



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“CONTROL SECUENCIAL MEDIANTE GRAFCET DEL
SISTEMA DE ENTRENAMIENTO MODERNO IPA-23 DE
LUCAS NULLE: MEZCLADO, LLENADO Y ENVASADO
DE BOTELLAS”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

ERNESTO ALDRIN FÉREZ BAJAÑA
LIVINGTON ALFREDO MIRANDA DELGADO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la bendición de despertar día a día y haberme permitido llegar a alcanzar esta tan ansiada meta y a cada una de las personas que formaron parte de este largo camino llamado universidad, compañeros de aula y profesores por haber sido un apoyo constante a lo largo de estos años y haber aportado con un granito de arena en la motivación y alcance de esta logro obtenido.

Ernesto Aldrin Férrez Bajaña

A Dios por la vida.

A mi familia por su apoyo incondicional y por ser parte fundamental en mi vida.

A mi novia por su amor y amistad en todo momento.

A mis compañeros por su apoyo en mi carrera universitaria.

Livington Alfredo Miranda Delgado

DEDICATORIA

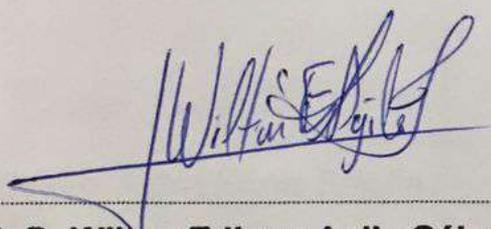
El presente proyecto lo dedico a mis padres Ernesto y Sonnia, mis mentores, sin ellos y sin su incalculable esfuerzo a lo largo de toda su vida hubiera sido imposible estar donde estoy y alcanzar lo que he alcanzado hoy; de esta manera concluyo así una etapa más de mi vida y les brindo esta cosecha de su trabajo en mí y a la vez les retribuyo toda la confianza y comprensión que me supieron dar con la satisfacción de este logro conseguido por ellos y para ellos.

Ernesto Aldrin Férrez Bajaña

El presente proyecto lo dedico a mi familia, son parte fundamental de mi vida, mención especial a mi madre Maurita Delgado y mi hermano Livingston Miranda, modelos y ejemplos a seguir. A mi mejor amiga y novia Lizeth Abata por mostrarme que aun en la oscuridad siempre hay una luz que nos guía. A mis amigos y compañeros por sus consejos y ayuda desinteresada.

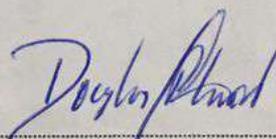
Livington Alfredo Miranda Delgado

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Ph.D. Wilton Edixon Agila Gálvez

PROFESOR EVALUADOR



Ph.D. Douglas Antonio Plaza Guingla

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual".

Ernesto Férrez B.

Ernesto Aldrin Férrez Bajaña

Livington

Livington Alfredo Miranda Delgado

RESUMEN

Con el pasar de los años el avance de la tecnología y la automatización industrial juegan un papel importante hacia el desarrollo de los nuevos profesionales dedicados al campo industrial, de tal manera que día a día se presentan nuevas oportunidades que ofrecen los cambios necesarios para una renovación con equipos de alta calidad y última tecnología permitiendo la optimización de procesos, alzas de productividad, mejor administración de recursos, entre otros beneficios.

La Escuela Superior Politécnica del Litoral cuenta con el Laboratorio de Control de Procesos Industriales y en su plan para reforzar el perfil práctico con el cual deben cumplir los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electricidad con especialización Electrónica y Automatización Industrial adquirió el Sistema de Entrenamiento Moderno IPA 23 de la marca alemana LUCAS-NÜLLE, en el cual se desarrolla un conjunto de experimentos que cuentan con la tecnología e instrumentación necesaria de un proceso de la vida real industrial.

El proyecto descrito en el presente documento se basa en el diseño e implementación de la programación usando la herramienta GRAFCET como una solución para desarrollar el programa de control de un proceso secuencial que simula a menor escala una línea de producción de sixpacks de botellas; dicho proceso consta de tres etapas: la etapa de mezcla donde se elabora el líquido a verter en las botellas, la etapa de llenado para distribuir el líquido en cada recipiente y la etapa de sellado donde se realiza un sellado hermético con cubiertas de plástico respectivamente.

El primer capítulo consta de una breve descripción de la problemática presente en la actualidad con respecto al nivel práctico que presentan los estudiantes a la hora de salir al campo laboral; en el segundo capítulo se detalla toda la información técnica relacionada al sistema de entrenamiento IPA 23, sus componentes, su estructura, arquitectura de control y diagramas de conexión; y en el capítulo tres se muestra la implementación de la programación mediante los diagramas de control desarrollados en GRAFCET y el desarrollo de pantallas HMI para el sistema de control y monitoreo de todo el proceso de producción para un sixpack.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Sistema de Entrenamiento Moderno IPA 23 de LUCAS-NÜLLE....	1
1.1.1 IMS 1.2: Sistema de transporte.....	2
1.1.2 IPA 2: Estación de mezclado.....	3
1.1.3 IPA 3: Estación de llenado.....	3
1.1.4 IPA 4: Estación de sellado.....	4
1.2 Descripción del problema.....	4
1.3 Propuesta de solución.....	5
1.4 Justificación del proyecto.....	5
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivos Generales.....	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO MODERNO IPA 23 DE LUCAS-NÜLLE.....	7
2.1 Subsistemas del IPA 23.....	7
2.1.1 IMS 1.2 Cinta transportadora con accionamiento de corriente continua.....	7

2.1.2	IPA 2 Estación de mezclado.....	10
2.1.3	IPA 3 Estación de llenado	11
2.1.4	IPA 4 Estación de sellado.....	12
2.1.5	IPA 4.1 Estación de transferencia de cubierta.....	13
2.2	Instrumentación del IPA 23.	14
2.2.1	Sensor de presión	14
2.2.2	Sensor Magnético	15
2.2.3	Sensor Capacitivo	15
2.2.4	Sensor Óptico.....	16
2.2.5	Caudalímetro.....	16
2.2.6	Cilindro de Simple Efecto	17
2.2.7	Cilindro de Doble Efecto.....	18
2.2.8	Motor reductor DC.....	18
2.2.9	Bomba de presión	19
2.2.10	Válvulas de distribución.....	20
2.3	Etapas de Control.	22
2.3.1	Controlador Lógico Programable SIMATIC S7-300.....	22
2.3.2	Panel Táctil SIMATIC TP 700.....	23
2.3.3	Arquitectura de control	24
2.4	Diagramas de conexión.....	26
2.4.1	IPA 2 Estación de Mezclado.....	26
2.4.2	IPA 3 Estación de Llenado	27
2.4.3	IPA 4 Estación de Sellado	27
2.4.4	IPA 4.1 Estación de transferencia de tapas.....	28
CAPÍTULO 3.....		30
3.	PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DE HMI EN TIA PORTAL.	30
3.1	Control Secuencial mediante GRAFCET.....	30
3.1.1	Proceso de Mezcla - IPA 2	30
3.1.2	Proceso de Llenado manual de tanque - IPA 3	32

3.1.3	Proceso de Llenado automático de tanque - IPA 3	33
3.1.4	Proceso de Limpieza - IPA 3	35
3.1.5	Proceso de Llenado y Sellado de botellas - IPA 3, IPA 4.	37
3.1.6	Proceso de Transferencia de cubiertas - IPA 4.1	49
3.2	Descripción de Pantallas HMI.	52
3.2.1	Plantilla de Trabajo.....	52
3.2.2	Pantalla Inicial	53
3.2.3	Proceso de Mezcla - IPA 2	54
3.2.4	Proceso de Limpieza - IPA 2	55
3.2.5	Proceso de Llenado de reservorios - IPA 2	56
3.2.6	Proceso de Limpieza - IPA 3	57
3.2.7	Proceso de Llenado Automático/Manual - IPA 3	58
3.2.8	Proceso de Llenado de Botellas - IPA 3	59
3.2.9	Proceso de Sellado - IPA 4	60
3.2.10	Proceso de Transferencia de cubiertas - IPA 4.1	61
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
	BIBLIOGRAFÍA	64
	ANEXOS	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Sistema de Entrenamiento IPA 23.	1
Figura 2.1: Cinta doble de transporte [3].	8
Figura 2.2: Módulo esclavo PROFIBUS DP [3].	9
Figura 2.3: Casquillos de conexión de puesta en marcha [3].	9
Figura 2.4: Componentes de la estación de mezclado [4].	10
Figura 2.5: Componentes de la estación de llenado [5].	11
Figura 2.6: Componentes de la estación de sellado [6].	12
Figura 2.7: Componentes de la estación de transferencia de cubierta [7]. ...	13
Figura 2.8: Sensor de presión.	14
Figura 2.9: Sensor magnético.	15
Figura 2.10: Sensor capacitivo.	16
Figura 2.11: Sensor óptico.	16
Figura 2.12: Caudalímetro.	17
Figura 2.13: Cilindro de simple efecto.	17
Figura 2.14: Cilindro de doble efecto.	18
Figura 2.15: Motor reductor DC.	19
Figura 2.16: Bomba de presión.	19
Figura 2.17: Válvula manual de 2/2 vías.	20
Figura 2.18: Válvula de distribución de 2/2 vías.	20
Figura 2.19: Válvula de distribución de 3/2 vías.	21
Figura 2.20: Válvulas de distribución de 3/2 y de 4/2 vías.	21
Figura 2.21: PLC SIEMENS SIMATIC S7-300.	22
Figura 2.22: Estación de trabajo para PLC SIMATIC S7-300 [11].	23
Figura 2.23: Touch Panel SIEMENS SIMATIC TP 700.	24
Figura 2.24: Arquitectura de control del Sistema de Entrenamiento IPA 23.	25
Figura 2.25: Diagrama de conexión del IPA 2.	26
Figura 2.26: Diagrama de conexión del IPA 3.	27

Figura 2.27: Diagrama de conexión del IPA 4.	28
Figura 2.28: Diagrama de conexión del IPA 4.1.....	29
Figura 3.1: GRAFCET - Proceso de Mezcla (IPA 2).	30
Figura 3.2: GRAFCET - Proceso de Llenado manual de tanque (IPA 3).	32
Figura 3.3: GRAFCET - Proceso de Llenado automático de tanque (IPA 3).	33
Figura 3.4: GRAFCET - Proceso de Limpieza (IPA 3).	35
Figura 3.5: GRAFCET - Rutina principal de llenado de botellas (IPA 3).	37
Figura 3.6: GRAFCET - Subrutina de dosificado de botellas (IPA 3).	40
Figura 3.7: GRAFCET - Rutina principal de sellado de botellas (IPA 4).	42
Figura 3.8: GRAFCET - Subrutina de sellado de botellas (IPA 4).	46
Figura 3.9: GRAFCET - Rutina de ciclo final (IPA 23).	48
Figura 3.10: GRAFCET - Proceso de Transferencia de cubierta (IPA 4.1)...	49
Figura 3.11: Pantalla HMI - Plantilla de Trabajo.....	52
Figura 3.12: Pantalla HMI - Pantalla Inicial.	53
Figura 3.13: Pantalla HMI - Proceso de Mezcla (IPA 2).	54
Figura 3.14: Pantalla HMI - Proceso de Limpieza (IPA 2).	55
Figura 3.15: Pantalla HMI - Proceso de Llenado de reservorios (IPA 2).	56
Figura 3.16: Pantalla HMI - Proceso de Limpieza (IPA 3).	57
Figura 3.17: Pantalla HMI - Proceso de Llenado Automático / Manual (IPA 3).	58
Figura 3.18: Pantalla HMI - Proceso de Llenado de Botellas (IPA 3).	59
Figura 3.19: Pantalla HMI - Proceso de Sellado (IPA4).	60
Figura 3.20: Pantalla HMI - Proceso de Transferencia de cubierta (IPA4.1).	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Detalle de las instrucciones del proceso de mezcla del IPA 2.	32
Tabla 2: Detalle de las instrucciones del proceso de llenado manual de tanque del IPA 3.	33
Tabla 3: Detalle de las instrucciones del proceso de llenado automático de tanque del IPA 3.	34
Tabla 4: Detalle de las instrucciones del proceso de limpieza del IPA 3.	36
Tabla 5: Instrucciones de la rutina principal de llenado de botellas del IPA 3.	39
Tabla 6: Detalle de las instrucciones de la subrutina de dosificado de botellas del IPA 3.	42
Tabla 7: Detalle de las instrucciones de la rutina principal de sellado de botellas del IPA 4.	45
Tabla 8: Detalle de las instrucciones de la subrutina de sellado de botellas del IPA 4.	47
Tabla 9: Detalle de las instrucciones de la rutina de ciclo final del sistema IPA 23.	49
Tabla 10: Detalle de las instrucciones de la rutina de ciclo final del sistema IPA 23.	52

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presenta una breve descripción del sistema en conjunto y de cada uno de los subsistemas que conforman el Sistema de Entrenamiento Moderno IPA 23 de LUCAS-NÜLLE, se detalla también la metodología implementada y los respectivos resultados de aprendizaje que poseen actualmente los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electricidad especialización Electrónica y Automatización Industrial de la Escuela Superior Politécnica del Litoral así como se concluye con la contribución del presente proyecto con los estudiantes de los últimos niveles de la misma.

1.1 Sistema de Entrenamiento Moderno IPA 23 de LUCAS-NÜLLE.

Los Sistemas de Automatización de Procesos Industriales de las siglas en inglés IPA (Industrial Process Automation) que ofrece la marca alemana LUCAS-NÜLLE son sistemas de entrenamiento modernos los cuales están diseñados para acoplar los aprendizajes con las habilidades de los estudiantes mediante una gama de experimentos que son llevados de la mano con la tecnología necesaria para introducir en ellos la mayor exigencia que representa un proceso industrial en la actualidad.

De esta manera se tiene el Sistema de Entrenamiento IPA 23 el cual representa la automatización industrial a menor escala de lo que sería un proceso real de una línea de producción de un sixpack de botellas.

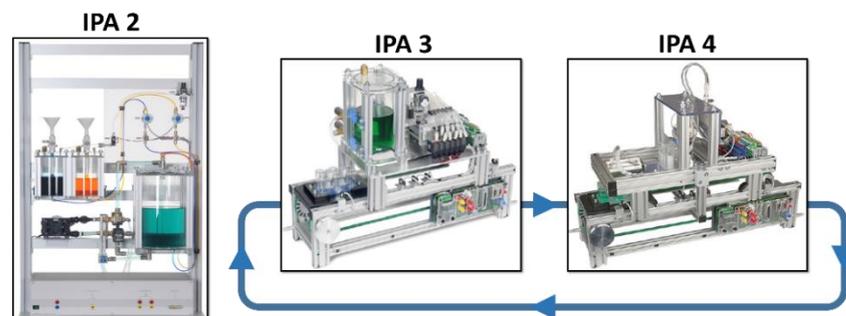


Figura 1.1: Sistema de Entrenamiento IPA 23.

La Figura 1.1 muestra el Sistema de Entrenamiento IPA 23, el cual consiste en tres etapas: el mezclado para obtener el líquido o la sustancia del producto final para pasar luego al debido envasado o llenado de las botellas del sixpack y finalmente el sellado o corchado de las mismas.

Todo el sistema descrito anteriormente se lleva a cabo gracias a un sistema de transporte el cual permite el desplazamiento del sixpack de botellas por cada uno de las estaciones o subsistemas desde la elaboración de la mezcla hasta su sellado y almacenamiento final.

El Sistema de Entrenamiento Moderno IPA 23 está conformado por los siguientes subsistemas:

- IMS 1.2: Sistema de transporte
- IPA 2: Estación de mezclado
- IPA 3: Estación de llenado
- IPA 4: Estación de sellado
- IPA 4.1: Estación de transporte de cubierta (Auxiliar)

1.1.1 IMS 1.2: Sistema de transporte

Es la parte central y fundamental para el funcionamiento del proceso, en el cual mediante un sistema de acoplamiento entre un motor reductor y una cinta transportadora doble se realiza el movimiento del sixpack por las diferentes estaciones de trabajo.

Con el desarrollo de prácticas individuales en la estación “IMS 1.2: Sistema de transporte de corriente continua” los estudiantes serán capaces de adquirir destrezas tales como:

- Análisis de las funciones de sensores a utilizar, montaje y ajuste.
- Conocimientos acerca de los sistemas de transportación de procesos industriales.
- Programación básica en el PLC para movimientos de una cinta doble de transporte.

1.1.2 IPA 2: Estación de mezclado

Esta estación representa la parte inicial del proceso a llevarse a cabo como lo es la mezcla de diferentes sustancias con cantidades previamente establecidas por el estudiante.

Con el desarrollo de prácticas individuales en la estación “IPA 2: Estación de mezclado” los estudiantes serán capaces de adquirir destrezas tales como:

- Conocimientos acerca de los sensores utilizados para sistemas de control de niveles de líquidos y caudal.
- Conocimientos acerca de los sensores utilizados para medir el caudal de un líquido.
- Programación básica y necesaria para realizar la mezcla de dos sustancias diferentes.

1.1.3 IPA 3: Estación de llenado

Es la estación de trabajo en la cual se realiza el llenado dosificado de las piezas de trabajo, es decir, los sixpack. En este subsistema del proceso se cuenta con un reservorio o tanque de menor tamaño que el de la estación de mezcla el cual requiere de la sustancia final producto del mezclado de las tintas establecidas por el estudiante.

Con el desarrollo de prácticas individuales en la estación “IPA 3: Estación de llenado” los estudiantes serán capaces de adquirir destrezas tales como:

- Conexión y ajuste de instrumentos de medida de nivel y caudal de líquidos.
- Programación en el PLC con tiempos exactos para correcta dosificación de líquido en las botellas.
- Manejo de sistemas neumáticos de uso industrial tales como cilindros de simple y doble efecto y válvulas de distribución.

1.1.4 IPA 4: Estación de sellado

En esta estación se cuenta con un sistema neumático previamente calibrado para el movimiento de cilindros de simple y doble efecto en los tres ejes (x, y, z) para lograr un sellado hermético cada una de las botellas que conforman el sixpack; adicional a esto se cuenta con una extensión a la estación de trabajo (IPA 4.1) para realizar la realimentación de las tapas a la estación principal de sellado.

Con el desarrollo de prácticas individuales en la estación “IPA 4: Estación de sellado” los estudiantes serán capaces de adquirir destrezas tales como:

- Conexión de instrumentos de control de posición, tales como los sensores magnéticos.
- Manejo de una estación con componentes electroneumáticos útil para el campo industrial.
- Programación de sistemas electroneumáticos desde un controlador lógico programable SIEMENS.

1.2 Descripción del problema.

En el tiempo presente la carrera de Ingeniería Electricidad especialización Electrónica y Automatización Industrial de la Escuela Superior Politécnica del Litoral consta con varios laboratorios en los últimos niveles de estudio referentes con la especialización, entre uno de ellos se encuentran los laboratorios de Automatización Industrial I y II. La metodología utilizada en estos laboratorios es realizar prácticas semanales que aumentan su dificultad conforme se avanza en el curso y consta de un proyecto final que abarca la automatización de un proceso industrial.

Tanto las prácticas como el proyecto final se lo realiza con un software y equipo de trabajo descontinuados con respecto a la tecnología que se usa hoy en día en el mercado laboral industrial. Se describe a continuación el software y equipo de trabajo utilizado en los laboratorios de automatización:

Software Proficy Machine Edition, el PLC Versamax Nano/Micro de General Electric, y un tablero de aprendizaje que consta de 13 interruptores y 10 luces pilotos. La tecnología descontinuada del software y de los equipos de trabajo hace que el estudiante tenga una experiencia no tan real de lo que es la automatización de un proceso industrial.

1.3 Propuesta de solución.

Recientemente el Laboratorio de Control de Procesos Industriales adquirió un sistema de aprendizaje moderno de producción automática de un sixpack IPA 26 perteneciente a la marca LUCAS-NÜLLE, este se conforma de seis subsistemas de trabajo como son: mezclado, almacenamiento, llenado, encorchado, descorchado y almacenamiento intermedio. Cada subsistema puede trabajar de forma individual o combinarse de cualquier manera entre si y formar distintos sistemas de producción de un sixpack.

Por lo anteriormente escrito se propone desarrollar un control secuencial de automatización para el sistema de entrenamiento moderno IPA 23 conformado por los subsistemas de mezclado, llenado y encorchado, utilizando para ellos un controlador lógico programable (PLC) S7-300 de Siemens, un Panel Touch TP 700 de Siemens, sensores y actuadores que se usan comúnmente en los procesos industriales actuales del mercado laboral.

Además, se adjunta en la parte de anexos una guía de prácticas básicas para que el estudiante se capacite y se oriente de mejor manera con respecto a la automatización y control industrial que se presenta en el campo industrial actual.

1.4 Justificación del proyecto.

El trabajo presente tiene como meta integrar los conocimientos adquiridos por los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electricidad Especialización Electrónica y Automatización Industrial de una manera más real y cercana posible a lo que se vive hoy en día en una industria local.

Si bien es cierto, la orientación dentro de la carrera y la destreza más grande que se ha adquirido ha sido en los últimos niveles de la misma, llevando el conocimiento de los estudiantes hasta niveles altos de aprendizaje; sin embargo es necesario ir acoplando todo lo aprendido a un estilo más moderno y más práctico que le permitirá al estudiante desenvolverse de una manera mucho más segura posteriormente en su vida profesional.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivos Generales

- Brindar la oportunidad al estudiante de la carrera de Ingeniería en Electricidad Especialización Electrónica y Automatización Industrial de llegar a vivir el día a día de una industria, afrontando los problemas y posibles consecuencias que se pudieran adquirir en el camino durante el desarrollo de la programación de una línea de producción moderna ensamblada "IPA 23", marca LUCAS-NÜLLE.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar la programación de la secuencia de control en TIA Portal usando como diagrama de control la herramienta GRAFCET de la planta de entrenamiento moderno IPA 23 de la marca LUCAS-NÜLLE.
- Optimizar un proceso industrial utilizando equipos de marcas reconocidas en el mercado, como el caso de SIEMENS.
- Dar a conocer al estudiante los distintos sensores y actuadores que se usan comúnmente en un proceso de automatización industrial mediante el desarrollo de pre-prácticas.
- Diseñar un conjunto de prácticas que sirvan de guía para futuros cursos impartidos en las materias de la carrera.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO MODERNO IPA 23 DE LUCAS-NÜLLE.

En el capítulo presente se detalla la descripción de los subsistemas individuales con los que cuenta el sistema de entrenamiento moderno IPA 23 de LUCAS-NÜLLE, se realiza una descripción de la parte operativa del proceso por etapas, arquitectura de control y protocolos a utilizar para la comunicación de los dispositivos del sistema, información y características sobre la instrumentación a manejar tales como sensores y actuadores, hardware y software de trabajo donde se realiza la programación [1].

2.1 Subsistemas del IPA 23.

2.1.1 IMS 1.2 Cinta transportadora con accionamiento de corriente continua

La cinta transportadora es el sistema de transporte que sirve para conectar todos los subsistemas que conforman la planta industrial IPA 23, viene adaptada con una tarjeta electrónica de comunicación. Mediante este sistema se realiza el transporte del sixpack que se monta en un portador de piezas. Sirve de enlace entre sub-sistemas y se puede anexar con otras cintas transportadoras [2].

La cinta de transporte se compone de los siguientes módulos:

- **Cinta doble de transporte.**

En la Figura 2.1 que se muestra a continuación se puede observar la cinta transportadora con la respectiva descripción de sus componentes:

1. Correa de transporte, Longitud = 600mm.
2. Motor reductor de 24 VDC.
3. Sensor magnético de posición final derecha.
4. Módulo esclavo PROFIBUS DP.

5. Sensor magnético de posición final izquierda.



Figura 2.1: Cinta doble de transporte [3].

- **Módulo esclavo PROFIBUS DP.**

En la Figura 2.2 se puede observar la tarjeta electrónica de comunicación Profibus de la que hace uso la cinta transportadora y se realiza una descripción de sus componentes a continuación:

1. Alimentación de tensión "EXTERN IN" de la tarjeta electrónica (24VDC).
2. Puerto de comunicación para esclavo PROFIBUS DP.
3. Puerto D-SUB 9 polos para conexión directa con el controlador lógico programable.
4. Puerto D-SUB de 25 polos para conexión con los sub-sistemas de entrenamiento.
5. Entrada analógica externa "EXT" de 0-10 V para variar la velocidad de la cinta.
6. Interruptor "SPEED" para selección de variación de velocidad de la cinta entre INT o EXT.
7. Potenciómetro "INT" para variación de velocidad de la cinta.
8. Bornes de entradas digitales para conexión de sensores.
9. Conectores M12 para conexión de sensores y actuadores adicionales.
10. Casquillos para la puesta en marcha de la cinta transportadora.
11. Interruptor "DIRECTION" para selección del sentido de dirección derecha o izquierda de la cinta.

12. Conmutador para seleccionar la dirección del esclavo PROFIBUS DP.

13. Conexión del motor de la cinta transportadora.

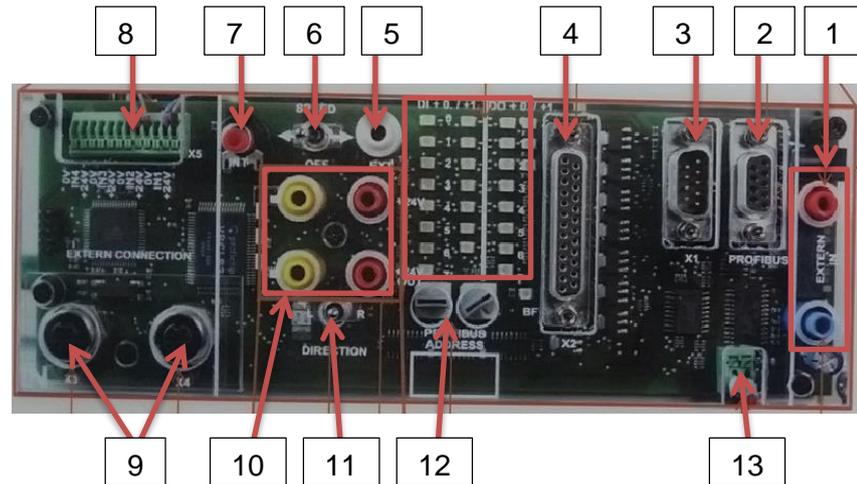


Figura 2.2: Módulo esclavo PROFIBUS DP [3].

- **Puesta en marcha de la cinta transportadora.**

Para la puesta en marcha de la cinta transportadora los casquillos de alimentación de 24VDC “EXTERN IN” deben estar conectados.

Los casquillos de puesta en marcha “+24V” y “+24V OUT” deben estar puenteados.

El interruptor “SPEED” debe estar ubicado en la posición izquierda, de tal manera que mediante el potenciómetro “INT” podemos regular la velocidad de la cinta.

El interruptor “DIRECTION” se ubica en la posición izquierda o derecha dependiendo del sentido de desplazamiento de la cinta que queramos [2].

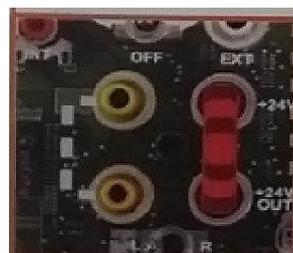


Figura 2.3: Casquillos de conexión de puesta en marcha [3].

En la Figura 2.3 se muestra la configuración de los casquillos de marcha “+24V” y “+24V OUT” para la puesta en marcha de la cinta transportadora.

2.1.2 IPA 2 Estación de mezclado

La estación de mezcla permite al usuario combinar dos cantidades previamente establecidas de tintas de diferentes colores en un depósito de mezcla principal. El fluido resultante puede ser redirigido hacia otro subsistema, siendo el caso del subsistema IPA 3 en el cual se realiza el llenado de un sixpack de botellas con el producto final de la mezcla obtenida en esta estación [8].

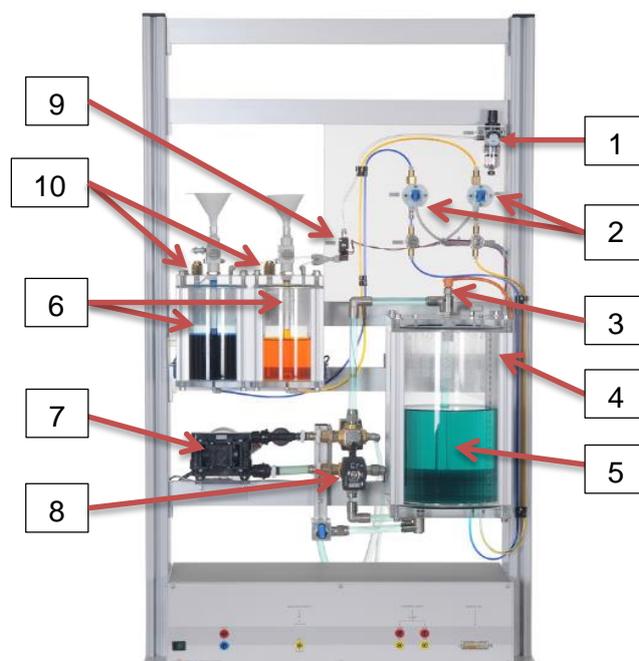


Figura 2.4: Componentes de la estación de mezclado [4].

En la Figura 2.4 se muestra los componentes por los que se encuentra conformada la estación de mezclado, los cuales se detallan a continuación:

1. Regulador de presión con manómetro.
2. Caudalímetro, para medición de caudal de líquido de ingreso.
3. Sensor ultrasónico, para medición de nivel de líquido.

4. Sensores capacitivos, para alarma de nivel de líquido.
5. Tanque de almacenamiento principal, para la mezcla final.
6. Tanques de almacenamiento secundario, para las sustancias a mezclar.
7. Bomba, para absorción de agua desde el depósito.
8. Válvulas de distribución de 3/2 vías.
9. Válvulas de distribución de 2/2 vías.
10. Válvulas de seguridad.

2.1.3 IPA 3 Estación de llenado

En la estación de llenado se realiza la dosificación del líquido proveniente de la estación anterior, es decir, la estación de mezclado a cada una de las botellas que conforman el sixpack mediante un sistema neumático conformado por cilindros de simple y doble efecto para movimientos en los tres ejes y válvulas para distribución de aire comprimido y de líquido [9].

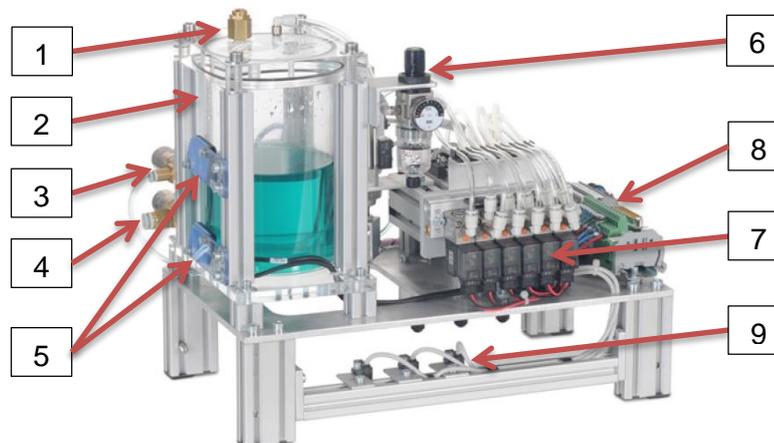


Figura 2.5: Componentes de la estación de llenado [5].

En la Figura 2.5 se puede observar los componentes por los que se encuentra conformada la estación de llenado, los cuales se detallan a continuación:

1. Válvula de seguridad.
2. Tanque de almacenamiento, para la sustancia a llenar.

3. Válvula de distribución de 3/2 vías, para entrada de agua.
4. Válvula de distribución de 2/2 vías, para salida de agua.
5. Sensores capacitivos, para alarma de nivel de líquido.
6. Regulador de presión con manómetro.
7. Válvulas de distribución de 3/2 y de 4/2 vías.
8. Conexión para cable SUB-D 25.
9. Sensores magnéticos, para posición de pieza de trabajo.

2.1.4 IPA 4 Estación de sellado

En la estación de sellado se dispone de un sistema calibrado neumáticamente para movimientos en los tres ejes combinados con una cinta transportadora los cuales sirven para realizar un sellado hermético con tapas o cubiertas de plástico de cada botella del sixpack. Además se cuenta con un sistema de realimentación para las tapas [10].

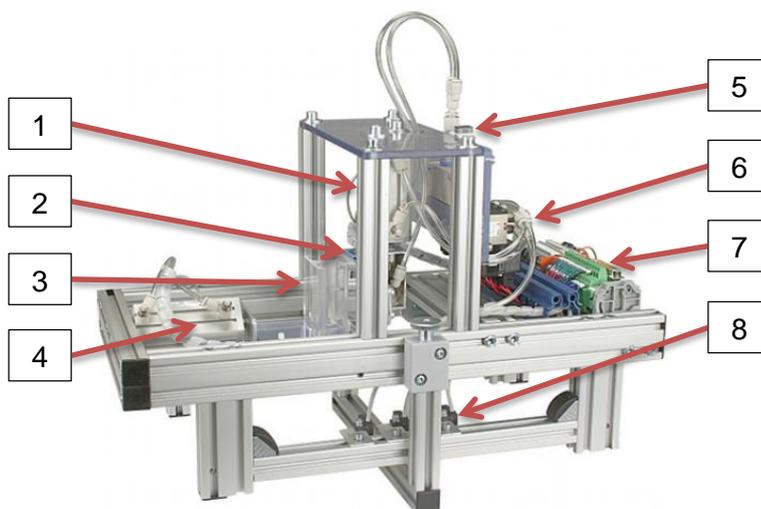


Figura 2.6: Componentes de la estación de sellado [6].

En la Figura 2.6 se puede observar los componentes por los que se encuentra conformada la estación de sellado, los cuales se detallan a continuación:

1. Cilindro de inserción, para realizar tapado.
2. Sensores ópticos, para detección de posición de cubierta.

3. Almacén para cubiertas de botellas.
4. Cilindro de separación, para aislar las cubiertas a colocar.
5. Sensor de presión, para detección de cubierta.
6. Válvulas de distribución de 3/2 y de 4/2 vías.
7. Conexión para cable SUB-D 25.
8. Sensores magnéticos, para posición de pieza de trabajo.

2.1.5 IPA 4.1 Estación de transferencia de cubierta

La estación de transferencia de tapas o cubiertas es una estación auxiliar que se conecta directamente entre las estaciones de llenado y sellado en la cual se realiza una realimentación de las cubiertas para mantener con suficientes cubiertas el almacén de las mismas que se ubica en la estación de sellado, por medio de un cilindro de absorción que posee dos ventosas se traslada desde la pieza de trabajo principal que contiene las cubiertas a su respectivo almacén para su posterior sellado [10].

