

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR D'ALCOI

**Automatización del proceso de fabricación de tarrinas
de helados**

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Eléctrica

Autor: Jonathan Domenech Peiró

Tutor: Adolfo Hilario Caballero

Cotutor: Miguel Pareja Aparicio

Convocatoria de defensa: Junio 2020

A mis compañeros por su apoyo durante todo el grado.

A mis profesores por transmitirme sus conocimientos.

A mi familia.

Contenido

1	OBJETIVOS	11
2	PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	12
3	ANTECEDENTES	19
4	JUSTIFICACIÓN	21
5	VIRTUALIZACIÓN DE LA PLANTA CON FACTORY I/O	22
5.1	SOFTWARE	22
5.1.1	Navegación	22
5.1.2	Crear una escena	24
5.1.3	Control manual	25
5.2	DISEÑO DE LA PLANTA	25
5.3	COMUNICACIÓN CON TIA PORTAL	27
5.3.1	Servidor OPC	27
5.3.2	Driver	28
5.4	PROGRAMACIÓN DE LA PLANTA	28
6	PROGRAMACIÓN CON TIA PORTAL	33
6.1	CREACIÓN DEL PROGRAMA	33
6.1.1	Nuevo proyecto	33
6.1.2	Configuración de dispositivos	33
6.1.3	Registro de las variables	34
6.2	METODOLOGÍA	36
6.3	ANÁLISIS DEL PROGRAMA	37
6.4	PANTALLA HMI	40
7	REALIZACIÓN FÍSICA DE LA PLANTA	42
7.1	CUADRO GENERAL	42
7.2	AUTÓMATA	44
7.3	PANTALLA HMI	44
7.4	PC	45
7.5	ENTRADAS	45
7.5.1	Sensor de visión artificial	45
7.5.2	Fotocélulas	45
7.5.3	Pulsadores y selectores	46
7.6	SALIDAS	46
7.6.1	Cintas transportadoras	46

7.6.2	Electroválvulas.....	47
7.6.3	Robots	48
7.6.4	Elementos de alarma.....	48
8	ESTUDIO ECONÓMICO.....	49
8.1	MANO DE OBRA PROGRAMADOR	49
8.2	PRESUPUESTO MATERIAL.....	49
9	CONCLUSIÓN	51
10	RECURSOS.....	52
	ANEXO I: PROGRAMA.....	53
	ANEXO II: TABLA DE VARIABLES DEL PROGRAMA.....	74
	ANEXO III: GRAFCET.....	78
	ANEXO IV: ESQUEMAS	82

Lista de figuras

Figura 1: Primera parte del proceso.....	13
Figura 2: Segunda parte del proceso.....	14
Figura 3: Tercera parte del proceso	15
Figura 4: Proceso en modo automático	16
Figura 5: Proceso en modo parada	17
Figura 6: Proceso en modo emergencia.....	18
Figura 7: Controles cámara Orbit	23
Figura 8: Controles cámara Fly.....	23
Figura 9: Controloes cámara primera persona	24
Figura 10: Herramientas Factory I/O.....	25
Figura 11: Vista de la planta por el operario.....	26
Figura 12: Tarima de control	27
Figura 13: Drivers Factory I/O	30
Figura 14: Configuración Factory I/O	31
Figura 15: Entradas y salidas del Factory I/O	32
Figura 16: Crear un proyecto en TIA Portal.....	33
Figura 17: Configuración de dispositivos TIA Portal.....	34
Figura 18: Menú variables PLC	35
Figura 19: Entradas y salidas de TIA Portal	36
Figura 20: Tipos de Grafcet	37
Figura 21: Bloques de programa	38
Figura 22: Comunicación HMI con PLC	41
Figura 23: Tabla variables HMI	41
Figura 24: Diseño de la pantalla	42
Figura 25: Diseño del cuadro de mando	43
Figura 26: Módulo E/S.....	44
Figura 27: Módulo analógico.....	44
Figura 28: PLC S7 1200	44
Figura 29: Fococélula	46

Resumen

La industria 4.0 está cada vez más implementada en las factorías, en el siguiente trabajo de fin de grado se ha diseñado y programado una automatización industrial.

Con un software de virtualización, se podrá analizar el correcto funcionamiento de la planta.

También se han realizado los esquemas de mando, fuerza y dos presupuestos, uno del material a utilizar y otro de la mano de obra del programador, así poder tener un estudio económico aproximado.

En este documento se podrán encontrar los pasos para crear la planta y realizar la programación.

Palabras Clave

Automatización; Producción; Industria 4.0; Factory I/O; PLC; Comunicación Industrial; TIA PORTAL

Abstract

Industry 4.0 is increasingly implemented in factories, in the following final degree project an industrial automation has been designed and programmed.

With virtualization software, the correct operation of the plant can be analyzed.

The command, strength and two budget schemes have also been made, one of the material to be used and the other of the programmer's workforce, in order to have an approximate economic study.

In this document you can find the steps to create the plant and perform the programming.

Keywords

Automation; Production; Industry 4.0; Factory I/O; PLC; Industrial communication; TIA PORTAL

1 Objetivos

El principal objetivo de este proyecto será realizar el diseño de una industria heladera con el software Factory I/O, así como su programación. La automatización se realizará utilizando un PLC, que dirigirá todo el proceso. El PLC se programará con TIA Portal.

El segundo objetivo será comunicar y simular el proceso a través de un servidor OPC, lo que nos hará ver la viabilidad y veracidad del sistema, así como provocar averías al proceso para comprobar la robustez de la automatización que hemos creado.

Lo que se pretende realizar, es una interfaz hombre-máquina para poder visualizar el proceso que se ha diseñado y programado previamente, lo que lo hace atractivo a la hora de mostrar a empresas las posibles modificaciones que se les podría realizar a sus máquinas, o incluso el incorporar nuevas automatizaciones a su industria.

Se realizará una parte de lo que podría ser una cadena entera de producción, en este apartado, se quiere disminuir lo máximo posible la presencia de operarios, sobre todo en trabajos repetitivos, lo que nos hará añadir el uso de la robótica a nuestro sistema.

Se quiere crear 2 modos principales:

- Modo manual: el operario tendrá el control de determinados actuadores, se hará desde el cuadro de mando, separado por un espacio habilitado para el usuario, este modo nos servirá para detectar fallos y facilitar algunas averías al equipo de mantenimiento.
- Modo automático: el responsable de la producción deberá elegir el sabor del helado a producir, y el operario se encargará de iniciar la marcha y controlar el proceso, pudiendo detener el proceso de distintas formas, según sus intereses.

Este proyecto quiere implementar la industria 4.0 en particular, gracias a las nuevas tecnologías, y en concreto, al software de simulación que hemos utilizado. Podremos saber si un proceso que se ha diseñado va a ser mejor o peor, lo que hace que la inversión que se vaya a realizar tenga mayor cantidad de éxito.

2 Presentación del proyecto

Cuando automatizamos este tipo de procesos, hacemos más fácil y menos pesado su labor en la máquina, disminuyendo los trabajos físicos al implementar el uso de la robótica, y también, reduciendo la capacidad para sufrir accidentes laborales. En este proceso, el operario sólo interactuará con la automatización por medio del cuadro de mando.

La automatización se va a realizar con la tecnología de los PLC's, en su interior se ubicará el programa que previamente se ha creado desde el software de programación TIA Portal, que se irá ejecutando continuamente a una velocidad muy rápida. Al PLC, irán conectados todos los elementos de la planta, lo que llamaremos, entradas y salidas, que más adelante se explicarán con detalle. La automatización incluirá una pantalla HMI, que se comunicará mediante Ethernet al autómeta.

En este trabajo de fin de grado, se ha diseñado y programado un modelo de producción de tarrinas de helado con base de galleta. Se quiere aprovechar una misma automatización para producir dos sabores diferentes, sin necesidad de tener dos líneas de producción iguales. Este modelo nos hace tener un control más detallado de las unidades que producimos.

La planta dispondrá de un conjunto de cintas transportadoras, una de ellas, está compuesta por tres electroválvulas, una de carácter general, que dispensará una base de galleta, y las dos restantes de dos sabores diferentes.

Desde una pantalla HMI, se indicará que sabor queremos producir, también se pueden elaborar los dos sabores a la vez con la opción de una entrada aleatoria de las tarrinas. Al principio de la automatización, se encuentra un sensor de visión, que detectará el color de la tarrina, con lo que el proceso activará la electroválvula de un sabor u otro.

La figura 1 nos muestra la primera parte del proceso.



Figura 1: Primera parte del proceso

El tipo de sabor lo vamos a caracterizar por el color de la tarrina, el programa realizará unas acciones u otras dependiendo del color que ha detectado el sensor de visión artificial, ya que más delante de la automatización se colocará en la cinta correspondiente.

Una vez la tarrina se haya llenado con la base de galleta y uno de los dos sabores, pasará a la próxima estación, el tapado del helado. Con la ayuda de un pistón, la tarrina se colocará justamente en la posición donde un robot la tapará. Una vez se haya realizado esta operación, pasará a la siguiente cinta.

La figura 2 nos muestra la segunda parte del proceso.

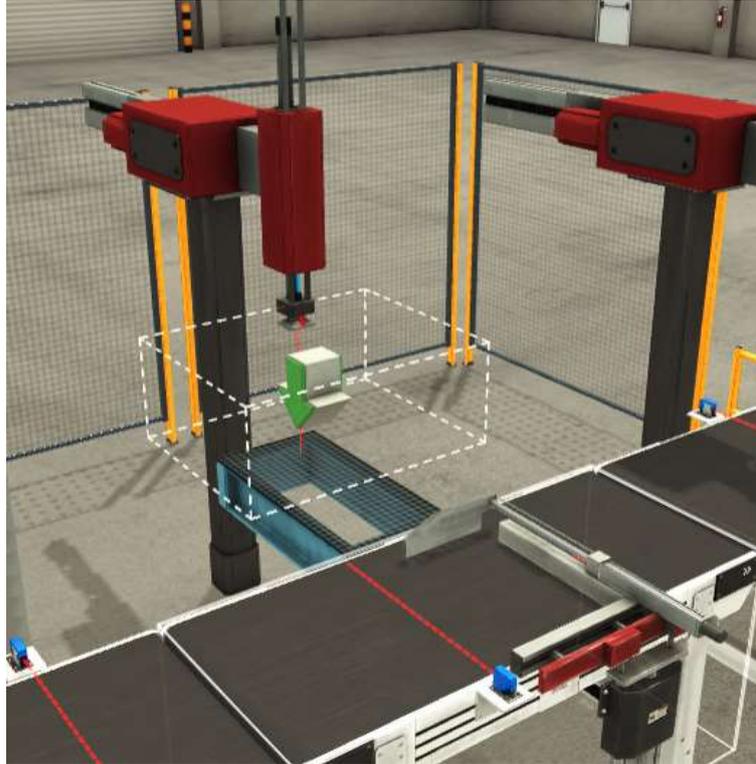


Figura 2: Segunda parte del proceso

En la última parte del proceso, un robot colocará la tarrina tapada en su cinta correspondiente, donde ésta dará por finalizado el proceso, bien porque la tarrina podría pasar a otra estación o simplemente porque un operario la retire. Dos fotocélulas contarán los diferentes helados que se han producido.

El responsable de producción reiniciará los contadores de los helados con un pulsador en el cuadro de mando.

La figura 3 muestra la última parte del proceso.



Figura 3: Tercera parte del proceso

En resumen, se pueden identificar 3 estaciones dentro de esta automatización:

1. Llenado
2. Tapado
3. Separación de sabores

Se han creado dos modos principales de funcionamiento: manual y automático, dependiendo de la posición de un selector, estaremos en un modo u otro. Un piloto de tres colores nos indicará en la automatización en qué modo nos encontramos. También se han programado diferentes tipos de paradas, a continuación, se explicarán los modos y sus diferentes paros.

Modo manual: cuando el selector está en modo manual, el piloto tendrá un color amarillo, en esa condición, desde el cuadro de mando, se pueden accionar tres pulsadores de color amarillo, marcha de todas las cintas, bajar y subir los dos robots, y llevar los robots hacia delante o atrás. Este modo nos sirve para cerciorarse de que los actuadores funcionan correctamente, entre otras ventajas, como poder encontrar averías de la planta que vengan originadas por uno de esos actuadores.

Mientras tengamos el pulsador de paro pulsado, no irá ninguno de los elementos, al igual que cuando activemos la seta de emergencia.

Modo automático: cuando el selector está en modo automático, el piloto tendrá una luz verde, el proceso empezará cuando pulsemos la marcha (pulsador verde). Empezarán a salir piezas del color seleccionado, dependiendo del color que detecte el sensor de visión, el proceso se ejecutará de una manera u otra, siguiendo las 3 claras estaciones explicadas anteriormente.

La figura 4 nos muestra el proceso funcionando en modo automático, en esta ocasión van entrando piezas de manera aleatoria, y la automatización se comporta de manera diferente ante los distintos colores que lee el sensor de visión. En el apartado de la programación de TIA Portal se explicará cómo se ha realizado esta instrucción.



Figura 4: Proceso en modo automático

En el modo automático se han creado tres tipos de paradas, según el interés del operario, estas son:

1. **Paro (botón rojo):** este pulsador parará la cinta inicial y la de las electroválvulas que llenan el envase. Cuando le demos al botón verde de marcha, el proceso seguirá por donde se había quedado.

En la figura 5 podemos ver la máquina al accionar el pulsador de paro, las cintas que llenan las electroválvulas están paradas, el robot que tapa las tarrinas esperando a que le llegue la pieza y el piloto de paro encendido.

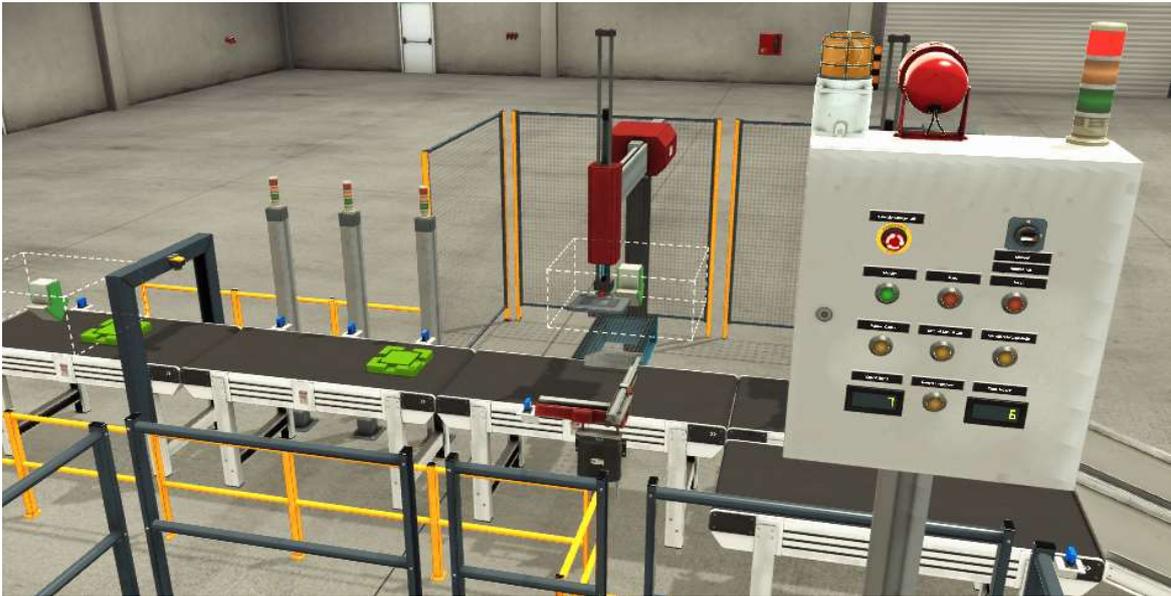


Figura 5: Proceso en modo parada

2. **Paro por selector + paro reset (botón rojo reset):** si estamos en funcionamiento automático y giramos el selector a manual, dejarán de entrar cajas y se terminarán de producir las unidades que se encuentran en las cintas. Una vez no queden helados, pulsando el botón de reset se pararán las cintas. Este paro se puede utilizar cuando se finalice la jornada o se llegue al número de tarrinas requeridas.
3. **Paro de emergencia (Setas):** este paro de emergencia parará todo, dejando las partes que podrían causar atrapamiento de la manera más pasiva posible. Cuando se pulse la seta de emergencia, los robots subirán sus brazos, al igual que subirá el pistón que para las tarrinas. Las cintas y las electroválvulas se pararán. Una sirena sonará durante 3 segundos y una luz emitirá señales de emergencia, avisando al personal responsable de la planta ante posibles accidentes laborales o emergencias. Todo el proceso se detendrá y se deberán retirar todas las piezas de la automatización. Una vez esté todo en orden, se quitará la seta de emergencia, la planta volverá a su estado de reposo y tras pulsar el pulsador de marcha (verde) empezaremos de nuevo la producción.

La figura 6 nos muestra una imagen de la máquina en modo paro de emergencia, como se puede observar todos los elementos están de la manera más pasiva posible, las ventosas que estaban activadas permanecerán en su estado normal para evitar salpicaduras de helado por la instalación.



Figura 6: Proceso en modo emergencia

3 Antecedentes

Automatización industrial

La automatización industrial es el conjunto de elementos computarizados y electromecánicos que intentan operar con la mínima intervención del ser humano en un proceso relacionado con la industria.

Autómata

Según la RAE, un autómata es un instrumento o aparato que encierra dentro de sí el mecanismo que le imprime determinados movimientos.

Historia de los automatismos industriales

Desde el principio de la historia el ser humano ha realizado tareas repetitivas, con el paso del tiempo ha querido facilitar sus labores con el uso de máquinas, bien para su entretenimiento, labores cotidianas o laborales.

Desde la llegada del Telar de Jacquard en la revolución industrial, ya se empezaron a desarrollar nuevos métodos de trabajo para mejorar, agilizar e incrementar la producción. Más tarde se incorporaron los automatismos a las industrias metalúrgicas y mineras.

A partir del siglo XX los sistemas automatizados se incrementaron por la industria del automóvil, gracias a esta industria, se empezaron a desarrollar los autómatas programables, ya que las instalaciones que controlaban las fábricas de automóviles implicaban un esfuerzo muy grande de instalación, dificultad en la búsqueda de averías y muchos más problemas relacionados con el cableado y los elementos que los conformaban.

Sobre 1960, Bedford Associates introdujo por primera vez los autómatas programables. Bedford propuso al fabricante de automóviles General Motors, un sistema de control digital modular. Bedford Associates no era la única compañía que estaba trabajando en la creación de autómatas programables. El MODICON 084 fue el primer PLC en comercializarse.

En 1973 se empezaron a incorporar las comunicaciones a los autómatas, el Modbus de Modicon, fue el primer bus de comunicaciones, esto fue un gran avance para la industria automática ya que ahora los PLC's podrían compartir información con otros PLC's.

En los años 80 las dimensiones de los PLC's se redujeron. Se empezaron a realizar programaciones simbólicas desde ordenadores personales. En estos años se intentó estandarizar el protocolo MAP (Manufacturing Automatio Protocol).

Gracias a todo este camino tecnológico, hoy en día tenemos varios protocolos de comunicación, marcas de autómatas, diferentes formas de programar y un campo infinito de aplicaciones a desarrollar dentro del campo de los automatismos.

El trabajo final de grado “Automatización del proceso de fabricación de tarrinas de helado”, es un proyecto nuevo. Una máquina creada para producir helados, donde no es ninguna modificación de otro automatismo, sino una parte de lo que podría ser un proceso completo de fabricación.

Se ha realizado sin seguir ningún otro sistema de producción, lo que podría ser una nueva forma de automatizar, programar y simular una industria de este ámbito.

4 Justificación

La justificación de este proyecto se basa en la importancia que tiene simular un proceso que se ha diseñado y programado previamente para ver la viabilidad de este. Se ha creado una automatización que produce helados, pero con el mismo programa y diseño se podría aplicar a diversos campos, desde el envasado de alimentos al envase de distintos materiales.

