



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PARA LA SIMULACIÓN,
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES EN EL
LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA
DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”.**

Trabajo de titulación

TIPO: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTORES: ADRIÁN GABRIEL ANDY LÓPEZ

JOSÉ LUIS ZHUNE SARANGO

DIRECTOR: Ing. PABLO ERNESTO MONTALVO JARAMILLO

Riobamba - Ecuador

2020



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PARA LA SIMULACIÓN,
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES EN EL
LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA
DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”.**

Trabajo de titulación

TIPO: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTORES: ADRIÁN GABRIEL ANDY LÓPEZ

JOSÉ LUIS ZHUNE SARANGO

Riobamba - Ecuador

2020

Nosotros, Adrián Gabriel Andy López y José Luis Zhune Sarango declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados obtenidos son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 29 de agosto del 2020



Adrián Gabriel Andy López

CI: 1500486079

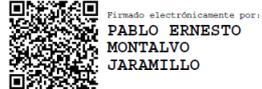


José Luis Zhune Sarango

CI: 0705866515

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta tecnológica, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PARA LA SIMULACIÓN, SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**, realizado por los señores: **ADRIÁN GABRIEL ANDY LÓPEZ** y **JOSÉ LUIS ZHUNE SARANGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. José Antonio Granizo PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 JOSE ANTONIO GRANIZO <small>Firmado digitalmente por JOSE ANTONIO GRANIZO Fecha: 2021.01.15 13:53:52 -05'00'</small>	2020-08-28 _____
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION	 PABLO ERNESTO MONTALVO JARAMILLO <small>Firmado electrónicamente por: PABLO ERNESTO MONTALVO JARAMILLO</small>	2020-08-28 _____
Ing. Javier Renato Moyano Arévalo MIEMBRO DE TRIBUNAL	 JAVIER RENATO MOYANO AREVALO <small>Firmado electrónicamente por: JAVIER RENATO MOYANO AREVALO</small>	2020-08-28 _____

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres Marco Chávez y Delma López quienes con su trabajo, sacrificio, cariño y paciencia me han brindado el apoyo incondicional durante la formación de mi carrera profesional y guiarme durante el transcurso de mi vida. Toda mi gratitud a ellos por sus enseñanzas.

A mi familia por estar siempre presentes, brindando el apoyo moral y económico a lo largo de mi vida y carrera universitaria.

Adrián

Dedico este trabajo a mis padres Francisco Zhune y Sonia Sarango quienes con su trabajo, sacrificio, amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy una meta más. Toda mi gratitud y amor a ustedes por estar incondicionalmente.

A mis hermanos por estar siempre presentes, por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de mi vida y carrera universitaria.

José

AGRADECIMIENTO

A la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y a toda su planta docente que con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación han logrado que pueda concluir mi formación profesional con éxito, a nuestro tutor Ing. Pablo Montalvo y miembro Ing. Javier Moyano por guiarme y formar parte de otro objetivo alcanzado.

Adrián

A la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y a toda su planta docente que con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación han logrado que pueda concluir mi formación profesional con éxito, a nuestro tutor Ing. Pablo Montalvo y miembro Ing. Javier Moyano por guiarme y formar parte de otro objetivo alcanzado.

José

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE ANEXOS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2 MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Software de simulación de procesos.	4
2.1.1 <i>Factory IO</i>	4
2.1.2 <i>Selección de procesos industriales</i>	5
2.2 Redes de Comunicación Industrial.	6
2.2.1 <i>Sistemas flexibles de manufactura</i>	6
2.2.2 <i>Medio de transmisión de las Redes industriales</i>	7
2.2.3 <i>Medios de transmisión de datos</i>	7
2.2.4 <i>Transmisión de datos</i>	7
2.3 Modelo OSI	8
2.4 Protocolo Modbus RTU	9
2.5 Profinet/Industrial Ethernet.	10
2.5.1 <i>Razones de uso</i>	11
2.6 Profinet	11
2.7 Automatización industrial.....	12
2.7.1 <i>Introducción a la automatización industrial</i>	12

2.8	Hardware.....	12
2.8.1	PLC S7-1200	12
2.8.2	Tipos de datos.....	13
2.8.3	Bloques y lenguajes de programación	13
2.8.4	Pantalla HMI KTP 600 BASIC PN	14
2.8.5	TIA PORTAL	15
2.9	Variadores de frecuencia	15
2.9.1	Selección del variador óptimo y recomendaciones	15
2.9.2	Motores de inducción	16
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	Construcción de la estación y montaje de equipos.....	17
3.1.1	Estructura, montaje de equipos y cableado	17
3.2	Diseño de procesos industriales en 3D y comunicación con PLC.....	19
3.2.1	Proceso 3D Sistema de Bombeo	19
3.2.2	Proceso 3D Sistema transporte por bandas	22
3.2.3	Vinculación de entradas y salidas de Software de simulación y PLC	24
3.2.3.1	Vinculación de las variables con el PLC.....	24
3.3	Configuración de VDF para funcionamiento por lógica cableada y comunicación con PLC	25
3.3.1	KEWO AD100	25
3.3.1.1	Parámetros de motor	26
3.3.1.2	Parámetros para control por entradas digitales	26
3.3.1.3	Terminales de entrada	26
3.3.1.4	Iniciar y detener grupo	27
3.3.1.5	Frecuencia de oscilación, longitud fija, recuento	27
3.3.1.6	Terminales de salida.....	27
3.3.1.7	Diagrama de conexiones	28
3.3.2	INVT GD10	28
3.3.2.1	Parámetros de motor	29
3.3.2.2	Parámetros para control por comunicación industrial.....	29
3.3.2.3	Parámetros para control de comunicación en serie.....	30
3.3.2.4	Registros para lectura y escritura	31
3.3.2.5	Supervisión de parámetros y monitoreo.....	32
3.3.2.6	Diagrama de conexiones	33
3.4	Programación de PLC.....	33

3.4.1	<i>Comunicación Modbus RTU entre INVT GD10 y PLC</i>	33
3.4.2	<i>Programación del proceso de transporte por bandas</i>	39
3.4.3	<i>Programación de proceso de bombeo</i>	42
3.5	Desarrollo de la interfaz de la HMI.	47
3.6	Pruebas de Funcionamiento	49
3.6.1	<i>Bandas transportadoras</i>	50
3.7	Generación de fallos	52
3.7.1	<i>Fallo en el sensor de visión</i>	52
3.7.2	<i>Fallo de la cinta transportadora de 6m</i>	55
3.8	Prueba funcionamiento del sistema de bombeo	56
3.9	Fallos en el sistema de bombeo	59
3.9.1	<i>Fallo sensor de nivel de agua del tanque</i>	59
3.9.2	<i>Fallo válvula de descarga del sistema de bombeo</i>	61
4	GESTIÓN DEL PROYECTO	63
4.1	Recursos humanos	63
4.2	Cronograma de actividades	63
4.3	Recursos y materiales	63
4.4	Recursos económicos	63
4.5	Manual de operación y mantenimiento	65
4.5.1	<i>Manual de operación</i>	65
4.5.1.1	<i>Instrucciones de seguridad</i>	65
4.5.1.2	<i>Procedimiento</i>	65
5	CONCLUSIONES	73
6	RECOMENDACIONES	73
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-3: Códigos de configuración parámetros del motor.....	26
Tabla 2-3: Códigos de función de entradas digitales	26
Tabla 3-3: Códigos de función para configurar terminales de entrada.	27
Tabla 4-3: Códigos de función para configurar inicio y paro de grupo	27
Tabla 5-3: Código de función para configurar conteo del proceso.	27
Tabla 6-3: Código de función para configurar terminales de salida	28
Tabla 7-3: Códigos de configuración parámetros del motor.....	29
Tabla 8-3: Códigos de configuración de funciones básicas para comunicación industrial.....	30
Tabla 9-3: Códigos de configuración de funciones de comunicación en serie	31
Tabla 10-3: Comando de control por comunicación.....	32
Tabla 11-3: Supervisión de parámetros de monitoreo	32
Tabla 12-3: Configurar puerto en módulo PtP para Mpdbus-RTU.....	36
Tabla 13-3: Configurar el CM 1241 como maestro Modbus RTU.....	37
Tabla 14-3: Determinación del valor que se asigna a MODE.....	38
Tabla 15-4: Costos y financiamiento del proyecto	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Software Factory IO.....	4
Figura 2-2: Empresas manufactureras	5
Figura 3-2: Capas y unidades de intercambio del modelo OSI.	8
Figura 4-2: Modbus RTU	9
Figura 5-2: Comunicación entre dispositivos PROFINET	11
Figura 6-2: Automatización industrial.....	12
Figura 7-2: PLC S7-1200.....	12
Figura 8-2: PLC S7-1200.....	13
Figura 9-2: Elementos gráficos.....	14
Figura 10-2: Pantalla HMI KTP 600 BASIC PN	14
Figura 11-2: TIA PORTAL	15
Figura 12-2: VF KEWO AD100.....	16
Figura 13-2: Motores Simotics	16
Figura 1-3: Estructura de aluminio	17
Figura 2-3: Montaje del HMI.....	17
Figura 3-3: Gabinete metálico	18
Figura 4-3: Motores Simotics	18
Figura 5-3: Cableado parte frontal.....	19
Figura 6-3: Cableado de alimentación	19
Figura 7-3: Programa de simulación Factory IO	20
Figura 8-3: Ambiente industrial vacío.....	20
Figura 9-3: Construcción del modelo del proceso de bombeo	21
Figura 10-3: Configurado de emisor de piezas	21
Figura 11-3: Sensor retroreflectivo y reflector de señal	22
Figura 12-3: Construcción del modelo del proceso de transporte	23
Figura 13-3: Configuración del emisor de elementos.....	23
Figura 14-3: Tablero de control de proceso.....	24
Figura 15-3: Modelo del PLC y dirección IP.....	24
Figura 16-3: Sensores y actuadores digital y analógicos	25
Figura 17-3: Bornes de conexión de alimentación y salida de motor.....	25
Figura 18-3: Diagrama de conexión	28
Figura 19-3: Diagrama de conexión INVT GD10	29
Figura 20-3: Diagrama de conexión.	33
Figura 21-3: Creación proyecto en TIA PORTAL	33

Figura 22-3: Elección de modelo y versión	34
Figura 23-3: Elección de módulos de comunicación CM1241 422/485.....	34
Figura 24-3: Elección de la versión del módulo.	35
Figura 25-3: Activación de marcas de sistema y de ciclo.....	35
Figura 26-3: Bloques de programa.	36
Figura 27-3: Escritura de registros.....	37
Figura 28-3: Escritura de registros.....	38
Figura 29-3: Graficet del proceso bandas transportadoras.....	39
Figura 30-3: Programación del primer estado.	40
Figura 31-3: Programación del segundo estado.....	40
Figura 32-3: Señal para el contador.....	41
Figura 33-3: Segmento en el que se activan los actuadores.....	41
Figura 34-3: Subproceso de consumo de agua del tanque.....	42
Figura 35-3: Proceso de funcionamiento del llenado del tanque.	42
Figura 36-3: Señales que vienen y se envían al Factory IO.....	43
Figura 37-3: Valor que tomará la válvula de llenado y la velocidad del variador.	43
Figura 38-3: Instrucción SR (Set y Reset).	44
Figura 39-3: Activación de etapa 11.....	44
Figura 40-3: Activación de etapa 12.....	45
Figura 41-3: Activación de etapa 15.....	45
Figura 42-3: Activación de etapa 16.....	46
Figura 43-3: Activación de etapa 17.....	46
Figura 44-3: Selección de HMI Simatic Basic.	47
Figura 45-3: Conexión de red entre el PLC y la HMI.	47
Figura 46-3: Plantilla inicial.	48
Figura 47-3: Pantalla de procesos.....	48
Figura 48-3: Plantilla del sistema de bombeo.....	49
Figura 49-3: Plantilla del sistema de transporte.....	49
Figura 50-3: Sistema de transporte de bandas en HMI.....	50
Figura 51-3: Sistema de transporte de bandas en FACTORY IO.....	51
Figura 52-3: Contador general en el Graficet del sistema de transporte de bandas	52
Figura 53-3: Contador total en la pantalla HMI.....	53
Figura 54-3: Fallo sensor de visión color azul.....	53
Figura 55-3: Acumulación de piezas por fallo de sensor de color azul.	54
Figura 56-3: Conteo en cero por fallo de banda transportadora de 6 metros.....	55
Figura 57-3: Banda transportadora sin movimiento.	55
Figura 58-3: Proceso de bombeo en pantalla HMI	56

Figura 59-3: Sistema del proceso de bombeo en FACTORY IO	57
Figura 60-3: Graficet etapa 11	57
Figura 61-3: Graficet de comunicación.	58
Figura 62-3: Graficet activación de etapas.	58
Figura 63-3: Graficet aperturas de válvulas.....	59
Figura 64-3: Graficet funcionamiento de válvulas.	59
Figura 65-3: Sensor analógico de nivel de agua dañado.....	60
Figura 66-3: Graficet nivel del tanque.	60
Figura 67-3: Variador INVT.....	61
Figura 68-3: Válvula de descarga con fallo.	61
Figura 69-3: Contenedor en la pantalla HMI.....	62
Figura 1-4: Interruptor de candado.	65
Figura 2-4: nombre de red inalámbrica.....	66
Figura 3-4: Cambio de dirección IP.....	66
Figura 4-4: Software TIA PORTAL.....	67
Figura 5-4: Cargar la programación del PLC	67
Figura 6-4: Seleccionar tarjeta de red.....	68
Figura 7-4: Cargar el programa	68
Figura 8-4: Arrancar módulos.....	69
Figura 9-4: Cargar programa en el HMI.....	69
Figura 10-4: Cargar la programación desde TIA PORTAL al HMI.....	70
Figura 11-4: Ejecución del programa	70
Figura 12-4: Driver adecuado	71
Figura 13-4: Verificación de la dirección IP del PLC	71
Figura 14-4: Inicio de simulación.....	72

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL MÓDULO.

ANEXO B: ESQUEMA ELÉCTRICO

ANEXO C: BLOQUES DE PROGRAMA.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
PC	Computador
PIN	Terminal
HMI	Interfaz Hombre-Máquina
MODBUS RTU	Modulo de comunicación con una unidad terminal remota
CIM	Fabricación integrada por computadora
TCP/IP	Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos.
ASCII	Código Estándar Americano para el Intercambio de Información
REEPORT	Puerto libre
MPI	Interfaz de Paso de Mensajes
FACTORY IO	Software para automatización en tiempo real
VFD	Variador de frecuencia delta
TIA PORTAL	Automatización Totalmente Integrada
SPL	Planificación Sistemática del Diseño
EIS	Exclusiva Información del Sistema
GRAF CET	Grafico Funcional de Control de Etapas y Transiciones

RESUMEN

En el presente proyecto se diseñó, modeló y se simuló un sistema de bandas transportadoras y un sistema de bombeo, al mismo tiempo se implementó un módulo de control y supervisión físico. Se dispuso utilizar un software para la automatización en tiempo real que simule instalaciones industriales, Factory I/O 2.1.3, adaptando el módulo a una instalación simulada en función de las características que el software permite, usando bandas de transporte, un sistema de bombeo, sensores de control y en la parte modular se implementó dos motores siemens, dos variadores de frecuencia, un PLC, una pantalla HMI, un módulo de comunicación y se comenzó a detallar la configuración y parametrización de cada uno de ellos. Para poder realizar estos procesos industriales se ejecutó con el software de programación del PLC Step 7 de Siemens que es capaz de simular un sin número de modos de funcionamiento de una instalación, bloques y memorias utilizando el "runtime" de visualización con la que interactúa el operario final para observar la respuesta del proceso, detectar problemas de la instalación o cambiar el modo de funcionamiento y monitorizar sus posibles fallas de operación para luego poder realizar un análisis del mismo con el afán de buscar soluciones dentro de los procesos industriales. Este tipo de redes de comunicación industrial permitió conocer con más amplitud su programación y control de los diferentes equipos con los que cuenta el módulo, esto será de mucha ayuda para los estudiantes de la Escuela de Mantenimiento Industrial para fortalecer más sus conocimientos.

PALABRAS CLAVE: <TIEMPO REAL>, <PROCESOS INDUSTRIALES>, <PROGRAMACIÓN>, <SIMULACIÓN>, <PARAMETRIZACIÓN>.



16-12-2020

0506-DBRAI-UPT-2020

ABSTRACT

In this research project, a conveyor system and a pumping system were designed, modeled and simulated. At the same time a physical control and supervision module was implemented. It was decided to use a software for real-time automation that simulates industrial installation, Factory I/O 2.1.3. The module was adapted to a simulated installation based on the characteristics that the software allows, using conveyor belts, a pumping system, control sensors. In the modular part, two siemens motors, two frequency variators, a PLC, HMI screen, a communication module were implemented. The configuration and parameterization of each of them began to be detailed. In order to carry out these industrial processes, it was executed with Siemens PLC Step 7 programming software, which is able to simulate an endless number of operating modes of an installation, blocks and memories. The runtime for displaying is used to interact with the final operator in order to observe the response of the process, detect installation problems or change the operating mode and monitor its possible operating failures. Then, be able to carry out an analysis of it, in order to seek solutions within industrial processes. This type of industrial communication networks allowed to know more widely its programming and control of the different equipment that the module has. It will be very helpful for the students of Industrial Maintenance to further strengthen their knowledge.

KEY WORDS: <REAL TIME>, <INDUSTRIAL PROCESSES>, <PROGRAMMING>, <SIMULATION>, <PARAMETERIZATION>.

1 INTRODUCCIÓN

La simulación de procesos reduce toda la teoría relacionada con un proceso en el cual se sustituyen las situaciones reales por otras establecidas simuladamente, lo que permite identificar los factores, variables y condiciones de proceso que puedan influir para la resolución de situaciones que afecten al proceso o al producto, coadyuvar al desarrollo de nuevos productos y/o realizar mejoras en el proceso o en el producto. En los últimos años, la simulación de procesos ha llegado a ser una herramienta adecuada y oportuna de apoyo para el funcionamiento de los procesos industriales.

En países con una tecnología avanzada la simulación es una herramienta importante en la toma de decisiones, en el manejo de empresas y la planeación de la producción. Los modelos a simular se convierten en la plataforma mínima de desarrollar sustentablemente, al disminuir riesgos, adelantarse a la competencia, pero sobre todo a justificar al máximo los recursos de la industria. La simulación en la actualidad es más amigable con las personas para poder ser usado y tener un pronóstico sobre algo determinado.

En el presente trabajo de titulación se realiza la implementación de un módulo para la simulación, supervisión y control de procesos industriales en el laboratorio de control y manipulación automática de la Facultad de Mecánica. Este módulo propuesto permitirá controlar y monitorear previo a la puesta en servicio de una instalación, con lo que podemos valorar distintos modos de funcionamiento, obtener información que es de interés para su análisis, simular diferentes procesos industriales y sobre todo ayudara a los estudiantes a mejorar los conocimientos en programación y control de los dispositivos que tiene el módulo.

El módulo permitirá a los estudiantes de la carrera de Mantenimiento Industrial practicar con diferentes procesos industriales virtuales que ayudaran a mejorar sus conocimientos en la programación de plataformas como el TIA PORTAL, el FACTORY IO y dispositivos tangibles como el PLC entre otros, también analizar en tiempo real todos los parámetros que nos permite observar la simulación de dichos procesos industriales modelados por nosotros mismos.

1.1 Antecedentes

Años atrás, para realizar un correcto análisis del funcionamiento de un proceso representaba un caso de estudio difícil de visualizar, sin embargo, en los años 70 y principios de los años 80 cuando el uso de la simulación se expandió, gracias a que la velocidad de las computadoras aumentó y los costos del mismo disminuyeran, esto llevó a que se comenzara a enseñar en las universidades y también en industrias que estaban en pleno desarrollo tecnológico.

El uso de equipos programables mejora notablemente el funcionamiento de un proceso y, además, el uso de los buses de campo o redes de comunicación industrial en los diferentes niveles de automatización ayuda a:

- Reducir el cableado entre controladores, actuadores, sensores y puestos de control.
- Mejorar la respuesta según el desarrollo del proceso, gracias a la información en tiempo real y disminuir los probables puntos de falla, debido a la reducción de puntos de conexión.
- Recopilar información para el estudio del funcionamiento y el estado de la maquinaria, lo que ayuda a definir mejor, las frecuencias de mantenimiento o determinar tiempos entre fallos.

1.2 Planteamiento del problema.

En Ecuador se tiene que afrontar los retos de un mundo que vive procesos de digitalización en todos los aspectos, es así que la automatización industrial, la transmisión de información, la simulación de procesos, entre otros, deben ser prioridad en las fábricas.

La obsolescencia de los procesos, la falta de información de los equipos o máquinas, la incapacidad de simular las cadenas de funcionamiento y el poco uso de las redes de comunicación industrial, reducen la capacidad de respuesta del personal operativo y de mantenimiento, lo que impide que una empresa desarrolle todo su potencial.

La Facultad de Mecánica cuenta con laboratorios con diferentes tecnologías industriales, equipos en diferentes modelos y marcas, que se podría mejorar con la integración de una estación para la simulación mediante software de procesos industriales. Un software que permita comunicarse con controladores lógicos programables, un bus de campo que sea de código abierto, de bajo costo, ampliamente utilizado y con la posibilidad de integración de tecnologías.

1.3 Justificación del proyecto

Con la Simulación 3D se aprende tecnologías de automatización, al diseñar y construir rápidamente una fábrica virtual seleccionando piezas industriales comunes. En los diferentes procesos de simulación lo más frecuente es usar como plataforma de aprendizaje el PLC, ya que son los controladores más comunes que se encuentran en aplicaciones industriales. Sin embargo, también se puede usar micro controladores, SoftPLC, Modbus, entre muchas otras tecnologías.

Es así que con el presente proyecto pretende realizar un control y monitoreo previo a la puesta en marcha de una instalación industrial, con lo que se podrá valorar distintos modos de funcionamiento, obtener información que es de interés para su análisis, simular tiempos, simular fallos.

Utilizando redes de comunicación industrial, las prácticas a realizar darán a conocer la flexibilidad de un sistema productivo, en el que se integra un PLC, Variadores de Frecuencia, HMI, entre otros, esto permitirá al estudiante a desarrollar sus destrezas con la programación de los diferentes equipos con los que cuenta el módulo de simulación de procesos.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Implementar un módulo para la simulación, supervisión y control de procesos industriales en el laboratorio de control y manipulación automática de la facultad de mecánica.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Analizar procesos industriales en los que intervienen: variadores de frecuencia, controladores lógicos, HMI.
- Implementar una estación modular y configurar los VDF (Variadores de Frecuencia) para el funcionamiento y adquisición de datos por medio de red industrial Modbus RTU.
- Programar los controladores para el manejo de procesos industriales simulados en el software Factory IO
- Modelar y Diseñar los procesos industriales en el Software Factory IO, comunicarlos con el PLC y configurar el HMI mediante red PN/IE (Profinet/Industrial Ethernet).
- Realizar pruebas de comunicación y puesta a punto del módulo de simulación.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Software de simulación de procesos.

Para el diseño y la distribución de las instalaciones industriales apoyado en el uso de la simulación de procesos las compañías a nivel mundial han preferido incluir, dentro de su planificación transcendental, la correcta distribución del espacio físico disponible para sus operaciones, debido a que es punto vital que impacta la capacidad de los servicios. Esto hace, que la configuración de los procesos de producción sea un semblante que maneje alta complicación (Orozco, 2014: pp. 6-12).

En el mundo industrial es común que las empresas manufactureras traten de mejorar todo su proceso productivo de tal forma que se aproveche su materia prima y lo que surja de su realización vaya en camino a su proceso final(Orozco, 2014: pp. 6-12).

La simulación de procesos hace factible la práctica completa y específica de las instalaciones industriales, la distribución de células de fabricación, la logística de materiales, permite tener un mayor control y un mejor proceso (Orozco, 2014: pp. 6-12).

2.1.1 *Factory IO.*

Es un software de simulación 3D de fábrica, para aprender tecnologías de automatización. Su facilidad de uso permite construir rápidamente una fábrica virtual utilizando una selección de piezas industriales comunes. En este simulador existe muchas escenas inspiradas en aplicaciones industriales típicas, que van desde niveles de dificultad básico hasta niveles avanzados(*FACTORY IO*, n.d.).



Figura 1-2: Software Factory IO

Fuente: (Autores, 2020)

2.1.2 Selección de procesos industriales

De las principales empresas que existen a nivel nacional se puede notar que muchas empresas industriales son de tipo manufacturera, por tanto, utilizan sistemas de bombeo, transporte, molienda, de clasificación, envasado, entre otros. Es así que se definen los siguientes procesos a simular:

- Un sistema de bandas transportadoras para clasificación de materia prima y
- Un sistema de control de llenado automático de tanque.



Posición	Empresa	Puntuación	Anterior
1	CORPORACIÓN FAVORITA	10000	—
2	NESTLÉ	9362	↑ 3
3	PRONACA	9151	↓ 2
4	CERVECERÍA NACIONAL	8558	—
5	COCA-COLA	7988	↑ 2

Figura 2-2: Empresas manufactureras

Fuente: (Merco.Infos)

Desde el punto de vista industrial se puede hablar del ciclo de vida de un producto distinguiendo diferentes fases:

- Primera fase: diseño del producto, dónde se delimita qué se va a fabricar.
- Segunda fase: se determina cómo se va a fabricar en la fase de planificación de la producción.
- Tercera fase: con los datos obtenidos se ejecuta la configuración de la instalación conocido como ingeniería de producción.
- Cuarta fase: esa configuración se lleva en la llamada fase de ejecución de producción, al hardware de la instalación, para que este tenga un comportamiento acorde a lo configurado y se fabrique el producto según se ha planeado.
- Quinta fase: se encontraría la fase de servicios, la cual se encargaría de mantener la instalación en las condiciones óptimas para seguir con la producción de forma eficiente y de calidad (Centeno Pomareta, 2017: pp.1-155).

Teniendo en cuenta estas fases, es importante disponer de herramientas que ayuden a compartir información entre ellas para poder corregir desviaciones del comportamiento en tiempo real y que

estas correcciones se vayan actualizando en el resto de las etapas. También gracias a disponer de estas herramientas para todas y cada una de las fases, es viable simular la conducta de toda la instalación para conseguir datos incluso antes de llevarla a cabo(Centeno Pomareta, 2017:pp.1-155)

Hoy en día la gran mayoría de productos ya son customizables o configurables por el consumidor, un claro ejemplo de ello sería el parque automotor, por ello las instalaciones tienen ser flexibles y ser capaces de producir cada producto: único en sí mismo, como si fuera en serie. De ahí que es vital tener la mayor información viable de la instalación y su comportamiento, algo imposible sin la digitalización y los elementos software de por medio(Centeno Pomareta, 2017:pp.1-155).

2.2 Redes de Comunicación Industrial.

Las comunicaciones industriales permiten el flujo de información del controlador a diferentes dispositivos en todo el proceso de fabricación como son los: detectores, actuadores, sensores entre otros. Se tiene mucha variedad de sistemas de comunicación entre equipos industriales, se ha optado por el desarrollo de un ambiente que permita tanto la implementación de protocolos de detalles conocidas en un sistema de comunicación completo, desde el medio físico hasta el nivel más alto de red, siguiendo un paralelismo; con el conocido modelo CIM(Computer Integrated Manufacturing)(Serna y Ortiz, 2011: pp. 83-109).

En la industria poseen una estructura piramidal jerarquizada y se procura que las denominadas islas de automatización como: autómatas programables, máquinas de control numérico, robots se completen en un sistema de control jerarquizado y bien distribuido(Serna y Ortiz, 2011: pp. 83-109).

2.2.1 *Sistemas flexibles de manufactura*

Un sistema flexible de manufactura consiste en un grupo de estaciones de trabajo interconectadas en forma física y lógica por medio de sistemas automáticos de manejo de materiales e integrada por una red de procesadores digitales. El sistema regularmente tiene un procesador que realiza la función de supervisor del mismo con la finalidad de tomar decisiones, para que produzca las metas para las que fue creado a través de flujo de información digital y red de computadoras(Ing y Ruedas, 2008: pp. 1-19).

Esto ayuda a optimizar la transformación de la materia prima con mejores tiempos de respuesta, menor costo unitario y con un grado alto de calidad, mediante excelentes sistemas de control y gestión, otros beneficios que nos pueden dar son los siguientes:

- Disminución de cableado (físicamente).
- Dispositivos inteligentes (funcionalidad y ejecución).
- Control distribuido (Flexibilidad).
- Simplificación de cableado de las nuevas instalaciones.
- Reducción de costo en cableado y cajas de conexión.
- Aplicable a todo tipo de sistema de manufactura.
- Incremento de la confiabilidad de los sistemas de producción.
- Optimización de los procesos existentes(VIVAR, 2012: pp. 1-191).

2.2.2 Medio de transmisión de las Redes industriales

El medio de transmisión de las redes industriales se puede realizar mediante diferentes tipos de cables o por una red inalámbrica, a continuación, se menciona algunas de ellas:

- Dos hilos torcidos con o sin blindaje, usualmente cable 10baseT con conector RJ-45.
- Cable coaxial: buena protección contra ruido, usualmente 10base2, difícil cablear topologías complicadas.
- Fibra óptica: perfecta inmunidad frente al ruido eléctrico, seguro, largo alcance, alta velocidad, usualmente 10baseF.
- Radio frecuencias: red inalámbrica (wireless network).
- Uso de repetidores “activos” cuando la distancia es larga(VIVAR, 2012: pp.1-191).

2.2.3 Medios de transmisión de datos

Las redes de comunicaciones, locales, urbanas o de área amplia en la actualidad utilizan soportes físicos muy diversos. Como resultado de la variedad de redes existente, de las distintas necesidades de sus usuarios, incluso de la titularidad de la red (pública o privada), las exigencias que se imponen a la red son distintas y por tanto los medios físicos utilizados son muchos (1).

2.2.4 Transmisión de datos

Los datos establecen la información y los hay analógicos, que toman valores continuos en un intervalo (sonido, vídeo) y digitales, que toman valores discretos (texto, números). Las señales son la representación electromagnética de los datos y también las hay analógicas (continuas) y digitales (discretas) (1).

2.3 Modelo OSI

Es un modelo basado en una propuesta desarrollada por la organización internacional de estándares (ISO, International Organization for Standardization). El modelo recibe el nombre de OSI ya que tiene que ver con la conexión de sistemas abiertos a la comunicación con otros sistemas. Se analizará modelos o arquitecturas de comunicaciones. Uno es el modelo OSI que divide la comunicación en 7 capas como se muestra en la (Figura 3.2). El otro es el modelo TCP/IP, que es el más utilizado en Internet actualmente, y recibe su nombre de sus dos protocolos más importantes: el protocolo de Internet o IP y el protocolo de control de transporte o TCP (1).

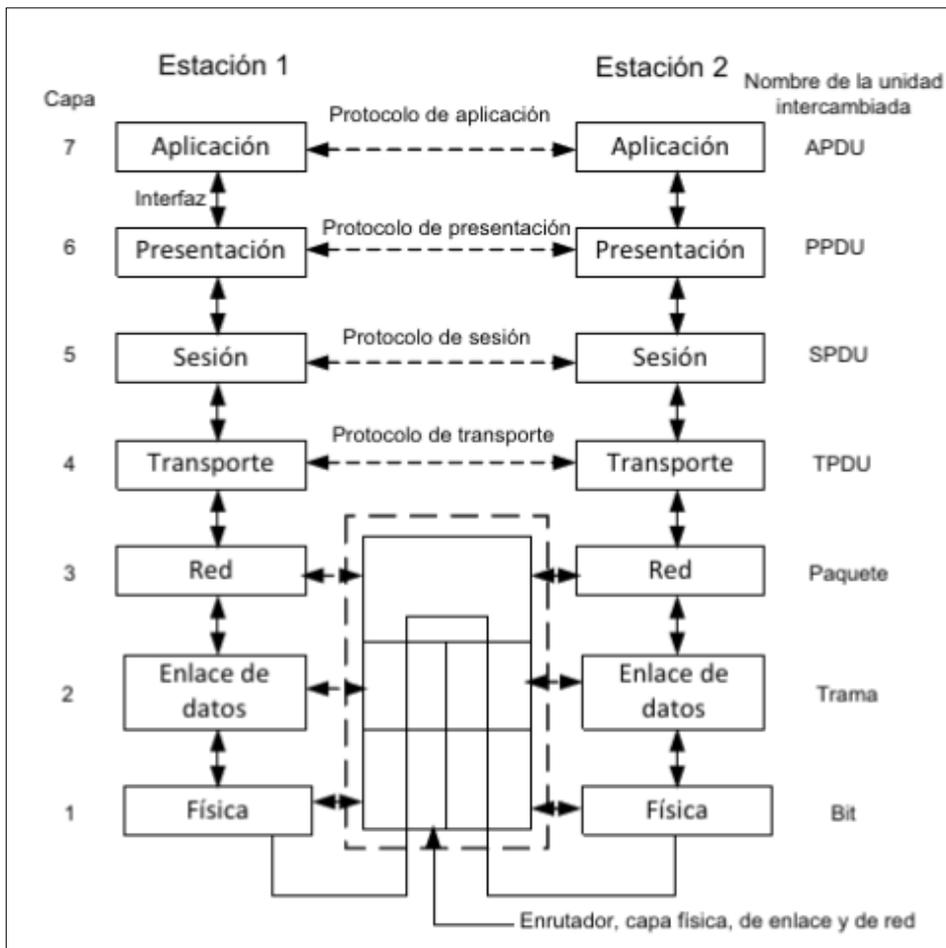


Figura 3-2: Capas y unidades de intercambio del modelo OSI.

Fuente: (1)

El modelo OSI define siete capas o principios que se nombran a continuación:

1. Una capa se crea cuando se necesite una abstracción diferente.
2. Cada capa debe realizar una función bien definida.

3. La función de cada capa se debe elegir con la intención de definir protocolos estandarizados de internacionales.
4. Los límites de las capas se deben elegir con el fin de minimizar el flujo de información a través de las interfaces.
5. El número de capas debe ser suficientemente grande para no tener que agrupar funcionalidades distintas dentro de una misma capa y lo suficientemente pequeña para que la arquitectura no se vuelva inmanejable.
6. Permitir que los cambios en las funciones o protocolos se puedan llevar a cabo sin afectar a otras capas.
7. Crear posteriormente subagrupamientos y reestructurar las funciones formando subcapas dentro de una capa en aquellos casos en los que se necesite diferentes servicios de comunicación (1).

2.4 Protocolo Modbus RTU

Modbus es un protocolo de comunicaciones, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (2).

Un ejemplo de ellos es el CM1241 MODBUS RTU RS-485 como se muestra en la (Figura 4.2) este módulo de comunicación tiene una interfaz física RS-422/485 y contiene drivers de protocolos Freeport, ASCII, Modbus, RTU Maestro Modbus, RTU Esclavo Modbus.



Figura 4-2: Modbus RTU

Fuente: (Siemens)

A continuación, se denominará algunas características importantes del protocolo Modbus RTU:

- Por su simplicidad es considerablemente manejado por diferentes fabricantes.
- La ejecución es fácil y requiere poco progreso.
- Los dispositivos que lo utilizan se pueden mencionar al PLC, HMI, RTU, sensores y actuadores remotos.

- El protocolo hace que los mensajes se intercambien en forma ordenada y se detecte errores.
- El control de acceso al medio es de tipo Maestro/Esclavo.
- El protocolo especifica: formato de trama, secuencias y control de errores.
- Existen dos variantes en el formato: ASCII y RTU.
- Cada esclavo tiene asignada una dirección fija y única en el rango de 1 a 247.
- La dirección 0 está reservada para mensajes de difusión sin respuesta.

El Modbus RTU diferencia cuatro tipos de datos como se detalla en la Tabla 1-2, tiene funciones específicas para ellos con direccionamientos autónomos y se diversifican entre sí en cuanto a su lectura o escritura, si son de tipo bit o tipo Word (16 bits) (2).

El protocolo Modbus crea una estructura jerárquica (un maestro y varios esclavos), un enlace multipunto conecta el maestro y los esclavos, el primer campo de la trama es la dirección del esclavo, todos los dispositivos presentes en la red decodifican el primer byte con el objetivo de determinar la dirección de destino y entonces tener en cuenta los próximos bytes si el esclavo es identificado. (2).

A continuación, se describen algunas de ellas:

1. Leer bobinas y entradas, se obtiene el estado actual ON/OFF de un grupo de bobinas lógicas o estradas lógicas.
2. Leer registros, obtiene el valor binario de uno más registros de almacenamiento o, de entrada.
3. Escribir bobina y/o bobinas, fuerza el estado de una bobina o varias bobinas.
4. Escribir registro y/o registros, escribe el valor binario de un registro o un grupo de registros de almacenamiento.