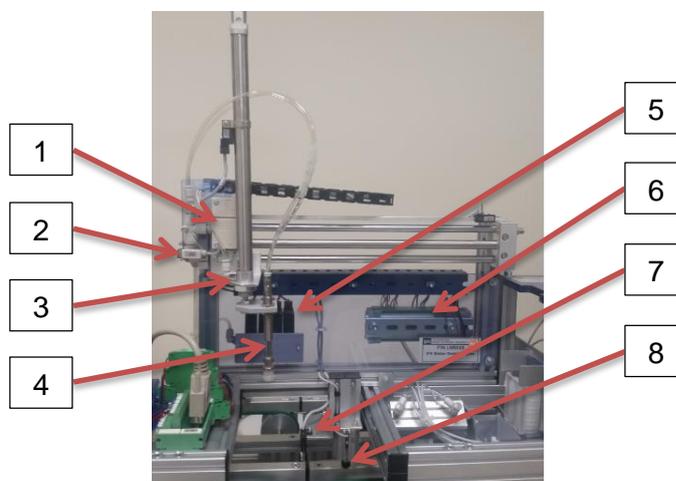


Figura 2.7: Componentes de la estación de transferencia de cubierta [7].

En la Figura 2.7 se puede observar los componentes que posee la estación de transferencia de cubierta, los cuales se detallan a continuación:

1. Cilindro para movimiento y traslado de cubierta, eje x.
2. Sensor de presión, para detección de cubierta.

3. Cilindro de absorción para trasladar las cubiertas, eje y.
4. Ventosas.
5. Válvulas de distribución de 3/2 y de 4/2 vías.
6. Conexión para cable SUB-D 25.
7. Sensor magnético, para detección de pieza de trabajo.
8. Cilindro de tope o parada de pieza de trabajo.

2.2 Instrumentación del IPA 23.

2.2.1 Sensor de presión

Este instrumento permite sensar la presión que se ejerce en las ventosas y por medio de este se puede validar que existan las respectivas cubiertas adheridas en las ventosas antes de realizar el sellado de las botellas o el traslado hacia el almacén de cubiertas; entre las características del sensor de presión se tiene:

- Rango de presión medible: 0.1 – 0.4 MPa.
- Voltaje de operación: 12 – 24 Vdc.

En el IPA 23 se cuenta con dos sensores de presión, uno para verificar las cubiertas antes de realizar el sellado en la estación de sellado IPA 4 y otro para el correcto traslado de cubierta en la estación de transferencia de cubierta auxiliar IPA 4.1.

La Figura 2.8 muestra el sensor de presión colocado en la estación de sellado IPA 4.



Figura 2.8: Sensor de presión.

2.2.2 Sensor Magnético

Mediante los sensores magnéticos se puede obtener la posición de la pieza de trabajo durante su paso por las diferentes estaciones de trabajo; dicha pieza contiene un material magnético el cual permite su fácil detección al pasar por el sensor.

Cada estación de trabajo tiene un sensor magnético de entrada y salida por medio de los cuales se puede obtener la ubicación de la pieza de trabajo, inicial y final respectivamente; además se cuenta con tres sensores adicionales para poder cubrir las diferentes posiciones de las botellas del sixpack.

La Figura 2.9 muestra un sensor magnético detectando una pieza de trabajo en la entrada de la estación de trabajo IPA3.



Figura 2.9: Sensor magnético.

2.2.3 Sensor Capacitivo

Para poder sensar y mantener el nivel del líquido en los recipientes se trabaja con sensores capacitivos capaces de medir el cambio en la capacitancia dentro de los depósitos provocado por la variación en el nivel de líquido.

Los sensores capacitivos detectan cambios sin necesidad de entrar en contacto con el líquido; el sistema IPA 23 cuenta con cinco sensores de nivel capacitivos divididos en tres en la estación de mezclado (IPA 2) y dos en la de llenado (IPA 3) manteniendo así un sistema de alarmas que indican cuando no hay líquido en los recipientes o cuando sobrepasa el límite de llenado.

Este tipo de sensores son de sencilla instalación, se ubican al exterior del recipiente tal como se muestra a continuación en la Figura 2.10.



Figura 2.10: Sensor capacitivo.

2.2.4 Sensor Óptico

Por medio del sensor óptico se realiza la calibración para la colocación de la cubierta en la posición correcta, por medio de la sensibilidad del sensor se permite ajustar para el buen funcionamiento del sistema.

En la estación de sellado se encuentran dos sensores ópticos situados a lado del cilindro del cilindro de absorción. En la Figura 2.11 se observa el sensor óptico que se usa en el reconocimiento de posición de las cubiertas de la estación de sellado IPA 4.



Figura 2.11: Sensor óptico.

2.2.5 Caudalímetro

Este elemento sirve para la medición del caudal del líquido a la salida de los recipientes de la estación de mezcla y de llenado.

De acuerdo al nivel pre establecido de llenado de las botellas del sixpack se realiza el giro de una rueda interna con paletas del caudalímetro las cuales giran lo necesario para dosificar el líquido indicado previamente.

Dentro del sistema IPA 23 se encuentran tres caudalímetros; en la Figura 2.12 se observa el caudalímetro a la salida del recipiente de almacenamiento de la estación de llenado IPA 3.



Figura 2.12: Caudalímetro.

2.2.6 Cilindro de Simple Efecto

Por medio de los actuadores se puede realizar las modificaciones en un proceso, sirven como el medio de transmisión entre el sistema que realiza el control y la planta que se desea controlar.

Dentro de los actuadores más usados en la industria se tiene los cilindros de simple efecto; el sistema IPA 23 cuenta con cilindros de simple efecto en cada una de sus estaciones por medio de los cuales se realiza acciones de movimientos de ejes y traslado principalmente.

La Figura 2.13 muestra un cilindro de simple efecto con retroceso por muelle que sirve para el ascenso y descenso de las ventosas antes de realizar el traslado de las cubiertas desde la estación auxiliar IPA 4.1 a la estación de sellado IPA 4.



Figura 2.13: Cilindro de simple efecto.

2.2.7 Cilindro de Doble Efecto

Con un funcionamiento similar a los cilindro de simple efecto, el sistema IPA 23 tiene distribuido por cada una de sus estaciones actuadores del tipo cilindro de doble efecto y mediante el uso de estos se lleva a cabo acciones como detención de la pieza de trabajo para las diferentes posiciones en las estaciones de llenado y sellado.

Dentro de la estación de sellado IPA 4 se cuenta con dos cilindros de doble efecto que sirven para la separación de la cubierta del almacén que las contiene y para realizar el sellado de la cubierta a cada una de las botellas del sixpack respectivamente; tal como se muestra en la Figura 2.14 a continuación.



Figura 2.14: Cilindro de doble efecto.

2.2.8 Motor reductor DC

El sistema de transporte se encuentra gobernado por un motor reductor DC acoplado con dos correas de 60 cm que le da el movimiento de la pieza de trabajo por las diferentes estaciones de trabajo.

La tensión nominal de operación del motor es de 24 Vdc y puede girar hasta 1500 rpm; dentro de sistema IPA 23 se cuenta con uno de ellos por cada estación de trasporte IMS 1.2 que conforme el sistema de entrenamiento, ya que dicha estación es el vínculo que une los subsistemas individuales de la planta.

En la Figura 2.15 se puede observar el motor con accionamiento de corriente continua el cual se encarga de dar el movimiento a la doble cinta transportadora.



Figura 2.15: Motor reductor DC.

2.2.9 Bomba de presión

Dentro del sistema IPA 23, específicamente en la estación de mezclado IPA 2 se cuenta con una bomba de presión de membrana doble, la cual se alimenta con una señal de 0 a 10V y mediante un circuito de control interno produce la señal adecuada para la variación de velocidad de giro de la bomba.

Esta bomba sirve para realizar el llenado del reservorio principal de la estación de mezcla desde el depósito de líquido y para dirigir el producto de la mezcla desde la estación de mezclado hasta el reservorio de la estación de llenado IPA 3.

La Figura 2.16 muestra la bomba de presión que se utiliza en la estación de mezcla IPA 2.



Figura 2.16: Bomba de presión.



Figura 2.19: Válvula de distribución de 3/2 vías.

En la Figura 2.19 se observa una válvula de distribución de 3/2 vías, en la estación de mezclado IPA 2 se cuenta con dos válvulas de este tipo, por medio de ellas se establece el flujo para el circuito de mezcla; de esta manera se puede tener un circuito de flujo de líquido para el llenado del recipiente principal desde el tanque depósito de agua y otro para realizar la salida de la mezcla hacia el recipiente de almacenamiento de la estación de llenado IPA 3.

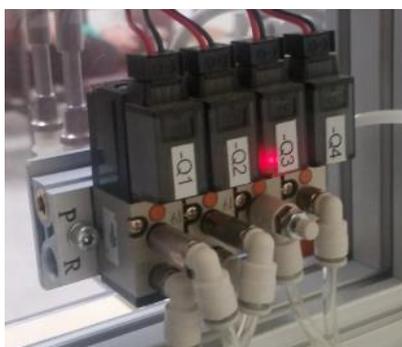


Figura 2.20: Válvulas de distribución de 3/2 v de 4/2 vías.

En la Figura 2.20 se muestra las válvulas de distribución de 3/2 vías (Q3 y Q4) y de 4/2 vías (Q1 y Q2) de la estación de transferencia de cubierta IPA 4.1; las válvulas de distribución de 3/2 vías sirven para enviar la presión necesaria a los recipientes con líquidos de la estación de mezclado (IPA 2) y de llenado (IPA 3); mientras que las válvulas de distribución de 4/2 vías sirven para controlar el accionamiento de los ejes móviles y de los cilindros de doble efecto que realizan la parada de la pieza de trabajo en las diferentes posiciones existentes en cada estación.

2.3 Etapa de Control.

2.3.1 Controlador Lógico Programable SIMATIC S7-300

Para realizar la programación del control secuencial del sistema de entrenamiento IPA 23 se cuenta con un equipo de marca reconocida a nivel industrial como lo es Siemens, con su producto de la línea de controladores lógicos programables SIMATIC el PLC S7-300 [14].

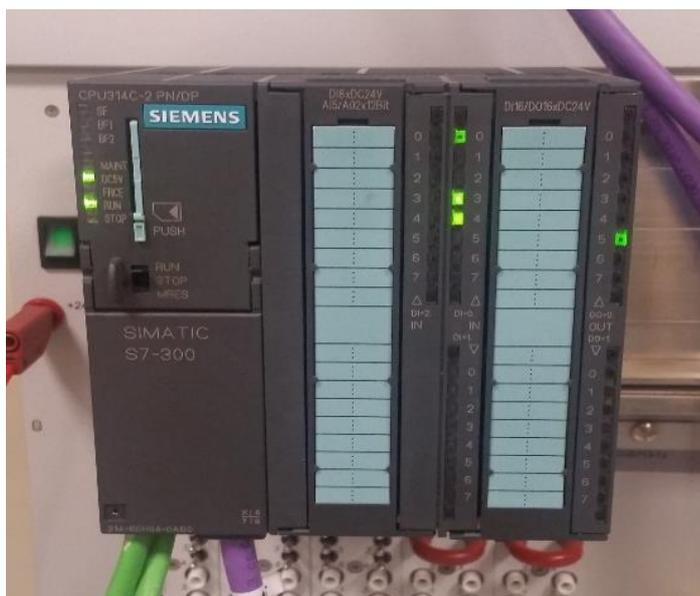


Figura 2.21: PLC SIEMENS SIMATIC S7-300.

La Figura 2.21 muestra este controlador, el cual consta con una amplia gama de aplicaciones para el sector industrial tanto para procesos con arquitectura de control centralizada como descentralizadas; el PLC SIMATIC S7-300 presenta las siguientes características:

- CPU 314C-2 PN/DP.
- Voltaje de alimentación: 24 VDC.
- Software de programación: STEP 7.
- Memoria de trabajo de 192 Kbyte.
- Memoria incorporada de 512Kbyte (Micro Memory Card).
- Entradas y salidas integradas.
- Interfaz de comunicación integrada: MPI/PROFIBUS DP maestro/esclavo.

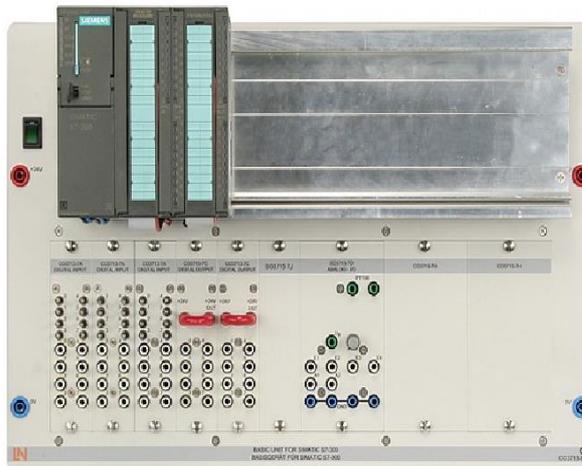


Figura 2.22: Estación de trabajo para PLC SIMATIC S7-300 [11].

El sistema de entrenamiento moderno IPA 23 ofrece además al usuario plataformas y varios accesorios para el uso del PLC formando un sistema modular tal como se muestra en la Figura 2.22 el cual está conformado por los siguientes componentes:

- Consola estable con Riel DIN, para poder equipar por más módulos de la línea SIMATIC S7-300.
- 24 entradas digitales de 24 VDC en conectores hembra de 4mm.
- 16 salidas digitales de 24 VDC en conectores hembra de 4mm.
- 4 entradas analógicas de 0-10V en conectores hembra de 4mm.
- 2 salidas analógicas de 0-10V en conectores hembra de 4mm.
- Dimensiones: 297mm*456mm*125mm.
- Peso: 7Kg.

2.3.2 Panel Táctil SIMATIC TP 700

Uno de los avances más grandes en el mundo de la automatización industrial son las interfaces HMI (Interfaz Hombre-Máquina), las cuales sirven para llevar un entorno más cercano entre el usuario y el proceso a controlar o automatizar, permitiendo así convivir con un proceso industrial en tiempo real mediante paneles o pantallas táctiles para supervisión, control y monitoreo de posibles errores del proceso [13].

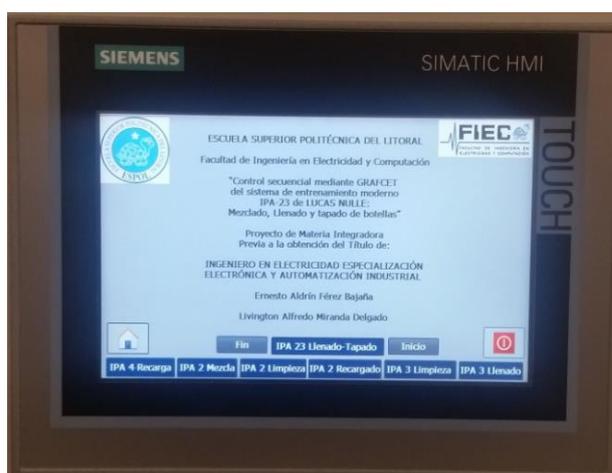


Figura 2.23: Touch Panel SIEMENS SIMATIC TP 700.

Dentro del sistema de entrenamiento moderno IPA 23 se cuenta con el panel de operación táctil de la marca SIEMENS SIMATIC HMI TP 700, el cual se puede observar en la Figura 2.23 y consta de las siguientes características:

- Pantalla táctil de 16 millones de colores y 7”.
- Resolución de 800*400.
- Software de Programación: TIA PORTAL Win CC Comfort.
- 2 Puertos de comunicación Profinet (Ethernet Industrial).
- 1 Puerto de comunicación MPI/Profibus DP.
- 2 Puertos de comunicación serial (USB).
- Voltaje de alimentación: 24 VDC.
- Dimensiones: 297mm*228mm*125mm.
- Peso: 3Kg.

2.3.3 Arquitectura de control

Dentro de un proceso de escala industrial encontramos distintos equipos y dispositivos que cumplen diversas funciones dentro del mismo, para comunicar dichos elementos es necesario cumplir con un conjunto de reglas que permita realizar la transferencia y el intercambio de información de datos de manera ordena y legible entre dichos elementos entre sí; es

por esto, que se asocia desde mucho tiempo atrás a un proceso industrial los protocolos de comunicación industrial que sirven para entrelazar los elementos de una red industrial simplificando funciones entre dispositivos. Dentro del sistema de entrenamiento moderno IPA 23 destacan dos protocolos de uso frecuente en procesos industriales: Profibus y Profinet. Mediante Profinet se conecta el PLC y el HMI con el ordenador, mientras que mediante Profibus se conectan la estación de llenado IPA 3, la estación de sellado IPA 4 y la estación de transferencia de cubierta IPA 4.1; la estación de mezclado IPA 2 mantiene una conexión de punto a punto que se comunica directamente por un cable SUB-D 25 al PLC [12].

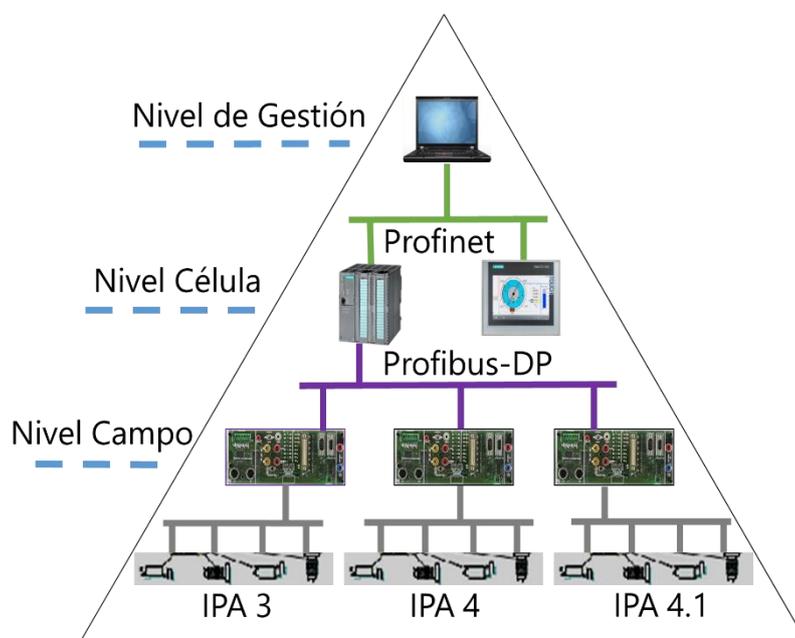


Figura 2.24: Arquitectura de control del Sistema de Entrenamiento IPA 23.

La Figura 2.24 muestra la arquitectura de control que se implementa en el sistema IPA 23 y sus protocolos de comunicación industrial, donde se observa tres niveles: nivel de gestión, nivel de célula y nivel de campo.

En el nivel de gestión es donde se realiza la programación y se planifican las acciones de control que gobiernan el sistema, la conforma únicamente el programador en este caso [12].

El nivel de célula lo componen el PLC SIMATIC S7-300 y el HMI SIMATIC TP 700, aquí se lleva a cabo la transmisión entre dispositivos de nivel de campo y de gestión [12].

El nivel de campo es el último nivel, es el más bajo de jerarquía, se encuentra conformado por los dispositivos que ejecutan las acciones de control estos son los sensores (capacitivos, magnéticos, ópticos) y los actuadores (cilindros, válvulas, bombas, motores) [12].

2.4 Diagramas de conexión.

2.4.1 IPA 2 Estación de Mezclado

Previo a la puesta en marcha de la estación de mezclado se requiere conectar de la siguiente manera los equipos que la conforman: de color verde se representa el cable para la conexión Profinet entre Ordenador - PLC y PLC - HMI, de color rojo y azul se representa la alimentación de voltaje para el HMI y la estación de mezclado, la entrada analógica del PLC se la muestra de color amarillo y la salida analógica de color verde; mientras que el color gris es para indicar el cable de conexión SUB-D 25 para las entradas y salidas digitales del PLC.

La Figura 2.25 muestra el esquema de conexión de la estación de mezclado IPA 2.

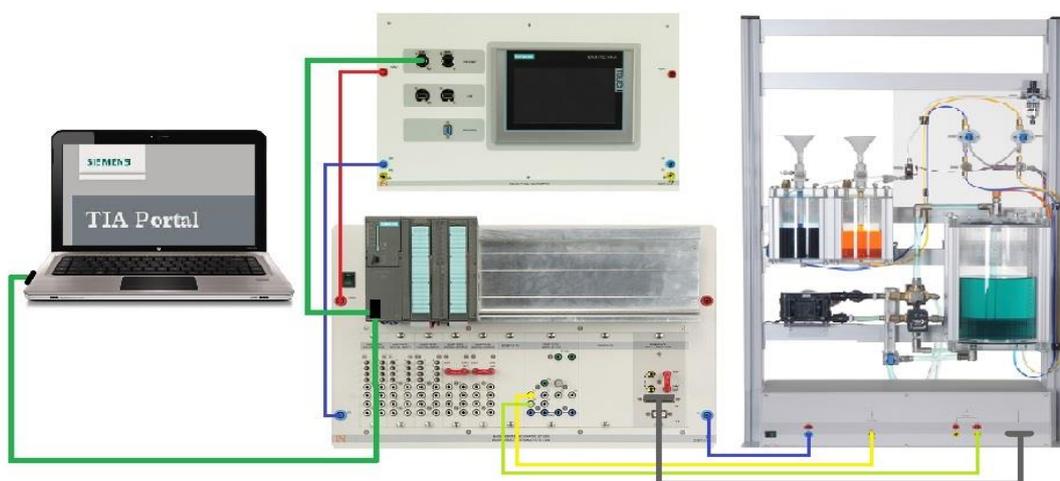


Figura 2.25: Diagrama de conexión del IPA 2.

2.4.2 IPA 3 Estación de Llenado

Previo a la puesta en marcha de la estación de llenado se requiere conectar de la siguiente manera los equipos que la conforman: de color rojo y azul se representa la alimentación de voltaje tanto para el HMI como para la estación de llenado, de color verde se representa el cable para la conexión Profinet entre Ordenador - PLC y PLC – HMI mientras que de color púrpura se muestra el cable de conexión Profibus entre la tarjeta de comunicación de la estación y el PLC; finalmente el color gris es para indicar el cable de conexión Sub-D 25 para las entradas y salidas digitales del PLC.

La Figura 2.26 muestra el esquema de conexión de la estación de llenado IPA 3.

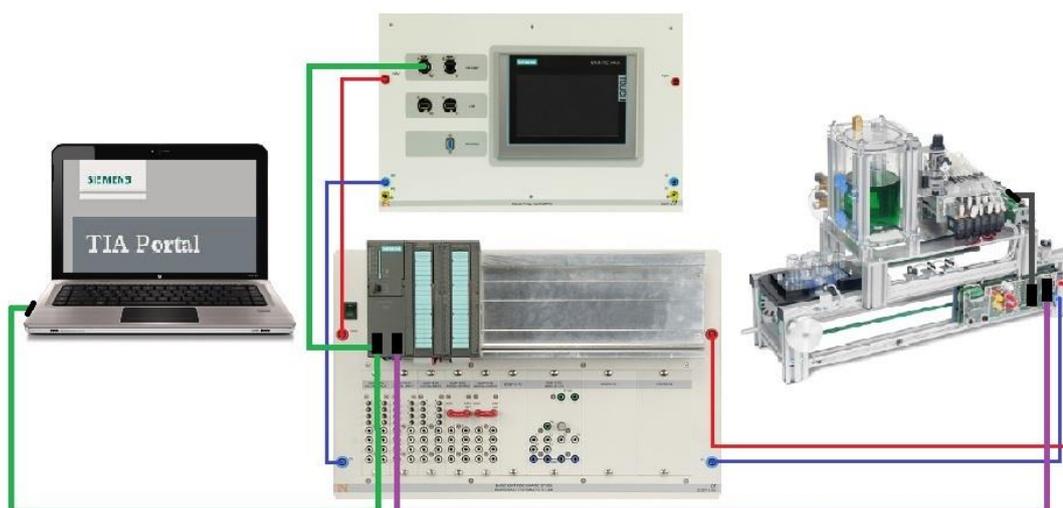


Figura 2.26: Diagrama de conexión del IPA 3.

2.4.3 IPA 4 Estación de Sellado

Previo a la puesta en marcha de la estación de sellado se requiere conectar de la siguiente manera los equipos que la conforman: de color rojo y azul se representa la alimentación de voltaje tanto para el HMI como para la estación de sellado, de color verde se representa el cable para la conexión Profinet entre Ordenador - PLC y PLC – HMI mientras que de color púrpura se muestra el cable para la conexión Profibus entre la tarjeta

de comunicación de la estación y el PLC; finalmente el color gris es para indicar el cable de conexión Sub-D 25 para las entradas y salidas digitales del PLC.

La Figura 2.27 muestra el esquema de conexión de la estación de sellado IPA 4.

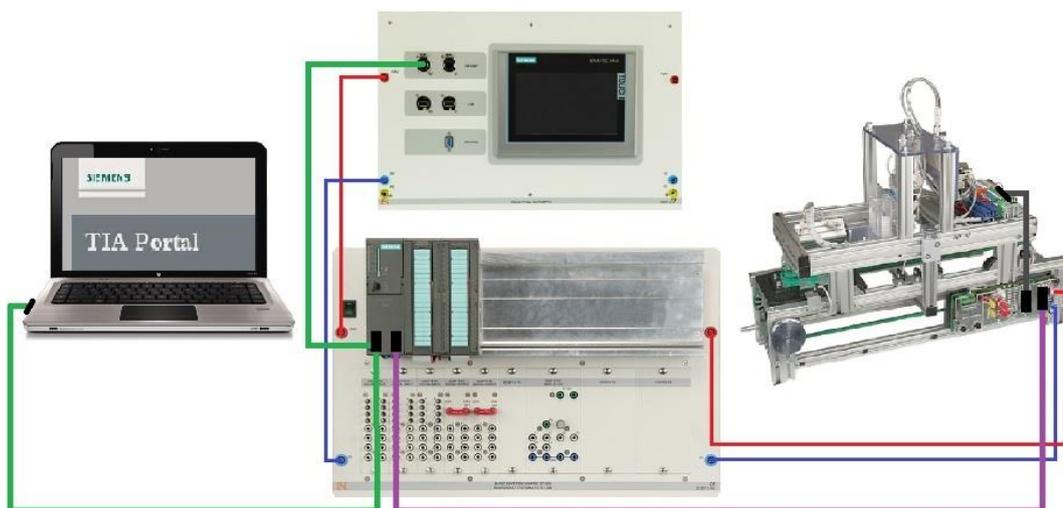


Figura 2.27: Diagrama de conexión del IPA 4.

2.4.4 IPA 4.1 Estación de transferencia de tapas

La estación de transferencia de cubierta es una estación auxiliar que para su conexión necesita de un módulo esclavo Profibus adicional libre, el mismo que se encuentra en las estaciones IMS 1.2 que solo sirven de transporte sin pasar por alguna estación de trabajo.

Previo a la puesta en marcha de la estación de transferencia de cubierta se requiere conectar de la siguiente manera los equipos que la conforman: de color rojo y azul se representa la alimentación de voltaje tanto para el HMI como para la estación de sellado, de color verde se representa el cable para la conexión Profinet entre Ordenador - PLC y PLC – HMI mientras que de color púrpura se muestra el cable para la conexión Profibus entre la tarjeta de comunicación de la estación y el PLC; finalmente el color gris es para indicar el cable de conexión Sub-D 25 para las entradas y salidas digitales del PLC.

La Figura 2.28 muestra el esquema de conexión de la estación de transferencia de cubierta IPA 4.1.

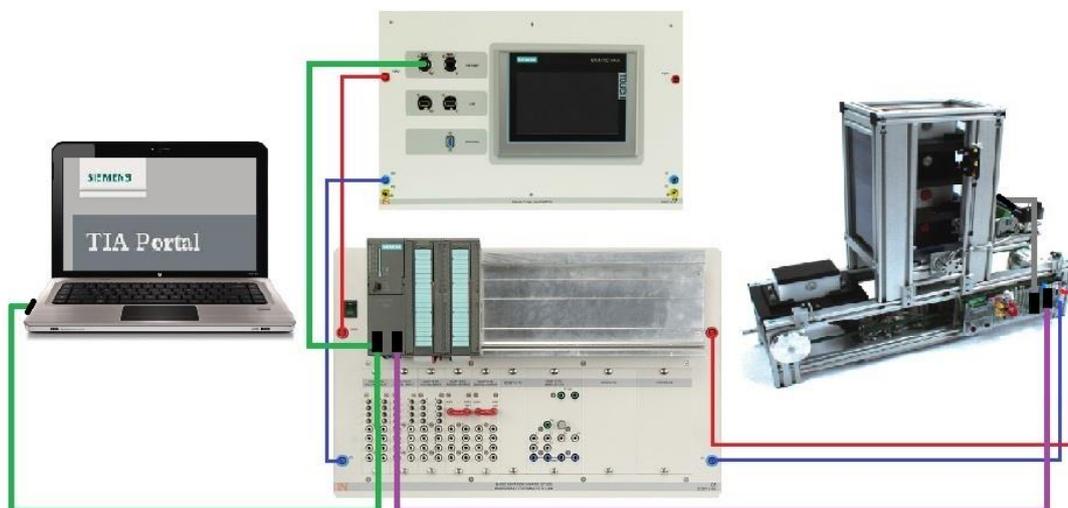


Figura 2.28: Diagrama de conexión del IPA 4.1.

CAPÍTULO 3

3. PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DE HMI EN TIA PORTAL.

En el presente capítulo se presenta la implementación del sistema de control mediante la herramienta de programación GRAFCET, los diagramas de flujo de cada proceso y la creación de pantallas HMI (Interfaz Hombre - Máquina) para el sistema de entrenamiento IPA 23 de LUCAS-NÜLLE.

3.1 Control Secuencial mediante GRAFCET.

3.1.1 Proceso de Mezcla - IPA 2

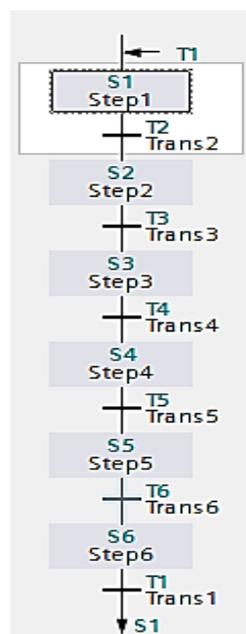


Figura 3.1: GRAFCET - Proceso de Mezcla (IPA 2).

La Figura 3.1 muestra el diagrama de control GRAFCET implementado en TIA PORTAL para el proceso de mezcla correspondiente al IPA 2, el detalle del listado de instrucciones por etapas y condiciones de transición para el proceso se presentan en la Tabla 1.

Secuencia de transición del estado 6 al estado 1	Tiempo de espera de 20 segundos.
Comandos del estado 1	Nada.
Secuencia de transición del estado 1 al estado 2	El tanque B102 no está totalmente lleno ($I_IPA2_B102_ma = 0$), los reservorios de pintura B103 y B104 están por encima del nivel mínimo permitido ($I_IPA2_B103 = 1$ y $I_IPA2_B104 = 1$) y se pulsa el botón virtual de iniciar mezcla ($M_IPA2_Start_Mixing = 1$) programado en el HMI
Comandos del estado 2	Se activa la bomba ($Q_IPA2_Pump_on = 1$) a una alta velocidad de bombeo ($Q_IPA2_Pumping_speed = 16000$) y se activa la válvula de llenado de B102 ($Q_IPA2_fill_B102$).
Secuencia de transición del estado 2 al estado 3	El nivel actual de llenado del tanque B102 es mayor al 90% de valor pre-ajustado de llenado ($MW_IPA2_actual_level > MW_IPA2_Setpoint_090$).
Comandos del estado 3	Se activa la bomba ($Q_IPA2_Pump_on = 1$) a una baja velocidad de bombeo ($Q_IPA2_Pumping_speed = 7500$) y se activa la válvula de llenado de B102 ($Q_IPA2_fill_B102$).
Secuencia de transición del estado 3 al estado 4	El nivel actual de llenado del tanque B102 es mayor al valor pre-ajustado de llenado ($MW_IPA2_actual_level > MW_IPA2_Value_water$).
Comandos del estado 4	Se activa la válvula para añadir el valor pre-ajustado de tinta del tanque de B103 ($Q_IPA2_add_from_B103 = 1$).
Secuencia de transición del estado 4 al estado 5	El contador del nivel de adición de tinta del tanque B103 es igual a cero ($C_IPA2_Counter_B103 = 0$).
Comandos del estado 5	Se activa la válvula para añadir el valor pre-ajustado de tinta del tanque de B104 ($Q_IPA2_add_from_B104 = 1$).
Secuencia de transición del estado 5 al estado 6	El contador del nivel de adición de tinta del tanque B104 es igual a cero ($C_IPA2_Counter_B104 = 0$).

Comandos del estado 6	Se activa la bomba (Q_IPA2_Pump_on = 1) con una alta velocidad de bombeo (Q_IPA2_Pumping_speed = 16000).
------------------------------	--

Tabla 1: Detalle de las instrucciones del proceso de mezcla del IPA 2.

3.1.2 Proceso de Llenado manual de tanque - IPA 3

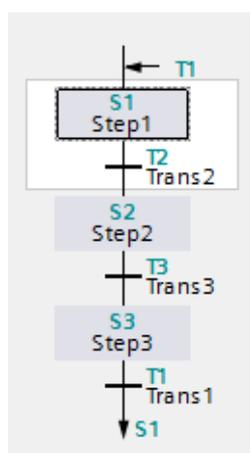


Figura 3.2: GRAFCET - Proceso de Llenado manual de tanque (IPA 3).

La Figura 3.2 muestra el diagrama de control GRAFCET implementado en TIA PORTAL para el proceso de llenado manual de tanque correspondiente al IPA 3.

En la Tabla 2 se puede observar con detalle el listado de instrucciones por etapas y condiciones de transición para el proceso de llenado manual del tanque de reservorio principal del IPA 3.

Secuencia de transición del estado 3 al estado 1	El botón virtual de tanque está lleno programado en el HMI (M_IPA3_But_full = 1) es pulsado.
Comandos del estado 1	Nada.
Secuencia de transición del estado 1 al estado 2	El botón virtual de iniciar llenado programado en el HMI (M_IPA3_Start_color = 1) es pulsado.
Comandos del estado 2	Se desactiva la presión del recipiente de llenado. (Q_IPA3_Q6 = 0).

Secuencia de transición del estado 2 al estado 3	Tiempo de espera de 25 segundos.
Comandos del estado 3	Se mantiene la presión desactivada. (Q_IPA3_A6 = 0). Se activa la válvula de admisión de agua. (Q_IPA3_Q7 = 1).

Tabla 2: Detalle de las instrucciones del proceso de llenado manual de tanque del IPA 3.

3.1.3 Proceso de Llenado automático de tanque - IPA 3

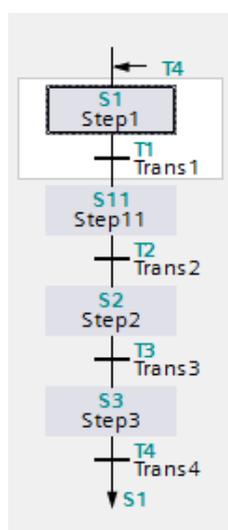


Figura 3.3: GRAFCET - Proceso de Llenado automático de tanque (IPA 3).

