

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO EDUCACIONAL UTILIZANDO
UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC), PARA
REALIZAR UN CONTROL DE TEMPERATURA, UN SISTEMA DE
SEMAFORIZACIÓN Y ARRANQUE DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN
TRIFÁSICO.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTROMECAÁNICA**

JOSÉ FEDERICO FONSECA JARAMILLO

(fonsecajaramillojose@gmail.com)

EDISON GIOVANNI LLUMIQUINGA QUIGUANGO

(edison.llumiquinga@epn.edu.ec)

DIRECTOR: ING. ALAN CUENCA

(alan.cuenca@epn.edu.ec)

CO-DIRECTOR: ING. CARLOS ROMO

(carlos.romo@epn.edu.ec)

Quito, Julio 2018

DECLARACIÓN

Nosotros, José Federico Fonseca Jaramillo y Edison Giovanni LLumiQuinga Quiguango, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

José Federico Fonseca Jaramillo
C.I:172089104-1

Edison Giovanni LLumiQuinga Quiguango
C.I:172053646-3

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por José Federico Fonseca Jaramillo y Edison Giovanni LLumiquina Quiguango, bajo nuestra supervisión.

Ing. Alan Cuenca
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Carlos Romo
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	10
2. METODOLOGÍA	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
3.1. Planteamiento y caracterización de aplicaciones	12
3.1.1. Control de temperatura	12
3.1.2. Arranque de un motor trifásico de inducción.....	13
3.1.3. Sistema de semaforización.....	13
3.2. Equipos y dispositivos requeridos	14
3.2.1. Aplicaciones.....	14
3.2.2. Módulo PLC.....	15
3.3. Selección de equipos y dispositivos	15
3.3.1. Actuadores.....	15
3.3.2. Sensores.....	16
3.3.3. Elementos indicadores	17
3.3.4. Controlador Lógico Programable (PLC).....	18
3.3.5. Dispositivos de protección	20
3.3.6. Estructura modular	21
3.4. Diseño y construcción del módulo PLC	22
3.4.1. Distribución de equipos, dispositivos y elementos de mando	23
3.4.2. Fuentes de voltaje	24
3.4.3. Implementación	26
3.5. Implementación de unidades didácticas	30
3.5.1. Aplicación 1	30
3.5.2. Aplicación 2	34
3.6. Algoritmos de control e Interfaces Humano Máquina (HMI)	34
3.6.1. Sistema de control del intercambiador de calor y mezcladora	35
3.6.2. Sistema de control del proceso de semaforización.....	49
3.7. Pruebas de funcionamiento	59
3.7.1. Módulo Educativo PLC.....	59
3.7.2. Unidad: Intercambiador de calor y mezcladora.....	61
3.7.3. Unidad: Sistema de semaforización	64
3.8. Prácticas	66
3.8.1. Práctica N°1.....	66
3.8.2. Práctica N°2.....	69
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS	76
ANEXO A	77
ANEXO B	83
ANEXO C	104
ANEXO D	108
ANEXO E	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Intercambiador compacto en espiral.	12
Figura 3.2: Mezclador bicónico.	13
Figura 3.3: Sistema de semaforización.	14
Figura 3.4: Actuadores para el intercambiador de calor.	16
Figura 3.5: Motor trifásico de inducción.	16
Figura 3.6: Sensor de nivel tipo flotador.	16
Figura 3.7: Sensor fin de carrera.	17
Figura 3.8: Luz piloto.	17
Figura 3.9: Luz led jumbo.	17
Figura 3.10: PLC S7-1200.	19
Figura 3.11: Step 7 y WinCC flexible.	19
Figura 3.12: Comunicación PROFINET.	20
Figura 3.13: Breaker de 3 polos y fusible.	20
Figura 3.14: Dispositivo de protección (fusible).	21
Figura 3.15: Tubo cuadrado de 20x1.5 mm.	21
Figura 3.16: Elementos de infraestructura: Tabla triplex y codo conduit.	21
Figura 3.17: Elementos de maniobra: pulsador, selector e interruptor.	22
Figura 3.18: Elementos de señalización, borneras, riel Din y canaleta.	22
Figura 3.19: Distribución externa.	25
Figura 3.20: Fuente de 5VDC y Fuente variable de 0-10VDC.	25
Figura 3.21: Envoltente metálico.	26
Figura 3.22: Cubierta frontal del envoltente.	27
Figura 3.23: Montaje del módulo PLC.	27
Figura 3.24: Cableado del módulo PLC.	28
Figura 3.25: Aspecto final del módulo PLC.	29
Figura 3.26: Circuito indicador de temperatura.	32
Figura 3.27: Circuito amplificador.	32
Figura 3.28: Unidad didáctica del intercambiador de calor y mezcladora.	33

Figura 3.29: Unidad didáctica del sistema de semaforización.	34
Figura 3.30: Pantalla de configuración.	45
Figura 3.31: Pantalla de visualización del proceso.	46
Figura 3.32: Pantalla de diagnóstico (alarmas)	47
Figura 3.33: Pantalla visor de curvas.....	46
Figura 3.34: Interfaz Humano Máquina (HMI) del sistema de semaforización.	58
Figura 3.35: Pantalla emergente “Carga avanzada”.	59
Figura 3.36: Funcionamiento del circuito de mando.....	60
Figura 3.37: Funcionamiento de salidas digitales.....	60
Figura 3.38: Funcionamiento entrada análoga mediante potenciómetros.....	61
Figura 3.39: Funcionamiento de entradas análogas mediante una señal externa.	61
Figura 3.40: Pantalla “Configuración” del intercambiador de calor y mezcladora	62
Figura 3.41: Pantalla del proceso en marcha.	62
Figura 3.42: Unidad: intercambiador de calor y mezcladora en funcionamiento.....	63
Figura 3.43: Respuesta del TIT.....	63
Figura 3.44: Instrumento registrador del controlador ON/OFF.....	64
Figura 3.45: Ventana de avisos emergente.	64
Figura 3.46: HMI del sistema de semaforización.....	65
Figura 3.47: Conteo vehicular.	65
Figura 3.48: Cambio de modo de funcionamiento (normal a nocturno).....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Entradas y salidas requeridos en el autómata.	18
Tabla 3.2: Calibre del conductor y terminales empleados.	28
Tabla 3.3: Variables del sistema de control del intercambiador de calor y mezcladora.	36
Tabla 3.4: Elementos del HMI utilizados en el intercambiador de calor y mezcladora.	47
Tabla 3.5: Horario modo nocturno.	50
Tabla 3.6: Variables del sistema de semaforización.	50
Tabla 3.7: Elementos que conforman el HMI del sistema de semaforización.	58

RESUMEN

La ejecución del presente proyecto responde a la necesidad de contribuir en la implementación de un Laboratorio de Control en la Escuela de Formación de Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional, dotando de equipos tecnológicos que permitan a los estudiantes aplicar los conocimientos teóricos de la asignatura de control industrial mediante prácticas de laboratorio.

El presente proyecto está conformado por cuatro capítulos, los cuales se detallan a continuación:

Capítulo 1: Introducción, contiene la justificación por la cual se desarrolla el proyecto, los objetivos a cumplir y el alcance del proyecto.

Capítulo 2: Metodología detalla la investigación utilizada, al igual que los recursos y técnicas empleadas. También describe como se llevará a cabo el proyecto; para cumplir con los objetivos, empezando desde la caracterización de los sistemas para el dimensionamiento del módulo, pasando por el diseño eléctrico-mecánico e implementación y finalizando con las pruebas de funcionamiento.

Capítulo 3: Resultados y Discusión, se describe el planteamiento y caracterización de las aplicaciones correspondientes al control de temperatura, sistemas de semaforización y arranque de un motor trifásico de inducción, debido a que mediante estas aplicaciones se diseña e implementa el módulo PLC. Además, se describen los algoritmos de control, las pruebas de funcionamiento realizadas al módulo y los sistemas para su interpretación y análisis, para finalizar esta sección se indican las prácticas que permitirán desarrollar sus propios algoritmos de control a los estudiantes para gestionar los sistemas.

Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones del proyecto integrador.

Palabras claves: PLC S7-1200, módulo PLC, control de temperatura, semaforización, motor trifásico.

ABSTRACT

The execution of this project responds to the need to contribute to the implementation of a Control Laboratory in the Technological Training School of the National Polytechnic School, providing technological equipment that allows students to apply the theoretical knowledge of the subject of control industrial through laboratory practices.

The present project consists of four chapters, which are detailed below:

Chapter 1: Introduction, contains the justification by which the project is developed, the objectives to be achieved and the scope of the project.

Chapter 2: Methodology details the research used, as well as the resources and techniques used. It also describes how the project will be carried out; to meet the objectives, starting from the characterization of the systems for the dimensioning of the module, through the electrical-mechanical design and implementation and ending with the performance tests.

Chapter 3: Results and Discussion, describes the approach and characterization of the applications corresponding to the temperature control, signaling and starting systems of a three-phase induction motor, due to the fact that through these applications the PLC module is designed and implemented. In addition, the control algorithms, the functional tests performed on the module and the systems for their interpretation and analysis are described, to finalize this section the practices that will allow developing their own control algorithms for the students to manage the systems are indicated.

Chapter 4: Conclusions and Recommendations of the integrating project.

Keywords: S7-1200 PLC, PLC Module, temperature control, traffic signaling, three-phase motor.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas automáticos han crecido a escala mundial; consiguiendo influir a industrias nacionales que han considerado que sus procesos deben actualizarse para obtener mayor eficiencia y producción. Por ende hoy en día se requiere profesionales con los conocimientos y capacidades necesarias para afrontar este cambio. Es por ello que en la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT), existe la necesidad de que los estudiantes de la carrera de Electromecánica dispongan de medios didácticos para el aprendizaje de la asignatura de Control Industrial, debido a la falta de un Laboratorio que cuente con equipos e infraestructura adecuada.

Tomando en cuenta la problemática se decide implementar un módulo educacional utilizando un Controlador Lógico Programable (PLC), buscando fortalecer conocimientos y mejorar la comprensión de las asignaturas técnicas impartidas con aplicaciones prácticas, ya que PLC es muy utilizado en el área industrial, porque permite automatizar tareas repetitivas, aumentando los niveles de producción y controlando magnitudes físicas de forma precisa (Daneri, 2008).

Para la ejecución del presente proyecto se ha planteado el siguiente objetivo general, implementar un módulo educacional utilizando un controlador lógico programable (PLC), el cual permita realizar un control de temperatura, un sistema de semafORIZACIÓN y un arranque de un motor de inducción trifásico. Para cumplir con el objetivo general es necesario efectuar actividades como: desarrollar aplicaciones basadas en el control de procesos industriales para ser implementados en el módulo educacional, determinar características del módulo según las aplicaciones, dimensionar y seleccionar equipos, construir el módulo y las unidades didácticas, realizar pruebas y finalmente elaborar guías de laboratorio para cada una de las aplicaciones.

Al concluir el proyecto el módulo PLC será capaz de controlar dos unidades didácticas (aplicaciones), siendo la primera aplicación un sistema de control de temperatura en el que interviene el arranque del motor de inducción trifásico y el segundo un sistema de semafORIZACIÓN. Estos sistemas dispondrán de su respectivo algoritmo de control, una Interfaz Humano-Maquina (HMI), y un manual de usuario en el que consten las conexiones a realizarse entre el módulo y los sistemas, además de identificar posibles fallas y las labores respectivas de mantenimiento.

2. METODOLOGÍA

El presente estudio se enmarca en una investigación Aplicativa, puesto que es necesario recurrir a los conocimientos adquiridos durante la formación académica, para dimensionar y seleccionar los equipos idóneos que permitan implementar un módulo educacional utilizando un controlador lógico programable (PLC). Adicionalmente se realiza una investigación con el fin de recolectar información, a través de documentos digitales y páginas académicas, con el objetivo de adquirir conocimientos de cada uno de los componentes eléctricos y de control necesarios para implementar la mejor solución (Arias, 1999).

La información recolectada permitirá desarrollar de manera clara y precisa las aplicaciones de: control de temperatura, arranque de un motor de inducción trifásico y un sistema de semaforización, en cada aplicación se identifica el comportamiento de cada una de las variables que influyen sobre el sistema, con la finalidad de determinar las características primordiales que debe contener el módulo PLC como: un módulo de entradas y salidas digitales, un módulo de entradas análogas, un canal de comunicación entre el PLC y la PC, circuitos acondicionadores, entre otras, etc.

A continuación se seleccionará un PLC según los requerimientos específicos y mediante una búsqueda adecuada de información de fabricantes de equipos. Posteriormente se elaborará el diseño del gabinete eléctrico en el que se implementara el módulo educacional bajo normas técnicas, las que determinarán las dimensiones del envoltorio y la distribución de los equipos eléctricos, estas dimensiones serán plasmadas en un plano mecánico realizado en el software AutoCAD, de tal manera que permita realizar un montaje correcto del módulo educacional

Para la construcción y montaje del módulo, se realizarán trabajos de matricería formando un envoltorio rectangular metálico, en su interior se localizarán rieles o perfiles para la fijación de los equipos. En su parte exterior estarán localizadas borneras para conectar eléctricamente las entradas y salidas del PLC.

Las pruebas de funcionamiento del módulo educacional se efectuarán mediante la implementación de tres aplicaciones relacionadas con el control de temperatura, arranque de motores y semaforización, las cuales dispondrán de sus respectivos algoritmos de control y una Interfaz Humana Máquina (HMI) que permita controlar, monitorear y supervisar cada proceso.

Una vez implementadas las aplicaciones se planteará hojas guía que permitan a los estudiantes formular sus propios algoritmos de control para controlar los sistemas de forma correcta. Los estudiantes dispondrán además de un manual de usuario para que

identifiquen las conexiones a realizarse entre los sistemas y el módulo PLC, como también encontrar solución a las posibles fallas y realizar los respectivos mantenimientos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Planteamiento y caracterización de aplicaciones

En esta sección se detalla la importancia y las características que deben cumplir los sistemas a implementar. Para que a continuación se determinen los requerimientos del módulo PLC educacional.

3.1.1. Control de temperatura

Controlar y medir la temperatura es muy importante puesto que es una de las magnitudes físicas que más influye a casi todos los procesos dentro de la industria (Creus, 2011). Es por ello que la primera aplicación planteada está relacionada con el control de temperatura asociada a un intercambiador de calor, el cual es muy utilizado en procesos industriales; por ejemplo: pasteurización de la leche. En la Figura 3.1 se presenta un intercambiador compacto en espiral.



Figura 3.1: Intercambiador compacto en espiral.

Fuente: (Rodríguez, 2018).

✓ Características

El proceso debe ser capaz de generar una temperatura en un fluido de hasta 80°C, el fluido al cual se le transfiere energía en forma de calor será agua en un volumen de 7 Lts, adicionalmente se incorpora luces indicadoras y un termómetro digital que muestre la temperatura del fluido a modo de imitar una estación local de una industria. La aplicación dispone de un sistema de monitoreo y supervisión (HMI) que permita al operador una fácil y correcta operación del sistema.

3.1.2. Arranque de un motor trifásico de inducción

La segunda aplicación tiene que ver con el arranque de un motor de inducción vinculado a una mezcladora, puesto que es utilizado en procesos industriales donde se requiere combinar ciertos productos para conseguir un producto final. Esta aplicación es ampliamente usada en la industria farmacéutica, en la Figura 3.2 se observa un mezclador bicónico.



Figura 3.2: Mezclador bicónico.

Fuente: (Lleal S.A, 2018).

✓ **Características**

Esta aplicación dispone de un motor trifásico que funciona tanto en el sentido horario como anti-horario durante un periodo de tiempo determinado por el operador, además se dispondrá de luces indicadoras verdes para indicar el sentido de giro y una luz indicadora roja en caso de una sobrecarga.

3.1.3. Sistema de semaforización

La tercera aplicación es un sistema de semaforización, la cual hoy en día presenta una solución para aliviar el tránsito vehicular.

En la Figura 3.3 se muestra un cruce de vías en el que se controla el tránsito vehicular mediante un sistema de semaforización.

✓ **Características**

El sistema planteado contabiliza el número de vehículos presentes en la vías, cuando el sistema determine tres ciclos realiza una comparación estableciendo en que vía existe mayor número de vehículos, dependiendo de la cantidad de vehículos el sistema proporciona prioridad de transitar aumentando el tiempo de encendido de la luz verde,

adicionalmente se dispone de un modo nocturno en el que las luces amarillas se volverán intermitentes en un horario según el día de la semana, fuera de este horario el sistema volverá al modo normal. Asimismo se dispone de una interfaz que permita visualizar el número de vehículos, los ciclos y tiempos transcurridos durante la ejecución de la aplicación.

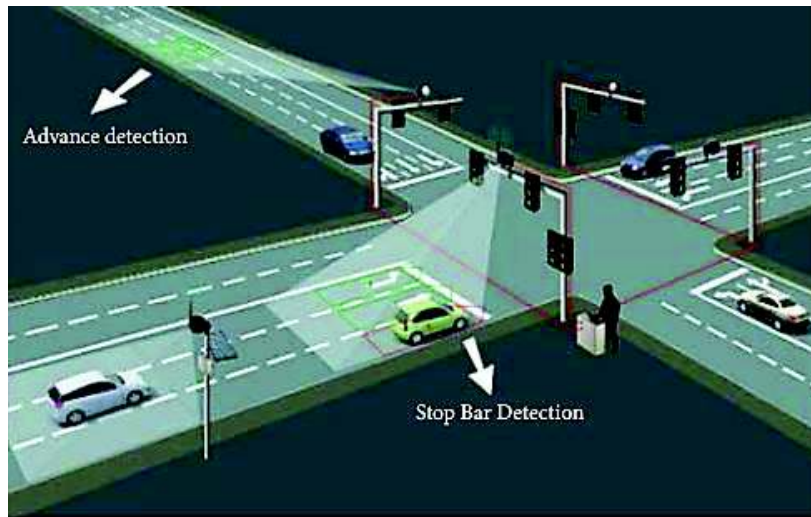


Figura 3.3: Sistema de semaforización.

Fuente: (Jacobo, 2018).

3.2. Equipos y dispositivos requeridos

En esta sección se indican los equipos y dispositivos requeridos en las aplicaciones y en el módulo educacional, para cumplir con sus respectivas características y permitir una correcta utilización de los mismos.

3.2.1. Aplicaciones

- ✓ **Actuadores.** Los elementos finales de control cumplen un importante papel dentro del control automático de procesos en un bucle de regulación, debido a que modifican el valor de la variable medida (Creus, 2011).
- ✓ **Sensores.** Permite interpretar o detectar una señal física para posteriormente expresarla en una señal eléctrica, permitiendo dar una señal de mando o cuantificar la variable física (Vásquez Chico & Suárez Mullo, 2015).
- ✓ **Elementos indicadores.** Indican el estado del proceso, muestra el accionar de un dispositivo o una señal de alarma.
- ✓ **Dispositivos de protección.** Para resguardar la integridad de las personas, equipos e instrumentos de una sobrecarga o eventual cortocircuito, las protecciones deben

cumplir con la normas IEC 60947-1 y la IEC 60947-2. Los más empleados son fusibles, breaker's y relés térmicos.

- ✓ **Elementos de maniobra.** Para aislar eléctricamente el circuito de control del circuito de fuerza, permitiendo accionar cargas de gran inercia.
- ✓ **Estructura modular.** Para ubicar los elementos anteriormente descritos y que en este se desarrolle el proceso, dotando de funcionalidad a la aplicación.

3.2.2. Módulo PLC

- ✓ **Unidad de procesamiento central.** El controlador lógico programable (PLC) debe contar de un número determinado de entradas y salidas tanto digitales como analógicas para gestionar los sistemas a controlar. Es así, que el sistema o proceso determina las características del PLC a emplearse.
- ✓ **Dispositivos de protección.** Imperativo para reducir el riesgo de avería del equipo por un cortocircuito o una sobrecarga y alargar su vida útil, a costa de la fundición del fusible o accionamiento del termomagnético, al mismo tiempo se evita colocar al operario en una condición insegura.
- ✓ **Estructura modular.** Para la colocación y protección del PLC y sus componentes, consiguiendo una protección mecánica como eléctrica, así como también para incrementar la funcionalidad en cuanto al conexionado entre las entradas, salidas, fuente de poder y comunicación hacia el autómatas.

3.3. Selección de equipos y dispositivos

En esta sección se enumeran los equipos y dispositivos requeridos para la implementación de las aplicaciones planteadas en el punto 3.1, por motivos de funcionalidad se conjuga la aplicación del intercambiador de calor y la mezcladora. Los datos técnicos de los equipos y dispositivos se los puede encontrar en el Anexo A.

3.3.1. Actuadores

- a) **Intercambiador de calor y mezcladora.** Para la implementación del control de temperatura es indispensable contar con un equipo que genere energía calorífica, como es el caso de las resistencias de inmersión, de igual forma se requiere de dos bombas periféricas y dos selenoides que permitan circular el fluido tanto a la entrada para abastecer de fluido como a la salida para evacuar el fluido caliente, la Figura 3.4 muestra el aspecto físico de la resistencia, bomba y electroválvula.

En cambio, para la implementación de la mezcladora es necesario un motor trifásico de inducción, en la Figura 3.5 se indica el motor seleccionado.

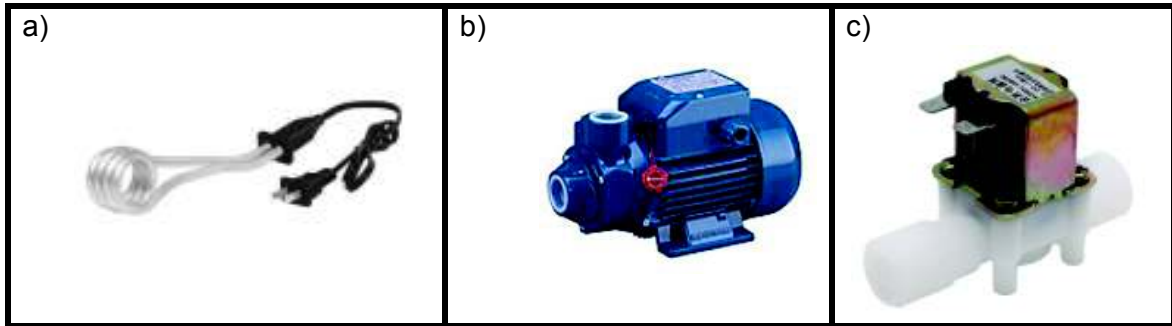


Figura 3.4: Actuadores para el intercambiador de calor.



Figura 3.5: Motor trifásico de inducción.

b) Sistema de semaforización. Esta aplicación utiliza como actuadores a los elementos indicadores, en la sección 3.3.3 se muestra los elementos seleccionados.

3.3.2. Sensores

a) Intercambiador de calor y mezcladora. Para este sistema se utiliza dos sensores todo o nada tipo flotador, con sus contactos normalmente abiertos (Ver Figura 3.6).



Figura 3.6: Sensor de nivel tipo flotador.

Fuente: (Omega Electrónica S.A, 2017)

También se utiliza un Transmisor Indicador de Temperatura (TIT) para la visualización y la transmisión en voltaje de la temperatura, como elemento primario se escoge al sensor monolítico LM35, como unidad de procesamiento se selecciona el microcontrolador PIC16F870 y como interfaz gráfica un LCD de 16x2, en las Tablas A1.6, A1.7 y A1.8 del Anexo A se detalla las características técnicas de los tres dispositivos mencionados anteriormente.

- b) **Sistema de semaforización.** Se selecciona cuatro interruptores de posición para detectar el ingreso y salida de vehículos en la vía, en la Figura 3.7 se indica al sensor fin de carrera.



Figura 3.7: Sensor fin de carrera.

Fuente: (Omega Electrónica S.A, 2017)

3.3.3. Elementos indicadores

- a) **Intercambiador de calor y mezcladora.** Para esta aplicación es necesario cuatro luces led de color verde para indicar el encendido del motor trifásico en sentido horario, antihorario, resistencia, válvulas y bombas periféricas (Estos dos últimos actuadores utilizan la misma luz, debido a su accionamiento simultáneo). También se incluye una luz piloto de color rojo para mostrar una posible sobrecarga en el motor (Ver Figura 3.8).



Figura 3.8: Luz piloto.

Fuente: (Omega Electrónica S.A, 2017)

- b) **Sistema de semaforización.** Para representar los semáforos se elige luces led jumbo de color rojo, amarillo y verde a 5VDC (Ver Figura 3.9).



Figura 3.9: Luz led jumbo.

Fuente: (Omega Electrónica S.A, 2017)

3.3.4. Controlador Lógico Programable (PLC)

El sistema a gestionar determina el autómatas a utilizarse, esto se debe a que el proceso a automatizar consta de señales de mando (sensores, pulsadores y selectores), como también requiere accionar un dispositivo de maniobra o actuador directamente. Es así que, en la Tabla 3.1 se resume y se determina la necesidad de seis salidas digitales, cuatro entradas digitales y una entrada analógica.

Tabla 3.1: Entradas y salidas requeridos en el autómatas.

Aplicación o sistema de control	Entradas digitales		Entradas analógicas		Salidas digitales	
	Cant.	Desc.	Cant.	Desc.	Cant.	Desc.
Intercambiador de calor y mezcladora (control de temperatura y arranque de motor trifásico de inducción)	2	Sensores tipo flotadores	1	Transmisor Indicador de Temperatura (TIT)	1	Resistencia de inmersión
					2	Bombas periféricas y solenoides
					2	Motor trifásico de inducción (doble sentido)
Sistema de semaforización	4	Interruptores de posición	-	-	6	Indicadores luminosos (luces semáforos)

Una vez conocido el número de entradas y salidas que debe disponer el controlador, se selecciona el PLC de CPU 1212C de la serie S7-1200 en la marca Siemens, debido a su diseño compacto, bajo costo y amplio juego de instrucciones (Siemens, 2016). En la Figura 3.10 se observa el diseño compacto y sus componentes accesibles al usuario como: (1) conector de corriente, (2) conectores extraíbles para cableado in/out, (2) ranura para memory card, 3) led's de estado para in/out y (4) conector PROFINET, la Tabla A1.9 del Anexo A muestra las características más relevantes.

