



“Programación de PLC Siemens Simatic S7-1200 e interfaz táctil HMI Simatic KTP700 Basic para la estación de ensamble de piezas tow hitch en la automatización del proceso de ensamble en la línea de producción de Arbomex S. A. de C. V.”

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE
TEZIUTLÁN**

Tesis



ALUMNO (A):

Emmanuel Edgardo Bartolo Gómez

Número de Control:

15TE0234

Licenciatura en:

Ingeniería Mecatrónica

ASESOR (A):

Nestor Claudio Juárez

Teziutlán, Puebla; julio 2020



Agradecimientos

A mi familia;

por la libertad, paciencia y apoyo.

A mi madre Ángeles por su amor incondicional,

a mi padre Porfirio por su confianza y consejos,

a mi hermana Priscila por su cariño inagotable.

A las personas que me han acompañado a crecer como persona.

Para Dulce por su amistad sincera y lealtad,

para Karla por su nobleza, apoyo y cariño,

para Paulina por sus enseñanzas en la vida,

para Scolin y Andrea por el ánimo brindado.

A la academia de mecatrónica del ITST.

Por compartir sus conocimientos

para crecer como alumno

y encaminarme a ser un profesionalista

con ética y responsabilidad.

*A la empresa Desalti S.A. de C.V.
y especialmente para el departamento*

*"Desalti ingeniería y desarrollo"
por la confianza y apoyo brindado
a lo largo del proyecto de tesis.*

Resumen

La necesidad de la empresa Arbomex S.A. de C.V por conseguir el aumento de producción del ensamble de enganches para remolque, también conocidas como tow hitch, fue solucionada por el departamento de ingeniería en Desalti S.A. de C.V al desarrollar la implementación en automatización industrial aplicada en una estación de ensamble para garantizar la seguridad del personal operador y reducir el tiempo de cada operación de ensamble.

La aplicación de diversos sistemas en la estación de ensamble como lo son el eléctrico, neumático e hidráulico requirieron de un sistema de control sobre todos ellos, específicamente en las rutinas que se llevan a cabo de manera automática. Para ello se recurre a la implementación de la metodología GRAFCET para organizar de forma sencilla el código en lenguaje KOP que se carga al controlador lógico programable, también conocido como PLC por sus siglas en inglés. Como complemento se diseña una interfaz para guiar y controlar las acciones de la estación de ensamble desde una pantalla táctil a lo que se le conoce como sistema HMI por sus siglas en inglés.

Con el desarrollo y aplicación de la programación de las rutinas automáticas con metodología GRAFCET se logra la notable reducción del tiempo ciclo de cada ensamble en un promedio de 73.83% en comparación a los métodos manuales, además de brindar un proceso seguro para el operador.

En conclusión, el proyecto de la estación de ensamble logra cumplir el concepto de automatización industrial al mejorar las condiciones laborales y proveer un avance tecnológico para aumentar la producción del ensamble.

Introducción

Uno de los principales retos actuales en la industria de la manufactura es la búsqueda de optimización de los recursos y la disminución de tiempos durante los procesos con el fin de elevar los niveles de producción para satisfacer la creciente demanda de productos fabricados o manufacturados al mercado industrial.

En este documento se describe el desarrollo de la programación en lenguaje KOP, o escalera, bajo la metodología GRAFCET para guiar a rutinas automáticas, aplicándolas con un controlador lógico programable Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC 6ES7 214-1AG40-0XB0, dentro del proyecto de investigación y desarrollo de una estación de ensamble para enganches de remolque (tow hitch) realizado por el departamento de ingeniería en Desalti S.A. de C.V. para la línea de producción de la empresa Arbomex S.A. de C.V.

Complementariamente se explica la creación de la interfaz para la pantalla táctil Siemens Simatic KTP700 Basic 6AV2 123-2GB03-0AX0 programada para controlar los procesos automáticos, manual y de mantenimientos solicitados por la empresa Arbomex S.A. de C.V.

El presente trabajo de tesis se conforma de siete capítulos en los cuales se describe el proyecto desde los requerimientos iniciales hasta la implementación de la estación de ensamble.

Se comienza con el capítulo I que describe las generalidades de la empresa Desalti S.A. de C.V. así como el contexto industrial en donde se desarrolla el proyecto.

El capítulo II da sustento teórico al entorno en donde se aplica la programación, además de definir el concepto de la metodología GRAFCET.

Para el capítulo III se destinó el contenido explicativo del estado de los sistemas eléctrico, neumático e hidráulico para el desarrollo del método GRAFCET en el modo automático, así como de los requerimientos de seguridad y manejo que incorporó la estación de ensamble.

En el capítulo IV encontramos los resultados obtenidos de la implementación del sistema automático de ensamble siendo uno de ellos la comparación del tiempo requerido para realizar el proceso método manual en contraste al método automático brindado por la estación de ensamble.

Por su parte el capítulo V incluye las conclusiones y aprendizajes personales adquiridos en base a las experiencias trascurridas en el desarrollo de la aplicación de la programación de control de los sistemas de la estación de ensamble.

El capítulo VI agrupa las fuentes de información utilizadas para el sustento teórico del capítulo II.

Para finalizar el capítulo VII se encuentran los anexos del trabajo siendo imágenes, tablas y gráficas utilizadas en los capítulos anteriores para apoyar visualmente al proyecto del desarrollo de la estación de ensamble.

Índice

Portada	
Agradecimientos.....	i
Resumen	ii
Introducción.....	iii
Índice	v

Capítulo I Generalidades De Desalti S.A. De C.V.

1.1 Datos generales de la empresa.....	1
1.1.1 Antecedentes.....	1
1.1.2 Misión y visión.....	2
1.1.3 Valores.....	3
1.1.4 Localización.....	3
1.2 Problemática	3
1.3 Objetivos (general y particulares)	4
1.4 Hipótesis.....	5
1.5 Justificación.....	5
1.6 Alcances.....	6
1.7 Limitaciones	6

Capítulo II Marco teórico

2.1 Contexto de la automatización industrial	8
2.2 Ganchos de remolque para camión Freightliner Cascadia 2020	8
2.3 Conceptos generales de los controladores lógicos	9
2.3.1 Controladores lógicos con unidad operativa.....	10
2.4 Controlador programable Siemens S7-1200	11
2.4.1 PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC.....	12
2.5 Sistemas de programación de los autómatas programables	13
2.5.1 Características generales de STEP7	13

2.5.1.1 Unidades de organización del programa.....	15
2.5.2 Lenguaje de esquema de contactos (KOP) de STEP7	17
2.5.2.1 Conceptos generales.....	17
2.5.2.2 Identificación de variables.....	18
2.5.2.3 Operaciones con contactos.....	18
2.5.2.4 Operaciones con contactos y bloques.....	20
2.5.3 Método GRAFCET.....	21
2.6 Interfaz máquina-usuario	22
2.6.1 Paneles táctiles	23
2.6.2 HMI Siemens Simatic KTP700 Basic	23
2.7 Software TIA Portal	24
2.8 Comunicación por Red Industrial Universal Profinet	25
2.9 Electrónica industrial.....	26
2.9.1 Sensores industriales	26
2.9.1.1 Sensores todo - nada de tres hilos	27
2.9.2 Contactores.....	30
2.9.3 Disyuntores termomagnéticos.....	31
2.9.4 Relevadores (relés)	31
2.9.5 Botonería.....	32
2.9.5.1 Contactos.....	32
2.9.5.2 Botones operadores no iluminados.....	32
2.9.6 Indicadores.....	33
2.9.6.1 LED para lámparas.....	33
2.9.6.2 Lentes para lámparas.....	33
2.10 Sistema neumático.....	33
2.10.1 Unidad de mantenimiento (Unidad FR)	33
2.10.2 Manifold	34
2.10.3 Válvulas (electroválvulas).....	35
2.10.4 Válvula de arranque progresivo	35
2.10.5 Cilindros	36

2.11 Sistema hidráulico.....	36
2.11.1 Depósito.....	38
2.11.2 Bomba hidráulica.....	38
2.11.3 Válvula (electroválvula).....	38
2.11.4 Cilindros hidráulicos.....	39
2.11.5 Electroválvula de alivio.....	39

Capítulo III Desarrollo y metodología

3.1 Requerimientos de programación para la estación de ensamble.....	40
3.2 Diagramas de flujo de los modos de operación.....	45
3.3 Requerimientos de seguridad.....	46
3.4 Metodología GRAFCET para modelos de ensamble automáticos.....	47
3.5 Componentes del sistema.....	48
3.5.1 Entradas digitales.....	49
3.5.1.1 Botón de paro de emergencia.....	49
3.5.1.2 Botón de rearme.....	50
3.5.1.3 Botones bimanuales.....	50
3.5.1.4 Sensores.....	51
3.5.2 Salidas digitales.....	52
3.5.2.1 Indicadores Ok/No Ok.....	52
3.5.2.2 Sistema neumático.....	53
3.5.2.3 Sistema hidráulico.....	56
3.6 Programación KOP.....	59
3.6.1 Modo automático.....	60
3.6.1.1 Modelo 640.....	61
3.6.1.2 Modelo 641.....	69
3.6.1.3 Modelo 642.....	70
3.6.1.4 Alarmas para el operario.....	72
3.6.2 Modo manual.....	73
3.6.2.1 Alarmas para ingenieros.....	76

3.6.3 Modo mantenimiento	76
3.7 Programación de interfaz HMI	78
3.7.1 Modo automático	79
3.7.1.1 Modelo 640	83
3.7.1.2 Modelo 641	83
3.7.1.3 Modelo 642	83
3.7.1.4 Contadores de piezas.....	84
3.7.1.5 Alarmas para el operario	84
3.7.2 Modo manual.....	87
3.7.2.1 Alarmas para operario	90
3.7.3 Modo mantenimiento	91
3.7.4 Habilitador.....	93
3.7.5 Usuarios y contraseñas.....	94
3.7.6 Paro de emergencia	96
3.8 Diagramas sistemáticos para referencias en el mantenimiento.....	96
3.8.1 Diagramas eléctricos.....	98
3.8.1.1 Control.....	98
3.8.1.2 Potencia.....	99
3.8.2 Diagramas neumáticos	99
3.8.3 Diagramas hidráulicos.....	99
3.9 Apoyo en la manufactura de piezas para la estación de ensamble.....	100

Capítulo IV Resultados

4.1 Implementación de programación.....	101
4.1.1 Programación del controlador lógico programable.....	103
4.1.2 Programación de la interfaz con pantalla táctil.....	103
4.2 Diagramas sistemáticos.....	103
4.3 Piezas manufacturadas.....	103
4.4 Resultados en la implementación de programación	104

Capítulo V Conclusiones

5.1 Conclusiones del proyecto	108
5.2 Aprendizaje y experiencia adquirida	109

Capítulo VI Fuentes de información

6.1 Referencias bibliográficas	111
--------------------------------------	-----

Capítulo VII Anexos

7.1 Índice de imágenes.....	115
7.2 Índice de tablas	201
7.3 Índice de gráficas	219

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE DESALTI

S.A. DE C.V.

1.1 Datos generales de la empresa

Nombre de la empresa

Desalti S.A. de C.V.

- Desalti Ingeniería y Desarrollo

1.1.1 Antecedentes

Desalti, S.A. de C.V. es una empresa de capital 100% mexicano, que inició sus operaciones el 31 de octubre de 1995 en las instalaciones del Grupo PIEQ (incubadora de empresas de base tecnológica auspiciada por el Gobierno de Querétaro, El Instituto Tecnológico Regional de Querétaro, la Universidad Autónoma de Querétaro y el CONCYTEQ).

Desde su inicio el objetivo fue la investigación y desarrollo de usos eficientes de la energía aplicada a procesos industriales y con este enfoque inició sus servicios de Tercerización Operativa, consistente en la maquila con procedimientos mejorados respecto a los realizados originalmente por los clientes, logrando abatir costos y tiempos de fabricación además de mejoras sensibles a la calidad de los productos. El principal cliente ha sido siempre la empresa fabricante de aparatos electrodomésticos Mabe.

Como parte complementaria a los servicios de ensamble y acabado, se desarrollaron capacidades de fabricación como la serigrafía, el suajado, el troquelado y productos auto adheribles; el diseño y la fabricación de equipos para la producción forman ahora parte de la oferta de esta empresa.

En el año de 2015 se dividió en tres partes:

- 1 Desalti, S.A. de C.V. atiende las operaciones de comercialización. Se encuentra en la Ciudad de Querétaro.
- 2 Servicios Comerciales Eulí S.A. de C.V. que se encarga de las actividades de la producción con base en la Ciudad de Celaya.
- 3 Desalti Ingeniería y Desarrollo, se ocupa del diseño y la construcción de las máquinas, dispositivos y equipos para la producción industrial, para uso propio y de sus clientes, instalado en la Ciudad de Querétaro.

Desalti Ingeniería y Desarrollo es el departamento de la empresa dedicado a brindar servicios de ingeniería y desarrollo de equipos industriales. Buscando siempre las mejores alternativas para el crecimiento de su empresa ofreciendo una gran variedad de servicios personalizados para cuál sea la necesidad de nuestro cliente, todos enfocados al desarrollo industrial.

1.1.2 Misión y visión

Misión:

Desalti S.A de C.V es una empresa que busca posicionarse en el mercado nacional como internacional, ofreciendo sus servicios de máxima calidad de manufactura de componentes para la industria como de ingeniería y desarrollo, incorporando los avances de tecnología industrial y el aprovechamiento fructífero de sus recursos bajo un marco de normas internacionales, convirtiéndose así en una empresa altamente competitiva y rentable.

Visión:

Trabajar el área operativa como administrativa en la manufactura y desarrollo de servicios de ingeniería para la industria, regida bajo un principio de alta calidad sustentado en el uso de normas internacionales de calidad y el uso eficiente de recursos como de energía.

1.1.3 Valores

- Creemos en el trabajo, como medio para la satisfacción de nuestras necesidades, aspiraciones y anhelos.
- Creemos en la perseverancia, como garantía de llevar a su realización de nuestros proyectos.
- Creemos en nuestros clientes, como receptores de nuestros esfuerzos y destinatarios de nuestro desarrollo.
- Creemos en nuestros compañeros de trabajo, como integrantes de un equipo con metas comunes.
- Creemos en el respeto, como inductor del bienestar emocional.
- Creemos en México como país, como hogar, como proyecto.
- Creemos en nuestra familia, como motivador para la generación de los mejores objetivos.

1.1.4 Localización

Las oficinas principales se encuentran en Calle Privada Pirules 112 Col. Jurica. Querétaro, Querétaro. Código postal: 76100 (Imagen 1.1.4.1) (Imagen 1.1.4.2).

1.2 Problemática

La empresa Arbomex S.A de C.V. no posee una manera eficaz que ensamblar las piezas de enganches de remolque (tow hitch) ya que el proceso manual suele ser desordenado y en tiempos ciclos largos.

Otro factor negativo es la confusión al existir tres modelos diferentes de ensamble con la carencia de no poseer una guía clara y a la mano para el operador generando errores humanos en los resultados.

Finalmente se encuentra la necesidad de eliminar las posibilidades de generarse accidentes laborales en el operador producidos en el proceso de ensamble manual al estar en contacto con elementos metálicos y hacer uso de la prensa hidráulica.

En conclusión, la problemática más importante a resolver es la seguridad en el proceso de ensamble seguida del problema de la baja eficacia del proceso por métodos manuales para culminar con la inexistente organización de la información para guiar al operador en su trabajo.

1.3 Objetivos (general y particulares)

General:

Programar los sistemas PLC y HMI para la estación de ensamble de piezas tow hitch en el departamento de control de Desalti Ingeniería y Desarrollo en base a los requerimientos de seguridad, interfaz y tiempo ciclo solicitados, con la finalidad de automatizar el proceso de ensamble en la línea de producción de Arbomex S. A. de C. V.

Particulares:

- Programar el controlador lógico PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC 6ES7 214-1AG40-0XB0 con requisitos de seguridad solicitados por Arbomex S. A. de C. V con tres modos de operación: automático, manual y mantenimiento incluyendo tres rutinas automáticas por medio del software TIA Portal V14.
- Programar la interfaz táctil HMI Siemens Simatic KTP700 Basic 6AV2 123-2GB03-0AX0 adecuando diferentes pantallas de visualización, bloqueos de seguridad, contraseñas de acceso, jerarquización de usuarios, alarmas de seguridad de operación en modo automático y contador de piezas ensambladas por medio del software TIA Portal V14.

- Apoyo en la elaboración de diagramas eléctricos, hidráulicos y neumáticos para el mantenimiento preventivo y correctivo por parte de Arbomex S. A. de C. V.
- Apoyo en actividades de conexión eléctrica y manufactura en el proceso de integración de la estación de ensamble.

1.4 Hipótesis

Si se automatiza el proceso de ensamble al programar código en lenguaje KOP mediante el método GRAFCET para rutinas automáticas dentro del controlador lógico programable PLC y se diseña la interfaz para el control del proceso en la pantalla táctil HMI, podremos reducir el tiempo de ensamblado de los enganches de remolque en comparación al proceso manual.

1.5 Justificación

La automatización industrial de un proceso de ensamble nos brinda mejoras en la producción evitando que el operario realice acciones independientes y laboriosas, ahorrando a su vez tiempo en el proceso.

Mediante la programación del autómeta programable se provee de seguridad y eficacia en las tareas repetitivas y peligrosas como lo son la compactación del resorte o el prensado hidráulico.

Los operarios resultan beneficiados al poder trabajar de una manera cómoda con una interfaz sencilla e intuitiva por medio de una pantalla táctil que les permite controlar los procesos de ensamble y llevar un conteo automático de piezas ensambladas.

Las implementaciones de programación anteriormente mencionadas logran enfocar la atención del operario hacia aspectos principalmente importantes para su persona, como lo es su integridad física al trabajar con la estación de ensamble.

1.6 Alcances

El proceso de programación del PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC se basó en lenguaje KOP (Ladder) y en diagramas de flujo para la selección de los tres modo de operación y la elección de los tres modelos automáticos de ensamble de manera anidada dentro del modo automático por medio de la pantalla HMI, así como el análisis para determinar las entradas y salidas digitales que conformaron al sistema para la creación de tres diagramas GRAFCET correspondientes a las rutinas automáticas para el ensamble de los diferentes modelos de tow hitch. La interfaz del HMI Siemens Simatic KTP700 Basic se programó con el fin de dar un apoyo visual al operador proveyendo además de alarmas para informarle de anomalías en el sistema neumático y de guiarlo en la colocación de piezas de ensamble de tow hitch.

1.7 Limitaciones

Las partes que componen al ensamble de enganches de remolque (tow hitch) fueron administradas a Arbomex S.A. de C.V. por Daimler México S.A. de C.V. Debido a esto el número de piezas entregadas a Desalti S.A. De C.V. fue limitado en las primeras etapas del proyecto que correspondieron a las pruebas y a la elaboración de los diseños mecánicos del nido y receptor de piezas. Esto provocó inconsistencias en los parámetros de maquinado al no poseer un amplio rango de medidas posibles para cada una de las piezas. Como respuesta a esto se manufacturaron nuevas piezas y se rediseñó el sistema hidráulico para asegurar el desempeño óptimo abarcando a la mayor parte de tolerancias dimensionales en cada uno de los lotes de piezas.

El desconocimiento general por parte de los operadores en producción de Arbomex S.A. de C.V. en el uso correcto de la interfaz táctil, así como en el funcionamiento de los elementos mecánicos, eléctricos, neumáticos e hidráulicos de la estación de ensamble debido a no existir alguna otra maquinaria parecida como referencia hizo necesario la aplicación de sucesivos cursos presenciales de inducción a la estación de ensamble para diferentes grupos de operadores en producción, gerentes de área, ingenieros y técnicos en mantenimiento. Esto con el fin de evitar accidentes y propiciar un mejor uso a lo largo de su vida útil.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Contexto de la automatización industrial

En la industria la necesidad de mejorar los procesos de producción es innegable, siendo esto una respuesta para lograr competitividad en el mercado.

En el contexto, citando a Emilio García Moreno, "se define a la automatización como la ciencia y la técnica que agrupa al conjunto de disciplinas teóricas y tecnológicas que intervienen en la concepción, la construcción y el empleo de sistemas automáticos".¹

2.2 Ganchos de remolque para camión Freightliner Cascadia 2020

La función de los ganchos de remolque consiste en tener un punto de anclaje seguro y firme para asir al vehículo en el momento de ejercer la acción de remolcar o ser remolcado.

En el camión modelo Cascadia 2020 de la empresa Freightliner los ganchos de remolque (tow hook), ubicados en la parte frontal, son accesorios desmontables.²

Para poder instalarlos es necesario llevar los siguientes pasos:³

- 1.- Apague el motor y ponga el freno de estacionamiento.
- 2.- Abra el capó. Retire los ganchos de remolque, ubicados detrás del parachoques del lado del conductor. Cerrar y enganchar el capó.
- 3.- Instale los ganchos de remolque (tow hook) en los receptores del gancho de remolque (tow hitch), a través de los agujeros en el parachoques (Imagen

¹ García Moreno, E. (1999). *Automatización de procesos industriales*. Valencia: Alfaomega.

² Freightliner. (14 de febrero de 2020). *Nuevo Cascadia*. Obtenido de Freightliner: <https://www.freightliner.com.mx/productos/nuevo-cascadia>.

³ Freightliner. (22 de septiembre de 2017). *Freightliner Service Bulletin*. Obtenido de Freightliner: <https://static.nhtsa.gov/odi/tsbs/2017/MC-10153391-9999.pdf>

2.2.1), girando el gancho para que la abertura quede hacia abajo. Tire de los ganchos de remolque (tow hook) para asegurarse de que estén bien sujetos en los receptores de gancho de remolque (tow hitch).

Para asegurar los ganchos de remolque deben ingresar dentro de un receptor de gancho de remolque que contiene un resorte que permite la amortiguación. De ahora en adelante a la pieza del receptor de gancho de remolque se le llamara tow hitch.

2.3 Conceptos generales de los controladores lógicos

El desarrollo de las diferentes tecnologías (mecánica, eléctrica, química, etc.) a lo largo de la primera mitad del siglo XX dio lugar a una paulatina elevación de la complejidad de los sistemas e hizo que fuesen muchas las variables físicas que tienen que ser vigiladas y controladas. Pero dicho control no puede ser realizado de forma directa por el ser humano debido a que carece de suficiente capacidad de acción mediante sus manos y de sensibilidad y rapidez de respuesta a los estímulos que reciben sus sentidos.

Por todo ello se planteó el desarrollo de los equipos capaces de procesar y memorizar variables físicas, que constituyan sistemas de tratamiento de la información. Estos sistemas deben por lo tanto ser capaces de recibir información procedente de otros sistemas externos a ellos que se pueden a su vez dividir en dos grandes clases:

- Los productos industriales que son sistemas que realizan una función determinada, como por ejemplo una lavadora, un televisor, un taladro, etc.
- Los procesos industriales que se pueden definir como un conjunto de acciones, realizadas por una o más máquinas adecuadamente coordinadas que dan como resultado la fabricación de un producto. Son ejemplos de

procesos industriales una cadena de montaje de automóviles o una fábrica de bebidas.⁴

2.3.1 Controladores lógicos con unidad operativa

Cuando en la década de 1960 se pusieron en evidencia las limitaciones de los sistemas digitales realizados con relés para controlar los procesos industriales, se inició la aplicación de los sistemas secuenciales cableados realizados con transistores, que se comercializaban como circuitos bloque, de los que la serie SIMATIC de Siemens y los NORBITS de Philips fueron ejemplos característicos. Pero las limitaciones de los controladores lógicos cableados hicieron que diversos fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos llevaran a cabo una investigación aplicada para diseñar controladores lógicos que poseyeran una unidad operativa y una unidad de control programable. Dichos controladores son procesadores digitales secuenciales programables que actúan sobre las variables de salida mediante la ejecución de una secuencia de instrucciones y por ello se denominan controladores lógicos programables y se les conoce por las siglas PLC (acrónimo de *Programmable Logic Controller*). En la actualidad se les conoce por las siglas PLC y también por la denominación de autómatas programables. La evolución de los PLC, resultado del avance de la microelectrónica y de las técnicas de programación, ha hecho de ellos los equipos electrónicos más adecuados para automatizar cualquier proceso industrial, desde el más sencillo sistema de riego de un jardín hasta el más complejo sistema de fabricación.⁵

⁴ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

⁵ Ídem.

2.4 Controlador programable Siemens S7-1200

El controlador S7-1200 (Imagen 2.4.1) ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador. Una vez cargado el programa en la CPU, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Hay disponibles módulos adicionales para la comunicación en redes PROFIBUS, GPRS, RS485 o RS232.⁶

⁶ Siemens. (14 de marzo de 2014). *SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200*. Obtenido de Siemens: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/109478121/att_851434/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

2.4.1 PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC

Este controlador lógico programable modular (Imagen 2.4.1.1) cuenta con parámetros técnicos a continuación descritos:⁷

- Memoria de trabajo 100KB.
- Fuente de alimentación 24V DC.
- DI14 x 24V DC Sink/Source.
- DQ10 x 24V DC.
- AI2 integradas.
- 6 contadores rápidos y 4 salidas de impulso integradas.
- Signal Board amplía E/S integradas.
- Hasta 3 módulos de comunicaciones para comunicación serie.
- Hasta 8 módulos de señales para ampliación E/S.
- 0,04ms/1000 instrucciones.
- Interfaz PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC.

Para ampliar el número de entradas digitales es necesario adquirir y acoplar un módulo de entradas.

El módulo de entradas SM 1221 (Imagen 2.4.1.2) el cual posee las siguientes características:⁸

- Módulo de entradas digitales SM 1221
- 16 DI x 24 V DC, Sink/Source

⁷ Siemens. (9 de febrero de 2020). SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC 6ES7 214-1AG40-0XB0. México. Obtenido de TIA Portal.

⁸ Siemens. (11 de febrero de 2020). Hoja de datos 6ES7221-1BH32-0XB0.

2.5 Sistemas de programación de los autómatas programables

La programación de un autómata programable o PLC (acrónimo de *Programmable Logic Controller*) consiste en el establecimiento de una secuencia ordenada de instrucciones que resuelven una determinada tarea de control. Dicha secuencia establece la relación entre las distintas variables lógicas y constituye el programa del autómata programable.

Los fabricantes de autómatas programables han desarrollado diversos lenguajes de programación que constituyen un sistema de programación. El desarrollo de dichos lenguajes ha sido realizado por cada fabricante de forma independiente y aunque todos ellos tienen una base común, son diferentes de un fabricante a otro y se denominan lenguajes propietarios.⁹

El sistema de programación perteneciente a la serie SIMATIC de los controladores lógicos programables de Siemens es STEP7 (S7).¹⁰

2.5.1 Características generales de STEP7

El sistema de programación STEP7 está formado por tipos de lenguajes de programación diferentes:

Lenguajes literales

Las instrucciones de este tipo de lenguajes están formadas por letras, números y símbolos especiales. Son lenguajes de este tipo:

⁹ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

¹⁰ Manuel Luque, J. (12 de febrero de 2020). *PLC SIEMENS*. Obtenido de www.plc-hmi-scadas.com: <https://plc-hmi-scadas.com/PLC-SIEMENS/>

- El lenguaje de *lista de instrucciones* que en STEP7 se denomina **STL** (*Statement List*) o **AWL** (del alemán "Anweisungsliste") que significa precisamente "Lista de instrucciones". Es el lenguaje ensamblador de STEP7.
- El lenguaje de texto estructurado, que en STEP7 se denomina **SCL** (*Structured Control Language*), es en lenguaje de alto nivel similar al Pascal que cumple la norma IEC 1131-3. Se utiliza para la programación de tareas complejas en las que es necesario un procesamiento de gran cantidad de datos.

Lenguajes gráficos

- Son lenguajes en los que las instrucciones se representan mediante figuras geométricas. Son lenguajes de programación de este tipo son:
- El lenguaje de *esquema de contactos* que en STEP7 se denomina **LAD** (*Ladder Diagram*) o **KOP** (del alemán *Kontakts Plan*).
- El lenguaje de *diagrama de funciones* que en STEP7 se denomina **FBD** (*Function Block Diagram*) o **FUP** (del alemán *Funktions Plan*).
- El *diagrama funcional de secuencias* **SFC** (*Sequential Function Chart*) que en STEP7 se denomina **S7-GRAPH**, cuyo principal antecedente es el lenguaje GRAFCET (Grafo de control etapa-transición) desarrollado por la Asociación Francesa para la Cibernética Económica y Técnica (AFCET).
- El *diagrama de transición de estados* **S7-HiGraph** y el lenguaje de *conexión de bloques* **CFC** (*Continuous Function Chart*) similar al diagrama de funciones, en el que cada bloque es a su vez un programa.

Todos estos lenguajes facilitan la labor de programación del usuario y la elección de uno u otro depende de su experiencia y conocimientos (en electrónica digital, informática, realización de sistemas de control con relés, etc.), de la forma en que se especifica el problema de control a resolver y de la complejidad del mismo.¹¹

¹¹ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

2.5.1.1 Unidades de organización del programa

Cuando la aplicación es compleja, es preciso programar varias tareas que se encarguen de la ejecución de una o más unidades de organización del programa, denominadas "Bloques", que son instrucciones o conjuntos de instrucciones relacionadas entre sí que proporcionan una determinada funcionalidad. Se consigue así una división del programa en partes fácilmente comprensibles y una mayor facilidad para su puesta en marcha.

En STEP7 existen tres tipos distintos de unidades de organización de programa, que son los bloques de organización, las funciones y los bloques funcionales. A continuación, se analiza cada uno de ellos.

Bloques de organización

En las aplicaciones de los autómatas programables, hay determinadas tareas que deben ser ejecutadas periódicamente o cuando se producen determinados sucesos. Para facilitar al usuario la tarea de desarrollo del programa, STEP7 pone a su disposición un conjunto de bloques que se ejecutan en las circunstancias citadas.

Dichos bloques reciben el nombre de bloques de organización porque constituyen a la estructuración del programa de control. Entre los bloques de organización más utilizados cabe citar el bloque OB1 que se ejecuta cíclicamente y en el bloque OB100 que se ejecuta al pasar el autómata programable de la situación de paro (*stop*) a la de ejecución (*run*).

Funciones

Las funciones, denominadas FC (abreviatura de *Function*), son unidades de organización del programa que tiene como objetivo:

- Agrupar las instrucciones que se tiene que ejecutar varias veces a lo largo del programa.

- Subdividir el programa en partes fácilmente comprensibles.

Su invocación se realiza en los lenguajes literales de STEP7 mediante una operación específica de llamada. Una función es una unidad de organización del programa que puede actuar de dos formas distintas:

- Proporcionando un resultado en forma de parámetro que puede ser utilizado fuera de la propia función en el resto del programa.
- Como una entidad independiente que facilita la división del programa en partes fácilmente comprensibles.

Bloques de funciones

Un bloque funcional, denominado FB (acrónimo de *Function Block*), representa un algoritmo que pueden ser utilizado en numerosos sistemas de control y constituye una unidad de organización del programa que, al ser ejecutada, proporciona una o más variables de salida. Su comportamiento se puede aproximar mediante el concepto de "caja negra" (*Black Box*) que funciona de una forma perfectamente definida. Se caracteriza por poseer variables de estado interno que pueden almacenar resultados parciales. Por ello siempre tienen asociado un bloque de datos (DB).

Los bloques funcionales pueden realizar una función "clásica" como por ejemplo un biestable, o como una función definida por el usuario, como por ejemplo un bucle de control de temperatura.¹²

¹² Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

2.5.2 Lenguaje de esquema de contactos (KOP) de STEP7

2.5.2.1 Conceptos generales

El lenguaje de esquema de contactos (*Ladder diagram*) del sistema STEP7 de Siemens, recibe este nombre porque la tarea que debe realizar el autómata programable se especifica gráficamente mediante un esquema de contactos. Este lenguaje está especialmente indicado para:

- Facilitar el cambio de un sistema de control lógico implementado con relés por un autómata.
- Hacer más fácil el diseño de sistemas sencillos de control lógico con autómatas programables.

Este lenguaje de STEP7 se caracteriza por representar las variables lógicas mediante la bobina de relé y a los contactos asociados a él. Dichos contactos pueden ser normalmente abiertos (abiertos cuando el relé está desactivado y cerrados en caso contrario) o normalmente cerrados (cerrados cuando el relé está desactivado o en caso contrario).

La bobina del relé se representa mediante un símbolo "()", el contacto normalmente abierto mediante el símbolo "-| |-" y el contacto normalmente cerrado mediante el símbolo "-| / |-".

El programa de control en este lenguaje se diseña mediante una unidad de programación que visualiza el esquema de contactos en una pantalla gráfica.¹³

¹³ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

2.5.2.2 Identificación de variables

A cada contacto se le asigna una variable cuya identificación es igual a la utilizada en el lenguaje de lista de instrucciones.¹⁴

Se les denomina "entrada" a las señales de sensores o botones que llegan al sistema en forma de señal de 24 V DC.

Se les denomina "salida" a las señales hacia actuadores o indicadores que salen del sistema en forma de señal de 24 V DC.

A la variable de entrada se le determina como I0.0 en adelante y le corresponde un contacto normalmente abierto "-| |-". y en caso de ser una variable I0.0 negada le correspondería un contacto normalmente cerrado "-| / |-".

Las variables de salida externa o interna, generalmente una combinación de variables binarias.¹⁵ En caso de ser una variable de salida interna se le denominará el nombre de "marca" usándose como M0.0 en adelante y cuando es una variable de salida externa se usa como Q0.0 en adelante. Ambas se representan con el símbolo "()", en caso de ser variables de salidas negadas se usará el símbolo "(/)".

2.5.2.3 Operaciones con contactos

En este lenguaje se siguen las reglas del álgebra de contactos. Las funciones lógicas se representan mediante un circuito de contactos conectados en serie de salida generad por él. El cierre de dicho circuito de contactos hace que se active la variable de salida correspondiente. En el lenguaje de esquema de contactos de STEP7 se pueden representar fácilmente las diferentes operaciones lógicas.¹⁶

¹⁴ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

¹⁵ Ídem.

¹⁶ Ídem.

2.5.2.3.1 Operaciones lógicas

Operación lógica O

Esta operación se representa mediante un montaje en paralelo de contactos que pueden ser normalmente abiertos, normalmente cerrados o combinación de ambos.

Operación lógica Y

Esta operación se representa mediante un montaje en serie de contactos que pueden ser normalmente abiertos, normalmente cerrados o combinación de ambos.

Operación lógica O de operaciones Y

Esta operación se representa mediante la combinación en paralelo de contactos conectados en serie.

Operación lógica Y de operaciones O

Esta operación se representa mediante la combinación en serie de contactos conectados en paralelo.

Mediante la combinación de esta operación y de la anterior se obtienen operaciones más complejas.¹⁷

2.5.2.3.2 Operaciones de memorización

En el lenguaje de esquema de contactos de STEP7 se define un conjunto de operaciones que facilitan la memorización de variables. Para disponer de estas operaciones el autómata programable debe tener una zona de memoria retentiva o no volátil (que no pierda la información al dejar de recibir la tensión de alimentación). Dicha memoria puede estar realizada con una memoria activa RAM combinada con una batería o con una memoria pasiva del tipo EEPROM.¹⁸

¹⁷ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

¹⁸ Ídem.

2.5.2.4 Operaciones con contactos y bloques

Para incorporar ciertas instrucciones, como por ejemplo las de flanco, temporización y contaje, en el lenguaje de esquema de contactos de STEP7 se utiliza un bloque (símbolo lógico).¹⁹

2.5.2.4.1 Operaciones con flancos

En el lenguaje de esquema de contactos de STEP7 se definen operaciones que facilitan el trabajo con flancos. Estas operaciones se utilizan para generar un impulso cuando se detecta un flanco en una variable o en una combinación lógica de variables.²⁰

2.5.2.4.2 Operaciones con temporizador

El sistema de programación STEP7 dispone de tres tipos de temporizadores:²¹

- TP: Arrancar el temporizador como impulso.
- TON: Arrancar el temporizador como retardo a la conexión.
- TOF: Arrancar el temporizador como retardo a la desconexión.

Ofrecen una señal de salida en estado alto por un tiempo determinado al detectarse el flanco de activación.

¹⁹ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

²⁰ Ídem.

²¹ Gútiez, I. (12 de julio de 2018). *Temporizadores en TIA Portal*. Obtenido de ProgramaciónSiemens.com: <https://programacionsiemens.com/temporizadores-en-tia-portal/>

2.5.2.4.3 Operaciones con contaje

El sistema de programación STEP7 dispone de tres tipos de contadores:²²

- CTU: Contador ascendente
- CTD: Contador descendente
- CTUD: Contador ascendente – descendente

Su función es aumentar o disminuir una variable tipo WORD cada vez que se detecte un flanco de activación.

2.5.3 Método GRAFCET

Los primeros métodos para el desarrollo de automatismos eran puramente intuitivos, llevados a términos por expertos y desarrollados basándose en la experiencia.

En la actualidad se utilizan métodos más sistemáticos con lo que no es necesario ser un experto en automatismos para llevarlos a término.

El GRAFCET es un diagrama funcional que describe los procesos a automatizar, teniendo en cuenta las acciones a realizar, y los procesos intermedios que provocan estas acciones.

Este método de representación es aceptado en Europa y homologado por varios países, entre ellos Francia por la norma NFC-03-190 y en Alemania por DIN.²³

²² Gútiez, I. (24 de mayo de 2019). *Contadores en TIA Portal*. Obtenido de ProgramaciónSiemens.com: <https://programacionsiemens.com/contadores-en-tia-portal/>

²³ Manuel Gea, J. (02 de marzo de 2006). *Introducción al GRAFCET*. Obtenido de GRAFCET: <https://www.automatas.org/redes/grafcet.htm>

Reglas del método GRAFCET

Un GRAFCET está compuesto de (Imagen 2.5.3.1):

- Etapa: Define un estado en el que se encuentra el automatismo. Las etapas de inicio se marcan con un doble cuadrado.
- Acción asociada: Define la acción que va a realizar la etapa. Por ejemplo, conectar un contactor, desconectar una bobina, etc.
- Transición: Es la condición o condiciones que, conjuntamente con la etapa anterior, hacen evolucionar el GRAFCET de una etapa a la siguiente. Por ejemplo, un pulsador, un detector, un temporizador, etc.²⁴

En el diagrama debemos valorar todas las posibilidades de evolución del automatismo, en cada etapa las posibles transiciones que se pueden cumplir y como deben actuar. Debemos realizar el diagrama de tal manera que de una etapa pase a otra, considerando que cuando paremos la maniobra, este estado también es una etapa que no conectará nada.²⁵

2.6 Interfaz máquina-usuario

Cuando la máquina que se controla mediante un autómata programable es sencilla, el usuario no suele tener que proporcionarle información ni recibirla de ella. Pero cuando la máquina debe interactuar con el operador como, por ejemplo, para realizar la gestión de alarmas, o es compleja, el sistema electrónico de control debe proporcionar al usuario la posibilidad de modificar parámetros, observar el estado de determinadas, etc. Para ello se dota al autómata programable de un periférico que sirve de unidad de acoplamiento (interfaz) entre el usuario y la máquina. Dicho periférico suele recibir el nombre de HMI (*acrónimo de Human Machine Interface*).

²⁴ Manuel Gea, J. (02 de marzo de 2006). *Introducción al GRAFCET*. Obtenido de GRAFCET: <https://www.automatas.org/redes/grafcet.htm>

²⁵ Ídem.

Existen varias formas de realizar una unidad HMI entre las que cabe citar los paneles de operación, las pantallas táctiles y los paneles con computador industrial embebido.²⁶

2.6.1 Paneles táctiles

Los paneles táctiles conocidos por las siglas TP (acrónimo de *Touch Panel*) utilizan una pantalla gráfica que posee elementos sensores sensibles al tacto. De esta forma la pantalla realiza la función de entrada y de salida y se elimina el teclado.

Al igual que los paneles de operación, las pantallas táctiles pueden poseer diferentes características en lo referente a las dimensiones de la pantalla, capacidad gráfica de la misma, interfaces integradas, etc. En cada aplicación se debe elegir el tipo de panel táctil adecuado.²⁷

2.6.2 HMI Siemens Simatic KTP700 Basic

Esta interfaz con pantalla táctil (Imagen 2.6.2.1) cuenta con las siguientes características:²⁸

- Pantalla de 7" TFT [Thin Film Transistor] (película delgada de transistores)
- 800 x 480 pixeles
- Colores 64K (65 536 colores diferentes)
- Manejo táctil o con teclado
- 8 teclas de función
- 1 x PROFINET
- 1 x USB

²⁶ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

²⁷ Ídem.

²⁸ Siemens. (13 de febrero de 2020). SIMATIC KTP700 Basic 6AV2 123-2GB03-0AX0. México.

2.7 Software TIA Portal

STEP 7 ofrece un entorno confortable que permite desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos del proyecto, tales como controladores y dispositivos HMI.

Para poder encontrar la información necesaria, STEP 7 ofrece un completo sistema de ayuda en pantalla.

Nota: STEP 7 es el componente de software para programación y configuración del TIA Portal. El TIA Portal, además de STEP 7, también contiene WinCC para el diseño y la ejecución de la visualización de procesos en runtime, con ayuda en pantalla para WinCC y STEP 7.

STEP 7 proporciona un entorno de fácil manejo para programar la lógica del controlador, configurar la visualización de HMI y definir la comunicación por red. Para aumentar la productividad, STEP 7 ofrece dos vistas diferentes del proyecto, a saber: Distintos portales orientados a tareas y organizados según las funciones de las herramientas (Imagen 2.7.1) o una vista orientada a los elementos del proyecto (Imagen 2.7.2). El usuario puede seleccionar la vista que considere más apropiada para trabajar eficientemente. Con un solo clic es posible cambiar entre la vista del portal y la vista del proyecto.²⁹

Puesto que todos estos componentes se encuentran en un solo lugar, es posible acceder fácilmente a todas las áreas del proyecto. La ventana de inspección, por ejemplo, muestra las propiedades e información acerca del objeto seleccionado en

²⁹ Siemens. (14 de marzo de 2014). *SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200*. Obtenido de Siemens: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/109478121/att_851434/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

el área de trabajo. Si se seleccionan varios objetos, la ventana de inspección muestra las propiedades que pueden configurarse. La ventana de inspección incluye fichas que permiten ver información de diagnóstico y otros mensajes.

La barra de editores agiliza el trabajo y mejora la eficiencia, ya que muestra todos los editores que están abiertos. Para cambiar entre los editores abiertos, basta con hacer clic sobre el editor en cuestión. También es posible visualizar dos editores simultáneamente, ya sea en mosaico vertical u horizontal. Esta función permite mover elementos entre los editores mediante Drag & Drop.³⁰

2.8 Comunicación por Red Industrial Universal Profinet

Profinet (*PROcess FieId NET*) es una red universal Ethernet Industrial, basada en la red Ethernet y en los protocolos TCP/IP de Internet. Profinet proporciona servicios para implementar las comunicaciones en todos los niveles de la pirámide CIM y eso sustituye por ello a las redes de datos, las de controladores y las de sensores-actuadores y además supera las prestaciones de éstas últimas para poder controlar en tiempo real sistemas en movimiento (*Motion Control*) que exigen un tiempo de respuesta T_R (Response Time) inferior a 1ms. Una de sus funciones se aplica en:³¹

- Los controladores (autómatas programables) y las unidades de interfaz usuario-máquina (HMI) que se utilizan en aplicaciones que necesitan un tiempo de respuesta T_R comprendido entre 10 y 100ms. Las comunicaciones en este tipo de sistema reciben en Profinet el nombre de comunicaciones que no se realizan en tiempo real y se les conoce como NRT (*Non Real Time*).

³⁰ Siemens. (14 de marzo de 2014). *SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200*. Obtenido de Siemens: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/109478121/att_851434/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

³¹ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

Redes de topología estrella

Utilizan un conmutador (switch) que actúa como distribuidor central al que se conectan diferentes equipos (controladores lógicos programables, interfaces táctiles humano-máquina y equipos de cómputo) que intercambian información a través de él.

Este tipo de red es adecuado para implementar celdas de fabricación flexible y máquinas individuales.³²

Conductores

El par trenzado sin blindar denominado UTP (acrónimo de Unshielded Twisted Pair) es el medio de comunicación más utilizado por su bajo coste y fácil instalación.³³

2.9 Electrónica industrial

2.9.1 Sensores industriales

El sensor es un dispositivo que al ser expuesto a un fenómeno físico (temperatura, desplazamiento, forma, etc.) produce una señal de salida proporcional (eléctrica, mecánica, magnética, etc.). El término transductor se usa a menudo como sinónimo de sensores. Sin embargo, idealmente, un sensor es un dispositivo que responde al cambio de un fenómeno físico.

Los sensores se pueden clasificar como pasivos y activos. En los sensores pasivos, la energía necesaria para producir la salida es proporcionada por el fenómeno físico del fenómeno (como un termómetro), mientras que los sensores activos requieren de una fuente de alimentación externa (como un medidor de tensión).

³² Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

³³ Ídem.

Más aún, los sensores son clasificados como analógicos o digitales en el principio básico de los tipos de señal de salida. Los sensores analógicos producen una señal continua que está en proporción al parámetro sensado y normalmente requiere de una conversión analógica-digital (ADC) antes de alimentar al controlador. Por otra parte, los sensores digitales producen salidas que pueden ser conectadas directamente al controlador digital.³⁴

2.9.1.1 Sensores todo - nada de tres hilos

Se caracterizan por tener tres terminales de salida, a través de dos de los cuales se proporciona la tensión de alimentación al sensor y la carga se conecta entre el tercero y uno de los otros dos. La corriente I_L que circula a través de la carga es prácticamente nula o tiene un valor apreciable según que el sensor esté o no activado respectivamente. Según el tipo de dispositivo situado a la salida del sensor la carga se conecta entre la salida y el positivo de la fuente de alimentación o entre ella y el negativo de la fuente de alimentación. En el primer caso se puede realizar con un transistor bipolar NPN (Imagen 2.9.1.1.1) y el segundo con un transistor bipolar PNP (Imagen 2.9.1.1.2).³⁵

2.9.1.1.1 Sensores de proximidad

El sensor de proximidad, es usado para determinar la presencia (en oposición al alcance real) de objetos cercanos, fueron desarrollados para extender el rango de detección más allá del que ofrecen los sensores táctiles o táctiles de contacto directo.

Recientes avances en la tecnología han mejorado significativamente el rendimiento y la confiabilidad, aumentando así el número de posibles aplicaciones. Como

³⁴H. Bishop, R. (2008). *Mechatronic systems, sensors, and actuators. Fundamentals and Modeling*. Austin: CRC Press.

³⁵ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

resultado, muchas instalaciones industriales que históricamente habían utilizado interruptores de límite mecánicos ahora pueden escoger entre una variedad de dispositivos alternativos sin contacto para su elección (entre una fracción de pulgada y unas pocas pulgadas) de necesidades en detección. Tales sensores de proximidad se clasifican en varios tipos de acuerdo a la propiedad específica que usa para iniciar una acción de conmutación:³⁶

- Magnético
- Inductivo
- Ultrasónico
- Microonda
- Óptico
- Capacitivo

2.9.1.1.1.1 Sensores magnéticos

La variedad más confiable del sensor magnético en la industria es la del tipo de estado sólido, ya que funciona en base al efecto Hall.

El efecto Hall fue descubierto por Edwin Herbert Hall en 1879. Hall notó que un pequeño voltaje (voltaje Hall) era generado en la dirección transversal a través de un conductor que lleva una corriente en presencia de un campo magnético externo.³⁷

Los sensores de proximidad magnéticos basan su funcionamiento en la influencia del campo magnético sobre algunos metales con propiedades magnéticas.³⁸

³⁶ H. Bishop, R. (2008). *Mechatronic systems, sensors, and actuators. Fundamentals and Modeling*. Austin: CRC Press.

³⁷ Ídem.

³⁸ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

2.9.1.1.1.2 Sensores inductivos

Los sensores inductivos de proximidad basan su funcionamiento en la interacción entre el objeto a detectar y el campo electromagnético generado por el propio sensor.

El sensor cuenta con un sistema donde una bobina junto a un circuito LC con oscilador que está diseñado cumplir la función de oscilar en ausencia de un material ferromagnético. Por ello, cuando una pieza de dicho material se acerca a la bobina se modifica el campo electromagnético y varía el valor de L (Inductancia). Como consecuencia de ello el circuito LC de oscilar.³⁹ Cuando la respuesta del circuito oscilador es nula se traduce en un objeto detectado.

2.9.1.1.1.3 Sensores optoelectrónicos

Los sensores optoelectrónicos de proximidad detectan la presencia de un objeto mediante fenómenos relacionados con la luz. Suelen recibir diferentes nombres, entre los que cabe citar los de fotocélulas (*Photoelectric Switches or photocells*), detectores optoelectrónicos (*Optoelectronic detectors*), sensores de proximidad ópticos (*Optical proximity sensors*) y detectores de proximidad fotoeléctricos (*Proximity photoelectric detectors*). Se componen, en general, de un emisor y un receptor. El emisor genera un rayo de luz dentro de un espectro visible, infrarrojo cercano o láser. El receptor recibe o no el rayo emitido por el emisor, o lo recibe con algún cambio específico de sus características, según que en su trayectoria encuentre o no el objeto a detectar.⁴⁰

³⁹ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

⁴⁰ Ídem.

Activación de salida

Las fotocélulas pueden tener dos modos de operación según la salida se active cuando el receptor recibe luz (Light On) o cuando no lo recibe luz en absoluto (Dark On).⁴¹

Fotocélulas de reflexión difusa

El emisor y receptor se encuentran montados dentro de la misma carcasa. Las fotocélulas de reflexión difusa (Diffuse Reflective Sensors) sobre objeto, el emisor emite un haz de luz que se refleja en el objeto y vuelve hacia el receptor. Se caracteriza por el hecho de que la luz se refleja en múltiples direcciones y por ello se denomina difusa.⁴²

En caso de ser un sensor fotoeléctrico de reflexión difusa es recomendable utilizar el modo de operación cuando el receptor recibe luz (Light On) para tener una señal de salida en modo alto al detectar un objeto (Imagen 2.9.1.1.1.3.1).

2.9.2 Contactores

El contactor es un aparato eléctrico de mando a distancia, que puede cerrar o abrir circuitos, ya sea en vacío o en carga. Es la pieza clave del automatismo en el motor eléctrico.

Su principal aplicación es la de efectuar maniobras de apertura y cierre de circuitos relacionados con instalaciones de motores. Excepto los pequeños motores individuales, que son accionados manualmente o por relé, el resto de motores se accionan por contactores.

⁴¹ Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

⁴² Ídem.

Un contactor está formado por una bobina y unos contactos, que pueden estar abiertos o cerrados, y que hacen de interruptores de apertura y cierre de la corriente en el circuito. La bobina es un electroimán que acciona los contactos, abriendo los cerrados y cerrando los contacto abiertos. Cuando le deja de llegar corriente a la bobina los contactos vuelven a su estado de reposo.⁴³

2.9.3 Disyuntores termomagnéticos

Los interruptores termomagnéticos están diseñados para interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. El dispositivo consta de dos partes: un electroimán y una lámina bimetálica. Ambas conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga. Los interruptores termomagnéticos protegen la instalación eléctrica contra picos de corrientes (sobrecargas y cortocircuitos).⁴⁴

2.9.4 Relevadores (relés)

Un relevador es un interruptor que puede ser controlador eléctricamente. Este dispositivo también puede entenderse como un controlador electro-mecánico. Fue inventado por el científico estadounidense Joseph Henry quien descubrió el fenómeno electromagnético de autoinductancia e inductancia mutua. Este principio le permitió crear un tipo de electroimán que al activarse puede controlar a un interruptor, este es el principio del relevador.⁴⁵

⁴³ Brico, R. (27 de abril de 2017). *¿Qué es un contactor?* Obtenido de Bricovoltio: <http://bricovoltio.com/contactor-automatismo>

⁴⁴ IUSA. (28 de enero de 2020). *Interruptor termomagnético 1, 2, 3 polos de 3/4" IUSA-NOARK Tipo Enchufable*. Obtenido de IUSA: <http://ws.iusa.com.mx/Documentacion/Interruptores/Ficha/616634.pdf>

⁴⁵ Torres, H. (9 de agosto de 2017). *Qué es un Relevador o Relé*. Obtenido de Hetpro: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/que-es-un-relevador-o-rele/>

2.9.5 Botonería

2.9.5.1 Contactos

Los contactos pueden tener dos estados, abierto o cerrado. Cuando el contacto es normalmente abierto significa que en estado de reposo ese contacto se encuentra abierto, lo que significa que entre los dos puntos del contacto no hay continuidad.

En el caso del contacto normalmente cerrado es justo lo contrario, en reposo el contacto está cerrado teniendo continuidad entre los dos puntos del contacto.⁴⁶

2.9.5.2 Botones operadores no iluminados

2.9.5.2.1 Rasantes

Botón que en su posición inicial está sensiblemente al nivel de la superficie fija circundante y se encuentra por debajo de esta superficie cuando está accionado.⁴⁷

2.9.5.2.2 Girar y soltar

Auxiliar de mando provisto de un elemento de mando destinado a accionarse pulsándolo con la mano y después tirando de él girando hacia su posición inicial o viceversa. Existen también versiones pulsar-pulsar o girar-soltar.⁴⁸

⁴⁶ Automantenimiento.net. (21 de mayo de 2013). *Contacto normalmente abierto o cerrado*. Obtenido de Automantenimiento.net: <https://automantenimiento.net/electricidad/contacto-normalmente-abierto-o-cerrado/>

⁴⁷ Glosario electricidad. (7 de junio de 2017). *Botón rasante*. Obtenido de Glosario electricidad: <https://glosarios.servidor-alicante.com/electricidad/boton-rasante>

⁴⁸ Glosario electricidad. (7 de junio de 2017). *Botón girar y soltar*. Obtenido de Glosario electricidad: <https://glosarios.servidor-alicante.com/electricidad/boton-pulsar-tirar>

2.9.6 Indicadores

2.9.6.1 LED para lámparas

Un indicador LED para lámparas es una unidad de iluminación con un rango de voltaje de activación de (12 - 30) V AC/DC.⁴⁹

2.9.6.2 Lentes para lámparas

Lentes translucidos de colores diferentes para los indicadores LED.⁵⁰

2.10 Sistema neumático

Las instalaciones neumáticas son máquinas y aparatos que trabajan con aire comprimido. La neumática abarca la totalidad de las aplicaciones de las instalaciones neumáticas.⁵¹

2.10.1 Unidad de mantenimiento (Unidad FR)

En las instrucciones para el servicio de los elementos neumáticos figura casi siempre la indicación "es recomendable la conexión previa de una unidad de mantenimiento". De esta manera queda garantizado que al consumidor sólo llega aire comprimido debidamente preparado.

Una unidad de mantenimiento está formada por el filtro, el regulador y el engrasador (lubricante). El aire comprimido procedente de la red general, además de las

⁴⁹ Eaton. (16 de enero de 2020). *Catálogo general: Productos de control y distribución de energía*. Obtenido de Eaton:

<http://www.eaton.mx/EatonMX/ProductosYSoluciones/Energia/Soporte/Catalogos/Control/index.htm>

⁵⁰ Ídem.

⁵¹ Deppert, W. (2001). *Dispositivos neumáticos*. Colombia: Alfaomega.

impurezas que pueden pasar a él en la aspiración del compresor, contiene también otras impurezas procedentes de la red de tuberías tales como, por ejemplo, polvo, cascarillas y residuos de la oxidación. Con un tendido adecuado de la red general, una gran parte de las impurezas se separan en los recipientes para la condensación, pero las más pequeñas son arrastradas en forma de suspensión por la corriente de aire y actuarían en las partes móviles de los elementos neumáticos como un abrasivo.

Además, la corriente de aire en la red fluctúa, aunque sólo sea en los puntos de arranque y parada del compresor en función de la presión en el depósito acumulador. No obstante, los consumidores deben poder trabajar siempre con la misma presión de aire; a lo anterior ha de añadirse el hecho de que las partes móviles de los elementos neumáticos también necesitan una lubricación.

El filtro tiene la misión de liberar al aire comprimido circulante de todas las impurezas y del agua en suspensión.

El regulador (válvula de presión) tiene la misión de mantener constante el consumo de aire y presión de trabajo (presión secundaria) con independencia de la presión de la red variable (presión primaria).⁵²

2.10.2 Manifold

En los sistemas neumáticos SMC el manifold es una pieza colectora que agrupa electroválvulas en mini bloques que están aislados entre sí mismos el cual permite individualidad de regulación y sentido de flujo de aire comprimido.

La activación de cada electroválvula depende del tipo de conexión en el cableado interior del manifold.⁵³

⁵² Deppert, W. (2001). *Dispositivos neumáticos*. Colombia: Alfaomega.

⁵³ SMC. (14 de agosto de 2019). Serie VQ4000/5000.

2.10.3 Válvulas (electroválvulas)

Las válvulas son dispositivos para controlar o regular el arranque, parada y sentido, así como la presión o el flujo del medio impulsado por una bomba hidráulica, un compresor, una bomba de vacío o acumulado en un depósito.

Las válvulas usadas en neumática sirven principalmente para controlar un proceso actuado sobre las magnitudes que intervienen en él. Para poder controlar, se necesita una energía de control con la que debe intentarse conseguir el mayor efecto posible con el gasto mínimo. La energía de control viene determinada por la forma de accionamiento de una válvula y puede conseguirse manualmente o por medios mecánicos, eléctricos, hidráulicos o neumáticos. En caso de ser accionadas por medios eléctricos son nombradas electroválvulas.

Las válvulas distribuidoras influyen en el camino del aire comprimido (de manera de arranque, parada y sentido de paso).⁵⁴

2.10.4 Válvula de arranque progresivo

Válvula de arranque progresivo que permite el suministro aumentando inicialmente la presión de forma gradual, y permitiendo una evacuación rápida del aire cuando se corta la presión.⁵⁵

⁵⁴ Deppert, W. (2001). *Dispositivos neumáticos*. Colombia: Alfaomega.

⁵⁵ SMC. (23 de febrero de 2019). Serie AV2000-A/3000-A/4000-A/5000-A.

2.10.5 Cilindros

El cilindro de aire comprimido es por regla general el elemento productor de trabajo (órgano motor) en un equipo neumático. Su misión es la de generar un movimiento rectilíneo, subdividido en carrera de avance y carrera de retroceso (a diferencia del motor de aire comprimido, que produce un movimiento de rotación) y de este modo transforma la energía estática en trabajo mecánico (fuerzas de movimiento y esfuerzos de compresión).

Cilindro de doble efecto

El cilindro de aire comprimido de doble efecto se construye siempre en forma de cilindro de émbolo y posee dos tomas para el aire comprimido situadas a ambos lados el émbolo.⁵⁶

2.11 Sistema hidráulico

Un sistema hidráulico (Imagen 2.11.1) utiliza un fluido bajo presión para accionar maquinaria o mover componentes mecánicos. Los sistemas hidráulicos se utilizan en todo tipo de entornos industriales grandes y pequeños, así como en edificios, equipos de construcción y vehículos. Las fábricas de papel, la tala de árboles, la fabricación, la robótica y el procesamiento del acero son los principales usuarios de equipos hidráulicos.

El movimiento controlado de piezas o la aplicación controlada de fuerza es un requisito común en las industrias. Estas operaciones se realizan principalmente utilizando máquinas eléctricas o motores diésel, gasolina y vapor. Este tipo de motores pueden proporcionar varios movimientos a los objetos mediante el uso de algunos accesorios mecánicos como martinets, palancas, cremalleras, piñones, etc.

⁵⁶ Deppert, W. (2001). *Dispositivos neumáticos*. Colombia: Alfaomega.

Los fluidos encerrados (líquidos y gases) también se pueden utilizar como motores principales para proporcionar movimiento y fuerza controlada a los objetos o sustancias. Los sistemas de fluidos especialmente diseñados pueden proporcionar movimientos tanto lineales como rotativos.

Este tipo de sistemas cerrados basados en fluidos que utilizan líquidos incompresibles presurizados como medios de transmisión se denominan sistemas hidráulicos. El sistema hidráulico funciona según el principio de la ley de Pascal que dice que la presión en un fluido encerrado es uniforme en todas las direcciones.

El fluido hidráulico es el medio a través del cual un sistema hidráulico transmite su energía y, teóricamente, se puede utilizar prácticamente cualquier fluido. Sin embargo, debido a la presión de operación (3000 a 5000 psi) que la mayoría de los sistemas hidráulicos generan en combinación con las condiciones ambientales y los estrictos criterios de seguridad bajo los cuales debe operar el sistema como lo es:⁵⁷

- Alto punto de inflamación
- Viscosidad adecuada
- Lubricante
- Capacidad Térmica/Conductividad

Generalmente se usan aceites hidráulicos especializados para los sistemas hidráulicos.

⁵⁷ Aula 21. (31 de marzo de 2018). *¿Qué es un sistema hidráulico y cómo funciona?* Obtenido de Aula 21 Centro de formación técnica para la industria: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-hidraulico/>

2.11.1 Depósito

El propósito del depósito hidráulico es retener un volumen de fluido, transferir calor del sistema, permitir que los contaminantes sólidos se asienten y facilitar la liberación de aire y humedad del fluido.⁵⁸

2.11.2 Bomba hidráulica

La bomba hidráulica transmite energía mecánica a la energía hidráulica. Esto se hace por el movimiento del fluido que es el medio de transmisión. La energía mecánica se convierte en energía hidráulica mediante el caudal y la presión de una bomba hidráulica. Las bombas hidráulicas funcionan creando un vacío en la entrada de la bomba, forzando el líquido de un depósito a una línea de entrada y a la bomba. La acción mecánica envía el líquido a la salida de la bomba y, al hacerlo, lo introduce en el sistema hidráulico.