La Figura 3.3 muestra el diagrama de control GRAFCET implementado en TIA PORTAL para el proceso de llenado automático de tanque correspondiente al IPA 3, el detalle del listado de las instrucciones por etapas y condiciones de transición se presenta en la Tabla 3.

Secuencia de transición del estado 3 al estado 1	La cantidad de bombeo del tanque de IPA 2 a IPA 3 es igual a cero (MW_IPA2_End_pumping = 0) y un tiempo de espera de 4 segundos o la cantidad de bombeo del tanque de IPA 2 a IPA 3 es mayor que cero (MW_IPA2_End_pumping > 0) y un tiempo de espera de 800 milisegundos.
---	--

Comandos del estado 1	Nada.
Secuencia de transición del estado 1 al estado 1.1	El nivel actual de fluido del tanque de IPA 2 debe ser mayor a cero ($MW_IPA2_actual_level > 0$). El tanque de IPA 3 no está totalmente lleno ($I_IPA3_B9 = 0$) y el botón virtual de iniciar bombeo ($M_IPA2_Start_Pumping = 1$) programado en el HMI es pulsado.
Comandos del estado 1.1	Se desactiva la presión del tanque de IPA 3 ($Q_IPA3_Q6 = 0$).
Secuencia de transición del estado 1.1 al estado 2	Tiempo de espera de 25 segundos.
Comandos del estado 2	Se enciende la bomba ($Q_IPA2_Pump_on = 1$). Se activa la válvula de salida de bombeo ($Q_IPA2_Pump_off_B102 = 1$). El bombeo es lento ($Q_IPA2_Pumping_speed = 7500$). Se activa la válvula de admisión de fluido ($Q_IPA3_Q7 = 1$). Se mantiene desactivada la presión del tanque de IPA 3 ($Q_IPA3_Q6 = 0$).
Secuencia de transición del estado 2 al estado 3	EL nivel actual de fluido del tanque de IPA 2 es menor a la cantidad de bombeo ($MW_IPA2_actual_level < MW_IPA2_End_pumping$) o se alcanza el nivel máximo del tanque de IPA 3 ($I_IPA3_B9 = 1$).
Comandos del estado 3	Se enciende la bomba ($Q_IPA2_Pump_on = 1$). Se activa la válvula de salida de bombeo ($Q_IPA2_Pump_off_B102 = 1$). El bombeo es lento ($Q_IPA2_Pumping_speed = 7500$). Se activa la válvula de admisión de fluido ($Q_IPA3_Q7 = 1$). Se mantiene desactivada la presión del tanque de IPA 3 ($Q_IPA3_Q6 = 0$).

Tabla 3: Detalle de las instrucciones del proceso de llenado automático de tanque del IPA 3.

3.1.4 Proceso de Limpieza - IPA 3

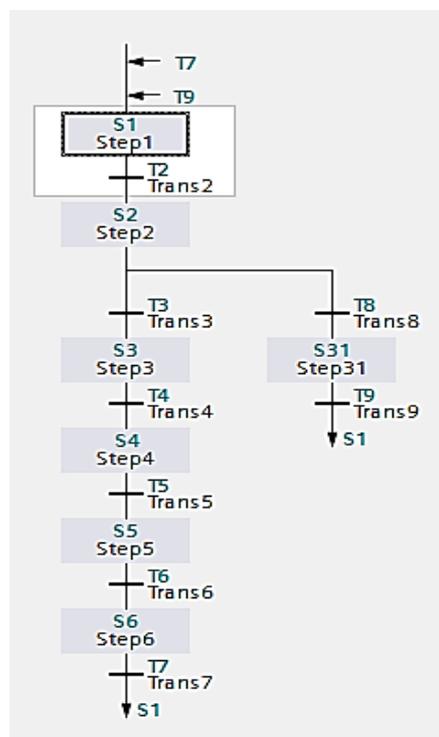


Figura 3.4: GRAFCET - Proceso de Limpieza (IPA 3).

La Figura 3.4 muestra el diagrama de control GRAFCET implementado en TIA PORTAL para el proceso de limpieza de tanque correspondiente al IPA 3.

En la Tabla 4 se puede observar con detalle el listado de instrucciones por etapas y condiciones de transición para el proceso de limpieza de tanque de reservorio principal del IPA 3.

Secuencia de transición del estado 6 al estado 1	El botón virtual de tanque está vacío (M_IPA3_But_empty = 1) programado en el HMI es pulsado.
Secuencia de transición del estado 3.1 al estado 1	El botón virtual de tanque está vacío (M_IPA3_But_empty = 1) programado en el HMI es pulsado.
Comandos del estado 1	Nada.

Secuencia de transición del estado 1 al estado 2	El botón virtual de iniciar limpieza (M_IPA3_Start_Cleaning = 1) programado en el HMI es pulsado.
Comandos del estado 2	Se activa la válvula de salida de fluido (Q_IPA3_Q8 = 1).
Secuencia de transición del estado 2 al estado 3	Pulsar el botón virtual de tanque está vacío (M_IPA3_But_empty = 1) y dar clic al botón virtual de "limpieza/vaciado" (M_IPA3_But_onlydrain = 0) para que se realice la "limpieza".
Secuencia de transición del estado 2 al estado 3.1	Pulsar el botón virtual de tanque está vacío (M_IPA3_But_empty = 1) y dar clic al botón virtual de "limpieza/vaciado" (M_IPA3_But_onlydrain = 1) para que se realice el "vaciado".
Comandos del estado 3	Se desactiva la presión en el tanque (Q_IPA3_Q6 = 0).
Comandos del estado 3.1	Nada.
Secuencia de transición del estado 3 al estado 4	Tiempo de espera de 25 segundos.
Comandos del estado 4	Se enciende la bomba (Q_IPA2_Pump_on = 1). El bombeo es lento (Q_IPA2_Pumping_speed = 7500). Se activa la válvula de salida de bombeo (Q_IPA2_Pump_off_B102 = 1). Se activa la válvula de admisión de fluido (Q_IPA3_Q7 = 1). Se mantiene desactivada la presión del tanque de IPA 3 (Q_IPA3_Q6 = 0).
Secuencia de transición del estado 4 al estado 5	El sensor de nivel mínimo (I_IPA3_B8 = 1) se activa.
Comandos del estado 5	Nada.
Secuencia de transición del estado 5 al estado 6	Tiempo de espera de dos segundos.
Comandos del estado 6	Se activa la válvula de salida de fluido (Q_IPA3_Q8 = 1).

Tabla 4: Detalle de las instrucciones del proceso de limpieza del IPA 3.

3.1.5 Proceso de Llenado y Sellado de botellas - IPA 3, IPA 4

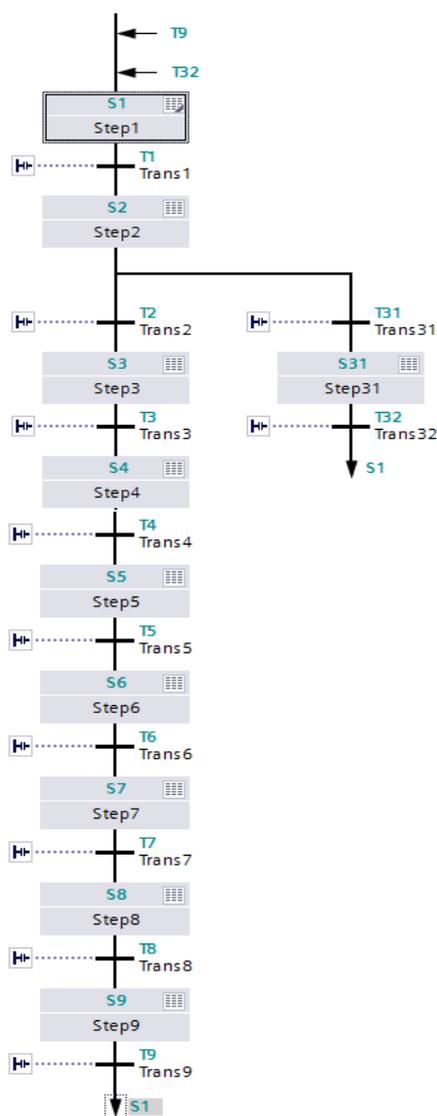


Figura 3.5: GRAFCET - Rutina principal de llenado de botellas (IPA 3).

La Figura 3.5 muestra el diagrama de control GRAFCET implementado en TIA PORTAL para la rutina principal de llenado de botellas correspondiente al IPA 3.

En la Tabla 5 se puede observar con detalle el listado de instrucciones por etapas y condiciones de transición para el proceso de la rutina principal de llenado de botellas correspondiente al IPA 3.

Secuencia de transición del estado 9 al estado 1	El contenedor del sixpack llega al sensor magnético de posición final derecha (I_IPA3_IR = 1) de la cinta transportadora.
Secuencia de transición del estado 3.1 al estado 1	El contenedor del sixpack llega al sensor magnético de posición final izquierda (I_IPA3_IL = 1) de la cinta transportadora.
Comandos del estado 1	Nada.
Secuencia de transición del estado 1 al estado 2	El contenedor del sixpack se encuentra en la posición final izquierda (I_IPA3_IL = 1), el eje lineal X se encuentra en la posición izquierda (I_IPA3_B4 = 1), el eje lineal Z se encuentra en la posición superior (I_IPA3_B6 = 1), el nivel del tanque debe ser superior al nivel mínimo permitido (I_IPA3_B8 = 1), el contenedor de sixpack debe estar en la posición inicial para el llenado (M_IPA3_Err_WPC = 0) y se debe pulsar el botón virtual de iniciar llenado – sellado (M_IPA23_Start = 1) programado en el HMI. Este último queda enclavado para el funcionamiento del proceso.
Comandos del estado 2	El contenedor de sixpack avanza lentamente hacia la derecha (Q_IPA3_QR = Q_IPA3_QS = 1).
Secuencia de transición del estado 2 al estado 3	Después de un tiempo de espera de dos segundos y de contar tres botellas de lado derecho y tres botellas de lado izquierdo (C_IPA3_WPC_r = C_IPA3_WPC_l = 0) se procede al tercer estado.
Secuencia de transición del estado 2 al estado 3.1	Después de un tiempo de espera de dos segundos, al menos hace falta una botella en el contenedor del sixpack.
Comandos del estado 3	El contenedor de sixpack avanza lentamente a la derecha (Q_IPA3_QR = Q_IPA3_QS = 1) y se activa el cilindro de parada posición 1 (Q_IPA3_Q1 = 1).
Comandos del estado 3.1	Se muestra por pantalla error de contenedor de sixpack (M_IPA3_Err_WPC = 1) y se da marcha lenta a la izquierda de la cinta transportadora. (Q_IPA3_QL = Q_IPA3_QS = 1).

Secuencia de transición del estado 3 al estado 4	EL contenedor de sixpack se encuentra en la primera posición de llenado (I_IPA3_B1 = 1).
Comandos del estado 4	Llamar a subrutina de dosificado (M_IPA3_Start_Charging = 1).
Secuencia de transición del estado 4 al estado 5	La subrutina finaliza y se activa la bandera (M_IPA3_Charging_com = 1).
Comandos del estado 5	El contenedor de sixpack avanza lentamente a la derecha (Q_IPA3_QR = Q_IPA3_QS = 1) y se activa el cilindro de parada posición 2 (Q_IPA3_Q2 = 1).
Secuencia de transición del estado 5 al estado 6	EL contenedor de sixpack se encuentra en la segunda posición de llenado (I_IPA3_B2 = 1).
Comandos del estado 6	Llamar a subrutina de dosificado (M_IPA3_Start_Charging = 1).
Secuencia de transición del estado 6 al estado 7	La subrutina finaliza y se activa la bandera (M_IPA3_Charging_com = 1).
Comandos del estado 7	El contenedor de sixpack avanza lentamente a la derecha (Q_IPA3_QR = Q_IPA3_QS = 1) y se activa el cilindro de parada posición 3 (Q_IPA3_Q3 = 1).
Secuencia de transición del estado 7 al estado 8	EL contenedor de sixpack se encuentra en la tercera posición de llenado (I_IPA3_B2 = 1).
Comandos del estado 8	Llamar a subrutina de dosificado (M_IPA3_Start_Charging = 1).
Secuencia de transición del estado 8 al estado 9	La subrutina finaliza y se activa la bandera (M_IPA3_Charging_com = 1).
Comandos del estado 9	El contenedor de sixpack avanza a la derecha (Q_IPA3_QR = 1).

Tabla 5: Instrucciones de la rutina principal de llenado de botellas del IPA 3.

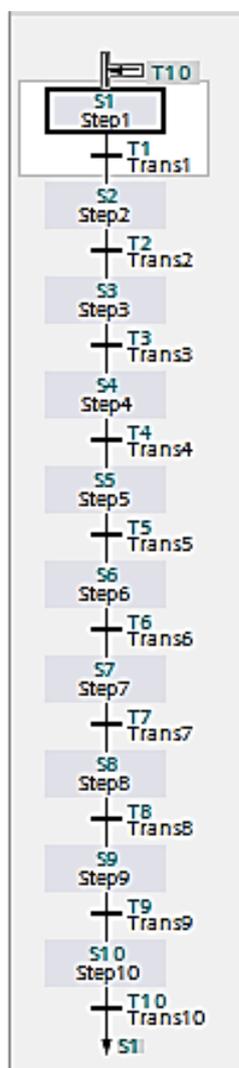


Figura 3.6: GRAFCET - Subrutina de dosificado de botellas (IPA 3).

La Figura 3.6 se muestra el diagrama de control GRAFCET implementado en TIA PORTAL para la subrutina de dosificado de botellas correspondiente al IPA 3, el detalle del listado de las instrucciones por etapas y condiciones de transición se presenta en la Tabla 6.

Secuencia de transición del estado 10 al estado 1	Tiempo de espera de 100 milisegundos.
Comandos del estado 1	Nada.

Secuencia de transición del estado 1 al estado 2	El eje lineal X se encuentra en la posición izquierda (I_IPA3_B4 = 1), el eje lineal Z se encuentra en la posición superior (I_IPA3_B6 = 1) y la subrutina de dosificado es activada (M_IPA3_Start_Charging = 1).
Comandos del estado 2	El eje lineal Z se desplaza hacia la posición inferior con un comando persistente (Q_IPA3_Q5 := 1).
Secuencia de transición del estado 2 al estado 3	Se detecta el eje lineal Z en la posición inferior (I_IPA3_B7 = 1).
Comandos del estado 3	Se activa la válvula de salida de fluido (Q_IPA_Q8 = 1).
Secuencia de transición del estado 3 al estado 4	EL volumen de llenado de botella es alcanzado (C_IPA3_Charging = 0).
Comandos del estado 4	El eje lineal Z regresa a la posición superior (Q_IPA3_Q5: = 0).
Secuencia de transición del estado 4 al estado 5	Se detecta el eje lineal Z en la posición superior (I_IPA3_B6 = 1).
Comandos del estado 5	El eje lineal X se desplaza a la derecha con un comando persistente (Q_IPA3_Q4:= 1).
Secuencia de transición del estado 5 al estado 6	Se detecta el eje lineal X en la posición derecha (I_IPA3_B5 = 1).
Comandos del estado 6	El eje lineal Z se desplaza hacia abajo (Q_IPA3_Q5:= 1).
Secuencia de transición del estado 6 al estado 7	Se detecta el eje lineal Z en la posición inferior.
Comandos del estado 7	Se activa la válvula de salida de fluido (Q_IPA_Q8 = 1).
Secuencia de transición del estado 7 al estado 8	El volumen de llenado de botella es alcanzado (C_IPA3_Charging = 0).
Comandos del estado 8	EL eje lineal Z regresa a la posición superior (Q_IPA3_Q5:= 0).
Secuencia de transición del estado 8 al estado 9	Se detecta el eje lineal Z en la posición superior (I_IPA3_B6 = 1).
Comandos del estado 9	El eje lineal X retorna a la posición izquierda (Q_IPA3_Q4:= 0).

Secuencia de transición del estado 9 al estado 10	Se detecta el eje lineal X en la posición izquierda (I_IPA3_B4 = 1).
Comandos del estado 10	(M_IPA3_Charging_com = 1).

Tabla 6: Detalle de las instrucciones de la subrutina de dosificado de botellas del IPA 3.

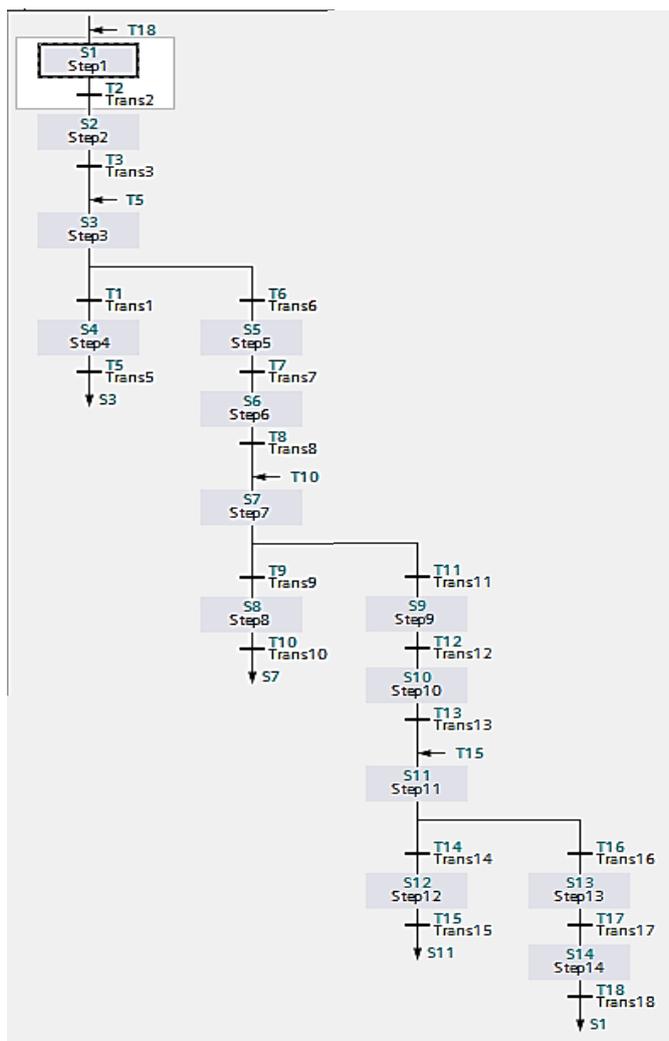


Figura 3.7: GRAFCET - Rutina principal de sellado de botellas (IPA 4).

La Figura 3.7 muestra el diagrama de control GRAFCET implementado en TIA PORTAL para la rutina principal de sellado de botellas correspondiente al IPA 4, el detalle del listado de las instrucciones por etapas y condiciones de transición se presenta en la Tabla 7.

Secuencia del estado 14 al estado 1	El contenedor de sixpack alcanza la posición final derecha de la cinta transportadora (I_IPA4_IR = 1).
Comandos del estado 1	Nada.
Secuencia del estado 1 al estado 2	El contenedor del sixpack se encuentra en la posición final derecha de IPA 3 (I_IPA3_IR = 1), el cilindro de separación se encuentra en la posición inicial (I_IPA4_B4 = 1), el contenedor de sixpack debe estar en la posición inicial para el sellado (M_IPA4_ERR = 0) y se debe pulsar el botón virtual de iniciar llenado – sellado (M_IPA23_Start = 1) programado en el HMI. Este último queda enclavado para el funcionamiento del proceso.
Comandos del estado 2	Se activa el avance a la derecha de la cinta transportadora del sub-sistema IPA 3 (Q_IPA3_QR = 1). El contenedor de sixpack avanza de forma lenta a la derecha (Q_IPA4_QR = Q_IPA4_QS = 1) y se activa el primer cilindro de parada (Q_IPA4_Q3 = 1).
Secuencia del estado 2 al estado 3	Se detecta el contenedor de sixpack en la primera posición de sellado (I_IPA3_B1 = 1).
Comandos del estado 3	Se extiende el cilindro de separación (Q_IPA4_Q2 = 1).
Secuencia del estado 3 al estado 4	Se detecta el cilindro de separación en la posición central (I_IPA4_B5 = 1) y una de las tapas no es reconocida por el sensor óptico (I_IPA4_B10 = 0 o I_IPA4_B11 = 0).
Secuencia del estado 3 al estado 5	Se detecta el cilindro de separación en la posición central (I_IPA4_B5 = 1) y se reconoce las tapas por el sensor óptico (I_IPA4_B10 = I_IPA4_B11 = 1).
Comandos del estado 4	Se presenta por pantalla error de reconocimiento de tapas (M_IPA4_ERR := 1).
Secuencia del estado 4 al estado 3	Se detecta el cilindro de separación en la posición inicial (I_IPA4_B4 = 1) y se da clic al botón virtual de reconocimiento de falla (M_IPA4_ACK = 1) programado en el HMI.

Comandos del estado 5	Se llama a la sub-rutina de sellado de botellas (M_IPA4_Start_assembly = 1).
Secuencia del estado 5 al estado 6	La sub-rutina de sellado finaliza y se activa la bandera (M_IPA4_Assembly_com = 1).
Comandos del estado 6	El contenedor de sixpack avanza de forma lenta a la derecha (Q_IPA4_QR = Q_IPA4_QS = 1) y se activa el segundo cilindro de parada (Q_IPA4_Q4 = 1).
Secuencia del estado 6 al estado 7	Se detecta el contenedor de sixpack en la segunda posición de sellado (I_IPA3_B2 = 1).
Comandos del estado 7	Se extiende el cilindro de separación (Q_IPA4_Q2 = 1).
Secuencia del estado 7 al estado 8	Se detecta el cilindro de separación en la posición central (I_IPA4_B5 = 1) y una de las tapas no es reconocida por el sensor óptico (I_IPA4_B10 = 0 o I_IPA4_B11 = 0).
Secuencia del estado 7 al estado 9	Se detecta el cilindro de separación en la posición central (I_IPA4_B5 = 1) y se reconoce las tapas por el sensor óptico (I_IPA4_B10 = I_IPA4_B11 = 1).
Comandos del estado 8	Se presenta por pantalla error de reconocimiento de tapas (M_IPA4_ERR:= 1).
Secuencia del estado 8 al estado 7	Se detecta el cilindro de separación en la posición inicial (I_IPA4_B4 = 1) y se da clic al botón virtual de reconocimiento de falla (M_IPA4_ACK = 1) programado en el HMI.
Comandos del estado 9	Se llama a la sub-rutina de sellado de botellas (M_IPA4_Start_assembly = 1).
Secuencia del estado 9 al estado 10	La sub-rutina de sellado finaliza y se activa la bandera (M_IPA4_Assembly_com = 1).
Comandos del estado 10	El contenedor de sixpack avanza de forma lenta a la derecha (Q_IPA4_QR = Q_IPA4_QS = 1) y se activa el tercer cilindro de parada (Q_IPA4_Q5 = 1).
Secuencia del estado 10 al estado 11	Se detecta el contenedor de sixpack en la segunda posición de sellado (I_IPA3_B3 = 1).
Comandos del estado 11	Se extiende el cilindro de separación (Q_IPA4_Q2 = 1).

Secuencia del estado 11 al estado 12	Se detecta el cilindro de separación en la posición central (I_IPA4_B5 = 1) y una de las tapas no es reconocida por el sensor óptico (I_IPA4_B10 = 0 o I_IPA4_B11 = 0).
Secuencia del estado 11 al estado 13	Se detecta el cilindro de separación en la posición central (I_IPA4_B5 = 1) y se reconoce las tapas por el sensor óptico (I_IPA4_B10 = I_IPA4_B11 = 1).
Comandos del estado 12	Se presenta por pantalla error de reconocimiento de tapas (M_IPA4_ERR:= 1).
Secuencia de estado del estado 12 al estado 11	Se detecta el cilindro de separación en la posición inicial (I_IPA4_B4 = 1) y se da clic al botón virtual de reconocimiento de falla (M_IPA4_ACK = 1) programado en el HMI.
Comandos del estado 13	Se llama a la sub-rutina de sellado de botellas (M_IPA4_Start_assembly = 1).
Secuencia del estado 13 al estado 14	La sub-rutina de sellado finaliza y se activa la bandera (M_IPA4_Assembly_com = 1).
Comandos del estado 14	El contenedor de sixpack avanza de forma lenta a la derecha (Q_IPA4_QR = Q_IPA4_QS = 1)

Tabla 7: Detalle de las instrucciones de la rutina principal de sellado de botellas del IPA 4.

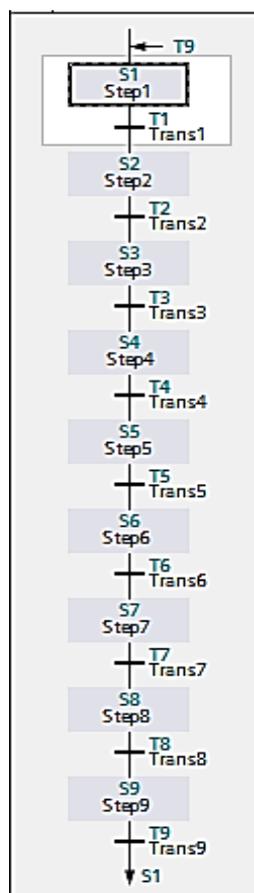


Figura 3.8: GRAFCET - Subrutina de sellado de botellas (IPA 4).

La Figura 3.8 muestra el diagrama de control GRAFCET implementado en TIA PORTAL para la subrutina de sellado de botellas correspondiente al IPA 4, el detalle del listado de las instrucciones por etapas y condiciones de transición se presenta en la Tabla 8.

Secuencia de transición del estado 9 al estado 1	Tiempos de espera de 500 milisegundos.
Comandos del estado 1	Nada.
Secuencia de transición del estado 1 al estado 2	Se detecta el cilindro de sellado en la posición superior ($I_IPA4_B7 = 1$) y la subrutina de sellado fue activada ($M_IPA4_Start_assembly = 1$).
Comandos del estado 2	Se extiende el cilindro de separación con un comando persistente ($Q_IPA4_Q2:= 1$).

Secuencia de transición del estado 2 al estado 3	Se detecta el cilindro de separación en la posición final (I_IPA4_B6 = 1).
Comandos del estado 3	Se activa la válvula de vacío con un comando persistente (Q_IPA4_Q6:=1) y se extiende el cilindro de sellado (Q_IPA4_Q1 = 1).
Secuencia de transición del estado 3 al estado 4	Se detecta presión por parte del sensor de vacío (I_IPA4_B9 = 1)
Comandos del estado 4	Nada.
Secuencia de transición del estado 4 al estado 5	Se detecta el cilindro de sellado en la posición superior (I_IPA4_B7 = 1).
Comandos del estado 5	El cilindro de separación se desactiva con un comando persistente (Q_IPA4_Q2:= 1) y regresa a su posición inicial.
Secuencia de transición del estado 5 al estado 6	Se detecta el cilindro de separación en la posición inicial (I_IPA4_B4 = 1).
Comandos del estado 6	Se extiende el cilindro de sellado (Q_IPA4_Q1 = 1).
Secuencia de transición del estado 6 al estado 7	Se detecta el cilindro de sellado en la posición inferior (I_IPA4_B8 =1)
Comandos del estado 7	EL cilindro de sellado de sellado permanece extendido (Q_IPA4_Q1 = 1).
Secuencia de transición del estado 7 al estado 8	Tiempo de espera de 500 milisegundos.
Comandos del estado 8	Se apaga la válvula de vacío (Q_IPA4_Q6:= 0).
Secuencia de transición del estado 8 al estado 9	Se detecta el cilindro de sellado en la posición superior (I_IPA4_B7 = 1).
Comandos del estado 9	Se activa la bandera de sub-rutina de llenado completa (M_IPA4_Assembly_com = 1).

Tabla 8: Detalle de las instrucciones de la subrutina de sellado de botellas del IPA 4.

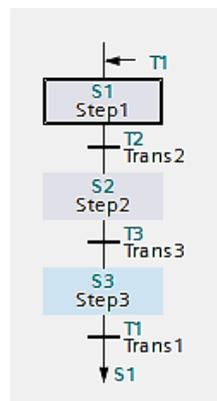


Figura 3.9: GRAFCET - Rutina de ciclo final (IPA 23).

La Figura 3.9 muestra el diagrama de control GRAFCET implementado en TIA PORTAL para la rutina de ciclo final correspondiente al sistema IPA 23, el detalle del listado de las instrucciones por etapas y condiciones de transición se presenta en la Tabla 9.

Secuencia de transición del estado 3 al estado 1	El contenedor del sixpack alcanza el sensor de posición final izquierda del sub-sistema IPA 3 ($I_IPA3_IL = 1$).
Comandos del estado 1	Nada.
Secuencia de transición del estado 1 al estado 2	El contenedor del sixpack se encuentra en la posición inicial de proceso ($I_IPA4_IR = 1$) y previamente se pulso el botón virtual de iniciar llenado-sellado ($M_IPA23_Start = 1$) programado en el HMI.
Comandos del estado 2	<p>Se activa el desplazamiento hacia la derecha del sub-sistema IPA 4 ($Q_IPA4_QR = 1$) durante un segundo.</p> <p>Se activa el desplazamiento hacia la derecha del sub-sistema IMS 8 ($Q_IMS8_QR = 1$) durante 4.5 segundos.</p> <p>Se activa el desplazamiento hacia la derecha del sub-sistema IMS 12 ($Q_IMS12_QR = 1$) durante 16 segundos.</p> <p>Se activa el desplazamiento hacia la derecha del sub-sistema IPA 7A ($Q_IPA7A_QR = 1$) durante 20 segundos.</p> <p>Se activa el desplazamiento hacia la derecha del sub-sistema IMS 10 ($Q_IMS10_QR = 1$).</p>

Secuencia de transición del estado 2 al estado 3	Se detecta el contenedor de sixpack en la posición final derecha del sub-sistema IMS 10 (I_IMS10_IR).
Comandos del estado 3	Se activa el desplazamiento hacia la derecha de los sub-sistemas IMS 10 e IPA 3 (Q_IMS10_QR = Q_IPA3_QR = 1).

Tabla 9: Detalle de las instrucciones de la rutina de ciclo final del sistema IPA 23.

3.1.6 Proceso de Transferencia de cubiertas - IPA 4.1

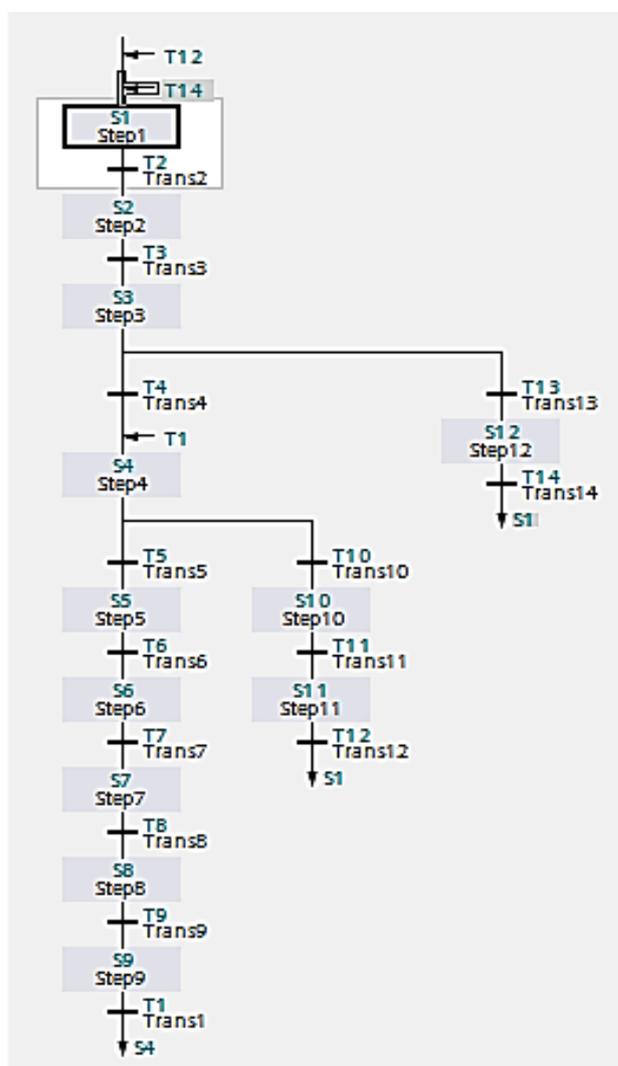


Figura 3.10: GRAFCET - Proceso de Transferencia de cubierta (IPA 4.1).

La Figura 3.10 muestra el diagrama de control GRAFCET implementado en TIA PORTAL para el proceso de transferencia de cubierta correspondiente al sistema IPA 4.1.

En la Tabla 10 se presenta el detalle del listado de las instrucciones por etapas y condiciones de transición del proceso de transferencia de cubierta correspondiente al sistema IPA 4.1.

Secuencia de transición del estado 11 al estado 1	El contenedor de las cubiertas alcanza el sensor de posición final derecha del sub-sistema IPA 4 (I_IPA4_IR = 1).
Secuencia de transición del estado 12 al estado 1	El contenedor de las cubiertas alcanza el sensor de posición final derecha del sub-sistema IPA 4 (I_IPA4_IR = 1).
Comandos del estado 1	Nada.
Secuencia de transición del estado 1 al estado 2	EL contenedor de las cubiertas se encuentra en la posición inicial del proceso (I_IPA4_IR = 1), el eje lineal se detecta en la posición izquierda (I_IPA4_B22 = 1), el cilindro de parada se detecta en la posición superior (I_IPA4_24 = 1), el cilindro de succión de cubiertas se detecta en la posición superior (I_IPA4_B25 = 1). Se pulsa el botón virtual de iniciar transferencia de cubiertas (M_IPA4_Start_Refill = 1) programado en el HMI.
Comandos del estado 2	Se activa el desplazamiento hacia la izquierda de los sub-sistemas IPA3 e IPA4 (Q_IPA3_QL = Q_IPA4_QL = 1).
Secuencia de transición del estado 2 al estado 3	Se detecta el contenedor de cubiertas en la posición final derecha del sub-sistema IPA 3 (I_IPA3_IR = 1).
Comandos del estado 3	Se activa el desplazamiento lento hacia la derecha de los sub-sistemas IPA3 e IPA4 (Q_IPA3_QR = Q_IPA3_QS = Q_IPA4_QR = Q_IPA4_QS = 1) y se activa el cilindro de parada (Q_IPA4_Q22 = 1).
Secuencia de transición del estado 3 al estado 4	Después de un segundo se detecta el contenedor de cubiertas en la posición de transferencia (I_IPA4_B21 = 1).

