Estudio de mercado:

Al tratarse de un pedido expreso de un cliente concreto, y dadas las particulares que conllevan el upgrade de un sistema en específico, el target de este proyecto se limitaría al mencionado cliente. No obstante, de la información recopilada durante el proyecto podría desarrollarse un sistema equivalente al de la máquina desencajonadora a intervenir, el cual podría ofrecerse en un futuro a empresas del mismo rubro.

En el mercado pueden encontrarse diversos sistemas de máquinas desencajonadoras; abarcando equipos diseñados específicamente para una tarea en cuestión, acotando las posibilidades de adaptación para otras tareas o diversos productos; hasta equipos compuestos por brazos robóticos, los cuáles cuentan con un nivel de adaptación considerablemente mayor. Lógicamente, la ventaja de los segundos frente a los primeros se contrapone con su mayor precio, tanto inicial como de mantenimiento.

Teniendo en cuenta el orden de inversión destinado por el cliente para este proyecto, y considerando el importante punto de que si bien la máquina desencajonadora en posesión del cliente presenta problemas de funcionamiento y deterioro debido al uso, la misma aún está operativa; no resulta conveniente la compra de una máquina desencajonadora nueva,

teniendo en cuenta los elevados costes que esto conllevaría. En su lugar la intención del cliente es realizar un upgrade de la máquina que está en su posesión, retirando completamente los circuitos eléctricos y de control actuales y reemplazándolos por un sistema controlado por un PLC y una interfaz HMI, reemplazando y colocando, en caso de ser necesario, los sensores y actuadores que se crean convenientes para el correcto desarrollo del proceso.

Podría considerarse entonces que, si bien el producto final que este proyecto plantea desarrollar no se diferenciará en gran medida de los presentes en el mercado, el proceso para llevarlo a cabo será considerablemente diferente, debiendo adaptarse a las limitaciones mecánicas presentes en la máquina en posesión del cliente, y estudiando las distintas posibilidades para lograr el producto final deseado por este.

Capítulo 2: Desarrollo

El desarrollo del proyecto se centrará en tres elementos fundamentales: la máquina en cuestión, en donde se hará énfasis en los sensores, motores y actuadores neumáticos a utilizar; el PLC, que se encargará del procesamiento de las señales y de ejecutar la lógica de funcionamiento del sistema completo; y la interfaz HMI, cuya función será la interacción con el operador, así como la visualización del estado del equipo. La interacción de estos tres elementos puede observarse en el diagrama de bloques de la figura 2.1.

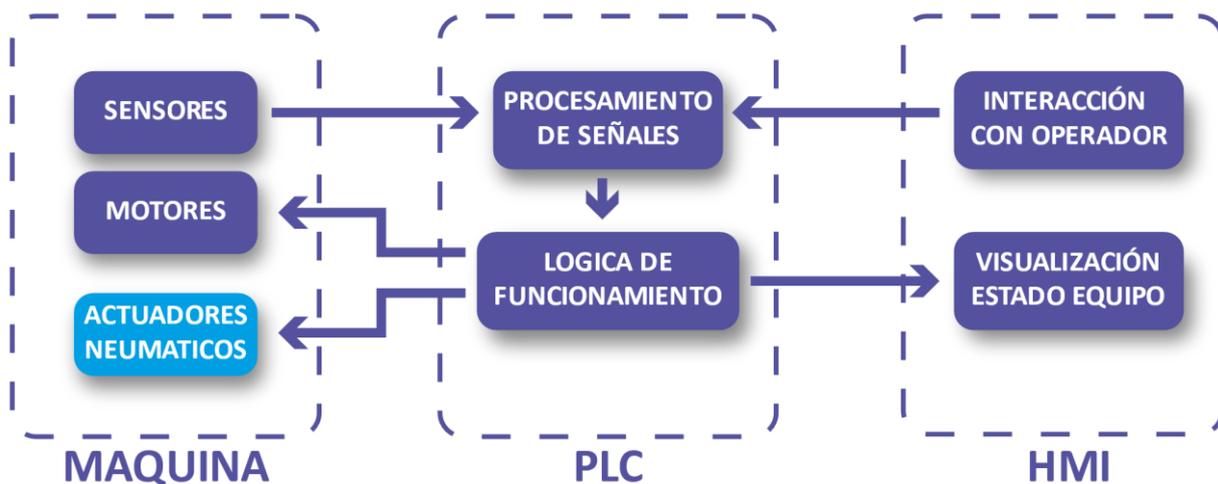


Figura 2.1: diagrama de bloques del sistema.

Para realizar el proyecto se llevaron a cabo una serie de pasos ordenados, los cuales se listan a continuación:

1. *Relevamiento y estudio del proyecto:* Estudio de las condiciones de la máquina al momento de realizarse el pedido por el cliente, observando no solo los elementos que componían cada una de sus partes sino también su funcionamiento, así como el estudio de planos y documentación que pudo obtenerse.
2. *Estudio de materiales:* Una vez asimilados los elementos que componen el sistema, y teniendo en claro el objetivo que se desea obtener, se procede al estudio de los sensores, pudiendo ser con el fin de su reutilización, reemplazo o incluso considerando el agregado de nuevos sensores. Una vez definidos los materiales a utilizar se realiza un listado de los mismos.
3. *Clasificación de señales, listado de I/O:* Se realiza la clasificación y tagging de cada una de las señales intervinientes en el sistema, para su correcto etiquetado en el plano eléctrico, así como también en los programas almacenados en el PLC y en el HMI. Esto brinda una mayor claridad de la información a procesar.

4. *Programación:* esta es la etapa central del proceso, donde se lleva a cabo la programación de los programas del PLC, que se encargará de comandar la lógica de funcionamiento de todo el sistema; y del HMI, que se encargará de la interacción con el operador, así como de brindar la información del equipo a este.
5. *Pruebas y simulaciones:* en esta etapa se llevan a cabo una serie de exhaustivas pruebas a través del uso de un simulador, emulando el funcionamiento completo del sistema. Se llevan a cabo pruebas individuales sobre cada uno de los elementos, en modo manual; y también pruebas al sistema como conjunto, en modo automático. Mediante estas pruebas se busca no solo comprobar el correcto funcionamiento del sistema, sino también forzar condiciones extremas que dejen en evidencia posibles falencias en el sistema, para así poder corregirlas y lograr un equipo más seguro y robusto.
6. *Puesta en marcha. Primeras pruebas de funcionamiento:* en esta etapa se pone en funcionamiento el sistema completo, montados cada uno de sus elementos. Particularmente se pone énfasis en realizar pruebas de funcionamiento manual, probando por separado el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos intervinientes en el sistema.
7. *Puesta en marcha. Pruebas finales a granel:* una vez superadas las pruebas individuales de cada elemento, y habiendo comprobado el correcto funcionamiento de cada uno de ellos, se procede a realizar las pruebas finales, que consisten en una visión general del sistema, en modo automático, y ajustando cada uno de los parámetros de la máquina para lograr su óptimo funcionamiento. Esta etapa se realiza junto con los operarios y personal de mantenimiento de la planta, para comprobar que el funcionamiento obtenido sea el deseado por el cliente.

A lo largo de este informe, se explicarán en detalle cada uno de estos pasos, para finalmente mostrar los resultados finales de este proyecto.

2.1 Relevamiento y estudio del proyecto:

Mediante el relevamiento de las condiciones iniciales de la maquina desencajadora pudo obtenerse un punto de referencia sobre el cual partir en el desarrollo de este proyecto. El upgrade de esta máquina no se da en un contexto aislado, sino que las modificaciones a realizar sobre este equipo son parte de un plan de mejora de la planta en donde se lleva a cabo el trabajo que incluye también otros puntos de línea de producción, no obstante los mismo exceden al desarrollo de este proyecto. Este contexto favoreció el proceso de relevamiento de condiciones de la maquina ya que al momento de realizarlo, y durante los días que transcurrió el mismo, el sector involucrado de la planta se encontraba fuera de producción, permitiendo una toma de datos con gran detalle. También durante esta etapa se contó con la presencia de operarios y personal de mantenimiento de la máquina, con quienes se mantuvieron distintos intercambios y cuyo aporte fue de gran ayuda para entender no solo el funcionamiento de la máquina, sino también los objetivos y mejoras que debieran plantearse.



Figura 2.1.1: Fotografía durante relevamiento de maquina desencajadora.

Durante esta etapa también se obtuvo acceso a documentación de la máquina descajonadora, particularmente a un manual de la misma, el cuál fue de gran utilidad para comprender el funcionamiento del ciclo de trabajo de la misma, así como para la identificación de sensores, equipos y señales.



Figura 2.1.2: Imagen de algunas páginas del manual de la máquina descajonadora.

A continuación se detallarán cada uno de los sensores que originalmente formaban parte de la estructura de la máquina descajonadora. Pero antes, se hará una breve explicación de cada uno de los tipos de estos sensores.

- **Sensores de fin de carrera:** estos sensores, también conocidos como “interruptores de posición”, son sensores electromecánicos que detectan la posición de un elemento móvil mediante un accionamiento mecánico y transmiten una señal eléctrica cuando éste se produce.

Estos sensores son ampliamente utilizados en la industria, y son considerados como sensores de contacto, ya que necesitan estar en contacto con el elemento móvil para determinar su posición. Existe una gran variedad de sensores de fin de carrera, la cual radica en mayor medida en el elemento móvil que genera la señal eléctrica de salida, pudiendo ser lengüetas, bisagras, palancas con rodillo, varillas, entre otras.

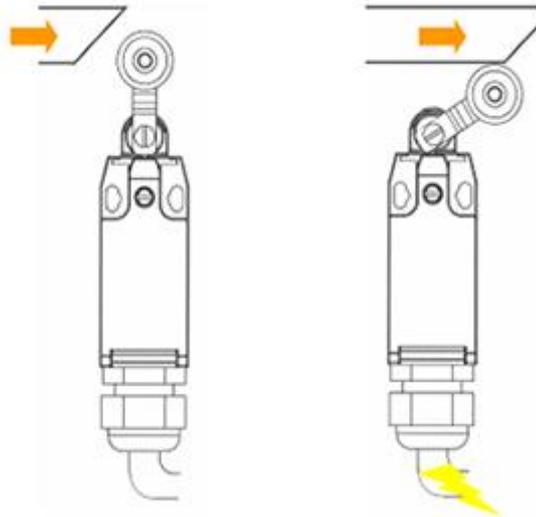


Figura 2.1.3: esquema de accionamiento de sensor de fin de carrera. [1]



Figura 2.1.4: Distintas opciones de elemento móvil para sensor de fin de carrera. [1]

- **Sensor fotoeléctrico:** estos sensores emiten un haz de luz, pudiendo ser este visible o infrarrojo, desde un elemento emisor de luz hacia un elemento receptor de luz. Según como se dispongan estos elementos, y si interviene un elemento reflector, estos sensores pueden clasificarse en tres modelos.

- **Modelo reflectivo:** Los elementos transmisor y receptor de luz se encuentran contenidos en la misma carcasa. El sensor recibe la luz reflejada desde el objeto que se desea censar.

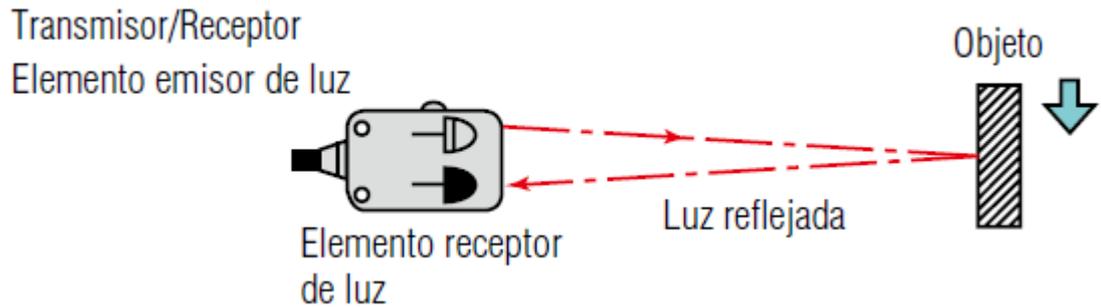


Figura 2.1.5: Sensor fotoeléctrico. Modelo reflectivo. [2]

- **Modelo de barrera:** Los elementos transmisor y receptor de luz se encuentran separados, y un haz de luz se proyecta directamente desde transmisor hacia el receptor. Cuando el objeto a censar se interpone entre ellos, el haz de luz se interrumpe.

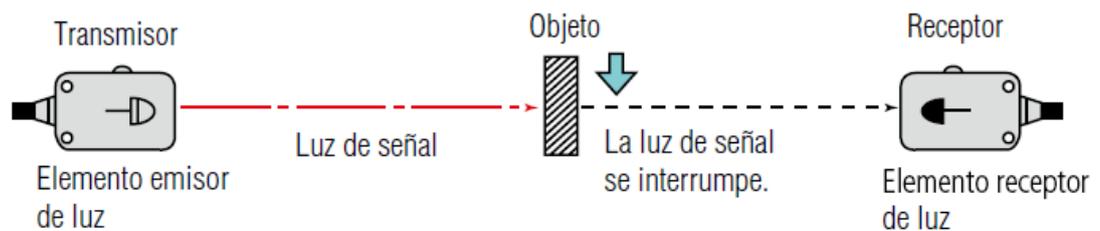


Figura 2.1.6: Sensor fotoeléctrico. Modelo de barrera. [2]

- **Modelo retro reflectivo:** Los elementos transmisor y receptor de luz se encuentran contenidos en la misma carcasa. El haz de luz emitido por el transmisor incide sobre un elemento reflector y regresa hacia el receptor. Cuando el objeto a censar se interpone entre el sensor y el reflector, el haz de luz se interrumpe.

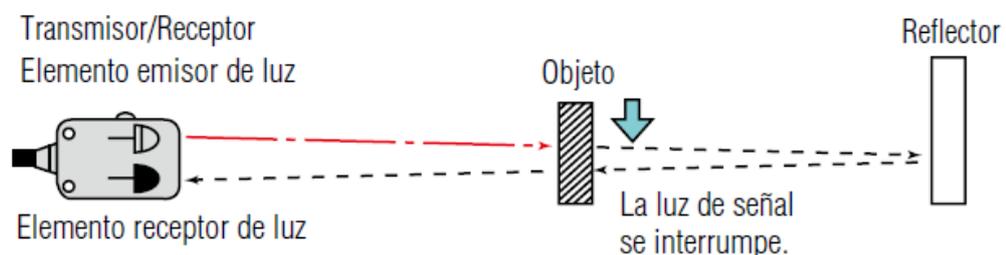


Figura 2.1.7: Sensor fotoeléctrico. Modelo retro reflectivo. [2]

En la figura 2.1.8 puede observarse la distribución en la máquina de cada uno de los sensores presentes durante el proceso de relevamiento.

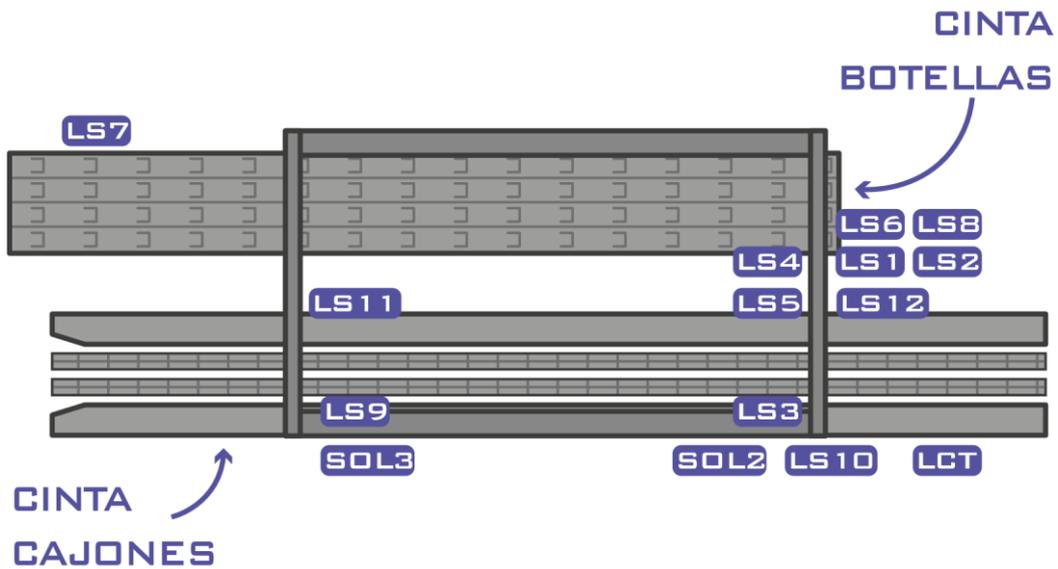


Figura 2.1.8: Distribución en máquina de sensores originalmente relevados.

- LS1:** sensor del tipo fin de carrera. Puede observarse en la figura 2.1.9. Su función consistía en detener la cinta de botellas al momento de dejar las botellas sobre ella. Es necesario realizar esto ya que, en caso de no detener la cinta, las botellas se caerían al momento de depositarlas sobre esta, ya que la parte superior de las botellas golpearía contra las copas del cabezal, que se mantienen estáticas. El accionamiento de este sensor, al igual que el de los restantes que pueden observarse en la figura 2.1.9, se daba mediante muecas en el eje de giro del cabezal.