Bombas centrífugas

La bomba centrífuga utiliza energía cinética rotacional para entregar el fluido. La energía de rotación proviene normalmente de un motor o de un motor eléctrico.

2.11.3 Válvula (electroválvula)

Las válvulas hidráulicas se utilizan en un sistema para arrancar, detener y dirigir el flujo de fluido. Las válvulas hidráulicas están compuestas de paletas o carretes y pueden ser accionadas por medios neumáticos, hidráulicos, eléctricos, manuales o mecánicos.⁵⁹

⁵⁸ Aula 21. (31 de marzo de 2018). *¿Qué es un sistema hidráulico y cómo funciona?* Obtenido de Aula 21 Centro de formación técnica para la industria: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-hidraulico/>

⁵⁹ Ídem.

2.11.4 Cilindros hidráulicos

Un cilindro hidráulico es un mecanismo que convierte la energía almacenada en el fluido hidráulico en una fuerza utilizada para mover el cilindro en una dirección lineal. También tiene muchas aplicaciones y puede ser de simple o doble efecto. Como parte del sistema hidráulico completo, los cilindros inician la presión del fluido, cuyo caudal es regulado por un motor hidráulico.⁶⁰

2.11.5 Electroválvula de alivio

Las válvulas de control de presión, o también llamadas válvulas de alivio controlan el máximo del nivel de presión, ya sea en la línea de la bomba o en alguna de las líneas de conexión.

Las válvulas de alivio limitan el nivel de presión máxima a la cual se le permite al circuito elevarse. Se mantiene cerrada durante los periodos de operación cuando la presión es menor que lo máximo permitido al circuito, pero se abre para darle una ruta de escape al aceite para descargarse de regreso al depósito de aceite si la presión se eleva demasiado alto debido a una sobrecarga que se crea en el sistema.⁶¹

⁶⁰ Aula 21. (31 de marzo de 2018). *¿Qué es un sistema hidráulico y cómo funciona?* Obtenido de Aula 21 Centro de formación técnica para la industria: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-hidraulico/>

⁶¹ Aceros y sistemas hidráulicos de México. (20 de noviembre de 2014). *¿Cómo Funcionan las Válvulas de Alivio?* Obtenido de Aceros y sistemas hidráulicos de México: <http://www.ashm.mx/blog/como-funcionan-las-valvulas-de-alivio/>

CAPÍTULO III

DESARROLLO Y METODOLOGÍA

3.1 Requerimientos de programación para la estación de ensamble

Arbomex S.A. de C.V. confirió la responsabilidad a Desalti Ingeniería y Desarrollo de crear una estación automatizada, con el fin de ensamblar tres configuraciones diferentes en base a dos modelos de enganchadores de remolques (tow hitch).

El proceso de ensamble se manejó con un controlador lógico programable Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC con referencia 6ES7 214-1AG40-0XB0 acoplado a un módulo de entradas digitales SM 1221 DI16 x 24V DC con referencia 6ES7 221-1BH32-0XB, ambos elementos serán llamados desde ahora llamada "PLC". Además, este sistema requirió ser controlado desde una pantalla táctil Siemens Simatic KTP700 Basic, con referencia 6AV2 123-2GB03-0AX0 desde ahora llamado "HMI", por medio de una interfaz sencilla y eficaz.

Cada ensamble consiste en los siguientes componentes (Imagen 3.1.1) (Tabla 3.1.1). El ensamble de los modelos 640, 641 y 642 de tow hitch se llevó a cabo por medio de cuatro pistones neumáticos y dos pistones hidráulicos. Cada uno de ellos tenía una tarea diferente:

Pistones neumáticos:

1. Puerta de seguridad: Pistón con vástago acoplado a placa de policarbonato para aislar al operador del proceso interno de ensamble.
2. Pistón de componentes: Pistón con vástago unido a extensión paralela con finalidad de comprimir tres componentes en el interior de la pieza tow.
3. Pistón del clip: Pistón con vástago acoplado a molde para sujetar el clip con la finalidad de insertar esta última pieza en el tow y asegurar a los tres componentes anteriormente ingresados.

4. Pistón del nido: Pistón con vástago acoplado a nido, usado para la colocación del tow, con la finalidad de extraer este herramental fuera de la estación de ensamble para asegurar el nulo contacto del operador con pistones internos como lo son los pistones de pernos, el de componentes y de clip.

Pistones hidráulicos:

1. Pistón de perno izquierdo: Pistón con vástago acoplado a mazo para comprimir estrías del perno dentro del tow hitch izquierdo y así asegurar la unión bajo compresión.
2. Pistón del perno derecho: Pistón con vástago acoplado a mazo para comprimir estrías del perno dentro del tow hitch derecho y así asegurar la unión bajo compresión.

Los modelos comparten la similitud de incluir en su ensamble dos tapas (taps), un resorte (spring) y un seguro metálico (clip), el factor que difiere entre los modelos es el componente del perno (Tabla 3.1.2.).

A cada componente a ensamblar, junto a los inicios y finales de carrera de los pistones neumáticos, le correspondió un sensor de proximidad de diferente tipo para cerciorarse de su posición exacta en el proceso de ensamble.

Dentro de la estación de ensamble (Imagen. 3.1.2) se encuentran (Tabla 3.1.3):

- Un receptáculo de componentes.
- Un nido (o herramental) extraíble de la estación de ensamble.
- El pistón de componentes.
- El pistón del clip.
- El pistón del perno izquierdo.
- El pistón del perno derecho.

Sobre la estación de ensamble se encuentra únicamente el pistón de puerta de seguridad.

Dentro de la estación de ensamble podemos encontrar al receptor de componentes (Imagen 3.1.3) (Tabla 3.1.4) y al nido de tows como elementos de posicionamiento de piezas.

Los pernos se colocan sobrepuestos en sus barrenos correspondientes al tow para así quedar bajo la carrera de los pistones hidráulicos y ser comprimidos en el proceso y crear su unión. El diseño poka yoke del receptor de componentes aseguró siempre la posición correcta antes del ensamblado. (Imagen 3.1.4) (Tabla 3.1.5)

Otro elemento interior de la estación de ensamble es el receptor del clip (Imagen 3.1.5) (Tabla 3.1.6) y se utiliza para asegurarlo en la posición que lo hará insertarse en el tow al bajar el pistón anclado a él.

Los requerimientos principales solicitados por Arbomex S.A. de C.V. fueron los siguientes:

HMI

- Creación de tres modos de funcionamiento diferentes: Automático, Manual y Mantenimiento.
- Funciona con contraseña para modo Manual y Mantenimiento.
- En cualquier modo de funcionamiento, al regresar a menú principal, inhabilitar al instante todos los accesos y pulsar "Habilitador" y botón físico "Rearme" para comenzar la interacción al habilitar de nuevo todos los modos.
- Al estar operando en modo automático y salir de la pantalla, los accesos a Manual y Mantenimiento se bloquean hasta finalizar con el proceso pendiente de ensamblado y pulsar "Habilitador" con botón "Rearme. En ese momento se permite habilitar los modos.

Modo automático

- Activar el modo automático desde la HMI.
- Tres modelos y solo comienza hasta que detecte cerrada la puerta de seguridad.
- Normalmente la puerta está cerrada.
- Se dará una guía visual de la colocación correcta de los componentes al operador.
- Para comenzar el ensamble se deben pulsar dos botones rasantes bimanuales.

Modo manual

- Activar el modo manual desde la HMI.
- Ingresar contraseña y trabajar con puerta cerrada.
- Al manipular la activación de actuadores en HMI los pistones deben realizar su trabajo correspondiente.

Modo mantenimiento

- Activar el modo mantenimiento desde la HMI.
- Ingresar contraseña y trabajar con puerta abierta.
- En las entradas (sensores) solo deben ser estimulados y mostrar su activación en PLC y HMI, no deben estar vinculadas al proceso de ensamble.
- En las salidas (pistones) solo debe mostrarse la activación en las salidas físicas en el PLC, mas no debe activarse ningún actuador.

Para el proceso de ensamble automático Arbomex S.A. de C.V. solicitó la siguiente rutina:

Al entrar a la interfaz de cada modelo se comienza el ensamble automático al presionar un botón ubicado dentro de la pantalla táctil con la leyenda "Comenzar". En este momento el pistón de la puerta de seguridad se contrae para así permitir que el pistón del nido expulse esta última pieza mencionada. El operario coloca todos

los componentes en la posición correcta y es guiado con un panel visual en la pantalla táctil.

Una vez ubicados todos los componentes, el operador debe pulsar dos botones bimanuales ubicados a la izquierda y derecha, a la altura de la cintura, de su área de trabajo. Esta acción corresponderá a que el pistón del nido se retraiga al interior de la estación junto a los componentes e inmediatamente el pistón de la puerta de seguridad se extiende para así cerrar la puerta de seguridad. El operador deberá mantener pulsados ambos botones hasta el cerrado total de la puerta para así asegurar que sus manos no se encuentren dentro del proceso automático de ensamble. Una vez cerrada la puerta el operador puede soltar los botones.

La puerta de seguridad cerrada acciona al pistón de los componentes el cual llevará a las dos tapas y al resorte (taps y spring correspondientemente) del receptor de componentes poka yoke hacia dentro de la pieza de tow compactándolos en el proceso.

Una vez dentro los componentes, el pistón que tiene al clip acoplado baja hacia la rendija del tow para insertarlo dentro de él y así encapsular a las tapas y el resorte. Completada la acción pasada el pistón del clip debe subir hasta su inicio de carrera.

A continuación, el pistón de los componentes retrocede hasta su inicio. Una vez finalizados los procesos neumáticos, el pistón hidráulico correspondiente a cada modelo (izquierdo o derecho) debe ser accionado para bajar y comprimir las estrías del perno dentro del tow. Permanecerá allí tres segundos para después ser redirigido a su posición original.

Cumplida su función de compresión, el pistón de la puerta de seguridad se contrae y el pistón del nido se extiende para así expulsar la pieza de tow hitch finalmente ensamblada. El operario extrae la pieza del nido.

En esta etapa el operario puede continuar ensamblando consecutivamente o presionar el botón con la leyenda "Finalizar" ubicado en la pantalla táctil para así finalizar el proceso de ensamble automático correspondiente a ese modelo.

En este último caso el pistón del nido se contraerá hacia dentro de la estación de ensamble y culmina con extender el pistón de puerta de seguridad para así finalizar operaciones de ensamble para el modelo trabajado.

El sistema de control se comprendió de veintidós entradas digitales (Tabla 3.1.7) de los cuales se destruyeron en pulsadores, pulsadores rasantes, sensores magnéticos y sensores de proximidad inductivos PNP y NPN. Todos destinados a obtener información del estado del sistema.

El sistema de control se comprendió de diez salidas digitales (Tabla 3.1.8) de los cuales se destruyeron en indicadores luminosos, electroválvulas, contactores y relevadores. Estas salidas cumplieron las funciones de preactuadores para mover así pistones o un motor trifásico.

3.2 Diagramas de flujo de los modos de operación

La selección del modo de operación y demás funciones se determinaron por medio de botones virtuales en el HMI (Imagen 3.2.1). Las variables de entrada con la selección son comunicadas por medio de un conmutador (switch) al CPU del PLC para así permitir entrar al segmento correspondiente al modo de operación que fue pulsado por su contraparte en HMI.

El programa se dividió en ramificaciones que activan bloques de función anidadas correspondientes a la programación de cada modo de operación (Imagen 3.2.2).

3.3 Requerimientos de seguridad

Arbomex S.A. de C.V. solicitó los siguientes requerimientos de seguridad para el operario en general:

1. La pieza del nido debe ser expulsada al exterior de la estación de ensamble a la distancia suficiente para evitar el contacto con pistones o con la trayectoria de los vástagos.
2. Por ninguna razón debe comenzar el proceso mientras el operario se encuentra colocando los componentes del ensamble.
3. La operación de ensamblado en modo automático no se efectuará si la puerta de seguridad se encuentra abierta, tampoco si las piezas del ensamble están ausentes o son las incorrectas para el modelo correspondiente.
4. Se debe contar con un botón correspondiente a la función de paro de seguridad ubicado en una zona cercana al alcance del brazo del operario y que detenga de manera inmediata el proceso evitando algún accidente en el ensamblado o en la integridad física del operador. Además, deberá tener un pulsador que lleve a los pistones a una posición segura.
5. En caso de anomalías en el sistema o en la colocación de componentes en diferentes modelos de ensamble se debe desplegar una alarma que indique al operario la situación para que sea corregida o se despliegue una ruta de emergencia.

Cada uno de los requisitos fueron cubiertos de la siguiente manera:

1. Se destinó un pistón para expulsar e ingresar los componentes de ensamble por medio de la unión de su vástago.
2. La programación se creó con métodos de seguridad como lo fue la deshabilitación de etapas para evitar accionamientos accidentales por entradas de señales como lo son las de los sensores.

3. Se evitó el enclave de la etapa del cerrado de la puerta de seguridad para condicionar el presionado de los botones rasantes bimanuales hasta que esta última se encuentre debidamente cerrada.
4. El botón de paro de emergencia y el botón rasante de "Rearme" se ubicaron en el gabinete HMI destinados a tener un acceso rápido por parte del operario y por medio de programación se cumplieron los requerimientos pedidos para estos dos botones.
5. Se ingresaron alarmas de texto en la pantalla táctil HMI para informar al operador de cualquier anomalía o deficiencia en el sistema.

3.4 Metodología GRAFCET para modelos de ensamble automáticos

A continuación, se procedió a elaborar las rutinas automáticas de los ensambles de los tres modelos basados en el método GRAFCET.

Cabe resaltar que las siguientes transiciones son marcas provenientes del panel táctil HMI para así comenzar y finalizar el proceso:

- "Inicia_Enclave_Proceso640"
- "Inicia_Enclave_Proceso641"
- "Inicia_Enclave_Proceso642"
- "Sale_Enclave_Proceso640"
- "Sale_Enclave_Proceso641"
- "Sale_Enclave_Proceso642"

Las transiciones "Componentes640" (Imagen 3.4.1), "Componentes641" (Imagen 3.4.2) y "Componentes642" (Imagen 3.4.3) hace referencia a tres bobinas distintas que se accionan al estar presente el conjunto de piezas que el operario coloca en cada espacio correspondiente para el ensamble.

La detección de piezas se llevó a cabo con ocho sensores de proximidad inductivos PNP, un sensor de proximidad fotoeléctrico PNP y un sensor de proximidad fotoeléctrico NPN.

Finalmente, el accionamiento de los pistones hidráulicos requirió el uso de temporizadores de retardo a la desconexión (TOF) para controlar el tiempo de accionamiento de la válvula de alivio y las válvulas de direccionamiento, las cuales proveen correspondientemente presión y sentido al sistema para expulsar y contraer el vástago del pistón.

El modelo 640 (Imagen 3.4.4) utiliza una pieza tow izquierda y un solo perno M10 y se activa el pistón hidráulico del perno izquierdo.

Por su parte el modelo 641 (Imagen 3.4.5) requiere la pieza tow derecha para ser activado el pistón hidráulico del perno derecho.

Finalmente, el modelo 642 (Imagen 3.4.6) utiliza a la pieza izquierda con dos pernos (M8 y M10) para así poder activar al pistón hidráulico del pistón izquierdo.

3.5 Componentes del sistema

Dentro de la estación de ensamble los sistemas eléctricos, electrónicos, neumáticos e hidráulicos se conjuntaron bajo el control del PLC Siemens Simatic CPU 1214C DC/DC/DC. Cada de uno de estos sistemas organizó su configuración eléctrica para que el controlador interpretara cualquier cambio en el exterior como un estímulo todo o nada (bit digital).

A continuación, se hará un repaso por cada uno de los elementos de los sistemas.

3.5.1 Entradas digitales

Las veintidós entradas digitales fueron conformadas por botoneras, sensores magnéticos y sensores de proximidad de tipo inductivo y fotoeléctrico. La configuración que se optó fue a de sumidero (sink) conectado a 0 VDC el borne M (común) con excepción del sensor de proximidad fotoeléctrico NPN que fue conectado en configuración fuente (source) en su borne M.

3.5.1.1 Botón de paro de emergencia

El paro de emergencia ("Paro_Emergencia") se trabajó con un botón rojo tipo hongo Eaton M22-PVT con liberación por giro, a la par de un contacto modular Eaton M22-K10 normalmente abierto. En una de las borneras del contacto se conectó un cable a 24 V DC proveniente de las borneras de alimentación (Borneras 24 V DC Común) y la bornera del otro extremo se conectó a la bornera de control para ser direccionado a la entrada I0.0 del PLC. Se colocó bajo la pantalla táctil HMI con orientación en su extremo izquierdo a la altura del pecho del operador.

De esta manera al pulsar el botón enclavable de paro de emergencias, la señal de entrada digital se activaría al cerrar el circuito y ser detectada.

Dentro de la programación del controlador lógico programable el paro de emergencia tuvo la función de detener todos los sistemas en la posición en que fue pulsado (Imagen 3.5.1.1.1). Esto fue hecho con el fin de bloquear el sistema en el momento exacto en caso de que alguna pieza quedara atascada o algún accidente con la extremidad corporal de algún operador.

3.5.1.2 Botón de rearme

El rearme del sistema ("Rearme") se configuró con un botón rasante color verde Eaton M22-D-G se acoplo al contacto modular Eaton M22-K10 normalmente abierto. En una de las borneras del contacto se conectó un cable a 24 V DC proveniente de las borneras de alimentación (Borneras 24 V DC Común) y la bornera del otro extremo se conectó a la bornera de control para ser direccionado a la entrada I0.1 del PLC. Se ubicó a la derecha del botón de paro de emergencia para poder ser accionados de manera rápida.

La activación del botón rearme cumplió dos funciones diferentes. La primera consistió en dar activación con Q1.0 ("Arran_Pro") a la válvula de arranque progresivo SMC AV4000-04-5DZ a 24V DC y al motor trifásico Siemens GP100 por medio del contactor Metasol MC-9b a 24V DC. De esta manera se aseguró de que el operador confirmara conscientemente la habilitación de los sistemas neumáticos e hidráulicos, correspondientemente, de la estación de ensamble y que esta no fuera de manera automática (Imagen 3.5.1.2.1).

La segunda función que ejecutó fue la de llevar a los pistones a su posición segura (Tabla 3.5.1.2.1) después de ser activado el paro de emergencia debido a una anomalía con piezas obstruidas o accidentes corporales (Imagen 3.5.1.2.2).

3.5.1.3 Botones bimanuales

Los botones bimanuales ("MB_Der" y "MB_Izq") se configuró con dos botones rasantes color verde Eaton M22-D-G se acoplaron a dos contactos modulares Eaton M22-K10 normalmente abiertos. En cada una de las borneras del contacto se conectaron dos cables a 24 V DC proveniente de las borneras de alimentación (Borneras 24 V DC Común) y las borneras del otro extremo se conectaron a la bornera de control para ser direccionadas a las entradas I0.2 e I0.3 del PLC. Estos

los botones se ubicaron a la izquierda y derecha posteriores del operador al nivel de la cintura.

Los botones se colocaron en esta posición para asegurarse que las manos del operador se encontraran presionando dos objetos externos de la estación de ensamble para así evitar lesiones con el movimiento rectilíneo de la placa de policarbonato unida al vástago del pistón de la puerta de seguridad al comenzar el proceso automático.

Dentro de la programación, los botones bimanuales forman parte de las transiciones previas a las etapas 3 y 4 (Imagen 3.5.1.3.1) para así evitar el enclave y forzar al sistema a mantener activas las entradas digitales, por medio de la acción de presionar ambos botones, para continuar con el proceso automático al cerrar la puerta de seguridad.

3.5.1.4 Sensores

La variedad de sensores digitales de proximidad utilizados para la estación de ensamble abarcó a los de tipo inductivos, magnéticos y fotoeléctricos en configuración PNP y NPN. Todos cumplieron la función de indicar el inicio y final de carrera de los pistones neumáticos y la presencia o ausencia de piezas que conformaron cada uno de los procesos de ensamble automático (Tabla 3.5.1.4.1).

De los tres hilos de cada sensor (V+, V- y señal) el hilo de señal se conectó en borneras ubicadas dentro del registro del periférico superior de la estación de ensamble para así facilitar el mantenimiento correctivo y preventivo de los sensores. Las borneras dentro del registro se conectaron a su vez a las borneras de control ubicadas dentro del gabinete principal para finalmente ser conectadas a borneras de entradas digitales del PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC.

Debido a que diecisiete de los dieciocho sensores tuvieron configuración PNP las líneas de borneras a donde se conectaron en el PLC fueron en configuración sink (sumidero) hacía 0V DC para así generar una diferencia de voltaje al activarse el sensor y transmitir 24V DC por el hilo de señal de señal.

En el caso contrario del sensor en configuración NPN requirió de una conexión en configuración source (fuente) hacía 24V DC con el fin de generar la diferencia de voltaje al activarse el sensor y dirigir 0V DC por el hilo de señal.

De ambas maneras, estas diferencias de voltaje se interpretaron como un estado alto para el controlador lógico programable. Dentro de la programación se utilizaron con lógica en conectores normalmente abiertos (Imagen 3.5.1.4.1).

3.5.2 Salidas digitales

Las diez salidas digitales del PLC (doce salidas, debido a que las salidas Q0.7 y Q1.0 tuvieron dos cables de señal divergentes desde ellos) fueron conformadas por señales luminosas y preactuadores como lo fueron electroválvulas y un contactor.

Estos últimos preactuadores activaron el sentido y estado de cada uno de los pistones del sistema neumático e hidráulico y a un motor trifásico de 440 V AC.

3.5.2.1 Indicadores Ok/No Ok

Se colocaron dos indicadores luminosos bajo la pantalla táctil en el gabinete HMI al lado derecho de los botones con función paro de emergencia y rearme.

Para el indicador Ok ("Ind_OK") se utilizó la carcasa color verde Eaton M22-XDL-G y se acopló al contacto modular Eaton M22-LED que consta de un LED de luz blanca a 24 V DC. En una de las borneras del contacto se conectó un cable a 0 V DC

provenientes de las borneras de alimentación (Borneras 0 V DC Común) y la bornera del otro extremo se conectó a la bornera de control para ser direccionado a la salida Q0.0 del PLC. Este indicador se activó cuando la estación de ensamble se habilita al presionar el botón de rearme (Imagen 3.5.2.1.1) y de igual manera se mantiene activo siempre y cuando los procesos del modo automático se realicen de forma correcta y no se presenten errores en la colocación de piezas de ensamblado (Imagen 3.5.2.1.2).

Para el indicador No Ok ("Ind_NOK") se utilizó la carcasa color roja Eaton M22-XDL-R y se acopló al contacto modular Eaton M22-LED. En una de las borneras del contacto se conectó un cable a 0 V DC provenientes de las borneras de alimentación (Borneras 0 V DC Común) y la bornera del otro extremo se conectó a la bornera de control para ser direccionado a la salida Q0.1 del PLC. Este indicador se activó cuando la estación de ensamble se deshabilitaba al presionar el botón de paro de emergencia (Imagen 3.5.2.1.3) y de igual manera se activó durante cualquier evento de error en la colocación de piezas de ensamblado (Imagen 3.5.2.1.4).

Al activarse el indicador No Ok, el indicador Ok se apaga hasta que la situación de emergencia o error queden corregidas.

3.5.2.2 Sistema neumático

Para poder suministrar, administrar y controlar al aire comprimido se utilizó un sistema que constó dispositivos como válvulas, electroválvulas, unidad FR, válvula de arranque progresivo, coples, silenciadores, mangueras, manifold, comunicación DB25, reguladores de presión, pistones y sensores de proximidad magnéticos.

La parte exterior del sistema fue el compresor de aire el cual fue ajeno a la estación de ensamble y fue suministrado por Arbomex S.A. de C.V. con una presión promedio necesaria de 6 bar para el correcto funcionamiento del sistema. La parte interior del

sistema hace referencia todos los dispositivos que se incluyeron dentro de la estación de ensamble.

Inicialmente el aire comprimido entró ingresó en una manguera por medio de un acople SMC KQ2H12-04AS en la válvula SMC VHS40-N04A-Z de mando manual con la función de cerrar o abrir el paso de aire comprimido hacia el sistema neumático. En caso de ser bloqueada manualmente, el aire comprimido sale al exterior del sistema por medio de un silenciador modelo SMC AN30-03.

El aire comprimido pasó inmediatamente por medio de un bracket SMC Y400T-A a la unidad FR (Filtro Regulador) con drenado manual SMC AW40-N04CG-Z-A la cual se utilizó para filtrar los sedimentos traídos en el aire comprimido y de regular su presión a 6 bar en promedio.

A continuación, se conectó un bracket SMC Y400T-A para empalmar al siguiente dispositivo el cual fue la válvula de arranque progresivo con mando eléctrico SMC AV4000-04-5DZ a 24 V DC. Esta electroválvula se activó con la salida digital Q1.0 ("Arran_Pro") y cumplió el trabajo de ingresar gradualmente el aire comprimido preparado a la salida de la unidad FR hacía la entrada del manifold para así evitar activaciones bruscas en los pistones. Cuando la señal de Q1.0 se desactivaba la válvula de arranque progresivo se cerraba direccionando el aire comprimido al exterior del sistema por medio de un silenciador INSTRUTEK BSL38. A la salida de la válvula de arranque progresivo se conectó un acople SMC KQ2H12-04AS.

Después de esto, el aire comprimido pasó al manifold SMC VV5Q41-0702FD0 por medio de dos acoples SMC KQ2H12-04AS (el primero ubicado en la salida de la válvula de arranque progresivo y el segundo en la entrada 1-P del manifold) y una manguera SMC TU1208 entre ellos. La función principal del manifold es agrupar hasta siete electroválvulas, ya sean monoestables o biestables, a puntos comunes en todas sus conexiones como lo son sus alimentaciones, sumideros, y salidas a

pistones. La activación de los distintos solenoides de las electroválvulas agrupadas se hace por medio de un puerto DB25 macho en el manifold y un cable DB25 hembra conectado a la bornera de control y bornera de 0 VDC común del gabinete principal. (Tabla 3.5.2.2.1).

En la estación se utilizaron cuatro electroválvulas, mejor descritas como distribuidores neumáticos 5/2 con mando eléctrico y mando auxiliar manual mediante pilotaje externo e impulsor por resorte mecánico con solenoide monoestable modelo SMC VQ4100-51 1C3-5CK.

Los sumideros comunes de todas las electroválvulas se canalizaron a las salidas del manifold 3-R2 y 5-R1 del lado derecho por medio de dos silenciadores SMC AN40-04. Por su parte, las salidas a los pistones se utilizaron con ocho acoples SMC KQ2H12-03AS en direcciones 2B y 4A.

Finalmente, el aire comprimido sale del manifold con distribución y activación hacia cada uno de los pistones por medio de dos mangueras SMC TU1065 cada uno para los pistones de puerta de seguridad, clip y nido. Y para el pistón de componentes dos mangueras SMC TU1208.

Para poder regular la presión con la que ingresaría el aire comprimido en cada pistón se colocaron seis reguladores SMC AS2201F (pistones de puerta de seguridad, clip y nido) y dos reguladores SMC AS3201F (pistón de componentes) para acoplar las mangueras que contenían al aire comprimido salido del manifold. Todos ellos fueron pistones SMC de doble efecto con freno al final de carrera.

Para el pistón de puerta de seguridad se utilizó un pistón SMC CP96SDB50-600C y se conectó con la salida 4A hacia al final de carrera y 2B al inicio de carrera del pistón.

El pistón de componentes fue conformado por un pistón SMC CP96SDB80-250C y se conectó con la salida 4A hacia el inicio de carrera y 2B al final de carrera.

El pistón del clip por su parte fue un pistón SMC CP96SDB40-150C y se conectó con la salida 4A hacia el inicio de carrera y 2B al final de carrera.

Por último, el pistón del nido requirió un pistón SMC CP96SDB40-300C y se conectó con la salida 4A hacia el inicio de carrera y 2B al final de carrera.

Para monitorear el estado extendido o contraído del vástago del pistón se usaron sensores de proximidad magnéticos SMC D-M9P ubicados en el inicio y final de carrera de cada pistón.

Al ser sensores PNP de tres hilos fue necesario conectarlos de la manera en que en el apartado 3.5.1.4 fue descrita a detalle.

3.5.2.3 Sistema hidráulico

La presión que requería la inserción de los pernos M10 y M8 dentro de la pieza principal tow era insuficiente para el sistema neumático. Así que se optó por usar un sistema hidráulico ya que, a pesar de su baja velocidad, el esfuerzo normal al comprimir las estrías del perno dentro de la pieza principal tow resultó de mayor magnitud y permitió una unión compacta entre ambos elementos.

Para esto se usó una unidad hidráulica que contuvo aceite hidráulico, un regulador de presión, bomba hidráulica, distribuidores hidráulicos, solenoides, acoples, manómetro, nivel de aceite, mangueras y pistones hidráulicos.

Dentro de la unidad utilizó el aceite hidráulico Quaker State H-300 AW 68 ya que se rige bajo la normativa ISO 68 debido a su alta viscosidad empleada en sistemas con

desplazamientos lentos y de alta presión además de incluir protección antidesgaste del sistema. Inicialmente el aceite se encuentra en reposo dentro de la unidad hidráulica y en la cantidad necesaria que el nivel de aceite indica.

El sistema tiene la capacidad de calibrar la presión hidráulica que otorgará a los pistones. Para esta aplicación, la unidad hidráulica se calibra a 141 bar de presión. Llevar a cabo la calibración implica activar el flujo de aceite por el sistema, para esto se debe encender al motor trifásico Siemens GP100 1.5HP 1740 RPM a 440 V AC que está conectado a la bomba hidráulica Hystar HGP-1A-F6R.

Una vez que el sistema se encuentre bombeando aceite procedemos al control con el regulador de presión por mando manual el cual rota al sentido horario para aumentar la presión y de manera inversa para disminuirla. Para monitorear el estado de la presión se activa manualmente al distribuidor hidráulico de alivio modelo Lyzky 4WE6G60/G24Z4L para bloquear el flujo libre de aceite y visualizar los cambios de la magnitud de presión en el manómetro Hystar 251420.

Una vez calibrado el sistema a la presión de 141 bar podemos proceder a explicar su funcionamiento. Para habilitar el sistema hidráulico se debe activar la salida digital Q1.0 ("Arran_Pro") del PLC para inducir la bobina a 24 V DC del contactor Metasol MC-9b para así habilitar las tres líneas de 220 V AC y encender al motor trifásico Siemens GP100 1.5HP 1740 RPM a 440 V AC que está conectado a la bomba hidráulica Hystar HGP-1A-F6R.

De esta manera el aceite hidráulico comienza a fluir hacia los distribuidores hidráulicos, dos de ellas modelo Lyzky 4WE6E60/G24Z4L con la función de distribuir y direccionar al aceite hacia los pistones izquierdo o derecho y la otra siendo modelo Lyzky 4WE6G60/G24Z4L para ser utilizada como válvula de alivio deteniendo el flujo y generando presión en el sistema.

El pistón izquierdo se encargó de trabajar a la pieza tow izquierda para comprimir las estrías del perno M8 el modelo 640 y a las estrías de los pernos M8 y M10 en el modelo 642. Para esto se usó un distribuidor hidráulico modelo Lyzky 4WE6E60/G24Z4L la cual llevó simplemente de "Izquierdo". Mientras que para el pistón derecho trabajó la pieza tow derecha para comprimir las estrías del perno M10 en el modelo 641 usándose un distribuidor hidráulico modelo Lyzky 4WE6E60/G24Z4L la cual llevó simplemente de "Derecho". Estos modelos pueden describirse como distribuidores hidráulicos 4/3 con mando eléctrico y mando auxiliar manual mediante pilotaje externo e impulsores por resortes mecánicos con solenoides biestables. En este caso los solenoides son "a" y "b".

El sistema de control se llevó a cabo con un conjunto de relevadores. La señal digital de salida Q0.5 ("Cil4_TorIzq") se conectó a la bobina de 24 V DC del "Relevador 1". A su vez, Q0.6 ("Cil5_TorDer") a la bobina de 24 V DC del "Relevador 4". Finalmente, la señal digital de salida Q0.7 ("Val_Alivio") se conectó hacia la bobina de 24 V DC del "Relevador 3". Cabe mencionar que el otro extremo de las bobinas de los relevadores se conectó a la Bornera 0 VDC Común.

A continuación, se cablearon los relevadores de sus tiros. En el "Relevador 3" se conectó el borne común del segundo tiro hacia la Bornera de 24 V DC. El borne del contacto normalmente abierto se direccionó hacia los bornes comunes de los segundos tiros de "Relevador 1" y "Relevador 4".

En el segundo tiro del "Relevador 1" el borne del contacto normalmente cerrado se conectó al solenoide "a" y el contacto normalmente abierto se conectó al solenoide "b" del distribuidor hidráulico "Izquierdo". Ahora en el segundo tiro, pero del "Relevador 4" el borne del contacto normalmente cerrado se conectó al solenoide "b" y el contacto normalmente abierto se conectó al solenoide "a" del distribuidor hidráulico "Derecho".

En los cuatro solenoides se realizó la conexión a la Bornera 0 VDC Común para así obtener una diferencia de voltaje cuando se habilita la señal de 24 VDC en cada uno de ellos y activar así el direccionamiento de los distribuidores hidráulicos.

3.6 Programación KOP

Dentro del entorno de TIA Portal enfocado a la programación del controlador lógico programable en el dispositivo PLC se encuentra concentrado en el bloque de organización (OB), en donde es necesario incluir todos los bloques de funciones (FC) creados. Esto debido a que en el bloque de organización se lleva a cabo la lectura en bucle de la programación KOP.

Al bloque OB se le nombró "A001_Principal" [OB1] y se incluyeron cinco segmentos (Tabla 3.6.1).

El primer segmento (Imagen 3.6.1) incluyó a las funciones referentes a la selección de los modos ("A002_Modos") [FC1] y los modos, como lo fueron el automático ("A003_Auto") [FC2], el mantenimiento ("A004_Mant") [FC7] y manual ("B001_Manual") [FC3]. Además de incluir a la función de avisos del modo manual ("A009_Avisos_Manual") [FC8] en conexión paralela a la función manual.

El segundo segmento (Imagen 3.6.2) incluyó la función que agrupó a todos los contadores del modo automático ("A015_Contador") [FC14].

El tercer segmento (Imagen 3.6.3) incluyó a la función ("A013_AlarmaEmergenciaImagen") [FC5] que despliega la imagen de boqueo en la pantalla táctil cuando se activa la entrada digital I0.0 ("Paro_Emergencia") al ser pulsado el botón de paro de emergencia.

El último segmento (Imagen 3.6.4) incluyó la función que habilita o deshabilita ("A014_HabilitadoresDeMenú") [FC11] a los botones de selección en la pantalla táctil cuando se requiere seleccionar un modo nuevo después de haber interactuado dentro de un modo en específico.

Al girar el interruptor principal Eaton Cutler Hammer 25A P1-25/EA/SVB el sistema eléctrico de control alimenta con 24V DC al PLC. El CPU interno del controlador se activa y comienza el proceso de programación.

Inicialmente, la función "A001_Principal" [OB1] se activa y al momento de pulsar el pulsador rasante destino al proceso de rearme se activa al contacto normalmente abierto destinado a la entrada digital I0.1 ("Rearme") lo que activa a las bobinas con las salidas digitales Q0.0 ("Ind_OK") para activar al actuador Eaton M22-LED con la carcasa Eaton M22-XDL-G para brindar una señal de luz verde y a Q1.0 ("Arran_Pro") correspondiente a la activación de la válvula de arranque progresivo SMC AV4000-04-5DZ en paralelo al contactor Metasol MC-9b para activar a su vez al motor trifásico Siemens GP100 con el fin de habilitar a los sistemas neumático e hidráulico.

Dentro de la función "A002_Modos" [FC1] se encuentra la selección de los tres distintos modos de operación de la estación de ensamble por medio de marcas activadas desde botones dentro de la pantalla táctil HMI (Imagen 3.6.5).

3.6.1 Modo automático

La función "A003_Auto" [FC2] (Imagen 3.6.1.1) contiene la habilitación y deshabilitación por selección de las diferentes funciones de cada modelo de ensamble, cada una de estas funciones concentran las rutinas GRAFCET de los tres distintos modelos de ensamble, las activaciones de preactuadores de los sistemas neumático e hidráulico para habilitar pistones de la estación de ensamble y las alarmas que se mostraron al operador en cada una de las anomalías que ocurrían

en la colocación de componentes para ensamblar o para indicar problemas con pistones.

3.6.1.1 Modelo 640

La programación del ensamblado automático del modelo 640 se creó en la función "Modelo_640" [FC10] que agrupó quince segmentos (Tabla 3.6.1.1.1).

El primer segmento (Imagen 3.6.1.1.1, Imagen 3.6.1.1.2, Imagen 3.6.1.1.3, Imagen 3.6.1.1.4) se designó en el establecimiento de la rutina GRAFCET previamente elaborada para el modelo. En el inicio se encuentra un contacto normalmente cerrado que corresponde a la entrada digital I0.0 ("Paro_Emergencia") para detener cualquier estado y transición. Encontramos la marca interna "AutoModo".AutoMod640 y la marca M22.6 ("Enclave_Proceso_Auto_640"). La función de la primera marca se usó para habilitar el proceso automático desde el momento en que se selecciona al modelo desde su botón correspondiente en la pantalla táctil y la segunda marca es necesaria para iniciar el proceso los pistones hidráulicos al ser pulsado el botón táctil "Comenzar" en cada uno de los modelos.

En cuestión de los contadores de piezas se encuentra la marca M7.7 ("EtapaContadora640") el primer segmento y es destinada a ser activada al finalizar cada proceso de ensamble automático el modelo 640 y su activación es muestreada por el contador ascendente DB3 ("ContadorPiezas640_Ok") de la función "A015_Contador [FC14]" en el primer segmento. El reinicio de la función de conteo de todos los contadores ascendentes para devolver sus valores a 0 se realiza cada ocho horas desde el momento en que el primer proceso de ensamble automático se comienza. Esto por medio del séptimo segmento de la función "A015_Contador [FC14]" en donde la activación desde la pantalla HMI del contacto normalmente abierto M36.1 ("ActivadordeReset") para la bobina con la bobina M36.0 ("Resetdecont"). Esto activa al contacto normalmente abierto asignado a M36.0 ("Resetdecont") para activar al temporizador a la desconexión DB4

("IEC_TimerRet_0_DB") configurado a ocho horas. Una vez pasadas las ocho horas salida Q de temporizador a la desconexión se desactivaría para activar a la bobina normalmente cerrada M10.0 ("Reinicio_Cont"). Los reinicios de conteo de todos los contadores ascendentes se llevaron a cabo al colocar el contacto normalmente abierto con la marca M10.0 ("Reinicio_Cont") en su entrada R.

El segundo segmento (Imagen 3.6.1.1.5) corresponde a la activación de los pistones neumáticos por medio de los distribuidores con solenoides que corresponden a bobinas de salida digital en programación. Aquí están presentes las marcas de habilitación y activación "AutoModo".AutoMod640 y la marca M22.6 ("Enclave_Proceso_Auto_640") con las mismas funciones que fungen en el primer segmento. Después se encuentra el contacto normalmente cerrado que corresponde a la entrada digital I0.1 ("Rearme") con él cual se obtiene un reinicio de los pistones llevándolos a una posición de seguridad retraídos. A continuación, están las activaciones y desactivaciones de bobinas por medio de las etapas del método GRAFCET del primer segmento para las salidas digitales Q0.2 ("Cil1_PSeg"), Q0.3 ("Cil2_Comp"), Q0.4 ("Cil3_ClipSeg") y Q1.1 ("Cil6_Tow") que correspondieron a los cuatro pistones neumáticos del sistema. El contacto normalmente cerrado con la marca M24.1 ("Rearme2_640") procede del onceavo segmento el cual permite un retroceso del pistón del nido al terminar el proceso automático y haber recibido previamente la señal de entrada digital I0.1 ("Rearme") debido a una anomalía. También incluye a la marca M23.5 ("Timer640") el cual es un conector normalmente abierto que se activa con el temporizador con retardo a la desconexión DB7 ("TimerPuerta640") ubicado en el noveno segmento, esto con el fin de activar a la salida digital Q0.2 ("Cil1_PSeg") por tres segundos al ser acabado el proceso de ensamblado en el modelo previamente utilizado.

El tercer segmento (Imagen 3.6.1.1.6) corresponde a la activación de la marca M36.2 ("Componentes640") la cual se activa al estar presentes las seis piezas correspondientes al modelo y como complemento se añadió un bloqueo

representado con un contacto normalmente abierto con la entrada digital I8.4 ("Pz_M8Izq") el cual representa al perno M8 que no debe ser incluido en este modelo. Así al ser insertado el perno M8 al sistema, este no podrá comenzar su proceso automático. Las funciones que cumple la marca M36.2 ("Componentes640") son la de habilitar a la etapa 3 del sistema GRAFCET del primer segmento, además de encargarse del sistema visual para el operario en lo que respecta a la colocación correcta y habilitación de botones bimanuales lo cual se explica a detalle en los siguientes segmentos. La marca M36.3 ("ComponentesIncompletos640") representa la antítesis de la marca M36.2 ("Componentes640") ya que esta activa cuando los componentes se encuentran incompletos o en ausencia total, esto debido a que un contacto normalmente cerrado designado a M36.2 ("Componentes640") activa a la marca M36.3 ("ComponentesIncompletos640"). La marca M36.2 ("Componentes640") se emparejan con "Componentes640_HMI", marca homóloga en la programación de la imagen "B001_Mod640" de pantalla táctil Siemens Simatic KTP700 Basic 6AV2 123-2GB03-0AX0, para obtener un color verde RGB [0; 162; 0] en dos círculos indicadores originalmente en color negro RBG [0; 40; 0] y así visualizar al operario el momento de habilitación al proceso de ensamble automático para poder presionar los botones bimanuales físicos.

El cuarto segmento (Imagen 3.6.1.1.7) se utiliza un contacto normalmente abierto asignado de la marca M36.2 ("Componentes640") y dos contactos normalmente abiertos en paralelo correspondientes a las entradas digitales I0.2 ("MB_Der") e I0.3 ("MB_Izq") que de manera paralela activan a las bobinas con las marcas M37.0 ("MB_DerVerde640") y M37.1 ("MB_IzqVerde640"). Esto se hizo con el fin de asilar dos bobinas que se solo se activarían en el evento donde el operario presionara los botones bimanuales físicos y tener todos los componentes en su posición correcta. Esto es una acción que habilita al sexto segmento.

El quinto segmento (Imagen 3.6.1.1.8) se compone de un contacto normalmente abierto para la marca M36.3 ("ComponentesIncompletos640") y dos contactos

normalmente abiertos en paralelo correspondientes a las entradas digitales I0.2 ("MB_Der") e I0.3 ("MB_Izq") que de manera paralela activan a las bobinas con las marcas M37.2 ("MB_DerRojo640") y M37.3 ("MB_IzqRojo640"). Estas dos últimas marcas se activarían cuando el operario pulsara los botones bimanuales físicos pero los componentes estuvieran incompletos o mal colocados. Esto es una acción que habilita al séptimo segmento.

En el sexto segmento (Imagen 3.6.1.1.9) entramos a un contacto normalmente abierto asignado de la marca M36.2 ("Componentes640") y dos contactos normalmente abiertos en paralelo correspondientes a las marcas M37.0 ("MB_DerVerde640") y M37.1 ("MB_IzqVerde640") y de manera paralela activan a las bobinas con las marcas M36.5 ("MB_Der_Comb640") y M36.4 ("MB_Izq_Comb640"). Estas marcas se activan cuando ocurre el pulsado de ambos botones bimanuales físicos y todos los componentes se encuentran en orden, su función es similar al cuarto segmento. Las marcas aquí activadas se emparejan con "MB_Der_Comb640_HMI" y "MB_Izq_Comb640_HMI" sus marcas homólogas en la programación de la pantalla táctil HMI, para así obtener un color verde RGB [0; 255; 0] en dos círculos indicadores originalmente en color negro RGB [0; 40; 0] y así visualizar el momento en que se pulsaron los botones bimanuales físicos y no se encuentran los componentes bien colocados en su sitio o están ausentes.

El séptimo segmento (Imagen 3.6.1.1.10) comienza con un contacto normalmente abierto para la marca M36.3 ("ComponentesIncompletos640") y dos contactos normalmente abiertos en paralelo correspondientes a las marcas M37.2 ("MB_DerRojo640") y M37.3 ("MB_IzqRojo640") y de manera paralela activan a las bobinas con las marcas M36.7 ("MB_Der_Alarma640") y M36.6 ("MB_Izq_Alarma640"). Las marcas que se activan en este segmento son a consecuencia de la acción de pulsar los botones bimanuales físicos por parte del operario mientras que las piezas que conforman al ensamblado se encuentran mal colocadas o incompletas. De igual manera, las marcas aquí activadas se emparejan

con "MB_Der_Alarma640_HMI" y "MB_Izq_Alarma640_HMI", sus marcas homólogas en la programación de la pantalla táctil HMI, para obtener un color rojo RGB [255; 0; 0] en dos círculos indicadores originalmente en color negro RGB [0; 40; 0] y así visualizar el momento en que se pulsaron los botones bimanuales físicos y encuentran los componentes bien colocados en su sitio.

El octavo segmento (Imagen 3.6.1.1.11) corresponde a la activación por medio de un contacto normalmente abierto asignado a la marca M22.0 ("Inicia_Enclave_Proceso640") y desactivación con un contacto normalmente abierto para la marca M22.3 ("Sale_Enclave_Proceso640") para activar la bobina correspondiente a la marca M22.6 ("Enclave_Proceso_Auto_640"). El proceso de activación y desactivación se desarrolla en la imagen "B001_Mod640" de la pantalla táctil HMI. Al presionar el botón verde con la leyenda "Comenzar" la función "ActivarBit" habilita a la marca homologa "Inicia_Enclave_Proceso640_HMI" a la par que la función "DesactivarBit" deshabilita a la marca homologa "Sale_Enclave_Proceso640_HMI" permitiendo la activación de la marca M22.6 ("Enclave_Proceso_Auto_640"). De igual manera al presionar el botón rojo con la leyenda "Finalizar", internamente en su función "ActivarBit" la marca homologa "Sale_Enclave_Proceso640_HMI" se habilitaría mientras que la función "DesactivarBit" deshabilitaría a la marca homologa "Inicia_Enclave_Proceso640", para así desactivar a la marca M22.6 ("Enclave_Proceso_Auto_640").

El noveno segmento (Imagen 3.6.1.1.12) se encuentra un contacto normalmente cerrado de la marca M23.1 ("Fin_Proceso640") que se activa y desactiva desde la pantalla táctil HMI con el botón rojo con la leyenda "Finalizar" el cual al ser pulsado se activa la función "ActivarBit" y habilita a la marca homologa "Fin_Proceso640_HMI" y cuando se suelta el botón comienza a operar la función "DesactivarBit" para deshabilitar a "Fin_Proceso640_HMI". La marca M23.1 ("Fin_Proceso640") habilita al temporizador con retardo a la desconexión DB7

("TimerPuerta640") el cual activa a la bobina de la marca M23.5 ("Timer640") durante tres segundos.

El décimo segmento (Imagen 3.6.1.1.13) se conforma únicamente por un contacto normalmente abierto para la marca I0.0 ("Paro_Emergencia") que activa a la bobina de la marca M37.5 ("ParodeEmergencia640_NoOk"). Este segmento tiene la función de habilitar al evento que ocurre cuando se pulsa el botón de paro de emergencia por alguna anomalía en el sistema o accidente que comprometa la integridad física del operador o un tercero.

El onceavo segmento (Imagen 3.6.1.1.14) se configuró para complementar la acción que realizó el décimo segmento. Se encuentra un contacto normalmente abierto asignado a la marca interna "AutoModo".AutoMod640 conectado en serie a la marca M37.5 ("ParodeEmergencia640_NoOk") para activar la bobina de la marca M37.4 ("EtapaContadoraDeErrores640"). La función principal es activar a la marca M37.4 ("EtapaContadoraDeErrores640") al ocurrir el pulsado del botón de paro de emergencia en cualquier error humano o de proceso que interrumpe o pone en peligro al operador o a algún tercero en el ensamblado automático del modelo 640 y su activación es muestreada por el contador ascendente DB5 ("ContadorPiezas640_No_Ok") de la función "A015_Contador [FC14]" en el segundo segmento.

El doceavo segmento (Imagen 3.6.1.1.15) se conformó de un enclave para la bobina con la marca M24.1 ("Rearme2_640"). Comienza con la convergencia de dos contactos normalmente abiertos con la entrada digital I0.1 ("Rearme") y la marca M24.1 ("Rearme2_640") a continuación, se encuentra un contacto normalmente cerrado para la marca M23.1 ("Fin_Proceso640") en serie al contacto normalmente abierto con la marca M22.0 ("Inicia_Enclave_Proceso640") para así activar la bobina de la marca M24.1 ("Rearme2_640"). Esto se hace para abrir el circuito y desactivar la bobina que corresponde a la salida digital Q1.1 ("Cil6_Tow") y así contraer al

pistón del nido cuando se dé por finalizado el proceso automático al pulsar el botón rojo "Finalizar" desde la pantalla táctil.

El treceavo segmento (Imagen 3.6.1.1.16) funge como un retardador de la marca M7.6 ("Etapa6") debido a que requiere dos segundos de retraso para acoplarse correctamente al proceso automático de ensamble. Para llevar a cabo esto a la entrada del temporizador con retardo a la desconexión DB41 ("RetardoClip640") se coloca un conector normalmente abierto con la marca M7.5 ("Etapa5") y a la salida una bobina con la marca M32.0 ("RetardoParaClip640").

El catorceavo segmento (Imagen 3.6.1.1.17) corresponde al control del sistema hidráulico en el cual un contacto normalmente abierto con la marca M12.2 ("Etapa9") activa al temporizador a la desconexión DB36 ("TimerPistonAbajo640") por lapso de seis segundos, a las bobinas con las salidas digitales Q0.7 ("Val_Alivio") y Q0.5 ("Cil4_TorIzq") junto a la marca M31.5 ("FinBajada640"). La primera bobina de salida digital mencionada "Q0.7" tiene la función de activar la presión del aceite hidráulico a 2050 PSI y la segunda bobina "Q0.5" se acciona para habilitar el solenoide "b" del distribuidor hidráulico "Izquierdo" y así direccionar el vástago del pistón hacía abajo durante el tiempo de seis segundos para comprimir el perno M10 dentro de la pieza tow izquierda. La marca "M31.5" se activa para crear el siguiente sistema. A su vez un contacto normalmente abierto a la marca M12.2 ("Etapa9") enclava a la bobina con la marca M34.0 ("EnclaveParaPistón640") la cual se desenclava con un contacto normalmente cerrado con la marca M30.1 ("SubePistón640"). A continuación, un contacto normalmente abierto con la marca M34.0 ("EnclaveParaPistón640") activada anteriormente, espera a que un contacto normalmente cerrado con la marca M31.5 ("FinBajada640") se desactive a los seis segundos para así poder activar a la bobina con la marca M30.1 ("SubePistón640") el cual genera dos acciones, la primera es desactivar a la bobina de la marca M34.0 ("EnclaveParaPistón640") y la otra es activar, por medio de un contacto normalmente abierto, al temporizador a la desconexión DB37

("TimerPistonArriba640") el cual durante un lapso de cuatro segundos activará a la marca M31.2 ("Arriba640"). Debido a esto un contacto normalmente abierto con la marca recién activada M31.2 ("Arriba640") habilita solo a la bobina de salida Q0.7 ("Val_Alivio"). Esto se puede traducir a que de nuevo se activa la presión del sistema hidráulico con "Q0.7" y en la ausencia de conmutar al relevador con la señal Q0.5 ("Cil4_TorIzq") este se mantendrá cerrado habilitando el solenoide "a" del distribuidor hidráulico "Izquierdo" con lo que el vástago del pistón regresará a su posición contraída. Este evento también se logra de igual manera al pulsar el botón del paro de emergencia al activar el contacto normalmente abierto con la marca I0.0 ("Paro_Emergencia") en caso de existir alguna anomalía y requerir de regresar el vástago a su inicio de carrera. Finalmente, un contacto normalmente abierto con la marca M12.2 ("Etapa9") activa al temporizador a la desconexión DB38 ("TimerProcesodePistón640") para que en un lapso de diez y punto cinco segundos (10.5 s), active a la bobina con la marca M30.7 ("Liberación640") el cual tiene la función de interrumpir el proceso GRAFCET del primer segmento durante el tiempo en que sucede todo el proceso automático del sistema hidráulico.

El quinceavo segmento (Imagen 3.6.1.1.18) fungió como un pequeño enclave para asegurar la activación del sensor I1.1 ("Cil3_Av") que solía ser pasado por alto debido a la velocidad de procesamiento, así que se colocaron dos contactos normalmente abiertos con la marca M7.6 ("Etapa6") y la entrada digital I1.1 ("Cil3_Av") para así enclavar a la bobina con la marca M32.3 ("SensorEnclavado640") para así asegurar la activación de este fin de carrera del pistón del clip. Finalmente, "M32.3" se desenclava con un contacto normalmente cerrado con la marca M12.0 ("Etapa7") lo que nos indica que este proceso solo dura una etapa del proceso GRAFCET del primer segmento.

De esta manera es como se programó el proceso automático del ensamble para el modelo 640.

3.6.1.2 Modelo 641

La programación del modelo 641 comparte similitud estructural en las funciones de los quince segmentos que se describieron con el modelo 640. Las marcas, temporizadores y contadores poseen sus contrapartes homologas en la función "Modelo_641" [FC13] en donde se intercambiaron de subfijo "640" a "641". Las alteraciones remarcables son diferencias las señales de entrada desde sensores de otras piezas o señales de salida para activaciones de otros actuadores.

El primer segmento (Imagen 3.6.1.2.1, Imagen 3.6.1.2.2, Imagen 3.6.1.2.3, Imagen 3.6.1.2.4) mantiene una estructura similar.

El segundo segmento (Imagen 3.6.1.2.5) mantiene una estructura similar.

El tercer segmento (Imagen 3.6.1.2.6) mantiene una estructura similar y solo se altera debido a que corresponde al ensamble del modelo 641 con la pieza tow derecha y esos cambios se determinan en los contactos normalmente abiertos para la señal de entrada digital I8.5 ("Pz_M10Der") y la marca M33.5 ("EnclavePz_Der") correspondiente al perno M10 ubicado a la derecha del nido y a la pieza tow derecha.

Los segmentos: cuarto (Imagen 3.6.1.2.7), quinto (Imagen 3.6.1.2.8), sexto (Imagen 3.6.1.2.9), séptimo (Imagen 3.6.1.2.10), octavo (Imagen 3.6.1.2.11), noveno (Imagen 3.6.1.2.12), décimo (Imagen 3.6.1.2.13), onceavo (Imagen 3.6.1.2.14), doceavo (Imagen 3.6.1.2.15) y treceavo (Imagen 3.6.1.2.16) mantienen una estructura similar.

El catorceavo segmento (Imagen 3.6.1.2.17) mantiene una estructura similar y contiene la alteración de activar a la bobina de señal de salida Q0.6 ("Cil5_TorDer") en lugar de la señal Q0.5 ("Cil4_TorIzq") debido a que el modelo 641 corresponde

a comprimir el perno dentro de la pieza tow derecha, para eso se activa el vástago del pistón hidráulico derecho.

El quinceavo segmento (Imagen 3.6.1.2.18) mantiene una estructura similar.

El dieciseisavo segmento (Imagen 3.6.1.2.19) se encarga de enclavar a la bobina con la marca M33.5 ("EnclavePz_Der") debido a que la programación solo permite continuar con el proceso únicamente al tener todas las piezas que conforman al ensamble en su posición correcta. Al ser detectada por un sensor fotoeléctrico en la acción de ingresar el nido dentro de la estación de ensamble la señal de entrada digital se desactiva deteniendo al proceso automático. Para esto el contacto normalmente abierto con la señal de entrada digital I9.4 ("Pz_Der") se enclava en bobina con la marca M33.5 ("EnclavePz_Der") durante el proceso de ingreso del vástago del pistón del nido y el cerrado de la puerta de seguridad. La marca "M33.5" se desactiva con el contacto normalmente abierto M7.6 ("Etapa6") para así encontrarse desactivada para el siguiente proceso automático de ensamble.

De esta manera es como se programó el proceso automático del ensamble para el modelo 641.

3.6.1.3 Modelo 642

La programación del modelo 641 comparte similitud estructural en las funciones de los quince segmentos que se describieron con el modelo 640. Las marcas, temporizadores y contadores poseen sus contrapartes homologas en la función "Modelo_642" [FC12] en donde se intercambiaron de subfijo "640" a "642". Las alteraciones remarcables son diferencias las señales de entrada desde sensores de otras piezas o señales de salida para activaciones de otros actuadores.

El primer segmento (Imagen 3.6.1.3.1, Imagen 3.6.1.3.2, Imagen 3.6.1.3.3, Imagen 3.6.1.3.4) mantiene una estructura similar.

El segundo segmento (Imagen 3.6.1.3.5) mantiene una estructura similar.

El tercer segmento (Imagen 3.6.1.3.6) mantiene una estructura similar y solo se agrega el contacto normalmente abierto con la marca M32.6 ("EnclaveM8642") y se elimina al contacto normalmente cerrado con la entrada digital I8.4 ("Pz_M8Izq") debido a que en el modelo 642 el perno M8 si es parte de los componentes de ensamble automático.

Los segmentos: cuarto (Imagen 3.6.1.3.7), quinto (Imagen 3.6.1.3.8), sexto (Imagen 3.6.1.3.9), séptimo (Imagen 3.6.1.3.10), octavo (Imagen 3.6.1.3.11), noveno (Imagen 3.6.1.3.12), décimo (Imagen 3.6.1.3.13), onceavo (Imagen 3.6.1.3.14), doceavo (Imagen 3.6.1.3.15), treceavo (Imagen 3.6.1.3.16), catorceavo (Imagen 3.6.1.3.17) y quinceavo (Imagen 3.6.1.3.18) mantienen una estructura similar.

El dieciseisavo segmento (Imagen 3.6.1.3.19) se encarga de enclavar la bobina con la marca M32.6 ("EnclaveM8642") debido a que el perno M8 fue identificado con un sensor fotoeléctrico ubicado dentro de la estación de ensamble y al momento de contraer el vástago del pistón del nido el perno M8 se presentaba el inconveniente de que la pieza salía del rango del sensor perdiendo la señal, desactivando al contacto normalmente abierto correspondiente a I8.4 ("Pz_M8Izq") lo cual deshabilitaba la bobina con la marca M38.0 ("Componentes642") provocando el detenimiento del proceso automático, el cual requiere de todas las piezas en su lugar. Con el enclave se logró continuar el proceso a pesar de estar desactivado el contacto normalmente abierto correspondiente al sensor fotoeléctrico del perno M8. Para esto se colocaron en un conjunto en serie de contactos normalmente abiertos con las entradas digitales I0.2 ("MB_Der"), I0.3 ("MB_Izq") e I8.4("Pz_M8Izq") en

paralelo al contacto normalmente abierto designado a la marca M32.6 ("EnclaveM8642") con ambas líneas convergiendo para activar al enclave. Para desactivar el enclave se colocó, en serie al proceso de activación, a un contacto normalmente cerrado correspondiente a la marca M7.6 ("Etapa6") para culminar al enclave durante la activación de la etapa 6.

De esta manera es como se programó el proceso automático del ensamble para el modelo 642.

3.6.1.4 Alarmas para el operario

Mantener informado al personal operario sobre la situación actual en el proceso de ensamble automático con avisos textuales resulta un asunto de alta prioridad para asegurar el conocimiento de errores como lo son el acomodo incorrecto de piezas y la obstrucción del proceso debido a piezas bloqueadas entre sí o deficiencias en el sistema neumático como lo son una reducción considerable en la presión del aire comprimido en el sistema.

La creación de las alarmas consiste en agregar un bloque de datos y nombrarla en el primer caso como "AlarmasAuto640" [DB14] siendo un bloque de datos globales y se agregan en la tabla con nombre cada error que lanzará la alarma (Imagen 3.6.1.4.1).

Ahora procedemos a crear la función "A010_AlarmasyAvisos_Auto640" [FC4] que corresponderá a las activaciones de alarmas creadas en el bloque de datos "AlarmasAuto640" [DB14]. La bobina creada en la función se encargará de la activación y al direccionarla a una variable se escribirá "AlarmasAuto640" para poder acceder a las ocho alarmas y escoger particularmente la que se pretende habilitar.

Las bobinas están accediendo al bloque de datos DB14 de manera simbólica, pero es necesario acceder de manera absoluta. Para esto ingresamos a las propiedades de DB14 con botón derecho lo cual desplegará un recuadro de edición de parámetros (Imagen 3.6.1.4.2) y en el sector de "Atributos" entremos para desactivar a casilla de "Acceso optimizado al bloque" y presionamos ambos botones verdes "Aceptar".

Esto resulta en un direccionamiento correcto de un segmento creado en la función "A010_AlarmasyAvisos_Auto640" [FC4] con una bobina que se direcciona a una variable creada en el bloque de datos "AlarmasAuto640" [DB14] (Imagen 3.6.1.4.3).

En cuestión de la configuración de alarmas esto es todo lo que concierne a la programación PLC.