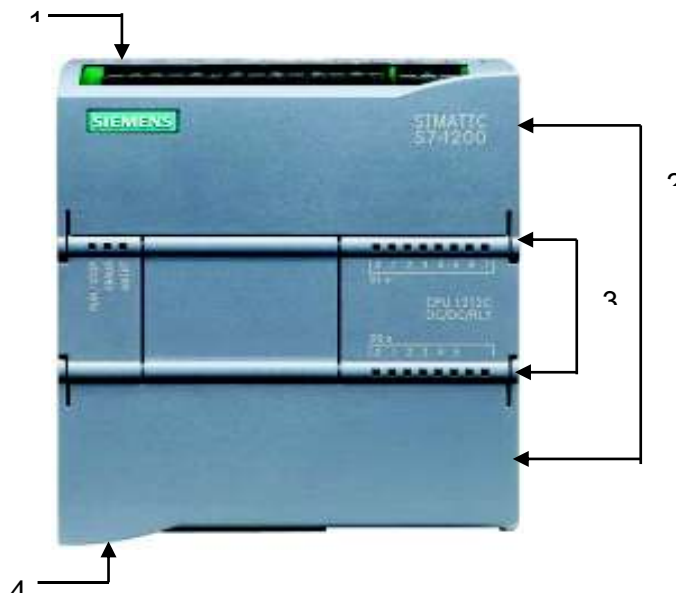


Figura 3.10: PLC S7-1200.

Fuente: (Siemens, 2016).

Al escoger el PLC, al mismo tiempo se selecciona el software de programación y el tipo de comunicación; siendo estos el *Totally Integrated Automation Portal* (TIA PORTAL) versión V13 y comunicación PROFINET. El primero incorpora herramientas como: Step 7 y WinCC flexible (Ver Figura 3.11), logrando elaborar el algoritmo de control además de configurar la Interfaz Humano Maquina (HMI).

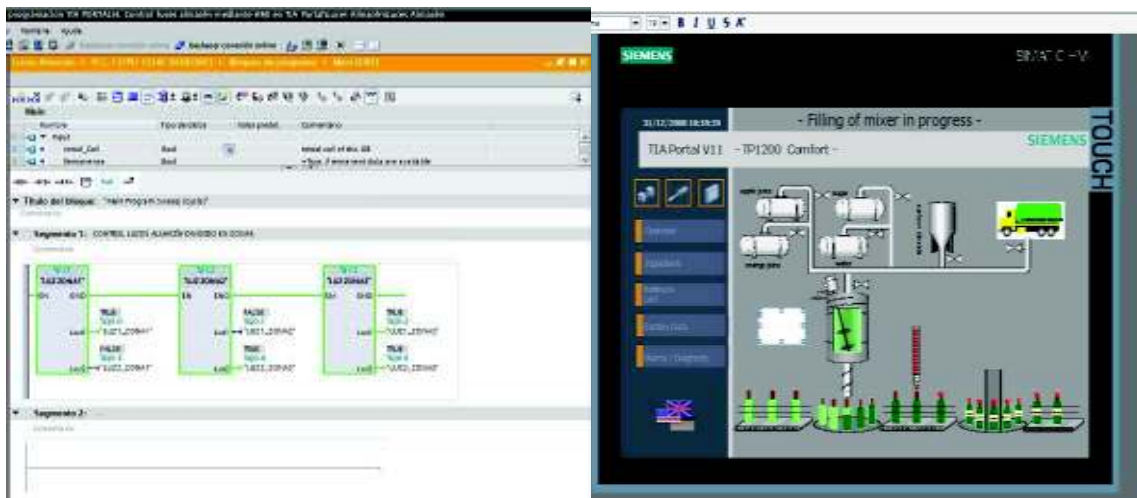


Figura 3.11: Step 7 y WinCC flexible.

Fuente: (Siemens, 2016).

Este proyecto utiliza comunicación PROFINET o Ethernet Industrial, puesto que el PLC dispone de un puerto de comunicación con conector RJ45, lo cual facilita la comunicación entre el computador y el autómata, debido a que se requiere una dirección IP distinta a las existentes conservando el ID (Identificador) de red al cual se enlaza (Ver Figura 3.12).

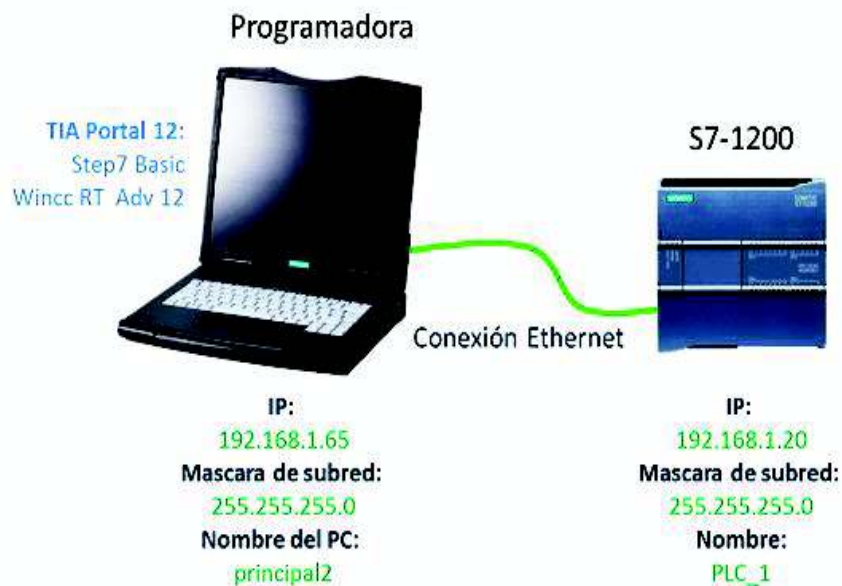


Figura 3.12: Comunicación PROFINET.

Fuente: (Siemens, 2016).

3.3.5. Dispositivos de protección

a) Aplicaciones

Considerando la combinación de las aplicaciones de: intercambiador de calor y mezcladora por motivos de funcionalidad se selecciona un interruptor automático general de 3 polos a 16A, teniendo como argumentos de selección que no todas las cargas instaladas serán accionadas al mismo tiempo, y que la carga mayor es resistiva de 1.5KW a 120VAC. En cambio, para el sistema de semaforización es necesario fusibles de 1A, los dispositivos seleccionados se puede observar en la Figura 3.13.



Figura 3.13: Breaker de 3 polos y fusible.

b) Módulo PLC

Considerando las características técnicas del PLC S7-1200 se selecciona fusibles de 1A para proteger las salidas del PLC y de 0.5A para la fuente interna de 24VDC, además se

utiliza breakers de 1A para proteger la alimentación de corriente al controlador lógico programable (Ver Figura 3.14).



Figura 3.14: Dispositivo de protección (fusible).

3.3.6. Estructura modular

a) Aplicaciones

Los sistemas a construir constan de una estructura capaz de instalar los equipos y dispositivos seleccionados de manera eficaz, con la finalidad de proponer una fácil operación.

✓ Intercambiador de calor y mezcladora

Para la estructura se selecciona hierro negro en la presentación de tubo cuadrado de 20mm con un espesor de 1.5mm y tabla triple de 5mm (Ver Figura 3.15).



Figura 3.15: Tubo cuadrado de 20x1.5 mm.

✓ Sistema de semaforización

Se selecciona como elemento de soporte una tabla triplex de un espesor de 5mm y como poste del semáforo a un codo conduit de 1/2" x 90° (Ver Figura 3.16).



Figura 3.16: Elementos de infraestructura: Tabla triplex y codo conduit.

b) Módulo PLC

El módulo PLC será construido en tol galvanizado de 1.1mm con un revestimiento de pintura electrostática. Además, se requiere de elementos de maniobra como: pulsadores de 22mm, selectores de dos posiciones de 22mm y un interruptor tipo ojo de cangrejo (Ver Figura 3.17).



Figura 3.17: Elementos de maniobra: pulsador, selector e interruptor.

También de elementos de señalización como una luz piloto verde de 22mm y un par de voltímetros digitales para VDC. Adicionalmente se necesita borneras tipo jack banana, riel Din 35mm y canaleta plástica de 25x25mm (Ver Figura 3.18).



Figura 3.18: Elementos de señalización, borneras, riel Din y canaleta.

3.4. Diseño y construcción del módulo PLC

Para la elaboración del diseño se considera el segundo capítulo del manual de usuario de SIEMENS del PLC nombrado como “Montaje” (Anexo B), de este capítulo se extrae las siguientes consideraciones:

- ✓ Resguardar al PLC dentro de un armario eléctrico, el cual conste de con una protección mecánica IP20.
- ✓ Instalarlo sobre riel DIN.
- ✓ Tener un margen de separación entre el armario y el controlador de 25 mm entre todas sus aristas para obtener una refrigeración por convección natural (Siemens, 2016).

El módulo al ser un elemento didáctico debe disponer de una parte interna como externa. En la parte interna se ubica el autómatas, dispositivos de protección y elementos electrónicos; igualmente debe permitir futuras ampliaciones mediante los módulos:

- ✓ Módulo digital SM 1223 (8IN/8OUT)
- ✓ Módulo análogo SM 1234 (4IN/2OUT)
- ✓ *Signal Board SB 1232* (1OUTANALOGIC)

La parte externa debe contar con las perforaciones necesarias para colocar: borneras, voltímetros y elementos de mando; de igual forma en la parte lateral derecha debe ser posible conectar: el cable de fuerza, conector Jack (RJ45) y los dispositivos de protección para las entradas y salidas digitales.

Los planos estructurales del módulo están disponibles en la lámina C1.1 del Anexo C, los cuales indican exactamente la distribución de los orificios, lo cual permitirá una implementación eficaz de los dispositivos de protección, elementos de mando y equipos electrónicos.

3.4.1. Distribución de equipos, dispositivos y elementos de mando

✓ Interna

Dentro del gabinete se plantea una distribución por niveles, el nivel superior está disponible para el PLC y sus posibles ampliaciones, en el nivel medio está reservado para termomagnéticos de 1A y en el nivel inferior se ubica un circuito electrónico de 5VDC para energizar los voltímetros y un voltaje variable (0 a 10VDC) para las entradas análogas. En la lámina C1.2 del Anexo C se puede observar la vista interna y la ubicación de los componentes descritos.

✓ Externa

Los elementos a instalar en la parte externa son: elementos de mando, dispositivos de protección, borneras tipo Jack bananas y elementos eléctricos (voltímetros y potenciómetros). La distribución se da básicamente en dos aristas del gabinete, ubicando en la parte frontal entradas y salidas tanto digitales como análogas, y en la parte lateral derecha en cambio se ubican los dispositivos de protección, conector de comunicación y de alimentación.

El encendido del módulo, las entradas y salidas; sean digitales y análogas se organizan de la siguiente manera:

1. **Encendido.** Esta primera sección se encuentra compuesta por un selector de dos posiciones (S1) y una luz piloto (PLC-ON).
2. **Entradas digitales CPU.** En esta sección se dispone de una bornera roja (24VDC), cuatro pulsadores verdes (%I0.0 hasta %I0.3) y cuatro selectores (%I0.4 hasta %I0.7).

3. **Entradas digitales SM1223.** Esta sección consta de una bornera roja (24VDC) y ocho borneras negras las que representan las entradas %I8.0, %I8.1, %I8.2, %I8.3, %I8.4, %I8.5, %I8.6 y %I8.7.
4. **Salidas digitales CPU.** Se dispone de ocho borneras rojas y ocho borneras negras para las salidas correspondientes a las direcciones: %Q0.0, %Q0.1, %Q0.2, %Q0.3, %Q0.4, %Q0.5. Las borneras restantes se las reserva para: 1L y 2L.
5. **Salidas digitales SM1223.** Se colocan diez borneras rojas y diez borneras negras para las salidas correspondientes a las direcciones: 1L, %Q8.0, %Q8.1, %Q8.2, %Q8.3, 2L, %Q8.4, %Q8.5, %Q8.6 y %Q8.7.
6. **Salidas análogas.** Al no contar la CPU 1212C con salidas análogas, se propone reservar una sección para una posterior ampliación mediante la *Signal Board* con dirección %QW80 y el módulo SM1234 con dirección %QW112 y %QW114, cada dirección cuenta con su par de borneras para su conexión con el módulo físico.
7. **Entradas análogas.** Las entradas con dirección %IW64 y %IW66 son las que incorpora la CPU, a estas dos entradas se las incorpora la funcionalidad de recibir una señal externa (transmisor de voltaje) o recibir una señal de voltaje a través de sus respectivos potenciómetros (pot1 y pot2), el selector S2 permite determinar la señal de ingreso y los voltímetros indican la magnitud del voltaje sin importar que sea una señal externa o interna. Las direcciones %IW112, %IW114, %IW116 y %IW118 son las entradas análogas para el módulo de ampliación SM1234, cada entrada dispone de dos borneras para su conexión.

En la Figura 3.19 se muestra la distribución de la arista frontal del módulo PLC, con cada una de sus secciones marcadas con su respectivo numeral.

3.4.2. Fuentes de voltaje

Para que los voltímetros digitales muestren la magnitud medida se requiere energizarlos con 5VDC. Así que, el circuito diseñado recibe 24VDC del PLC y mediante capacitores (0.33uf y 0.1uf) y un regulador LM7805 se consigue proporcionar la tensión requerida (Ver Figura 3.20).

En cambio, para simular la señal de un transmisor de voltaje se emplea divisores de tensión mediante potenciómetros, al igual que el circuito anterior se lo alimenta con la tensión disponible en el PLC y mediante resistencias de 1kohm y 5kohm se consigue disponer de una fuente de voltaje variable entre 0 y 10VDC (Ver Figura 3.20.)

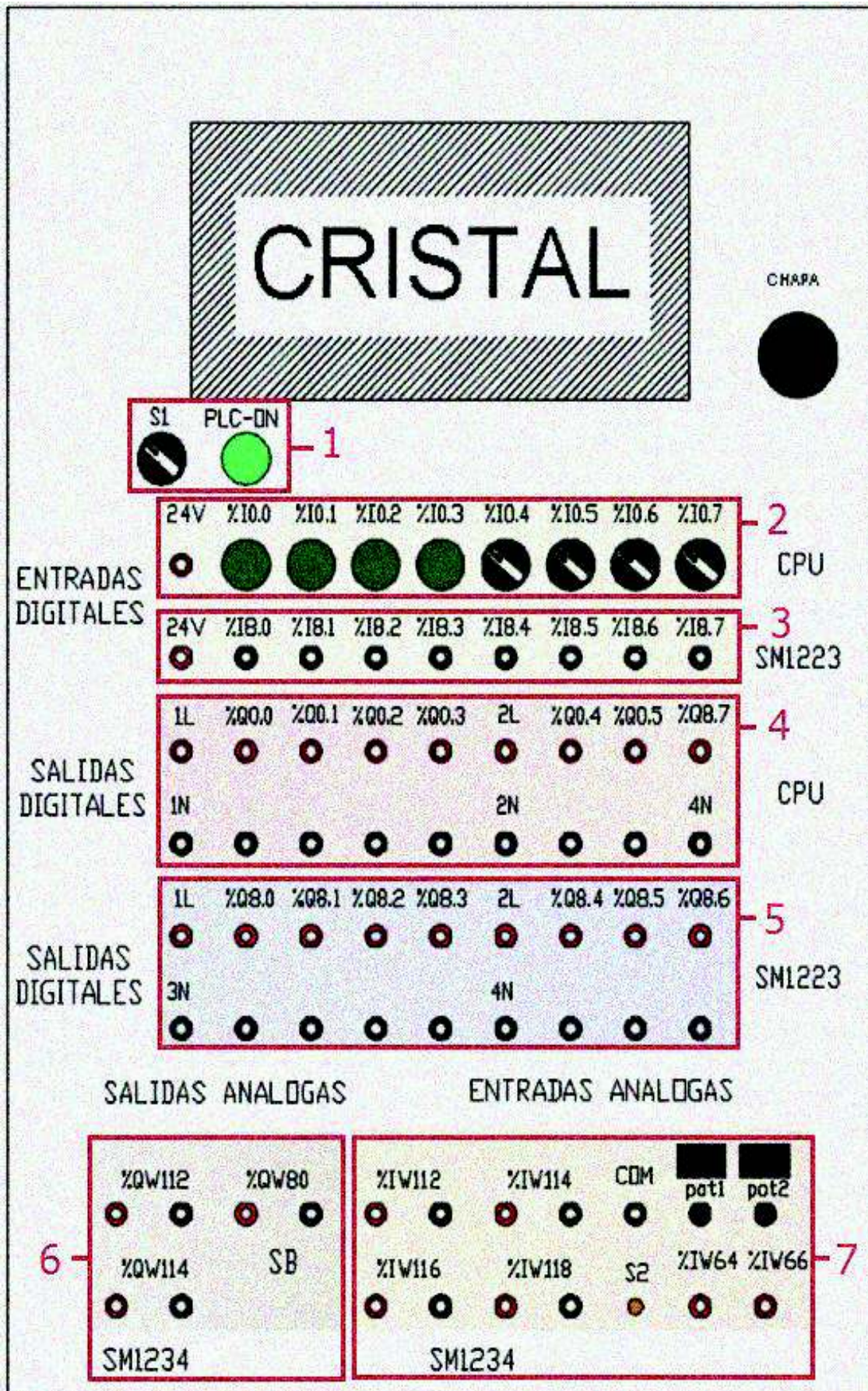


Figura 3.19: Distribución externa.

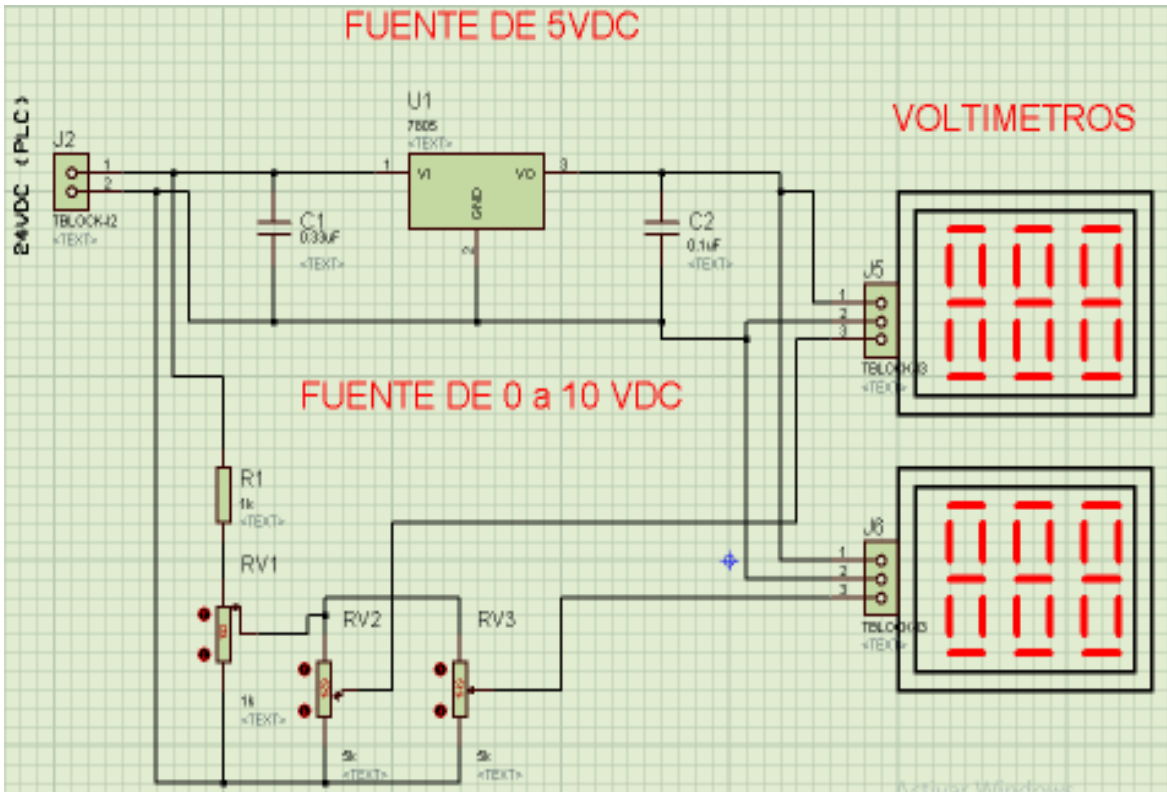


Figura 3.20: Fuente de 5VDC y Fuente variable de 0-10VDC.

3.4.3. Implementación

✓ Fabricación

Se inicia cortando 3 planchas: 1 de 400x600x1.1mm y 2 de 200x600x1.1mm, para formar el envoltorio del módulo (Ver Figura 3.21).



Figura 3.21: Envoltorio metálico.

A continuación se corta una cuarta plancha de 400x600x1.1mm para realizar los orificios en las dimensiones señaladas en la lámina C1.1 del Anexo C, utilizándola para la parte frontal del módulo (Ver Figura 3.22). Finalmente se suelda las bisagras y se pinta.

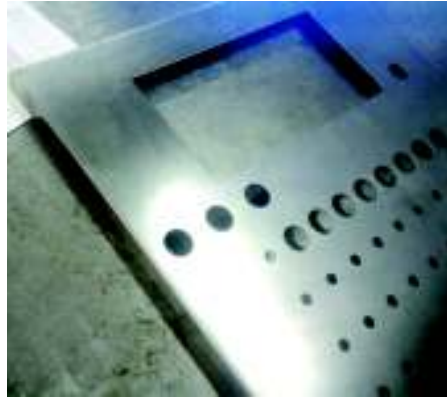


Figura 3.22: Cubierta frontal del envoltente.

✓ **Montaje**

Primero se instala las canaletas y el riel DIN; luego se coloca sobre el riel DIN al PLC, los termomagnéticos y el circuito electrónico. En la parte lateral se instalan los fusibles, el puerto de comunicación (RJ45) y terminal para el cable de fuerza. En la parte frontal se colocan los jack babanas, los selectores, pulsadores y la luz indicadora. En la Figura 3.23 se muestra el proceso de montaje.



Figura 3.23: Montaje del módulo PLC.

✓ **Cableado**

La conexión de los dispositivos y elementos hacia las borneras se puede observar en el plano eléctrico de la lámina C1.3 del Anexo C, el tipo de terminales y el cable utilizado se encuentran descritos en la Tabla 3.2.

El cableado realizado en el módulo PLC cumple con las directrices especificadas en el capítulo nombrado como “Montaje” del manual de usuario del PLC S7-1200, el cual se encuentra en el Anexo B. En la sección 2.3 del capítulo “Montaje” se indica la capacidad de los conductores a instalar, como también las consideraciones para los dispositivos de protección contra sobrecorrientes.

Tabla 3.2: Calibre del conductor y terminales empleados.

Color del conductor	Calibre (AWG)	Terminal utilizado	Descripción de conexión
Negro	14	Horquilla-Punta	Utilizado para representar al conductor de Fase hacia el PLC
Blanco	14	Horquilla-Punta	Utilizado para representar al conductor de Neutro hacia el PLC
Verde	14	Punta	Utilizado para representar la conexión a tierra del PLC
Amarillo	18	Punta-Horquilla	Utilizado para la conexión de entradas y salidas del PLC
Azul	22	Punta	Utilizado para la conexión del circuito de las fuentes

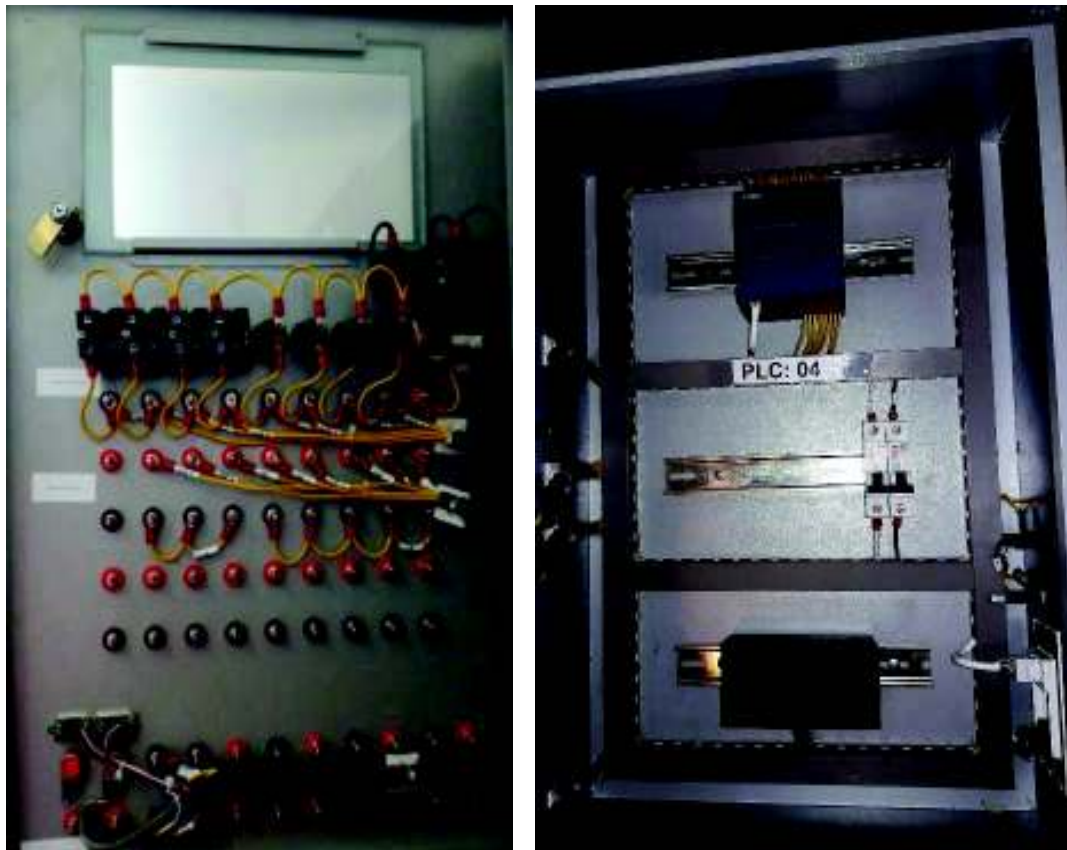


Figura 3.24: Cableado del módulo PLC.