La programación de autómatas es imprescindible en la industria que hoy tenemos, es por eso por lo que es muy interesante poder simular un proceso antes de llevarlo a cabo. Para las empresas que dedican su trabajo a las automatizaciones, puede ser muy interesante el poder mostrar a sus clientes cómo va a funcionar la máquina que han encargado o que el ingeniero piense que podría venirle bien a su industria.

Antes de realizar la inversión de una nueva máquina o modificación, siempre existen dudas de si será rentable, tendrá una producción adecuada, será lo bastante autónoma como para no dedicar muchos operarios, será lo bastante segura para no causar accidentes laborales etc.

Es obvio pensar que se podría llegar a perder el tiempo al crear una planta y simularla, sin siquiera saber si se va a llevar a cabo. Hay que tener en cuenta, que es una manera interesante de presentar un nuevo proyecto a nuestro cliente. Se incrementaría notablemente la posibilidad de que te den un trabajo a ti, antes que a otro programador que explica un proceso, que, en ocasiones, el cliente no se puede llegar a imaginar.

También existe la posibilidad de mostrarle el diseño que podría tener la nueva máquina, y no programarla, dejar esa labor para más tarde si vemos la conformidad del cliente.

Otra ventaja que tiene esta simulación es que una vez el cliente nos apruebe el funcionamiento “virtualmente”, ya tendremos la programación realizada, es decir, sólo bastará realizar el montaje mecánico, conectar todos los elementos al autómata y ajustar y poner en marcha la automatización, como generalmente se hacen todas las nuevas automatizaciones.

El uso del software de simulación Factory I/O, te puede servir como entrenamiento para programar correctamente, teniendo en cuenta posibles fallos, averías o simplemente detalles que no te imaginas cuando estas programando. Te hace mejorar como programador, ya que estás programando y poniendo en marcha un proceso real, pudiendo hacer todos los ensayos que quieras sin causar ninguna avería, ni gastar materia prima.

La justificación de incorporar el software Factroy I/O al trabajo de fin de grado, radica en la comprobación del programa que se ha realizado con TIA Portal.

5 Virtualización de la planta con Factory I/O

Cuando se realiza la programación de un PLC, la mayoría de los softwares disponen de algún tipo de simulador donde puedes activar o desactivar las salidas. En algunos casos incluso puedes ver una luz de los actuadores, lo que ayuda al programador a comprobar el funcionamiento del software que ha realizado.

En la mayoría de las ocasiones, para los programadores con menos experiencia es normal que sus programas tengan errores y al ponerlos en marcha no se ejecute como ellos creían, es por eso la importancia que tiene una buena simulación.

Con Factory I/O, aparte de crear nuestras escenas, podremos comprobar nuestros programas realizados.

5.1 Software

Factory I/O es un software de automatización en tiempo real de la compañía Real Games, se pueden crear y simular sistemas industriales, así como comunicarlos con los autómatas de diversas marcas. Esta simulación incluye gráficos de alta calidad y sonido, creando una planta lo más parecida a la realidad.

Este programa utiliza una tecnología innovadora, permitiendo crear fácil y rápidamente sistemas industriales en 3D. Desde el menú de este software puedes escoger y arrastrar cualquier elemento de la biblioteca y animarlo con una correcta programación. Cualquiera de los sistemas construidos se puede controlar en tiempo real con una adecuada conexión, desde PLC's, relés programables, microcontroladores...

Factory I/O es una herramienta para aprender y mejorar la programación. Es muy útil para la enseñanza de futuros ingenieros ya que dispone de muchos componentes. Se pueden crear diferentes diseños, infinitas automatizaciones, esto hace de Factory.io una herramienta muy útil para programadores que quieren hacer una simulación real de sus proyectos y analizar su comportamiento.

5.1.1 Navegación

Una de las cosas más importantes para aprender en Factory I/O es como utilizar sus cámaras. Las cámaras se utilizan para navegar en la planta 3D, son de gran importancia para construir o modificar las escenas. Se pueden usar tres tipos de cámaras:

1. **Cámara en órbita:** la cámara Orbit es la predeterminada, es la única cámara que le permite moverse a través de partes sin chocar con ellas.

La figura 7 nos muestra cómo se controla la cámara Orbit

Controlar	Acción
LMB doble	Establece el punto de interés de la cámara. La cámara rotará alrededor de este punto y se crearán nuevas piezas a esta altura.
RMB + Arrastrar	Gira la cámara alrededor del punto de interés.
MMB + Arrastrar	Traduce la cámara horizontalmente.
Rueda de ratón	Acerca y aleja la cámara.
Retroceso	Restablece la cámara a la posición y rotación predeterminadas.

Figura 7: Controles cámara Orbit

2. **Cámara de vuelo:** la cámara Fly nos permite moverse libremente en el espacio 3D. A diferencia de la cámara en órbita, esta sí colisiona con las partes de la escena, pero los sensores no pueden detectarla.

La figura 8 no muestra cómo se controla la cámara Fly.

Controlar	Acción
LMB doble	Mira la cámara hacia donde apunta el cursor del mouse.
RMB + Arrastrar	Gira la cámara.
Rueda de ratón	Traduce la cámara verticalmente.
LMB + RMB	Mueve la cámara hacia adelante.
W Arriba	Mueve la cámara hacia adelante.
S Abajo	Mueve la cámara hacia atrás.
A Izquierda	Mueve la cámara hacia la izquierda.
D Derecha	Mueve la cámara hacia la derecha.

Figura 8: Controles cámara Fly

3. **Cámara en primera persona:** representa a una persona de 1.8m de altura. Se debe usar para simular a una persona interactuando por la industria, esta cámara choca con las

partes de la escena, y por defecto, no la detectan los sensores. Para configurar la detección de los sensores habrá que introducir en la consola del Factory I/O la instrucción **cámara camera.fp_detected = 1**.

La figura 9 nos muestra cómo se controla la cámara de primera persona.

Controlar	Acción
LMB doble	Mira la cámara hacia donde apunta el cursor del mouse.
RMB + Arrastrar	Gira la cámara.
LMB + RMB	Se mueve hacia adelante.
W	Se mueve hacia adelante.
S	Se mueve hacia atrás.
UNA	Strafes izquierda.
re	Strafes a la derecha.
Espacio	Saltos

Figura 9: Controloes cámara primera persona

5.1.2 Crear una escena

Factory I/O viene con 21 escenas prediseñadas, se puede acceder desde el menú principal en la pestaña Escenas.

Factory I/O incluye una gran variedad de piezas inspiradas en los equipos industriales más comunes. Se puede crear una escena virtual colocando y ordenando las piezas. Para crear una nueva escena se seguirán los siguientes pasos:

1. Hacer clic en Archivo, elegir Nuevo para crear una nueva escena.
2. Una vez se tiene la planta vacía, en la barra de herramientas se encuentra un cuadrado formado por pequeños cuadrados, ahí se ubican todas las piezas que podemos utilizar y animar.

La figura 10 nos muestra el icono de la paleta, donde se ubican todas las piezas.

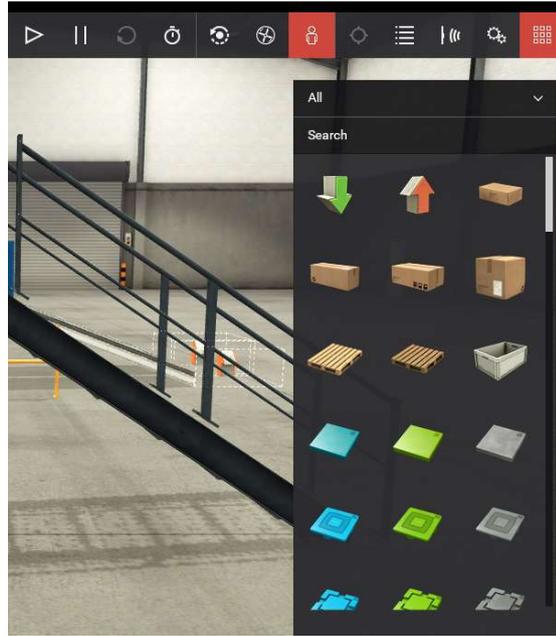


Figura 10: Herramientas Factory I/O

3. Dentro de este menú 7 estando en la opción All, se puede encontrar sensores y actuadores, haciendo clic en cualquier pieza se podrá colocar en la escena.
4. Estas piezas se podrán girar y ubicar a placer del usuario, con botón derecho en la pieza se modifican sus características (Rotación, subirla o bajarla, cambiar su color...). Dependiendo del tipo de pieza tendrá unas características u otras.

5.1.3 Control manual

Antes de empezar a interactuar con la escena, es recomendable probar todos los elementos que se han instalado. Una vez se tenga la planta diseñada, podremos forzar los actuadores que hemos instalado, pulsando el play, y haciendo clic en el botón Etiquetas de actuadores, podremos forzar los actuadores de nuestra lista. Se recomienda cambiarles el título a estas etiquetas para manejarse mejor con esta tabla.

Más adelante se explicará como comunicar la planta con el PLC.

5.2 Diseño de la planta

Es muy importante que una automatización tenga una buena estructura. Cuando se va a diseñar una planta industrial, se debe tener en cuenta factores como la seguridad, eficiencia, ergonomía, normativa, aprovechamiento del espacio...

La planta que se ha diseñado en esta automatización tiene como principal objetivo la seguridad del trabajador. A diferencia de muchas máquinas, en esta el operario va a trabajar desde una

estructura totalmente separada de la automatización, pero con una visión directa y desde la altura. Gracias a este sistema, el trabajador tendrá un campo de visión mayor, pudiendo divisar casi todo el proceso a la vez. Esto tiene la ventaja de que tendremos un mayor control de la cadena de producción.

La figura 11 nos muestra la escena que se ha creado, con la vista en primera persona de lo que podría ser el operario encargado de controlar la máquina.



Figura 11: Vista de la planta por el operario

Con el diseño de la planta que se ha realizado, el operario reducirá las posibilidades de sufrir accidentes laborales, sólo permitiendo el paso a la planta al personal técnico cualificado, como puede ser el personal de mantenimiento.

En la plataforma se ubicará el cuadro de mando que permitirá el control total del proceso sin necesidad de mover ni una sola tarrina. Desde el despacho de producción y a través de una pantalla HMI, se escogerá el sabor de helado a producir, con lo que de lo único que se tiene que encargar el operario de la máquina es de revisar que el funcionamiento de ésta sea el normal. El trabajador, interactuará con el cuadro de mando para poner en marcha el modo automático, realizar las paradas necesarias y controlar la producción.

La figura 12 nos muestra la tarima donde se ubicará el operario y el cuadro de mando.



Figura 12: Tarima de control

5.3 Comunicación con TIA Portal

La comunicación de los dos softwares TIA Portal y Factory I/O se realizará a través de la tecnología de un servidor OPC.

5.3.1 Servidor OPC

OPC (Open Platform Communications) es el estándar de interoperabilidad para el intercambio seguro de datos en campos de automatización industrial y otras industrias. OPC garantiza el flujo continuo de información entre dispositivos de múltiples proveedores. La fundación OPC se encargar de desarrollar y mantener este estándar.

Este estándar se lanzó por primera vez en 1996. Su misión era encargarse de los protocolos específicos de los PLC's (Modbus, Profibus etc.) en una interfaz que permitiera a los sistemas HMI o SCADA interactuar con el autómata.

Un servidor OPC es un controlador de tipo software de aplicación que integra al menos una de las especificaciones que la OPC Foundation Define. Existen diversas versiones de OPC server.

La función principal de un servidor OPC es hacer de interfaz de comunicaciones con diversas fuentes de datos mediante protocolos nativos del tipo PLC, DCS, módulos de entradas/salidas...

La comunicación es bidireccional entre el cliente y el servidor, esto tiene la ventaja de poder leer y escribir.

Existen cuatro tipos de servidores OPC:

1. **DA:** Está basado en Data Access. Está diseñado principalmente para transmitir datos en tiempo real.
2. **HDA:** Está basado en un software que da datos históricos al cliente OPC.
3. **A&E:** Está basado en Alarmas & Eventos, su función es transferir alarmas y eventos al cliente
4. **UA:** Está basado en Arquitectura Unificada. Es el más completo y novedoso, el servidor puede trabajar con cualquier tipo de dato.

5.3.2 Driver

El controlador que se va a elegir proporciona conectividad con Siemens S7-PLCSIM. Se puede utilizar para controlar Factory I/O con S7-PLCSIM v5/v13/v14/v15 a través de TIA Portal.

Desde la página oficial de Factory I/O nos podemos descargar la configuración de S7-PLCSIM, el contenido es un software en formato .ap14, dentro de este programa se encuentra la configuración para comunicar a través de un servidor OPC, los softwares TIA Portal y Factory I/O.

5.4 Programación de la planta

En este trabajo de fin de grado, la programación de la planta ha sido lo que primero se ha realizado, antes que la programación del software de programación.

Para entender el programa hay que tener en cuenta varios conceptos.

Entradas

Las entradas son los dispositivos del proceso que intercambian o envían señales al PLC, manejando datos digitales o analógicos. Gracias a estos dispositivos sabemos si en nuestro proceso hay o no una pieza, incluso, con los sensores más modernos, hasta el color y la forma de esta.

Podemos conocer diferentes condiciones del entorno como la temperatura, posición, presión, presencia de materiales féreos. Entre estos dispositivos se pueden encontrar sensores inductivos, ópticos, pulsadores, selectores, enconders, sensores de visión, etc.

Las entradas se pueden dividir en dos grandes grupos:

- **Entradas Digitales:** también se llaman binarias o todo o nada, sólo puede tomar dos estados, “1” o “0”. El PLC sabe cuándo tiene un 1 cuando le llega tensión a una entrada determinada. Esta tensión dependiendo del modelo del PLC puede ser continua o alterna. Estas señales las trata el PLC y se las adapta para poder interpretarlas.
- **Entradas Analógicas:** admiten como señal de entrada valores dentro de un rango, por ejemplo, de 4 – 20 mA, 0-5 V. Estos valores son escalados y convertidos para que se puedan convertir en un número y poder ser tratados por el PLC.

Salidas

Las salidas son dispositivos que responden a las señales que reciben desde el PLC, dentro de las salidas de nuestra automatización tenemos:

- **Actuadores:** Dispositivos cuya función es proporcionar fuerza para mover o actuar a otro dispositivo mecánico, en nuestro caso las cintas y nuestros pistones neumáticos.
- **Elementos de iluminación y sonido,** como podrían ser las sirenas, lámparas, pilotos etc.
- **Electroválvulas:** Encargadas de controlar el flujo de todo tipo de fluidos, de un sitio a otro.

Controladores de Entradas / Salidas

Un controlador de E/S es una función integrada que es responsable de “hablar” con un controlador externo. Factory.io incluye varios controladores para tecnología diferentes.

Para elegir un controlador, hacer clic en Archivo > Drivers. Una vez dentro seleccionaremos la tecnología que se desea utilizar.

La figura 13 muestra la opción que se ha elegido para la realización de este proyecto.

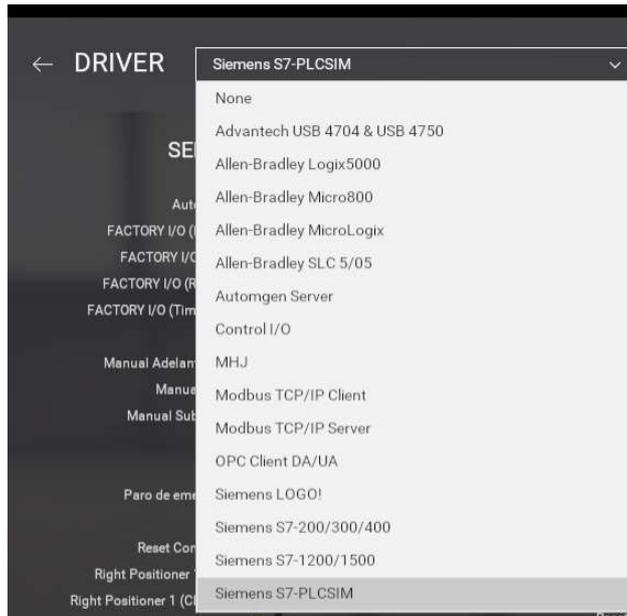


Figura 13: Drivers Factory I/O

Después de haber elegido la tecnología, es hora de configurar el PLC, esto conlleva asignarle el número de entradas, salidas y el tipo de dato de estas. Se elegirá también el PLC que se utilizará desde la plataforma de TIA Portal, de no hacerlo no lograremos comunicar con el software de Siemens.

Haciendo clic en Configuration, accederemos al menú de configuración de nuestra escena con el futuro autómatas a comunicar.

La figura 14 muestra la configuración que se ha elegido, como se puede observar también se han utilizado entradas y salidas analógicas. La entrada analógica se ha utilizado para obtener los datos desde el sensor de visión y las salidas analógicas para enviar los datos a los displays que nos cuentan los sabores producidos.

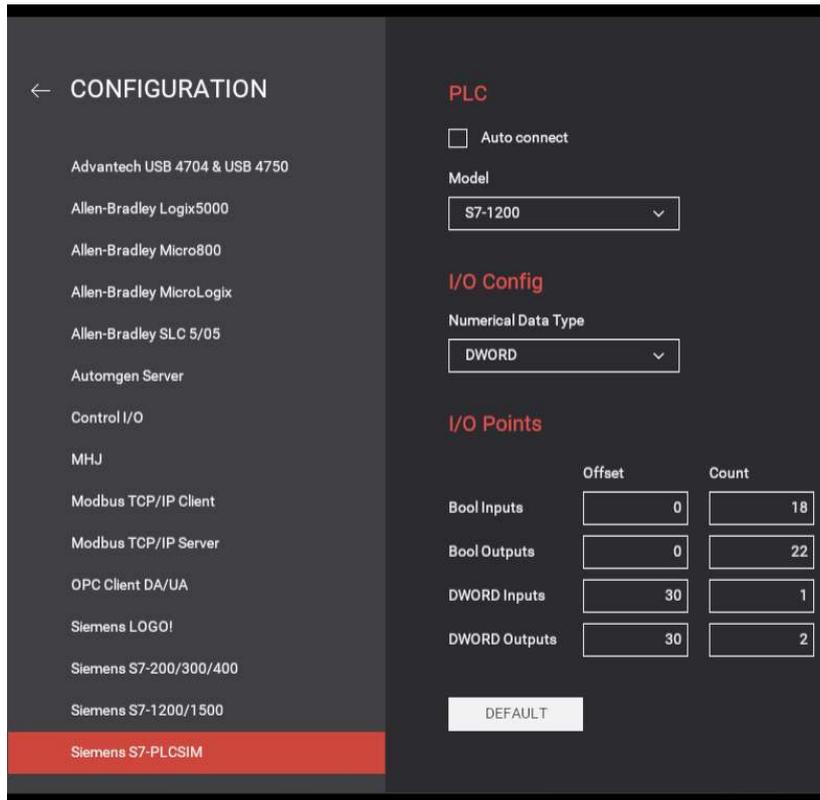


Figura 14: Configuración Factory I/O

Una vez se ha elegido la configuración que se quiere utilizar, es turno de la asignación de etiquetas que previamente se habían modificado su nombre para su mejor comprensión.

El proceso para vincular los componentes que se han introducido a la planta, con el autómatas virtual creado es el siguiente.

En el lado izquierdo tendremos las entradas y en el derecho las salidas, haciendo clic y manteniendo pulsado la etiqueta habrá que arrastrarlo hasta el área de memoria del PLC. Esas entradas y salidas habrá que apuntarlas, ya que más adelante cuando se cree la tabla de entradas y salidas del autómatas, se tendrán que poner la misma dirección que en este PLC, ya que será el valor que lea el autómatas.

El PLC trabajará con la planta virtual leyendo y trabajando con las entradas y salidas vinculadas.

La figura 15 nos muestra la asignación que se ha realizado para este trabajo de fin de grado.