3.6.2 Modo manual

La función "B001_Manual" [FC3] se encarga de habilitar a los actuadores de los sistemas hidráulicos y neumáticos de por medio de botones digitales de la pantalla táctil HMI Simatic KTP700 Basic con variables homologas correspondientes a las variables del PLC. Para acceder a ella es necesario activar el enclave "Global".Man_Modo desde la función "A002_Modos" [FC1]. La función se dividió en tres segmentos.

El primer segmento (Imagen 3.6.2.1) se activa desde la función "A002_Modos" con la selección del modo manual (siendo la función "B00A_Manual") activando el enclave de las marcas "Global".Man_Modo y a M26.6 ("ActivaciónG_ModManual") habitando al segmento para la activación de bobinas de señal de salida. Por seguridad se implementó un segundo enclave con la bobina con la marca M9.3 ("PB_Man_Enclave"). A continuación, se colocó un contacto normalmente cerrado con la entrada digital I0.0 ("Paro_Emergencia") para desactivar cualquier proceso y devolver los vástagos de los pistones a sus posiciones seguras. En serie a este

contacto se encuentran todos los escalones de programación en forma paralela. Para los actuadores del sistema neumático se limitó a la estructura de dos tipos de contactos, seis contactos normalmente abiertos con las marcas "On_Cil(x)" siendo la "x" el número de pistón partiendo del valor "1" al "6" con la función de activar a la bobina correspondientes a las salidas digitales; y seis contactos normalmente cerrados con las marcas "Off_Cil(x)" de igual manera, siendo la (x) la numeración de los pistones del valor "1" al "6" para así desactivar las bobinas de las salidas digitales. En el caso de la activación de los actuadores hidráulicos en el modo manual se presenta una configuración diferente a la del sistema neumático. Al activarse la marca M20.6 ("On_Cil4") se habilitan dos contactos asignados a ella. Uno es normalmente abierto, el cual permite la activación de las bobinas con las salidas digitales Q0.5 ("Cil4_TorIzq") y Q0.7 ("Val_Alivio"). Y el otro un contacto normalmente cerrado para evitar la activación de la bobina con la salida digital Q0.6 ("Cil5_TorDer"). Esta combinación logra activar la salida del vástago del pistón izquierdo correspondiente a la compactación del perno M10 o perno M8 en piezas izquierdas. Al activarse la marca M21.0 ("On_Cil5") se habilitan dos contactos asignados a ella. Uno es normalmente abierto, el cual permite la activación de las bobinas con las salidas digitales Q0.6 ("Cil5_TorDer") y Q0.7 ("Val_Alivio"). Y el otro un contacto normalmente cerrado para evitar la activación de la bobina con la salida digital Q0.5 ("Cil4_TorIzq"). Esta combinación logra activar la salida del vástago del pistón derecho correspondiente a la compactación del perno M10 en piezas derechas. En la activación el vástago se mantiene extendido y para retraerlo se realiza el siguiente proceso. Al activar la marca M20.7 ("Off_Cil4") se habilitan dos contactos asignados a ella. Uno es normalmente abierto, el cual permite la activación de la bobina con la salida digital Q0.7 ("Val_Alivio"). Y el otro un contacto normalmente cerrado para evitar la activación de las bobinas con las salidas digitales Q0.5 ("Cil4_TorIzq") y Q0.6 ("Cil5_TorDer"). De la misma manera al activar la marca M21.1 ("Off_Cil5") se habilitan dos contactos asignados a ella. Uno es normalmente abierto, el cual permite la activación de la bobina con la salida digital Q0.7 ("Val_Alivio"). Y el otro un contacto normalmente cerrado para evitar la activación

de las bobinas con las salidas digitales Q0.5 ("Cil4_TorIzq") y Q0.6 ("Cil5_TorDer"). Así es como solo se activa a la salida digital Q0.7 ("Val_Alivio") para retraer el vástago del pistón izquierdo y derecho.

El segundo segmento (Imagen 3.6.2.2) guardó la activación de la bobina normalmente abierta con la salida digital M24.5 ("HabilitadorTow") y su contraparte, la bobina normalmente cerrada con la salida digital M24.6 ("HabilitadorTowInverso"). Donde la marca "M24.6" tiene su marca homologa en la programación de la pantalla táctil ("HabilitadorTowInverso_HMI") la cual habilita la visibilidad de los botones "On" y "Off" para la activación-desactivación del vástago del pistón del nido. Esto se hace como medida de seguridad para inhabilitar la salida del vástago del pistón del nido cuando el vástago del pistón de la puerta de seguridad se encuentra extendido para evitar la destrucción de la placa de policarbonato sólido o en el caso de que los vástagos de los pistones de componentes y de clip se encuentren extendidos, esto debido a que podría ocasionar la destrucción de piezas empotradas durante el proceso manual de ensamble.

El tercer segmento (Imagen 3.6.2.3) activa a la bobina con la marca M26.2 ("OcultoAtrásManual") con la función de habilitar, con su marca homologa en la programación HMI ("OcultoAtrásManual_HMI"), la visualización del botón encargado a retroceder de la imagen del modo manual ("A004_Man") a la imagen del menú principal ("A002_Menu"). Esto se hace con la finalidad de solo poder abandonar el modo manual al regresar todos los pistones a su posición inicial, es decir todos los vástagos deben estar contraídos dentro de los pistones a excepción del vástago del pistón de puerta de seguridad que debe estar extendido.

3.6.2.1 Alarmas para ingenieros

A diferencia de las distintas alarmas en el modo automático, en el modo manual solo existe una alarma que se activa al presionar el botón de paro de emergencia. La configuración de la alarma es idéntica a la explicada en el modo automático.

Aquí se creó el bloque de datos "AlarmaModoManual" [DB13] (Imagen 3.6.2.1.1) y la función "A009_Avisos_Manual" [FC8] (Imagen 3.6.2.1.2) con la activación de la bobina con la marca DB13.DBX0.0 ("AlarmaModoManual".Emergencia") para la habilitación de la alarma que muestra en mensaje de advertencia en la imagen de modo manual ("A004_Man").

3.6.3 Modo mantenimiento

La función "A004_Mant" [FC7] se encarga de comprobar el funcionamiento correcto de cada una de las entradas y salidas digitales. Los sistemas hidráulicos y neumáticos se deshabilitan al desactivar la bobina con la salida digital Q1.0 ("Arran_Pro") debido a que la programación no permite tener dos estados lógicos en una misma bobina. La razón de esto es porque en la función "A002_Modos" [FC1] el estado lógico de esta bobina es "1" y dentro de la función "A004_Mant" [FC7] el estado lógico de esta bobina es "0". Para probar las entradas y salidas se relacionan marcas y bobinas del PLC a sus variables homologas en la programación HMI por medio de botones digitales dentro de las imágenes destinadas en la pantalla táctil HMI Simatic KTP700 Basic. Para acceder a esta función es necesario activar el enclave "Global".Mant_Modo desde la función "A002_Modos" [FC1]. La función se dividió en dos segmentos.

El primer segmento (Imagen 3.6.3.1) se encargó de comprobar el funcionamiento de las entradas digitales. Primeramente, el segmento queda enclavado con la bobina M9.1 ("PB_Mant_Input_Enclave") para mantener habilitados los procesos. Cada una

de las veintidós entradas digitales fueron asignadas a veintidós contactos normalmente abiertos en forma paralela para al ser pulsados activar su bobina con marca correspondiente. Estas marcas se nombraron como las entradas digitales con el prefijo "B_". Es decir, la marca M1.2 de la bobina que se activó con el contactor de la entrada digital I0.1 ("Rearme") se nombró ("B_Rearme"). Las marcas activadas en este segmento tienen sus variables homologas en la programación HMI en donde se encargan de cambiar el color de un círculo a color verde RGB [49; 154; 99] para indicar que los elementos de entrada como lo son los botones rasantes, sensores inductivos y magnéticos funcionan correctamente.

El segundo segmento (Imagen 3.6.3.2) se encargó de comprobar el funcionamiento de las salidas digitales. El segmento queda enclavado con la bobina M9.0 ("PB_Mant_Output_Enclave") para mantener habilitados los procesos. A las diez salidas digitales se les asignaron bobinas y para activarlas se colocaron contactos normalmente abiertos en forma paralela con marcas nombradas con el prefijo "B_" de la bobina de la salida digital que activa. Es decir, la bobina con la salida digital Q0.0 ("Ind_OK") se activó con el contacto normalmente abierto con la marca M4.7 nombrada ("B_Ind_OK"). Los contactos normalmente abiertos fueron activados desde sus variables homologas en la programación HMI por medio de eventos al pulsar y soltar el botón digital correspondiente a cada salida digital. Esto se realizó para probar el funcionamiento de los elementos de salida como lo son los indicadores luminosos, solenoides, bobinas de contactores funcionan correctamente.

Así finaliza la programación en lenguaje KOP o escalera dentro del proyecto la cual guarda mucha relación con la programación HMI de imágenes enlazando variables para ingresar o exteriorizar datos a la pantalla táctil HMI Simatic KTP700 Basic.

Ahora se explicará la programación HMI que se realizó para informar al usuario visualmente de la situación actual del sistema y darle también la capacidad de manipulación de la estación de ensamble.

3.7 Programación de interfaz HMI

La comunicación entre el ser humano y el controlador lógico programable para recibir y enviar datos se realiza por medio de una interfaz. Al dispositivo electrónico que lleva a cabo esta relación lleva el nombre de HMI, por sus siglas en inglés "Human Machine Interface (Interfaz Humano-Máquina)". En este proyecto se utilizó una pantalla táctil Simatic KTP700 Basic para facilitar el manejo intuitivo del ser humano que interviene con el controlador lógico programable de la estación de ensamble.

Para el envío y recepción de datos entre los dispositivos PLC y HMI se llevó a cabo con una red Profinet bajo la norma 568B (B-B) por medio del conmutador Weidmüller Ethernet Switch IE-SW-BL05-5TX. Las direcciones IP que se asignaron fueron las siguientes:

- PLC: 192.168.0.3
- HMI: 192.168.0.4

Cada representación visual emitida por la pantalla táctil HMI lleva el nombre de "imagen" se puede editar y adjuntar elementos como lo son figuras, imágenes externas, botones, texto, etc. Los botones tienen la capacidad de editarse con la finalidad de hacer saltos entre imágenes para visualizar los distintos modos de la estación de ensamble. Además, las figuras pueden editarse para cambiar de color o desaparecer conforme a los parámetros que se ingresen en sus configuraciones.

Al girar el interruptor principal Eaton Cutler Hammer 25A P1-25/EA/SVB el sistema eléctrico de control alimenta con 24V DC al sistema HMI. La pantalla se enciende y aparece la "A001_Imagen raíz" (Imagen 3.7.1) en donde se encuentra el botón rojo con la leyenda "Menú principal". Este botón se configura para poseer la función que

al pulsarlo se habilite el evento de activar la imagen "A002_Menu" (Imagen 3.7.2), es decir, al pulsar el botón la imagen "A001_Imagen raíz" se transporta hacia la imagen "A002_Menu".

En la imagen "A002_Menu" (Imagen 3.7.3) se encuentran los botones configurados para acceder a las imágenes correspondientes a los modos de operación y enclavar a las marcas acceso de cada modo en la programación PLC. Las imágenes de los modos serán explicadas a continuación:

3.7.1 Modo automático

Al entrar al modo automático se visualiza la imagen "A003_Auto" (Imagen 3.7.1.1) se observan tres botones con una imagen correspondiente al modelo al que esta designado ensamblar.

Una de las particularidades que posee, es la de deshabilitar la entrada e icono a otros dos modelos cuando se encuentre en proceso activo alguno de ellos, a la vez de visualizar el texto "En proceso" y un círculo parpadeante entre gris RGB [222; 219; 222] a verde RGB [0; 130; 0] en el modelo activo (Imagen 3.7.1.2). Esto se realizó al incluir seis recuadros blancos, textos "En proceso", círculos y su parpadeo con visibilidad programada al activarse cualquier modelo de ensamble al activar un proceso automático con sus variables correspondientes en HMI: "Inicia_Enclave_Proceso640_HMI", "Inicia_Enclave_Proceso641_HMI" y "Inicia_Enclave_Proceso642_HMI". Lo cual habilita a su vez a sus variables homologas en la programación del PLC. Es necesario finalizar el proceso pendiente para poder seleccionar un modelo diferente.

Para iniciar la producción del modelo 640 en específico, el operario debe ingresar a la interfaz del modelo (Imagen 3.7.1.3). Una vez dentro de la imagen "B001_Mod640" se oprime el botón verde RGB [0; 130; 0] con la leyenda

“Comenzar” el cual realiza dos acciones principales. La primera acción es la de activar la visualización del botón rojo RGB [255; 0; 0] con la leyenda “Finalizar” sobreponiéndose al botón “Comenzar” haciéndolo desaparecer temporalmente. La segunda acción es activar a las variables “Inicia_Enclave_Proceso640_HMI” y a “ActivadordeReset_HMI” y desactivar a la variable “Sale_Enclave_Proceso640_HMI”. Al dejar de oprimir el botón “Comenzar” se desactiva la variable “ActivadordeReset_HMI”. Estos eventos de activación y desactivación de variables se ven reflejados en sus marcas homologas en la programación PLC. A grandes rasgos la segunda acción enclava y activa al primer y segundo segmento de la función “Modelo_640 [FC10]” lo cual contrae el vástago de la puerta de seguridad seguido de la expulsión del vástago del pistón del nido hacia el exterior de la máquina para así comenzar la colocación de componentes.

La interfaz otorga asistencia al operario para la colocación de cada componente del ensamble al cambiar el color de la barra inferior de cada ícono de componente individual de un color oscuro RGB [0; 40; 0] (Imagen 3.7.1.4) a color verde RGB [0; 255; 0] (Imagen 3.7.1.5), disminuyendo así fallos en el ensamble. Esto se logra debido a que la detección de los sensores de los componentes se comparte con variables en HMI activándolas en el proceso. Estas variables permiten el cambio de colores en las barras inferiores.

Una vez completada la colocación de todos los elementos ocurre la habilitación de los bimanuales físicos por medio de la programación PLC al activarse la marca M36.2 (“Componentes640”) que a su vez habilita a su variable homologa “Componentes640_HMI”. Este evento se refleja dentro de la imagen en las figuras “Círculo_1 [Círculo]” para bimanual izquierdo físico y “Círculo_2 [Círculo]” para bimanual derecho físico, ambas ubicadas bajo la leyenda “Bimanuales”. Al activarse la variable “Componentes640_HMI” se modifica la apariencia de estas dos figuras al haber sido configuradas para cambiar de un color originalmente oscuro RGB [0; 40; 0] a color verde RGB [0; 162; 0]. De esta manera se informa que todo se encuentra

listo para activar el proceso pulsando ambos botones bimanuales físicos (Imagen 3.7.1.6).

Finalmente, para comenzar el ensamble se deben mantener pulsados a la vez los botones bimanuales físicos para enviar las señales digitales de entrada I0.2 ("MB_Der") e I0.3 ("MB_Izq") al PLC y continuar con el proceso automático basado en método GRAFCET, esto hasta que el sensor inductivo I0.5 ("Cil1_Av") indique finalizada la expulsión del vástago del pistón de la puerta de seguridad, lo que significa que la placa de policarbonato se encuentra aislando el interior de la estación de ensamble con el área de trabajo exterior del operador.

Por otro lado, la acción de presionar los botones bimanuales físicos provocará dos eventos diferentes en la imagen "B001_Mod640".

En el primer evento, la marca M36.2 ("Componentes640") está habilitada lo cual activa del cuarto segmento de la función "Modelo_640 [FC10]" de la programación PLC para habilitar las marcas M37.0 ("MB_DerVerde640") y M37.1 ("MB_IzqVerde640"). Estas marcas activan a sus variables homologas "MB_DerVerde640_HMI" y "MB_IzqVerde640_HMI" para habilitar la visualización de las figuras "Círculo_3 [Círculo]" (Imagen 3.7.1.7) para bimanual izquierdo y "Círculo_4 [Círculo]" para bimanual derecho.

De manera secuencial, en el segundo evento la activación de la marca M36.2 ("Componentes640") al estar todos los componentes colocados correctamente y activarse las marcas M37.0 ("MB_DerVerde640") y M37.1 ("MB_IzqVerde640") habilitan la acción del sexto segmento de la función "Modelo_640 [FC10]" de la programación PLC para habilitar las marcas M36.4 ("MB_Izq_Comb640") y M36.5 ("MB_Der_Comb640"). Estas marcas activan a sus variables homologas "MB_Izq_Comb640_HMI" y "MB_Der_Comb640_HMI" para modificar la apariencia de color originalmente oscuro RGB [0; 40; 0] a color verde RGB [0; 255; 0] en las

figuras "Círculo_3 [Círculo]" (Imagen 3.7.1.8) para bimanual izquierdo y "Círculo_4 [Círculo]" para bimanual derecho.

Esto con el fin de indicar al operador que está realizando la acción de presionar ambos botones bimanuales físicos de manera visual en la imagen "B001_Mod640" (Imagen 3.7.1.9).

Finalizado el proceso de ensamble de la estación de ensamble, la rutina automática GRAFCET contrae el vástago del pistón de la puerta de seguridad abriendo la placa de policarbonato y extiende el vástago del pistón del nido para expulsar la pieza ensamblada. El operador retira la pieza del nido.

En la imagen "B001_Mod640" los recuadros de los componentes vuelven a ser de color oscuro RGB [0; 40; 0] y el proceso puede repetirse cuantas veces el operario lo desee (Imagen 3.7.1.10).

Para finalizar el proceso en el modelo automático de ensamble es necesario esperar la expulsión de la última pieza ensamblada deseada y pulsar el botón rojo RGB [255; 0; 0] con la leyenda "Finalizar" el cual realiza dos acciones principales. La primera acción es la de desactivar su propia visualización para sobreponer al botón verde RGB [0; 130; 0] con la leyenda "Comenzar". La segunda acción es activar a las variables "Sale_Enclave_Proceso640_HMI" y a "Fin_Proceso_HMI" y desactivar a la variable "Inicia_Enclave_Proceso640_HMI". Al dejar de oprimir el botón "Finalizar" se desactiva la variable "Fin_Proceso_HMI". Estos eventos de activación y desactivación de variables se ven reflejados en sus marcas homologas en la programación PLC. A grandes rasgos la primera y segunda acción desenchava y desactiva al primer y segundo segmento de la función "Modelo_640 [FC10]" lo cual contrae el vástago del pistón del nido hacia el interior de la estación de ensamble seguido de la contracción del vástago de la puerta de seguridad para así finalizar las operaciones de ensamble en el modelo previamente utilizado.

De esta manera al regresar a la imagen "A003_Auto" se habilitan la entrada e icono a los otros dos modelos y desaparece la visualización del texto "En proceso" y del círculo parpadeante gris RGB [222; 219; 222] a verde RGB [0; 130; 0]. Esto se realiza al desactivar a los cuatro recuadros blancos, al texto "En proceso" y al círculo con parpadeo con visibilidad programada al desactivarse la variable "Inicia_Enclave_Proceso640_HMI". Esto para poder seleccionar un nuevo modelo de ensamble y comenzar un proceso automático diferente.

Todos los procesos descritos dentro de la imagen "B001_Mod640" se encuentran en los tres modelos de ensamble con sus propias variables HMI enlazándose a sus respectivas variables y funciones del PLC.

3.7.1.1 Modelo 640

La imagen "B001_Mod640" distribuye sus elementos y figuras de tal manera que priorice la correcta colocación de componentes y atención a alarmas emergentes (Imagen 3.7.1.1.1).

3.7.1.2 Modelo 641

La imagen "B002_Mod641" distribuye sus elementos y figuras de tal manera que priorice la correcta colocación de componentes y atención a alarmas emergentes (Imagen 3.7.1.2.1).

3.7.1.3 Modelo 642

La imagen "B003_Mod642" distribuye sus elementos y figuras de tal manera que priorice la correcta colocación de componentes y atención a alarmas emergentes (Imagen 3.7.1.3.1).

3.7.1.4 Contadores de piezas

La función de los contadores visuales fue la de llevar el control de piezas ensambladas durante el proceso automático. Debido a que los procesos de los tres ensambles llevan la misma metodología, se explicará el conteo en la imagen "B001_Mod640".

Al finalizar el ensamble automático por método GRAFCET se habilita la marca M7.7 ("EtapaContadora640") ubicada en el primer segmento de la función "Modelo_640 [FC10]", su activación es muestreada por el contador ascendente DB3 ("ContadorPiezas640_Ok") y memorizada en la variable MW100 ("Cont640OK") que aumenta su conteo de unidades empezando en su valor mínimo "0" hasta un valor máximo "10 000". La variable homologa de MW100 ("Cont640OK") en HMI fue "Contador640PzOk" la cual fue incluida como variable de proceso en el elemento "Campo ES_1 [Campo E/S]" y se configuró en modo de salida y formato decimal (Imagen 3.7.1.4.1). Este elemento se incluyó dentro del recuadro correspondiente al conteo de "Piezas OK" (Imagen 3.7.1.4.2).

Para contabilizar a las piezas con defectos se realizó el mismo proceso usándose la marca M37.4 ("EtapaContadoraDeErrores640") del onceavo segmento de la función "Modelo_640 [FC10]". En este caso se refleja dentro del recuadro correspondiente al conteo de "Piezas no OK".

3.7.1.5 Alarmas para el operario

Se incluyen métodos de advertencia en los cuales el operario es informado que hay irregularidades durante el proceso. La primera de ellas es visual, la cual ocurre cuando alguna pieza no se ha colocado dentro de la estación de ensamble, o se encuentra mal colocada (Imagen 3.7.1.5.1), y el operario presiona los botones

bimanuales físicos con la intención de comenzar el ensamblado automático (Imagen 3.7.1.5.2). En este caso los bimanuales de la interfaz pasan de tonalidad oscura a un rojo parpadeante.

Esto se realiza con la acción de presionar los botones bimanuales físicos, lo cual provocará dos eventos diferentes en la imagen "B001_Mod640".

En el primer evento, al encontrarse incompletos los componentes del ensamble la marca M36.3 ("ComponentesIncompletos640") se habilita lo cual activa al quinto segmento de la función "Modelo_640 [FC10]" de la programación PLC para habilitar las marcas M37.2 ("MB_DerRojo640") y M37.3 ("MB_IzqRojo640"). Estas marcas activan a sus variables homologas "MB_DerRojo640_HMI" y "MB_IzqRojo640_HMI" para habilitar la visualización de las figuras "Círculo_5 [Círculo]" (Imagen 3.7.1.5.3) para bimanual izquierdo y "Círculo_6 [Círculo]" para bimanual derecho.

A la par, en el segundo evento la activación de las marcas M36.3 ("ComponentesIncompletos640"), M37.2 ("MB_DerRojo640") y M37.3 ("MB_IzqRojo640") habilitan la acción del séptimo segmento de la función "Modelo_640 [FC10]" de la programación PLC para habilitar las marcas M36.6 ("MB_Izq_Alarma640") y M36.7 ("MB_Der_Alarma640"). Estas marcas activan a sus variables homologas "MB_Izq_Alarma640_HMI" y "MB_Der_Alarma640_HMI" para modificar la apariencia de color originalmente oscuro RGB [24; 28; 49] a color rojo RGB [255; 0; 0] en las figuras "Círculo_5 [Círculo]" (Imagen 3.7.1.5.4) para bimanual izquierdo y "Círculo_6 [Círculo]" para bimanual derecho. Esta advertencia visual desaparece al soltar los bimanuales físicos.

Además, existen las advertencias por medio de texto. Estas aparecen debido a errores como lo son el acomodo incorrecto de piezas y la obstrucción del proceso debido a piezas bloqueadas entre sí en el proceso del sistema neumático.

Previamente el apartado "3.6.1.4 Alarmas para el operario" se explicó cómo se lleva a cabo la activación de las alarmas en la programación Ladder del PLC.

Para la enlazar las alarmas de la programación PLC a la pantalla HMI se realiza lo siguiente.

Se ingresa en el árbol del programa al apartado de "Avisos HMI". Se despliega una tabla en donde colocaremos la configuración de cada una de las alarmas que se visualizarán en los tres modelos de ensamble.

El apartado de "ID" se enumera automáticamente al agregar alarmas desde el valor "1" de manera ascendente. Para el apartado "Texto de aviso" se coloca una descripción de la razón por la cual se activó esa alarma en específico. En "Categoría" se mantiene la opción de "Errors". Tenemos que modificar el apartado de "Variable de disparo" agregando la variable del PLC, esto se logra al dar un nombre propio a la variable, también al modificar sus propiedades de conexión a la opción "HMI_Conexión_1" y dando un modo de acceso en opción de "Acceso absoluto" y en la dirección de modifica para hacerlo coincidir con el DB correspondiente a la variable de alarma (Imagen 3.7.1.5.5).

Ahora se procede a configurar el bit de la alarma. Considerando que cada DB creado en la programación llevó ocho alarmas, podemos incluir ocho bits en cada variable de bloque DB. De manera automática en el apartado "Bits de disparo" al crear la primera alarma se coloca el valor de "0", pero para el entorno de desarrollo en TIA Portal el bit bajo es el valor "8". Así que se reemplaza el valor de "0" a "8" y terminar en la numeración de bit con el valor "15".

Al agregar más alarmas, se adjunta los siguientes valores para "Bits de disparo" y "Variable de disparo" de manera automática para el mismo DB. Al agregar ocho alarmas será necesario reconfigurar las alarmas para un nuevo DB. En el caso de las

alarmas automáticas se distribuyeron en el bloque DB14 para el modelo 640, DB15 en el modelo 641 y DB16 para el modelo 642 (Imagen 3.7.1.5.6).

De esta manera, al suceder una anomalía configurada en PLC, se mostrará un mensaje descriptivo por medio de un recuadro de "Avisos no acusados" en la imagen correspondiente en donde se halla presentado el error (Imagen 3.7.1.5.7).

De esta manera se llevó a cabo la programación de las imágenes del modo automático de la estación de ensamble.

3.7.2 Modo manual

El ingreso a este modo de operación requiere el ingreso de contraseña y usuario (Imagen 3.7.2.1). La imagen "A004_Man" se encarga de activar y desactivar manualmente el accionamiento de los vástagos de los pistones de los sistemas neumático e hidráulico por medio de botones táctiles (Imagen 3.7.2.2). Por petición del cliente, los pistones fueron nombrados como cilindros.

Esto se configuró con dos botones para la acción de cada pistón. En el caso del sistema neumático se aplicó el sistema utilizado en los botones "Comenzar" y "Finalizar" de las imágenes del modo automático. Se encuentra una leyenda textual sobre cada par de botones para indicar el vástago de pistón al que corresponde la acción. En este caso para el pistón de componentes originalmente se encuentra el elemento "Botón_5 [Botón]" de color verde RGB [0; 130; 0] con el texto "On" configurado para realizar la activación.

La acción se realiza ser pulsado el elemento "Botón_5 [Botón]" y provocar el evento de activar la variable "On_Cil2_HMI" y desactivar la variable "Off_Cil2_HMI" (Imagen 3.7.2.3) lo cual se refleja en sus variables homologas en la programación PLC, específicamente en la función "B001_Manual [FC3]" para así activar el contacto

normalmente abierto con la marca M20.2 ("On_Cil2") y desactivar el contacto normalmente cerrado con la marca M20.3 ("Off_Cil2") lo que habilita a la bobina con la salida digital asignada con Q0.3 ("Cil2_Comp") activando el vástago del pistón de componentes.

Para cerciorarnos de la correcta activación del actuador se agregó la figura "Círculo_2 [Círculo]" con la configuración de cambiar apariencia de un color gris RGB [222; 219; 222] a un color verde RGB [0; 130; 0] notificándose cuando la salida digital asignada con Q0.3 ("Cil2_Comp") por medio de la variable "Cil2_Comp_HMI" (Imagen 3.7.2.4).

De manera simultánea, la activación de la variable "On_Cil2_HMI" provoca la visualización del elemento "Botón_13 [Botón]" de color rojo RGB [132; 0; 0] con el texto "Off" para sobreponerse al elemento "Botón_5 [Botón]".

Para la desactivación del vástago del pistón de componentes del sistema neumático es necesario pulsar al elemento "Botón_13 [Botón]" de color rojo RGB [132; 0; 0] con el texto "Off" el cual tiene dos acciones principales.

La primera acción es que al ser pulsada se provoca el evento de activar la variable "Off_Cil2_HMI" y desactivar la variable "On_Cil2_HMI" (Imagen 3.7.2.5) lo cual se refleja en sus variables homologas en la programación PLC, específicamente en la función "B001_Manual [FC3]" para así activar el contacto normalmente cerrado con la marca M20.3 ("Off_Cil2") y desactivar el contacto normalmente abierto con la marca M20.2 ("On_Cil2") lo que deshabilita a la bobina con la salida digital asignada con Q0.3 ("Cil2_Comp") desactivando el vástago del pistón de componentes.

A consecuencia de la desactivación de la variable "On_Cil2_HMI" la visualización del elemento "Botón_13 [Botón]" de color rojo RGB [132; 0; 0] con el texto "Off" se

desactiva ocultarse y hacer aparecer al elemento "Botón_5 [Botón]" con el texto "On" (Imagen 3.7.2.6).

En el caso de la activación y desactivación de los dos vástagos de los pistones del sistema hidráulico se llevó a cabo por medio de dos botones el uno al otro sin efecto de visualización. Para explicarlo se analizará el vástago del pistón destinado a comprimir pernos en piezas izquierdas, aquí nombrado como "Cilindro de perno izquierdo".

Sobre el elemento "Botón_4 [Botón]" de color verde RGB [0; 130; 0] con el texto "On" se configuraron dos eventos. Al pulsar se activa la variable "On_Cil4_HMI" y al soltar se desactiva la variable "On_Cil4_HMI". Esto se transmite a la marca M20.6 ("On_Cil4") su variable homóloga en la programación PLC, para activar dos contactos, uno normalmente abierto y uno normalmente cerrado dentro de la función "B001_Manual [FC3]". De esta manera se activan las salidas digitales Q0.5 ("Cil4_TorIzq") y Q0.7 ("Val_Alivio") para provocar la expulsión del vástago del pistón correspondiente a la función de comprimir pernos en piezas izquierdas (Imagen 3.7.2.7).

Y para hacer el efecto contrario se encuentra el elemento "Botón_3 [Botón]" de color rojo RGB [132; 10; 0] con el texto "Off" se configuraron dos eventos. Al pulsar se activa la variable "Off_Cil4_HMI" y al soltar se desactiva la variable "Off_Cil4_HMI". Esto se transmite a la marca M20.7 ("Off_Cil4") su variable homóloga en la programación PLC, para activar dos contactos, uno normalmente abierto y uno normalmente cerrado dentro de la función "B001_Manual [FC3]". De esta manera se activa la salida digital Q0.7 ("Val_Alivio") para provocar la contracción del vástago del pistón correspondiente a la función de comprimir pernos en piezas izquierdas (Imagen 3.7.2.8).

De igual manera lo acompaña la figura circular para confirmar su accionamiento al estar configurada de la misma manera en que se explicó anteriormente.

Podemos concluir que la activación y desactivación del vástago del pistón se requiere ser presionada para continuar, ya que al momento de dejar de presionar cualquiera de los dos botones su acción se detendrá.

Como método de seguridad se configuraron visualizaciones de recuadros blancos sobre los botones "On" para evitar activaciones que provocaran colisiones o daños en las piezas colocadas en el nido. Esto se procuró ocultar el botón "On" del cilindro de la puerta de seguridad cuando la salida digital Q1.1 ("Cil6_Tow") esté activada por medio de su variable homóloga "Cil6_Tow_HMI" para así no provocar una colisión entre la placa de policarbonato y el nido (Imagen 3.7.2.9).

Para finalizar se realizó la visualización de un recuadro blanco sobre el elemento "Botón_1 [Botón]" con la función de regresar a la imagen "A002_Menu" y desaparece hasta que todos los vástagos de los pistones se encuentran en su posición inicial, esto al activarse la variable "OcultoAtrásManual_HMI" proveniente de su variable homóloga siendo esta la marca M26.2 ("OcultoAtrásManual") ubicada en el tercer segmento de la función "B001_Manual [FC3]".

3.7.2.1 Alarmas para operario

Para la alarma en el modo manual se dio el mensaje de desactivar los botones "On" antes de presionar el botón de "Rearme" durante una rutina de paro de emergencia. Esto debido a que el PLC no puede desactivar funciones concretadas en la imagen "A004_Man" específicamente en la visualización de los botones lo cual provoca un enclave.

Es decir, en un ejemplo práctico, al mantener el proceso con un paro de emergencia y tener activada la salida digital Q0.4 ("Cil3_SegClip") y pasar a la rutina de paro de emergencia al momento de presionar el botón físico "Rearme" dirigido a la entrada digital I0.1 ("Rearme") la salida digital se volverá a activar debido a que el contacto normalmente abierto asignado a la marca M20.4 ("On_Cil3") permanece activo. La manera de evitar este proceso es pulsar el elemento "Botón_16 [Botón]" con el texto "Off" para desactivar al contacto con la marca M20.4 ("On_Cil3") para así no repetir la activación y prevenir accidentes.

El método de configuración de alarma es idéntico al de las alarmas del modo automático (Imagen 3.7.2.1.1).

De esta manera se llevó a cabo la programación de las imágenes del modo manual de la estación de ensamble.

3.7.3 Modo mantenimiento

El ingreso a este modo de operación requiere el ingreso de contraseña y usuario. La imagen "A005_Mant" se encarga de mostrar la selección de acceso libre a tres imágenes destinadas a realizar la comprobación del correcto funcionamiento eléctrico de los elementos de entrada como los son: botones rasantes, sensores inductivos, magnéticos y fotoeléctricos.

Así mismo de llevar a cabo la activación por medio de forzado de señales para comprobar el funcionamiento eléctrico de elementos de salida siendo: actuadores luminosos, neumáticos e hidráulicos (Imagen 3.7.3.1).

Para realizar las acciones de distribuyeron en tres imágenes. Dos de estas imágenes de destinaron para la lectura de entradas digitales: "C001_Input(BotonesySensores)" y "C002_Input(Cilindros)". Esto para distribuir la

alta cantidad de entradas y no saturar de elementos a una sola imagen. Y la última imagen "C003_Output" se destinó para la activación de las salidas digitales.

Para la imagen "C001_Input(BotonesySensores)" se destinó a la observación de del funcionamiento de los botones rasantes físicos, sensores inductivos y fotoeléctricos. En la imagen se distribuyeron las entradas digitales antes mencionando su nombre, bit y una figura circular (Imagen 3.7.3.2). Para comprobar el funcionamiento de cada elemento de entrada digital se configuró cada una de sus figuras circulares correspondientes para cambiar de color gris RGB [222; 219; 222] a color verde RGB [49; 154; 99] cuando se detecta activada la entrada digital por medio de su variable homologa en HMI con el prefijo "B_" (Imagen 3.7.3.3). Es decir, al pulsar el botón rasante correspondiente a la función de "Rearme" la entrada I0.1 ("Rearme") se activa para habilitar la variable HMI "B_Rearme" para activar a su vez el cambio de color en la figura "Círculo_1 [Círculo]" correspondiente al texto "Rearme" y al bit "I0.1"

En la imagen "C002_Input(Cilindros)" se encuentran las figuras que confirman el funcionamiento de los sensores magnéticos encontrados en los inicios y finales de carrera de los cilindros del sistema neumático (Imagen 3.7.3.4). El método de detección por medio de las figuras circulares se configura de la misma manera que en la imagen "C001_Input(BotonesySensores)".

Por otro lado, en la imagen "C003_Output" cumplió la función de forzar la activación de las salidas digitales para así cerciorarse del correcto funcionamiento eléctrico de los preactuadores. En la imagen se distribuyeron las salidas digitales con un elemento botón con su nombre, bit y una figura circular (Imagen 3.7.3.5). Para forzar las señales se configuró los botones para activar cada uno de las salidas digitales. Por ejemplo, para la activación del solenoide correspondiente a la expulsión del vástago del pistón de los componentes debe pulsarse el elemento "Botón_11 [Botón]" con el texto "Cilindro de componentes" configurado para crear dos eventos.

El primero evento se realiza al pulsar y activar a la variable "B_Cil2_Com_HMI" y el segundo evento al soltar desactivar a la variable "B_Cil2_Com_HMI" (Imagen 3.7.3.6). Esto se transmite a la marca M15.2 ("B_Cil2_Com") su variable homóloga en la programación PLC, para activar al contacto normalmente abierto propiamente asignado dentro de la función "A004_Mant [FC7]". De esta manera se habilita la salida digital Q0.3 ("Cil2_Comp") para forzar la activación del solenoide.

Finalmente, se colocaron figuras circulares para confirmar el funcionamiento de preactuadores en sus partes eléctricas. El método de detección en figuras circulares se configura de la misma manera que en la imagen "C001_Input(BotonesySensores)".

De esta manera se llevó a cabo la programación de las imágenes del modo mantenimiento de la estación de ensamble.

3.7.4 Habilitador

El retorno a la imagen "A002_Menu" después de haber manipulado imágenes dentro de cualquiera de los tres modos de operación provoca un bloqueo de botones de acceso a los demás modos por medio de un recuadro amarillo RGB [255; 255; 0] con el texto "Presione Habilitador y botón Rearme para habilitar botones" y recuadros de color blanco.

Al entrar a los modos de operación el botón activa su variable propia de enclavamiento para habilitar el segmento del modo seleccionado y deshabilitar a los otros dos modos. Además, el botón activado cambia de un color gris RGB [222; 219; 222] a un color verde RGB [0; 130; 0] durante el enclave (Imagen 3.7.4.1).

El bloqueo tiene la función de liberar el enclavamiento por medio de la rutina desbloqueo en dos pasos:

- El primer paso es presionar el elemento "No_Modo [Botón]" de color azul RGB [0; 0; 132] con el texto "Habilitador" para activar la variable "PB_NoModo" a su vez habilitando a su variable homóloga en programación PLC, la marca M0.0 ("PB_NoModo") en el contacto normalmente cerrado del segundo segmento de la función "A002_Modos [FC1]" para deshacer el enlace.
- El segundo paso es presionar el botón físico "Rearme" para activar la entrada digital I0.1 ("Rearme") poniendo en estado alto al contacto normalmente abierto del primer segmento de la función "A002_Modos [FC1]" para finalmente habilitar los sistemas neumático e hidráulico de la estación de ensamble.

Por seguridad del sistema no se puede lograr la liberación del enclavamiento para la habilitación de acceso a modos cuando un proceso de ensamble automático se encuentre pendiente. Es necesario finalizar el proceso de ensamble automático en su totalidad.

Una vez realizada la rutina el bloqueo desaparece y se puede seleccionar un nuevo modo de operación (Imagen 3.7.4.2).

3.7.5 Usuarios y contraseñas

La imagen "Usuarios" está destinada a ingresar nuevos usuarios y destinarles contraseñas, jerarquías y tiempo de cierre de sesión. Este proceso se lleva a cabo por medio del control "Visor de usuarios_1 [Visor de usuarios]". También posee el elemento "Botón_1 [Botón]" para regresar a la imagen "A002_Menu".

El acceso a imágenes "Usuarios", "A004_Man" y "A005_Mant" requiere del ingreso correcto de un nombre de usuario previamente registrado y de su contraseña asignada.

Para jerarquizar el rango de usuarios se dividieron en tres grupos:

1. Grupo de administradores
 2. Ingeniero
 3. Mantenimiento
- El grupo "Grupo de administradores" posee el permiso "Administración de usuarios" para acceder a las imágenes "Usuarios", "A004_Man" y "A005_Mant".
 - El grupo "Ingeniero" posee el permiso "Operación" para acceder a las imágenes "A004_Man" y "A005_Mant".
 - Finalmente, el grupo "Mantenimiento" posee el permiso "Monitorización" para acceder a la imagen "A005_Mant".

Para realizar esta configuración se hizo uso de la opción "Administración de usuarios" y dirigirse a la carpeta de "Grupos de usuarios". Allí se definieron los tres grupos y la jerarquía a donde tendría permiso de acceder (Imagen 3.7.5.1).

Una vez creados los grupos se destinaron a ingresar los usuarios predeterminados con personal de la empresa Arbomex S.A. de C.V (Imagen 3.7.5.2).

Una vez configurados los usuarios y contraseñas sus condiciones se aplicaron en los elementos "FB_Empty_Rectangular_2" y "FB_Empty_Rectangular_3" siendo los botones de acceso al modo manual y mantenimiento correspondientemente dentro de la imagen "A002_Menu".

Para ese se configuró su seguridad con un permiso de "Operación" para el elemento "FB_Empty_Rectangular_2" y el permiso "Monitorización" al elemento "FB_Empty_Rectangular_3" (Imagen 3.7.5.3).

3.7.6 Paro de emergencia

Para la visualización del accionamiento del botón de paro de emergencia se generó un bloqueo total de pantalla para inhabilitar cualquier acción en la pantalla táctil HMI.

Para hacer esto se adjuntó una pantalla de bloqueo referente al paro de emergencia (Imagen 3.7.6.1) con la configuración de visualización al activarse la variable "ImagEmer_HMI" proveniente de su marca homóloga en PLC, la marca M26.4 ("ImagEmer") ubicada en el primer segmento de la función "A013_AlarmaEmergenciaImagen".

La pantalla de bloqueo muestra un texto que describe "Libere el paro de emergencia y pulse rearme" indicando la rutina para desactivarla. Es necesario girar a la derecha el botón de paro de emergencia para desenclavarlo y presionar el botón rasante de "Rearme". Esta acción activa a la bobina con la marca M26.5 ("RearmeComb") ubicada en el segundo segmento de la función "A013_AlarmaEmergenciaImagen" para desactivar a la marca M26.4 ("ImagEmer") desactivando la visualización de la pantalla de bloqueo.

3.8 Diagramas sistemáticos para referencias en el mantenimiento

Como parte del proyecto de la estación de ensamble entre Desalti S.A. de C.V. y Arbomex S.A. de C.V se acordó proveer un documento técnico en donde se describieran detalladamente los sistemas eléctricos, neumáticos e hidráulicos en la distribución de mangueras neumáticas e hidráulicas y del cableado de control y potencia por medio de diagramas sistemáticos.

En los diagramas sistemáticos se especifica el modelo y fabricante de los dispositivos eléctricos, gabinetes, sensores, borneras, contactos, pulsadores, mangueras, unidad FR de mantenimiento, manifold, bomba hidráulica, válvula manual, electroválvulas y pistones.

La finalidad principal del documento fue la de dar un respaldo de información a momento de cambiar algún elemento en un proceso de mantenimiento y tener el conocimiento del modelo, fabricante y conexión correcta del elemento.

El documento se nombró "Diagramas sistemáticos de la estación de ensamble" y se diseñó el software SolidWorks Electrical bajo la norma con plantilla IEC. Se dividió en portada, índice, sinópticos de cableados y esquemas eléctricos, neumáticos e hidráulicos (Imagen 3.8.1).

Los sinópticos de cableados dan una representación general de los componentes y poseen una imagen correspondiente al dispositivo.

Los esquemas se conforman de diagramas en donde se simplifican elementos para enfocarse en la distribución de cableado, color de cable, modelo y fabricante de cada elemento.

A continuación, se describen brevemente los diagramas realizados en el documento adjuntado a la par este trabajo de tesis.

3.8.1 Diagramas eléctricos

Para la realización de los diagramas eléctricos se incluyeron elementos simplificados como contactos, relevadores, sensores, contactores, transformadores, interruptores termomagnéticos, solenoides de válvulas y demás. Se siguió el orden del cableado interno conforme a instalación, color de cable y etiquetado con el bit de entrada y salida al PLC al que correspondían.

Para una organización general del sistema eléctrico se segmentaron en base en su ubicación en cuatro partes:

1. Gabinete principal
2. Gabinete HMI
3. Periférico superior
4. Periféricos externos

Para clasificar la distribución del cableado se dividió en dos:

- Sistema de control a 24V DC.
- Sistema de potencia a 110V AC, 220V AC y 440V AC.

A continuación, se describen ambos sistemas.

3.8.1.1 Control

En el sistema de control se usó en las entradas y salidas digitales del controlador lógico programable. En las entradas digitales se encuentran los cableados provenientes de los contactos de los botones físicos; sensores inductivos, magnéticos y fotoeléctricos. Por su lado, en las salidas digitales están los cableados que se dirigen hacia indicadores luminosos, bobinas de relevadores, solenoides de válvulas y bobinas de contactores.

3.8.1.2 Potencia

El sistema de potencia consta de elementos eléctricos que se encargan del direccionamiento de alto voltaje alterno (V AC) como lo son contactores, relevadores, interruptores termomagnéticos, motor trifásico y un transformador.

3.8.2 Diagramas neumáticos

La descripción del sistema neumático hace énfasis al recorrido del aire comprimido por medio de mangueras neumáticas a presión de 6 bar regulada desde en la unidad de FR (Filtro Regulador). Se indica la colocación de la válvula manual y la válvula de arranque progresivo con activación por solenoide.

Además, se describen los dispositivos que conforman al manifold como los silenciadores, conexión de comunicación de control por medio de un puerto DB25 y los distribuidores neumáticos.

3.8.3 Diagramas hidráulicos

Para este sistema se explicaron las conexiones internas de la unidad hidráulica, además de la colocación del manómetro, motor trifásico, bomba hidráulica y los distribuidores hidráulicos.

Finalmente se describió la conexión de las mangueras hidráulicas con los pistones.

3.9 Apoyo en la manufactura de piezas para la estación de ensamble

La construcción de la estación conllevó trabajo de pailería, soldadura y maquinado. Además de la elaboración de la programación PLC - HMI y la creación de los diagramas de los sistemas tuve la responsabilidad de llevar a cabo los procesos técnicos de conexión y etiquetado de cada uno de los componentes eléctricos, hidráulicos y neumáticos de la estación de ensamble. De manera complementaria presté apoyo durante la fabricación de piezas metálicas y poliméricas.

Las actividades fueron diversas como el uso de cortadores de acero industriales, elaboración de machuelos (Imagen 3.9.1) y el uso de la fresadora convencional para llevar a cabo el desbaste de material para obtener medidas cercanas a las requeridas con el fin de ahorrar tiempo de maquinado CNC.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Implementación de programación

Una vez hecha la metodología GRAFCET y creación de los modos de operación se realizó la compilación de los códigos para proceder a cargarlos del dispositivo Lenovo G40-80 mediante un cable UTP6-305 con dos conectores RJ45 ponchados con la norma 568B (B-B) al conmutador Weidmüller Ethernet Switch IE-SW-BL05-5TX referenciándose con sus respectivas direcciones IP para distribuir la programación KOP (Ladder) para el controlador lógico Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC con referencia 6ES7 214-1AG40-0XB0 (Imagen 4.1.1) y a la interfaz hacia la pantalla táctil Siemens Simatic KTP700 Basic con referencia 6AV2 123-2GB03-0AX0 (Imagen 4.1.2).

Se comprobó por medio de conexión On-line el funcionamiento de los sistemas eléctrico, neumático e hidráulico bajo el control de la programación y se corrigieron errores de programación como fueron alarmas repetidas o contactos asignados a marcas y entradas digitales incorrectas (Imagen 4.1.3).

Tras corroborar la correcta aplicación de control de la programación sobre los sistemas de la estación de ensamble se realizó la corrección de detalles menores en los códigos de programación KOP y en la interfaz gráfica.

Estos detalles fueron la definición del tiempo de accionamiento de los temporizadores para el modo automático en el sistema hidráulico en función del tiempo ciclo o la alteración de colores en las apariencias de las figuras en las imágenes de los distintos modos de operación.

Al culminar los cambios en la programación se consiguió y respaldó la versión final que permanece dentro de los dispositivos en la estación de ensamble (Imagen 4.1.4) y que además se adjunta a este trabajo de tesis.

El equipo de proyectos de Arbomex S.A. de C.V realizó una prueba run off en las instalaciones de Desalti S.A. de C.V que consistió en la contabilización de una corrida continua de proceso de ensamblado automático en veinticinco piezas del mismo modelo con la finalidad de probar el desempeño y funcionamiento de la estación de ensamble (Imagen 4.1.5). Para finalizar se probaron los modos manual y mantenimiento de la estación de ensamble obteniendo el resultado satisfactorio esperado por el equipo de proyectos de Arbomex S.A. de C.V. (Imagen 4.1.6).

Con la autorización de Arbomex S.A. de C.V. se transportó la estación de ensamble a su planta en Celaya, Guanajuato. Una vez allí se instaló a sus redes eléctrica de 440V AC y neumática a 6 bar de presión para así poder realizar la primera corrida dentro de las instalaciones de la empresa (Imagen 4.1.7).

Para finalizar el proyecto de automatización se hizo entrega de los documentos "Diagramas sistemáticos de la estación de ensamble" y "Manual de usuario Estación de ensamble" para el correcto mantenimiento y utilización por parte del equipo operario (Imagen 4.1.8). Para asegurar un uso seguro de la estación de ensamble se complementó con cursos de inducción que impartí a los operadores e ingenieros que trabajarían directamente con la estación de ensamble. Durante los cursos mostré a los operadores el uso del modo automático, responder preguntas y dudas, así como describir los procedimientos que deben hacer al presentarse una emergencia. Para los ingenieros describí el uso del modo manual y mantenimiento, de igual manera realicé con ellos un repaso general de los sistemas eléctrico, neumático e hidráulico. Finalmente, para al jefe de proyectos de Arbomex S.A. de C.V. condensé los dos últimos cursos para su conocimiento culminando con la demostración del método para ingresar usuarios, destinarlo a un grupo determinado con sus respectivos permisos y otorgarles una contraseña (Imagen 4.1.9).

4.1.1 Programación del controlador lógico programable

La metodología GRAFCET previno errores en la activación y desactivación de pistones en las rutinas automáticas mostrándose anomalías mínimas en marcas mal colocadas o asignadas a contactos incorrectos. Esto confirma la funcionalidad del método para ordenar la programación al trabajar con un número alto de entradas y salidas digitales, así como de sus accionamientos.

4.1.2 Programación de la interfaz con pantalla táctil

La interfaz HMI resultó exitosa al guiar a los operarios sin problemas a lo largo de las imágenes, así como brindarles un apoyo visual al momento de colocar las piezas en su correcta posición y conocer directamente el error que ocurre al colocar una pieza tow izquierda dentro del proceso automático del modelo 641 destinado a trabajar con piezas tow derechas. En conclusión, se logró una interfaz intuitiva y sencilla para el uso de los operadores e ingenieros (Imagen 4.1.2.1).

4.2 Diagramas sistemáticos

Los diagramas eléctricos, neumáticos e hidráulicos de la estación de ensamble se finalizaron buscando el mayor entendimiento para el personal de mantenimiento de Arbomex S.A de C.V. para realizar trabajos en base a la información allí incluida. El documento completo se incluye adjunto a este trabajo de tesis.

4.3 Piezas manufacturadas

Las piezas fabricadas por Desalti S.A. de C.V. de materiales como aceros 1018 o D2 pasaron por procesos térmicos para conformar a la estación de ensamble en partes como lo fueron el nido o el receptor de piezas (Imagen 4.3.1).

De igual manera los cableados eléctricos, neumáticos e hidráulicos dentro de la estación de ensamble se realizaron y etiquetaron de manera ordenada y pulcra (Imagen 4.3.2).

El cableado dentro del gabinete principal (Imagen 4.3.3) fue probado antes de colocar las canaletas de protección en la planta en la ciudad de Celaya, Guanajuato de Arbomex S.A de C.V. durante la instalación y primera corrida de la estación de ensamble (Imagen 4.3.4).

4.4 Resultados en la implementación de programación

El departamento de control de Desalti S.A. de C.V. me permitió realizar pruebas en el lapso previo a la entrega del proyecto a Arbomex S.A. de C.V con el objetivo de contabilizar el tiempo ciclo durante el ensamblado automático para comparar con el tiempo al realizar el ensamble de forma manual sin utilizar la estación de ensamble. Durante el proceso de manufactura del proyecto de automatización se le explicó el resultado final del ensamble a tres operadores de Desalti S.A. de C.V. para cuestionarles cuales serían las operaciones necesarias para realizar el ensamblado de forma manual.

Después de esto se condensó la información para concluir en cuatro operaciones para los modelos 640 y 641 mientras que para el modelo 642 dividió en cinco operaciones. Esto llevándose a cabo para estandarizar la medición de tiempo en cada ensamble.

Se tomó el tiempo de ensamble manual para el modelo 640 realizado por el operador culminando en un tiempo de dos minutos, cuarenta y tres segundos con siete milisegundos (Tabla 4.4.1).

A continuación, se contabilizó el proceso para el modelo 642 en un tiempo de tres minutos, treinta y un segundos, con nueve milisegundos (Tabla 4.4.2).

Para obtener una mejor comparación un operador realizó diez ensambles de manera continua en dos días diferentes del modelo 641, siendo similar al modelo 640, (Tabla 4.4.3) y con el modelo 642 (Tabla 4.4.4) realizando las operaciones antes establecidas.

Los resultados obtenidos en los diez ciclos manuales fueron para el modelo 641 de treinta minutos, treinta y uno segundos. Mientras con el modelo 642 concluyó con cuarenta minutos, ocho segundos con seis milisegundos.

Para contrastar, una vez finalizada y aprobada la estación de ensamble se realizaron pruebas de ensamblado en distintos modelos (Imagen 4.4.1).

Para la medición de tiempo el ensamble automático se divide en tres operaciones principales.

La primera operación inicia al pulsar el botón verde RGB [0; 130; 0] con la leyenda "Comenzar" para realizar la rutina de inicio de proceso al contraer la placa de policarbonato con ayuda el vástago del pistón de la puerta de seguridad y expulsado las piezas del nido al exterior de la estación de ensamble unidos al vástago del pistón del nido.

Después de esto se continua con la segunda operación del proceso el cual consiste en ingresar todos los componentes del ensamble dentro de la estación y en el nido en sus respectivos sitios.

La tercera operación corresponde al pulsado de ambos botones bimanuales para el inicio del proceso de ingresar el nido dentro de la estación, desplegar la placa de policarbonato y desarrollar la rutina automática de accionamiento de vástagos de

los pistones neumáticos e hidráulicos para ensamblar los componentes del modelo correspondiente para finalmente contraer la placa de policarbonato y expulsar el modelo ensamblado fuera de la estación para ser extraído por el operador.

Cabe destacar que la variación en el tiempo del primer y tercer paso tiene variaciones sutiles y tiende a ser constante debido a ser un proceso automatizado.

Se realizó un proceso de ensamble automático para el modelo 640 culminando en un tiempo de cuarenta y ocho segundos con siete milisegundos (Tabla 4.4.5).

Después se contabilizó el proceso automático para el modelo 642 en un tiempo de cuarenta y nueve segundos con seis milisegundos (Tabla 4.4.6).

Para culminar se realizaron diez corridas de ensamble automático para los modelos 641 y 642 para comparar los tiempos con las corridas ensambladas manualmente por el operador.

Los resultados obtenidos fueron de un tiempo de diez ciclos para el modelo 641 de ocho minutos (Tabla 4.4.7). Mientras con el modelo 642 concluyó con ocho minutos, cuatro segundos con dos milisegundos (Tabla 4.4.8).

Resumiendo, valores obtenemos una clara disminución de tiempo ciclo en las corridas manual en comparación a las corridas automáticas del modelo 641 (Gráfica 4.4.1) y del modelo 642 (Gráfica 4.4.2).

Se redujo el tiempo del ensamble del modelo 641 en un 73.78% tomando en cuenta las diez corridas de ensamble pasando de los métodos manuales de treinta minutos, treinta y uno segundos al método automático de ocho minutos. Y en el modelo 642 se refleja una reducción de tiempo del 79.89% originalmente con los métodos

manuales de cuarenta minutos, ocho segundos con seis milisegundos al método automático de ocho minutos, cuatro segundos con dos milisegundos.

Esto se debe a que en las operaciones manuales el operador suele aumentar sus tiempos ciclos de ensamble debido al cansancio y que en el modelo 642 la compresión de dos pernos de forma independiente aumenta considerablemente el tiempo ciclo. Con la automatización del proceso estos aspectos desaparecen al limitar al operario a simplemente colocar los componentes y esperar mientras el proceso de ensamble se realiza de forma automática.

Para concluir podemos asegurar que la implementación de la variable independiente en la hipótesis cumple a la variable dependiente. Resultando en ser una hipótesis verdadera.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones del proyecto

Con el advenimiento de un sistema económico capitalista acelerado durante las pasadas décadas fue necesario el desarrollo e investigación de métodos más eficaces en las líneas de producción para satisfacer la demanda del mercado global.

Uno de los métodos en optimización de recursos en la producción es la automatización industrial en donde se agrupan conocimientos técnicos y teóricos en la aplicación de sistemas eléctricos, electrónicos, neumáticos e hidráulicos dentro de un dispositivo, herramienta o máquina con la función de controlar automáticamente un proceso que realiza operaciones repetitivas limitando la interacción del operador.

La automatización industrial provee diversas ventajas en el ámbito laboral como los beneficios que aporta tanto al operador, al reducir su carga de trabajo físico, o en el área de producción al acelerar la cantidad de piezas manufacturadas o procesadas.

Es notable la conjunción de ramas de conocimientos prácticos y teóricos que son necesarios para unificar el concepto de automatización industrial, lo cual encaja con el perfil de un profesionalista en ingeniería mecatrónica el cual busca el desarrollo e investigación para obtener sistemas más productivos en la industria de la manufactura.

En conclusión, la automatización industrial brinda un avance tecnológico que permite aumentar los ingresos empresariales, otorgar comodidad a los operadores y el progreso de la economía en el ámbito industrial.

5.2 Aprendizaje y experiencia adquirida

A lo largo del desarrollo del proyecto de automatización industrial en la estación de ensamble se pusieron a prueba mis conocimientos en electrónica y programación de controladores lógicos programables.

Conocí aspectos reales de los sistemas neumáticos e hidráulicos aplicados en la industria al descubrir la existencia de dispositivos con tareas muy específicas dentro de los sistemas como lo fue la válvula de arranque progresivo con activación por solenoide en aspecto neumático.

Aprendí técnicas como la colocación de zapatas y distribución de elementos dentro de las canaletas en el gabinete principal al realizar los cableados eléctricos de control y de potencia.

Además, desarrollé mi habilidad de programador ya que dentro de la industria se presentan problemáticas que deben estar a la altura de un pensamiento lógico capaz de ofrecer una solución sencilla y eficaz.

Para llevar a cabo la realización de los diagramas eléctricos, neumáticos e hidráulicos aprendí a obtener información de modelos de dispositivos desde los catálogos de cada fabricante.

En el ámbito profesional el proyecto de automatización industrial me otorgó una visión más amplia respecto al sector industrial en donde se desarrollan e investigan nuevos métodos y aplicaciones para aumentar la eficacia de la producción.

Y para culminar en el ámbito personal obtuve la satisfacción de implementar un sistema mecatrónico que unificó al concepto de automatización industrial dentro un equipo de trabajo especializado en distintas áreas en donde los conocimientos en

programación CNC, diseño mecánico, gestión de recursos, junto a los valores de la cooperación y empatía dirigieron el trabajo hasta lograr el objetivo de entregar un proyecto de calidad y confianza.

CAPÍTULO VI

FUENTES DE INFORMACIÓN

6.1 Referencias bibliográficas

Aceros y sistemas hidráulicos de México. (20 de noviembre de 2014). *¿Cómo Funcionan las Válvulas de Alivio?* Obtenido de Aceros y sistemas hidráulicos de México: <http://www.ashm.mx/blog/como-funcionan-las-valvulas-de-alivio/>

Aula 21. (31 de marzo de 2018). *¿Qué es un sistema hidráulico y cómo funciona?* Obtenido de Aula 21 Centro de formación técnica para la industria: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-hidraulico/>

Automantenimiento.net. (21 de mayo de 2013). *Contacto normalmente abierto o cerrado.* Obtenido de Automantenimiento.net: <https://automantenimiento.net/electricidad/contacto-normalmente-abierto-o-cerrado/>

Brico, R. (27 de abril de 2017). *¿Qué es un contactor ?* Obtenido de Bricovoltio: <http://bricovoltio.com/contactor-automatismo>

Deppert, W. (2001). *Dispositivos neumáticos.* Colombia: Alfaomega.

Eaton. (16 de enero de 2020). *Catálogo general : Productos de control y distribución de energía.* Obtenido de Eaton: <http://www.eaton.mx/EatonMX/ProductosySoluciones/Energia/Soporte/Catalogos/Control/index.htm>

Freightliner. (22 de septiembre de 2017). *Freightliner Service Bulletin.* Obtenido de Freightliner: <https://static.nhtsa.gov/odi/tsbs/2017/MC-10153391-9999.pdf>

Freightliner. (14 de febrero de 2020). *Nuevo Cascadia.* Obtenido de Freightliner: <https://www.freightliner.com.mx/productos/nuevo-cascadia>

- García Moreno, E. (1999). *Automatización de procesos industriales*. Valencia: Alfaomega.
- Glosario electricidad. (7 de junio de 2017). *Botón girar y soltar*. Obtenido de Glosario electricidad: <https://glosarios.servidor-alicante.com/electricidad/boton-pulsar-tirar>
- Glosario electricidad. (7 de junio de 2017). *Botón rasante*. Obtenido de Glosario electricidad: <https://glosarios.servidor-alicante.com/electricidad/boton-rasante>
- Google Maps. (febrero de 14 de 2020). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com.mx/maps/place/Pirules+112,+Jurica,+76100+Santiago+de+Quer%C3%A9taro,+Qro./@20.6273272,-100.4657437,12.58z/data=!4m5!3m4!1s0x85d350a24a3f8b8d:0x5d2027217333f7f6!8m2!3d20.6590627!4d-100.4467749>
- Gútiérrez, I. (12 de julio de 2018). *Temporizadores en TIA Portal*. Obtenido de ProgramaciónSiemens.com: <https://programacionsiemens.com/temporizadores-en-tia-portal/>
- Gútiérrez, I. (24 de mayo de 2019). *Contadores en TIA Portal*. Obtenido de ProgramaciónSiemens.com: <https://programacionsiemens.com/contadores-en-tia-portal/>
- H. Bishop, R. (2008). *Mechatronic systems, sensors, and actuators. Fundamentals and Modeling*. Austin: CRC Press.
- IUSA. (28 de enero de 2020). *Interruptor termomagnético 1, 2, 3 polos de 3/4" IUSA-NOARK Tipo Enchufable*. Obtenido de IUSA: <http://ws.iusa.com.mx/Documentacion/Interruptores/Ficha/616634.pdf>

Maldado Pérez, E. (2010). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México: Alfaomega.