En la Figura 3.24 se muestra el cableado instalado, tanto al fondo del gabinete, como en la parte trasera de la cubierta, cada conductor se encuentra con su respectivo identificativo.

Se utiliza un espiral negro para agrupar el número de conductores y cintas adhesivas para sujetar al espiral.

✓ **Colocación de Adhesivo**

Finalmente se coloca el adhesivo que identifica las direcciones de las respectivas entradas y salidas tanto de la CPU del 1212C como también de los módulos de ampliación (Ver Figura 3.25).

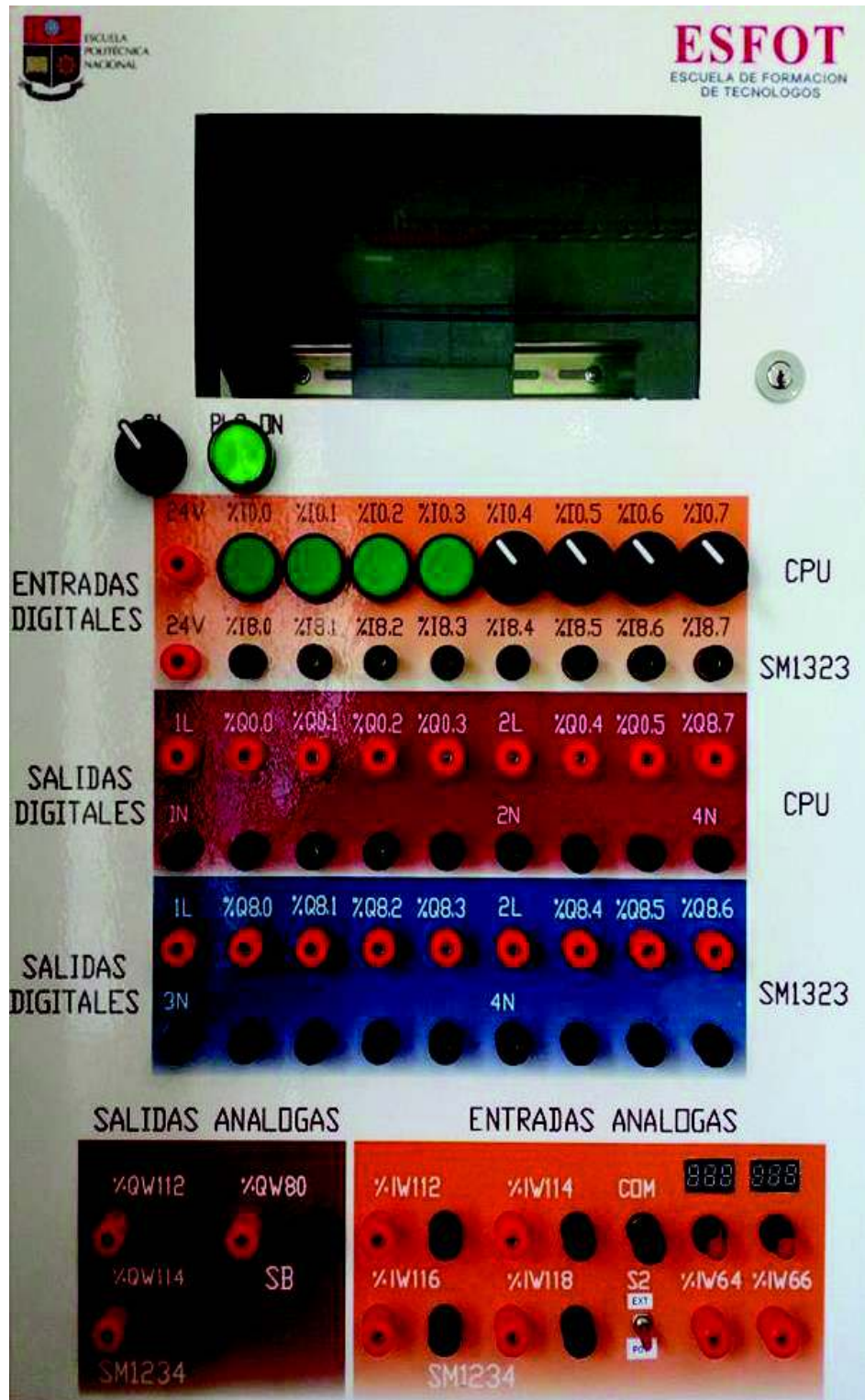


Figura 3.25: Aspecto final del módulo PLC.

3.5. Implementación de unidades didácticas

Los sistemas implementados son controlados a través del módulo PLC. Los sistemas cumplen con las características descritas en la sección 3.1.

3.5.1. Aplicación 1

a) Estructura

El material utilizado para la estructura es tubo cuadrado de 20x3mm, debido a que se debe soportar al módulo PLC, motores y contenedores llenos de agua, en la lámina D1.1 del Anexo D, muestra las dimensiones de la estructura y la ubicación de los elementos que la componen.

b) Cableado

Este diseño contempla disponer las señales de mando que provee el sistema en un par de borneras, conectando mediante un conductor eléctrico a la bornera con el sensor, de forma similar se realiza con los elementos de maniobra (contactores y relés) con la finalidad de accionar dichos dispositivos desde el módulo PLC con sus salidas tipo relé. El circuito de fuerza se encuentra cableado internamente para evitar contratiempos en las sesiones de laboratorio. El diseño eléctrico se encuentra disponible en la lámina D1.2 del Anexo D.

c) Transmisor Indicador de Temperatura (TIT)

Debido a que la temperatura es una magnitud física de evolución lenta se utiliza como elemento primario al sensor monolítico LM35, ya que presenta características importantes como: rango de medida entre -55° a $+150^{\circ}$, sensibilidad de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$, una alta linealidad y precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Además, se dispone de un microcontrolador PIC16F870 para tomar la señal analógica del sensor y transfórmala a una señal digital de tal modo que se pueda expresar la temperatura leída a través de un LCD de 16x2.

✓ Programa del Microcontrolador PIC16F870

A continuación se muestra el programa desarrollado para el PIC16F870, el cual permite que el microcontrolador interprete la señal del sensor LM35 y mediante la lógica requerida exprese la temperatura del fluido en el LCD.

// Definición de conexiones entre el microcontrolador y el LCD

```
sbit LCD_RS at PORTC2_bit;  
sbit LCD_EN at PORTC3_bit;  
sbit LCD_D4 at PORTC4_bit;  
sbit LCD_D5 at PORTC5_bit;  
sbit LCD_D6 at PORTC6_bit;  
sbit LCD_D7 at PORTC7_bit;  
sbit LCD_RS_Direction at DDD2_bit;  
sbit LCD_EN_Direction at DDD3_bit;  
sbit LCD_D4_Direction at DDD4_bit;  
sbit LCD_D5_Direction at DDD5_bit;
```

```

sbit LCD_D6_Direction at DDD6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at DDD7_bit;
// Fin de configuración de conexiones
char txt1[] = "EPN";// Definición de variable tipo char para almacenar los caracteres "EPN"
float destino; // Declaración de una variable tipo float con nombre destino
char temp[2]; // Declaración de una variable tipo char con nombre temp definido por 2
caracteres
void main(){
Lcd_Init(); // Inicialización de LCD
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Borrado de caracteres en el LCD
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Apagado de cursor
Lcd_Out(1,7,txt1); // Escribir en la fila 1, pixel 7 los caracteres que almacena txt1
Delay_ms(500); // Retardo de 500ms
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Borrado de caracteres en el LCD
lcd_out(1,4,"TEMPERATURA"); // Escribir en la fila 1, pixel 4 la palabra "TEMPERATURA"
lcd_out(2,3,"ACTUAL:"); // Escribir en la fila 2, pixel 3 la palabra "ACTUAL:"
ADC_Init(); // Inicialización del convertidor análogo-digital
do{ // Inicio de bucle
destino =((ADC_Read(0)*0.009775171)); // Almacenamiento en destino la lectura y
conversión de la entrada análoga del canal 0
sprintf(temp,"%7.3f",destino); // Cambio de variable float a string
lcd_out(2,10,temp); // Escribir en la fila 2, pixel 10 la cadena de caracteres correspondiente
a la temperatura
lcd_out(2,13,"°C"); // Escribir el carácter "°C"
}while(1); // Condicional de bucle
}
}

```

✓ Circuito del TIT

En la Figura 3.26 se presenta el circuito necesario para mostrar la temperatura a través del LCD, a continuación se describe los componentes que lo conforman:

- Una fuente de 5 VDC: regulada a través de un circuito integrado (LM7805), capacitores de 0.1uf cerámicos y capacitores de 220 uf y 2.2uf electrolíticos.
- Un sensor monolítico LM35: dispone de 3 terminales; 2 sirven para energizarlo (VCC y GND) y el tercero suministra un voltaje proporcional a la temperatura aplicada.
- Circuito amplificador no-inversor: se utiliza un amplificador operacional LM358 y resistencias de 100 KΩ para duplicar el voltaje proporcionado por el sensor LM35.
- Microcontrolador PIC16F870: dispone 6 pines en el pórtilo A y 8 pines en los puertos B y C; adicionalmente utiliza un oscilador externo de 8 MHz.
- LCD 16x2: se lo emplea como interfaz de salida para visualizar la temperatura del fluido.

Las características de los componentes utilizados se encuentran en el Anexo A para mayor información (Tablas A1.6, A1.7 y A1.8).

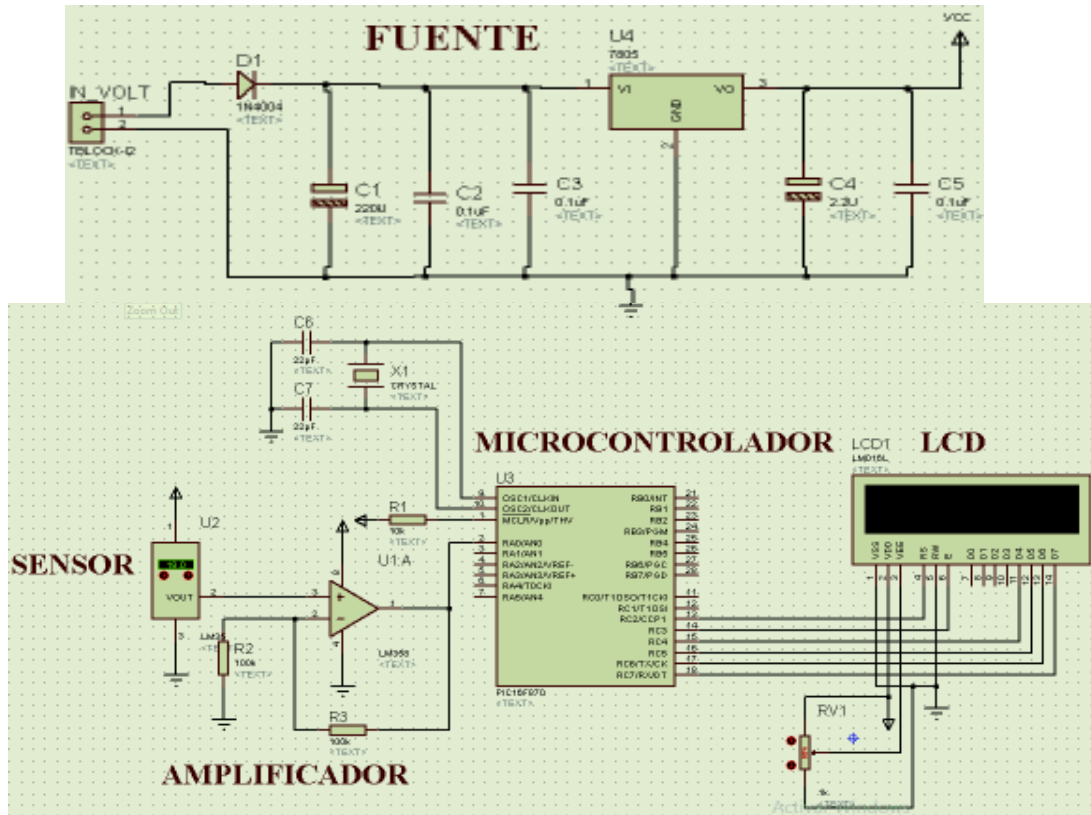


Figura 3.26: Circuito indicador de temperatura.

Para transmitir la temperatura mediante una señal de voltaje se emplea un circuito amplificador no-inversor, utilizando un amplificador operacional LM324 y resistencias de 5 K Ω y 1 K Ω , en la Figura 3.27 se muestra el circuito desarrollado.

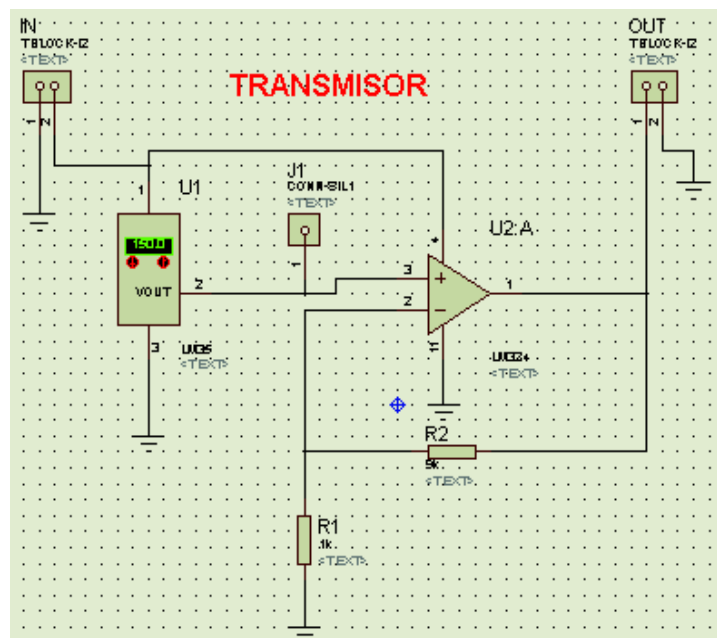


Figura 3.27: Circuito amplificador.

Finalmente, en la Figura 3.28 se observa al sistema completamente implementado disponiendo de los siguientes elementos principales que caracterizan la aplicación:

- 1) Elementos de maniobra.
- 2) Elementos indicadores.
- 3) Transmisor Indicador de Temperatura.
- 4) Motor trifásico.
- 5) Resistencias de inmersión.
- 6) Módulo PLC.
- 7) Bombas periféricas.
- 8) Tanque de almacenamiento.
- 9) Tanque de control.

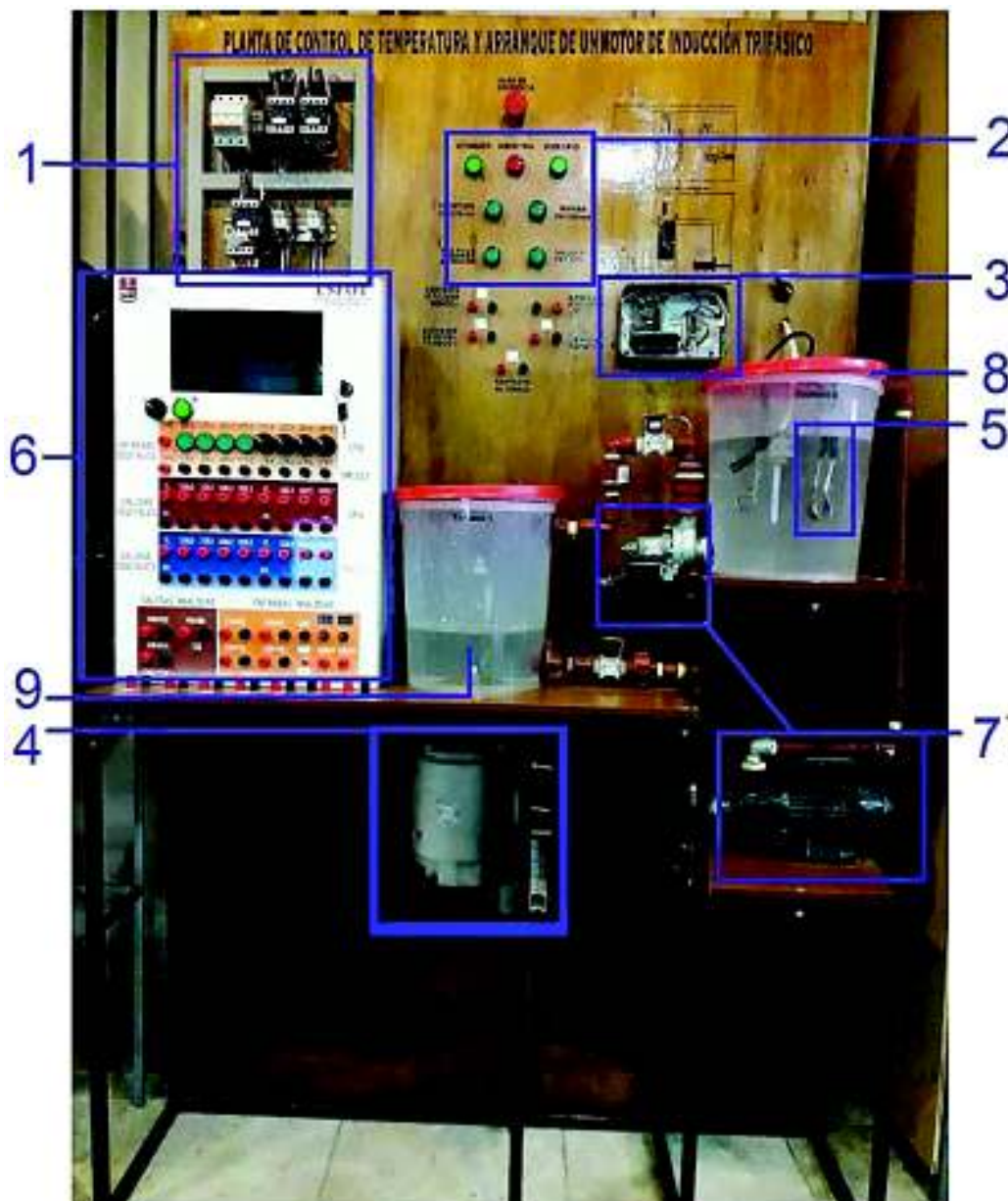


Figura 3.28: Unidad didáctica del intercambiador de calor y mezcladora.

3.5.2. Aplicación 2

Este sistema estructuralmente se acopla al limitante espacio físico de las mesas de trabajo en el laboratorio, en la lámina D1.3 del Anexo D constan las dimensiones del sistema de semaforización, mientras que en la lámina D1.4 se muestra el diseño eléctrico.

En la Figura 3.29 es posible identificar los siguientes elementos:

- 1) Semáforos.
- 2) Interruptores de posición.
- 3) Borneras.

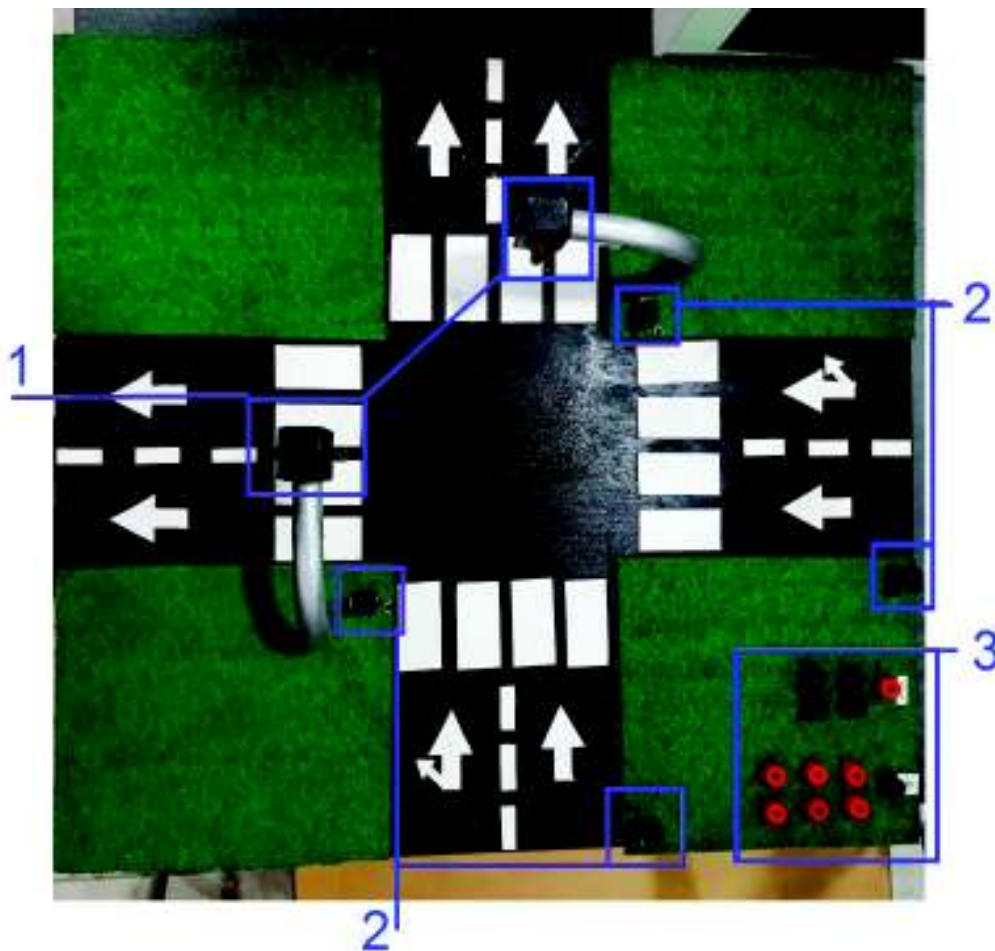


Figura 3.29: Unidad didáctica del sistema de semaforización.

3.6. Algoritmos de control e Interfaces Humano Máquina (HMI)

Dentro de los cinco lenguajes de programación estandarizados en la norma IEC 61131-3, el software Portal TIA V.13 ofrece tres lenguajes de programación (KOP, FUP y ST) conocidos como; ladder, bloque de funciones y texto estructurado. Así mismo, el software ofrece las herramientas para crear y configurar tanto dispositivos HMI's como también sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) dentro del mismo proyecto. (Siemens, 2016)

Para la creación de los algoritmos de control se utiliza el lenguaje FBD para la primera aplicación y LADDER para la segunda, de igual manera se utiliza bloques de funciones “FC’s” y de datos “DB’s” con la finalidad de estructurar el programa de una manera eficiente. En cuanto a los HMI’s se utiliza el WinCC que se encuentra incorporado en el Portal TIA V.13.

3.6.1. Sistema de control del intercambiador de calor y mezcladora

Este sistema debe cumplir con las siguientes consideraciones:

- ✓ Se dispone de dos tanques para almacenar fluido; uno de los tanques sirve para realizar el proceso de mezclado y el segundo para el control de temperatura.
- ✓ El fluido se transporta del tanque de almacenamiento al tanque de control mediante la activación de una selenoide y una bomba periférica, en el tanque control se realiza el proceso de mezclado cuando un sensor tipo flotador se acciona.
- ✓ Finalizado el proceso de mezclado; el fluido retorna al tanque de almacenamiento con la ayuda de otra solenoide y otra bomba hasta que el nivel del fluido accione un sensor tipo flotador. Este último elemento de mando indicará que las resistencias se encuentran sumergidas para iniciar el proceso de incrementar la temperatura del fluido hasta que alcance el punto de consigna.
- ✓ El algoritmo de control debe ser capaz de parar el proceso mediante el accionamiento del pulsador de emergencia o el guardamotor.
- ✓ El Transmisor Indicador de Temperatura debe proporcionar al controlador la señal de voltaje correspondiente a la temperatura medida.
- ✓ El sistema debe incorporar dos tipos de mando (local y remoto), en el mando remoto se podrá parametrizar los tiempos de encendido, setpoint y pulso de marcha: en el mando local el operador será capaz de dar el pulso de marcha.
- ✓ Se dispondrá de una Interfaz HMI que detalle lo que está sucediendo en el proceso como: sentido de giro, tiempos de operación, medida y registro de la temperatura en el visor de curvas, entre otros.

Para cumplir con los requerimientos del sistema se utilizan variables que almacenen datos del tipo: bool, int, time y real. En la Tabla 3.3 se puede observar todas las variables empleadas para gestionar el sistema.

