



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE  
TRANSESTERIFICACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL  
USANDO PLC, HMI, CONTROL PID DE TEMPERATURA Y  
COMUNICACIÓN IOT.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Electrónica

**AUTORES:** JIMENEZ PEREZ FELIX ALBERTO  
ALMAGRO ESPINOZA XIOMARA LISBETH

**TUTOR:** ING. ORLANDO BARCIA, MSc

Guayaquil – Ecuador  
2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Félix Alberto Jiménez Pérez con documento de identificación N° 0930625140 y  
Xiomara Lisbeth Almagro Espinoza con documento de identificación N°0958940439;  
manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro  
la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total  
o parcial el presente trabajo de titulación.

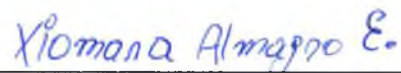
Guayaquil, 1 de septiembre del año 2025

Atentamente,



Félix Alberto Jiménez Pérez

0930625140



Xiomara Lisbeth Almagro Espinoza

0958940439

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Félix Alberto Jiménez Pérez con documento de identificación N° 0930625140 y Xiomara Lisbeth Almagro Espinoza con documento de identificación N°0958940439, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño e implementación del proceso de transesterificación para la obtención de Biodiesel usando PLC, HMI, control PID de temperatura y comunicación IoT”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica y Automatización, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 1 septiembre del año 2025.

Atentamente,



Félix Alberto Jiménez Pérez

0930625140



Xiomara Lisbeth Almagro Espinoza

0958940439

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Orlando Barcia Ayala con documento de identificación N° 1309445714, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “Diseño e implementación del proceso de transesterificación para la obtención de Biodiesel usando PLC, HMI, control PID de temperatura y comunicación IoT”, realizado por Félix Alberto Jiménez Pérez con documento de identificación N° 0930625140 y Xiomara Lisbeth Almagro Espinoza con documento de identificación N°0958940439, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 1 de septiembre del año 2025.

Atentamente,



---

Ing. Orlando Barcia Ayala, MSc

1309445714

## **DEDICATORIA**

*A mi mami, por ser mi mayor inspiración y ejemplo de fortaleza. Todo lo que soy y lo que he logrado es gracias a su amor, su sacrificio y su confianza en mí. Este logro es tan suyo como mío.*

*A mi hermana Ale, por estar siempre a mi lado, por su apoyo incondicional y por motivarme a seguir adelante en cada paso de este camino. Gracias por ser mi compañera y por demostrarme con tu ejemplo que nunca hay que rendirse.*

*Félix Alberto Jiménez Pérez*

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto, A Dios por darme la fortaleza y sabiduría para llevar a cabo  
este logro*

*A mi Padre Diego Almagro a mi madre Alexandra Espinoza,  
Quienes han sido mis pilares fundamentales y mi gran inspiración a seguir a delante  
, me han enseñado día a día a luchar por cada uno de mis sueños por muy difícil que  
sea la vida,*

*A mi esposo, por sus consejos y apoyo incondicional en toda esta etapa,  
A mi hija, por ser mi más grande motor para no rendirme, para luchar Día a día por  
este logro de ser futura ingeniera*

*A todas esas personas que creyeron en mí y nunca dejaron de apoyarme durante el  
transcurso de mi formación académica.*

*Xiomara Lisbeth Almagro Espinoza*

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, agradecer profundamente a mi mami, quien ha sido un pilar fundamental para poder culminar esta etapa de mi vida. Gracias por cada palabra de aliento, por su paciencia infinita, y sobre todo por creer siempre en mí. Este logro no es solo mío también es suyo porque su apoyo incondicional me dio la fuerza para llegar hasta aquí.*

*A mi hermana Ale, por acompañarme en cada momento, y estar a mi lado en días difíciles. Gracias por ser ejemplo de constancia y por recordarme siempre que si es posible alcanzar lo que uno se propone.*

*Bien sé que este no era el camino que me imagine al principio, me doy cuenta de que ha valido cada paso. Realmente hubo momentos en los que pensé que no llegaría hasta aquí, pero la vida nos lleva donde debemos estar, inesperado, pero profundamente agradecido por el viaje.*

*Félix Alberto Jiménez Pérez*

## **AGRADECIMIENTO**

*A dios por darme la fortaleza y sabiduría para seguir adelante.*

*A mi Ángel en el cielo, porque a pesar de no estar presente, siempre fue una de mis  
más grandes inspiraciones a seguir*

*A mis padres por siempre brindarme su apoyo y enseñarme a seguir adelante por muy  
difícil que sea el camino.*

*A mi esposo por darme la fortaleza y el apoyo día a día para no rendirme y siempre  
luchar por lo que deseo.*

*A mi hija por ser mi más grande inspiración por poder culminar con esta etapa  
A todas esas personas que creyeron en mí y nunca dejaron de apoyarme en esta etapa  
académica.*

*A mis compañeros de trabajo por la ayuda con la maqueta y aguantar mi estrés día a  
día.*

*Xiomara Lisbeth Almagro Espinoza*

## RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DEL PROYECTO	TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN
2025	FÉLIX ALBERTO JIMÉNEZ PÉREZ  XIOMARA LISBETH ALMAGRO ESPINOZA	ING. BARCIA AYALA ORLANDO GIOVANNI, MSc	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL USANDO PLC, HMI, CONTROL PID DE TEMPERATURA Y COMUNICACIÓN IOT

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema automatizado para el proceso de transesterificación, orientado a la producción de biodiésel. Para ello, se integran tecnologías como un Controlador Lógico Programable (PLC), una Interfaz Hombre-Máquina (HMI), controladores PID para la regulación de temperatura, y un sistema de monitoreo remoto basado en tecnología IoT. El desarrollo de este sistema permite automatizar tareas clave del proceso y asegurar el monitoreo continuo de los parámetros relevantes en tiempo real.

## ABSTRACT

<b>AÑO</b>	<b>ALUMNOS</b>	<b>DIRECTOR DEL PROYECTO</b>	<b>TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>
2025	FÉLIX ALBERTO JIMÉNEZ PÉREZ  XIOMARA LISBETH ALMAGRO ESPINOZA	ING. BARCIA AYALA ORLANDO GIOVANNI, MSc	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE TRANSESTERIFICATION PROCESS FOR OBTAINING BIODIESEL USING PLC, HMI, PID TEMPERATURE CONTROL AND IOT COMMUNICATION

This thesis project aims to design and implement an automated system for the transesterification process, focused on biodiesel production. The system integrates technologies such as a Programmable Logic Controller (PLC), a Human-Machine Interface (HMI), PID controllers for temperature regulation, and a remote monitoring platform based on IoT technology. The development of this system allows for the automation of key process tasks and ensures continuous monitoring of relevant parameters in real time.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	18
2.	PROBLEMA.....	19
3.	JUSTIFICACIÓN .....	20
4.	OBJETIVOS.....	21
4.1	Objetivo general .....	21
4.2	Objetivos específicos.....	21
5.	FUNDAMENTO TEÓRICO .....	22
5.1	Biodiésel.....	22
5.2	Aplicaciones del Biodiesel .....	23
5.3	Transesterificación .....	23
5.4	PLC S7 1500 .....	24
5.5	Control PID .....	25
5.6	Proceso químico de producción de biodiesel por transesterificación .....	26
5.7	Control de procesos.....	27
5.8	TIA PORTAL.....	28
5.9	Proceso de automatización de la transesterificación con PLC y HMI .....	29
5.10	HMI .....	30
5.11	IoT .....	31
5.12	Node-Red.....	31
6	MARCO METODOLÓGICO .....	33
6.1	Modelado de la maqueta por medio de Aplicación CAD .....	37

Etapas del proceso:.....	37
6.7 Creación del proyecto en el software TIA PORTAL.....	40
6.8 Network 1 Paro.....	41
6.9 Network 2.....	41
6.1 Network 3 y 4.....	42
6.1 Network 5.....	43
6.12 Network 7-8-9.....	43
6.7 Network 10.....	44
6.8 Network 11.....	45
6.13 Network 12.....	46
6.14 Network 13.....	46
6.15 Diseño del Interfaz HMI.....	47
6.16 Pruebas finales del proceso.....	50
6.17 Desarrollo programación Node-Red.....	52
7 RESULTADOS.....	60
7.1 Programación del PLC.....	60
7.2 Configuración Control PID.....	62
7.3 Interfaz HMI.....	63
7.4 Configuración Node-red para Iot.....	65
8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	67
9 PRESUPUESTO.....	68

10 CONCLUSIONES.....	69
11 RECOMENDACIONES .....	70
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
13. ANEXOS.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Biodiesel.....	22
<b>Figura 2</b> Aplicación del Biodiesel .....	23
<b>Figura 3</b> Transesterificación .....	24
<b>Figura 4</b> PLC S7 1500 .....	25
<b>Figura 5</b> Control PID .....	26
<b>Figura 6</b> Reacción Química para la producción del biodiesel .....	27
<b>Figura 7</b> Software TIA PORTAL .....	29
<b>Figura 8</b> HMI .....	30
<b>Figura 9</b> Node-Red.....	32
<b>Figura 10</b> Etapas a elaborar del proceso .....	35
<b>Figura 11</b> Diagrama de bloques del proceso de transesterificación.....	36
<b>Figura 12</b> Diagrama de flujo del proceso de transesterificación de biodiesel .....	36
<b>Figura 13</b> Diseño maqueta del proyecto .....	40
<b>Figura 14</b> <i>Configuración del paro</i> .....	41
<b>Figura 15</b> Función para inicio del proceso.....	42
<b>Figura 16</b> Configuración para activación Válvula 1 .....	42
<b>Figura 17</b> Configuración para la activación del temporizador .....	43
<b>Figura 18</b> Configuración para el control de temperatura PID .....	44
<b>Figura 19</b> Configuración para la conversión de los RPM asignados .....	45
<b>Figura 20</b> Configuración de mezclador .....	45
<b>Figura 21</b> Configuración para la finalización del proceso .....	46
<b>Figura 22</b> Configuración de alarma .....	46
<b>Figura 23</b> Desarrollo Pantalla principal .....	47
<b>Figura 24</b> <i>Pantalla para elección de receta</i> .....	48

<b>Figura 25</b>	Pantalla de tendencia control PID .....	49
<b>Figura 26</b>	Pantalla del proceso.....	50
<b>Figura 27</b>	Maqueta con PLC y HMI.....	51
<b>Figura 28</b>	Conexión del Motor con el Variador.....	52
<b>Figura 29</b>	Librería Node-red-dashboard .....	52
<b>Figura 30</b>	Librería Node-Red para la comunicación entre el PLC .....	53
<b>Figura 31</b>	Librería Node-RED UI LED .....	54
<b>Figura 32</b>	Consola CLI del computador .....	54
<b>Figura 33</b>	Variables del proceso .....	55
<b>Figura 34</b>	Instalación de Node.js .....	56
<b>Figura 35</b>	Librería a Utilizar descargadas.....	56
<b>Figura 36</b>	Configuración Ip del PLC en Node-RED.....	57
<b>Figura 37</b>	Flujo y variables del Node-RED .....	58
<b>Figura 38</b>	Pantalla Funcionamiento de proyecto en Node-RED.....	59
<b>Figura 39</b>	Inicio del proceso .....	60
<b>Figura 40</b>	Activación de Válvulas .....	61
<b>Figura 41</b>	Sensor de nivel 3 .....	61
<b>Figura 42</b>	Resultados configuración control PID .....	62
<b>Figura 43</b>	Bloque PID compact y Grafica PID .....	62
<b>Figura 44</b>	Pantalla Botones Principales .....	63
<b>Figura 45</b>	Pantalla de acceso.....	63
<b>Figura 46</b>	Pantalla de parámetros del proceso .....	64
<b>Figura 47</b>	Pantalla de proceso.....	64
<b>Figura 48</b>	Pantalla Tendencia Control PID.....	65
<b>Figura 49</b>	Flujo del Node-RED.....	65

**Figura 50** Dashboard Node-RED.....66

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Tabla de variables Usadas por Node-RED .....	58
<b>Tabla 2</b> Cronograma de actividades.....	67
<b>Tabla 3</b> Cuadro de presupuesto .....	68

## 1. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de búsqueda de fuentes energéticas sostenibles, el biodiesel se presenta como una alternativa viable y ecológica frente a los combustibles fósiles tradicionales. Su obtención mediante el proceso de transesterificación requiere un control preciso de variables críticas como la temperatura, el tiempo de reacción y la proporción de reactivos, lo que hace indispensable la incorporación de tecnologías de automatización industrial.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal el diseño e implementación de un sistema automatizado para el proceso de transesterificación orientado a la producción de biodiesel. Para ello, se emplean herramientas como un Controlador Lógico Programable (PLC), una Interfaz Hombre-Máquina (HMI), controladores PID para la regulación de temperatura, y un sistema de monitoreo remoto a través de tecnología IoT.