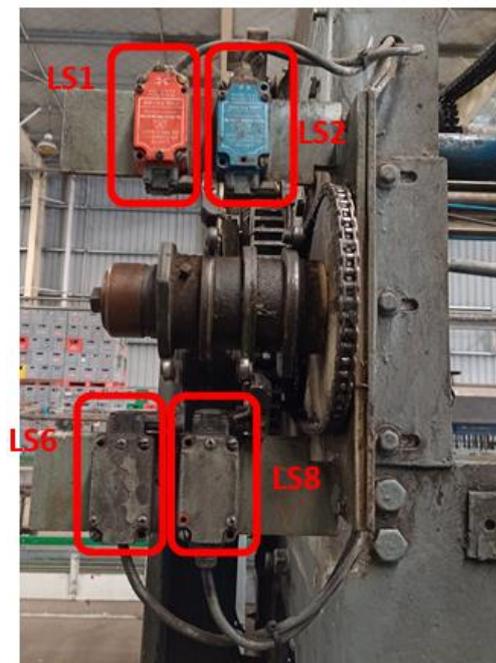


Figura 2.1.9: Sensores de posición de cabezal.

- **LS2:** sensor del tipo fin de carrera. Puede observarse en la figura 2.1.9. Su función consistía en detener la cinta de cajones al momento de tomar las botellas para extraerlas de estos.
- **LS3:** sensor del tipo fotoeléctrico reflectivo. Puede observarse en la figura 2.1.10. Su función consistía en cerrar la traba accionada neumáticamente (por SOL2) cuando saliera el último cajón vacío.



Figura 2.1.10: Sensor LS3 y traba de salida de cajones.

- **LS4:** sensor del tipo fin de carrera. Puede observarse en la figura 2.1.11. Su función consistía en desinflar las copas cuando el cabezal llegara a una posición determinada, depositando las botellas en la cinta de botellas.



Figura 2.1.11: Sensor LS4.

- **LS5:** sensor del tipo fin de carrera. Puede observarse en la figura 2.1.12. Su función consistía en inflar las copas cuando el cabezal llegara a una posición determinada, tomando las botellas y permitiendo extraerlas de los cajones.

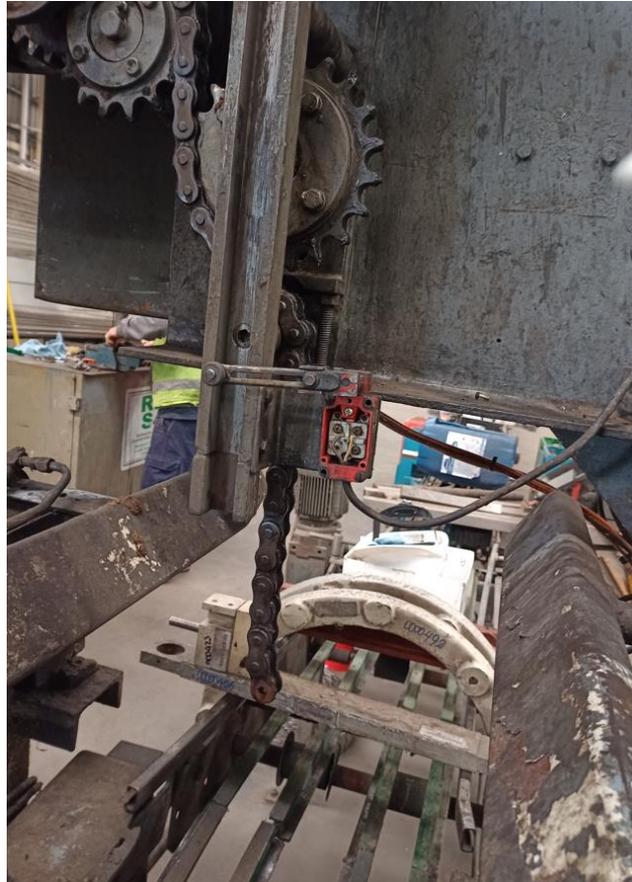


Figura 2.1.12: Sensor LS5.

- **LS6:** sensor del tipo fin de carrera. Puede observarse en la figura 2.1.9. Su función consistía en destrabar la entrada de cajones, permitiendo el ingreso de un nuevo grupo de cajones repletos de botellas por media de la cinta de cajones.

- **LS7:** sensor del tipo fotoeléctrico reflectivo. Puede observarse en la figura 2.1.13. Su función consistía en detectar el momento en que todas las botellas habían terminado de salir por la cinta de botellas hacia el siguiente punto de la línea de producción.



Figura 2.1.13: Sensor LS7.

- **LS8:** sensor del tipo fin de carrera. Puede observarse en la figura 2.1.9. Al llegar el cabezal a la posición delimitada por este sensor, el mismo se detenía en los casos en que faltaran cajones o en que la cinta de botellas esté llena de botellas.

- **LCT:** sensor del tipo fotoeléctrico reflectivo. Puede observarse en la figura 2.1.14. Su función consistía en detectar cuando la cinta de cajones se llenaba de cajones, deteniendo el cabezal en la posición delimitada por LS8.



Figura 2.1.14: Sensor LCT.

- **LS10:** sensor del tipo fotoeléctrico retro reflectivo. Puede observarse en la figura 2.1.16. Se utilizaba como barrera de seguridad, con el fin de interrumpir el funcionamiento de la máquina en caso de que un operador introduzca una parte de su cuerpo en la zona de movimiento de la misma.



Figura 2.1.16: Sensores LS10 y LS11.

- **LS11:** sensor del tipo fotoeléctrico retro reflectivo. Puede observarse en la figura 2.1.16. Su función consistía en detener el funcionamiento de la máquina cuando el cabezal se saliera de posición.

- **LS12:** sensor del tipo fin de carrera. Puede observarse en la figura 2.1.17. Su función consistía en enviar una señal eléctrica cada vez que el cabezal pasara por la posición media del recorrido.



Figura 2.1.17: Sensor LS12.

Para completar el listado de elementos relevados debe mencionarse las trabas de entrada y salida de cajones de la cinta de cajones. Estas trabas son SOL3 y SOL2, respectivamente. Son trabas accionadas por cilindros neumáticos con la función de permitir o bloquear el ingreso de cajones repletos de botellas en la máquina, en el caso de SOL3; y de permitir o bloquear la salida de cajones vacíos de la máquina, en el caso de SOL2. La traba de salida de cajones puede observarse en la figura 2.1.10, y el cilindro neumático que la acciona puede verse en la figura 2.1.18.



Figura 2.1.18: Cilindro neumático.

Por último, pero no menos importante, deben mencionarse los motores eléctricos que intervienen en la máquina. Por un lado tenemos el motor que se encarga de traccionar la cinta de cajones, el cual es un motor de corriente alterna con arranque directo, y puede observarse en la figura 2.1.19.



Figura 2.1.19: Motor cinta de cajones.

Por otro lado está el motor encargado de traccionar la cinta de botellas. También se trata de un motor de corriente alterna pero, a diferencia del anterior, este cuenta con un variador de velocidad, para poder realizar una curva de arranque y una curva de parada, esto con el fin de evitar

accionamientos o detenciones bruscas de la cinta, lo cual pudiera causar que las botellas sobre ella se desestabilicen y caigan.

El último motor que interviene en la máquina desencajonadora es el motor encargado de mover el cabezal. Este es un motor de corriente alterna con freno neumático, el cual le permite frenar la inercia de movimiento del cabezal debido al gran peso del mismo. Si no se tuviera este freno, al detenerse el motor el cabezal se continuaría moviendo debido a la mencionada inercia, pudiendo causar daños tanto al producto como a la propia máquina. Este motor puede observarse en la figura 2.1.20.

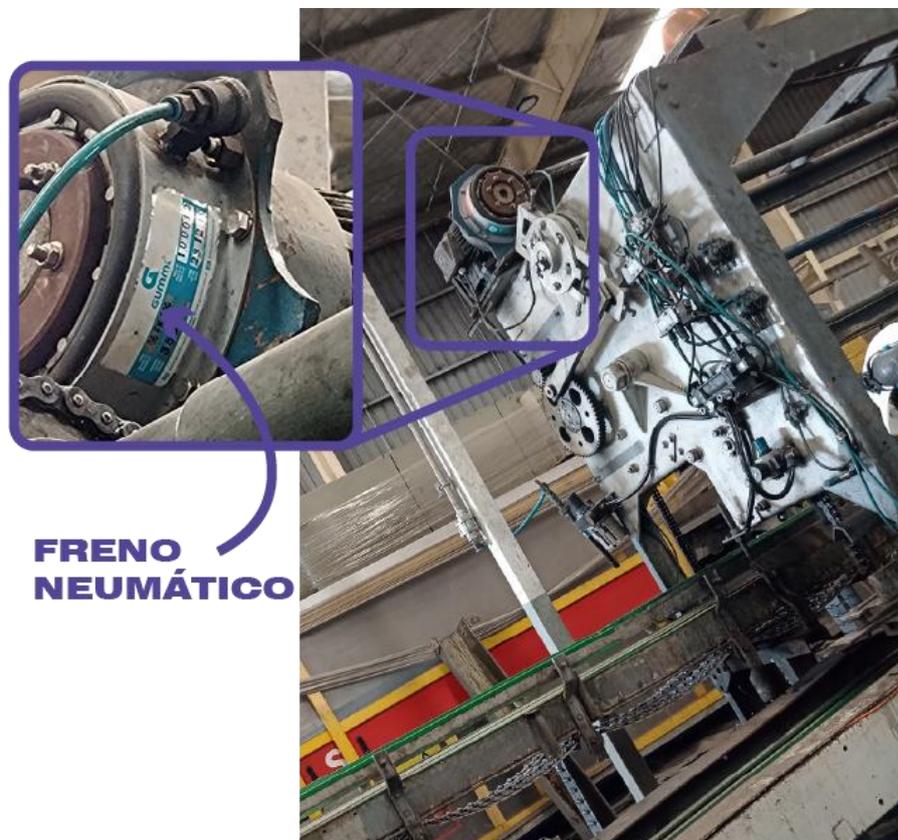


Figura 2.1.20: Motor cabezal.

Finalmente debe mencionarse el conjunto de electroválvulas, y su correspondiente circuito neumático, que concluyen el sistema de la máquina desencajonadora, encargadas de controlar el flujo de aire comprimido en la misma. Estas electroválvulas son fundamentales para poder accionar todos los elementos neumáticos que componen la máquina, incluido el conjunto de copas presentes en el cabezal, las cuales permiten sujetar y depositar las botellas cuando corresponde. En las figuras 2.1.21 y 2.1.22 pueden

observarse una fotografía del conjunto de electroválvulas y una imagen del esquema neumático extraído del manual de la máquina, respectivamente.

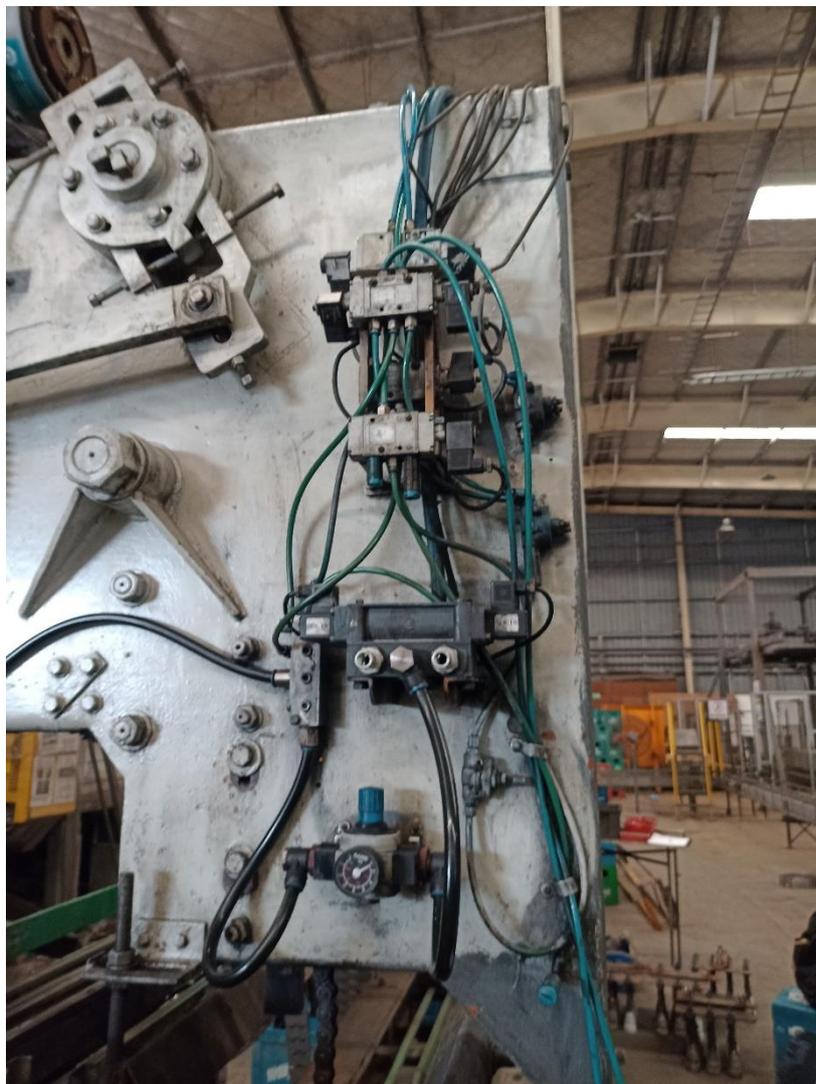


Figura 2.1.21: Electroválvulas de sistema neumático.

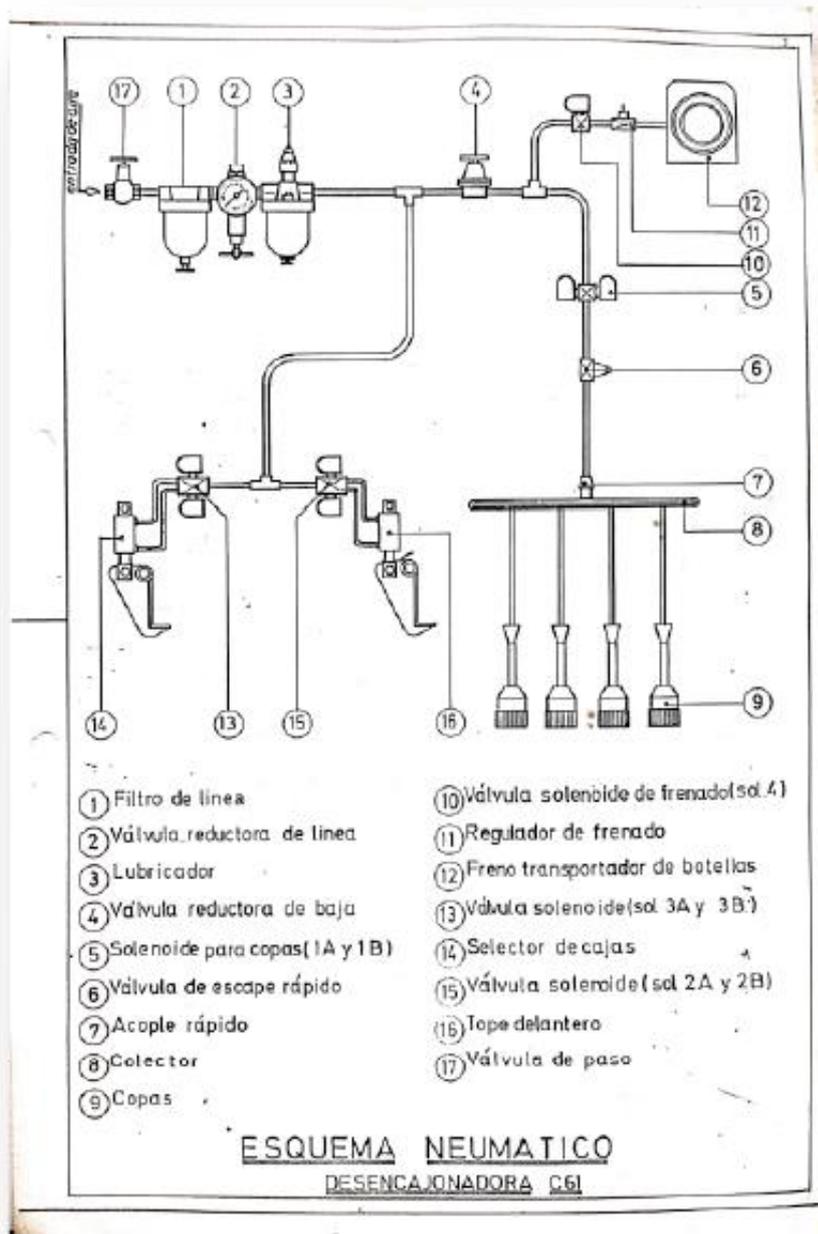


Figura 2.1.22: Esquema neumático de máquina desenchajadora. Extracto de manual. [3]

La interacción de cada uno de los elementos mencionados es controlada por una lógica puramente cableada, y el comportamiento de la máquina se controla mediante un tablero de control, el cuál puede observarse en la figura 2.1.1. A continuación puede observarse el detalle del mencionado tablero y la función de cada uno de sus pulsadores.