S. Inicio Cinta	%I0.0	%Q0.0	Cinta inicio
S. Galleta	%I0.1	%Q0.1	Colocador
S. Sabor 1	%I0.2	%Q0.2	Cinta 1
S. Sabor 2	%I0.3	%Q0.3	Cinta A
S. Tapa	%I0.4	%Q0.4	Cinta B
S. conta verde	%I0.5	%Q0.5	Valvula galleta
S. Robot Selección	%I0.6	%Q0.6	Valvula sabor 1
Reset Contadores	%I0.7	%Q0.7	Valvula sabor 2
Manual	%I1.0	%Q1.0	Bajar R.Tapa
Automático	%I1.1	%Q1.1	Adelante R.Tapa
Paro de emergencia	%I1.2	%Q1.2	Bajar R.Separador
Paro	%I1.3	%Q1.3	Adelante R.Separador
Marcha	%I1.4	%Q1.4	Ventosa R.Tapa
Manual Cintas	%I1.5	%Q1.5	Ventosa R.Separador
Manual Subir/Bajar	%I1.6	%Q1.6	Entrada Base
Manual Adelante/Atrás	%I1.7	%Q1.7	Entrada Tapa
Reset	%I2.0	%Q2.0	Cinta 2
S. conta azul	%I2.1	%Q2.1	Luz auto
Vision Sensor 1 (Value)	%ID30 (DINT)	%Q2.2	Luz manual
		%Q2.3	Luz paro
		%Q2.4	Luz paro emergencia
		%Q2.5	Sirena emergencia
	(DINT) %QD30		Cont Sabor 1
	(DINT) %QD34		Cont Sabor 2

Figura 15: Entradas y salidas del Factory I/O

Como se puede observar en la figura, hay algunas etiquetas que tienen encendido una luz verde, eso significa, que en el estado que tiene están activadas, esto puede ser un pulsador NC, la posición de un selector.

6 Programación con TIA Portal

La programación se ha realizado en el software TIA Portal del fabricante Siemens.

6.1 Creación del programa

6.1.1 Nuevo proyecto

Cuando abrimos TIA Portal (es recomendable abrirlo como administrador), nos encontramos el siguiente entorno: lo primero que hay que hacer es darle un nombre al proyecto, indicar la versión ha utilizar y darle a crear.

La figura 16 presenta el aspecto y la versión utilizada para crear este proyecto.

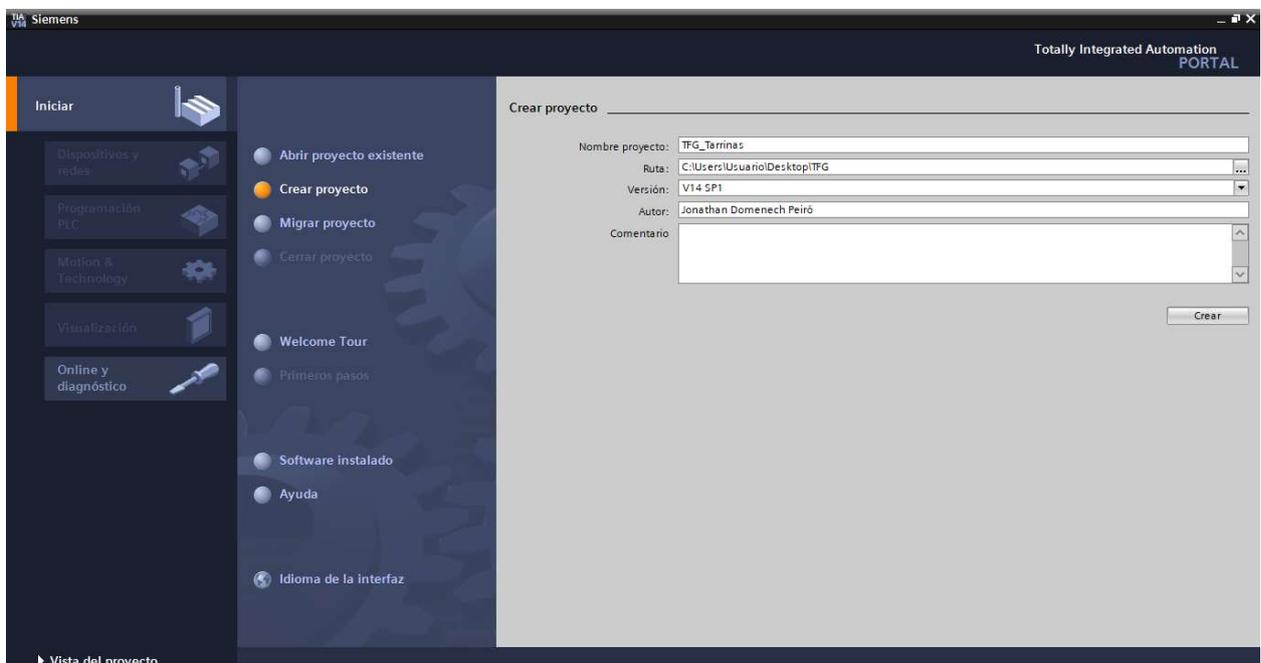


Figura 16: Crear un proyecto en TIA Portal

6.1.2 Configuración de dispositivos

Antes de programar, se tendrá que configurar todos aquellos elementos que se deseen utilizar en función de los requisitos de la automatización a realizar.

En el caso de este proyecto al tener un número mayor de entradas y salidas del que la CPU puede soportar, se han añadido expansiones.

A continuación, se indica cómo configurar los dispositivos:

Estando en el menú principal en el apartado de dispositivos habrá que hacer doble clic en agregar dispositivo, ahí deberemos buscar todos los componentes que se quieran utilizar y añadirlos. Hay que asegurarse que sean compatibles entre ellos.

Desde TIA Portal se pueden añadir dos tipos de dispositivos principales, los autómatas y las pantallas HMI.

La siguiente imagen, corresponde a la configuración del PLC utilizado en este trabajo de fin de grado.

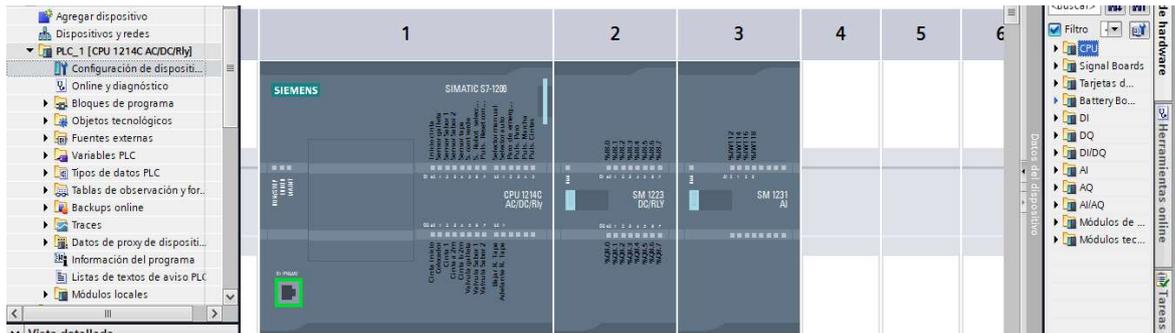


Figura 17: Configuración de dispositivos TIA Portal

Como se puede observar se han añadido tres dispositivos dentro de la configuración del PLC. En la parte derecha de la imagen se puede ver un menú desplegable, ahí se encuentran todos los dispositivos disponibles.

En nuestro caso se ha elegido los siguientes dispositivos:

- PLC S7 1200: 6ES7 214-1BG40-0BX0 (Autómata)
- PLC S7 1200: 6ES7 214-1BG40-0BX0 (Módulo de expansión I/O)
- 231-4HD32-0XB0 (Modulo de entradas analógicas)

Para configurar la pantalla HMI, habrá que realizar los mismos pasos que cuando hemos añadido el autómata, lo que ahora en vez de la opción del PLC habrá que elegir la opción de la pantalla.

En este proyecto la pantalla HMI que se ha elegido es la 6AV2 123-2DB03-0AX0, las características de esta se especificarán en apartados posteriores.

6.1.3 Registro de las variables

Cuando tenemos todos los dispositivos configurados, es hora de realizar uno de los pasos más importantes del programa, asignar las variables de entrada y salida del sistema. Es decir, las

entradas y salidas que se han creado en Factory I/O habrá que numerarlas e introducir las una a una en la dirección que le hemos asignado en el autómata del Factory I/O.

Desde el menú dispositivos > Variables PLC, se han creado dos listas de variables haciendo clic en agregar tabla de variables. Los nombres que se le han puesto a las tablas han sido Entradas y Salidas.

La figura 18 nos muestra la ubicación de este menú y las dos tablas que se han creado. Como se puede observar después del nombre de la tabla hay un número entre corchetes, este número nos indica la cantidad de variables que dispone esa tabla. Existe otra tabla que se genera automáticamente por el programa (Standard-Variablen-tabelle). En su interior se encuentran todas las variables o marcas que se han creado para hacer las operaciones lógicas o almacenar datos entre otras funciones.

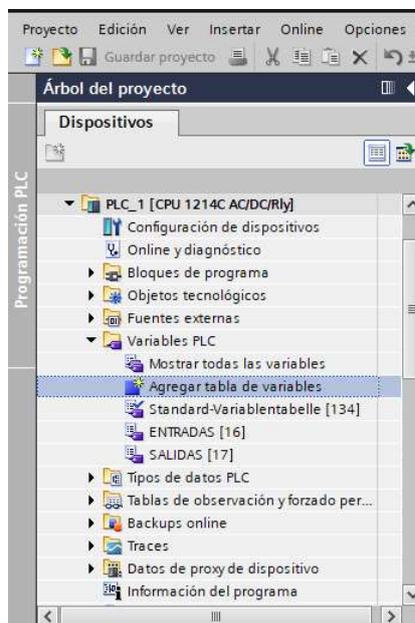


Figura 18: Menú variables PLC

Dentro del menú Entradas se han introducido todas las variables en sus correspondientes direcciones, que nos darán información acerca del proceso.

Como hemos visto en la figura anterior tenemos 16 entradas en nuestro sistema, con lo que hemos tenido que añadir una expansión de ocho entradas digitales y ocho salidas a relé.

En esta automatización se han utilizado 17 salidas, al igual que con las entradas se ha tenido que añadir la expansión conjunta de entradas y salidas.

En las expansiones, tanto las entradas como las salidas, tiene un número de direcciones que no serían las adecuadas a ese módulo de expansión, pero en el autómata ficticio de Factory I/O las

entradas van consecutivas, en el caso de ponerlo en práctica, tan solo habría que cambiar el número de la dirección a la que la expansión corresponda.

La figura 19 nos muestra las direcciones de las entradas y salidas, así como sus nombres y el tipo de dato.

ENTRADAS				SALIDAS			
	Nombre	Tipo de datos	Dirección		Nombre	Tipo de datos	Dirección
1	Inicio cinta	Bool	%I0.0	1	Cinta inicio	Bool	%Q0.0
2	Sensor galleta	Bool	%I0.1	2	Colocador	Bool	%Q0.1
3	Sensor Sabor 1	Bool	%I0.2	3	Cinta 1	Bool	%Q0.2
4	Sensor Sabor 2	Bool	%I0.3	4	Cinta a 2m	Bool	%Q0.3
5	Sensor tapa	Bool	%I0.4	5	Cinta b 2m	Bool	%Q0.4
6	S. cont verde	Bool	%I0.5	6	Valvula galleta	Bool	%Q0.5
7	S. Robot seleccion	Bool	%I0.6	7	Valvula Sabor 1	Bool	%Q0.6
8	Puls. Reset contador	Bool	%I0.7	8	Valvula Sabor 2	Bool	%Q0.7
9	Selector manual	Bool	%I1.0	9	Bajar R. Tapa	Bool	%Q1.0
10	Selector auto	Bool	%I1.1	10	Adelante R. Tapa	Bool	%Q1.1
11	Paro de emergencia	Bool	%I1.2	11	Bajar R. Separa	Bool	%Q1.2
12	Puls. Paro	Bool	%I1.3	12	Adelante R. Separa	Bool	%Q1.3
13	Puls. Marcha	Bool	%I1.4	13	Ventosa R. Tapa	Bool	%Q1.4
14	Puls. Cintas	Bool	%I1.5	14	Ventosa R. Separa	Bool	%Q1.5
15	Puls. Subir Bajar	Bool	%I1.6	15	Entrada tarrina	Bool	%Q1.6
16	Puls. Adelante Atras	Bool	%I1.7	16	Entrada tapa	Bool	%Q1.7
				17	Cinta 2	Bool	%Q2.0

Figura 19: Entradas y salidas de TIA Portal

Una vez terminada la configuración podremos empezar a trabajar en el programa.

En el Anexo II se puede encontrar todas las variables del sistema que se han creado, desde las entradas y salidas hasta las marcas y temporizadores.

6.2 Metodología

La programación de esta automatización se ha realizado siguiendo los pilares de la metodología del grafcet.

El grafcet es un método gráfico nacido en Francia que permite representar automatismos secuenciales, hay que destacar que este método, no representa únicamente sistemas automatizados, sino cualquier cosa que sea secuencial.

Un Grafcet es una sucesión de etapas, cada etapa realiza una acción, entre dos etapas se encuentra una transición.

Existen muchos softwares de programación incluyen la opción de realizar el programa dibujando el propio Grafcet.

La figura 20 muestra tres tipos diferentes de realizar un Grafcet.

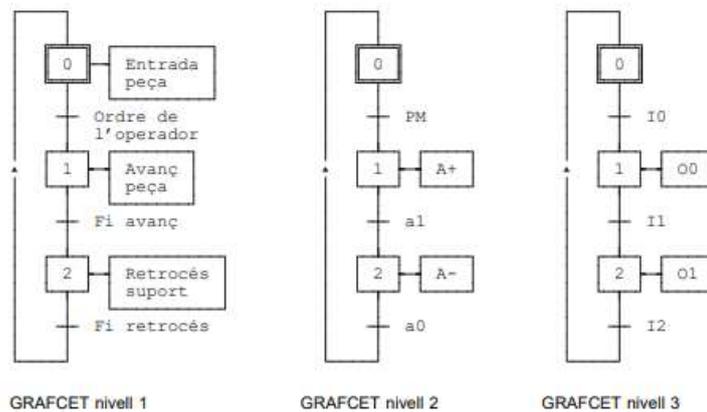


Figura 20: Tipos de Grafcet

En este proyecto al tener tantas etapas, transiciones y saltos entre varios modos de funcionamiento, se ha realizado un Grafcet general del proceso, y se ha ido modificando a gusto del programador, para hacer de este, un programa fluido y estable.

En el Anexo III se puede encontrar el Grafcet que explica el proceso realizado.

6.3 Análisis del programa

Para entender el programa hay que tener en cuenta una serie de conceptos:

- El programa se ha dividido en siete bloques de programa, de esta manera el programador realiza un trabajo más ordenado.
- La metodología que se ha utilizado ha sido basada en el Grafcet, pero no se ha realizado una programación puramente de este tipo.
- El programa se ha realizado activando y desactivando etapas con las instrucciones Set y Reset.
- La idea principal para entender la programación es que, la etapa X pone a set la próxima etapa, también pone a set/reset los bits que se quiere activar/desactivar en esa parte del proceso y como último, se hace reset a sí misma.
- El bloque principal, que lo hemos llamado Main [OB1], se irá ejecutando cíclicamente, y dentro de él se encuentran los seis bloques FC que se explicarán a continuación.

La siguiente figura corresponde a los bloques creados en este proyecto, en el Anexo I se encuentra el programa completo que se ha realizado.

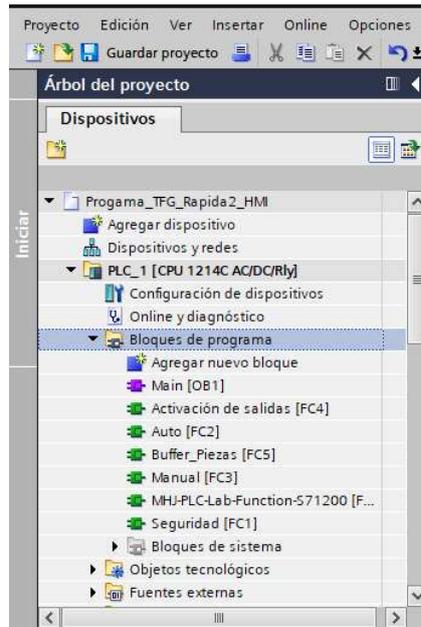


Figura 21: Bloques de programa

Los bloques de programa se han creado para tener un orden adecuado en el programa y poder detectar futuros errores o averías.

A continuación se explicarán de que están compuesto los bloques FC.

- Bloque de comunicación MHJ-PLC-Lab-Function-S71200 [FC9000]: este bloque contiene un programa en lenguaje SCL, este programa se genera automáticamente desde Factory I/O con lo que no se tendrá que tocar ningún parámetro.4
- Activación de salidas [FC4]: este bloque contiene una serie de bits asociados a la salida real del actuador (marcas que activan la bobina con la dirección real), únicamente puede existir la llamada a una dirección de salida, ya que el simulador lee la memoria del PLC, y si se han realizado operaciones llamando por ejemplo, dos veces a la salida Q0.1, el autómatas nos indicará el estado de la última posición en el programa de esa salida.
- Bloque Manual [FC3]: en este bloque se ha hecho la programación del modo manual de la máquina, cuando el selector está en modo manual, se activará una marca (bit), que se ha utilizado para crear la situación de manual, dependiendo de los pulsadores de manual que se accionen se activarán otros bits que estarán asociados a la activación de las salidas en el apartado activación de salidas [FC4].
- Bloque Automático [FC2]: este bloque es el más extenso, y de más dificultad de todo el proceso, regula todo el proceso automático. El bloque automático se ha construido siguiendo el graficet del Anexo 3.

Esta parte del programa realizaba dos tipos de programación, según el estado del sensor de visión, daba una señal al PLC, esta se trataba y se preparaba para por medio de un comparador, saber que tipo de pieza se tenía.

Dependiendo del tipo de pieza que se tenía se ejecutaba una parte del programa u otra, si la pieza era azul en la última estación (colocar la tarrina) el proceso no haría nada, es decir la dejaría pasar, en cambio si la pieza era verde se activaba esa parte del proceso.

Se han realizado dos programas diferentes para dos tipos de situaciones.

Se quería tener un proceso automático donde se produjera un flujo continuo de helados, esto implica que el proceso tendría que ser lo suficientemente rápido como para que las tres estaciones estuvieran trabajando simultáneamente.

Se programó de la manera siguiente, cuando el sensor de la electroválvula del sabor 2 dejara de detectar (contacto con flanco descendente), enviaría la señal de volver a sacar otra base de tarrina. Siempre teniendo en cuenta alguna incompatibilidad, como en este caso si había una pieza detectando por cualquier sensor de la cinta, el programa debería de esperar hasta que no existiera presencia de tarrina, de esta manera no causar errores en el sistema.

Este bloque se ha dividido en 6 segmentos, con esta partición se ha creado un segmento para cada parte del proceso, es decir:

1. Segmento 1: de la salida de la caja hasta la primera electroválvula (Electroválvula galleta)
2. Segmento 2: llenado electroválvula sabor 1
3. Segmento 3: llenado electroválvula sabor 2
4. Segmento 4: tapado de la tarrina
5. Segmento 5: colocación de la tarrina en su cinta
6. Segmento 6: incompatibilidades

Dentro del bloque incompatibilidades se encuentran operaciones lógicas para que el proceso no pierda el control a posibles averías, o saltos de programa no controlados.

Dependiendo de que tipo de pieza entraba, el dato se almacenaba en una pila FIFO, este lo que hacía era recorrer en una cadena binari

- Buffer de piezas [FC5]: dentro de este bloque de programa se controla el proceso de detección de colores del sensor de visión. Se ha creado un buffer de piezas en la posición MB100, este byte está formado por 8 bits, se ha programado para que cuando

la tarrina sea de color verde introduzca un "1" en esta cadena y cuando la pieza sea azul un "0". De esta manera se irá corriendo hacia la izquierda (por la función que se ha introducido) los 1 y los 0 por ese byte, la instrucción de mover el bit se la dará el sensor situado debajo del sensor de visión.