Cada una de las variables junto con los bloques de funciones conforman el algoritmo de control, el cual consta de doce segmentos en el bloque principal (main), dos bloques de

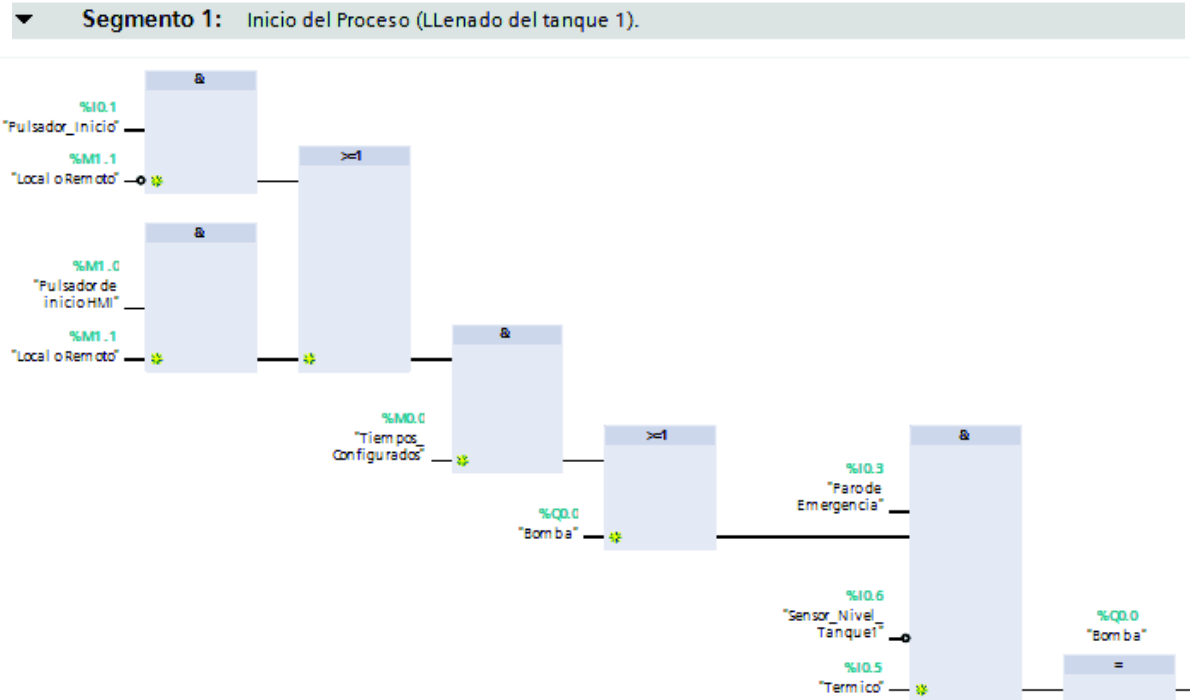
funciones FC (FC1 y FC2) y un bloque de datos (DB9). A continuación se explica los segmentos del algoritmo del control.

Tabla 3.3: Variables del sistema de control del intercambiador de calor y mezcladora.

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...
Sensor_Nivel_Tanque1	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bomba	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pulsador_Inicio	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Valvula y Bomba 2	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Termico	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Motor_Sentido1	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tiempo_Configurable_Sentido1	Tíme	%MD16	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tiempo_Configurable_Sentido2	Tíme	%MD20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tiempos_Configurados	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sensor_Nivel_Tanque 2	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Descanso	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
motor_Sentido2	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
OperacionX1000_Sentido1	Int	%MW8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
OperacionX1000_Sentido2	Int	%MW10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Descanso_Aux	Bool	%M12.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Swicht_VaciadoTanque	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Actuador electrico	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Paro de Emergencia	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pulsador de inicio HMI	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Local o Remoto	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pulsador_Aumento_HMI	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pulsador_Disminucion_HMI	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Seleccion_Sentido_HMI	Bool	%M1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pulsador_Local o Remoto	Bool	%M1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
contactor sujeta termico	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Setpoint -	Real	%MD116	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
OFF Calentador	Bool	%M500.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ON Calentador	Bool	%M500.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Vaciado del Tanque	Bool	%M500.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pulsador de Vaciado	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Visualización Calentador HMI	Int	%MW120	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Entrada Analogica	Int	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Temperatura	Real	%MD124	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

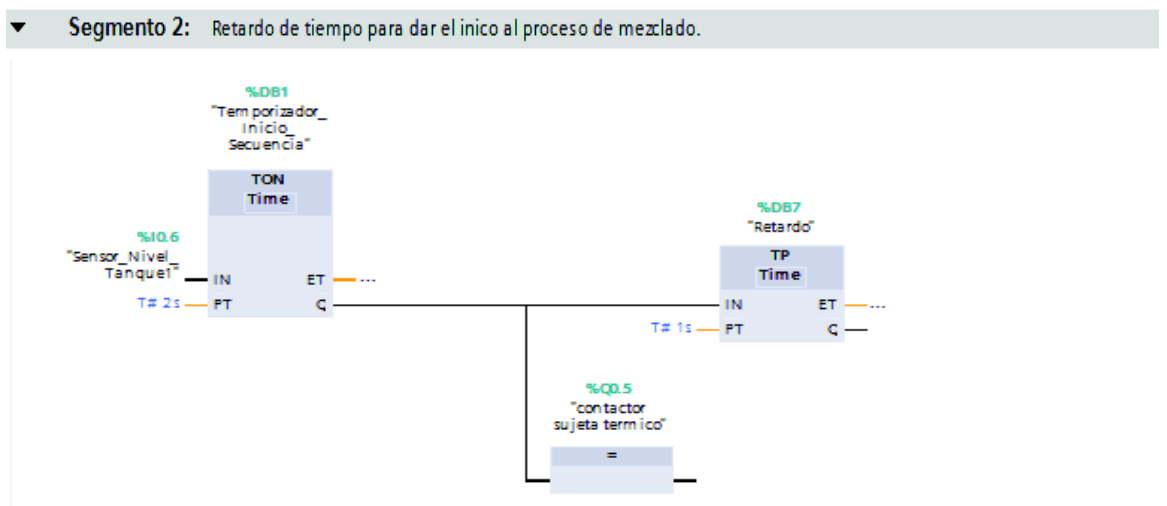
SEGMENTO 1:

En este segmento se da inicio al proceso, transportando el fluido del tanque de almacenamiento al tanque de control mediante la activación de la bobina de la salida %Q0.0.



SEGMENTO 2:

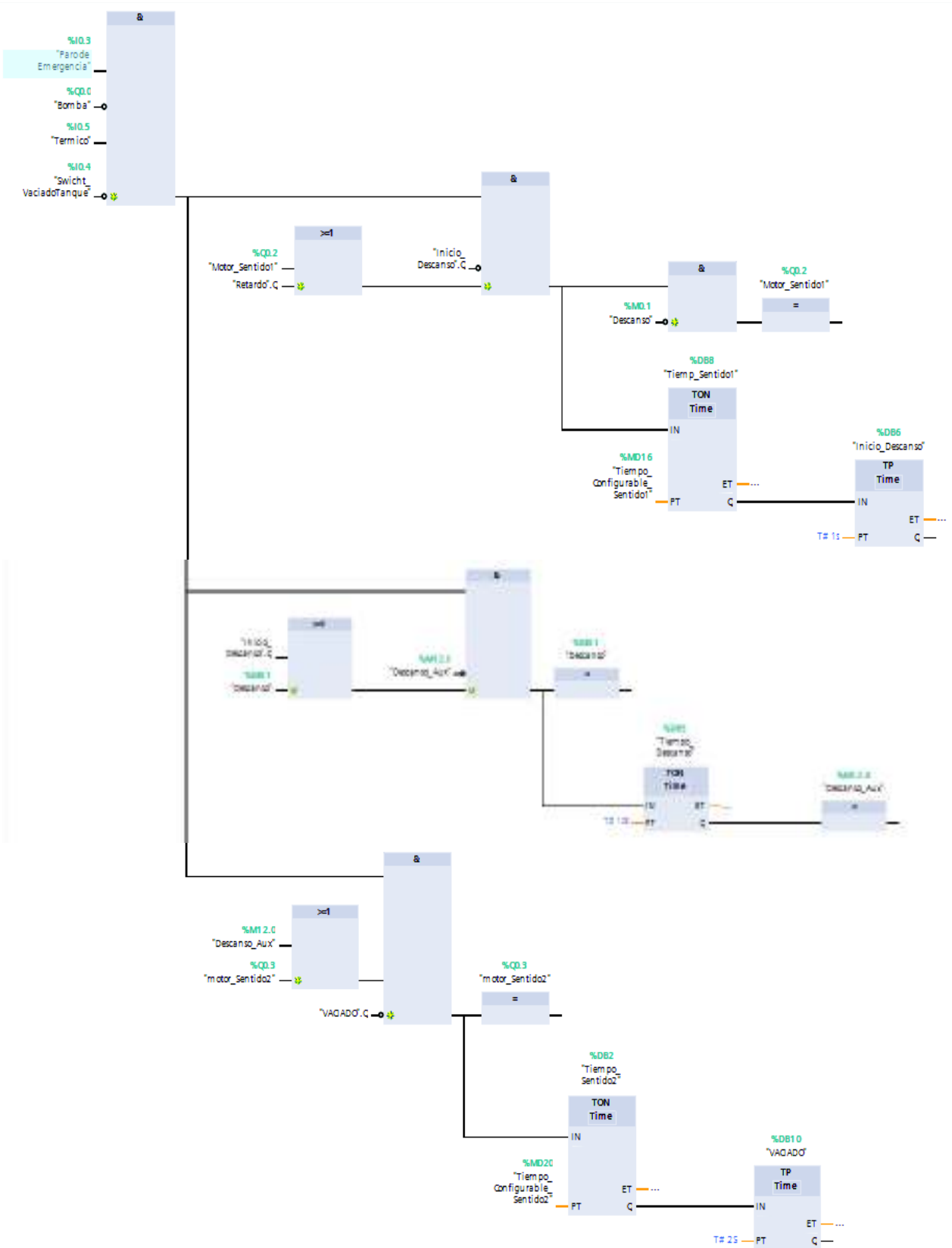
Detecta la activación del “Sensor_Nivel_Tanque1” para accionar un temporizador TON, el cual da un retardo de dos segundos antes de iniciar el mezclado.



SEGMENTO 3:

Permite realizar el proceso de mezclado; activando la salida %Q0.2 para el sentido horario y la %Q0.3 para el sentido anti-horario.

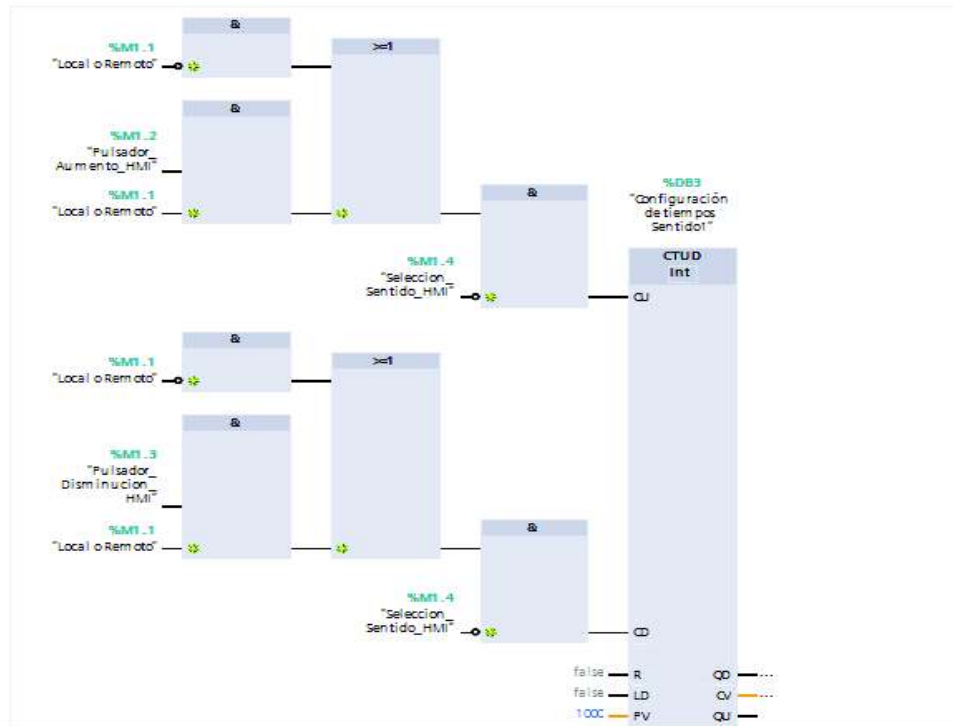
Segmento 3: Proceso de Mezclado, (Sentido Horario, Descanso, Sentido Anti-Horario).



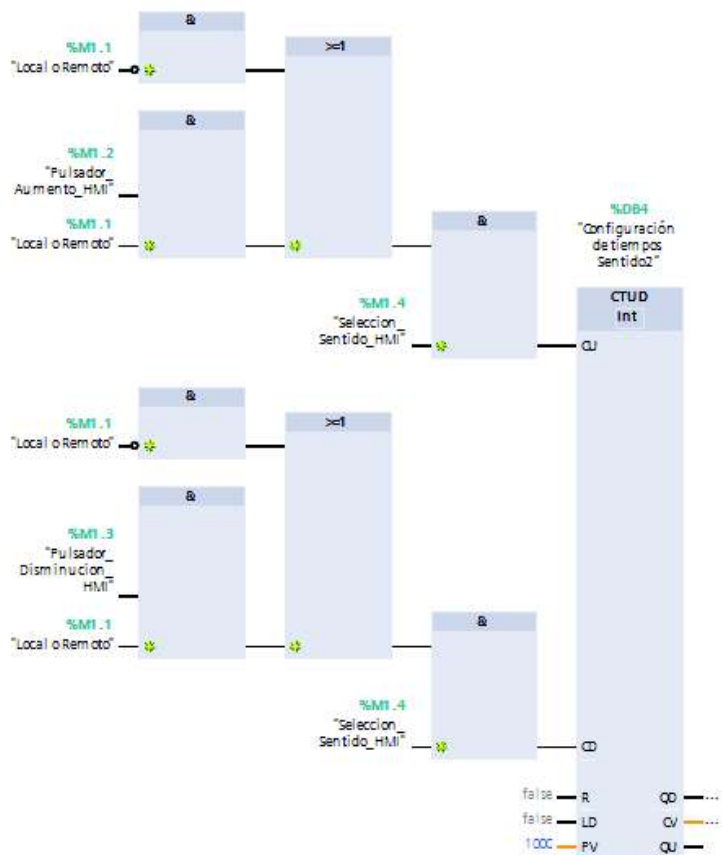
SEGMENTO 4 Y 6:

Se configura el tiempo de encendido para el sentido horario y anti-horario respectivamente.

▼ Segmento 4: Configuración de tiempo para el sentido horario.



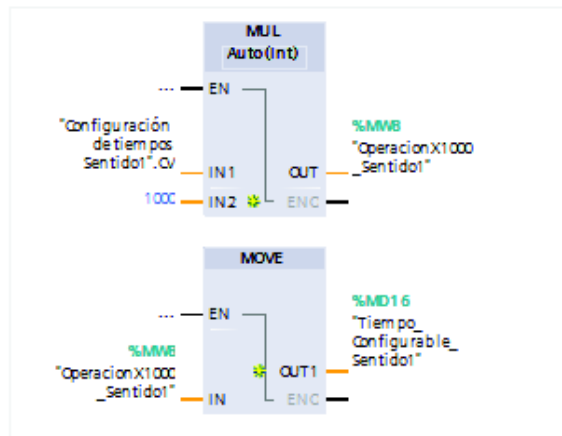
▼ Segmento 6: Configuración de tiempo para el sentido anti-horario.



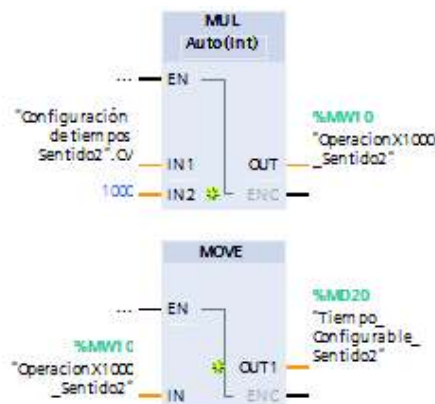
SEGMENTO 5 y 7:

Se realiza la operación necesaria para transformar los mili-segundos a segundos y se cambia de tipo de dato (int a time) para el tiempo de encendido del sentido horario y anti-horario

▼ Segmento 5: Operación de mili-segundos a segundos y cambio de variable (Sentido Horario).



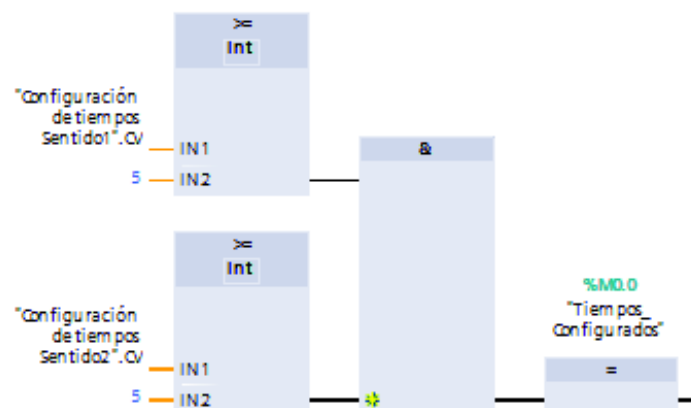
▼ Segmento 7: Operación de mili-segundos a segundos y cambio de variable (Sentido Anti-Horario).



SEGMENTO 8:

Condicionales para identificar que los tiempos se han configurado en los dos sentidos.

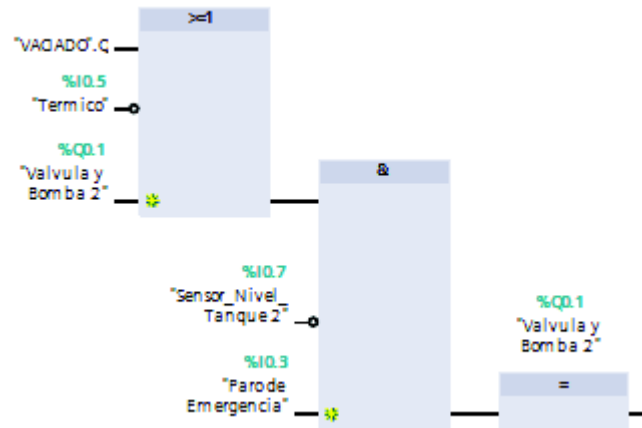
▼ Segmento 8: Configuración de tiempos realizados.



SEGMENTO 9:

Permite conducir al fluido del tanque de control al tanque de almacenamiento mediante la activación de la salida %Q0.1.

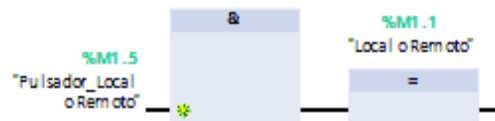
▼ Segmento 9: Encendido de Bomba 2 para llenado del Tanque 2.



SEGMENTO 10:

Se activa o desactiva el mando remoto mediante la marca %M1.1.

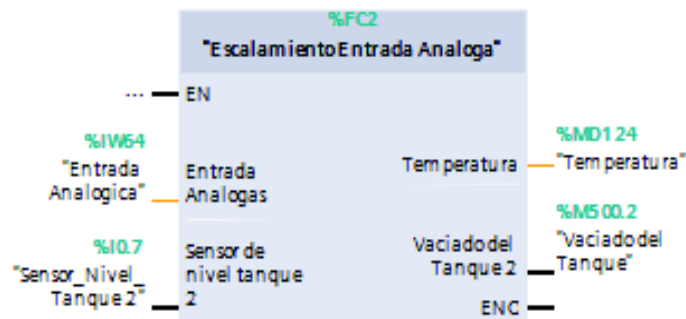
▼ Segmento 10: Activación del Mando Remoto.



SEGMENTO 11:

Se encuentra el bloque de función FC2, el cual contiene la lógica necesaria para realizar el controlador ON/OFF de temperatura.

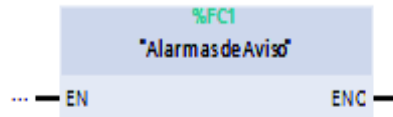
▼ Segmento 11: Controlador ON/OFF.



SEGMENTO 12:

Contiene el bloque de función FC1, en donde se encuentran las alarmas en caso de accionar el paro de emergencia o el guardamotor.

▼ Segmento 12: Bloque de Alarmas de Sistema.

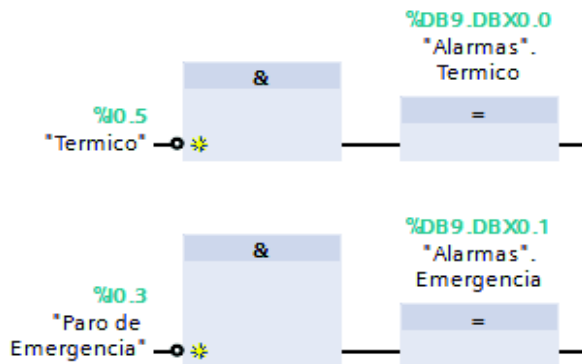


✓ BLOQUE DE FUNCION FC1 (Alarmas)

SEGMENTO 1:

Permite activar el bit cero y uno del bloque de datos DB9.

▼ Segmento 1: Activación del Bit 0 y 1 del Bloque DB9 (Alarmas).

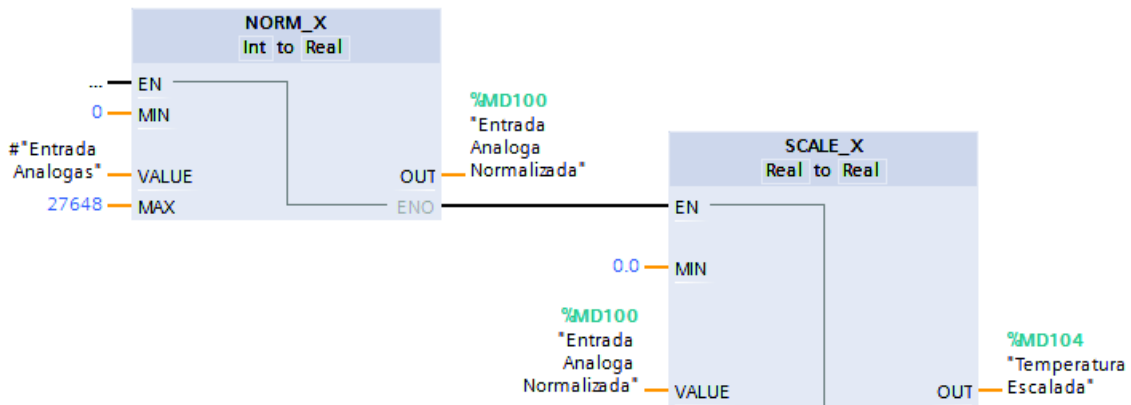


✓ BLOQUE DE FUNCION FC2 (Controlador ON/OFF)

SEGMENTO 1:

En este bloque se encuentran las funciones de normalización y escalado para la entrada analógica de dirección %IW64.

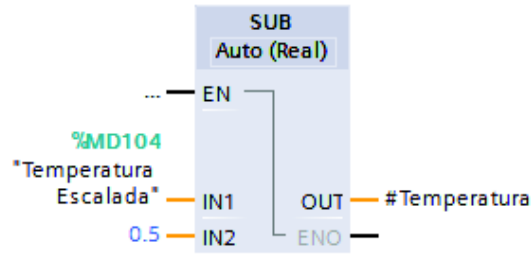
▼ Segmento 1: Bloques de Normalización y Escalamiento de la entrada IW64.



SEGMENTO 2:

Permite hacer un ajuste fino para que la temperatura expresada en el LCD sea la misma que la procesada en el sistema.

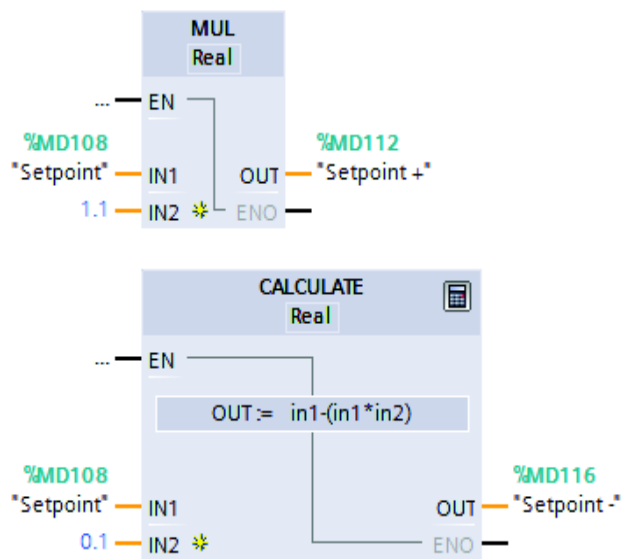
▼ **Segmento 2:** Ajuste fino de la temperatura.



SEGMENTO 3:

Permite crear la banda de seguridad correspondiente al 10% del "Setpoint".

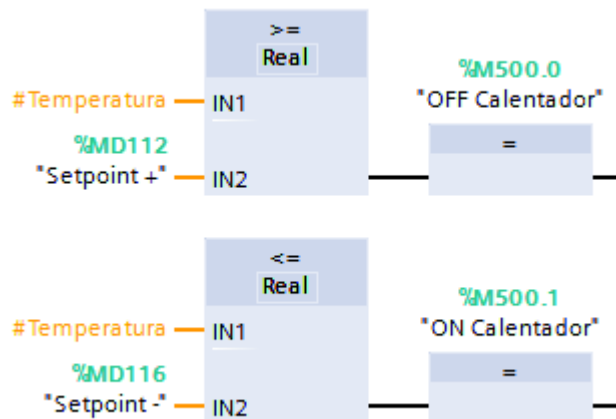
▼ **Segmento 3:** Creación de la Banda Muerta segundo el valor de consigna.



SEGMENTO 4:

Condicional para el encendido y apagado de los actuadores eléctricos.

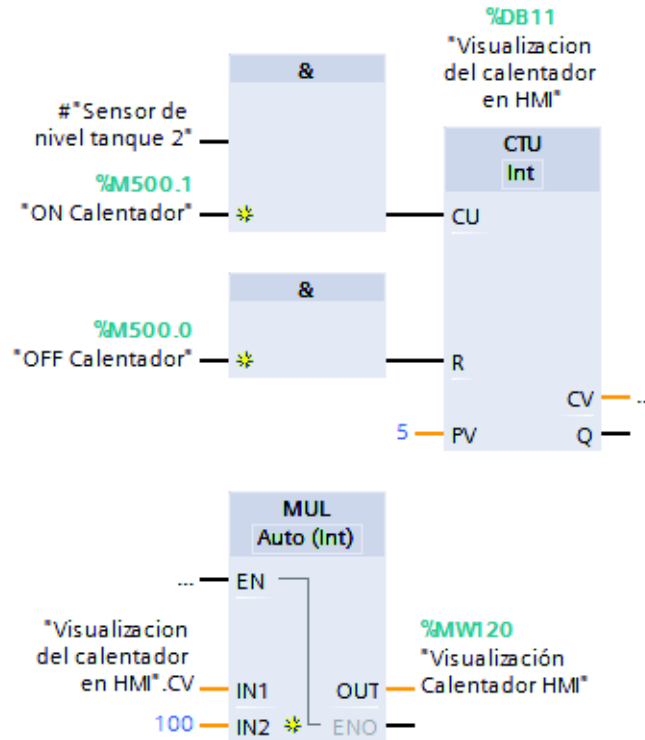
▼ **Segmento 4:** Condición de Encendido y Apagado de los actuadores eléctricos.