2.5 Profinet/Industrial Ethernet.

En pocos se observa un cambio interesante en las redes industriales. Adoptar Ethernet en el mundo de la automatización ha sido la iniciación de este cambio. La primera razón es que los usuarios potenciales de la automatización ven a priori tener una base de conocimientos más elevada en redes basadas en Ethernet (1).

El uso de los PCs, las LANs e Internet provee una gran cantidad de servicios y productos de los cuales la industria puede sacar beneficio. Básicamente, uno de estos beneficios es el uso de la infraestructura existente de cableado Ethernet en una empresa, reduce significativamente costes de instalación (1).

2.5.1 Razones de uso

Existen un sin número de razón para el uso del Ethernet y básicamente estos son algunos de ellos por la que es utilizado este medio de comunicación:

- Interoperabilidad: si se intenta conectar dos controladores de diferentes fabricantes utilizando Ethernet podrían no llegar a comunicarse entre ellos. Ethernet no elimina la necesidad de protocolos de bus de campo, al contrario, hace que haya la posibilidad de poder convivir varios protocolos sin conflictos de comunicación (1).
- Un sistema que minimice o incluso no necesite un manual de configuración con la facilidad de que los equipos que utilizan esta tecnología su instalación y configuración mediante software sean rápidos y fácil (1).
- Traspasar la frontera del cableado físico en muchas plantas industriales el uso de cableado puede llegar a tener un costo descomunal y gracias a Ethernet existe una solución: Wireless Ethernet sin necesidad de utilizar cableado (1).

2.6 Profinet

Es la comunicación de datos tipo industrial, los objetivos de PROFINET son establecer un estándar Ethernet abierto para la automatización basada en Industrial Ethernet, los dispositivos de Industrial Ethernet y Standard Ethernet puedan utilizarse conjuntamente como muestra la figura 5-2, por consiguiente, son más apropiados para el entorno industrial que pueda transmitir datos como (temperatura, seguridad de funcionamiento, etc.). Por otro la obtener una automatización con Ethernet en tiempo real y poder realizar una integración directa de sistemas un con bus de campo (1).

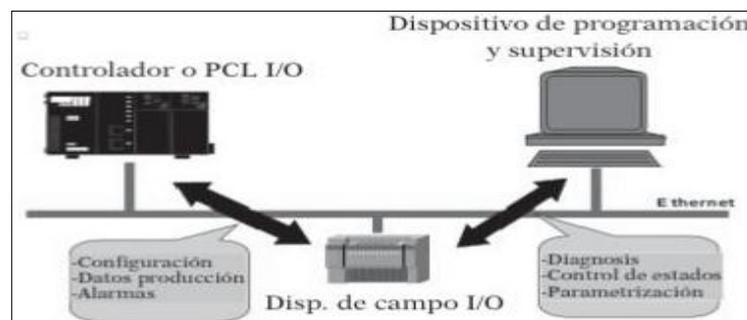


Figura 5-2: Comunicación entre dispositivos PROFINET

Fuente: (1)

2.7 Automatización industrial

2.7.1 Introducción a la automatización industrial

La automatización industrial es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinaria y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos como se puede ver en la (Figura 6.2). La automatización de empresas manufactureras aumenta la calidad de los productos, reduce tiempos de producción, realiza tareas complejas, disminuye los desperdicios o las piezas mal fabricadas y sobre todo aumentar la rentabilidad. (3)



Figura 6-2: Automatización industrial

Fuente: (3)

2.8 Hardware

Son dispositivos o aparatos físicos elementales de control: requeridos en instalaciones de diferentes campos, estos dispositivos más usados a nivel industrial son las pantallas HMI, variadores de frecuencia y haciendo especial hincapié en dos elementos principales como es el PLC y el módulo de comunicación Modbus RTU.

2.8.1 PLC S7-1200

El controlador S7-1200 como muestra la figura 7-2 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Incorpora un puerto Profinet. Al PLC pueden conectarse módulos adicionales para la comunicación en redes PROFIBUS, GPRS, RS485 o RS232.

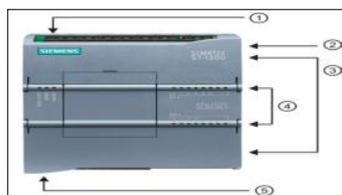


Figura 7-2: PLC S7-1200

Fuente: (Siemens)

Lo más importantes de este controlador: es el no necesitar otro software diferente: como sucedía con su predecesor. Este fue el primer PLC como muestra la figura 8-2, que se podía programar con el TIA Portal: pero con él iban a poderse utilizar todos los autómatas de la marca germana(Centeno Pomareta, 2017:pp.1-155).



Figura 8-2: PLC S7-1200

Fuente: (Siemens)

2.8.2 Tipos de datos

En la programación se representa tipo de datos lógicos, algunos de los que se van a utilizar son el Bool (valor booleano o bit), Byte (valor byte de 8 bits), Word (valor de 16 bits), DWord (valor de 32 bits, doble palabra), USInt (entero de 8 bits sin signo), SInt (entero de 8 bits con signo), UInt (entero de 16 bits sin signo), Int (entero de 16 bits con signo) UDInt (entero de 32 bits sin signo), DInt (entero de 32 bits con signo), Real (real de 32 bits o valor en coma flotante), LReal (real de 64 bits o valor en coma flotante)(SIEMENS, 2014:pp.1-1070).

2.8.3 Bloques y lenguajes de programación

El S7-1200 puede ejecutar el programa en los Bloques de organización OB, Bloques de Función FB, Funciones FC y Bloques de datos DB. Además, existe la posibilidad que generar la programación en lenguaje de Esquema de Contactos KOP, Diagrama de Funciones FUP y Lenguaje de control estructurado SCL(SIEMENS, 2014:pp.1-1070).

Es posible programar los bloques de función del S7-1200 en el lenguaje de estados o GRAPCET en este se distinguen diferentes etapas, donde el controlador realiza una serie de acciones que serán las condiciones a cumplir para saltar de una a otra etapa. También el en TIA Portal la interfaz de programación de bloques sea la misma independientemente del lenguaje de programación seleccionado(Centeno Pomareta, 2017:pp.1-155).

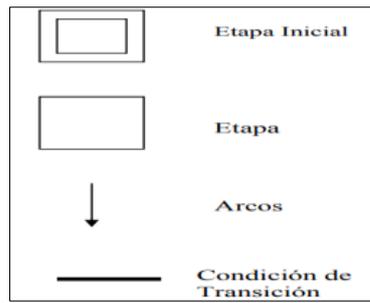


Figura 9-2: Elementos gráficos

Fuente: (O. Rojas, 2002)

En la figura 9-2 permite unificar la forma de descripción del proceso para técnicos de distintos campos, desde el ingeniero de organización o de producción, que define las necesidades del PLC, hasta el técnico de mantenimiento, que debe cuidar de su funcionalismo y/o introducir modificaciones en la fase de explotación(O. Rojas, 2002:pp.118-149).

En otros casos se dispone de software capaz de compilar un GRAFCET al lenguaje de la máquina que por lo general es el LADDER (escalera), permitiendo en ambos casos una gran flexibilidad y rapidez de diseño, con ventajas sustanciales en las fases de verificación, explotación o eventual modificación del PLC. A pesar de ello no debe confundirse el GRAFCET con un lenguaje de programación, el gráfico funcional al ser complementado con los métodos del álgebra(O. Rojas, 2002:pp.118-149)

2.8.4 Pantalla HMI KTP 600 BASIC PN

La pantalla táctil como se muestra en la figura 10-2, cuenta con un puerto Profinet. Se añade valores alfanuméricos, símbolos, figuras, imágenes, tiene teclas de función configurables. Se les puede generar eventos, animaciones, dar propiedades de tipo numérico. La alimentación eléctrica es de 24VDC. Para la conexión y carga de programas, se debe introducir una dirección IP y pulsar TRANSFER en la pantalla táctil(SIEMENS, 2012:pp.1-155)



Figura 10-2: Pantalla HMI KTP 600 BASIC PN

Fuente: (Siemens)

2.8.5 TIA PORTAL

Es un software al que se puede añadir nuevas funcionalidades y su utilidad es la de integrar diferentes aplicaciones en un mismo interfaz lo que facilita el aprendizaje, la interconexión y la operación.

El TIA PORTAL V15 integra el STEP 7 y el WinCC. Al crear un nuevo proyecto se pueden añadir controladores (S7-1200, S7-300, S7-400, S7-1500, ET200), HMI (Basic Panel, Comfort Panel, Mobile Panel, HMI SIPLUS) y sistemas PC (PC General, Pc Industrial, S7 Open Controller, S7 Embedded Controller, entre otros.)(SIEMENS, 2017:pp.1-18228)

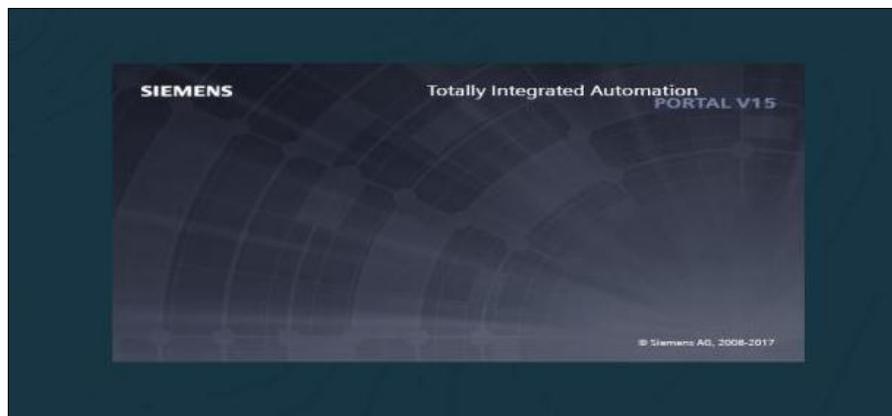


Figura 11-2: TIA PORTAL

Fuente:(Autores, 2020)

2.9 Variadores de frecuencia

El variador de frecuencia como un dispositivo electrónico capaz de controlar completamente motores eléctricos de inducción por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada. Este equipo se centra en el control de la velocidad del motor variando la frecuencia de la tensión de alimentación(Piñero, 2015:pp.1-110).

2.9.1 Selección del variador óptimo y recomendaciones

Existe en el mercado una gran cantidad de modelos de variadores como se muestra en la figura 12-2 y se debe elegir el adecuado para cada proceso. Además de las características del motor, también se debe considerar ciertos factores externos a la hora de la selección. Esto es importante para obtener el mejor rendimiento al realizar la tarea y no desaprovechar recursos(Piñero, 2015:pp.1-110).

Por tanto, debemos considerar al menos los siguientes factores:

- Características del motor: Corriente y potencia nominal, rango de tensiones, factor de potencia, velocidad máxima.
- Tipo de carga: Par constante, Par variable, Potencia constante.
- Par en el arranque: Asegurar que no supera lo permitido por el variador.
- Frenado regenerativo: Cargas de gran inercia, ciclos rápidos y movimientos verticales requieren de resistencia de frenado exterior.
- Condiciones ambientales: Temperatura ambiente, humedad, altura, tipo de gabinete y ventilación.



Figura 12-2: VF KEWO AD100

Fuente:(Kewo)

2.9.2 Motores de inducción

Todos los motores de inducción están formados por un rotor y un estator. El rotor puede ser de dos tipos, jaula de ardilla o bobinado, y en el estator se encuentran las bobinas inductoras. Su principio de funcionamiento está basado en la inducción electromagnética y fue diseñado por el ingeniero Nikola Tesla(Piñero, 2015:pp.1-110)



Figura 13-2: Motores Simotics

Fuente: (Autores, 2020)

3 METODOLOGÍA

3.1 Construcción de la estación y montaje de equipos

3.1.1 Estructura, montaje de equipos y cableado

Para contar con una mayor fijación y seguridad en el montaje de todos los elementos y dispositivos que forman parte del módulo, se ensambla una estructura en tubo cuadrado de aluminio de 1 ¼", unidos con nudos plásticos de 1 ¼" como se muestra en la figura 1-3, para un mejor aspecto se le coloca ángulos de ½" x ½". Además, admite ser transportada en un solo conjunto, evitando desmontarlo y provocar daños en los equipos del módulo.



Figura 14-3: Estructura de aluminio

Fuente: (Autores, 2020)

Los elementos están montados sobre una plancha de alucobond, figura 2-3, retirada la protección plástica se realiza un corta en la superficie del alucobond para asegurar con vinchas de sujeción al realizar el montaje del HMI, sobre el riel din se coloca el controlador y el módulo de comunicación CM1241, luego con pernos y tuercas se anclan los variadores de frecuencia, además de realizar perforaciones para el paso del cable flexible #18AWG y el cable Profibus.



Figura 15-3: Montaje del HMI

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 3-3 el gabinete metálico liviano 30x20x15cm, se utiliza para fijar en su interior un riel din para montar un breaker de 2 polos de 4 amperios para la protección de PLC y HMI,

instalando también dos breakeres de 2 polos de 10 amperios para la protección de los variadores de frecuencia, y a su vez utiliza seis bornes de riel para la conexión de los motores trifásicos y topes de borne con la finalidad de evitar movimiento en los bornes de riel.

Para el ingreso y salida de cables se instalan dos prensaestopas, en la parte frontal del tablero se cuenta con un interruptor tripolar para energizar el módulo.



Figura 16-3: Gabinete metálico

Fuente: (Autores, 2020)

Los motores usados en el módulo de control son de la marca SIEMENS como se muestra en la figura 4-3, son 2 motores trifásicos de baja tensión que cumplen con la eficiencia energética siendo perfectamente armonizados para ser usados con los dispositivos de maniobra, protección y control. Los motores Simotics estándar IE1 de 1800rpm de 1hp y 3600rpm de 0.75hp están anclados a la estructura del módulo por pernos de acero inoxidable, con arandela de presión, arandela plana y tuerca. Se utilizaron prensaestopas para el ingreso de cable concéntrico a la caja de conexiones del motor.



Figura 17-3: Motores Simotics

Fuente: (Autores, 2020)

El cableado en la parte frontal, envía señales de las salidas digitales #Q0.0-#Q0.1-#Q0.2-#Q0.3 del plc s7-1200 a las entradas digitales X1-X2-X3-X4 del variador de frecuencia KEWO AD100,

conjuntamente la salida del relé TA-TC y la salida analógica AO del VDF van a la entrada digital #I0.0 y analógica #IW64 respectivamente. También se implementa la red Modbus RTU con un conector Profibus desde el módulo de comunicación CM1241 hasta los bornes 485+ y 485- del variador de frecuencia a través de cable Profibus, obteniendo la conexión entre los equipos PLC, variador KEWO y módulo de comunicación como se observa en la figura 5-3.

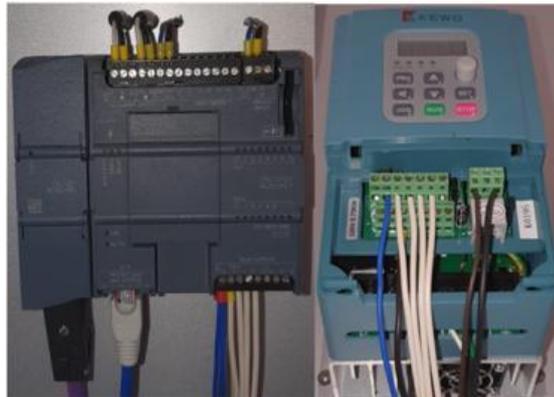


Figura 18-3: Cableado parte frontal

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 6-3 se observa la parte posterior del módulo el cableado en el que se realizó las diferentes conexiones de los cables de alimentación, cables de motor y señales.

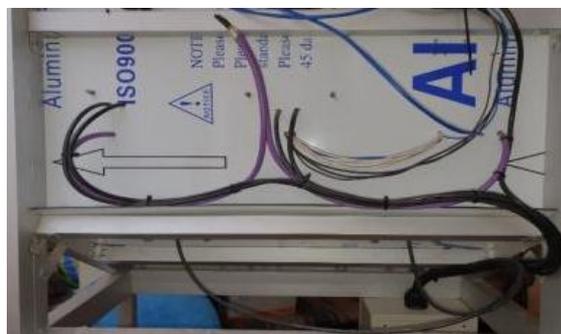


Figura 19-3: Cableado de alimentación

Fuente: (Autores, 2020)

3.2 Diseño de procesos industriales en 3D y comunicación con PLC

3.2.1 Proceso 3D Sistema de Bombeo

Se realiza el diseño del proceso de bombeo mediante el software Factory IO, se abre el programa de simulación de procesos y se crea un nuevo proyecto como muestra la figura 7-3, se aprecia en la interfaz pestañas que sirven para abrir el archivo guardado, además da opciones para información de lo que se puede realizar en el software.

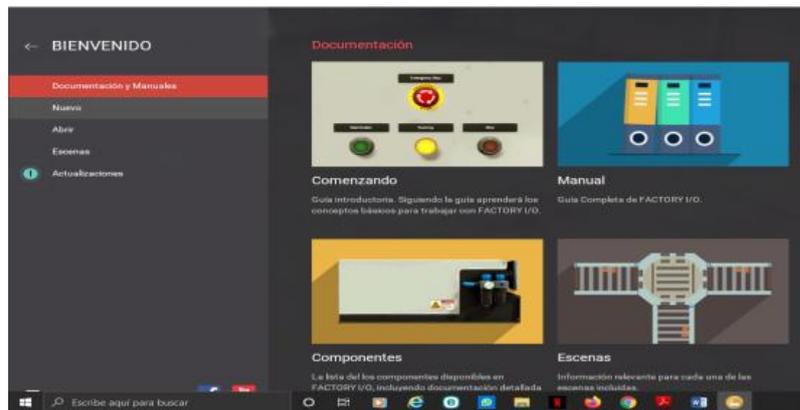


Figura 20-3: Programa de simulación Factory IO

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 8-3 el proyecto inicialmente muestra un ambiente industrial totalmente vacío, para modelar y construir un proceso en la planta virtual se empieza con ayuda del menú derecho que permite acceder a todos los elementos que presenta el software, como son piezas, máquinas, sensores, señalética, etc.

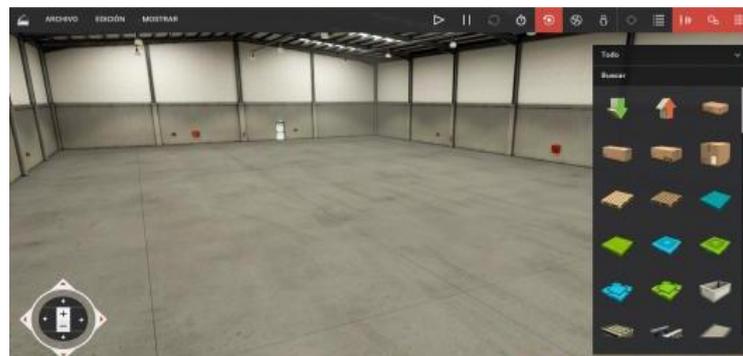


Figura 21-3: Ambiente industrial vacío

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 9-3 el proceso cuenta con varios elementos los cuales fueron construidos de la siguiente manera, el primer elemento que se arrastra al entorno virtual es un tanque, este cuenta con una válvula de llenado que simula el funcionamiento de una bomba centrífuga, también una válvula de descarga que simulará consumo en el proceso, un sensor de nivel tipo ultrasónico dará la información de altura del agua y de un sensor de caudal. Cabe indicar que la válvula de llenado será representada por un motor simotics controlado por un variador de frecuencia que se comunica al PLC mediante Modbus RTU.

Luego se ubica una banda transportadora a un lado del tanque, esta banda estará accionada por medio de un motor, que estará acoplado a un motor reductor. Al final de la banda se instala una rampa por donde avanzaría la caja apilable al final del llenado. Para el proceso es necesario

identificar las zonas de trabajo, por tanto, se coloca una barda para determinar que es el área de bombeo, también se ubican paletas para apilar las cajas al final del proceso.

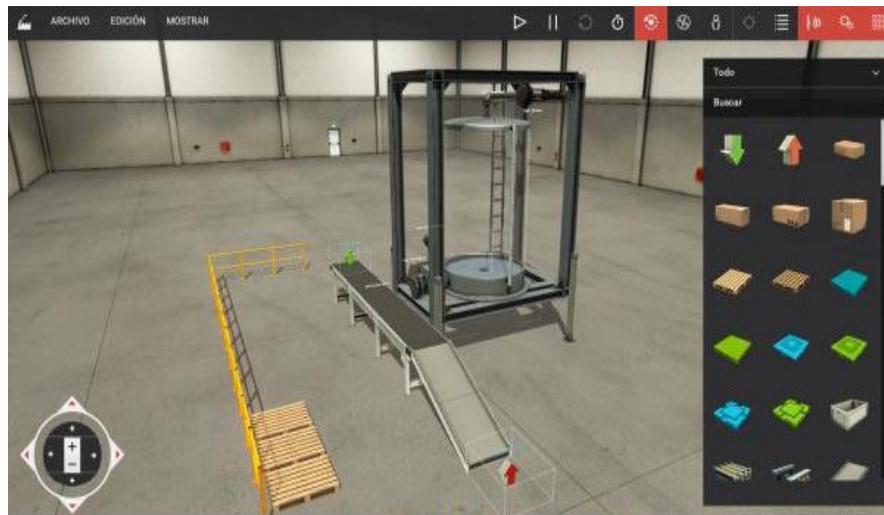


Figura 22-3: Construcción del modelo del proceso de bombeo

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 10-3 la configuración que se realizó al elemento emisor de piezas debe establecerse según la necesidad del proceso, en este caso se configura de modo que vaya surtiendo una caja cada ocho segundos.

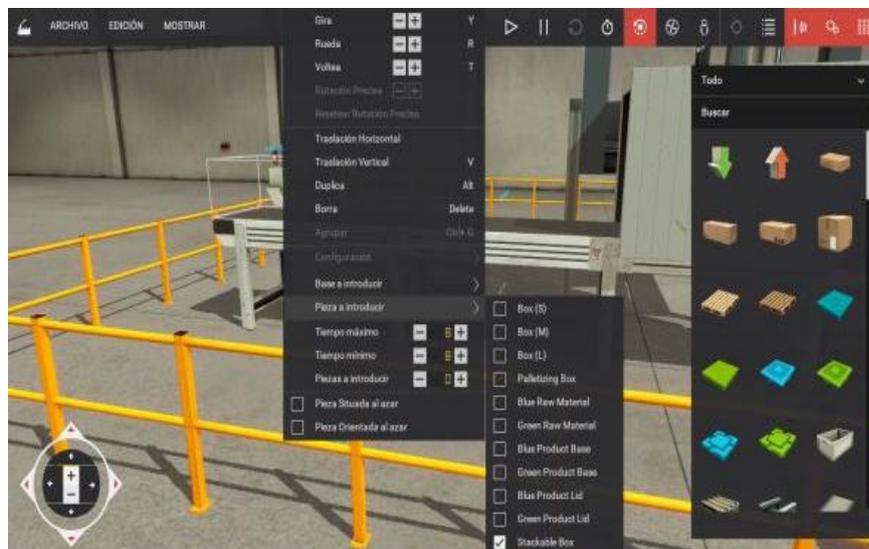


Figura 23-3: Configurado de emisor de piezas

Fuente: (Autores, 2020)

Al final de la banda transportadora el túnel que simula la estación de llenado tendrá un sensor retroreflectivo y reflector de señal como se indica en la figura 11-3, estos elementos siempre envían una señal al controlador. Además, se coloca un emisor y removedor de elementos para luego ubicar un gabinete metálico con pulsador de inicio, pulsador de paro y pantalla digital así de esta manera monitorear el nivel de agua.

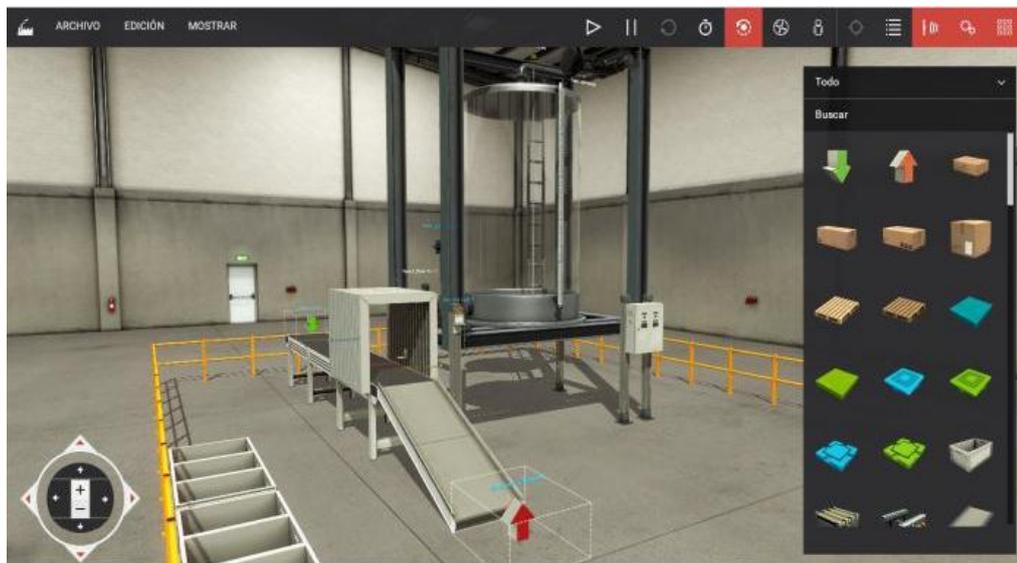


Figura 24-3: Sensor retroreflectivo y reflector de señal

Fuente: (Autores, 2020)

3.2.2 *Proceso 3D Sistema transporte por bandas*

De manera semejante al sistema de bombeo, en la figura 12-3, tiene como primer punto colocar una banda transportadora de cuatro metros de donde van a llegar los elementos a clasificar, la segunda banda transportadora de seis metros está representada por un motor simotics controlado por un variador de frecuencia para el movimiento en sentido horario y anti horario, además el control se realiza por lógica cableada.

Para que inicie el proceso se coloca un emisor de piezas el cual suministra elementos al azar. Además, es necesario una vez que el proceso de selección esté realizado, quitar las piezas del proceso, por tanto, se coloca dos removedores al final de la banda transportadora de seis metros.

Para determinar el color de material que transporta, se procede a colocar el elemento sensor de visión, el cual tiene diferentes opciones de configuración, en el presente trabajo se configura a este elemento para la clasificación de color verde y azul.

Clasificada cada pieza se requiere contar la cantidad de ítems de cada color, por lo tanto, al final de cada extremo, la cinta transportadora de seis metros que actúa como el motor Simotics estará controlado por el variador de frecuencia KEWO AD100, se coloca dos sensores retroreflectivos con su respectivo reflector de señal, este permite realizar el conteo de piezas transportadas. Igualmente, para evitar que los elementos transportados salgan de la cinta transportadora de seis metros y se caigan se colocan barreras de seguridad en los lados de esta cinta.

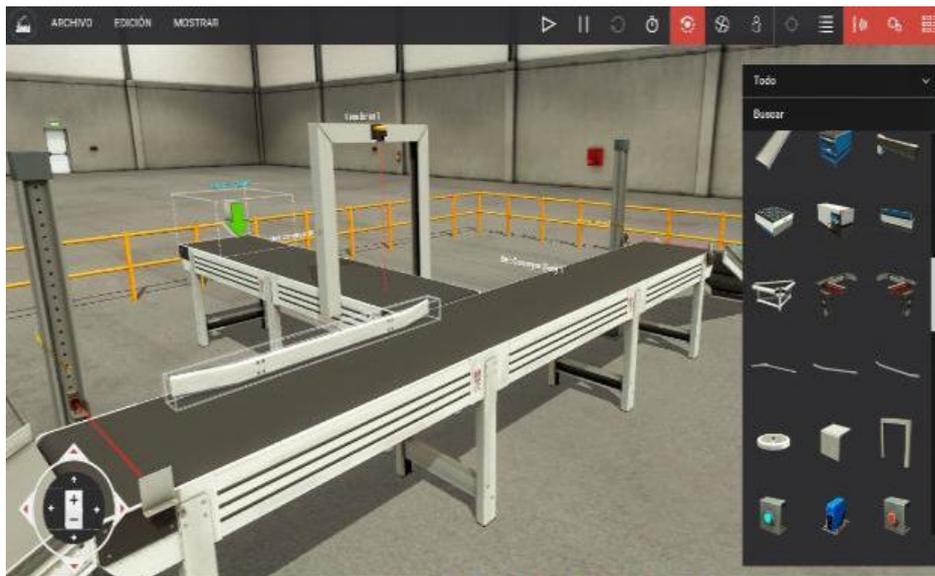


Figura 25-3: Construcción del modelo del proceso de transporte

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 13-3 se observa que en el emisor de elementos se realiza una configuración, de tal manera que al momento que detecte un objeto este envíe dos tipos de elementos de distinto color y en un tiempo determinado según requiera el proceso, en este caso cinco segundos se estableció en la configuración.

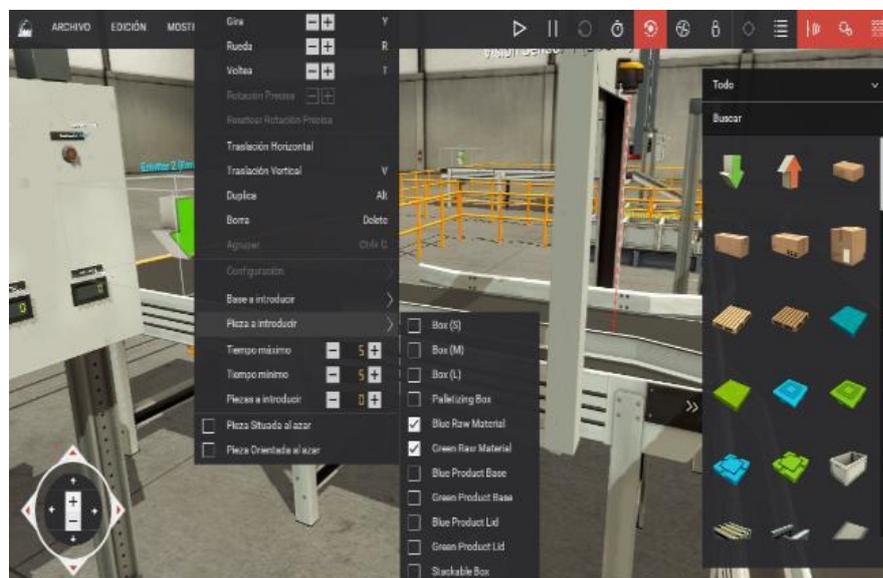


Figura 26-3: Configuración del emisor de elementos.

Fuente: (Autores, 2020)

Este sistema termina con el implemento de un tablero de control y monitoreo de los ítems clasificados como se aprecia en la figura 14-3, con ello se consigue la seguridad necesaria en este proceso. También, para una correcta delimitación e identificación del sistema se coloca bardas.

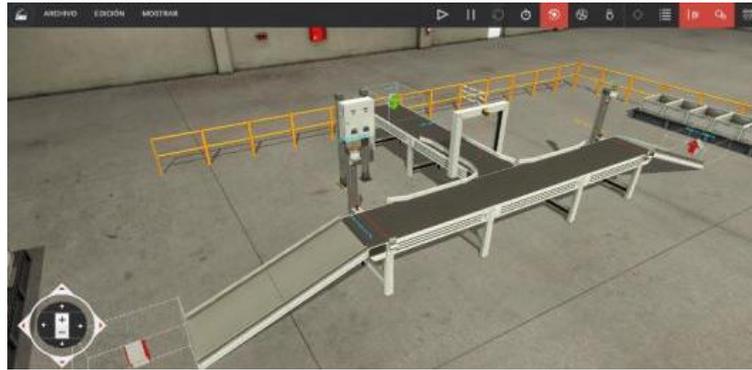


Figura 27-3: Tablero de control de proceso

Fuente: (Autores, 2020)

3.2.3 Vinculación de entradas y salidas de Software de simulación y PLC

En la figura 15-3, se determina el modelo del PLC con el cual se cuenta para el proceso, la dirección IP a la que se debe acceder, el adaptador de red físico que tiene el computador, la configuración del tipo de dato analógico para las entradas y salidas y las direcciones de offset, así como la cantidad de entradas y salidas.

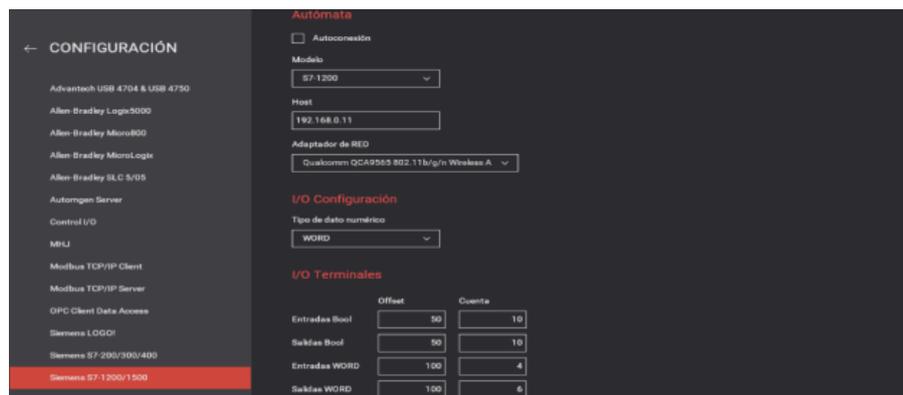


Figura 28-3: Modelo del PLC y dirección IP.

Fuente: (Autores, 2020)

3.2.3.1 Vinculación de las variables con el PLC

Ya realizado el modelo de cada proceso se dirige a la opción de Drivers, aquí se selecciona “Siemens S7-1200/1500”, que corresponde al PLC que se va a utilizar. Se observa todos los sensores, actuadores digitales y analógicos requeridos en el proyecto, el programa da opción de escoger cuales utilizar y cuáles no. En la parte izquierda de la figura 16-3 se detallan los sensores que se pueden agregar a las entradas digitales y analógicas de PLC. En la parte derecha se nota las salidas digitales y analógicas que se pueden agregar al proceso. Pero en estos procesos se elige la selección que existe en los pines del PLC.

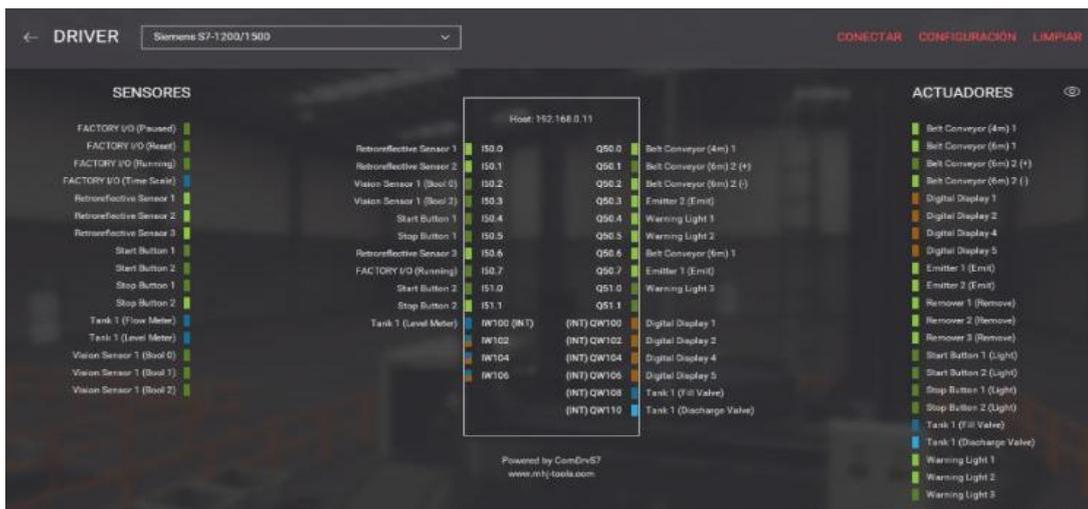


Figura 29-3: Sensores y actuadores digital y analógicos

Fuente: (Autores, 2020)

3.3 Configuración de VDF para funcionamiento por lógica cableada y comunicación con PLC

En la configuración del variador de frecuencia lo primero que se realiza es restaurar todos los parámetros al modo de fábrica con el objetivo de eliminar cualquier configuración ya existente y de esta manera proceder con la programación de los parámetros a utilizarse en los diferentes procesos a realizarse en este proyecto.