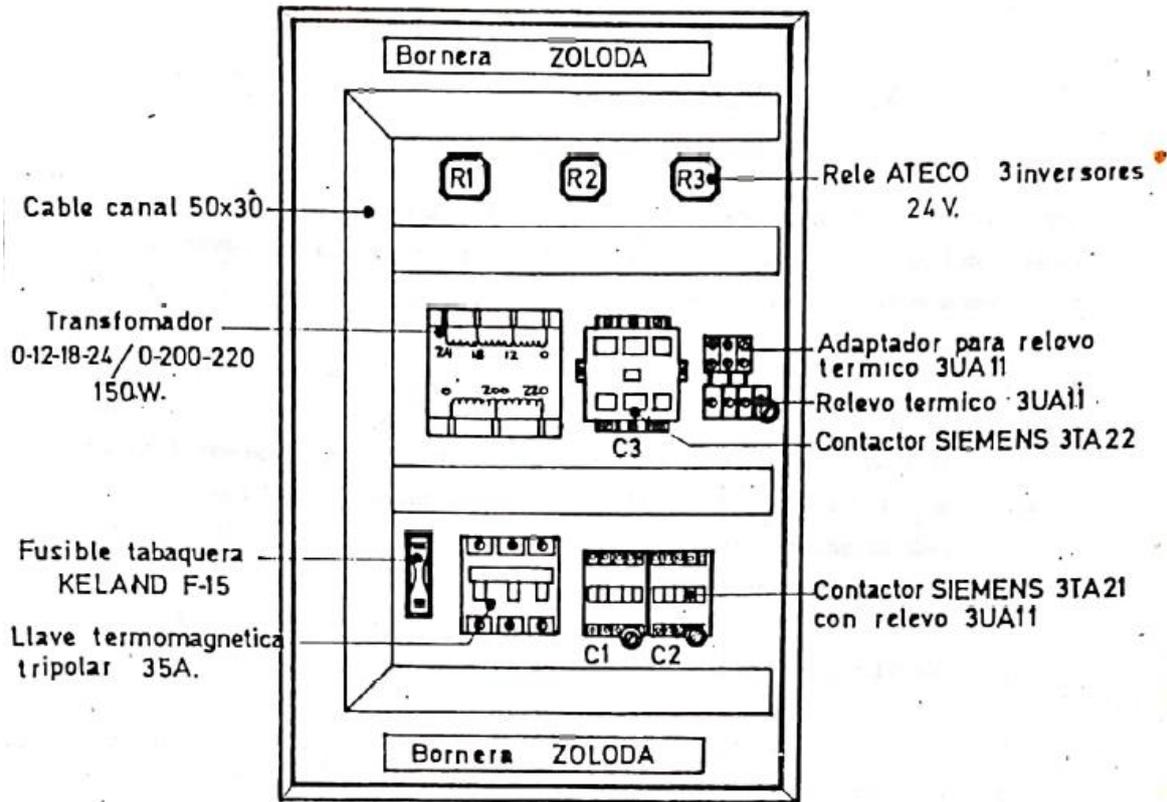


Figura 2.1.23: Disposición interna tablero de control. [3]

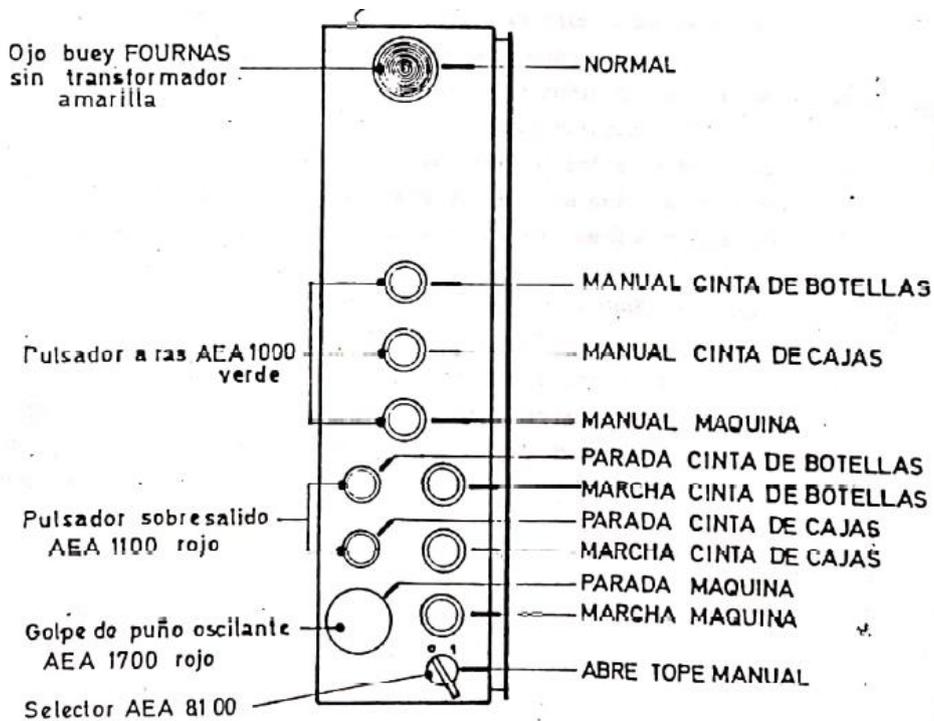


Figura 2.1.24: Detalle interna tablero de control. [3]

Gracias a diversas charlas sostenidas con operarios y personal de mantenimiento de la máquina, y a la información suministrada por el manual de la misma, pudo realizarse un detallado entendimiento del ciclo de trabajo de la máquina, el cual se explica a continuación.

Comenzando desde una condicional inicial en la que el cabezal se encuentre en el punto central de su recorrido, y tanto la cinta de botellas como la cinta de cajones se encuentren despejadas. Al poner en marcha la maquina se encenderá el motor de la cinta de cajones, haciendo que los cajones repletos con botellas ingresen en la máquina. En ese mismo instante se cierra la traba de salida (SOL2) y se abre la traba de entrada (SOL3). Una vez que se acumulan 5 cajones, lo cual se detecta con los sensores LS9 y LS3, la traba de entrada se, deteniendo el ingreso de nuevos cajones. En este momento se acciona la electroválvula que controla el freno del motor del cabeza, para liberar el mismo, y se pone en marcha dicho motor. El cabezal comenzará a moverse en dirección hacia la cinta de cajones en busca de botellas y, al llegar al punto en que acciona el sensor LS2 se detiene el motor de la cinta de cajones. El cabezal seguirá descendiendo hacia la mencionada cinta y aproximadamente 2 centímetros antes de entrar en contacto con las botellas se accionará el sensor LS5, con lo cual comenzarán a inflarse las copas, permitiendo que las botellas queden sujetas a estas. Simultáneamente se abrirá la traba de salida y, al producirse la inversión del sentido de giro del cabezal, se pondrá en marcha nuevamente la cinta de cajones, permitiendo que salgan los cajones vacíos al cerrarse LS2. Cuando estos se hayan distanciado unos 30 cm el cabezal estará accionando el sensor LS6, con lo cual se abrirá la traba de entrada y comenzaran a ingresar cajones repletos de botellas nuevamente. Cuando el último cajón vacío libere el sensor LS3, la traba de salida se cerrará nuevamente y los cajones nuevos quedará, posicionados para el ciclo siguiente. Mientras todo esto ocurre el cabezal estará llegando al otro extremo de su recorrido. Unos 4 centímetros antes de que las botellas entren en contacto con la cinta de botellas, el cabezal accionará el sensor LS1, provocando que se detenga la cinta. Y unos 2 centímetros más tarde el cabezal accionará el sensor LS4, con lo cual se desinflarán las copas y consecuentemente se soltarán las botellas. Con las botellas depositadas en la cinta se produce la inversión del sentido de giro del cabezal, dando marcha nuevamente a la cinta de botellas y comenzando un nuevo ciclo de trabajo.

El sensor LCT se encuentra monitoreando en todo momento la salida de cajones; cuenta con un retardo temporal mediante el cual puede determinarse cuando se da un atasco en la cinta debido a un exceso de cajones. Al mismo tiempo, el sensor LS7 realiza una función similar en la cinta de botellas. En el momento en el que el cabezal acciona el sensor LS8 el sistema se fija en estos dos sensores y, en caso de tener una señal positiva en cual quiera de ellos, el movimiento del cabezal se detiene a la espera de que la situación se resuelva.

Es importante aclarar que la inversión del sentido de giro del cabezal no se da mediante la inversión de las fases en el motor, como sería lógico pensar, sino que la misma se produce gracias a un sistema de engranajes y un tope mecánico, con lo cual si bien el sentido de giro del eje del motor nunca cambia, el cabezal sí invierte su sentido de forma mecánica. Los puntos en donde se produce la inversión están finamente regulados para el óptimo funcionamiento de la máquina.

2.2 Estudio de materiales

Un proceso de upgrade consiste en un proceso de actualización, mejora, ampliación o modernización de un determinado producto o sistema. Con este concepto en mente es necesario analizar cada uno de los componentes que componen el sistema de la máquina desencajadora, listados anteriormente, y determinar cuáles de ellos son necesarios para el nuevo sistema que se quiere lograr, cuales son prescindibles, cuales es necesario reemplazar por otros de distintas características y que elementos deben agregarse. Este análisis es necesario para lograr una base sólida sobre la cual desarrollar el proyecto, teniendo en cuenta que el avance en las tecnologías posibilita nuevas y más eficientes formas de realizar el funcionamiento para el que originalmente fue concebida la máquina.

La modificación más grande en el sistema es sin lugar a dudas el agregado del controlador PLC y la pantalla HMI, sobre los cuales se explayará más adelante en este informe, pero un elemento agregado de no menor importancia es un encoder incremental de la marca IFM, puntualmente el modelo ROP520.

Los encoders son sensores que transforman movimientos de rotación en señales digitales. Los encoders funcionan sin desgaste mediante detección fotoeléctrica o magnética. Para ello disponen de un disco graduado unido firmemente al eje o de un soporte magnético móvil. Se distinguen dos tipos de encoders: incrementales y absolutos. Los encoders incrementales generan un número exactamente definido de impulsos por rotación. Estos constituyen una medida para la distancia angular o lineal recorrida. Los encoders absolutos, también llamados codificadores de ángulo, asignan a cada posición angular un valor inequívoco, incluso para múltiples rotaciones.[4].

Al ser un encoder incremental, al acoplar el sensor ROP520 al eje de rotación del cabezal podrá determinarse su posición exacta en cada momento. Esto permite presidir de los 4 sensores utilizados en la maquina relacionados a las posiciones del cabezal, reemplazándolos por un único sensor. Además, la gran ventaja que presenta la utilización de este encoder es que las posiciones en las que por ejemplo antes se inflaban o desinflaban las copas o se encendían y detenían las cintas transportadoras, ahora podrán ser fácilmente configurables a través del tratamiento de la señal de este sensor en la lógica del PLC. Otra característica de este encoder es que cuenta con tecnología IO-Link, la cual es una avanzada interfaz de comunicación que brinda diversas

ventajas entre las que se destacan la fácil y amplia configuración de funcionamiento del mismo y el hecho de que se conecta a un maestro IO-Link que gestiona su funcionamiento. Esto permite que, en caso de que el sensor se dañe y deba ser reemplazado, al colocarse un nuevo sensor en el mismo puerto donde estaba conectado el original, el maestro IO-Link descargará la configuración utilizada en el antiguo sensor y el nuevo se configurará automáticamente y estará listo para utilizarse, ahorrando tiempos de puesta en marcha y evitando errores durante la recalibración.



Figura 2.2.1: Encóder incremental ROP520 marca IFM. [5]



Figura 2.2.2: Maestro IO-Link AL1100 marca IFM. [6]

Algunos de los sensores fotoeléctricos presentes en la máquina se encontraban dañados o deteriorados, estos fueron reemplazados por sensores OGT100 de la marca IFM, el cual es un robusto sensor de reflexión directa con una gran relación calidad-precio. Siguiendo las especificaciones

del cliente, se reutilizaron todos los sensores cuya condición no exigía un reemplazo.

Por parte de los motores y del sistema neumático no se consideró necesario realizar modificaciones.

El sensor LS12, del tipo fin de carrera y responsable de censar la posición central del cabezal. Fue reemplazado por un sensor inductivo IGS200 de la marca IFM, ya que presenta una mayor robustez y duración debido a que no sufre desgaste mecánico.

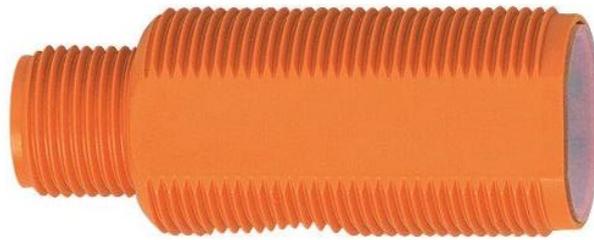


Figura 2.2.3: Sensor OGT100 marca IFM. [7]



Figura 2.2.4: Sensor IGS200 marca IFM. [8]

Así, con las modificaciones mencionadas, se procede a realizar una tabla comparativa con los sensores que componían el antiguo y los que componen el nuevo sistema de la máquina descajonadora, donde puede apreciarse una significativa reducción en su número. Nótese que se renombraron algunos sensores por petición del cliente. En la tabla 2.2.1 pueden apreciarse en color rojo los sensores eliminados, en color verde los sensores agregados, en color amarillo los reemplazados y en color blanco los sensores que se reutilizaron.

Sensor (antiguo TAG)	Sensor (nuevo TAG)	Función	Modificación	Código	Marca
LS1	--	Detener cinta botellas	Eliminado		
LS2	--	Detener cinta cajones	Eliminado		
LS3	LS5	Detección de cajones en fin de cinta	Reemplazo	OGT100	IFM
LS4	--	Desinflar copas	Eliminado		
LS5	--	Inflar copas	Eliminado		
LS6	--	Permitir ingreso de cajones	Eliminado		
LS7	LS8	Detecta botellas en cinta de botellas	Reemplazo	OGT100	IFM
LS8	--	Posición de reposo	Eliminado		
LS9	LS6	Detección de cajones en inicio de cinta	Reemplazo	OGT100	IFM
LS10	LS7	Barrera de seguridad	--	XUK0ARCTL2	TELEMECANIQUE
LS11	LS1	Detección cabezal cruzado	--	XUK0ARCTL2	TELEMECANIQUE
LS12	LS4	Detectar posición central de cabezal	Reemplazo	OGS200	IFM
LCT	S9	Detectar llenado de cinta de cajones	--	XUK0ARCTL2	TELEMECANIQUE
--	ENCODER	Encóder incremental	Agregado	ROP520	IFM

Tabla 2.2.1: Comparativa de sensores en sistema antiguo contra sistema nuevo.

Como anteriormente se mencionó, la modificación más importante de este proyecto consiste en el agregado de un PLC y una pantalla HMI. Un Controlador Lógico Programable o PLC, por sus siglas en inglés es una computadora utilizada en la automatización industrial en procesos de distinta naturaleza, tales como el control de maquinaria en una fábrica, en líneas de montaje o incluso en atracciones mecánicas. Su uso está muy extendido en la industria y, a diferencia de las computadoras personales de propósito general, los PLC están diseñados para procesar múltiples señales de entrada y salida, además de ser dispositivos muy robustos capaces de tolerar amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a las vibraciones y a impactos. En simple palabras podríamos decir que un PLC es el “cerebro” de una fábrica, y se encarga de controlar el comportamiento de los equipos que la componen. Si bien existe una gran variedad fabricantes de PLC, hay 3 marcas que son las más extensamente utilizadas a nivel global, las cuales son SCHNEIDER ELECTRIC, ALLEN BRADLEY y SIEMENS. Cada una de estas marcas tiene características que la distinguen de las demás, pero en general, independientemente de la marca, los PLC pueden dividirse en 3 categorías: PLC de gama baja, que son los PLC más económicos, se utilizan para automatismos pequeños y tienen prestaciones más limitadas (menor número

de entrada/salidas, módulos de expansión, capacidad de memoria, procesamiento de datos, entorno de programación más limitado, etc.); PLC de gama media, estos tienen un precio intermedio, se utilizan en automatismos de escala media a grande y suelen mejorar sus prestaciones respecto a los anteriores; y PLC de gama alta, estos son los más costosos pero también los más potentes de estos equipos, utilizándose en grandes procesos.

A la hora de elegir un PLC para utilizar en un proceso que se desea automatizar se deben tener en cuenta varios factores. En primer lugar suele consultarse con el cliente si éste dispone de algún estándar establecido en la planta ya que, de ser este el caso, siempre es aconsejable, e incluso a veces requerido, respetar este estándar. En el particular caso que este proyecto trata, el cliente tenía como estándar utilizar dispositivos de la marca Siemens. Una vez delimitado el estándar, se debe tener en cuenta el número de entradas/salidas que se deben procesar; en este caso, analizando la tabla 2.2.1, podemos observar que requerimos de 7 entradas digitales para los sensores vistos, mientras que el encoder no consume entradas ya que se conecta por Profinet. Debemos además tener en consideración señales adicionales como un pulsador de parada de emergencia y las señales de confirmación de marcha (feedback) de los motores. Podemos entonces decir que se requerirá en primera instancia de 11 entradas digitales, pero debe considerarse también posibles futuras ampliaciones del proyecto, por lo que suele dejarse un 20% de reserva de entradas. Realizando el mismo análisis para determinar el número de salidas, podemos concluir que serán necesarias 14 salidas digitales (para más detalle sobre el listado de señales de entrada/salida, consulte la sección 2.3).

Aplicando la regla del 20% de reserva a entradas y salidas podemos establecer que en este proyecto se necesitará un PLC de 13 entradas digitales y 17 salidas digitales. Estos números, junto al hecho de que, al ser un automatismo pequeño no deberá procesarse gran cantidad de señales ni realizarse complejas funciones, nos dan una idea de en qué gama de PLC buscar. Un hecho no menor en Argentina es que, debido a las restricciones de importación del país, muchas veces se hace difícil conseguir un dispositivo en particular, y mayormente se suele consultar a los proveedores el stock disponible en el momento, y ajustar la selección final del dispositivo dentro de ese rango. Dicho esto, y tomando en cuenta las consideraciones mencionadas, se optó por utilizar un PLC SIMATIC S7-1200 de la marca Siemens, el cual es un PLC de gama baja y dispone de 14 entradas digitales,

10 salidas digitales y 2 entradas analógicas. Se agregaron además dos tarjetas de expansión: una tarjeta de 8 salidas digitales y una tarjeta de 8 entradas digitales; esta última por petición del cliente.