Esta instrucción es la más difícil del proceso, ya que van entrando piezas y los valores se van desplazando por la cadena, es por eso que se tiene que analizar la automatización y ver en que posición de la cadena tiene que intervenir cada actuador, los procesos de llenado y colocación de la tarrina son lo que necesitan esta información.

Siendo más específicos, la acción del llenado leerá el primer número de la cadena del buffer de piezas y la acción del colocado del helado leerá la segunda posición de la cadena.

- Seguridad [FC1]: este último bloque contiene los modos de funcionamiento y la seguridades del modo automático.

En primer lugar, los modos de funcionamiento se han programado creando marcas que se utilizarán como contactos para definir que se está en ese modo.

El modo seguridad del proceso automático, se encarga del paro normal del proceso y del paro de emergencia.

En el paro del proceso se ha hecho un breve programa adicional de lo que tiene que pasar, esto se ha realizado creando una marca y introduciéndola en las líneas del programa adecuadas, dentro del proceso automático.

En el paro de emergencia se hará reset a todos los bits que intervengan en el proceso, es decir, reset a todas las etapas, y a casi todos los bits que activan las salidas, siempre teniendo en cuenta la seguridad del personal que pueda estar cerca de la máquina, quedándose la máquina del modo menos peligroso.

El Anexo I contiene todo el programa donde se podrán ver con detalle todas estas operaciones.

6.4 Pantalla HMI

En el proceso se ha querido introducir una pantalla para poder elegir el sabor a producir.

Cuando se ha añadido el dispositivo HMI como anteriormente se ha explicado, nos pedirá como se quiere realizar la comunicación con el PLC, y elegiremos PNI. De no comunicar la pantalla con el autómat, no podremos asignarle las variables que actuarán en los bloques del programa de este.

La figura 22 nos muestra el esquema de conexión entre la pantalla y el autómat, se puede observar el cable verde que nos indica que se ha realizado la comunicación correctamente.

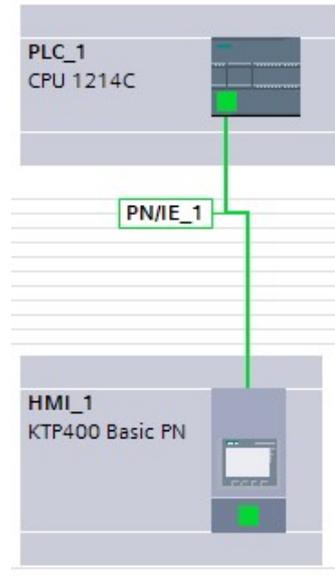


Figura 22: Comunicación HMI con PLC

Esta pantalla tiene un diseño simple, formada por dos botones, uno para cada sabor que se quiere producir. Al pulsar cualquier de estos dos botones se activará una variable que ha sido creada en la tabla de variables de la pantalla.

Cuando queremos crear una variable en la tabla **variables HMI** habrá que hacerlo de la misma manera que en el autómata, la figura 23 nos muestra las dos variables que se han creado en este proyecto. Estas dos variables se utilizarán en el programa como un contacto abierto para realizar las operaciones lógicas que se precisen.

Tabla de variables estándar					
Nombre ▲	Tipo de datos	Conexión	Nombre del PLC	Variable PLC	
Flavour1	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	Flavour11	
Flavour2	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	Flavour12	
<Agregar>					

Figura 23: Tabla variables HMI

Para realizar el diseño de la pantalla habrá que ir al menú de la pantalla HMI > Administración de imágenes > Plantillas > Agregar plantilla. Una vez tenemos la plantilla creada podremos introducirle los botones, títulos y otros elementos de diseño que hagan falta.

Después de haber creado los botones, haciéndole clic derecho abriremos las propiedades y en eventos le asignaremos a cada botón su variable. Ahora tendremos una variable creada en el programa del PLC, y otra en el de la pantalla HMI, con el mismo nombre y dirección.

En el caso de este proyecto se ha diseñado la siguiente pantalla, se puede observar el diseño simple e intuitivo que se ha realizado.

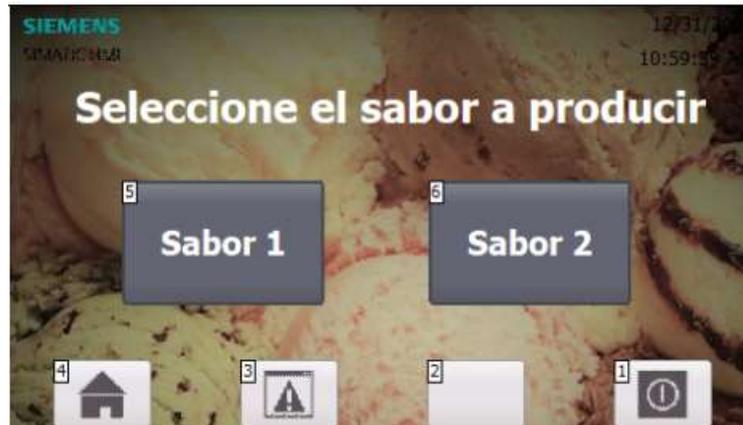


Figura 24: Diseño de la pantalla

7 Realización física de la planta

A continuación, se van a explicar las características de los dispositivos que conformarían la planta en la realidad.

7.1 Cuadro general

El cuadro de mando se colocará encima de la tarima, sujetado por una estructura metálica.

Dentro del cuadro general se encontrarán todos los elementos eléctricos necesarios para comunicar el autómat a la planta, así como los pulsadores y displays.

Se ha elegido un cuadro del fabricante ABB de material termoplástico con una capacidad de 36 módulos, este cuadro tiene unas dimensiones de 900 mm x 750 mm x 330 mm y una protección IP66.

El cuadro eléctrico dispondrá de las protecciones eléctricas según el REBT, este incluirá:

- 1 magnetotérmico trifásico de 40 A según la previsión de potencia que se ha realizado (7044 W)
- 2 diferenciales trifásicos 25 A, de tipo AC, con sensibilidad de 300 mA, sin retardo
- 1 diferencial monofásico 25 A, de tipo AC, con sensibilidad de 30 mA, sin retardo
- 3 magnetotérmicos 16 A 1P+N
- 7 magnetotérmicos trifásicos 16 A (para las cinco cintas y los dos robots)

- 7 contactores Siemens 230 V (para las cinco cintas y los dos robots)
- 11 relés 24 V DC (para activar las salidas monofásicas y evitar averías en las salidas del autómat)

A continuación, se muestra cómo debería disponerse los elementos del cuadro eléctrico (los variadores de frecuencia se encontrarán junto a los motores de las cintas)

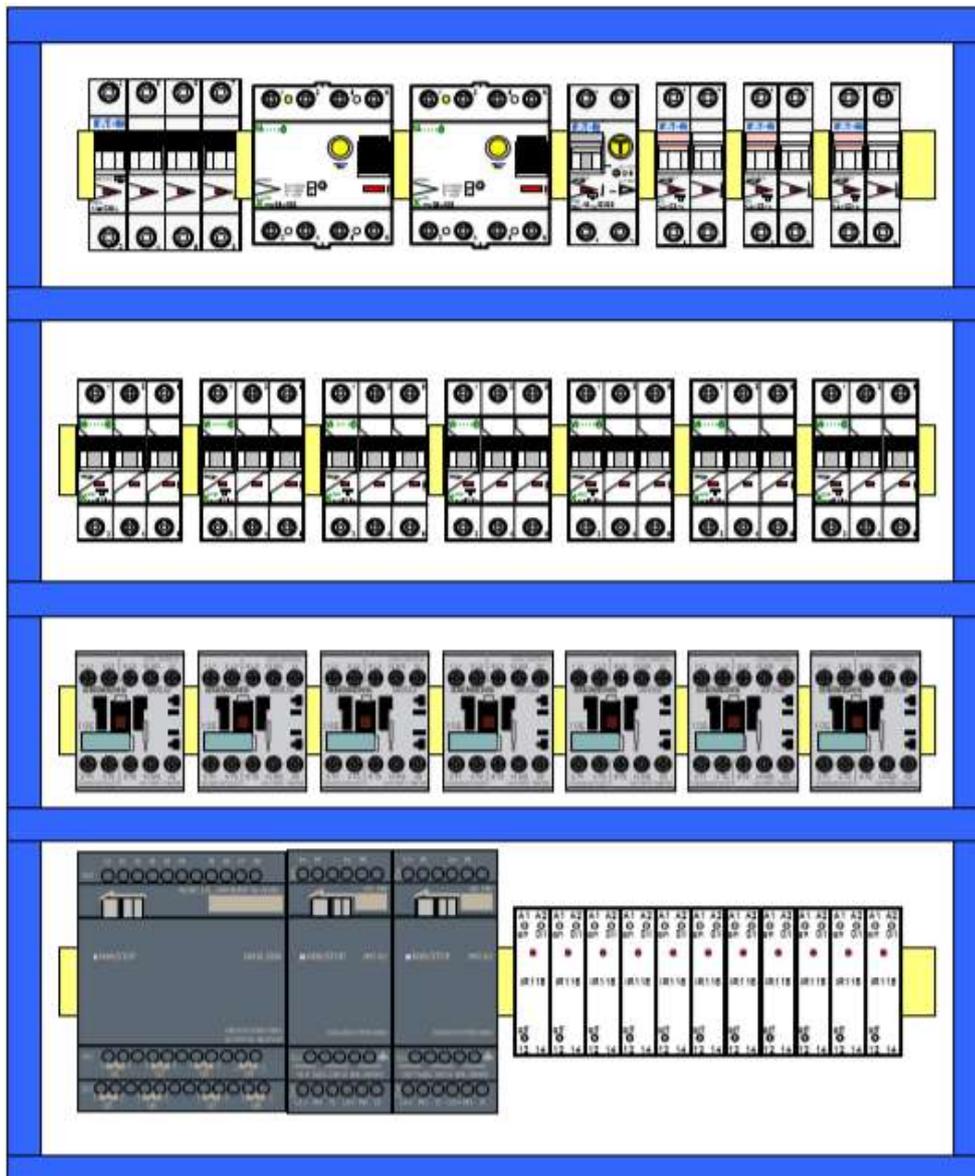


Figura 25: Diseño del cuadro de mando

El cuadro deberá disponer de una correcta ventilación, así como de un mecanizado parecido o similar al que se ha diseñado en la planta de Factory I/O. Los cables deberán de estar etiquetados y sin empalmes en su interior.

7.2 Autómata

El PLC que se ha elegido para este proyecto es el Siemens S7-1200 con CPU 1214AC–6ES7214–1BG40–0BX0.

Este autómata viene con catorce entradas digitales a 24 V DC y diez salidas digitales tipo relé. También dispone de dos salidas analógicas de 0 a 10 V.

La alimentación del autómata es de 85 a 264 V AC.

Se ha añadido una unidad de expansión de entradas y salidas digitales, este módulo contiene ocho entradas A 24 V DC y ocho salidas (a relé). Su CPU es la 6ES7223-1PH30-0XB0.

Finalmente se ha integrado el módulo de entradas analógicas SM 1231 6ES7231–4HD32–0XB0 35V.



Figura 28: PLC S7 1200



Figura 26: Módulo E/S



Figura 27: Módulo analógico

Estas figuras nos muestran los tres componentes lógicos que se utilizarían para llevar a cabo la automatización.

Los cables que se conecten a estos componentes deberán disponer de una conexión firme y de punteras.

7.3 Pantalla HMI

La pantalla HMI que se ha elegido para este proyecto es la KTP400 Basic PN – 6AV2123–2DB03–0AX0.

Esta pantalla tiene un display de 4", se puede manejar tanto por teclado como de forma táctil, tiene una interfaz PROFINET, con lo que podremos hacer una comunicación basada en protocolo Ethernet.

7.4 PC

El ordenador que se ha utilizado tanto para la programación TIA Portal como para el diseño y simulación del Factory I/O, ha sido un Asus X54UV-XX040T con el sistema operativo Windows 10. Este laptop, tiene un procesador Intel® Core™ i7-6500U a 2.50 GHz, con una memoria RAM de 8 GB. La tarjeta gráfica es una GTX 920 MX y el disco duro es de tipo SSD con un 1 TB de almacenamiento.

7.5 Entradas

A continuación, se explicarán los componentes que le dan la información al autómeta de lo que está ocurriendo en la planta.

La sección de todos los cables que se conectarán a las entradas (sensores y pulsadores) será de 1.5 mm², estos conductores no tendrán una intensidad elevada, solo circularán pequeñas corrientes para transmitir las señales.

En el Anexo IV se podrá encontrar un esquema de las conexiones de las entradas al autómeta.

7.5.1 *Sensor de visión artificial*

El sensor de visión artificial nos permitirá saber el color de la tarrina que se va a llenar.

En este proceso solo se ha utilizado con el fin de identificar un sabor u otro, pero tiene infinidad de usos desde usos selectivos a control de calidad pudiendo detectar pequeños desperfectos, posicionamiento o verificación de caracteres.

El sensor de visión artificial que se ha elegido ha sido el FQ2 – S35050F, del fabricante Omron, este sensor tiene una tecnología de imagen CMOS, con una tensión de alimentación de 21.6 – 26.4 V DC, una interfaz IO-Link y una resolución de 752 x 480 píxeles.

Su salida es de tipo PNP y su conexión eléctrica por cable tipo ethernet.

Es un sensor muy fiable y potente, que cuenta con la garantía del fabricante industrial Omron.

7.5.2 *Fotocélulas*

Las fotocélulas de la planta tienen como principio la detección sobre objetos con supresión de fondo. Este sensor se ajusta a través de un potenciómetro. Se tendrán que alimentar a 230 V y su salida será de tipo relé.

La fotocélula elegida es la W250-2 del fabricante SICK, en la figura 29 podemos ver el aspecto de este sensor.



Figura 29: Fotocélula

7.5.3 Pulsadores y selectores

Los pulsadores y selectores serán la manera de controlar la planta por el operario. Son los elementos más económicos de la automatización, estos estarán ubicados en el cuadro.

Los colores elegidos de los pulsadores son los normalizados en la mayoría de los procesos: el verde para situaciones normales, el amarillo para situaciones anormales (en nuestro caso modos manuales) y el color rojo para situaciones peligrosas o que requieran detener la automatización.

7.6 Salidas

A continuación, se explicarán los componentes que reciben la información del autómatas y actúan en función de lo que se ha programado, también se indicará la potencia de cada elemento y la sección que debería tener.

Todas las secciones están comprobadas por el criterio de caída de tensión admisible, que según el REBT en industria no deben de superar el 5%.

En el Anexo IV se podrá encontrar un esquema de conexiones y otro de potencia de las salidas del sistema.

7.6.1 Cintas transportadoras

Las cintas transportadoras serán las encargadas de mover el producto por todo el proceso, en la automatización se podrían haber utilizado dos cintas transportadoras, pero para hacerlo más rápido se han utilizado cinco.

Como el material a transportar es un elemento que tiene que conservar su posición, el tipo de cinta deberá ser de banda con suelo móvil (mismo tipo de cinta que la utilizada en el Factory I/O).

La potencia de cada cinta transportadora será de $1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$

Como su alimentación es trifásica, según el criterio por capacidad térmica tendremos que:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{736}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8} = 1.32 \text{ A}$$

Con lo que mirando las tablas facilitadas por el fabricante General Cable, una sección de 2.5 mm^2 sería adecuada.

7.6.2 Electroválvulas

La electroválvula será encargada de dejar pasar el fluido que en este caso será el helado o la galleta (en estado líquida).

La electroválvula que se ha elegido es del fabricante Aignep, la tensión en la bobina será de 220 V AC, el diámetro de paso será de 25 mm.

El material de la electroválvula será de latón y el mando de acero inoxidable.

La electroválvula se comportará como normalmente cerrada, lo que habrá que tenerlo en cuenta en la programación.

Los fluidos con los que puede trabajar esta electroválvula son:

- Aire
- Gases inertes
- Agua (temperatura máxima $75 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Aceites minerales
- Gasóleo
- Fueloil

Estas electroválvulas se conectarán a través de un relé de 24 V DC, la potencia de las electroválvulas será de 5 W.

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\varphi} = \frac{5}{230 \cdot 0.85} = 0.02 \text{ A}$$

La sección del conductor será de 1.5 mm^2 ya que apenas circulará intensidad.

7.6.3 Robots

El uso de la robótica es utilizado en la industria 4.0 para realizar tareas repetitivas y forzosas. En este proyecto hay dos tareas que siempre se repiten simultáneamente, lo que habría que disponer de dos operarios para el correcto funcionamiento de la máquina. Es por eso por lo que se utilizarán dos robots, uno para tapar la tarrina y otro para colocar la tarrina en su cinta correspondiente.

En la virtualización aparecen los dos robots de tipo cartesiano. En la realidad el robot que tapa las tarrinas sería un brazo robótico, más rápido que el cartesiano para esta aplicación y ocupando un menor espacio.

El robot que coloca la tarrina será un robot cartesiano de dos ejes YZ (bajar-subir-desplazar-bajar-subir-desplazar). A este robot habría que colocarle una ventosa o garras para poder coger la pieza sin que esta caiga.

El brazo robótico tendrá una potencia de 1000 W, un conductor con sección de 2.5 mm² según el criterio de capacidad térmica será el adecuado.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 1.69 \text{ A}$$

Al robot cartesiano se ha decidido sobredimensionar la sección a 4 mm², tiene una potencia alrededor de 2000 W, pero contiene un subcuadro donde alimenta todos sus motores.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 3.4 \text{ A}$$

7.6.4 Elementos de alarma

Los elementos de alarma avisarán de las señales tanto visuales como acústicas que han sido programadas.

En este proceso se han utilizado señales visuales para saber en qué modo del proceso se encuentran y señales acústicas para advertir de que se ha producido una emergencia.

En primer lugar, tendremos una torre tricolor de señales que irá ubicada encima del cuadro de mando.

En segundo lugar, y situado al lado de la torre tricolor, irá un piloto luminoso intermitente que advertirá de emergencias en el sistema.

Por último, se ha incorporado una sirena programada un breve periodo de tiempo, para advertir que se ha entrado en el modo de parada de emergencia.

8 Estudio económico

Se han realizado dos presupuestos para tener un coste estimado del proceso, uno de la mano de obra y otro del material utilizado. El montaje mecánico, cableado y ajuste de la planta en la puesta en marcha no se va a tener en cuenta.

Se realizará el presupuesto de la mano de obra del programador, lo que conllevará el diseño de la planta y su programación.

Por otra parte, se hará un presupuesto del coste de materiales eléctricos a utilizar, no teniendo en cuenta las estructuras mecánicas ni el cableado de la planta.

8.1 Mano de obra programador

Presupuesto mano de obra Programador				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Licencia Factory I/O Ultimate Edition (1 mes)	1	Unidad	25	25
Licencia TIA Portal (1 mes)	1	Unidad	33	33
Diseño planta en Factory I/O	7	Hora	20	140
Programación TIA Portal	21	Hora	35	735
Puesta en marcha	6	Hora	35	210
			Total (€)	1143
			Total + IVA (€)	1383,03

El coste total del diseño y el programa rondaría cerca de los **1500 €**, precio razonable para todo el proceso que se va a realizar con la garantía de que el programa funciona correctamente.

8.2 Presupuesto material.

A continuación se muestra el presupuesto del material que incluiríamos, sin contar la instalación neumática ni eléctrica.

Presupuesto Material				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Autómata Siemens S7 1200 CPU 1214AC-1BG40-0BX0	1	Unidad	392,04	392,04
Módulo expansión entradas/salidas CPU 223-1PH30	1	Unidad	174,74	174,74
Módulo entradas analógicas 4AI SM1231-4HD32	1	Unidad	282,33	282,33
Pulsadores NO/NC IP65	7	Unidad	12,31	86,17
Selector Schneider, Enclavamiento con 2 posiciones	1	Unidad	13,66	13,66
Seta de emergencia giratoria Schneider	1	Unidad	43,89	43,89
Display monocromo LCD	2	Unidad	8,27	16,54
Torre de señal tricolor	1	Unidad	49,4	49,4
Sirena Klaxon	1	Unidad	39,67	39,67
Avisador luminoso Led Ámbar	1	Unidad	49,3	49,3
Electroválvula model bloque SMC	3	Unidad	57,33	171,99
Fotocelula Sink supresión de fondo	8	Unidad	174,58	1396,64
Pantalla HMI Siemens 4" KTP400	1	Unidad	374	374
Sensor de visión Omron	1	Unidad	2351	2351
Brazo robótico ST Robotics 5 ejes	1	Unidad	15914,89	15914,89
Robot cartesiano 2 ejes	1	Unidad	9496,51	9496,51
Cintas transportadoras 2 metros	5	Unidad	5000	25000
Posicionador neumático	1	Unidad	56,83	56,83
Cuadro ABB 36 módulos	1	Unidad	431	431
			Total (€)	56340,6
			Total + IVA (€)	68172,126

El coste del material rondaría los **70000 €**, un precio razonable si pensamos que tenemos dos robots y que la automatización solamente la controlaría un operario.