Secuencia de transición del estado 3 al estado 12	Después de un segundo no se detecta el contenedor de cubiertas en la posición de transferencia (I_IPA4_B21 = 0).
Comandos del estado 4	Desciende el cilindro de succión de cubiertas (Q_IPA4_Q23:= 0) y se activa la válvula de succión (Q_IPA4_Q24:= 1).
Comandos del estado 12	Se presenta por pantalla “No hay recipiente para rellenar en el portador de piezas” (M_IPA4_Err_refill = 1) y se activa el desplazamiento hacia la derecha de IPA 3 e IPA 4 (Q_IPA3_QR = Q_IPA4_QR = 1).
Secuencia de transición del estado 4 al estado 5	Se detecta presión en el sensor de vacío (I_IPA4_B26 = 1).
Secuencia de transición del estado 4 al estado 10	Tiempo de espera de dos segundos.
Comandos del estado 5	Nada.
Comandos del estado 10	Se desactiva la válvula de succión (Q_IPA4_Q24:= 0).
Secuencia de transición del estado 5 al estado 6	Se detecta el cilindro de succión de cubiertas en la posición superior (I_IPA4_B25 = 1).
Comandos del estado 6	EL eje lineal se desplaza hacia la derecha (Q_IPA4_Q21:=1).
Secuencia de transición del estado 6 al estado 7	Se detecta el eje lineal en la posición derecha (I_IPA4_B23 = 1).
Comandos del estado 7	El cilindro de succión de cubiertas desciende (Q_IPA4_Q23:= 0)
Secuencia de transición del estado 7 al estado 8	Tiempo de espera de un segundo.
Comandos del estado 8	Desactivar la válvula de succión (Q_IPA4_Q24:= 0).
Secuencia de transición del estado 8 al estado 9	Se detecta el cilindro de succión de cubiertas en la posición superior (I_IPA4_B25 = 1).
Comandos del estado 9	El eje lineal se desplaza hacia la izquierda (Q_IPA4_Q21:= 0).
Secuencia de transición del estado 9 al estado 4	Se detecta en eje lineal en la posición izquierda (I_IPA4_B22 = 1).

Secuencia de transición del estado 10 al estado 11	Se detecta el cilindro de succión de cubiertas en la posición superior ($I_IPA4_B25 = 1$).
Comandos del estado 11	Se activa el desplazamiento hacia la derecha de los sub-sistemas IPA 3 e IPA 4 ($Q_IPA3_QR = Q_IPA4_QR = 1$).

Tabla 10: Detalle de las instrucciones de la rutina de ciclo final del sistema IPA 23.

3.2 Descripción de Pantallas HMI.

3.2.1 Plantilla de Trabajo

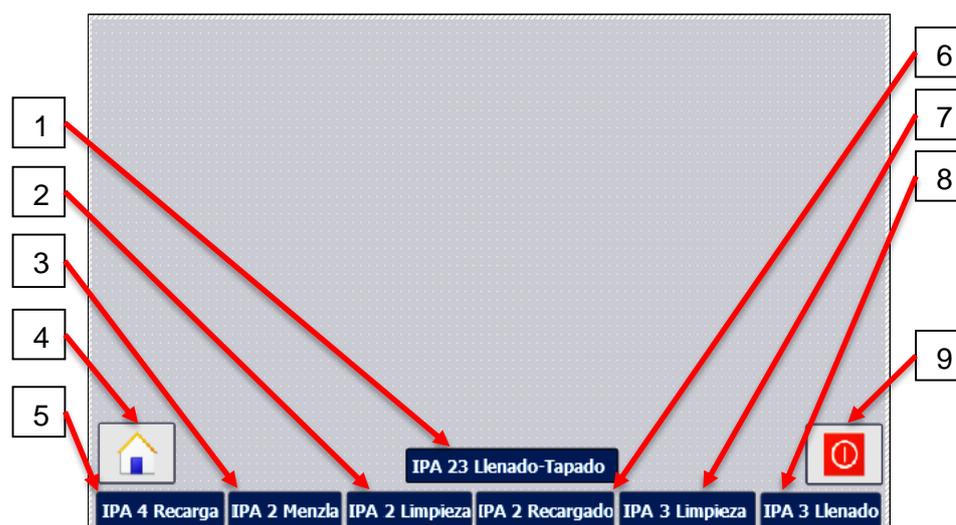


Figura 3.11: Pantalla HMI - Plantilla de Trabajo.

La Figura 3.11 muestra la interfaz principal la cual se usa como plantilla para las pantallas HMI a crear para el sistema de entrenamiento IPA 23, la cual se detalla con sus componentes a continuación:

1. Botón. Cambia a pantalla de Llenado de botellas.
2. Botón. Cambia a pantalla de Limpieza IPA 2.
3. Botón. Cambia a pantalla de Mezcla IPA 2.
4. Botón. Cambia a pantalla Inicial.
5. Botón. Cambia a pantalla Recarga de cubiertas IPA 4.1.

6. Botón. Cambia a pantalla Rellenado de reservorios.
7. Botón. Cambia a pantalla Limpieza IPA 3.
8. Botón. Cambia a pantalla Llenado IPA 3.
9. Botón. Ejecuta modo Runtime.

3.2.2 Pantalla Inicial



Figura 3.12: Pantalla HMI - Pantalla Inicial.

La Figura 3.12 muestra la pantalla inicial del programa para las pantallas HMI para el sistema de entrenamiento IPA 23, la cual se detalla con sus componentes a continuación:

1. Visor de Gráficos. Logo de la ESPOL.
2. Campo de Texto. Caratula de proyecto.
3. Botón. Ejecuta Modo RUNTIME.
4. Visor de Gráficos. Logo de la FIEC.
5. Botón. Inicializa primer estado para los procesos de la IPA 23 (M_IPA23_INIT).

3.2.3 Proceso de Mezcla - IPA 2

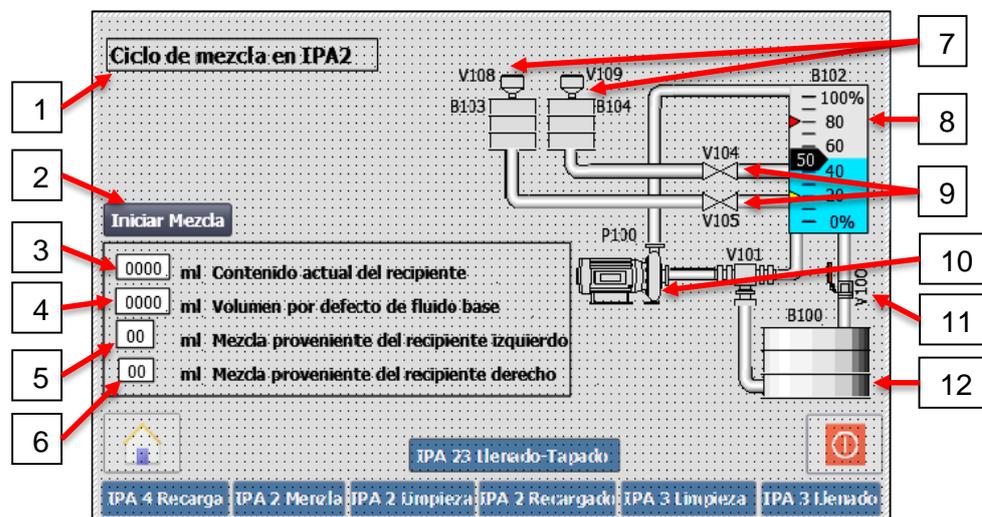


Figura 3.13: Pantalla HMI - Proceso de Mezcla (IPA 2).

La Figura 3.13 muestra la pantalla HMI para el proceso de mezcla correspondiente al IPA 2, la cual se detalla con sus componentes a continuación:

1. Campo de texto. Título de Pantalla de Proceso de Mezcla IPA 2.
2. Botón. Inicia proceso de Mezcla IPA 2 (M_IPA2_Start_Mixing).
3. Campo E/S. Nivel actual del reservorio B102 (MW_IPA2_actual_level).
4. Campo E/S. Valor de referencia de fluido base (MW_IPA2_Value_Water).
5. Campo E/S. Valor de adición de tinta de reservorio B103 (MW_IPA2_Add_B103).
6. Campo E/S. Valor de adición de tinta de reservorio B104 (MW_IPA2_Add_B104).
7. Librería de Símbolos. Valvulas para recargar tinta V108 y V109 en reservorios B103 y B104 respectivamente (Q_IPA2_filling_open).
8. Barra. Indica nivel actual del reservorio B102 en porcentaje (MD_IPA2_Altura_Porcentaje).

9. Librería de símbolos. Valvulas para adición de tinta V104 y V105 desde los reservorios B104 y B103 respectivamente (Q_IPA2_add_from_B104 y Q_IPA2_add_from_B103).
10. Librería de Símbolos. Bomba P100 para bombeo de agua (Q_IPA2_Pump_on).
11. Librería de Símbolos. Valvula de vaciado de agua V100.
12. Librería de Simbolos. Depósito de agua.

3.2.4 Proceso de Limpieza - IPA 2

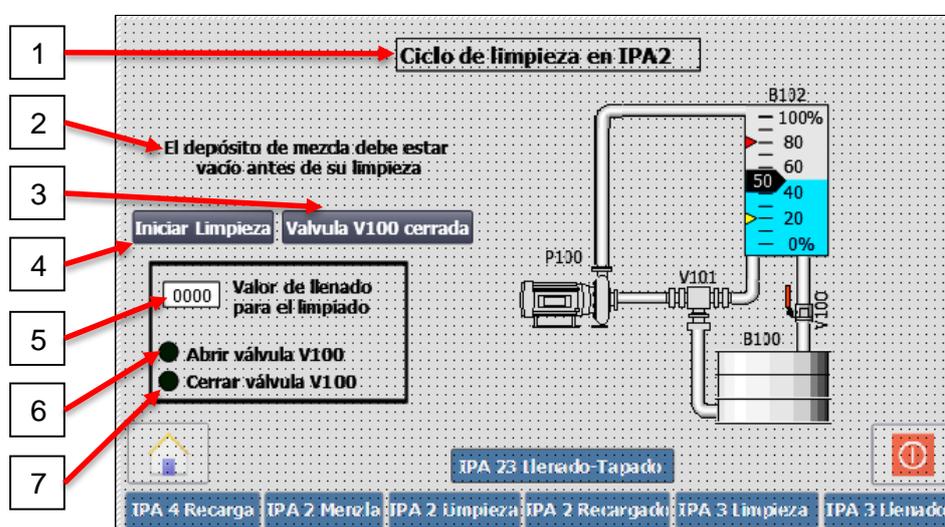


Figura 3.14: Pantalla HMI - Proceso de Limpieza (IPA 2).

La Figura 3.14 muestra la pantalla HMI para el proceso de limpieza del reservorio principal de líquido correspondiente al IPA 2, la cual se detalla con sus componentes a continuación:

1. Campo de Texto. Título de pantalla de proceso de limpieza IPA 2.
2. Campo de Texto. Mensaje de aviso.
3. Botón. Válvula fue cerrada (M_IPA2_Drain_Closed).
4. Botón. Inicia proceso de limpieza IPA 2 (M_IPA2_Start_Cleaning).
5. Campo E/S. Valor de referencia para limpieza de reservorio B102 (MW_IPA2_clean_level).
6. Circulo. Indicador de válvula V100 abierta (M_IPA2_Drain_Open).

7. Circulo. Indicador de válvula V100 cerrada (M_IPA2_Drain_to_close).

3.2.5 Proceso de Llenado de reservorios - IPA 2

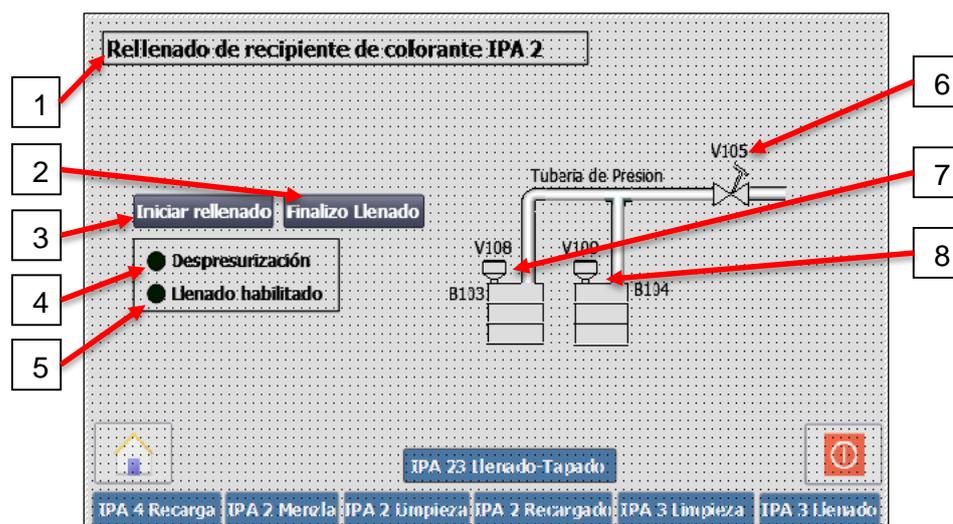


Figura 3.15: Pantalla HMI - Proceso de Llenado de reservorios (IPA 2).

La Figura 3.15 muestra la pantalla HMI para el proceso de llenado de reservorios de tinta correspondiente al IPA 2, la cual se detalla con sus componentes a continuación:

1. Campo de texto. Título de pantalla de proceso de relleno de reservorios de tinta.
2. Botón. Acción de llenado de tinta finalizado (M_IPA2_filling_Active).
3. Botón. Inicia el llenado de los reservorios de tintas (M_IPA2_Start_Filling).
4. Circulo. Indicador de despresurización activada (M_IPA2_Pressure_Red).
5. Circulo. Indicador de válvulas V108 y V109 activadas (M_IPA2_Filling_Released).
6. Librería de símbolos. Válvula V105 para controlar paso de presión hacia los reservorios de pintura.

7. Librería de símbolos. Válvula V108 para llenado de tinta de reservorio B103.
8. Librería de símbolos. Válvula V109 para llenado de tinta de reservorio B104.

3.2.6 Proceso de Limpieza - IPA 3

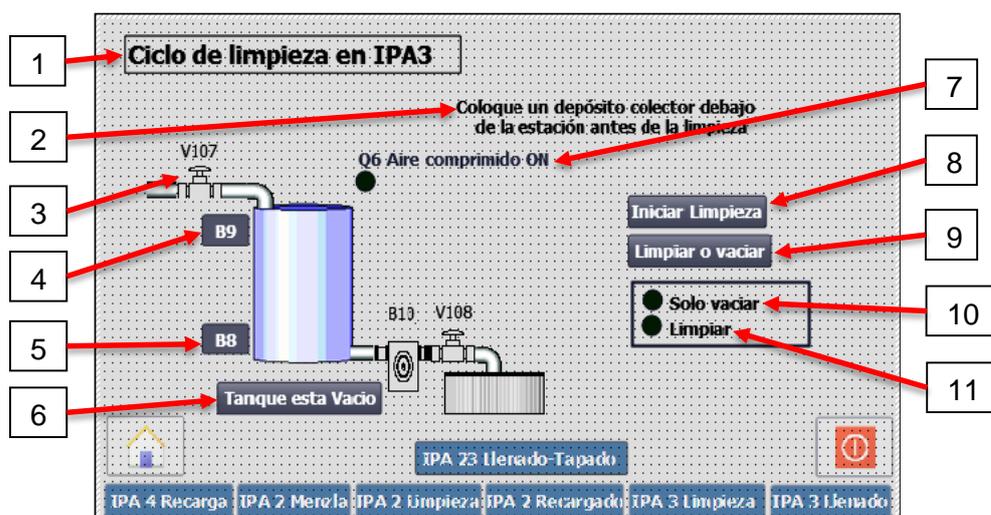


Figura 3.16: Pantalla HMI - Proceso de Limpieza (IPA 3).

La Figura 3.16 muestra la pantalla HMI para el proceso de limpieza del reservorio de líquido correspondiente al IPA 3, la cual se detalla con sus componentes a continuación:

1. Campo de texto. Título de pantalla de proceso de limpieza IPA 3.
2. Campo de texto. Mensaje de precaución para realizar el proceso de limpieza.
3. Librería de símbolos. Válvula V107 para admisión de agua.
4. Librería de símbolos. Sensor de nivel máximo del reservorio (I_IPA3_B1).
5. Librería de símbolos. Sensor de nivel mínimo del reservorio (I_IPA3_B2).
6. Botón. Confirmación de reservorio vacío (M_IPA3_But_empty).
7. Circulo. Indicador de despresurización activada.

8. Botón. Inicia limpieza de reservorio IPA 3 (M_IPA3_start_cleaning).
9. Botón. Elige opción de limpieza o vaciado del reservorio IPA 3 (M_IPA3_But_onlydrain).
10. Circulo. Indicador de opción vaciado seleccionada.
11. Circulo. Indicador de opción limpieza seleccionada.

3.2.7 Proceso de Llenado Automático/Manual - IPA 3

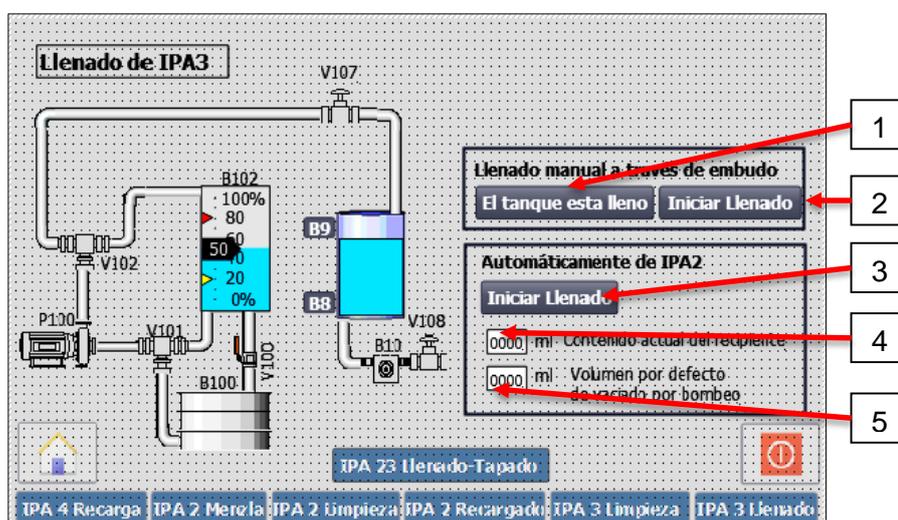


Figura 3.17: Pantalla HMI - Proceso de Llenado Automático / Manual (IPA 3).

La Figura 3.17 muestra la pantalla HMI para el proceso de llenado en modo automático y manual del reservorio de líquido correspondiente al IPA 3, la cual se detalla con sus componentes a continuación:

1. Botón. Confirmación de llenado del reservorio IPA 3 (M_IPA3_But_full).
2. Botón. Inicia llenado manual a través de valvula V107 (M_IPA3_Start_color).
3. Botón. Inicia llenado automatico del reservorio de IPA 3 (M_IPA2_Star_Pumping).
4. Campo de E/S. Muestra el contenido actual del reservorio B102 (MW_IPA2_actual_level).

5. Campo de E/S. Cantidad que se drenara del reservorio IPA 2 al reservorio IPA 3 (MW_IPA2_Pumping_Value).

3.2.8 Proceso de Llenado de Botellas - IPA 3

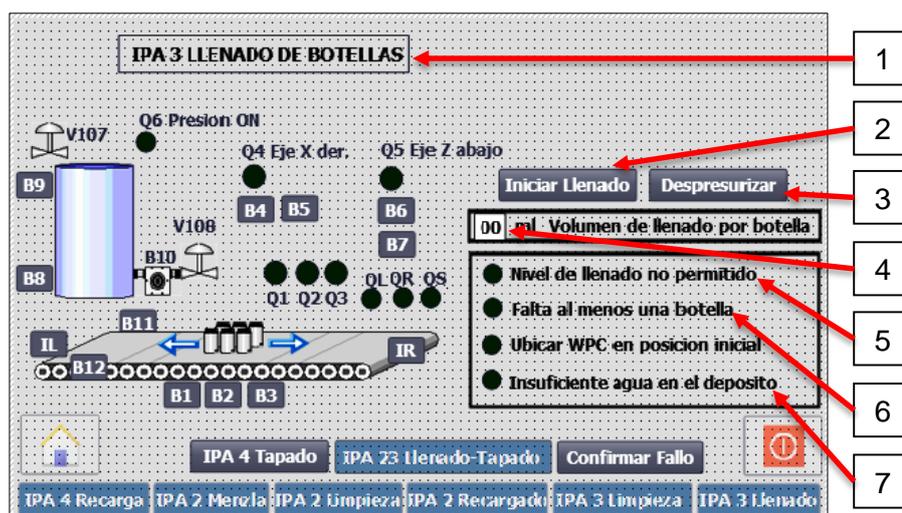


Figura 3.18: Pantalla HMI - Proceso de Llenado de Botellas (IPA 3).

La Figura 3.18 muestra la pantalla HMI para el proceso de llenado de botellas del sixpack correspondiente al IPA 3, la cual se detalla con sus componentes a continuación:

1. Campo de Texto. Título de pantalla de Llenado de botellas IPA 3.
2. Botón. Inicia proceso de llenado de botellas (M_IPA23_Start).
3. Botón. Activar/Desactivar presión del reservorio IPA 3 (M_IPA3_Q6_OFF).
4. Campo de E/S. Valor de llenado de botellas en ml (MW_IPA3_Charge).
5. Circulo. Advertencia de sobrepaso de nivel de llenado de botellas (M_IPA3_OVER_LOAD).
6. Circulo. Indicador de botella faltante para iniciar procesos de llenado (M_IPA3_Err_WPC).
7. Circulo. Indicador de producto insuficiente en reservorio IPA 3 para iniciar proceso de llenado de botellas (I_IPA3_B8).

3.2.9 Proceso de Sellado - IPA 4

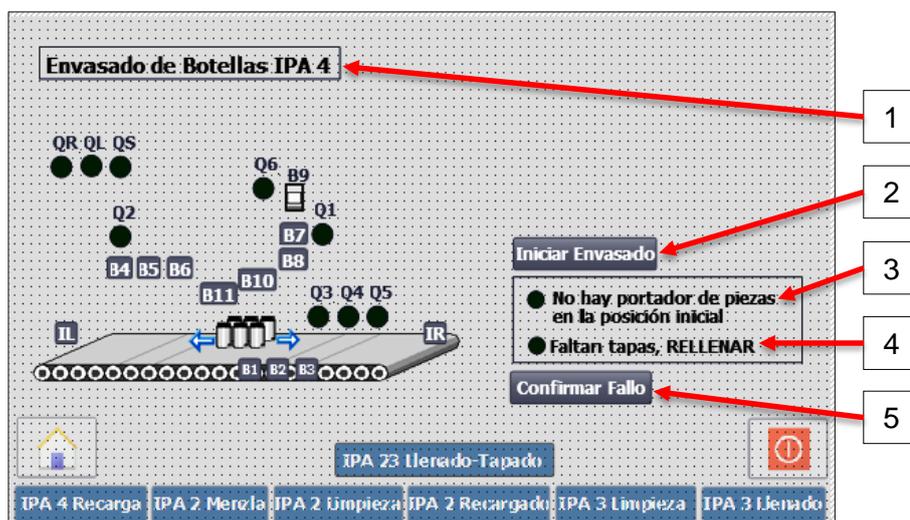


Figura 3.19: Pantalla HMI - Proceso de Sellado (IPA4).

La Figura 3.19 muestra la pantalla HMI para el proceso de sellado de botellas del sixpack correspondiente al IPA 4, la cual se detalla con sus componentes a continuación:

1. Campo de Texto. Título de pantalla de proceso de Sellado de Botellas IPA 4.
2. Botón. Inicia proceso de sellado de botellas (M_IPA23_Start).
3. Circulo. Indicador de fallo, Sixpack no se encuentra en posición inicial para el sellado (M_IPA4_not_ready).
4. Circulo. Indicador de cubiertas faltantes para el sellado (M_IPA4_ERR).
5. Botón. Confirmar fallo de cubiertas faltantes (M_IPA23_ACK).

3.2.10 Proceso de Transferencia de cubiertas - IPA 4.1

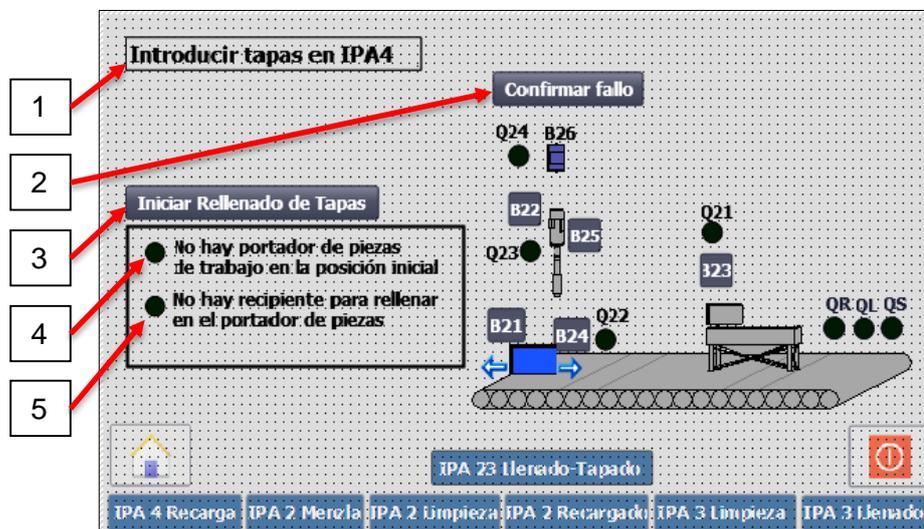


Figura 3.20: Pantalla HMI - Proceso de Transferencia de cubierta (IPA4.1).

La Figura 3.20 muestra la pantalla HMI para el proceso de transferencia de cubiertas previo al sellado de botellas del sixpack correspondiente al IPA 4.1, la cual se detalla con sus componentes a continuación:

1. Campo de Texto. Título de pantalla de proceso de transferencia de cubiertas.
2. Botón. Confirmación de fallo de depósito de cubiertas faltante (M_IPA4_ACK).
3. Botón. Inicia proceso de transferencia de cubiertas (M_IPA4_Start_refill).
4. Círculo. Indicador de depósito de cubiertas faltante en la posición inicial para iniciar proceso de llenado.
5. Círculo. Indicador de depósito de cubiertas vacío.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente proyecto se realizó la programación del sistema moderno de aprendizaje IPA 23 que consiste en la producción automática de un sixpack, para lo cual se utilizó las gráficas de control de transición/etapas (GRAFCET) desarrolladas en el capítulo 3, este flujograma fue utilizado por la facilidad al momento de interpretar las secuencias de programación de los procesos que corresponden a las diferentes estaciones de trabajo detallados en el capítulo 2.

La programación fue desarrollada en el software TIA PORTAL V13 SP1 debido a que el laboratorio de control de procesos industriales posee un controlador lógico programable SIMATIC S7-300 como maestro Profibus de los sub-sistemas IPA y una pantalla táctil SIMATIC TP 700 para control y monitoreo de los mismos.

La programación fue desarrollada en el lenguaje de bloque FUP utilizando bloques de programación para separar las condiciones de transición entre etapas y las acciones que deben realizarse en cada etapa, obteniendo así una programación estructurada y entendible para cualquier programador que desee revisar la programación de los procesos del sistema moderno IPA 23. La programación es adjuntada en la sección de anexos del presente documento.

El equipo de trabajo proporcionado por el laboratorio de control de procesos industriales destacando el PCL S7-300, el panel táctil confort TP 700, los manuales y Quickcharts de cada estación de trabajo permitió la optimización de los procesos que corresponden a cada subsistema IPA. Si se desea hacer uso de dichos manuales estos son referenciados en la sección de bibliografía.

Adicionalmente al proyecto, se elaboró una guía de aprendizaje, una guía de pre prácticas y una guía de prácticas que sirven como material de aprendizaje para los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electricidad, Electrónica y Automatización Industrial en los cuales se incentiva a la programación y desarrollo de pantallas HMI aumentando la dificultad a medida que se avance en la guía de prácticas. Estas guías se adjuntas en la sección de anexos del presente documento.

Mediante el desarrollo del proyecto se llevó una experiencia cercana a los problemas cotidianos en el campo laboral; todo esto de la mano de equipos y dispositivos que son de uso frecuente que permitieron crear un ambiente de trabajo casi profesional ayudando en el crecimiento de nuestro perfil práctico.

Cuando se desee realizar la programación para cualquier proceso de automatización industrial se recomienda primero realizar una tabla de sensores y actuadores, para identificar el número de entradas y salidas que se necesitaran; segundo un flujograma de dicho proceso, de esta forma se obtiene una visión clara de las etapas que conformaran a nuestro proceso industrial; tercero elegir el tipo de lenguaje de programación, como se observó en este documento con el lenguaje de bloques se obtiene una mayor facilidad de interpretación para cualquier programador.

Para garantizar el funcionamiento óptimo de un proceso es necesario estar en constante revisión, calibración y mantenimiento de los sensores y actuadores instalados en el sistema o la planta industrial ya que ellos son el nivel más bajo pero a la vez más importante de una red de comunicación industrial, sin ellos no se podría realizar el control y monitoreo de un proceso.

Leer la guía de aprendizaje que se adjunta al presente documento como anexo previo a cualquier cambio en el diseño de la programación del sistema.

Para alguna consulta acerca de los softwares utilizados en el proyecto se recomienda usar la guía de aprendizaje donde se ofrece paso a paso un manual que va desde la creación de un proyecto nuevo hasta la creación de las pantallas HMI.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *IPA 26 Planta de producción con 6 subsistemas* [online], Xth ed, Lucas Nülle, Kerpen - Colonia. Año. Disponible en: <https://www.lucas-nuelle.es/2273/apg/8313/IPA-26-Planta-de-produccion-con-6-subsistemas.htm>.
- [2] *Segmento de cinta transportadora de 24V* [online], Xth ed. Lucas Nülle, Kerpen – Colonia. Año. Disponible en: www.lucas-nuelle.es/2274/pid/16349/apg/8318/Segmento-de-cinta-transportadora-doble-de-24V---.htm.
- [3] Quickchart IMS 1.2: Sistema de transferencia con accionamiento de cc, 1th ed, Lucas Nülle, Kerpen – Colonia. 2016.
- [4] Quickchart IPA 2: Estación de mezcla, 1th ed, Lucas Nülle, Kerpen – Colonia. 2016.
- [5] Quickchart IPA 3: Estación de llenado, 1th ed, Lucas Nülle, Kerpen – Colonia. 2016.
- [6] Quickchart IPA 4: Estación de sellado, 1th ed, Lucas Nülle, Kerpen – Colonia. 2016.
- [7] Quickchart IPA 4.1: Process Engineering Plant Cover Transfer Station, 1th ed, Lucas Nülle, Kerpen – Colonia. 2016.
- [8] N. Becker – M. Eggeling, IPA 2: Estación de mezcla, 1th ed, Lucas Nülle, Kerpen - Sindorf. 2016.
- [9] N. Becker – M. Eggeling, IPA 3: Estación de envasado, 1th ed, Lucas Nülle, Kerpen - Sindorf. 2016.
- [10] N. Becker – M. Eggeling, IPA 4: Capping station, 1th ed, Lucas Nülle, Kerpen - Sindorf. 2016.
- [11] N. Becker – M. Eggeling, IPA production facilities, 1th ed, Lucas Nülle, Kerpen - Sindorf. 2016.
- [12] J. M. Muñoz, “Estudio de aplicación de los estándares Devicenet y Controlnet de comunicaciones industriales como solución de red de campo y proceso en una planta

industrial,” [online], Tesis de ingeniería, Facd. Ing. Elect., Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2007. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim971e/doc/bmfcim971e.pdf>.

[13] Hoja de datos 6AV2124-0GC01-0AX0 [online], Siemens AG, Múnich, 2016. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AV2124-0GC01-0AX0>.

[14] SIMATIC S7 -300 [online], 10th ed, Siemens AG, Múnich, 2009. Disponible en: <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S7300-CONFIGURACION.PDF>.

ANEXO 1
GUÍA DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTOS BÁSICOS PARA PROGRAMAR EN TIA PORTAL V13 SP1

Introducción

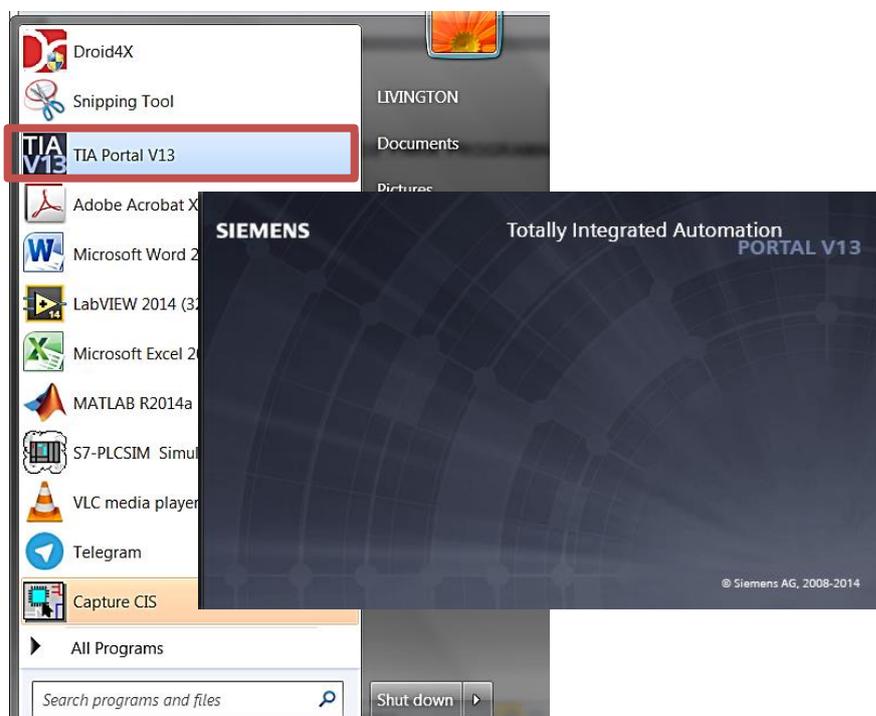
La siguiente guía de aprendizaje tiene como objetivo orientar al estudiante o practicante al entorno de programación de TIA PORTAL V13 SP1, la creación de un nuevo proyecto, elección de un controlador, la asignación de dirección de entradas y salidas, programación en lenguaje de bloque y la simulación de un proceso básico.

Es necesario tener instalado en nuestra computadora el software TIA PORTAL V13 SP1 y STEP 7 PROFESIONAL V13 SP1.

Procedimiento

➤ Creación de un nuevo proyecto

Se procede a abrir el software TIA PORTAL.