La propuesta incluye el desarrollo de la lógica de control en el PLC, la visualización y operación del proceso mediante pantallas interactivas en la HMI, y la integración de un sistema de comunicación que permita supervisar el funcionamiento desde una plataforma remota. Esta implementación se realizará en un entorno de laboratorio, como recurso didáctico para la formación técnica y práctica en automatización de procesos industriales.

Si bien el sistema no está destinado a una aplicación industrial directa, su valor radica en proporcionar una experiencia formativa integral, que combine conocimientos en control de procesos, instrumentación, programación y conectividad digital, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos reales en el ámbito de la automatización aplicada a la ingeniería química y energética.

## **2. PROBLEMA**

La constante demanda del uso de combustibles fósiles y la explotación de sus reservas, ha generado la necesidad de trabajar en el desarrollo e implementación de fuentes sostenibles. Una de las opciones que se ha consolidado en la actualidad es la generación de biodiesel como alternativa limpia y renovable capaz de reemplazar de forma parcial o en su totalidad el uso de Diésel convencional para motores de combustión interna (Riojas et al. 2023).

Sin embargo, el proceso de elaboración de biodiesel requiere de parámetros específicos de tiempo, temperatura y mezclado para incrementar producción de este biocombustible que son complicados de obtener con procesos manuales y de escasa automatización. La variación e inestabilidad de estas variables afectan negativamente a la calidad del producto final, lo que a su vez impacta su desempeño y aceptación en el mercado local e internacional (Cárdenas & Vélez, 2022).

En el contexto ecuatoriano, también se ha promovido la producción de biocombustibles como el biodiesel a partir de aceite de palma que podría ayudar al país a reducir hasta 4,88 millones de barriles según (Almeida et al. 2022).

En el repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana se han realizado diferentes investigaciones sobre biodiesel teniendo un enfoque más teórico, enfocadas en la calidad del producto, y el rendimiento del proceso o impacto ambiental que tiene. Existe una escases en la implementación experimental que permita a los estudiantes tener conocimiento en el proceso de transesterificación para la obtención de Biodiesel por procesos de automatización industrial.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente, el aumento constante de fuentes de energías renovables y la necesidad urgente de disminuir el uso excesivo de combustibles fósiles han potenciado el desarrollo de la generación de energías limpias como lo es el biodiesel. En Ecuador, a pesar de contar con recursos agrícolas para la obtención de aceites vegetales, la implementación de plantas de producción de biodiesel es escasa y de bajo desarrollo.

En este escenario, la automatización industrial toma un papel fundamental mediante tecnologías modernas que pueden contribuir en gran magnitud a su desarrollo, estandarización y eficiencia de la producción del biocombustible.

A demás, presenta una oportunidad para que los alumnos de la Carrera de Electrónica y Automatización conozcan y desarrollen el proceso de transesterificación para la producción de biodiesel.

Los estudios previos realizados dejan la oportunidad para desarrollar un enfoque más práctico y experimental del desarrollo de biodiesel realizando las comprobaciones de investigaciones teóricas que fueron aplicadas en procesos reales, promoviendo soluciones que contribuyen a la sostenibilidad del país.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar proceso de automatización de transesterificación para la obtención de Biodiesel con control PID de la temperatura y comunicación IoT usando PLC Y HMI.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Programar el proceso de transesterificación con control PID de temperatura para la obtención de Biodiésel en el PLC.
- Diseñar la interfaz HMI para el proceso de transesterificación para la obtención de Biodiésel.
- Implementar la programación del PLC Y HMI en un módulo del laboratorio de automatización II.
- Efectuar la comunicación IoT entre el PLC y la nube.

## 5. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 5.1 Biodiésel

Es un biocombustible sintético que se obtiene a partir de materias ricas en lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, lo que lo convierte en un combustible biodegradable, neutro en carbono (Brahma et al. 2022). Los principales métodos de producción industrial de biodiésel se realizan por esterificación y transesterificación, la industrialización de estos procesos puede impulsar el sector de las biorrefinerías (Chang, 2011).

En la figura 1 se observa el biodiésel

**Figura 1**  
*Biodiésel*



*Nota.* Tomado de (Chang, 2011).

## 5.2 Aplicaciones del Biodiesel

La versatilidad que ofrece se puede explotar en diferentes sectores. En el transporte por ejemplo se puede mezclar con diésel procedente del petróleo para ser utilizado en vehículos, sin tener que realizar modificaciones en los motores. En el sector industrial también sustituye a los combustibles derivados del petróleo en máquinas y equipos.

En la figura 2 se observa la aplicación del Biodiesel (Abidur R., 2024).

### Figura 2

Aplicación del Biodiesel



*Nota.* Tomado de (wattco, 2023).

## 5.3 Transesterificación

La transesterificación es un proceso químico primordial para la generación de biodiésel, que consiste en que los triglicéridos presentes en aceites vegetales reaccionan con un alcohol (metanol o etanol) con acción de un catalizador. Esta reacción permite la obtención de un biocombustible denominado biodiesel que reemplaza al combustible fósil ordinario denominado Diésel, con determinados beneficios como lo es su menor impacto ambiental y su biodegradabilidad. La eficiencia del proceso depende en gran parte a la optimización de los parámetros de operación, entre los que se encuentra la relación molar aceite-alcohol, la proporción del catalizador, la temperatura y el tiempo de reacción. Otro punto clave a considerar en la producción de biodiésel es la selección de la materia prima, que influye directamente en las propiedades del producto final, este puede ser sin usar o usado, pero

debe pasar previamente por proceso de filtrado y de eliminación de impurezas y compuestos adicionales (Verma, 2016).

En la figura 3 se observa la transesterificación.

**Figura 3**  
Transesterificación



*Nota.* Tomado de (Verma, 2016).

#### **5.4 PLC S7 1500**

Controlador Lógico Programable se trata de una computadora que está diseñada para estar en un entorno industrial, con la capacidad de automatizar procesos en una línea de producción.

Dependiendo del proceso que realice puede administra entradas y salidas digitales y analógicas, monitorear y registrar datos para su procesamiento, iniciar y detener procesos automáticamente (SDI Industrial, 2024).

En la Figura 4 se observa el PLC modelo S7 150

## Figura 4

PLC S7 1500



*Nota.* Tomado de (SIEMENS, 2024)

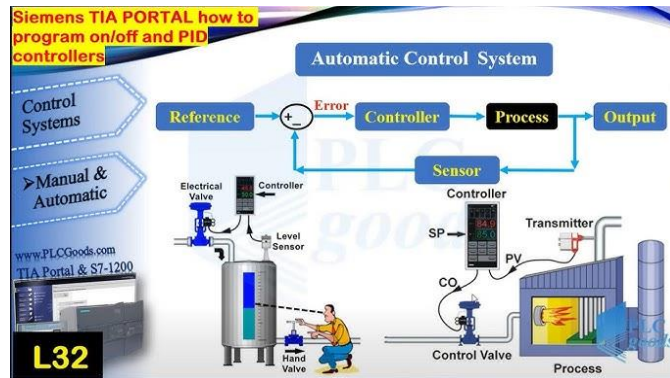
### 5.5 Control PID

El control de temperatura en el proceso de transesterificación para la producción de biodiésel es un factor clave, ya que se relaciona de manera directa con la velocidad de reacción y eficiencia del proceso. El controlador PID (Proporcional/Integral/Derivativo) es altamente usado a nivel industrial para la regulación de esta variable puesto que minimiza el error entre la temperatura requerida (set point) y la temperatura real del sistema. Este tipo de controlador fusiona 3 pasos claves, la proporcional que responde al error actual, una acción integral que genera correcciones de los errores acumulados y la derivativa que anticipa los cambios, este conjunto de acciones da paso a una respuesta dinámica de mayor precisión. Puede ser aplicado en los procesos de producción de biodiesel de la mano de la transesterificación, donde se requiere un rango óptimo de temperatura suministrando la potencia necesaria en un tiempo determinado a la fuente de calor, convirtiéndose en una solución eficiente y de fácil acceso para ganar estabilidad en los procesos experimentales (Panda , Singh, & Mishra, 2023).

En la figura 5 se observa en control PID.

## Figura 5

### Control PID



*Nota.* Tomado de (Rockwell Automation , 2020)

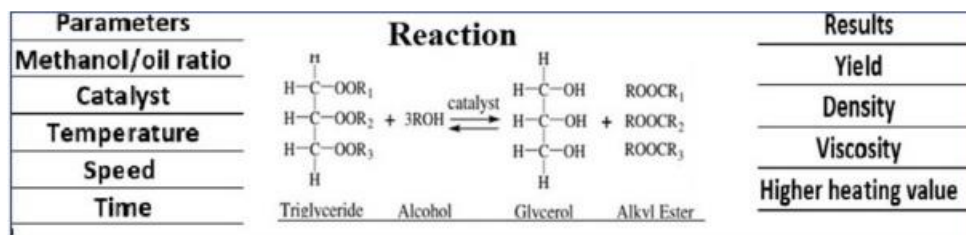
### 5.6 Proceso químico de producción de biodiesel por transesterificación

El proceso de elaboración de biodiesel por transesterificación se genera por una reacción química entre los triglicéridos presentes en el aceite vegetal o animal como principal componente y un alcohol de corta cadena (Metanol o Etano). La reacción catalizada mediante una base (hidróxido de sodio o potasio), transforma los triglicéridos en ésteres de ácidos grasos que es el producto principal (Biodiesel) y glicerol como subproducto. La generación de este biocombustible puede ser sintetizada en 3 etapas secuenciales, donde inicialmente los triglicéridos se transforman en diglicéridos, posteriormente en monoglicéridos y finaliza con la obtención de glicerol, desprendiendo un éster en cada etapa del proceso químico.

La reacción comprende una estequiometría básica que inicia con un mol de triglicérido que reacciona con tres moles de alcohol y un mol de glicerol. Este evento de producción de biodiesel es sensible a parámetros como la temperatura, el catalizador, tiempo de reacción la procedencia de la materia prima (Aceite vegetal o animal) (Dennis YC Leung, 2010).

En la Figura 6 se aprecia el análisis estequiométrico de la reacción química de transesterificación.

**Figura 6**  
*Reacción Química para la producción del biodiesel*



*Nota:* Estequiometría obtenida de (Farouk, 2024).

## 5.7 Control de procesos

En automatización industrial es de mucha importancia comprender y entender los conceptos básicos de control de procesos en este caso enfocado a la transesterificación para la obtención de biodiesel. El setpoint o denominado punto de consigna es el valor objetivo que se requiere alcanzar y mantener constante la variable del proceso, un ejemplo claro es la temperatura objetivo que se asigna al tanque de reactante. Otro concepto clave es la variable de proceso que hace referencia al valor en tiempo real proporcionado por el sensor de temperatura. Además, el error que se define como la diferencia entre el setpoint y la variable de proceso dicho valor el controlador uso para generar una acción. La comprensión de estos procesos son clave para la optimización y

buen rendimiento del sistema, garantizando que el proceso de producción sea lo esperado (Astr om, 2006).