El precio de los robots es bastante bajo, esto es porque se han elegido marcas menos conocidas y ajustando lo máximo posible a las cargas que se van a levantar.

El precio del montaje iría aparte, pero no sería una instalación muy compleja ya que todos los elementos son fácilmente accesibles y la mayoría de los sensores van con la conexión del cable ya preparada, sólo habría que conectarlo al PLC todos los elementos y realizar la conexión de potencia (Relés y contactores).

Cada cinta tendrá incorporado su variador de velocidad, que se ajustará de manera manual por el personal de mantenimiento. Este variador va incluido en el precio de cada cinta.

9 Conclusión

En este trabajo se han alcanzado los objetivos que se propusieron en un principio, se ha creado una automatización virtual que funciona de manera autónoma y con una buena producción. Se ha diseñado una planta que se podría llevar a cabo en la realidad, los modos de funcionamiento y las paradas hacen del sistema un proceso real, fiable y seguro.

Al principio surgieron diversos problemas con la forma de que Factory I/O leía el programa y se tuvo que cambiar el modo de programación. Gracias a cambiar la forma de programar, creo que personalmente he descubierto una nueva manera de estructurar y crear programas.

La puesta en marcha fue lo más difícil. Como en todo nuevo proyecto surgen problemas conforme se va llevando a cabo la idea inicial, lo que hace variar un poco el modo de funcionamiento que se quería en un principio.

El principal problema que apareció fue con la cadena que proporcionaba el sensor de visión, ya que no sabía interpretar los valores que me estaba proporcionando y me llevó un tiempo estudiar y comprender la operación lógica que tenía que hacer el autómeta.

El segundo inconveniente que apareció fue que las piezas no paraban siempre en el mismo punto, lo que causó problemas a la hora de tapar la pieza. Se tuvo que añadir un elemento para parar las piezas y variar un poco el programa y el diseño de la planta.

Otro problema surgió con los modos de parada, el programa era un poco extenso y al incluir tantos temporizadores, cuando se quería detener en un punto específico el proceso y volverlo a poner en marcha no se comportaba correctamente. Desde el punto de vista de la programación siempre trae problemas el interrumpir la cuenta de un temporizador, es por eso por lo que llevó tiempo solucionar esos errores.

A nivel personal, realizar este proyecto me ha enseñado a programar y pensar de una manera diferente a la que tenía, había trabajado profesionalmente como programador, pero poder pensar un proceso, programarlo y ver lo que está pasando me ha hecho probar cosas que en planta no las podría probar, entre otras cosas porque podría causar problemas a la instalación.

En este trabajo he adquirido nuevas aptitudes que seguro que me servirán en el futuro. Por último, quiero destacar el bienestar que da programar un proyecto que se ha pensado y ver que es posible y puede ser real gracias a la programación.

10 Recursos

- **Documentación acerca de Factory I/O**
www.docs.factoryio.com
- **Documentación de servidores OPC**
www.opcfoundation.org
- **Documentación e información de TIA Portal**
www.new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html
- “Automatització industrial amb GRAFCET”, autores Oriol Boix Aragonès, Antoni Sundrià Andreu, Joan Gabriel Bergas Jané, editorial Edicions UPC.
- “Automatización industrial, evolución y retos en una economía globalizada” autor William O. Rey S., editorial Inventum.
- Reglamento electrotécnico para baja tensión.

Anexo I: Programa

MAIN [OB1]

Segmento 1:



Segmento 2:



Segmento 3:



Segmento 4:



Segmento 5:



Segmento 6:

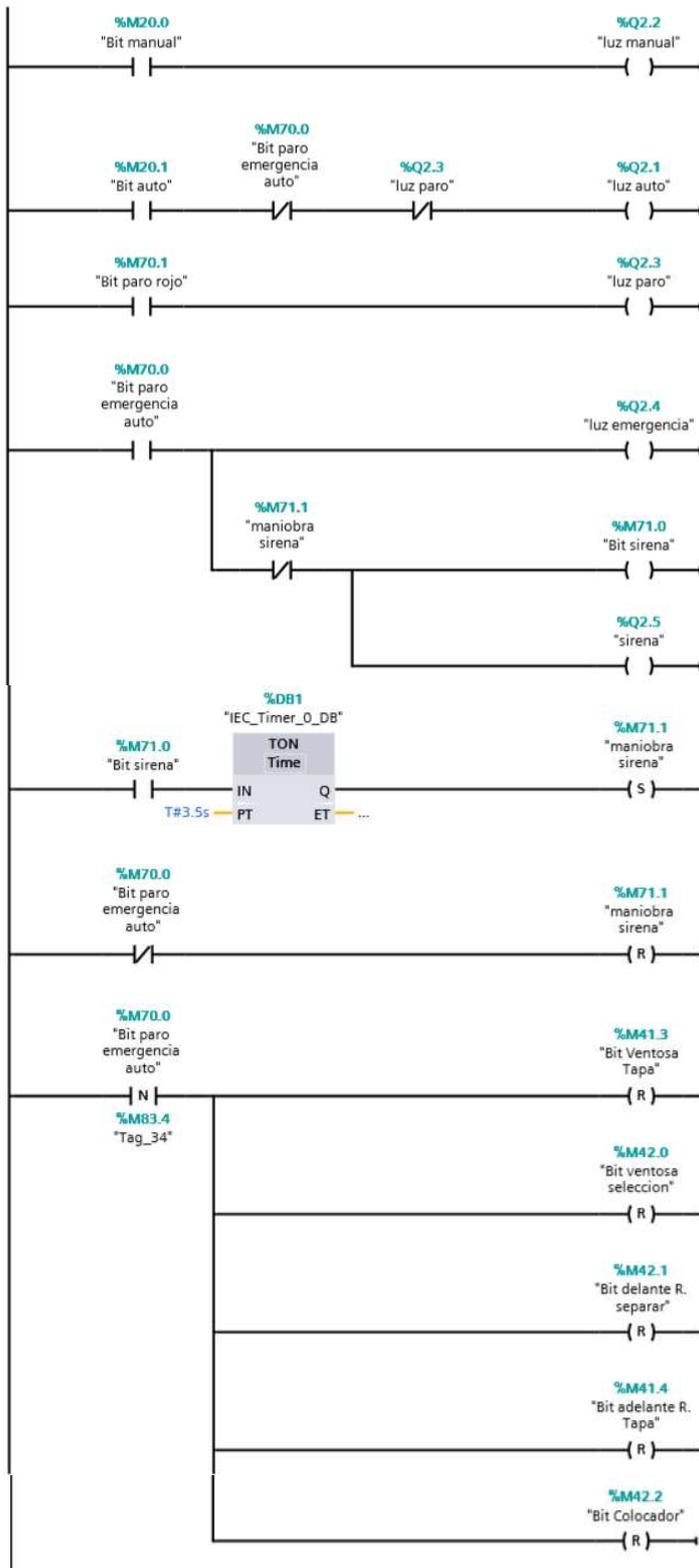


MHJ-PLC-Lab-Function-S71200 [FC9000]

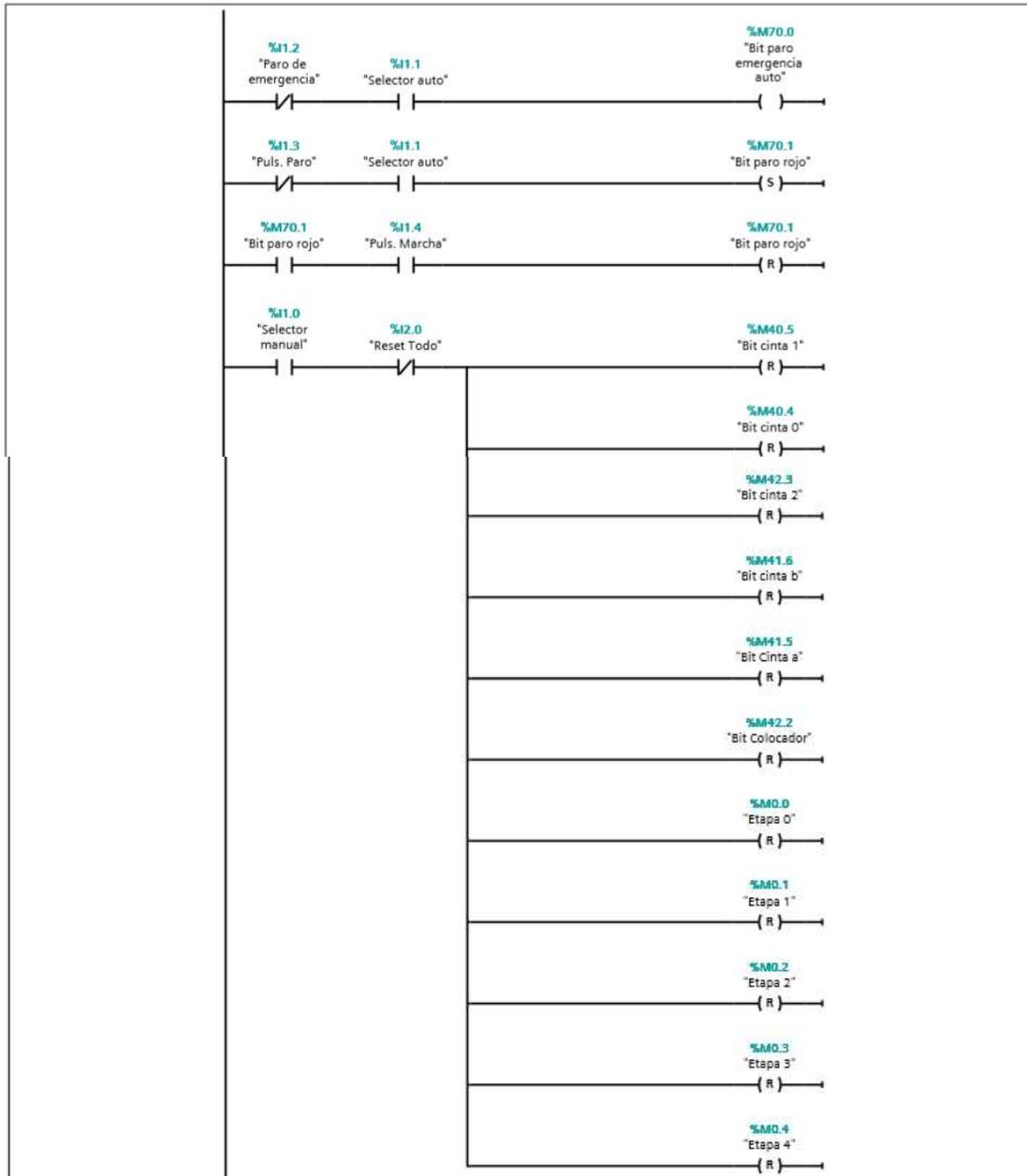
```
0001
0002 #Value:=PEEK(area := 16#82,
0003     dbNumber := 0,
0004     byteOffset := 511);
0005 #Value := #Value + 1;
0006
0007 POKE(area := 16#82,
0008     dbNumber := 0,
0009     byteOffset := 511,
0010     value := #Value);
0011
0012 POKE(area:=16#81,

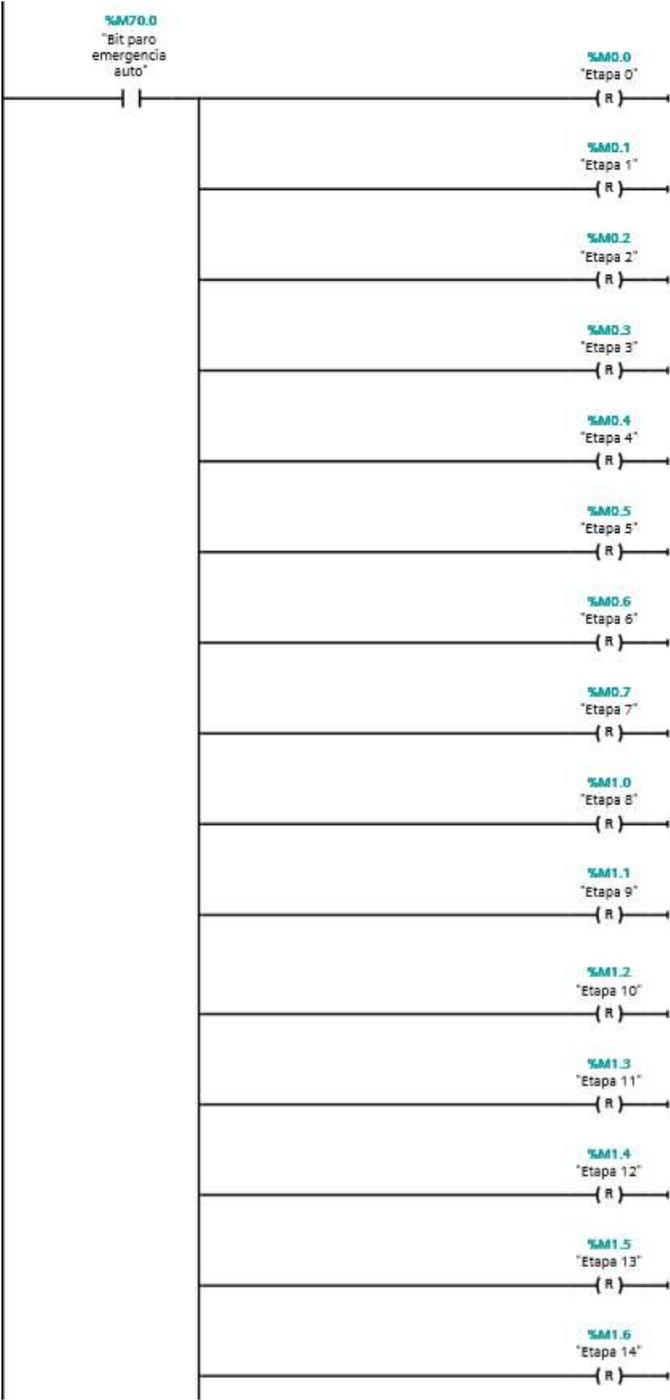
0013     dbNumber:=0,
0014     byteOffset:=1016,
0015     value:=#Value_01_DW);
0016 POKE(area := 16#81,
0017     dbNumber := 0,
0018     byteOffset := 1020,
0019     value := #Value_02_DW);
0020
0021 POKE(area := 16#81,
0022     dbNumber := 0,
0023     byteOffset := 511,
0024     value := B#16#00);
0025
0026 FOR #forVal := 0 TO 120 DO
0027     FOR #forVal_2:=0 TO 10 DO
0028         #rdTimeReturn:=RD_SYS_T(#outputTime);
0029         #rdTimeReturn := WR_SYS_T(#outputTime);
0030         #rdTimeReturn := RD_SYS_T(#outputTime);
0031         #rdTimeReturn := WR_SYS_T(#outputTime);
0032     END_FOR;
0033     #SyncVal:= PEEK(area := 16#81,
0034         dbNumber := 0,
0035         byteOffset := 511);
0036     IF #SyncVal = #CompVal THEN
0037         GOTO M_1;
0038     END_IF;
0039 END_FOR;
0040 RETURN;
0041
0042 M_1:
0043 POKE(area := 16#81,
0044     dbNumber := 0,
0045     byteOffset := 511,
0046     value := B#16#0);
```

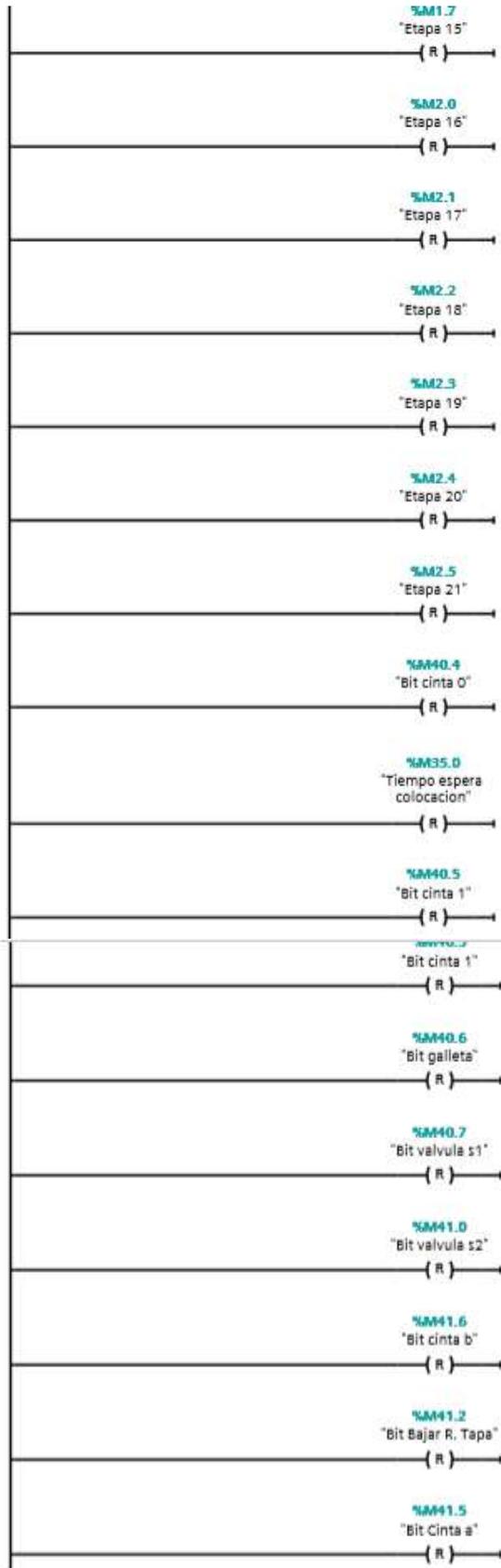
Seguridad [FC1]