Figura_GA 1 Software de programación TIA PORTAL V13 SP1

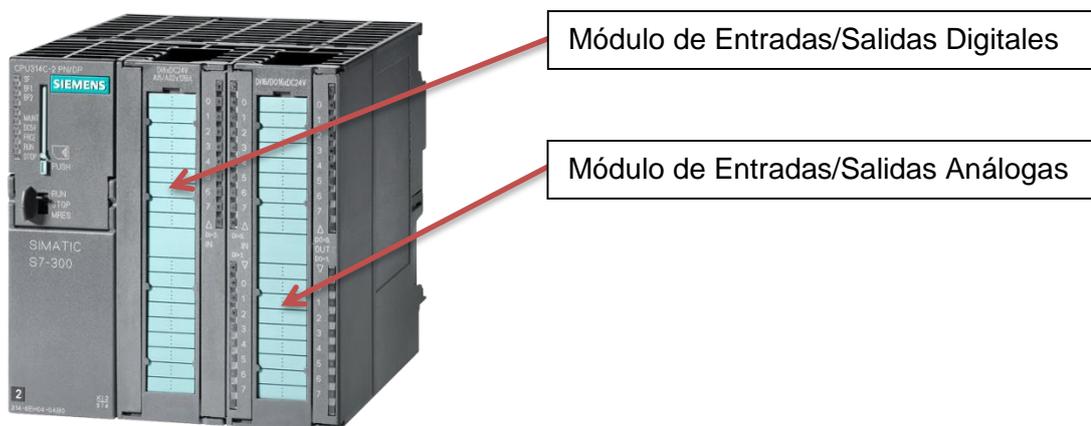
En la vista de proyecto dar clic a “Crear Proyecto” y escribir un nombre al proyecto, en este caso “Introducción”, se puede elegir la ruta de guardado y el nombre del autor. Finalmente damos clic a crear.



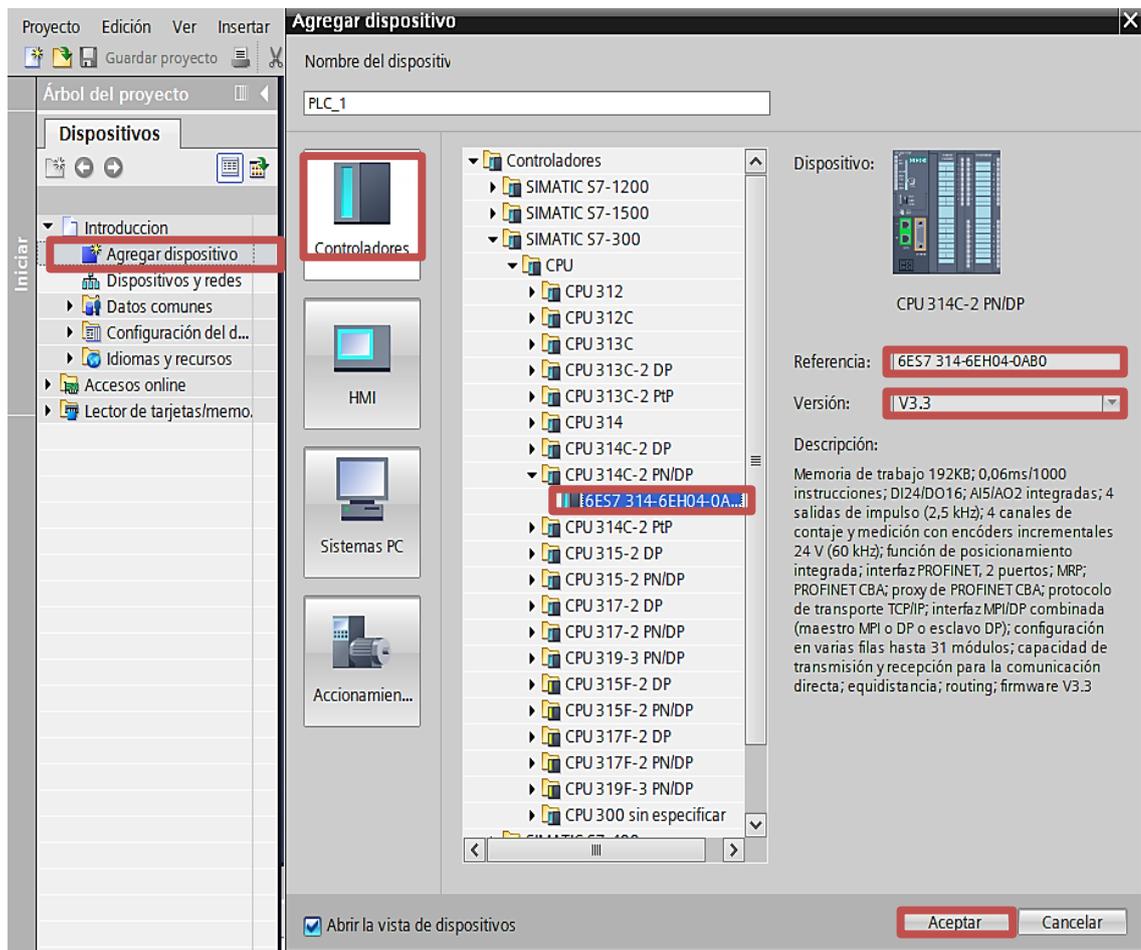
Figura_GA 2 Creación de proyecto

➤ Elección del controlador

En la ventana de Árbol de proyecto dar clic en “Agregar dispositivo”, en “Controladores” buscar el “SIMATIC S7-300”, y elegir la “CPU 314C 2PN/DP” la cual corresponde al controlador programable que posee el laboratorio de controles de procesos industriales (Figura_GA 3). Se debe verificar que la referencia y la versión coincidan con la que se muestra en la Figura_GA 4.



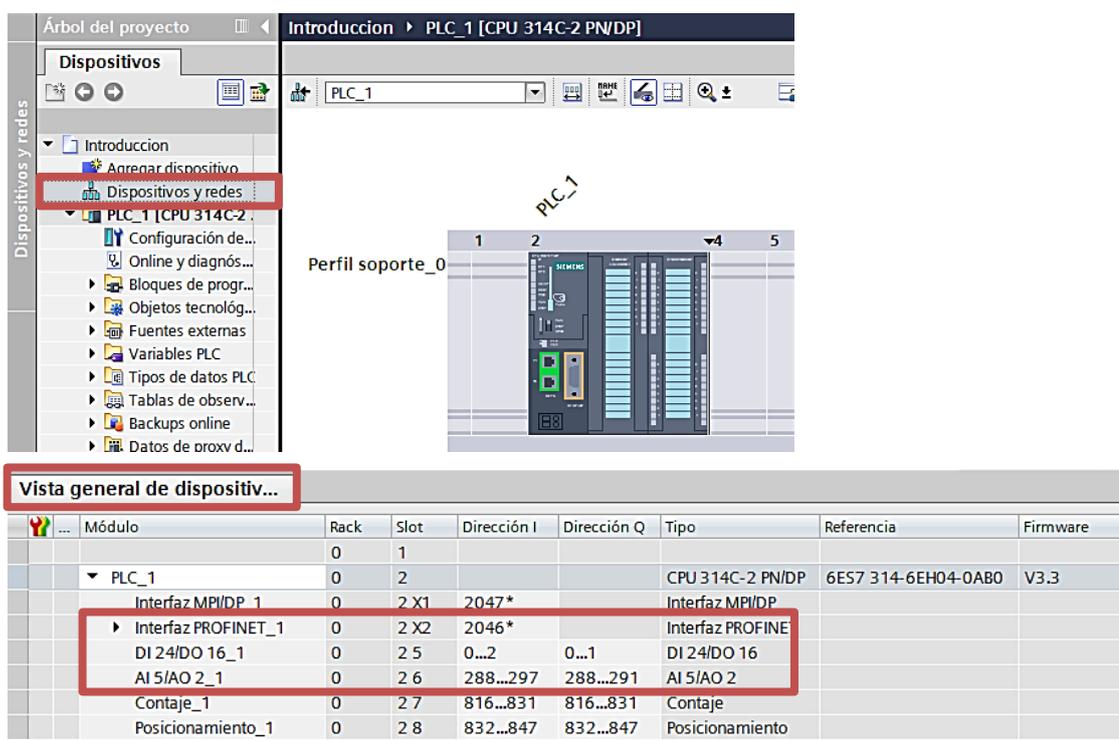
Figura_GA 3 PLC SIEMENS S7-300



Figura_GA 4 Elección del controlador

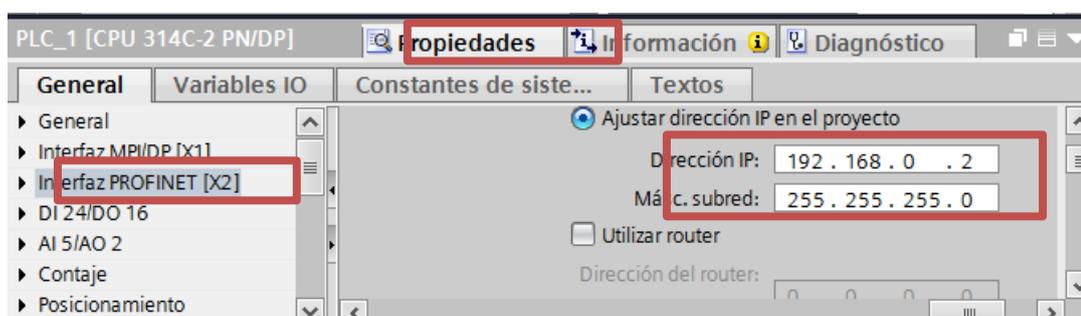
➤ **Asignación de dirección de entradas y salidas digitales/análogas.**

Dar clic a "Dispositivos y redes" y en la pestaña de "Vista de dispositivos" configuramos la dirección de entradas y salidas digitales/análogas tal como se muestra en la Figura_GA 5.



Figura_GA 5 Asignación de dirección de memoria de las entradas y salidas digitales/análogas

La dirección IP del controlador se ajusta en la ventana de propiedades tal como se muestra en la siguiente Figura_GA 6.



Figura_GA 6 Dirección IP del controlador

➤ Programación de un proceso

Ahora se procede a realizar la programación y simulación de un proceso secuencial básico que consiste en el accionamiento de una cinta transportadora y posterior almacenamiento de un producto, para este caso se usa la metodología GRAFCET.

➤ **Descripción de las condiciones e instrucciones de un proceso:**

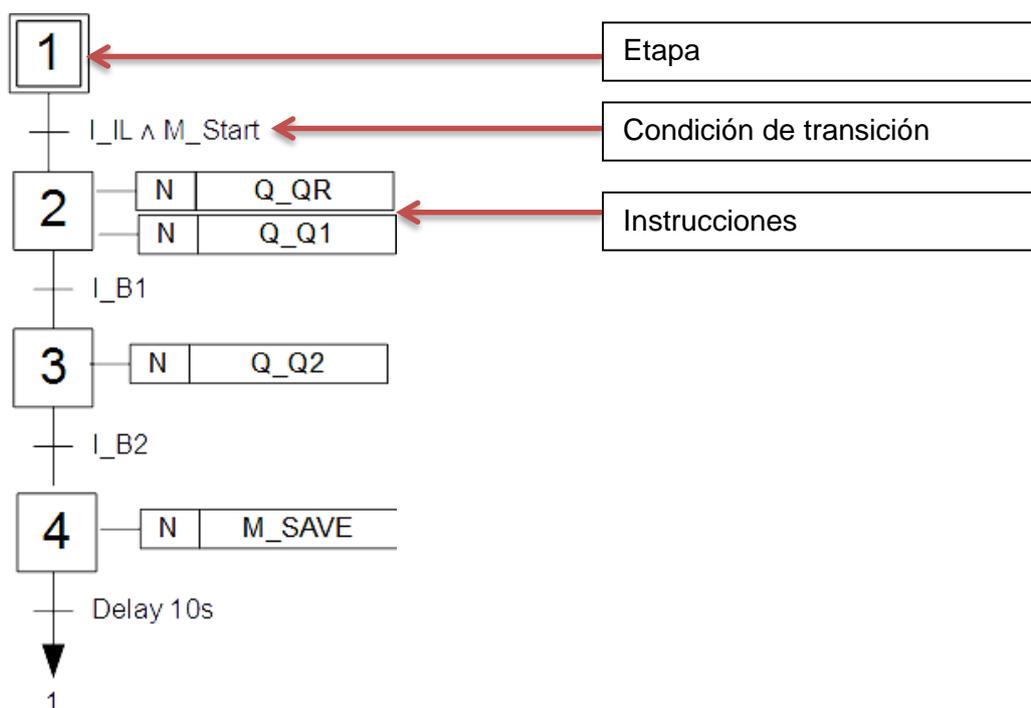
Condición de transición de la etapa 4 a la etapa 1	Tiempo de espera de diez segundos.
Instrucciones de la etapa 1	Nada.
Condición de transición de la etapa 1 a la etapa 2	El producto se encuentra en la posición izquierda final ($I_{IL} = 1$) y se pulsa el botón virtual de iniciar almacenamiento ($M_{Start} = 1$) programado en el HMI.
Instrucciones de la etapa 2	Se activa el desplazamiento hacia la derecha de la cinta transportadora ($Q_{QR} = 1$) y se activa el cilindro de parada en la posición de guardado ($Q_{Q1} = 1$).
Condición de transición de la etapa 2 a la etapa 3	Se detecta el producto en la posición de almacenamiento ($I_{B1} = 1$).
Instrucciones de la etapa 3	Se activa el cilindro de empuje hacia arriba ($Q_{Q2} = 1$) para que el producto quede almacenado en un depósito.
Condición de transición de la etapa 3 a la etapa 4	Se detecta el producto almacenado mediante un final de carrera ($I_{B2} = 1$).
Instrucciones de la etapa 4	Se presenta por pantalla que el producto ha sido almacenado ($M_{SAVE} = 1$).

Tabla_GA 1 Descripción del proceso básico secuencial

➤ **Diagrama de control GRAFCET**

Para interpretar el GRAFCET se debe tener claro los siguientes principios básicos:

El proceso se descompone en **etapas** que serán activadas una tras otra, tras cumplirse una **condición de transición**, cada etapa es asociada con una o varias **instrucciones** que serán activadas cuando se esté ejecutando la respectiva etapa.



Figura_GA 7 GRAFCET del proceso básico

➤ Creación de bloques de programa.

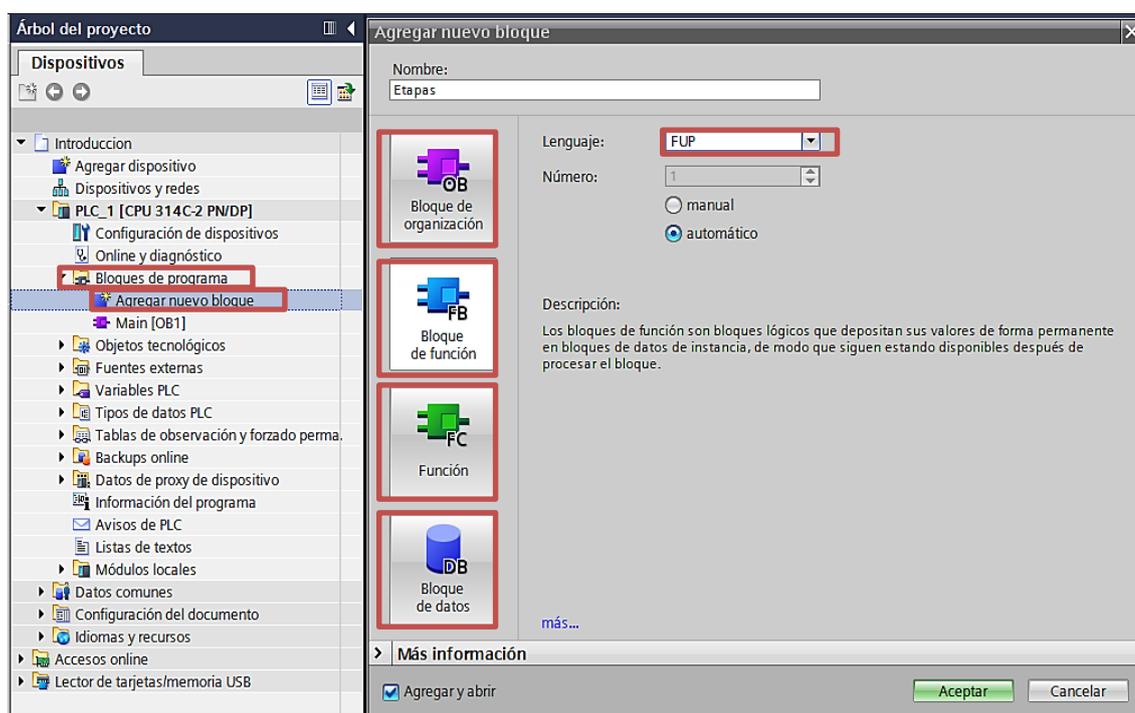
En “Bloques de Programa” dar clic a “Agregar nuevo bloque”, en esta parte se debe identificar los diferentes tipos de bloques que tenemos y el uso para cada uno en nuestra programación secuencial.

Bloques de Función (FB): Los bloques de función depositan sus valores permanentes en los bloques de datos de manera que estos están disponibles tras procesar el bloque. En estos bloques se programan las condiciones de transición entre etapas.

Funciones (FC): Contienen rutinas de programa para tareas que se repiten a menudo, carecen de memoria. Aquí programamos las instrucciones de cada etapa.

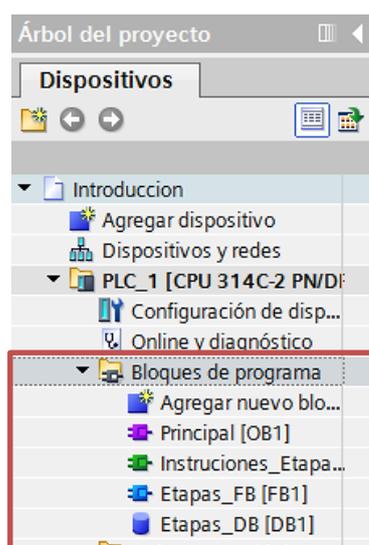
Bloque de datos (DB): Los bloques de datos se asignan a los bloques de funciones, estos almacenan datos que pueden ser utilizados por cualquier bloque.

Bloques de organización (OB): Estos determinan la estructura del programa, aquí llamamos los bloques de funciones, bloques de datos y las funciones.



Figura_GA 8 Ventana de bloques de programación

Añadir un bloque de función con el nombre “Etapas_FB”, una función con el nombre “Instrucciones_Etapas”, y un bloque de datos con el nombre “Etapas_DB” y por último el bloque de organización “Principal”. Debemos verificar que el lenguaje de programación sea el de bloques (FUP).



Figura_GA 9 Bloques de Programa OB1, FC1, FB1, DB1

➤ Tabla de variables del PLC

A continuación, se muestra las direcciones asignadas a las entradas, salidas y marcas utilizadas en la programación.

Variables PLC				
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección ▲
1	I_IL	Tabla de variabl..	Bool	%I0.0
2	I_B1	Tabla de variables e.	Bool	%I0.1
3	I_B2	Tabla de variables e.	Bool	%I0.2
4	Q_Q1	Tabla de variables e.	Bool	%Q0.0
5	Q_Q2	Tabla de variables e.	Bool	%Q0.1
6	Q_QR	Tabla de variables e.	Bool	%Q0.2
7	M_Start	Tabla de variables e.	Bool	%M0.0
8	M_SAVE	Tabla de variables e.	Bool	%M0.1
9	M_INIT	Tabla de variables e.	Bool	%M0.2
10	Temp_On_Delay	Tabla de variables e.	Timer	%T1

Figura_GA 10 Dirección de entradas/salidas y marcas

➤ Condición de Transición entre etapas

Dentro del bloque FB1 crear las variables estáticas que servirán para la programación de la condición entre etapas, estas se muestran en la Figura_GA 11.

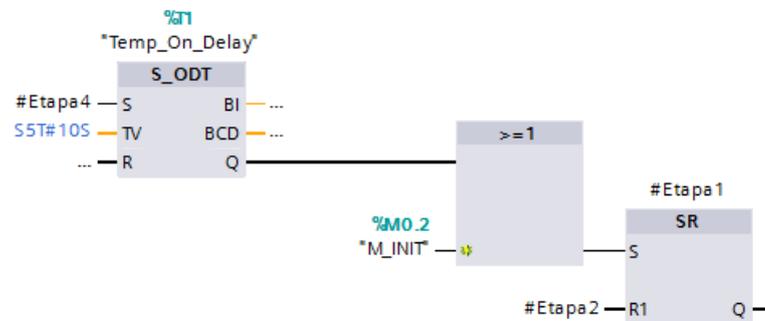
Etapas_FB						
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor predet.	Visible en ..	Valor de a..
1	Input				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Output				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	InOut				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Etapa1	Bool	0.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Etapa2	Bool	0.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Etapa3	Bool	0.2	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Etapa4	Bool	0.3	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura_GA 11 Variables estáticas del bloque de función (FB) "Etapas".

Una vez ingresadas las variables estáticas proceder con la programación como se muestra a continuación.

- Condición de transición entre etapa 4 a etapa 1

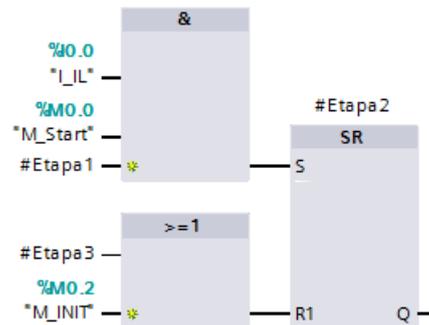
Segmento 1: Condición de transición de etapa 4 a etapa 1



Figura_GA 12 Condicion de transicion entre etapa 4 a etapa 1

- Condición de transición entre etapa 1 a etapa 2

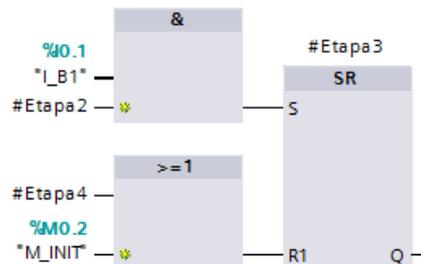
Segmento 2: Condición de transición de etapa 1 a etapa 2



Figura_GA 13 Condición de transicion entre etapa 1 a etapa 2

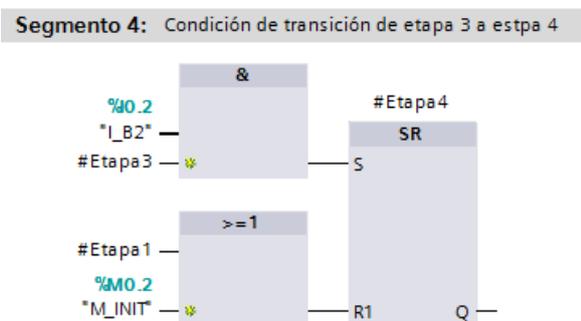
- Condición de transición entre etapa 2 a etapa 3

Segmento 3: Condición de transición de etapa 2 a etapa 3



Figura_GA 14 Condición de transicion entre etapa 2 a etapa 3

- Condición de transición entre etapa 3 a etapa 4



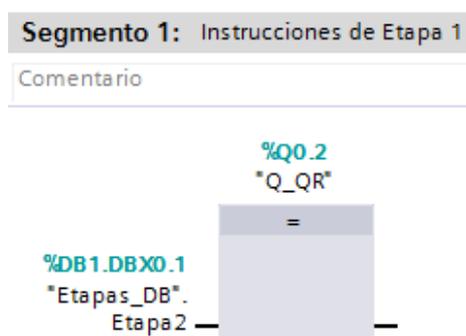
Figura_GA 15 Condición de transición entre etapa 3 a etapa 4

Adicional y muy importante colocar una marca "M_INIT" que es un botón virtual programado en el HMI, cuando este es activado retornaremos a la etapa inicial (etapa1).

➤ Instrucciones de las etapas

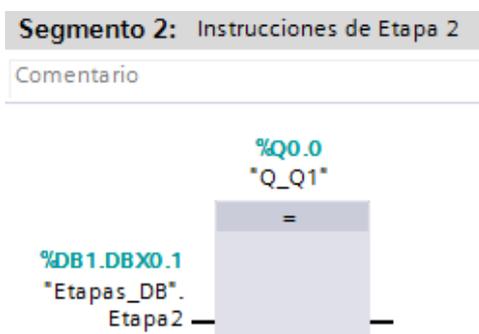
En el bloque FC1 programar las instrucciones que corresponden a cada etapa según se desarrolló en el Grafcet (Figura_GA 7).

- Instrucciones de Etapa 1



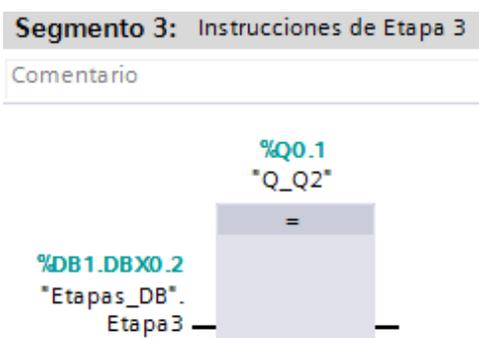
Figura_GA 16 Instrucciones de etapa 1

- Instrucciones de Etapa 2



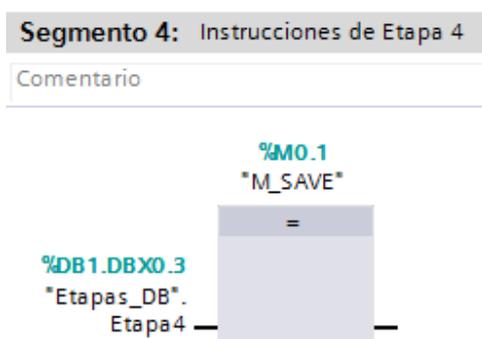
Figura_GA 17 Instrucciones de etapa 2

- Instrucciones de Etapa 3



Figura_GA 18 Instrucciones de etapa 3

- Instrucciones de Etapa 4

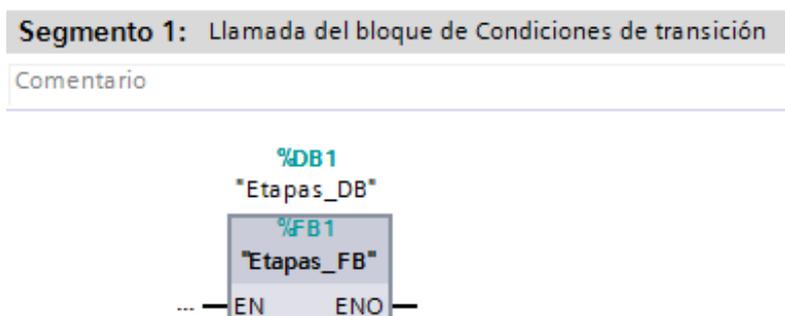


Figura_GA 19 Instrucciones de etapa 4

- Llamada de bloques secundarios en el bloque principal.

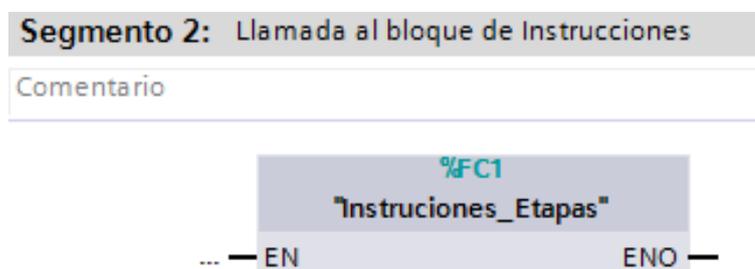
En el bloque OB1 se hacen las llamadas de los bloques secundarios FB1 y FC1, la programación se muestra a continuación:

- Llamada de bloque de condiciones de transición



Figura_GA 20 Llamada al bloque de condiciones de transición

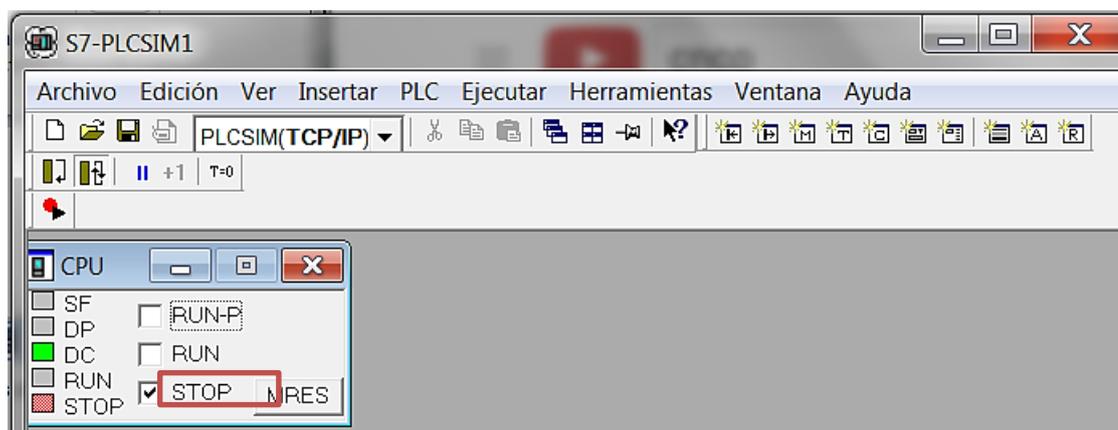
- Llamada al bloque de instrucciones



Figura_GA 21 Llamada al bloque de Instrucciones

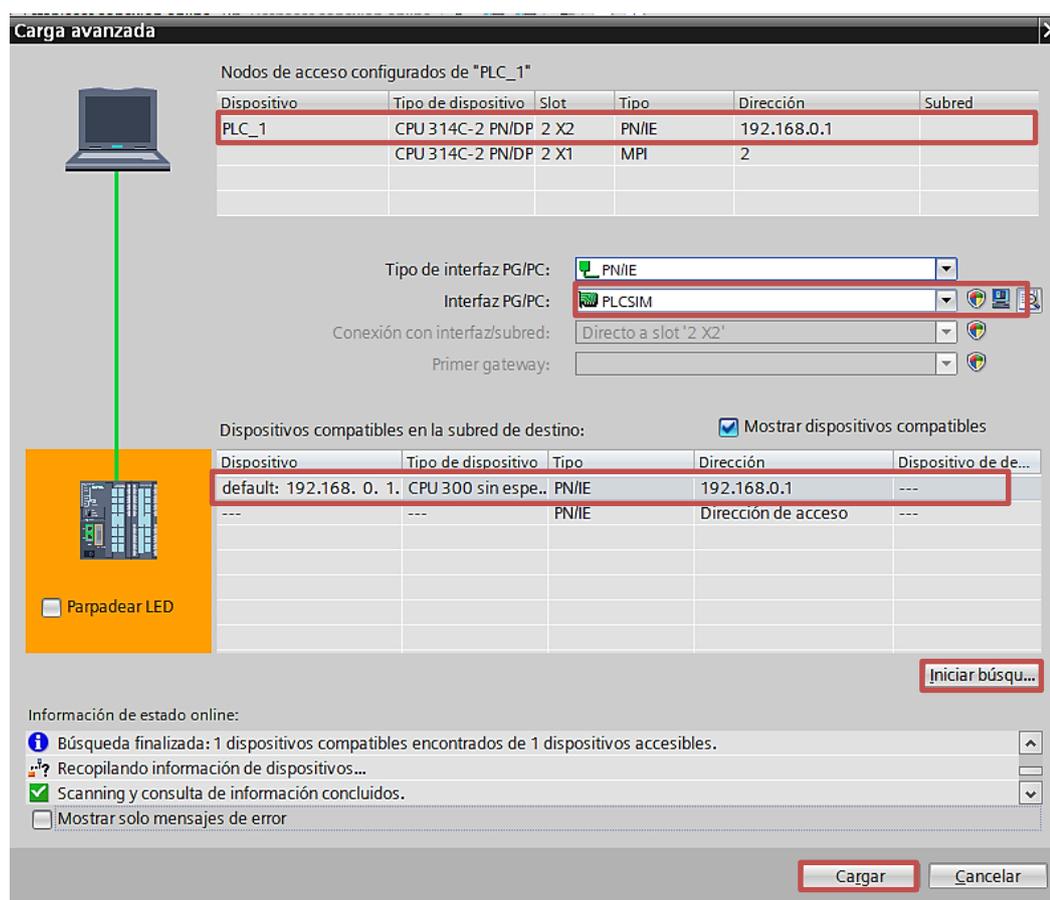
Simulación de un proyecto

Para la simulación del proyecto dar clic en “Iniciar Simulación” , aparecerá automáticamente un PLC virtual en S7-PLCSIM (Figura_GA 22), además de una ventana donde se debe configurar la carga del software al PLC virtual (Figura_GA 23).



Figura_GA 22 PLC virtual con dirección IP default 192.168.0.1

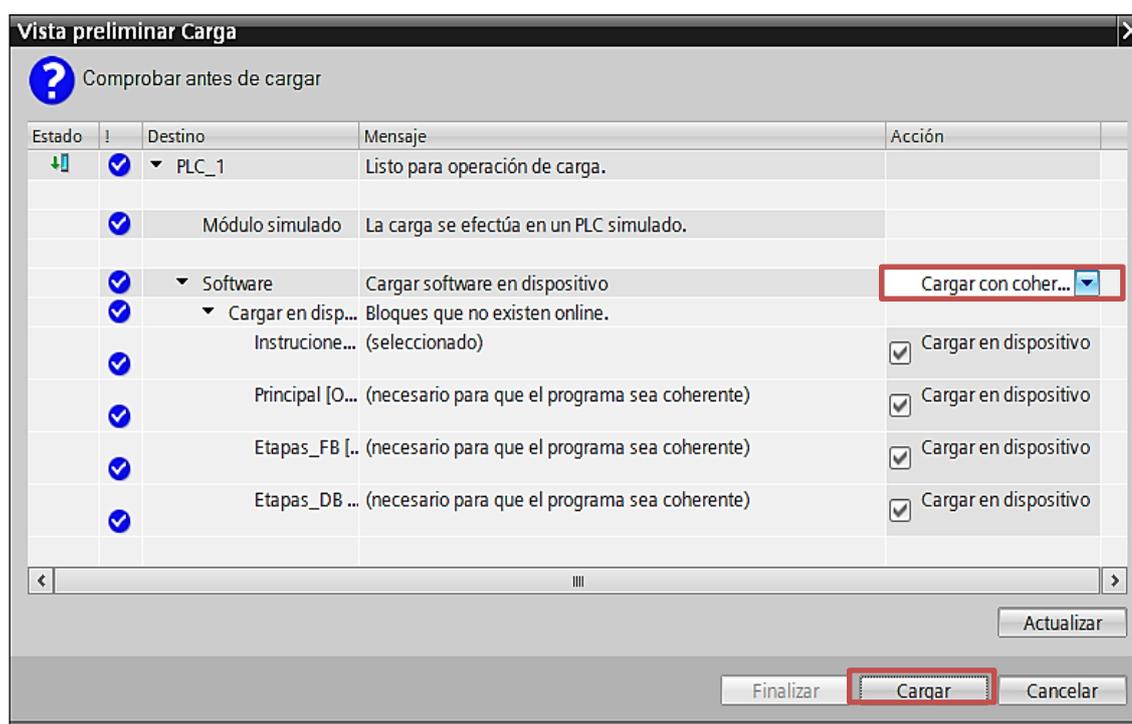
Para que la carga del software sea realizada con éxito, el PLC virtual debe estar en modo STOP tal como se muestra en la Figura_GA 22.