## **5.8 TIA PORTAL**

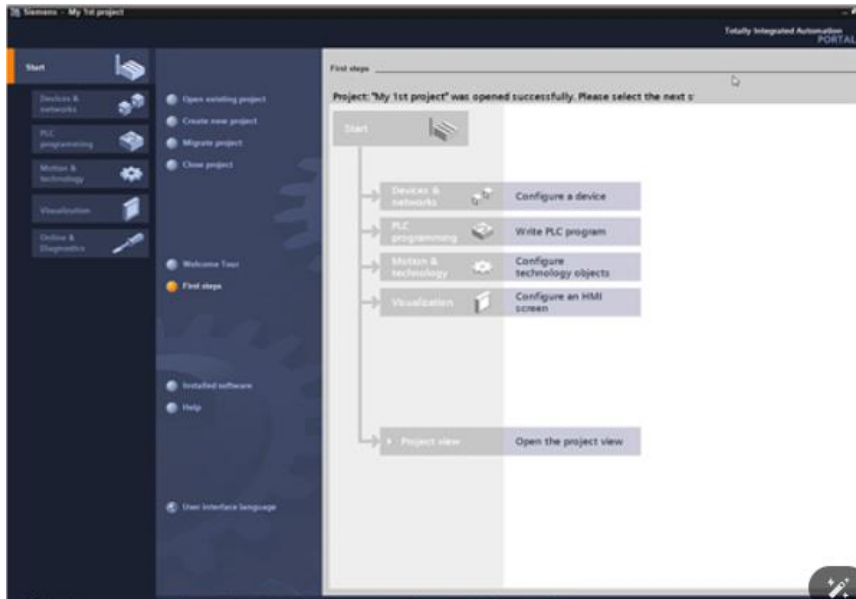
La plataforma TIA PORTAL V18 de siemens es uno del software más especializados en lo que va de la automatización industrial, este software puede ofrecer múltiples herramientas para el diseño y la programación de procesos. Dentro de las funciones que se pueden destacar del TIA PORTAL es la capacidad de poder conectarse e integrarse con diferentes dispositivos de automatización, esto logra la mejoría de comunicación mediante los diferentes protocolos de red (Gutierrez, 2012).

El software TIA portal permite realizar bloques de programación con diferentes tipos de lenguajes como lo son LAD, FBR, STL, SCL, estos lenguajes logran facilitar la creación de algoritmos para el control e variables, Generando la reducción de tiempo necesario para la generación de procesos industriales (tecnopl, 2022).

En la figura 7 se observar el software TIA portal y sus herramientas.

**Figura 7**

*Software TIA PORTAL*



Nota. Programación industrial ideal para el control de procesos tomado de (SIEMENS, 2024)

### **5.9 Proceso de automatización de la transesterificación con PLC y HMI**

La automatización de la transesterificación para la obtención de biodiesel describe el uso de controladores lógicos programables denominados PLC y pantallas de interfaz hombre-máquina conocidas como HMI, que se caracterizan por ser la aplicación más efectiva para optimizar la calidad y eficiencia del producto final. Como ejemplificación se tiene un estudio elaborado por ElSawy y Graham (2012) que describen el diseño e implementación de un sistema de procesamiento automatizado con PLC para el control de bombas, válvulas y sensores, minimizando la interacción química manual y la acción humana en el proceso cumpliendo normativas ASTM. Todos estos sistemas aplicados en la actualidad en diferentes regiones del mundo buscan monitorear en tiempo real el proceso, diagnosticar fallas y proteger los equipos, garantizando un proceso eficiente y

sincronizado. La implementación de estas tecnologías contribuye significativamente a la optimización del proceso productivo y la sostenibilidad del medio ambiente con un ahorro notable de energía y errores operacionales (ElSawy, 2012).

### **5.10 HMI**

En el campo de la manufactura inteligente, el Interfaz Hombre Maquina (HMI) se establece como un elemento fundamental para que la interacción operativa con los sistemas automatizados sea más fácil. Las HMI muestran representaciones gráficas de las variables del proceso (por ejemplo, temperatura, presión o estado de los equipos), gestionan alarmas e incorporan órdenes de control directo que los operadores son capaces de ejecutar para modificar parámetros o reaccionar ante situaciones críticas. Esta interfaz permite la supervisión en tiempo real, la toma de decisiones operativas al instante y las medidas correctivas rápidas, lo que fomenta que la producción sea más eficiente y optimizada. Asimismo, la HMI se convierte en un nodo de interacción esencial entre los operadores, los controladores lógicos programables (PLC) y los procesos automatizados al conectarse con sistemas de supervisión como SCADA. Esto posibilita la centralización de datos, el manejo de alarmas y el apoyo a los análisis históricos (Jack, 2008).

**Figura 8**  
*HMI*



### **5.11 IoT**

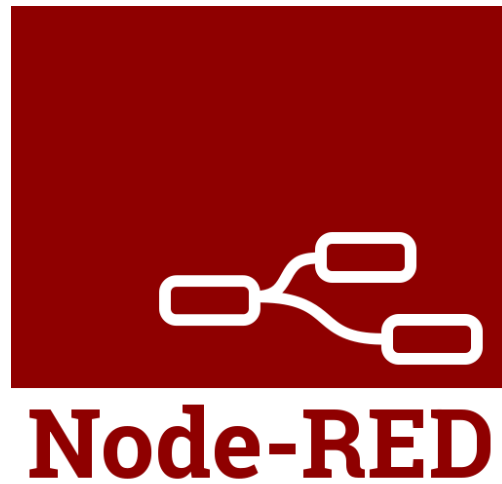
El Internet de las Cosas (IoT), también llamado IIoT cuando se utiliza en contextos industriales de fábricas, posibilita la creación de sistemas inteligentes que vigilan, recopilan y envían datos en tiempo real a través de dispositivos conectados. Esto posibilita una automatización de alto nivel al ampliar la supervisión a procesos, activos y máquinas críticas. De esta manera se mejora el mantenimiento, la eficiencia operativa y la productividad a través de estrategias predictivas. También, IoT permite personalizar el producto y supervisar minuciosamente el flujo de producción a través de un monitoreo constante, lo que hace posible tomar decisiones más rápidamente y con mayor eficacia, además de gestionar los equipos y los recursos con más precisión. (Computer and Electrical Engineerin, 2020).

### **5.12 Node-Red**

Es un entorno de código abierto más concretamente en la programación virtual basado en crear flujos de datos desde el sensor a la nube mediante la conexión de hardware y software. Sirve para escribir procesos de datos, lo que ayuda a su procesamiento y

permite transferir los datos a sistemas de nivel superior en minutos o visualizarlos inmediatamente (Node-Red, 2025).

**Figura 9**  
*Node-Red*



*Nota.* Logo Node-Red sacado de (Node-Red, 2025).

## 6 MARCO METODOLÓGICO

El prototipo de diseño e implementación del proceso de transesterificación para la obtención de Biodiesel con comunicación IoT para controlar automáticamente la temperatura dicho control se lo llevara a cabo mediante sensores y actuadores que tendrán un control preciso. Utilizando la tecnología IoT se podrá recopilar una gran cantidad de datos en tiempo real lo que permitirá ajustar las condiciones de trabajo, y monitorear el proceso remotamente.

El presente proyecto se elaborará desde una perspectiva cuantitativa y experimental, rigiéndose en el diseño e implementación de un proceso automatizado. Ayudado de los conocimientos obtenidos previamente en las materias de Teoría de Control II, Automatización Industrial II, y Redes de computadoras.

Los resultados y el rendimiento del sistema serán evaluado a través de criterios técnicos y mediciones específicas. Para ello, se seguirán una serie de etapas metodológicas planteadas a continuación:

Fase1:

### **Marco teórico y revisión bibliográfica:**

- Recopilar información técnica y científica sobre parámetros críticos del proceso, proceso de transesterificación, automatización industrial e integración de nuevas tecnologías.
- Usar fuentes científicas, académicas, tesis y normas técnicas.

Fase 2:

### **Diseño de sistema:**

- Simulación de sistema.
- Elaboración de diseño a pequeña escala.
- Diseño de sistema de control (PLC, HMI, sensores, Control PID, Circuito de comunicación IoT).

Fase 3:

**Implementación:**

- Montaje real del sistema prototipo
- Programación PLC
- Diseño de interfaz de monitoreo HMI
- Implementación de comunicación IoT

Fase 4:

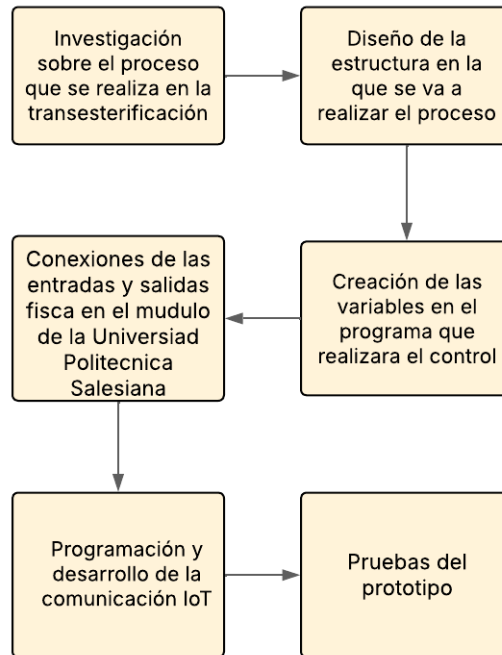
**Pruebas y validaciones:**

- Pruebas de funcionamiento (Validación de control de temperatura, dosificación automatizada de reactivos, registro de datos y ajuste de parámetros con transmisión de datos por IoT)
- Análisis de productividad y comparación con datos estandarizados sobre la calidad del producto.

En la figura 10, se muestra el diagrama de bloque de las etapas en la que se va a dividir el proyecto.

**Figura 10**

*Etapas a elaborar del proceso*

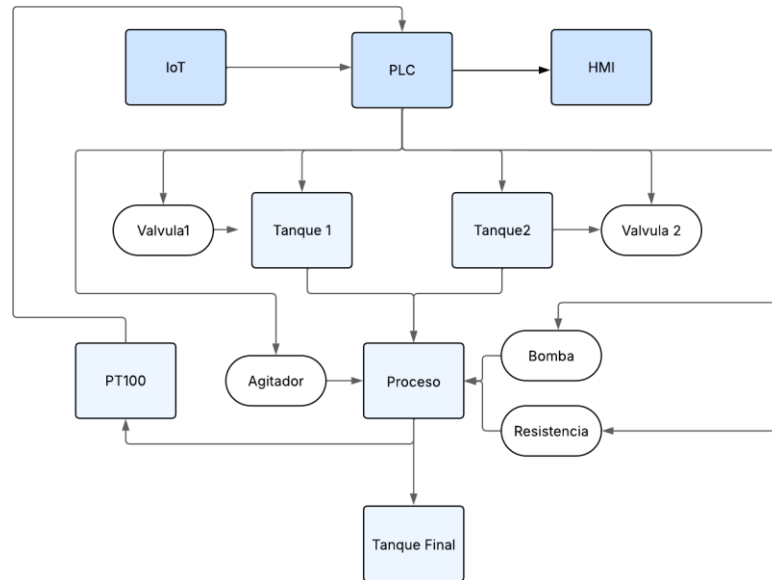


*Nota:* Explica el paso a paso de las etapas en las que se a elaborar.

Las 6 etapas mencionadas anteriormente se la van a realizar en 4 fases en las que se va a cumplir con las actividades necesarias para poder efectuar el proyecto en los tiempos establecidos.