SEGMENTO 5:

Permite visualizar el accionamiento del actuador eléctrico en el visor de curvas, mediante el cambio del tipo de dato (de bool a int).

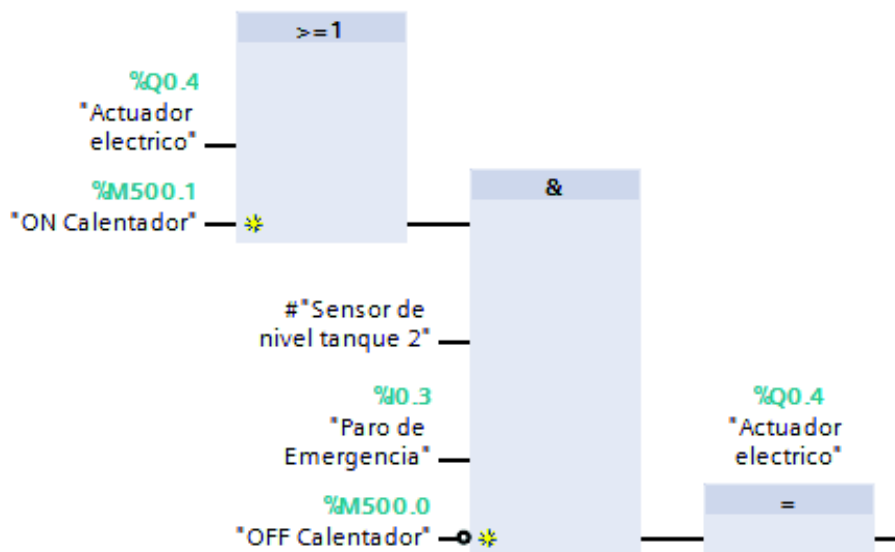
Segmento 5: Cambio de variables (BOOL a INT) de los actuadores eléctricos para visualizar en HMI.



SEGMENTO 6:

Cumple la función de accionar la salida %Q0.4 para activar los actuadores eléctricos.

Segmento 6: Encendido y Apagado de Actuadores Eléctricos.



✓ BLOQUE DE DATOS DB9

Permite almacenar el bit de activación de la alarma para enlazarse con el aviso de alarmas en el HMI.

Alarmas								
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Visible en ..	Valor de a..
1	Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Termico	Bool	0.0	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Emergencia	Bool	0.1	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

✓ INTERFAZ HUMANO MAQUINA (HMI)

Para la supervisión, control y monitoreo del sistema es necesario disponer de una HMI que conste de cuatro pantallas, las cuales se detallan a continuación:

En la primera pantalla nombrada como "CONFIGURACIÓN" (Ver Figura 3.30) es posible seleccionar: el modo de operación, configurar los tiempos, ingresar el punto de consigna y visualizar el estado del proceso.



Figura 3.30: Pantalla de configuración.

En la Figura 3.31, se visualiza una segunda pantalla, la cual permite observar el desarrollo del proceso.

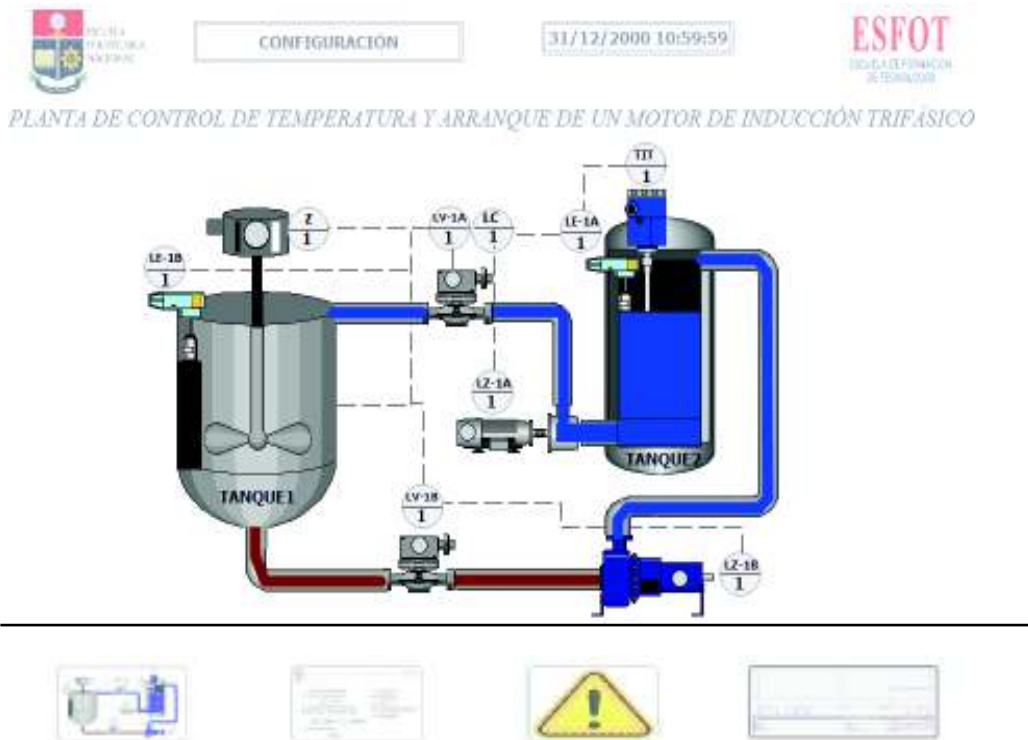


Figura 3.31: Pantalla de visualización del proceso.

En la tercera pantalla se consigue visualizar las alarmas y en la cuarta pantalla se observa la variación de la temperatura en el tiempo. Las Figuras 3.32 y 3.33 corresponden a la tercera y cuarta pantalla respectivamente.



Figura 3.32: Pantalla de diagnóstico (alarmas).

PLANTA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y ARRANQUE DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO










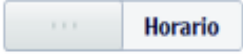




Figura 3.33: Pantalla visor de curvas.

Los elementos utilizados para la creación del HMI se describen en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Elementos del HMI utilizados en el intercambiador de calor y mezcladora.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
ELEMENTOS UTILIZADOS EN LAS CUATRO PANTALLAS		
	Botón de proceso	Permite ingresar a la pantalla de proceso
	Botón de configuración	Permite ingresar a la pantalla de configuración
	Botón de avisos	Permite ingresar a la pantalla de avisos

	Botón de curvas	Permite ingresar a la pantalla de curvas
	Campo de salida (Pantalla)	Indica el nombre de la pantalla
	Campo de salida (Hora)	Indica la fecha y hora
PANTALLA “CONFIGURACIÓN”		
	Switch de selección de mando	Selecciona el mando local o remoto
	Elemento de campo de entrada	Permite ingresar el Setpoint
	Elemento de campo de salida	Indica el tiempo en segundos configurado para el sentido horario
	Elemento de campo de salida	Indica el tiempo en segundos configurado para el sentido antihorario
	Botón ascendente	Permite aumentar el tiempo a configurar
	Botón descendente	Permite disminuir el tiempo a configurar
	Switch de selección de sentido de giro para configurar tiempos de accionamiento	Permite seleccionar que tiempo será configurado dependiendo del sentido de giro
	Botón de inicio de proceso	Permite iniciar el proceso en mando remoto
	Campo de salida (Estado)	Indica el estado “Desactivada” o “Activada”

	Campo de salida (Nivel)	Indica el nivel de los tanques “Bajo” o “Alto”
	Campo de salida (Sentido de giro)	Indica en que estado está el motor “Giro Antihorario”, “Giro Horario” o “Descanso”
PANTALLA “PROCESO”		
	Diagrama de instalación P&ID	Permite visualizar en tiempo real como se desarrolla el proceso
PANTALLA “AVISOS”		
	Acusador de avisos	Indica que tipo de alarma ha sido activada, mostrando la hora y la fecha del suceso
PANTALLA “VISOR DE CURVAS”		
	Visor de curvas	Indica la evolución en el tiempo de la temperatura; como también la banda de seguridad, el Setpoint y el accionamiento del actuador

3.6.2. Sistema de control del proceso de semaforización

El sistema debe cumplir con las siguientes consideraciones:

- ✓ Dispone de dos modos de funcionamiento (normal y nocturno).
- ✓ Modo normal: en este modo se controla el tránsito vehicular en una intersección, las vías que se intersecan tienen un solo sentido de circulación.
 - Además, en el modo normal se contabiliza los vehículos que circulan en cada vía y mediante una comparación se determina que vía contiene mayor número de automotores para dar prioridad de tránsito. La comparación se realiza cada tres ciclos completos del semáforo.
 - Los tiempos de funcionamiento en la luz verde de los semáforos son de quince segundos cuando el número de vehículos sea igual en las dos vías. Cuando exista

un mayor número de vehículos en una vía, la luz verde se encenderá por veinte segundos. Las luces amarillas tendrán un tiempo de duración de cinco segundos siempre.

- ✓ Modo nocturno: las luces amarillas de ambos semáforos son intermitentes con una frecuencia de 1Hz. El sistema debe cambiarse del modo normal al modo nocturno y viceversa según el horario dispuesto en la Tabla 3.5.
- ✓ Se dispone de una HMI para la supervisión, monitoreo y control del sistema.

Tabla 3.5: Horario modo nocturno.

Horario de encendido del Modo Nocturno		
Día de la semana	Hora de Inicio	Hora de Fin
Lunes	22:00 PM	5:00 AM
Martes	22:00 PM	5:00 AM
Miércoles	22:00 PM	5:00 AM
Jueves	22:00 PM	5:00 AM
Viernes	23:00 PM	4:00 AM
Sábado	23:00 PM	4:00 AM
Domingo	22:00 PM	5:00 AM

Para cumplir con los requerimientos del sistema es necesario disponer de variables con tipos de datos como: bool y time_of_day. A continuación se presenta en la Tabla 3.6 las variables empleadas, el tipo de dato y su dirección de almacenamiento.

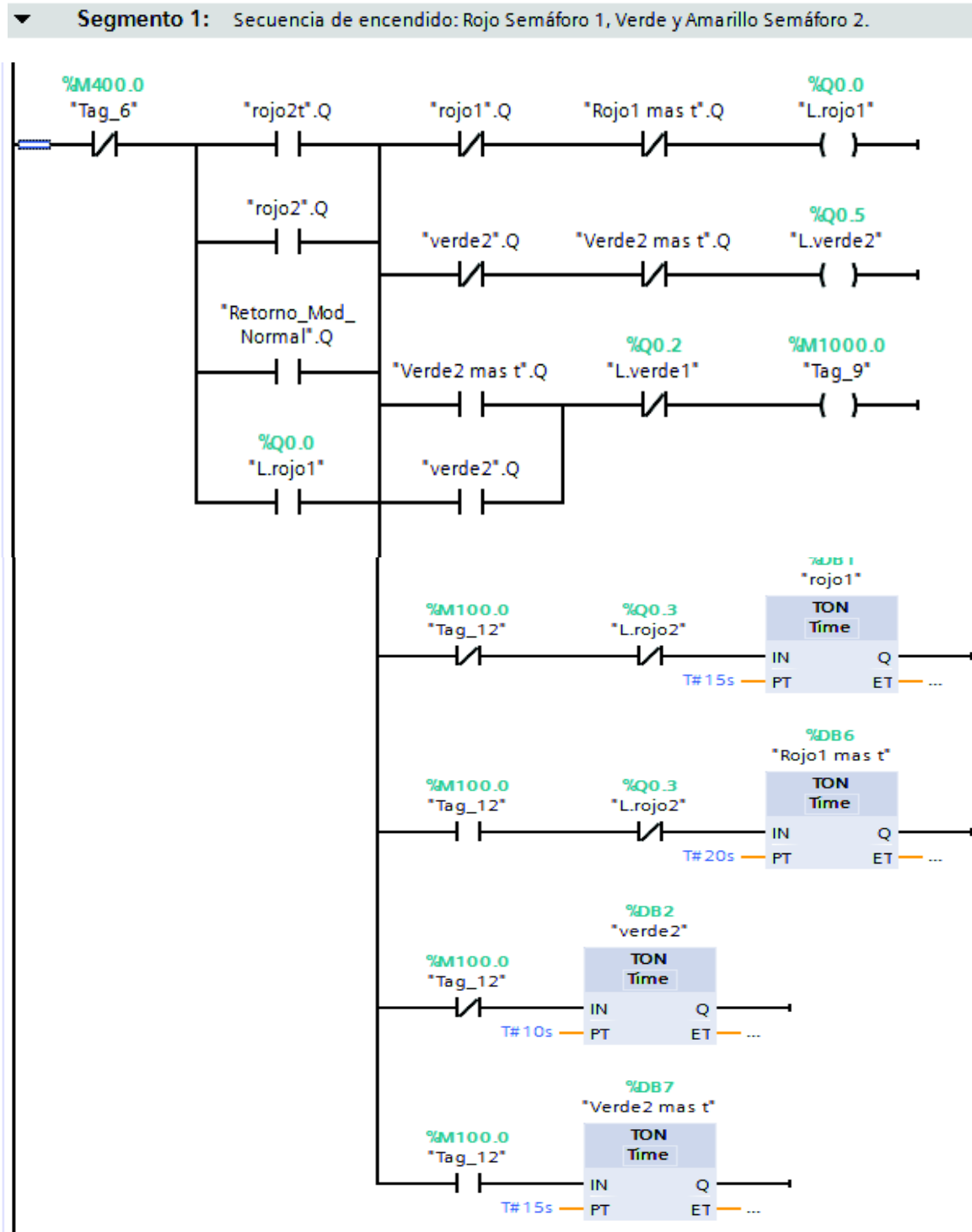
Tabla 3.6: Variables del sistema de semaforización.

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...
L.rojo1	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L.verde2	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L.verde1	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L.amarillo2	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L.amarillo1	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L.rojo2	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
M. Decisión V1>V2	Bool	%M100.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
M. Decisión V2>V1	Bool	%M100.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sensor 1	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sensor 1.1	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sensor 2	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sensor 2.2	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
V1>V2	Bool	%M80.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
V2>V1	Bool	%M80.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Hora_Fin	Time_Of_Day	%MD300	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Hora_Inicio	Time_Of_Day	%MD304	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Salida Modo Nocturno	Bool	%M400.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clock_1Hz	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
luz_amarilla final 1	Bool	%M600.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
luz_amarilla final 2	Bool	%M400.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
luz_amarilla parpadeo	Bool	%M300.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Retorno Modo Normal	Bool	%M700.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MLuz Amarilla 2	Bool	%M1000.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

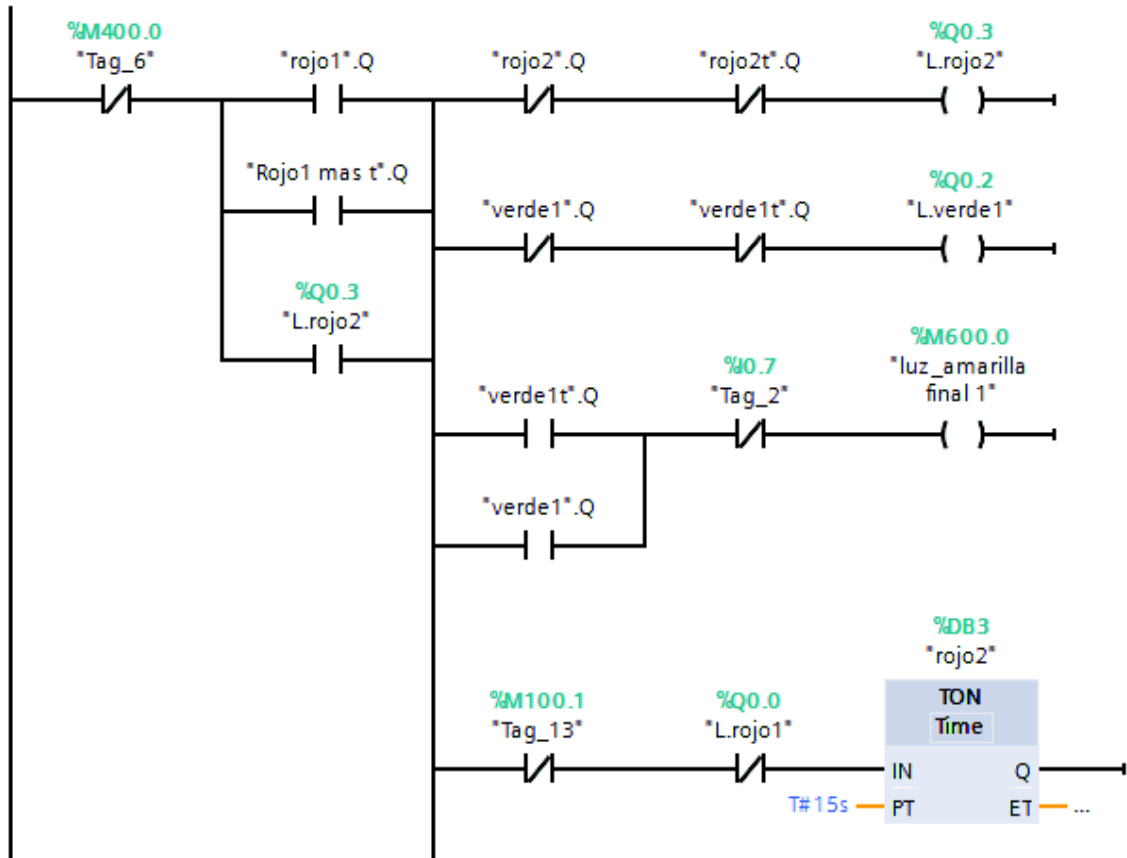
En cuanto al algoritmo de control se dispone de un bloque principal (main) con once segmentos, un bloque de función FC1 y un bloque de datos DB9. A continuación se explica cada uno de los bloques con sus respectivos segmentos.

SEGMENTO 1 y 2:

En estos dos segmentos se introduce la lógica necesaria para activar las luces de los dos semáforos.



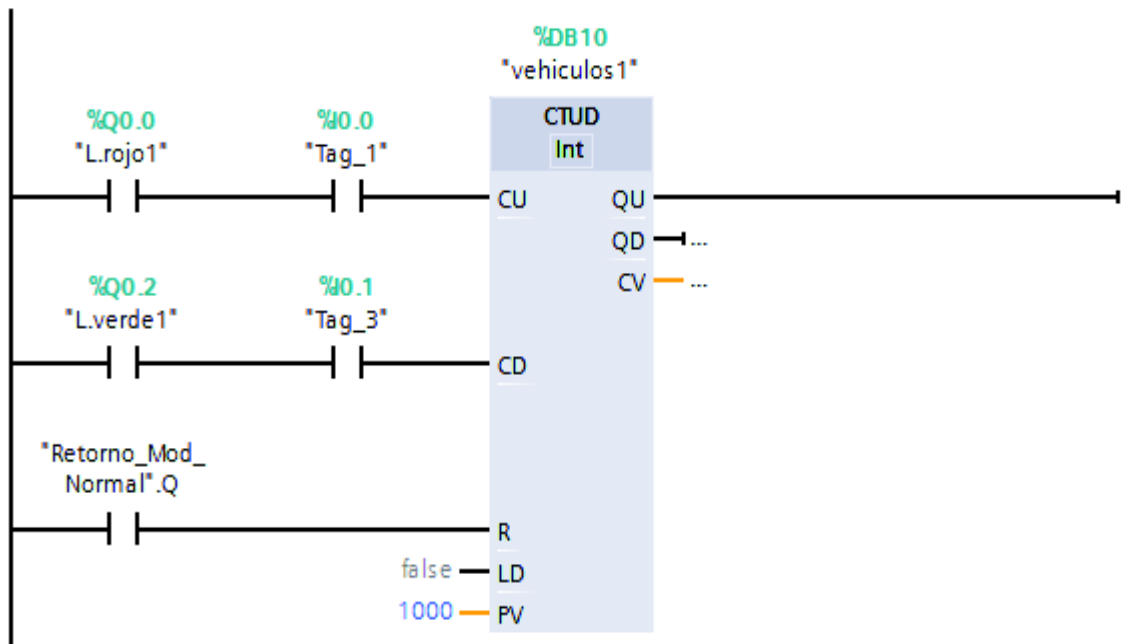
▼ **Segmento 2:** Secuencia de encendido: Rojo Semáforo 2, Verde y Amarillo Semáforo 1.



SEGMENTO 3:

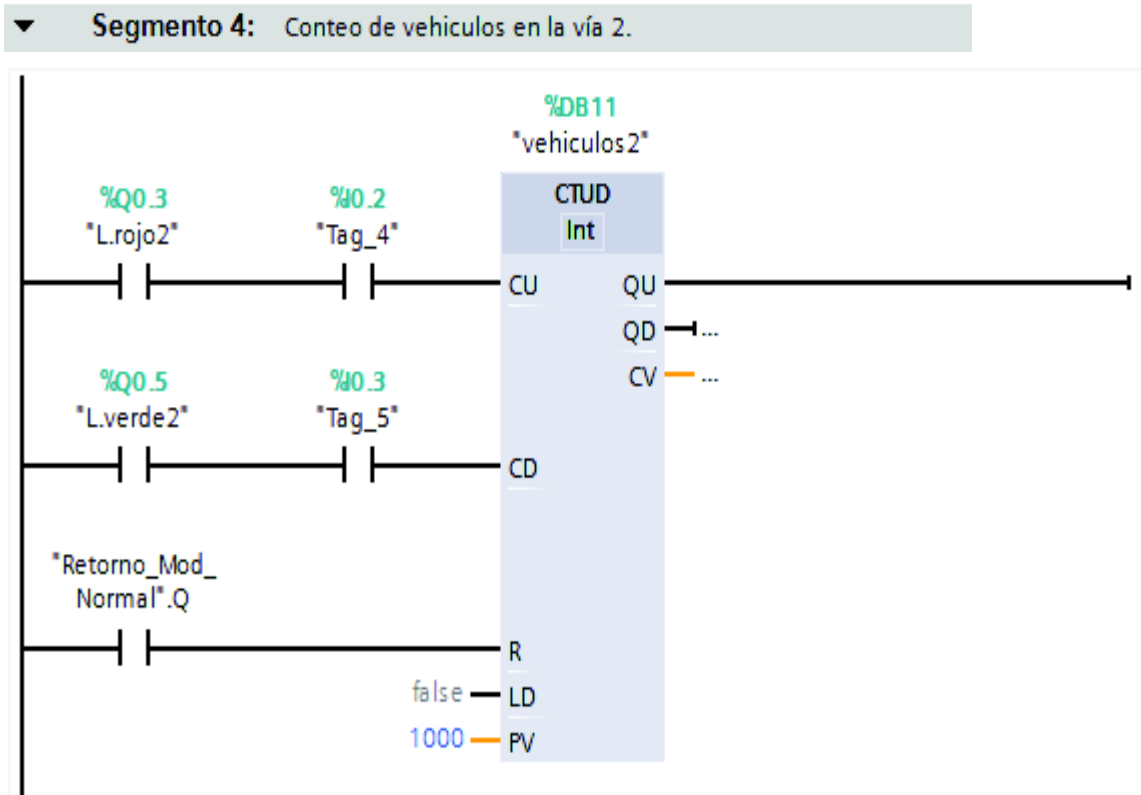
Realiza el conteo de vehículos que ingresan a la vía y los que pasan por el semáforo uno.

▼ **Segmento 3:** Conteo de vehiculos en la vía 1.



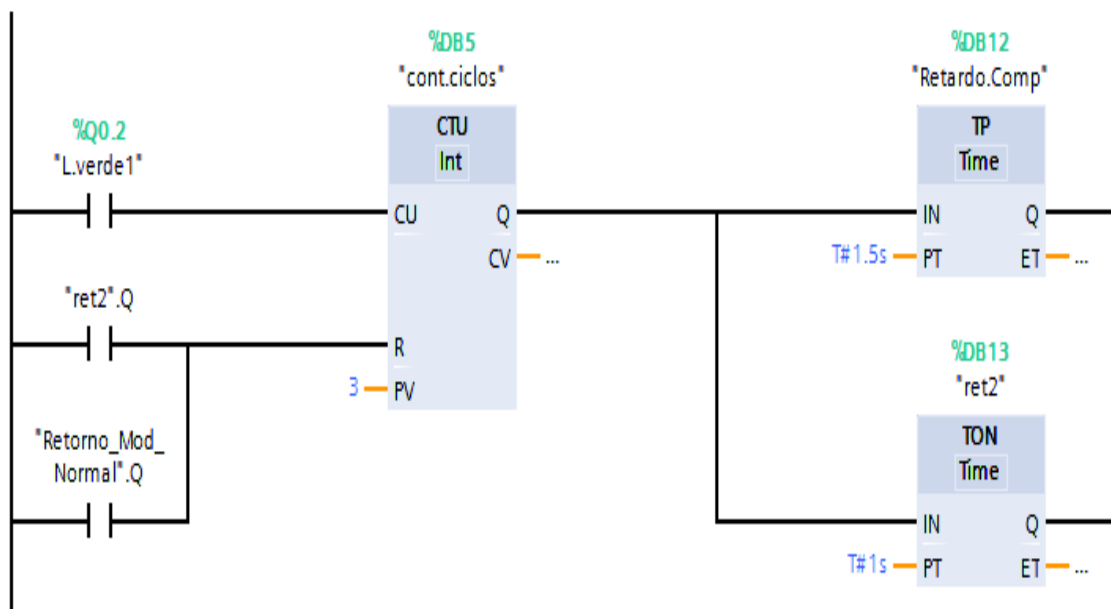
SEGMENTO 4:

Realiza el conteo de vehículos que ingresan a la vía y los que pasan por el semáforo dos.