Figura_GA 23 Carga del software al PLC virtual

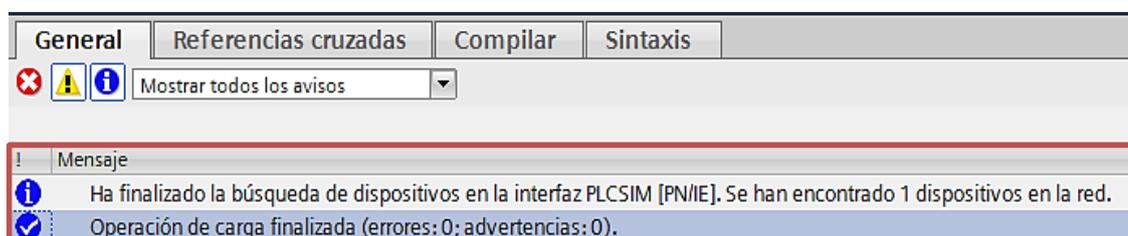
Como se muestra en la Figura_GA 23 se configura el “Tipo de Interfaz PG/PC”, “Interfaz PG/PC” y se da clic a “Iniciar búsqueda”, aparecen los dispositivos compatibles con la subred, en este caso el CPU 300 que tiene como dirección IP default 192.168.0.1. Por último, dar clic a “Cargar”.

Aparece la ventana de “Vista preliminar de carga” (Figura_GA 24), elegir “Cargar con coherencia” y clic a “Cargar”.



Figura_GA 24 Vista Preliminar de Carga

Observamos que la operación de Carga ha sido exitosa (Figura_GA 25).



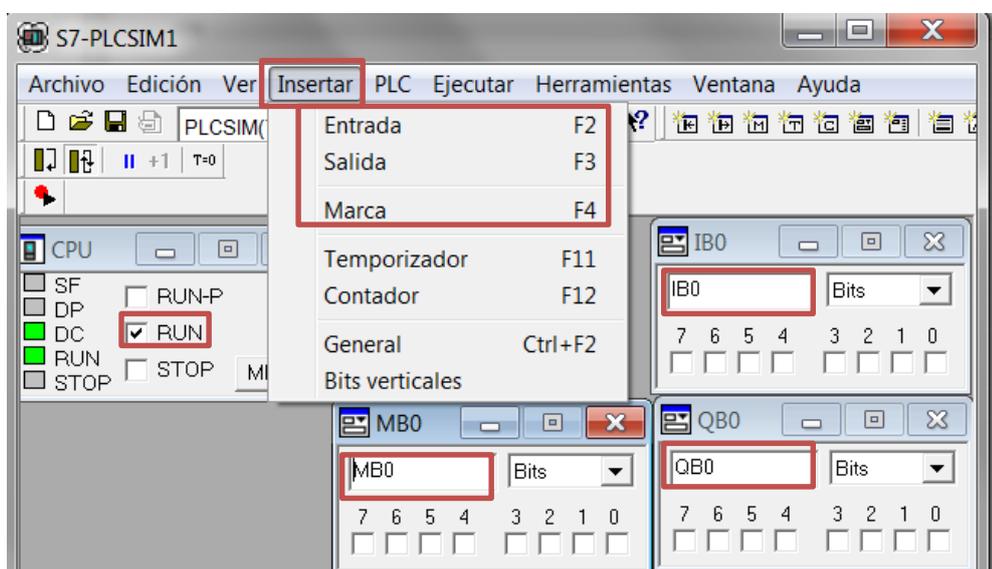
Figura_GA 25 Carga de Programa sin errores

Ahora se debe agregar al PLC virtual las entradas, salidas y marcas utilizadas en el proyecto, por lo cual se accede a las variables del PLC en el árbol de proyecto y revisar la dirección de nuestras entradas, salidas y marcas utilizadas.

Variables PLC				
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección ▲
1	I_IL	Tabla de variables e.	Bool	%IO.0
2	I_B1	Tabla de variables e.	Bool	%IO.1
3	I_B2	Tabla de variables e.	Bool	%IO.2
4	Q_Q1	Tabla de variables e.	Bool	%Q0.0
5	Q_Q2	Tabla de variables e.	Bool	%Q0.1
6	Q_QR	Tabla de variables e.	Bool	%Q0.2
7	M_Start	Tabla de variables e.	Bool	%M0.0
8	M_SAVE	Tabla de variables e.	Bool	%M0.1
9	M_INIT	Tabla de variables e.	Bool	%M0.2

Figura_GA 26 Variables del PLC

Entonces el PLC virtual agregar la Entrada IB0, la salida QB0 y la marca MB0 y elegir el modo de operación RUN.

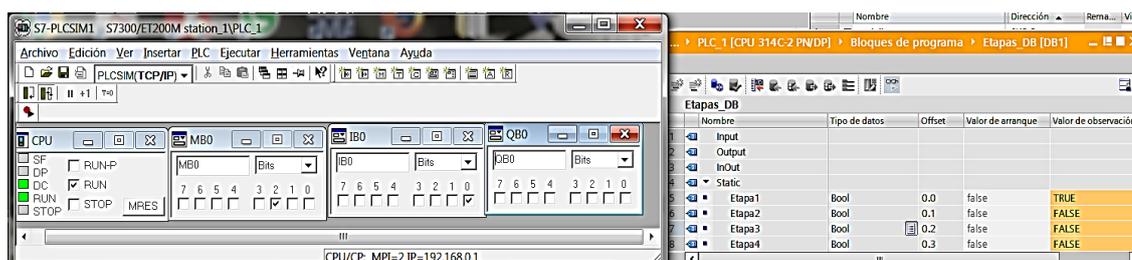


Figura_GA 27 Adición de entradas, salidas y marcas en el PLC Virtual

En la ventana de TIA PORTAL dar clic en  Establecer conexión online, y en el botón de “observar todo”  en el bloque de datos DB1.

Para una mejor apreciación de las transiciones entre etapas se recomienda colocar en la mitad de la pantalla la interfaz de S7 PLCSIM y en la otra mitad la ventana de los bloques de datos "Etapas_DB".

- Activar M_INIT (M0.2) por consiguiente cambia el estado de la Etapa 1 de FALSE a TRUE.



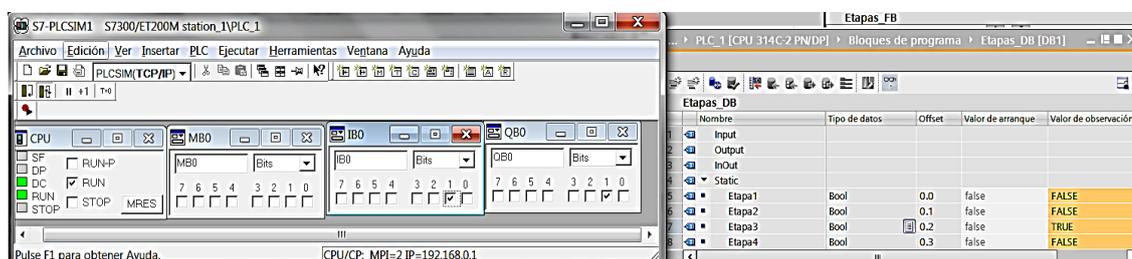
Figura_GA 28 Interfaz de S7 PLCSIM y Etapas_DB durante activación de Etapa 1

- Activar I_IL (I0.0) y M_Start (M0.0) por consiguiente cambia el estado de la Etapa 2 de FALSE a TRUE.



Figura_GA 29 Interfaz de S7 PLCSIM y Etapas_DB durante activación de Etapa 2

- Activar I_B1 (I0.1) por consiguiente cambia el estado de la Etapa 3 de FALSE a TRUE.



Figura_GA 30 Interfaz de S7 PLCSIM y Etapas_DB durante activación de Etapa 3

- Activar I_B2 (I0.2) por consiguiente cambia el estado de la Etapa 4 de FALSE a TRUE.



Figura_GA 31 Interfaz de S7 PLCSIM y Etapas_DB durante activación de Etapa 4

PROGRAMACIÓN DE HMI (INTERFAZ HOMBRE MAQUINA)

Introducción

En esta sección se procederá a programar una interfaz HMI para el proceso básico descrito en la sección anterior, se detallará la creación de pantallas, configuración de botones e indicadores virtuales y demás elementos que se podrá utilizar para la representación gráfica de un proceso industrial.

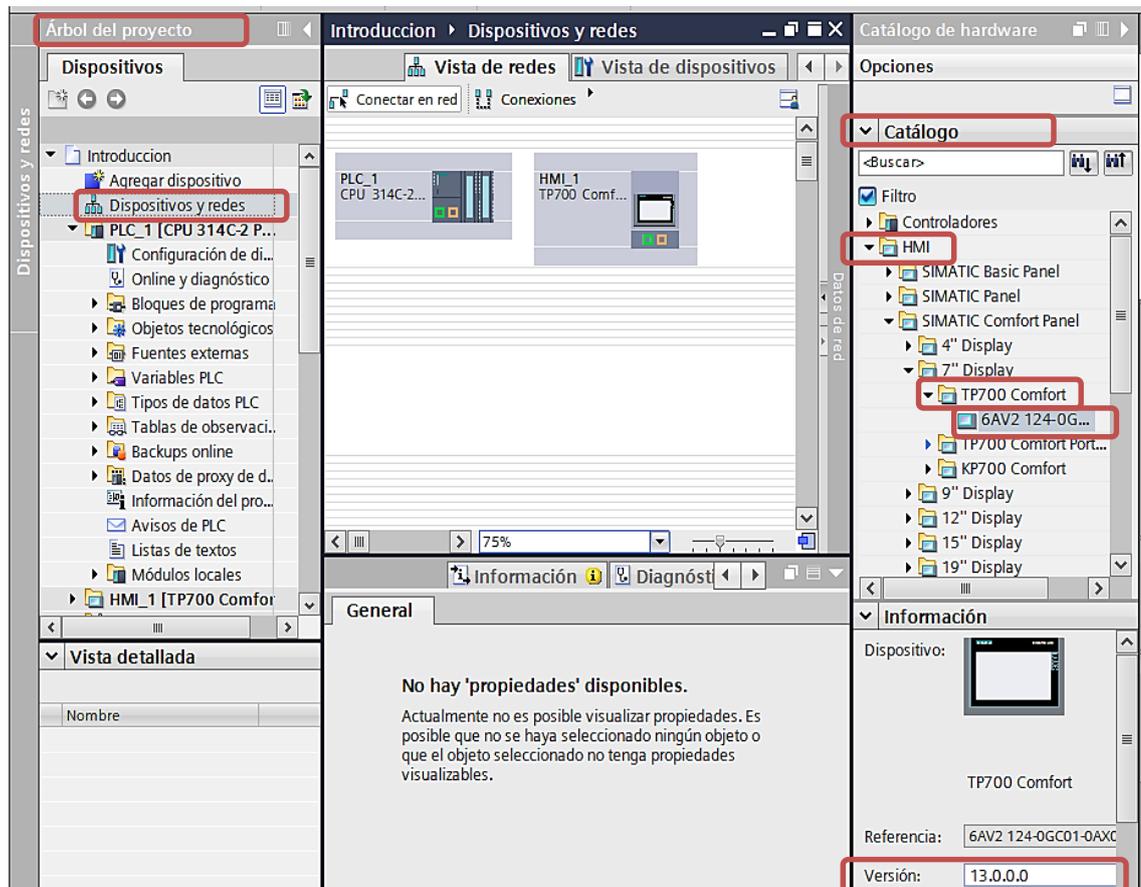
Es necesario tener instalado en nuestra computadora el software TIA PORTAL V13 SP1 y STEP 7 PROFESIONAL V13 SP1.

Procedimiento

Para la creación de una interfaz HMI se continuará trabajando en el proyecto de nombre "Introducción".

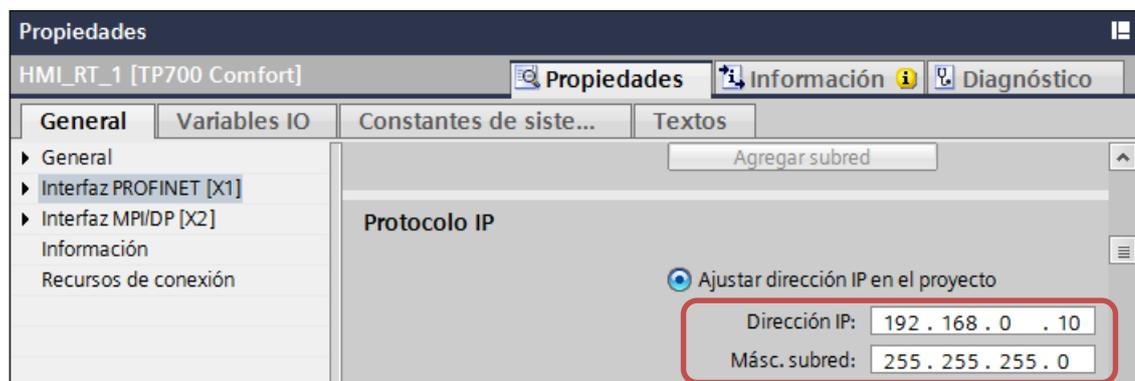
➤ Elección del dispositivo HMI

Dirigirse a la ventana de "Árbol de proyecto" y dar doble clic en "Dispositivos y redes", en la parte de "Catálogo", buscar el dispositivo HMI que se desea utilizar, se elige el TP 700 que corresponde al panel touch del laboratorio de control de procesos industriales. Verificar que la versión del dispositivo es la que se indica en la Figura_GA 32.

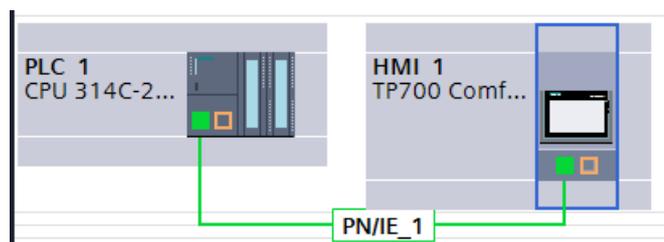


Figura_GA 32 Elección del Panel Touch TP 700 Comfort

Ajustar la dirección IP del HMI tal como se muestra en la Figura_GA 33 y conectar el controlador con el HMI mediante una red Profinet como se muestra en la Figura_GA 34.



Figura_GA 33 Asignación de Dirección IP al HMI

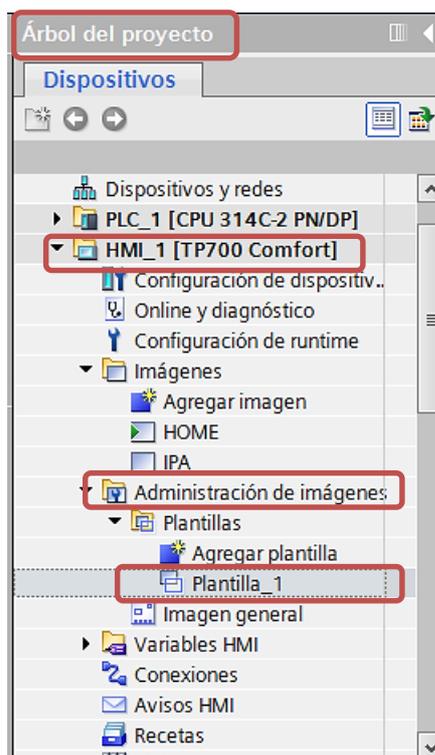


Figura_GA 34 Conexión entre el controlador y HMI mediante red Profinet

➤ Diseño de una Interfaz Gráfica

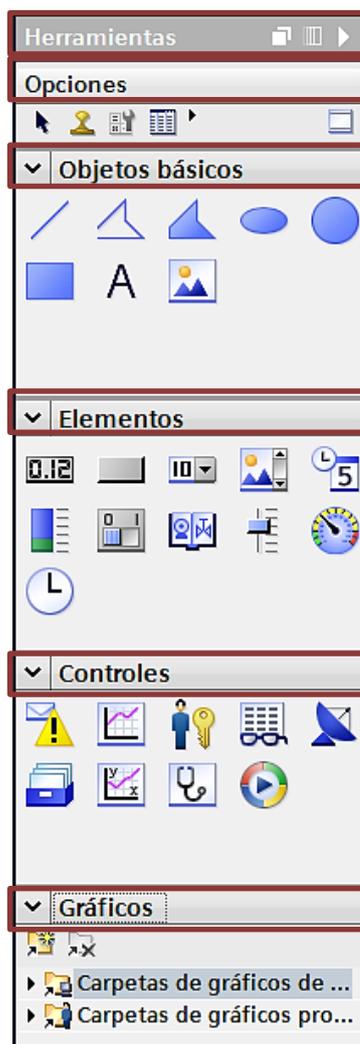
En esta parte se explica cómo crear una plantilla de trabajo que servirá como plantilla base para las demás pantallas del proyecto.

En la Figura_GA 35 se muestran los pasos a seguir para añadir una plantilla de trabajo.



Figura_GA 35 Creación de una plantilla de trabajo

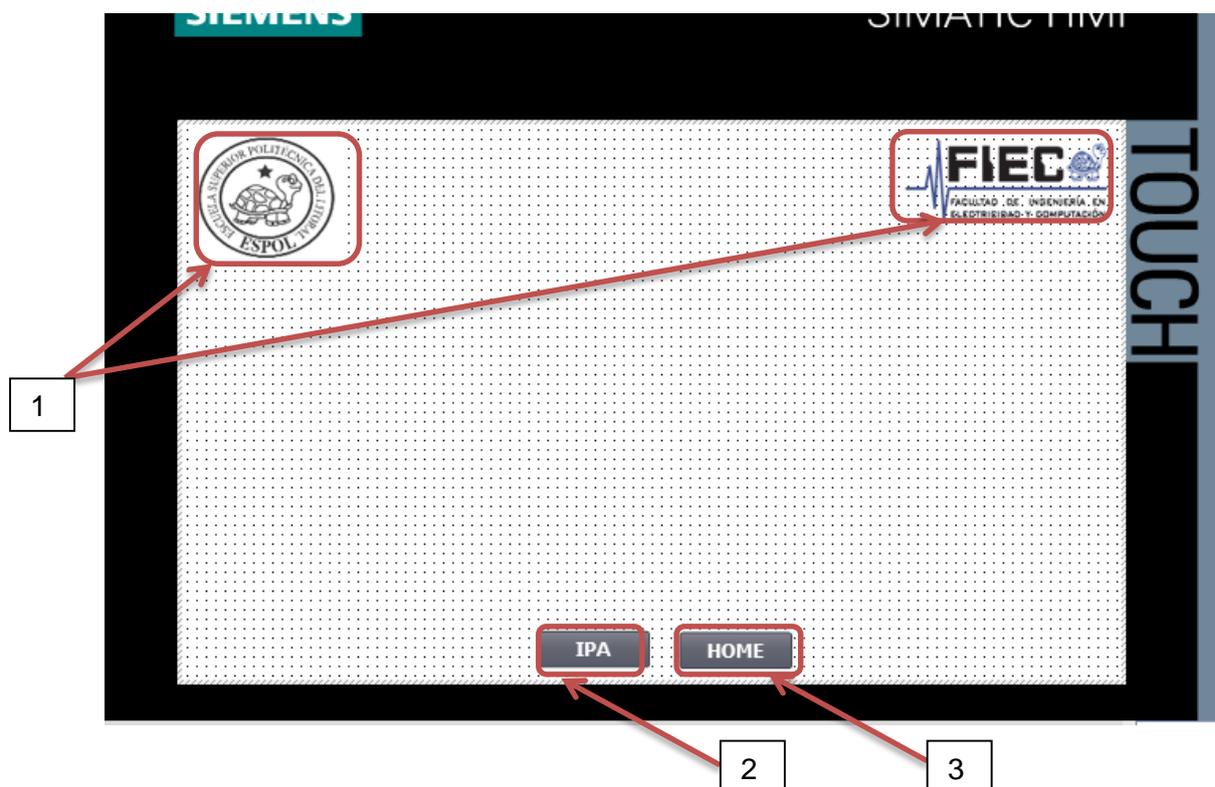
En la ventana de herramientas se dispone de varias opciones como Objetos básicos, Elementos, Controles y Graficos, estos servirán para la creación de las diferentes interfaces.



Figura_GA 36 Ventana de Herramientas de HMI

➤ **Descripción de las pantallas HMI**

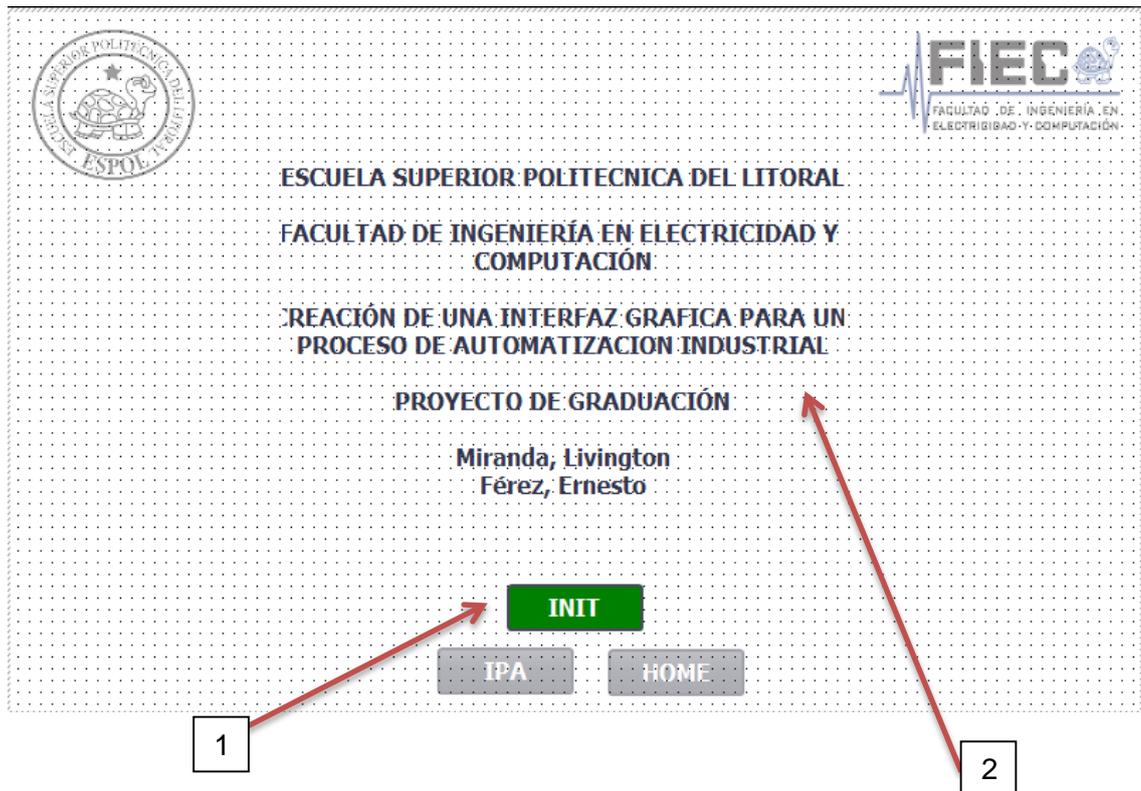
A continuación se describe en la Figura_GA 37 la "Plantilla_1".



Figura_GA 37 Descripción de la Plantilla_1

- 1) Visor de Gráficos, logo de ESPOL y logo de la FIEC.
- 2) Botón, Cambia a la pantalla de nombre "IPA".
- 3) Botón, Cambia a la pantalla de nombre "HOME".

La siguiente pantalla es "HOME" o inicio de la cual se puede acceder a las distintas pantallas del proyecto, se la describe en la Figura_GA 38.

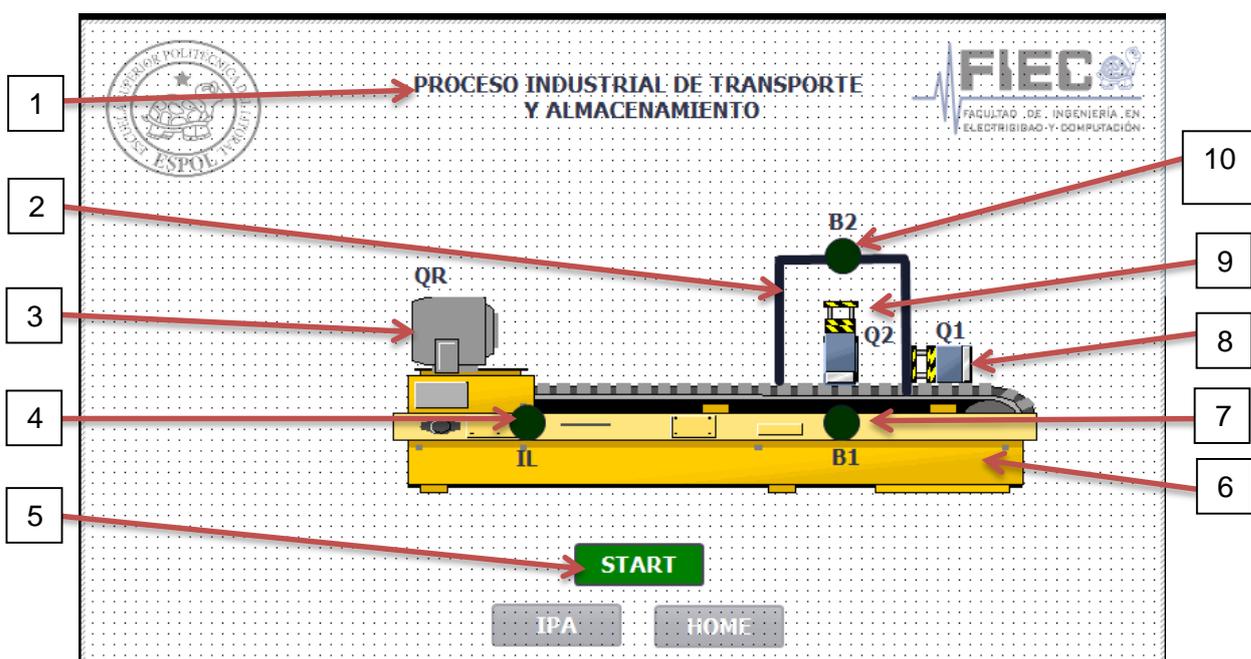


Figura_GA 38 Descripción de la pantalla HOME

Esta pantalla contiene los siguientes elementos:

- 1) Botón INIT (M_INIT), activa la etapa inicial del proceso.
- 2) Campo de Texto, carátula del proyecto.

La siguiente pantalla “IPA” representa la automatización de un proceso industrial descrito en la sección anterior, se la describe en la Figura_GA 39.



Figura_GA 39 Descripción de la pantalla IPA

Esta pantalla contiene los siguientes elementos:

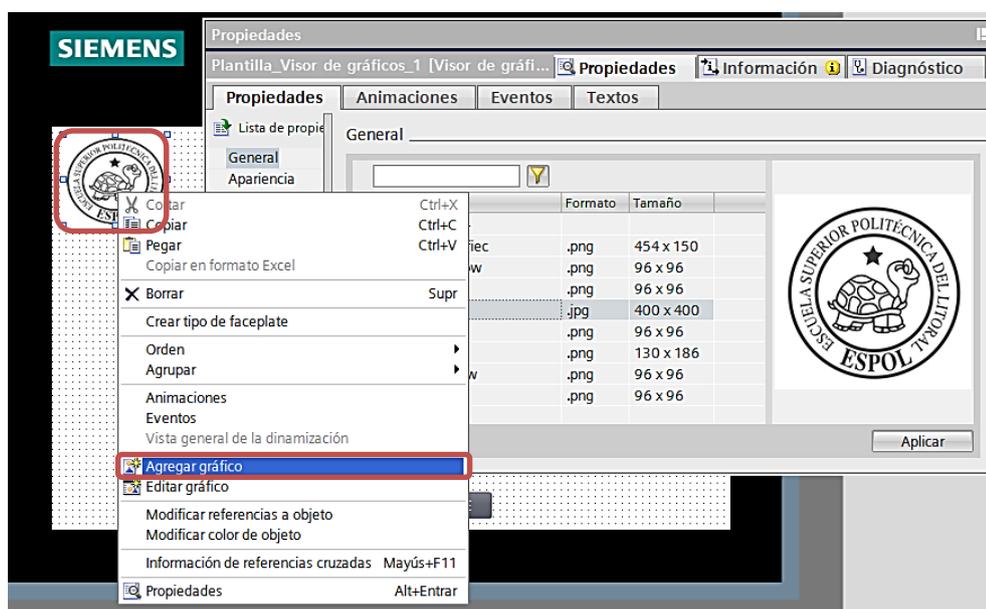
- 1) Campo de Texto, Título Principal de la Pantalla IPA.
- 2) Línea, Deposito de almacenamiento.
- 3) Librería de Símbolos, Motor que se encarga de mover la banda transportadora a la derecha.
- 4) Círculo, Sensor de posición inicial izquierda.
- 5) Botón Start (M_Start), Inicia Proceso de transporte y almacenamiento de producto.
- 6) Librería de símbolos, Banda transportadora.
- 7) Círculo, Sensor de posición de parada.
- 8) Librería de Símbolos, Cilindro de Posición parada.
- 9) Librería de Símbolos, Cilindro de almacenamiento
- 10) Círculo, Sensor de pieza almacenada.

➤ **Configuración de los elementos de las pantallas.**

Plantilla de Trabajo “Plantilla_1”

- Visor de Gráficos 

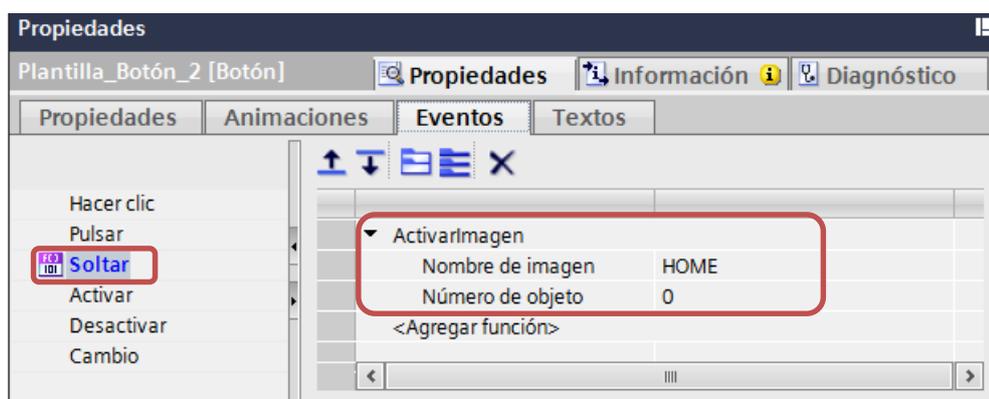
Dar clic derecho al visor de gráficos y dirigirse a la propiedad de “Agregar gráfico” y elegir el grafico deseado, en este caso corresponde al logo de ESPOL y logo de FIEC.



Figura_GA 40 Configuración del visor de gráficos

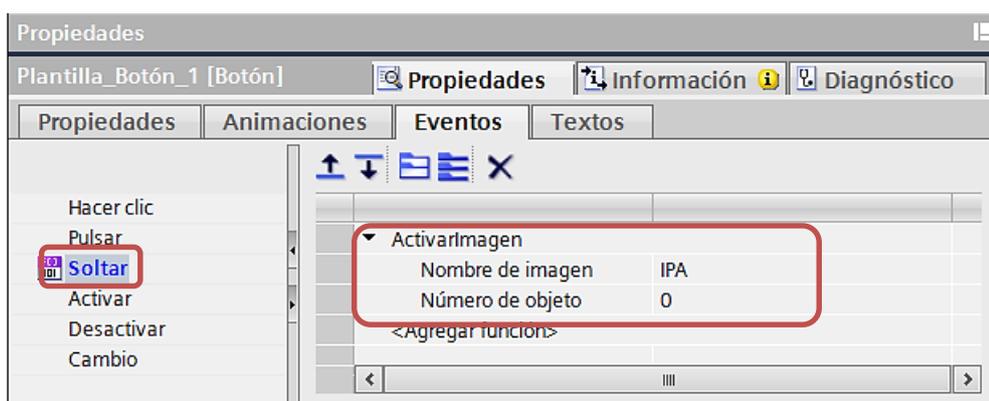
- Botones Virtuales 

La configuración del botón HOME se muestra en la ventana de propiedades en la Figura_GA 41, donde se puede observar el Evento “Soltar” y la Función “ActivarImagen” para acceder a la pantalla “HOME”.



Figura_GA 41 Configuración del botón “HOME”

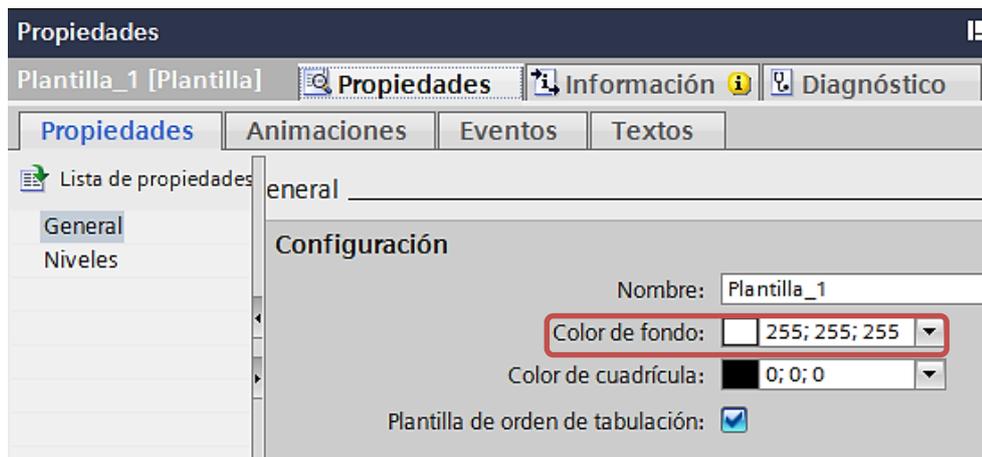
La configuración del botón IPA se muestra en la ventana de propiedades en la Figura_GA 41, donde se puede observar el Evento “Soltar” y la Función “ActivarImagen” para acceder a la interfaz gráfica de nombre “IPA”.



Figura_GA 42 Configuración del botón “IPA”

- Fondo de pantalla de “Plantilla_1”

La configuración del fondo de pantalla de “Plantilla_1” se muestra en la ventana de propiedades en la Figura_GA 43, donde se procede a modificar el “Color de fondo” a color blanco.