3.3.1 KEWO AD100

El variador de frecuencia KEWO AD100 es un dispositivo electrónico que permite funciones de arranque, paro, inversión de giro y multivelocidad los cuales serán programados, este también cuenta con bornes de conexión de alimentación y salida de motor. En los bornes de control se pueden notar las entradas digitales X1 X2 X3 X4 X5 referenciadas con el COM, salida digital TA TC y salida analógica que se ocupará en el proyecto tal como se aprecia en la figura 17-3.

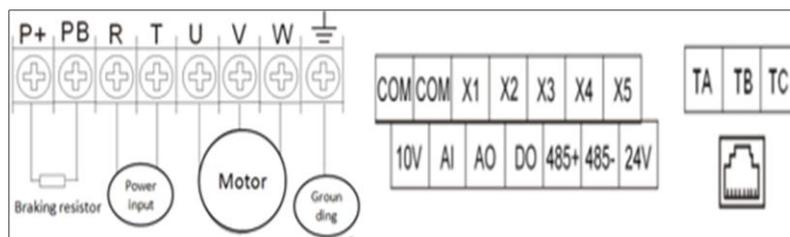


Figura 30-3: Bornes de conexión de alimentación y salida de motor.

Fuente: (Autores, 2020)

3.3.1.1 Parámetros de motor

El código de función P2 es establecido para los parámetros del motor en los cuales se realiza la configuración. Como se observa en la tabla 1-3 los rangos y ajustes de fábrica se encuentran establecidos, pero se digita nuevos ajustes los cuales se requiere para el funcionamiento.

Tabla 1-3: Códigos de configuración parámetros del motor.

P2 Grupo de parámetros del motor				
Código de función	Nombre	Rango de ajuste	Ajuste de fabrica	Ajuste propuesto
P2.02	Potencia nominal del motor	0.1kW~1000.0Kw	Por modelo	0,6kW
P2.03	Frecuencia nominal del motor	0.00Hz~máxima frecuencia	50.00 Hz	60Hz
P2.04	Velocidad nominal del motor	0rpm~65535rpm	1460r pm	1735RPM
P2.05	Voltaje nominal del motor	0V~2000V	Por modelo	220VAC
P2.06	Corriente nominal del motor	0.1A~2000 ^a	Por modelo	2.60A

Fuente: Manual de operación KEWO AD100

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.1.2 Parámetros para control por entradas digitales

De manera parecida al anterior parámetro se utiliza un código de función en este caso P0, para poder establecer los parámetros de control de entradas digitales se da una nueva propuesta estos son detallados en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Códigos de función de entradas digitales

P0 Parámetros de funciones básicas.				
Código de función	Nombre	Rango de ajuste	Ajuste de fabrica	Ajuste propuesto
P0.01	Referencia de comando en ejecución	1: control V / F	1	1
P0.03	Referencia de fuente de frecuencia principal	2: Analógico AI1 (-10v-10v)	1	2
P0.18	Ejecutar terminales de comando modo combinado	0: dos líneas 1	0	0
P0.04	Frecuencia máxima	50.00Hz~4000.00Hz	50.00Hz	60Hz
P0.05	Frecuencia límite superior	P0.06~P0.04	50.00Hz	60Hz
P0.06	Frecuencia límite inferior	0.00Hz~P0.05	0.00Hz	0.00Hz
P0.08	Tiempo de aceleración 1	0.00s~65000s	Por modelo	5seg
P0.09	Tiempo de desaceleración 1	0.00s~65000s	Por modelo	5seg

Fuente: Manual de operación KEWO AD100

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.1.3 Terminales de entrada

Continuando con lo realizado en los parámetros anteriores, este utiliza el código de función P5 el cual ayuda a configurar los terminales de entrada los que se detallan en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Códigos de función para configurar terminales de entrada.

P5 Terminales de entrada				
Código de función	Nombre	Rango de ajuste	Ajuste de fabrica	Ajuste propuesto
P5.00	La función de terminales X1 define	4: Avance hacia adelante (FJOG)	4	4
P5.01	La función de terminales X2 define	5: Avance hacia atrás (RJOG)	4	5
P5.02	La función de terminales X3 define	29: Entrada de contador	0	29
P5.03	La función de terminales X4 define	30: Reinicio del contador	0	30

Fuente: Manual de operación KEWO AD100

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.1.4 Iniciar y detener grupo

El código de función P1 se utiliza para iniciar y detener grupos. Se detalla la configuración en la tabla 4-3, este valor permite funcionar al motor Simotics que es controlado por un variador de frecuencia y conectado por lógica cableada.

Tabla 4-3: Códigos de función para configurar inicio y paro de grupo

P1 Iniciar y detener grupo				
Código de función	Nombre	Rango de ajuste	Ajuste de fabrica	Ajuste propuesto
P1.12	Frecuencia de movimiento	0.00Hz~máxima frecuencia	5.00 Hz	25.00 Hz

Fuente: Manual de operación KEWO AD100

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.1.5 Frecuencia de oscilación, longitud fija, recuento

La configuración en este parámetro con el código de función P6 permite realizar ajustes en frecuencia, longitud fija, entre otros. En la tabla 5-3 se establece un ajuste propuesto que permite realizar el número de operaciones que debe cumplir el proceso para que se detenga.

Tabla 5-3: Código de función para configurar conteo del proceso.

Pb Frecuencia de oscilación, longitud fija, recuento				
Código de función	Nombre	Rango de ajuste	Ajuste de fabrica	Ajuste propuesto
Pb.08	Ajuste del valor de conteo	1~65535	1000	100

Fuente: Manual de operación KEWO AD100

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.1.6 Terminales de salida

En la tabla 6-3 el parámetro tiene el código de función P6 que permite la configuración de terminales de salida donde se realiza la modificación, con este ajuste la salida de relé del variador KEWO AD100 envía una señal digital a la entrada I0.0 del PLC.

Tabla 6-3: Código de función para configurar terminales de salida

P6 terminales de salida				
Código de función	Nombre	Rango de ajuste	Ajuste de fabrica	Ajuste propuesto
P6.01	Salida de relé del controlador del tablero	15: Llegar el contador de configuración	4	15

Fuente: Manual de operación KEWO AD100

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.1.7 Diagrama de conexiones

En la figura 18-3 una vez configurado el variador de frecuencia con sus diferentes códigos de función para el proceso a realizar, se tiene ya la conexión en sus puertos establecidos para el funcionamiento ideal.



Figura 31-3: Diagrama de conexión

Fuente: (Autores, 2020)

3.3.2 INVT GD10

Este dispositivo electrónico permite funciones como arranque, paro, inversión de giro y multivelocidad los cuales serán programados, el variador de frecuencia INVT GD10 cuenta con bornes de conexión de alimentación y salida de motor como indica la figura 19-3. Además, en los

bornes de control las entradas para comunicación industrial 485+ y 485-, son las que se conectan a la red Modbus RTU junto con el módulo CM1241 del PLC.

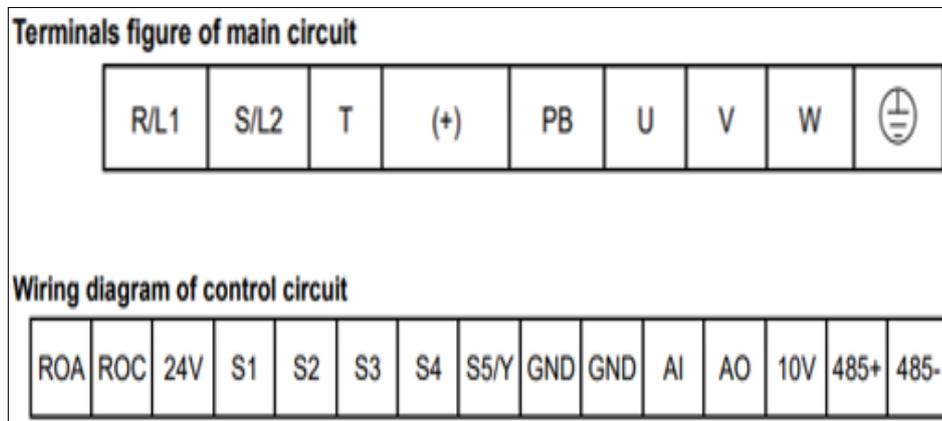


Figura 32-3: Diagrama de conexión INVT GD10

Fuente: (Autores, 2020)

3.3.2.1 Parámetros de motor

A este variador se realiza las configuraciones respectivas en los parámetros que se requiere respectivamente, el código de función P02 es ideal para los parámetros del motor en los cuales se realiza el ajuste correcto para el funcionamiento del proyecto tal como se indica a continuación en la tabla 7-3.

Tabla 7-3: Códigos de configuración parámetros del motor.

P02 Datos del Motor				
Código de función	Nombre	Instrucciones detalladas de parámetros	Valor por defecto	Ajuste propuesto
P02.01	Potencia nominal del motor asíncrono	0.1~3000.0kW	Depende del modelo	0,8kW
P02.02	Frecuencia nominal del motor asíncrono	0.01 Hz~P00.03(La Max. frecuencia)	Depende del modelo	60Hz
P02.03	Velocidad nominal del motor asíncrono	1~36000rpm	Depende del modelo	3440RPM
P02.04	Voltaje nominal del motor asíncrono	0~1200V	Depende del modelo	220VAC
P02.05	Corriente nominal del motor asíncrono	0.8~6000.0A	Depende del modelo	3.15 ^a

Fuente: Manual de operación INVT GD10

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.2.2 Parámetros para control por comunicación industrial

Para este registro el código de función P00 será el que permita configurar el control por comunicación industrial, admitiendo el control de arranque, parada y velocidad del motor como se observa en la tabla 8-3.

Tabla 8-3: Códigos de configuración de funciones básicas para comunicación industrial

P00 Funciones básicas				
Código de función	Nombre	Instrucciones detalladas de parámetros	Valor por defecto	Ajuste propuesto
P00.01	Ejecutar canal de comando	2: Canal de comando de ejecución de comunicación ("LOCAL / REMOT" activado): El comando superior es controlado por el monitor superior a través de la comunicación.	0	2
P00.06	Una selección de comando de frecuencia	8: Configuración de comunicación MODBUS. La frecuencia se establece mediante la comunicación MODBUS. Ver P14 para información detallada. Nota: Una frecuencia A y una frecuencia B no pueden establecerse como el mismo método de referencia de frecuencia.	1	8
P00.03	Max. frecuencia de salida	Este parámetro se usa para establecer la frecuencia de salida máxima del inversor. Los usuarios deben prestar atención a este parámetro porque es la base de la configuración de frecuencia y la velocidad de aceleración y desaceleración. Rango de configuración: P00.04~400.00Hz	50.00Hz	60Hz
P00.04	Límite superior de la frecuencia de funcionamiento	El límite superior de la frecuencia de funcionamiento es el límite superior de la frecuencia de salida del inversor que es inferior o igual a la frecuencia máxima. Rango de ajuste: P00.05~P00.03 (frecuencia de salida máxima)	50.00Hz	60Hz
P00.05	Límite inferior de la frecuencia de funcionamiento	El límite inferior de la frecuencia de funcionamiento es el de la frecuencia de salida del inversor. El inversor funciona a la frecuencia límite inferior si la frecuencia establecida es inferior a la del límite inferior. Nota: Máx. frecuencia de salida ≥ frecuencia límite superior ≥ frecuencia límite inferior. Rango de ajuste: 0.00Hz~P00.04 (límite superior de la frecuencia de funcionamiento).	0.00Hz	0.00Hz
P00.11	ACC tiempo 1	El tiempo ACC significa el tiempo necesario si el inversor se acelera de 0Hz a Max. Uno (P00.03). AA El tiempo DEC significa el tiempo necesario si el inversor se desacelera del Máx. Frecuencia de salida a 0Hz (P00.03). AA Los inversores de la serie Goodrive10 definen cuatro grupos de tiempo ACC / DEC que pueden seleccionarse mediante P05. El tiempo ACC / DEC predeterminado de fábrica del inversor es el primer grupo.	Depende del tipo de motor	10seg
P00.12	DEC tiempo 1	Rango de ajuste de P00.11 y P00.12: 0.0~3600.0s	Depende del tipo de motor	15seg

Fuente: Manual de operación INVT GD10

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.2.3 Parámetros para control de comunicación en serie

La tabla 9-3 indica que el código de función P14 permite establecer la dirección, velocidad y configuración de comunicación, éste ayuda al correcto funcionamiento del proceso al que se dio la dirección 1 al esclavo 1, también se configuró una velocidad de transferencia de datos y el formato de mensaje.

Tabla 9-3: Códigos de configuración de funciones de comunicación en serie

P14 Grupo de comunicación en serie				
Código de función	Nombre	Instrucciones detalladas de parámetros	Valor por defecto	Ajuste propuesto
P14.00	Dirección de comunicación local	El rango de ajuste: 1~247. Cuando el maestro escribe la trama, la dirección de comunicación del esclavo se establece en 0; La dirección de difusión es la dirección de comunicación. Todos los esclavos en el bus de campo MODBUS pueden recibir la trama, pero el ungüento no responde. La dirección de comunicación del variador es única en la red de comunicación. Esto es fundamental para la comunicación punto a punto entre el monitor superior y la unidad. Nota: La dirección del esclavo no puede establecerse en 0.	1	1
P14.01	Velocidad de transmisión	Configure la velocidad de transmisión digital entre el monitor superior y el inversor. 4: 19200BPS Nota: La velocidad en baudios entre el monitor superior y el inversor debe ser la misma. De lo contrario, la comunicación no se aplica. Cuanto mayor es la velocidad de transmisión, más rápida es la velocidad de comunicación.	4	4
P14.02	Configuración de comprobación digital de bits	El formato de datos entre el monitor superior y el inversor debe ser el mismo. De lo contrario, la comunicación no se aplica. 1: Verificación impar (E, 8,1) para RTU	1	1

Fuente: Manual de operación INVT GD10

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.2.4 Registros para lectura y escritura

En el manual del variador de frecuencia se especifica que existe el código de función 03Hex para leer uno o varios registros por cada solicitud y 06Hex para escribir un solo registro por solicitud.

En la tabla 10-3 la dirección de registro de comando de control por comunicación es 2000 en hexadecimal, si se transforma a decimal resulta 8192. También si se transforma 2001 de hexadecimal a decimal se obtiene 8193 que corresponde al registro de comando de frecuencia por comunicación.

Tabla 10-3: Comando de control por comunicación

Instrucción de la función	Definición de dirección	Instrucción de significado de datos	R / W características
Comando de control de comunicación	2000H	0001H: corriendo hacia adelante	W
		0002H: marcha atrás	
		0003H: trotar hacia adelante	
		0004H: trote inverso	
		0005H: detener	
		0006H: costa para parar (parada de emergencia)	
		0007H: restablecimiento de fallas	
		0008H: parada para correr	
		0009H: Preexistente	
La dirección del valor de configuración de comunicación	2001H	Frecuencia de configuración de comunicación (0-Fmax (unidad: 0.01Hz))	W
	2002H	Referencia PID, rango (0-1000, 1000 corresponde)	

Fuente: Manual de operación INVT GD10

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.2.5 Supervisión de parámetros y monitoreo.

La supervisión y monitoreo utiliza el código de función P17 para realizar la respectiva configuración del proceso tabla 11-3, entonces se determina los registros de lectura para lo cual primero el número a lado de la letra P pasa de decimal a hexadecimal obteniendo un 11, luego el número 03 decimal pasar a hexadecimal obteniendo un 03, al unir las dos cantidades forma el 1103Hex. Ahora bien, se pasa de Hexadecimal a decimal y forma el 4355, siendo la dirección de registro de Voltaje de salida.

Tabla 11-3: Supervisión de parámetros de monitoreo

Grupo P17 Función de monitoreo				
Código de función	Nombre	Instrucciones detalladas de parámetros	Valor por defecto	Ajuste propuesto
P17.00	Establecer frecuencia	Muestra la frecuencia establecida actual del inversor. Rango: 0.00Hz-P00.03	0.00Hz	
P17.01	Fuera de frecuencia	Muestra la frecuencia de salida actual del inversor. Rango: 0.00Hz-P00.03	0.00Hz	
P17.02	Frecuencia de referencia de rampa	Muestra la frecuencia de referencia de rampa actual del inversor. Rango: 0.00Hz-P00.03	0.00Hz	
P17.03	Voltaje de salida	Muestra el voltaje de salida actual del inversor. Rango: 0-1200 V	0V	
P17.04	Corriente de salida	Muestra la corriente de salida actual del inversor. Rango: 0.0-5000.0A	0.0A	
P17.05	La velocidad de rotación del motor	Muestra la velocidad de rotación del motor. Rango: 0-65535 RPM	0 RPM	

Fuente: Manual de operación INVT GD10

Realizado por: (Autores, 2020).

3.3.2.6 Diagrama de conexiones

En la figura 20-3 se observa que, realizado la configuración del variador con los códigos de función respectivos para el proceso a realizar, tenemos la conexión en sus puertos establecidos para el funcionamiento ideal e eficiente.



Figura 33-3: Diagrama de conexión.

Fuente: (Autores, 2020)

3.4 Programación de PLC

La configuración del PLC S7-1200 es realizada en el software TIA PORTAL V15, en primera instancia se procede a efectuar la comunicación entre el PLC y variador de frecuencia, luego la programación del proceso de transporte por bandas y por último el proceso de bombeo.

3.4.1 Comunicación Modbus RTU entre INVT GD10 y PLC

Para crear un nuevo proyecto, ejecutar TIA PORTAL y realizar lo siguiente:

- Se asigna un nombre y una ubicación. Luego se accede a vista del proyecto como indica la figura 21-3.

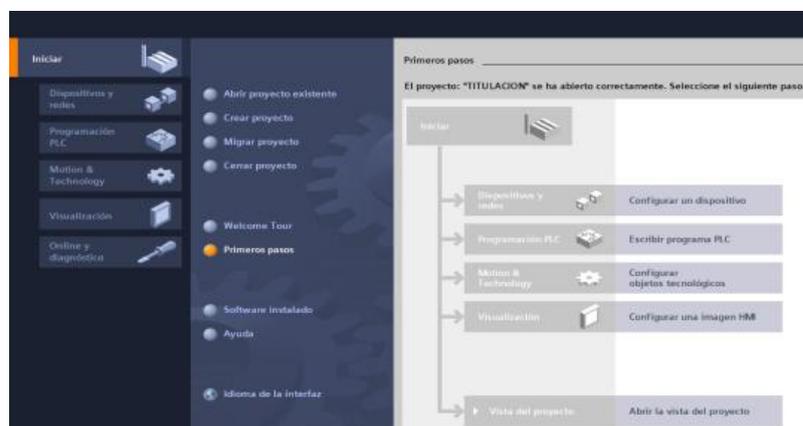


Figura 34-3: Creación proyecto en TIA PORTAL

Fuente: (Autores, 2020)

- En la siguiente figura 22-3 al agregar un nuevo dispositivo se elige el modelo y versión del PLC S7-1200, en este caso CPU 1212C AC/DC/Ry con versión de firmware V3.0.

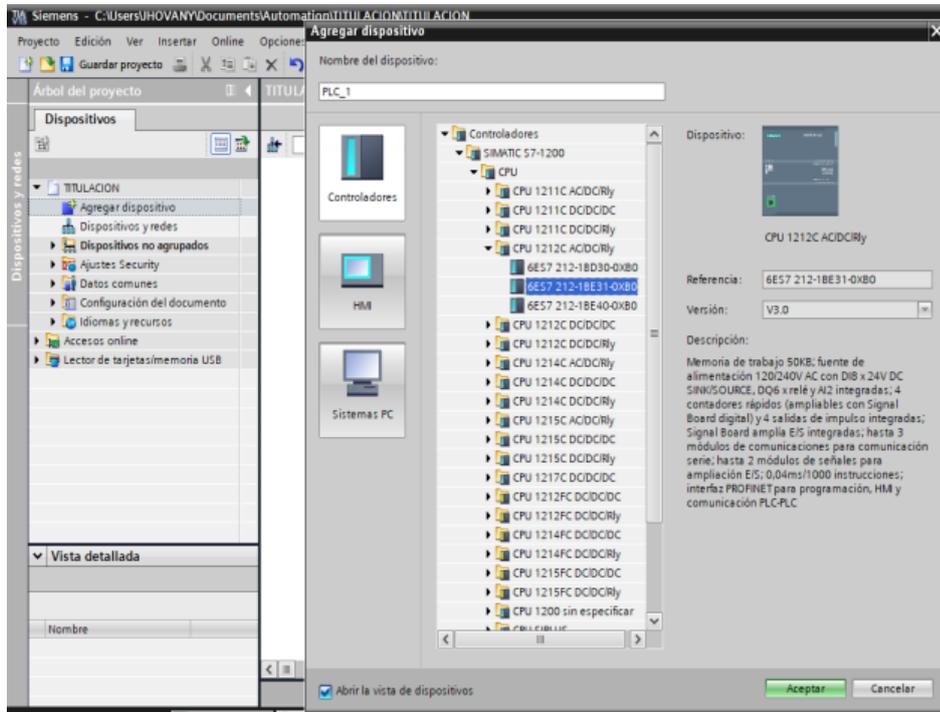


Figura 35-3: Elección de modelo y versión.

Fuente: (Autores, 2020)

- Posteriormente en la figura 23-3, del catálogo de hardware se despliega la carpeta de módulos de comunicación, se busca la carpeta punto a punto y se elige el CM 1241 (RS422/485)

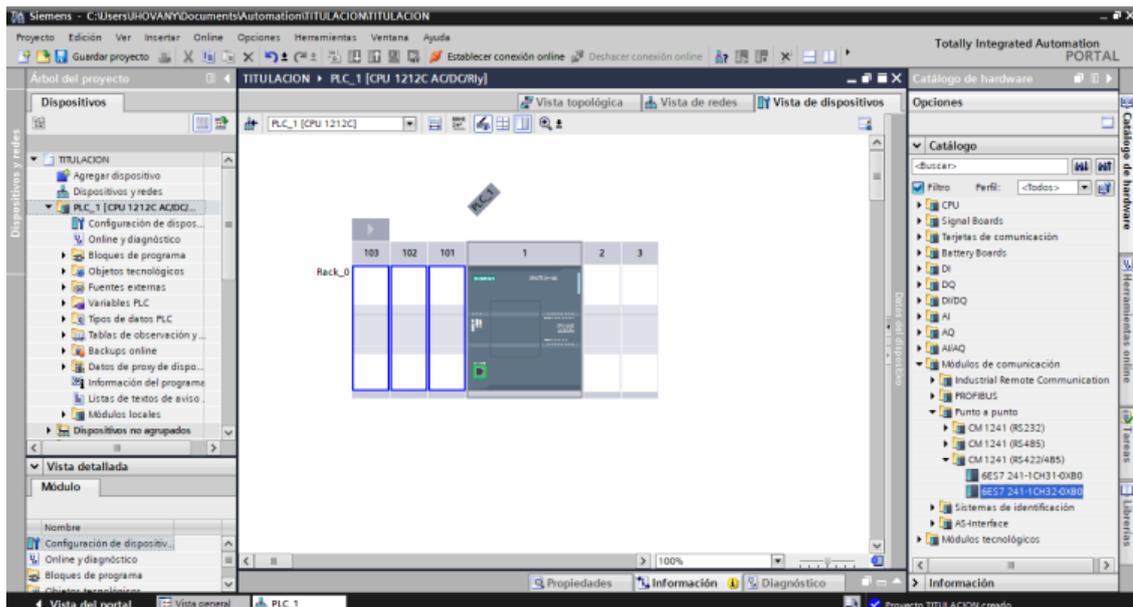


Figura 36-3: Elección de módulos de comunicación CM1241 422/485.

Fuente: (Autores, 2020)

- En la figura 24-3, se elige la versión del módulo y se arrastra a la ventana de vista de dispositivo, una vez realizado se tiene todo listo para iniciar la configuración del equipo.

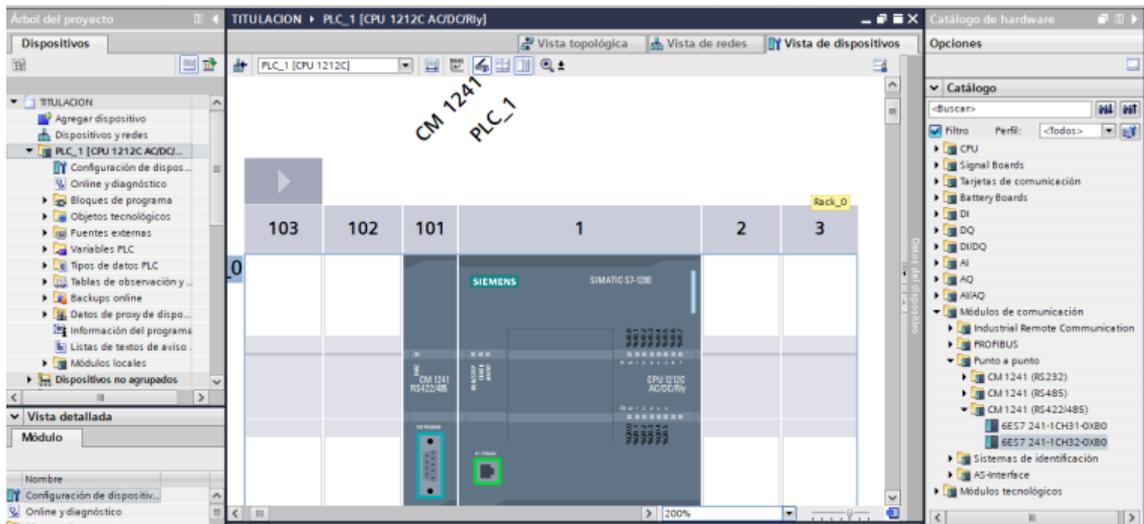


Figura 37-3: Elección de la versión del módulo.

Fuente:(Autores, 2020)

- Listo para la configuración, se activa las marcas del sistema y de ciclo, accediendo a las propiedades del PLC. Las direcciones no se cambian, por tanto, el byte 0 y el byte 1 no se debe utilizar para otra variable en la programación como se indica en la figura 25-3.

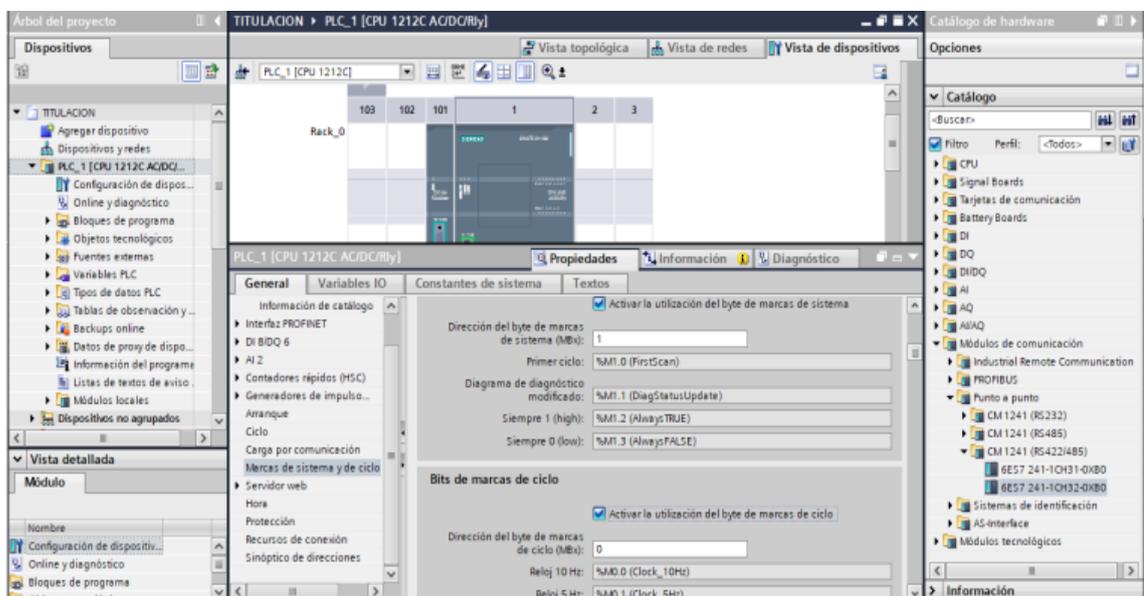


Figura 38-3: Activación de marcas de sistema y de ciclo

Fuente:(Autores, 2020)

- Realizado la activación de marcas de sistema y de ciclo, se dirige al árbol de proyecto aquí se desplegar la carpeta de bloques de programa, luego accede al OB1 Main, en seguida proceder a insertar las instrucciones MB_COMM_LOAD y MB_MASTER tal como se observa a continuación en la figura 26-3.

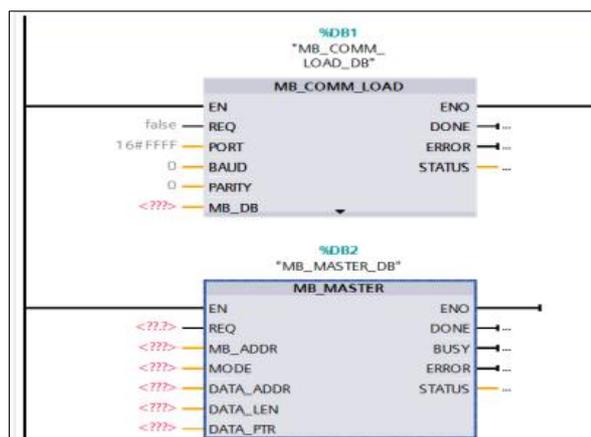


Figura 39-3: Bloques de programa.

Fuente:(Autores, 2020)

- En la siguiente tabla 12-3, se enlista la declaración, tipo de dato, el área de memoria y la descripción de cada parámetro de las instrucciones MB_COMM_LOAD que sirve para configurar el puerto del módulo de comunicación CM 1241.

Tabla 12-3: Configurar puerto en módulo PtP para Mpdbus-RTU

MB_COMM_LOAD: Configurar puerto en módulo PtP para Mpdbus-RTU				
Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
REQ	Input	BOOL	I, Q, M, D, L	Ejecución de la instrucción con flanco ascendente.
PORT	Input	PORT	I, Q, M, D, L o constante	Identificación del puerto de comunicación: Tras haber insertado el módulo de comunicación en la configuración de dispositivos, la identificación del puerto aparece en la lista desplegable de la conexión del cuadro PORT. Esta constante también se puede referenciar en la tabla de variables de la ficha "Constantes"
BAUD	Input	UDINT	I, Q, M, D, L o constante	Selección de la velocidad de transferencia: 300, 600, 1200, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 Todos los demás valores no son válidos.
PARITY	Input	UINT	I, Q, M, D, L o constante	Selección de la paridad: 0-Ninguna 1-Impar 2-Par
MB_DB	Input	MB_BASE	D	Una referencia al bloque de datos de instancia de las instrucciones "MB_MASTER" o "MB_SLAVE". Después de haber insertado "MB_SLAVE" o "MB_MASTER" en el programa, la identificación de DB está disponible en la lista desplegable en la conexión del cuadro MB_DB.

Fuente: (Autores, 2020).

Realizado por: (Autores, 2020).

- Posteriormente en la figura 27-3 muestra que en REQ se procede a colocar la marca de "FirstScan", en PORT se busca la dirección del CM2141, en BAUD se designa 19200bps que coincide con la velocidad en baudios del variador de frecuencia INVT GD10, en PARITY se escribe 2 que corresponde a la paridad que se designa en el VDF. Por último,

en MB_DB se escribe la base de datos al que se accede para la lectura o escritura de registros en el convertidor de frecuencia.

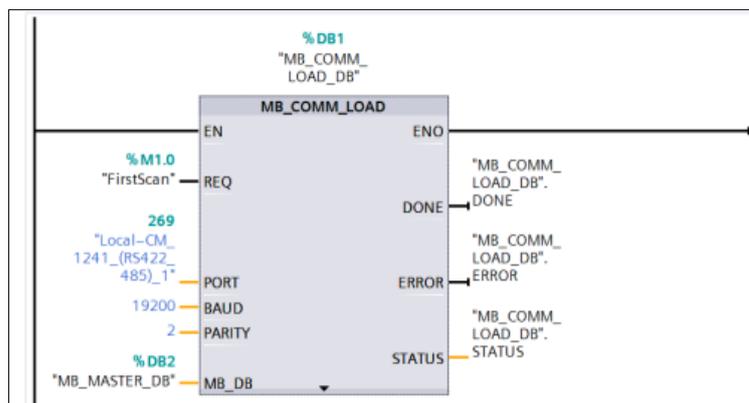


Figura 40-3: Escritura de registros

Fuente:(Autores, 2020)

- A continuación, en la tabla 13-3, se enlista la declaración, tipo de dato, el área de memoria y la descripción de cada parámetro, la instrucción MB_MASTER sirve para configurar el CM 1241 como maestro Modbus RTU.

Tabla 13-3: Configurar el CM 1241 como maestro Modbus RTU.

Descripción de MB_MASTER				
Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
REQ	Input	BOOL	I, Q, M, D, L	Entrada de solicitud: 0-Ninguna solicitud 1- Solicitud de enviar datos a esclavo(s) Modbus
MB_ADDR	Input	UINT	I, Q, M, D, L o constante	Dirección de estación Modbus RTU: Área de direccionamiento estándar: 0 a 247 Área de direccionamiento ampliada: 0 a 65535 El valor "0" está reservado para la difusión general de un aviso a todos los esclavos Modbus. Para el broadcast solo se soportan los códigos de función Modbus 05, 06, 15 y 16.
MODE	Input	USINT	I, Q, M, D, L o constante	Modo de selección: Indica el tipo de solicitud lectura, escritura o diagnóstico.
DATA_ADDR	Input	UDINT	I, Q, M, D, L o constante	Dirección inicial en el esclavo: indica la dirección inicial de los datos a los que se debe acceder en el esclavo Modbus. Las direcciones validas se pueden encontrar en la tabla de funciones Modbus.
DATA_LEN	Input	UINT	I, Q, M, D, L o constante	Longitud de datos: indica el número de bits o palabras a los que debe acceder esta solicitud. Las longitudes validas se pueden encontrar en la tabla de funciones Modbus.
DATA_PTR	Input	VARIANT	M, D	Puntero hacia la dirección del DB o de la marca de la CPU de los datos que se deben escribir o leer. En un DB, éste se debe crear con el tipo de acceso "estándar: compatible con S7-300/400".

Fuente: (Autores, 2020).

Realizado por: (Autores, 2020).

- Luego de configurar el CM 1241 como maestro Modbus RTU, para establecer qué valor determinar a MODE se revisa información en la ayuda que brinda el software, observando que para el código de función Modbus 03hex se usa el número 0, lo cual indica que puedo leer de 1 a 124 palabras por consulta y la dirección de registro que se desea leer de iniciar en 40001 o 400001. En cambio, para el código de función Modbus 06hex se utiliza el número 1, esto permite escribir solo un registro por petición y la dirección de registro que se desea escribir de iniciar en 40001 o 400001 como se nota en la tabla 14-3.

Tabla 14-3: Determinación del valor que se asigna a MODE

Parámetros DATA_ADDR Y MODE				
MODE	Función Modbus	Longitud de datos	Operación y datos	Dirección Modbus
0	03	de 1 a 125, 1 a 124 ⁽¹⁾	Leer registros de parada: 1 a (124 ó 125) WORD por consulta	40001 a 49999 ó de 400001 a 465535
1	06	1	Escribir un registro de parada: 1 WORD por consulta	40001 a 49999 ó de 400001 a 465535

Fuente: (Autores, 2020).

Realizado por: (Autores, 2020).

- En la siguiente figura 28-3, se procede a colocar en REQ una marca de ciclo que corresponde a “clock_10hz”, en MB_ADDR el número 1 que corresponde a la dirección del esclavo, en MODE el número 1 para escritura en un registro, en DATA_ADDR se coloca la dirección de registro del variador de frecuencia al que pretende acceder, en DATA LENG se escribe 1 siendo ya el número máximo de registros que se puede escribir por petición y en DATA_PRT se designa una variable de tipo WORD.

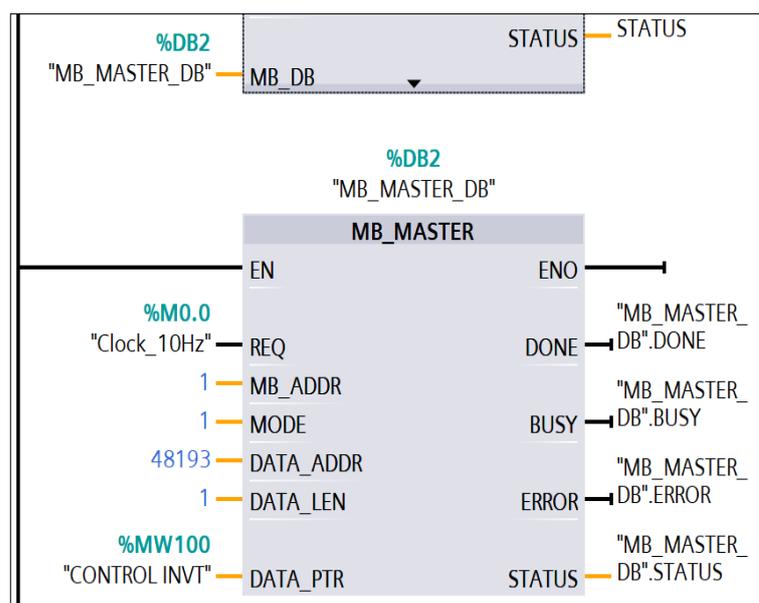


Figura 41-3: Escritura de registros.