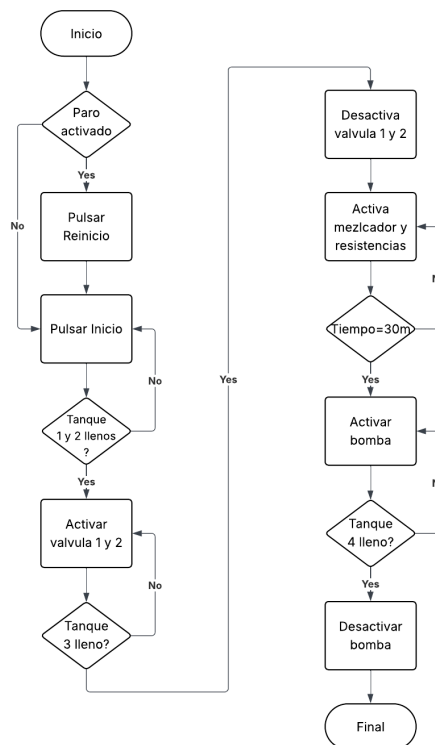
En la figura 11, se muestra el Flujograma de Proceso de transesterificación para la obtención de Biodiesel.

**Figura 11**  
*Diagrama de bloques del proceso de transesterificación*



En la figura 12 se observa Diagrama de Flujo del proceso de transesterificación para la creación de biodiesel.

**Figura 12**  
*Diagrama de flujo del proceso de transesterificación de biodiesel*



## **6.1 Modelado de la maqueta por medio de Aplicación CAD**

### **Etapas del proceso:**

#### **1. Preparación del aceite:**

- Filtrado y precalentamiento del aceite a ~50–60 °C para eliminar impurezas y agua.

#### **2. Preparación de la mezcla alcohol/catalizador:**

- Disolución del catalizador (NaOH o KOH) en alcohol (metanol), formando el metóxido de sodio.

#### **3. Reacción de transesterificación:**

- Mezcla del aceite caliente con el metóxido en un tanque agitado y calentado durante 60–90 minutos a ~55 °C.

#### **4. Decantación o reposado:**

- El biodiésel y la glicerina se separan por densidad en un tanque de reposado. El proceso puede durar entre 8–24 horas.

#### **5. Lavado (opcional):**

- Para eliminar impurezas y restos de metanol/catalizador, se puede hacer un lavado con agua y posterior secado.

## **2. Fabricación del Prototipo:**

### **2.1 Diseño CAD de modelo y materiales**

- Diseño de forma (Boceto)
- Diseño CAD de estructura (AUTODESK INVENTOR)

- Selección de materiales
- Cálculo de materiales necesarios

### **2.1 Estructura Base:**

- Fabricada con **tubos de acero inoxidable** de 1” a 1.5” de diámetro.
- Diseñada en forma de marco o estantería rígida de dos niveles, con soportes para fijación segura de tanques.
- Estructura soldada con TIG o MIG para asegurar la resistencia y la durabilidad frente a la corrosión química y térmica.

### **2.2 Tanques cilíndricos (capacidad máxima 8 litros):**

Se emplean **tanques pequeños cilíndricos de acero inoxidable (AISI 304 o 316)** con tapa hermética y válvulas de salida en la parte inferior. Cada tanque cumple una función específica:

- Tanque de almacenamiento de aceite
- Tanque de almacenamiento de alcohol
- Tanque mezclador (reacción)
- Tanque de reposado (decantación del biodiésel)

### **2.3 Componentes adicionales:**

- **Bombas** **de** **trasiego:**  
Bombas eléctricas resistentes a químicos para el traslado del aceite y mezcla a presión baja entre tanques.
- **Resistencia eléctrica (para mezclador):**

- Instalación de una resistencia eléctrica sumergible o acoplada exteriormente al tanque mezclador para mantener la temperatura de reacción (55–60 °C).
- **Sistema de agitación:**
- Motor agitador con paletas acopladas internamente al tanque de reacción, controlado por un variador de velocidad.
- **Control de temperatura:**
- Termopar o sensor digital conectado a un controlador PID para mantener la temperatura deseada.
- **Sistema de válvulas y conexiones:**
- Válvulas de bola de acero inoxidable en cada tanque para controlar el flujo.
- Mangueras resistentes a químicos (PVC o PTFE) para interconexión.

### **3. Funcionalidad del Prototipo:**

El sistema permite operar en modo semiautomatizado:

1. Carga inicial manual de los líquidos.
2. Encendido del sistema para precalentamiento y mezcla.
3. Reacción controlada con temperatura y agitación.
4. Decantación automática mediante válvulas hacia el tanque de reposado.
5. Recolección del biodiésel y la glicerina una vez finalizado el proceso.

### **4. Aplicaciones y Ventajas del Prototipo:**

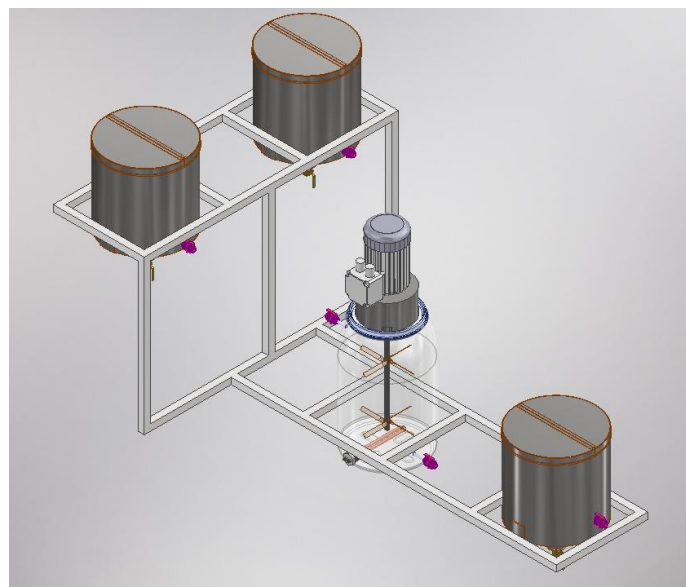
- **Aplicación didáctica** en laboratorios o centros de formación técnica.

- **Escalabilidad modular** para aumento de capacidad.
- **Material resistente** a la corrosión química y térmica.
- **Diseño compacto y seguro**, ideal para espacios reducidos y pruebas controladas.

En la figura 13, se observar el Diseño de la maqueta del proyecto

### **Figura 13**

*Diseño maqueta del proyecto*



### **6.7 Creación del proyecto en el software TIA PORTAL**

Para crear la programación en TIA PORTAL para el PLC Siemens S7 1500 se debe seguir un proceso que conlleva varios pasos a continuación en la figura 13 se detalla en un diagrama de flujo con los procesos que tiene que realizar la programación para cumplir con los objetivos que se establecieron.

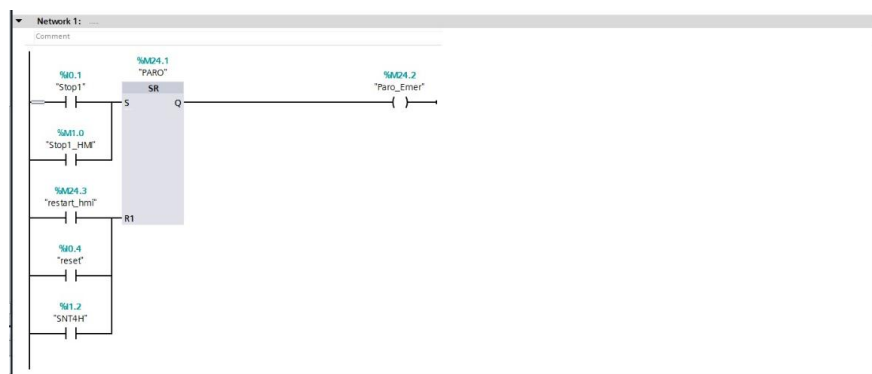
La programación para el proceso de transesterificación se realizó en el software Tia Portal V18 en lenguaje Ladder en el cual se estableció los parámetros que van a ser controlados, también se validó las entradas y salidas digitales y analógicas usadas en el Plc.

## 6.8 Network 1 Paro

En el network 1 se configuro el paro general para detener el proceso en cualquier etapa, la variable %I0.1 y %M1.0 son las condiciones que activan el paro tanto en físico como atreves del HMI, las variables %M24.3, %I0.4, %I1.2 son las que restablecen el valor de la variable %M24.2 que se encarga de activar o desactivar el paro del proceso. En la figura 14 se observa la configuración del botón de paro.

**Figura 14**

*Configuración del paro*

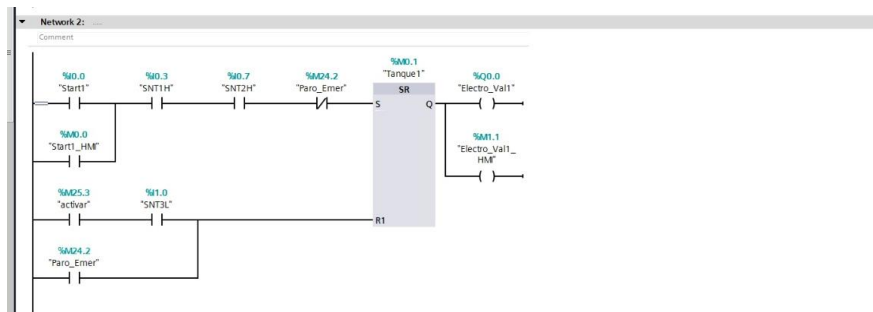


## 6.9 Network 2

Una vez terminada la programación del paro, se crea la función para iniciar el proceso que solo inicia cuando cumple unas condiciones, cuando se pulsa el botón físico o en el HMI se tiene que cumplir las condiciones que son que los dos tanques deberían estar llenos y que el botón de paro no este pulsado y las condiciones que se tiene que cumplir para que se apague son que el tanque 3 este lleno o que se pulse el botón de paro. En la figura 15 se observa la configuración para el inicio de proceso.

**Figura 15**

Función para inicio del proceso



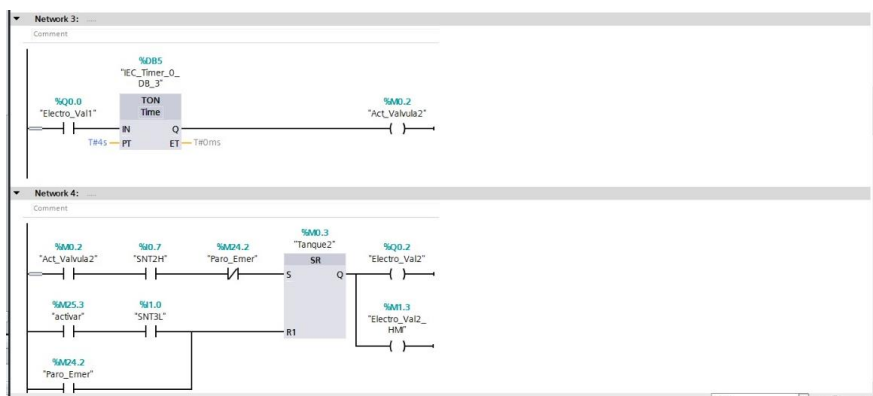
Nota. Inicio del proceso respetando las condiciones.

### 6.10 Network 3 y 4

Los network 3 y 4 se encargan de la activación de la válvula del tanque 2 para que se realice el proceso de llenado del tanque 3, en el network 3 se aplica un temporizador para retrasar la activación de la válvula 2, una vez activada la válvula la condición para que se desactive sera que los sensores de nivel del tanque 3 esten activados, en la figura 16 se observa la configuración para la activación de la válvula 1

**Figura 16**

Configuración para activación Válvula 1

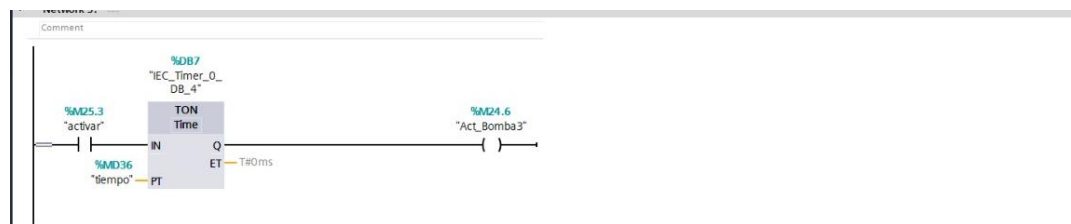


## 6.11 Network 5

Una vez que el tanque 3 está lleno activa un temporizador que el administrador configura la duración de cuánto va a ser el proceso de transesterificación según el tipo de materias primas que se vayan a utilizar, una vez pasado este tiempo se activara la bomba que es la encargada de vaciar el tanque 3 En la figura 17 se observa la configuración para la activación del temporizador de la válvula 2.