Manuel Gea, J. (02 de marzo de 2006). *Introducción al GRAFCET*. Obtenido de GRAFCET: <https://www.automatas.org/redes/grafcet.htm>

Manuel Luque, J. (12 de febrero de 2020). *PLC SIEMENS*. Obtenido de www.plc-hmi-scadas.com: <https://plc-hmi-scadas.com/PLC-SIEMENS/>

PLC City. (24 de noviembre de 2019). *6ES7 214-1AG40-0XB0 Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC*. Obtenido de PLC City: <https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-s7-1200-cpu-1214c/6es7214-1ag40-0xb0.html>

PLC City. (14 de febrero de 2020). *HMI Siemens Simatic KTP700 Basic con referencia 6AV2 123-2GB03-0AX0*. Obtenido de PLC City: <https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-hmi-basic-panels-2nd-generation/6av2123-2gb03-0ax0.html>

Siemens. (14 de marzo de 2014). *SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200*. Obtenido de Siemens: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/109478121/att_851434/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

Siemens. (02 de agosto de 2019). *Industry Online Support*. Obtenido de Siemens: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6es7221-1bh30-0xb0/digital-input-sm-1221-16di-24v-dc?pid=385832&mlfb=6ES7221-1BH30-0XB0&mfn=ps&lc=en-US>

Siemens. (11 de febrero de 2020). Hoja de datos 6ES7221-1BH32-0XB0.

Siemens. (13 de febrero de 2020). *SIMATIC KTP700 Basic 6AV2 123-2GB03-0AX0*. México.

Siemens. (9 de febrero de 2020). SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC 6ES7 214-1AG40-0XB0. México. Obtenido de TIA Portal.

SMC. (23 de febrero de 2019). Serie AV2000-A/3000-A/4000-A/5000-A.

SMC. (14 de agosto de 2019). Serie VQ4000/5000.

Torres, H. (9 de agosto de 2017). *¿Qué es un Relevador o Relé?* Obtenido de Hetpro: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/que-es-un-relevador-o-rele/>

Turner, M. (16 de julio de 2016). *What's the Difference Between Light ON and Dark ON Modes for Photoelectric Sensors?* Obtenido de Pepperl + Fuchs: <https://blog.pepperl-fuchs.us/blog/bid/290513/what-s-the-difference-between-light-on-and-dark-on-modes-for-photoelectric-sensors>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1 Índice de imágenes

Imagen 1.1.4.1	121
Imagen 1.1.4.2	121
Imagen 2.4.1	122
Imagen 2.4.1.1	122
Imagen 2.4.1.2	123
Imagen 2.5.3.1	123
Imagen 2.6.2.1	123
Imagen 2.7.1	124
Imagen 2.7.2	124
Imagen 2.9.1.1.1	124
Imagen 2.9.1.1.2	125
Imagen 2.9.1.1.1.3.1	125
Imagen 2.11.1	125
Imagen 3.1.1	126
Imagen 3.1.2	126
Imagen 3.1.3	127
Imagen 3.1.4	127
Imagen 3.1.5	127
Imagen 3.2.1	128
Imagen 3.2.2	128
Imagen 3.4.1	129
Imagen 3.4.2	129
Imagen 3.4.3	129
Imagen 3.4.4	129
Imagen 3.4.5	130
Imagen 3.4.6	130
Imagen 3.5.1.1.1	131
Imagen 3.5.1.2.1	131

Imagen 3.5.1.2.2	132
Imagen 3.5.1.3.1	132
Imagen 3.5.1.4.1	133
Imagen 3.5.2.1.1	133
Imagen 3.5.2.1.2	133
Imagen 3.5.2.1.3	134
Imagen 3.5.2.1.4	134
Imagen 3.6.1	134
Imagen 3.6.2	135
Imagen 3.6.3	135
Imagen 3.6.4	135
Imagen 3.6.5	128
Imagen 3.6.1.1	136
Imagen 3.6.1.1.1	137
Imagen 3.6.1.1.2	138
Imagen 3.6.1.1.3	138
Imagen 3.6.1.1.4	139
Imagen 3.6.1.1.5	140
Imagen 3.6.1.1.6	140
Imagen 3.6.1.1.7	141
Imagen 3.6.1.1.8	141
Imagen 3.6.1.1.9	141
Imagen 3.6.1.1.10	142
Imagen 3.6.1.1.11	142
Imagen 3.6.1.1.12	142
Imagen 3.6.1.1.13	142
Imagen 3.6.1.1.14	143
Imagen 3.6.1.1.15	143
Imagen 3.6.1.1.16	143

Imagen 3.6.1.1.17	144
Imagen 3.6.1.1.18	145
Imagen 3.6.1.2.1	146
Imagen 3.6.1.2.2	147
Imagen 3.6.1.2.3	148
Imagen 3.6.1.2.4	149
Imagen 3.6.1.2.5	150
Imagen 3.6.1.2.6	150
Imagen 3.6.1.2.7	151
Imagen 3.6.1.2.8	151
Imagen 3.6.1.2.9	151
Imagen 3.6.1.2.10	152
Imagen 3.6.1.2.11	152
Imagen 3.6.1.2.12	152
Imagen 3.6.1.2.13	153
Imagen 3.6.1.2.14	153
Imagen 3.6.1.2.15	153
Imagen 3.6.1.2.16	153
Imagen 3.6.1.2.17	154
Imagen 3.6.1.2.18	155
Imagen 3.6.1.2.19	155
Imagen 3.6.1.3.1	156
Imagen 3.6.1.3.2	157
Imagen 3.6.1.3.3	158
Imagen 3.6.1.3.4	159
Imagen 3.6.1.3.5	160
Imagen 3.6.1.3.6	160
Imagen 3.6.1.3.7	161
Imagen 3.6.1.3.8	161

Imagen 3.6.1.3.9	162
Imagen 3.6.1.3.10	162
Imagen 3.6.1.3.11	162
Imagen 3.6.1.3.12	163
Imagen 3.6.1.3.13	163
Imagen 3.6.1.3.14	163
Imagen 3.6.1.3.15	163
Imagen 3.6.1.3.16	164
Imagen 3.6.1.3.17	165
Imagen 3.6.1.3.18	166
Imagen 3.6.1.3.19	166
Imagen 3.6.1.4.1	166
Imagen 3.6.1.4.2	167
Imagen 3.6.1.4.3	167
Imagen 3.6.2.1	168
Imagen 3.6.2.2	168
Imagen 3.6.2.3	169
Imagen 3.6.2.1.1	169
Imagen 3.6.2.1.2	169
Imagen 3.6.3.1	170
Imagen 3.6.3.2	171
Imagen 3.7.1	172
Imagen 3.7.2	172
Imagen 3.7.3	173
Imagen 3.7.1.1	173
Imagen 3.7.1.2	174
Imagen 3.7.1.3	174
Imagen 3.7.1.4	175
Imagen 3.7.1.5	175

Imagen 3.7.1.6	175
Imagen 3.7.1.7	176
Imagen 3.7.1.8	176
Imagen 3.7.1.9	176
Imagen 3.7.1.10	177
Imagen 3.7.1.1.1	177
Imagen 3.7.1.2.1	178
Imagen 3.7.1.3.1	178
Imagen 3.7.1.4.1	179
Imagen 3.7.1.4.2	179
Imagen 3.7.1.5.1	179
Imagen 3.7.1.5.2	180
Imagen 3.7.1.5.3	180
Imagen 3.7.1.5.4	180
Imagen 3.7.1.5.5	181
Imagen 3.7.1.5.6	181
Imagen 3.7.1.5.7	182
Imagen 3.7.2.1	182
Imagen 3.7.2.2	183
Imagen 3.7.2.3	183
Imagen 3.7.2.4	183
Imagen 3.7.2.5	184
Imagen 3.7.2.6	184
Imagen 3.7.2.7	184
Imagen 3.7.2.8	185
Imagen 3.7.2.9	185
Imagen 3.7.2.1.1	186
Imagen 3.7.3.1	186
Imagen 3.7.3.2	187

Imagen 3.7.3.3	187
Imagen 3.7.3.4	188
Imagen 3.7.3.5	188
Imagen 3.7.3.6	189
Imagen 3.7.4.1	189
Imagen 3.7.4.2	190
Imagen 3.7.5.1	190
Imagen 3.7.5.2	191
Imagen 3.7.5.3	191
Imagen 3.7.6.1	191
Imagen 3.7.6.2	192
Imagen 3.8.1	192
Imagen 3.9.1	193
Imagen 4.1.1	193
Imagen 4.1.2	194
Imagen 4.1.3	194
Imagen 4.1.4	195
Imagen 4.1.5	195
Imagen 4.1.6	196
Imagen 4.1.7	196
Imagen 4.1.8	197
Imagen 4.1.9	197
Imagen 4.1.2.1	198
Imagen 4.3.1	198
Imagen 4.3.2	199
Imagen 4.3.3	199
Imagen 4.3.4	200
Imagen 4.4.1	200

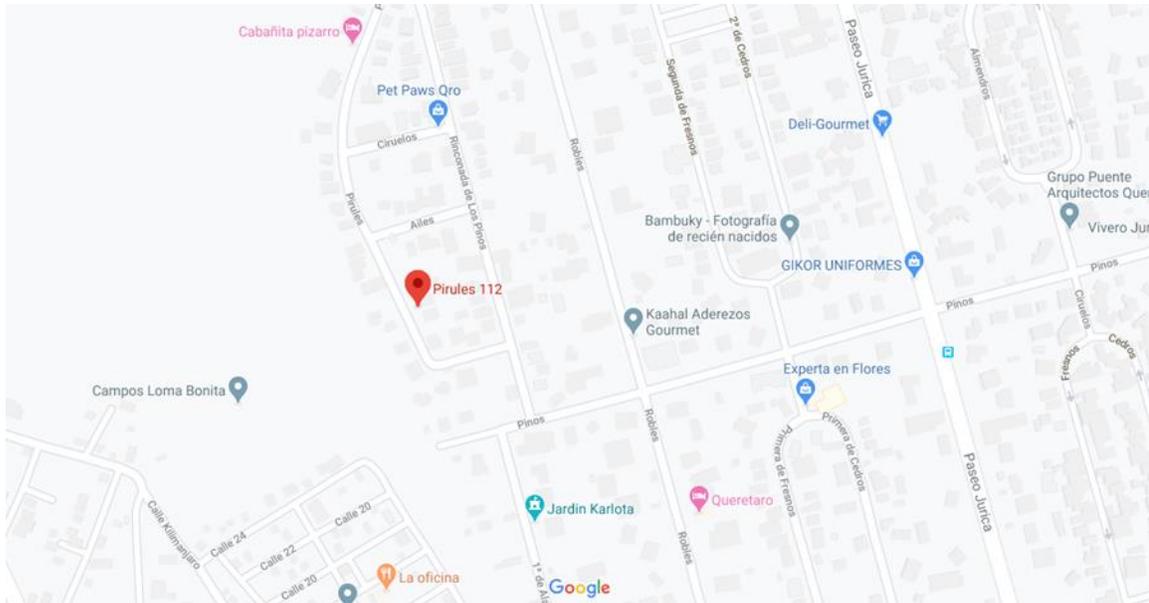
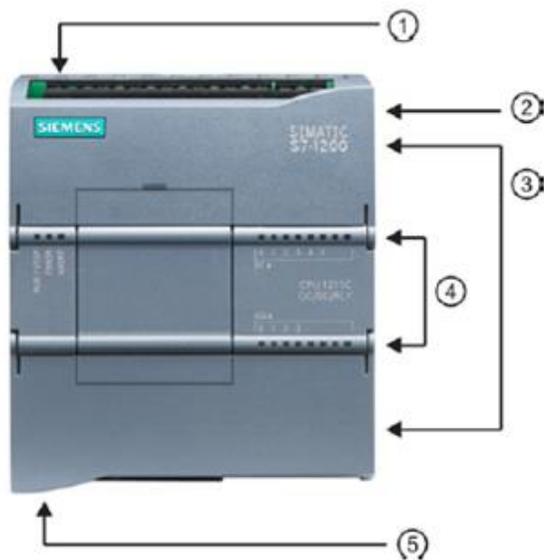


Imagen 1.1.4.1 Vista satelital de las oficinas de la empresa en relación a la colonia Jurica, Santiago de Querétaro
Fuente: (Google Maps, 2020)



Imagen 1.1.4.2 Vista satelital de las oficinas de la empresa en relación a la ciudad de Santiago de Querétaro, Querétaro.
Fuente: (Google Maps, 2020)



- ① Conector de corriente
- ② Ranura para Memory Card (debajo de la tapa superior)
- ③ Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas)
- ④ LEDs de estado para las E/S integradas
- ⑤ Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

Imagen 2.4.1 Controlador lógico programable Siemens de la familia S7-1200
 Fuente: (Siemens, SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200, 2014)



Imagen 2.4.1.1 PLC Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC con referencia 6ES7 214-1AG40-0XB0
 Fuente: (PLC City, 2019)



Imagen 2.4.1.2 Módulo de entradas digitales Siemens SM 1221 DI16 x 24V DC con referencia 6ES7 221-1BH32-0XB0
Fuente: (Siemens, 2019)

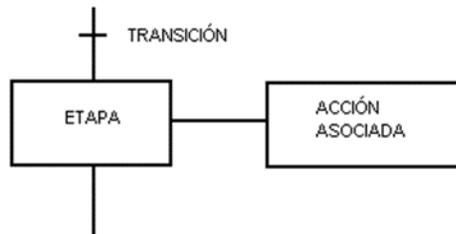


Imagen 2.5.3.1 Esquema GRAFCET
Fuente: (Manuel Gea, Introducción al GRAFCET, 2006)

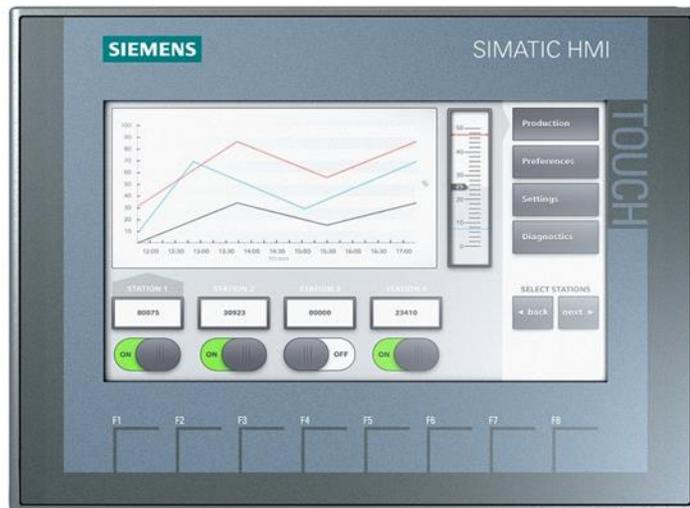


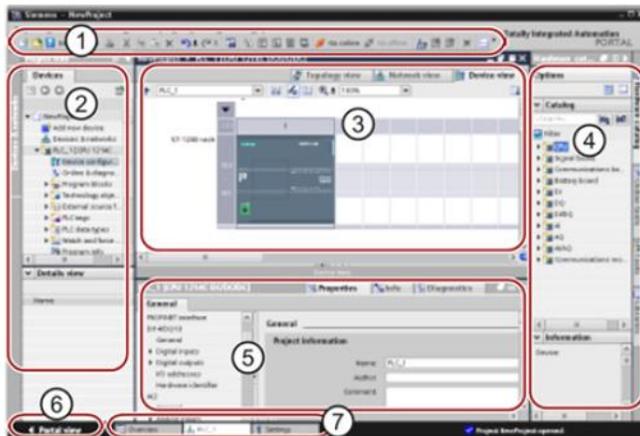
Imagen 2.6.2.1 HMI Siemens Simatic KTP700 Basic con referencia 6AV2 123-2GB03-0AX0
Fuente: (PLC City, 2020)



Vista del portal

- ① Portales para las diferentes tareas
- ② Tareas del portal seleccionado
- ③ Panel de selección para la acción seleccionada
- ④ Cambia a la vista del proyecto

Imagen 2.7.1 Vista del portal del software de programación TIA Portal
Fuente: (Siemens, SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200, 2014)



Vista del proyecto

- ① Menú y barra de herramientas
- ② Árbol del proyecto
- ③ Área de trabajo
- ④ Task Cards
- ⑤ Ventana de inspección
- ⑥ Cambia a la vista del portal
- ⑦ Barra del editor

Imagen 2.7.2 Vista del proyecto del software de programación TIA Portal
Fuente: (Siemens, SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200, 2014)

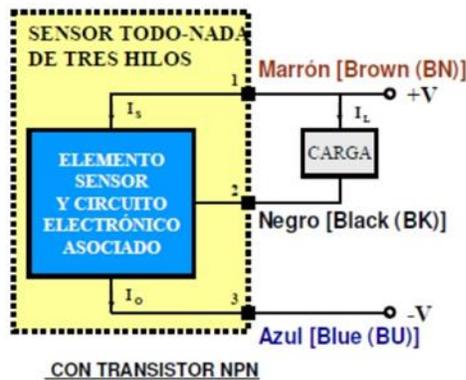


Imagen 2.9.1.1.1 Sensor todo – nada de tres hilos con carga conectada al positivo de la fuente de alimentación
Fuente: (Maldado Pérez, 2010), pág. 457

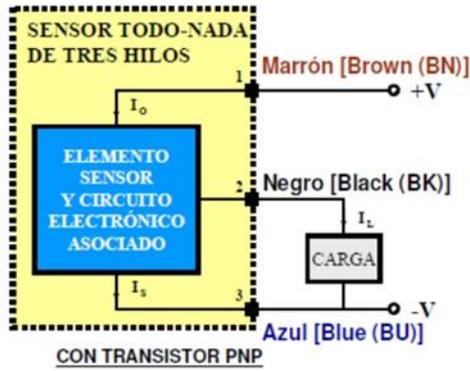


Imagen 2.9.1.1.2 Sensor todo – nada de tres hilos con carga conectada al negativo de la fuente de alimentación
Fuente: (Maldado Pérez, 2010), pág. 457

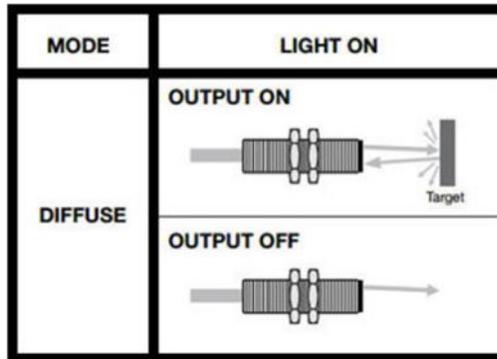


Imagen 2.9.1.1.1.3.1 Configuración Light On para sensor fotoeléctrico difuso
Fuente: (Turner, 2016)

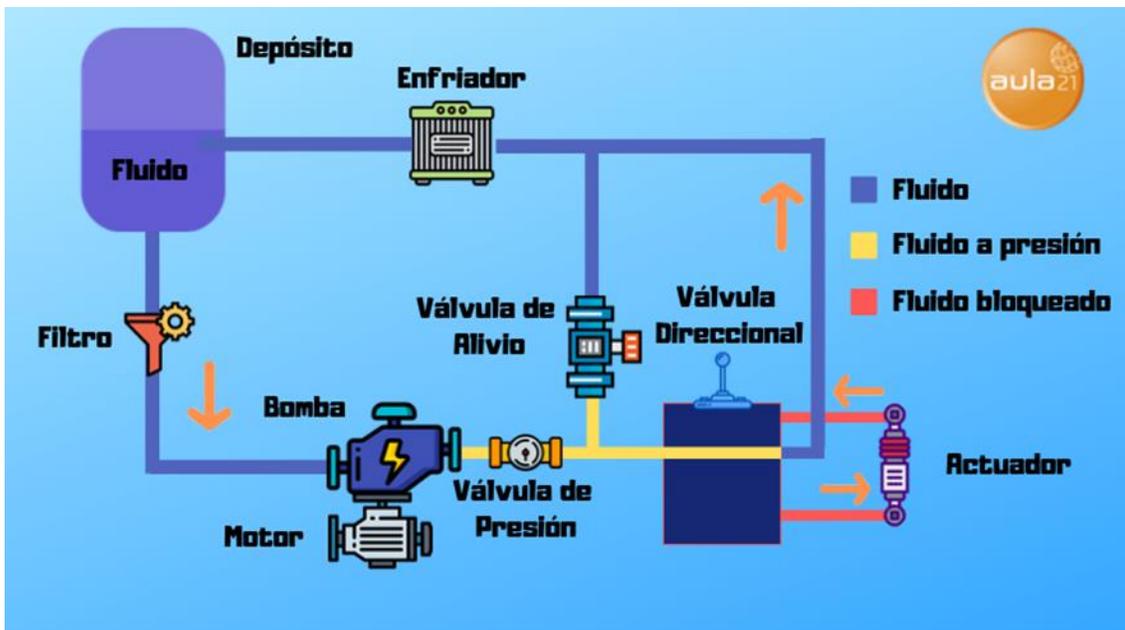


Imagen 2.11.1 Partes principales de un sistema hidráulico
Fuente: (Aula 21, 2018)

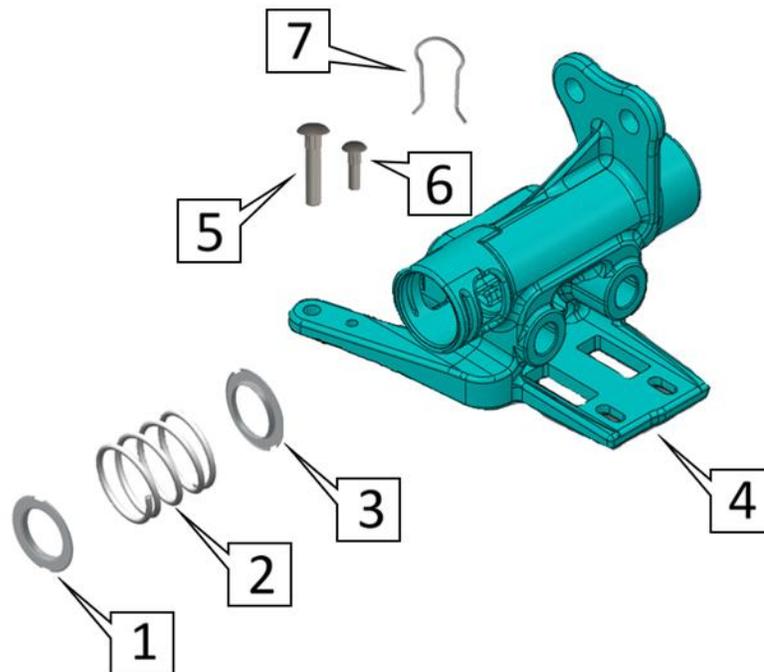


Imagen 3.1.1 Descripción del ensamble correspondiente al modelo 642
Fuente: Por el autor

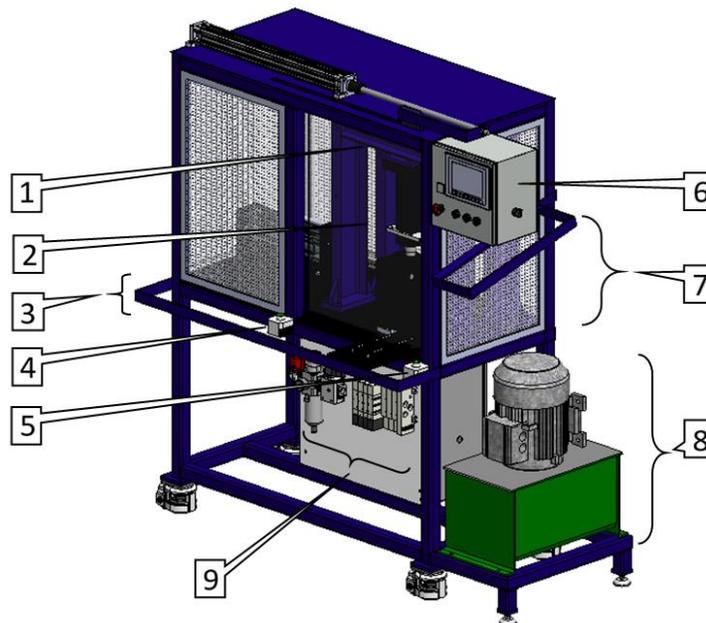


Imagen 3.1.2 Elementos de la estación de ensamble
Fuente: Por el autor

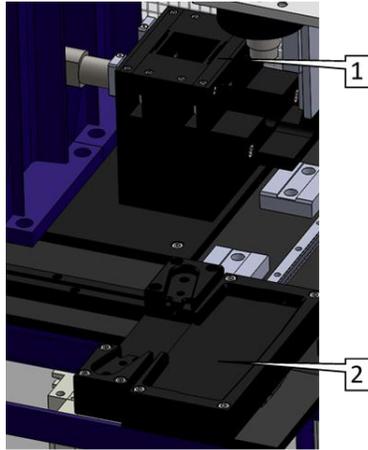


Imagen 3.1.3 Interior de la estación de ensamble
Fuente: Por el autor

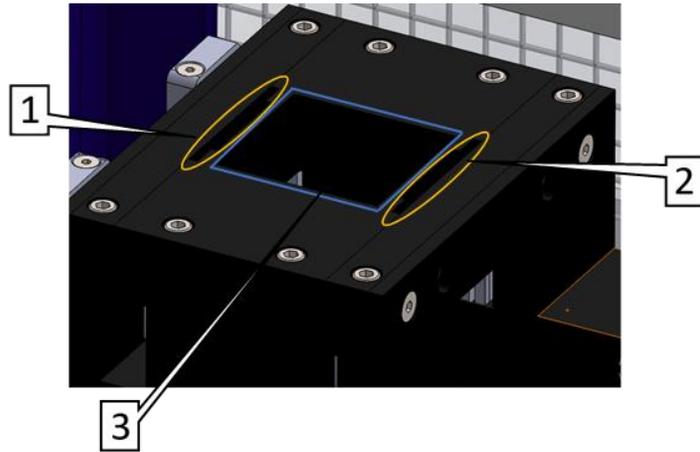


Imagen 3.1.4 Ranuras del receptor de componentes poka yoke.
Fuente: Por el autor

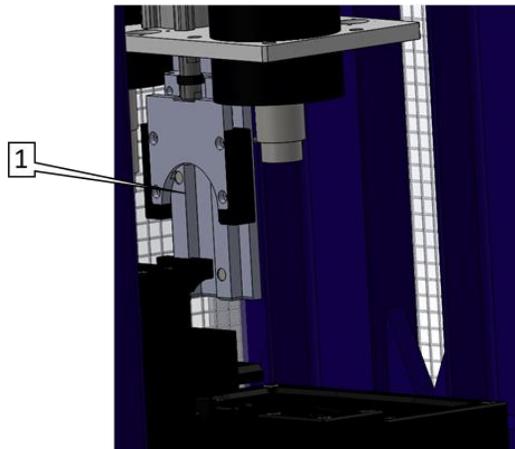


Imagen 3.1.5 Receptor de pieza clip. Vista interior de la estación de ensamble
Fuente: Por el autor

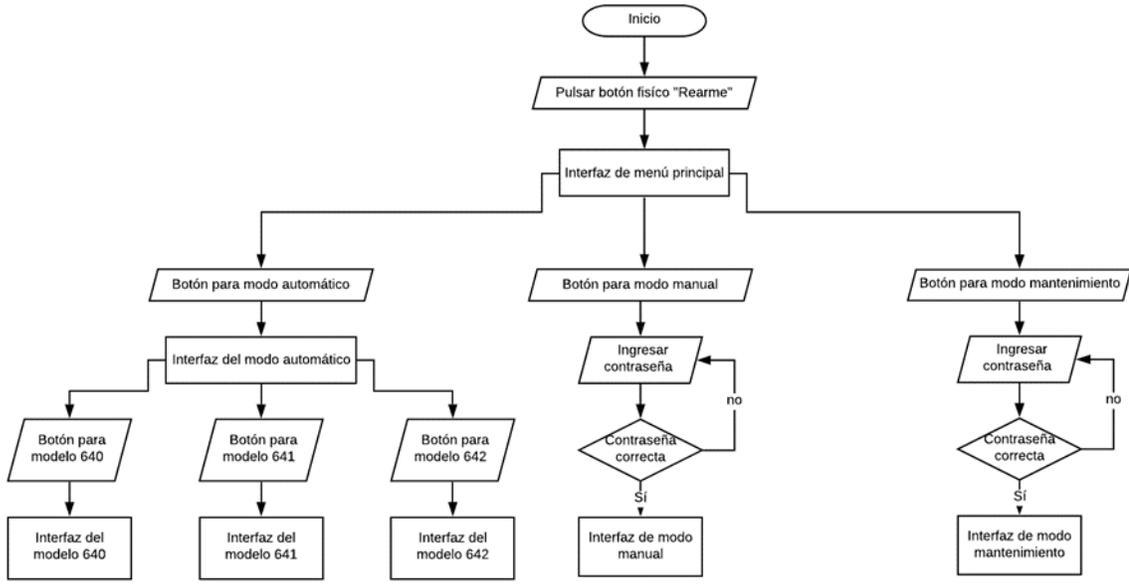


Imagen 3.2.1 Diagrama de flujo general de la selección de modos de operación
Fuente: Por el autor

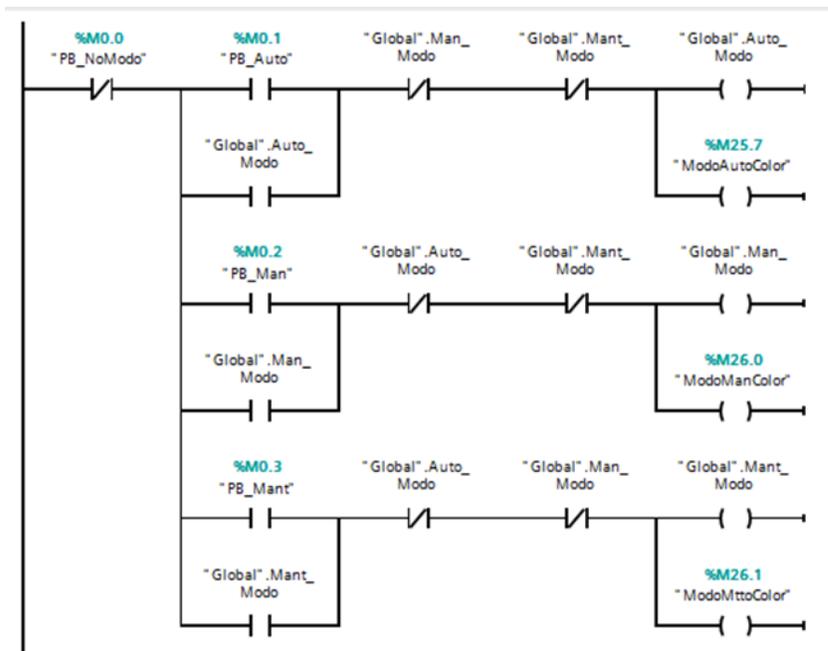


Imagen 3.2.2, Imagen 3.6.5 Selección de modo de operación por enclave en la función "A002_Modos".
Fuente: Por el autor

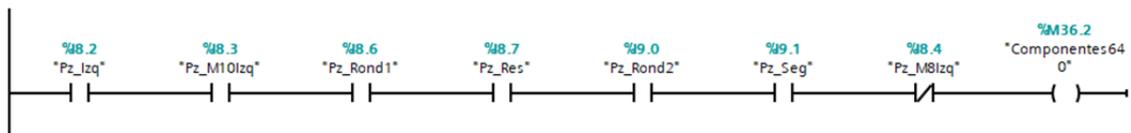


Imagen 3.4.1 Componentes necesarios para la activación de la transición del modelo 640
Fuente: Por el autor

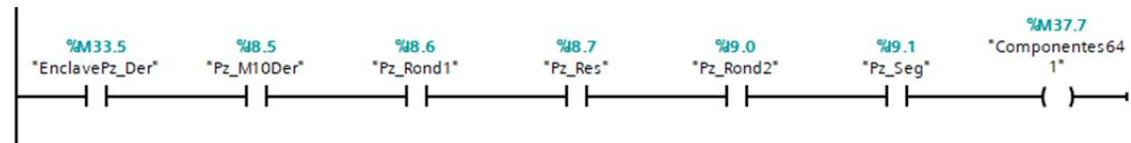


Imagen 3.4.2 Componentes necesarios para la activación de la transición del modelo 641
Fuente: Por el autor

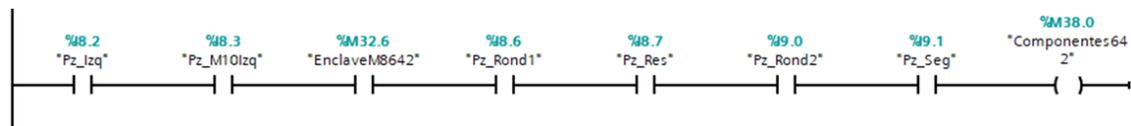


Imagen 3.4.3 Componentes necesarios para la activación de la transición del modelo 642
Fuente: Por el autor

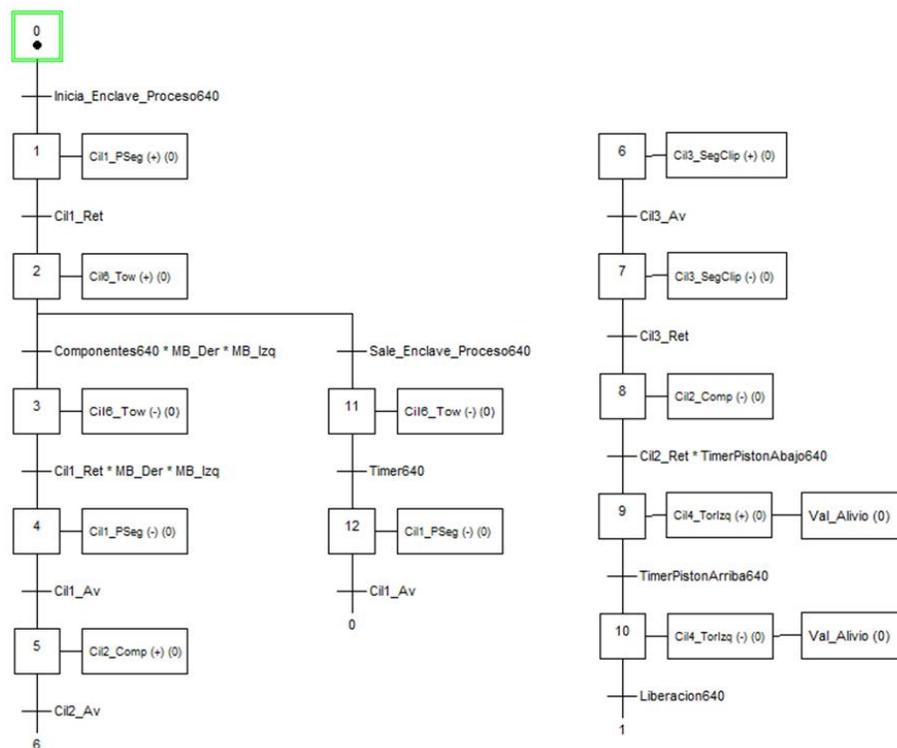


Imagen 3.4.4 Modelo GRAFCET para programación de rutina automática para el modelo 640
Fuente: Por el autor

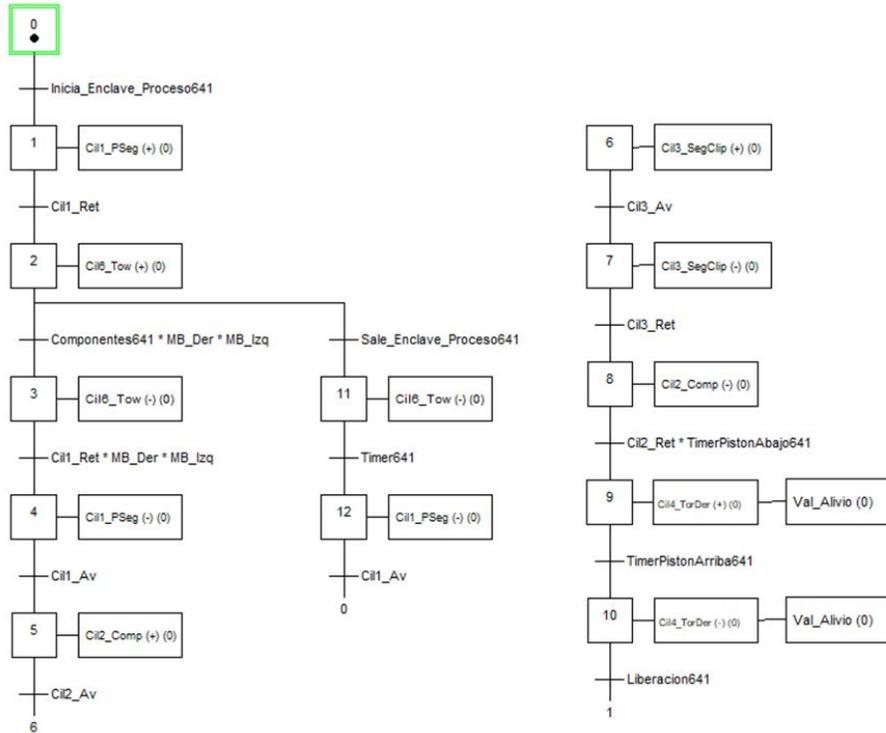


Imagen 3.4.5 Modelo GRAFCET para programación de rutina automática para el modelo 641
Fuente: Por el autor

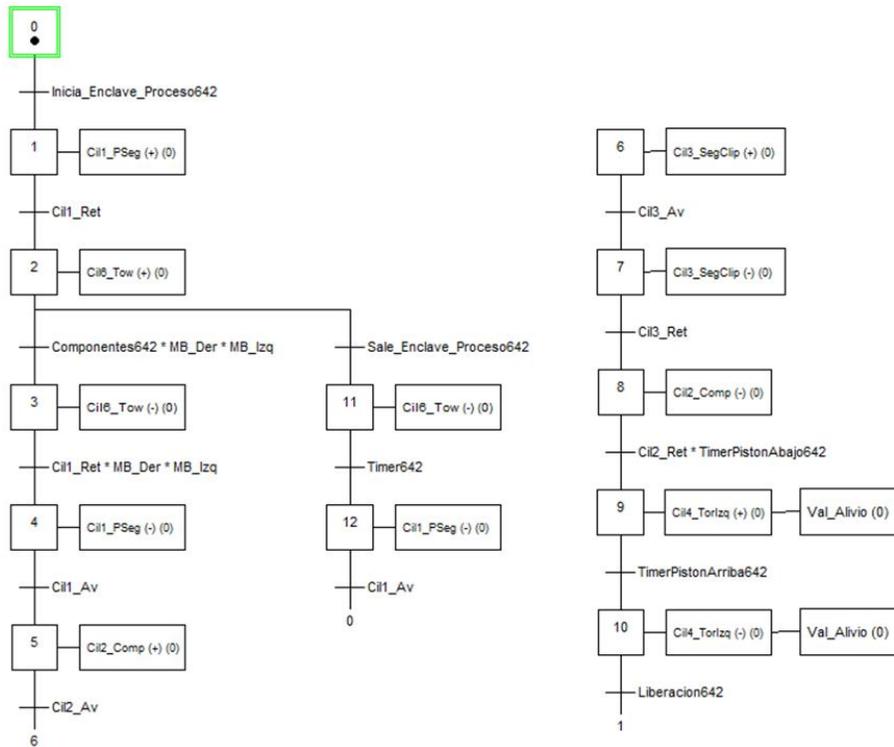


Imagen 3.4.6 Modelo GRAFCET para programación de rutina automática para el modelo 642
Fuente: Por el autor

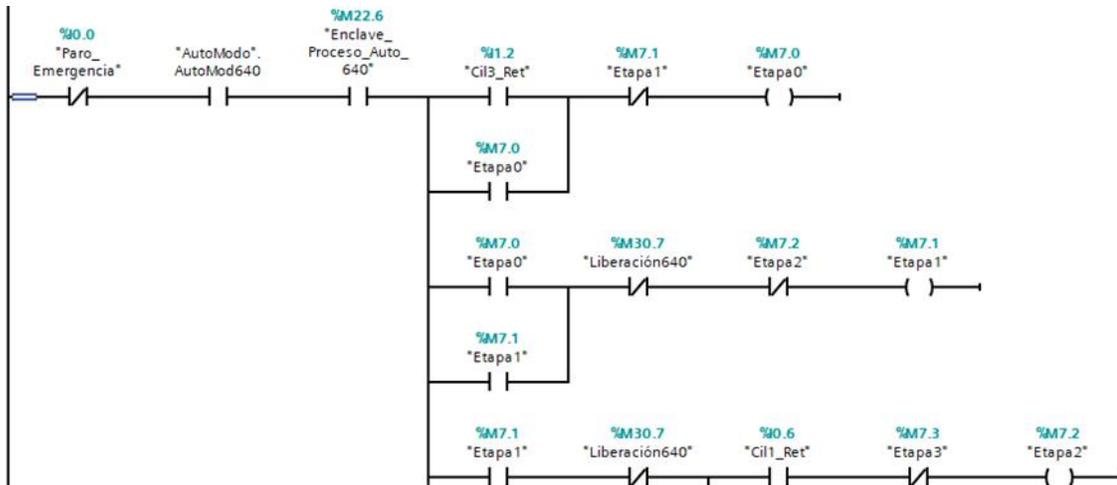


Imagen 3.5.1.1.1 Contacto normalmente cerrado correspondiente a la entrada digital I0.0 ("Paro_Emergencia") conectado al botón de paro de emergencia.
Fuente: Por el autor

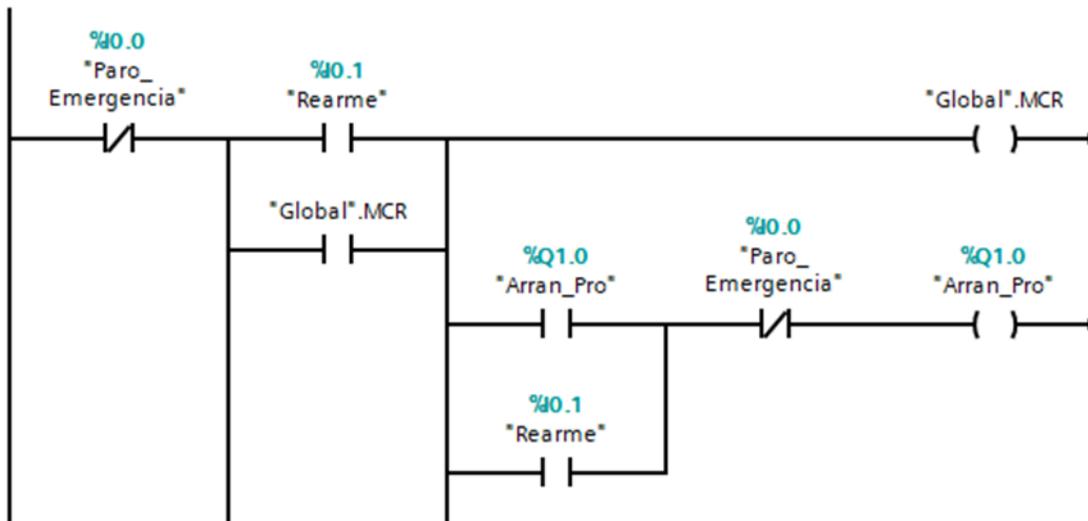


Imagen 3.5.1.2.1 Activación por medio de la entrada digital representada por un contacto normalmente abierto I0.1 ("Rearme") a la bobina de la salida digital Q1.0 ("Arran_Pro") correspondiente a la válvula de arranque progresivo SMC AV4000-04-5DZ en paralelo al contactor Metasol MC-9b para activar a su vez al motor trifásico Siemens GP100 en la función "A002_Modos".
Fuente: Por el autor

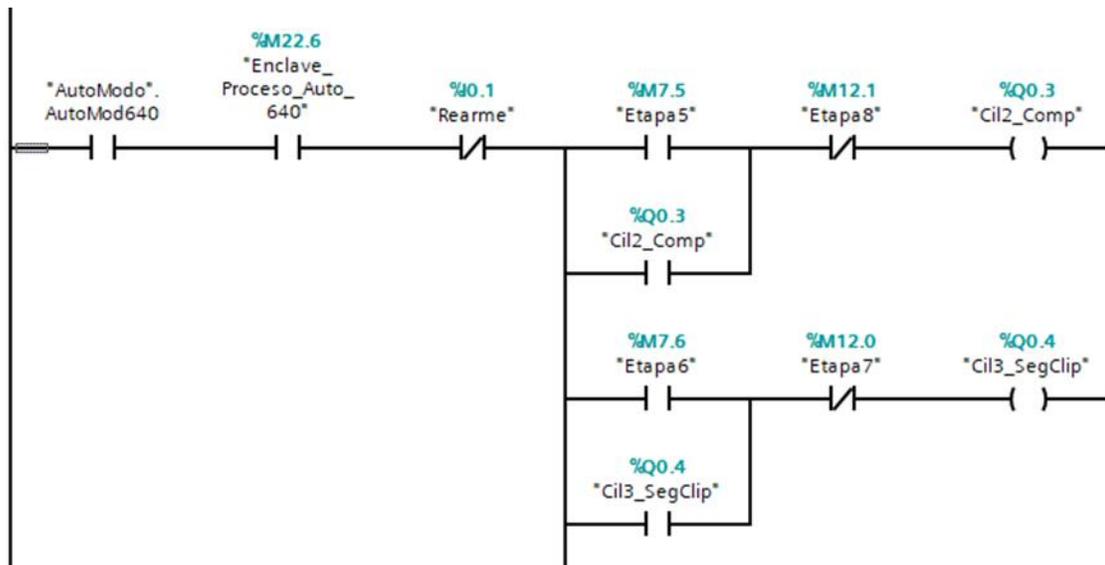


Imagen 3.5.1.2.2 Desactivación de las bobinas de salida correspondientes a los pistones del sistema neumático e hidráulico para llevarlos a su posición segura.
Fuente: Por el autor

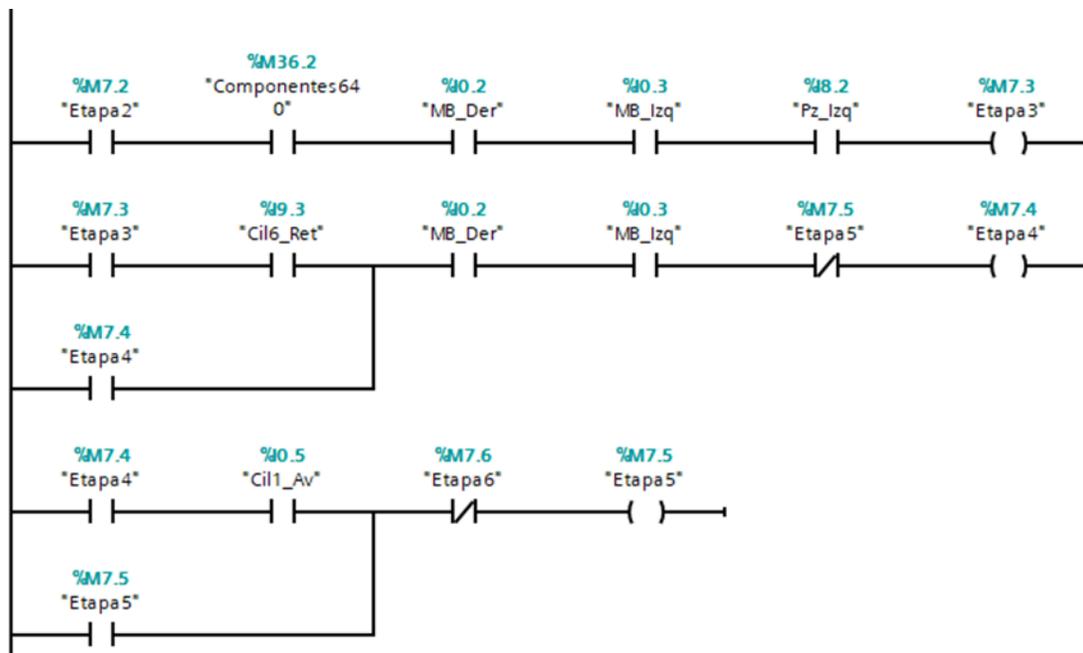


Imagen 3.5.1.3.1 Uso de las entradas digitales con contactos normalmente abiertos para I0.2 ("MB_Der") e I0.3 ("MB_Izq"). Ambas entradas son activadas al presionar los botones bimanuales y se terminan de usar al estar la puerta de seguridad totalmente cerrada.
Fuente: Por el autor



Imagen 3.5.1.4.1 Segmento de programación KOP (Ladder) en donde se aprecian diversas entradas digitales correspondientes a sensores de proximidad inductivos PNP con función de detectar piezas del ensamble.
Fuente: Por el autor

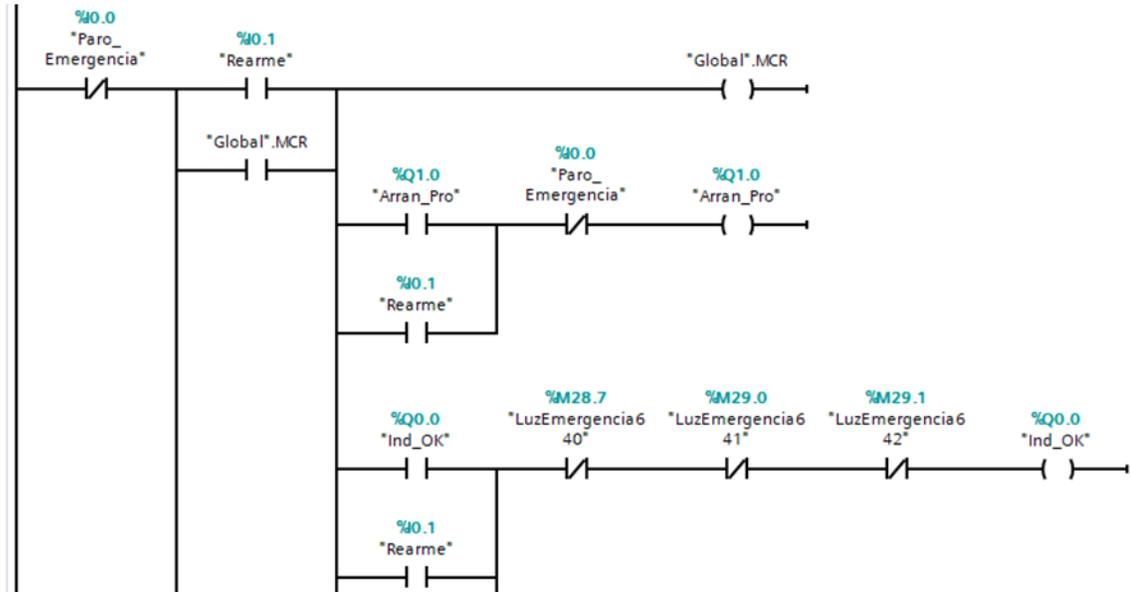


Imagen 3.5.2.1.1 Dentro de la función "A002_Modos" la entrada digital en contacto normalmente abierto I0.1 ("Rearme") activa y enclava a la bobina de salida digital Q0.0 ("Ind_OK"). Esto se traduce en el encendido del contacto modular Eaton M22-LED detrás de la carcasa Eaton M22-XDL-G el cual resulta en un indicador de color verde iluminado para mostrar que los sistemas neumáticos e hidráulicos se encuentran habilitados e informando además de un estado correcto de la estación de ensamble.
Fuente: Por el autor

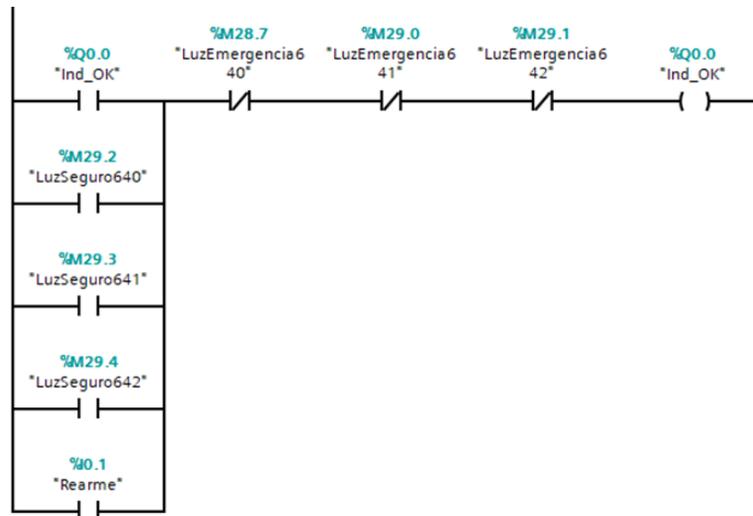


Imagen 3.5.2.1.2 Las marcas M29.2 ("LuzSeguro640"), M29.3 ("LuzSeguro641") y M29.4 ("LuzSeguro642") se activan en el evento donde no existen errores en la colocación de piezas de los ensamblados automáticos de los diferentes modelos, todo esto dentro de la función "A002_Modos".
Fuente: Por el autor.

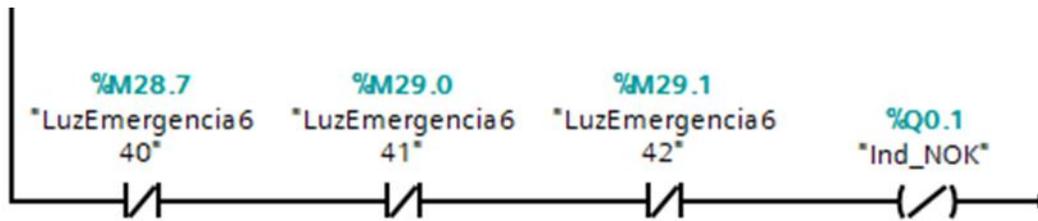


Imagen 3.5.2.1.3 Segmento de la función "A002_Modos" unido directamente a un contacto normalmente cerrado con la entrada digital I0.0 ("Paro_Emergencia") al cual al ser activado deshabilita a los sistemas neumáticos e hidráulicos y apaga al indicador OK con las salidas digitales Q1.0 ("Arran_Pro") y Q0.0 ("Ind_OK") respectivamente, pero activa a salida digital Q0.1 ("Ind_NOK") el cual es una bobina normalmente cerrada que tiene la función de ser un indicador rojo iluminado comunicando la desactivación de los sistemas con lo que la estación de ensamble pasa a un estado de emergencia.
Fuente: Por el autor

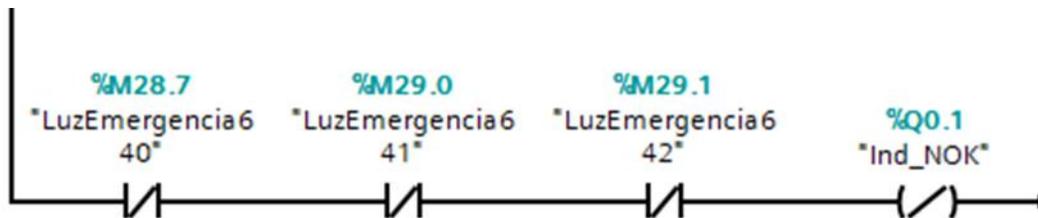


Imagen 3.5.2.1.4 Las marcas M28.7 ("LuzEmergencia640"), M29.0 ("LuzEmergencia641") y M29.1 ("LuzEmergencia642") se activan cuando existen errores en la colocación de piezas para los procesos automáticos en los distintos modelos dando como resultado la habilitación de salida digital Q0.1 ("Ind_NOK") para así prender al indicador rojo iluminado representado una anomalía con las piezas colocadas.
Fuente: Por el autor.

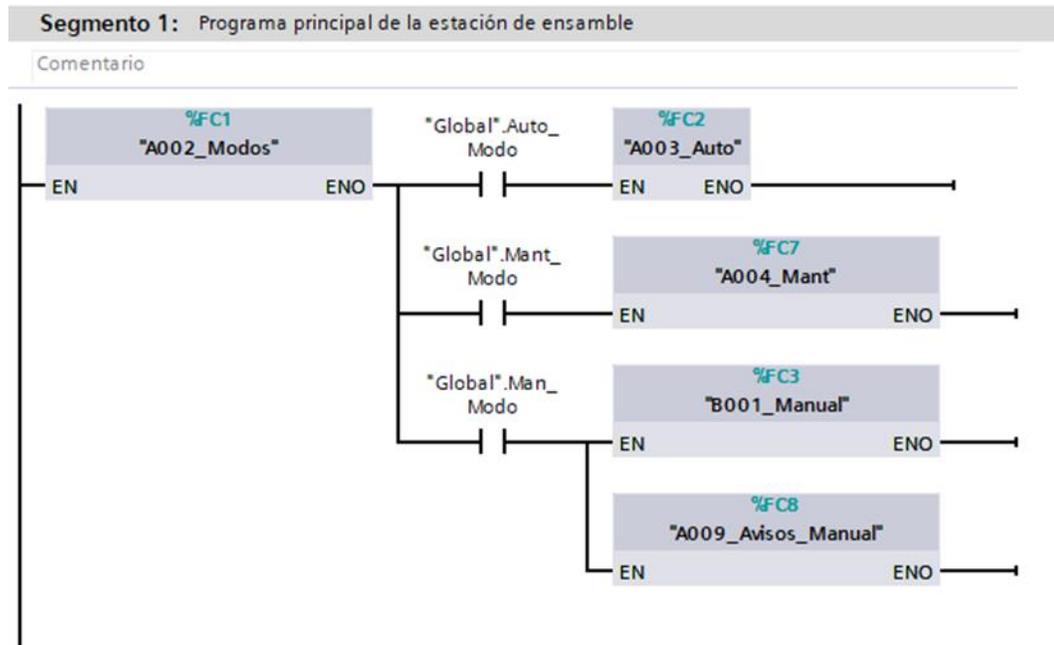


Imagen 3.6.1 Se agrupan las funciones principales de en la programación
Fuente: Por el autor

Segmento 2: Contadores de piezas para modelos automáticos

Comentario

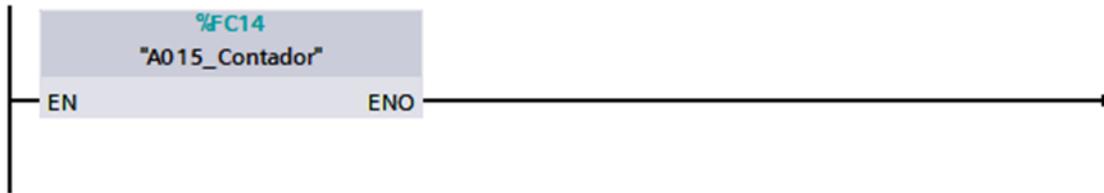


Imagen 3.6.2 Función general de contadores
Fuente: Por el autor

Segmento 3: Despliegue de imagen de paro de emergencia

Comentario



Imagen 3.6.3 Función para colocar pantalla de bloqueo al ser activador el botón de paro de emergencia
Fuente: Por el autor

Segmento 4: Habilita los botones al querer ingresar a un modo nuevo

Comentario

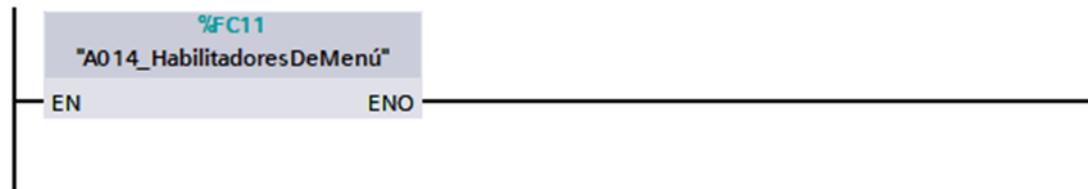


Imagen 3.6.4 Función para habilitar el acceso a modos distintos de operación tras haber creado un enclave en un proceso en específico.
Fuente: Por el autor

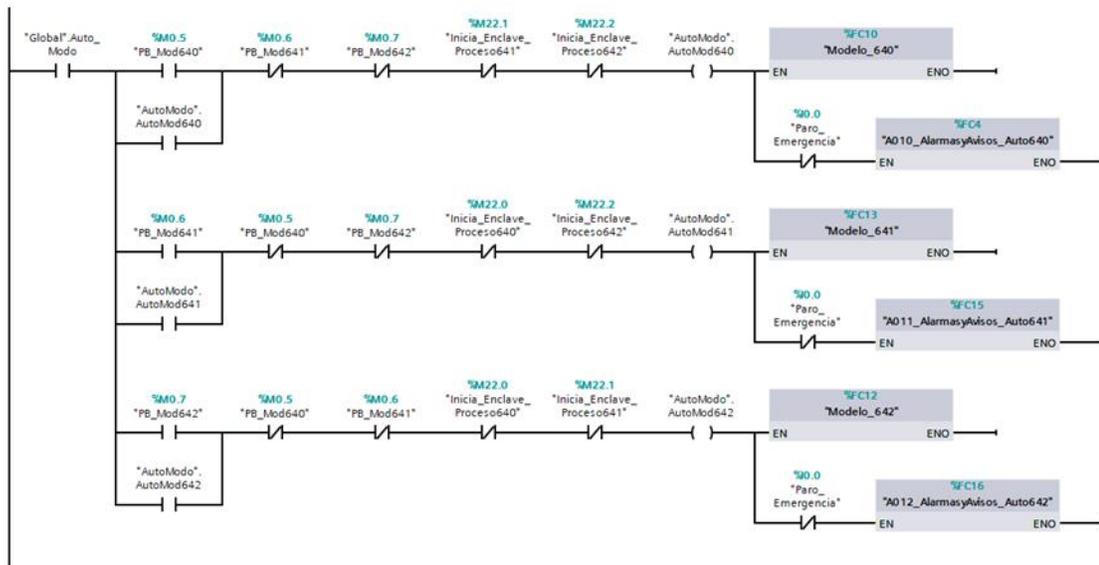


Imagen 3.6.1.1 Desglose de la función "A003_Auto" en donde se observa la activación de una bobina de variable interna con enclave y protección para activar cada una de las funciones para los distintos modelos de ensamble juntos a sus respectivas alarmas para el operario.