Fuente: (Autores, 2020)

3.4.2 Programación del proceso de transporte por bandas

La figura 29-3, corresponde al grafcet del proceso de transporte por bandas, al presionar inicio debe avanzar a la etapa 2 activando el emisor de piezas y la banda inicio, luego existe una cruce en la que se determina por medio del sensor de visión si la pieza es de color azul o de color verde, si es de color azul pasa a la etapa 3 donde activa un temporizador y desactiva la banda inicio, luego de un tiempo de 3 segundos avanza a la etapa 4 en la que se activa la banda izquierda, cuando el sensor retroreflectivo envíe la señal activa la etapa 5 en la que se suma una unidad al contador, cuando el sensor retroreflectivo no envíe señal se compara si el contador es menor a 100 o si es igual a 100, en el primer caso se regresa a la etapa 2, en el segundo caso regreso a la etapa 1. En el caso que el sensor de visión detecte la pieza de color verde pasara a la etapa 6 en la que desactivo banda inicio y activa un temporizador, luego de cumplir un tiempo sigue a la etapa 7 en la que se activa banda derecha, cuando el sensor envía señal se avanza a la etapa 8 y suma una unidad al contador luego cuando el sensor ya no envía señal se pregunta si el contador es menor a 100 o si es igual a 100, en el primer caso se regresa a la etapa 2, en el segundo caso regreso a la etapa 1.

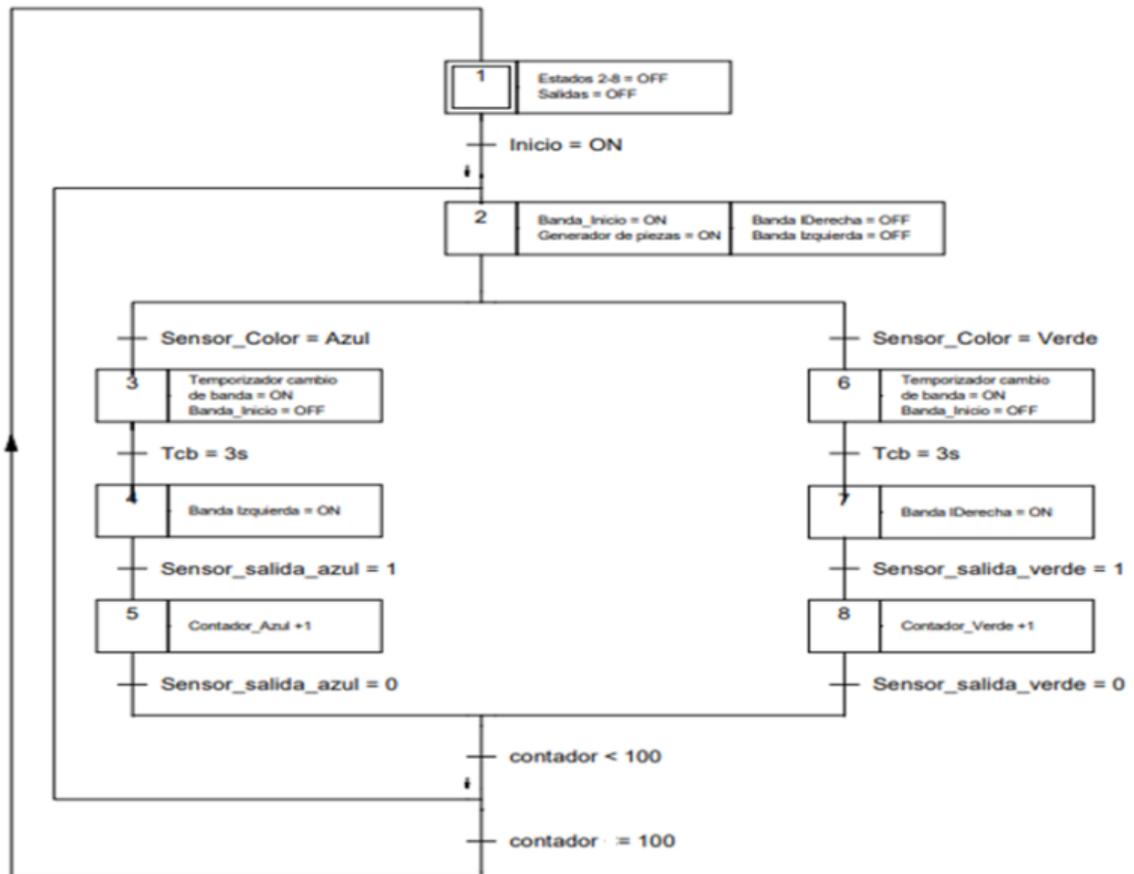


Figura 42-3: Grafcet del proceso bandas transportadoras

Fuente:(Autores, 2020)

Como se observa en la figura 30-3, la programación en el set del estado 1 cuenta con la marca de sistema “FirstScan”, “stop_button” que trae la señal desde el software Factory IO, el comparador con una combinación de sensor y estados anteriores reset desactiva el estado 1 y corresponde al estado 2.

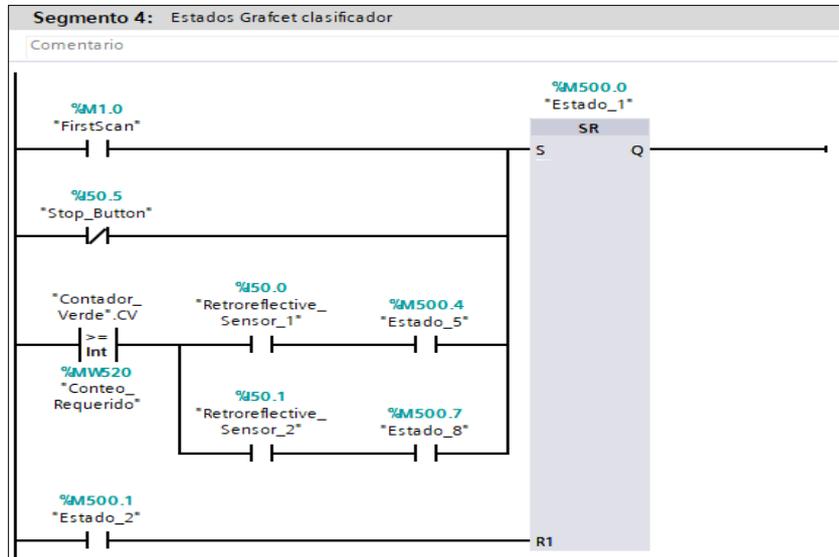


Figura 43-3: Programación del primer estado.

Fuente:(Autores, 2020)

Posteriormente la figura 31-3, muestra al estado 2 en el set “start_button” que viene desde el software Factory IO un comparador del estado anterior, la combinación entre un comparador del sensor retroreflectivo y los estados anteriores, el reset desactiva el estado 2 y se ve que es el estado 3 y el estado 6.

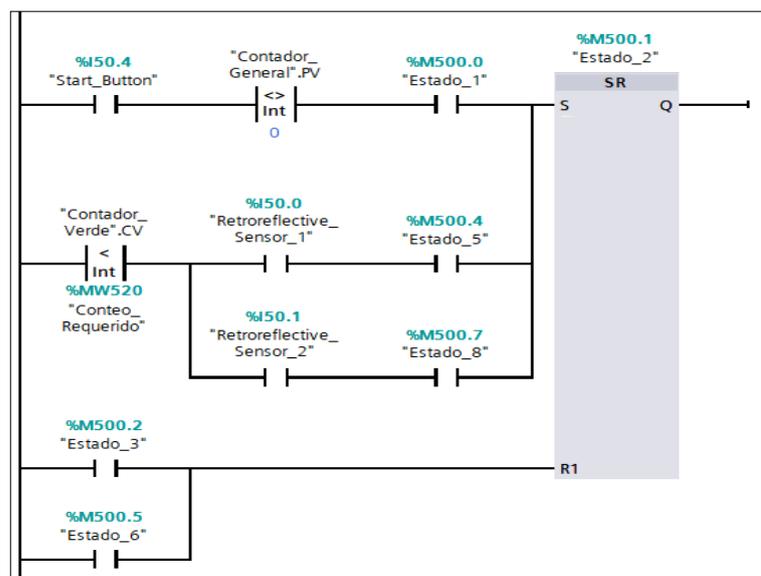


Figura 44-3: Programación del segundo estado.

Fuente:(Autores, 2020)

A continuación, en la figura 32-3, se envía la señal para el contador ascendente para la selección de piezas verdes y piezas azules.

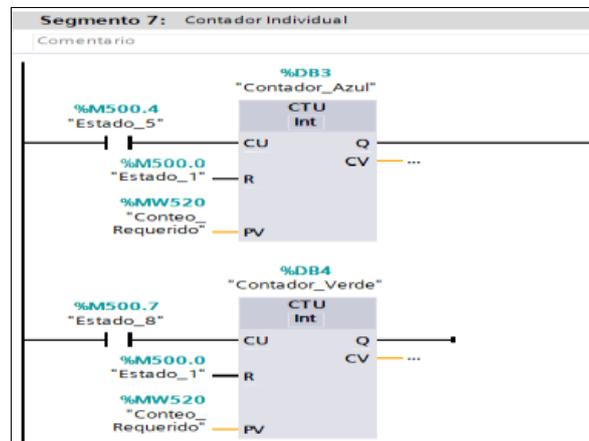


Figura 45-3: Señal para el contador.

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 33-3, el segmento que activa los actuadores se aprecia que “belt_conveyor_6m+” y “belt_conveyor_6m-” corresponde a variables vinculadas a Factory IO, en cambio las variables “enviar forward kewo” y “enviar reverse kewo” corresponde a órdenes de marcha en sentido horario y antihorario que son enviadas desde el PLC al variador de frecuencia KEWO mediante lógica cableada. Cuando los comparadores de #conteo parcial y #contador azul cumpla sus condiciones activará la salida vinculada a Factory IO “warning_light_1”.

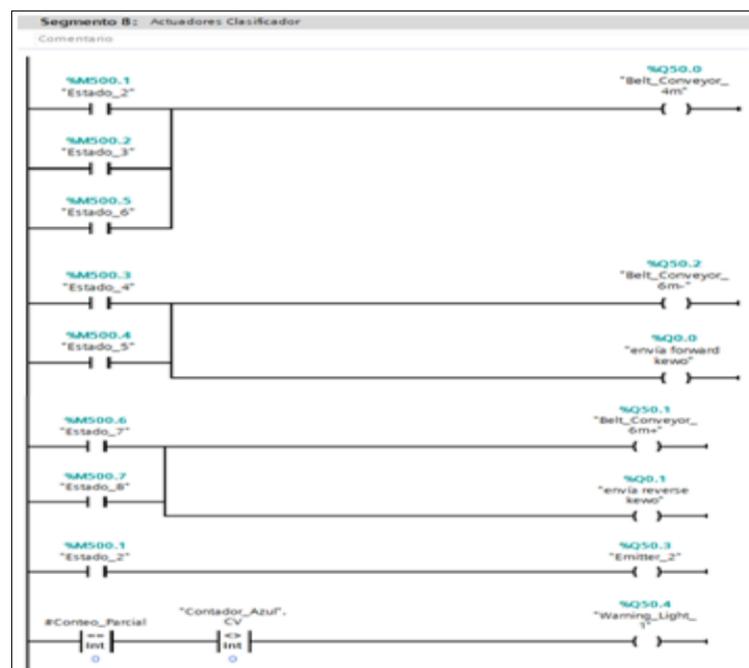


Figura 46-3: Segmento en el que se activan los actuadores.

Fuente: (Autores, 2020)

3.4.3 Programación de proceso de bombeo

La figura 34-3, es el grafcet del subproceso de consumo de agua el cual depende del nivel del tanque para realizar o no la apertura de la válvula de descarga.

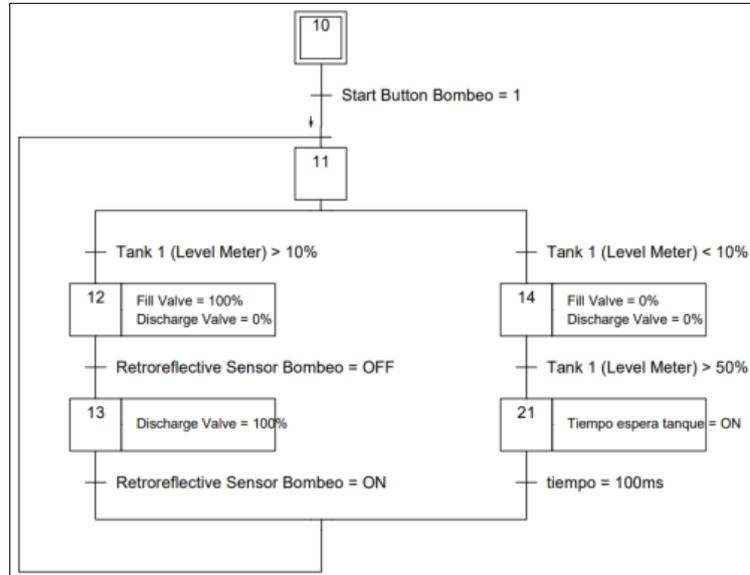


Figura 47-3: Subproceso de consumo de agua del tanque.

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 35-3, el grafcet muestra al proceso de funcionamiento de llenado del tanque de agua, notándose que el funcionamiento es proporcional al consumo de agua.

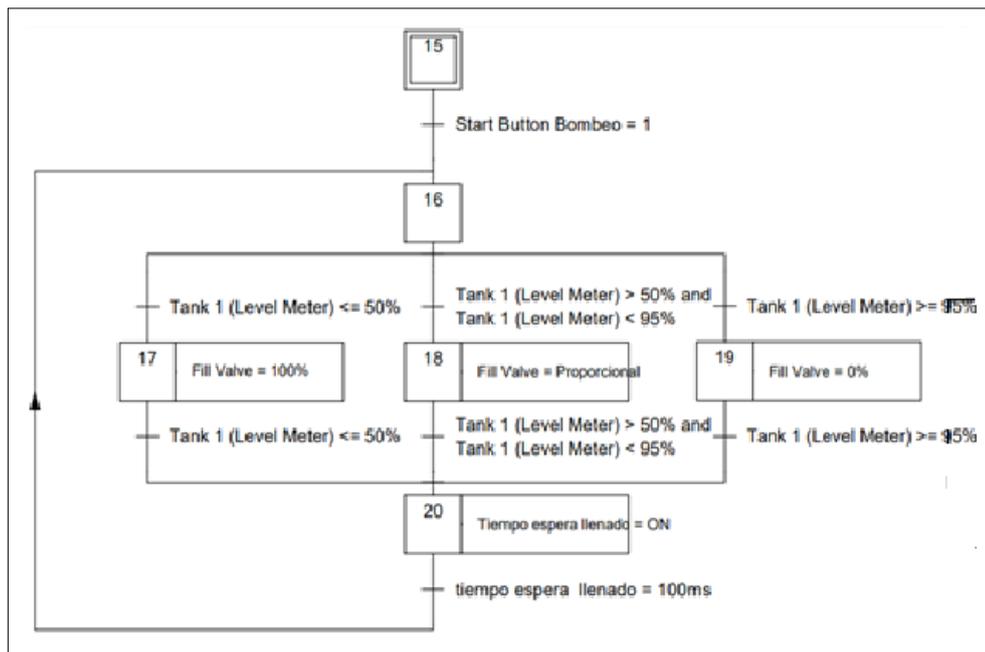


Figura 48-3: Proceso de funcionamiento del llenado del tanque.

Fuente:(Autores, 2020)

Posteriormente, se deben tratar las señales que vienen y envían al software Factory IO, por tanto, la primera señal adquirida es el nivel del tanque que se escala en porcentaje y en litros tal como se aprecia en la siguiente figura 36-3.

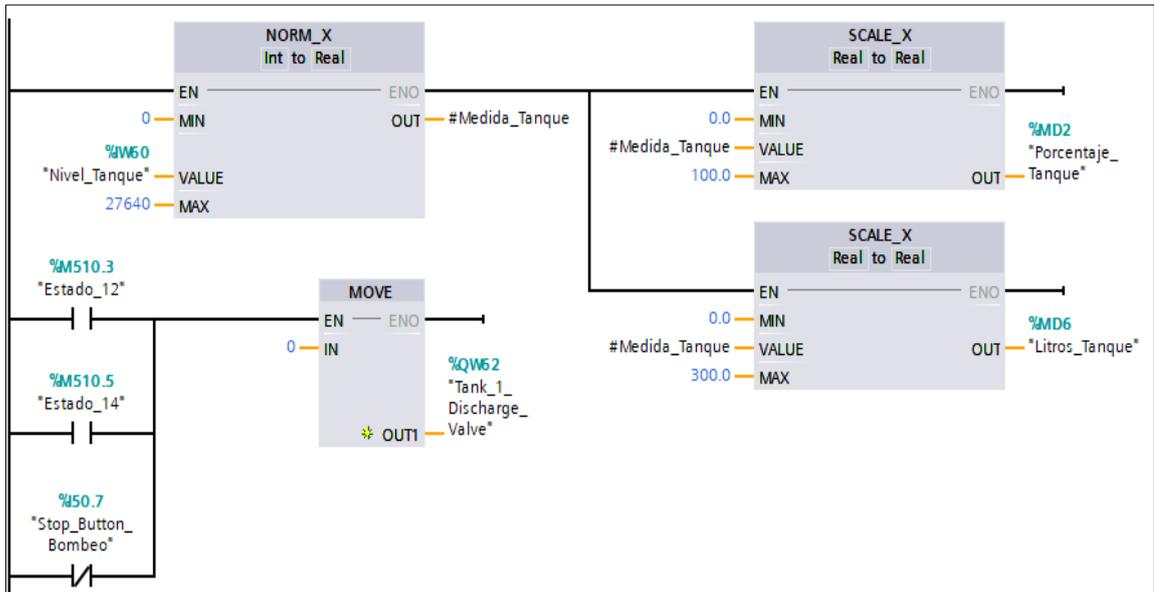


Figura 49-3: Señales que vienen y se envían al Factory IO

Fuente:(Autores, 2020)

A continuación, en la figura 37-3 se acondiciona el valor que tomará la válvula de llenado y la velocidad del variador de frecuencia, la unidad que se utiliza para el invertir es en frecuencia.

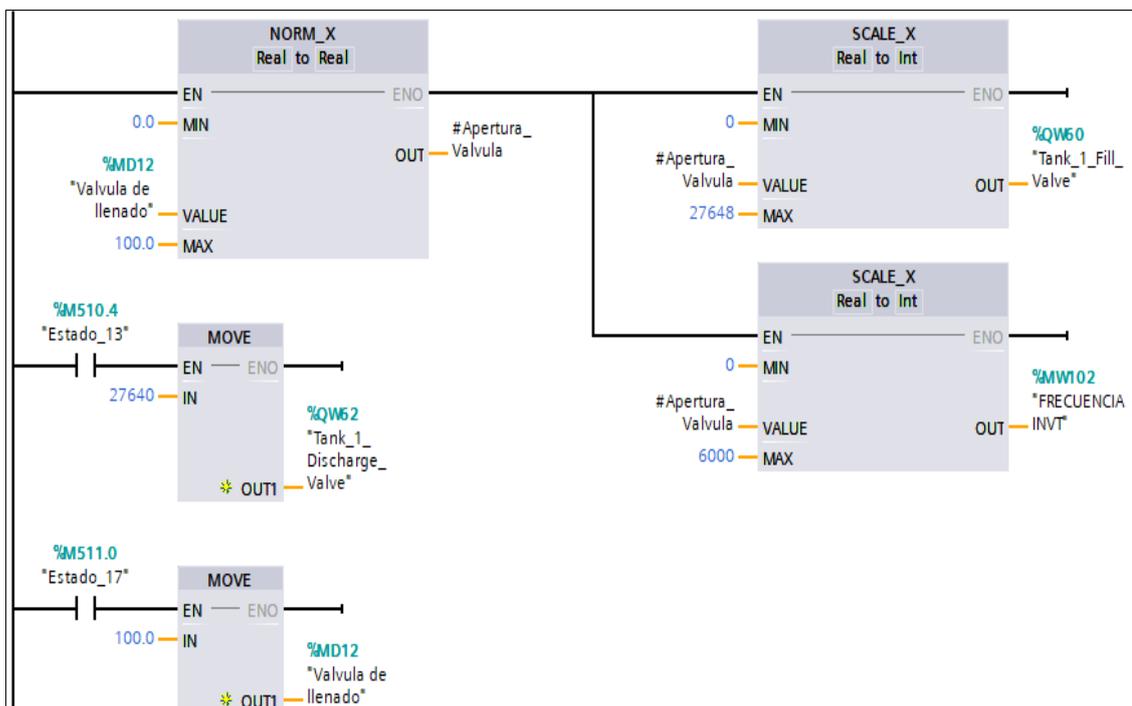


Figura 50-3: Valor que tomará la válvula de llenado y la velocidad del variador.

Fuente:(Autores, 2020)

Como se observa la figura 38-3 utiliza la instrucción SR (Set y Reset) para activar y desactivar cada uno de los estados, mediante sus transiciones. El estado 10 es activado por la marca de sistema “firstScan” o por “stop_button_bombeo”

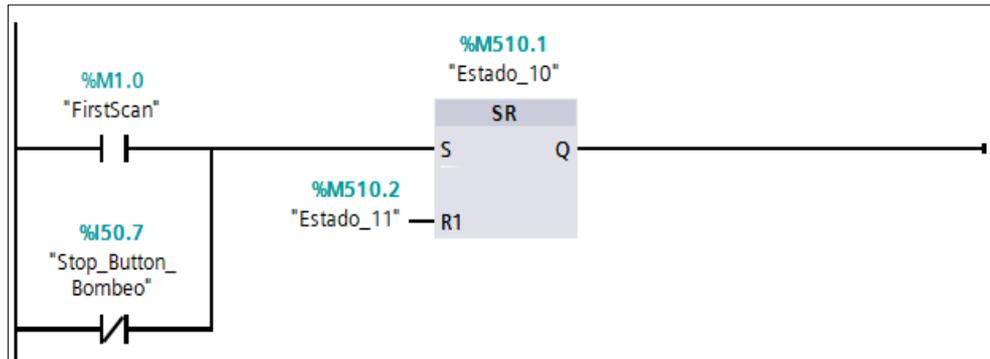


Figura 51-3: Instrucción SR (Set y Reset).

Fuente:(Autores, 2020)

De la misma manera, la etapa 11 se activa con las transiciones de las etapas anteriores, ejemplo estado 10 por “start_button_bombeo” y se desactivan con las etapas siguientes la 12 y 14. Además al ejecutarse este estado se apagará la banda que lleva los recipientes para simular el consumo del líquido figura 39-3.

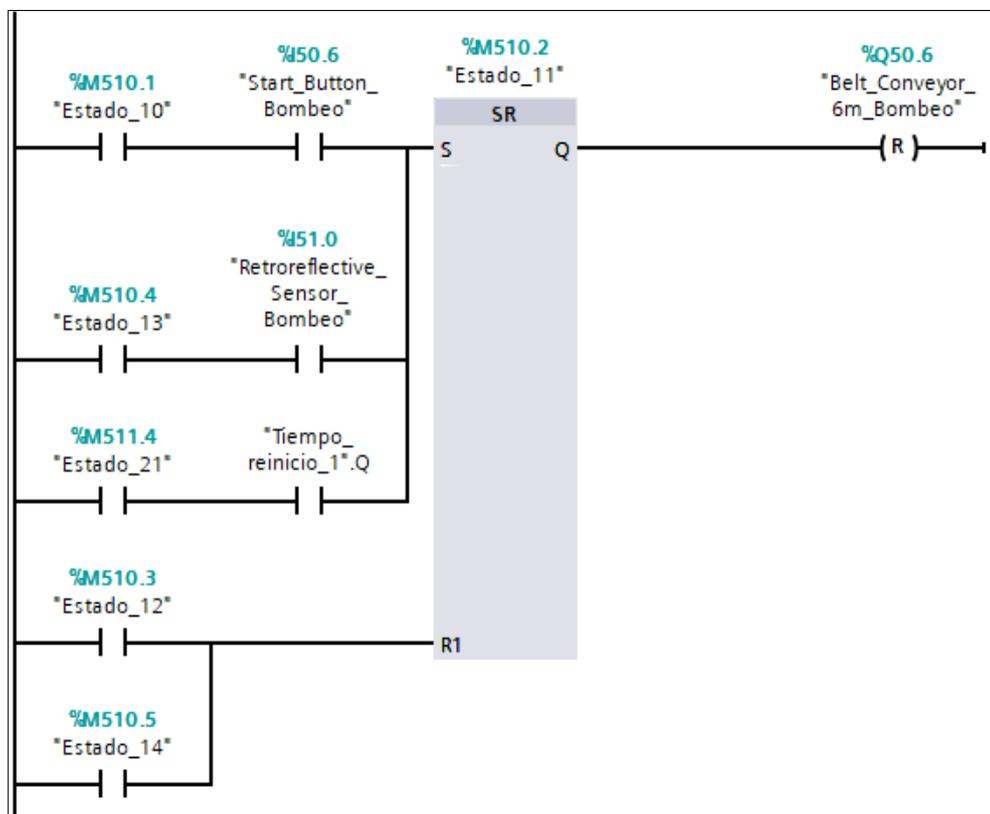


Figura 52-3: Activación de etapa 11.

Fuente: (Autores, 2020)

A continuación, la figura 40-3 muestra que el estado 12 se activa cuando el porcentaje del tanque es mayor a 10%, al mismo tiempo acciona al transportador “belt_conveyor_6m_bombeo” que es el que va a llevar a los recipientes para la simulación de consumo de líquido. El resto de las etapas del subproceso de consumo de líquido ver en el segmento 11: (1.1 / 4.1) del anexo A.

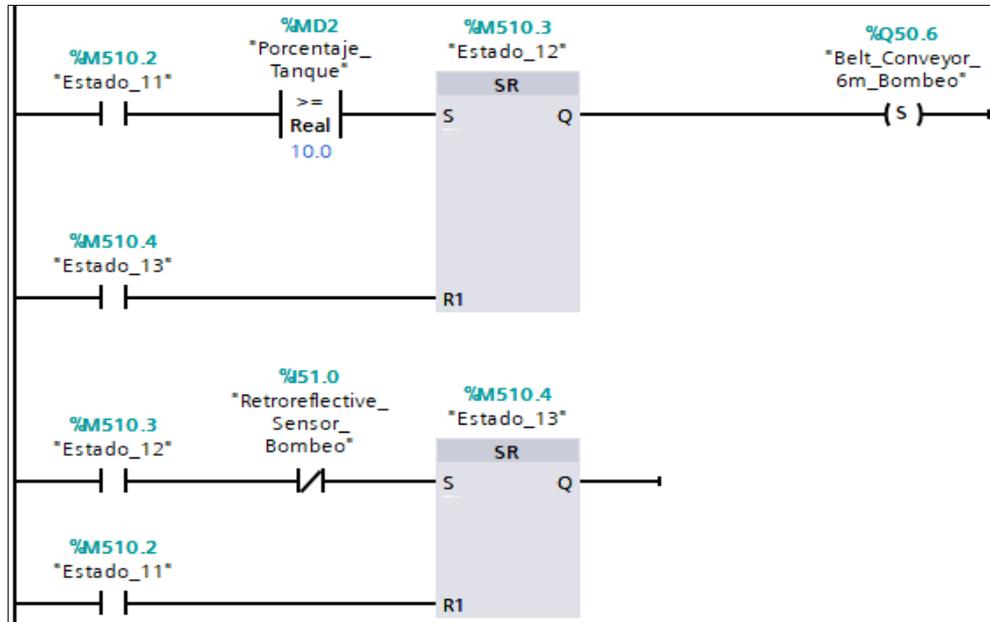


Figura 53-3: Activación de etapa 12.

Fuente: (Autores, 2020)

De manera parecida, la etapa 15 corresponde al proceso de bombeo para llenado del tanque, activada con el bit “FirstScan” o con el “stop_button_bombeo” y se desactiva con la etapa 16, ver figura 41-3.

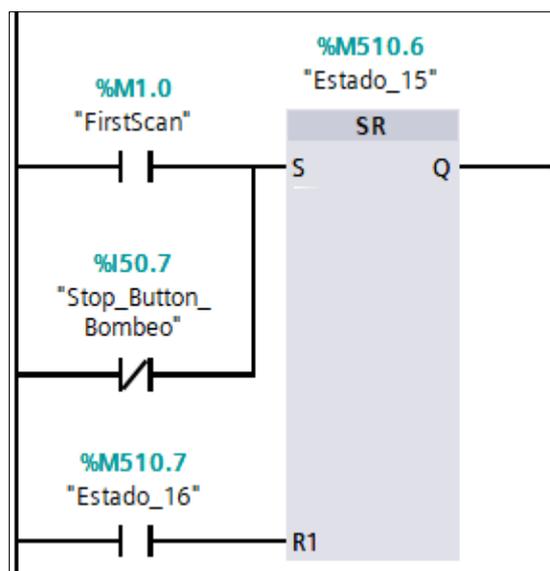


Figura 54-3: Activación de etapa 15.

Fuente: (Autores, 2020)

Como se aprecia la figura 42-3 la etapa 16 activa el inicio del proceso con “start_button_bombeo” o con la marca temporal “tiempo_reinicio”.Q, y se desactiva por las etapas anteriores, la 17, 18 y 19.

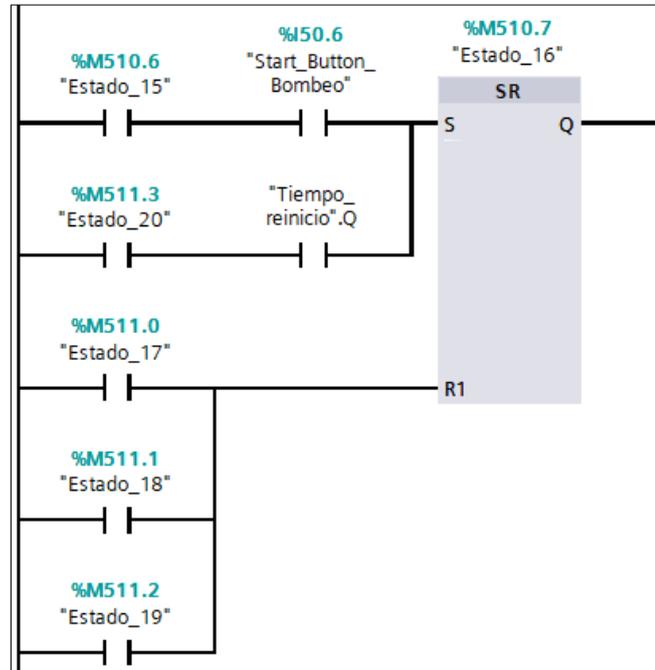


Figura 55-3: Activación de etapa 16.

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 43-3 el bloque de instrucción SR correspondiente al estado 17 este se activa con menos del 50 por ciento de nivel de agua del tanque, lo cual abriría la válvula de llenado al 100 por ciento y enviará al motor a velocidad máxima. La programación de las demás etapas revisar en segmento 11: (3.1 / 4.1) del anexo A.

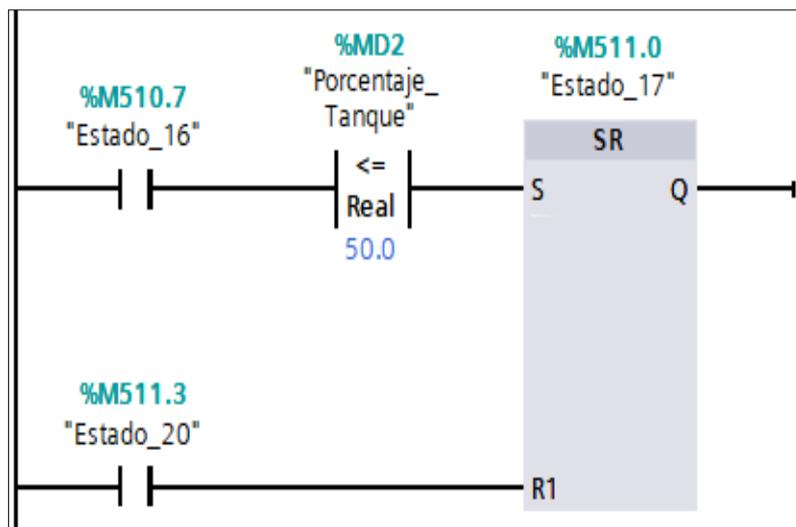


Figura 56-3: Activación de etapa 17.

Fuente: (Autores, 2020)

3.5 Desarrollo de la interfaz de la HMI.

- Se procede a agregar un nuevo dispositivo en este caso una HMI Simatic Basic panel de 6 pulgadas, el utilizado en el proyecto luego se selecciona la interfaz Profinet, que sea a color y táctil como muestra la figura 44-3.

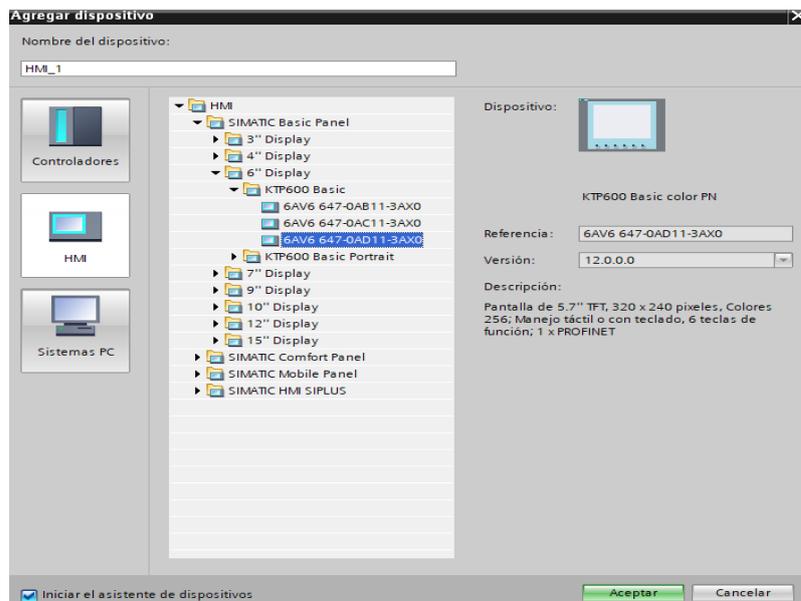


Figura 57-3: Selección de HMI Simatic Basic.

Fuente: (Autores, 2020)

- En la figura 45-3 se establece la conexión de red entre el PLC y la HMI, luego el formato imagen se deja de color blanco al cuadro de fondo, en apartado de avisos no se selecciona nada, en el ítem imágenes se genera la imagen home, menú, p bombeo y p transporte, en botones se selecciona el ícono de apagar.

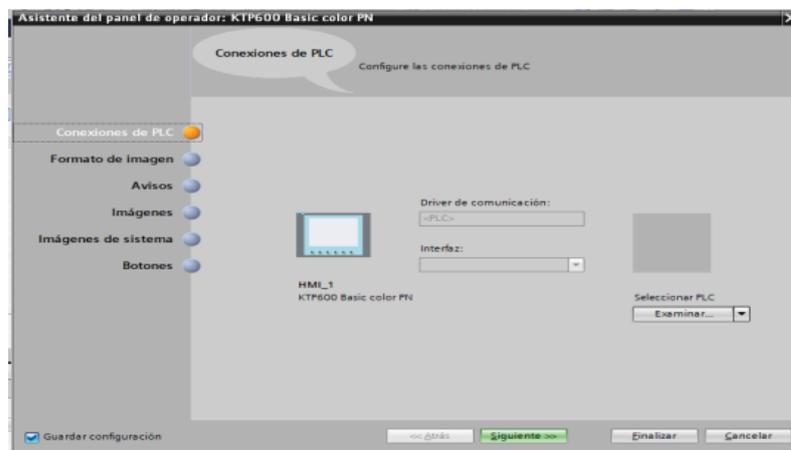


Figura 58-3: Conexión de red entre el PLC y la HMI.

Fuente:(Autores, 2020)

- En la siguiente figura 46-3 la plantilla inicial corresponde a la imagen HOME, el botón menú ya está configurado para avanzar a la siguiente plantilla o imagen.