Figura 2.2.5: PLC SIMATIC S7-1200 de marca Siemens. [9]

Una vez seleccionado el PLC, resta seleccionar la pantalla HMI. Una Interfaz Hombre-Máquina (o HMI, por sus siglas en inglés) es, como su nombre lo indica, la interfaz entre la maquina (o la línea de producción) y el operario. Las HMI son robustas pantallas diseñadas para entornos industriales, capaces de soportar amplios rangos de temperatura, polvo, vibración, impactos y humedad. En la actualidad la mayoría utilizan pantallas táctiles, pero también las hay que incorporaran teclados o que mezclan ambas tecnologías. Las pantallas de las HMI son pantallas resistivas que, a diferencia de las pantallas de celulares, que son pantallas capacitivas, las de las HMI tiene una mayor robustez, y si bien su precisión de pulsado es menor que la de los teléfonos celulares, el uso de esa tecnología les permite ser operadas incluso utilizando guantes, lo cual es una gran ventaja en el ámbito industrial. Las pantallas HMI han reemplazado en gran medida a los paneles convencionales de operación que incluían pulsadores, potenciómetros y displays; esto se debe no solo a las grandes ventajas debido a su reducido espacio y mantenimiento, sino también a la gran diversidad de formas de visualización de datos que una pantalla HMI ofrece, sin mencionar la versatilidad frente a modificaciones en un proceso.

Para este proyecto se decidió utilizar la pantalla SIMATIC HMI KTP700 Basic de la marca Siemens, la cual incorpora una pantalla táctil de 7 pulgadas y una serie de pulsadores. Su pequeño tamaño, acorde al proyecto a realizarse, y su bajo precio la hacen ideales para esta aplicación.



Figura 2.2.6: HMI SIMATIC KTP700 Basic de marca Siemens. [10]

Una vez considerados todos los elementos a utilizar en el proyecto, se procede a realizarse una lista de materiales, con la cual posteriormente se realizará la cotización del proyecto. Es importante aclarar que en esta lista no se realiza a modo de inventario del proyecto, sino más bien se utilizará para una orden de compra de materiales. Esto quiere decir que en la lista no se incluirán todos los elementos que componen el sistema, sino solo aquellos que deban comprarse. Los elementos como electroválvulas, cilindros neumáticos, motores y algunos sensores no se incluyen en esta lista, ya que los mismos se reutilizan. Asimismo, con el fin de centrarse en el proceso de automatismo de la máquina descajonadora, que es el tema de este proyecto, se incluyen en el listado solo los materiales a fines, y no se consideran los materiales relacionados al circuito eléctrico, como pueden ser borneras, contactores, fusibles, cableado, etc. Este listado de materiales se presenta en la tabla 2.3.1.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	CODIGO	OBSERVACIONES
A01	SIMATIC NET - Compact Switch Module	UN 1	CSM 1277	Modulo switch industrial
A02	SIMATIC S7-1200 24V 14DI/10DO/2AI	UN 1	6ES7214-1AG40-0XB0	PLC
A03	8DI 24V DC	UN 1	6ES7221-1BF32-0XB0	Tarjeta entradas digitales
A04	8DO 24V DC	UN 1	6ES7222-1BF32-0XB0	Tarjeta salidas digitales
A05	SIMATIC HMI KTP700 Basic	UN 1	6AV2123-2GB03-0AX0	Pantalla HMI
B01	Cable ethernet IFM	UN 1	E11898	
B02	Maestro IO-Link cin interfaz PROFINET	UN 1	AL1100	
B03	Cable de conexión con conector hembra M12	UN 1	EVC004	5 polos
B04	Encoder incremental marca IFM	UN 1	ROP520	
B05	Conector macho M12 a cablear	UN 1	EVC813	
B06	Cable de conexión con conector hembra M12	UN 1	E80021	8 polos
B07	Tapon de protección IFM	UN 3	E73004	Pack x 10 unidades
C01	Indicador Luminoso Fijo Led 24VCA/CC - Verde	UN 1	XVBC2B3	
C02	Indicador Luminoso Fijo Led 24VCA/CC - Rojo	UN 1	XVBC2B4	
C03	Elem Lum Fijo Led 24Vca/Cc Amar	UN 1	XVBC2B8	
C04	Sensor reflexión directa	UN 3	OGT100	
C05	Detector inductivo	UN 1	IGS200	

Tabla 2.2.2: Listado de materiales.

2.3 Clasificación de señales. Listado I/O:

La clasificación de señales y el listado I/O, que es el listado de señales de entrada y salida del PLC, se realizan con el fin de tener un mayor orden en el proyecto, lo cual es de suma importancia a la hora de la realización de los planos eléctricos y durante el proceso de montaje y cableado, pero fundamentalmente a la hora de realizar la programación tanto del PLC como del HMI. Esta clasificación en parte se realizó en los capítulos precedentes, pero se finaliza en el presente. Para realizar este listado se toman en cuenta todas las señales de todos los sensores y equipos intervinientes, y a cada una de ellas se les asigna una entrada o salida correspondiente en el PLC, con su respectiva dirección. En la tabla 2.4.1 puede observarse el listado de entradas, mientras que en la tabla 2.4.2 puede observarse el listado de salidas.

SLOT	ADD	TAG PLC	BIT INTERMEDIO	DESCRIPCIÓN
1	I0.0	LS1	%M10.0	Cabezal fuera de posición
1	I0.1	I_Libre_1	%M10.1	LIBRE
1	I0.2	I_Libre_2	%M10.2	LIBRE
1	I0.3	LS4	%M10.3	Cabezal en posición central
1	I0.4	LS5	%M10.4	Deteccion de cajones en fin de cinta
1	I0.5	LS6	%M10.5	Detección de cajones en inicio de cinta
1	I0.6	LS7	%M10.6	Sensor barrera
1	I0.7	LS8	%M10.7	Sensor salida transporte botellas
1	I1.0	PE	%M11.0	Parada de emergencia
1	I1.1	Fb_Mot3	%M11.1	Feedback motor cabezal
1	I1.2	I_Libre_3	%M11.2	LIBRE
1	I1.3	Fb_Mot2	%M11.3	Feedback motor cinta botellas
1	I1.4	Fb_Mot1	%M11.4	Feedback motor cinta cajones
1	I1.5	I_Libre_4	%M11.5	LIBRE
2	I8.0	S9	%M11.6	Sensor salida cajones llena
2	I8.1	I_Libre_5	%M11.7	LIBRE
2	I8.2	I_Libre_6	%M12.0	LIBRE
2	I8.3	I_Libre_7	%M12.1	LIBRE
2	I8.4	I_Libre_8	%M12.2	LIBRE
2	I8.5	I_Libre_9	%M12.3	LIBRE
2	I8.6	I_Libre_10	%M12.4	LIBRE
2	I8.7	I_Libre_11	%M12.5	LIBRE

Tabla 2.4.1: listado de entradas del PLC.

SLOT	ADD	TAG PLC	BIT INTERMEDIO	DESCRIPCIÓN
1	Q0.0	CMD_EV1_B1	%M12.6	Bloquear Salida Cajones
1	Q0.1	CMD_EV1_B2	%M12.7	Desbloquear Salida Cajones
1	Q0.2	CMD_EV2_B1	%M13.0	Bloquear Entrada Cajones
1	Q0.3	CMD_EV2_B2	%M13.1	Desbloquear Entrada Cajones
1	Q0.4	CMD_EV3	%M13.2	Freno Cabezal
1	Q0.5	O_Libre_1	%M13.3	LIBRE
1	Q0.6	CMD_EV5_B1	%M13.4	Inflar Copas
1	Q0.7	CMD_EV5_B2	%M13.5	Desinflar Copas
1	Q1.0	CMD_Mot_3	%M13.6	Motor Cabezal
1	11.1	O_Libre_2	%M13.7	LIBRE
3	Q12.0	CMD_Mot_2	%M14.0	Motor Cinta Botellas
3	Q12.1	CMD_Mot_1	%M14.1	Motor Cinta Cajones
3	Q12.2	PILOTO_Marchando	%M14.2	Testigo Maquina Marchando
3	Q12.3	PILOTO_Parada	%M14.3	Testigo Maquina Parada
3	Q12.4	PILOTO_Falla	%M14.4	Testigo Maquina en Falla
3	Q12.5	O_Libre_3	%M14.5	LIBRE
3	Q12.6	O_Libre_4	%M14.6	LIBRE
3	Q12.7	O_Libre_5	%M14.7	LIBRE

Tabla 2.4.2: listado de salidas del PLC.

2.4 Programación:

Para la programación tanto del PLC como de la pantalla HMI se utilizó el software TIA Portal, de la marca Siemens. Este es un entorno de desarrollo para todos los dispositivos programables de la marca, permitiendo integrar dispositivos de control, HMI, motores, periféricos descentralizados y permitiendo la administración de motores, control de movimiento y distribución de energía. Es la unión de antiguas herramientas de desarrollo de Siemens como SIMATIC STEP 7, SIMATIC WinCC, SINAMICS Startdrive, SIMOCODE ES y SIMOTION SCOUT TIA.

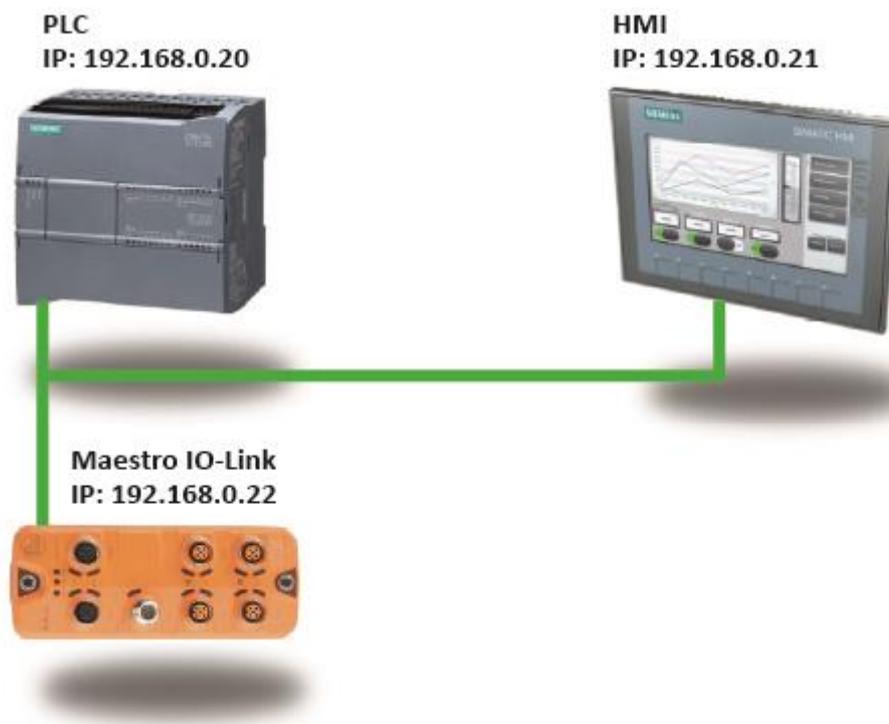


Figura 2.5.1: Esquema de red del sistema.

En la figura 2.5.1 puede observarse el esquema de la red que integra los elementos de este proyecto, en donde pueden observarse tres dispositivos: el maestro IO-Link, el PLC y la pantalla HMI. A continuación analizaremos la programación de cada uno de ellos:

Programación de Maestro IO-Link:

Para la programación tanto del maestro IO-Link AL1100 como del encóder ROP520 se utilizó el software *LR Device*, de la marca IFM, el cual es un software de parametrización mediante maestro IO-Link. Para programar el

ROP520 primero se conecta el mismo al maestro IO-Link, se alimenta al maestro con una fuente de 24V DC y luego se conecta el maestro a una PC mediante un cable RJ-45. Luego se abre el LR Device y este automáticamente detectará al maestro y al sensor. Posibilitando configurar las características del mismo. Para este proyecto se configura principalmente el comportamiento del sensor y el rango de cuentas del mismo, es decir, cuantos pasos compondrán una vuelta de 360°. Luego de configurado el sensor, se realizan una serie de pruebas para comprobar su correcto funcionamiento. El LR Device ofrece una clara representación de las mediciones del sensor, lo cual facilita la puesta a punto del mismo. Una vez configurado el sensor se configura el maestro, para lo cual se habilita la opción de que el maestro programe automáticamente cualquier nuevo sensor en caso de un reemplazo. Esto es, en caso de que se averíe el encóder instalado en la máquina y este deba reemplazarse, bastará con extraer el sensor y colocar uno idéntico en el mismo puerto; al hacer esto, el maestro automáticamente copiará los parámetros del sensor reemplazado en el nuevo sensor, asegurando que su comportamiento sea idéntico al anterior. Esto facilita y reduce tiempos de mantenimiento y puesta a punto del equipo.

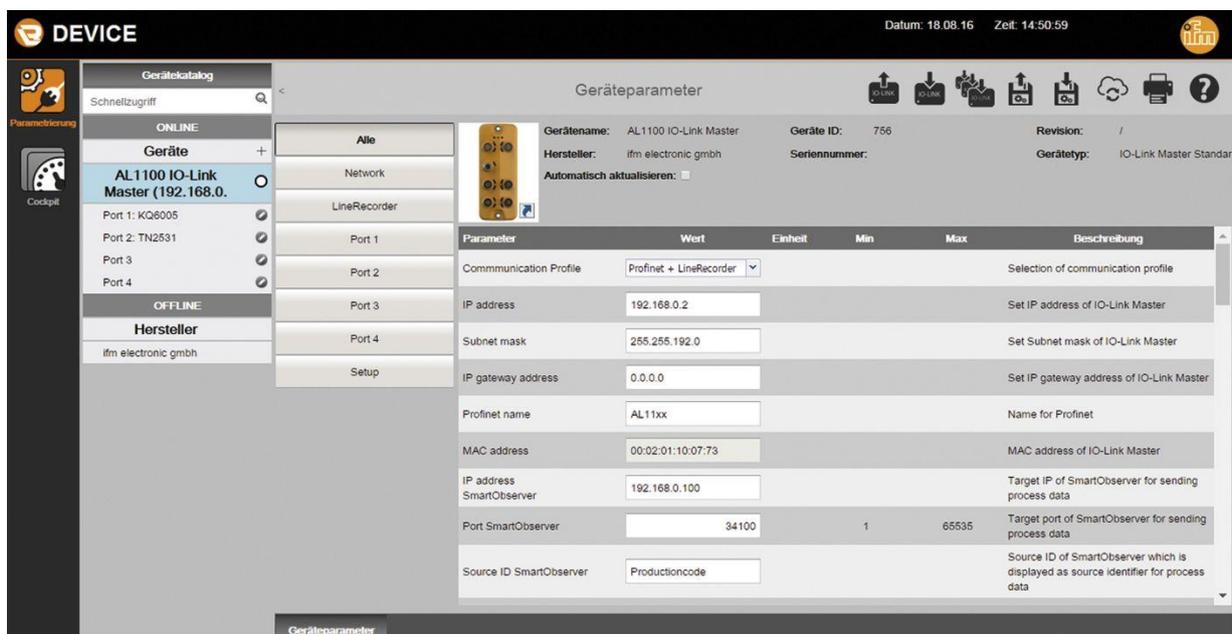


Figura 2.5.2: Captura de pantalla. Software LR Device. [11]

Programación del PLC:

Esta es la parte central de este proyecto. Para realizar la programación del PLC debe tenerse en claro el funcionamiento que quiere lograrse en la

máquina, y como se logrará, utilizando los sensores y actuadores a disposición. Establezcamos entonces como sería un ciclo de trabajo de la máquina desencajonadora:

Cuando el operario pulsa el botón de inicio en la pantalla HMI, el cabezal debería ir hacia una posición inicial de reposo, una vez en esta posición se habilitaría el ingreso de cajones. Para esto se cierra la traba de salida de cajones, se abre la traba de entrada y se enciende el motor de la cinta de cajones. Una vez que ingresan 5 cajones en la máquina, que es la capacidad de la misma, se cierra la entrada de cajones y se pone en marcha el motor del cabezal, desinflando previamente el freno neumático del mismo. El cabezal se moverá en dirección a la cinta de cajones y, unos centímetros antes de entrar en contacto con los picos de las botellas, las copas comenzarán a inflarse, para así agarrar las botellas. Sin detener el motor, el cabezal realizará una inversión de giro, de forma mecánica, y comenzará a desplazarse hacia la cinta de botellas, extrayendo las botellas de los cajones. En cierto punto del recorrido se habilitará el despacho de cajones, para el cual se abrirá la traba de salida de cajones y los cajones vacíos comenzarán a salir de la máquina. Luego de unos segundos se habilitará la reposición de cajones, para la cual se abrirá la traba de ingreso de cajones, permitiendo el ingreso de nuevos cajones repletos con botellas hacia la máquina, paralelamente, una vez que el último cajón vacío salga de la máquina se cerrará la traba de salida de cajones, permitiendo que los nuevos cajones que ingresan en la máquina queden alojados en la misma. Mientras esto ocurre, el cabezal seguirá desplazándose en dirección hacia la cinta de botellas y, unos centímetros antes de que las bases de las botellas hagan contacto con la cinta debe mandarse a frenar el motor de la misma, mediante el variador de velocidad, y luego deben desinflarse las copas, para así depositar suavemente las botellas en la cinta. Una vez depositadas, el cabezal realizará otra inversión de giro, dirigiéndose ahora hacia la cinta de cajones a recoger nuevas botellas y, en cierto punto del recorrido, se dará arranque nuevamente a la cinta de botellas, permitiendo que las mismas sean trasladadas hasta el siguiente punto de la línea de producción. En este punto se da inicio a un nuevo ciclo de trabajo, repitiendo continuamente hasta que el operador indique la finalización del mismo a través de la pantalla HMI.