Fuente: Por el autor

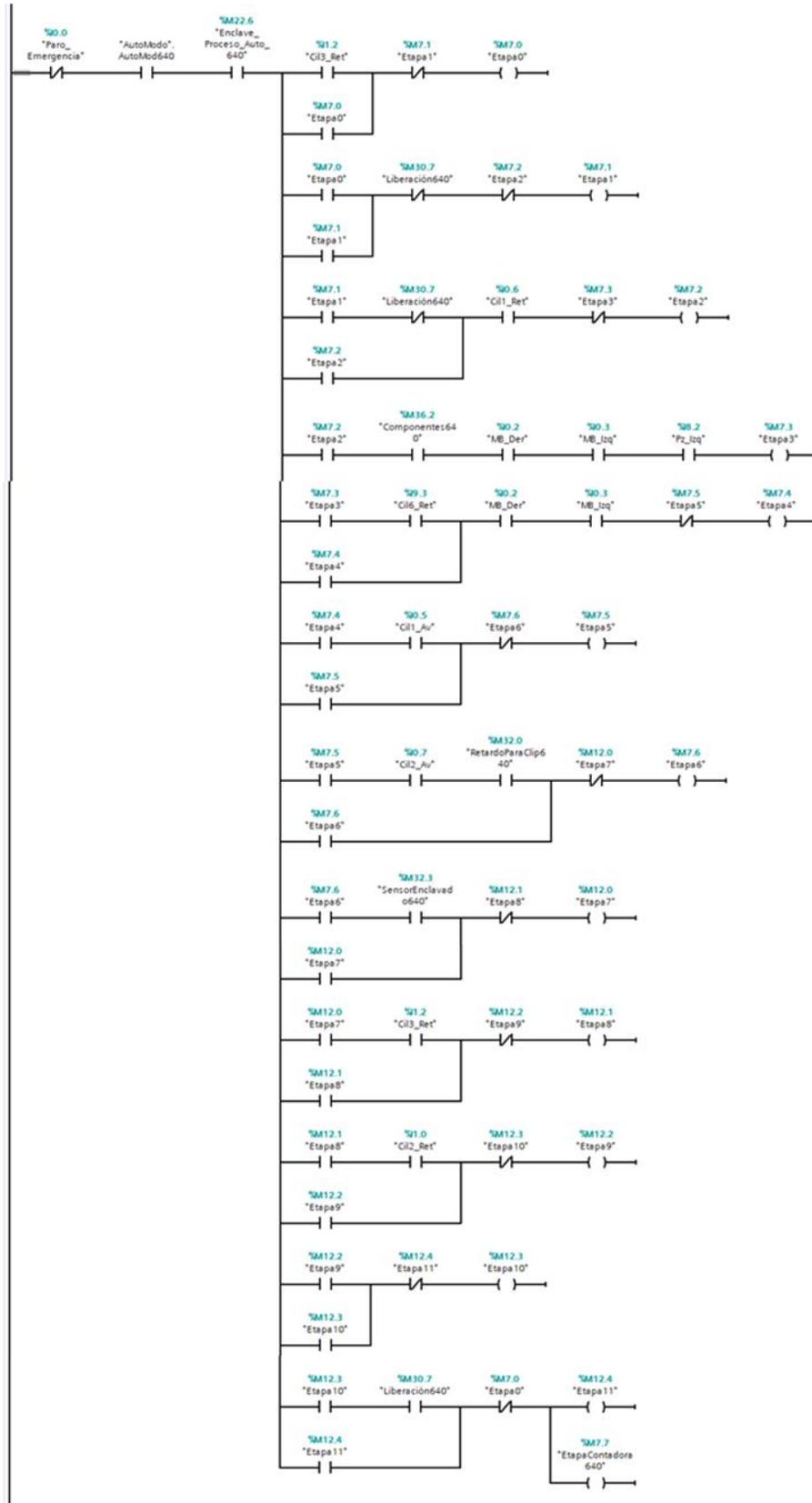


Imagen 3.6.1.1.1 Vista general del primer segmento del modelo 640 en método GRAFCET interpretado en Ladder o KOP
Fuente: Por el autor

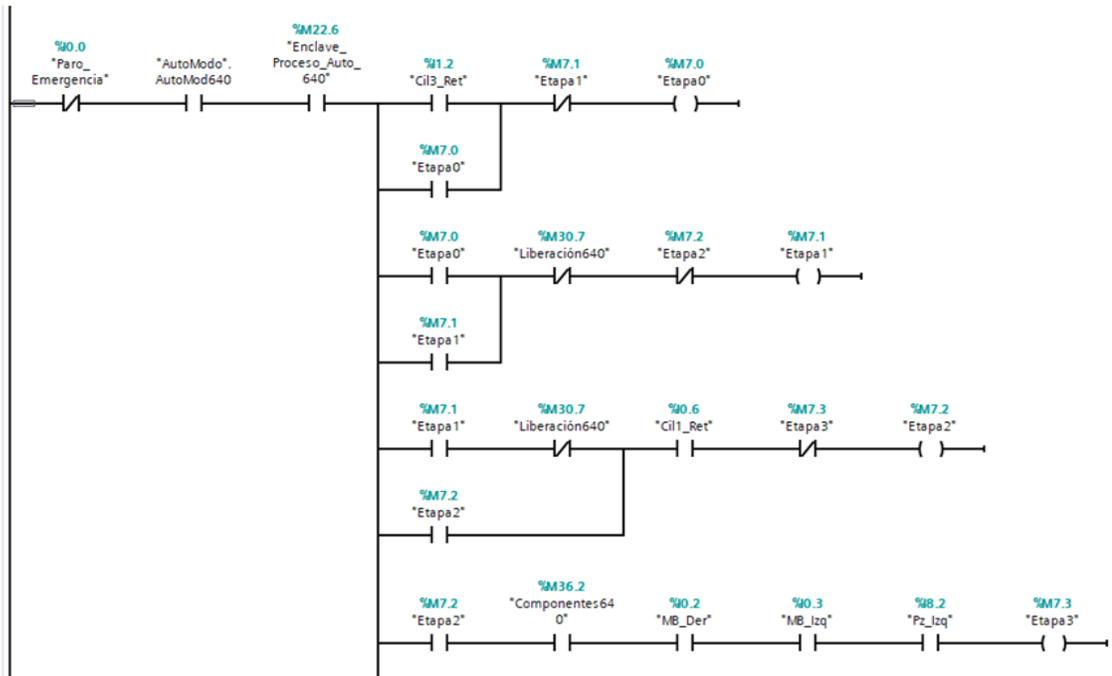


Imagen 3.6.1.1.2 Detalle de la etapa cero a la etapa tres del proceso GRAFCET para el modelo 640
Fuente: Por el autor

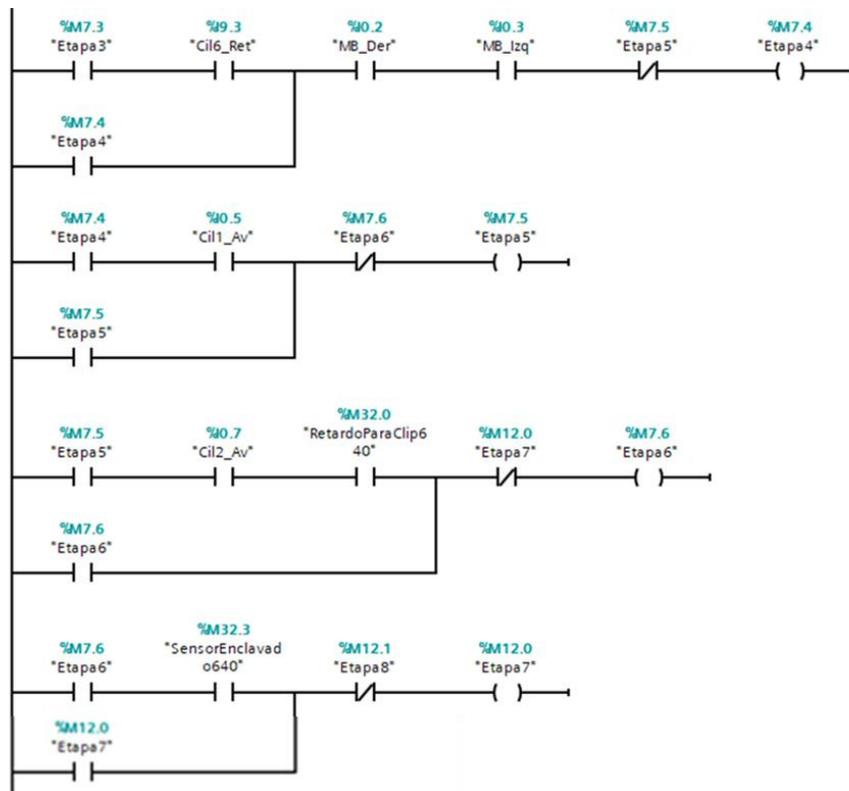


Imagen 3.6.1.1.3 Detalle de la etapa cuatro a la etapa siete del proceso GRAFCET para el modelo 640
Fuente: Por el autor

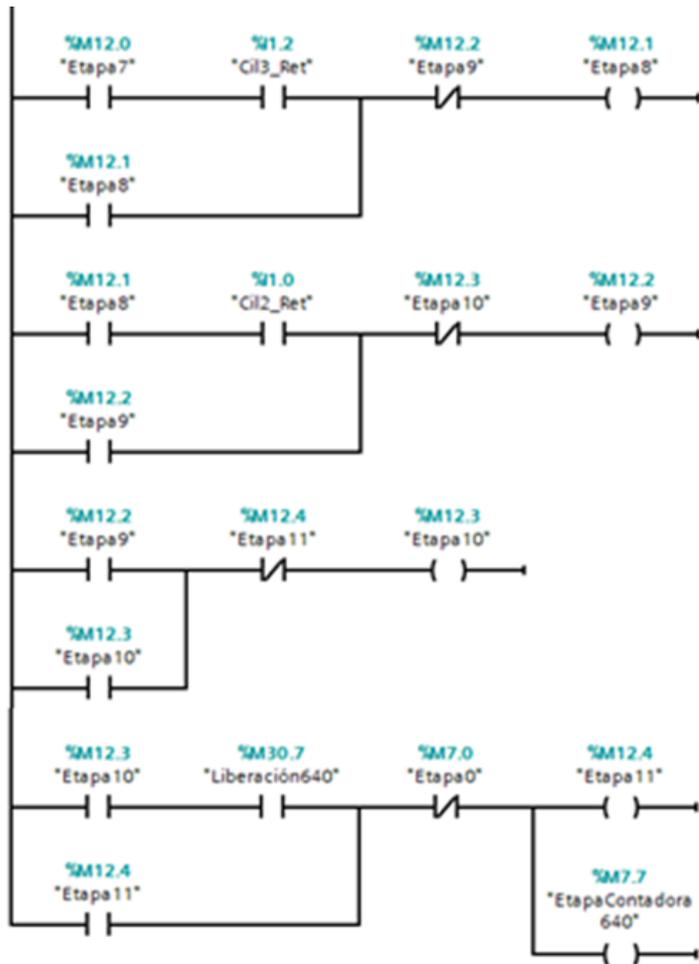


Imagen 3.6.1.1.4 Detalle de la etapa ocho a la etapa once del proceso GRAFCET para el modelo 640
Fuente: Por el autor

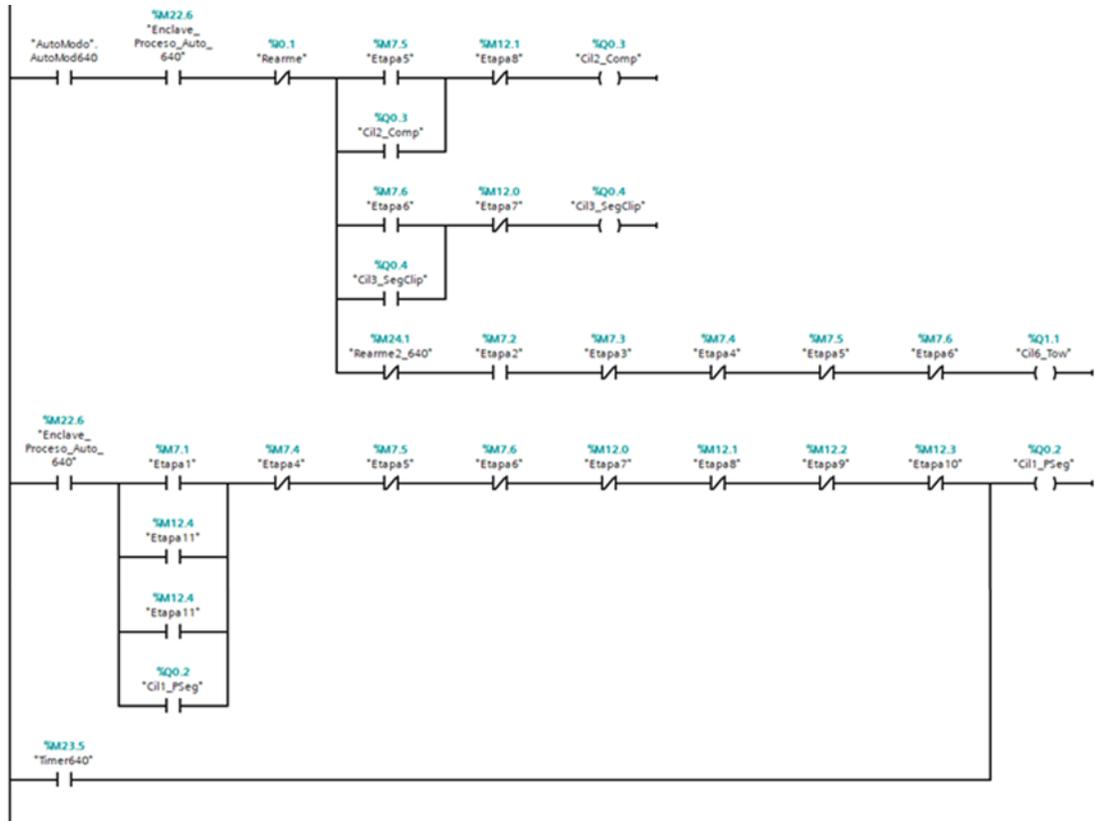


Imagen 3.6.1.1.5 Vista general del segundo segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

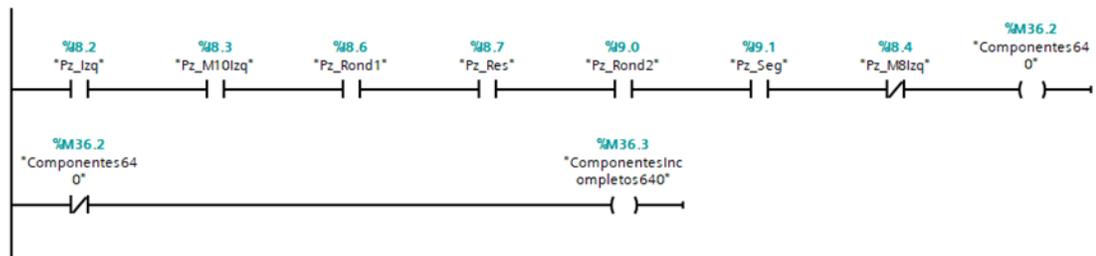


Imagen 3.6.1.1.6 Vista general del tercer segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

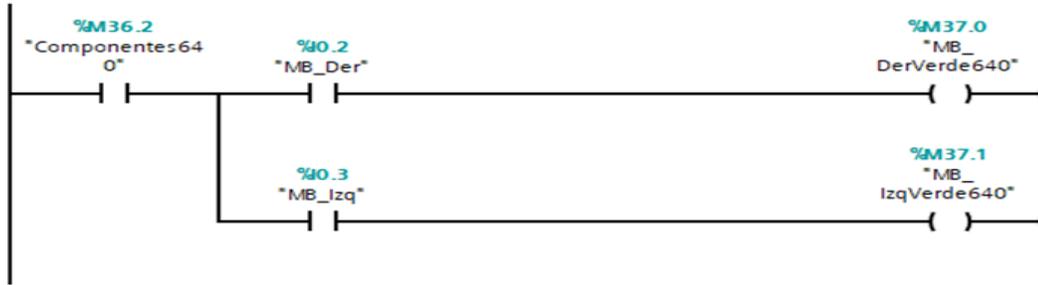


Imagen 3.6.1.1.7 Vista general del cuarto segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

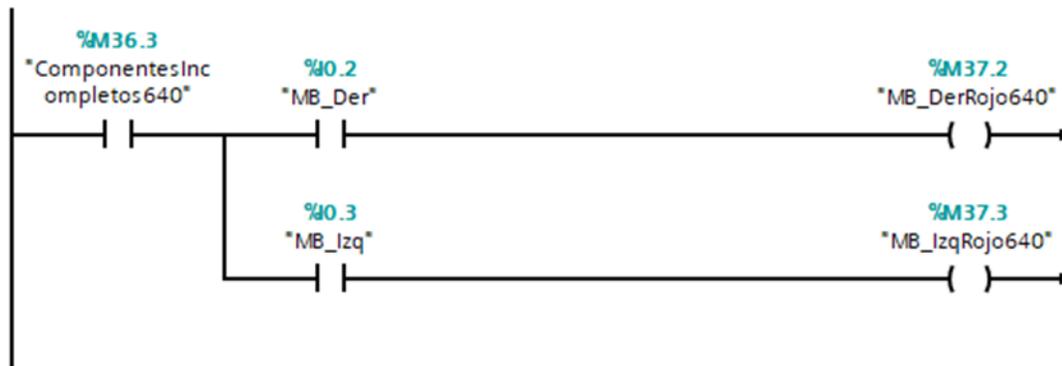


Imagen 3.6.1.1.8 Vista general del quinto segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor



Imagen 3.6.1.1.9 Vista general del sexto segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor



Imagen 3.6.1.1.10 Vista general del séptimo segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

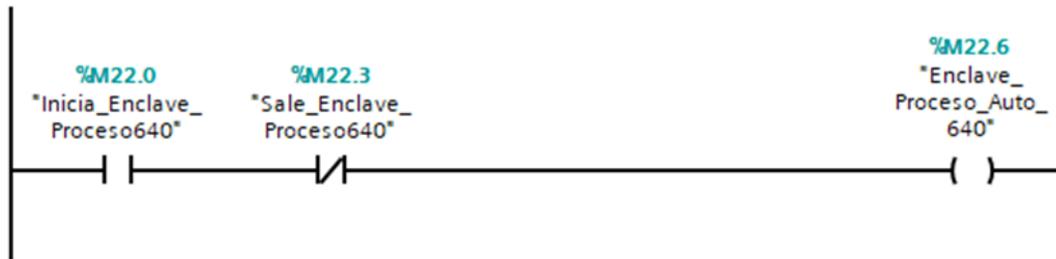


Imagen 3.6.1.1.11 Vista general del octavo segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

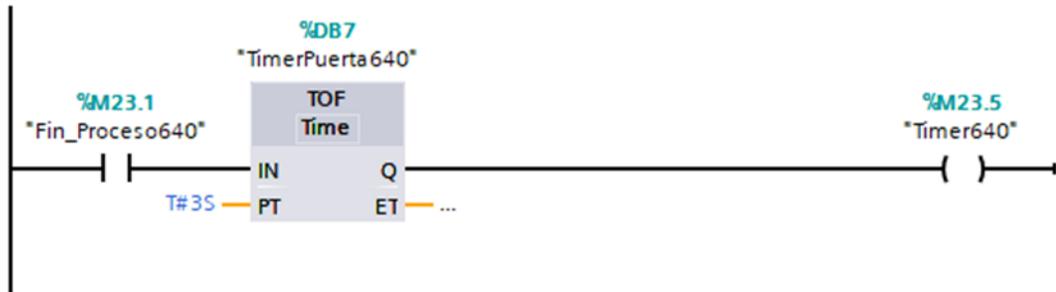


Imagen 3.6.1.1.12 Vista general del noveno segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

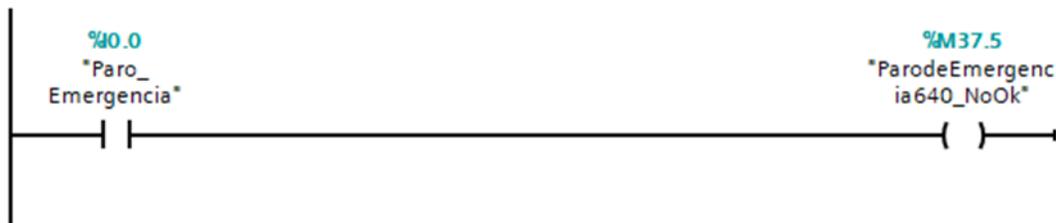


Imagen 3.6.1.1.13 Vista general del décimo segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

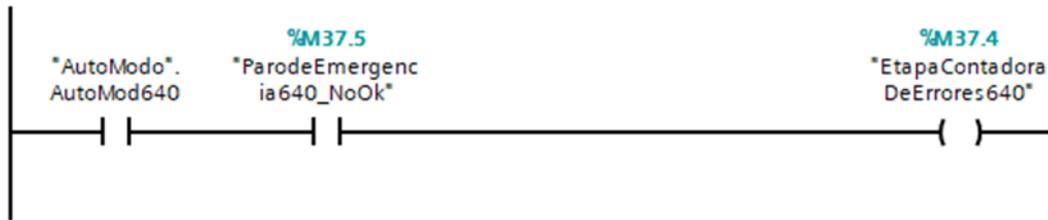


Imagen 3.6.1.1.14 Vista general del onceavo segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

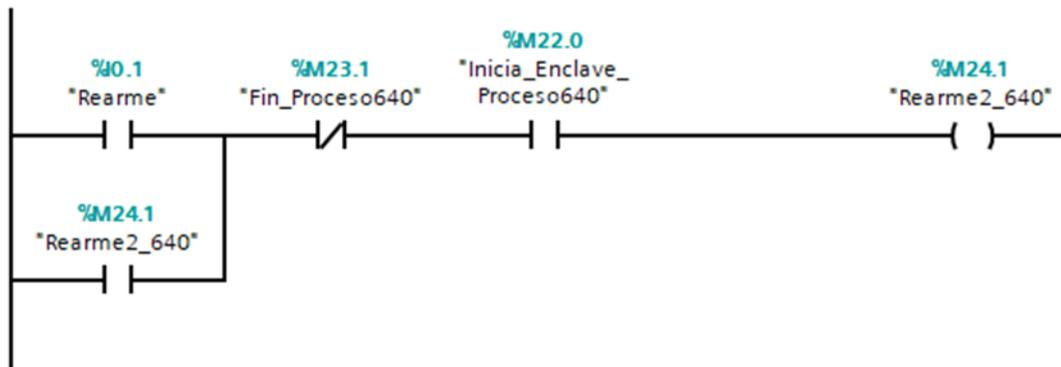


Imagen 3.6.1.1.15 Vista general del doceavo segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

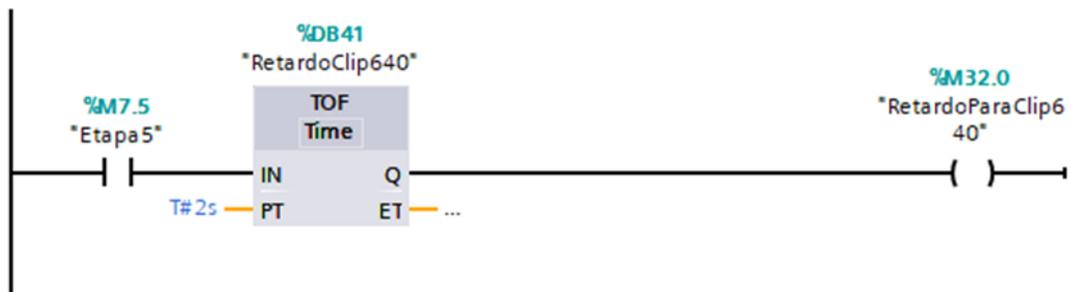


Imagen 3.6.1.1.16 Vista general del treceavo segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

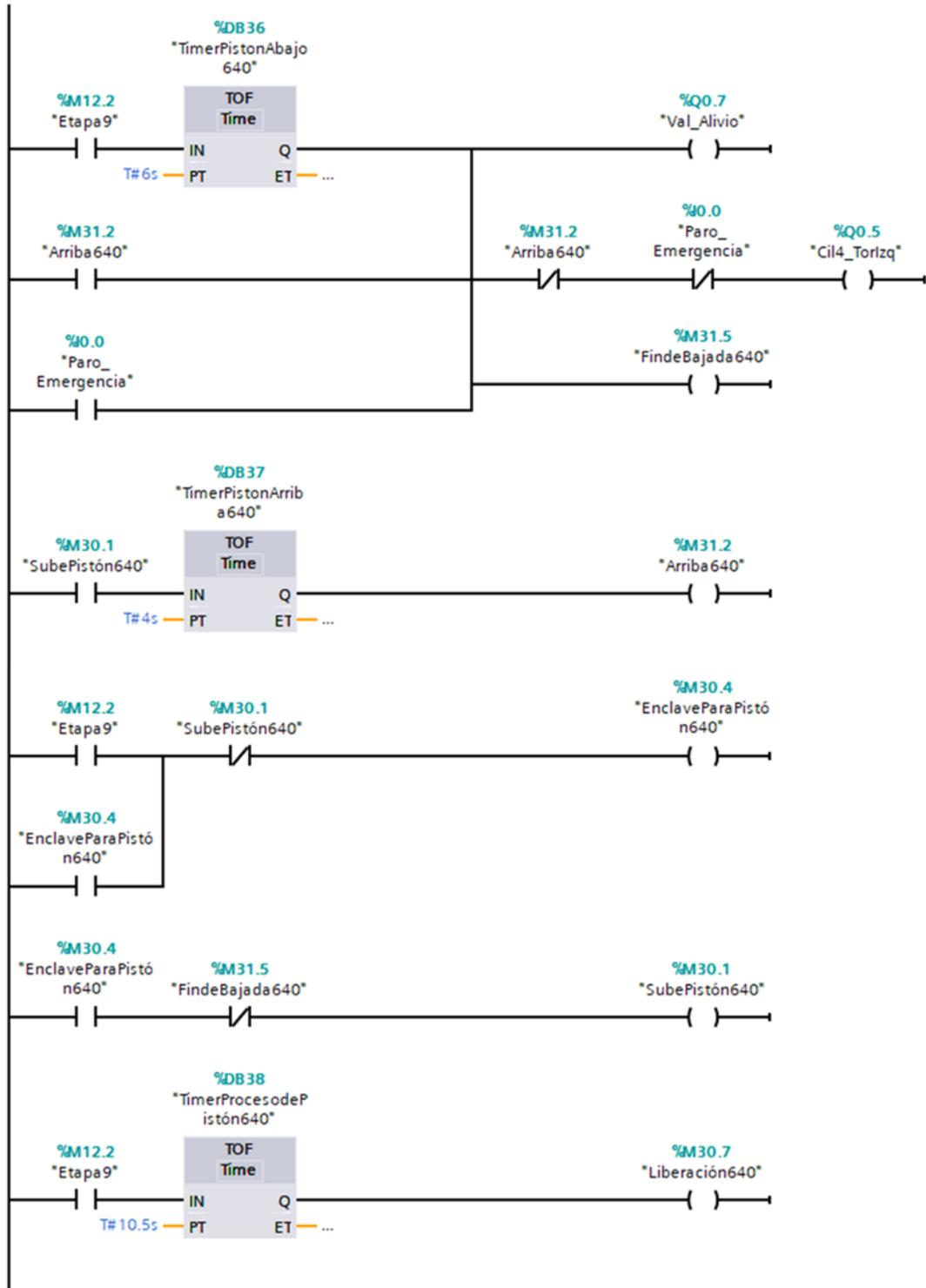


Imagen 3.6.1.1.17 Vista general del catorceavo segmento del modelo 640
Fuente: Por el autor

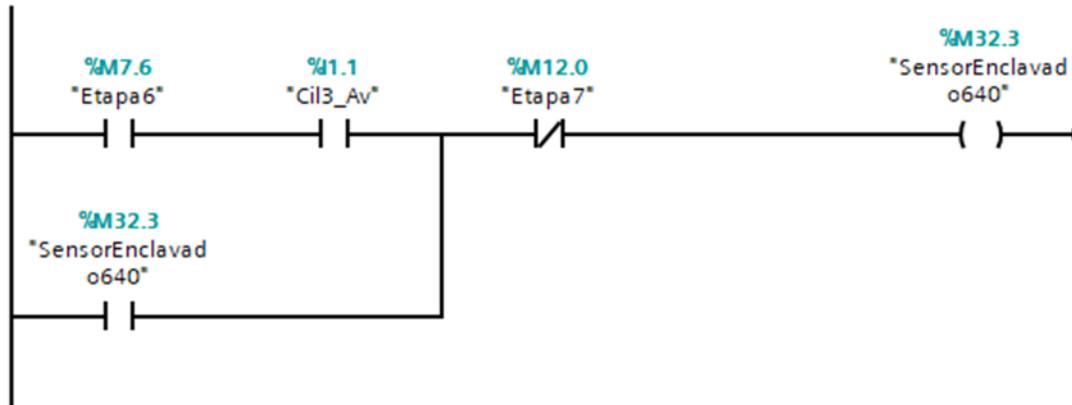


Imagen 3.6.1.1.18 Vista general del quinceavo segmento del modelo 640
 Fuente: Por el autor

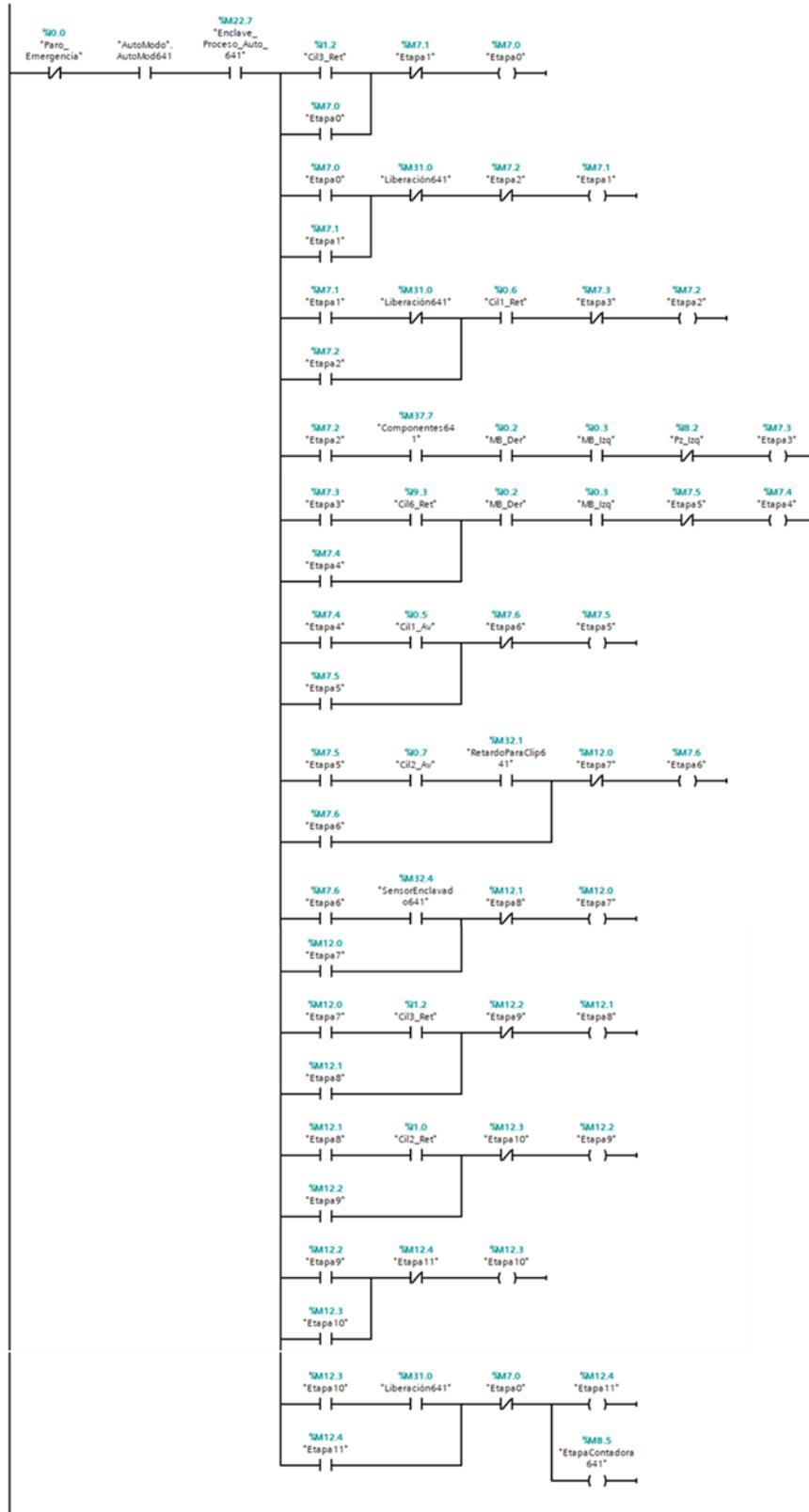


Imagen 3.6.1.2.1 Vista general del primer segmento del modelo 641 en método GRAFCET interpretado en Ladder o KOP
Fuente: Por el autor

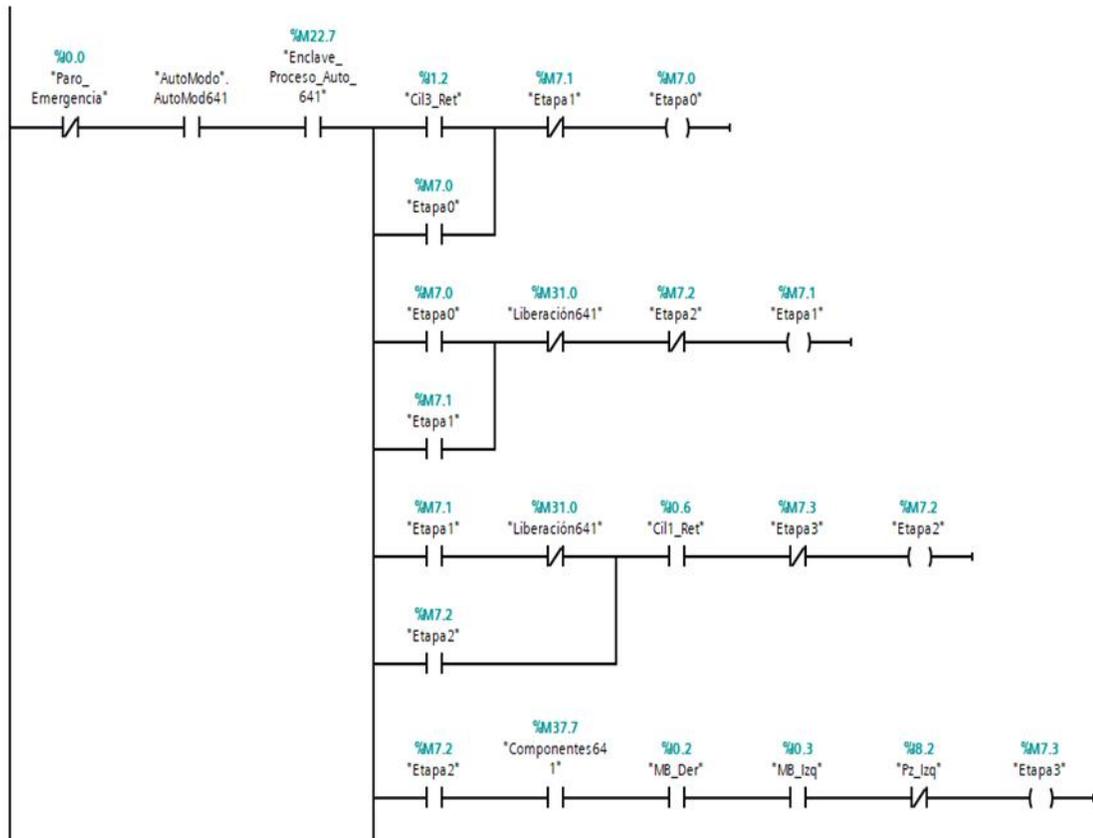


Imagen 3.6.1.2.2 Detalle de la etapa cero a la etapa tres del proceso GRAFCET para el modelo 641
Fuente: Por el autor

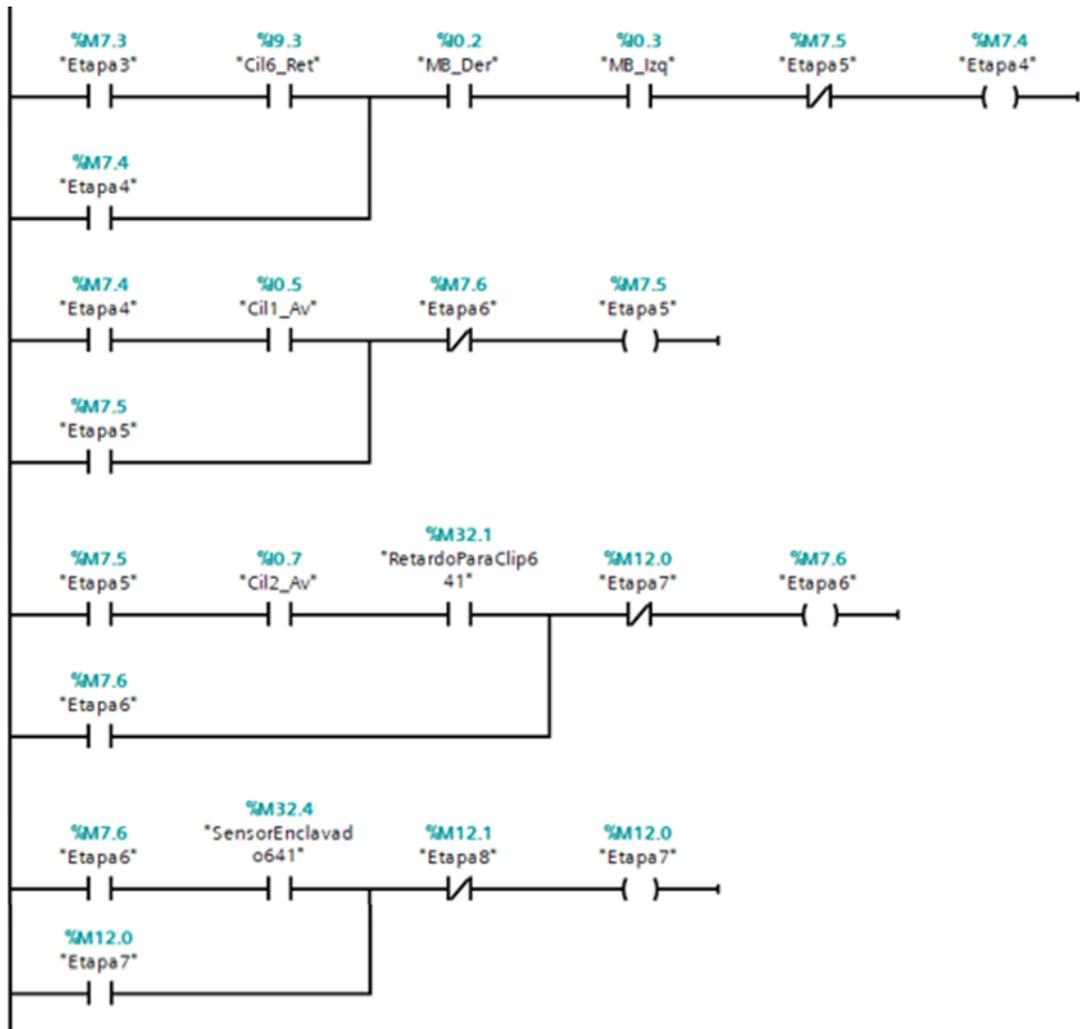


Imagen 3.6.1.2.3 Detalle de la etapa cuatro a la etapa siete del proceso GRAFCET para el modelo 641
Fuente: Por el autor

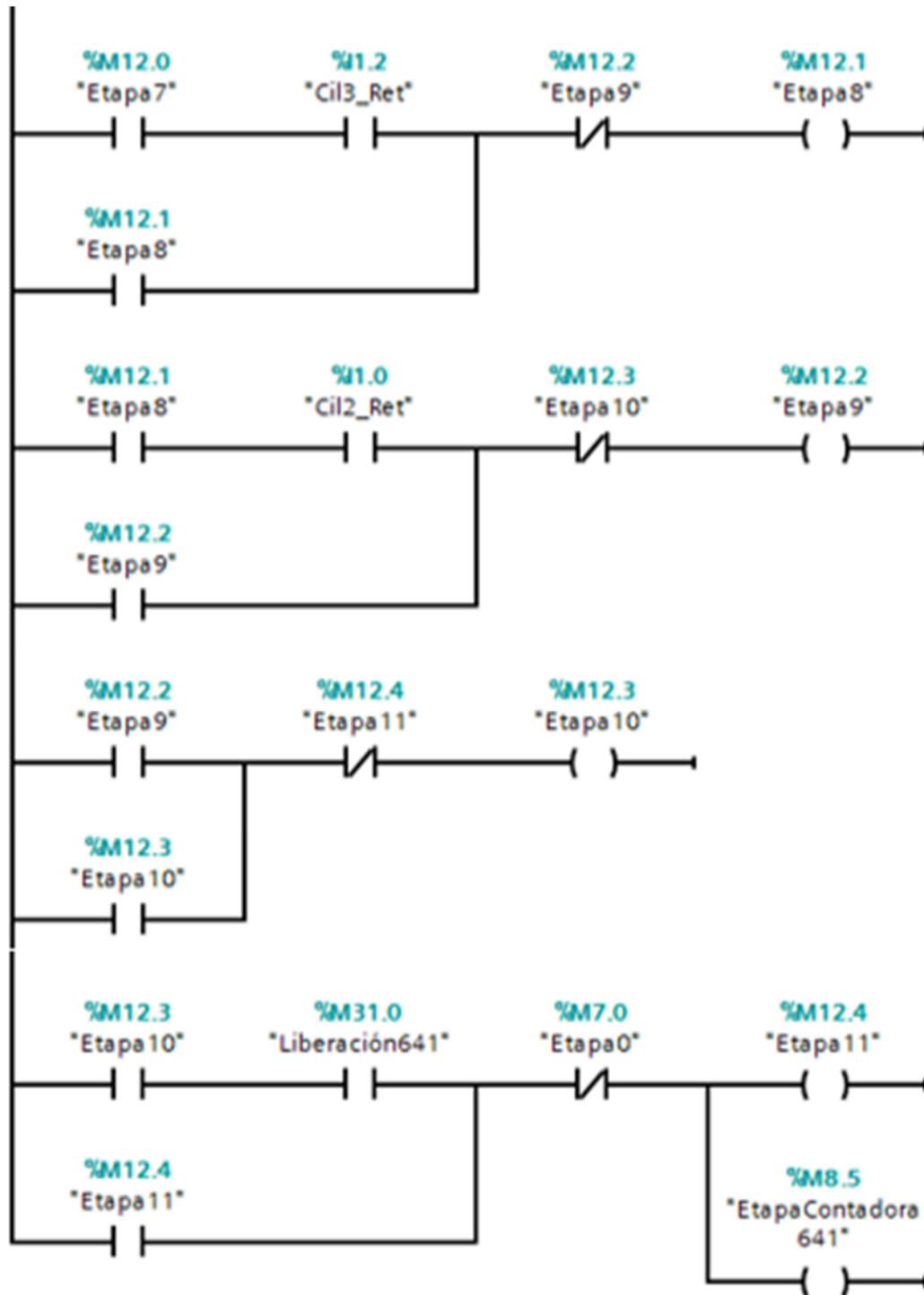


Imagen 3.6.1.2.4 Detalle de la etapa ocho a la etapa once del proceso GRAFCET para el modelo 641
Fuente: Por el autor

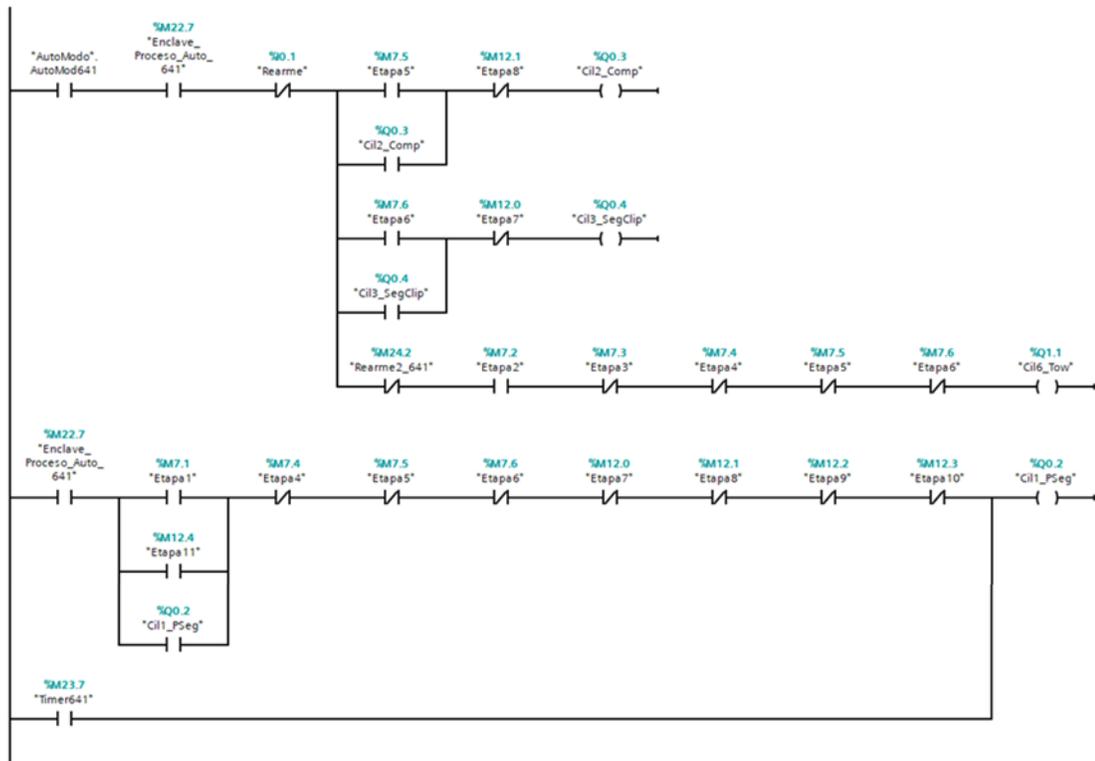


Imagen 3.6.1.2.5 Vista general del segundo segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

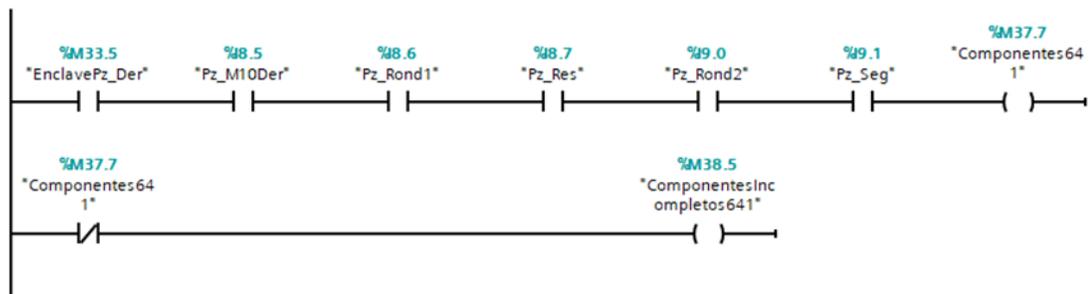


Imagen 3.6.1.2.6 Vista general del tercer segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

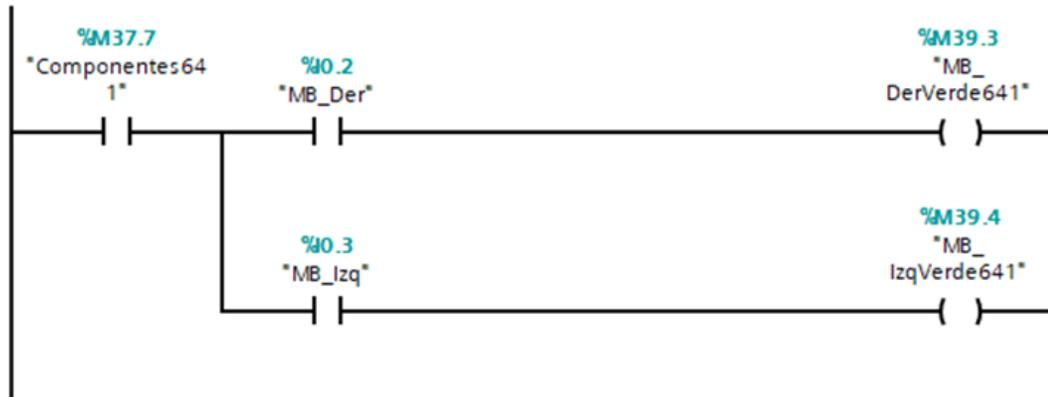


Imagen 3.6.1.2.7 Vista general del cuarto segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

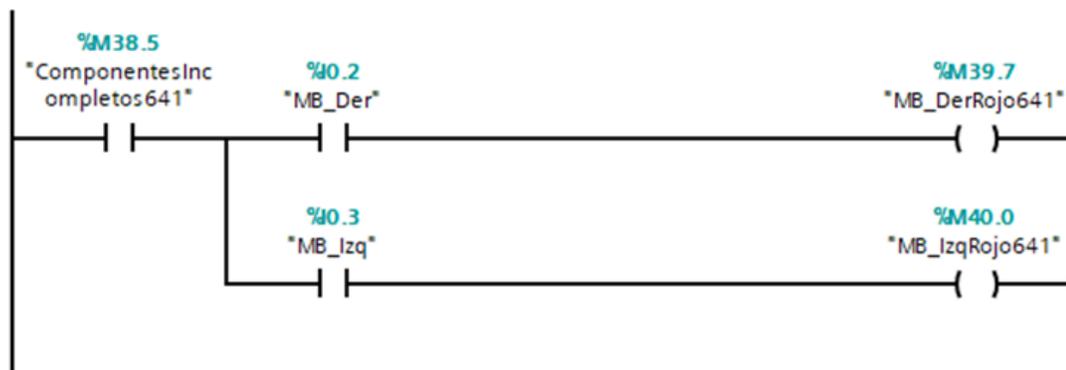


Imagen 3.6.1.2.8 Vista general del quinto segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor



Imagen 3.6.1.2.9 Vista general del sexto segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

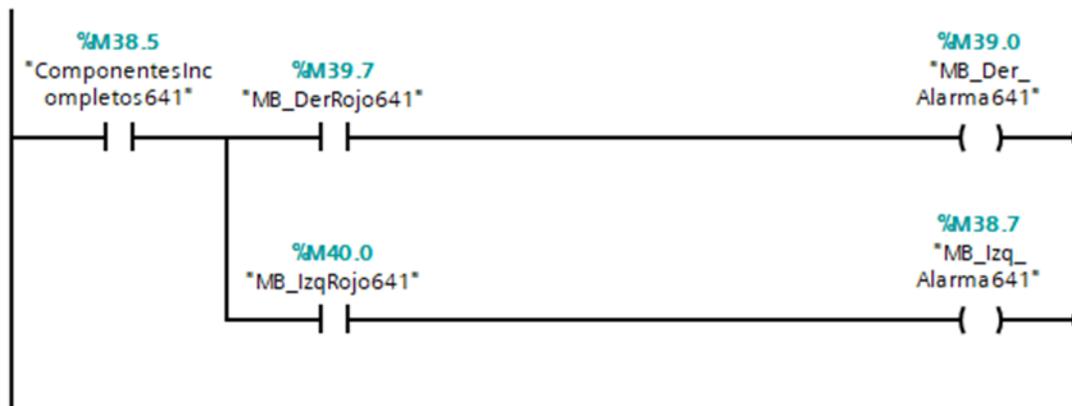


Imagen 3.6.1.2.10 Vista general del séptimo segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

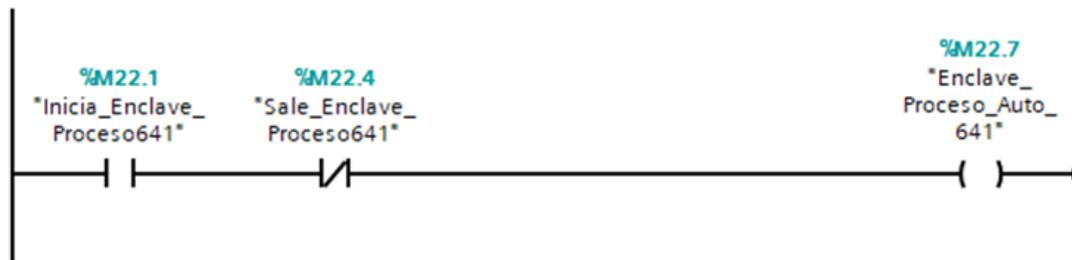


Imagen 3.6.1.2.11 Vista general del octavo segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

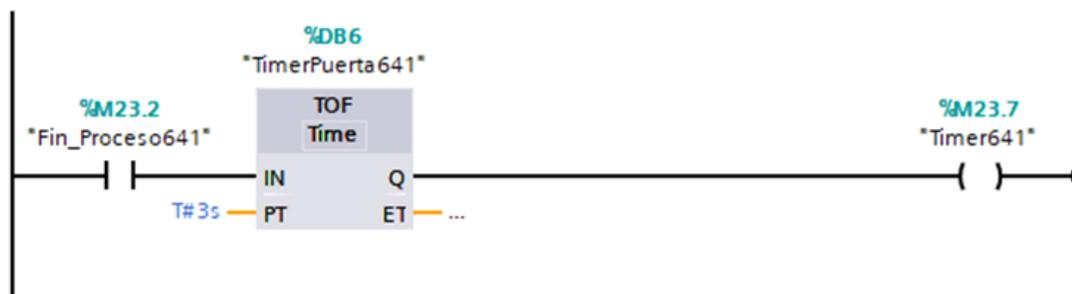


Imagen 3.6.1.2.12 Vista general del noveno segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor



Imagen 3.6.1.2.13 Vista general del décimo segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

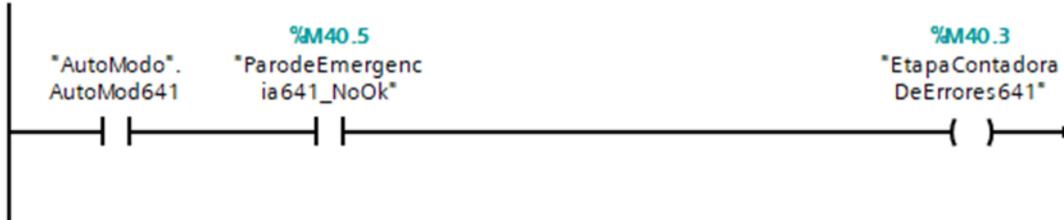


Imagen 3.6.1.2.14 Vista general del onceavo segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

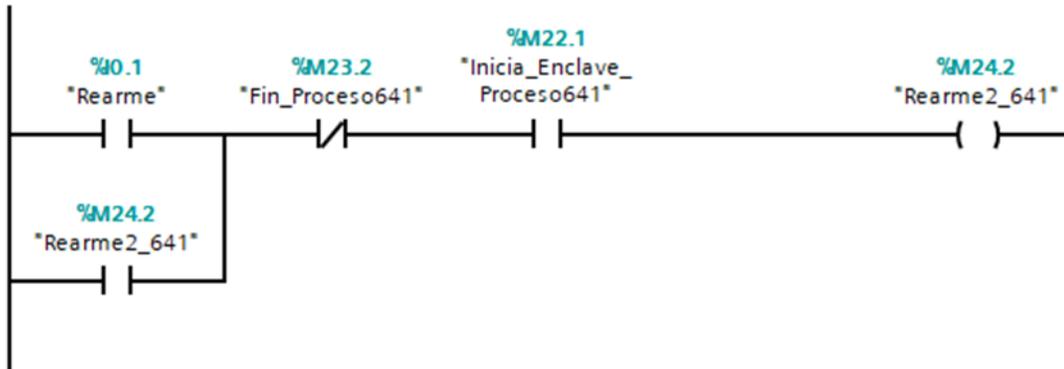


Imagen 3.6.1.2.15 Vista general del doceavo segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

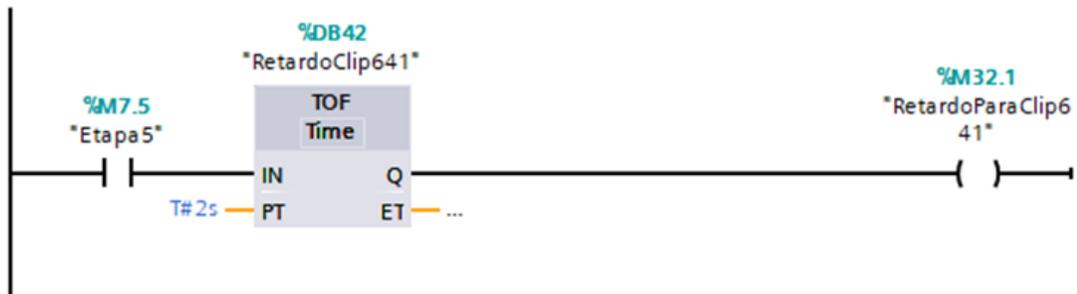


Imagen 3.6.1.2.16 Vista general del treceavo segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

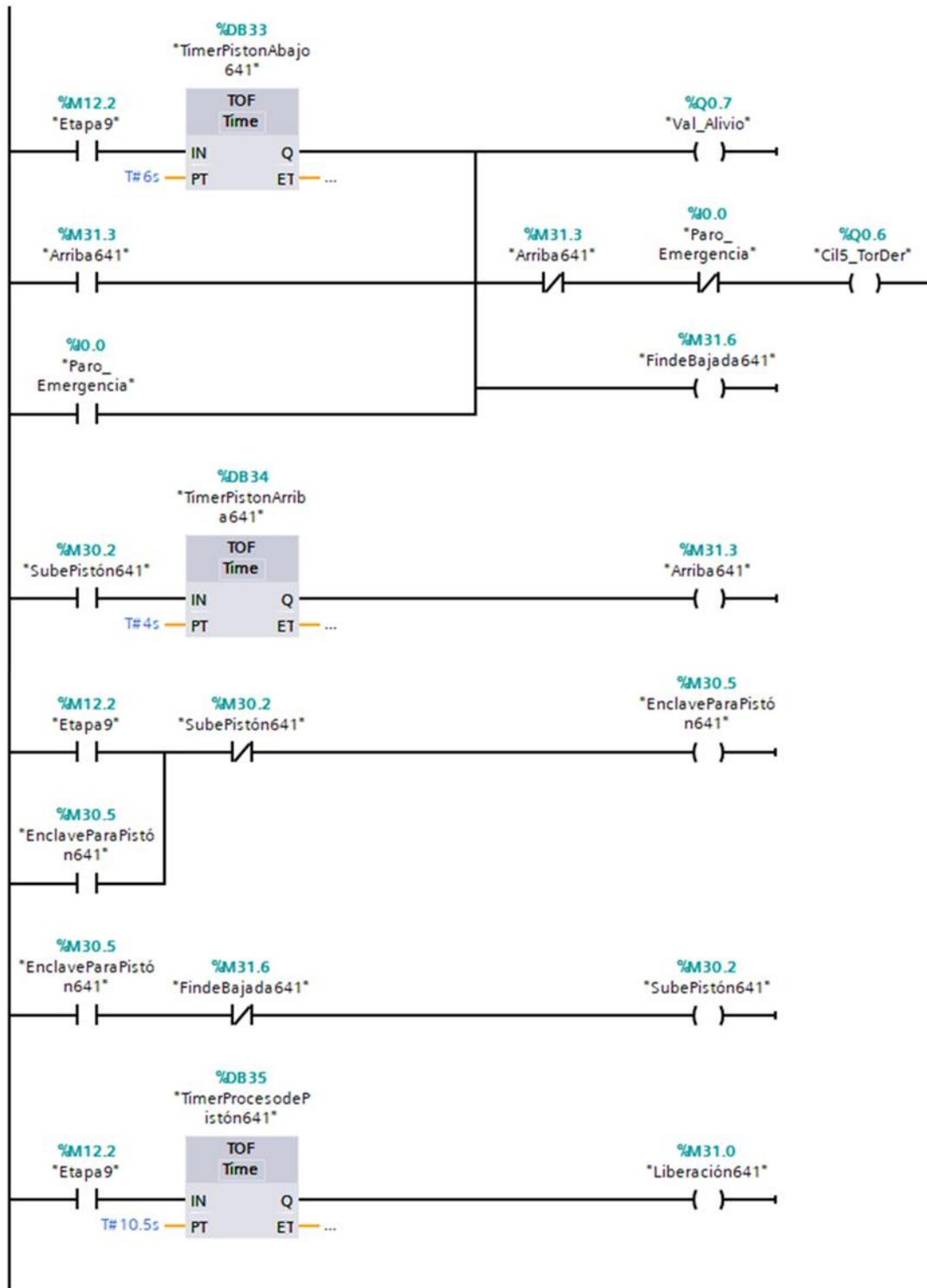


Imagen 3.6.1.2.17 Vista general del catorceavo segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