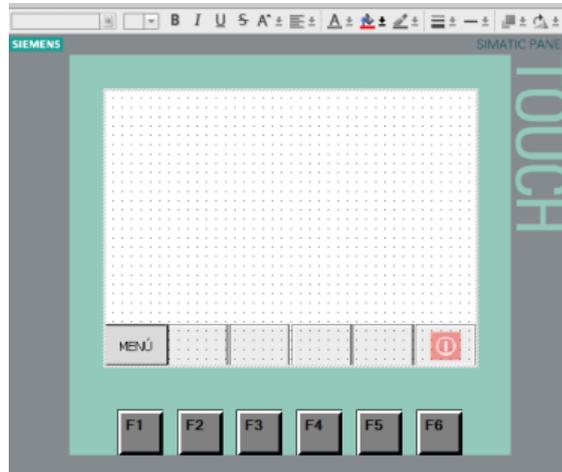


Figura 59-3: Plantilla inicial.

Fuente: (Autores, 2020)

- Posteriormente en la figura 47-3 se aprecia tres botones uno para regresar a la página inicial denominada home y dos para avanzar a cualquiera de los dos procesos simulados en este proyecto.

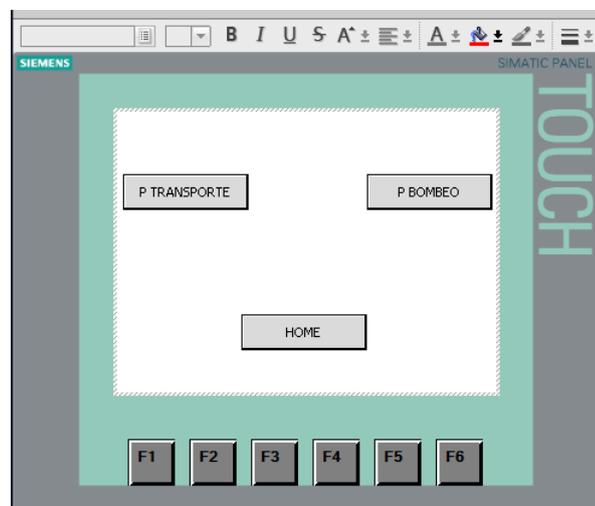


Figura 60-3: Pantalla de procesos.

Fuente: (Autores, 2020)

Al ingresar a uno de los dos procesos simulados en este caso la plantilla del sistema de bombeo, este consiste en un visualizador numérico mostrando la variación de nivel del tanque, también están dos indicadores numéricos para indicar la frecuencia y el nivel de tanque. Lo complementan imágenes que efectuarán una animación ya cumplida la condición de funcionamiento figura 48-3.

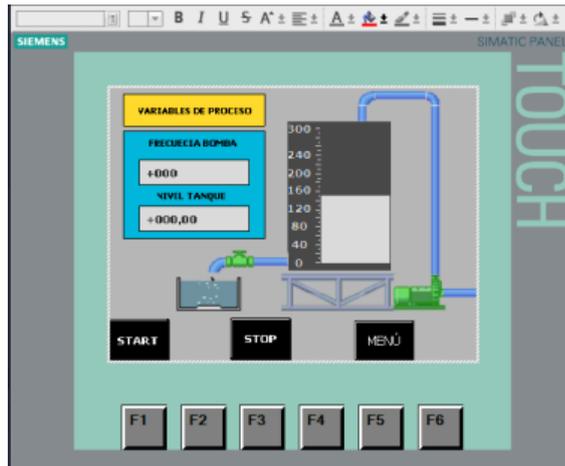


Figura 61-3: Plantilla del sistema de bombeo.

Fuente: (Autores, 2020)

Semejante a la plantilla de proceso de bombeo, en la figura 49-3 el sistema de transporte consiste en varios indicadores numéricos para el control de la cantidad de productos y para supervisión de cantidades. Además, una simulación del conteo de piezas azules y verdes.

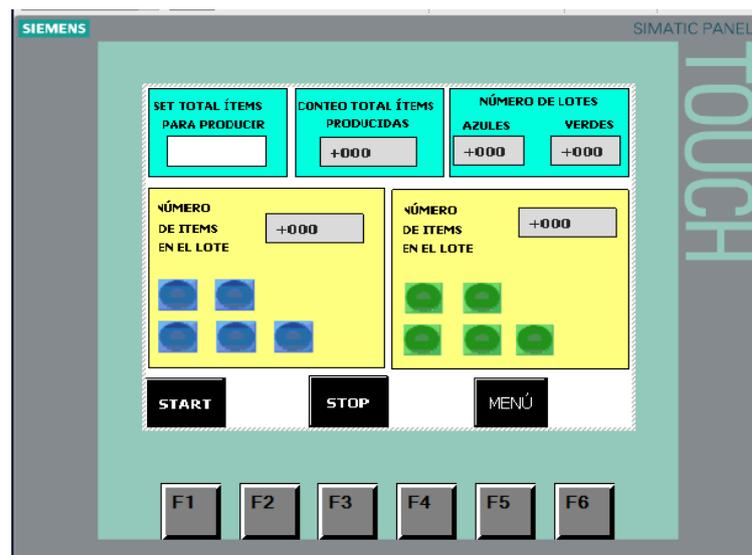


Figura 62-3: Plantilla del sistema de transporte.

Fuente: (Autores, 2020)

3.6 Pruebas de Funcionamiento

En las pruebas de funcionamiento y puesta a punto del módulo se verifica el buen funcionamiento de todos los equipos tanto virtuales que están en el software Factory IO como los equipos y dispositivos físicos del módulo que intervienen en los dos procesos industriales propuestos, que son la cinta transportadora y el sistema de bombeo en 3D, por otro lado, también se provocará fallos en los dispositivos que están dentro de los procesos ya mencionados, esto permitirá simular

las posibles fallos que se pueden presentar, con el fin de aprender, identificar y evitar fallos dentro de un proceso industrial real.

3.6.1 Bandas transportadoras

En este proceso se parte desde la pantalla HMI del sistema de transporte por bandas figura 50-3, el cual permite controlar, monitorear, supervisar el conteo y clasificación de piezas por sus 2 colores respectivamente, siguiendo las indicaciones a continuación.

- Se da un valor de piezas a realizar en la pantalla HMI dando clic en la opción set total ítems para producir, luego si se quiere iniciar el proceso desde HMI damos clic a la opción START, una vez iniciado el proceso este envía piezas de colores aleatoriamente hasta completar el valor dado inicialmente.
- Luego se visualiza en la pantalla HMI el número de piezas que se va produciendo ejemplo 3 piezas verdes y 1 piezas azul.
- Seguidamente se tiene el número total de piezas producidas que se da inicialmente por ejemplo 20 piezas producidas con un total de 2 lotes azules y 1 lote verde.
- Posteriormente cumplida la producción requerida solo se da doble clic en la opción STOP y automáticamente se restablecerá para dar un nuevo valor e iniciar otra producción.



Figura 63-3: Sistema de transporte de bandas en HMI

Fuente: (Autores, 2020)

El proceso se realiza en la pantalla HMI del módulo físico, esta vez será desde el software FACTORY IO figura 51-3, donde se indica cómo realizar el proceso a diferencia del anterior.

- En el proceso 3D de bandas transportadoras, antes de iniciar el proceso todos los elementos del sistema se encuentran en buen funcionamiento, envían una señal a los reflectivos de los sensores, los actuadores están sin funcionar y el sensor de color no envía señal esto se debe a que aún no se da inicio al proceso de transportar y clasificar las piezas por su color.
- También se podrá presionar inicio desde el equipo HMI o desde el software Factory IO donde se encuentra un tablero virtual, para empezar el proceso se da clic desde el tablero virtual en el pulsador color verde.
- De igual forma que en el HMI, en el tablero virtual del software Factory IO se visualizara el conteo de piezas producidas ejemplo 3 piezas verdes y 1 pieza azul.
- Una vez finalizado el proceso se tiene los contadores en cero y está a la espera de un nuevo número de piezas a fabricar.

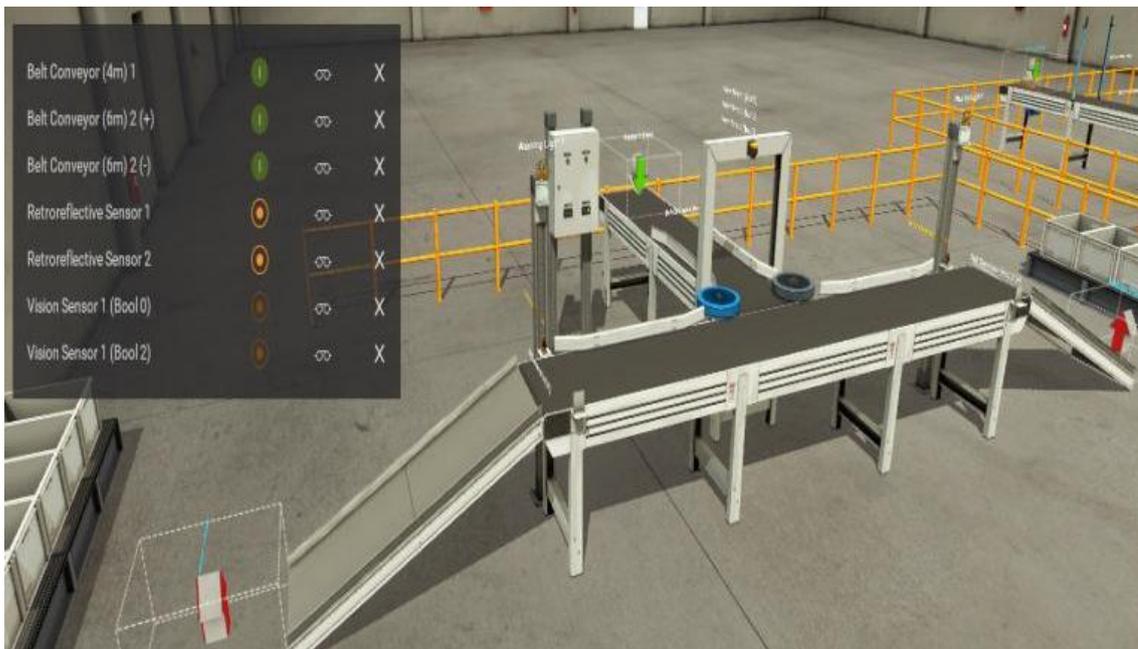


Figura 64-3: Sistema de transporte de bandas en FACTORY IO.

Fuente: (Autores, 2020)

Si vamos al software TIA PORTAL en la figura 52-3, vemos la programación que se realizó para el proceso el cual se indica a continuación.

- Para que inicie el proceso se necesita que este activada el estado 1, en la pantalla HMI se dará un número de piezas a fabricar al set total de ítems para producir, luego de este paso se puede dar inicio y reset tanto desde el HMI como desde FACTORY IO donde está el proceso de las bandas transportadoras en 3D.

- El proceso empieza una vez dada la orden de inicio y el número de piezas que serán contadas y ubicadas por su color.
- A los contadores les activan las etapas 5 y 8, el primero para azul y el segundo para verde. Esta todo en correspondencia al GRAFCET y coincide con la HMI y Factory IO.
- De igual forma que los métodos anteriores el contador general estará en 20 piezas, el contador por colores son 2 azules y 1 verde.

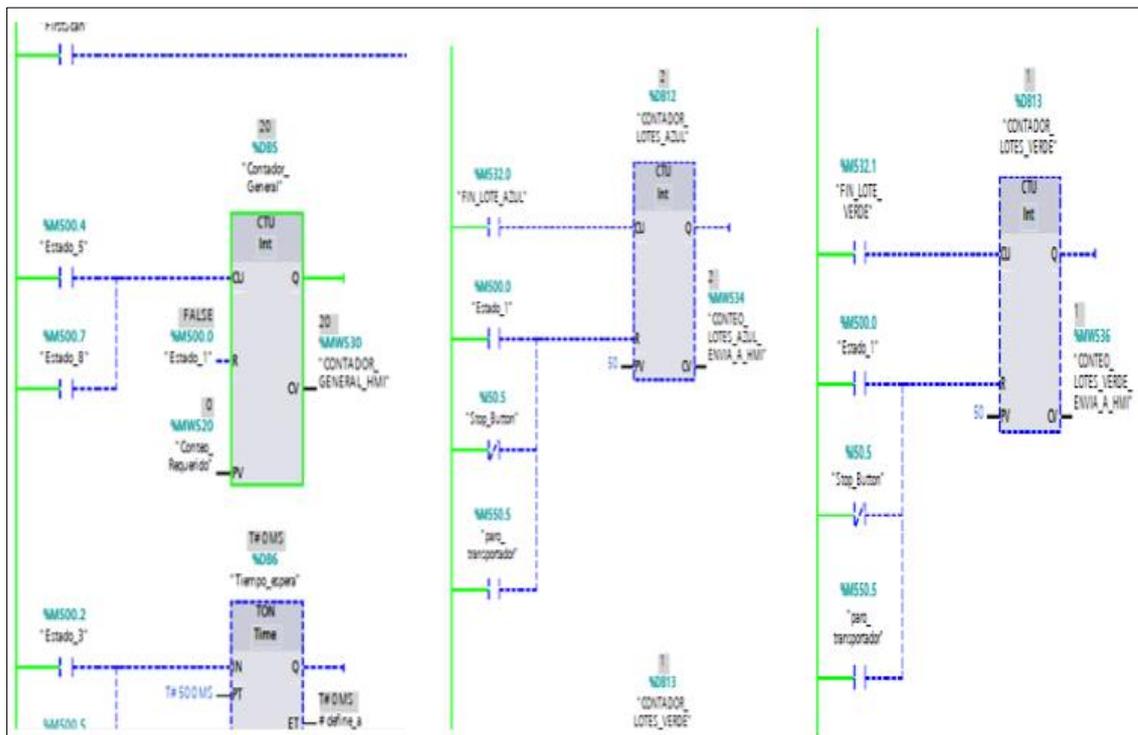


Figura 65-3: Contador general en el Grafcet del sistema de transporte de bandas

Fuente: (Autores, 2020)

3.7 Generación de fallos

3.7.1 Fallo en el sensor de visión

Tomando en cuenta que FACTORY IO es un software de simulación de procesos, entonces se realizara simulación de fallos que podrían suceder en estos procesos tal como se observa a continuación.

- Con 12 piezas a producir se genera un fallo en el sensor de visión, en este se da inicio desde la pantalla HMI para verificar su funcionamiento figura 53-3.
- Las 12 piezas totales son producidas, pero solo serán contadas las piezas de color verde y las piezas azules generadas no aparecerán ni serán contabilizadas en la pantalla HMI.



Figura 66-3: Contador total en la pantalla HMI.

Fuente: (Autores, 2020)

Como se señaló el software Factory IO permite realizar varias funciones una de ellas la de generar fallos en diferentes dispositivos virtuales, ahora se provoca un fallo en el sensor de visión, dando como resultado lo siguiente.

- En la figura 54-3, el sensor de visión no detecta las piezas azules llegando a provocar una acumulación de piezas, pero detecta las piezas de color verde y la banda transportadora sigue su función, que a su vez arrastra las piezas azules generando un lote defectuoso por piezas de dos colores diferentes.

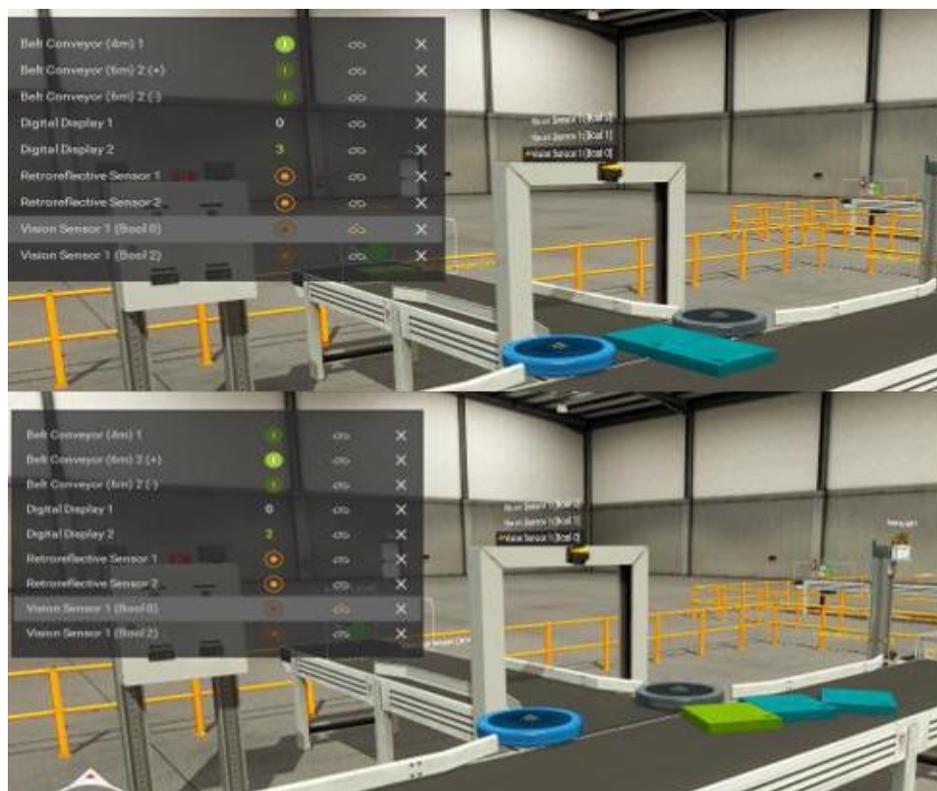


Figura 67-3: Fallo sensor de visión color azul

Fuente: (Autores, 2020)

- De similar manera en la figura 55-3 el sistema no reconoce el fallo, por tanto, la banda transportadora de 6 metros no cumple su función permitiendo que se acumulen tantas piezas de color azul pudiendo caer al piso y el sistema se detendrá cuando cuente 12 piezas verdes.

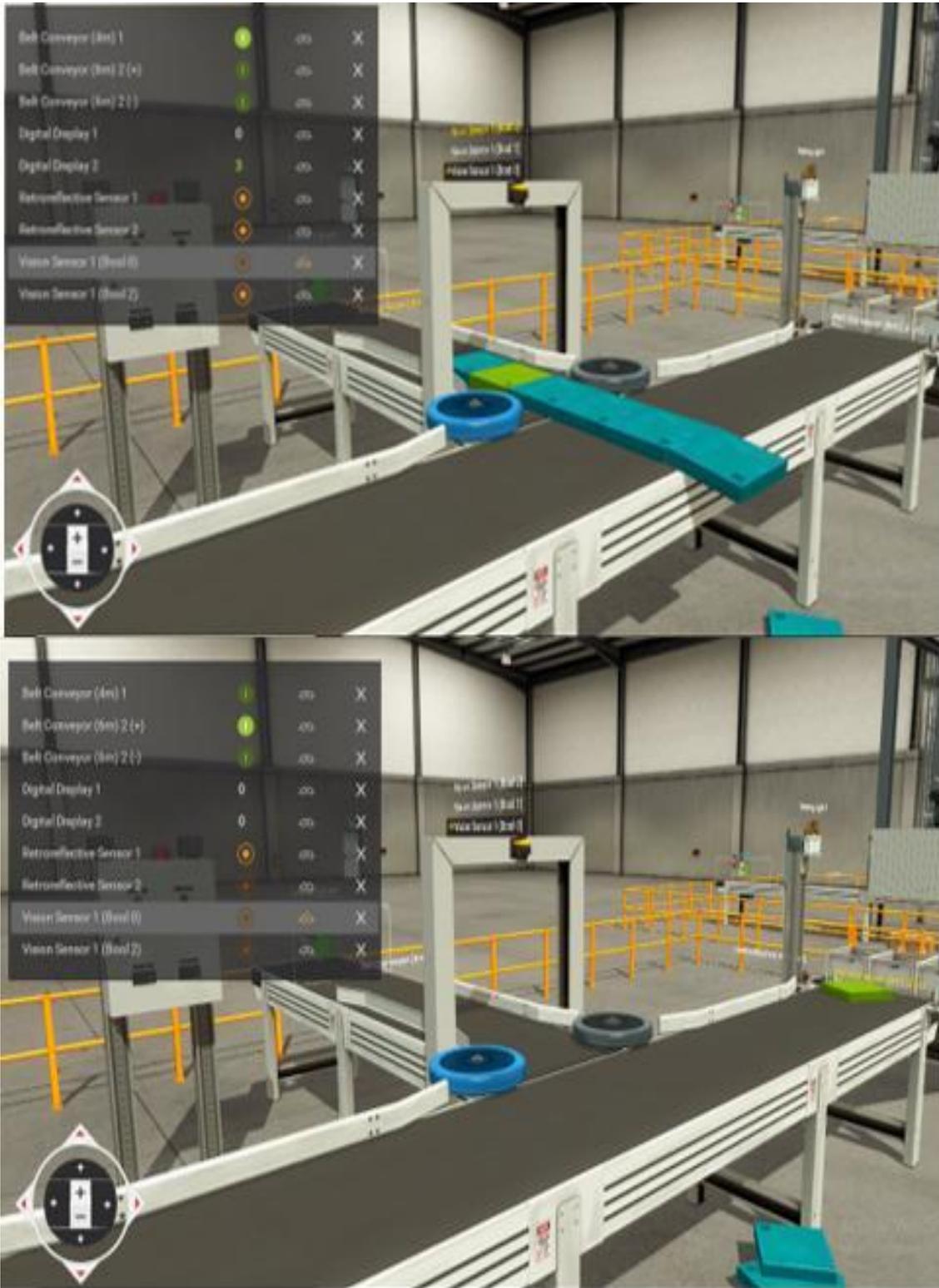


Figura 68-3: Acumulación de piezas por fallo de sensor de color azul.

Fuente: (Autores, 2020)

3.7.2 Fallo de la cinta transportadora de 6m

La pantalla HMI muestra lo que se va a generar figura 56-3, al producir 8 piezas desde la pantalla, ya iniciado y finalizado el proceso se aprecia en el HMI que no existe conteo alguno por el fallo generado a la cinta transportadora de 6 metros.

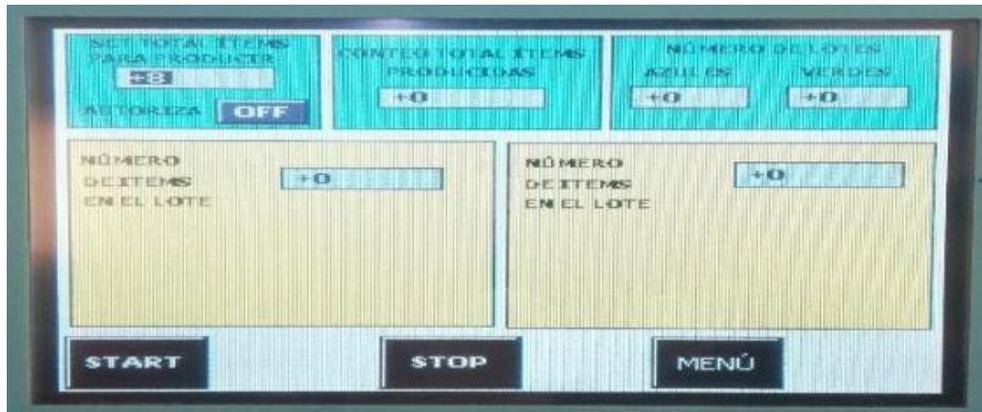


Figura 69-3: Conteo en cero por fallo de banda transportadora de 6 metros.

Fuente: (Autores, 2020)

Al generar un fallo en la banda transportadora figura 57-3, este tiene como funcion girar en sentido horario y antihorario según el color de la pieza, este fallo permite que la banda gire a un solo sentido.

- Como se menciona es posible simular fallos, para este caso se lo realiza en la (belt conveyor) cinta transportadora de 6 metros.
- El sensor de visión reconoce perfectamente las piezas azules y verdes, pero la banda esta impedida de girar al sentido antihorario el cual es asignada a las piezas de color azul y estas quedan a la entrada de la banda sin poder movilizarse.



Figura 70-3: Banda transportadora sin movimiento.

Fuente: (Autores, 2020)

3.8 Prueba funcionamiento del sistema de bombeo

Al proceso de transporte se puede dar inicio desde la pantalla HMI, en el proceso de bombeo igualmente se lo puede realizar figura 58-3, teniendo en la pantalla HMI el nivel de agua del tanque ya sea mínimo o al nivel máximo que son 290 litros, además podrá verse la frecuencia de la bomba según el nivel del agua.



Figura 71-3: Proceso de bombeo en pantalla HMI

Fuente: (Autores, 2020)

La figura 59-3 del proceso de sistema de bombeo consiste en llenar proporcionalmente el tanque desde la mitad del nivel, 150 litros hasta aproximadamente 290 litros tal como se detalla a continuación.

- Se da inicio al proceso de bombeo desde la pantalla HMI o desde Factory IO.
- Luego dada la orden de arranque, el varriador activa la bomba a su máxima capacidad y la valvula de llenado se abre completamente. El sistema de banda aun no se acciona hasta que el tanque haya superado el nivel de 150 litros al cual esta configurado.
- Ya superado el nivel de 150 litros, el sistema empieza a trabajar con un bombeo proporcional y el sistema de banda empieza a emitir envases para que pueda consumir el liquido. En este caso se hace con cajas de diferentes tamaños ya que el software FACTORY IO no cuenta con un sistema virtual de embotellamiento de agua por ahora.
- Luego que el sistema de banda empieza a mover los contenedores, el sensor reflectivo activa la valvula de descarga al 100%, además el sistema regula la velocidad para compensar el consumo.

- Una vez el tanque lleno se detiene el proceso de bombeo pero el sistema de banda sigue funcionando y sigue consumiendo agua hasta llegar al nivel de 150 litros, donde nuevamente se reinicia el proceso de bombeo proporcional.



Figura 72-3: Sistema del proceso de bombeo en FACTORY IO

Fuente: (Autores, 2020)

De igual forma que el proceso de bandas se observa en el software TIA PORTAL, la programación que se realizó para el proceso de bombeo el cual se muestra a continuación.

- Para que el proceso de bombeo empiece se da inicio desde la pantalla HMI y este pasara a la etapa 11 figura 60-3, de esta manera se activa la bomba de llenado y empieza su función para la que está configurado.

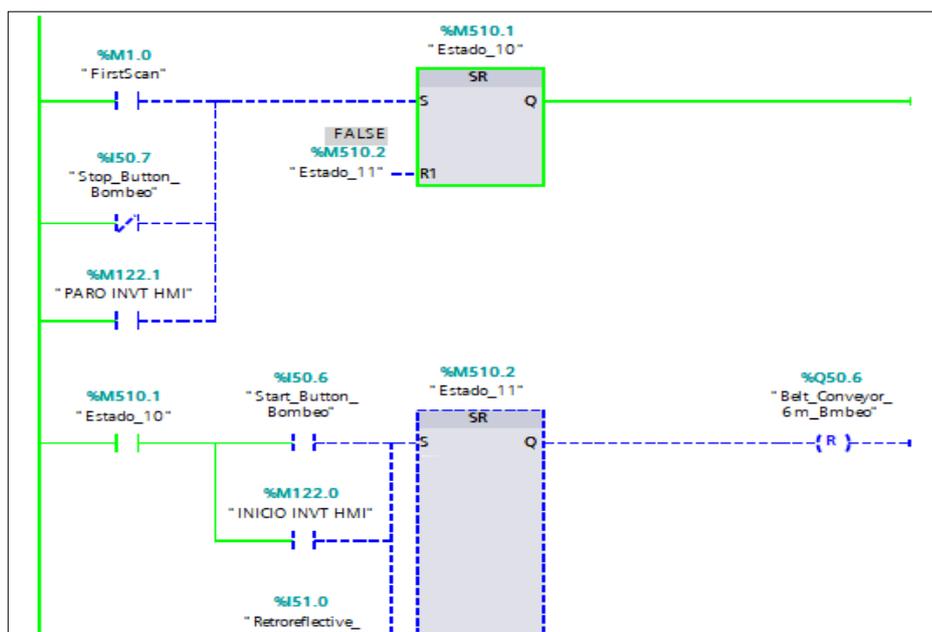


Figura 73-3: Grafcet etapa 11

Fuente: (Autores, 2020)

- Posteriormente la figura 61-3, muestra que se ha movido el valor 16#0001 a la marca MW100 que sirve para dar el arranque al variador de frecuencia por medio de comunicación industrial MODBUS RTU.

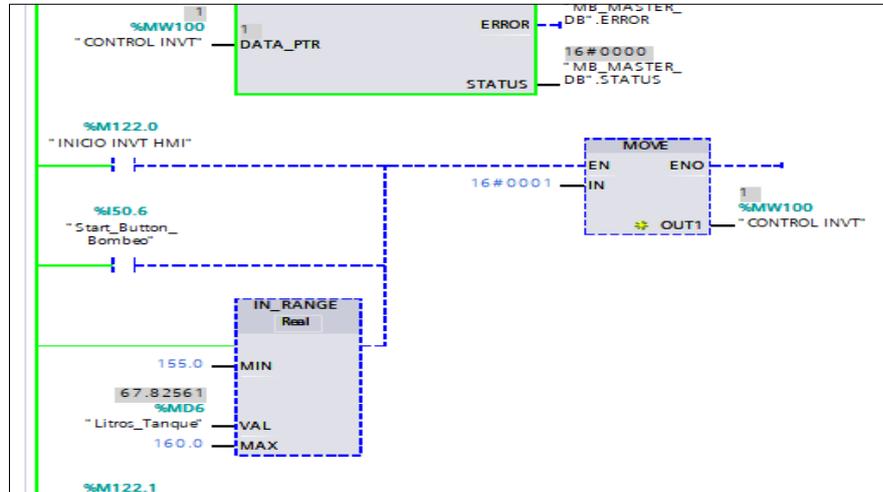


Figura 74-3: Grafcet de comunicación.

Fuente: (Autores, 2020)

- Luego en la figura 62-3, en programación su activación de etapas porque se encuentra en ese rango de funcionamiento de los comparadores mayor y menor que.

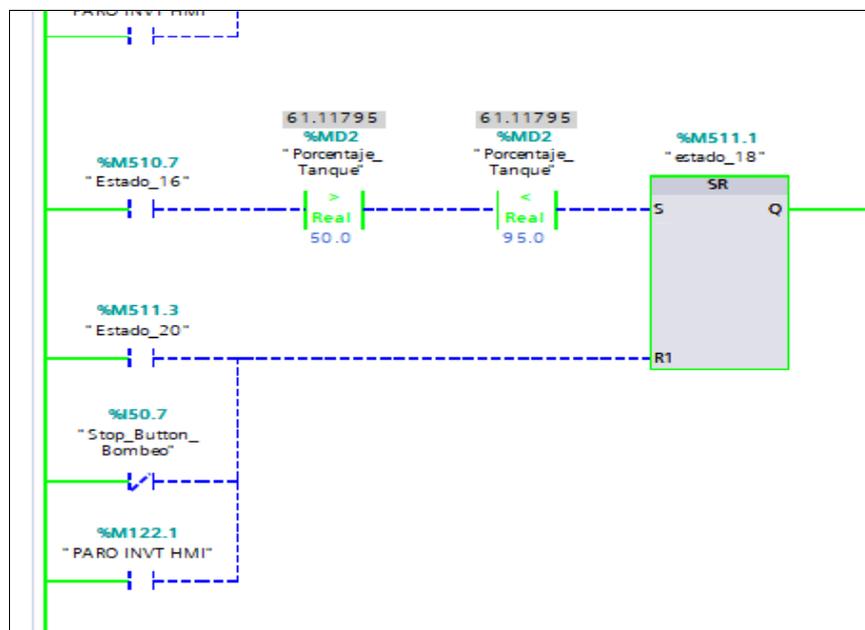


Figura 75-3: Grafcet activación de etapas.

Fuente: (Autores, 2020)

Como se observa en la figura 63-3 cuando el envase pasa, el sensor detecta y en la programación abre completamente la valvula de llenado.

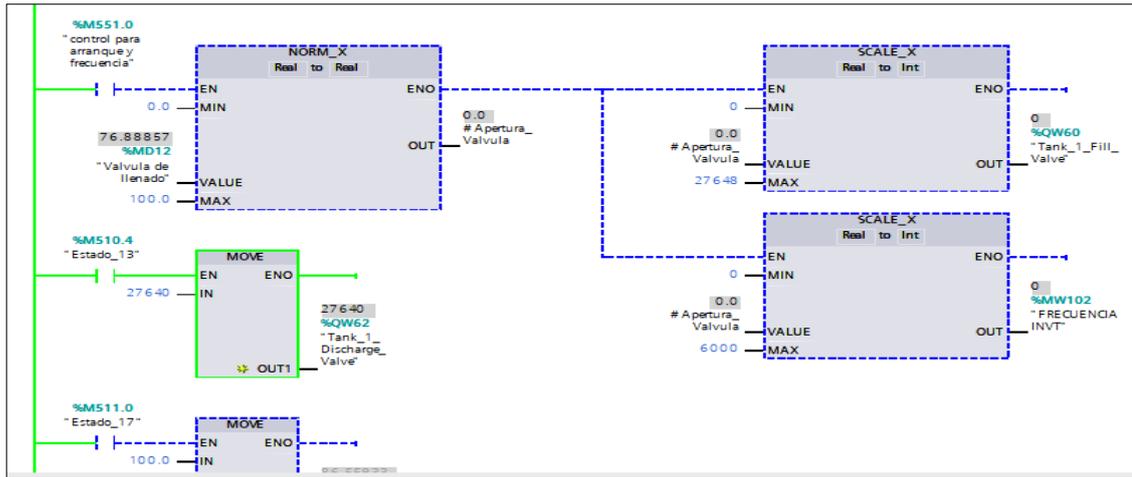


Figura 76-3: Graficet aperturas de válvulas.

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 64-3, la M551.0 es el permisivo para el funcionamiento de apertura de válvula y frecuencia cuando vuelve a arrancar el proceso de bombeo.

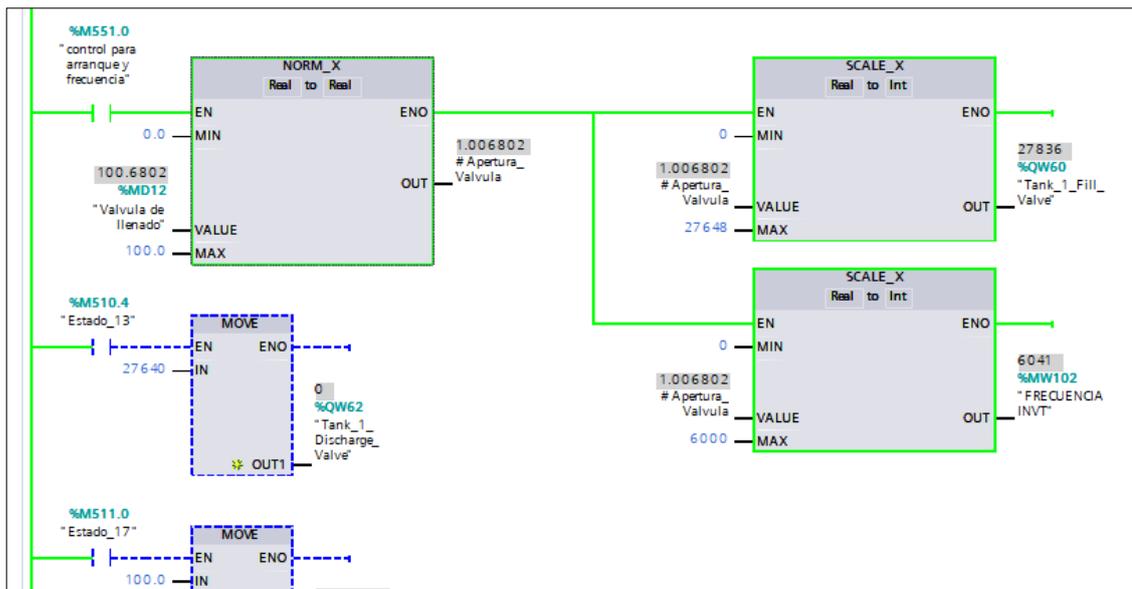


Figura 77-3: Graficet funcionamiento de válvulas.

Fuente: (Autores, 2020)

3.9 Fallos en el sistema de bombeo

3.9.1 Fallo sensor de nivel de agua del tanque

Al proceso de bombeo también se realizará fallos, el cual permite simular el software FACTORY IO, en esta ocasión se ocasiona un fallo en el sensor analógico de nivel de agua figura 65-3, dando como resultado lo siguiente.