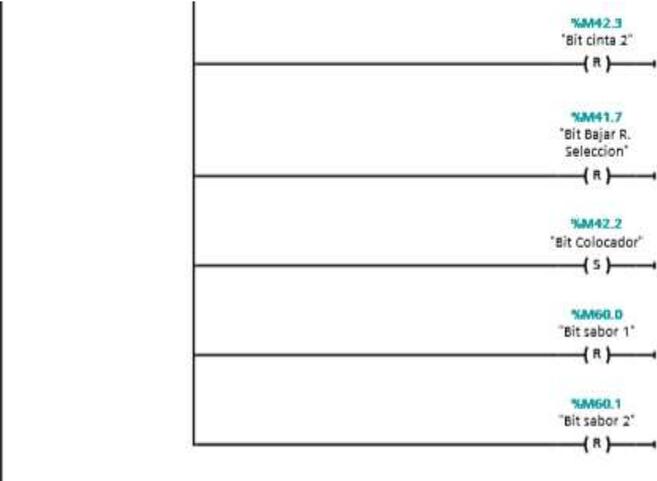


Segmento 2: Maniobras paros

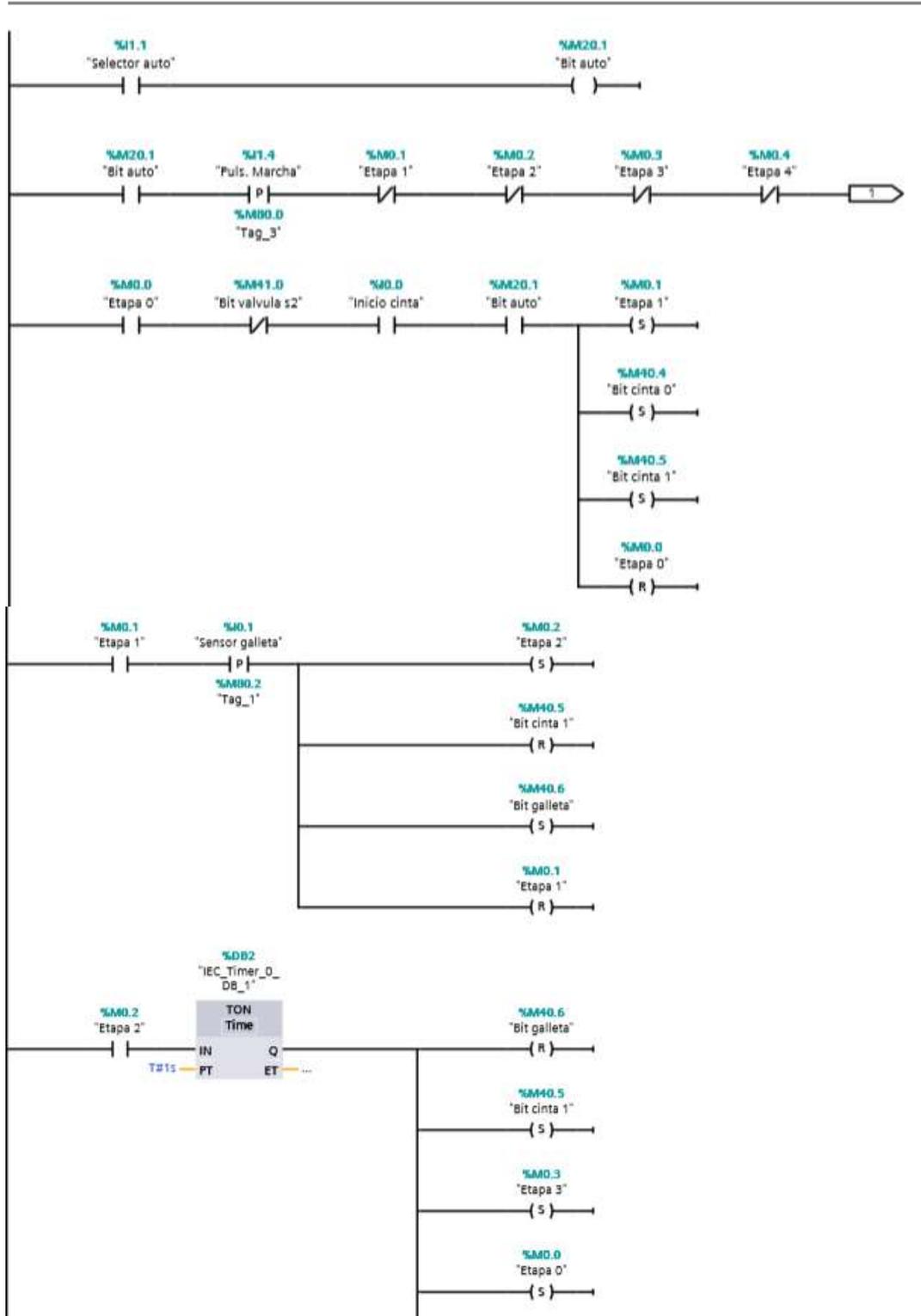


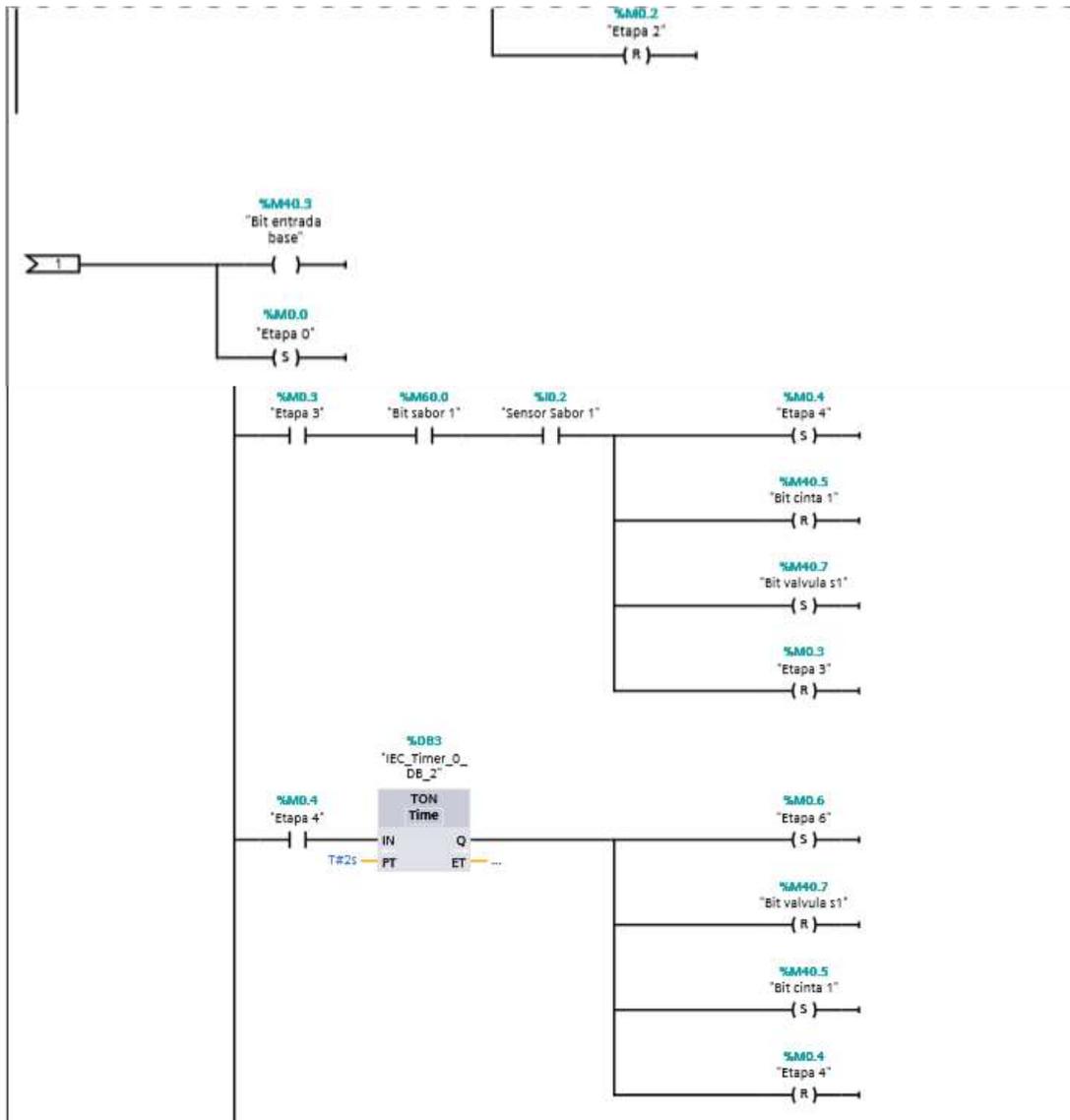


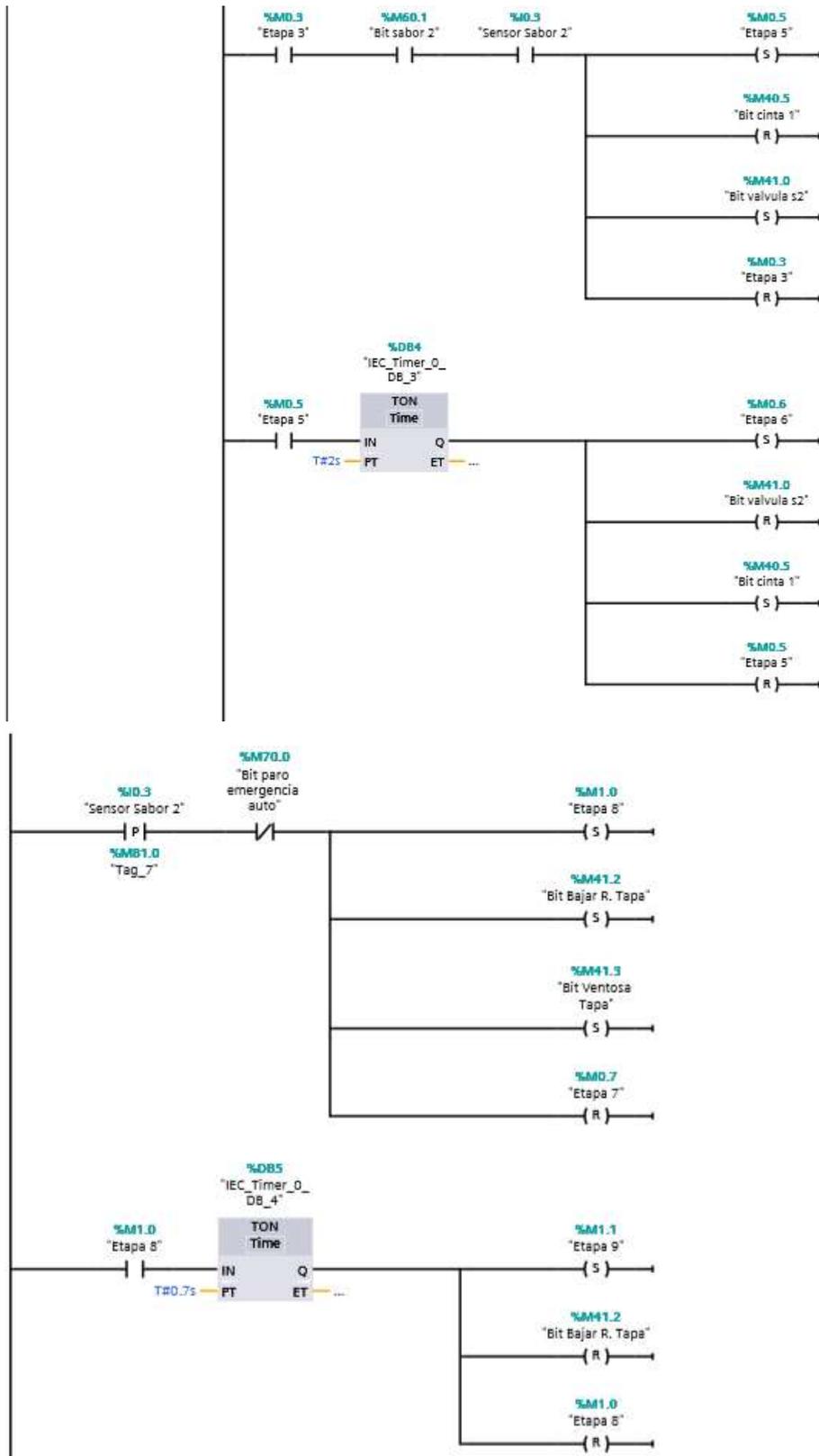


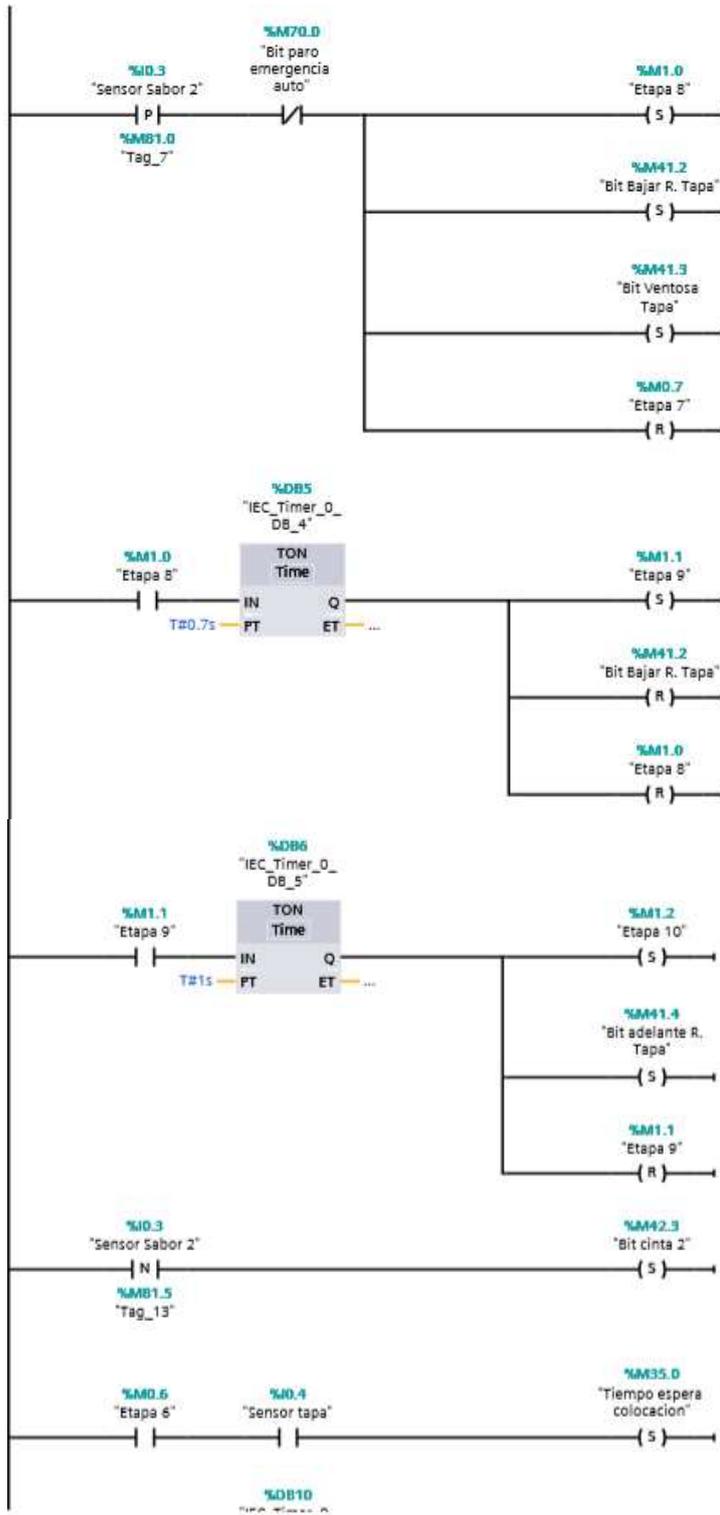


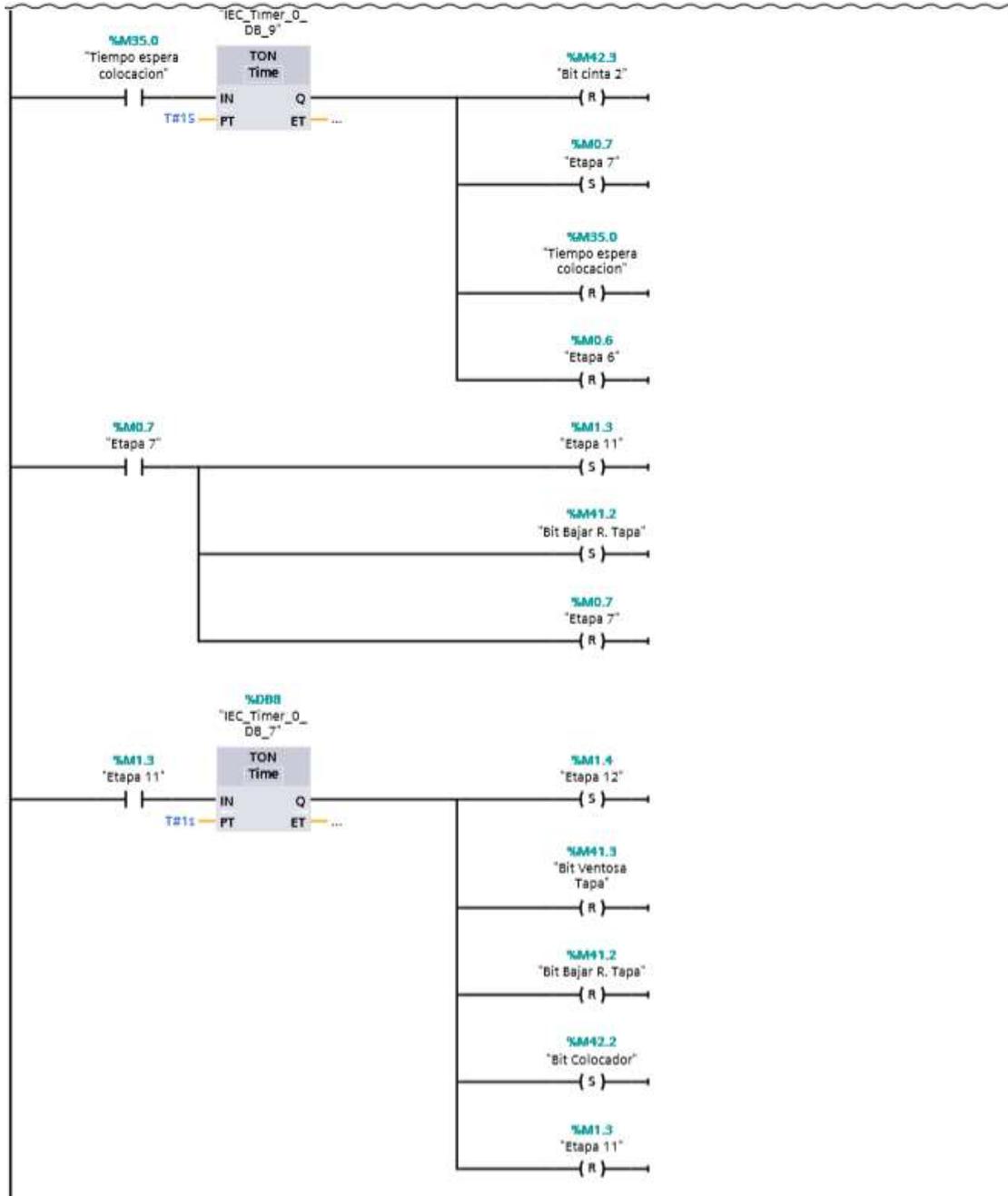
Auto [FC2]