Consideraciones:

- El cabezal estará habilitado a recoger nuevas botellas de la cinta de cajones solo en el caso de que se encuentren cajones correctamente dispuestos para esto. En caso contrario el cabezal deberá aguardar inmóvil en la posición definida como posición de reposo. Esto puede ocurrir en el caso de que se esté dando un despacho o una reposición de cajones, por ejemplo.
- El cabezal estará habilitado a depositar las botellas en la cinta de botellas solo una vez que la misma se encuentre en condiciones para esto. Es decir, solo cuando todas las botellas depositadas en el ciclo anterior se hayan desplazado lo suficiente como para despejar completamente la zona de deposición para las nuevas botellas. En caso de que esta condición no se cumpla el cabezal, deberá aguardar en la posición de la cinta de cajones, ya que para este momento las botellas estarán infladas y con botellas sujetadas. Se deberá esperar en este punto para evitar tener las botellas suspendidas en el aire la mayor cantidad de tiempo posible.
- En caso de que la salida de la cinta de cajones se llene, lo cual se mide con el sensor S9, la cinta deberá detenerse y el cabezal no estará habilitado a buscar nuevas botellas hasta que esta situación se normalice.
- Todas estas posiciones del trayecto del cabeza (inflado y desinflado de copas, posición inicial y de reposo y posiciones de cintas) se obtienen mediante posiciones específicas del encóder incremental. Y deberán poderse configurar, junto con los tiempos de trabajo y demás parámetros necesarios, a través de la pantalla HMI.
- Ante una interrupción de la barrera de seguridad (LS7), un accionamiento del sensor de cabezal fuera de posición (LS1), un accionamiento de la parada de emergencia (PE) o una falla de alguno de los elementos del sistema el funcionamiento de la maquina debe detenerse inmediatamente y deben liberarse todas las energías de la misma, excepto el aire de las copas de cabezal, ya que si se hiciera esto se corre riesgo de dejar caer las botellas que pudieran encontrarse sujetadas por las mismas, corriendo el riesgo de que las botellas se rompan y dañen tanto al equipo como al personal de trabajo. Una vez se reestablezcan las condiciones para un funcionamiento seguro de la máquina, mediante una previa indicación del operador, esta deberá

retomar su funcionamiento en el mismo punto en que se produjo la detención, continuando con el normal ciclo de trabajo.

- Para la finalización del funcionamiento de la maquina el operado tendrá dos opciones: Finalizar inmediatamente, lo cual detendrá de forma inmediata el funcionamiento de la máquina, con la salvedad de no liberar el aire de las copas; o finalizar el ciclo actual de trabajo, esta opción inhabilitará la reposición de cajones y terminará de despachar las botellas, ya sea las que estén presentes en la cinta o las que estén sujetas en el cabezal en ese momento. Una vez concluido el ciclo, el cabezal se dirigirá a la posición de reposo y se detendrá completamente la máquina. Ambas opciones serán accesibles desde la pantalla HMI.
- Asimismo, el operador dispondrá de una pantalla para la operación manual de la máquina, mediante la cual podrá controlar individualmente cada uno de los elementos que componen el sistema.

Establecido el ciclo de operación de la máquina, podemos notar que hay 3 elementos de esta que son diferenciables entre sí: el cabezal, junto con las copas neumáticas; la cinta de cajones, junto con las trabas de entrada y salida de cajones; y la cinta de botellas. Estos elementos pueden programarse uno a uno, de forma individual, y luego sincronizar sus comportamientos mediante un secuenciador general. De esta forma podemos definir el secuenciador general con 4 posiciones:

- Posición 0: Reposo.
- Posición 1: Cabezal hacia posición de reposo (sin botellas).
- Posición 2: Cabezal yendo hacia cinta de cajones a buscar botellas.
- Posición 3: Cabezal yendo hacia cinta de botellas a dejar botellas.

Cuando la maquina desencajonadora no esté realizando un ciclo de trabajo, el secuenciador general estará en la posición 0; cuando se dé inicio al ciclo de trabajo el secuenciador se moverá a la posición 1 y luego continuará moviéndose por las posiciones 1, 2 y 3 repetidamente.

Otro parámetro que hay que definir es el recorrido del cabezal y los puntos de importancia de este. Como puede observarse en la figura 2.5.3, el cabezal se moverá desde la cinta de botellas hacia la cinta de cajones y viceversa. El encóder incremental utilizado para medir la posición del cabezal en este recorrido en todo momento asigna un numero específico a cada punto del

recorrido. Si tomamos la posición de la cinta de botellas como la posición inicial y la posición de la cinta de cajones como la posición final, podremos decir que la posición de la cinta de cajones es mayor a la de la cinta de botellas, ya que el número asignado a la primera será mayor al asignado a la segunda. Así es como podremos comparar la posición medida en cierto punto con las posiciones de interés del recorrido. Además, podemos definir más posiciones de interés, como por ejemplo la posición a partir de la cual deben inflarse las copas, cuando se está yendo hacia la cinta de cajones a buscar botellas; y la posición a partir de la cual deben desinflarse las copas, cuando se está yendo hacia la cinta de botellas a dejar botellas. Se definen más posiciones de interés, pero las mismas se detallarán más adelante en este capítulo para simplificar la explicación del funcionamiento de la máquina.

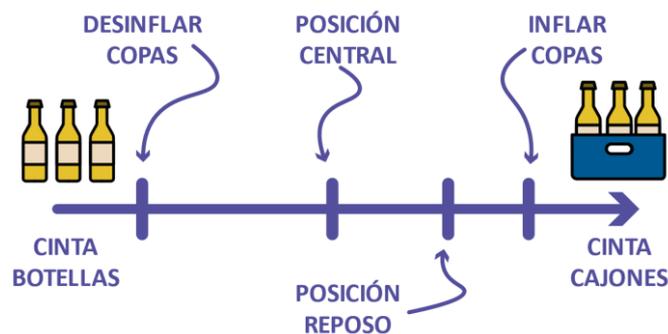


Figura 2.5.3: Trayectoria cabezal y puntos de interés.

Definidos el secuenciador y la trayectoria del cabezal, podemos centrarnos en los diagramas de flujo del programa del PLC. Comencemos con el cabezal, el cual es el elemento más complejo del programa. Cuando hablamos del cabezal nos referimos, no solo a éste, sino también al conjunto de copas neumáticas montadas en él. El cabezal funcionará en las tres posiciones del secuenciador general. Comencemos analizando lo que sucede cuando el secuenciador se encuentra en la posición 1, cuyo diagrama de flujo puede observarse en la figura 2.5.4. Con el secuenciador en esta posición, podemos establecer que el cabezal se encuentra yendo hacia la posición de reposo. Entonces, el programa primero se fija si efectivamente el cabezal se encuentra en esta posición. Para esto, contrasta la posición actualmente medida por el encóder, con la posición definida como posición central. Si el programa determina que el cabezal no se encuentra en la posición central, entonces encenderá el motor del cabezal. El programa quedará en este estado hasta que el cabezal efectivamente llegue a la posición de reposo. Cuando esto

ocurra, el programa debe determinar si están dadas todas las condiciones para ir a buscar botellas a la cinta de cajones, esta condición se determina mediante el permiso de cajones, el cuál es una bandera que engloba todas las condiciones necesarias para tal fin. Si esto no ocurre, el PLC manda a parar el motor del cabezal, logrando que este se detenga y aguarde en la posición de reposo hasta que se tenga el permiso de cajones. Cuando esto ocurra, el secuenciador se moverá a la posición 2 y se dará inicio a la siguiente etapa del programa.

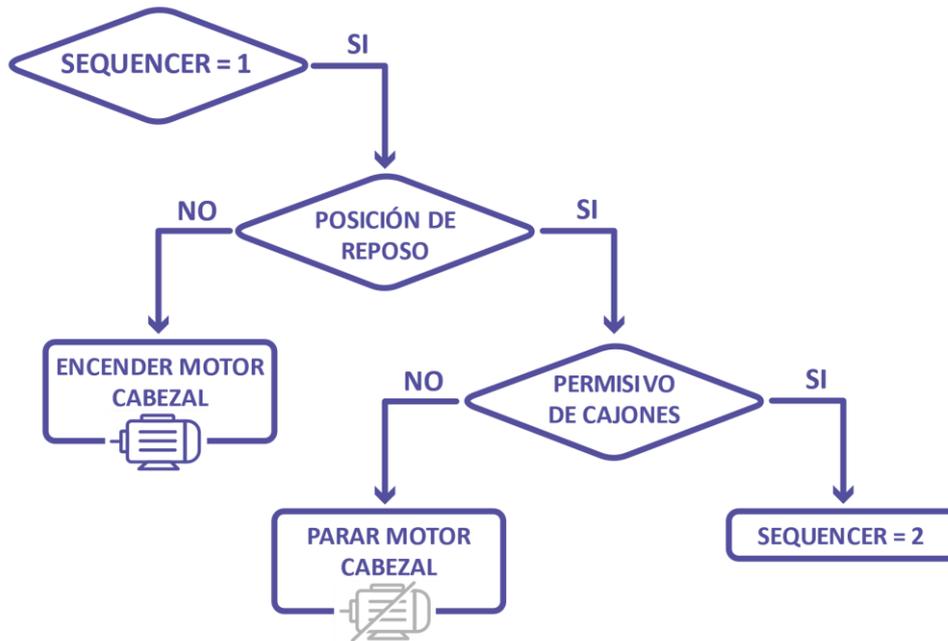


Figura 2.5.4: Diagrama de flujo cabezal. Secuenciador = 1.

Con el secuenciador en la posición 2, el cabezal deberá ir hacia la cinta de cajones a buscar botellas. Para esto, como puede observarse en el diagrama de flujo de la figura 2.5.5, el programa primero se fija si el cabezal llegó a la cinta de cajones. En caso de no ser así, lo cual se da cuando la posición medida es menor a la posición de la cinta de cajones, el PLC manda a encender el motor del cabezal (este paso en ciertas ocasiones puede ser redundante, ya que el motor del cabezal pudiera permanecer encendido del paso previo) y ahora el programa deberá determinar si se llegó a la posición de inflado de copas. En caso de ser así, el PLC manda a inflar las copas del cabezal, permitiendo que se tomen las botellas de los cajones. En este punto volvemos al primer paso de este diagrama de flujo, al encontrarnos ahora en la posición de la cinta de cajones, el programa deberá determinar si están dadas las condiciones para ir a depositar las botellas en la cinta de botellas,

esto se observa mediante el permiso de botellas, el cual es una bandera que engloba las condiciones necesarias para tal fin. Si no se tiene el permiso de botellas, el PLC mandará a parar el motor del cabezal y esperará en esta posición hasta que efectivamente se tenga el permiso de botellas. Cuando esto ocurra, el PLC desactivará el permiso de cajones y el secuenciador se moverá a la posición 3, dando inicio a la siguiente etapa del programa.

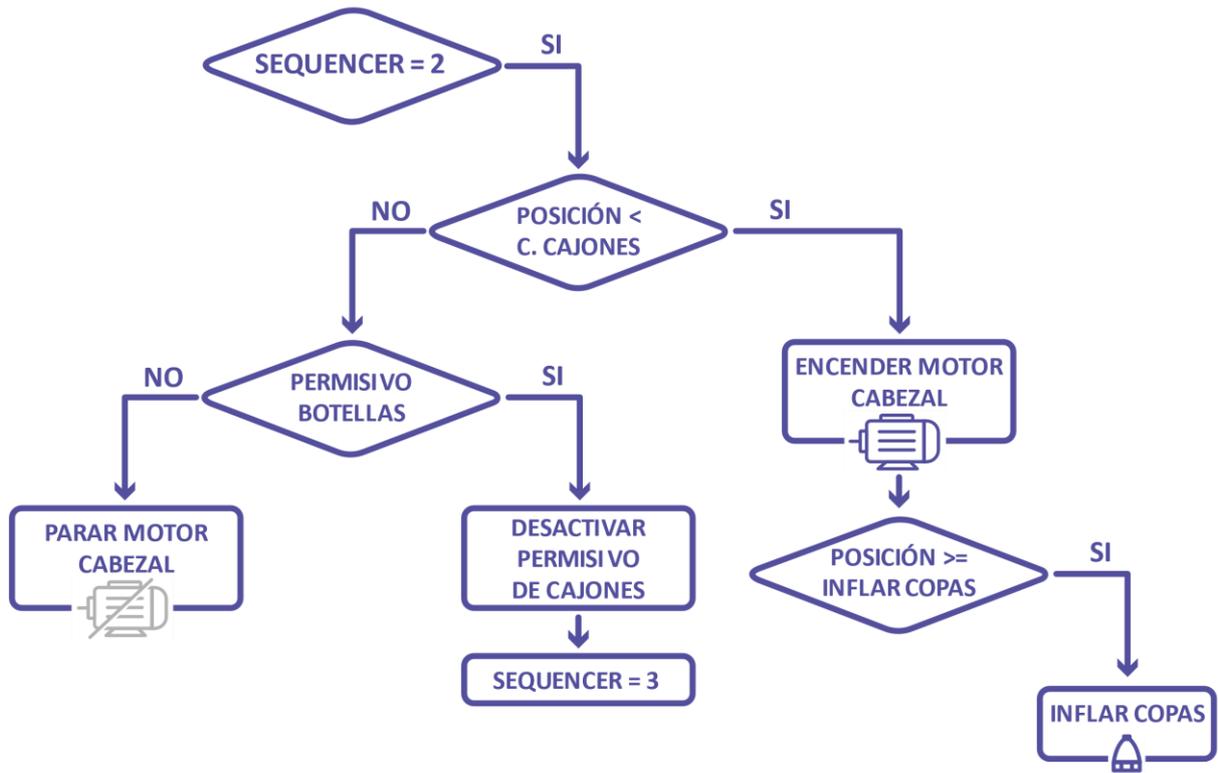


Figura 2.5.5: Diagrama de flujo cabezal. Secuenciador = 2.

Con el secuenciador en la posición 3, el cabezal deberá ir hacia la cinta de botellas a depositar las botellas en la misma. Para esto, como puede observarse en el diagrama de flujo de la figura 2.5.6, el programa primero se fija si el cabezal llegó a la cinta de botellas. En caso de no ser así, lo cual se da cuando la posición medida es mayor a la posición de la cinta de botellas, el PLC encenderá el motor del cabezal. En este punto se produce la inversión de giro del cabezal y las botellas son extraídas de los cajones. El cabezal sigue su rumbo hacia la cinta de botellas y, en el momento en que cruce por la posición de desinflado de copas, el PLC mandará a desinflar las mismas, colocando las botellas en la cinta. En este punto volvemos al primer paso del diagrama de flujo; estando en la posición de la cinta de botellas, el programa

desactivará el permiso de botellas y el secuenciador volverá a la posición 1, reiniciándose el ciclo de trabajo.

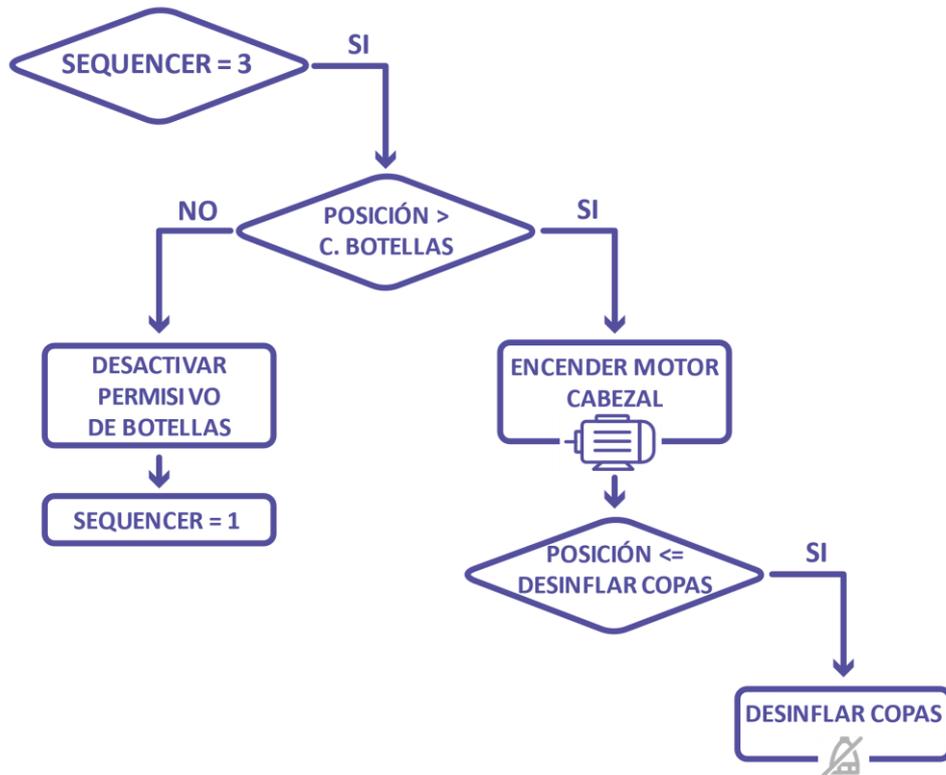


Figura 2.5.6: Diagrama de flujo cabezal. Secuenciador = 3.