- Se da inicio desde la pantalla HMI y el proceso empieza con la bomba funcionando a su maxima capacidad.
- El sensor no determina el nivel del tanque a 150 litros por tanto no regula la velocidad proporcionalmente y tampoco inicia el proceso de bandas para el consumo de agua, consiguiendo que la bomba siga funcionando a su máxima capacidad y llegando al máximo nivel de llenado de tanque.



Figura 78-3: Sensor analógico de nivel de agua dañado.

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 66-3 al contar con este fallo del sensor analógico de nivel de agua, se nota que en el software TIA PORTAL el valor que llega a la marca IW60 el nivel tanque es cero.

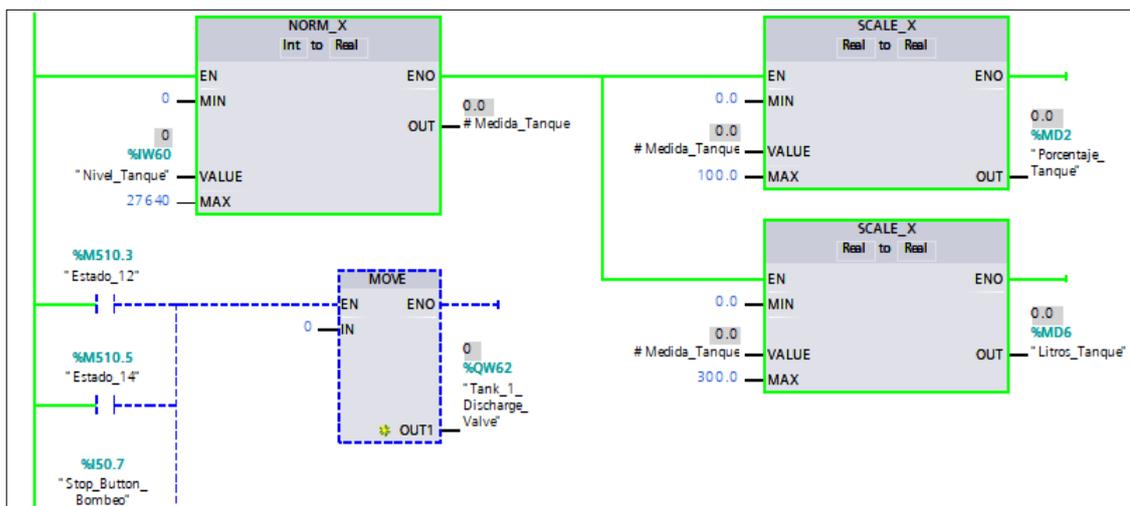


Figura 79-3: Grafcet nivel del tanque.

Fuente: (Autores, 2020)

La figura 67-3 muestra al variador de frecuencia INVT que está a 60hz, trabajando a su máxima capacidad cuando el tanque está completamente lleno.



Figura 80-3: Variador INVT.

Fuente: (Autores, 2020)

3.9.2 Fallo válvula de descarga del sistema de bombeo

Otro modo de fallo que puede suceder es en la válvula de descarga figura 68-3, ocasionando que la solenoide que genera la activacion no abra la valvula de descarga el cual produce lo siguiente.

- El proceso inicia normalmente y se nota que la bomba funciona al máximo porque el nivel de agua es el minimo.
- Luego de dar inicio una vez superado el nivel de 150 litros el sistema de banda empieza a funcionar y el sensor envia la señal de abrir la valvula de descarga pero esta no obedece, sin embargo no hay nada que diga que este dañado la valuvula por tanto los envases pasan pero no consumen agua.
- Posteriormente siguen pasando los contenedores, pero el nivel del tanque esta al máximo, la bomba de llenado del tanque se apaga, pero no se prendera porque no existe consumo.

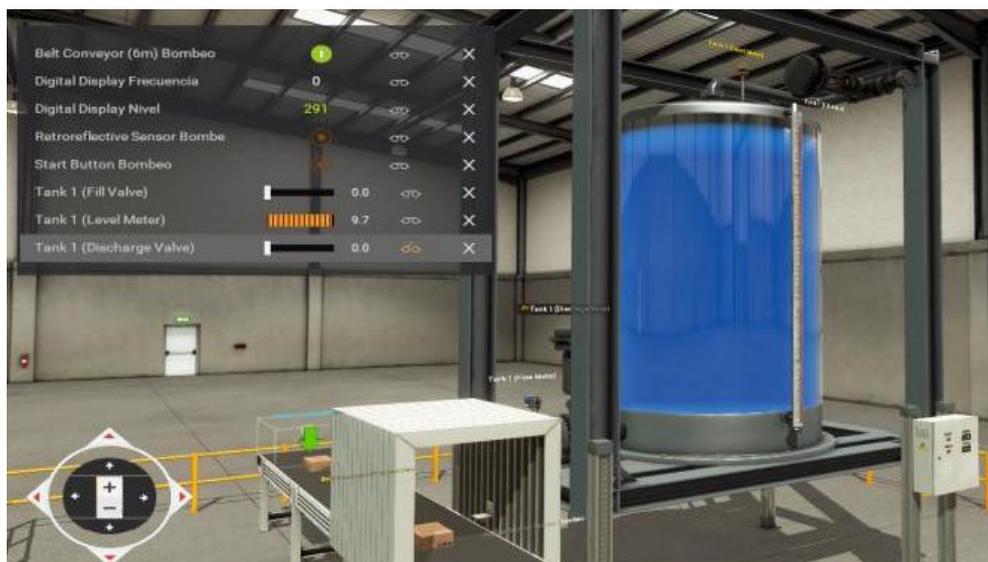


Figura 81-3: Válvula de descarga con fallo.

Fuente: (Autores, 2020)

En la figura 69-3, en la pantalla HMI muestra el nivel del tanque al máximo, pero no existe consumo.



Figura 82-3: Contenedor en la pantalla HMI.

Fuente: (Autores, 2020)

4 GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Recursos humanos

- Director
- Miembro
- Postulantes

4.2 Cronograma de actividades

En el cronograma de actividades se encuentra el desarrollo de trabajo de titulación, ver en la tabla 2-4.

4.3 Recursos y materiales

- Software FACTORY IO (Versión de prueba), software TIA Portal.
- PLC, variador de frecuencia, HMI.
- Pc portátil, multímetro y herramientas menores.

4.4 Recursos económicos

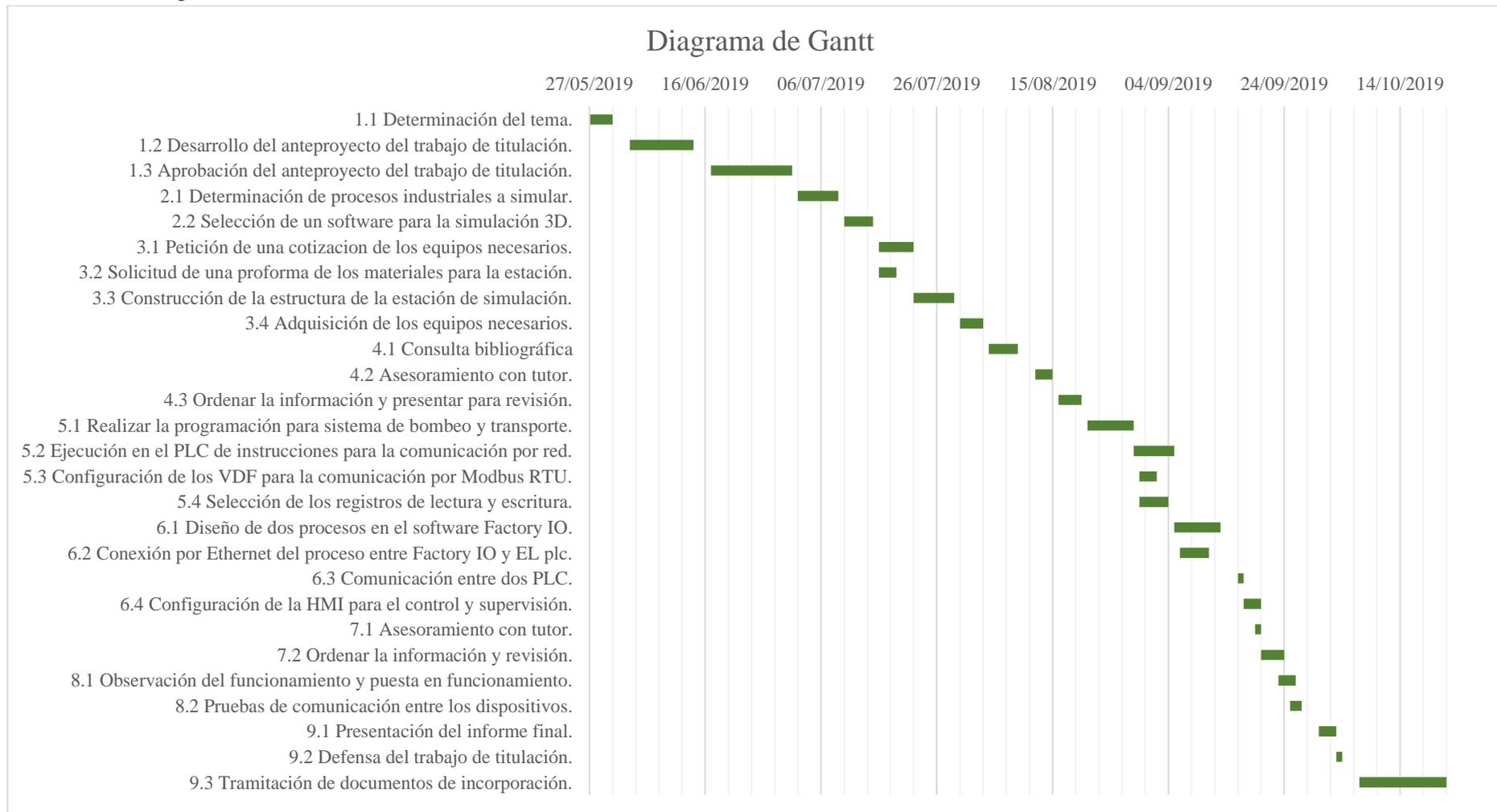
Tabla 1-4: Costos y financiamiento del proyecto

COSTOS Y FINANCIAMIENTO			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
COSTOS DIRECTOS			
1	VDF Danfoss FC51 1HP 220VAC, (sin panel de operación LCP).	270,00	270,00
1	VDF LS IG5-A 1HP 220VAC	275,00	275,00
2	Módulo de comunicación CM1241 RS-485	235,00	470,00
2	Conector Profibus sin borne a PC 90°	60,00	120,00
1	Cable Profibus y Ethernet	40,00	40,00
1	SIMOTICS IE1 Estándar 3600RPM, 1HP 220VAC	70,00	70,00
1	SIMOTICS IE1 Estándar 1800RPM, 1HP 220VAC	75,00	75,00
1	Estructura para estación de simulación	150,00	150,00
1	Material eléctrico	80,00	80,00
COSTOS INDIRECTOS			
1	Copias	40,00	40,00
3	Empastados	10,00	30,00
1	Gastos Varios	60,00	60,00
TOTAL			1680,00

Fuente: (Autores, 2020).

Realizado por: (Autores, 2020).

Tabla 2-4: Cronograma de actividades



Fuente: (Autores, 2020).

Realizado por: (Autores, 2020).

4.5 Manual de operación y mantenimiento

4.5.1 Manual de operación

El presente manual de operaciones cuenta con la información necesaria para llevar a cabo de manera precisa y secuencial, las tareas y actividades operativas que son asignadas a cada una de los procesos simulados, determina la responsabilidad e identifica los mecanismos básicos para la instrumentación y el adecuado desarrollo, con el propósito de generalizar y unificar los criterios básicos para el funcionamiento del módulo. A su vez es importante contar con el respectivo manual de mantenimiento el cual se lo puede observar en el anexo B.

4.5.1.1 Instrucciones de seguridad.

- Usar el equipo de protección personal.
- El módulo sólo permite un funcionamiento seguro y adecuado a una tensión de 220VAC.
- Mantener el tablero de distribución con la puerta cerrada.
- No golpear el eje o flecha de los motores..
- Mantener en un lugar seco y a temperatura no mayor a 35 grados centígrados.

4.5.1.2 Procedimiento.

A continuación, se describen los pasos para utilizar el módulo y realizar una práctica:

Paso 1: Seguir las instrucciones de seguridad.

Paso 2: Girar manualmente el eje del motor en ambos sentidos y comprobar que no esté atascado.

Paso 3: En la figura 1-4 se tiene un interruptor de candado color rojo de 20 amperios, se debe girar de la posición OFF a la posición ON para energizar los equipos del módulo.



Figura 83-4: Interruptor de candado.

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 4: En la figura 2-4 en el computador se debe buscar y conectar a la red inalámbrica del módulo que emite el router de la marca Tp-link instalado en la parte posterior del módulo, esta red inalámbrica esta con el nombre de TP-Link_36B4 e ingresamos con la siguiente contraseña 90676765.



Figura 84-4: nombre de red inalámbrica

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 5: Luego de conectarse a la red inalámbrica TP-Link_36B4 se modificará la dirección IP para que se pueda conectar el computador con el módulo en conexiones de red tal como se indica en la siguiente figura 3-4.

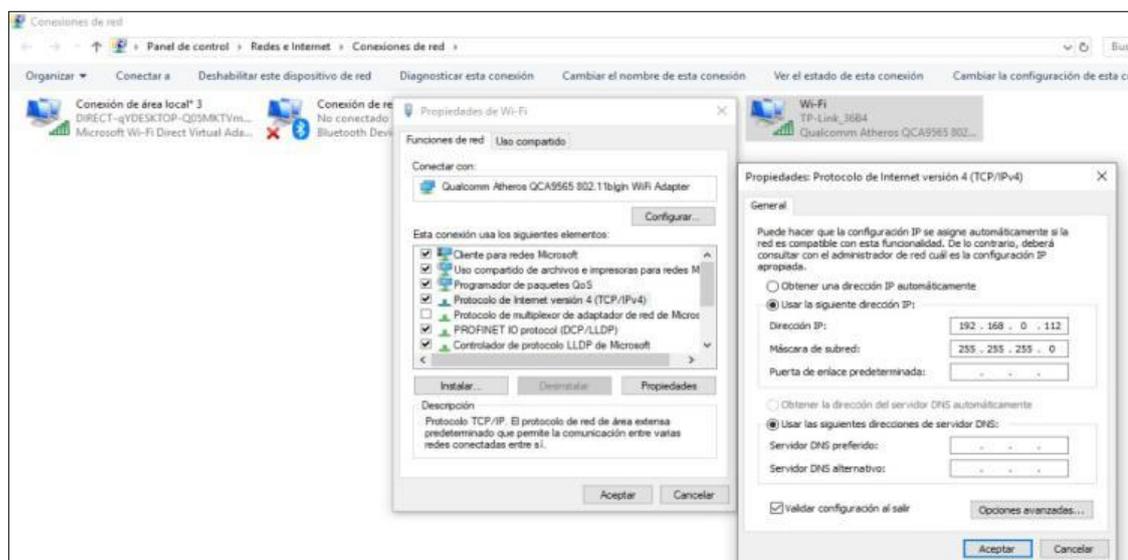


Figura 85-4: Cambio de dirección IP

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 6: Seguidamente la figura 4-4 indica la ejecución del programa TIA PORTAL y se abre el archivo PROYECTO 3.3.

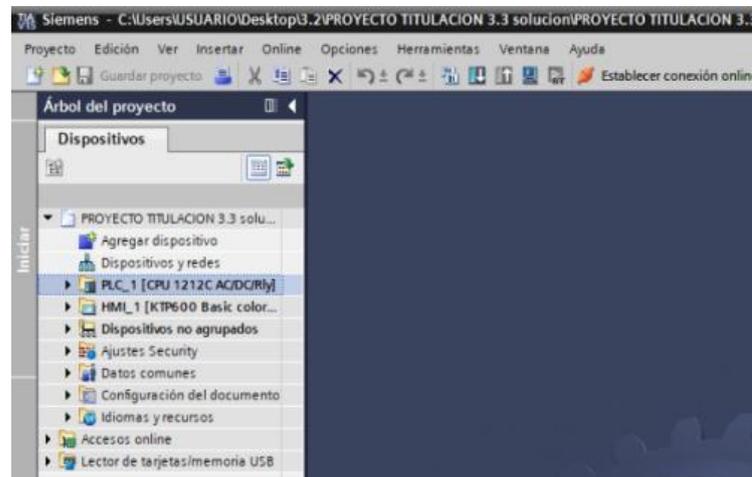


Figura 86-4: Software TIA PORTAL

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 7: Posteriormente se carga la programación del PLC, dando clic derecho en la carpeta PLC_1, luego elegir cargar en dispositivo y dar clic en la opción hardware y software solo cambios figura 5-4.

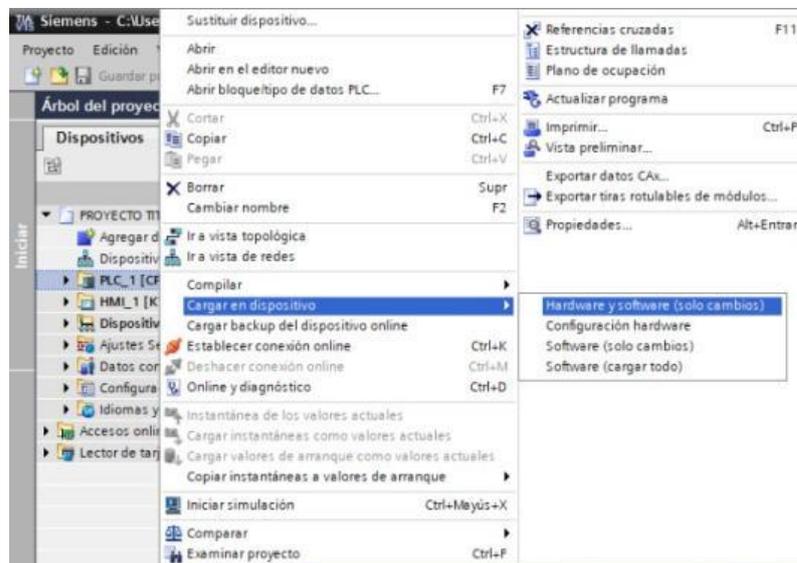


Figura 87-4: Cargar la programación del PLC

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 8: En la siguiente figura 6-4 se selecciona la tarjeta de red y después dar clic en iniciar búsqueda, una vez encontrado el dispositivo se da clic en cargar.

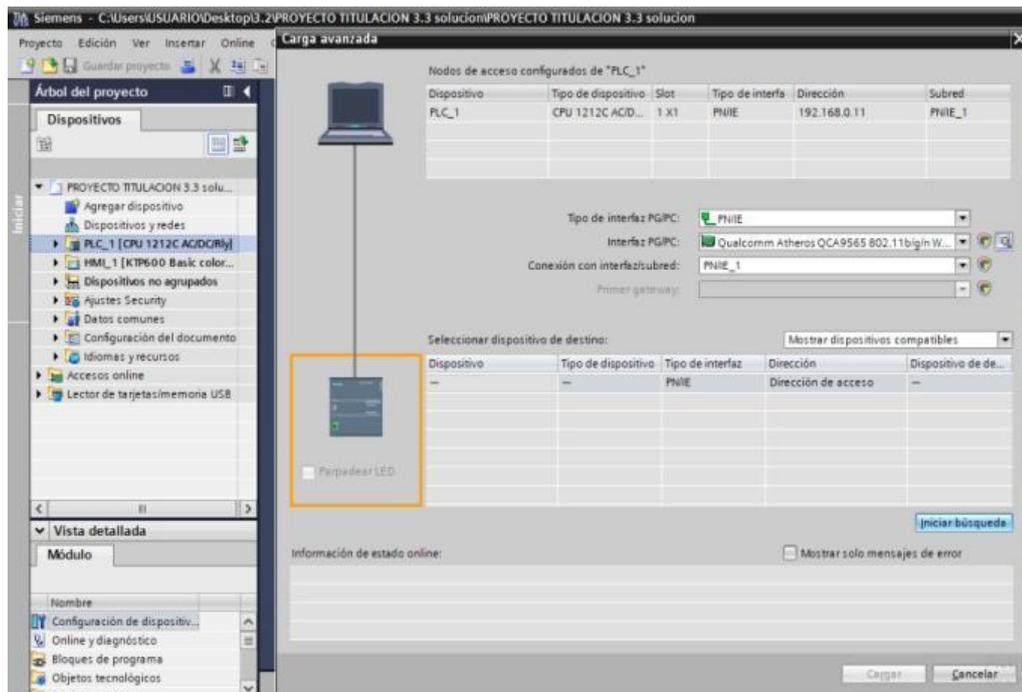


Figura 88-4: Seleccionar tarjeta de red

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 9: Luego aparecen ventanas emergentes que permiten cargar el programa con todos los requerimientos de software solo dar clic en cargar como muestra la figura 7-4.

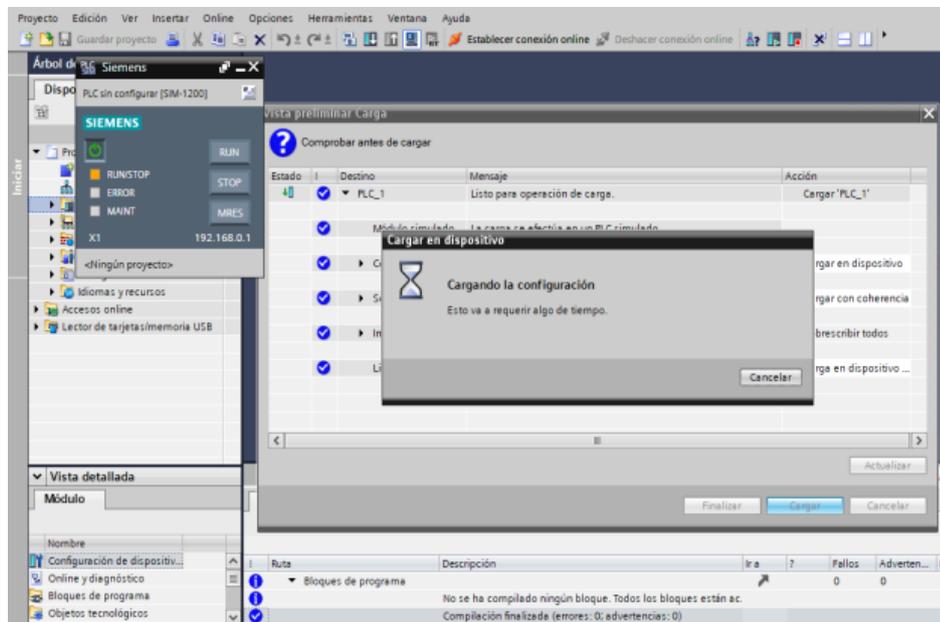


Figura 89-4: Cargar el programa

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 10: Ya para terminar de cargar el programa se da en arrancar módulos y después finalizar como indica la figura 8-4.

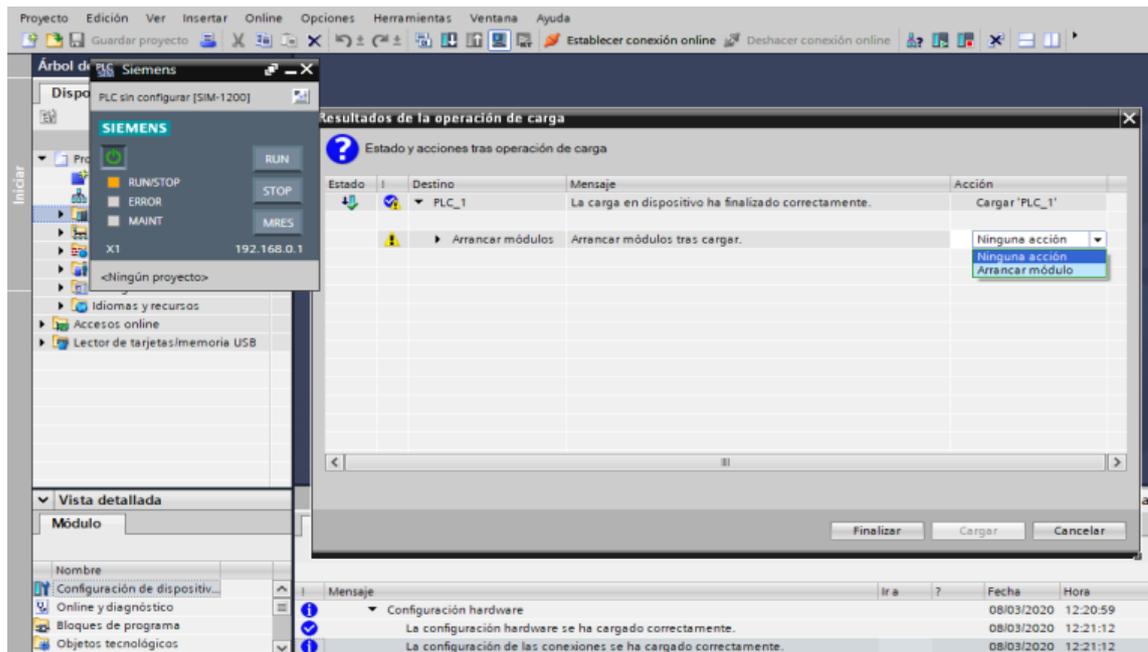


Figura 90-4: Arrancar módulos

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 11: Luego para cargar el programa en la pantalla táctil, primero se pulsa el botón transfer en la pantalla inicial del HMI figura 9-4.

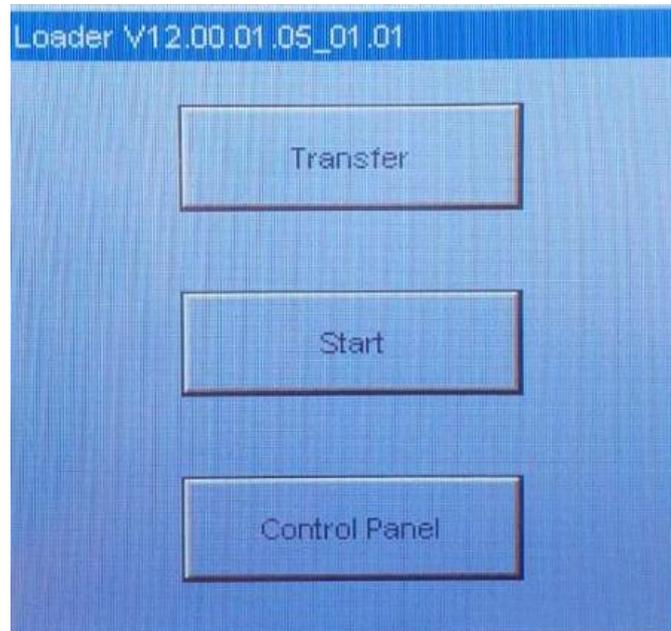


Figura 91-4: Cargar programa en el HMI

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 12: En el programa TIA PORTAL figura 10-4 se da clic al icono de cargar en dispositivo, muestra la dirección IP de la pantalla HMI y se procede a dar clic en conectar.

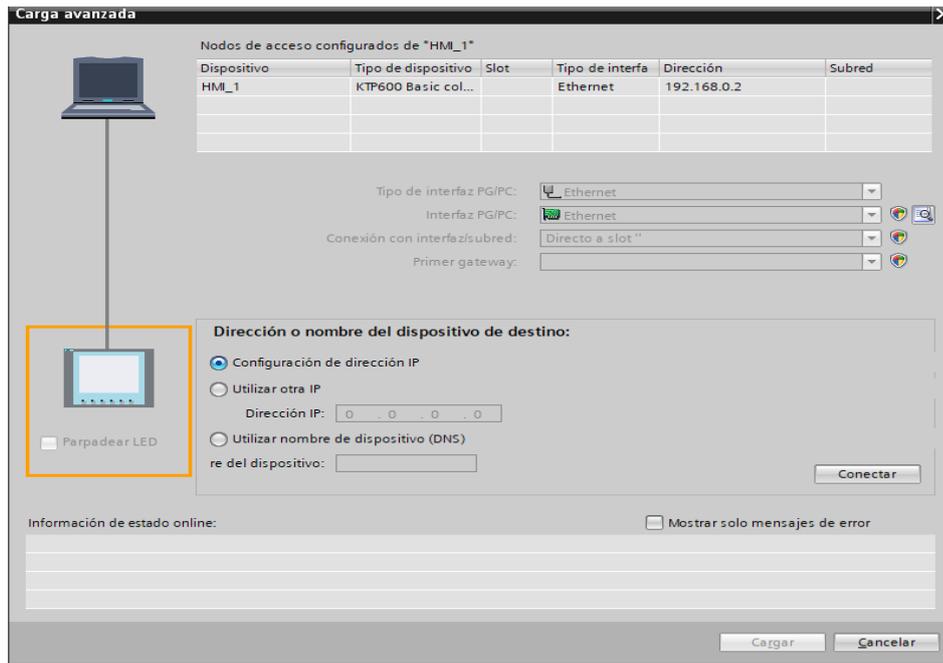


Figura 92-4: Cargar la programación desde TIA PORTAL al HMI

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 13: Después de da clic en finalizar y se tiene el programa cargado en la pantalla táctil.

Paso 14: Hecho esto se ejecuta el programa de simulación de procesos FACTORY IO, figura 11-4, se procede abrir el archivo PROYECTO_3.3 luego damos clic en la pestaña archivo para dirigirse a la opción drivers.



Figura 93-4: Ejecución del programa

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 15: Luego se inspecciona que el driver utilizado sea el adecuado y también revisar que no exista cambios en las entradas y salidas del PLC figura 12-4.

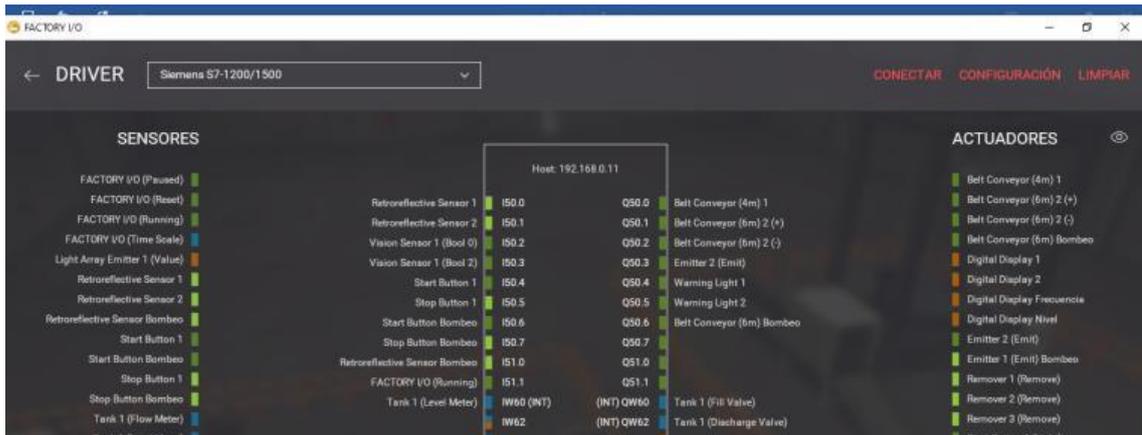


Figura 94-4: Driver adecuado

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 16: Seguidamente ingresar a la pestaña que dice configuración, figura 13-4, ahí se revisa la dirección IP del PLC y la tarjeta de red utilizada para la conexión.

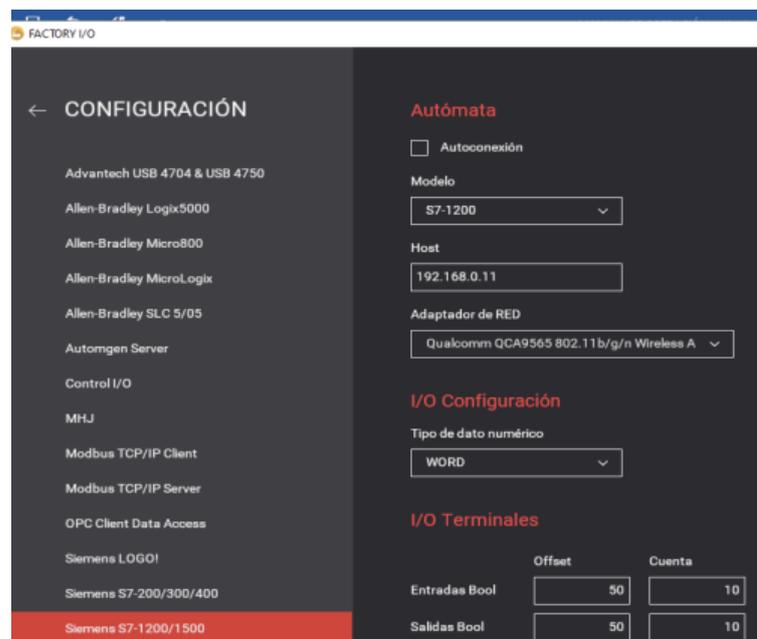


Figura 95-4: Verificación de la dirección IP del PLC

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 17: Ya revisado todo se da clic en auto conexión o también se regresa a la página anterior y se da clic en conectar.

Paso 18: A continuación, se regresa a la pantalla principal de edición y damos un clic en el símbolo de play, para iniciar con la simulación de los procesos tal como indica la figura 14-4.

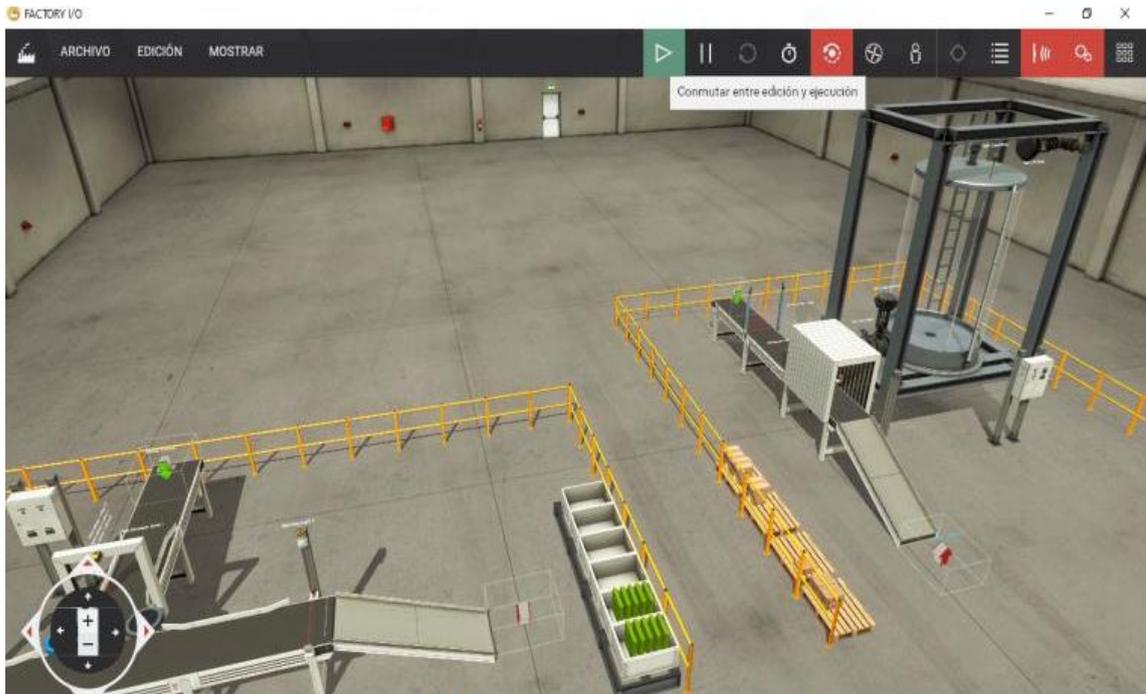


Figura 96-4: Inicio de simulación

Fuente: (Autores, 2020)

Paso 19: En el proceso de bombeo se tiene el tablero de control en este se puede pulsar el botón verde para iniciar el proceso.

Paso 20: El proceso de transporte también cuenta con un tablero de control, sin embargo, el inicio se va a realizar desde la pantalla HMI, antes se debe determinar el número de piezas a realizar y después se pulsa el botón start.

5 CONCLUSIONES

Se analizó dos procesos industriales comunes a nivel industrial, en las que intervienen variadores de frecuencia, controladores lógicos, HMI, brindando mayor conocimiento en programación y control de cada uno de los dispositivos y equipos implementados en el presente proyecto.

Se implementó un módulo para el montaje de los equipos requeridos para realizar el proyecto de simulación de procesos, en el que se realizó la configuración de variadores para su respectivo proceso, el cual sirve para obtener los datos necesarios permitiendo el control de una red de dispositivo por medio de MODBUS RTU.

Se modeló y se diseñó los procesos industriales de bombeo y transporte en el software Factory IO, luego se procedió a la comunicación del PLC y a su vez la respectiva configuración con HMI mediante la red PN/IE (Profinet/Industrial Ethernet), al utilizar esta red permite tener una comunicación directa y menos confusa en el proceso.