**Figura 17**

*Configuración para la activación del temporizador*



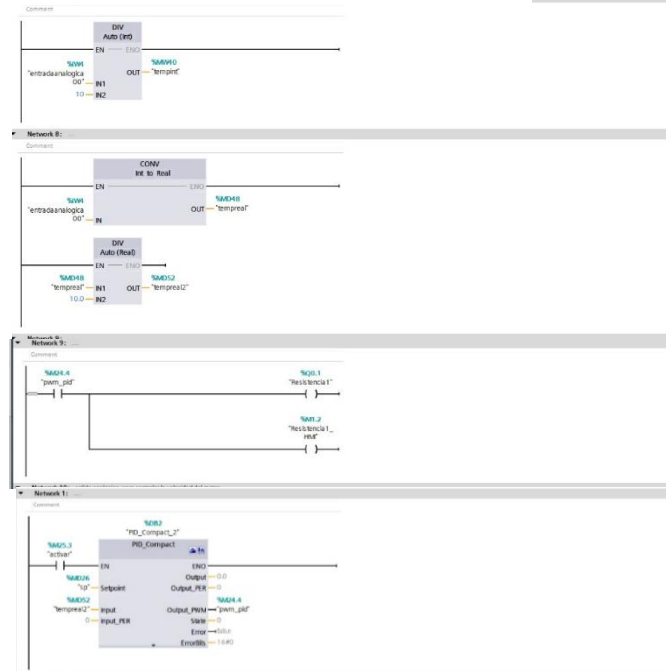
## 6.12 Network 7-8-9

Se utiliza un bloque de división para leer la entrada analógica 00, se configura el rango de trabajo y se la guarda en una variable para poder visualizarla en el HMI.

Para el control preciso de la temperatura se utiliza el bloque pid compact en donde se configura el setpoint o temperatura que se quiere alcanzar y se configura la temperatura actual de proceso y la salida se la puso en pulso para controlar la temperatura activado y desactivando las resistencias que se van a calentar para alcanzar la temperatura ideal En la figura 18 se observa la configuración para el control de temperatura PID .

**Figura 18**

**Configuración para el control de temperatura PID**

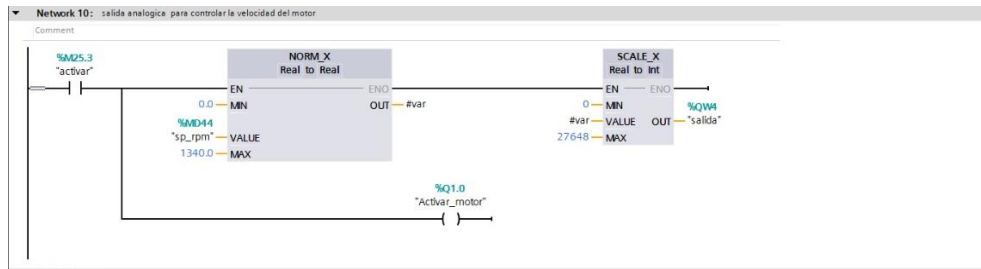


### 6.7 Network 10

En este network se hace la conversión para que el administrador asigne las RPM del motor y este valor se lo escala a una salida de 0 a 10 v la cual pasa al variador de frecuencia que se utiliza en este caso es el simatic v20 el que se va a en cargar de regular la velocidad del motor según lo indique el administrador, además se configura una variables para realizar la activación del motor según el requerimiento de la configuración, en la figura 19 se observa la conversión para el administrador asigne las RPM.

**Figura 19**

*Configuración para la conversión de los RPM asignados*

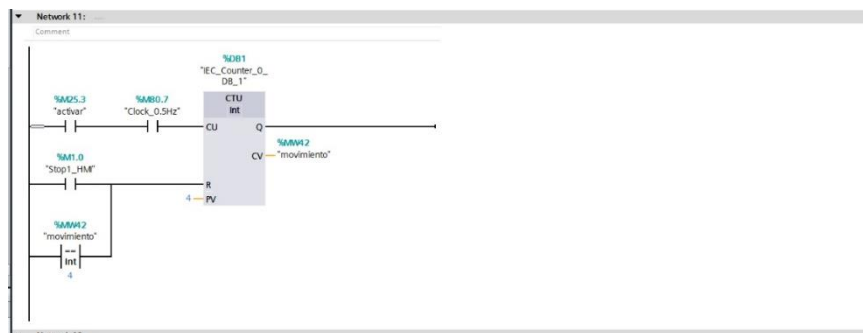


### 6.8 Network 11

En este network se configuro un contador que está encargado de realizar la animación que se va a mostrar en el HMI para representar el proceso de mezclado que se llevara a cabo. En la figura 20 se observa la configuración de contador.

**Figura 20**

Configuración de mezclador



Nota. Este network representa la animación del mezclador

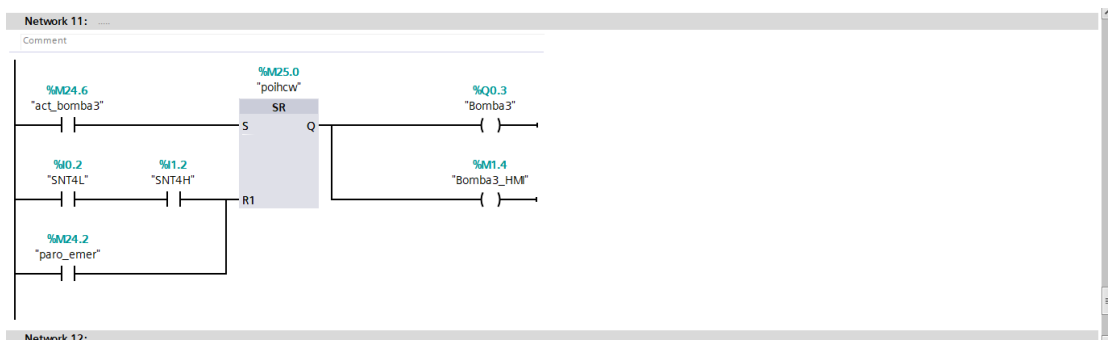
### 6.13 Network 12

Una vez que ya transcurrió el tiempo de transesterificación se activa la bomba para vaciar el tanque 3 y se comienza el llenado del tanque 4 y cuando ya esté lleno se va a detener el proceso y lo finaliza.

En la figura 21 se observa la configuración para el final del proceso.

**Figura 21**

Configuración para la finalización del proceso

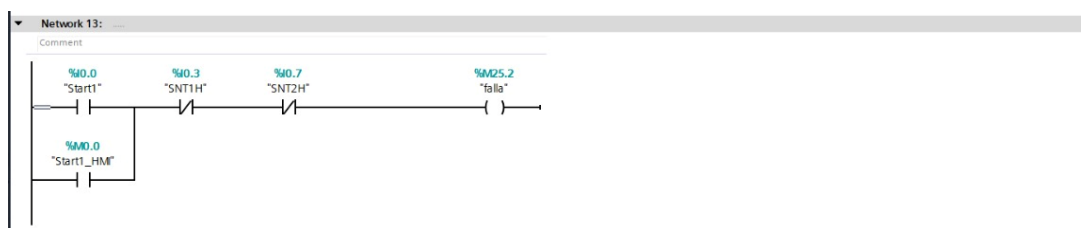


### 6.14 Network 13

En este network se configuro una advertencia que se muestra en el HMI para indicar que el nivel de agua de los tanques no está en el nivel adecuado para el inicio del proceso. En la figura 22 se observa configuración de alarma.

**Figura 22**

Configuración de alarma



Nota. Esta configuración es una señal de alarma visualizada en el HMI

## 6.15 Diseño del Interfaz HMI

En la interfaz HMI se registra las etapas a realizar del proceso de transesterificación, aquellas que fueron mencionadas en la descripción del proyecto, este diseño muestra las etapas a realizar en el proceso, En la figura 21 se observa el diagrama de flujo del proceso.

El menú principal del proceso está formado por tres botones, el de parámetros que dirige hacia la elección de receta para el proyecto, para esto se necesita una clave de ingreso con el usuario administrados, el botón de proceso se dirige a la pantalla de scada donde se visualiza la línea de producción, para acceder a esta información se necesita un usuario y clave, para el botón Tendencia dirige hacia la gráfica de control PID. En la figura 23 se logra observar el menú principal del proceso.

**Figura 23**

*Desarrollo Pantalla principal*

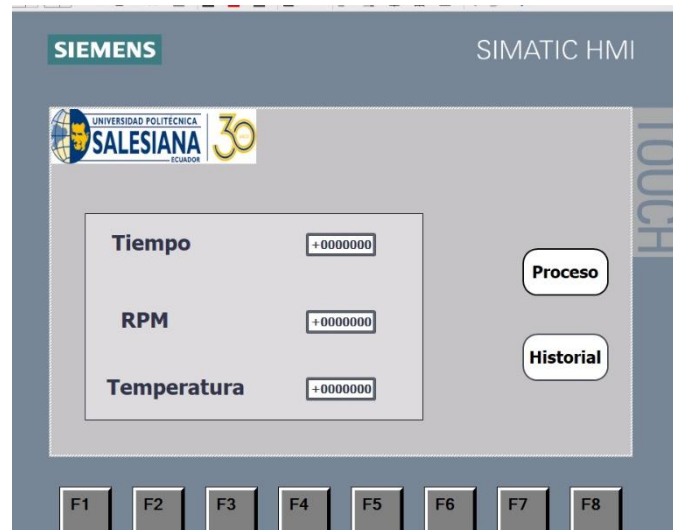


Desarrollo de la siguiente pantalla donde se puede observar la elección de varios parámetros, una vez se dirige hacia la elección de los parámetros, se genera una pantalla de acceso, la cual solo se puede acceder si es administrador e ingresa la contraseña adecuada.

En la figura 24 se observa la pantalla de elección de parámetros del proceso

## Figura 24

*Pantalla para elección de receta*



Nota. Para seleccionar los parámetros debe ingresar con el usuario administrador y la contraseña 1111

Desarrollo de la pantalla de tendencia, esta pantalla es creada para la visualización de el flujo de temperatura, en esta pantalla se observar la manera en la que va incrementando o disminuyendo nuestra temperatura por medio del control PID, también se observa dos botones para regresar al proceso y el otro para ir a la pantalla de parámetros.

En la figura 25 se observar la pantalla de tendencia control PID, también se observa dos botones uno sirve para volver al proceso y otro para regresar a los parámetros.

**Figura 25**

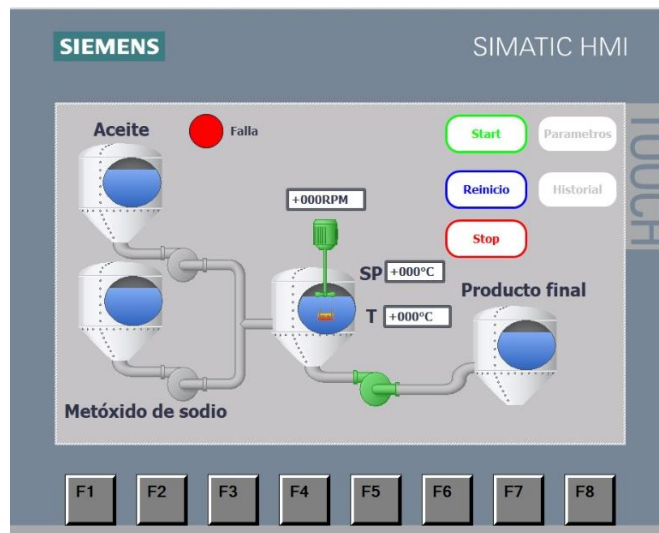
Pantalla de tendencia control PID



Una vez realizada las pantallas anteriores se desarrolló la pantalla donde se puede observar el proceso a realizar dentro de esta pantalla se observa el botón de star para y reset, los cuales sirven para el inicio del proceso, paro y reiniciarlo, en la figura 26, observa la pantalla del proceso.