El permiso de cajones será la bandera que iniciará el ciclo de despacho y reposición de cajones. Cuando esta bandera esté desactivada, significa que no están dadas las condiciones para que el cabezal se dirija a recoger nuevas botellas. Esto puede suceder ya sea porque los cajones que se encuentran en la maquina están vacíos, porque se están despachando los cajones vacíos del último ciclo o porque están ingresando nuevos cajones repletos de botellas a la máquina. Como se vio anteriormente, este permiso se desactiva cuando el cabezal extrae las botellas de los cajones y comienza a llevarlas hacia la cinta de botellas. No obstante, como puede observarse en el diagrama de flujo de la figura 2.5.7, el despacho de los cajones vacíos no comienza inmediatamente en este punto, sino que el cabezal debe alejarse lo suficiente de la cinta de cajones, hasta pasar por la posición de despacho de cajones. Recién en este punto el PLC manda a abrir la traba de salida de cajones y enciende el motor de la cinta (nuevamente, este último paso puede ser redundante, ya que el motor de la cinta no se apaga), permitiendo que salgan los cajones recientemente vaciados. No obstante, previo a este paso, el

programa comprueba que no se esté llevando a cabo una reposición de cajones, ya que si no se comprobara este punto se entraría en un bucle indefinido de reposición y despacho de cajones. Así, con la salida de cajones destrabada, los cajones comenzarán a salir de la maquina y, luego de un tiempo previamente seteado, se dará inicio a la reposición de cajones. Cuando salga el último cajón vacío de la maquina se cerrará la salida de cajones y así se finaliza el despacho de cajones.

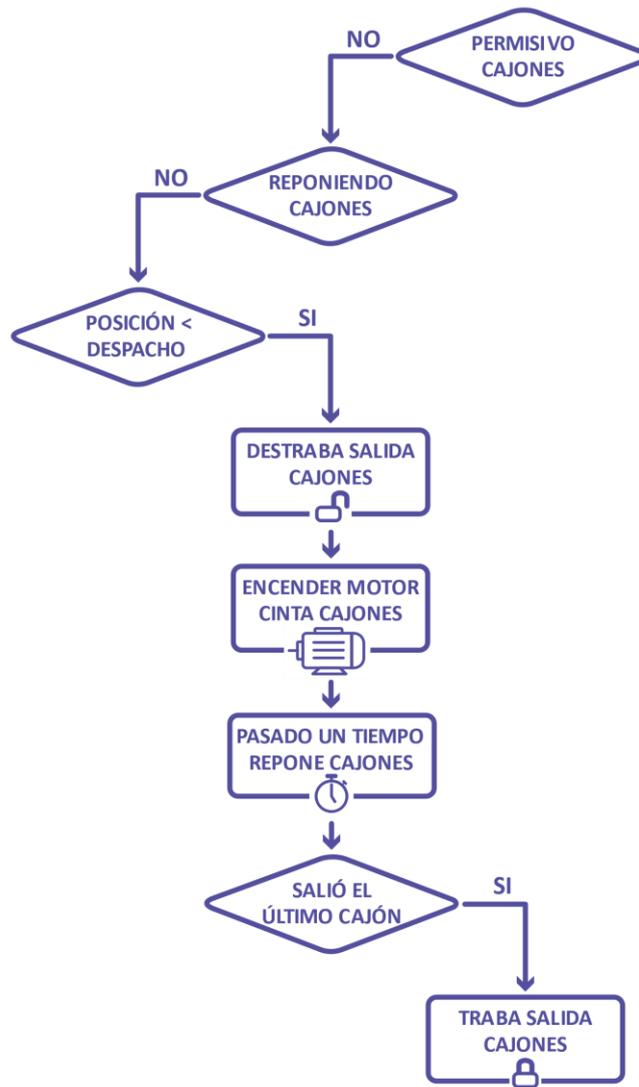


Figura 2.5.7: Diagrama de flujo cinta de cajones. Despacho

El diagrama de flujo de la reposición de cajones puede observarse en la figura 2.5.8. En el paso anterior vimos que, transcurrido un tiempo desde que comienzan a despacharse los cajones, se realizará una petición para la reposición de cajones. En este punto el PLC manda a destrabar el ingreso de cajones y enciende el motor de la cinta, permitiendo que ingresen nuevos

cajones repletos de botellas a la máquina. Una vez que ingresaron todos los cajones, el PLC cierra la entrada de cajones, desactiva la petición de reposición y activa el permiso de cajones, indicando al sistema que están dadas las condiciones para ir a recoger botellas a los cajones y así iniciar un nuevo ciclo de trabajo.

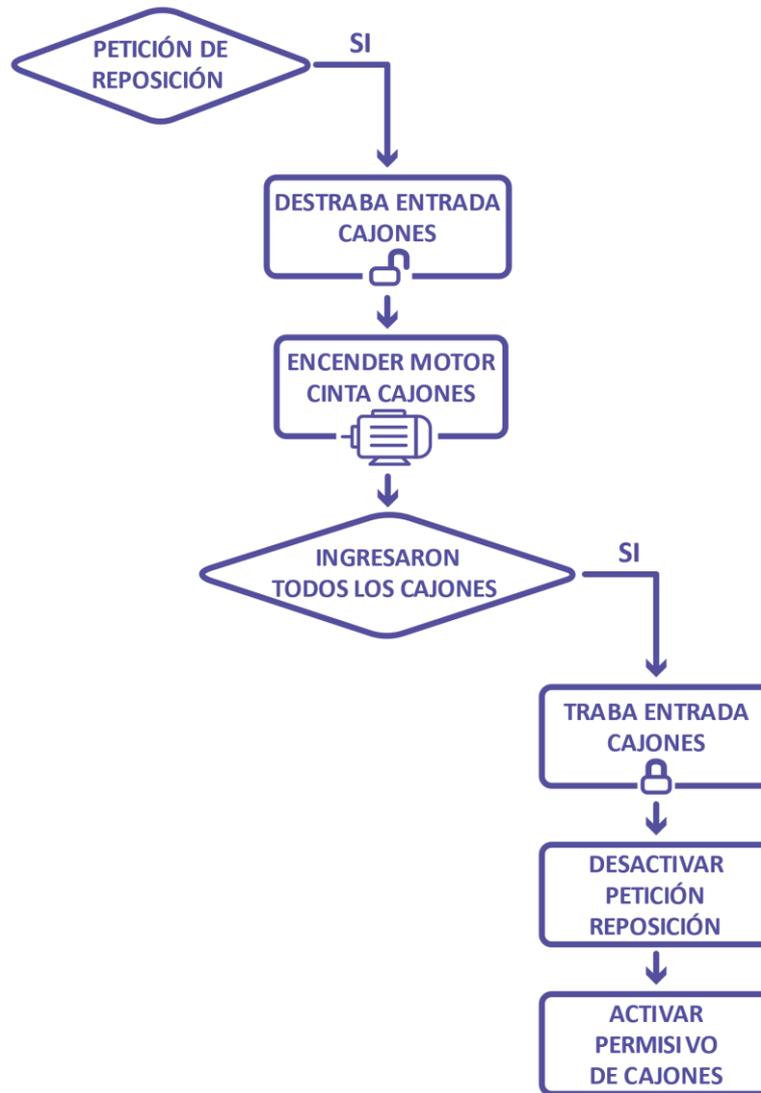


Figura 2.5.8: Diagrama de flujo cinta de cajones. Reposición.

Es importante notar que en cierto punto el despacho y la reposición de cajones se estarán dando de forma simultánea. Para que esto ocurra sin inconvenientes es fundamental realizar un correcto ajuste de los tiempos de funcionamiento de la máquina, pero particularmente del tiempo de retardo para realizar la petición de reposición de cajones una vez iniciado el despacho de cajones. Si este tiempo no se ajusta correctamente el ciclo de despacho y reposición de cajones no funcionará adecuadamente. Este tiempo se ajusta

en la puesta en marcha de la maquina y es un parámetro que puede ser fácilmente modificable desde la pantalla HMI.

El diagrama de flujo del funcionamiento de la cinta de botellas puede observarse en la figura 2.5.9. Si el secuenciador se encuentra en la posición 3, significa que el cabezal se está dirigiendo hacia la cinta de botellas a depositar las botellas recientemente extraídas de los cajones. Cuando el cabezal pase el punto determinado para el frenado de la cinta de botellas, el PLC mandará a parar el motor de dicha cinta, el cual se detendrá mediante una rampa de parada provocada por el variador de velocidad asociado a dicho motor. Esto provocara que la cinta de botellas detenga su marcha lentamente, evitando que las botellas se tabaleen y caigan. Cuando el cabezal deposite las botellas en la cinta, se producirá la inversión del sentido de giro de este y el secuenciador pasará al paso 1. En este punto, el cabezal se dirigirá hacia la posición de reposo y, una vez superada la posición determinada para encender la cinta de botellas, el PLC encenderá nuevamente el motor de la cinta, el cual realizará una curva de arranque, retomando suavemente su marcha.

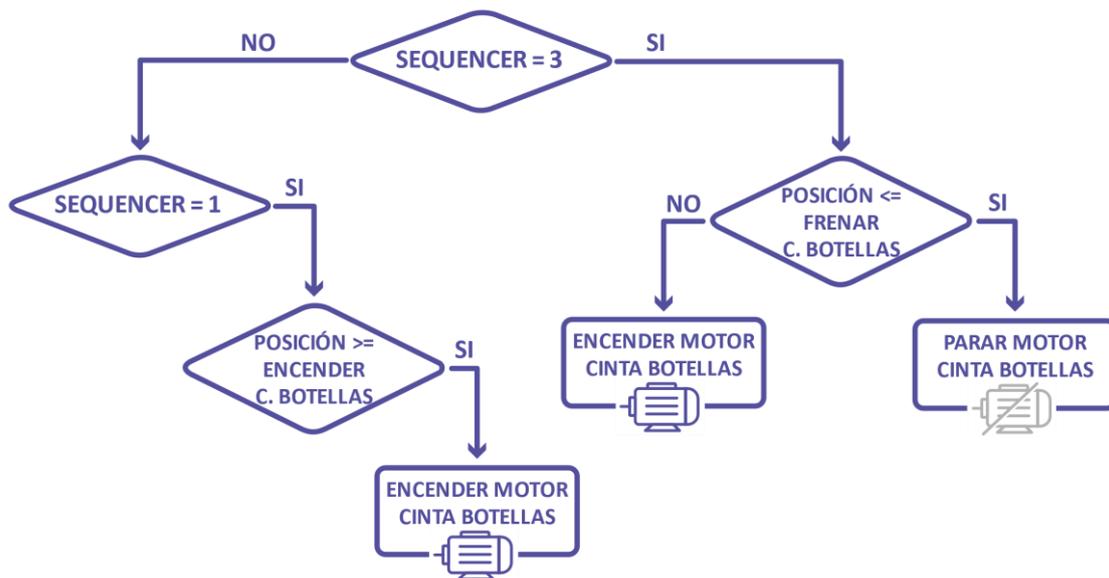


Figura 2.5.9: Diagrama de flujo cinta de botellas.

Debe notarse que en el ciclo de trabajo de la cinta de botellas no se hace referencia al permisivo de botellas. Este permisivo es una bandera que indica si se cumplen las condiciones para que el cabezal pueda depositar una nueva tanda de botellas en la cinta de botellas, con lo cual es de suma importancia. Su control está ligado al sensor de salida del transporte de botellas (LS8).

Cuando el permisivo de botellas es desactivado (véase figura 2.5.6) la cinta de botellas estará repleta de botellas, las mismas comenzarán a salir de la maquina y, cuando el sensor LS8 no detecte más botellas, es decir que todas estas hayan salido de la máquina, se activará nuevamente el permisivo de botellas, permitiendo que el cabezal deposite una nueva tanda de botellas sobre la cinta.

Otra cuestión que debe notarse, referida a la cinta de cajones, es que la marcha de la misma nunca se detiene, a excepción de que el sensor S9 indique que la cinta en cuestión se encuentra llena de cajones. Salvo este caso, la cinta permanece en movimiento, lo cual reduce tiempos de espera y desgastes y picos de corriente producidos por sucesivos arranques.

Para la programación del PLC se utilizó el lenguaje Ladder y se utilizó programación orientada a objetos para interactuar con las señales referentes a los motores. El programa se segmentó en distintas partes y se replicaron los diagramas de flujo anteriormente vistos. Estos diagramas esbozan un concepto general del programa, entendiéndose que hay detalles que no se incluyen en ellos, pero aun así representan gratamente la realidad del programa.

Programación del HMI:

Para la programación de la pantalla HMI primero debe crearse una tabla de variables vinculada a las variables del PLC necesarias. Luego se debe proceder a diseñar las pantallas deseadas, para lo cual se debe tener en mente que pantallas van a diseñarse. Para este proyecto en particular se diseñaron las siguientes pantallas:

Pantalla de inicio: esta es la pantalla de inicial. Muestra información sobre el estado del sistema y permite navegar hacia las diferentes pantallas.

Pantalla de operación manual: permite la operación manual de cada uno de los elementos que conforman la maquina desencajonadora de forma individual.

Pantalla de operación automática: permite la operación automática del sistema y ofrece visualización del estado del equipo.

Histórico de alarmas: permite observar el registro de las alarmas del sistema.

Pantalla de logueo: permite ingresar con un usuario, lo cual permite restringir los niveles de acceso en el sistema.

Pantalla de ingeniería: permite la configuración de todos los parámetros del sistema.

Para un mejor acabado final y con el fin de presentar la información en la pantalla de una forma más clara y sencilla, se diseñaron algunos elementos gráficos en el software Adobe Illustrator, el cual es un software de diseño gráfico orientado al trabajo con vectores, lo cual resulta ideal en este campo. Por tratarse de una pantalla pequeña, de 7 pulgadas, se decidió utilizar gráficos en 2 dimensiones, para no generar una contaminación visual excesiva.

A continuación se presentan las pantallas diseñadas para la interfaz HMI junto con una breve descripción de sus elementos.