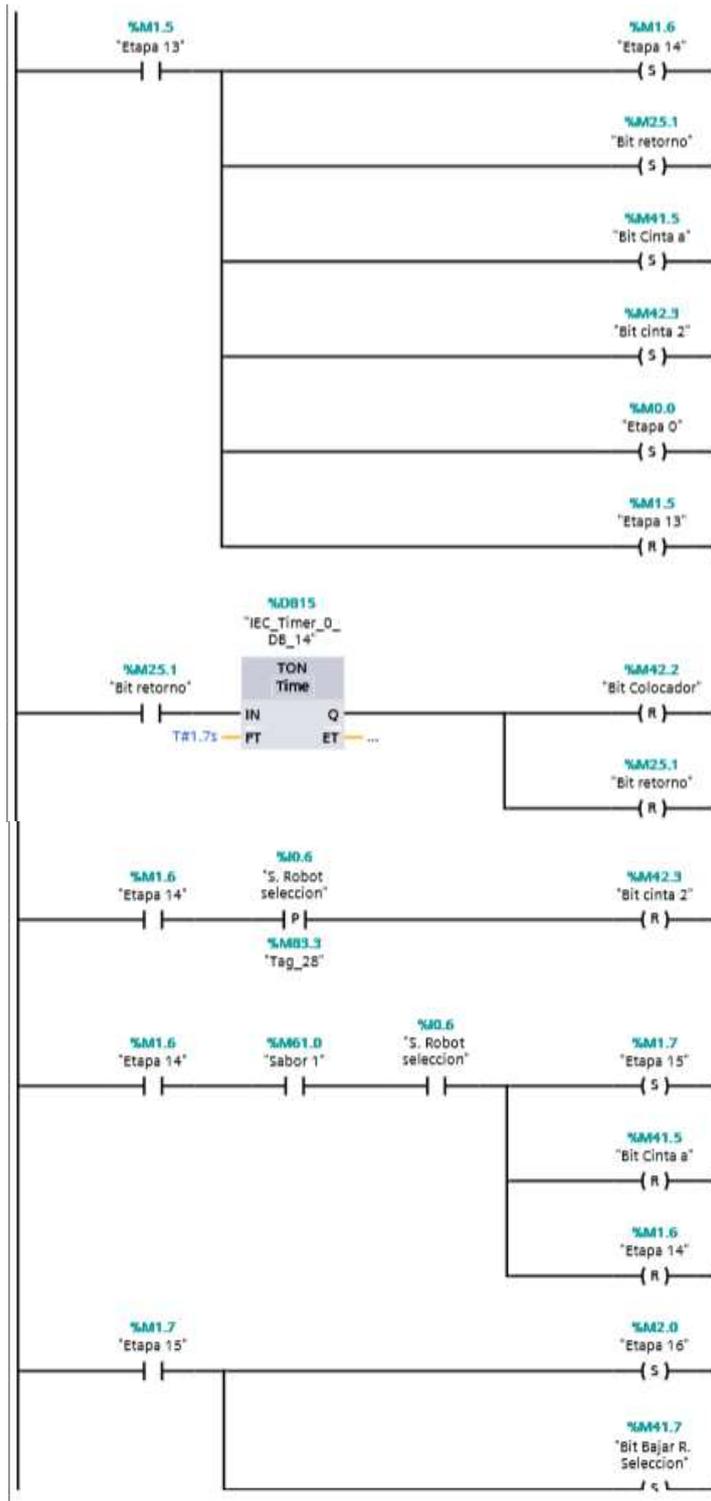


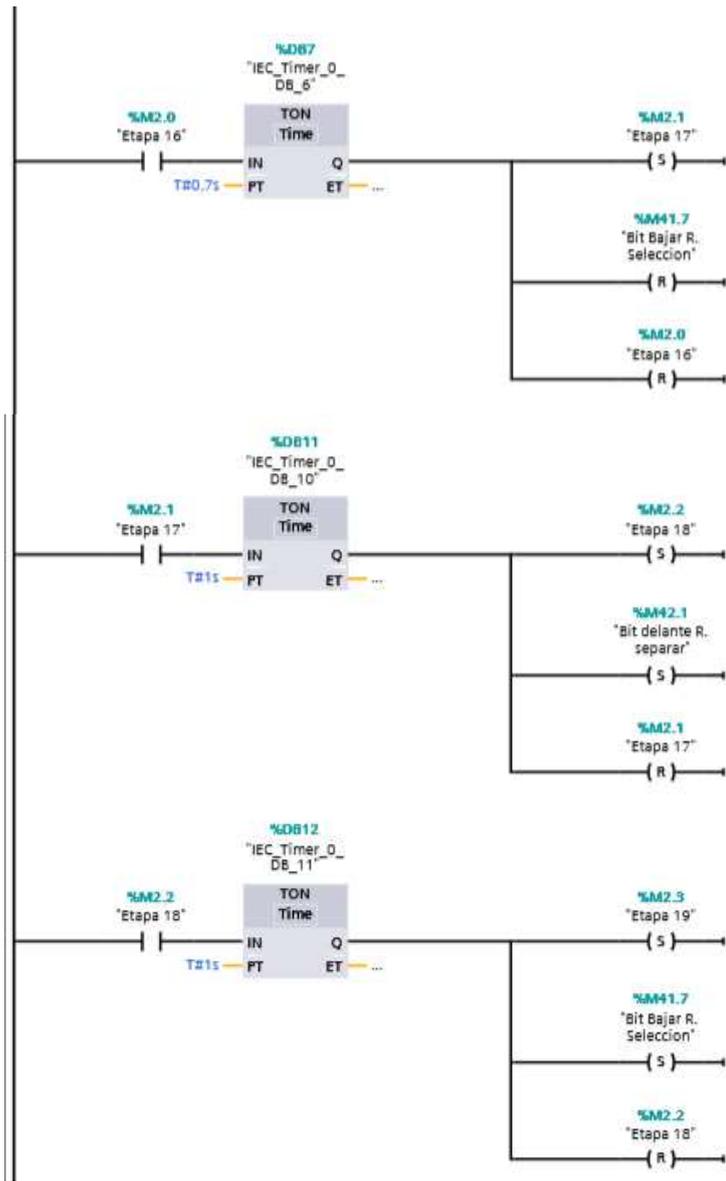


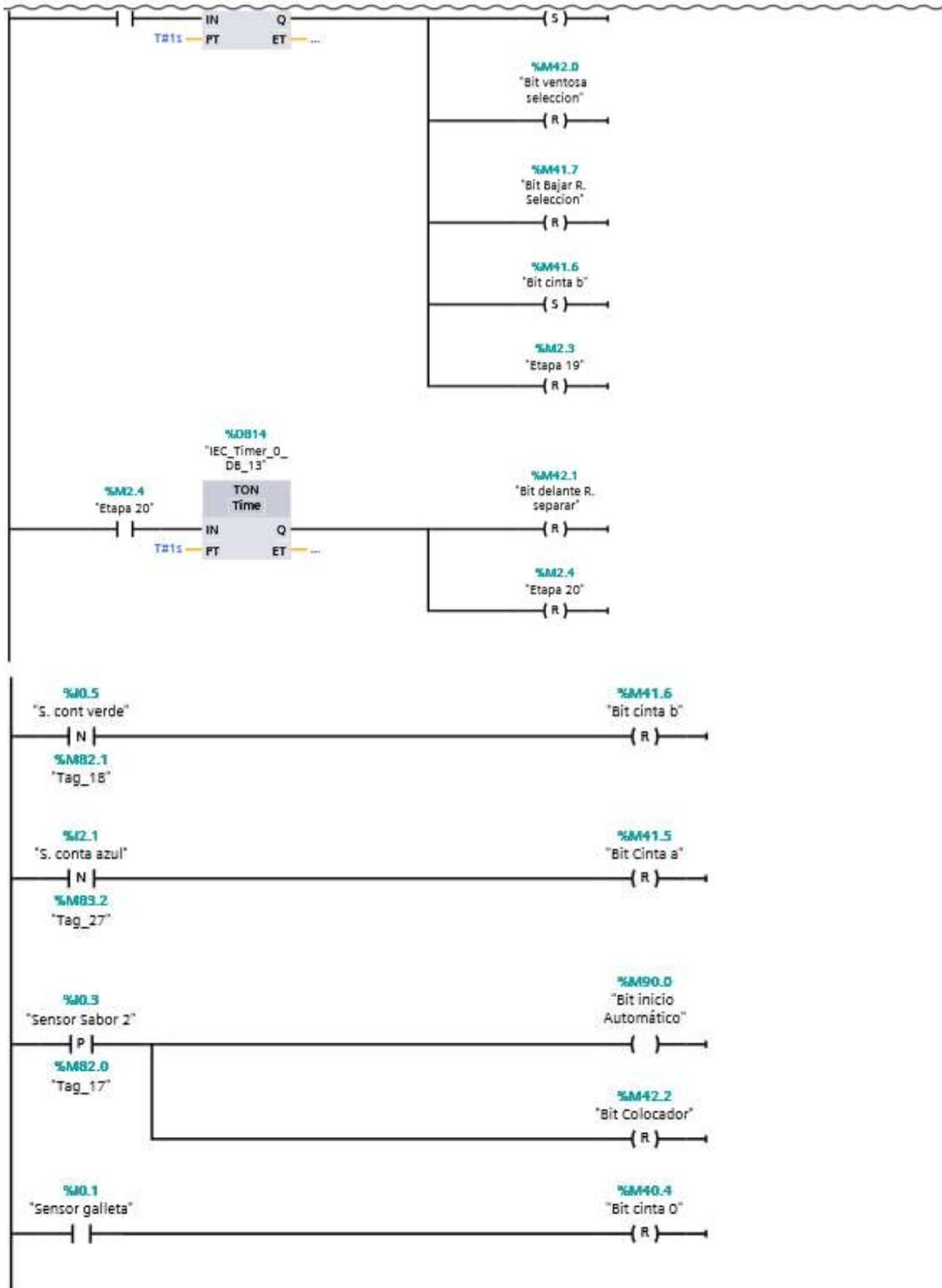




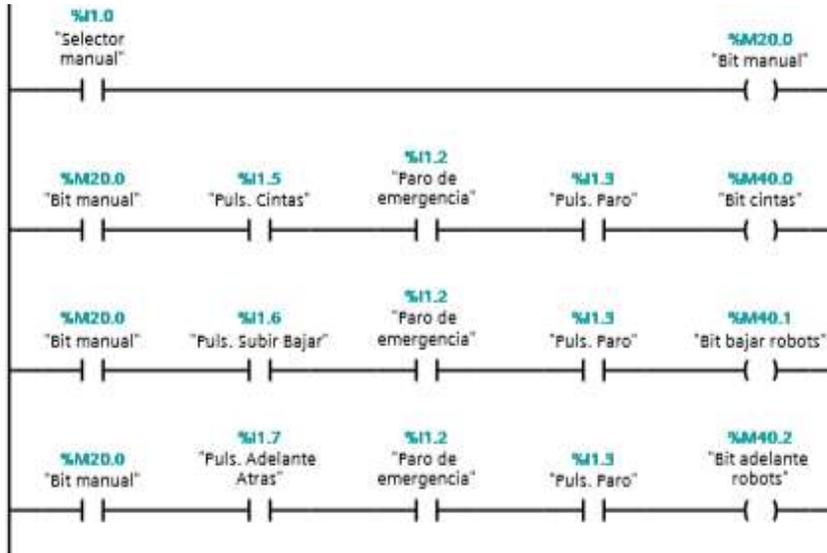






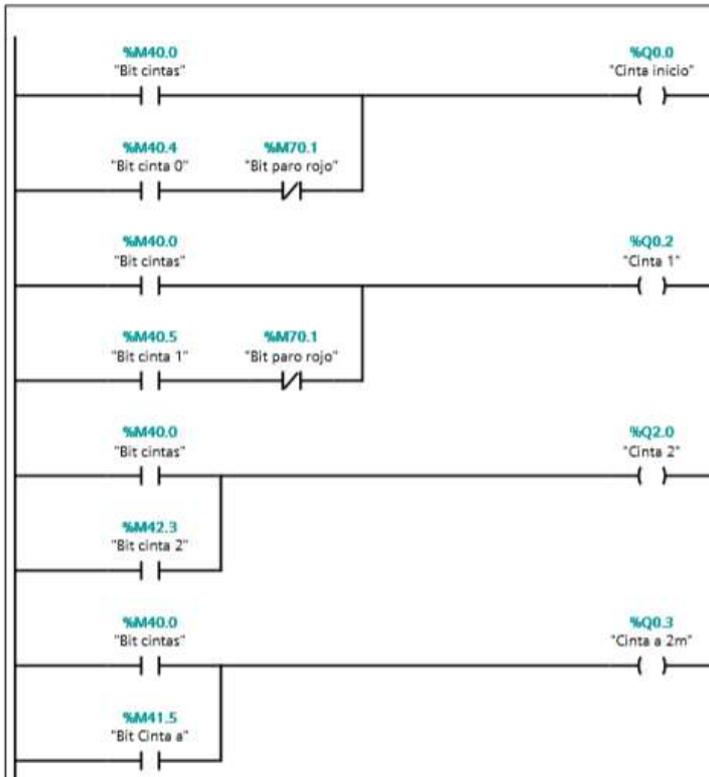


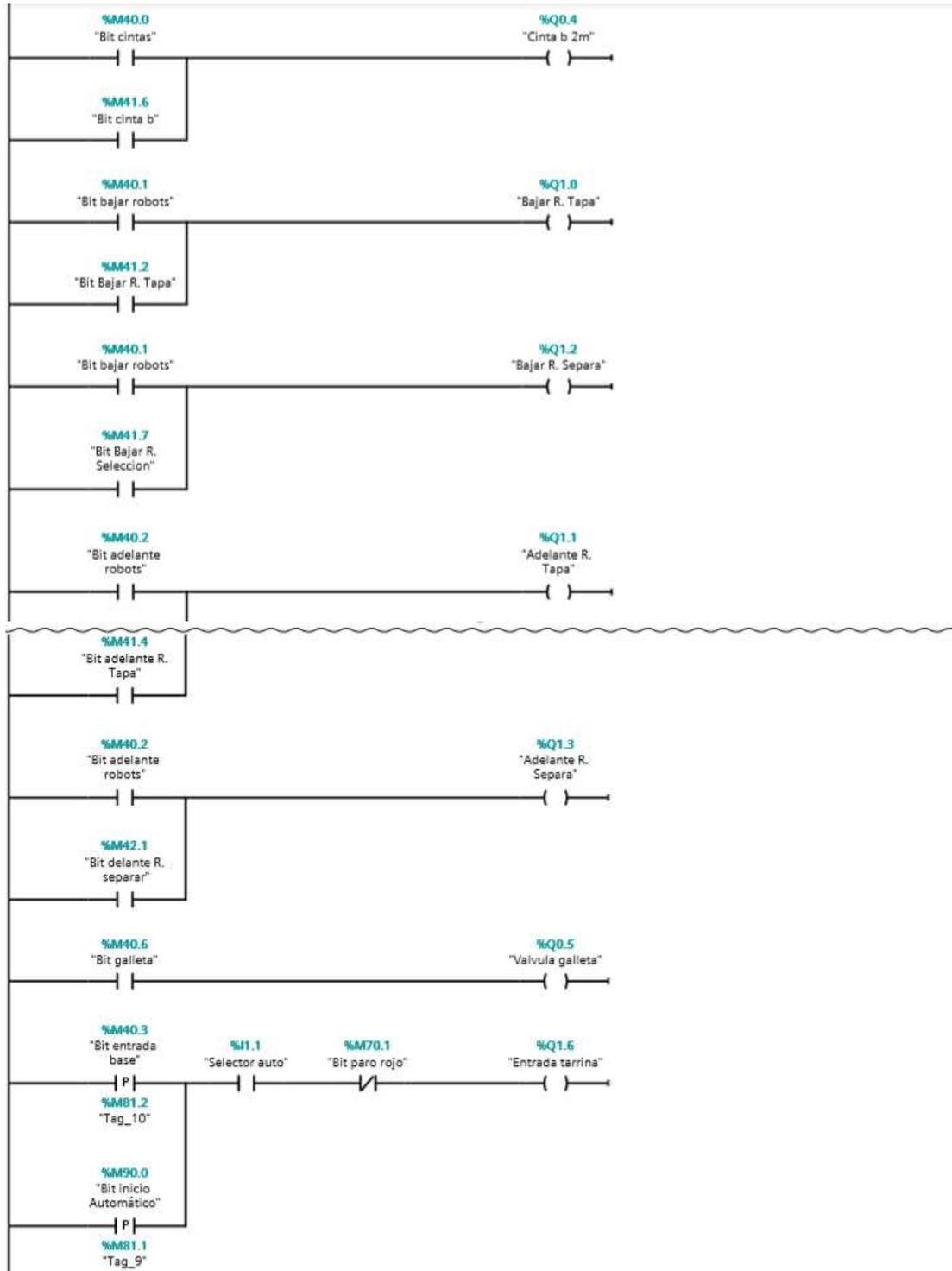
Manual [FC3]

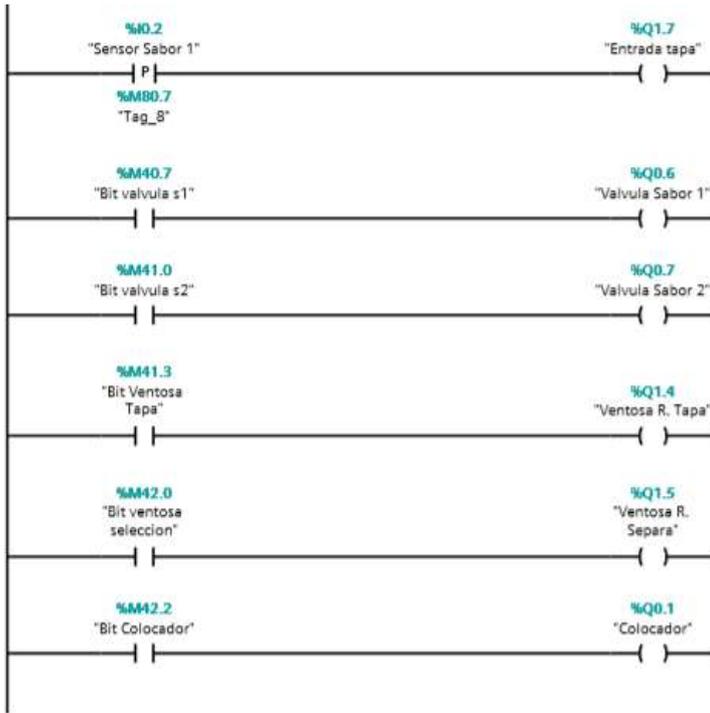


Activación de salidas [FC4]

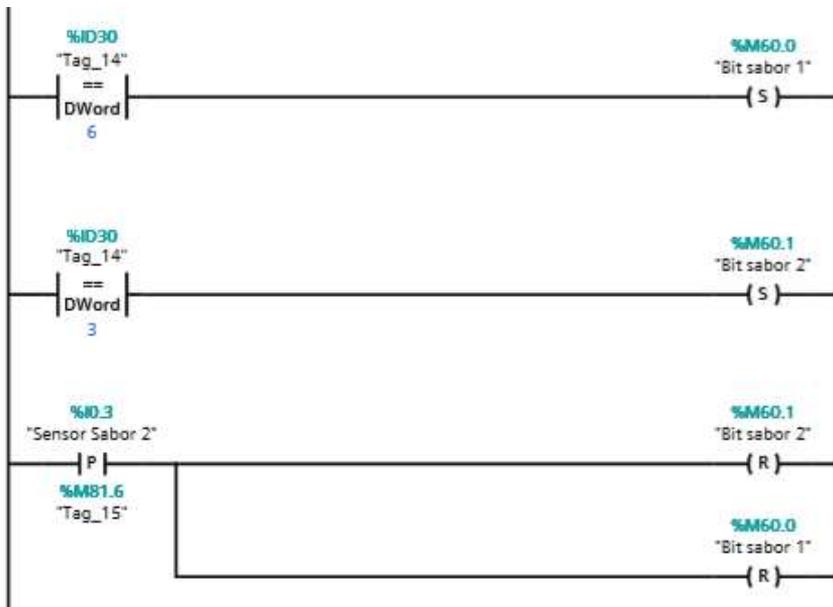
mento 1: Activación de salidas, con las marcas creadas en FC Auto y FC Manual (1.1 / 2.1)



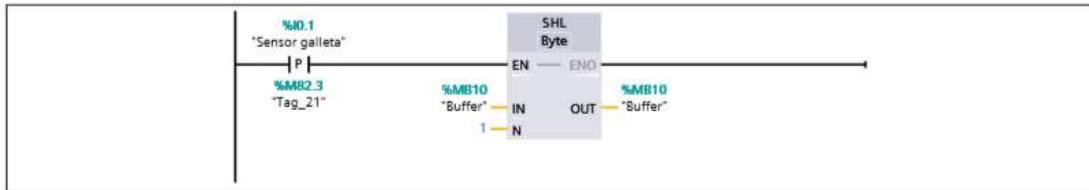




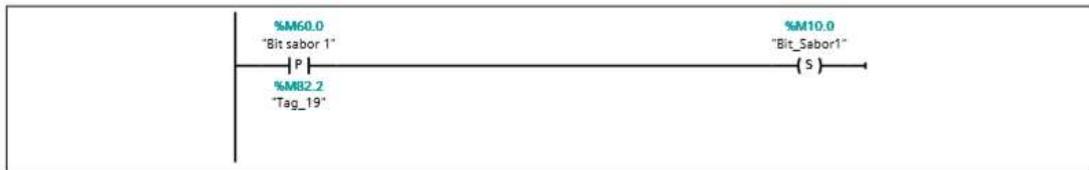
Buffer_Piezas [FC5]