**Figura 26**

*Pantalla del proceso*



Nota. Con el botón start se acciona el proceso

### **6.16 Pruebas finales del proceso**

En esta etapa se desarrolla la implementación del proceso en uno de los módulos que se encuentra dentro del Laboratorio de Automatización II, se realiza varios tipos de pruebas finales y correcciones requeridas para el desarrollo correcto del proceso de transesterificación para la generación de biodiesel.

En la figura 27, se observa el módulo a utilizar para el proceso, a el prototipo o maqueta se le adecuo un pequeño tablero con sus respectivas borneras para así poder tener una eficiencia comunicación del tablero al proceso también se observa las conexiones a realizar para obtener la correcta comunicación del PLC a el prototipo, generando así el correcto funcionamiento del proceso.

**Figura 27**

*Maqueta con PLC y HMI*

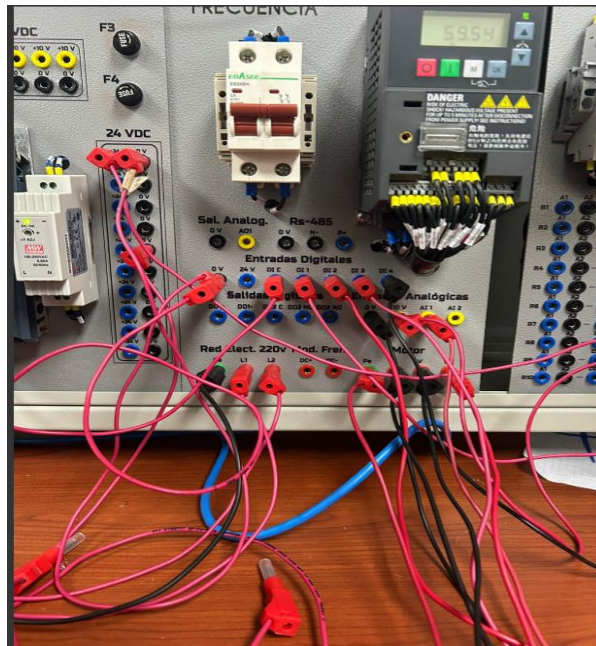


Nota. Las salidas analógicas detectaran la comunicación con el prototipo y comenzara el proceso.

Se desarrolló la conexión delta de un motor trifásico, este será accionado por medio de un variador de frecuencia, las conexiones son los terminales U1, V1, W1 se encuentran conectados a la salida del variador, una vez accionada el proceso y lleno el tanque de mezclado se observa el movimiento del motor a unas ciertas RPM establecidas, esto se genera durante un tiempo establecido el cual, una vez detenido el motor, significa que su proceso ha terminado y pasa a la siguiente fase. En la figura 28 se observa la conexión del motor con el variador.

**Figura 28**

*Conexión del Motor con el Variador*



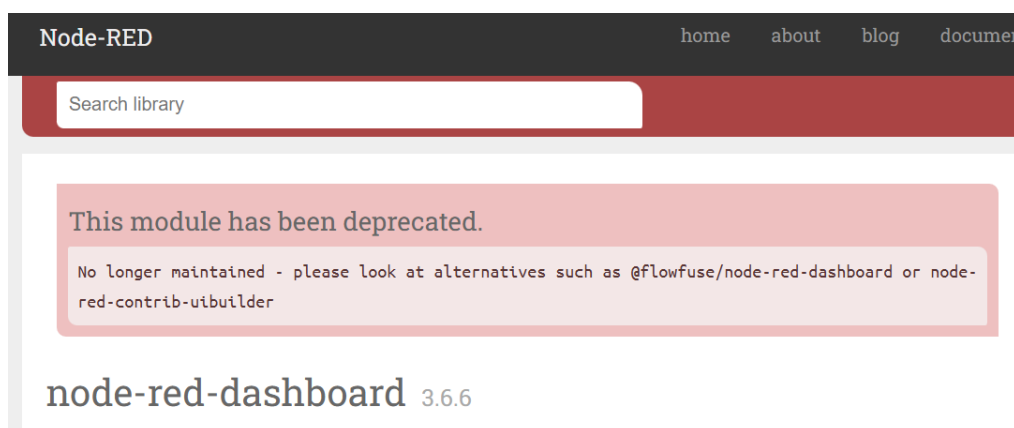
### 6.17 Desarrollo programación Node-Red

Desarrollo de la programación grafica del Node-red y el dashboard, la librería Node-Red-dashboard Ayuda generar una interfaz de usuario en tiempo real dentro del Node-Red, permitiendo el monitoreo y control de sistemas a distancias.

En la figura 29 se observa la descarga de la librería del Dashboard para el Node-red.

**Figura 29**

Librería Node-red-dashboard

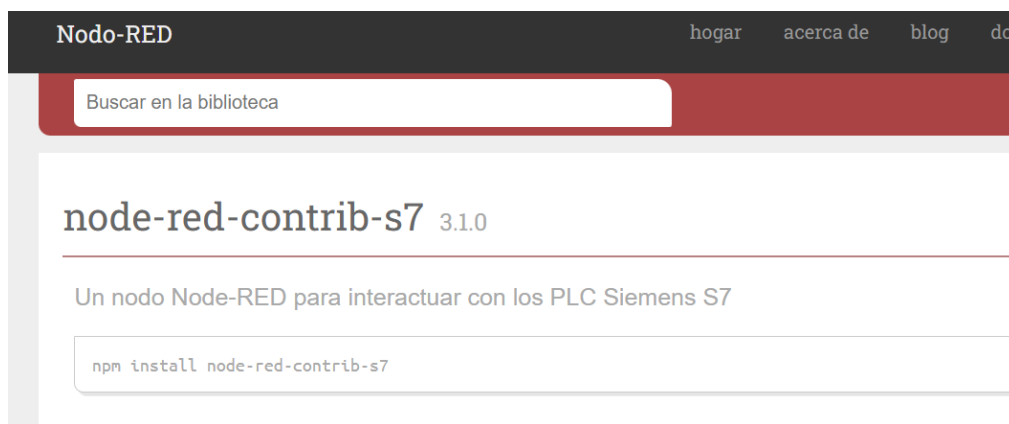


Nota. Versión Node-red-dashboard 3.6.6 Obtenida de (Node-Red, 2025).

Luego de descargar la librería Node-red-dashboard se procede a descargar la librería Node-red-contrib-s7, esta librería establece la comunicación directa con el PLC S7-150 permitiendo la lectura y escrituras de datos como entradas, salidas y memorias. En la figura 30 se observa la librería para la comunicación entre el PLC y Node-Red.

### Figura 30

Librería Node-Red para la comunicación entre el PLC



Nota. Versión node-red-contrib-s7 (Node-Red, 2025).

Luego de la instalación del comando node-red-contrib-s7 se procede a instalar la librería Node-RED UI LED, esta actúa como un componente visual dentro del tablero generado por el comando dashboard, permite la visualización de un indicador de estado como también sirve para recibir comando para poder encender o apagarlo.

En la figura 31, se observa la librería a utilizar para poder visualizar el encendido y apagado del proceso.

**Figura 31**

Librería Node-RED UI LED



Nota. Versión Node-RED UI LED 0.4.11 (Node-Red, 2025).

Luego de haber descargado cada una de las librerías a necesitar se dirige al CMD del computador este sirve para lograr iniciar y finalizar al servidor Node-RED mediante comando, también es utilizado para poder descargar paquetes de Node.js que es necesario al momento de ejecutar comandos directamente en un flujo e Node-RED. En la figura 32 se observa l CMD del computador una vez instaladas las librerías a utilizar.

**Figura 32**

Consola CLI del computador

```
node-red
Microsoft Windows [Version 10.0.19045.6216]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\felpe\node-red
29 Aug 08:53:04 - [info]

welcome to Node-RED
-----

29 Aug 08:53:04 - [info] Node-RED version: v4.0.8
29 Aug 08:53:04 - [info] Node.js version: v22.14.0
29 Aug 08:53:04 - [info] Windows_NT 10.0.19045 x64 LE
29 Aug 08:53:04 - [info] Loading palette nodes
29 Aug 08:53:05 - [info] Dashboard version 3.6.5 started at /ui
29 Aug 08:53:05 - [info] Settings file : C:\Users\felpe\node-red\settings.js
29 Aug 08:53:05 - [info] context store : 'default' (module=memory)
29 Aug 08:53:05 - [info] User directory : \Users\felpe\node-red
29 Aug 08:53:05 - [warn] Projects disabled : editor:theme.projects.enabled=false
29 Aug 08:53:05 - [info] Flows file : \Users\felpe\node-red\flows.json
29 Aug 08:53:05 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.
If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.
-----

29 Aug 08:53:05 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
29 Aug 08:53:05 - [info] Starting flows
29 Aug 08:53:05 - [info] Started flows
29 Aug 08:53:06 - [info] [mqtt-broker-10] Connected to broker: QMERTY@mqtt://io.adafruit.com:1883
```

Nota. Configuración CMD del computador con Node-RED.

Para realizar la comunicación IoT entre el Plc s7 1500 y la nube, se usó el entorno de desarrollo Node-red, en la cual por medio de bloques o también llamados nodos se puede comunicar los datos con diferentes protocolos. En este caso se realizó un dashboard en el mismo entorno por medio de la librería “node-red-dashboard”, como se observa en la figura 29.

Para empezar con la configuración del dashboard lo primero que se realizó es identificar cuáles son las variables que se enviarán para su monitoreo y visualización, las cuales se usaron para la programación de los nodos en Node-red, en la figura 33 se observa la configuración del dashboard con las variables.

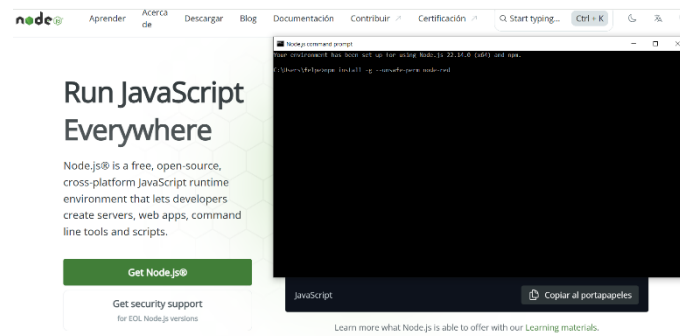
**Figura 33**  
*Variables del proceso*

Name	Tag table	Data type	Address	Admin	Access	Write	Visible	Sup
Start1	Entradas Físicas	Bool	%I0.0					
Start1_HMI	Entradas HMI	Bool	%M0.0					
Stop1	Entradas Físicas	Bool	%I0.1					
Stop1_HMI	Entradas HMI	Bool	%M1.0					
Bomba1	Salidas Analógicas	Bool	%Q0.0					
Tanque1	Default tag table	Bool	%M0.1					
SNT1H	Entradas Físicas	Bool	%I0.3					
mixt	Entradas Físicas	Bool	%I0.4					
entradanaalogica00	Entradas Analógicas	Int	%IW4					
entradanaalogica01	Entradas Analógicas	Int	%IW6					
entradanaalogica02	Entradas Analógicas	Int	%IW8					
entradanaalogica03	Entradas Analógicas	Int	%IW10					
entradanaalogica04	Entradas Analógicas	Int	%IW12					
entradanaalogica05	Entradas Analógicas	Int	%IW14					
entradanaalogica06	Entradas Analógicas	Int	%IW16					
entradanaalogica07	Entradas Analógicas	Int	%IW18					
Temp1	Default tag table	Real	%MD2					
Resistencia1	Salidas Digitales	Bool	%Q0.1					
SNT1L	Entradas Físicas	Bool	%I0.5					
resistencia	Default tag table	Time	%MD6					
Act_bomba2	Default tag table	Bool	%M0.2					
SNT2L	Entradas Físicas	Bool	%I0.6					
SNT2H	Entradas Físicas	Bool	%I0.7					
Tanque2	Default tag table	Bool	%M0.3					
Bomba2	Salidas Digitales	Bool	%Q0.2					
Temp2	Default tag table	Real	%MD10					
Tanque3	Default tag table	Bool	%M0.4					
Bomba3	Salidas Digitales	Bool	%Q0.3					
actbomb	Default tag table	Int	%MW14					
Resistencia2	Salidas Digitales	Bool	%Q0.4					
Resistencia2	Default tag table	Time	%MD16					
DesMier	Default tag table	Bool	%M0.5					
Mier	Default tag table	Bool	%M0.6					
Mecclador	Salidas Digitales	Bool	%Q0.5					
Tanque4	Default tag table	Bool	%M0.7					
SNT3L	Entradas Físicas	Bool	%I1.0					
SNT3H	Entradas Físicas	Bool	%I1.1					
Bomba4	Salidas Digitales	Bool	%Q0.6					
Resistencia3	Salidas Digitales	Bool	%Q0.7					
Temp3	Default tag table	Real	%MD20					
Bomba1_HMI	Entradas HMI	Bool	%M1.1					

Una vez que ya se seleccionó las variables y que tipo de dato son ya sea real, int, o bool lo que se hizo fue instalar Node-red. Primero se instaló Node.js, una vez que ya se instaló el programa se procede a abrir la consola Node.js command prompt donde se ejecutó el comando `npm install -g --unsafe-perm node-red`. En la figura 34 se observa la instalación de la consola Node.js.