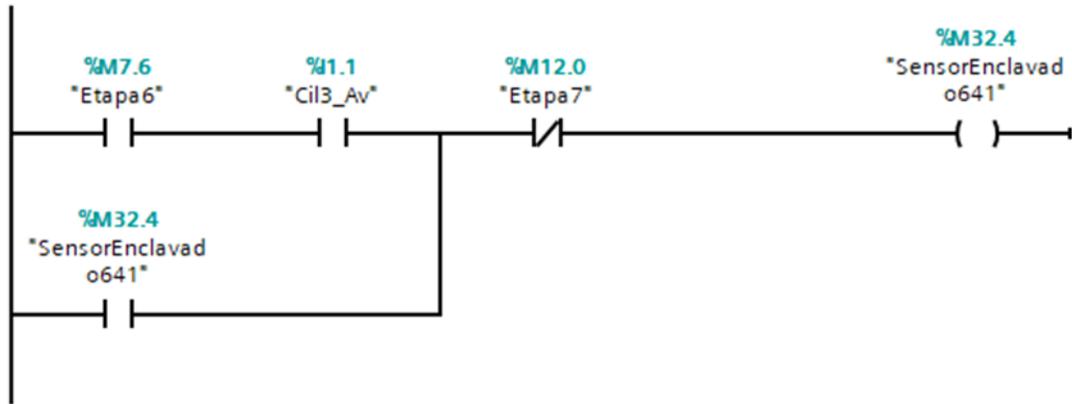


Imagen 3.6.1.2.18 Vista general del quinceavo segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

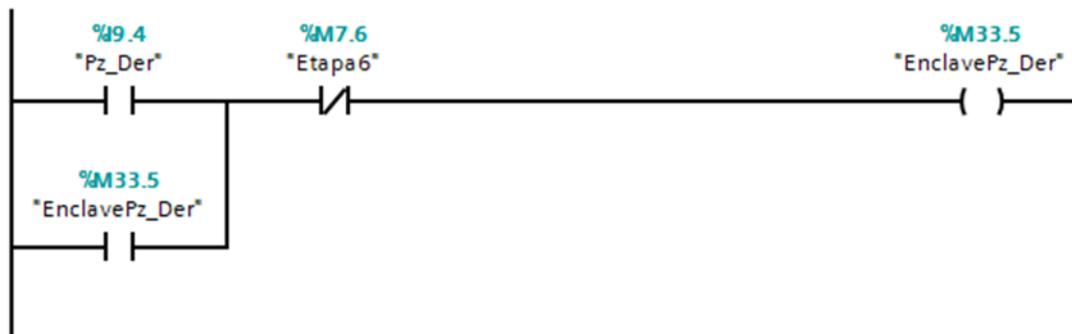


Imagen 3.6.1.2.19 Vista general del dieciseisavo segmento del modelo 641
Fuente: Por el autor

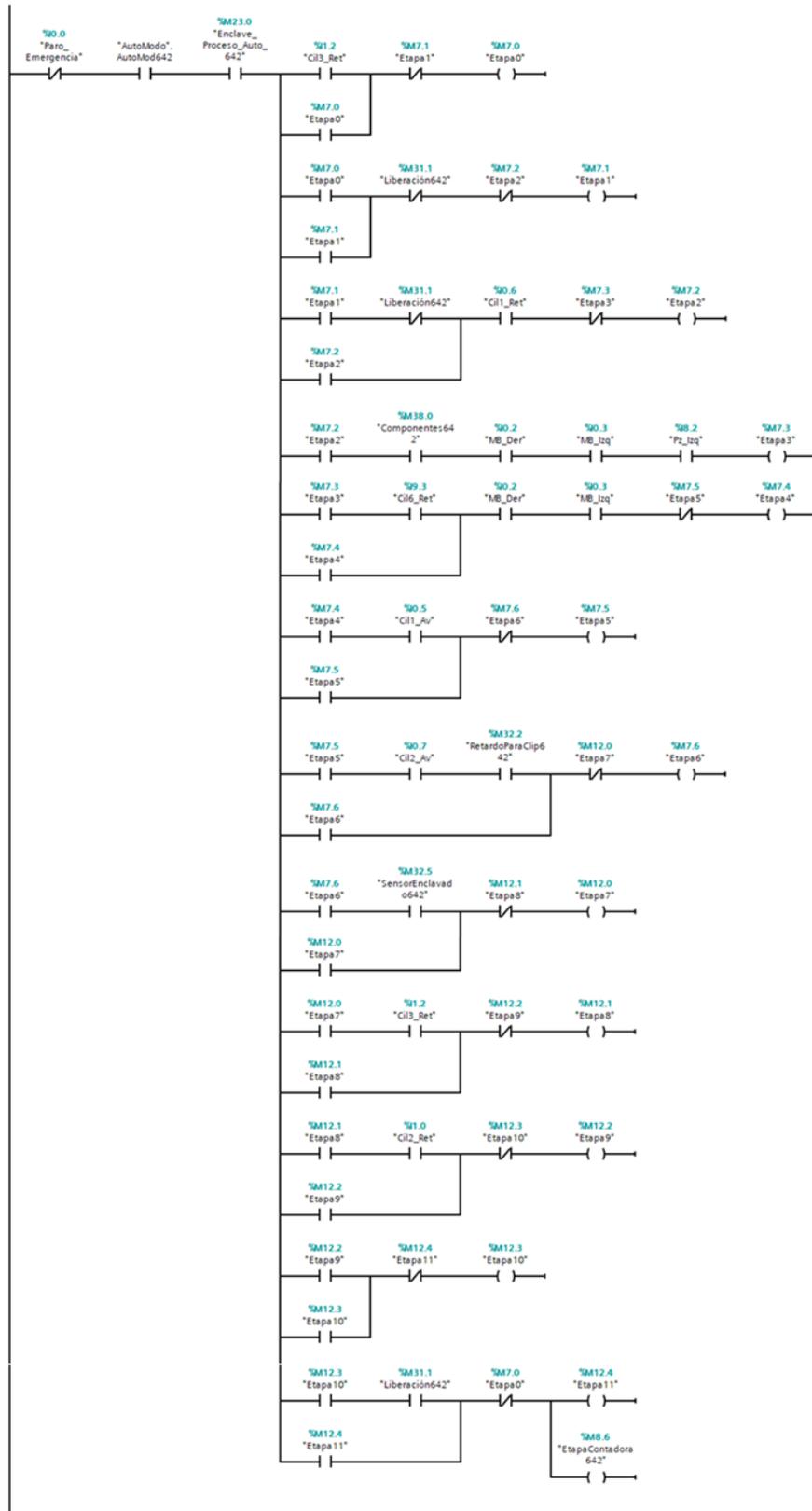


Imagen 3.6.1.3.1 Vista general del primer segmento del modelo 642 en método GRAFCET interpretado en Ladder o KOP
Fuente: Por el autor

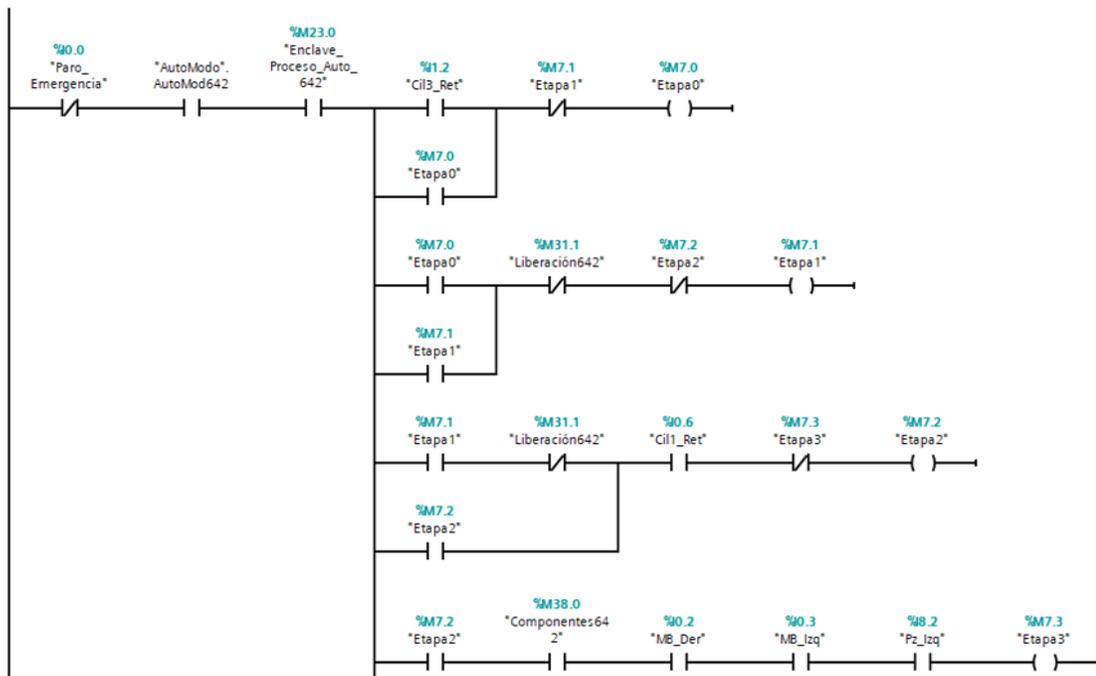


Imagen 3.6.1.3.2 Detalle de la etapa cero a la etapa tres del proceso GRAFCET para el modelo 642
Fuente: Por el autor

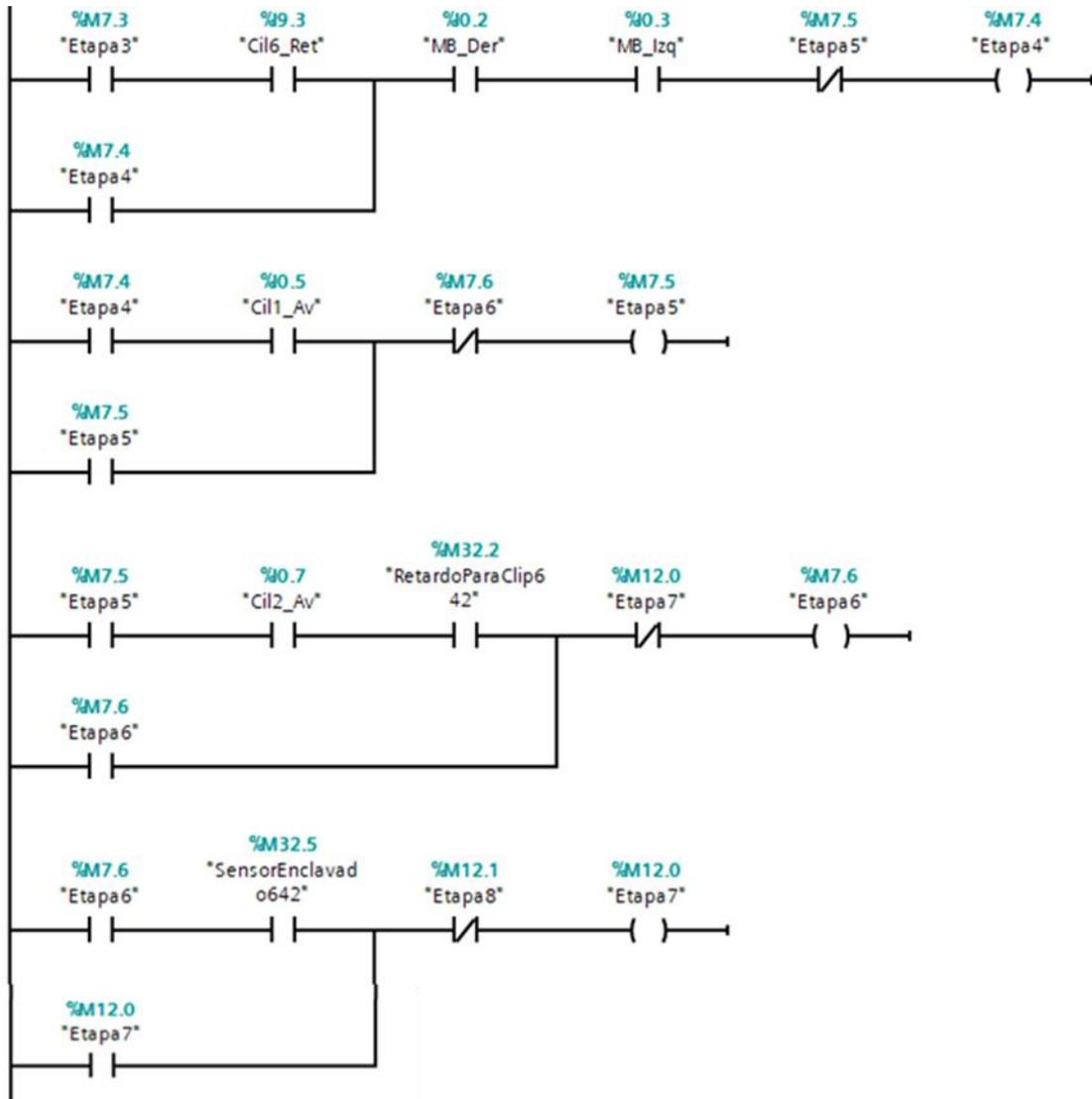


Imagen 3.6.1.3.3 Detalle de la etapa cuatro a la etapa siete del proceso GRAFCET para el modelo 642
Fuente: Por el autor

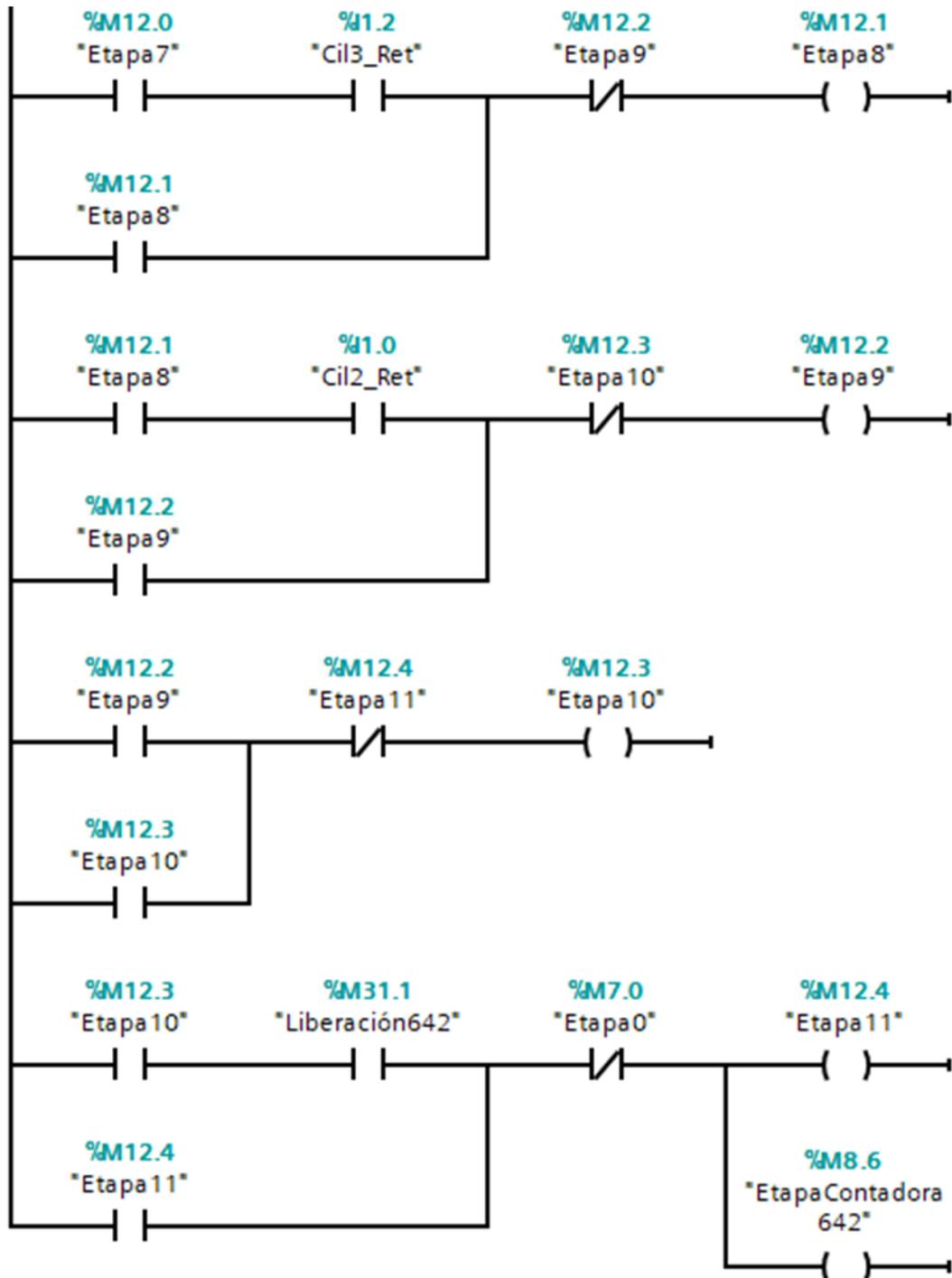


Imagen 3.6.1.3.4 Detalle de la etapa ocho a la etapa once del proceso GRAFCET para el modelo 642
Fuente: Por el autor

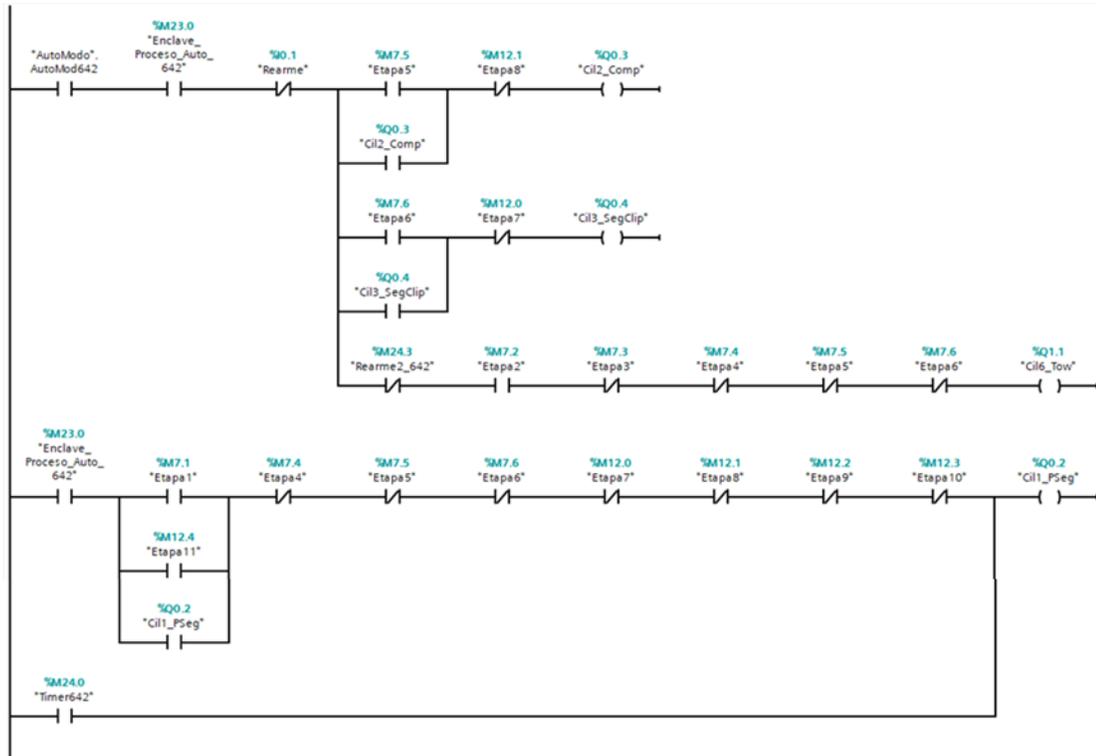


Imagen 3.6.1.3.5 Vista general del segundo segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

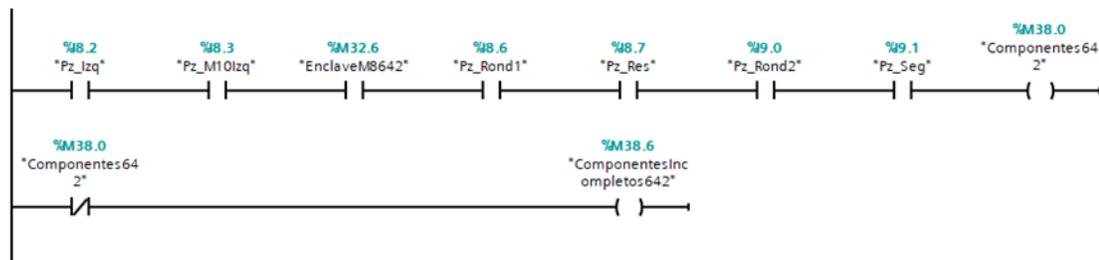


Imagen 3.6.1.3.6 Vista general del tercer segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

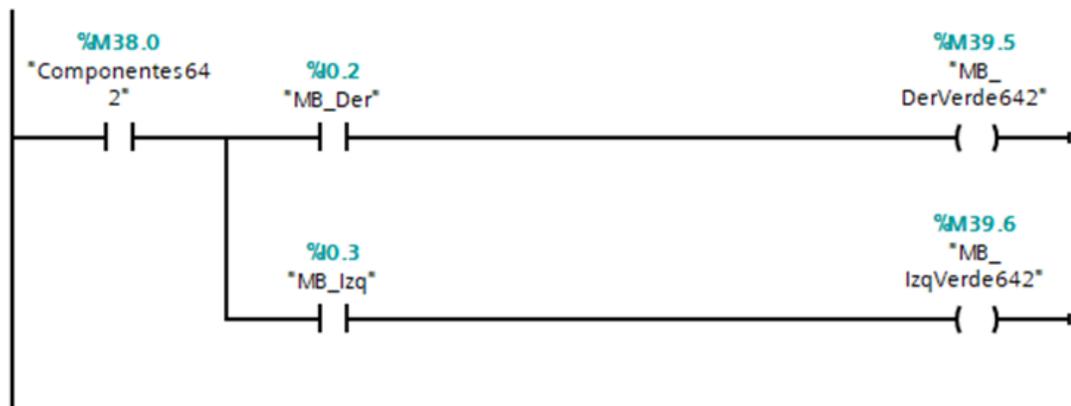


Imagen 3.6.1.3.7 Vista general del cuarto segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor



Imagen 3.6.1.3.8 Vista general del quinto segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

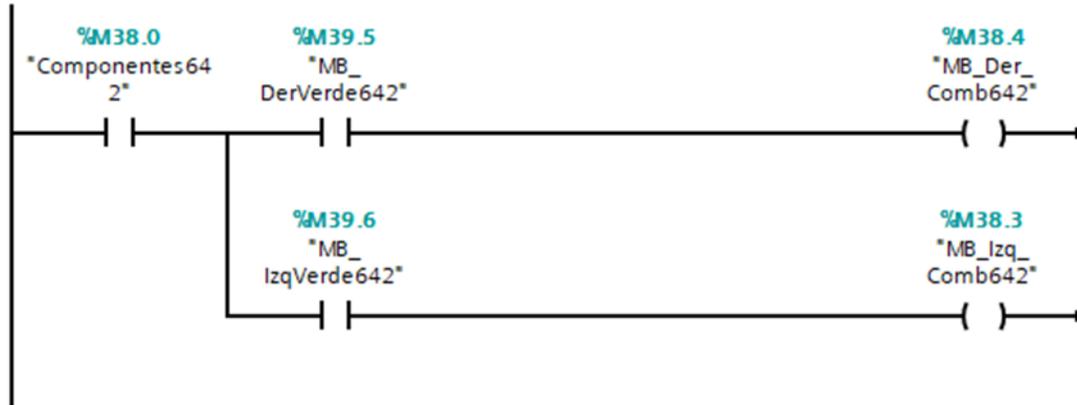


Imagen 3.6.1.3.9 Vista general del sexto segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

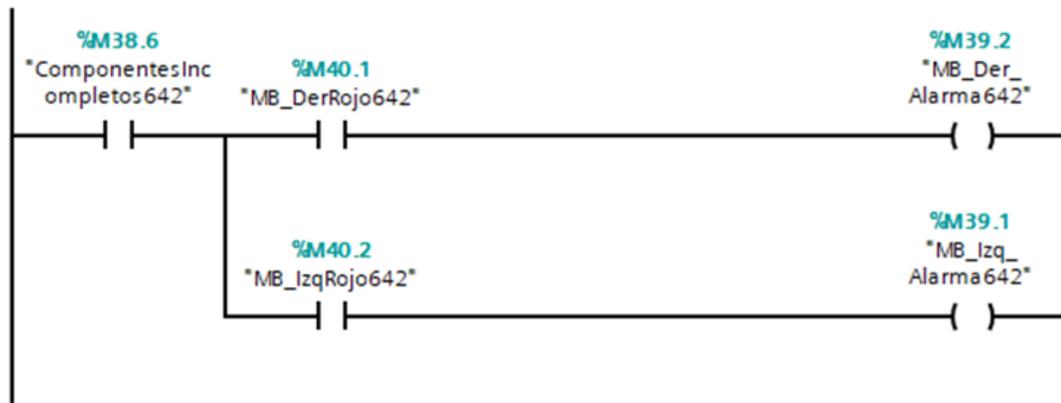


Imagen 3.6.1.3.10 Vista general del séptimo segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

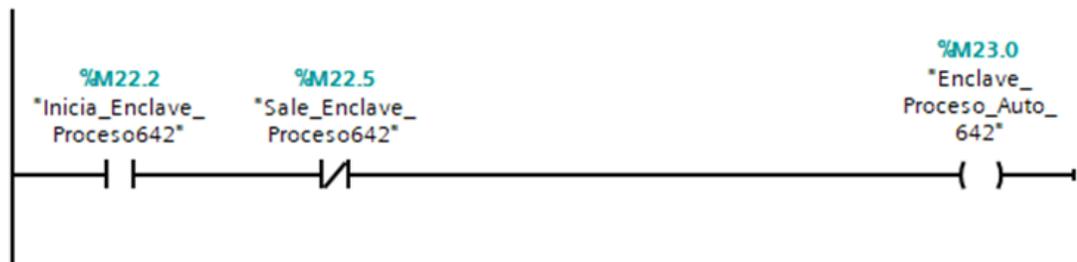


Imagen 3.6.1.3.11 Vista general del octavo segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

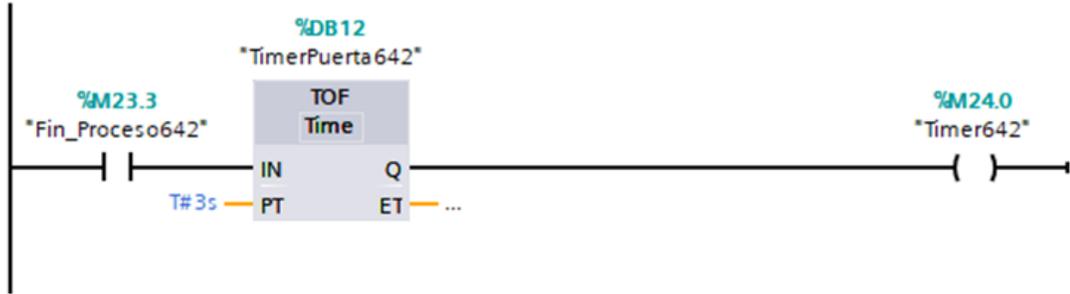


Imagen 3.6.1.3.12 Vista general del noveno segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

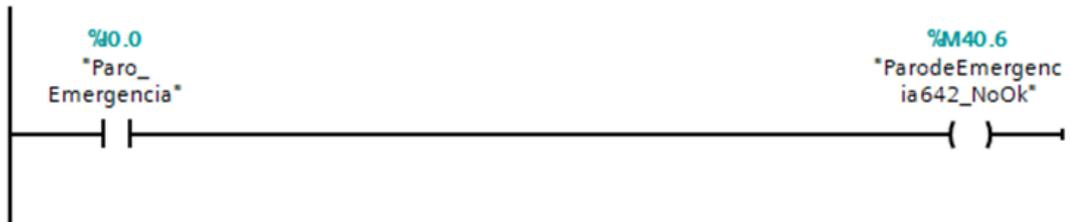


Imagen 3.6.1.3.13 Vista general del décimo segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

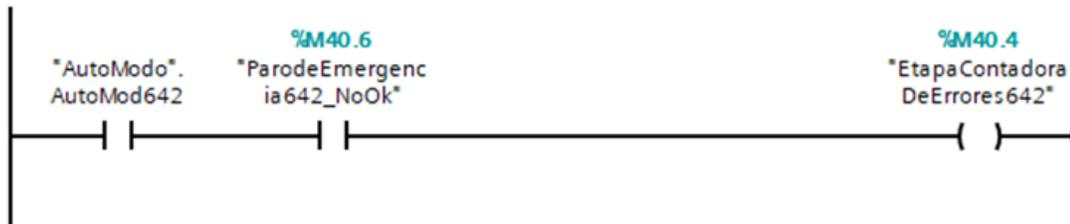


Imagen 3.6.1.3.14 Vista general del onceavo segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

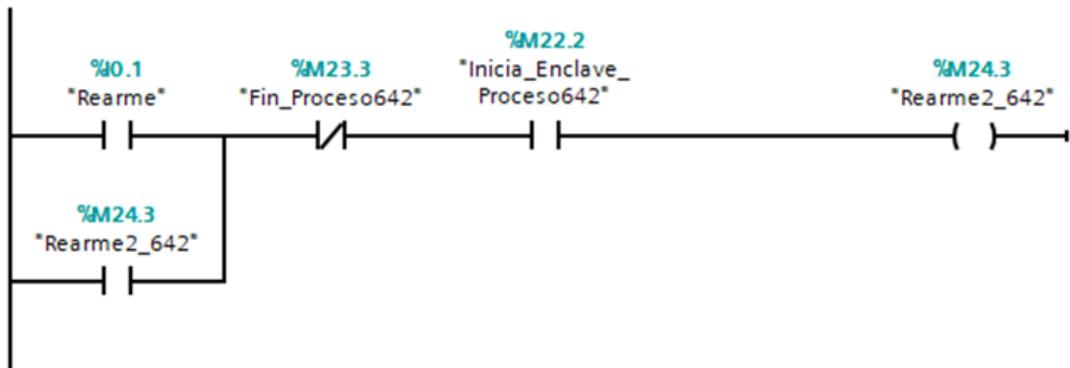


Imagen 3.6.1.3.15 Vista general del doceavo segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

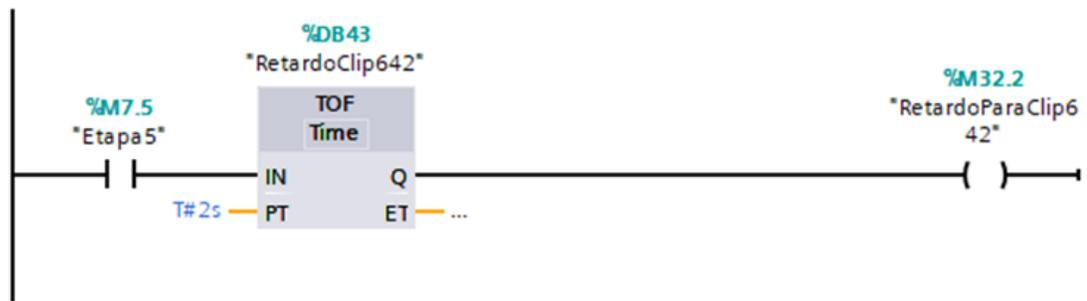


Imagen 3.6.1.3.16 Vista general del treceavo segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

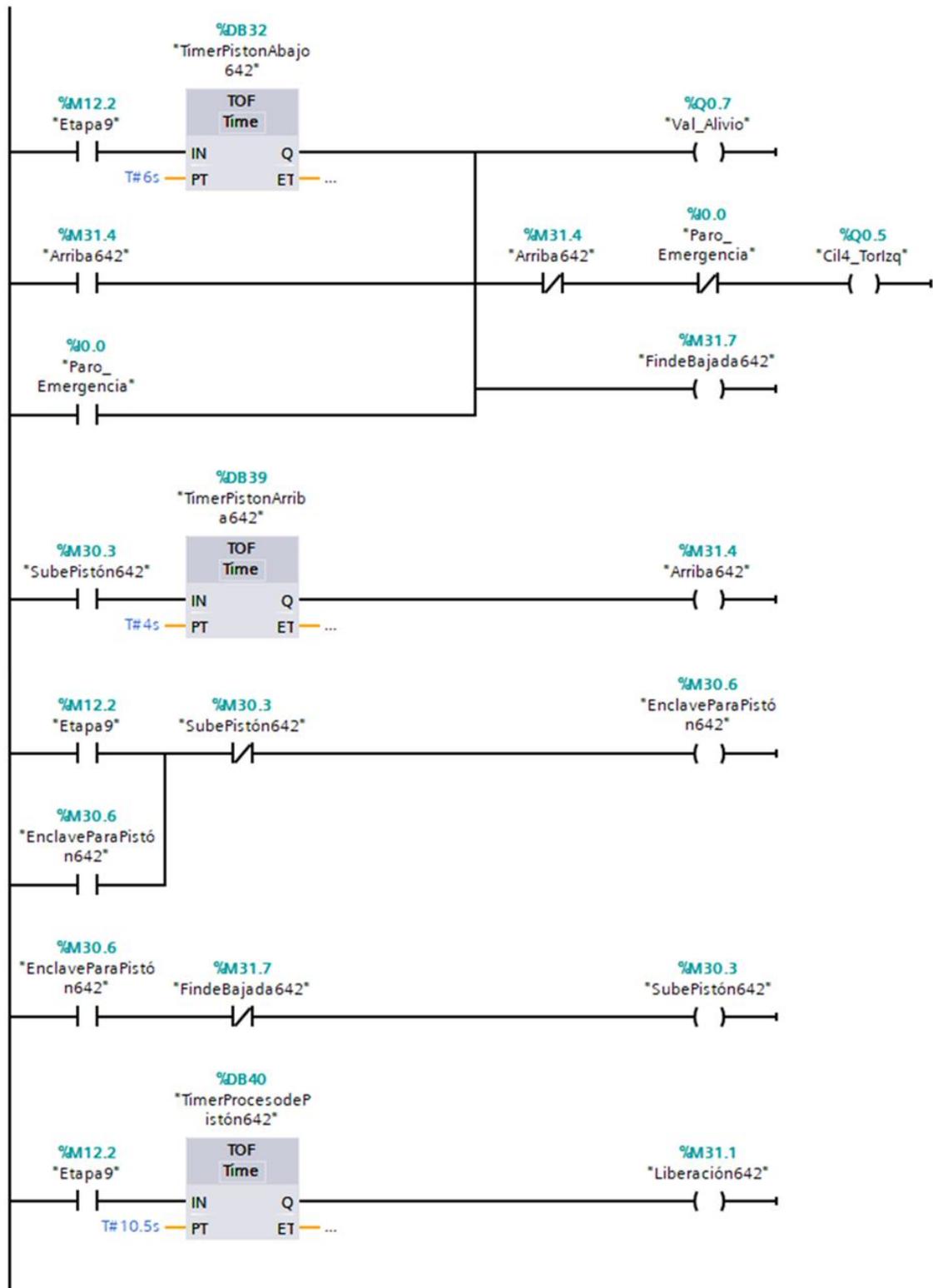


Imagen 3.6.1.3.17 Vista general del catorceavo segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

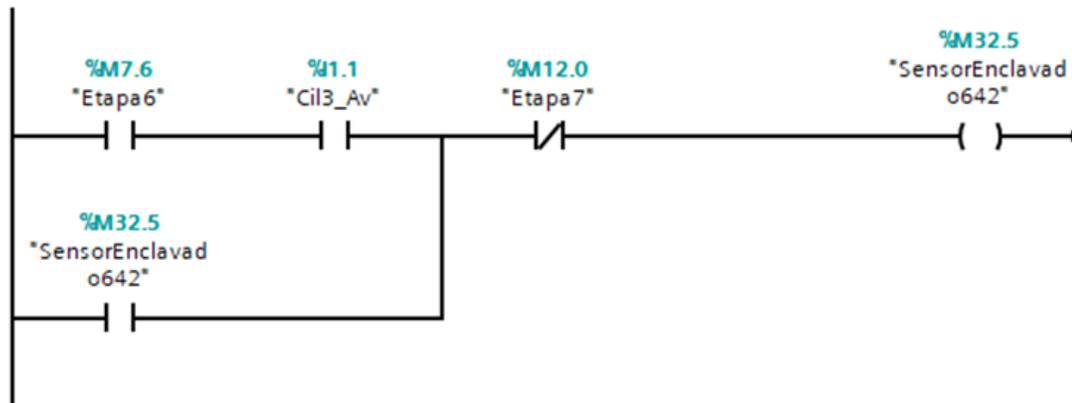


Imagen 3.6.1.3.18 Vista general del quinceavo segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

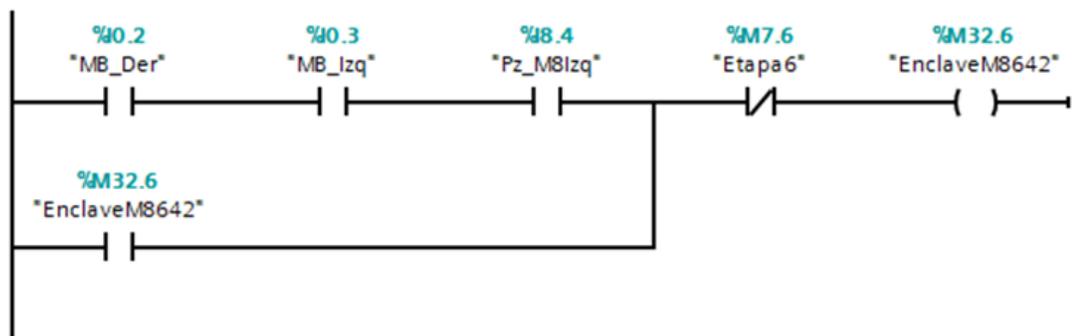


Imagen 3.6.1.3.19 Vista general del dieciseisavo segmento del modelo 642
Fuente: Por el autor

AlarmasAuto640				
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...
1	Static			
2	PernoM8	Bool	0.0	false
3	Error de piezas	Bool	0.1	false
4	Error de pistón 1	Bool	0.2	false
5	Error de pistón 2	Bool	0.3	false
6	Error de pistón 3	Bool	0.4	false
7	Error de pistón 4	Bool	0.5	false
8	Error de pistón 6	Bool	0.6	false
9	Error de tow	Bool	0.7	false

Imagen 3.6.1.4.1 Listado de nombres de alarmas en el bloque DB para alarmas en el modelo 640
Fuente: Por el autor

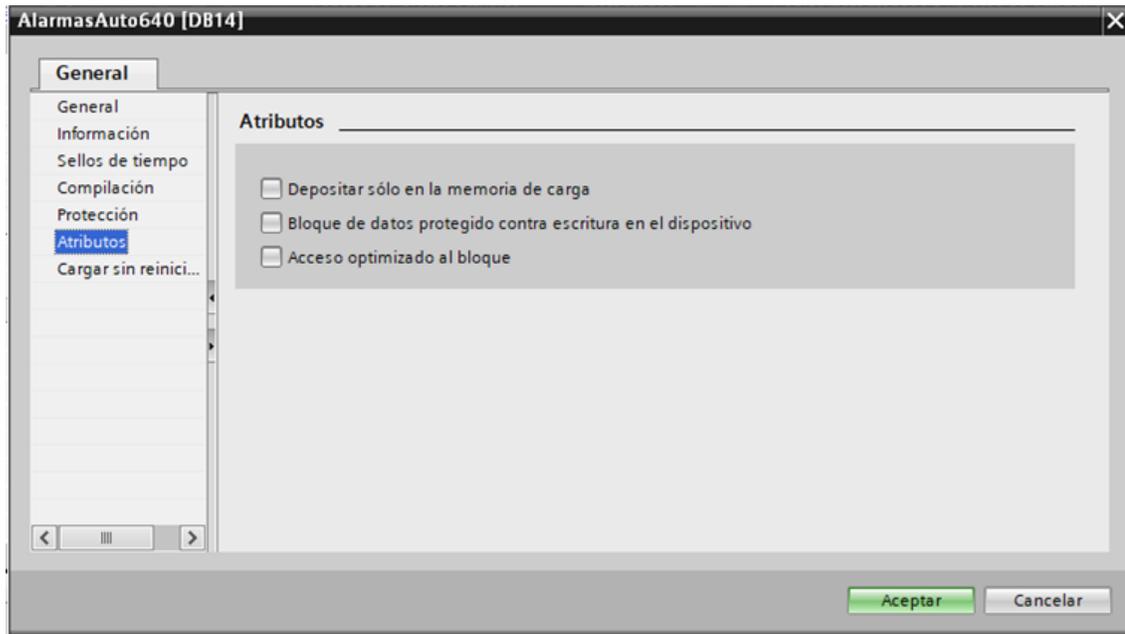


Imagen 3.6.1.4.2 Cambio de acceso al bloque de datos de forma simbólica a forma absoluta
Fuente: Por el autor

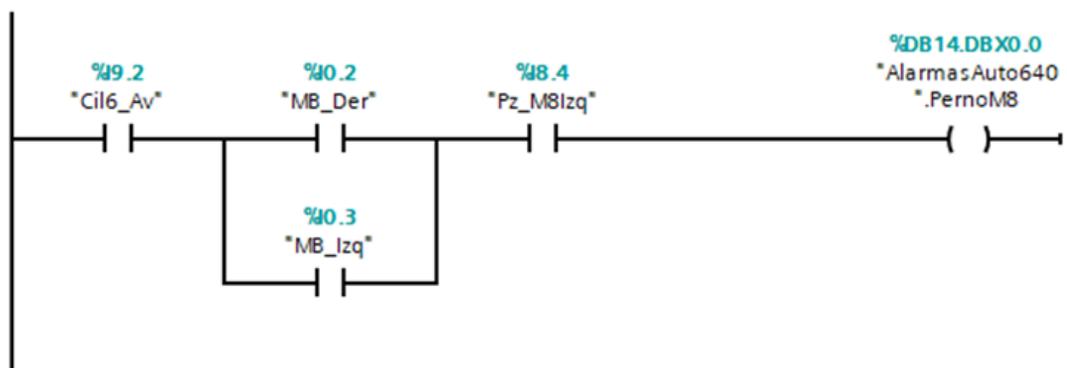


Imagen 3.6.1.4.3 Segmento de función "A010_AlarmasyAvisos_Auto640" [FC4] para activar el bit 0 de las alarmas ingresadas en el bloque de datos "AlarmasAuto640" [DB14] el cual corresponde a la alarma que se activará al detectar un perno M8 en los componentes, el cual no es una pieza que forme parte del modelo 640
Fuente: Por el autor

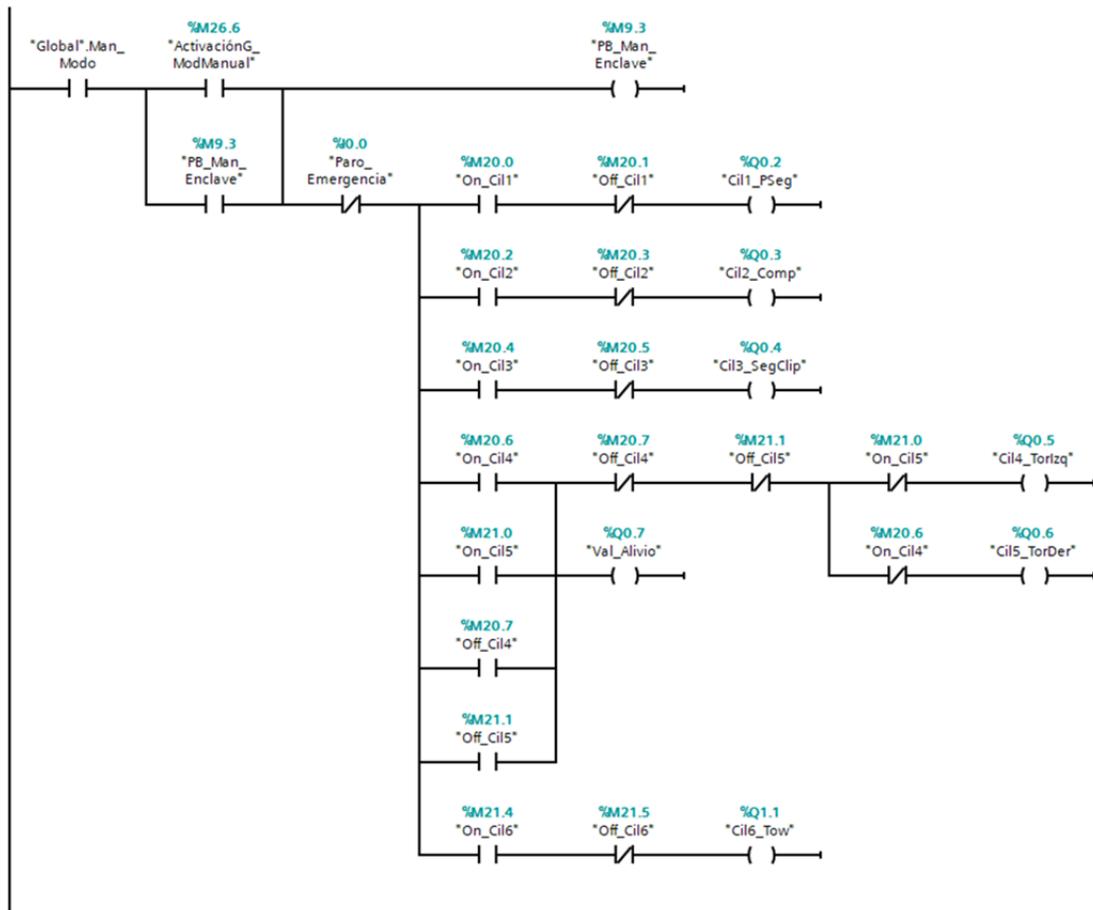


Imagen 3.6.2.1 Vista general del primer segmento de la función del modo manual "B001_Manual" [FC3].
Fuente: Por el autor

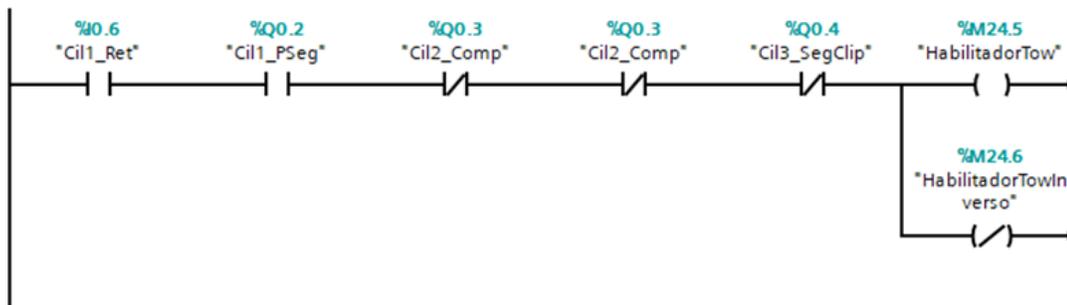


Imagen 3.6.2.2 Vista general del segundo segmento del modo manual
Fuente: Por el autor

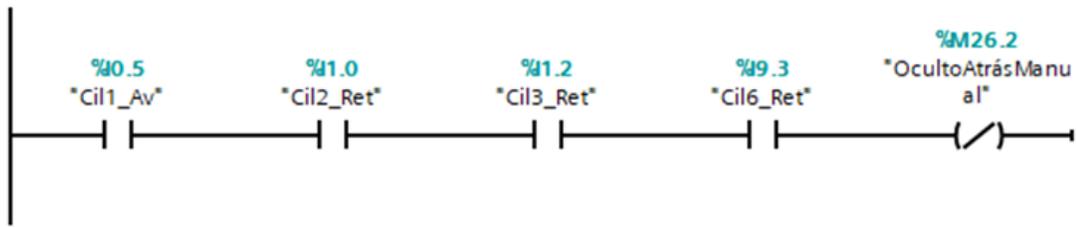


Imagen 3.6.2.3 Vista general del tercer segmento del modo manual
Fuente: Por el autor

AlarmaModoManual					
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	R
1	Static				
2	Emergencia	Bool	0.0	false	

Imagen 3.6.2.1.1 Listado del nombre de alarma en el bloque DB para alarmas en el modo manual.
Fuente: Por el autor

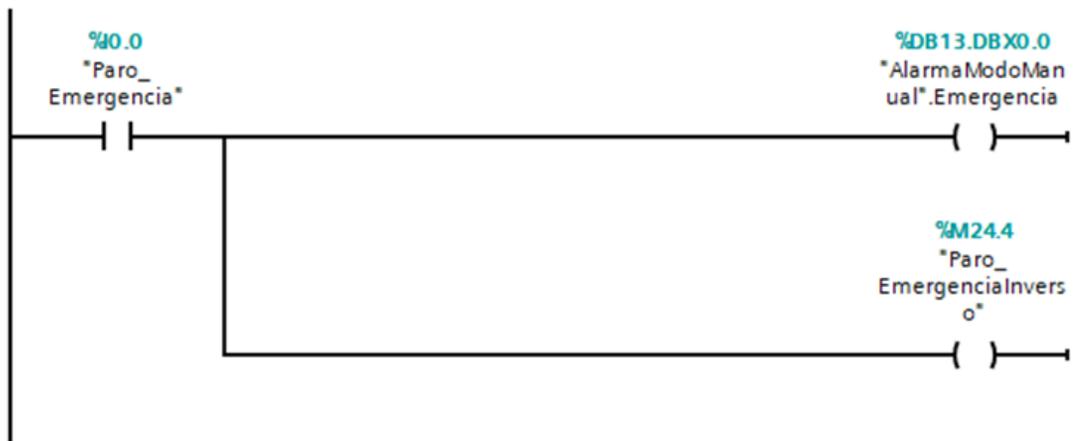


Imagen 3.6.2.1.2 Segmento de la función "A009_Avisos_Manual" [FC8] para activar el bit 0 de la alarma ingresada en el bloque de datos "AlarmaModoManual" [DB13] que corresponde a la alarma que se activará al presionarse el botón de paro de emergencia.
Fuente: Por el autor

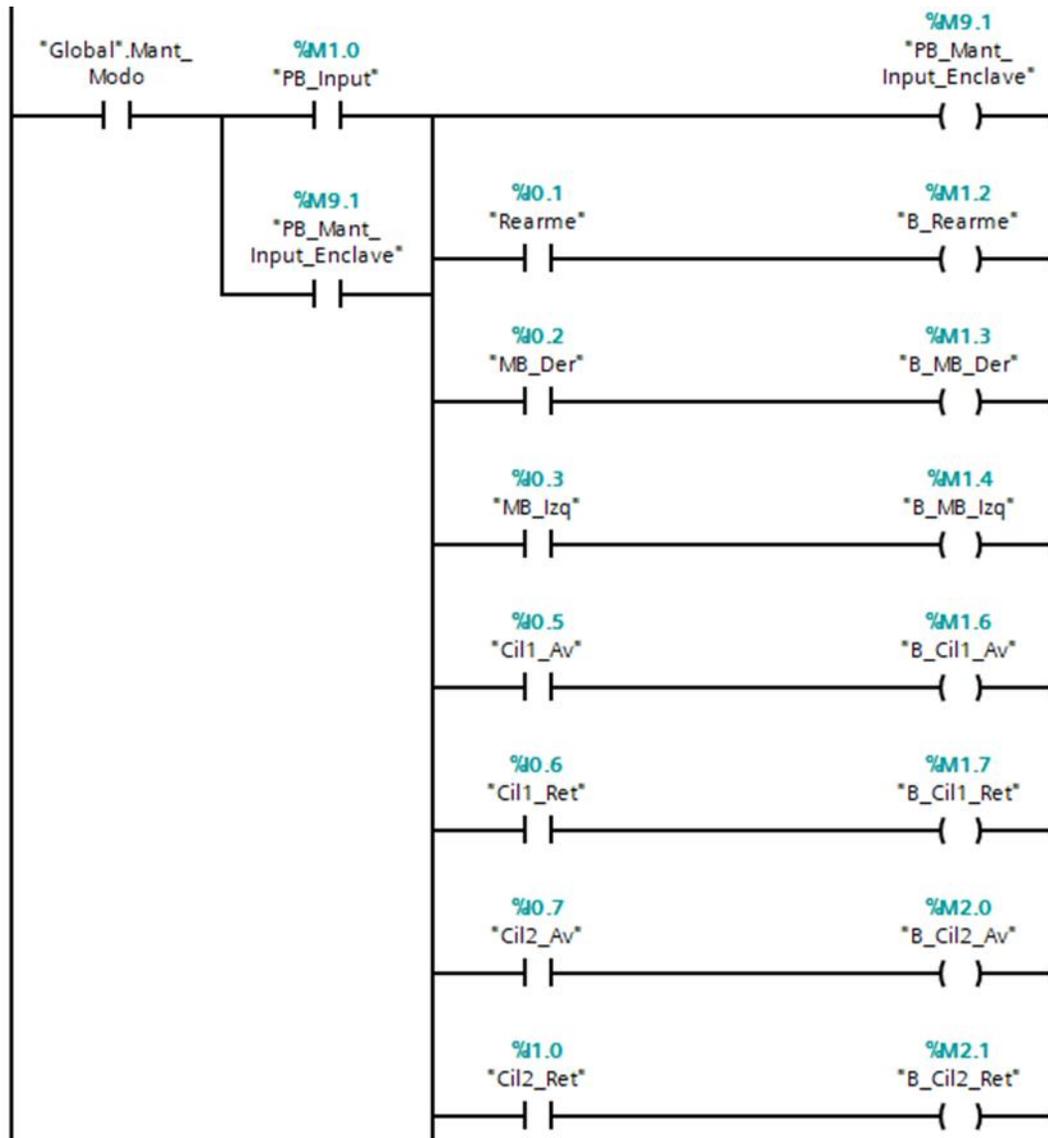


Imagen 3.6.3.1 Detalle del primer segmento de la función "A004_Mant" [FC7].
Fuente: Por el autor

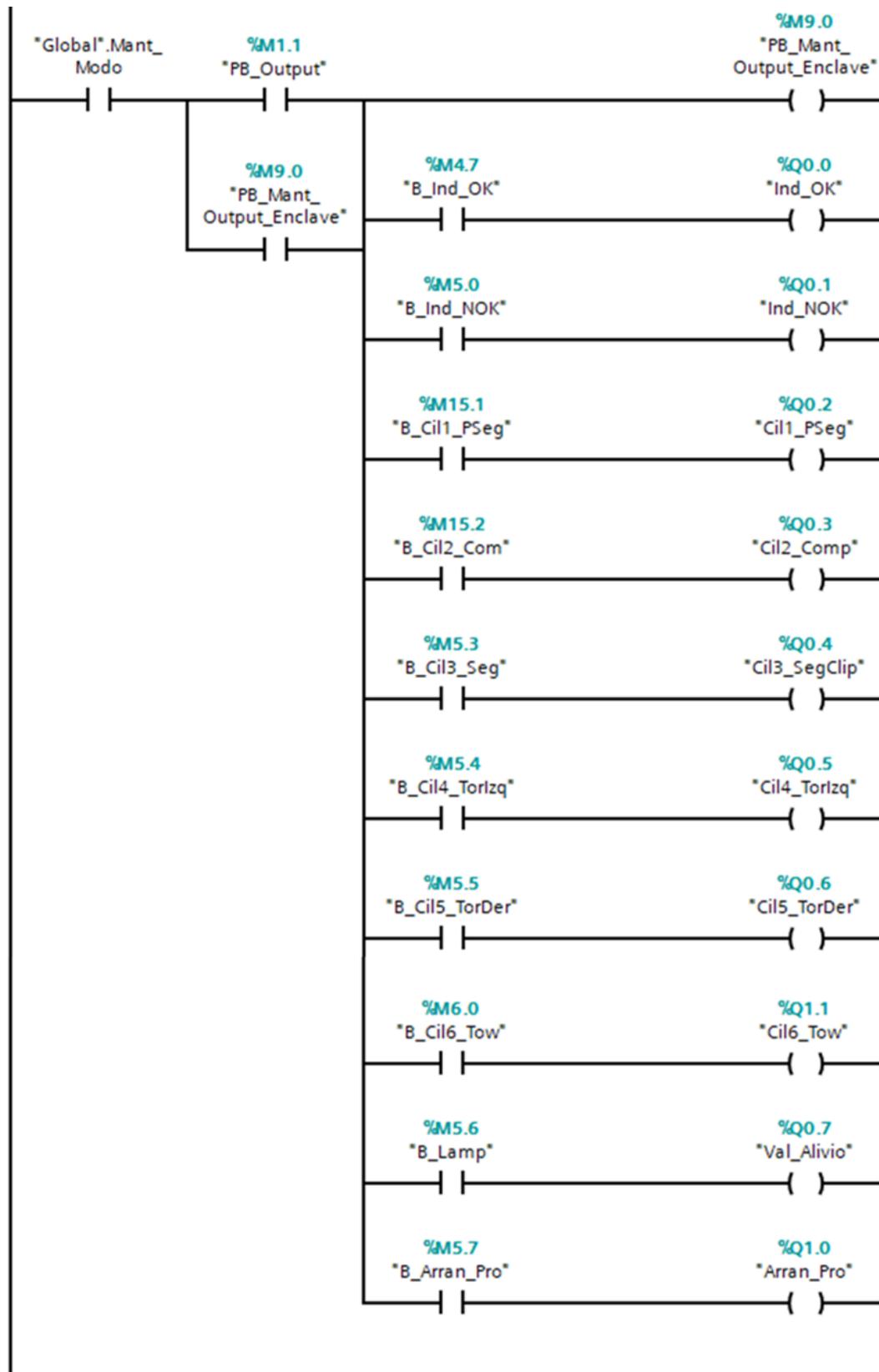


Imagen 3.6.3.2 Vista general del segundo segmento de la función "A004_Mant" [FC7].
Fuente: Por el autor



Imagen 3.7.1 Imagen inicial nombrada "A001_Imagen raíz"
Fuente: Por el autor

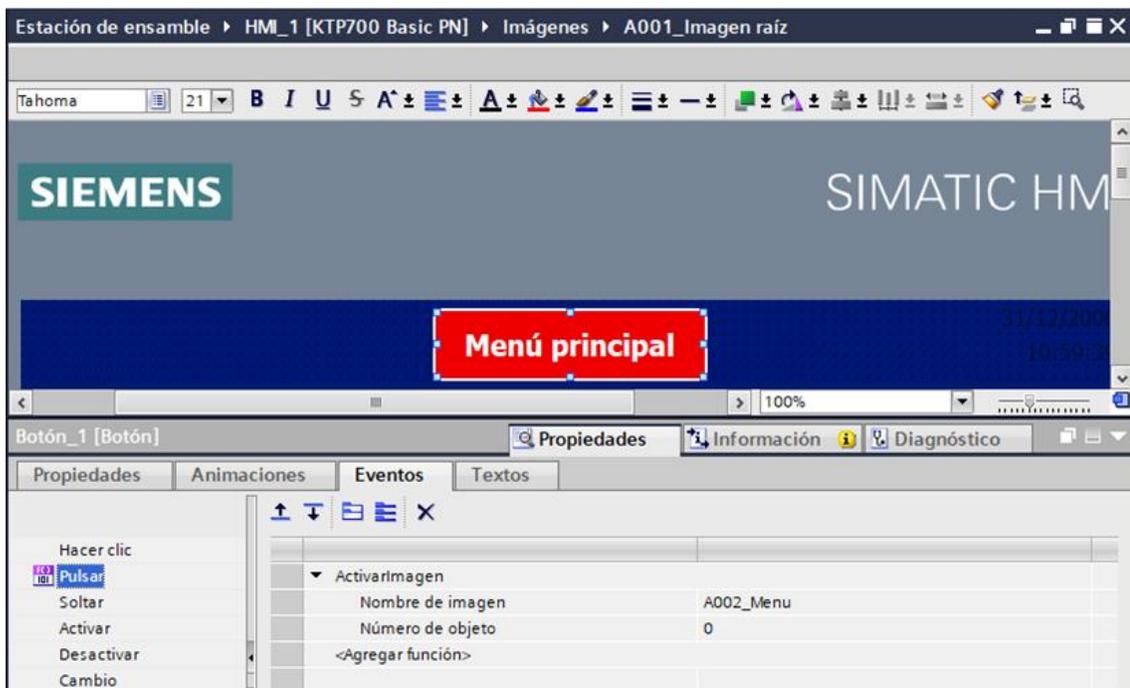


Imagen 3.7.2 Configuración del "Botón_1 [Botón]" para realizar la función de enviar a la imagen "A002_Menu"
Fuente: Por el autor

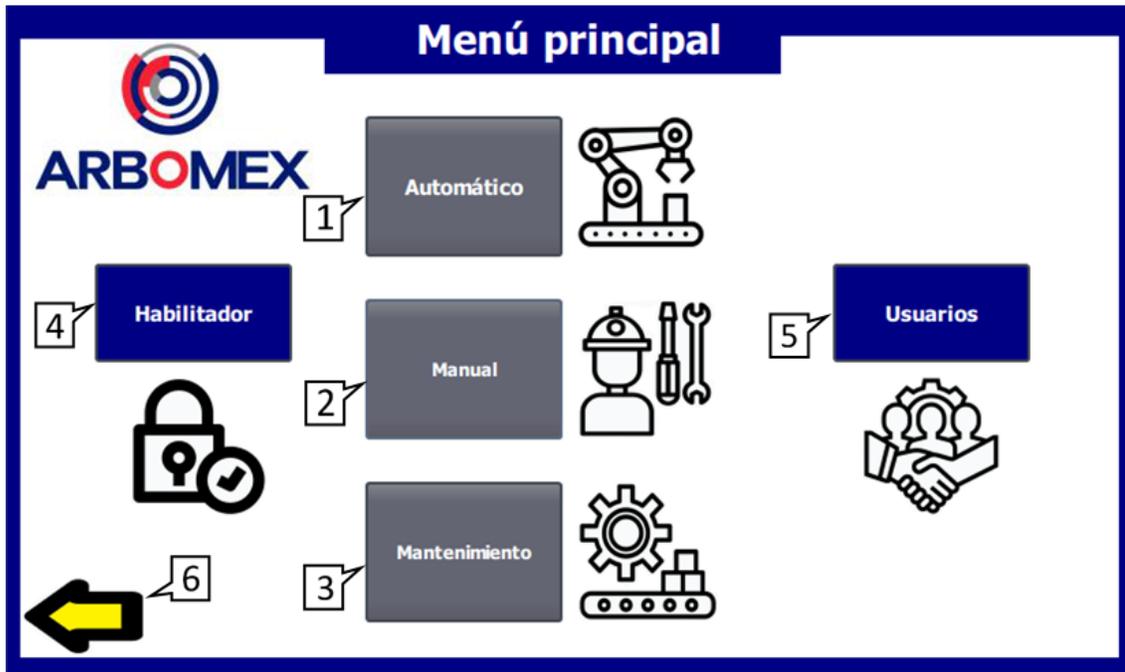


Imagen 3.7.3 Imagen "A002_Menu". Los elementos se agrupan a detalle en la Tabla 3.7.1
Fuente: Por el autor

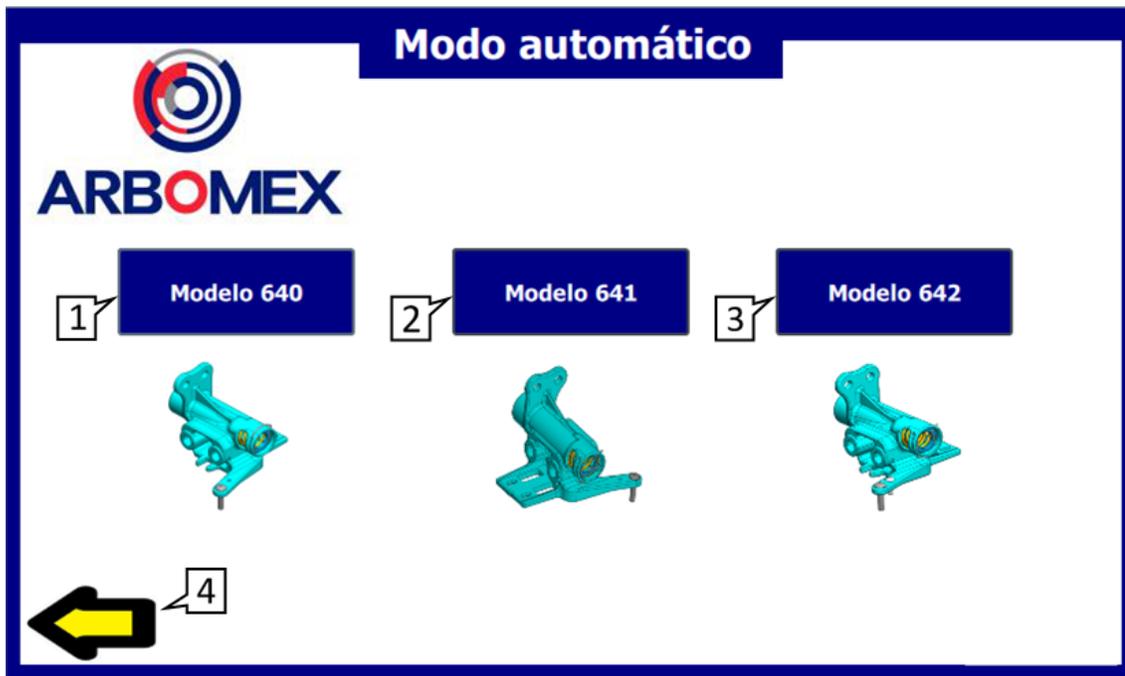


Imagen 3.7.1.1 Imagen "A003_Auto". Los elementos enumerados se describen en la Tabla 3.7.1.1
Fuente: Por el autor



Imagen 3.7.1.2. Imagen "A003_Auto" al estar activado el proceso de ensamblado automático del modelo 640 desaparecen los botones de acceso a los modelos 641 y 642. Además de que un círculo parpadea en color gris RGB [222; 219; 222] a verde RGB [0; 130; 0] para indicar que el sistema está trabajando en el modelo correspondiente.
Fuente: Por el autor



Imagen 3.7.1.3 Imagen "B001_Mod640" mostrada al acceder a ella por medio del botón "Modelo 640" de la imagen "A003_Auto".
Fuente: Por el autor



Imagen 3.7.1.4 Dentro de la imagen “B001_Mod640” el color oscuro en la barra inferior indica que los componentes ya ingresados fueron colocados de manera incorrecta o que, en su defecto, no se han colocado ningún componente en sus posiciones correspondientes.