SEGMENTO 5:

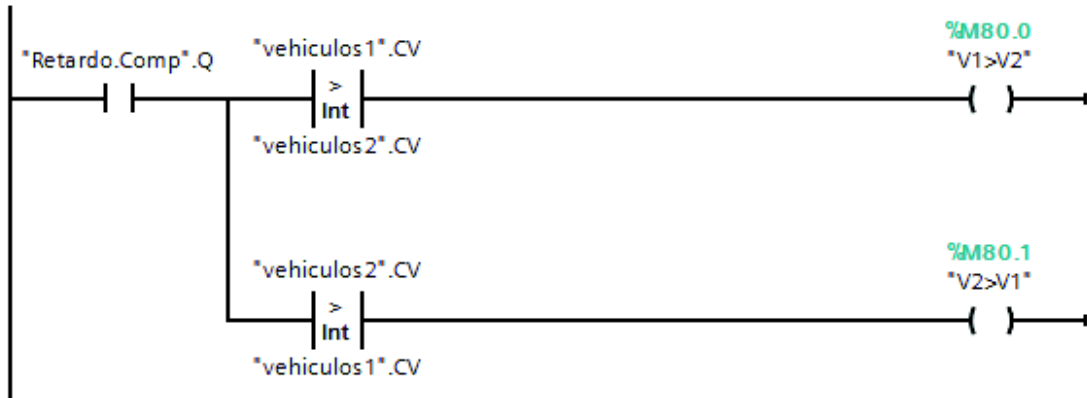
En este segmento se realiza el conteo de ciclos completos.



SEGMENTO 6:

Permite comparar el número de vehículos existentes en las dos vías y determinar que vía debe tener prioridad al tránsito.

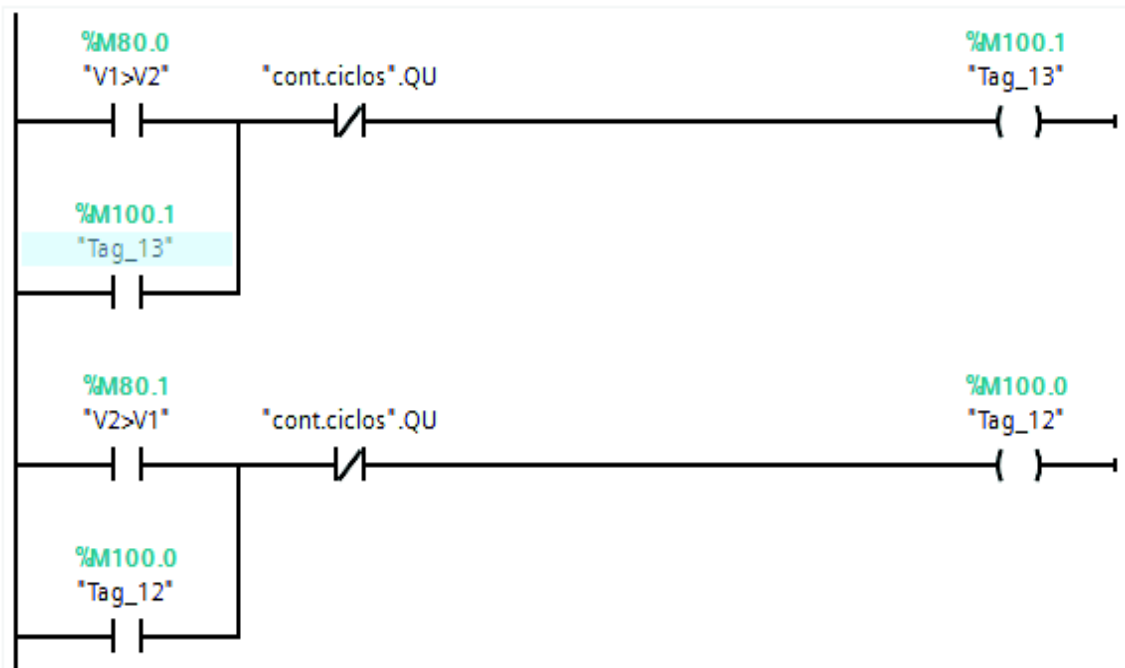
Segmento 6: Comparación de vehiculos.



SEGMENTO 7:

Permite poner en 1L la marca %M100.0 o %M100.1 dependiendo de la evaluación realizada en el segmento 6.

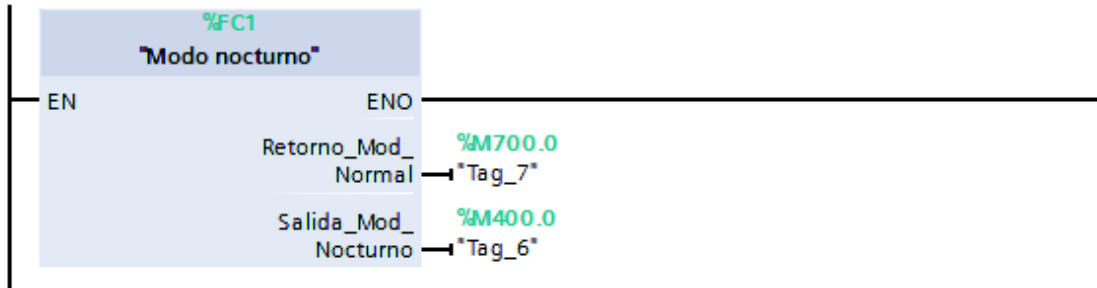
Segmento 7: Cambio de tiempos en función de la comparación.



SEGMENTO 8:

Se introduce el bloque FC1 al bloque principal. El bloque FC1 entrega una señal para retornar al modo normal y salir del modo nocturno.

▼ **Segmento 8:** Bloque FC1 para el Modo Nocturno.



SEGMENTO 9:

Permite que las luces amarillas de los semáforos sean intermitentes cuando se ingresa al modo nocturno.

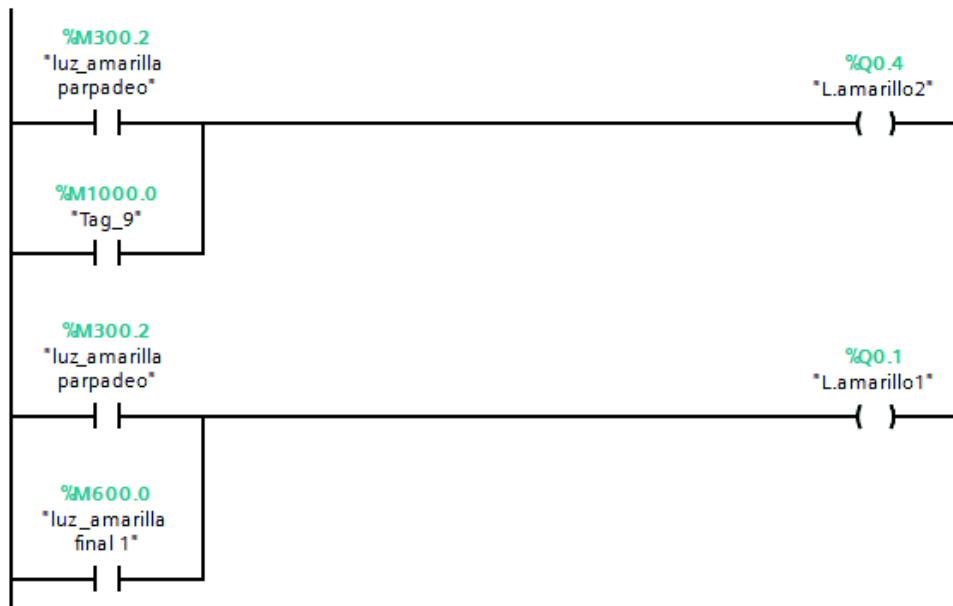
▼ **Segmento 9:** Respuesta del bloque FC1 al iniciar el Modo Nocturno.



SEGMENTO 10:

Permite activar las salidas %Q0.1 y %Q0.4 correspondientes a las luz amarilla del semáforo uno y dos respectivamente.

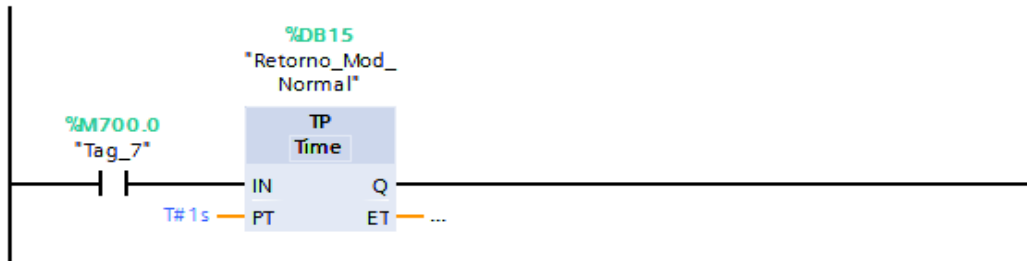
▼ **Segmento 10:** Encendido de luces amarillas en el modo nocturno.



SEGMENTO 11:

Realiza el pulso necesario en el segmento uno para retornar al modo normal.

Segmento 11: Retorno al Modo Normal.

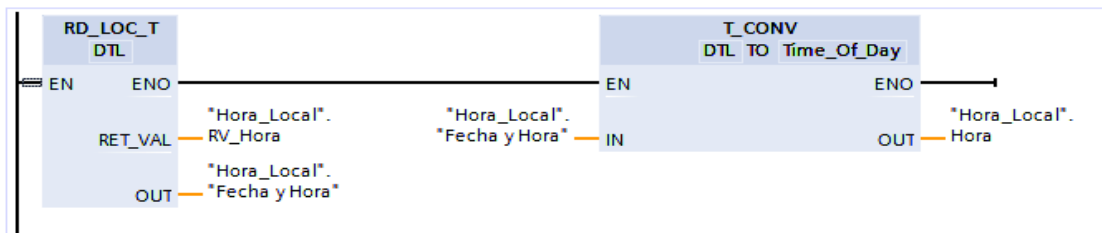


✓ BLOQUE DE FUNCIÓN FC1 (Modo Nocturno)

SEGMENTO 1:

Se realiza la lectura de la hora local y se la convierte del tipo de dato DTL a Time_of_Day.

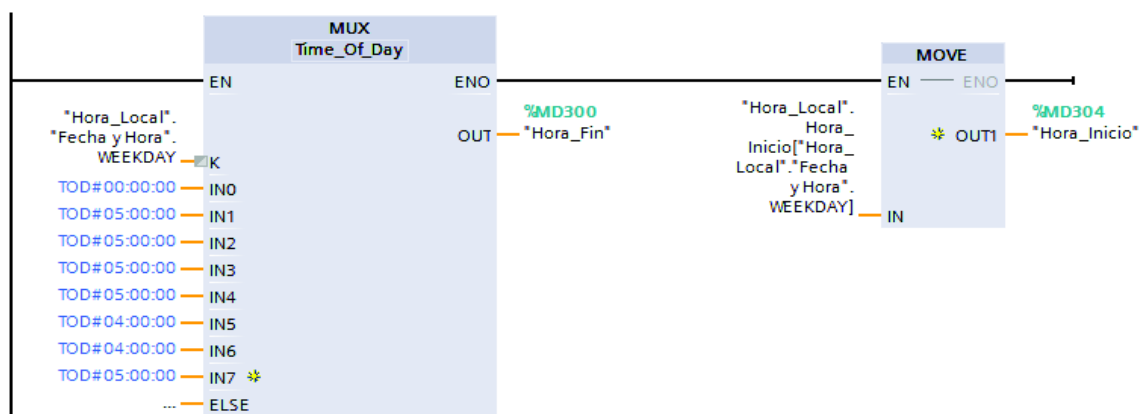
Segmento 1: Lectura de Hora Local y Conversión de Tipo de dato.



SEGMENTO 2:

Permite almacenar la hora en %MD300 de una de las entradas del bloque de multiplexación cuando se determine que el día de la semana (Lunes=1, Martes=2,, Domingo=7) sea igual a una de sus entradas (IN1=Lunes, IN2=Martes,, IN7=Domingo). Para la variable ""Hora_Inicio"(%MD304) se realiza el mismo procedimiento que la %MD300 pero con la ayuda de una arreglo almacenado en el Bloque DB9.

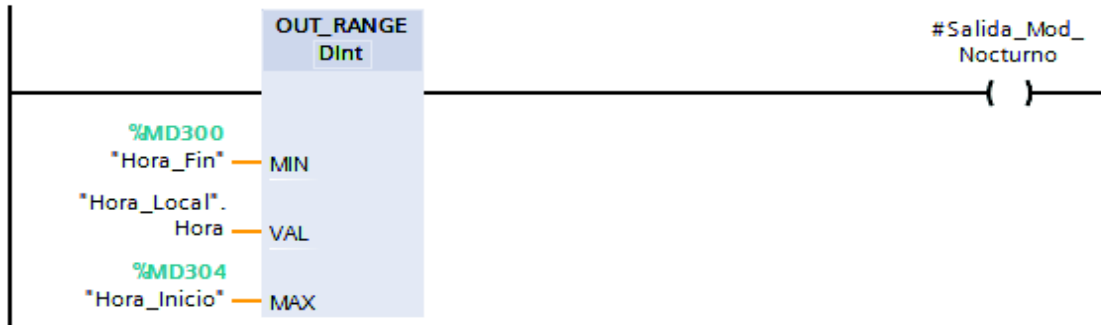
Segmento 2: Hora de inicio y apagado del modo nocturno en función del día de la semana.



SEGMENTO 3:

Compara la hora local con respecto a la “Hora_Fin” como mínimo y la “Hora_Inicio” como máximo para conocer si la hora local está fuera de ese rango.

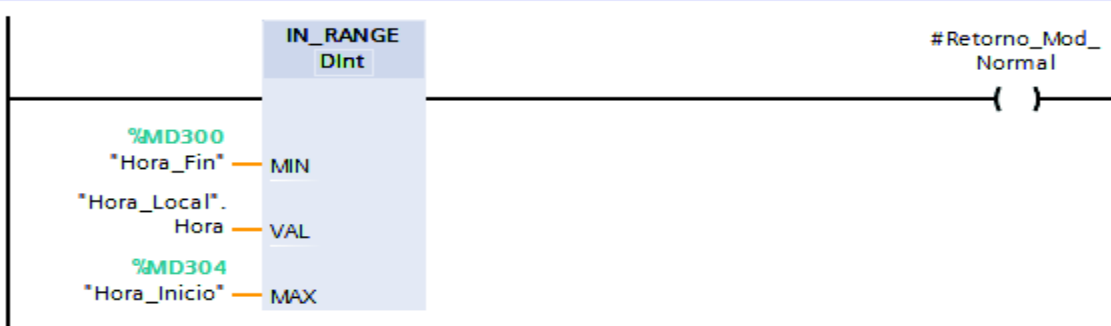
▼ Segmento 3: Encendido del Modo Nocturno.



SEGMENTO 4:

Compara la hora local con respecto a la “Hora_Fin” como mínimo y la “Hora_Inicio” como máximo para conocer si la hora local está dentro de este rango.

▼ Segmento 4: Apagado del Modo Nocturno.



✓ BLOQUE DE DATOS DB9 (Hora_Local)

Este bloque permite almacenar cuatro variables, la primera nombrada como Fecha y Hora de tipo DTL permite almacenar la fecha y hora local, la segunda variable con nombre Hora permite almacenar solo la hora local, la tercera variable con nombre RV_Hora permite almacenar los 16 bits que le entrega el bloque “RV_LOC_T” en el segmento 1 del bloque FC1 y finalmente la variable Hora_Inicio contiene un arreglo de 8 entradas con la hora según el día de la semana.

Hora_Loca							
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Visible en ..	Valor de a..
1	▼ Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	▶ Fecha y Hora	DTL	DTL#1970-01-01+	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	▶ Hora	Time_Of_Day	TOD#00:00:00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	▶ RV_Hora	Word	16#0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	▶ Hora_Inicio	Array[0..7] of Time...		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

✓ **INTERFAZ HUMANO MAQUINA (HMI)**

Para la interfaz HMI se recurre a una pantalla que muestre el funcionamiento de los semáforos, los tiempos que transcurren, el número de vehículos en cada vía y el número de ciclos completos. En la Figura 3.34 se indica la pantalla del HMI y en la Tabla 3.7 se detalla los elementos utilizados.



Figura 3.34: Interfaz Humano Máquina (HMI) del sistema de semaforización.

Tabla 3.7: Elementos que conforman el HMI del sistema de semaforización.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
	Campo de salida (Tiempos)	Muestra el tiempo transcurrido desde la activación del temporizador
	Campo de salida (Ciclos)	Muestra el número de ciclos transcurridos
	Luces	Muestra el funcionamiento del semáforo
	Gráficos	Permite representar al sistema de semaforización

3.7. Pruebas de funcionamiento

3.7.1. Módulo Educativo PLC

Para comprobar que los dispositivos y las conexiones que conforman al módulo se encuentran en perfecto estado es pertinente efectuar pruebas de continuidad. A continuación se detallan las acciones realizadas.

✓ Prueba de comunicación

Consiste en comprobar la comunicación entre el PLC y el PC, haciendo uso de un cable Ethernet y configurando la dirección IP de la computadora. En la Figura 3.35 se indica la ventana emergente “Carga avanzada” que indica que se establece comunicación en la misma red.

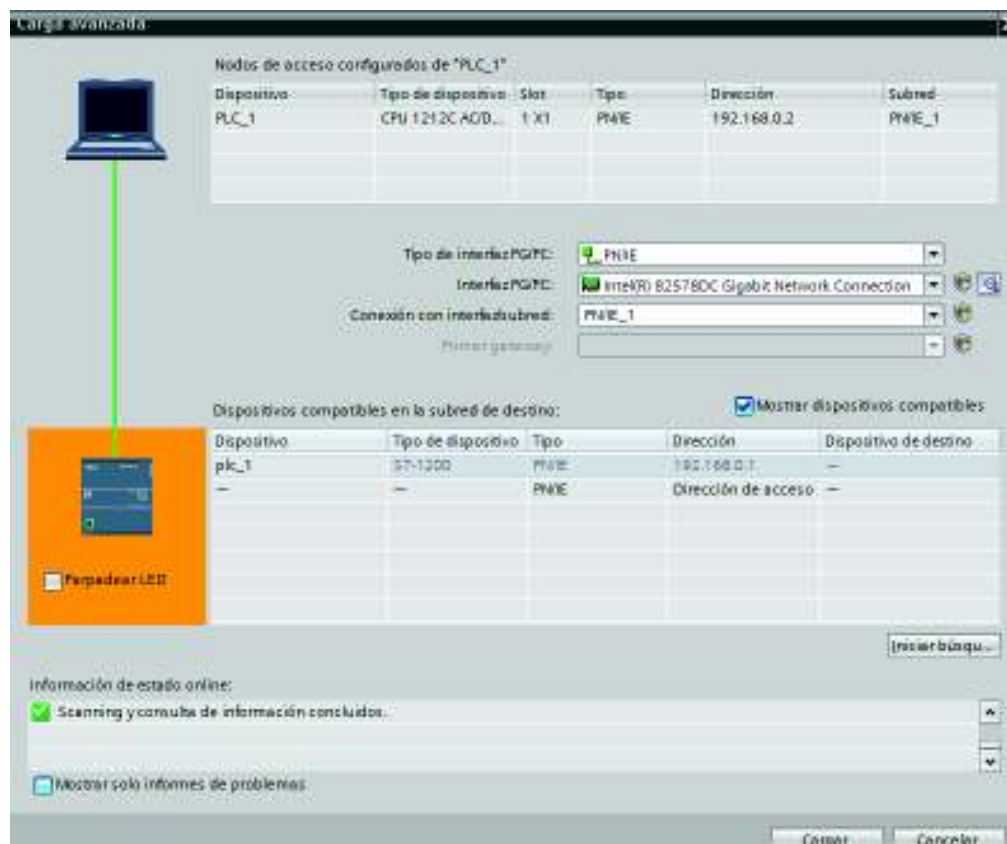


Figura 3.35: Pantalla emergente “Carga avanzada”.

✓ Prueba del circuito de mando

Se verifican las respectivas conexiones de las entradas digitales accionando los pulsadores e interruptores dispuestos en la parte exterior o colocando 24VDC en las bornas dispuestas. Si los led’s que posee el PLC se encienden al accionar los elementos de mando se demuestra que existe una conexión eléctrica entre el interruptor, pulsador y bornas hacia el PLC como se presenta en la Figura 3.36.



Figura 3.36: Funcionamiento del circuito de mando.

✓ **Prueba de respuesta de las salidas digitales del PLC**

Para verificar la conexión eléctrica entre las salidas digitales del PLC y las borneras, se emplea un algoritmo básico que enciende las luces piloto conectadas a las borneras de salida, En la Figura 3.37 se muestra cuando el PLC acciona una de las salidas mediante la cual se encienden un led incorporado en el PLC y la luz piloto a la vez.



Figura 3.37: Funcionamiento de salidas digitales.

✓ **Prueba a las entradas análogas**

En la Figura 3.38 se muestra el funcionamiento de las entradas analógicas mediante potenciómetros y en la Figura 3.39 mediante una señal externa. Para la realización de las respectivas pruebas se empleó un programa, que contiene bloques de normalización y escalado, permitiendo comparar el valor mostrado de los voltímetros vs el valor de voltaje ingresado al PLC.



Figura 3.38: Funcionamiento entrada análoga mediante potenciómetros.

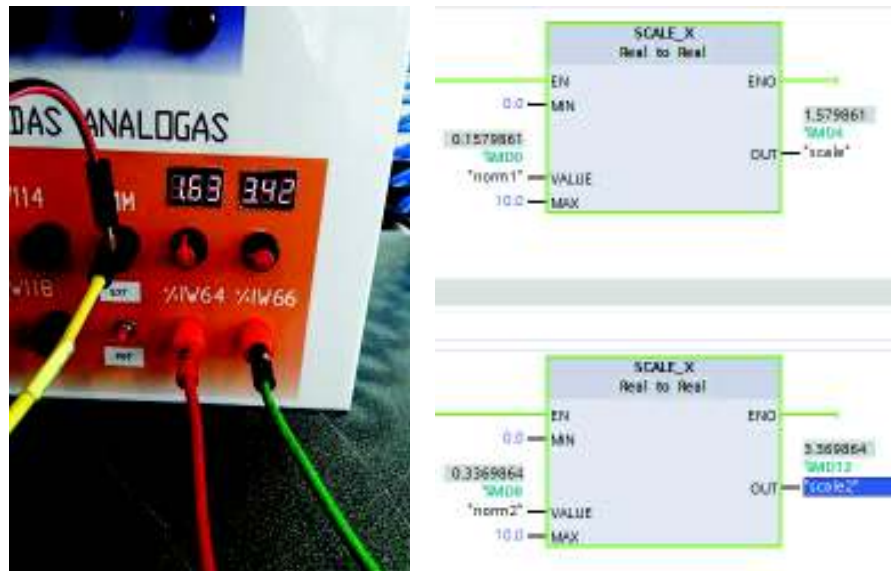


Figura 3.39: Funcionamiento de entradas análogas mediante una señal externa.

3.7.2. Unidad: Intercambiador de calor y mezcladora

Para este sistema se evaluó la respuesta de la planta construida y la interacción HMI desarrollada en el software TIA Portal V.13; consiguiendo: parametrizar los tiempos de accionamiento del motor, el punto de consigna de la temperatura y el tipo de mando (local o remoto) en una pantalla, tal y como lo representa la Figura 3.40.

Luego de escoger el tipo de mando y haber accionado la planta, una segunda ventana representa gráficamente los elementos que conforman el sistema, permitiendo identificar el estado activo o inactivo de cada elemento. De igual forma el sistema dispone de luces indicadoras para identificar el accionamiento de los equipos y de los elementos de maniobra, la Figuras 3.41 y 3.42 ilustran la pantalla del diagrama P&ID en el HMI y la estación local del sistema funcionando.



Figura 3.40: Pantalla “Configuración” del intercambiador de calor y mezcladora.

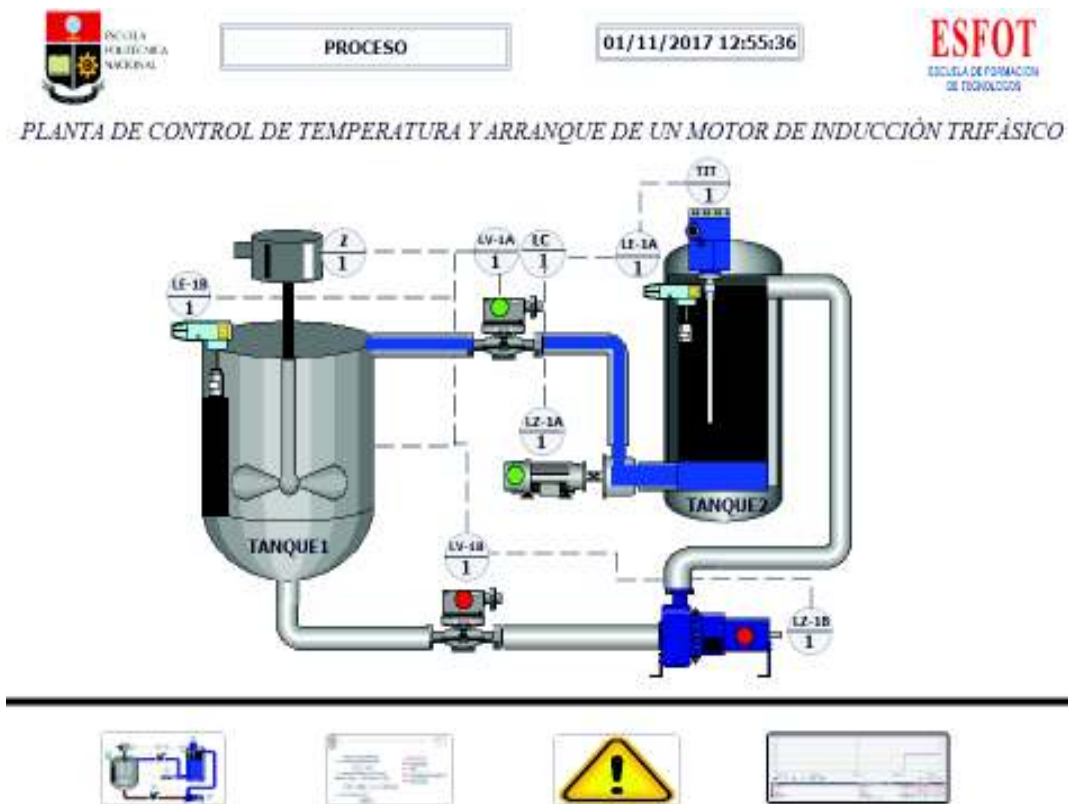


Figura 3.41: Pantalla del proceso en marcha.