Se realizó las diferentes pruebas de comunicación y de funcionamiento del módulo de simulación, obteniendo el control y monitoreo de cada uno de los procesos industriales.

6 RECOMENDACIONES

Los estudiantes deben contar con conocimientos básicos de automatización y programación de procesos industriales previos a la utilización del módulo, con el fin de realizar una buena modelación, diseño y programación en los softwares (TIA PORTAL y FACTORY IO).

El módulo de simulación debe estar configurada y conectada de manera correcta a los diferentes equipos y dispositivos para no contar con inconvenientes al momento de realizar la comunicación con Factory IO.

Tener un ordenador de alto rendimiento, con un procesador potente y suficiente memoria RAM, con la finalidad de no tener retrasos en la visualización, supervisión e inspección en tiempo real de los procesos industriales simulados.

Revisar el manual de operación para la manipulación del módulo, así como del software TIA PORTAL y Factory IO, ya que el uso correcto permitirá que se realice el funcionamiento ideal de este módulo de simulación.

Considerar los códigos IP establecidos tanto para el PLC como HMI, para obtener una comunicación y funcionamiento ideal de los procesos realizados, evitando de esta manera configuraciones no deseadas.

GLOSARIO

Customización: describe el proceso por el cual las marcas se adaptan al cliente y ofrecen productos o experiencias individualizados, singulares y hechos a medida. (Rodríguez Baptista, y otros, 2016 p. 20)

Fabrica Virtual: entorno informático integrado para el diseño, simulación y optimización de una factoría completa, sus líneas de producción y sus procesos en todos los niveles de detalle. (Interempresas, 2015 p. 17)

Manufactura: es un mecanismo para la transformación de materiales en artículos útiles para la sociedad. (Barbosa Moreno, y otros, 2019 p. 15)

ModBus RTU: el protocolo Modbus RTU es un medio de comunicación que permite el intercambio de datos entre los controladores lógicos programables (PLC) y los ordenadores (PC). Los dispositivos electrónicos pueden intercambiar información a través de conexiones en serie utilizando este protocolo. (Olmedo Díaz, 2015 p. 14)

Proceso Industrial: son procedimientos que involucran pasos químicos, físicos, eléctricos o mecánicos para ayudar en la fabricación de un artículo o artículos, que generalmente se llevan a cabo a gran escala. (García Moreno, 2020 p. 41)

Profinet: (Process Field Network) es un protocolo de comunicación Ethernet industrial basado en estándares abiertos TCP/IP e IT y desarrollado con un enfoque en la semejanza a PROFIBUS DP. Así mismo, es un mecanismo para intercambiar datos entre controladores y dispositivos. (Pigan, y otros, 2015 p. 75)

BIBLIOGRAFIA

OLIVIA, Nuria y al., et. *Redes de comunicaciones industriales*. s.l. : UNED., 2013. págs. 24-412. 9788436265972.

RAMÍREZ, Maikel. *Controlador lógico programable basado en hardware reconfigurable*. s.l. : D-Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. CUJAE, 2011. págs. 1-29.

RUEDAS, Carlos. http://www.fsalazar.bizland.com/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin10/URL_10_MEC01.pdf. http://www.fsalazar.bizland.com/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin10/URL_10_MEC01.pdf. [En línea] 12 de Agosto de 2008. URL_10_MEC01.pdf.

Industria 4.0 la Fábrica del futuro. **Interempresas**. 60, Madrid : Interempresasmedia, 2015, Vol. 1. ISSN 2014-8305.

BARBOSA MORENO, Alfonso y al., et. *Manufactura, Conceptos y Aplicaciones*. México D.F : Patria Educación, 2019. ISBN: 97876077550—18771.

CARRASCAL GARCÍA, Víctor. *Gestión de Energía Eléctrica con controladores en tiempo real*. CORE. [En línea] 2016. [Citado el: 20 de marzo de 2019.] https://core.ac.uk/download/pdf/61561459.pdf?fbclid=IwAR0gJtR2vfGC5XLpZGjveyj1ZbC_CLaOagcjpT_nU55Vk3RP6l2FmnnxfUI0.

GARCÍA MORENO, Emilio. *Automatización de Procesos Industriales*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2020. ISBN: 978-84-9048-894-2.

Diseño de un extensor de entradas y salidas analógicas por ModBus RTU. **OLMEDO DÍAZ, David**. 65, Cataluña : Universitat Oberta de Catalunya, 2015, Vol. 1. ISBN: 0138147574.

PIGAN, Raimond y METTER, Mark. *Automating with PROFINET: Industrial Communication Based on Industrial Ethernet*. Berlín : Siemens, 2015. Vol. 1. ISBN: 978-3-895-78950-2.

La "customización" a sólo un clic de distancia. **RODRIGUEZ BAPTISTA, Luis y PIAT, Constance**. 138, Londres : Harvard Deusto, 2016, Vol. 1. ISSN 1133-7672.



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**

ANEXO A: MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL MÓDULO.

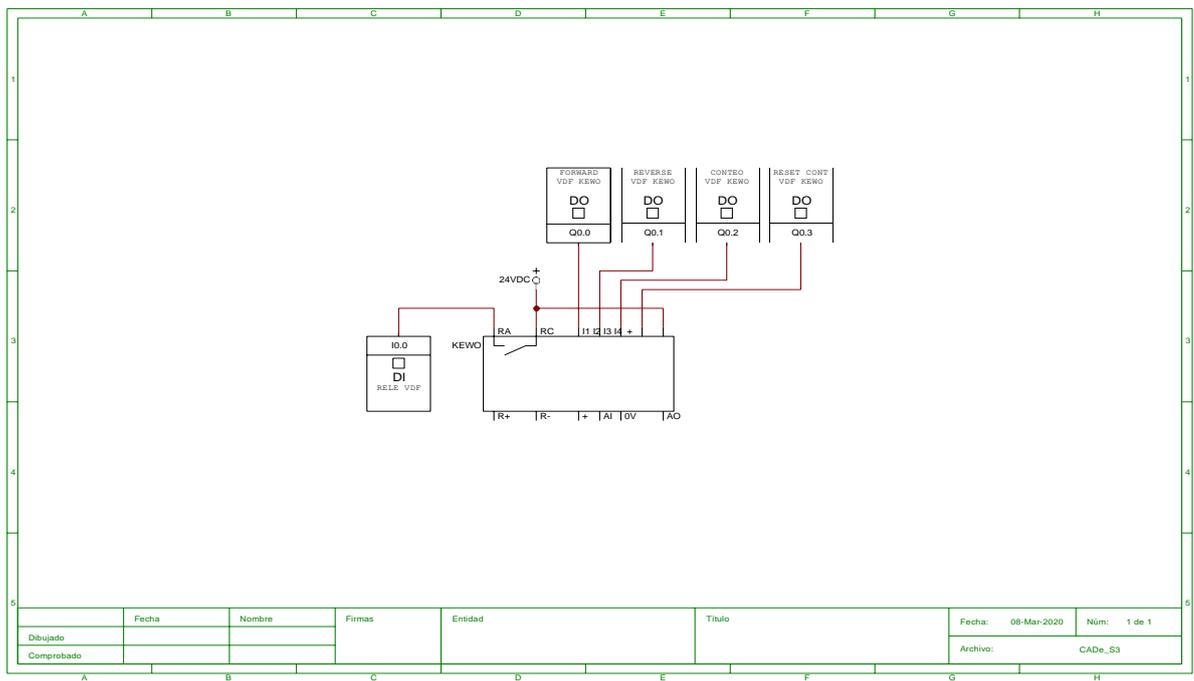
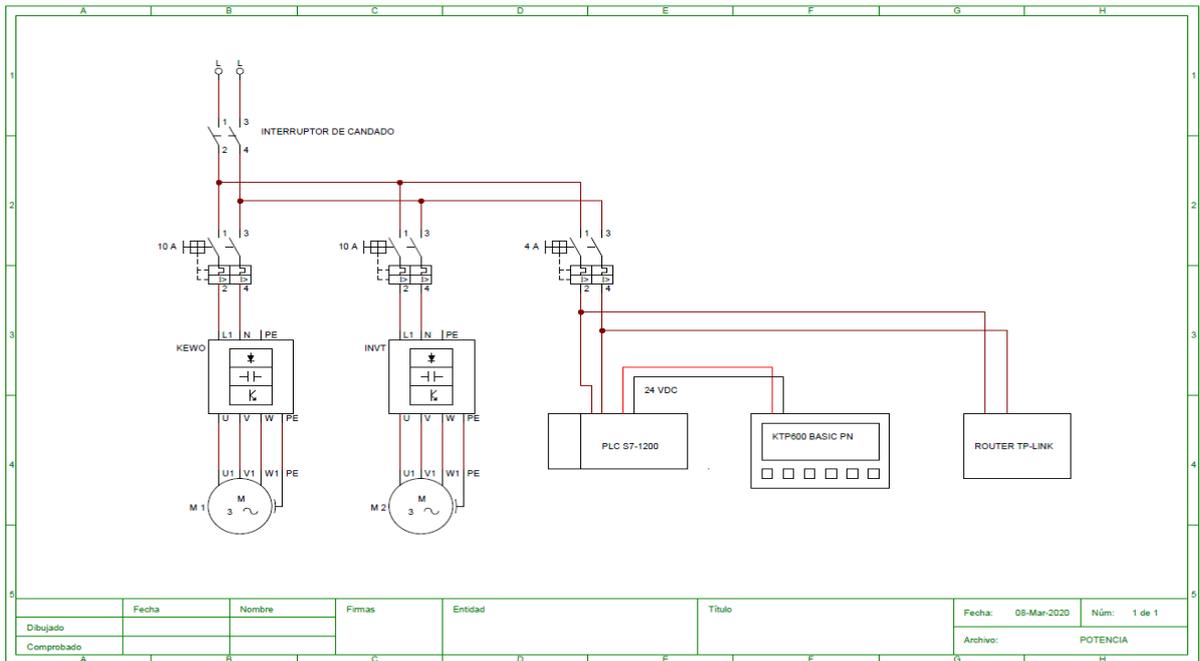
MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
EJECUTAR LAS TAREAS CON EL MODULO DESENERGIZADO			
TAREAS PREVENTIVAS	FRECUENCIA	MATERIALES /HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO
Revisión de continuidad en el cableado.	6 meses	Multímetro	<ul style="list-style-type: none"> • Quitar la tapa de los bornes de los motores • Desconectar los bornes del motor • Revisar el cableado desde alimentación, pasando por protecciones, controladores, drivers, hasta llegar a cables de motores. • Una vez terminado colocar nuevamente la tapa de los bornes de los motores.
Medición de aislamiento de motores.	6 meses	Multímetro	<ul style="list-style-type: none"> • Quitar la pata de los bornes de los motores • Con los cables desconectados del borne de cada motor, se mide el aislamiento de las bobinas del motor, haciendo una prueba de continuidad. • No debe existir continuidad, en caso de existir avisar al encargado de laboratorio. • Una vez medido colocar nuevamente la tapa en los bornes de los motores.
Medición de resistencia de las bobinas de los motores.	6 meses	Multímetro	<ul style="list-style-type: none"> • Quitar la tapa de los bornes del motor • Desconectar los cables y los puentes de los bornes del motor • La medición debería ser entre unos 6 u 8 ohmios aproximadamente, si no mide nada si tiene un valor muy elevado comunicar al encargado del laboratorio. • Al terminar colocar nuevamente la tapa de los bornes de los motores.
Limpieza de los variadores de frecuencia.	1 año	Sopladora	<ul style="list-style-type: none"> • La protección IP de los variadores de frecuencia sugiere que deben estar dentro de un tablero metálico, pero al estar al aire libre son propensos a llenarse de polvo, así que se debe realizar una limpieza con una sopladora para quitar el polvo que puede generar sobrecalentamiento en las placas electrónicas.
Limpieza de PLC, módulo de comunicación y HMI	1 año	sopladora	<ul style="list-style-type: none"> • La protección IP de los equipos sugiere que deben instalarse dentro de un tablero metálico, pero al estar al aire libre puede llenarse de polvo, así que se debe realizar una limpieza con una sopladora para quitar el polvo que puede generar sobrecalentamiento en las placas electrónicas.

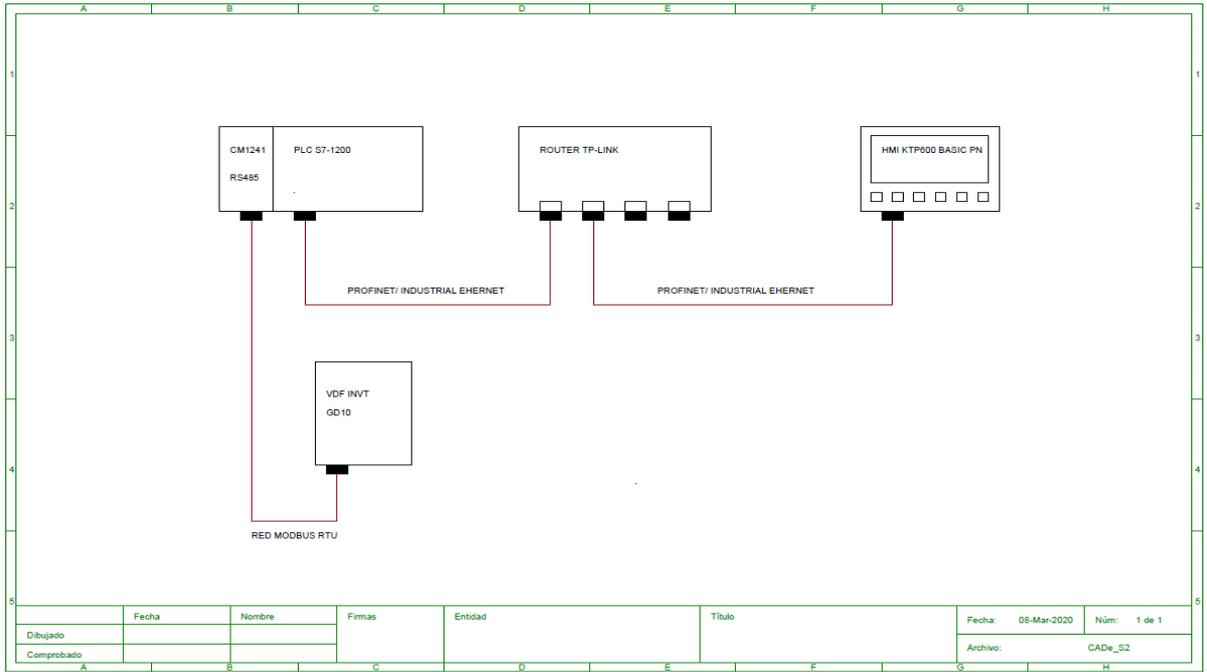
Ajuste de anclaje de motores	de de	1 año	Juego de llaves de corona y copa	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar apropiadamente los pernos y tuercas el anclaje de los motores.
Ajustes terminales	de	6 meses	Limpiar contactos y juego de destornilladores	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar sobre los bornes de todos los equipos el spray limpia contactos y ajustar con la herramienta adecuada.
Limpieza general		6 meses	Brocha y huaipe	<ul style="list-style-type: none"> • Quitar el polvo de la estructura en general

MANTENIMIENTO CORRECTIVO PARA EL MÓDULO DE AUTOMATIZACIÓN			
EJECUTAR LAS TAREAS CON EL MODULO DESENERGIZADO			
TAREAS	FRECUENCIA	MATERIALES /HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO
Cambio de breakers	Al fallo	Juego de Destornilladores	<ul style="list-style-type: none"> • Desconectar los cables del breaker • Desmontar el breaker • Montar el breaker nuevo • Conectar los cables del breaker
Cambio de interruptor de candado color rojo	Al fallo	Juego de destornilladores, juego de llaves de copa y corona	<ul style="list-style-type: none"> • Quitar protección plástica de los bornes • Desconectar los cables • Desmontar el interruptor • Montar el interruptor nuevo • Conectar los cables • Colocar protecciones plásticas

LISTA DE REPUESTOS	
BREAKER RIEL 2 POLOS 10 AMPERIOS	
INTERRUPTOR DE CANDADO COLOR ROJO	

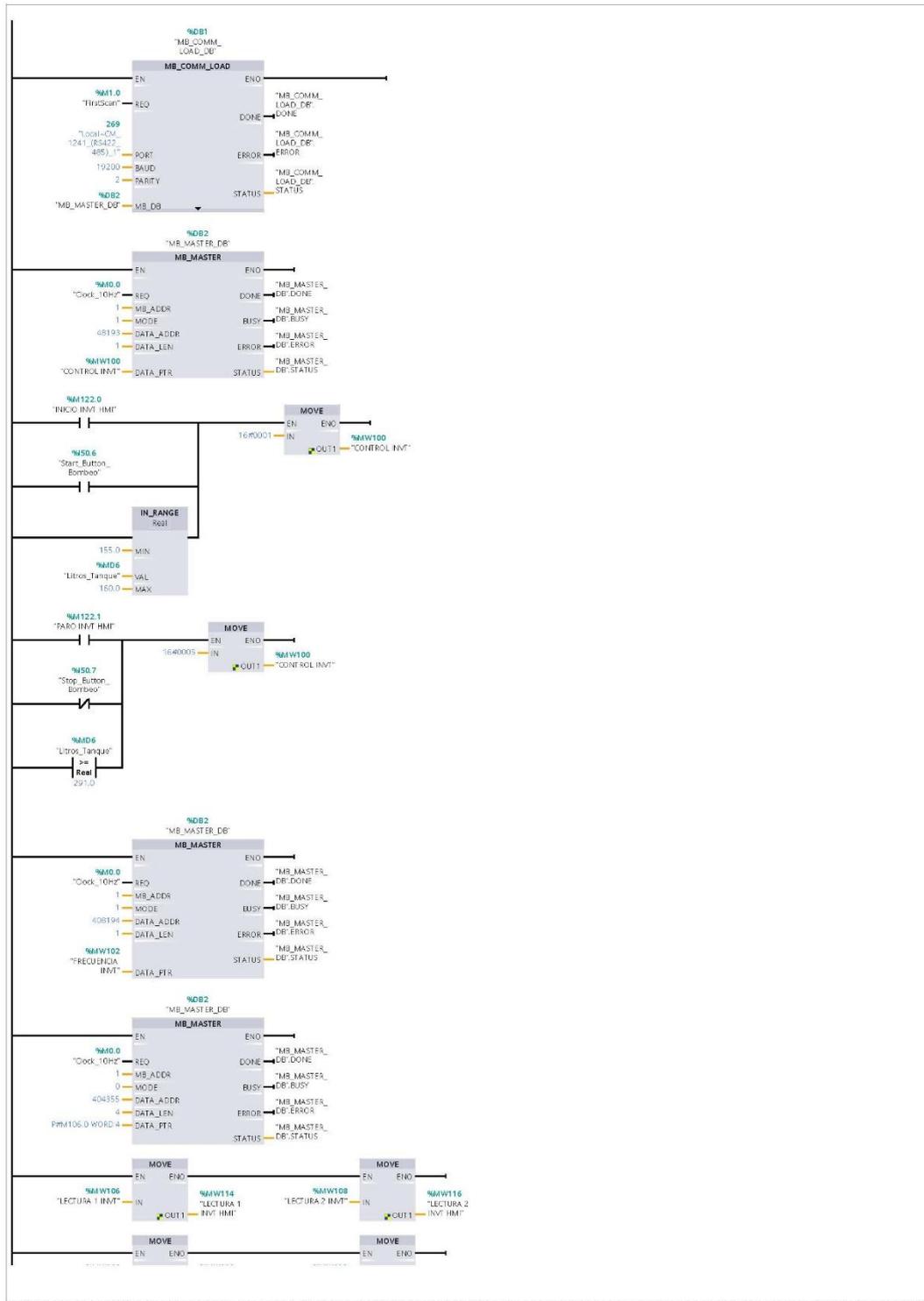
ANEXO B: ESQUEMA ELÉCTRICO





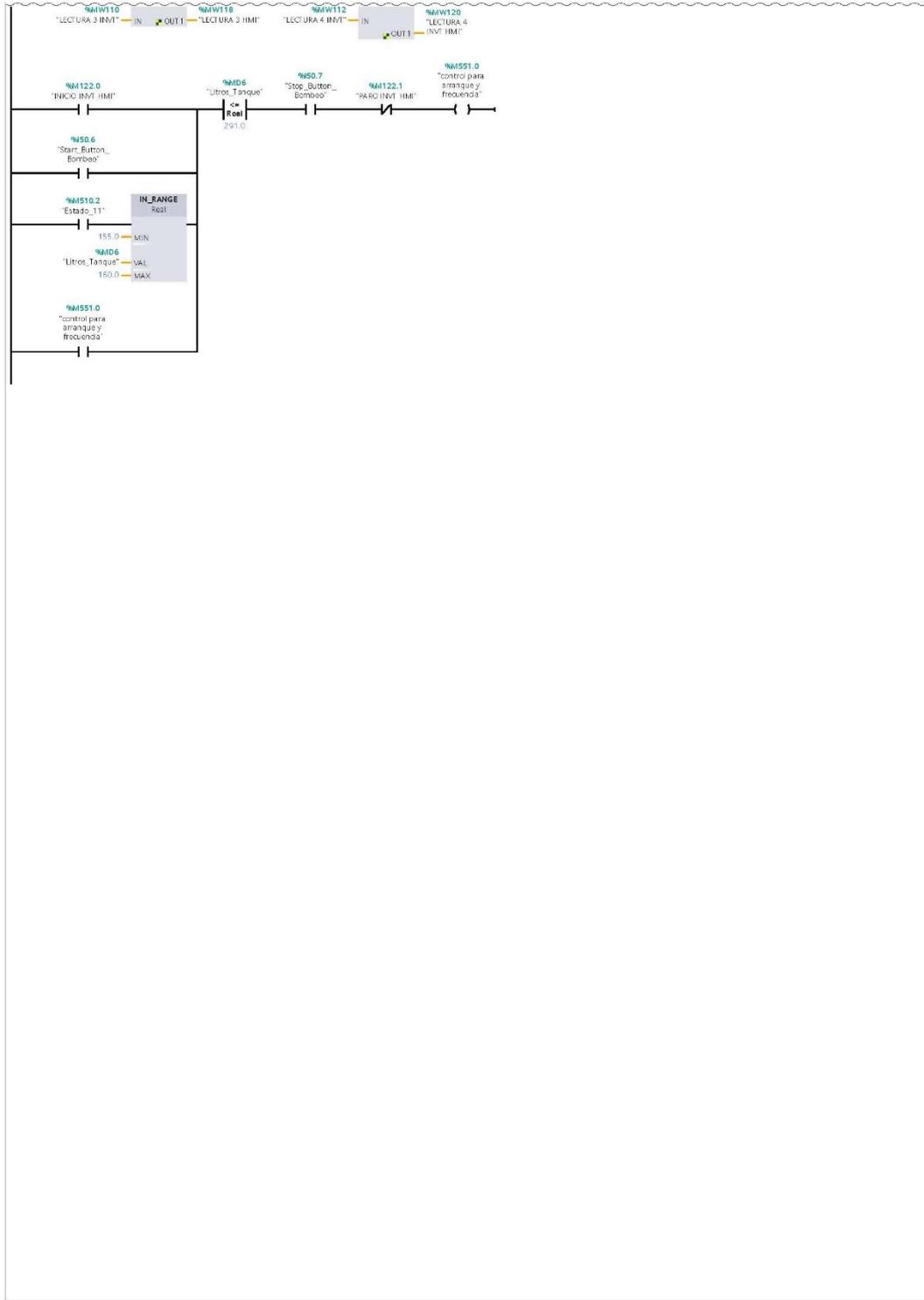
	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: 08-Mar-2020	Núm: 1 de 1
Dibujado						Archivo:	CADDe_S2
Comprobado							

Segmento 1: (1.1 / 2.1)

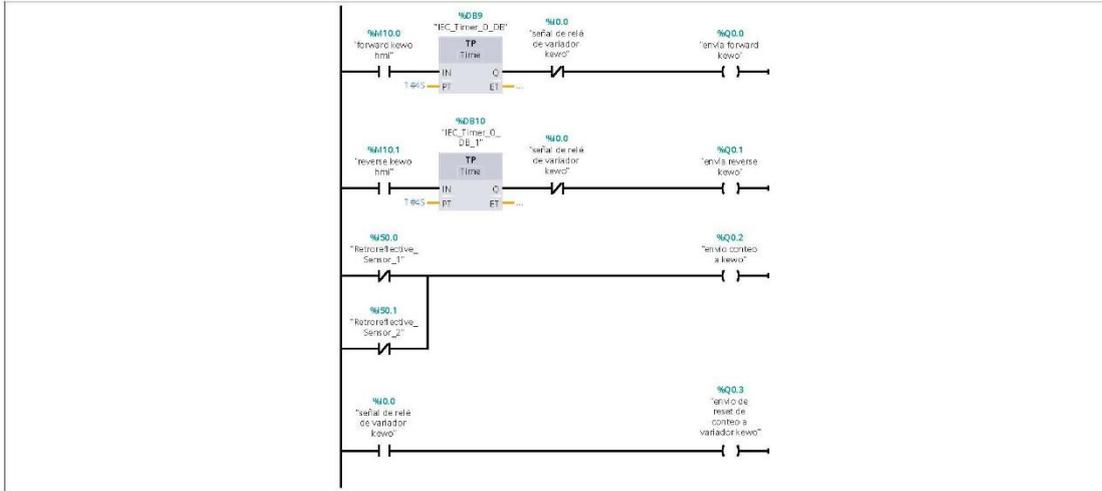


Segmento 1: (2.1 / 2.1)

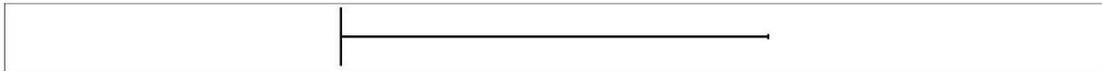
1.1 (Página 1 - 2)



Segmento 2:

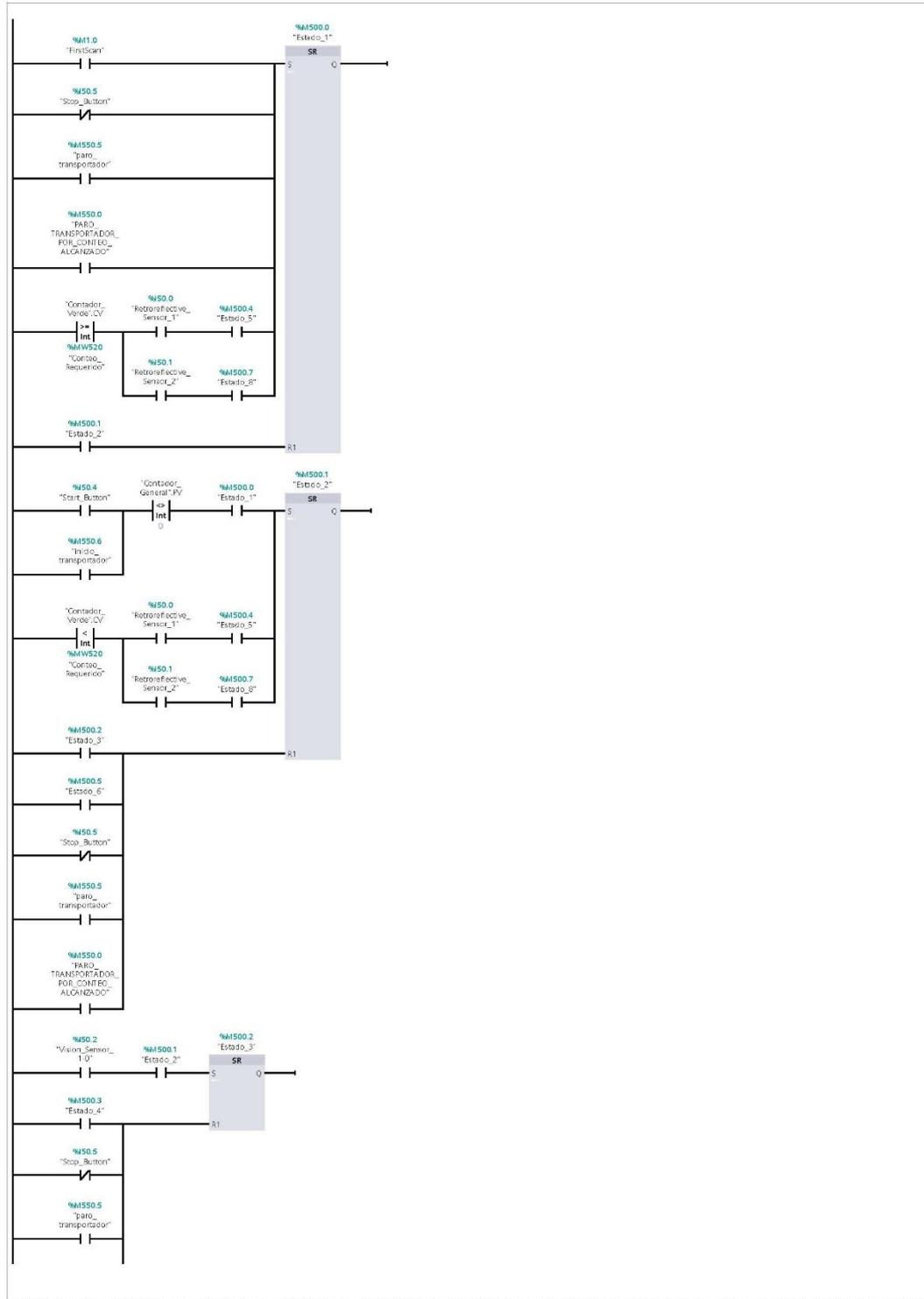


Segmento 3:



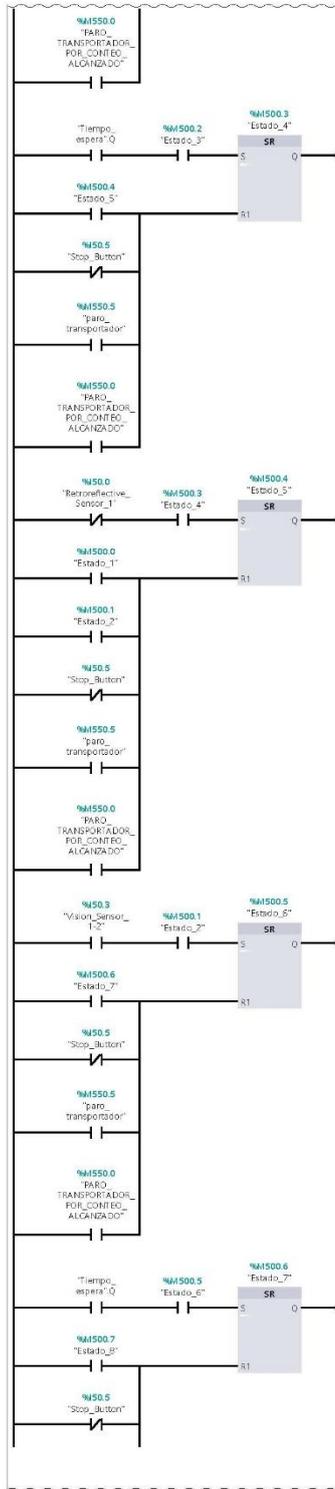
Segmento 4: Estados Grafcet clasificador

Segmento 4: Estados Grafjet clasificador (1.1 / 3.1)



Segmento 4: Estados Grafcet clasificador (2.1 / 3.1)

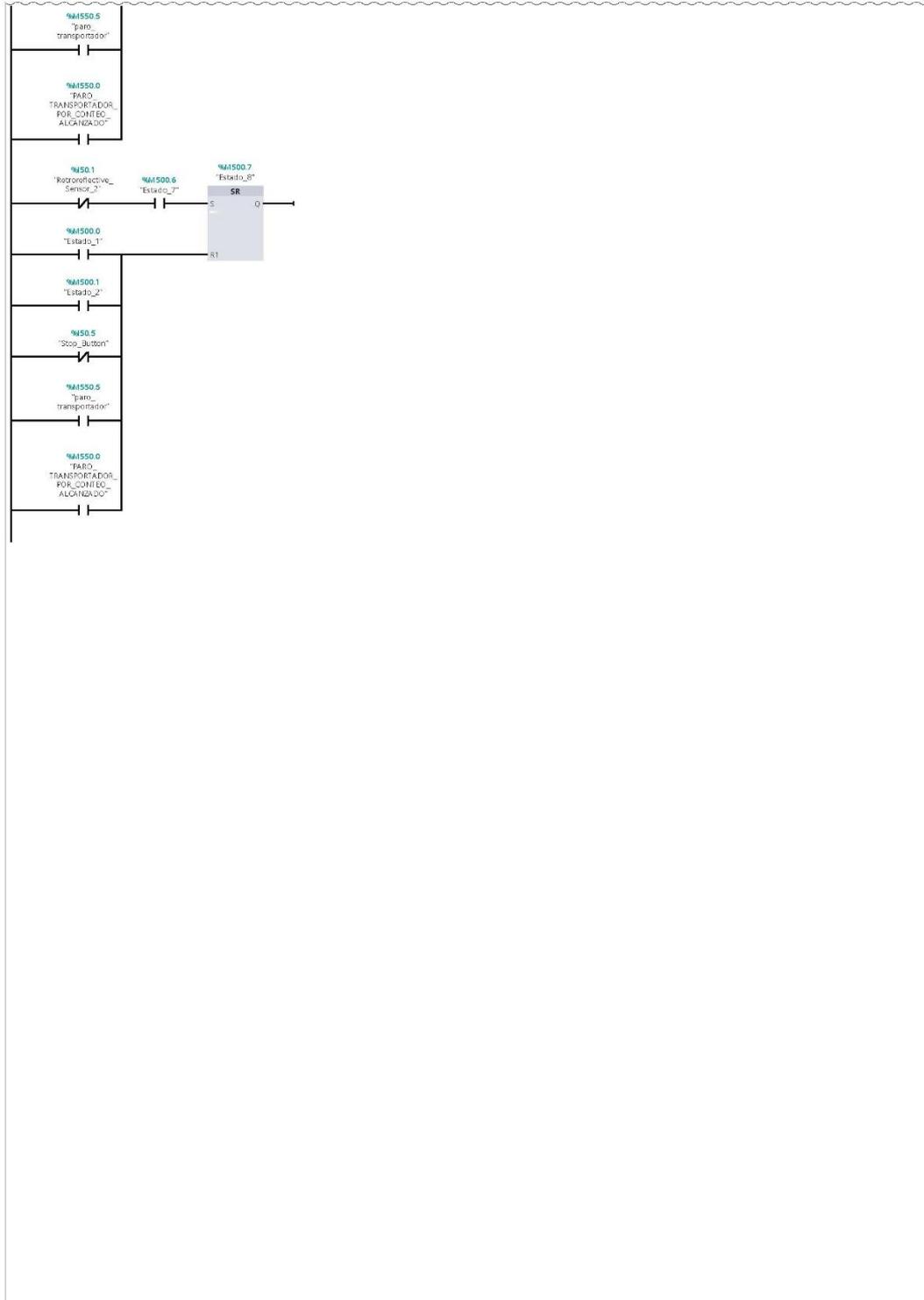
1.1 (Página1 - 5)