Fuente: Por el autor



Imagen 3.7.1.5 De igual manera en imagen “B001_Mod640” el color verde en la barra inferior indica que los componentes han sido colocados de manera correcta.

Fuente: Por el autor

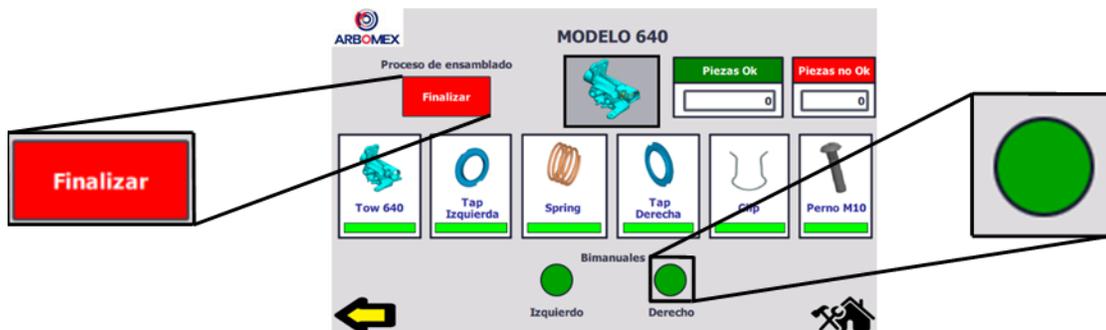


Imagen 3.7.1.6 Detalle del botón rojo RGB [255; 0; 0] con la leyenda “Finalizar” representado que el proceso de ingreso para componentes comenzó. Además del acercamiento de la figura “Círculo_2 [Círculo]” al cambiar a color verde RGB [0; 162; 0] el cual refleja que los botones bimanuales físicos están habilitados para comenzar el proceso automático de ensamblado.

Fuente: Por el autor

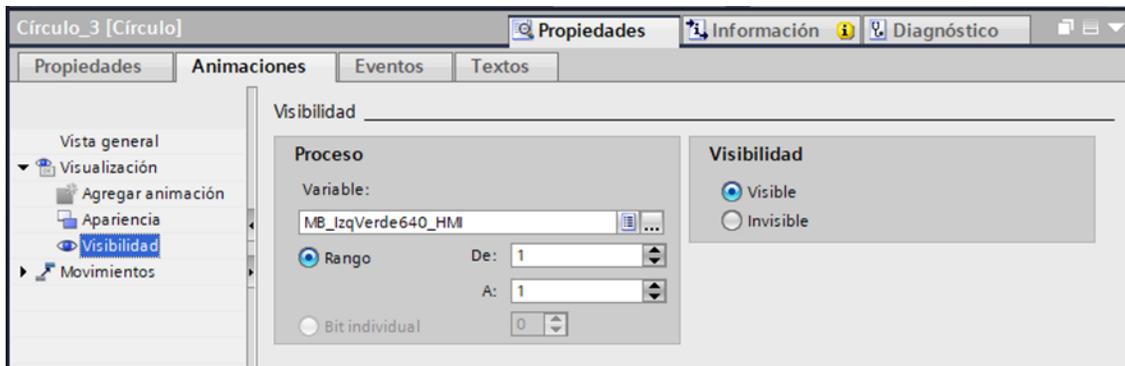


Imagen 3.7.1.7 Configuración de visibilidad de la figura "Círculo_3 [Círculo]" para "aparecer" al habilitarse la variable "MB_IzqVerde640_HMI"

Fuente: Por el autor

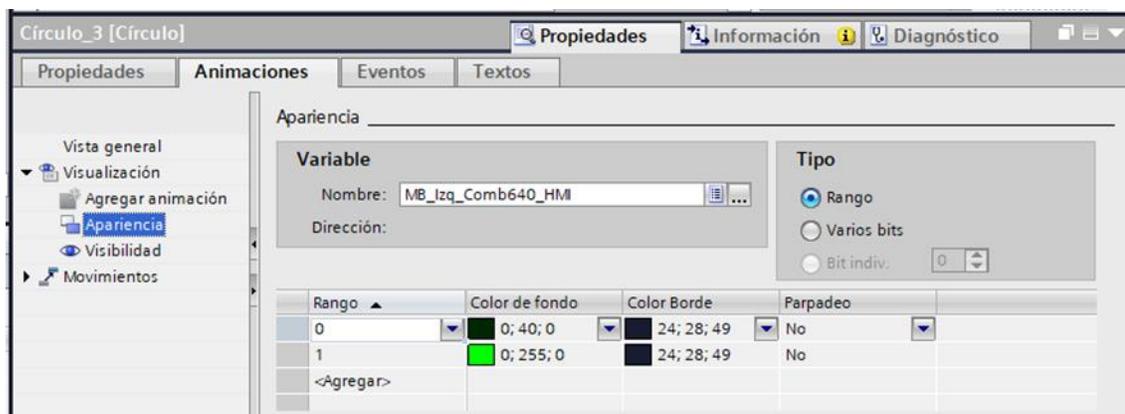


Imagen 3.7.1.8 Configuración de la apariencia de la figura "Círculo_3 [Círculo]" para cambiar de color oscuro RGB [0; 40; 0] a color verde RGB [0; 255; 0] al habilitarse la variable "MB_Izq_Comb640_HMI"

Fuente: Por el autor

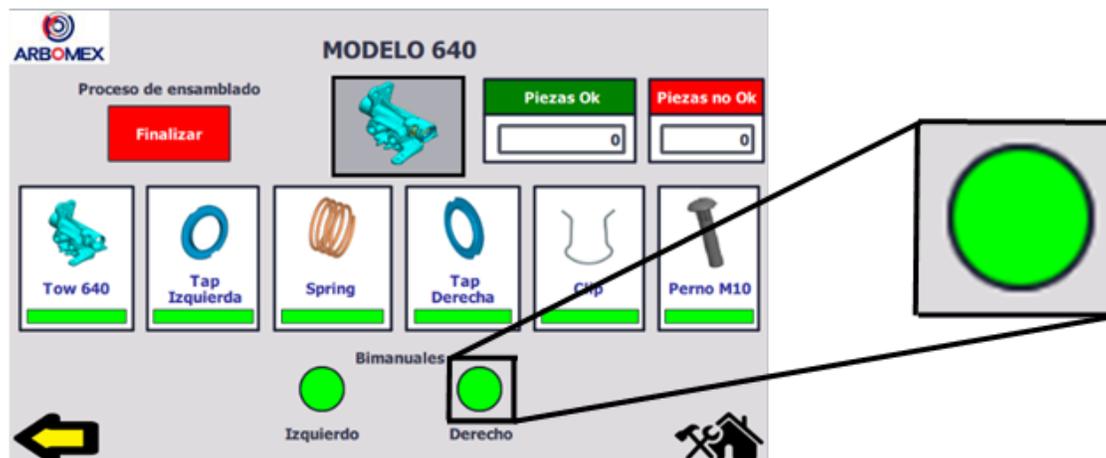


Imagen 3.7.1.9 La visualización y el color verde RGB [0; 255; 0] mostrado en las figuras "Círculo_3 [Círculo]" y "Círculo_4 [Círculo]", correspondientes a la presentación digital de los bimanuales físicos, se mantendrán habilitados mientras los botones se encuentren presionados y hasta que el sensor inductivo correspondiente a la entrada digital 10.5 ("Cil1_Av") detecte finalizada la acción de cerrar la puerta de seguridad para poder soltar los botones bimanuales físicos.

Fuente: Por el autor

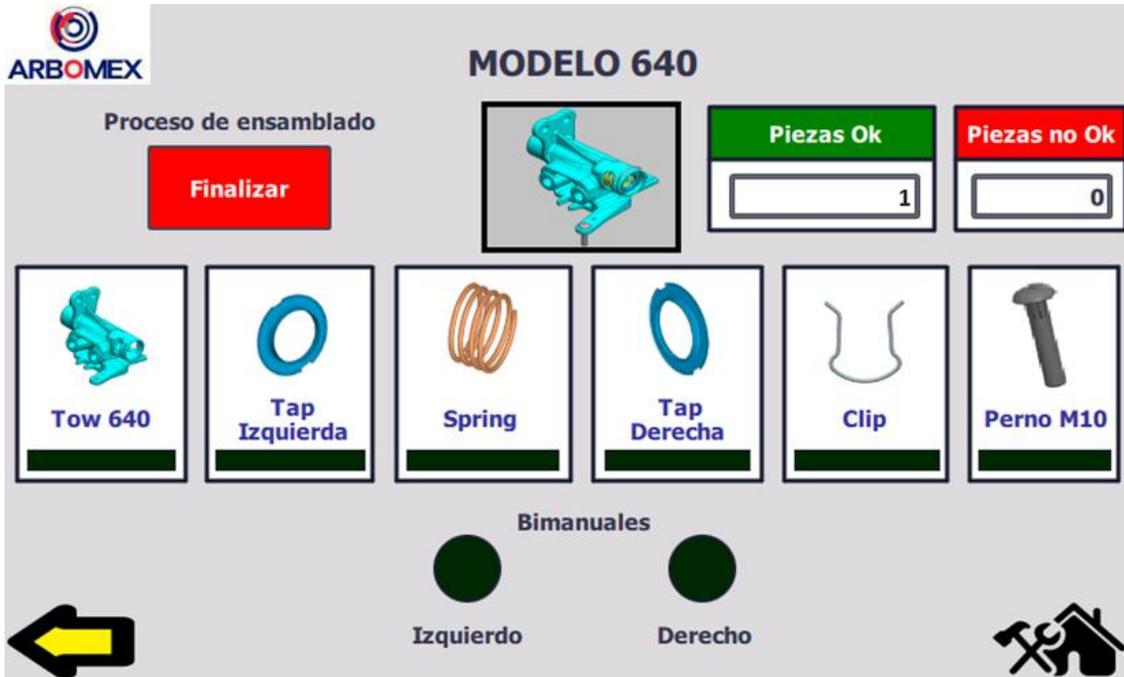


Imagen 3.7.1.10 Imagen "B001_Mod640" al finalizar su primer ensamble exitoso y habilitado para continuar en producción automática.
Fuente: Por el autor

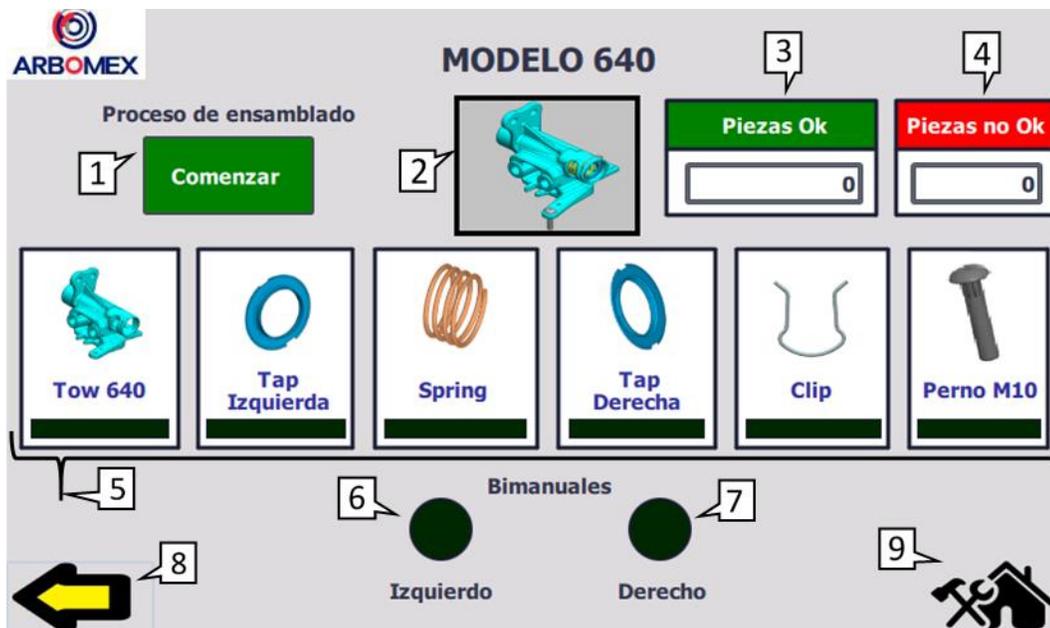


Imagen 3.7.1.1.1 Imagen "B001_Mod640". Los elementos enumerados se describen en la Tabla 3.7.1.1.1
Fuente: Por el autor

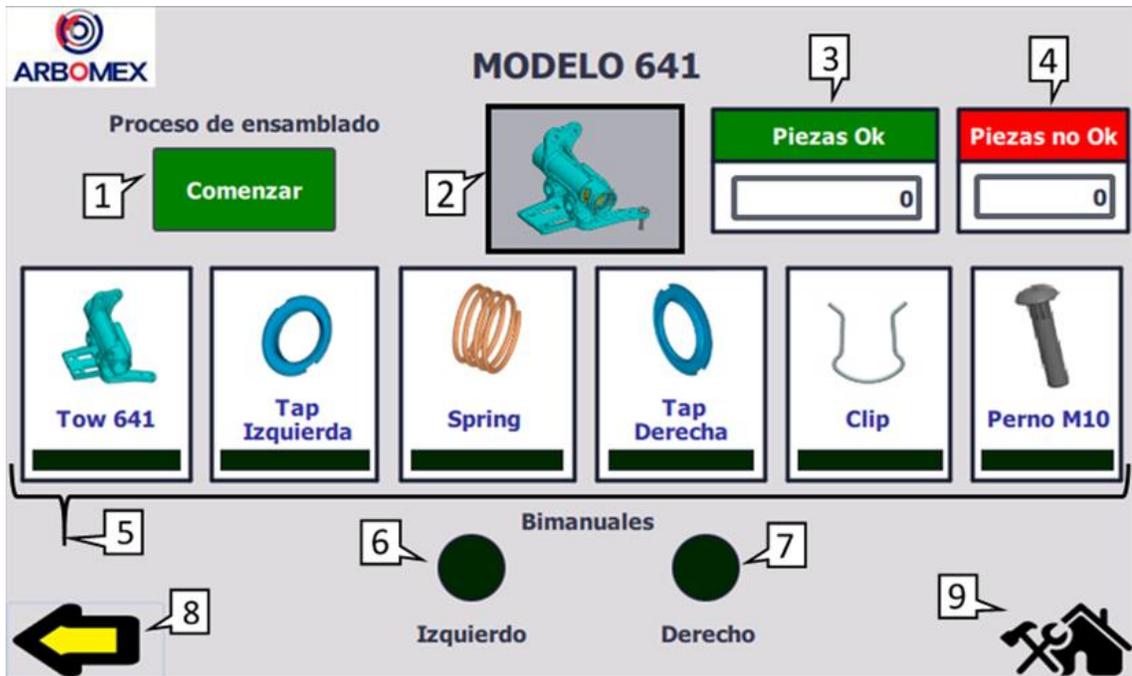


Imagen 3.7.1.2.1 Imagen "B002_Mod641". Los elementos enumerados se describen en la Tabla 3.7.1.2.1
Fuente: Por el autor

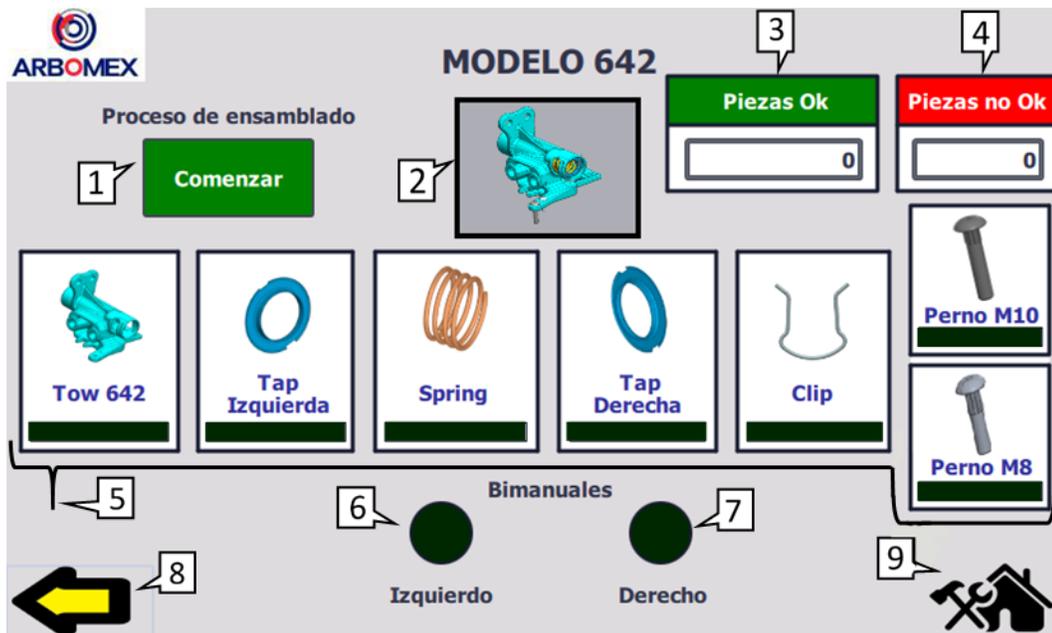


Imagen 3.7.1.3.1 Imagen "B002_Mod642". Los elementos enumerados se describen en la Tabla 3.7.1.3.1
Fuente: Por el autor

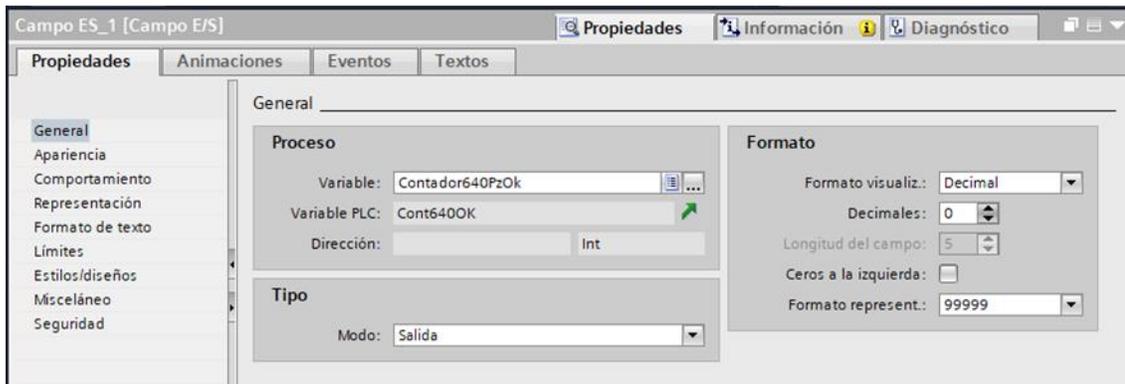


Imagen 3.7.1.4.1 Configuración del elemento "Campo ES_1 [Campo E/S]" para contabilizar ascendentemente las piezas que han sido ensambladas correctamente.
Fuente: Por el autor



Imagen 3.7.1.4.2 Conteo realizado a piezas ensambladas correctamente. En este ejemplo el proceso ha ensamblado una pieza.
Fuente: Por el autor



Imagen 3.7.1.5.1 Panel de componentes que informa de un perno M10 ausente o mal colocado. Esto debido a que el sensor inductivo correspondiente a la entrada digital I8.3 ("Pz_M10Izq") no detecta ningún objeto metálico y la apariencia del recuadro correspondiente no se modifica de color oscuro RGB [0; 40; 0] a verde RGB [0; 255; 0].
Fuente: Por el autor

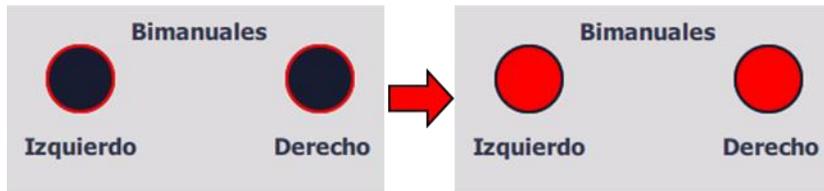


Imagen 3.7.1.5.2 La representación de bimanuales parpadea con un tono rojo para indicar el error de presionar ambos bimanuales físicos y encontrarse los componentes del ensamble incompletos o mal colocados.
Fuente: Por el autor

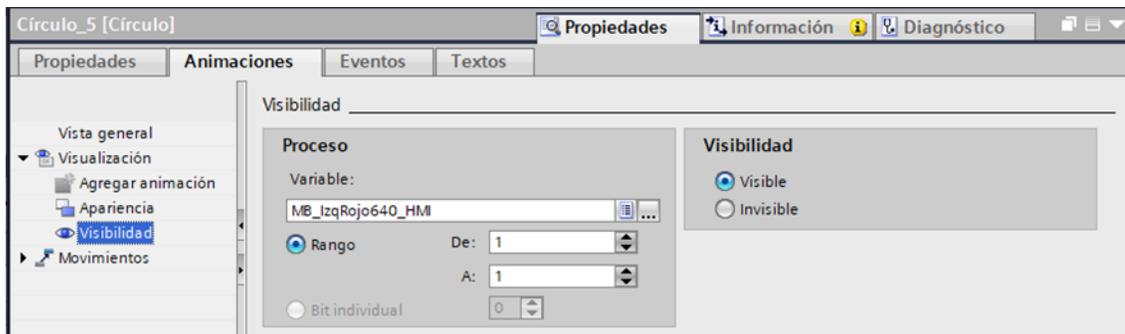


Imagen 3.7.1.5.3 Configuración de visibilidad de la figura "Círculo_5 [Círculo]" para "aparecer" al habilitarse la variable "MB_IzqRojo640_HMI"
Fuente: Por el autor

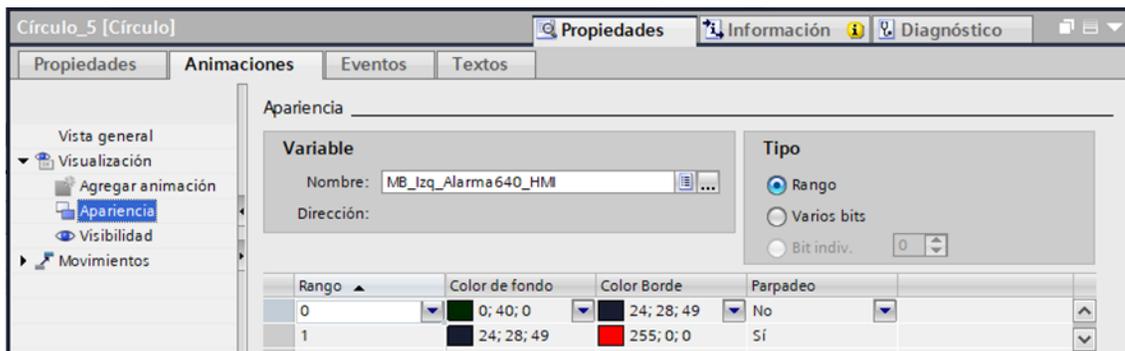


Imagen 3.7.1.5.4 Configuración de la apariencia de la figura "Círculo_5 [Círculo]" para cambiar de color oscuro RGB [24; 28; 49] a color rojo intermitente RGB [255; 0; 0] al habilitarse la variable "MB_Izq_Alarma640_HMI".
Fuente: Por el autor

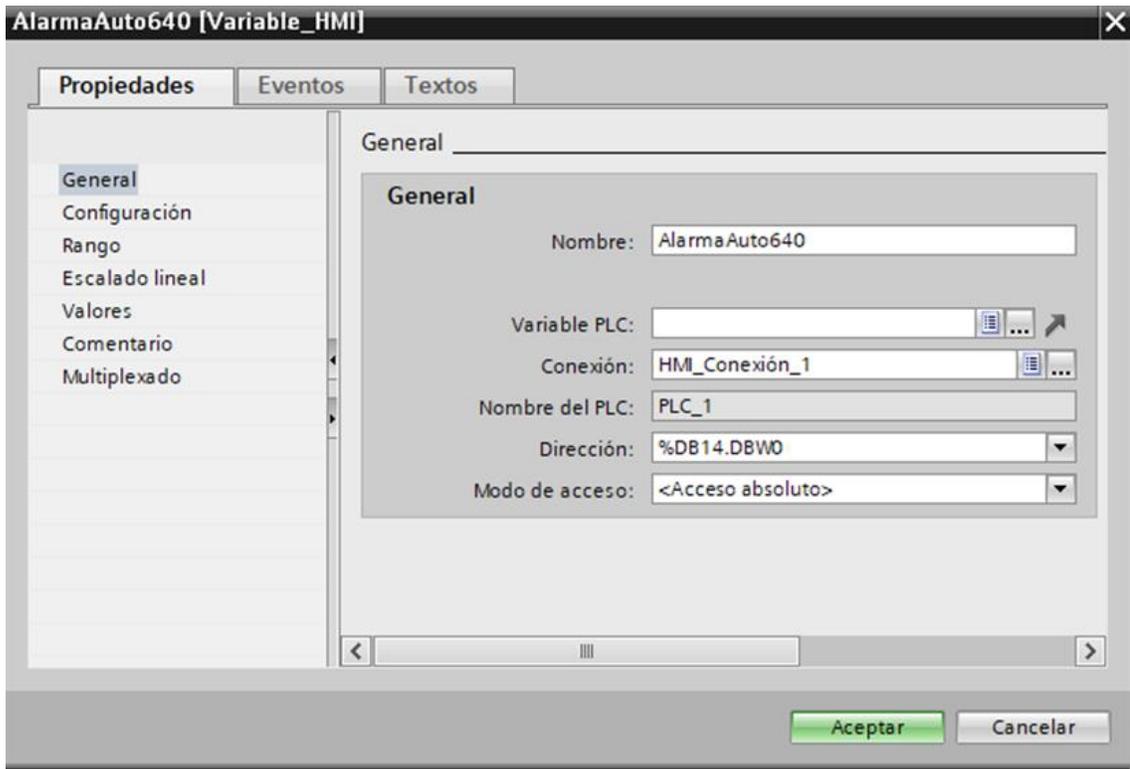


Imagen 3.7.1.5.5 Configuración del apartado "Variable de disparo" en la opción "Alarmas HMI".
Fuente: Por el autor

The image shows a window titled "Estación de ensamble > HMI_1 [KTP700 Basic PN] > Avisos HMI". It has tabs for "Avisos de bit", "Avisos analógicos", "Categorías", and "Grupos de avisos". The "Avisos de bit" tab is active, showing a table of bit warnings.

...	Nombre	Texto de aviso	Catego...	Variable de disparo	Bit de ..	Dirección de ...
2	Perno Incorrecto	El perno M8 que ha colocado no corresponde al modelo del proceso de ensamble.	Errors	AlarmasAuto640	8	%DB14.DBX0.0
3	Error en posición de ...	Los componentes son incompletos; o erróneos	Errors	AlarmasAuto640	9	%DB14.DBX0.1
4	Error de pistón 1 640	Ocurrió un error en la puerta de seguridad, proceda con rutina de paro de emergencia y rearme.	Errors	AlarmasAuto640	10	%DB14.DBX0.2
5	Error de pistón 2 640	Ocurrió un error en pistón de componentes, proceda con rutina de paro de emergencia y rearme.	Errors	AlarmasAuto640	11	%DB14.DBX0.3
6	Error de pistón 3 640	Ocurrió un error en el pistón del clip, proceda con rutina de paro de emergencia y rearme.	Errors	AlarmasAuto640	12	%DB14.DBX0.4
7	Error de pistón 4 640	Ocurrió un error en el pistón del perno, proceda con rutina de paro de emergencia y rearme.	Errors	AlarmasAuto640	13	%DB14.DBX0.5
8	Error de pistón 6 640	Ocurrió un error en el pistón del nido, proceda con rutina de paro de emergencia y rearme.	Errors	AlarmasAuto640	14	%DB14.DBX0.6
9	Error de tow en 640	La pieza tow no corresponde al modelo.	Errors	AlarmasAuto640	15	%DB14.DBX0.7

Imagen 3.7.1.5.6 Configuración de alarmas para el modelo 640 usando los ocho bits del bloque DB14.
Fuente: Por el autor

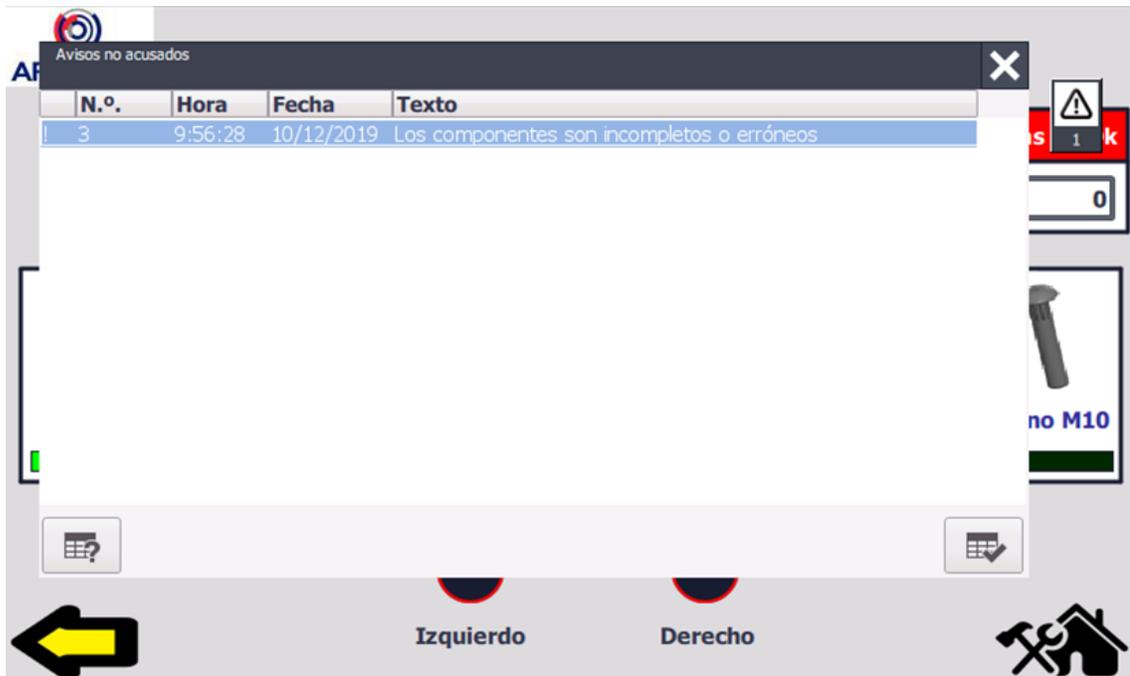


Imagen 3.7.1.5.7 Visualización de alarma por medio del recuadro “Avisos no acusados” en la imagen “B001_Mod640” correspondiente a pulsar los botones bimanuales físicos al encontrarse incompletos los componentes para comenzar el proceso automático de ensamble. En el texto explica la situación de manera breve. También podemos ver la activación de la alarma parpadeante en color rojo RGB [255; 0; 0] en las figuras “Círculo_5 [Círculo]” y “Círculo_6 [Círculo]”.
Fuente: Por el autor

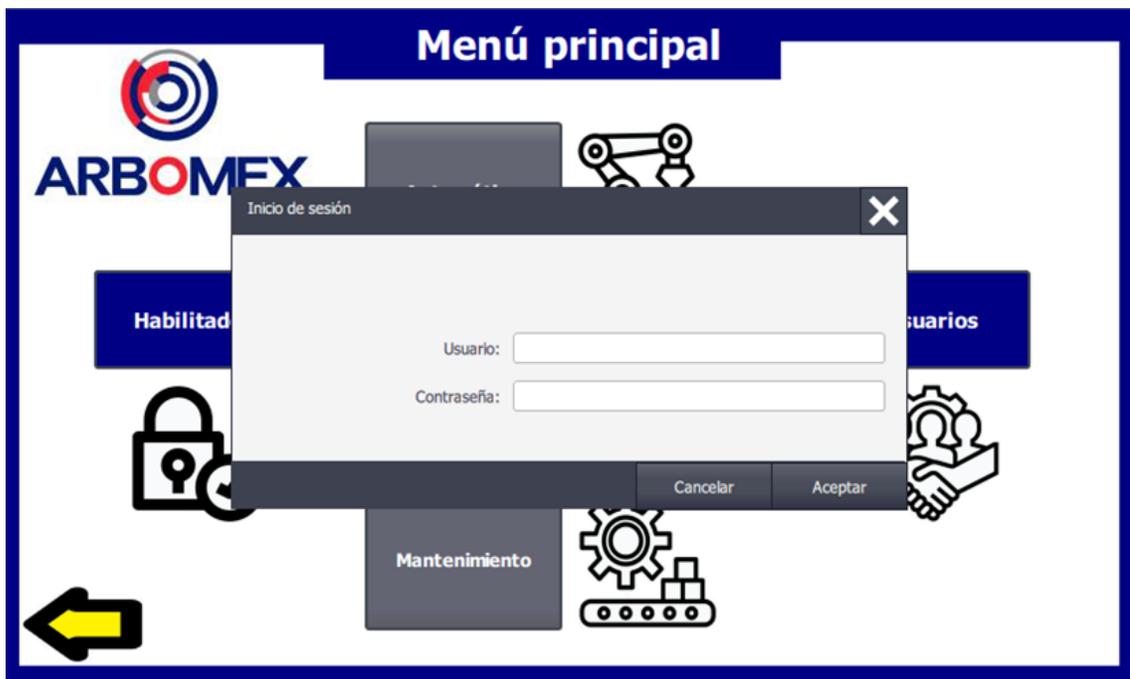


Imagen 3.7.2.1 Despliegue del recuadro “Inicio de sesión” al pulsar el elemento “FB_Empty_Rectangular_2” con la leyenda “Manual” como método de seguridad para ingresar a la imagen “A004_Man”.
Fuente: Por el autor

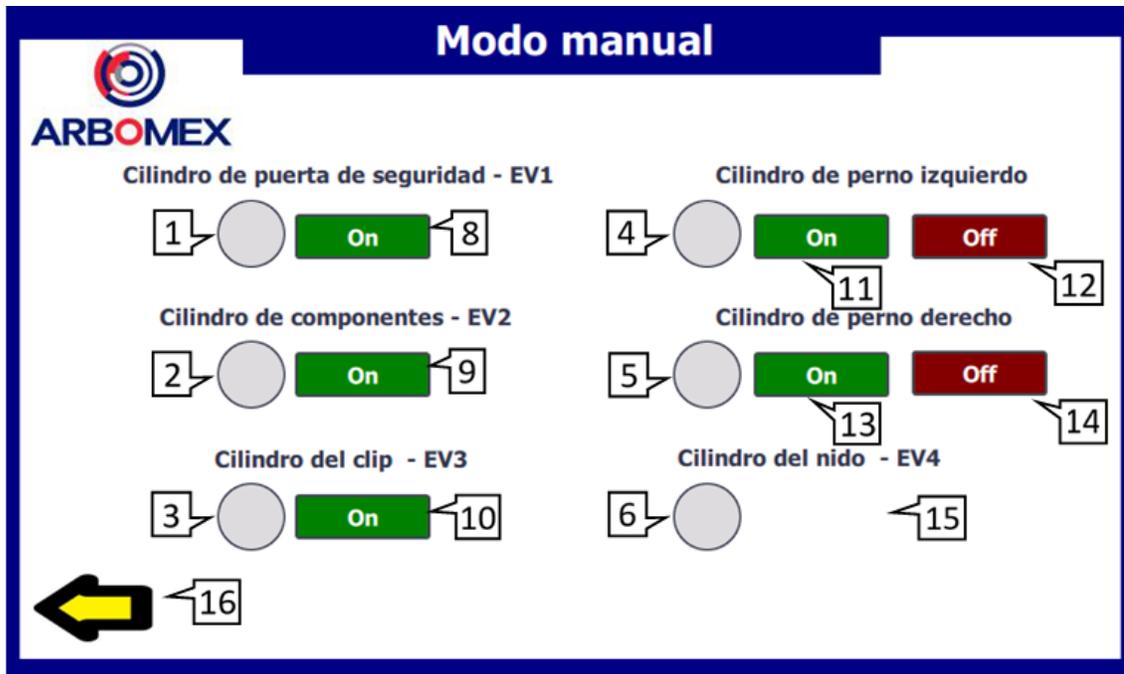


Imagen 3.7.2.2 Imagen "A004_Man" correspondiente al modo manual de la estación de ensamble. Los elementos enumerados se describen en la Tabla 3.7.2.1
 Fuente: Por el autor

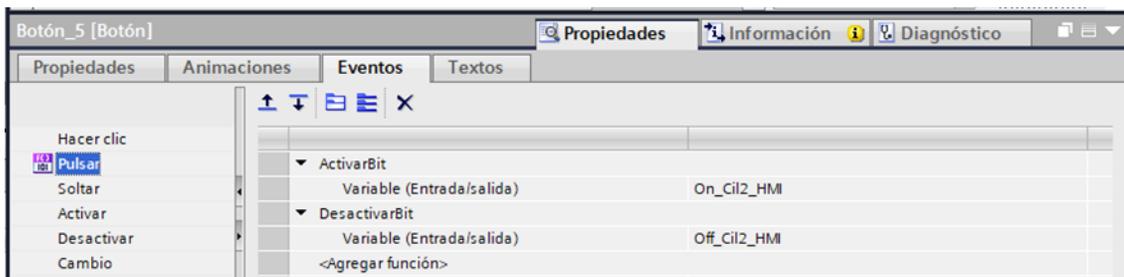


Imagen 3.7.2.3 Configuración del evento al pulsar el elemento "Botón_5 [Botón]" de color verde RGB [0; 130; 0] con el texto "On" correspondiente al "Cilindro de componentes – EV2"
 Fuente: Por el autor

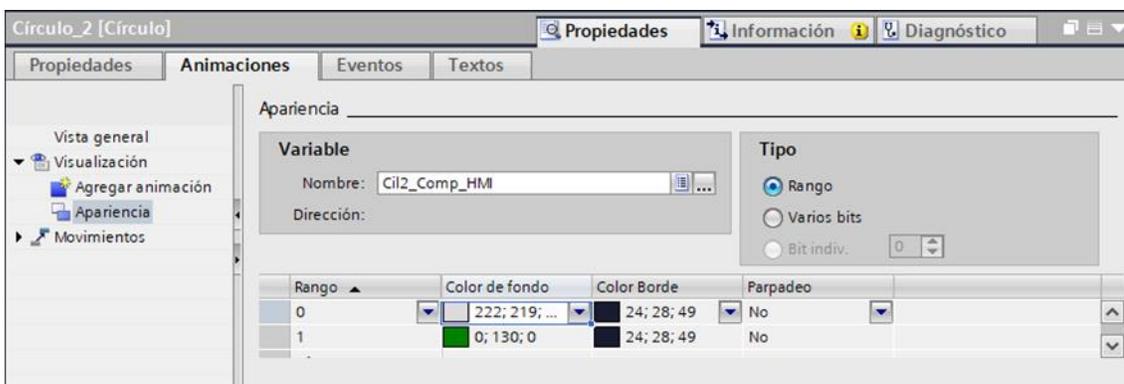


Imagen 3.7.2.4 Configuración de la apariencia de la figura "Círculo_2 [Círculo]" para cambia de color gris RGB [222; 219; 222] a un color verde RGB [0; 130; 0] al activarse la variable "Cil2_Comp_HMI" correspondiente al "Cilindro de componentes – EV2".
 Fuente: Por el autor

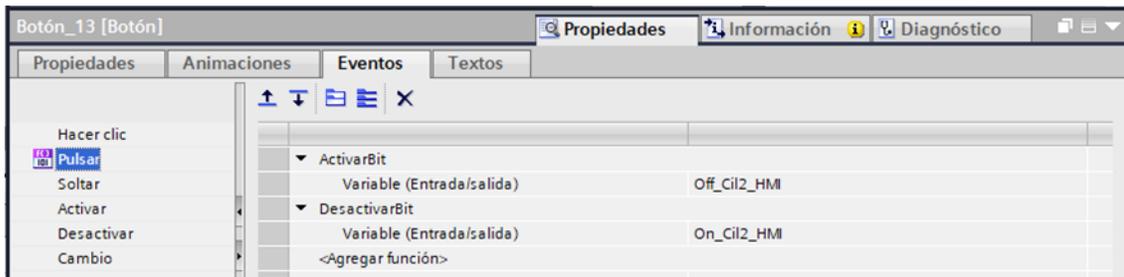


Imagen 3.7.2.5 Configuración del evento al pulsar el elemento “Botón_13 [Botón]” de color rojo RGB [132; 0; 0] con el texto “Off” correspondiente al “Cilindro de componentes – EV2”
Fuente: Por el autor

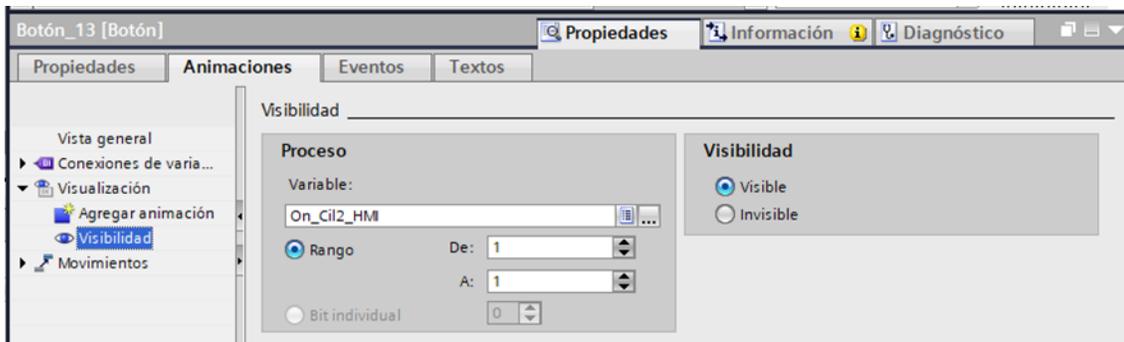


Imagen 3.7.2.6 Configuración de la visualización del elemento “Botón_13 [Botón]” de color rojo RGB [132; 0; 0] con el texto “Off” correspondiente al “Cilindro de componentes – EV2”
Fuente: Por el autor

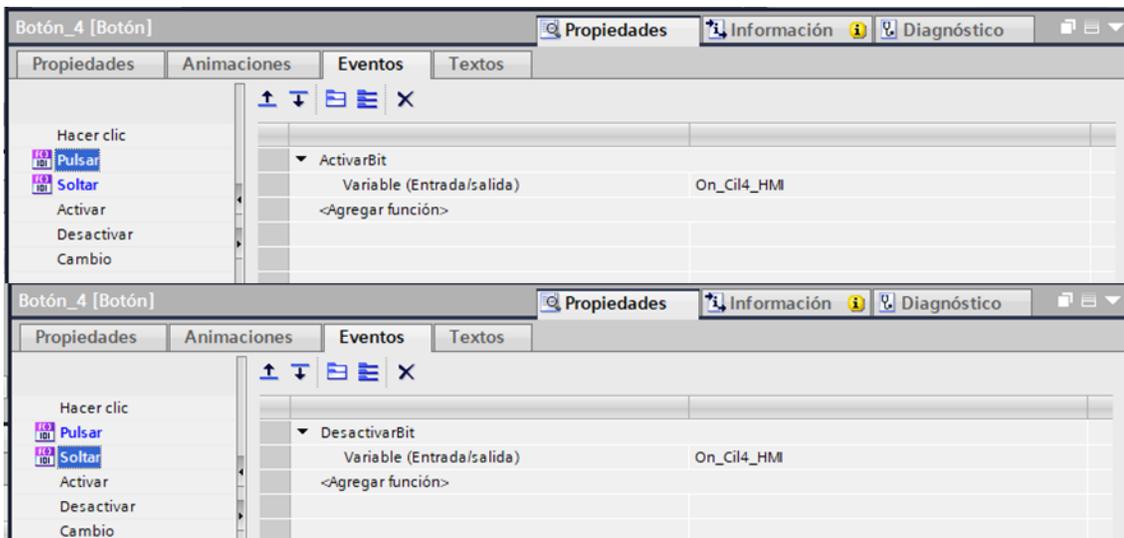


Imagen 3.7.2.7 Configuración de los eventos al pulsar y soltar al elemento “Botón_4 [Botón]” de color verde RGB [0; 130; 0] con el texto “On” correspondiente al “Cilindro de perno izquierdo”.
Fuente: Por el autor

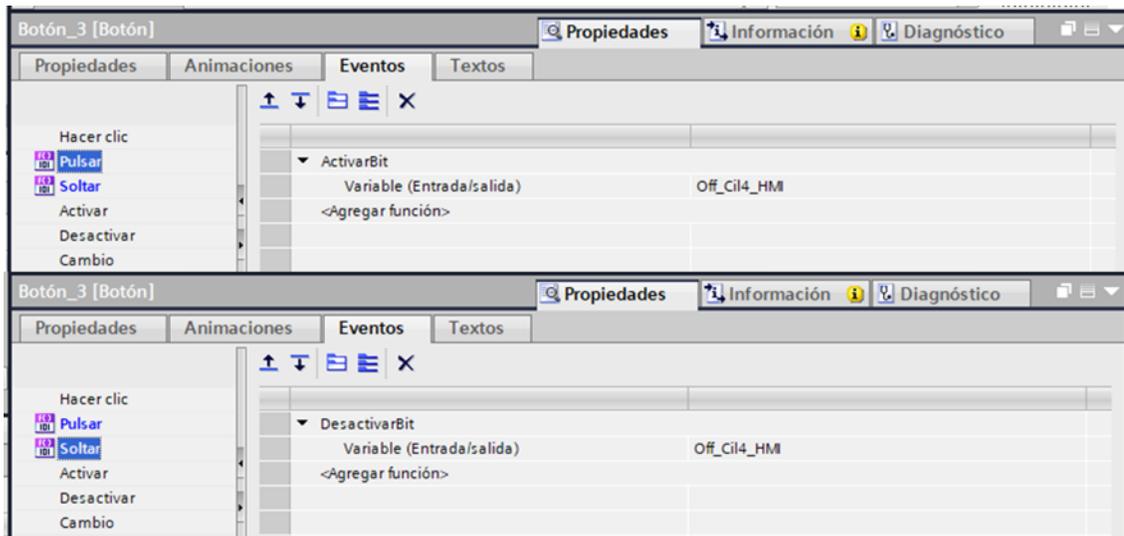


Imagen 3.7.2.8 Configuración de los eventos al pulsar y soltar al elemento "Botón_3 [Botón]" de color rojo RGB [132; 0; 0] con el texto "Off" correspondiente al "Cilindro de perno izquierdo".
Fuente: Por el autor

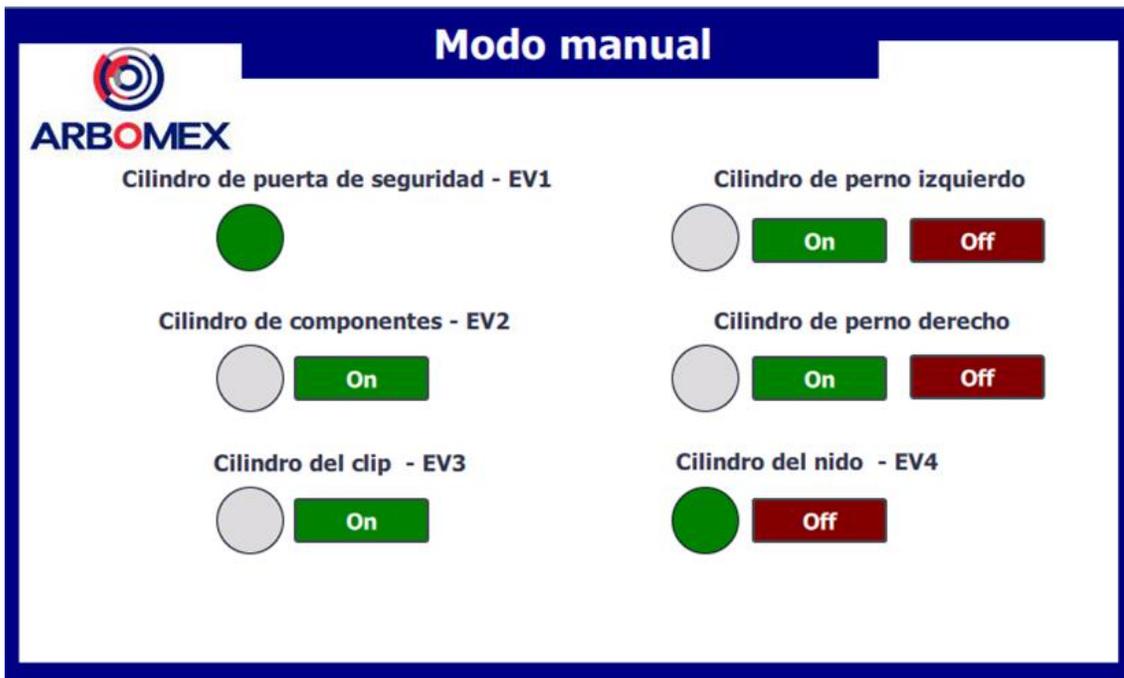


Imagen 3.7.2.9 Inhabilitación del elemento "Botón_2 [Botón]" de color verde RGB [0; 130; 0] con el texto "On" correspondiente a "Cilindro de puerta de seguridad - EV1" para evitar colisión con el nido extendido.
Fuente: Por el autor

Estación de ensamble > HM_1 [KTP700 Basic PN] > Avisos HMI

Avisos de bit Avisos analógicos Categorías Grupos de avisos

Nombre	Texto de aviso	Catego...	Variable de dispar	Bit de ...	Dirección de ...
1	Disparo de emergen... Desactive los botones On (Verdes) antes de presionar el botón de Rearme	Errors	AlarmaManual	8	%DB13.DBX0.0

Imagen 3.7.2.1.1 Configuración de la alarma para el modo manual usando un bit del bloque DB13.
Fuente: Por el autor

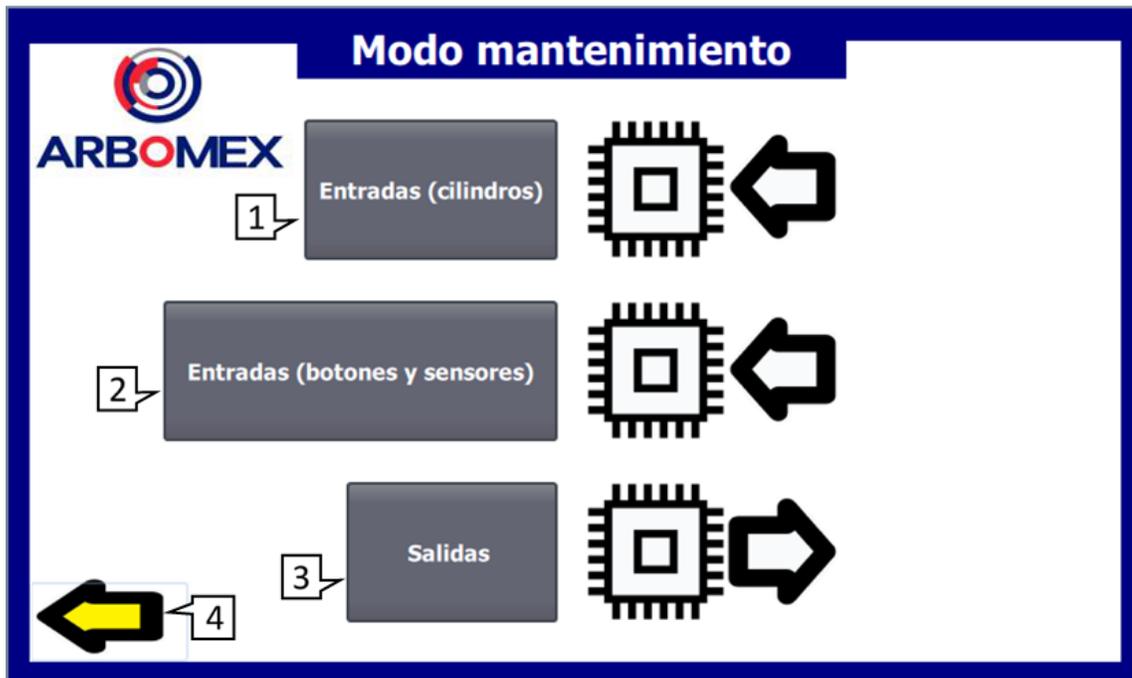


Imagen 3.7.3.1 Imagen "A004_Man" correspondiente al modo mantenimiento de la estación de ensamble. Los elementos enumerados se describen en la Tabla 3.7.3.1
Fuente: Por el autor

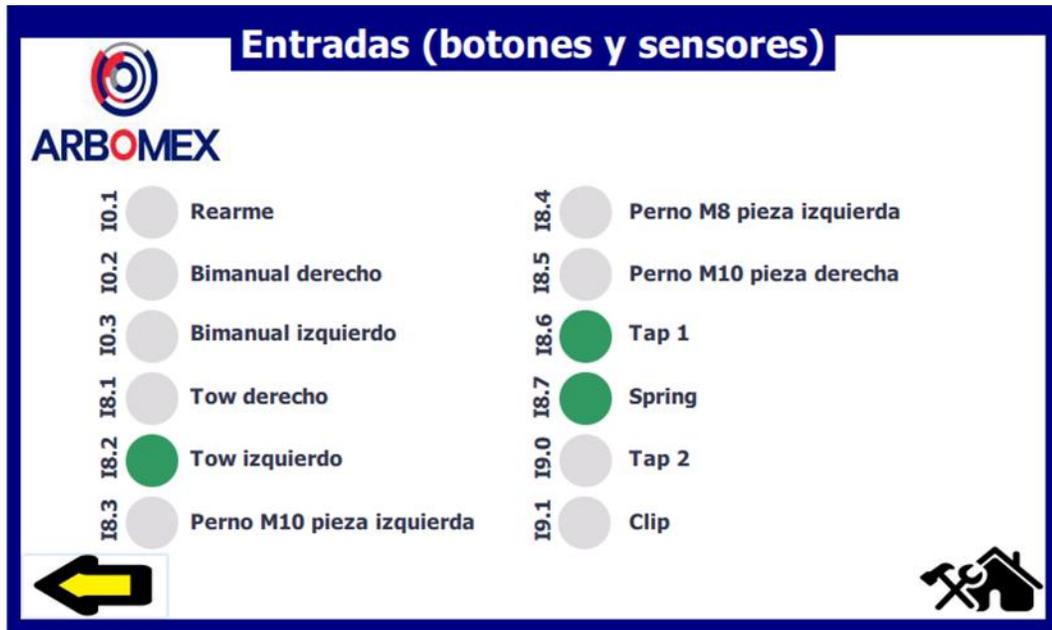


Imagen 3.7.3.2 Imagen "C001_Input(BotonesySensores)" correspondiente a la observación de señales de entrada dentro del modo mantenimiento para los botones rasantes físicos, sensores inductivos y fotoeléctricos.
Fuente: Por el autor