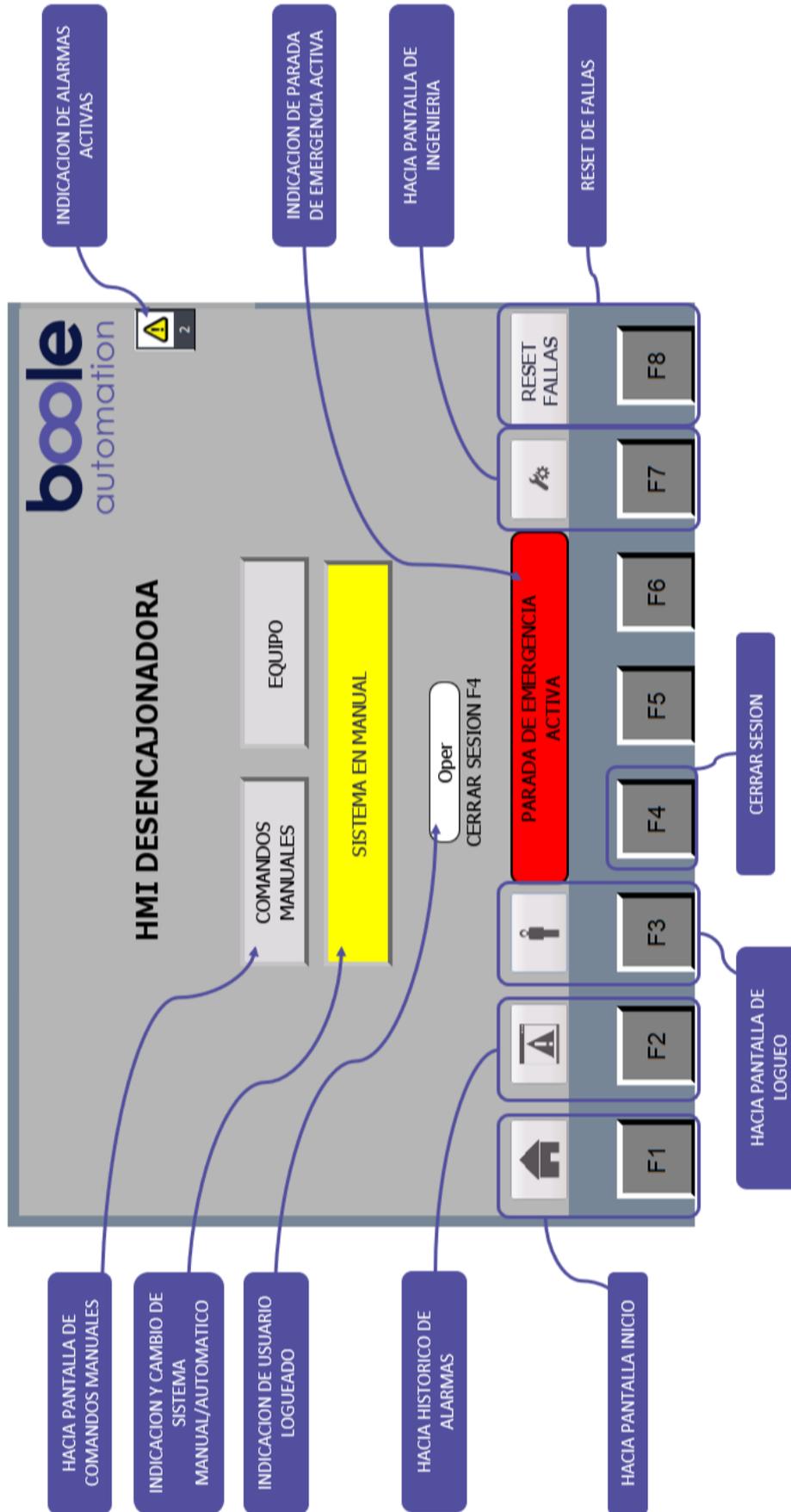


Figura 2.5.10: Pantalla de inicio

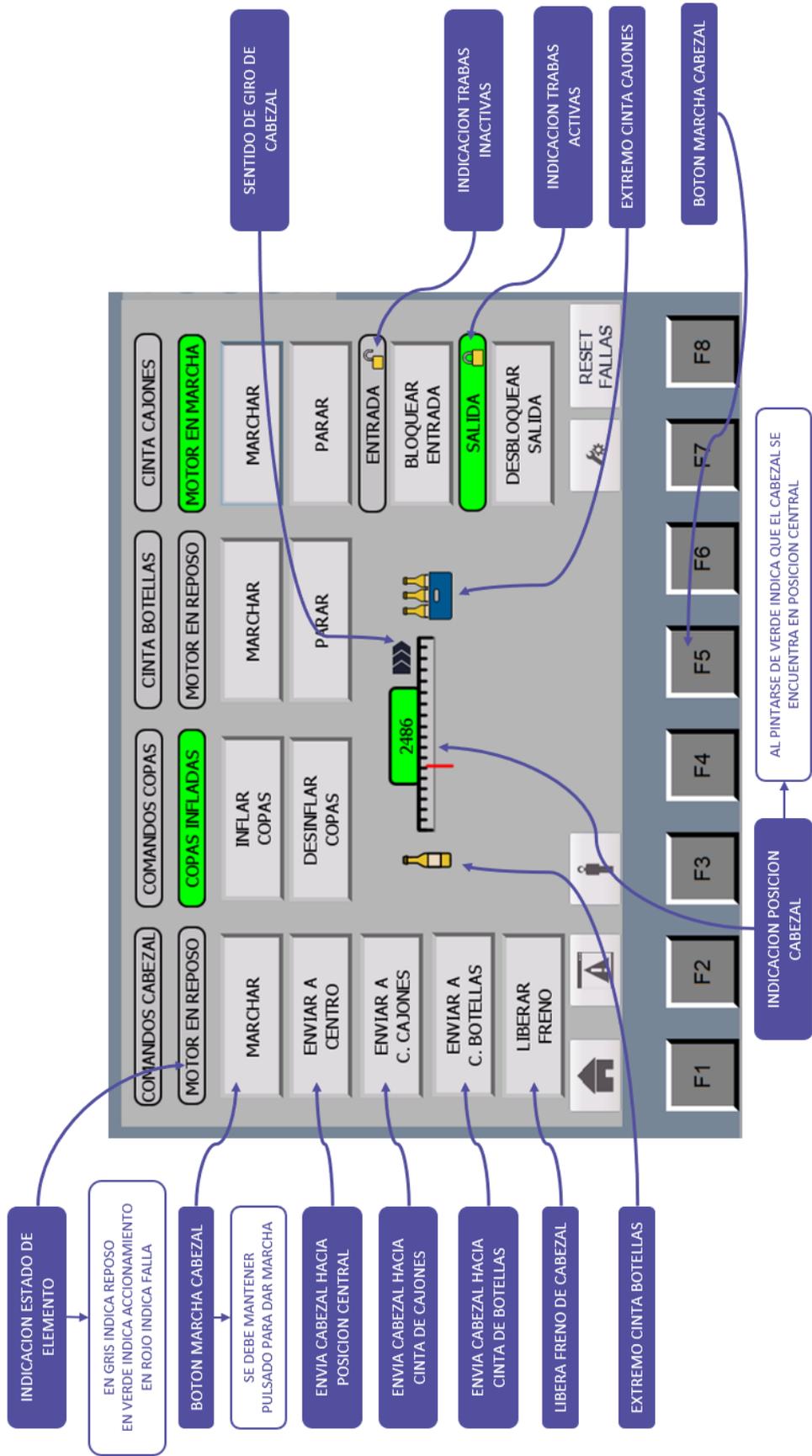


Figura 2.5.11: Pantalla de operación manual.

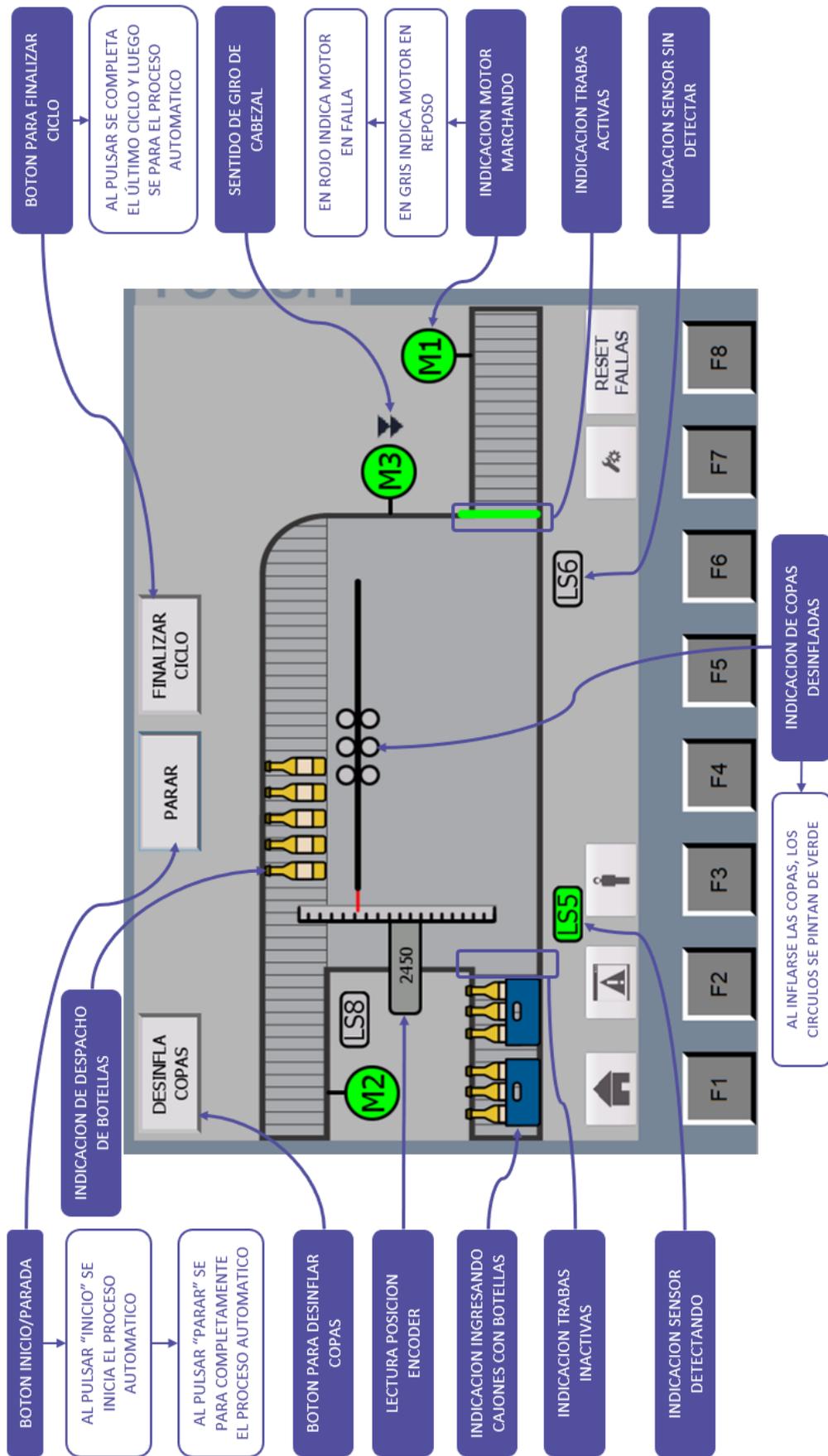


Figura 2.5.12: Pantalla de operación automática - 1.

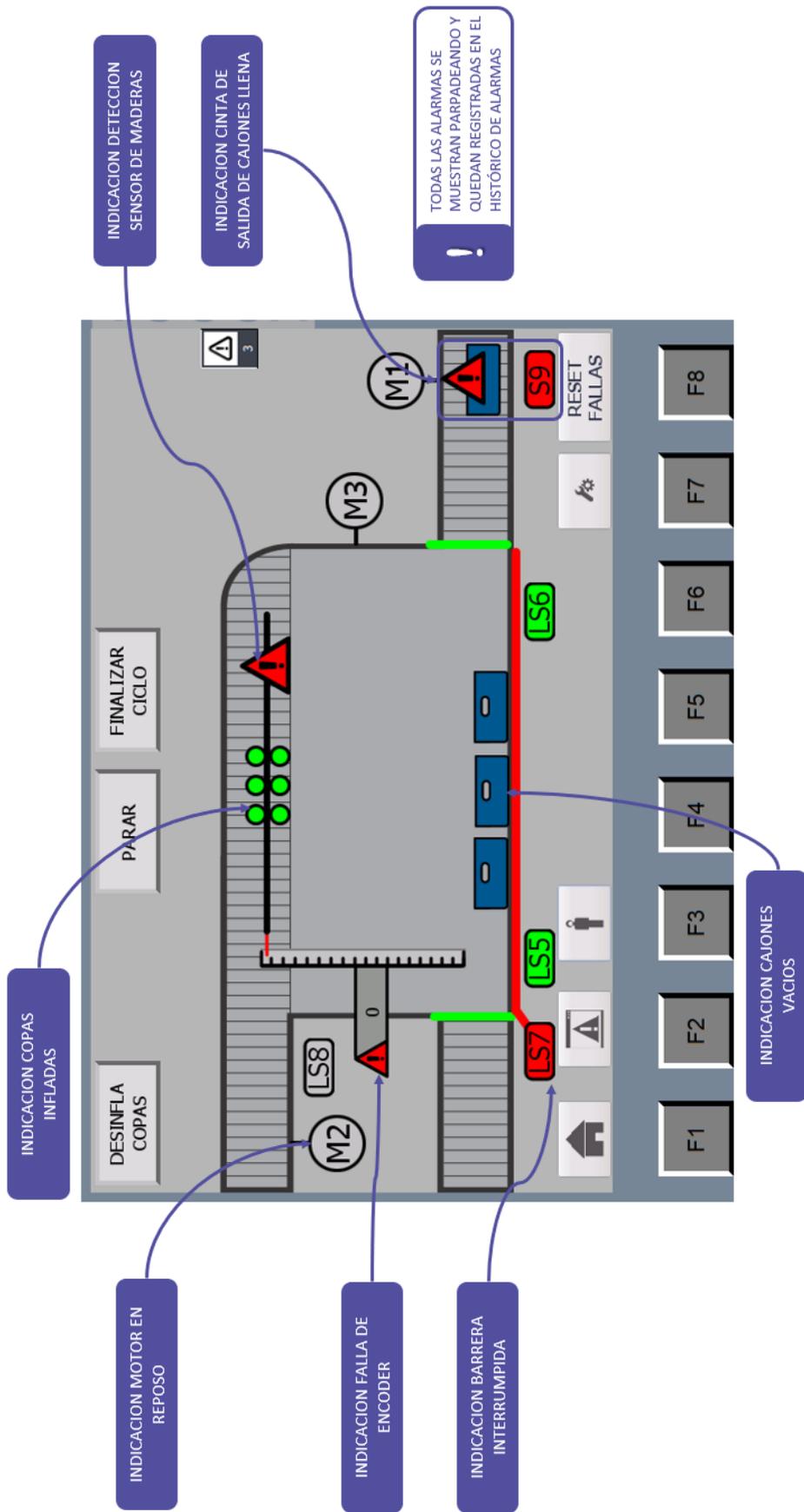


Figura 2.5.13: Pantalla de operación automática - 2.

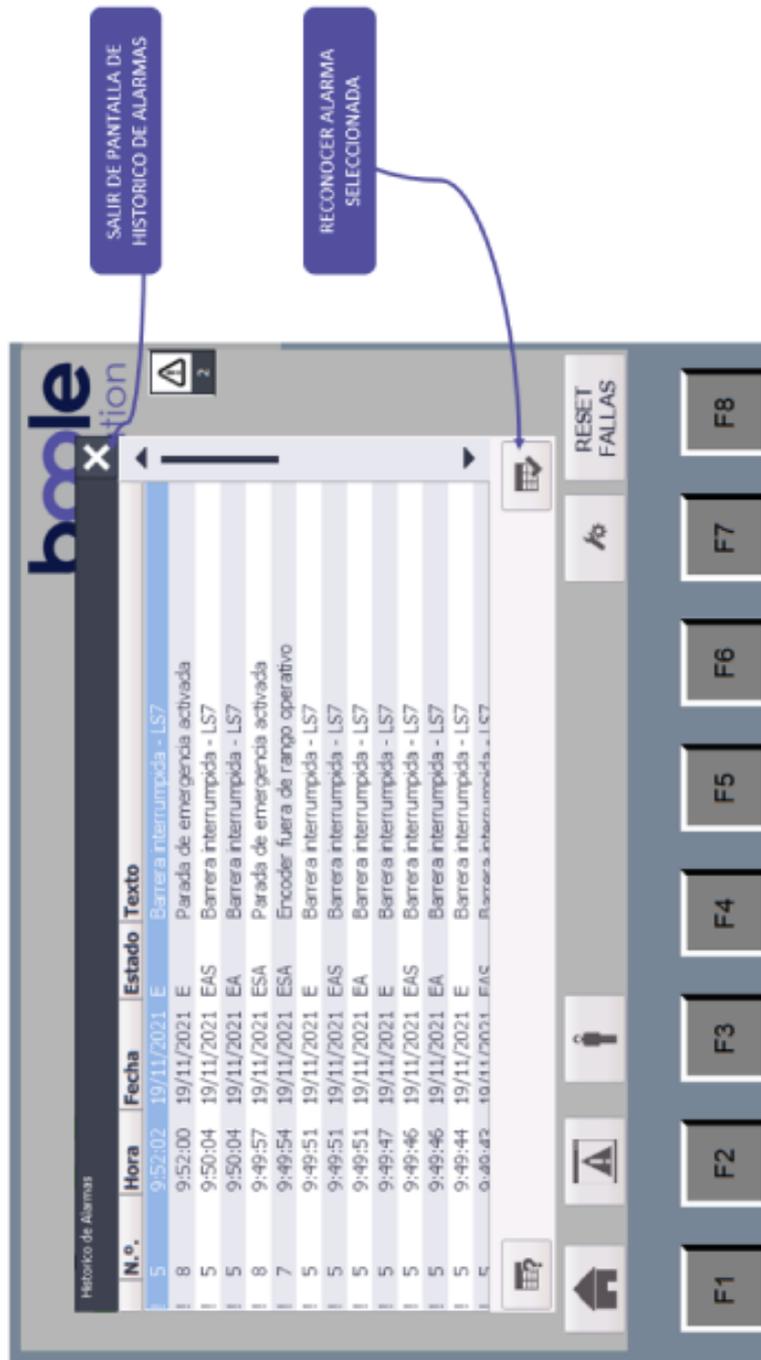


Figura 2.5.14: Histórico de alarmas.

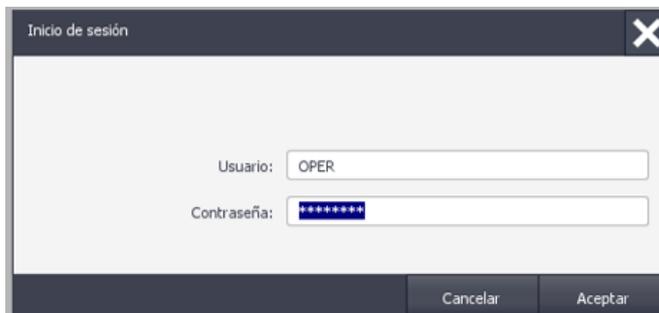


Figura 2.5.15: Pantalla de logueo.



Figura 2.5.16: Pantalla de ingeniería – 1.