Segmento 1: Creación del buffer



Segmento 2: Desplazamiento bit



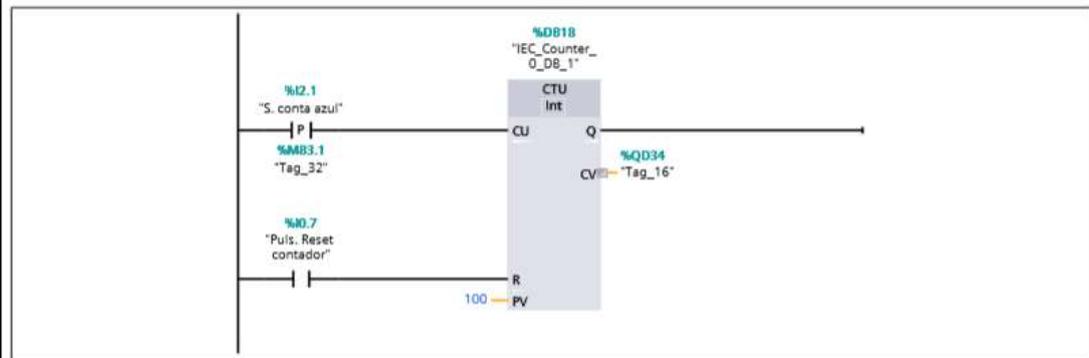
Segmento 3: Activación marca sabor 1



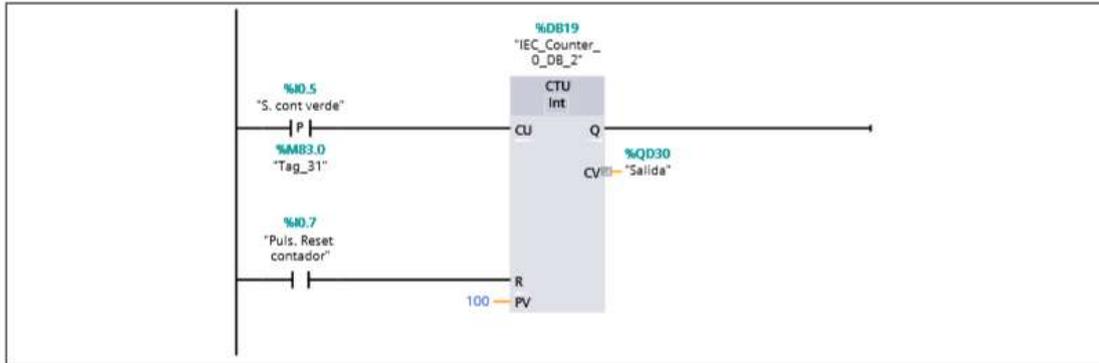
Segmento 4: Operación sabor 2



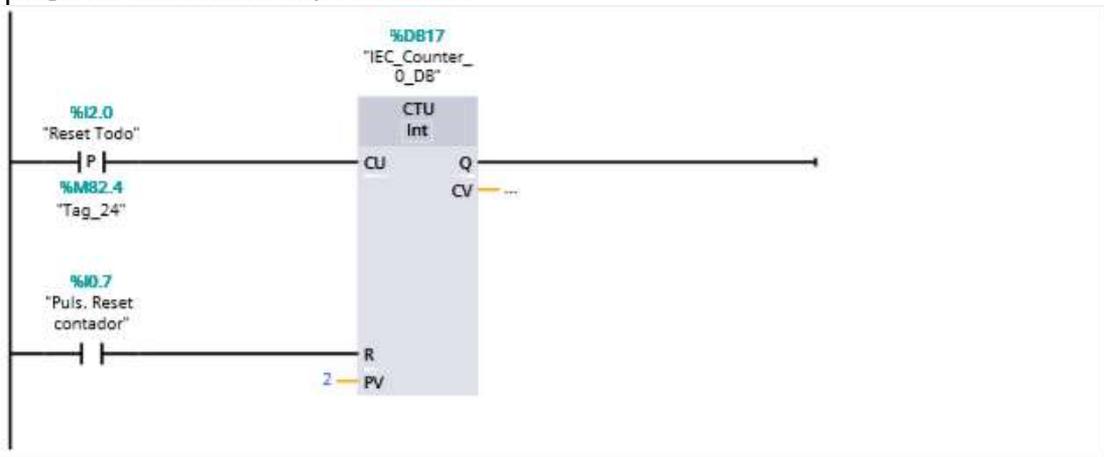
Segmento 5: Operación de contadores



Segmento 6: Contador de piezas sabor 1



Segmento 7: Contador de piezas sabor 2



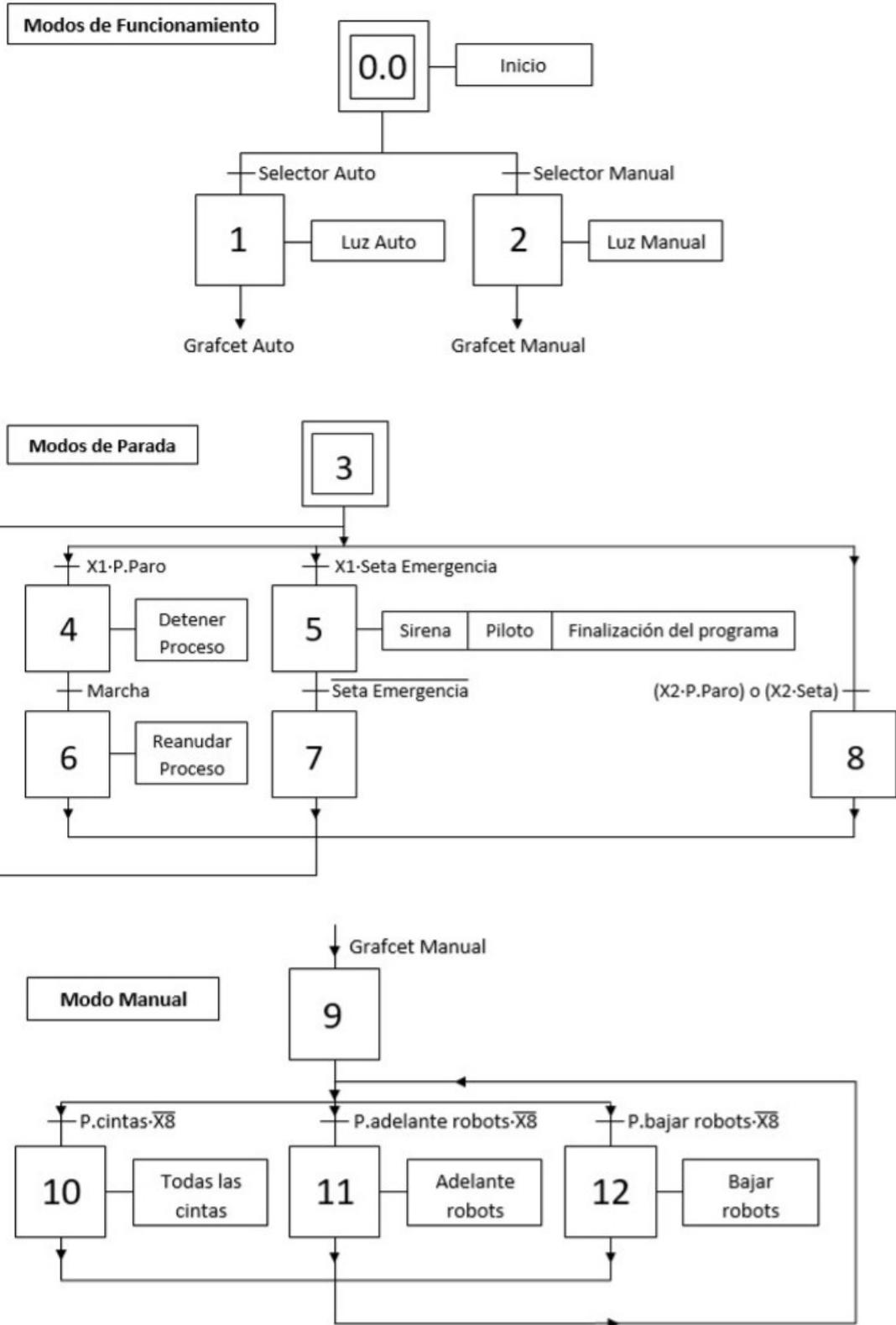
Anexo II: Tabla de variables del programa

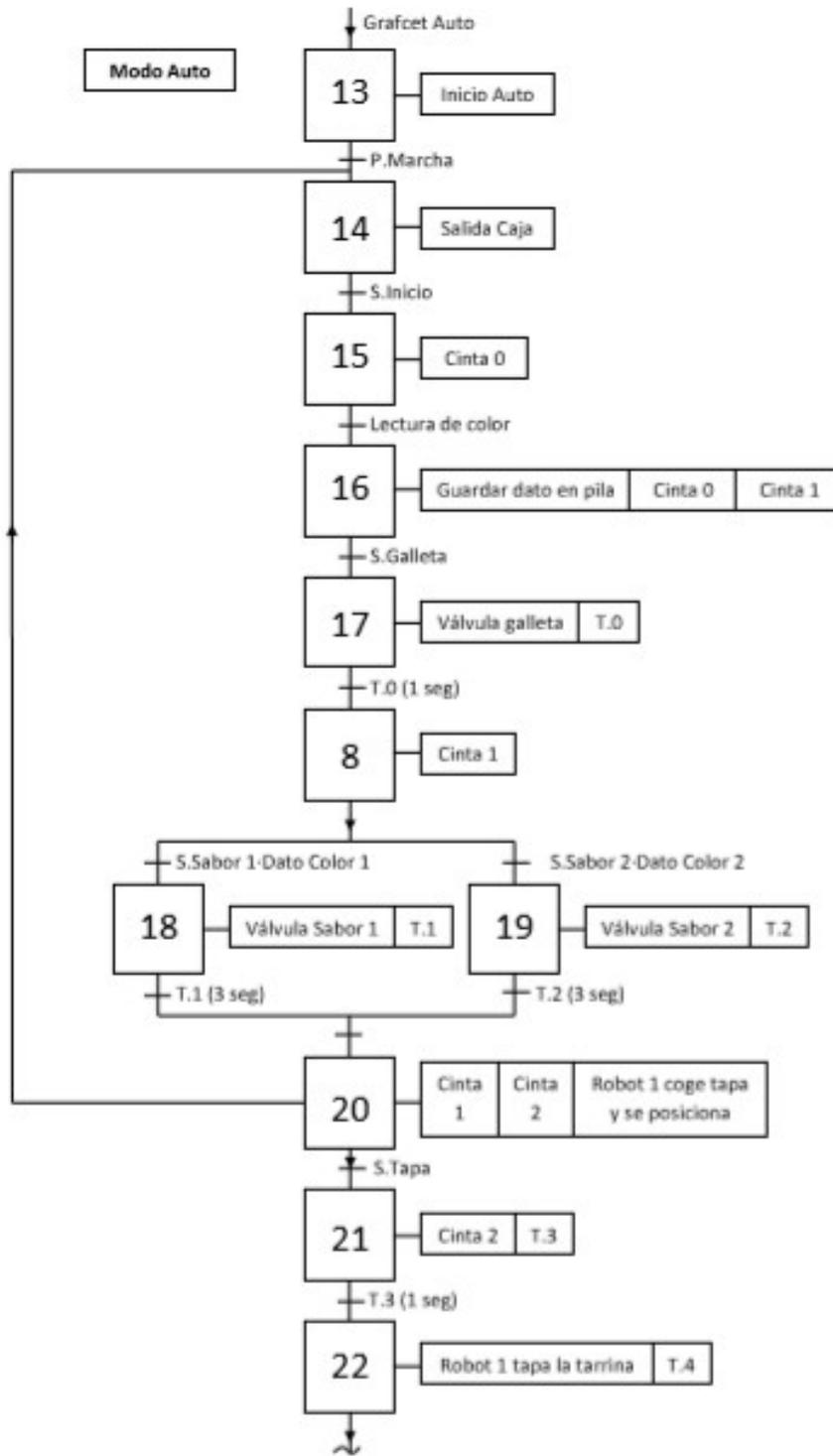
Totally Integrated Automation Portal									
Standard-Variablen-tabelle [134]									
Variables PLC									
Variables PLC									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMIO PC UA	Escribible desde HMIO PC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario	
Etapa 0	Bool	%M0.0	False	True	True	True			
Bit manual	Bool	%M20.0	False	True	True	True			
Bit cinta	Bool	%M40.0	False	True	True	True			
Bit bajar robots	Bool	%M40.1	False	True	True	True			
Bit adelante robots	Bool	%M40.2	False	True	True	True			
Bit auto	Bool	%M20.1	False	True	True	True			
Bit entrada base	Bool	%M40.3	False	True	True	True			
Tag_3	Bool	%M80.0	False	True	True	True			
Etapa 1	Bool	%M0.1	False	True	True	True			
Bit cinta 0	Bool	%M40.4	False	True	True	True			
Bit cinta 1	Bool	%M40.5	False	True	True	True			
Tag_5	Bool	%M80.1	False	True	True	True			
Etapa 2	Bool	%M0.2	False	True	True	True			
Tag_1	Bool	%M80.2	False	True	True	True			
Bit galleta	Bool	%M40.6	False	True	True	True			
Etapa 3	Bool	%M0.3	False	True	True	True			
Bit sabor 1	Bool	%M60.0	False	True	True	True			
Tag_4	Bool	%M80.3	False	True	True	True			
Etapa 4	Bool	%M0.4	False	True	True	True			
Bit valvula s1	Bool	%M40.7	False	True	True	True			
Tag_6	Bool	%M80.5	False	True	True	True			
Bit sabor 2	Bool	%M60.1	False	True	True	True			
Etapa 5	Bool	%M0.5	False	True	True	True			
Etapa 6	Bool	%M0.6	False	True	True	True			
Bit valvula s2	Bool	%M41.0	False	True	True	True			
Etapa 7	Bool	%M0.7	False	True	True	True			
Bit entrada tapa	Bool	%M41.1	False	True	True	True			
Tag_2	Bool	%M80.6	False	True	True	True			
Etapa 8	Bool	%M1.0	False	True	True	True			
Bit Bajar R. Tapa	Bool	%M41.2	False	True	True	True			
Bit Ventosa Tapa	Bool	%M41.3	False	True	True	True			
Etapa 9	Bool	%M1.1	False	True	True	True			
Etapa 10	Bool	%M1.2	False	True	True	True			
Bit adelante R.Tapa	Bool	%M41.4	False	True	True	True			
Etapa 11	Bool	%M1.3	False	True	True	True			
Etapa 12	Bool	%M1.4	False	True	True	True			

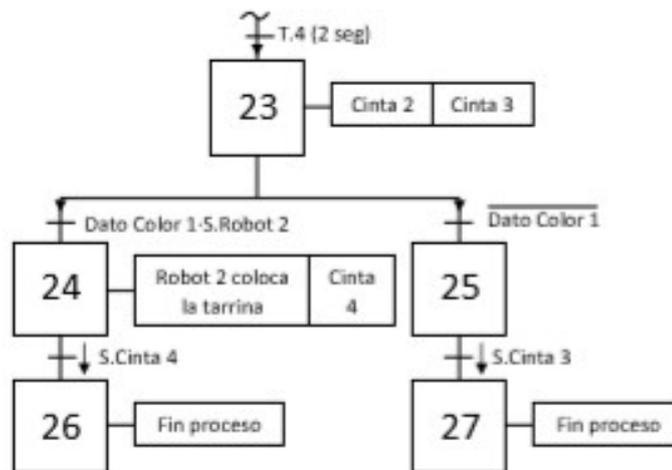
Totally Integrated Automation Portal									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMIO PC UA	Escribible desde HMIO PC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario	
Etapa 13	Bool	%M1.5	False	True	True	True			
Tag_8	Bool	%M30.7	False	True	True	True			
Tag_7	Bool	%M1.0	False	True	True	True			
Etapa 14	Bool	%M1.6	False	True	True	True			
Bit Inicio Automático	Bool	%M90.0	False	True	True	True			
Tag_9	Bool	%M1.1	False	True	True	True			
Tag_10	Bool	%M1.2	False	True	True	True			
Tiempo espera colocación	Bool	%M35.0	False	True	True	True			
Bit Cinta a	Bool	%M41.5	False	True	True	True			
Etapa 15	Bool	%M1.7	False	True	True	True			
Tag_11	Bool	%M1.3	False	True	True	True			
Bit Bajar R. Selección	Bool	%M41.7	False	True	True	True			
Etapa 16	Bool	%M2.0	False	True	True	True			
Bit ventosa selección	Bool	%M42.0	False	True	True	True			
Etapa 17	Bool	%M2.1	False	True	True	True			
Bit delante R. separar	Bool	%M42.1	False	True	True	True			
Etapa 18	Bool	%M2.2	False	True	True	True			
Etapa 19	Bool	%M2.3	False	True	True	True			
Etapa 20	Bool	%M2.4	False	True	True	True			
Bit cinta b	Bool	%M41.6	False	True	True	True			
Bit retorno	Bool	%M25.1	False	True	True	True			
Bit Colocador	Bool	%M42.2	False	True	True	True			
Etapa 21	Bool	%M2.5	False	True	True	True			
Tag_12	Bool	%M1.4	False	True	True	True			
Bit cinta 2	Bool	%M42.3	False	True	True	True			
Tag_13	Bool	%M1.5	False	True	True	True			
Tag_14	DWord	%D30	False	True	True	True			
Tag_15	Bool	%M1.6	False	True	True	True			
Tag_17	Bool	%M2.0	False	True	True	True			
Tag_18	Bool	%M2.1	False	True	True	True			
Paro cinta a	Bool	%M30.0	False	True	True	True			
Buffer	Byte	%M10	False	True	True	True			
Tag_19	Bool	%M2.2	False	True	True	True			
Bit_Sabort	Bool	%M10.0	False	True	True	True			
Tag_20	Byte	%M100	False	True	True	True			
Tag_21	Bool	%M2.3	False	True	True	True			
Reset Todo	Bool	%I2.0	False	True	True	True			
Tag_22	Bool	%M10.5	False	True	True	True			
Sabor 1	Bool	%M1.0	False	True	True	True			
Sabor 2	Bool	%M1.1	False	True	True	True			
Tag_23	Bool	%M10.1	False	True	True	True			

Totally Integrated Automation Portal									
Número	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMUO PC UA	Escribible desde HMUO PC UA	Visible en HMI Engineering	Supervisión	Comentario
1	Tag_24	Bool	%M82.4	False	True	True	True		
2	Tag_25	Bool	%M10.3	False	True	True	True		
3	Tag_26	Bool	%M10.2	False	True	True	True		
4	Bit paro rojo	Bool	%M70.1	False	True	True	True		
5	Bit paro emergencia auto	Bool	%M70.0	False	True	True	True		
6	Tag_29	Bool	%M82.5	False	True	True	True		
7	Salida	DWord	%Q030	False	True	True	True		
8	Tag_16	DWord	%Q034	False	True	True	True		
9	Tag_30	Bool	%M82.6	False	True	True	True		
10	Tag_31	Bool	%M83.0	False	True	True	True		
11	Tag_32	Bool	%M83.1	False	True	True	True		
12	S. conta azul	Bool	%I2.1	False	True	True	True		
13	Tag_27	Bool	%M83.2	False	True	True	True		
14	Tag_28	Bool	%M83.3	False	True	True	True		
15	luz manual	Bool	%Q2.2	False	True	True	True		
16	luz auto	Bool	%Q2.1	False	True	True	True		
17	luz paro	Bool	%Q2.3	False	True	True	True		
18	sirena	Bool	%Q2.5	False	True	True	True		
19	Bit sirena	Bool	%M71.0	False	True	True	True		
20	manobra sirena	Bool	%M71.1	False	True	True	True		
21	luz emergencia	Bool	%Q2.4	False	True	True	True		
22	Tag_33	Bool	%M2.6	False	True	True	True		
23	Maniobra ventosas	Bool	%M71.2	False	True	True	True		
24	Tag_34	Bool	%M83.4	False	True	True	True		
25	Solucion error paro	Bool	%M76.0	False	True	True	True		
26	Flavour11	Bool	%M76.1	False	True	True	True		
27	Flavour12	Bool	%M76.2	False	True	True	True		

Anexo III: Grafcet







Anexo IV: Esquemas