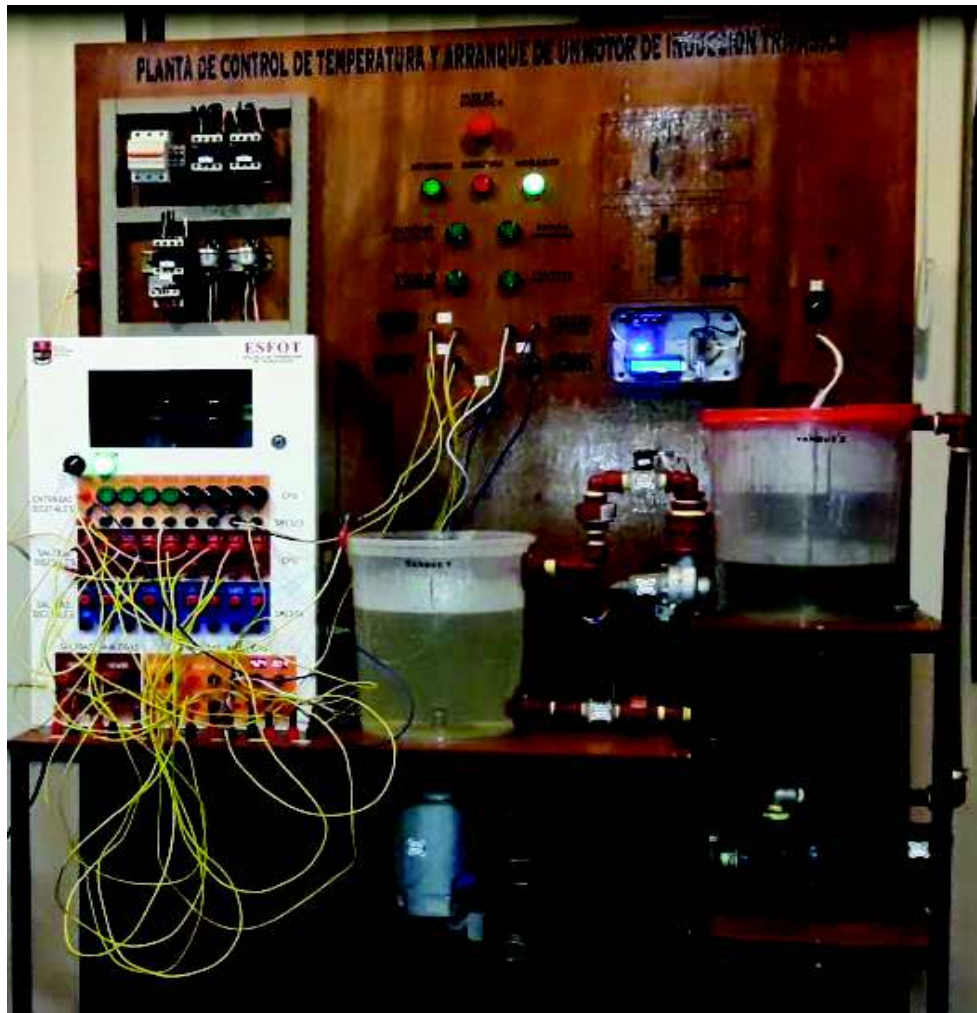


Figura 3.42: Unidad: intercambiador de calor y mezcladora en funcionamiento.

Además se comprueba el funcionamiento del Transmisor Indicador de Temperatura (TIT) y el controlador ON/OFF; por lo que se requiere incorporar una herramienta (visor de curvas) en una de las pantallas del HMI. La Figura 3.43 muestra la temperatura que registra el TIT y en la Figura 3.44 se indica la pantalla donde se visualiza la evolución a lo largo del tiempo de la temperatura, el Setpoint, la banda de seguridad y el accionamiento del actuador., de esta forma se verifica que la medida de la temperatura expresada en el display es correspondiente a la señal enviada en voltaje al PLC.



Figura 3.43: Respuesta del TIT.



Figura 3.44: Instrumento registrador del controlador ON/OFF.

Finalmente como las aplicaciones son basadas en procesos industriales se incorpora una pantalla de avisos de emergencia, para alertar sobre el accionamiento del botón de emergencia y el guarda-motor, tal como lo muestra la Figura 3.45.



Figura 3.45: Ventana de avisos emergente.

3.7.3. Unidad: Sistema de semaforización

En esta aplicación se comprueba que la interfaz y la parte física tengan una respuesta simultánea y que se realice lo descrito la sección 3.6.2 del presente documento, para ello

en la Figura 3.46 se muestra la interfaz en la que constan los semáforos con sus respectivas luces accionadas.

En la Figura 3.47 se muestra que al accionar los sensores, el programa y la interfaz llevan un conteo de los vehículos que estarían en circulación, como también los ciclos necesarios para realizar la comparación del tráfico vehicular. Una vez realizada la comparación se



Figura 3.46: HMI del sistema de semaforización.



Figura 3.47: Conteo vehicular.

efectúa el cambio en el tiempo de duración de encendido de la luz verde hasta que nuevamente llegue al límite de ciclos y se realice una nueva comparación. Finalmente se cambia la hora interna del PLC para observar el cambio del modo de operación normal al modo nocturno, provocando que las luces amarillas de los dos semáforos se vuelvan intermitentes expresando una señal de alerta, tal y como lo indica la Figura 3.48.

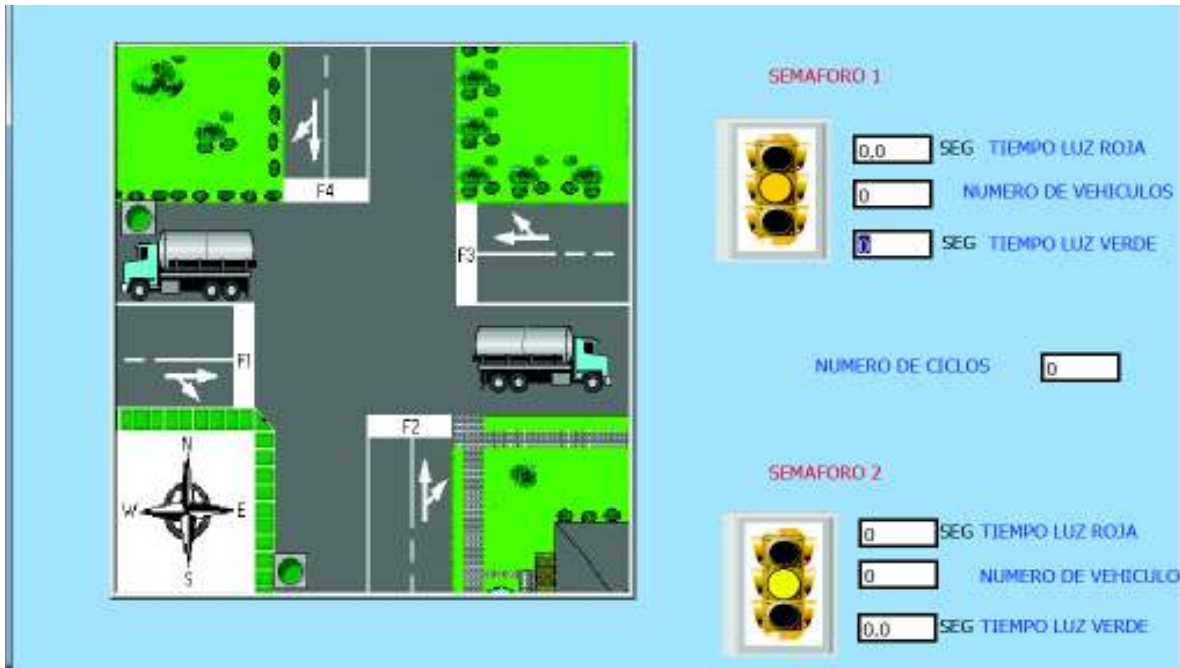


Figura 3.48: Cambio de modo de funcionamiento (normal a nocturno).

3.8. Prácticas

3.8.1. Práctica N°1

Tema: Control de temperatura y arranque de un motor trifásico de inducción

Objetivos:

- ✓ Familiarizar al estudiante en el manejo del sistema de control de temperatura y arranque de un motor trifásico de inducción.
- ✓ Realizar el escalamiento de una señal analógica.
- ✓ Diseñar algoritmos de control con sistemas de control ON/OFF.

Equipo y materiales:

- ✓ Módulo PLC disponible en el Laboratorio
- ✓ Sistema de control de temperatura y arranque de un motor trifásico de inducción
- ✓ Cables de conexión

Información:

- ✓ Módulo PLC. - El módulo PLC dispone de un autómata marca SIEMENS de la serie S7-1200, CPU 1212C AC/DC/RL, de 8 entradas digitales, 2 entradas análogas y 6 salidas digitales. Las entradas y salidas se encuentran debidamente identificadas según la respectiva dirección disponible en el software Portal TIA V.13.
- ✓ Sistema de control de temperatura y arranque de motor trifásico de inducción. - Dispone de un circuito hidráulico y elementos de mando necesarios para realizar un proceso de mezclado en el tanque 1 y el control de temperatura en el tanque 2.

El sistema cuenta con borneras para la conexión de las señales de mando hacia el módulo PLC, como también para accionar los elementos de maniobra del sistema desde el módulo.

- ✓ Controlador todo o nada (ON/OFF).- Utilizar un controlador de características todo o nada (ON/OFF) es semejante a un interruptor, debido a sus dos únicos estados que puede disponer (encendido o apagado). Este tipo de acción de control tiene un simple mecanismo de implementación, por lo cual es de amplio uso y comúnmente utilizado en sistemas de regulación de temperatura.

Los controladores ON/OFF generalmente disponen de una banda muerta con la finalidad de atenuar el número de conmutaciones entre encendido y apagado, además de aumentar el tiempo entre la conmutación.

Trabajo preparatorio:

Utilizando el Portal TIA V.13 en base a lenguaje FBD desarrollar un algoritmo de control que cumpla con los siguientes requerimientos:

- ✓ El proceso inicia mediante un pulsador (Pm) donde una bomba (LZ-1A) y electroválvula (LV-1A) se accionan para transportar el fluido del tanque 2 al tanque 1.
- ✓ El sistema dispone de un sensor (LE-1B) tipo flotador que detecta el nivel alto en el tanque 1, para que el motor trifásico (Z) se encienda durante un tiempo en sentido horario, descanse y luego arranque en sentido anti-horario.
- ✓ El tiempo de encendido del motor en sentido horario debe ser mínimo 5 segundos, e igual el sentido anti-horario (5 segundos), el tiempo de descanso entre cambio de giro es de 10 segundos.
- ✓ Finalizado el proceso de mezclado, otra bomba (LZ-1B) y electroválvula (LV-1B) se encienden para impulsar el fluido de regreso al tanque 2, hasta que otro sensor de nivel (LE-1A) detecte el nivel alto.

- ✓ El sistema utiliza un Transmisor Indicador de Temperatura (TIT) que proporciona una señal de entre 0 y 10 V, así que el algoritmo de control debe poseer un bloque de normalización y escalamiento para interpretar la señal de voltaje proporcional a la temperatura del fluido de entre 0° y 100°C.
- ✓ Una vez lleno el tanque 2 se inicia el proceso para elevar la temperatura del fluido accionando las resistencias de inmersión (TZ) hasta que el Transmisor Indicador de Temperatura (TIT) indique mediante señal de voltaje que la temperatura del fluido alcanzó el límite superior de la banda de seguridad para desenergizar las resistencias. Cuando la temperatura del fluido está por debajo del límite inferior de la banda de seguridad los actuadores eléctricos se vuelven a accionar.
- ✓ La banda de seguridad será ajustada al 10% del punto de consigna.
- ✓ Mediante un switch dispuesto en el HMI se podrá seleccionar: mando local o remoto.
- ✓ En el mando local se dará el pulso de inicio mediante el pulsador (Pm).
- ✓ En el mando remoto, es posible ajustar los tiempos que permanecerá encendido el motor en cada uno de los sentidos de giro, ajustar el Setpoint de temperatura y dar el pulso de inicio (Pm en HMI).
- ✓ Desarrollar una Interfaz Humano Máquina (HMI) que permita supervisar, monitorear y controlar el sistema.

Procedimiento:

- ✓ Conectar los dispositivos de entrada y salida al módulo programable.
- ✓ Establecer la conexión online con el PLC.
- ✓ Compilar y cargar el programa.
- ✓ Verificar el funcionamiento del diseño en el Laboratorio, mediante su implementación.

Informe:

- ✓ Presentar el circuito de control.
- ✓ Presentar el diagrama de conexiones de entradas y salidas al PLC.
- ✓ Elaborar una tabla de las variables utilizadas en el algoritmo de control.
- ✓ Presentar la HMI desarrollada.
- ✓ Conclusiones y recomendaciones.
- ✓ Bibliografía.

3.8.2. Práctica N°2

Tema: Sistema de semaforización

Objetivos:

- ✓ Desarrollar habilidades en el estudiante en el manejo de temporizadores, cambio de datos en variables, contadores e instrucciones matemáticas en el software Portal TIA V.13.
- ✓ Diseñar un algoritmo de control en base al lenguaje FBD para gestionar un sistema de semaforización.
- ✓ Diseñar una Interfaz Humano Máquina HMI.

Equipo y materiales:

- ✓ Módulo PLC disponible en el Laboratorio
- ✓ Sistema de semaforización
- ✓ Cables de conexión

Información:

- ✓ El diagrama de bloques de funciones (FBD).- Es un lenguaje gráfico que permite al usuario programar elementos (bloques de funciones del PLC) en tal forma que ellos aparecen interconectados al igual que un circuito eléctrico. Generalmente utilizan símbolos lógicos para representar al bloque de función. Las salidas lógicas no requieren incorporar una bobina de salida, porque la salida es representada por una variable asignada a la salida del bloque.
- ✓ El sistema de semaforización.- Es una solución ingenierada para aliviar el tráfico vehicular que se da por semáforos programados y la gran cantidad de automotores. Es así, que este sistema en función del número de vehículos en el cruce de vías asigna prioridad a uno u otro sentido de cruce modificando los tiempos de encendido de la luz verde.

Trabajo preparatorio:

Utilizando el PORTAL TIA V.13 en base al lenguaje FBD desarrollar un algoritmo de control para gestionar un sistema de semaforización que cumpla con los siguientes requerimientos:

- ✓ El sistema dispone de dos modos de funcionamiento (normal y nocturno).
- ✓ Modo normal: en este modo se controla el tránsito vehicular en una intersección, las vías que se intersecan tienen un solo sentido de circulación.

- Además, en el modo normal se contabiliza los vehículos que circulan en cada vía y mediante una comparación se determina que vía contiene mayor número de automotores para dar prioridad de tránsito. La comparación se realiza cada tres ciclos completos del semáforo.
- Los tiempos de funcionamiento en la luz verde de los semáforos serán de 15 segundos cuando el número de vehículos sea igual en las dos vías. Pero, cuando en una de las vías exista más vehículos, la luz verde tendrá un tiempo de encendido de 20 segundos. Las luces amarillas tendrán un tiempo de duración de 5 segundos siempre.
- ✓ Modo nocturno: las luces amarillas de ambos semáforos se volverán intermitentes con una frecuencia de 1Hz. El sistema debe cambiarse del modo normal al modo nocturno y viceversa según el horario dispuesto en la siguiente Tabla.

Horario de encendido del Modo Nocturno		
Día de la semana	Hora de Inicio	Hora de Fin
Lunes	22:00 PM	5:00 AM
Martes	22:00 PM	5:00 AM
Miércoles	22:00 PM	5:00 AM
Jueves	22:00 PM	5:00 AM
Viernes	23:00 PM	4:00 AM
Sábado	23:00 PM	4:00 AM
Domingo	22:00 PM	5:00 AM

- ✓ Realizar una Interfaz Humano-Máquina (HMI) para el control y monitoreo del sistema.

Procedimiento:

- ✓ Conectar los dispositivos de entrada y salida al módulo programable.
- ✓ Establecer la conexión online con el PLC.
- ✓ Compilar y cargar el programación.
- ✓ Verificar el funcionamiento del diseño en el Laboratorio, mediante su implementación.

Informe:

- ✓ Presentar el circuito de control.
- ✓ Presentar el diagrama de conexiones de entradas y salidas al módulo PLC.
- ✓ Elaborar una tabla de las variables utilizadas en el algoritmo de control.
- ✓ Presentar la HMI desarrollada.
- ✓ Conclusiones y recomendaciones.
- ✓ Bibliografía.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- Se implementó un módulo educacional utilizando un controlador lógico programable (PLC) para realizar un control de temperatura, un sistema de semaforización y un arranque de un motor de inducción trifásico. Llegando a cumplir con el objetivo general del presente proyecto integrador y teniendo en cuenta que servirá como herramienta de aprendizaje y formación profesional para los estudiantes.
- Se plantea las aplicaciones: de un intercambiador de calor para el control de temperatura, un sistema de semaforización y una mezcladora para el arranque de un motor de inducción trifásico, debido a que son ampliamente utilizadas en procesos industriales, sirviendo de ejemplos de sistemas de control prácticos para los estudiantes.
- La característica más importante que dispone el módulo PLC es la capacidad de ampliar sus entradas y salidas digitales hasta con un máximo de 8 canales cada uno, en cuanto a las entradas análogas se puede expandir hasta con 4 canales y para las salidas análogas hasta con 3 canales. Esto quiere decir que en un futuro el módulo será capaz de controlar procesos más complejos.
- El módulo educacional está diseñado de una forma didáctica, lo que permite al estudiante trabajar ya sea con señales analógicas o digitales; ya que el módulo cuenta con cuatro pulsadores y cuatro selectores que activan las entradas digitales, también dispone de seis salidas digitales tipo relé y dos entradas análogas capaces de recibir la señal mediante una fuente variable de voltajes (0 a 10 VDC) o una señal externa.
- El controlador utilizado en el módulo PLC es uno de los más empleados en industrias locales como internacionales, puesto que dispone de características como: entradas de alta velocidad para contaje y medición (encoder), salidas de alta velocidad para regulación de velocidad, posición y punto de operación (variadores de frecuencia, servomotores y motor a pasos), lasos de control PID, entre otros. Es así, que es posible plantear proyectos semestrales para relucir estas y otras características que dispone el S7-1200.
- Las unidades didácticas de intercambiador de calor y mezcladora, como también el sistema de semaforización son supervisados, monitoreados y controlados a través de una interfaz humano máquina (HMI) simulando una instancia remota, lo que permite demostrar el correcto funcionamiento del módulo PLC y de dichas unidades.

- Para controlar la temperatura del fluido en la unidad intercambiadora de calor fue necesario recurrir a un controlador ON/OFF, este tipo de controlador requiere de una banda de seguridad (dead zone) para evitar conmutaciones entre encendido y apagado instantáneas, permitiendo ampliar la vida útil de los elementos de maniobra y del actuador.
- Se logra que la magnitud física (temperatura) sea visualizada en un LCD e interpretada por el PLC con la ayuda de un transmisor indicador de temperatura (TIT), el cual utiliza como elemento primario a un sensor monolítico (LM35) debido a que presenta una sensibilidad de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$, una alta linealidad y precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- El arranque de un motor trifásico vinculado a una mezcladora es una aplicación básica, pero ampliamente utilizada, por lo que es necesario reconocer de forma correcta el método de arranque, como invertir el sentido de giro, las protecciones necesarias e incluso diagnosticar el accionar de dichas protecciones, ya sea de la forma tradicional mediante un elemento indicador (luz piloto) o un acusador de alarmas en un HMI.
- El algoritmo de control del sistema de semaforización realiza el conteo de vehículos mediante pulsos emitidos por los sensores de proximidad (finales de carrera). Este sistema permite capacitar al operador en cuanto al manejo de temporizadores, condicionales, bloques de multiplexado y cambio en el tipo de dato.
- Los algoritmos de control elaborados para controlar a las unidades didácticas disponen de bloques de funciones tipo FC's y DB's. En los bloques (FC's) se introduce funciones específicas como: controlador ON/OFF, Acusación de alarmas y la configuración del horario para el ingreso al modo nocturno. En cambio, los DB's utilizados permiten almacenar información como: la activación de un bit para el acusador de alarmas, como también almacenar la hora local y la hora de encendido según el día de la semana.
- Se realizan pruebas de funcionamiento para evaluar y comprobar el cumplimiento de las características y consideraciones planteadas que deben tener cada unidad didáctica, así como también al módulo PLC, debido a que deben ser operados por los estudiantes, los cuales aplicarán la teoría impartida de forma práctica.
- Se elaboran guías prácticas en función de los conocimientos y destrezas que deben ser adquiridas en la asignatura de Control Industrial, tomando en cuenta las normas que rigen el laboratorio en el cual se encuentra el módulo PLC y los sistemas de control.

RECOMENDACIONES:

- Para que la señal de voltaje que ingresa a las entradas análogas mediante potenciómetros se más precisa, es necesario realizar un circuito que utilice un microcontrolador, en el cual se utilice los potenciómetros en los canales análogos del microcontrolador y a través de la lógica necesaria y comunicación SPI con un convertidor digital análogo (DAC) retornar un voltaje análogo.
- Antes de instalar los módulos de ampliación al módulo PLC, es necesario calcular el consumo de corriente que tendrán dichos módulos y determinar si no excede la corriente de la fuente interna del PLC. En caso de que exceda el consumo de corriente al instalar las ampliaciones en el módulo PLC, se deberá instalar una fuente adicional junto a los dispositivos de protección (breaker's).
- Para desarrollar un controlador más complejo y preciso como un PID de temperatura en el sistema implementado se requiere incorporar una salida digital tipo tiristor y un relé de estado sólido, además de elaborar un algoritmo de control acorde al controlador.
- Para acelerar el proceso de enfriamiento del fluido en la unidad didáctica del intercambiador de calor y mezcladora es posible añadir un ventilador que se accione al superar el límite superior de la banda de seguridad.
- En la aplicación de la mezcladora se arranca al motor a plena tensión, encontrándose con una corriente de arranque de seis a ocho veces mayor a la nominal, para reducir esta corriente de arranque es posible disponer de un variador de frecuencia, el cual mediante la configuración de sus parámetros pueda accionar al motor trifásico mediante la recepción de un pulso del módulo PLC hacia una de sus entradas y acelerándolo en un tiempo adecuado.
- El transmisor indicador de temperatura está compuesto por dos partes, una parte es el indicador que utiliza un sensor LM35 para la entrada análoga del microcontrolador y la segunda parte utiliza otro sensor LM35 con un amplificador para transmitir en voltaje la temperatura. Para mejorar el diseño es posible comunicar al microcontrolador con un convertidor digital análogo (DAC) mediante comunicación serial peripheral interfaces (SPI), con la finalidad de disponer un solo elemento primario que sea la referencia de la temperatura medida en el fluido.
- Para mejorar el sistema de semaforización es posible incorporar un logo 8! (disponible en el laboratorio), llegando a comunicarlos mediante protocolos profinet, para utilizar las salidas disponibles del relé programable como semáforos peatonales.

- Verificar cada una de las conexiones con el fin de evitar cortocircuitos y de esta manera garantizar la vida útil de los elementos que conforman al módulo PLC y las unidades didácticas, al igual que salvaguardar la integridad de los estudiantes.
- Leer el manual de usuario del controlador S7-1200, ya que en este documento es posible encontrar características o funciones aún no conocidas, las cuales pueden ser muy útiles en caso de requerirlas en aplicaciones de mayor complejidad y precisión.
- Realizar periódicamente las labores de mantenimiento descritas en el manual de usuario ubicado en el Anexo E, para identificar posibles averías; teniendo como objetivo alargar la vida útil de los dispositivos y mantenerlos en óptimas condiciones.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (1999). *Proyecto de investigación*. Caracas: Episteme.
- Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Daneri, P. (2008). *PLC, Automatización y control industrial*. Buenos Aires: Hispano Americana S.A.
- Jacobo, A. (22 de Abril de 2018). *Sistema de semáforos inteligentes utilizando sensores de presencia*. Obtenido de http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Aplicaciones_de_la_Ingenieria/vol2num3/Aplicaciones_de_la_Ingenieria_Vol2_Num3_3.pdf
- Lleal S.A. (22 de Abril de 2018). *Interempresas*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Mezclador-de-solidos-biconico-BC-66685.html>
- Microchip. (23 de Abril de 2018). *ALLDATASHEET.COM*. Obtenido de <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/74970/MICROCHIP/PIC16F870/2886/7/PIC16F870.html>
- Omega Electrónica S.A. (31 de Octubre de 2017). *Omega Electrónica*. Obtenido de <http://www.electronicaomega.com/>
- Pedrollo S.A. (31 de Octubre de 2017). Obtenido de <http://pedrollo.com.ec/puntos-de-venta-bombas-de-agua/>.
- Rodríguez, J. (22 de Abril de 2018). *Intercambiadores de calor*. Obtenido de <http://www.radiadoresgallardo.cl/topintercambiaodres.pdf>
- Siemens. (06 de Diciembre de 2016). *support.industry.siemens*. Obtenido de <https://support.industry.siemens.com/tedservices/DatasheetService/DatasheetService?format=pdf&mlfbs=6ES7212-1BE40-0XB0&language=en&caller=SIOS>
- Tecnoart S.A. (21 de OCTUBRE de 2017). Obtenido de http://crntecnoart.com/imagenes/pdf/ESP/catalog/cetal_es.pdf.
- Texas Instruments. (23 de Abril de 2018). *ALLDATASHEET.COM*. Obtenido de <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/517588/TI1/LM35/108/2/LM35.html>
- Vásquez Chico, S., & Suárez Mullo, P. J. (2015). *Diseño e implementación de un sistema didáctico para transporte y discriminación de discos en el laboratorio de hidrónica y neutrónica*. Latacunga.
- XIAMEN AMOTEC DISPLAY CO.,LTD. (23 de Abril de 2018). *SparkFun Electronics*. Obtenido de <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf>

ANEXOS

ANEXO A. Datos técnicos de equipos y dispositivos

ANEXO B. Capítulo “montaje” del manual de usuario correspondiente al plc s7-1200

ANEXO C. Planos mecánicos y eléctricos del módulo PLC

ANEXO D. Planos esquemático y eléctricos de las unidades didácticas

ANEXO E. Manual de usuario

ANEXO A
DATOS TÉCNICOS DE EQUIPOS Y DISPOSITIVOS



CALENTADORES PORTATILES DE BAJA POTENCIA

De fácil utilización en recipientes abiertos con un nivel de líquido importante, y poco variable. La elección del modelo adecuado depende de la carga admisible del líquido a calentar.
 Son prácticos de manejar, y no necesitan de ninguna adaptación del recipiente a calentar para su instalación.