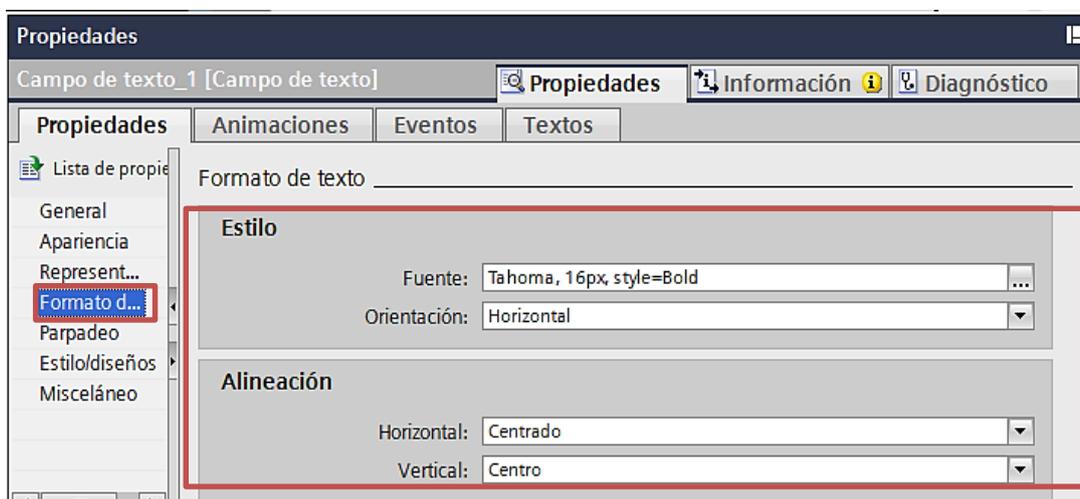


Figura_GA 43 Configuración del fondo de pantalla de “Plantilla_1”

Pantalla Inicial “HOME”

- Campo de Texto A

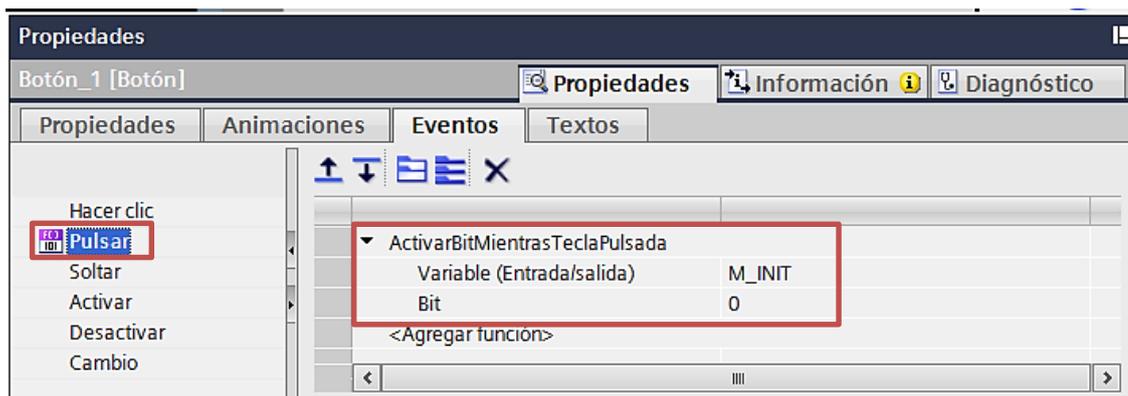
Se observa en la Figura_GA 44 la lista de propiedades que tiene Campo de Texto, de las cuales en Formato de Texto se puede editar la Fuente, Orientación y la Alineación.



Figura_GA 44 Configuración de Campo de Texto

- Botón Virtual 

La configuración del botón INIT se muestra en la Figura_GA 45, donde se puede observar el Evento “Pulsar”, la Función de “ActivarBitMientrasTeclaPulsada”, la Variable M_INIT.

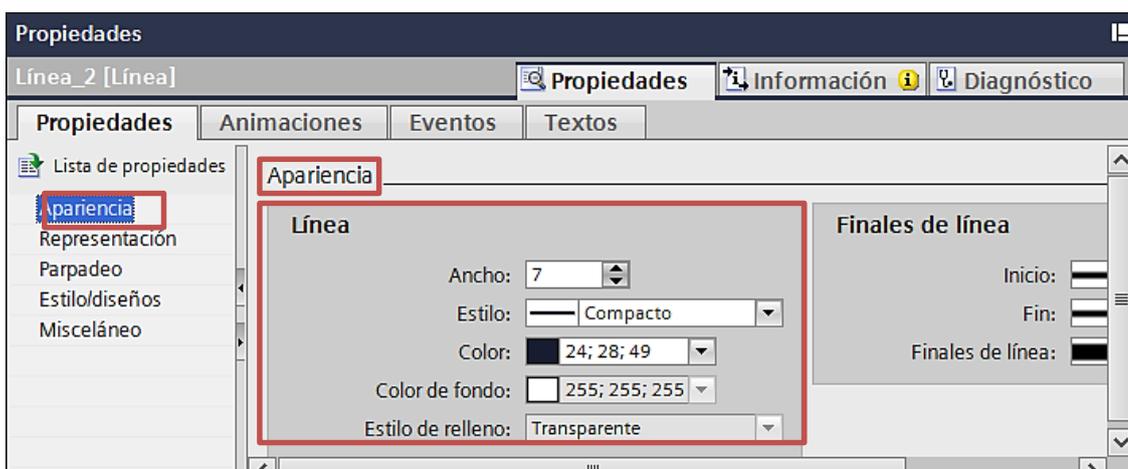


Figura_GA 45 Configuración del botón INIT

Pantalla de proceso industrial IPA

- Línea 

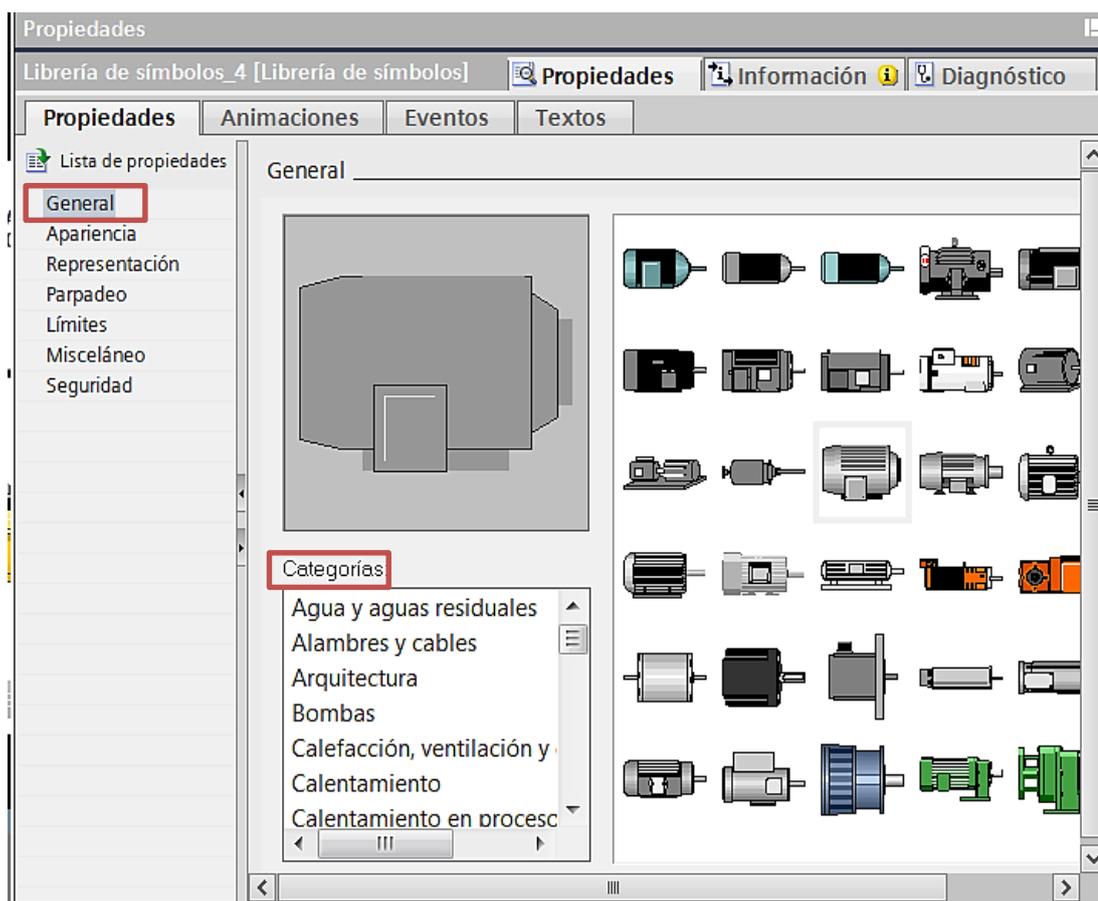
El objeto “Línea” nos sirve para representar el depósito de almacenamiento, se puede observar en la Figura_GA 46 la propiedad apariencia, en la cual se puede editar el ancho, estilo, color, color de fondo y demás propiedades.



Figura_GA 46 Configuración de Línea

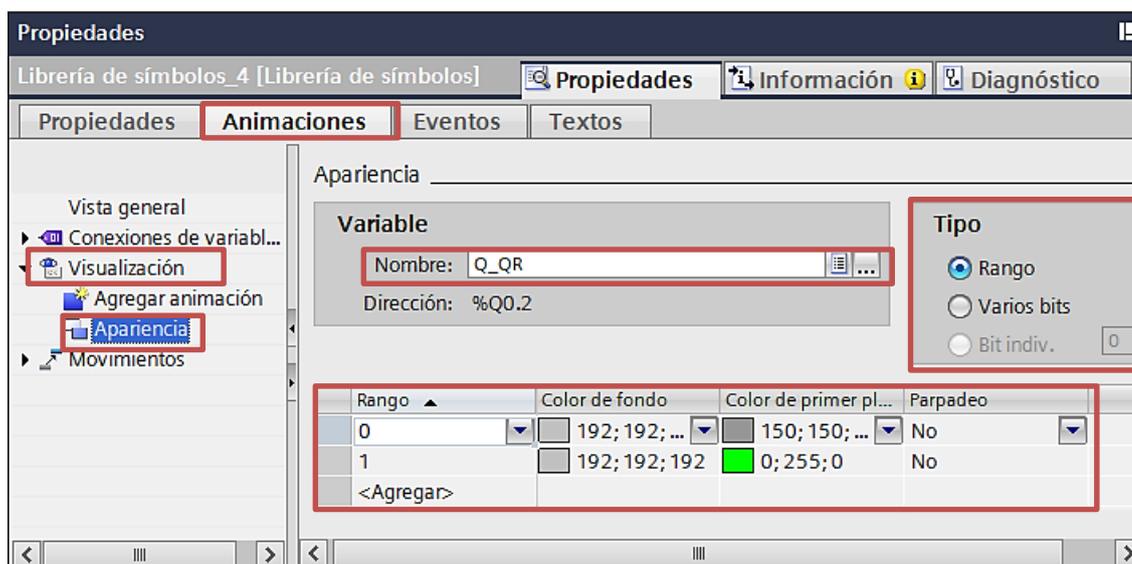
- Librería de Símbolos 

Como su nombre lo dice, posee una librería de símbolos que sirven para modelar cualquier tipo de planta o proceso industrial. En la propiedad General se puede navegar por las diferentes categorías y elegir los diferentes gráficos que ayuden a representar un proceso industrial.



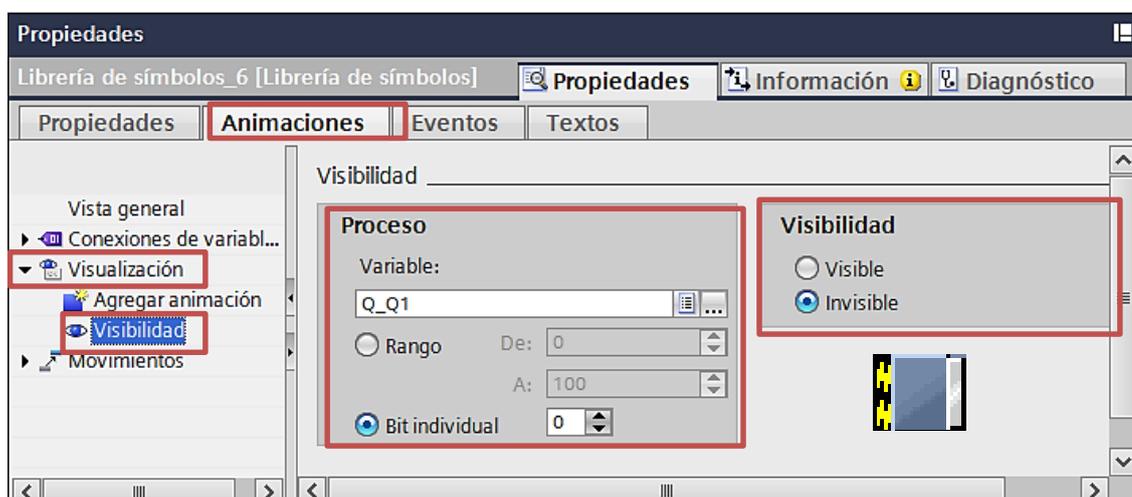
Figura_GA 47 Propiedad General de la librería de símbolos

La configuración de símbolo, motor, se muestra en la Figura_GA 48. La variable asignada es Q_QR

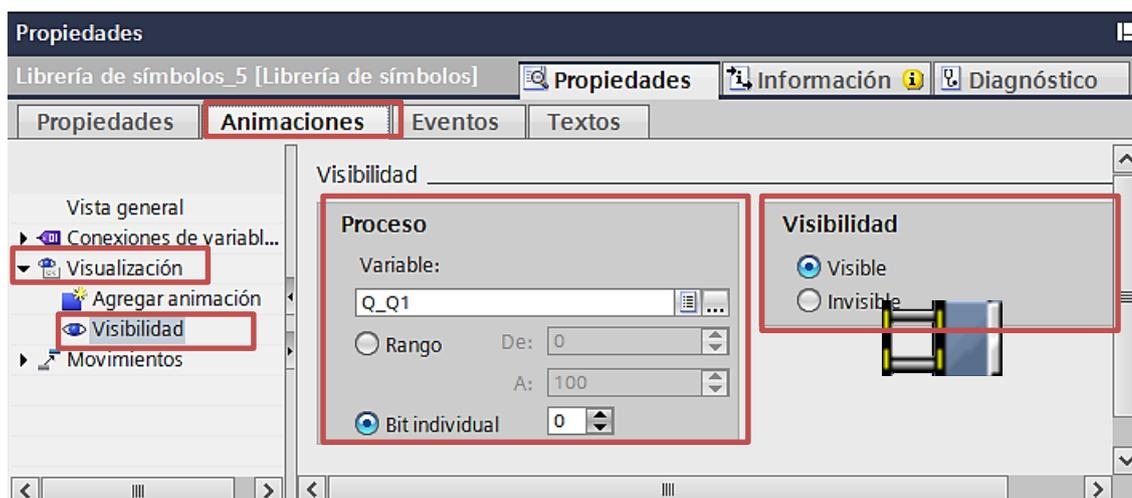


Figura_GA 48 Ventana de Propiedades del símbolo Motor

La configuración de símbolo, cilindro de posición de parada, se muestra en la Figura_GA 49 y la Figura_GA 50. La variable asignada es Q_Q1.

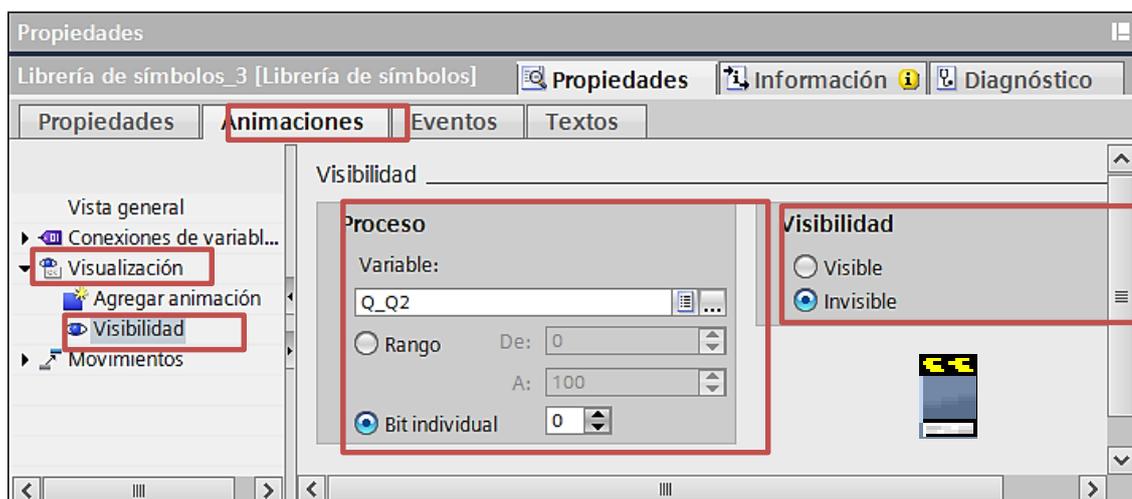


Figura_GA 49 Ventana de propiedades para cilindro de posición de parada en estado desactivado

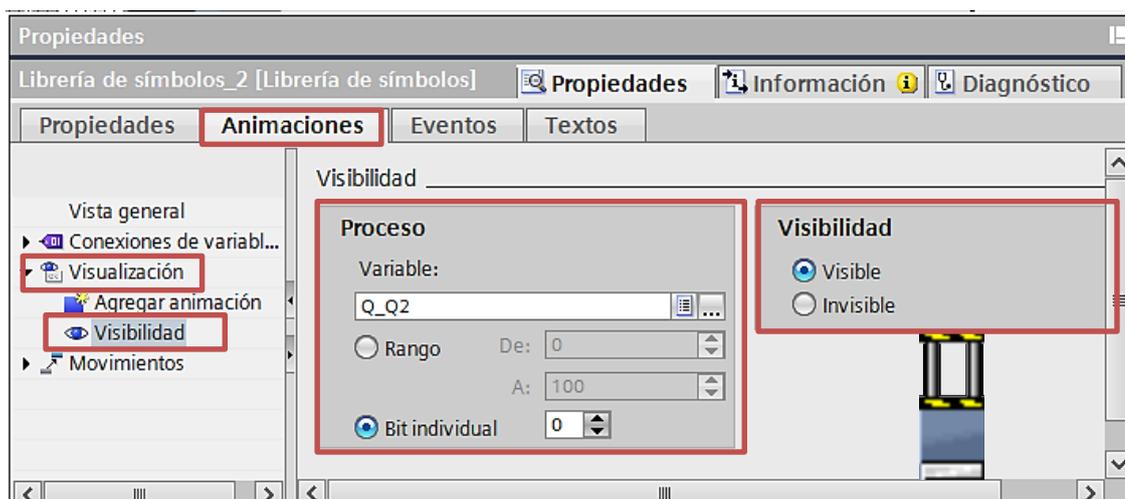


Figura_GA 50 Ventana de propiedades para cilindro de posición de parada en estado activado

La configuración de símbolo, cilindro de almacenamiento, se muestra en la Figura_GA 51 y la Figura_GA 52. La variable asignada es Q_Q2.



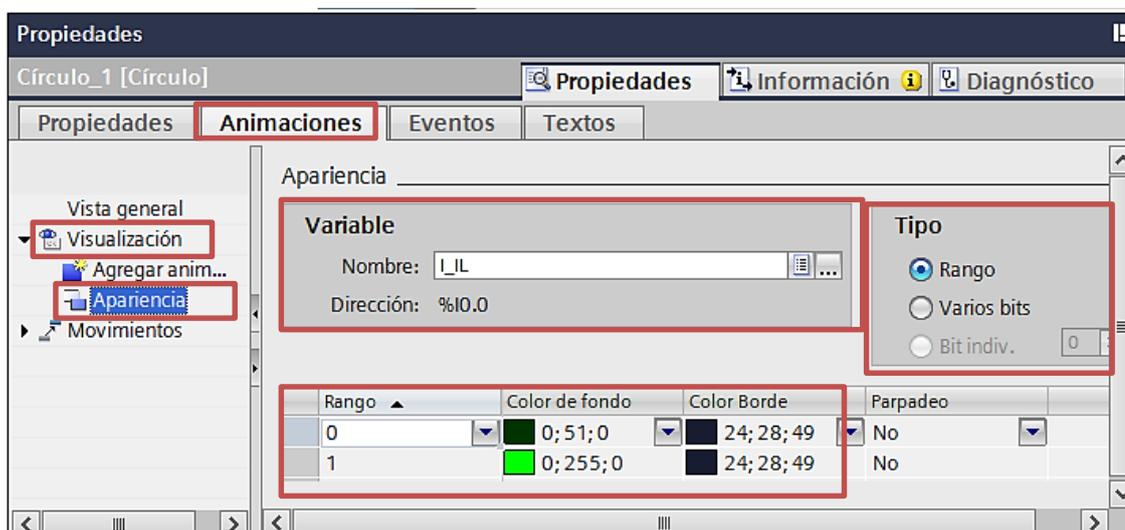
Figura_GA 51 Ventana de propiedades para cilindro de almacenamiento en estado desactivado



Figura_GA 52 Ventana de propiedades para cilindro de almacenamiento en estado activado

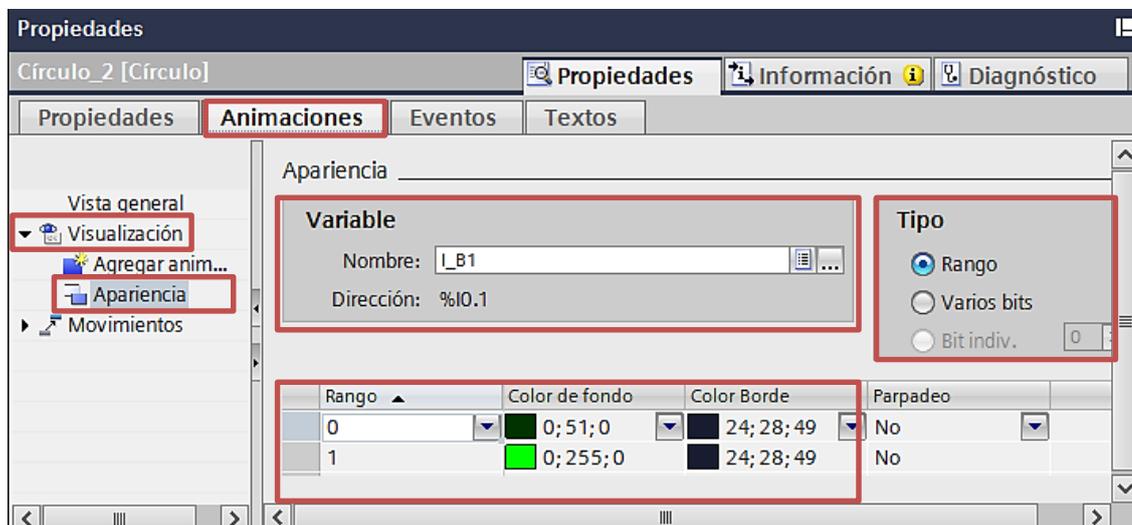
- **Círculo** 

La configuración de círculo, sensor de posición inicial izquierda, se muestra en la Figura_GA 53. La variable asignada es I_IL.



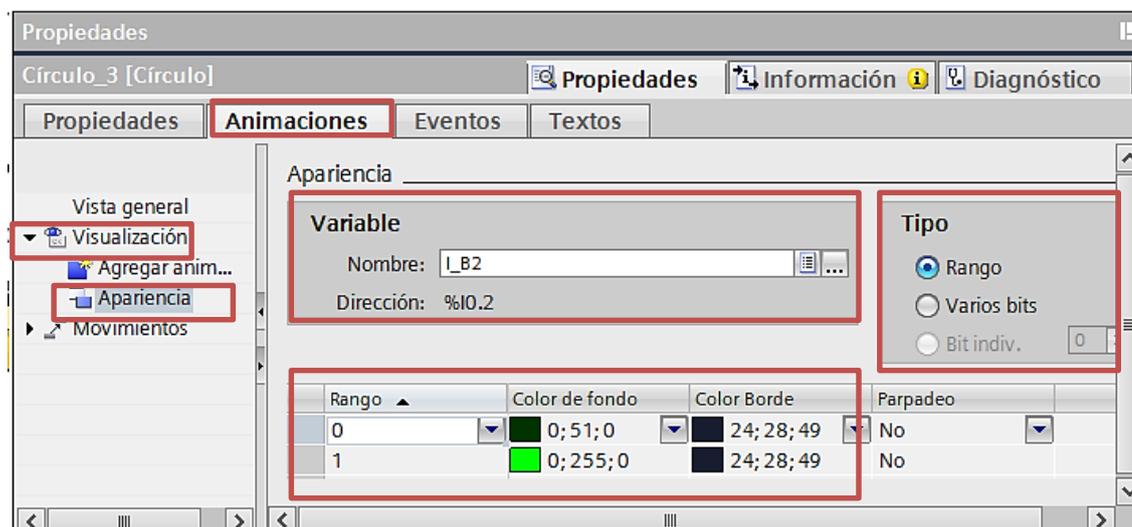
Figura_GA 53 Ventana de propiedades para sensor de posición de inicial izquierda

La configuración de círculo, sensor de posición de parada, se muestra en la Figura_GA 54. La variable asignada es I_B1.



Figura_GA 54 Ventana de propiedades para sensor de posición de parada

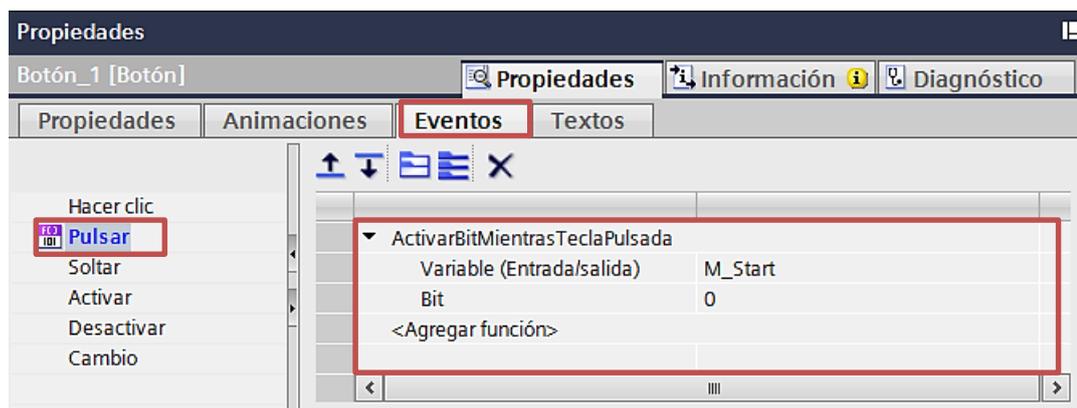
La configuración de círculo, sensor de posición de parada, se muestra en la Figura_GA 55. La variable asignada es I_B2.



Figura_GA 55 Ventana de propiedades para sensor de pieza almacenada

- Botón Virtual 

La configuración del botón START se muestra en la Figura_GA 56, donde se puede observar el Evento “Pulsar”, la Función de “ActivarBitMientrasTeclaPulsada”, la Variable M_Start.



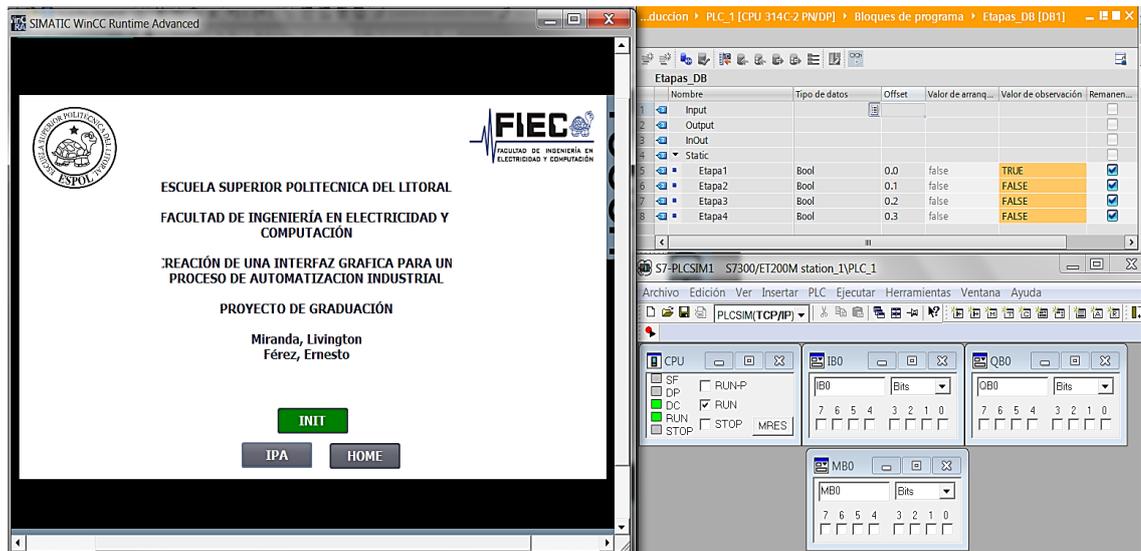
Figura_GA 56 Ventana de propiedades para botón Start

Simulación de HMI y PLC Virtual

Después de haber creado y configurado las pantallas tal como se describió anteriormente, se procede a la simulación. Para empezar con la simulación dar clic en el icono  de la barra de herramientas tanto para el PLC y la pantalla HMI.

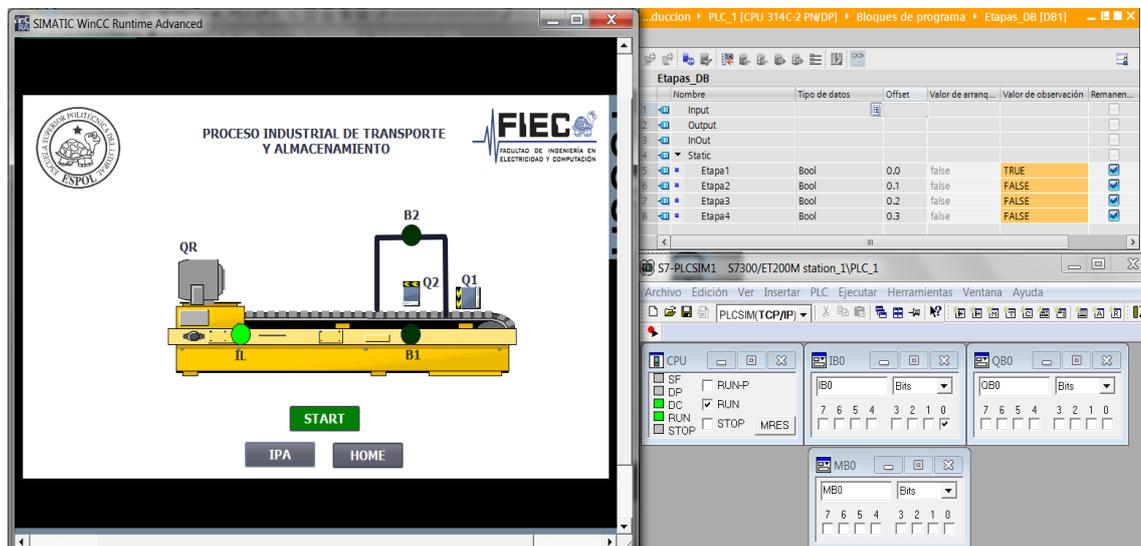
Para tener una mejor apreciación de las secuencias del proceso se recomienda tener la pantalla HMI, la ventana del PLC virtual y el bloque de datos Etapas_DB disponibles en el escritorio.

Inicialmente para activar la etapa 1 se da clic en el botón INIT (M0.2)



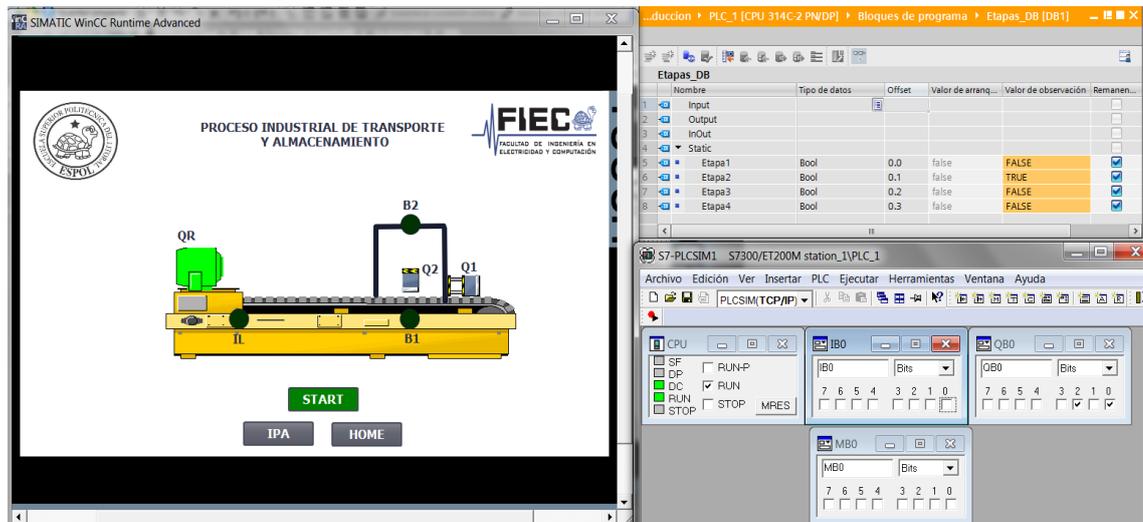
Figura_GA 57 Simulación con PLC y HMI virtual, Etapa 1 activada

Ahora cambiar a la pantalla IPA para lo cual dar clic en el botón IPA. Para proceder a la activación de la etapa 2, el sensor de posición inicial izquierda I_IL (I0.0) debe estar activado y se debe dar clic en el botón START (M0.0).