## Figura 34

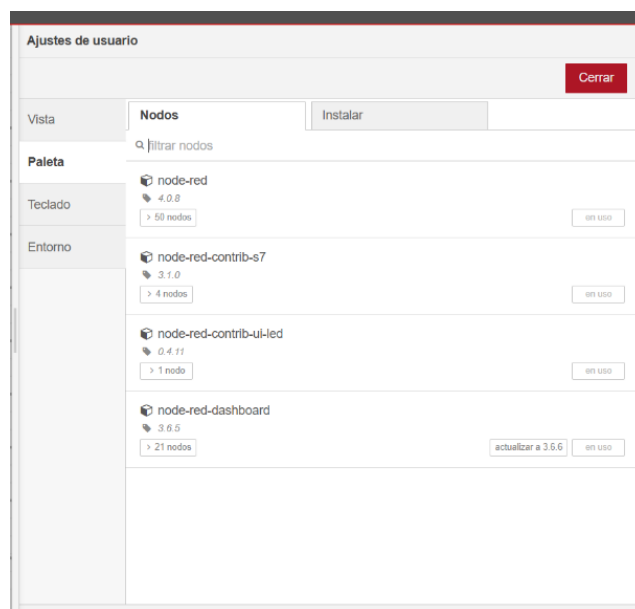
### Instalación de Node.js



Cuando ya se realizó la anterior lo que se hizo es ejecutar el `node -red` en la consola y a continuación se procede a ingresar de manera local por medio del puerto <http://127.0.0.1:1880/> una vez cargada la página, se accede al menú manage palette se instalan las librerías mencionadas anteriormente en la sección (donde se habla de las librerías). En la figura 35 se observa la instalación de las librerías a utilizar.

## Figura 35

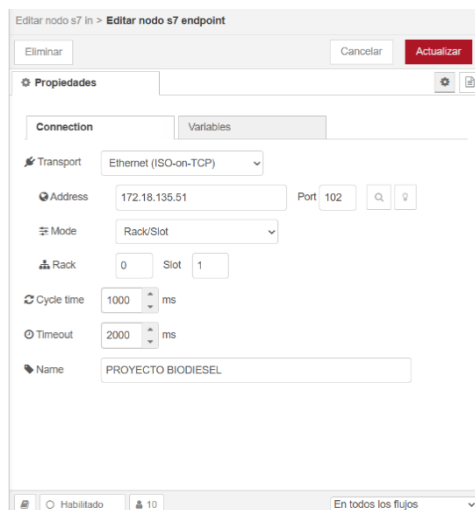
### Librería a Utilizar descargadas



A continuación en el flujo de trabajo se busca el nodo “s7 in” el cual se encargara de leer los valores del plc y comunicarlo en este caso con el dashboard una vez que ya este colocado hay que configurar el plc del cual toma la información como se observa en la figura 33, aquí se configura la ip del plc físico que se esté usando para esta implementación es 172.18.135.51 también se coloca el puerto por el que se realiza la comunicación , que para los plc siemens s7-1500 el puerto estándar de comunicación es el 102.y para el ultimo valor que se modifica es el rack y el slot que hacen referencia a la posición física del plc , Normalmente siempre se usa **rack 0, slot 1**, porque el CPU ya viene integrado. Y como detalle final se le coloco el nombre del proyecto como proyecto biodiesel. En la figura 36 se observa la configuración para poder leer los

**Figura 36**

*Configuración Ip del PLC en Node-RED*  
valores con el PLC.



Ya configurado la comunicación del plc se procede a agregar las variables que se van a mostrar en el dashboard donde se debe considerar que tipo de variables es para asignar bien su dirección y allá la correcta lectura de los datos. En la siguiente tabla se observa las variables usadas para Node-RED.

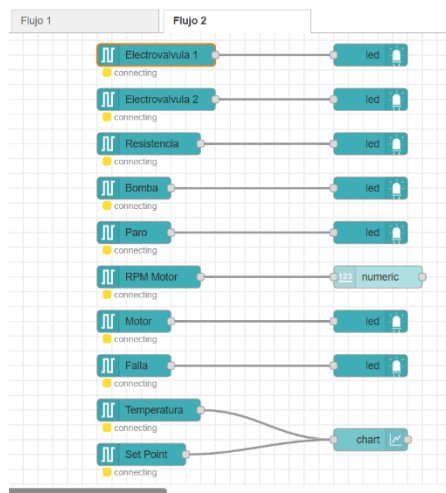
**Tabla 1**  
*Tabla de variables Usadas por Node-RED*

Plc tag	Node red tag	Variable
Q0.0	Q0.0	Electroválvula 1
Q0.2	Q0.2	Electroválvula 2
Q0.1	Q0.1	Resistencia
Q0.3	Q0.3	Bomba
M24.2	M24.2	Paro
QI4	QI4	Rpm Motor
Q1.0	Q1.0	Motor
M25.2	M25.2	Falla
Mw40	MW40	Temperatura
MD26	MDI26	Setpoint

También se observa la imagen donde está el flujo y las variables del Node-RED conectadas a cada led para así se logre visualizar en dashboard.

**Figura 37**

*Flujo y variables del Node-RED*

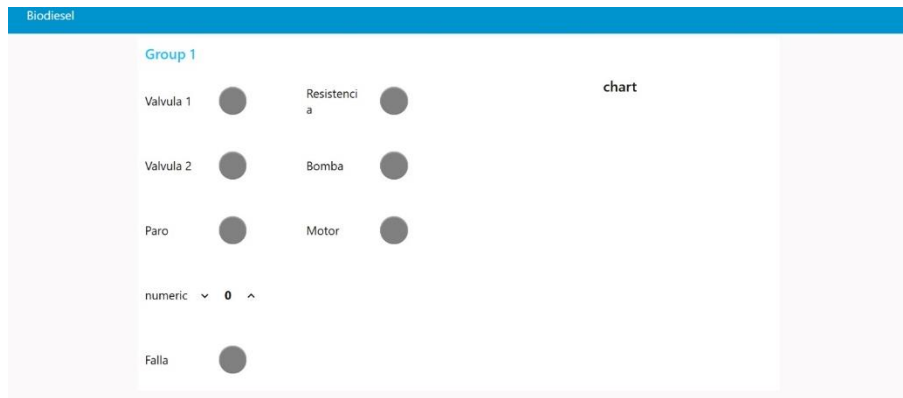


Por último, se asigna a cada variable un nodo y a este se le coloca su indicador que se mostrara en el dashboard, y en la sección de layout es donde se puede visualizar el dashboard finalizado.

En la figura 38 se observa el dashboard y layout que sirve como una pantalla para observar el proceso en funcionamiento.

**Figura 38**

*Pantalla Funcionamiento de proyecto en Node-RED*



## 7 RESULTADOS

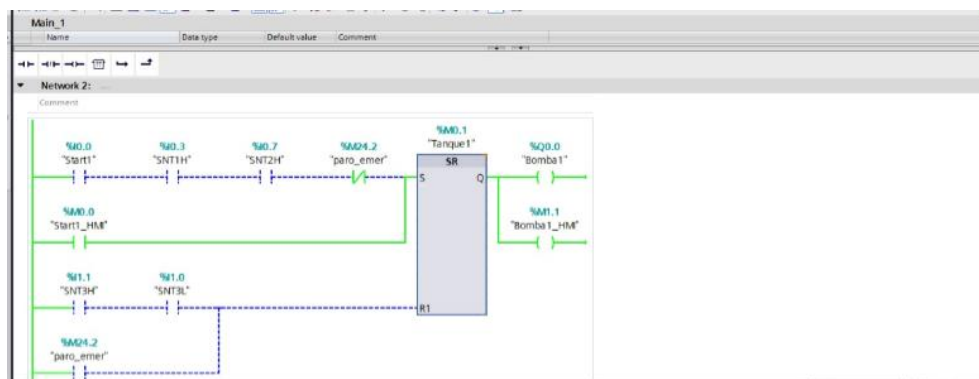
En la siguiente sección se observa los resultados de las varias pruebas realizadas dentro del módulo ubicado en el Laboratorio de Automatización II, se corrobora el funcionamiento de cada etapa a desarrollar para el proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel. También se corrobora la precisión en el control de temperatura PID dentro del tanque que realiza el proceso de mezclado.

### 7.1 Programación del PLC

Se inició el proceso en la programación del PLC realizada en el software Tia Portal para poder observar el estado de cada una de las variables de la programación, en la figura 39 se observa el network de inicio, este indica que el proceso está activado y así mismo sus válvulas.

**Figura 39**

*Inicio del proceso*



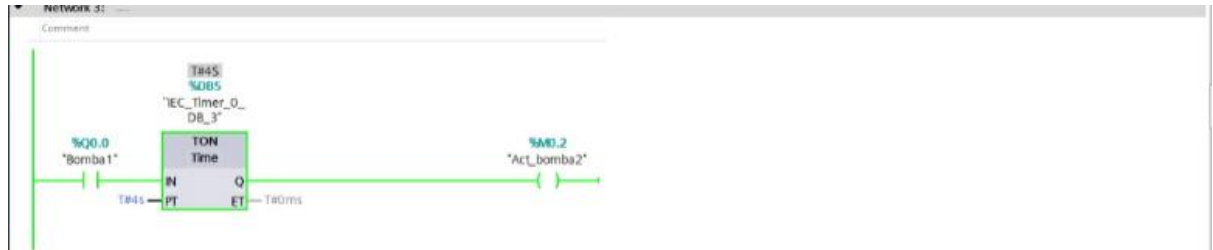
Nota. La variable Start HMI se encuentra activada esto indica el inicio del proceso, las válvulas han sido activadas.

Luego de que el HMI haya iniciado el proceso y las entradas digitales estén comunicados con el tablero, las válvulas se activan una inmediatamente y luego de unos segundos la siguiente, en la figura 40 se puede observar que la válvula 1 se encuentra en modo ON lo

que indica que el tanque 3 comenzara a llenarse y luego de unos segundos enciende la válvula 2.