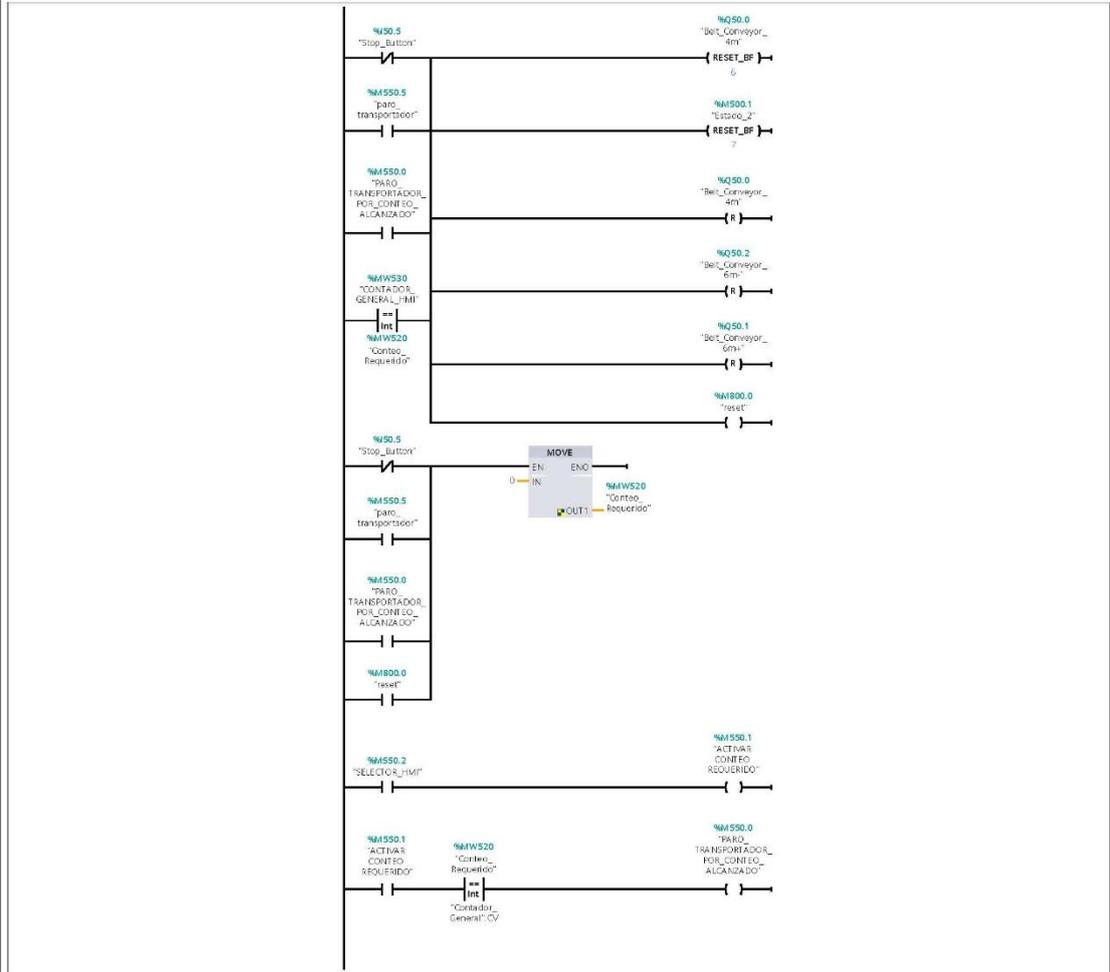
3.1 (Página1 - 7)

Segmento 4: Estados Graficet clasificador (3.1 / 3.1)

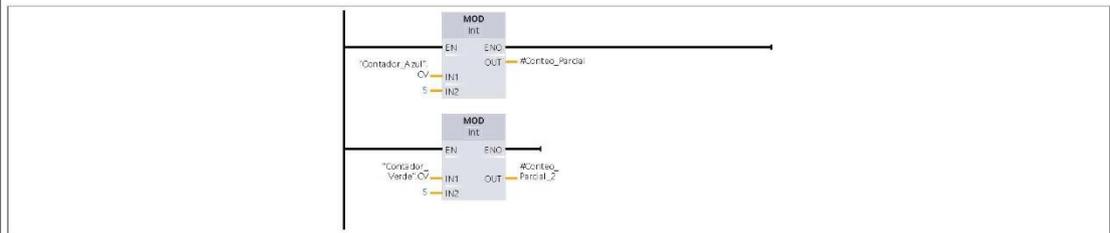
2.1 (Página1 - 6)



Segmento 5: Paro de Emergencia clasificador

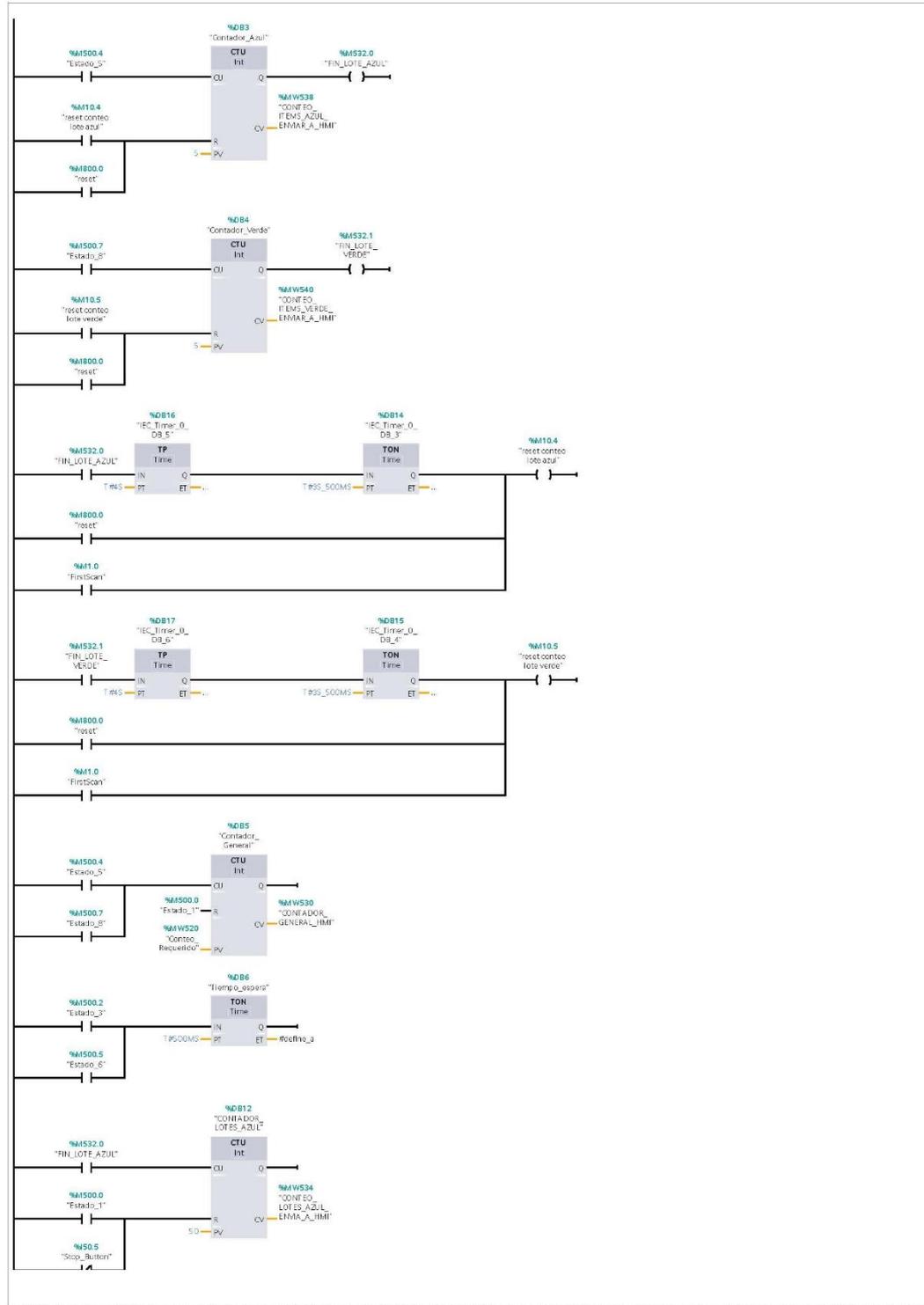


Segmento 6: Conteo de clasificador

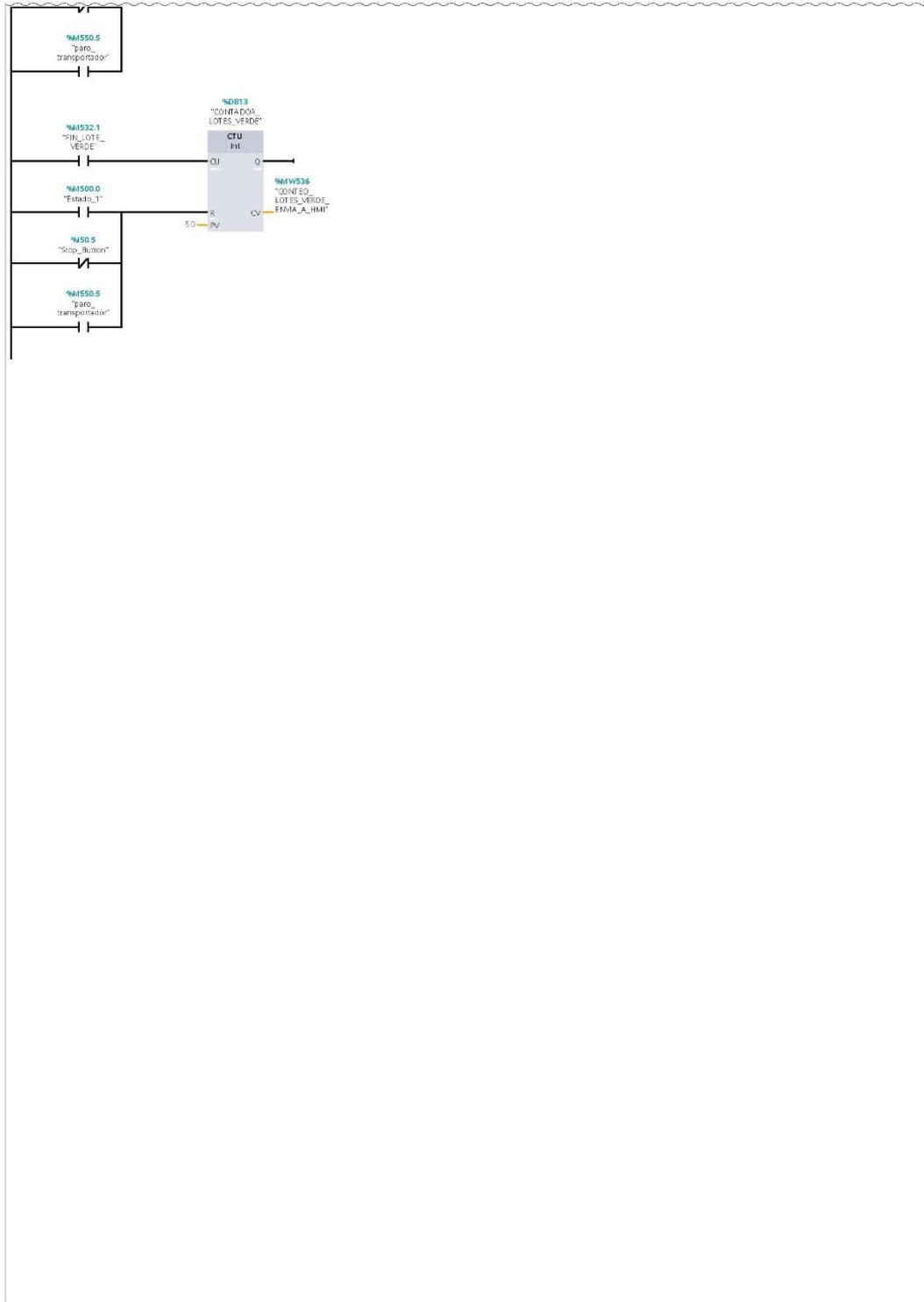


Segmento 7: Contador individual

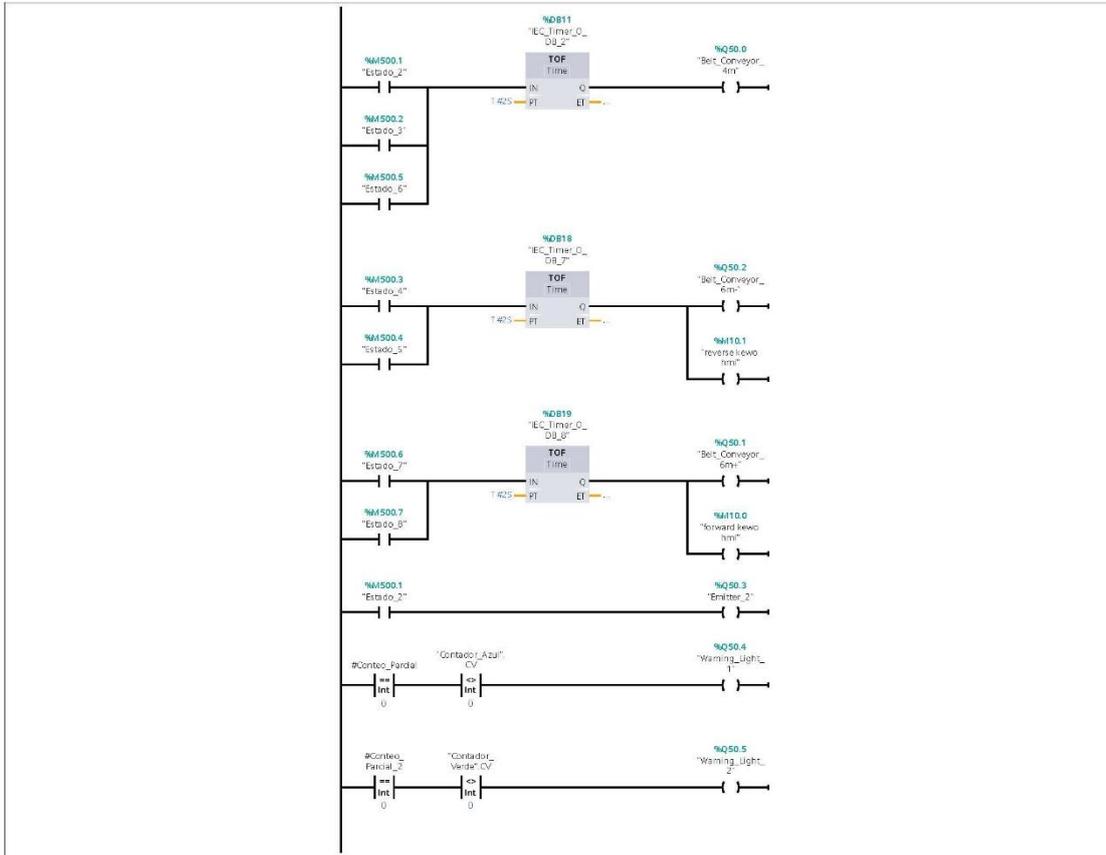
Segmento 7: Contador individual (1.1 / 2.1)



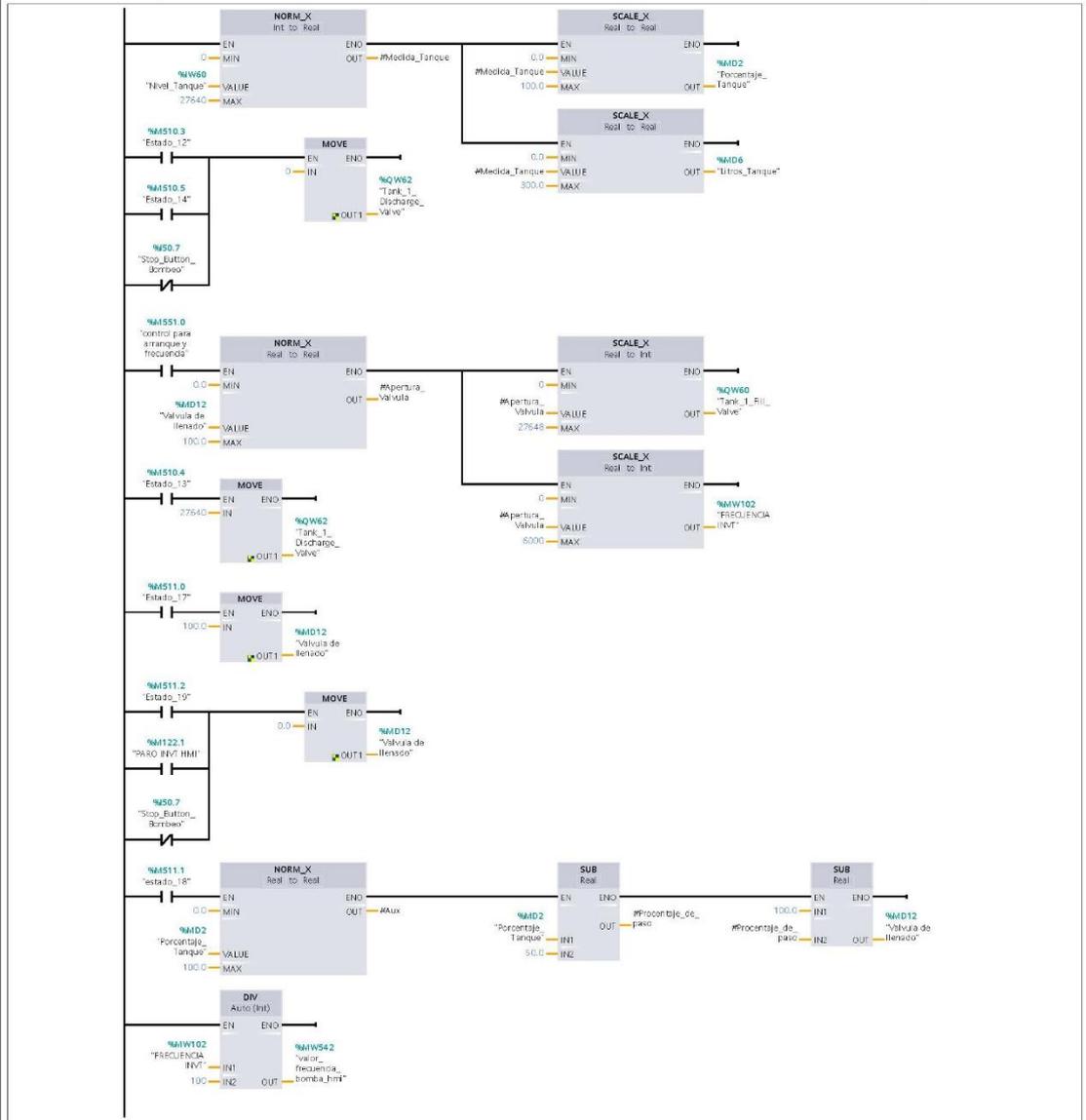
Segmento 7: Contador individual (2.1 / 2.1)



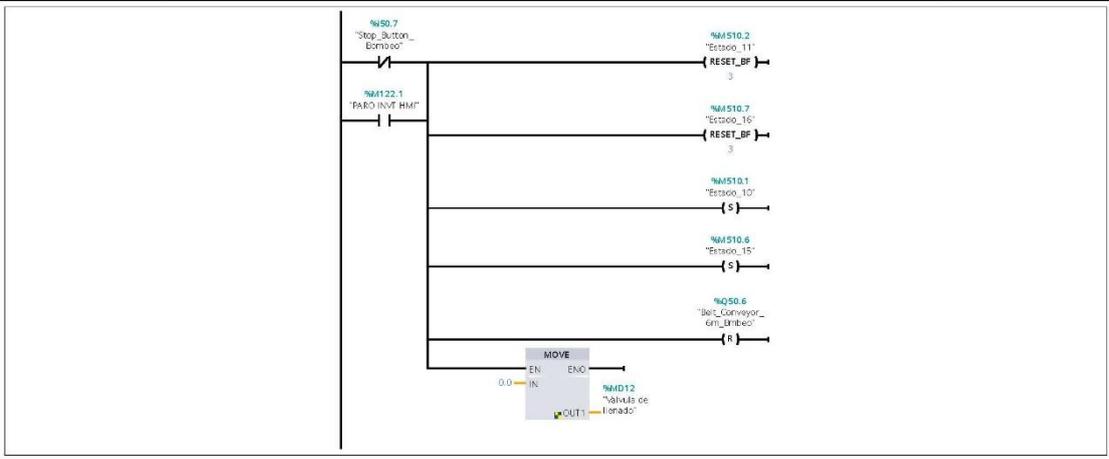
Segmento 8: Actuadores clasificador



Segmento 9: Procesamiento de Señales

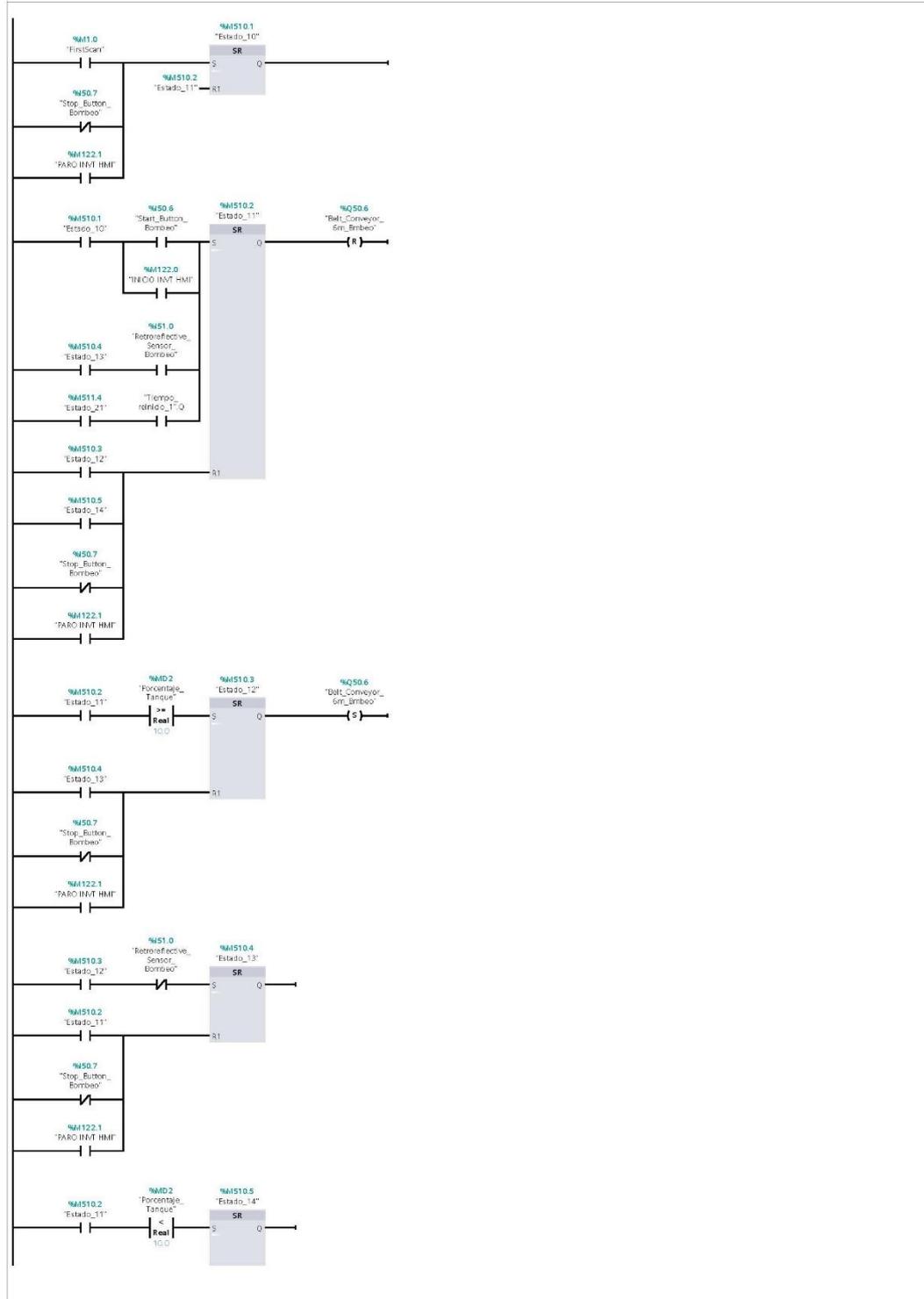


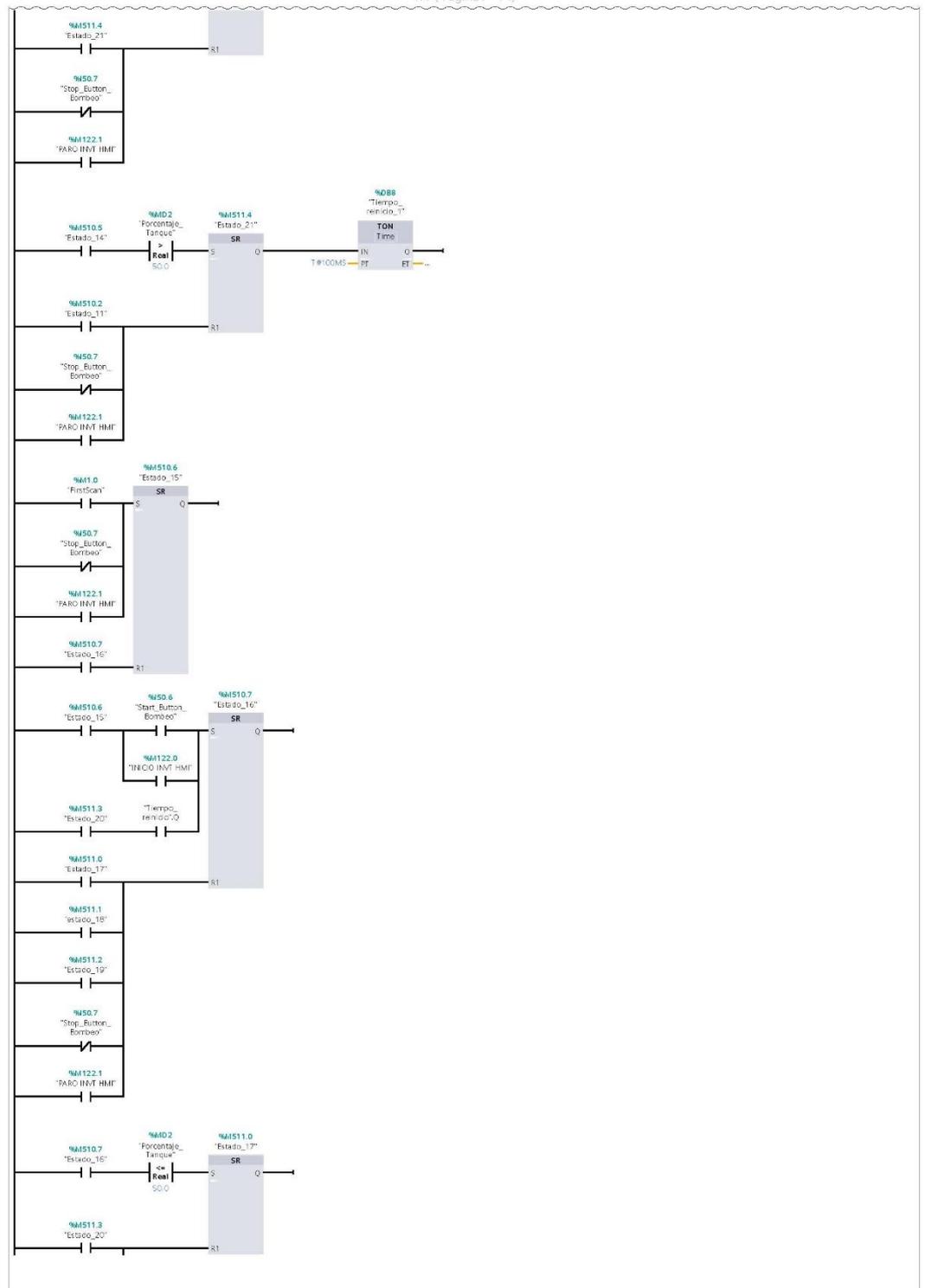
Segmento 10: Estado_Inicial

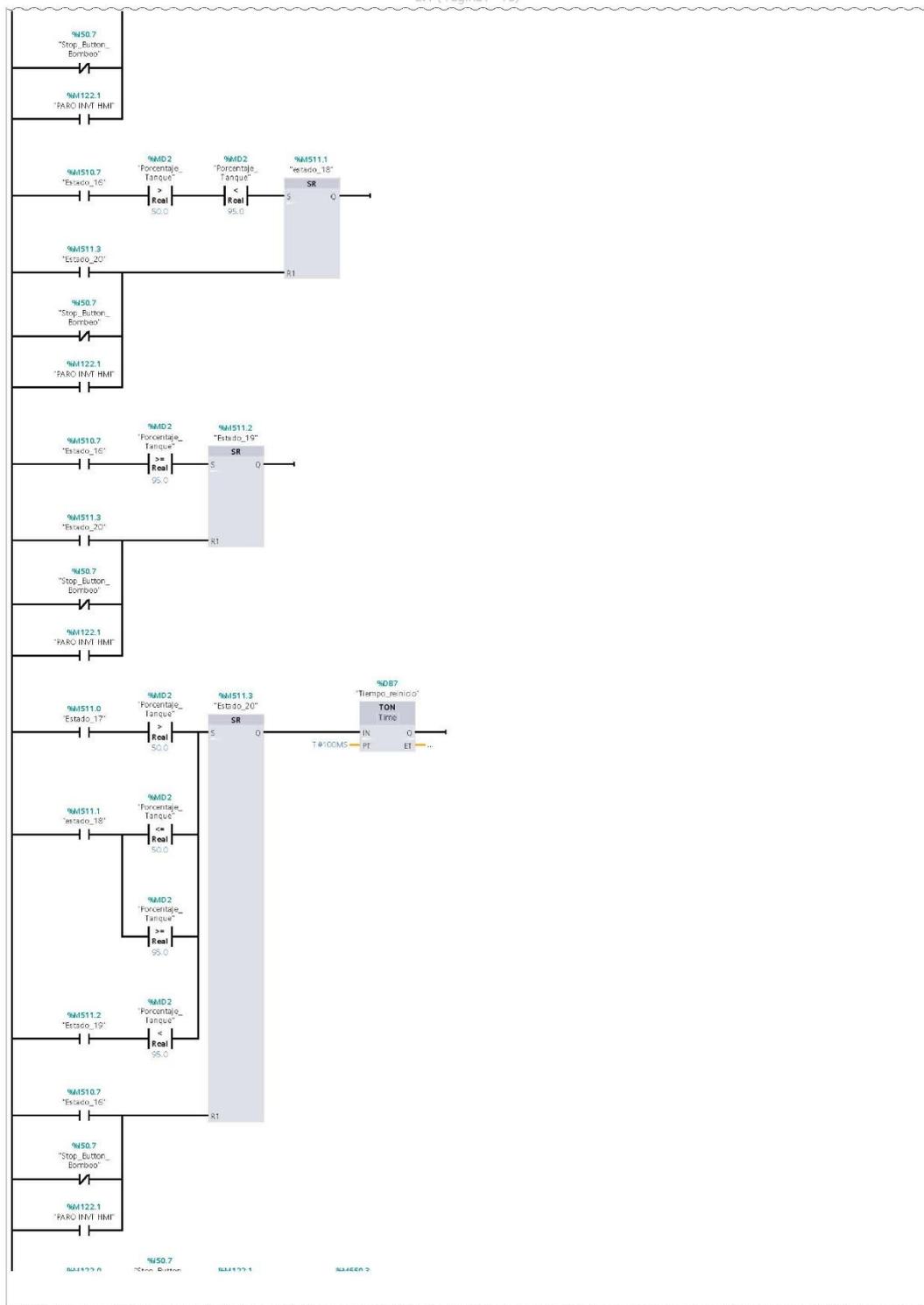


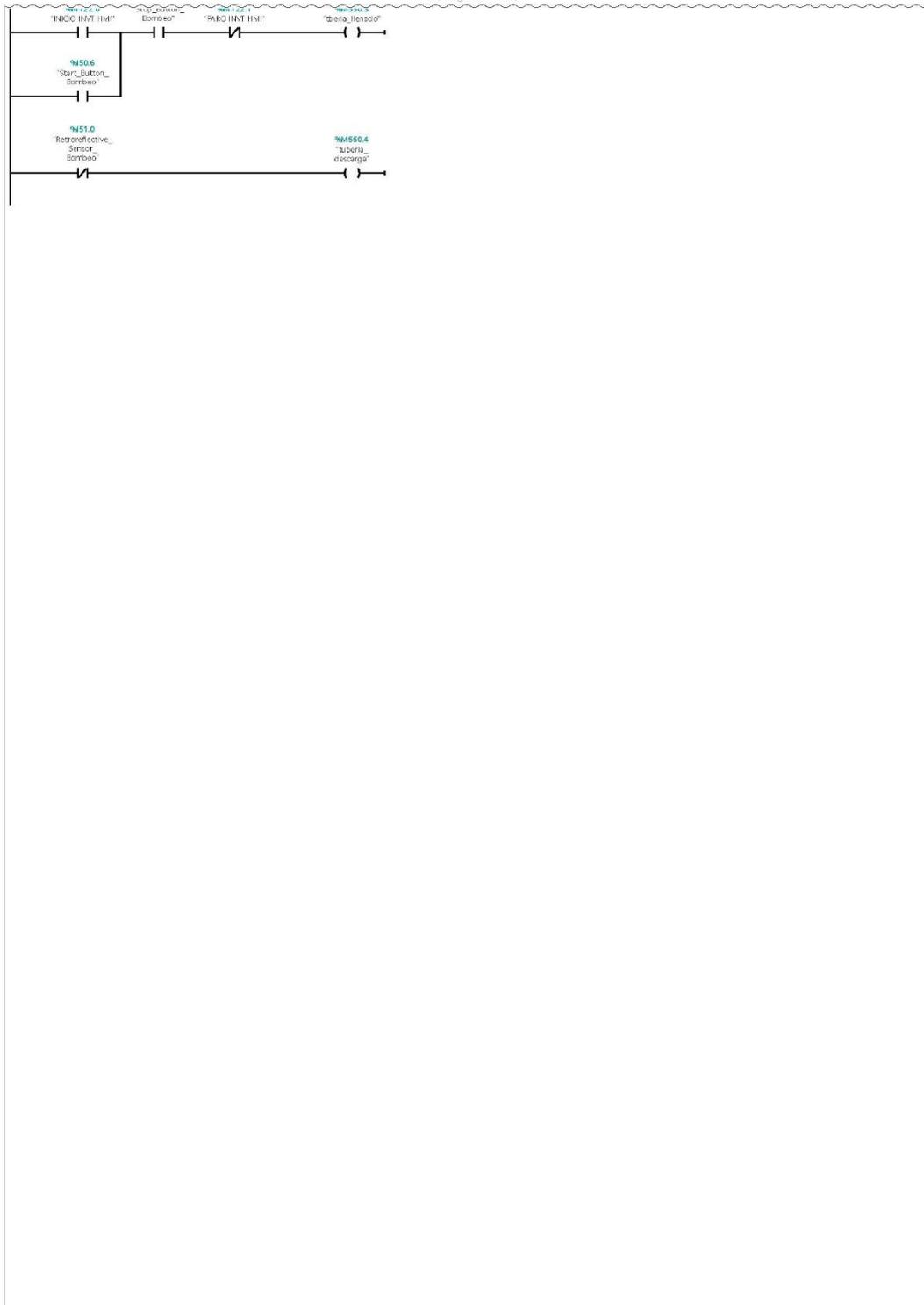
Segmento 11:

Segmento 11: (1.1 / 4.1)

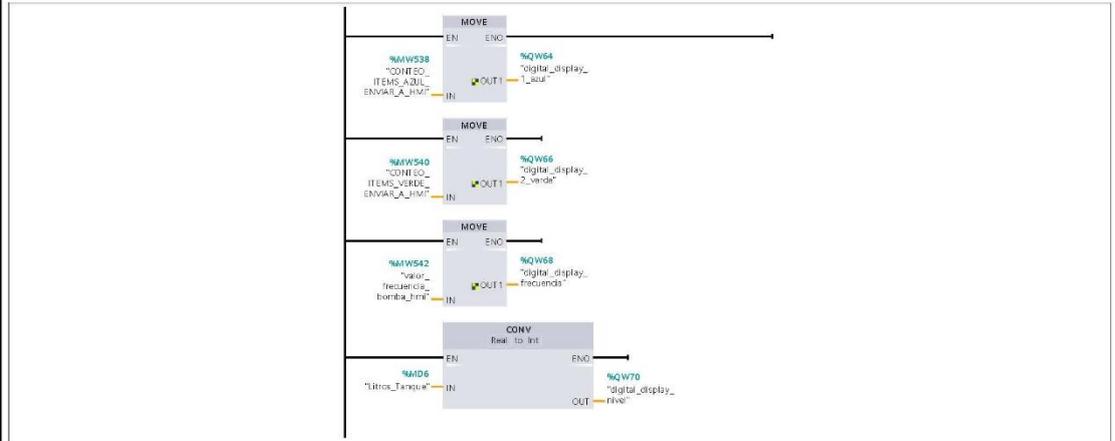






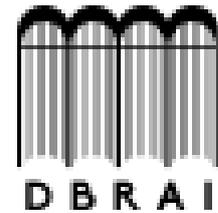


Segmento 12:



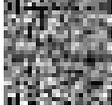
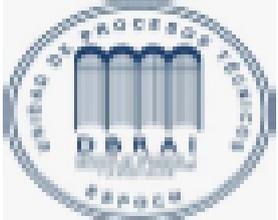


**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 15/1/2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Adrián Gabriel Andy López José Luis Zhune Sarango
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería de Mantenimiento
Título a optar: Ingeniero de Mantenimiento
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.
 Código QR de identificación por: JHONATAN RODRIGO PARRERO UQUILLAS

15-1-2021
0506-DBRAI-UPT-2020