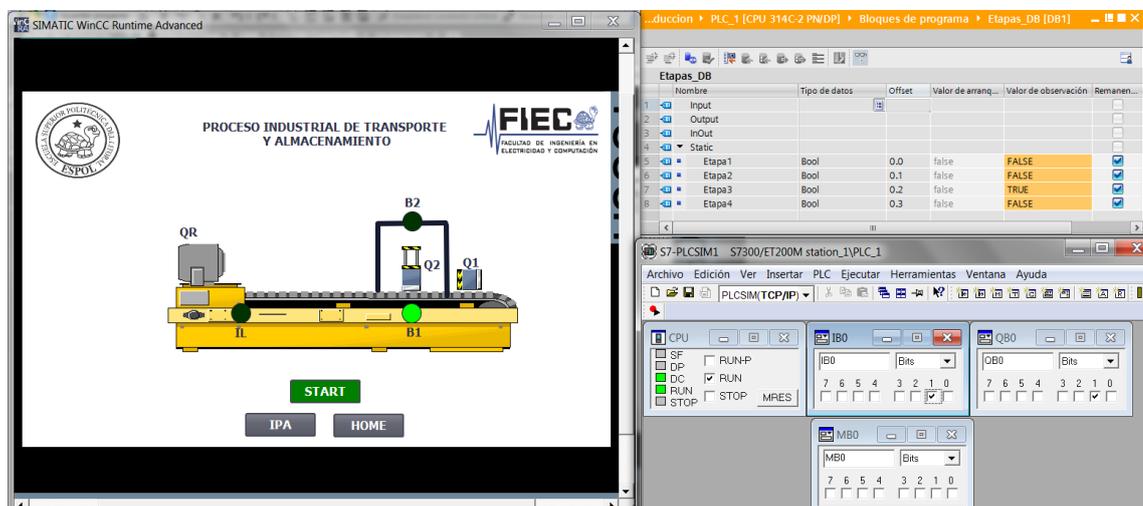
Figura_GA 58 Simulación con PLC y HMI virtual, transición entre etapa 1 y etapa 2

Como se puede observar en la Figura_GA 59 con el cambio de estado lógico de FALSE a TRUE de la etapa 2, el motor es activado y por tanto la banda transportadora traslada el producto de la posición IL a la posición B1. El cilindro de parada Q1 (Q0.0) también es activado.



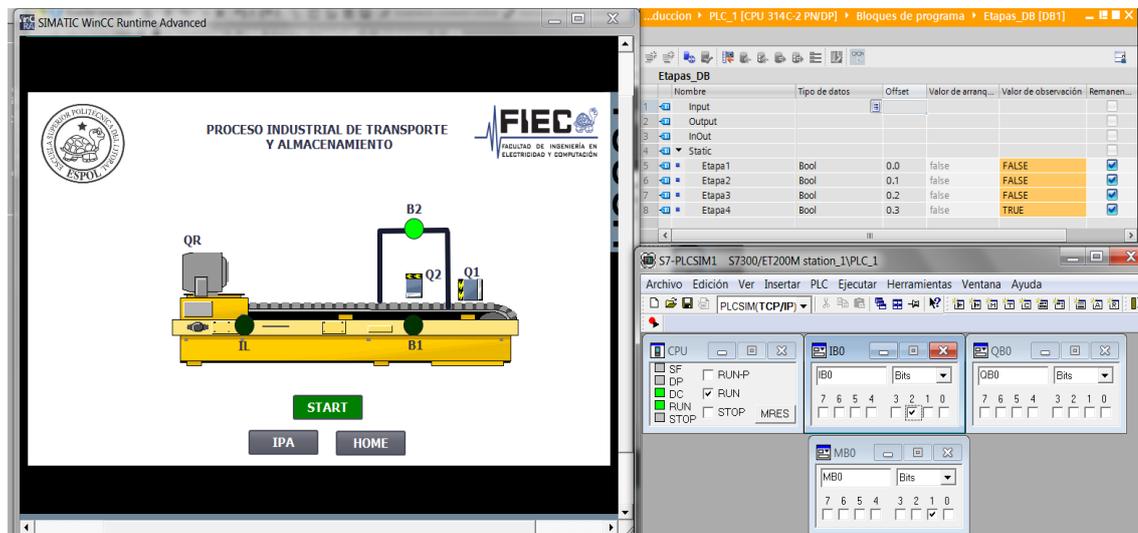
Figura_GA 59 Simulación con PLC y HMI virtual, etapa 2 activada

Para seguir con la secuencia a la etapa 3, se debe detectar el producto en el sensor de posición de parada B1 (I0.1). Al cambiar el estado lógico de la etapa 3 de FALSE a TRUE, se activa el cilindro de almacenamiento Q2 (Q0.1).



Figura_GA 60 Simulación con PLC y HMI virtual, etapa 3 activada

Cuando se detecta el producto en el sensor de almacenamiento B2 (I0.2), el estado lógico de la etapa 3 cambia de FALSE a TRUE y aparece un mensaje por diez segundos de que el producto ha sido almacenado correctamente M_SAVE (M0.1).



Figura_GA 61 Simulación con PLC y HMI virtual, etapa 4 activada

Luego de los diez segundos de espera, el proceso vuelve a la etapa inicial.

CONFIGURACION DE LOS IPA'S EN TIA PORTAL

El laboratorio de control de procesos industriales consta con un sistema moderno de aprendizaje de producción automatizado de un sixpack IPA 26 (Industrial Process Automation). Este sistema está conformado de seis subsistemas los cuales pueden trabajar individualmente o combinarse y formar un nuevo sistema de producción automático de sixpack.

Las estaciones de trabajo que conforman al IPA 26 son:

- IPA 2, Estación de mezcla
- IMS 10, Estación de almacenamiento
- IPA 3, Estación de llenado de botellas
- IPA 4, Estación de sellado
- IMS 8 Estación de almacenamiento final
- IMS 1.2 Banda Transportadora

- IPA 4.1 Estación adicional de transporte de cubiertas

Introducción

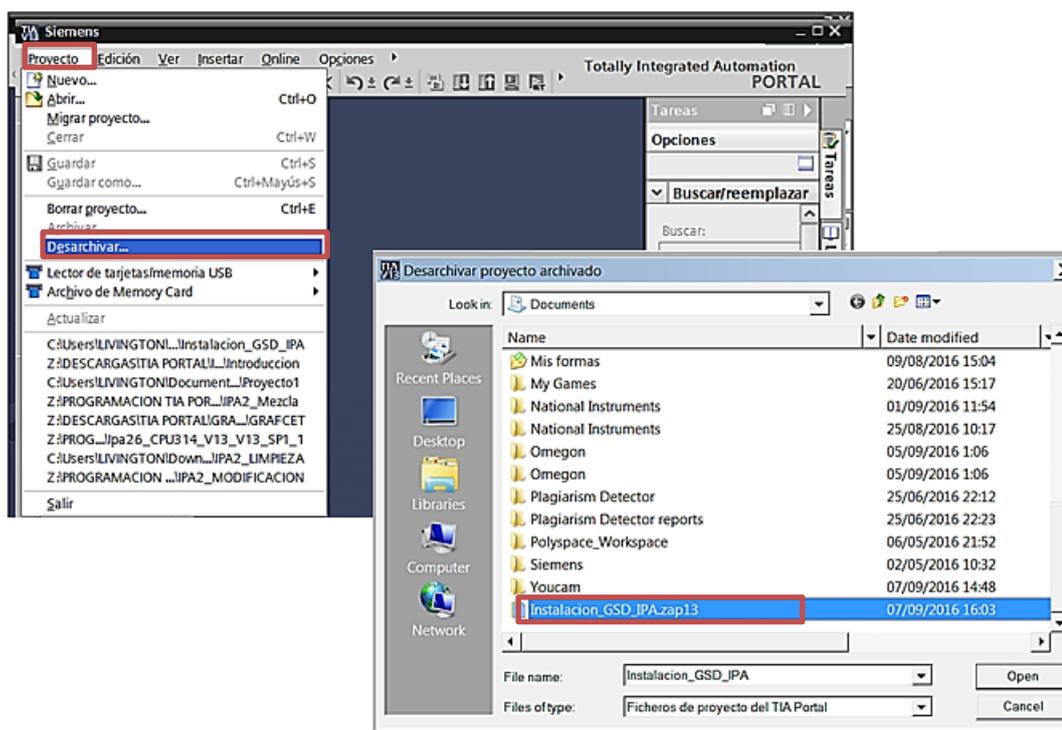
En esta sección se explica cómo instalar el archivo GSD correspondiente al sistema de producción automatizado IPA, como configurar en TIA PORTAL las direcciones Profibus DP y las correspondientes direcciones de entradas y salida de cada sub-sistema de trabajo.

Es necesario tener instalado en nuestra computadora el software TIA PORTAL V13 SP1 y STEP 7 PROFESIONAL V13 SP1.

Procedimiento

➤ Instalación de archivo GSD del IPA 26 en TIA PORTAL

Para instalar el archivo GSD del sistema IPA 26, abrir TIA PORTAL, dar clic en *vista del proyecto* que se encuentra ubicada en la parte inferior izquierda de la *vista del portal*, en la ventana de herramientas dar clic a *proyecto* y elegir la opción *desarchivar*, se busca el archivo *Instalacion_GSD_IPA.zap13* y dar clic en *open*.



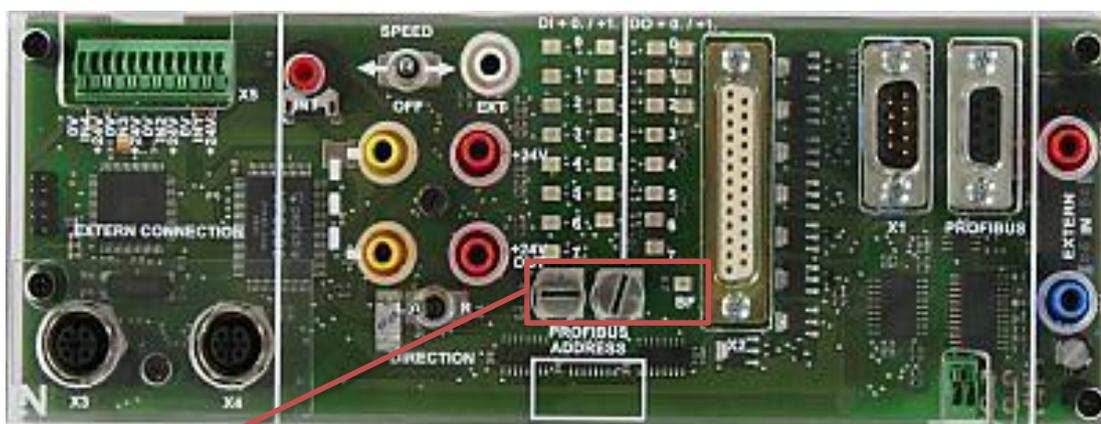
Figura_GA 62 Instalación de archivo GSD del sistema IPA 26

Automáticamente se instalará el archivo GSD del sistema IPA 26 y se abrirá un nuevo proyecto con el nombre *Instalacion_GSD_IPA*.

➤ Configuración de dirección Profibus DP

Cada estación de trabajo tiene designado una dirección física Profibus DP, se debe tener en cuenta este detalle para configurar con la misma dirección en nuestro programa.

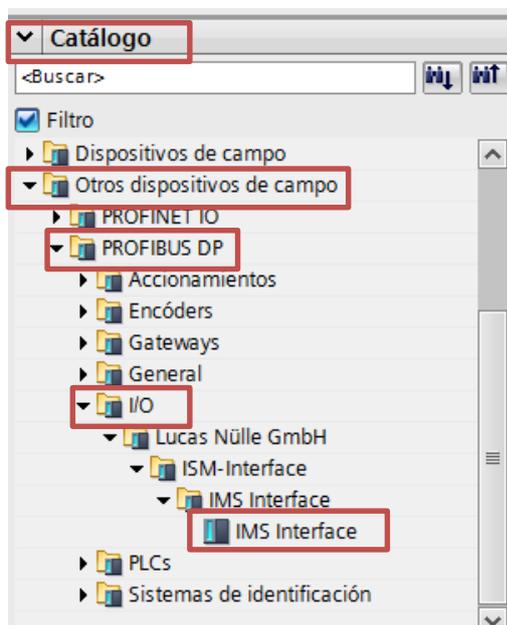
Como ejemplo se empleará la estación de trabajo IPA 3, estación de llenado de botellas, la misma que tiene la dirección física Profibus DP no. 3, esta se puede observar en el módulo esclavo PROFIBUS DP que se muestra en la Figura_GA 63.



Conmutador para seleccionar la dirección de esclavo PROFUBUS DP

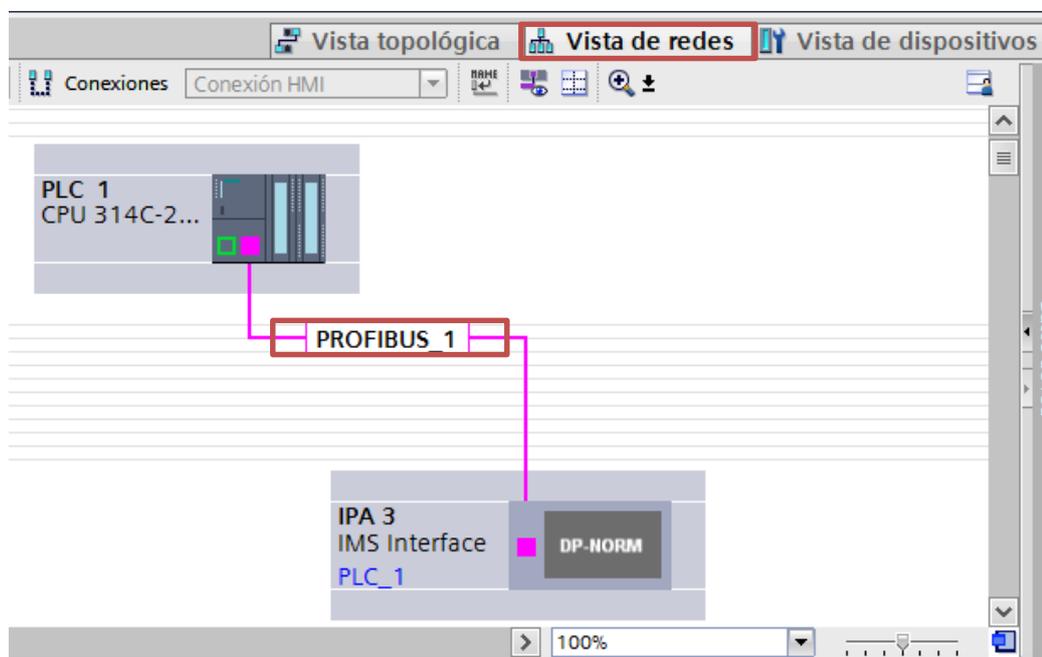
Figura_GA 63 Modulo esclavo PROFIBUS DP

Una vez verificada la dirección Profibus DP de la IPA 3, se procede a configurar en el proyecto. En la vista de *dispositivos y redes* añadir el controlador CPU 314C – 2 PN/DP y el dispositivo de campo IMS Interface.



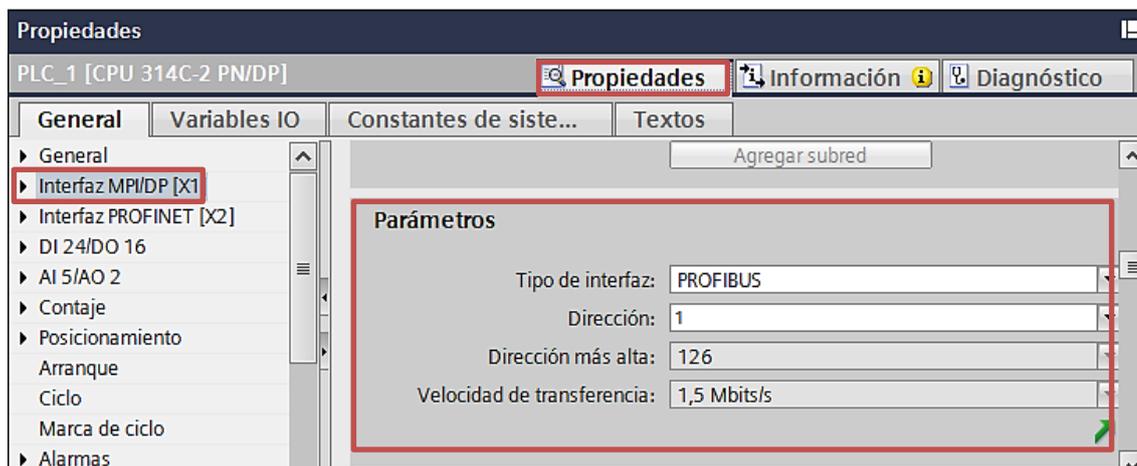
Figura_GA 64 Dispositivo de campo IMS Interface

En la vista de dispositivo y redes configuramos el tipo de red (PROFIBUS DP)

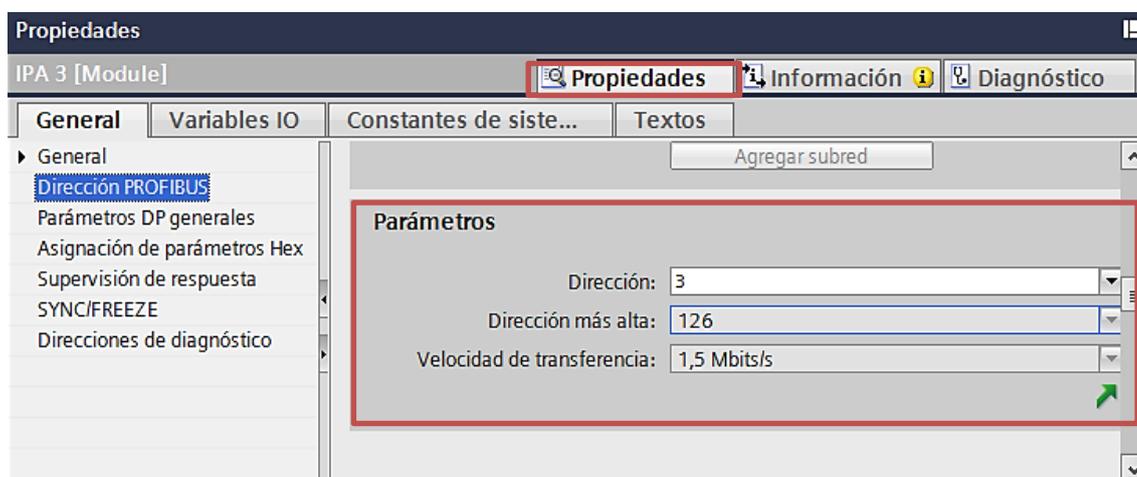


Figura_GA 65 Vista de Dispositivo y redes, Controlador y dispositivo de campo

El controlador debe tener la dirección no.1 P – DP (Figura_GA), ya que este hace de maestro Profibus, mientras que el dispositivo de campo IMS Interface debe tener la dirección no. 3 P – DP (Figura_GA) correspondiente a la estación de trabajo IPA 3



Figura_GA 66 Dirección P-DP del controlador S7-300



Figura_GA 67 Dirección P-DP del dispositivo de campo IPA 3

➤ Configuración de dirección de entradas y salidas de la IPA 3

Para configurar la dirección de entradas/salidas digitales de la IPA 3, se da doble clic al IMS Interface, se abrirá la vista general de dispositivos como se muestra en la Figura_GA 68.

Vista general de dispositiv...							
...	Módulo	Rack	Slot	Dirección I	Dirección Q	Tipo	Referencia
	IPA 3	0	0	2043*		IMS Interface	
	2 byte Out	0	1		3...4	2 Byte Out, 2 Byte In	
	2 Byte In	0	2	3...4		2 Byte Out, 2 Byte In	

Figura_GA 68 Asignación de dirección de entradas/salidas digitales de IPA 3

Para interpretar la asignación de dirección de entradas/salidas digitales se debe observar la tabla del quickchart de la IPA 3, este se muestra a continuación.

Descripción	ID	E/S
Sensor Magnético, Posición de envasado 1	B1	E(X+0).0
Sensor magnético, Posición de envasado 2	B2	E(X+0).1
Sensor magnético, Posición de envasado 3	B3	E(X+0).2
Eje X, izquierda	B4	E(X+0).3
Eje X, derecha	B5	E(X+0).4
Eje Z, posición superior	B6	E(X+0).5
Eje Z, posición inferior	B7	E(X+0).6
Nivel mínimo del recipiente de almacenamiento	B8	E(X+0).7
Nivel máximo del recipiente de almacenamiento	B9	E(X+1).0
Pulsos de dosificación	B10	E(X+1).1
Sensor izq. Posición final de la cinta	IL	E(X+1).3
Sensor der. Posición final de la cinta	IR	E(X+1).4
Presencia de botella a la izquierda	B11	E(X+1).5
Presencia de botella a la derecha	B12	E(X+1).6
Descenso de cilindro de parada, posición 1 de llenado de botellas	Q1	A(X+0).0

Descenso de cilindro de parada, posición 2 de llenado de botellas	Q2	A(X+0).1
Descenso de cilindro de parada, posición 3 de llenado de botellas	Q3	A(X+0).2
Eje X a la derecha	Q4	A(X+0).3
Eje Z hacia abajo	Q5	A(X+0).4
Presión de recipiente de almacenamiento activada	Q6	A(X+0).5
Admisión de agua abierta	Q7	A(X+0).6
Salida de agua abierta	Q8	A(X+0).7
Desplazamiento de cinta hacia la derecha	QR	A(X+1).0
Desplazamiento de cinta hacia la izquierda	QL	A(X+1).1
Desplazamiento de cinta en marcha lenta	QS	A(X+1).2

Tabla_GA 1 Descripción de los sensores y actuadores asignados de la IPA 3

Con la tabla que ofrece el quickchart y con las direcciones asignadas al PLC, se tiene la siguiente asignación de direcciones de entradas y salidas.

Descripción	ID	Dirección
Sensor Magnético, Posición de envasado 1	B1	%I3.0
Sensor magnético, Posición de envasado 2	B2	%I3.1
Sensor magnético, Posición de envasado 3	B3	%I3.2
Eje X, izquierda	B4	%I3.3
Eje X, derecha	B5	%I3.4
Eje Z, posición superior	B6	%I3.5
Eje Z, posición inferior	B7	%I3.6
Nivel mínimo del recipiente de almacenamiento	B8	%I3.7

Nivel máximo del recipiente de almacenamiento	B9	%I4.0
Pulsos de dosificación	B10	%I4.1
Sensor izq. Posición final de la cinta	IL	%I4.3
Sensor der. Posición final de la cinta	IR	%I4.4
Presencia de botella a la izquierda	B11	%I4.5
Presencia de botella a la derecha	B12	%I4.6
Descenso de cilindro de parada, posición 1 de llenado de botellas	Q1	%Q3.0
Descenso de cilindro de parada, posición 2 de llenado de botellas	Q2	%Q3.1
Descenso de cilindro de parada, posición 3 de llenado de botellas	Q3	%Q3.2
Eje X a la derecha	Q4	%Q3.3
Eje Z hacia abajo	Q5	%Q3.4
Presión de recipiente de almacenamiento activada	Q6	%Q3.5
Admisión de agua abierta	Q7	%Q3.6
Salida de agua abierta	Q8	%Q3.7
Desplazamiento de cinta hacia la derecha	QR	%Q4.0
Desplazamiento de cinta hacia la izquierda	QL	%Q4.1
Desplazamiento de cinta en marcha lenta	QS	%Q4.2

Tabla_GA 2 Dirección de entradas/salidas digitales de sensores y actuadores de la IPA 3

ANEXO 2
GUÍA DE PREPRÁCTICAS

PREPRÁCTICA 1: PROGRAMACIÓN DE UN PROCESO SECUENCIAL

OBJETIVOS

GENERAL

- Adquirir destreza para la implementación de un proceso secuencial a través de un gráfico funcional de control etapa/transición (GRAFCET).

ESPECIFICO

- Conocer las características de un PLC S7-300 y la pantalla táctil confort TP-700.
- Realizar un gráfico funcional de control etapa/transición para un proceso secuencial.
- Conocer el direccionamiento de entradas, salidas y marcas para un PLC S7 - 300.

ACTIVIDADES A PRESENTAR

- Realizar una investigación del PLC S7-300, características, módulos de entradas y salidas digitales/análogas, protocolos de comunicación que se pueden usar con el S7-300.
- Realizar una investigación de las características del panel touch confort TP 7000.
- Realizar el GRAFCET del siguiente proceso secuencial.

Condición de transición de la etapa 4 a la etapa 1	Tiempo de espera de cinco segundos.
Instrucciones de la etapa 1	Nada.
Condición de transición de la etapa 1 a la etapa 2	El producto se encuentra en la posición izquierda final (I_IL = 1) y se pulsa el botón virtual de iniciar almacenamiento (M_Start_Save = 1) programado en el HMI.

Instrucciones de la etapa 2	Se activa el desplazamiento hacia la derecha de la cinta transportadora ($Q_{QR} = 1$) y se activa el cilindro de parada en la posición de guardado ($Q_{Q1} = 1$).
Condición de transición de la etapa 2 a la etapa 3	Se detecta el producto en la posición de almacenamiento ($I_{B1} = 1$).
Instrucciones de la etapa 3	Se activa mediante un comando permanente el motor auxiliar que abre la compuerta de almacenamiento ($Q_{QC} = 1$).
Condición de transición de la etapa 3 a la etapa 4	Tiempo de espera de dos segundos
Instrucciones de la etapa 4	Se activa el cilindro de empuje hacia arriba ($Q_{Q2} = 1$) para que el producto quede almacenado en el depósito.
Condición de transición de la etapa 4 a la etapa 5	Se detecta el producto almacenado mediante un final de carrera ($I_{B2} = 1$).
Instrucciones de la etapa 4	Se desactiva el motor auxiliar de la compuerta de almacenamiento y se presenta por pantalla que el producto ha sido almacenado ($M_{SAVE} = 1$).

Tabla_GPre 1 Descripción del proceso secuencial

- Realizar la asignación de dirección de entradas y salidas para la siguiente tabla.

Nombre	Dirección	Descripción
I_IL		Sensor de posición izquierda final (Sensor Magnético).
I_B1		Sensor de posición de almacenamiento (Sensor Magnético).

I_B2		Sensor de producto almacenado (final de carrera).
Q_Q1		Electroválvula de cilindro de parada en la posición de almacenamiento.
Q_Q2		Electroválvula de cilindro de empuje hacia arriba.
Q_QR		Relé de desplazamiento hacia la derecha de la cinta transportadora.
Q_QC		Motor auxiliar que activa compuerta de almacenamiento.
M_Start_Save		Marca que inicia el proceso secuencial.
M_SAVE		Cuando se activa, se presenta por pantalla (HMI) que el producto ha sido almacenado.
M_INIT		Marca que activa la etapa inicial del proceso secuencial.

Tabla_GPre 2 Tabla de direcciones de entradas y salidas

ANEXO 3
GUÍA DE PRÁCTICAS

PRÁCTICA 1: PROGRAMACIÓN DE UN PROCESO SECUENCIAL

OBJETIVOS

GENERAL

ESPECIFICO

PROCEDIMIENTO

En la siguiente tabla se describe el procedimiento de un proceso secuencial, el cual deberá ser programado en TIA PORTAL V13 SP1 y luego cargado al PLC S7-300 con sus respectivas pantallas HMI.

Condición de transición de la etapa 4 a la etapa 1	Tiempo de espera de cinco segundos.
Instrucciones de la etapa 1	Nada.
Condición de transición de la etapa 1 a la etapa 2	El producto se encuentra en la posición izquierda final (I_IL = 1) y se pulsa el botón virtual de iniciar almacenamiento (M_Start_Save = 1) programado en el HMI.
Instrucciones de la etapa 2	Se activa el desplazamiento hacia la derecha de la cinta transportadora (Q_QR = 1) y se activa el cilindro de parada en la posición de guardado (Q_Q1 = 1).
Condición de transición de la etapa 2 a la etapa 3	Se detecta el producto en la posición de almacenamiento (I_B1 = 1).
Instrucciones de la etapa 3	Se activa mediante un comando permanente el motor auxiliar que abre la compuerta de almacenamiento (Q_QC = 1).
Condición de transición de la etapa 3 a la etapa 4	Tiempo de espera de dos segundos

Instrucciones de la etapa 4	Se activa el cilindro de empuje hacia arriba ($Q_Q2 = 1$) para que el producto quede almacenado en el depósito.
Condición de transición de la etapa 4 a la etapa 5	Se detecta el producto almacenado mediante un final de carrera ($I_B2 = 1$).
Instrucciones de la etapa 5	Se desactiva el motor auxiliar de la compuerta de almacenamiento y se presenta por pantalla que el producto ha sido almacenado ($M_SAVE = 1$).

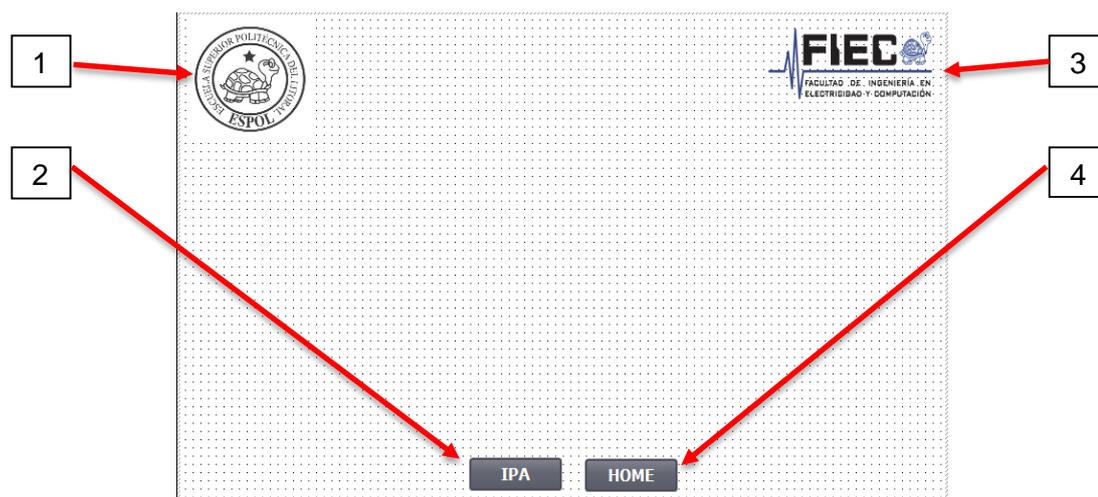
Tabla_GPrac 1 Secuencias de transición/etapas de un proceso secuencial

Nota: Se debe crear un proyecto en el cual se agregará un bloque de función (FB_Condiciones) para establecer las condiciones de transición entre etapas, una función (FC_Instrucciones) para las acciones de cada etapa y un bloque principal (OB_MAIN) donde se llamarán los bloques FB y FC.

Descripción de pantallas

A continuación, se presentan las pantallas HMI a programar en TIA PORTAL V13 SP1.

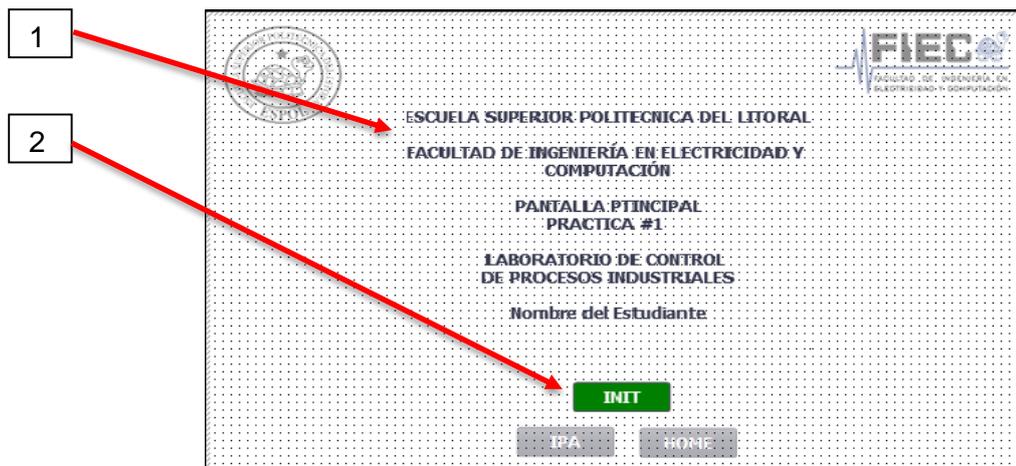
- Plantilla general de trabajo.



Figura_GPra 1 Plantilla General de Trabajo

1. Visor de Gráficos. Logo de la ESPOL.
2. Botón. Cambia a pantalla secundaria de nombre IPA.
3. Visor de Gráficos. Logo de la FIEC.
4. Botón. Cambia a pantalla principal de nombre HOME.

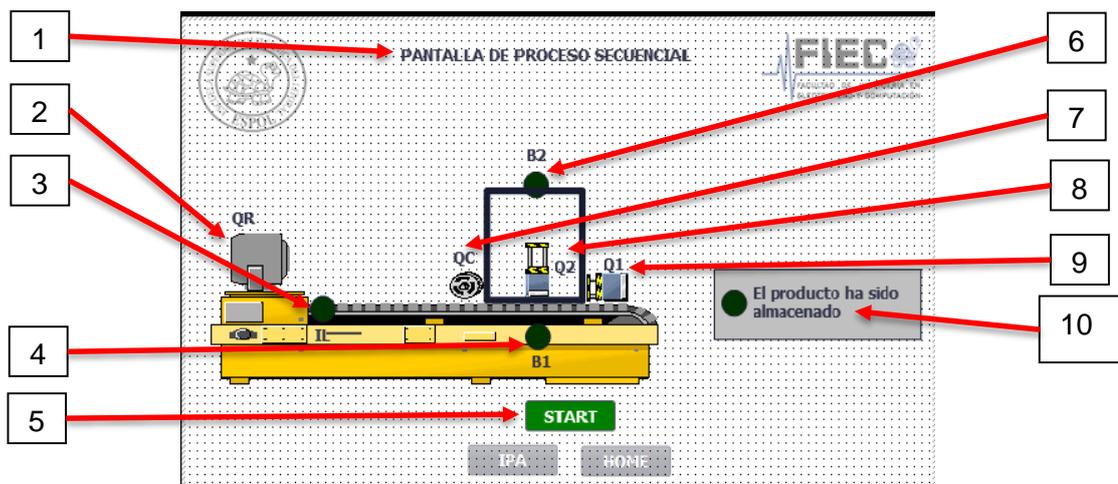
- Pantalla principal HMI.



Figura_GPra 2 Pantalla Principal del HMI

1. Campo de Texto. Caratula principal de la Práctica 1.
2. Botón. Inicia etapa 1 del proceso de automatización industrial.

- Pantalla secundaria IPA



Figura_GPra 3 Pantalla Secundaria IPA del HMI

1. Campo de Texto. Título de pantalla IPA.
2. Librería de Símbolos. Motor que activa banda transportadora (Q_QR).
3. Círculo. Sensor de posición izquierda final (I_IL).
4. Círculo. Sensor de posición de almacenamiento (I_B1).
5. Botón. Inicia proceso de automatización industrial (M_Start_Save).
6. Círculo. Sensor de producto almacenado (I_B2).
7. Librería de Símbolos. Motor auxiliar de compuerta de almacenamiento (Q_QC).
8. Librería de símbolos (Q_Q2).
9. Librería de símbolos (Q_Q1).
10. Círculo. Indicador de producto ha sido almacenado (M_SAVE).

ACTIVIDADES A PRESENTAR

- Programar en TIA PORTAL V13 SP1 el proceso secuencial mostrado en la Tabla_GPrac 1.
- Programar las diferentes pantallas HMI tal como se muestran en la descripción de pantallas.
- Simular a través de S7-PLC V13 SP1 el proyecto.
- Presentar para la siguiente clase un informe detallado de la práctica 1.