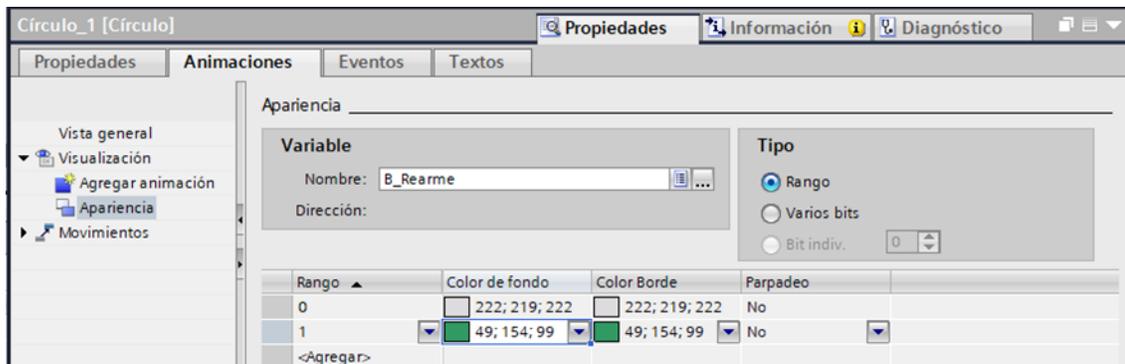


Imagen 3.7.3.3 Configuración de la apariencia de la figura "Círculo_1 [Círculo]" para cambia de color gris RGB [222; 219; 222] a un color verde RGB [49; 154; 99] al activarse la variable "B_Rearme" correspondiente a la entrada Rearme.
Fuente: Por el autor

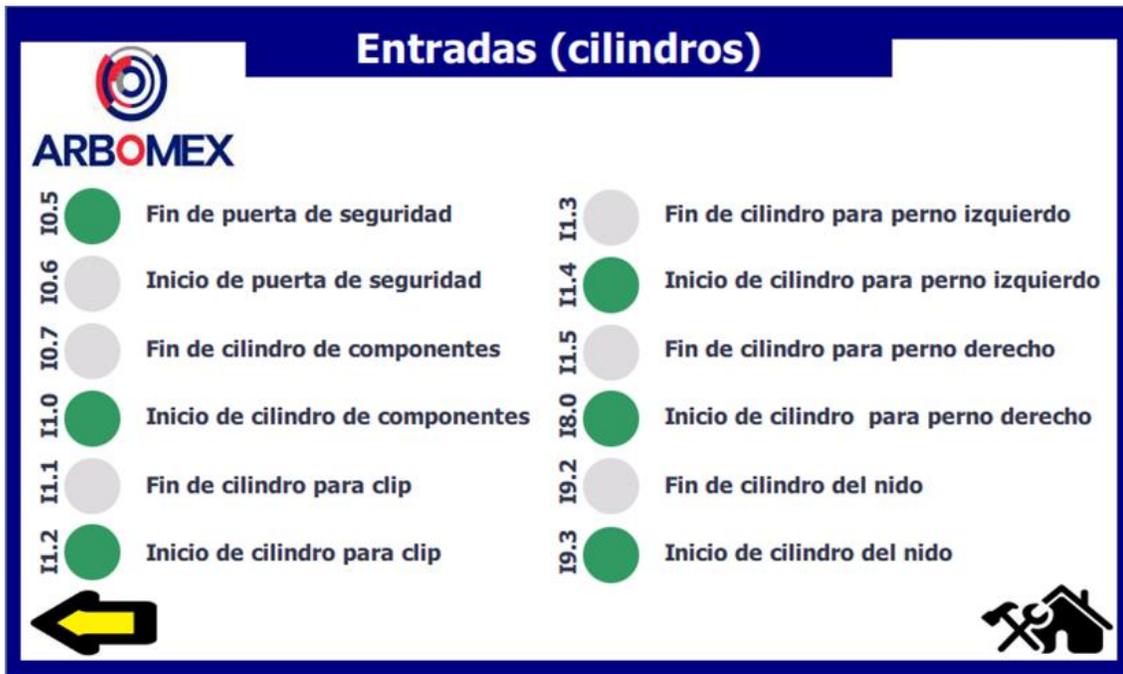


Imagen 3.7.3.4 Imagen "C001_Input(BotonesySensores)" correspondiente a la observación de señales de entrada dentro del modo mantenimiento para los sensores magnéticos.
Fuente: Por el autor



Imagen 3.7.3.5 Imagen "C003_Output" correspondiente al forzado de señales de salida dentro del modo mantenimiento
Fuente: Por el autor

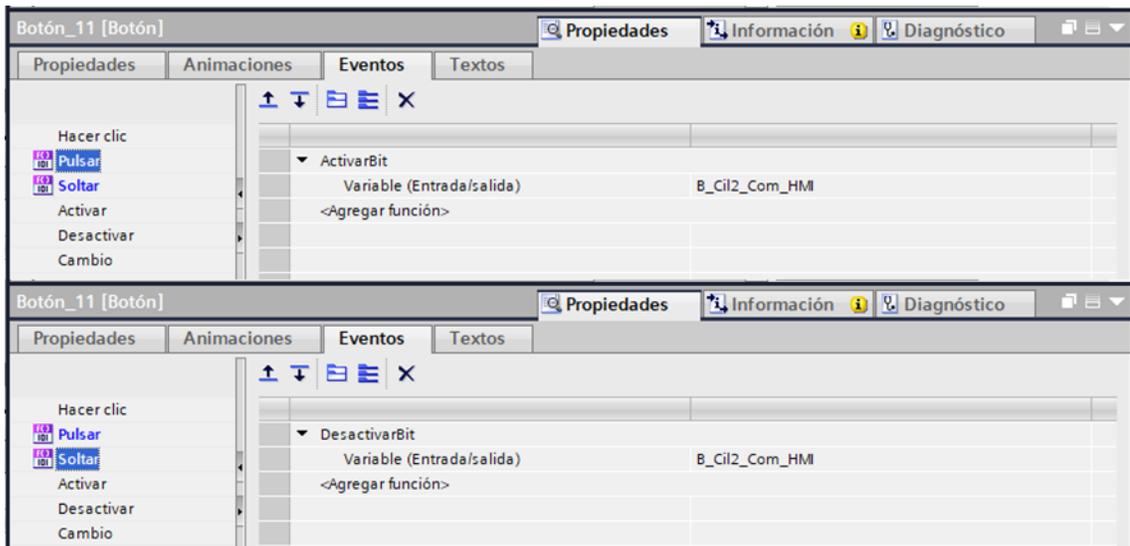


Imagen 3.7.3.6 Configuración de los eventos al pulsar y soltar al elemento "Botón_11 [Botón]" con el texto "Cilindro de componentes".
Fuente: Por el autor

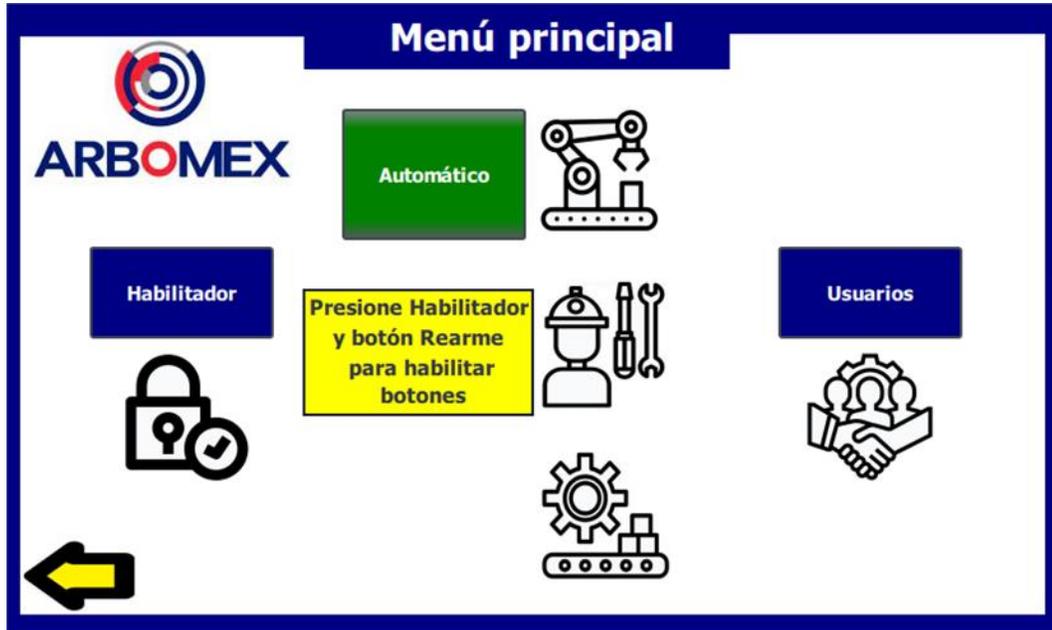


Imagen 3.7.4.1 Bloqueo en la imagen "A002_Menu" mostrando la deshabilitación de los modos manual y mantenimiento tras haber accedido al modo automático.
Fuente: Por el autor

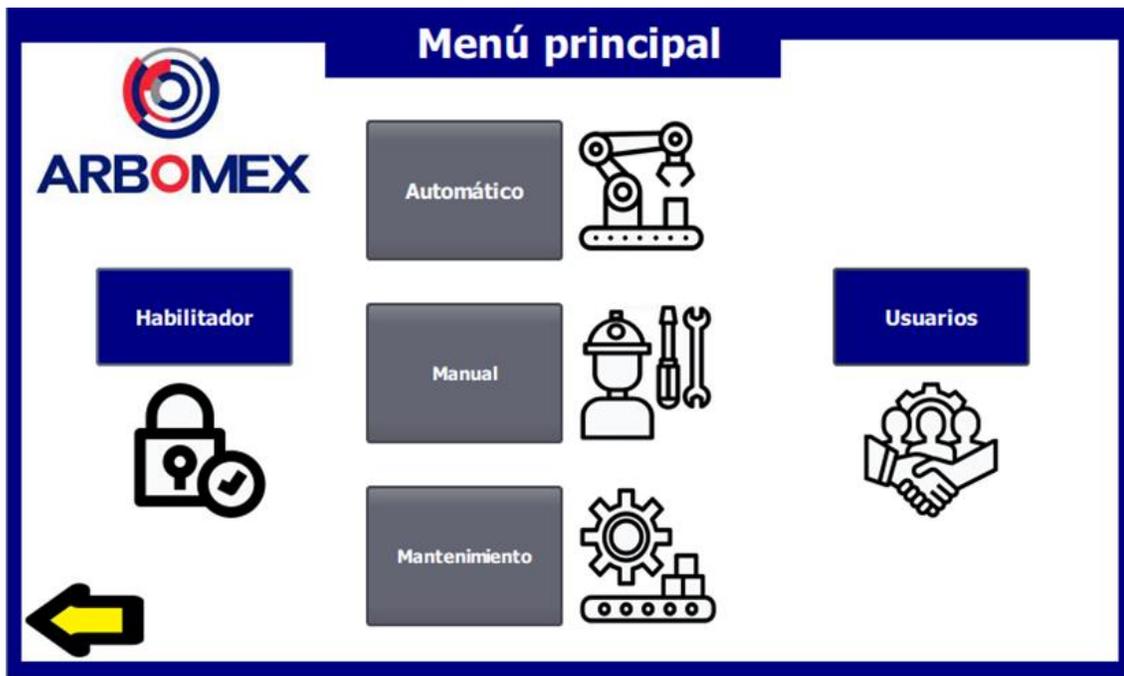


Imagen 3.7.4.2 Tras presionar el botón “Habilitador” y el botón físico “Rearme” los modos manual y mantenimiento se habilitan. Además, el botón del modo automático pasa a color gris RGB [222; 219; 222].
Fuente: Por el autor

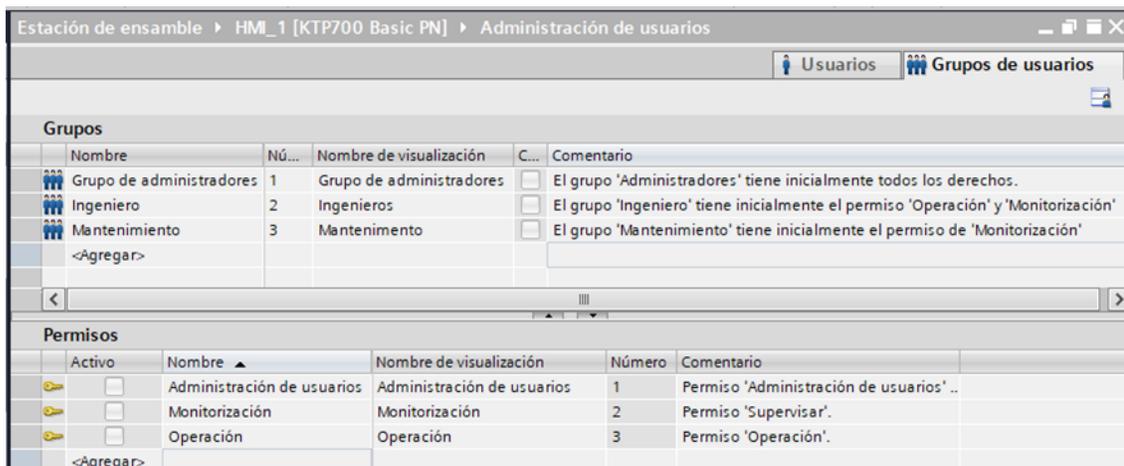


Imagen 3.7.5.1 Configuración de grupos y permisos de los usuarios en la pestaña “Grupos de usuarios” dentro de la opción “Administración de usuarios”.
Fuente: Por el autor

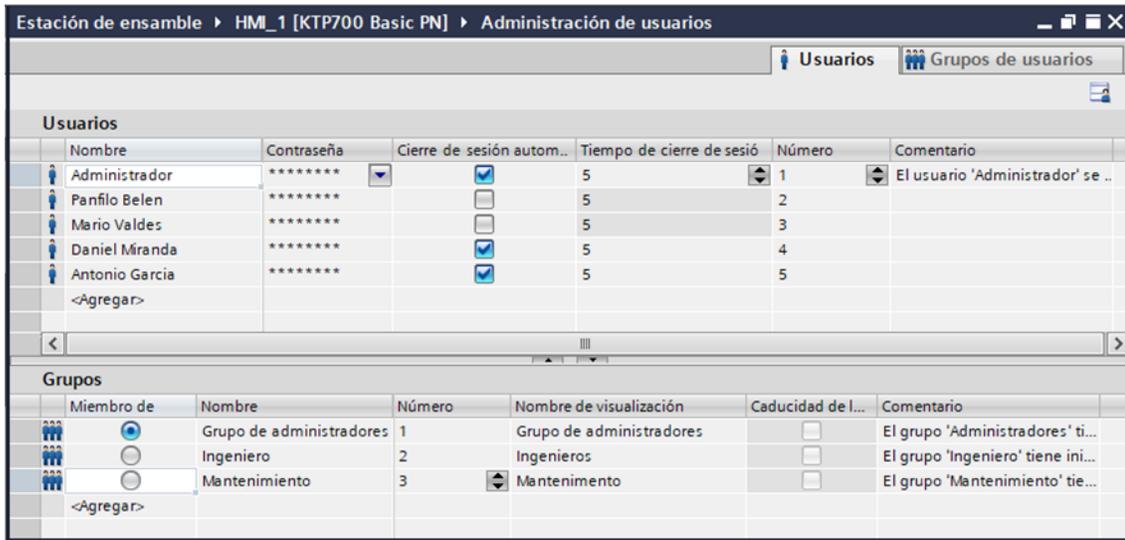


Imagen 3.7.5.2 Configuración de usuarios en la pestaña "Usuarios" dentro de la opción "Administración de usuarios".
Fuente: Por el autor

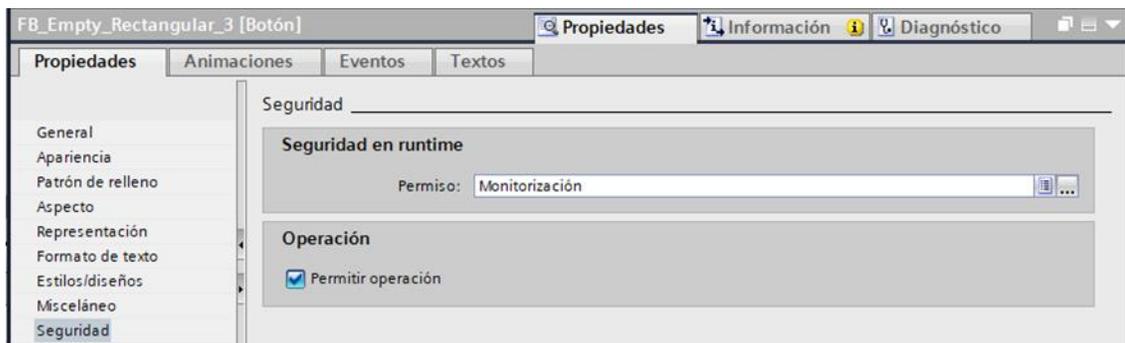


Imagen 3.7.5.3 Configuración de seguridad con el permiso "Monitorización" del elemento "FB_Empty_Rectangular_3" con el texto "Mantenimiento" para el acceso al modo del mismo nombre. Elemento ubicado en la imagen "A002_Menu".
Fuente: Por el autor



Imagen 3.7.6.1 Pantalla de bloqueo destinada al paro de emergencia. Incluye un texto descriptivo sobre el método a seguir para continuar con la operación.
Fuente: Por el autor

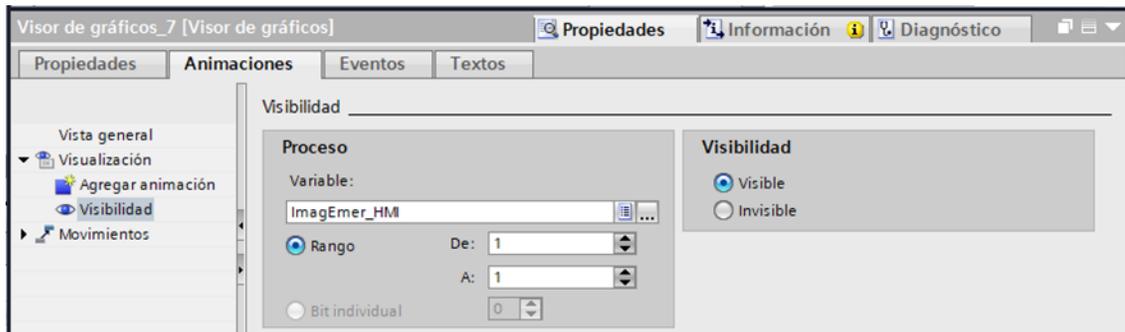


Imagen 3.7.6.2 Configuración de visualización de la pantalla de bloqueo para “aparecer” al habilitarse la variable “ImagEmer_HMI”
Fuente: Por el autor

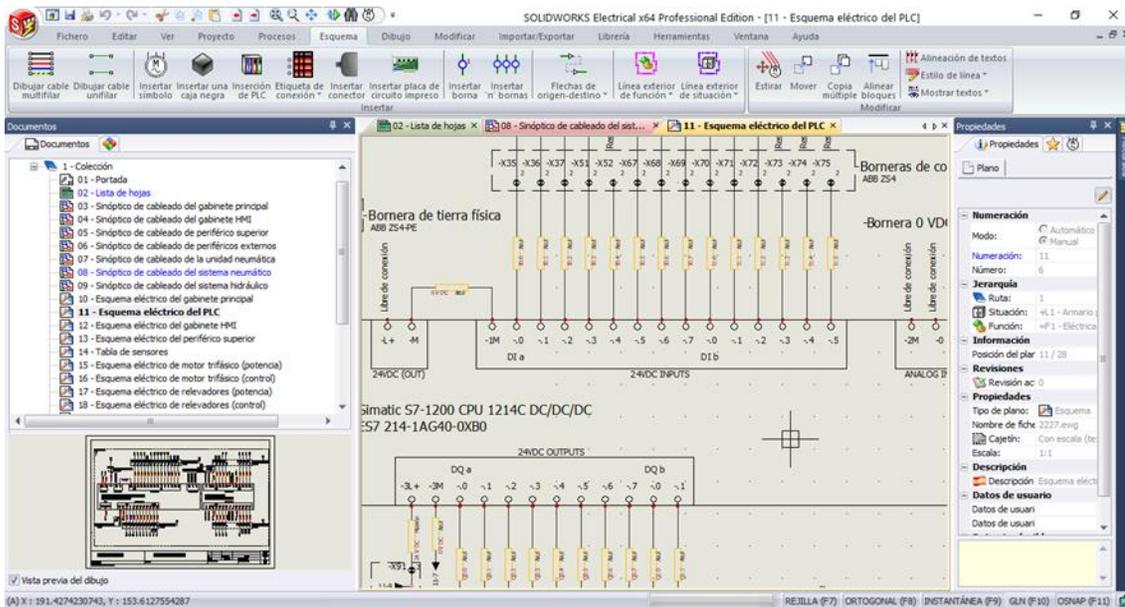


Imagen 3.8.1 Edición del esquema eléctrico del controlador lógico programable Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC y módulo de entradas SM 1221 DI16 x 24V DC en el software SolidWorks Electrical para el documento “Diagramas sistemáticos de la estación de ensamble”.
Fuente: Por el autor



Imagen 3.9.1 Apoyo técnico en la elaboración de un machuelo sobre un barreno con herramienta machuelo M10 x 1.0 en la pieza de soporte que conforma parte del nido de la estación de ensamble.
Fuente: Por el autor

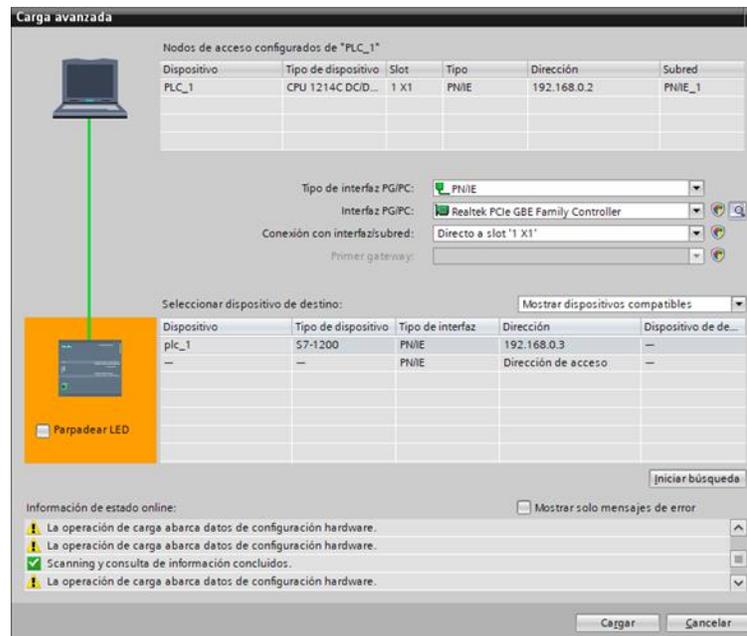


Imagen 4.1.1 Carga de código en lenguaje KOP para el controlador lógico programable.
Fuente: Por el autor

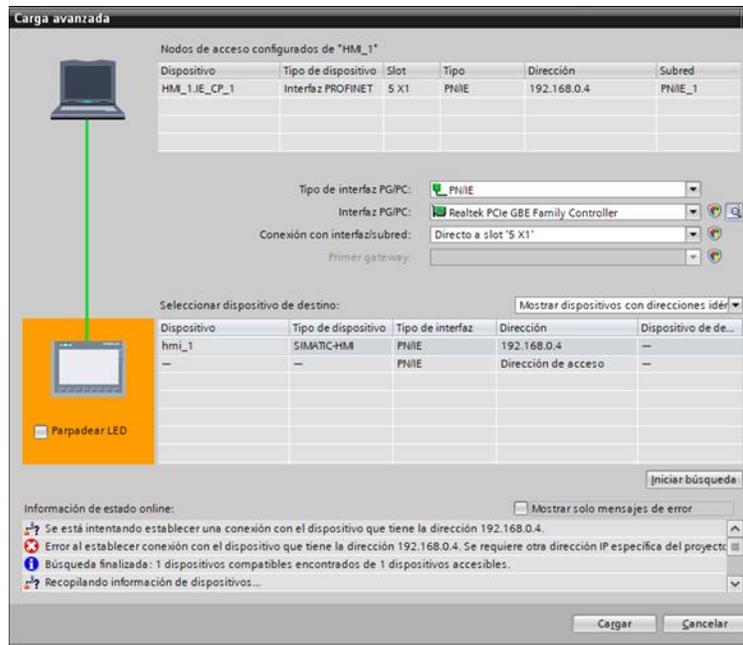


Imagen 4.1.2 Carga de código de interfaz para la pantalla táctil.
Fuente: Por el autor

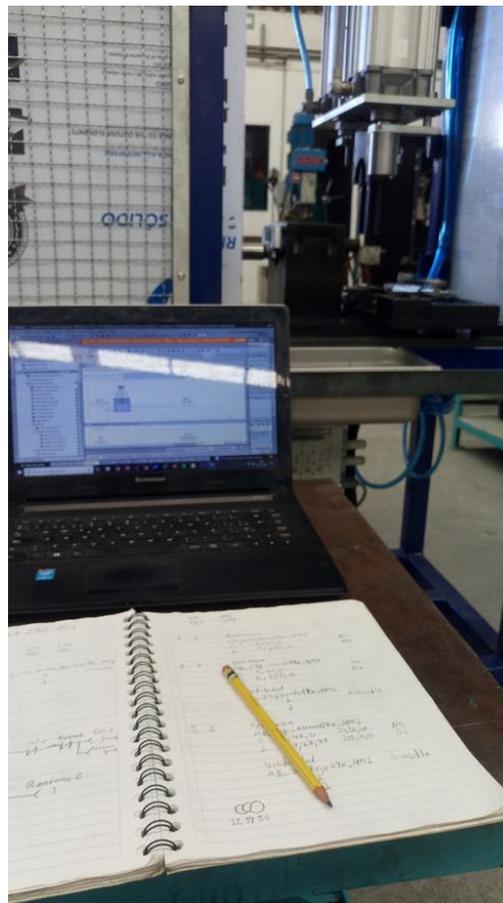


Imagen 4.1.3 Corrección de errores en la programación por medio de conexión On-line.
Fuente: Por el autor



Imagen 4.1.4 Estación de ensamble finalizada con implementación de programación KOP para el controlador lógico programable Siemens Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC e interfaz hacia la pantalla táctil Siemens Simatic KTP700 Basic.
Fuente: Por el autor



Imagen 4.1.5 Prueba run off vigilada por el equipo de proyectos de Arbomex S.A de C.V.
Fuente: Por el autor



Imagen 4.1.6 Piezas ensambladas con el proceso automático. La pieza de la izquierda frontal corresponde al modelo 640 mientras que la pieza central frontal y derecha frontal corresponden al modelo 642.
Fuente: Por el autor



Imagen 4.1.7 Colocación e instalación redes eléctrica y neumática dentro de la planta de Arbomex S.A. de C.V. en Celaya, Guanajuato.
Fuente: Por el autor

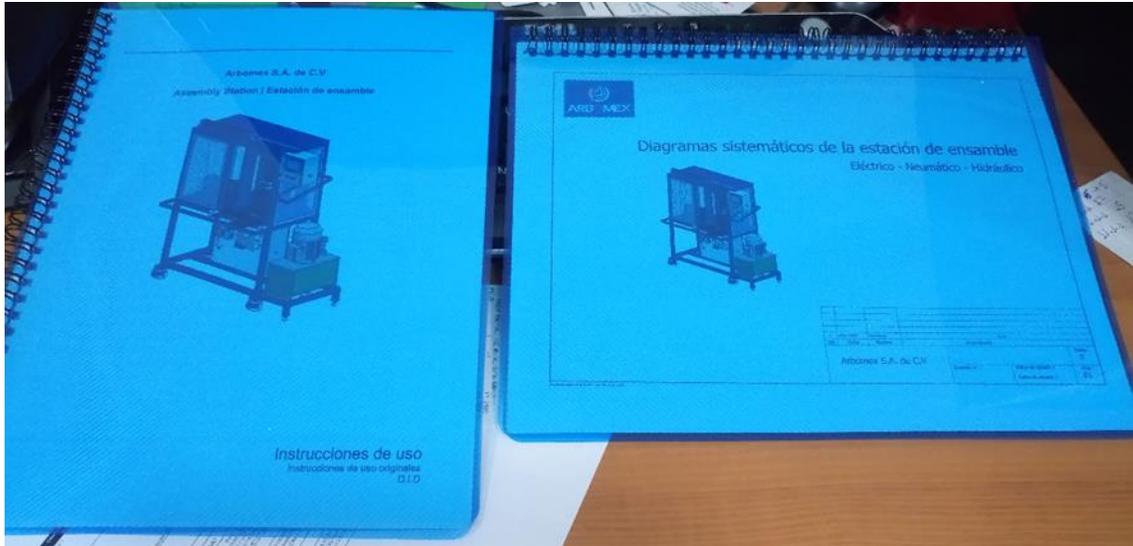


Imagen 4.1.8 Documentación en físico entregada a Arbomex S.A. de C.V. De manera paralela se les hizo entrega de un CD incluyendo el respaldo digital de estos documentos junto a los planos del diseño de la estación de ensamble para futuras referencias.
Fuente: Por el autor



Imagen 4.1.9 Curso de inducción sobre la utilización y aspectos de seguridad en la estación de ensamble.
Fuente: Por el autor



Imagen 4.1.2.1 Implementación de interfaz HMI mostrando a la imagen "B002_Mod641" procedente del modo automático para en ensamble del modelo 641.
Fuente: Por el autor



Imagen 4.3.1 Piezas de acaro 1018 y D2 con tratamientos términos que conforman el interior de la estación de ensamble.
Fuente: Por el autor



Imagen 4.3.2 Cableados eléctricos, neumáticos e hidráulicos en el interior de la estación de ensamble.
Fuente: Por el autor

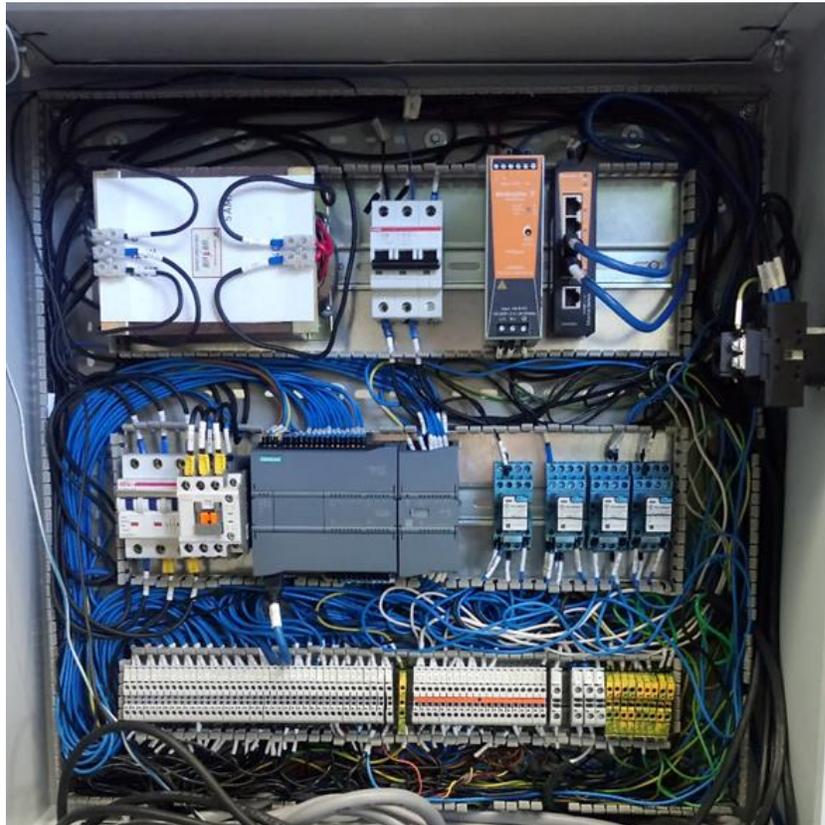


Imagen 4.3.3 Cableado de control y potencia dentro del gabinete principal de la estación de ensamble ubicado en la parte trasera inferior.
Fuente: Por el autor



Imagen 4.3.4 Gabinete principal instalado y preparado en la planta en Celaya, Guanajuato de Arbomex S.A de C.V.
Fuente: Por el autor



Imagen 4.4.1 Medición de tiempo ciclo del proceso automático de ensamble
Fuente: Por el autor

7.2 Índice de tablas

Tabla 3.1.1	202
Tabla 3.1.2	202
Tabla 3.1.3	203
Tabla 3.1.4	203
Tabla 3.1.5	204
Tabla 3.1.6	204
Tabla 3.1.7	205
Tabla 3.1.8	206
Tabla 3.5.1.2.1	206
Tabla 3.5.1.4.1	207
Tabla 3.5.2.2.1	208
Tabla 3.6.1	208
Tabla 3.6.1.1.1	209
Tabla 3.7.1	210
Tabla 3.7.1.1	210
Tabla 3.7.1.1.1	211
Tabla 3.7.1.2.1	212
Tabla 3.7.1.3.1	213
Tabla 3.7.2.1	214
Tabla 3.7.3.1	215
Tabla 4.4.1	215
Tabla 4.4.2	216
Tabla 4.4.3	216
Tabla 4.4.4	217
Tabla 4.4.5	217
Tabla 4.4.6	217
Tabla 4.4.7	218
Tabla 4.4.8	218

Elemento		Descripción
1	Tap 1	Pieza metálica redonda de 50.4 mm de diámetro.
2	Spring	Resorte metálico.
3	Tap 2	Pieza metálica redonda de 50.4 mm de diámetro.
4	Tow	Pieza mayor del ensamble. Hecha de acero por proceso de colado
5	Perno M10	Perno usado en modelos 640, 641 y 642.
6	Perno M8	Perno usado en el modelo 642.
7	Clip	Pieza que mantiene en interior del tow a las taps y spring ensamblados.

Tabla 3.1.1 Componentes de ensamble.

Fuente: Por el autor.

Pernos			
Ensamble		Tow izquierdo	Tow derecho
1	Modelo 640	Perno M10	
2	Modelo 641		Perno M10
3	Modelo 642	Perno M10 – Perno M8	

Tabla 3.1.2 Correspondencia de pernos en cada ensamble.

Fuente: Por el autor.

Descripción	
1	Lámpara.
2	Puerta de seguridad.
3, 7	Áreas de estantes destinados a sostener los contenedores de componentes de ensamble.
4	Botón bimanual izquierdo
5	Botón bimanual derecho
6	Gabinete de HMI
8	Unidad hidráulica
9	Unidad neumática
<p><i>Tabla 3.1.3 Descripción de elementos de Imagen 3.1.2</i> Fuente: Por el autor.</p>	

Descripción	
1, 2	Ranuras para insertar las piezas tap. A la ranura indicada con el número 1 corresponde a la tap izquierda y la ranura número 2 es destinada a la tap derecha.
3	Ranura para insertar spring. Se coloca la pieza cuidando de ingresarla de la única manera que lo permite esta pieza.
<p><i>Tabla 3.1.4 Descripción de elementos de Imagen 3.1.3</i> Fuente: Por el autor.</p>	

Descripción	
1	Receptor de componentes poka yoke. Tiene la función de agrupar a dos taps y un spring antes de ser ensamblados.
2	Nido para piezas tow. Aquí se colocan el modelo izquierdo y derecho de tow para ensamblar. En esta imagen se muestra de manera extendida fuera de la estación de ensamble.
<p><i>Tabla 3.1.5 Descripción de elementos de Imagen 3.1.4</i> Fuente: Por el autor.</p>	

Descripción	
1	Ranuras para insertar clip. Se coloca de manera paralela a la placa y hacia arriba para asegurar.
<p><i>Tabla 3.1.6 Descripción de elementos de Imagen 3.1.5</i> Fuente: Por el autor.</p>	

Entradas			
	Descripción	Abreviación	Tipo
I0.0	Paro de emergencia	Paro_Emergencia	Botón
I0.1	Rearme (Home)	Rearme	Botón
I0.2	Mando bimanual	MB_Der	Botón
I0.3	Mando bimanual	MB_Izq	Botón
I0.4	Reserva		
I0.5	Cil1_Avance (Fin)	Pistón de puerta de Seguridad	Cil1_Av
I0.6	Cil1_Retrocede (Inicio)		Cil1_Ret
I0.7	Cil2_Avance (Fin)	Pistón de componentes	Cil2_Av
I1.0	Cil2_Retrocede (Inicio)		Cil2_Ret
I1.1	Cil3_Avance (Fin)	Pistón de clip (seguro)	Cil3_Av
I1.2	Cil3_Retrocede (Inicio)		Cil3_Ret
I1.3	Reserva		
I1.4	Reserva		
I1.5	Reserva		
I8.0	Reserva		
I8.1	Reserva		
I8.2	Tow izquierdo	Pz_Izq	Sensor
I8.3	Perno tow izquierdo M10	Pz_M10Izq	Sensor
I8.4	Perno tow izquierdo M8	Pz_M8Izq	Sensor
I8.5	Perno tow derecho M10	Pz_M10Der	Sensor
I8.6	Tap1	Pz_Rond1	Sensor
I8.7	Spring	Pz_Res	Sensor
I9.0	Tap2	Pz_Rond2	Sensor
I9.1	Clip	Pz_Seg	Sensor
I9.2	Cil6_Avance (Fin)	Pistón del nido	Cil6_Av
I9.3	Cil6_Retrocede (Inicio)		Cil6_Ret
I9.4	Tow derecho	Pz_Der	Sensor
I9.5	Reserva		
I9.6	Reserva		
I9.7	Reserva		

Tabla 3.1.7 Tabla de entradas.
Fuente: Por el autor.

Salidas				
	Q0.0	Indicador OK (verde)	Ind_OK	Indicador
	Q0.1	Indicador No OK (rojo)	In_NOK	Indicador
Q0.2	EVE 1 (Rojo-Negro)	Pistón de puerta de seguridad	Cil1_PSeg	Actuador
Q0.3	EVE 2 (Naranja-Negro)	Pistón de componentes	Cil2_Comp	Actuador
Q0.4	EVE 3 (Azul)	Pistón del clip	Cil3_SegClip	Actuador
	Q0.5	Pistón perno izquierdo	Cil4_TorIzq	Actuador
	Q0.6	Pistón perno derecho	Cil5_TorDer	Actuador
	Q0.7	Válvula de alivio	Val_Alivio	Actuador
	Q1.0	Válvula de arranque progresivo (neumático) Motor trifásico (hidráulico)	Arran_Pro	Actuador
Q1.1	EVE4 (Naranja)	Pistón del nido	Cil6_Tow	Actuador

*Tabla 3.1.8 Tabla de salidas.
Fuente: Por el autor.*

Actuador	Posición segura
Pistón de puerta de seguridad	Contraído
Pistón de componentes	Contraído
Pistón del clip	Contraído
Pistón perno izquierdo	Contraído
Pistón perno derecho	Contraído
Pistón del nido	Contraído

*Tabla 3.5.1.2.1 Relación de estado y posición segura para cada uno de los pistones del sistema al ser llevada a cabo la rutina de paro de emergencia.
Fuente: Por el autor.*

	Nombre	Tipo	Conf.	Marca	Modelo	Elemento/ pieza
I0.5	Cil1_Av	Magnético	PNP	SMC	D-M9P	Fin de carrara del cilindro de puerta de seguridad (puerta cerrada)
I0.6	Cil1_Ret	Magnético	PNP	SMC	D-M9P	Inicio de carrara del cilindro de puerta de seguridad (puerta abierta)
I0.7	Cil2_Av	Magnético	PNP	SMC	D-M9P	Fin de carrara del cilindro de componentes
I1.0	Cil2_Ret	Magnético	PNP	SMC	D-M9P	Inicio de carrara del cilindro de componentes
I1.1	Cil3_Av	Magnético	PNP	SMC	D-M9P	Fin de carrara del cilindro de clip
I1.2	Cil3_Ret	Magnético	PNP	SMC	D-M9P	Inicio de carrara del cilindro de clip
I9.4	Pz_Der	Fotoeléctrico	NPN	Autonics	BJ1M-DDT	Tow derecho
I8.2	Pz_Izq	Inductivo	PNP	Autonics	PR08-1.5DP	Tow izquierdo
I8.3	Pz_M10Izq	Inductivo	PNP	Autonics	PR08-1.5DP	Perno M10 en tow izquierdo
I8.4	Pz_M8Izq	Fotoeléctrico	PNP	Omron	E3Z-LS81	Perno M8 en tow izquierdo
I8.5	Pz_M10Der	Inductivo	PNP	Autonics	PR08-1.5DP	Perno M10 en tow derecho
I8.6	Pz_Rond1	Inductivo	PNP	Autonics	PRD12-4DP	Tap (tapa) izquierda
I8.7	Pz_Res	Inductivo	PNP	Autonics	PRD12-4DP	Spring (resorte)
I8.7_1	Pz_Res_1	Inductivo	PNP	Autonics	PRD12-4DP	Spring (resorte)
I9.0	Pz_Rond2	Inductivo	PNP	Autonics	PRD12-4DP	Tap (tapa) derecha
I9.1	Pz_Seg	Inductivo	PNP	Autonics	PRD12-4DP	Clip
I9.2	Cil6_Av	Magnético	PNP	SMC	D-M9P	Fin de carrara del cilindro del nido
I9.3	Cil6_Ret	Magnético	PNP	SMC	D-M9P	Inicio de carrara del cilindro del nido

Tabla 3.5.1.4.1 Listado de sensores de proximidad.
Fuente: Por el autor.

Control de electroválvulas neumáticas					
Pin	Electroválvula	Pistón	Color	Señal de PLC / Conexión	
				Bornera de control	Bornera 0 VDC Común
4	EV4	Pistón del nido	Naranja	Q1.1	
5	EV3	Pistón del clip	Azul	Q0.4	
6	EV2	Pistón de componentes	Naranja Negro	Q0.3	
7	EV1	Pistón de puerta de seguridad	Rojo Negro	Q0.2	
13			Marrón		Se conecta a 0 VDC

*Tabla 3.5.2.2.1 Pines en el DB25 usados para activar las electroválvulas en el manifold.
Fuente: Por el autor.*

Bloque de organización OB1 "A001_Principal"	
Segmento 1	Programa principal de la estación de ensamble
Segmento 2	Contadores de piezas para modelos automáticos
Segmento 3	Despliegue de imagen de paro de emergencia
Segmento 4	Habilita los botones al querer ingresar a un modo nuevo

*Tabla 3.6.1 Segmentos del bloque de organización "A001_Principal".
Fuente: Por el autor.*

Función FC10 "Modelo_640"	
Segmento 1	GRAFSET para proceso automático de pieza 640
Segmento 2	Activación/desactivación de electroválvulas
Segmento 3	Encendido de botones "Bimanuales" en HMI.
Segmento 4	Habilitación de marcas para habilitador
Segmento 5	Habilitación de marcas para alarmas
Segmento 6	Encendido de habilitadores para indicar al operador el poder comenzar a trabajar
Segmento 7	Encendido de alarma de piezas incompletas
Segmento 8	Etapas de comienzo/desactivación
Segmento 9	Cerrado de puerta para finalizar procesos
Segmento 10	Marca para "Piezas No Ok"
Segmento 11	Marca para conteo de errores
Segmento 12	Rearme2
Segmento 13	Retardo de clip
Segmento 14	Proceso de pistón hidráulico
Segmento 15	Sensor del fin de carrara del clip enclavado

*Tabla 3.6.1.1.1 Segmentos de la función "Modelo_640".
Fuente: Por el autor.*

Elemento		Descripción	Seguridad	
1	Modo	Automático	Accede a la pantalla de selección de modelos de ensamble. El botón pasa a color verde al acceder.	No requiere contraseña
2		Manual	Accede a la pantalla dispuesta para la manipulación manual de pistones. El botón pasa a color verde al acceder.	Requiere contraseña
3		Mantenimiento	Accede a la pantalla de observación de señales de entrada y salida del sistema. El botón pasa a color verde al acceder.	Requiere contraseña
4	Habilitador		Posee la función de habilitar los modos cuando se desea ingresar a uno nuevo.	No requiere contraseña
5	Usuarios		Permite controlar los usuarios, así como contraseñas y sus diferentes derechos para acceder a los modos.	Requiere contraseña
6	Botón atrás		Devuelve a la pantalla de imagen raíz.	No requiere contraseña

*Tabla 3.7.1 Elementos de la imagen "A002_Menu".
Fuente: Por el autor.*

Elemento	Descripción	
1	Modelo 640	Acceso a la interfaz del ensamblado automático del modelo 640.
2	Modelo 641	Acceso a la interfaz del ensamblado automático del modelo 641.
3	Modelo 642	Acceso a la interfaz del ensamblado automático del modelo 642.
4	Botón atrás	Devuelve a la pantalla de menú principal

*Tabla 3.7.1.1 Elementos de la imagen "A003_Auto".
Fuente: Por el autor.*

Elemento		Descripción
1	Botón Comenzar/Finalizar	Botón de dos estados para comenzar o finalizar el proceso de ensamble.
2	Imagen del modelo	Representación del modelo del proceso de ensamblado.
3	Contador "Piezas Ok"	Contabiliza las piezas ensambladas en condiciones correctas.
4	Contador "Piezas no Ok"	Contabiliza las piezas que no llegaron a ensamblarse debido a anomalías del sistema. Aumenta en magnitud al ser pulsado el paro de emergencia para detener el proceso fallido.
5	Panel de comprobación de componentes	Comprueba la correcta colocación de cada componente con la barra inferior (color oscuro) realizando un cambio de color a un tono verde.
6	Bimanual izquierdo	Representa la pulsación física del botón bimanual izquierdo. Su color está condicionado en varias situaciones.
7	Bimanual derecho	Representa la pulsación física del botón bimanual derecho. Su color está condicionado en varias situaciones.
8	Botón atrás	Devuelve a la pantalla de selección de modelos automáticos.
9	Botón menú	Devuelve a la pantalla de menú principal.

*Tabla 3.7.1.1.1 Elementos de la imagen "B001_Mod640".
Fuente: Por el autor.*

Elemento		Descripción
1	Botón Comenzar/Finalizar	Botón de dos estados para comenzar o finalizar el proceso de ensamble.
2	Imagen del modelo	Representación del modelo del proceso de ensamblado.
3	Contador "Piezas Ok"	Contabiliza las piezas ensambladas en condiciones correctas.
4	Contador "Piezas no Ok"	Contabiliza las piezas que no llegaron a ensamblarse debido a anomalías del sistema. Aumenta en magnitud al ser pulsado el paro de emergencia para detener el proceso fallido.
5	Panel de comprobación de componentes	Comprueba la correcta colocación de cada componente con la barra inferior (color oscuro) realizando un cambio de color a un tono verde.
6	Bimanual izquierdo	Representa la pulsación física del botón bimanual izquierdo. Su color está condicionado en varias situaciones.
7	Bimanual derecho	Representa la pulsación física del botón bimanual derecho. Su color está condicionado en varias situaciones.
8	Botón atrás	Devuelve a la pantalla de selección de modelos automáticos.
9	Botón menú	Devuelve a la pantalla de menú principal.

*Tabla 3.7.1.2.1 Elementos de la imagen "B002_Mod641".
Fuente: Por el autor.*

Elemento		Descripción
1	Botón Comenzar/Finalizar	Botón de dos estados para comenzar o finalizar el proceso de ensamble.
2	Imagen del modelo	Representación del modelo del proceso de ensamblado.
3	Contador "Piezas Ok"	Contabiliza las piezas ensambladas en condiciones correctas.
4	Contador "Piezas no Ok"	Contabiliza las piezas que no llegaron a ensamblarse debido a anomalías del sistema. Aumenta en magnitud al ser pulsado el paro de emergencia para detener el proceso fallido.
5	Panel de comprobación de componentes	Comprueba la correcta colocación de cada componente con la barra inferior (color oscuro) realizando un cambio de color a un tono verde.
6	Bimanual izquierdo	Representa la pulsación física del botón bimanual izquierdo. Su color está condicionado en varias situaciones.
7	Bimanual derecho	Representa la pulsación física del botón bimanual derecho. Su color está condicionado en varias situaciones.
8	Botón atrás	Devuelve a la pantalla de selección de modelos automáticos.
9	Botón menú	Devuelve a la pantalla de menú principal.

*Tabla 3.7.1.3.1 Elementos de la imagen "B002_Mod642".
Fuente: Por el autor.*

Elemento			Descripción	
1	Indicador On/Off	Cilindro	Puerta de seguridad	Muestra el estado del cilindro: Gris=Inactivo; Verde=Activo
2			Componentes	Muestra el estado del cilindro: Gris=Inactivo; Verde=Activo
3			Clip	Muestra el estado del cilindro: Gris=Inactivo; Verde=Activo
4			Izquierdo	Muestra el estado del cilindro: Gris=Inactivo; Verde=Activo
5			Derecho	Muestra el estado del cilindro: Gris=Inactivo; Verde=Activo
6			Nido	Muestra el estado del cilindro: Gris=Inactivo; Verde=Activo
8	Botón On/Off	Cilindro	Puerta de seguridad	Activa/Desactiva el cilindro: On=Activar; Off=Desactivar
9			Componentes	Activa/Desactiva el cilindro: On=Activar; Off=Desactivar
10			Clip	Activa/Desactiva el cilindro: On=Activar; Off=Desactivar
11			Izquierdo	Activa el cilindro: On=Activar
12				Desactiva el cilindro: Off=Desactivar
13			Derecho	Activa el cilindro: On=Activar
14				Desactiva el cilindro: Off=Desactivar
15	Nido	Activa/Desactiva el cilindro: On=Activar; Off=Desactivar (normalmente inhabilitado)		
16	Botón atrás		Devuelve a la pantalla de menú principal. (Solo se activa al tener todos los cilindros en sus inicios de carrera y estando la puerta de seguridad cerrada.)	

Tabla 3.7.2.1 Elementos de la imagen "A004_Man".
Fuente: Por el autor.

Elementos		Descripción
1	Entradas	Cilindros Acceso a la pantalla de visualización de señales de entrada.
2		Botones y sensores Acceso a la pantalla de visualización de señales de entrada.
3	Salidas	Acceso a la pantalla de activación de señales de salida.
4	Botón atrás	Devuelve a la pantalla de menú principal.

*Tabla 3.7.3.1 Elementos de la imagen "A005_Mant".
Fuente: Por el autor.*

Ensamble manual modelo 640 sin usar la estación de ensamble	
Operación	Tiempo (s)
Unir tapas con resorte	1.2
Ingresar dentro de la pieza tow izquierda	0.4
Comprimir resorte y tapas dentro de la pieza tow y asegurarlos con clip	106.8
Comprimir perno M10 con prensa hidráulica manual	55.3
Tiempo total	163.7 = 2 minutos y 43.7 segundos

*Tabla 4.4.1 Tiempo ciclo del ensamble manual del modelo 640.
Fuente: Por el autor.*

Ensamble manual modelo 642 sin usar la estación de ensamble.	
Operación	Tiempo (s)
Unir tapas con resorte	1.3
Ingresar dentro de la pieza tow izquierda	0.6
Comprimir resorte y tapas dentro de la pieza tow y asegurarlos con clip	104.8
Comprimir perno M10 con prensa hidráulica manual	55.7
Comprimir perno M8 con prensa hidráulica manual	49.5
Tiempo total	211.9 = 3 minutos y 31.9 segundos

*Tabla 4.4.2 Tiempo ciclo del ensamble manual del modelo 642.
Fuente: Por el autor.*

Corrida continua de ensamble manual modelo 641 sin usar la estación de ensamble	
Ciclo	Tiempo (s)
1	165.3
2	162.8
3	167.2
4	173.9
5	174.2
6	178.3
7	185.6
8	194.7
9	208.5
10	220.5
Tiempo total	1 831 = 30 minutos y 31 segundos

*Tabla 4.4.3 Tiempo ciclo de corrida continua en el ensamble manual del modelo 641.
Fuente: Por el autor.*

Corrida continua de ensamble manual modelo 642 sin usar la estación de ensamble

Ciclo	Tiempo (s)
1	209.3
2	213.2
3	217.5
4	227.4
5	233.1
6	237.7
7	245.8
8	263.5
9	271.8
10	289.3
Tiempo total	2 408.6 = 40 minutos y 8.6 segundos

Tabla 4.4.4 Tiempo ciclo de corrida continua en el ensamble manual del modelo 642.

Fuente: Por el autor.

Ensamble automático modelo 640 usando la estación de ensamble

Operación	Tiempo (s)
Primera	8
Segunda	14.7
Tercera	26
Tiempo total	48.7 segundos

Tabla 4.4.5 Tiempo ciclo del ensamble automático del modelo 640.

Fuente: Por el autor.

Ensamble automático modelo 642 usando la estación de ensamble

Operación	Tiempo (s)
Primera	8
Segunda	15.6
Tercera	26
Tiempo total	49.6 segundos

Tabla 4.4.6 Tiempo ciclo del ensamble automático del modelo 642.

Fuente: Por el autor.

Corrida continua de ensamble automático modelo 641 usando la estación de ensamble	
Ciclo	Tiempo (s)
1	45.2
2	43.9
3	46.4
4	47.6
5	46.1
6	49.8
7	50.4
8	47.2
9	49.9
10	53.5
Tiempo total	480 = 8 minutos

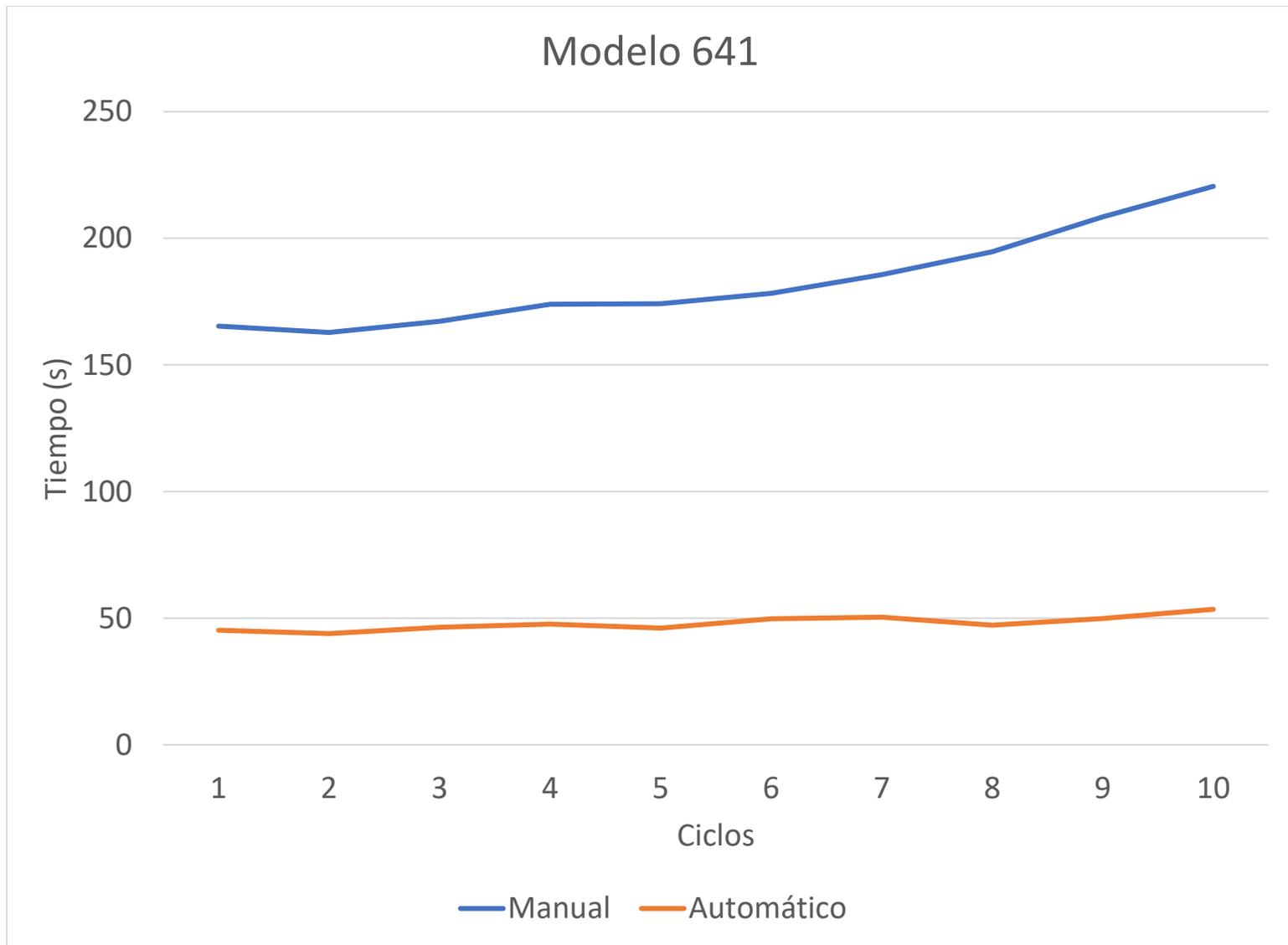
*Tabla 4.4.7 Tiempo ciclo de corrida continua en el ensamble automático del modelo 641.
Fuente: Por el autor.*

Corrida continua de ensamble automático modelo 642 usando la estación de ensamble	
Ciclo	Tiempo (s)
1	47.4
2	48.2
3	46.5
4	49.2
5	48.9
6	49.5
7	47.1
8	50.1
9	48.2
10	49.1
Tiempo total	484.2 = 8 minutos y 4.2 segundos

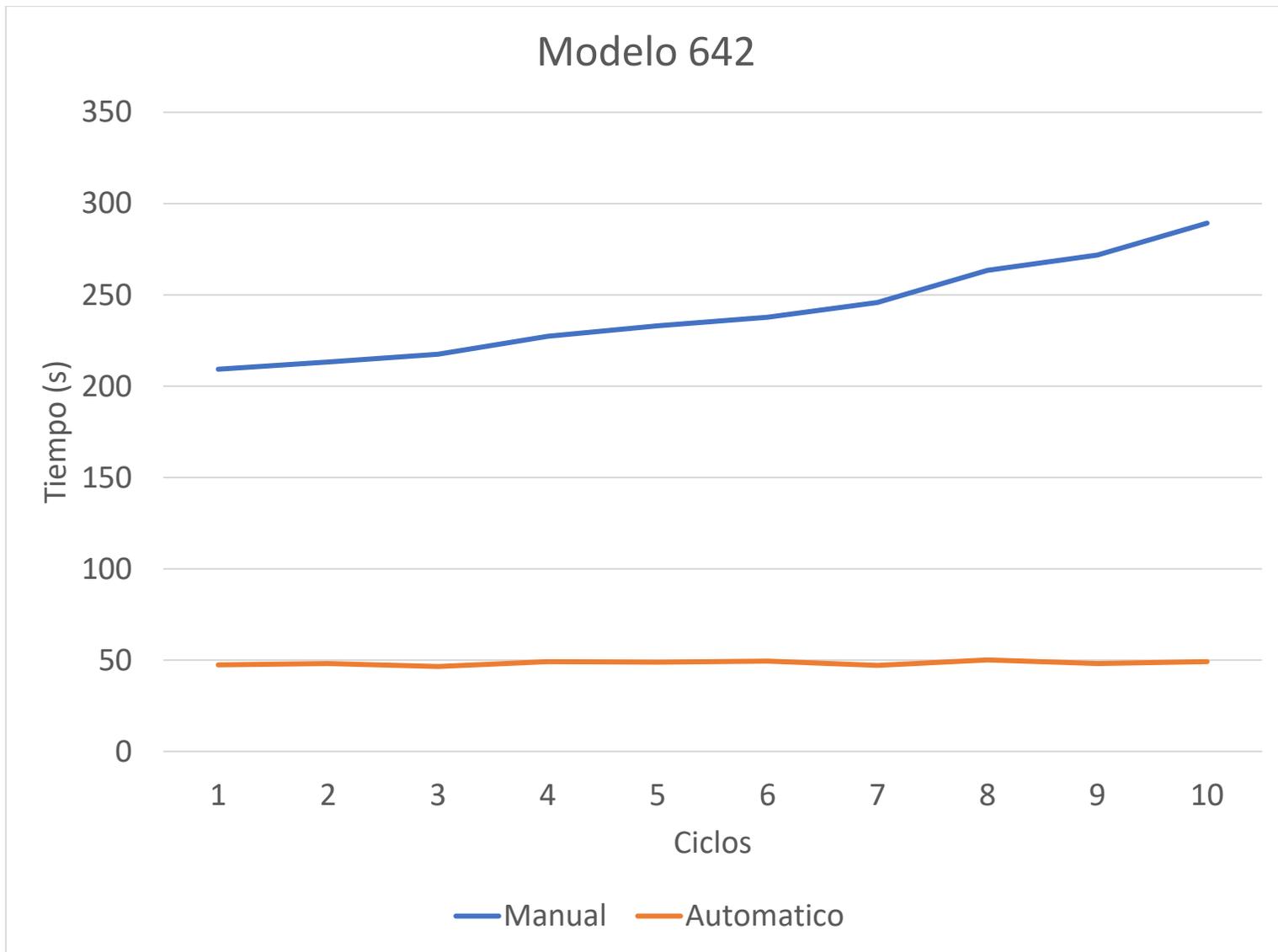
*Tabla 4.4.8 Tiempo ciclo de corrida continua en el ensamble automático del modelo 642.
Fuente: Por el autor.*

7.3 Índice de gráficas

Gráfica 4.4.1	220
Gráfica 4.4.2	221



Gráfica 4.4.1 Comparación de ensamble por método manual y automático del modelo 641.
Fuente: Por el autor.



Gráfica 4.4.2 Comparación de ensamble por método manual y automático del modelo 642.
Fuente: Por el autor.