CARACTERISTICAS COMUNES

Tapón protector de baquelita ref. 40037 B
 Cable de conexión, con toma de tierra, de 1250 mm. de longitud. Sin clavija.
 PL = longitud sumergida. NC = longitud no calentada. LC = longitud calentada.

- SERIE TB** para agua – tubo de cobre niquelado – 230 V mono – PL = 500 mm. NC = 300 mm.
- SERIE DH** para aceite – tubo inox AISI 321 – 230 V mono – PL = 750 mm. NC = 500 mm.
- SERIE PB** para baños ácidos – tubo inox recubierto con plomo – 230 V mono – PL = 700 mm. NC = 500 mm.

Los modelos marcados son estándar



W	Ø mm.	Peso Kg	Ref
Serie TB		carga 6W/cm²	
1000	40	0,80	TB 10
1500	45	0,85	TB 15
2000	50	0,90	TB 20
3000	50	1,15	TB 30
Serie DH		carga 2W/cm²	
500	45	0,90	DH 5
750	45	0,95	DH 7
1000	45	1,05	DH 10
Serie Pb		carga 2W/cm²	
2000	80	3,10	PB 20
3000	80	3,10	PB 30

Figura A1.1: Características técnicas de los actuadores eléctricos.

Fuente: (Tecnopart S.A, 2017)



FICHA TÉCNICA		VOLVER ARRIBA ↗
Atributo	Detalle	
Modelo	TRU-60	
Marca	Huntosol	
Potencia	0,5 HP	
Velocidad	2850 RPM	
Voltaje / Frecuencia	220V / 50 Hz	
Caudal	31 l/min máx.	
Uso	Para bombear agua limpia y líquidos no corrosivos. Aumenta la presión hidráulica: atomización de agua en estancos y riego de jardines.	
Succión	7 mts. máx.	
Elevación	31 MCA	
Conexión	Diámetro 1" (hembra y macho)	
Observaciones	Impulsor de latón, protector térmico, eje rotor montado en rodamientos y sello mecánico grafito cerámico.	
Peso	4,5 kg	
Origen	China	
Garantía	1 año	

Figura A1.2: Características técnicas de la bomba periférica

Fuente: (Pedrollo S.A, 2017)



- **100% nuevo y de alta calidad**
- Material: Metal + plástico
- **voltaje: 110 V AC**
- entrada y salida: para manguera de 1/2 " (diámetro exterior) de la manguera
- presión: 0.02-0.8Mpa
- la temperatura máxima del líquido: 100 ° C
- modo de funcionamiento: normalmente cerrado
- tipo de válvula: diafragma (operado por Servo)
- uso: agua y fluidos de baja viscosidad
- tenga en cuenta que no es adecuado para su uso con sistemas alimentados por gravedad

Figura A1.3: Características técnicas de la electroválvula

Fuente: (Omega Electrónica S.A, 2017)



- especificaciones:**
- Longitud del cable: 37.5 cm
 - Max Tensión: 220 V DC
 - Max Voltaje De Conmutación: 100 V DC
 - Corriente máxima De Conmutación: 0.5 A
 - Corriente De Carga máxima: 1.0 A
 - Max Resistencia de Contacto: 100 mΩ
 - temperatura Rating:-10 ~ + 85 ° C
 - instalación: montado verticalmente superior o inferior
 - uso: agua, aceite, medio químico

Figura A1.4: Características técnicas del sensor de nivel tipo flotador

Fuente: (Omega Electrónica S.A, 2017)



Marca: S/N	Motor: 3~	HP: 0.75	V: 220/380	Rpm: 1756
Hz: 60	Kw: 0.55	Conexión: Δ/Y	A: 2.5/1.75	CosØ: 0.92

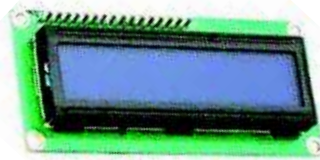
Figura A1.5: del motor trifásico, jaula de ardilla.



Microcontrolador microchip gama media	8bit's CMOS	CPU: RISC de alto rendimiento
Juego reducido de instrucciones: 35	28 Pines	Memoria Flash (programa): 2Kx14 word
Memoria de datos RAM: 128x8 bytes	Memoria de datos EEPROM: 64x8 bytes	Timers: 3 (TMR0, TMR1, TMR2)
Watchdog: 1	Coversor S/D 10 bits (5 canales)	Comunicación serial (USART)
Modulo CPP (PWM)	Porticos E/S (PORTA 6 líneas, PORTB 8 líneas, PORTC 8 líneas)	Corriente máxima absorbida por línea 25mA
Voltaje de alimentación entre 2 y 5.5 VDC	Frecuencia Trabajo hasta 20MHZ	

Tabla A1.7: Características del microcontrolador PIC 16F870.

Fuente: (Microchip, 2018)



Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	V _{SS}	Power supply	Signal ground for LCM
2	V _{DD}		Power supply for logic for LCM
3	V ₀		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0~DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4~DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	LED+	LED BKL power supply	Power supply for BKL
16	LED-		Power supply for BKL

Item	Symbol	Standard			Unit
Power voltage	V _{DD} -V _{SS}	0	-	7.0	V
Input voltage	V _{IN}	V _{SS}	-	V _{DD}	
Operating temperature range	V _{OP}	0	-	+50	°C
Storage temperature range	V _{ST}	-10	-	+60	

Tabla A1.8: Características y descripción de conexiones del LCD 16x2.

Fuente: (XIAMEN AMOTEC DISPLAY CO.,LTD, 2018)



Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario			
• Memoria de trabajo	• 25 KB		• 50 KB
• Memoria de carga	• 1 MB		• 2 MB
• Memoria remanente	• 2 KB		• 2 KB
E/S integradas locales			
• Digitales	• 6 entradas/4 salidas	• 8 entradas/6 salidas	• 14 entradas/10 salidas
• Analógicas	• 2 entradas	• 2 entradas	• 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
• Fase simple	• 3 a 100 kHz	• 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz	• 3 a 100 kHz 3 a 30 kHz
• Fase en cuadratura	• 3 a 80 kHz	• 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz	• 3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

Tabla A1.9: Características relevantes de los S7-1200.

Fuente: (Siemens, 2016)

ANEXO B
CAPITULO “MONTAJE” DEL MANUAL DE USUARIO
CORRESPONDIENTE AL PLC S7-1200

ANEXO C
PLANOS ESQUEMÁTICO Y ELÉCTRICOS DEL MÓDULO PLC

ANEXO D
PLANOS ESQUEMATICOS Y ELÉCTRICOS DE LAS UNIDADES
DIDÁCTICAS

ANEXO E
MANUAL DE USUARIO

SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y ARRANQUE DE MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN



▪ Procedimiento de operación

- 1) Abrir el algoritmo de control “Sist. Interc. y Mez.” Correspondiente al sistema de control de la aplicación de mezcladora e intercambiador de calor.
- 2) Efectuar las conexiones eléctricas según la Figura E1.1, la descripción de las conexiones se encuentran en la Tabla E1.1.
- 3) Conectar el cable de comunicación entre la PC y el módulo PLC.
- 4) Encender el módulo PLC
- 5) Asignar dirección IP a los dos dispositivos y colocarlos en una misma red Profinet.
- 6) Cargar el algoritmo de control.
- 7) Proveer del pulso inicial y evaluar el cumplimiento de las condiciones del sistema de control.

Tabla E1.1: Conexión de entradas y salidas

Tabla de conexiones de entradas y salidas	
Entradas	
%I0.1	Pulsador de marcha (mando local)
%I8.3	Térmico NC, Paro de emergencia
%I8.5	Térmico NC
%I8.6	Sensor nivel tanque 1
%I8.7	Sensor nivel tanque 2
%IW64	Transmisor indicador de temperatura (25°C a 60°C)
Salidas	
%Q0.0	EV1
%Q0.1	K5 y EV2
%Q0.2	K1
%Q0.3	K2
%Q0.4	K4, Actuador eléctrico
%Q0.5	K3

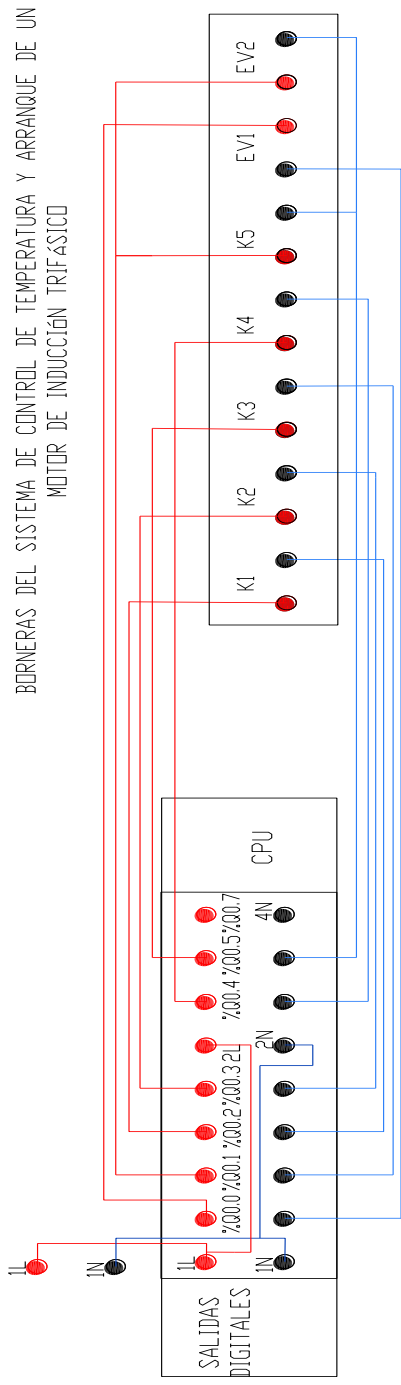
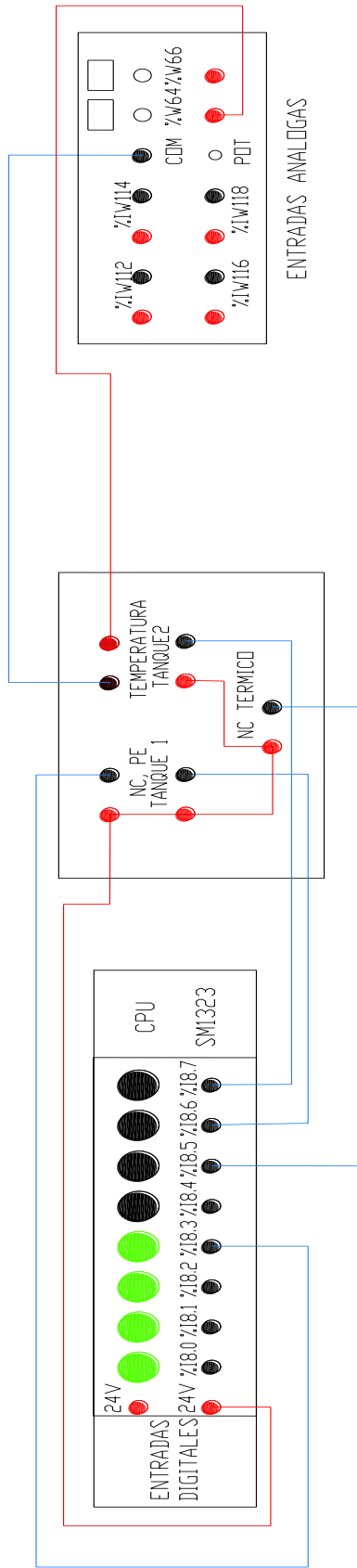


Figura E1.1: Diagrama de entradas y salidas, de la mezcladora e intercambiador de calor

SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN



▪ **Procedimiento de operación del sistema de semaforización**

- 1) Abrir el algoritmo "SIST.SEMAF." correspondiente al sistema de control de semaforización.
- 2) Efectuar las conexiones eléctricas según la Figura E1.2 y la Tabla E1.2.
- 3) Conectar el cable de comunicación Ethernet entre el módulo PLC y la PC.
- 4) Encender el módulo PLC
- 5) Asignar dirección IP a los dos dispositivos y colocarlos en una misma red Profinet.
- 6) Cargar el algoritmo de control.
- 7) Accionar los interruptores de posición y evaluar el cumplimiento de las condiciones del sistema de control.

Tabla E1.2: Conexiones de entradas y salidas.

Tabla de conexiones de entradas y salidas del sistema de semaforización	
Entradas	
%I8.0	Sensor fin de carrera (+), semáforo 1
%I8.1	Sensor fin de carrera (-), semáforo 1
%I8.2	Sensor fin de carrera (+), semáforo 2
%I8.3	Sensor fin de carrera (-), semáforo 2
Salidas	
%Q0.0	luz roja, semáforo 1
%Q0.1	luz amarilla, semáforo 1
%Q0.2	luz verde, semáforo 1
%Q0.3	luz roja, semáforo 2
%Q0.4	luz amarilla, semáforo 2
%Q0.5	luz verde, semáforo 2

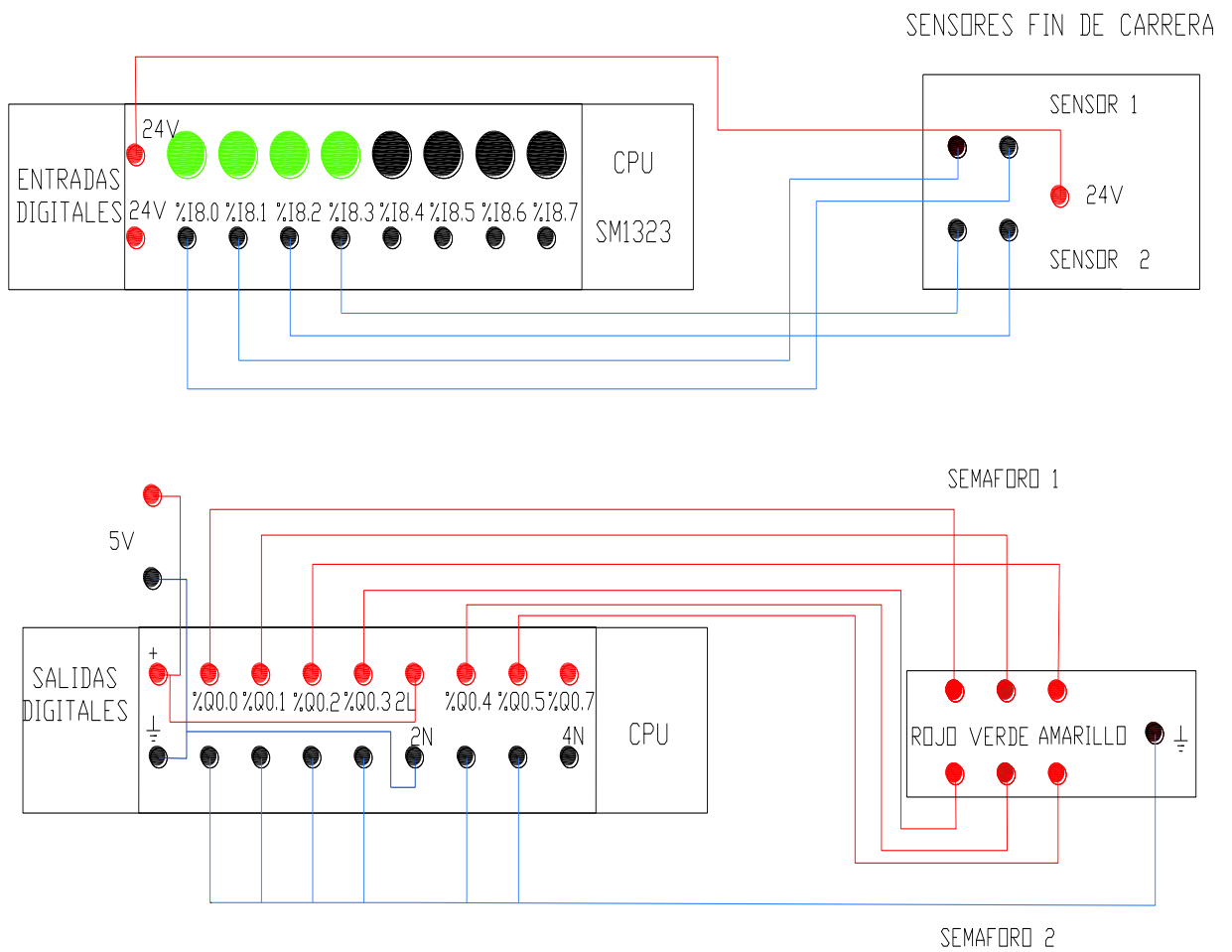


Figura E1.2: Diagrama de entradas y salidas, sistema de Semaforización

▪ **Tareas de mantenimiento**

Las tareas de mantenimiento que se deben efectuar tanto para el módulo PLC como para los sistemas, se detallan en las Tablas E1.3, E1.4 y E1.5.

Tabla E1.3: Tarea de mantenimiento preventivo para el módulo PLC

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
<p>CARRERA: Electromecánica ELEMENTO: Módulo PLC LABORATORIO: Control Industrial TAREA: Revisión y Limpieza FECHA: FRECUENCIA: Bimensual</p>		
<p>PROCEDIMIENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Desenergizar al módulo y colocar en estado “OFF” los termomagnéticos. ✓ Reajustar los tornillos de las borneras de las entradas y salidas del PLC. ✓ Reajustar las tuercas de las borneras dispuestas en la parte externa. ✓ Verificar continuidad entre la bornera del PLC y la bornera externa. ✓ Limpiar contactos y gabinete eléctrico. 		
<p>HERRAMIENTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Destornillador plano ✓ Llave mixta de 1/8” ✓ Alicata ✓ Multímetro 	<p>MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Whype o franela ✓ Brocha 1” ✓ Spray limpiador de contactos eléctricos 	
<p>REPUESTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Voltímetros DC digitales ✓ Potenciómetros 5K ohm ✓ Interruptor 2 posiciones (ojo de cangrejo) ✓ Luz piloto color verde 22mm 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Borneras rojas ✓ Borneras negras ✓ Selectores 2 posiciones 22mm ✓ Pulsadores color verde 22mm 	
<p>OBSERVACIONES:</p>		

Tabla E1.4: Tarea de mantenimiento preventivo para el sistema intercambiador de calor y mezcladora

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
<p>CARRERA: Electromecánica ELEMENTO: Intercambiador de calor y mezcladora LABORATORIO: Control Industrial TAREA: Revisión y Limpieza FECHA: FRECUENCIA: Bimensual</p>		
<p>PROCEDIMIENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Desenergizar el sistema y colocar en estado “OFF” los termomagnéticos. ✓ Reajustar las tuercas de las borneras. ✓ Comprobar continuidad entre la bornera y el terminal del elemento de maniobra. ✓ Limpiar contactos y tarjetas electrónicas. ✓ Limpiar actuadores eléctricos y tanques. ✓ Inspección visual de posibles fugas. 		
<p>HERRAMIENTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Destornillador plano ✓ Llave mixta de 1/8” ✓ Alicates ✓ Multímetro 	<p>MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Whype o franela ✓ Brocha 1” ✓ Spray limpiador de contactos eléctricos ✓ Lija de agua #80 	
<p>REPUESTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Luz piloto color verde 22mm ✓ Luz piloto color rojo 22mm ✓ Borneras rojas ✓ Borneras negras 		
<p>OBSERVACIONES:</p> <hr/> <hr/> <hr/>		

Tabla E1.5: Tarea de mantenimiento preventivo para el sistema de semaforización

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
<p>CARRERA: Electromecánica</p> <p>ELEMENTO: Sistema de semaforización</p> <p>LABORATORIO: Control Industrial</p> <p>TAREA: Revisión y Limpieza</p> <p>FECHA:</p> <p>FRECUENCIA: Bimensual</p>		
<p>PROCEDIMIENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Desenergizar el sistema. ✓ Reajustar las tuercas de las borneras. ✓ Comprobar continuidad entre la bornera al accionar cada fin de carrera. ✓ Aplicar 5VDC en los terminales de cada luz y verificar que se enciendan. ✓ Limpiar superficies. 		
<p>HERRAMIENTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Llave mixta de 1/8" ✓ Alicates ✓ Multímetro 	<p>MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Whype o franela ✓ Brocha 1" ✓ Spray limpiador de contactos eléctricos 	
<p>REPUESTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Borneras rojas ✓ Borneras negras ✓ Luces led jumbo de color: rojo, amarillo y verde ✓ Finales de carrera 		
<p>OBSERVACIONES:</p> <p> </p> <p> </p> <p> </p>		

▪ **Localización de averías**

Existen múltiples causas por las cuales el módulo o los sistemas dejan de funcionar o que a su vez se produzca una avería, para efectos pertinentes a continuación se presenta la Tabla E1.6 para identificar las causas y la solución correspondiente a una avería puntual.

Tabla E1.6: Localización de averías.

MÓDULO PLC		
AVERÍA	CAUSA	SOLUCIÓN
El PLC no enciende o se encuentra en estado "ERROR"	Cable de potencia defectuoso.	Cambiar cable de potencia
	Breaker en estado "OFF".	Cambiar breaker's a estado "ON"
	Selector o contactos no conducen energía eléctrica.	Cambiar selector o contactos.
		Revisar estado de terminales tipo horquilla y reajustarlos contra los contactos del selector.
Configuración de hardware no cargada	Cargar configuración a través del Portal TIA V.13	
No funcionan fuentes de voltaje variable.	Cables desconectados	Conectar cables en su posición inicial y ajustar en bornera.
	Potenciómetros o resistencias descompuestos.	Cambiar potenciómetros.
No Funcionan los voltímetros	Fuente de 5VDC descompuesta	Cambiar capacitores electrolíticos o circuito integrado 7805
	Voltímetro dañado	Cambiar Voltímetro.
PLC no detecta las señales de entrada digitales y analógicas	Cable desconectado o cortado	Cambiar o conectar cable a la bornera correspondiente.
	Pulsador o selector defectuoso.	Verificar continuidad entre contactos al accionar al elemento del mando
	Fuente de 24VDC del PLC desconectada	Comprobar encendido del PLC
		Revisar cable del terminal positivo de la fuente interna del PLC.
Fusible dañado	Cambiar fusible	
PLC no activa sus salidas digitales	Cable desconectado o cortado	Cambiar o conectar cable a la bornera correspondiente.
		Verificar continuidad del conductor entre terminal del PLC y la bornera

	Algoritmo de control activa la salida	Verificar si algoritmo activa la salida deseada.
	Fusible dañado	Cambiar fusible
Comunicación entre PLC y PC defectuosa	Cable de datos mal ponchado al conector RJ45 o defectuoso	Verificar continuidad entre los terminales del cable ponchado en los conectores.
		Cambiar cable Ethernet.
SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN		
AVERÍA	CAUSA	SOLUCIÓN
Luces no se encienden	Cable desconectado entre bornera y terminal del ánodo del led.	Cambiar o soldar cable entre bornera y terminal del ánodo del led.
	Fuente de 5VDC conectada inversamente.	Colocar 5VDC en terminal 1L y 2L y las salidas correspondientes a la bornera positiva según Figura E1.2
	Led Jumbo quemado	Cambiar Led Jumbo
PLC no recibe señal proveniente de los fines de carrera	Cable desconectado entre bornera y terminal del fin de carrera.	Cambiar o soldar cable entre bornera y terminal.
	Fuente de 24VDC desconectada al terminal común de fin de carrera	Colocar 24VDC según Figura E1.2
MEZCLADORA E INTERCAMBIADOR DE CALOR		
AVERÍA	CAUSA	SOLUCIÓN
Actuadores no se encienden	Contactores no se enclavan	Verificar conexión entre borneras y bobina del contactor
		Verificar conexión entre bornera del módulo PLC y del sistema correspondiente al contactor.
		Comprobar el estado en alto de la salida activada para el accionamiento del elemento de maniobra.
	Motor trifásico no enciende	Contactador no se enclava.
Relé térmico accionado, resetear el mismo.		
Transmisor Indicador de Temperatura	TIT no envía señal de voltaje al PLC	Verificar conexión eléctrica entre borneras del PCB y la bornera dispuesta en el sistema.
		Verificar conexión eléctrica entre borneras del PLC y la bornera dispuesta en el sistema.
		Cambiar sensor LM35 o comprobar su estado.

	TIT no indica la temperatura en el display.	Cambiar sensor LM35 o verificar conexión.
		Comprobar conexión del display.
Sensores tipo flotadores	No funcionan	Cambiar elemento primario.
		Comprobar continuidad entre terminales.
		Verificar conexión.