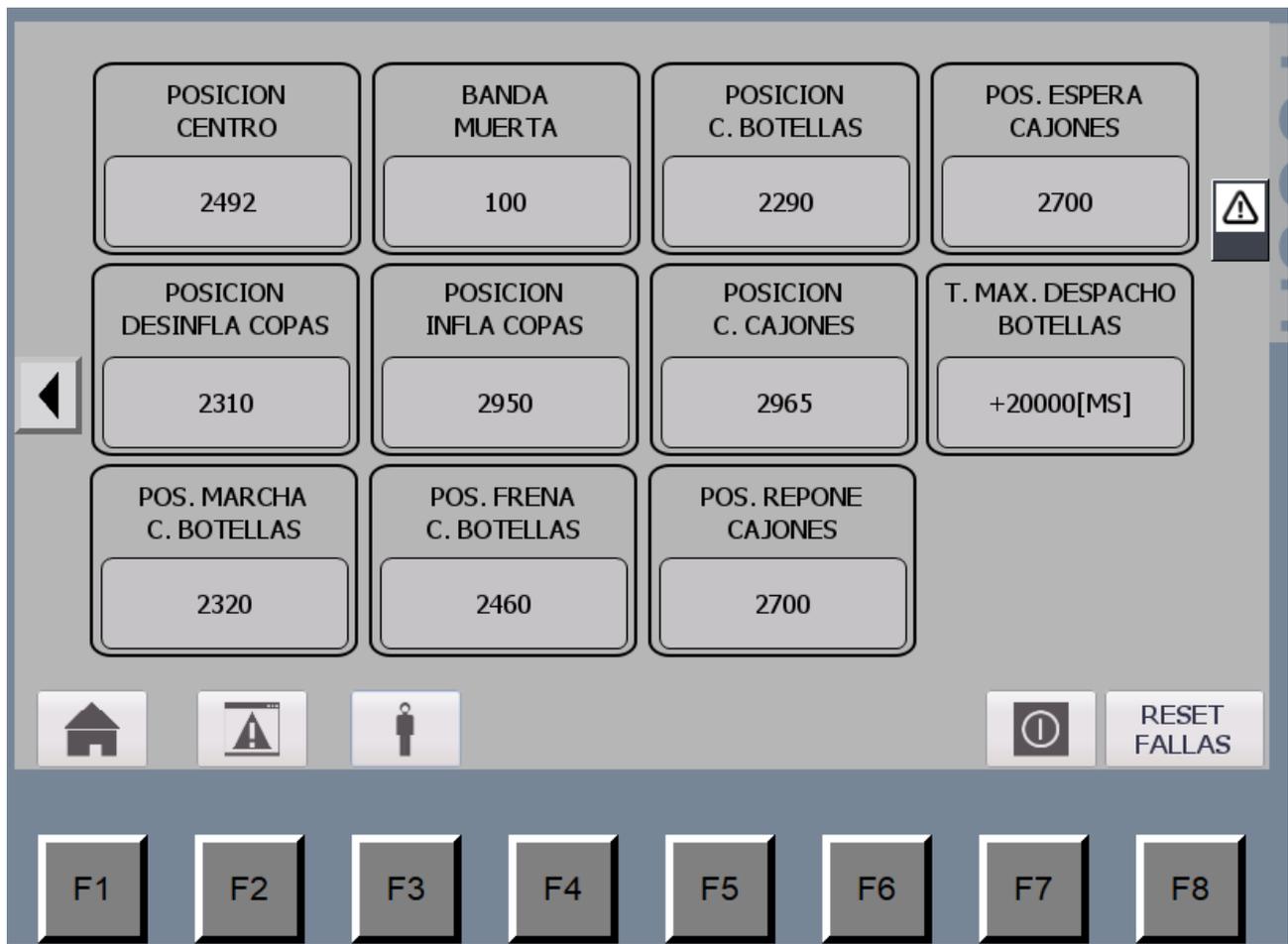


Figura 2.5.17: Pantalla de ingeniería – 2.

2.5 Pruebas y simulaciones:

Durante esta etapa del proyecto se llevaron a cabo extensas simulaciones utilizando el emulador proporcionado por el TIA Portal. El objetivo de esta etapa es probar cada una de las facetas del programa, dejando en exposición posibles fallas o puntos que requieran correcciones o mejoras. Se realizaron pruebas individuales sobre cada uno de los elementos que componen el sistema y, luego de ser estas superadas, se realizaron pruebas sobre el sistema general, emulando el comportamiento real de cada uno de los elementos actuando en conjunto. Si bien durante la programación de cada uno de los elementos se fueron realizando ciertas pruebas de su funcionamiento, en esta etapa los testeos se realizaron con una mayor profundidad, buscando forzar condiciones de situaciones indeterminadas, no previstas y que puedan ocasionar fallas en el sistema, para así tener un mejor panorama de estas situaciones y poder prever y corregir el comportamiento del sistema frente a las mismas. A medida que se encontraron fallas o situaciones de incertidumbre, se fueron realizando las correcciones correspondientes en el código del programa.

Para el final de esta etapa se logró tener un sistema sólido y funcional, con una gran respuesta ante un gran número de situaciones que pudieran darse durante el funcionamiento habitual de la máquina. No obstante, el comportamiento real del sistema se evalúa en la sección siguiente.

2.6 Puesta en Marcha:

Con los sensores, motores, actuadores y el sistema en general correctamente montados, se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento en la máquina desencajadora. Primeramente se llevaron a cabo una serie de pruebas individuales sobre cada uno de los elementos, similares a las llevadas a cabo en la etapa anterior. Estas pruebas se realizaron con el sistema funcionando en modo manual y tienen como objetivo corregir aspectos mecánicos, como el correcto movimiento de las partes, determinación de posiciones de interés del cabezal y correcto posicionamiento y orientación de sensores. Una vez superadas las pruebas individuales para cada elemento, aún en modo manual, se realizaron pruebas en conjunto del sistema, emulando ciclos de trabajo de la máquina. Esta parte del proceso sirve para dejar en descubierto ciertos elementos defectuosos o mal calibrados del sistema. Particularmente debieron reemplazarse varias de las copas neumáticas dispuestas sobre el cabezal, debido a que las mismas se encontraban dañadas y por lo tanto no podían proporcionar una fuerza de succión suficiente como para sujetar las botellas correctamente y así asegurar un traslado seguro de desde un punto de la máquina hasta el otro. También se ajustó la presión del sistema neumático y se realizaron ajustes sobre las posiciones de interés del cabezal. En esta etapa del proyecto también surgieron modificaciones a nivel de programa, las cuales no fueron previstas anteriormente. Por ejemplo, se agregó la posibilidad de, mediante un pulsador en la pantalla HMI, liberar el freno neumático del motor del cabezal para permitir su desplazamiento de forma manual en ciertas situaciones que lo requieran.

Estas pruebas en modo manual se realizaron de forma controlada, con un medido ingreso de cajones en la máquina. Una vez superada esta instancia de pruebas se procede a realizar pruebas en modo automático, en donde el ingreso de cajones a la maquina ya no es regulado sino que se da a granel, emulando una situación normal de operación de la máquina. Durante estas pruebas se buscó observar el comportamiento final del sistema. Para las mismas se encontraron presentes operarios de la máquina, personal de mantenimiento y personal gerencial de la planta. Aquí se realizó la puesta a punto de cada uno de los parámetros de máquina, configurables desde la pantalla HMI, para lograr un punto óptimo de funcionamiento de cada uno de los elementos que componen la maquina y del sistema en general. Luego de una gran cantidad de horas de prueba, se observaron ciertos aspectos generales a mejorar referidos al funcionamiento del sistema y algunos

aspectos específicos. Por ejemplo, se observó que en ciertas circunstancias, por un desplazamiento mecánico, el cabezal de la maquina podía quedar mal posicionado. Para estas situaciones se agregó un pulsador en la pantalla HMI, el cual permite a los operarios desinflar las copas manualmente, para así acomodar el cabezal y luego retomar su funcionamiento normal. Una vez corregidas esta y las demás situaciones observadas. Se volvieron a repetir las pruebas y se comprobó, junto con el personal presente de planta, el correcto y satisfactorio funcionamiento del sistema.



Figura 2.6.1: Fotografía puesta en marcha de máquina desencajadora.

Capítulo 3: Resultados

Una vez completados cada uno de los pasos anteriormente descritos en los capítulos precedentes, se obtuvo como resultado una máquina robusta y funcional, que satisface los requerimientos originalmente planteados por el cliente.

Entre las prestaciones de la máquina podemos destacar la solidez en su funcionamiento, el cual pudo obtenerse gracias al gran número de pruebas realizadas y situaciones límite forzadas; su gran adaptabilidad ante posibles futuras modificaciones, gracias a las reservas consideradas durante el proceso de selección del PLC; Gracias a la reducción de sensores utilizados y la tecnología de los mismos, destacando fundamentalmente la del encóder incremental con tecnología IO-Link, se logra una gran reducción en tiempos, costes y dificultad de mantenimiento. Es importante destacar que estos últimos dos puntos pueden representar una ventaja frente a máquinas presentes en el mercado cuyo desarrollo es más cerrado, haciendo más laboriosas las tareas de mantenimiento y a veces inclusive imposibilitando grandes modificaciones que quieran realizarse. Otras de las prestaciones a destacar es su fácil calibración (o recalibración, en caso de requerirse), gracias al fácil acceso a la modificación de parámetros de la máquina. También es importante destacar las modificaciones puntuales realizadas según situaciones específicas observadas en conjunto con el cliente, lo cual permite obtener una puesta a punto más precisa para el trabajo a realizar. Por último, pero no menos importante, se debe destacar que dado que éste consistió en un proceso de upgrade de una máquina existente, pudieron reutilizar un gran número de equipos y sensores, lo cual abarató considerablemente el precio final del producto; el cual hubiera sido muy superior en caso de haber tenido que desarrollar la máquina desde cero o comprando una completamente nueva.



Figura 3.1: Máquina descajonadora finalizada.



Figura 3.2: Encóder incremental montado en máquina

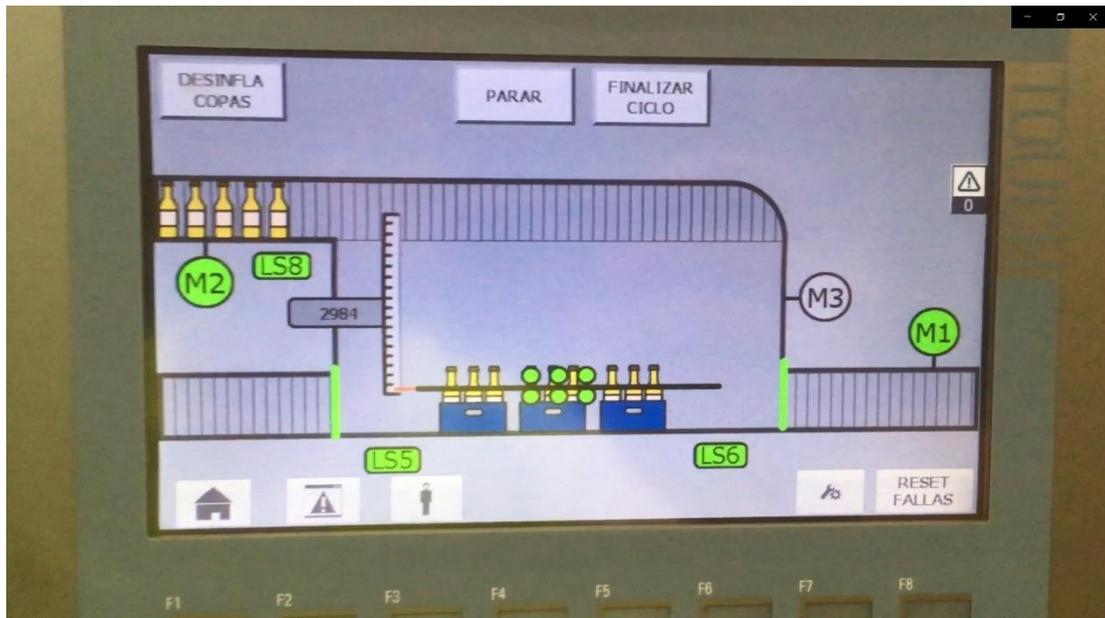


Figura 3.3: Pantalla HMI con maquina en funcionamiento

Capítulo 4: Análisis de Costos

A continuación, se listan cada uno de los elementos que fue necesario comprar para la realización del proyecto, junto con sus respectivos precios. Así como también el monto considerado para las horas de trabajo invertidas en el proyecto.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD		CODIGO	OBSERVACIONES	PRECIO UN
A01	SIMATIC NET - Compact Switch Module	UN	1	CSM 1277	Modulo switch industrial	\$ 30.000,00
A02	SIMATIC S7-1200 24V 14DI/10DO/2AI	UN	1	6ES7214-1AG40-0XB0	PLC	\$ 68.680,00
A03	8DI 24V DC	UN	1	6ES7221-1BF32-0XB0	Tarjeta entradas digitales	\$ 23.824,00
A04	8DO 24V DC	UN	1	6ES7222-1BF32-0XB0	Tarjeta salidas digitales	\$ 23.824,00
A05	SIMATIC HMI KTP700 Basic	UN	1	6AV2123-2GB03-0AX0	Pantalla HMI	\$ 70.000,00
B01	Cable ethernet IFM	UN	1	E11898		\$ 8.120,00
B02	Maestro IO-Link cin interfaz PROFINET	UN	1	AL1100		\$ 53.943,00
B03	Cable de conexión con conector hembra M12	UN	1	EVC004	5 polos	\$ 1.762,00
B04	Encoder incremental marca IFM	UN	1	ROP520		\$ 39.185,00
B05	Conector macho M12 a cablear	UN	1	EVC813		\$ 2.665,00
B06	Cable de conexión con conector hembra M12	UN	1	E80021	8 polos	\$ 4.076,00
B07	Tapon de protección IFM	UN	3	E73004	Pack x 10 unidades	\$ 1.261,00
C01	Indicador Luminoso Fijo Led 24VCA/CC - Verde	UN	1	XVBC2B3		\$ 13.447,00
C02	Indicador Luminoso Fijo Led 24VCA/CC - Rojo	UN	1	XVBC2B4		\$ 13.447,00
C03	Elem Lum Fijo Led 24Vca/Cc Amar	UN	1	XVBC2B8		\$ 13.447,00
C04	Sensor reflexión directa	UN	3	OGT100		\$ 4.340,00
C05	Detector inductivo	UN	1	IGS200		\$ 5.011,00
D01	Horas de trabajo	UN	279			\$ 800,00
TOTAL						\$ 608.912,00

Tabla 4.1: Listado de costos del proyecto.

Es importante mencionar que también se propuso al cliente comprar una unidad de repuesto del encóder incremental ROP520, ya que al tratarse una pieza crítica del sistema, una avería de la misma imposibilitaría el funcionamiento de la máquina, considerándose por supuesto que no es un sensor de común rotación en los talleres de manteniendo de las plantas, como si pueden serlo otros sensores involucradas en la máquina.

Aceptada esta propuesta el valor final del proyecto es de \$648.097 (seiscientos cuarenta y ocho mil noventa y siete pesos).

Cabe destacar que este precio considera no solo el trabajo realizado, sino que también abarca un período de garantía de 1 año, en el cual cualquier desperfecto en la maquina será asistido sin coste adicional.

Capítulo 5: Discusión y Conclusión

Luego del trabajo realizado, podemos concluir que se obtuvo como resultado una máquina robusta y funcional, que satisface los requerimientos originalmente planteados por el cliente. Lográndose una máquina que, gracias a la facilidad que ofrece para la modificación de sus parámetros de trabajo, posibilita un ajuste con gran precisión de estos, facilitando encontrar el punto óptimo de funcionamiento del sistema en general, y la consiguiente mejora en su rendimiento.

Además de la solidez en el funcionamiento de la máquina descajonadora, se destacan también sus facilidades en cuanto a la reducción de tiempos y costes de mantenimiento, debido a la cantidad de sensores y a las tecnologías implementadas

También es importante destacar las modificaciones puntuales realizadas según situaciones específicas observadas en conjunto con el cliente, lo cual permite obtener una puesta a punto más precisa para el trabajo a realizar; en este punto pueden destacarse funcionalidades agregadas en el control manual de la máquina, el pulsador que permite el desinflado de las copas en modo automático, y reajustes de posiciones del cabezal.

Como anteriormente se mencionó, es importante destacar que al tratarse éste de un proyecto que consistió en el upgrade de una máquina existente, si bien esto hacía que se tengan limitaciones a la hora de plantear el proyecto, ya que éste debía adaptarse a la máquina en cuestión, también posibilitó un gran abaratamiento en el precio final del proyecto, eso sí lo compara con el costo que supondría comprar una máquina completamente nueva, descartando la ya existente.

Asimismo, el hecho de que se trate de un desarrollo muy específico, como es el upgrade una máquina puntual de un determinado cliente, podría llevar a pensar que el target de este proyecto se limitaría al mencionado cliente. No obstante, teniendo el programa que controla el funcionamiento completo de la máquina, es solo cuestión de agregar los elementos eléctricos, mecánicos y neumáticos y la estructura física para obtener una máquina completamente nueva y funcional, lista para venderse a clientes de similar rubro. Incluso, gracias a la mencionada adaptabilidad del sistema, con unas pocas modificaciones podrían desarrollarse máquinas para aplicaciones similares pero diferentes, como pudieran ser máquinas encajonadoras, por ejemplo.

Una mejora que puede plantearse a la maquina desencajadora es la implementación de un sistema de seguridad. Si bien actualmente la maquina posee, a pedido del cliente, un sensor fotoeléctrico retro reflectivo que oficia de barrera de seguridad, no es lo adecuado utilizar sensores convencionales para tareas de seguridad, ya para desempeñar estas funciones existen los sensores de seguridad, los cuales tienen una certificación que garantiza una mayor redundancia y robustez que los sensores convencionales. Se plantea el agregado de dos barreras optoeléctricas con sensibilidad para manos, de las cuales una debiera agregarse en el frente y la otra en el dorso de la máquina, así como un relé de seguridad que gestione su funcionamiento. Así, ante la intervención de un operador en el espacio de la máquina, la misma se detendrá inmediatamente, evitando posibles lesiones al operador.

Capítulo 6: Literatura Citada

- [1] [Online]: <https://laumayer.com/novedades-y-publicaciones/diciembre/generalidades-finales-carrera-principales-usos/>
- [2] [Online]: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/photoelectric/info/>
- [3]: manual máquina desencajadora
- [4]: [Online]: https://www.ifm.com/ar/es/shared/technologies/drehgeber/encoders?gclid=Cj0KCQiAraSPBhDuARIsAM3Js4oZQsH0PZYsuW6pQCmGw9gAOBeBeZDL9NY6ju_bPIGsnk9Y36JMdLUaAt0dEALw_wcB
- [5]: [Online]: <https://www.ifm.com/ar/es/product/ROP520>
- [6]: [Online]: <https://www.ifm.com/ar/es/product/AL1100>
- [7]: [Online]: <https://www.ifm.com/ar/es/product/OGT100>
- [8]: [Online]: <https://www.ifm.com/ar/es/product/IGS200>
- [9]: [Online]: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>
- [10]: [Online]: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AV2123-2GB03-0AX0>
- [11]: [Online]: <https://www.ifm.com/ar/es/shared/technologies/software-solutions/produktpalette/lr-device/lr-device>