**Figura 40**

Activación de Válvulas

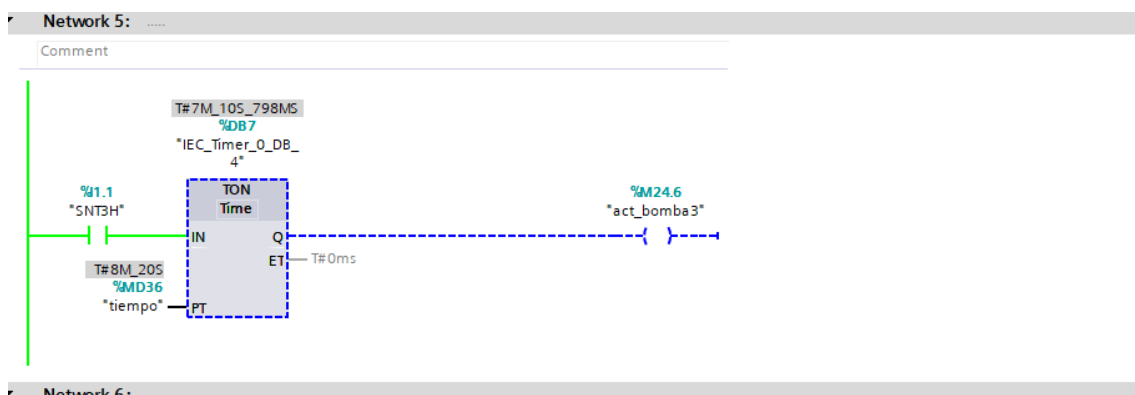


Nota. La válvula2 se activa luego de 4seg activada la válvula 1

Luego que se activan ambas válvulas, una vez llenado el tanque 3 se activa la entrada digital D9 encendiendo el sensor de nivel alto 3, Realizando el accionamiento del temporizador establecido para el mezclado del proceso de transesterificación, en la figura 38, encendido de tanque 3 y activación de sensor de nivel3.

**Figura 41**

Sensor de nivel 3

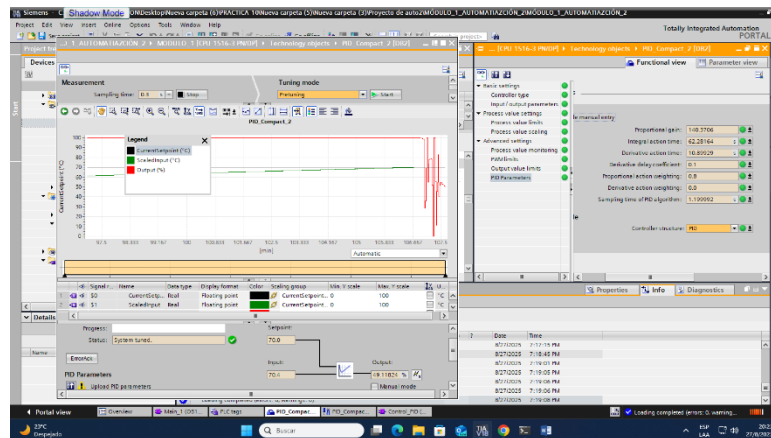


Nota. Configuración activación sensor nivel 3

## 7.2 Configuración Control PID

Luego de que el sensor de nivel se active y detenga el llenado del tanque 3 se activa las resistencias Generando así el comienzo del control PID, Activando una memoria para que mantenga activo el PID el tiempo requerido, en la figura 42 se observa los resultados del control PID.

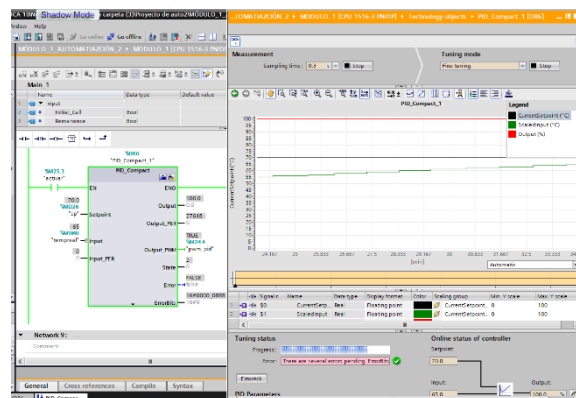
**Figura 42**  
*Resultados configuración control PID*



Nota. Se observa los resultados y los valores de las constantes que tiene que tener el PID.

En La siguiente Imagen se observa la configuración del bloque PID compact requerido para poder programar y generar la estabilización del Control PID de temperatura.

**Figura 43**  
*Bloque PID compact y Grafica PID*



### 7.3 Interfaz HMI

Luego se puede observar en el funcionamiento de la primera pantalla generada, esta es la pantalla conformada por 3 botones, proceso, Parámetros y tendencia de control PID. En la figura 44, se observa pantalla principal con 3 botones.

**Figura 44**

*Pantalla Botones Principales*

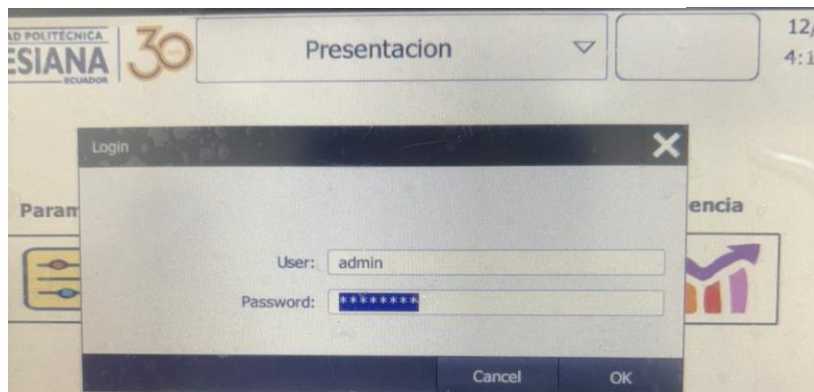


Una vez se requiera ingresar algún botón, ya sea parámetros, proceso, tendencia, aparecerá una pequeña pestaña donde se debe poner un usuario y contraseña, estos son admin, y la clave 1111

En la figura 45 se observa la pestaña para el ingreso algún botón.

**Figura 45**

*Pantalla de acceso*



Luego de acceder se ingresa a la pantalla para seleccionar o ingresar los valores del setpoint, el tiempo y los RPM que se necesita para el proceso de transesterificación. En la figura 46 se observa la pantalla para ingreso de valores, setpoint, tiempo, RPM.

**Figura 46**

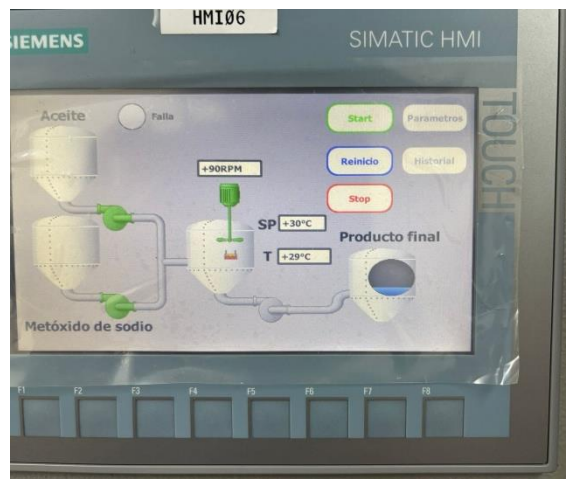
*Pantalla de parámetros del proceso*



Una vez obtenido el acceso se refleja la pantalla de proceso donde se observa la animación del proceso a realizar, también los valores como los botones de start, reinicio y stop del proceso de transesterificación, en la figura 47 se observa la pantalla de proceso.

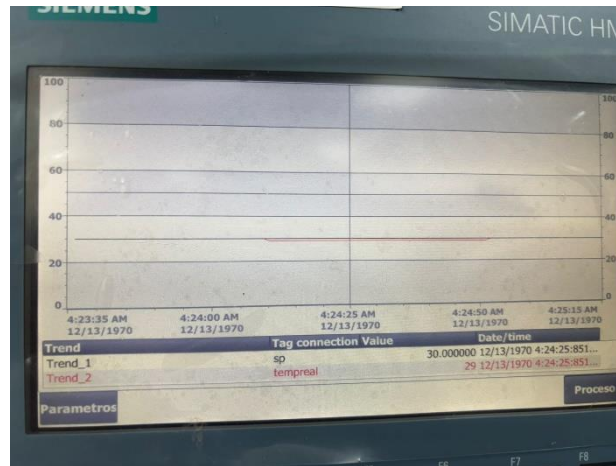
**Figura 47**

*Pantalla de proceso*



También se puede observar la pantalla de tendencia de control PID reflejando los valores en tiempo real y el set point a cumplir, en la figura 48 se observa la pantalla de control de tendencia PID.

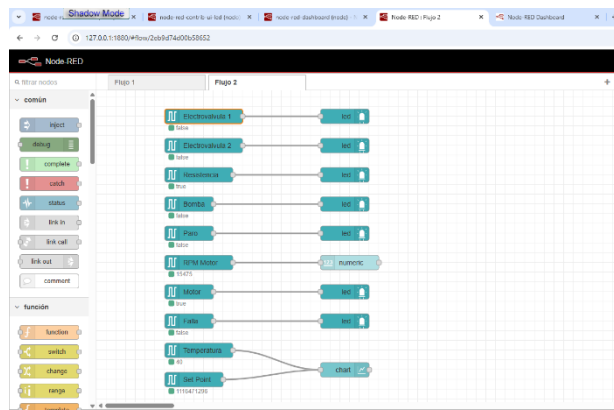
**Figura 48**  
*Pantalla Tendencia Control PID*



## 7.4 Configuración Node-red para Iot

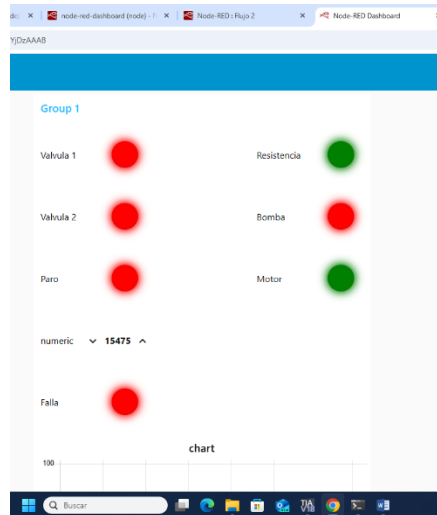
Al mismo tiempo que empieza el proceso en el HMI se logra observar en el Dashboard de node-red la comunicación entre el PLC y Node-red. En la figura 49 se observa el flujo del Node-Red.

**Figura 49**  
*Flujo del Node-RED*



Así como se puede visualizar la pantalla que puede simular un HMI, pero en este caso dentro del Node-RED. En esta pantalla se observan varios botones que encienden y apagan según vaya realizando cada paso del proceso. En la figura 50 se observa el dashboard del Node-red.

**Figura 50**  
*Dashboard Node-RED*



## 7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Tabla 2 se puede observar las actividades que se realizaron durante los meses de Junio, Julio, Agosto en un período de 4 semanas por mes, Donde se puede visualizar cada uno de los pasos que conllevó realizar el desarrollo del proyecto.

**Tabla 2**

*Cronograma de actividades*

<i>Actividades</i>	<i>Tiempo de Duración</i>															
	<i>Meses</i>	<i>Junio</i>				<i>Julio</i>				<i>Agosto</i>						
	<i>Semanas</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>			
Definición del tema de proyecto de titulación		X														
Definición e identificación del problema			X													
Definición de justificación y objetivos			X	X												
Revisión de la literatura bibliográficas para el desarrollo de marco teórico			X	X		X										
Definición y selección de metodologías a realizar				X	X	X										
Inicio de proceso de armado para la maqueta						X			X							
Codificación inicial del PLC			X	X												
Generación de la comunicación IoT		X	X			X										
Desarrollo de la interfaz HMI Para la visualización del proceso de transesterificación		X	X					X	X							
Verificación de funcionamiento del proceso de transesterificación de Biodiesel en la maqueta								X	X	X	X	X				
Correcciones de parámetros del proceso de transesterificación de Biodiesel													X	X	X	
Pruebas de todo el sistema de control																

*Nota.* En esta tabla se logra observar el cronograma de manera semanal cada actividad que se realizó durante los 3 meses ya antes mencionados.

## 8 PRESUPUESTO

En la Tabla 3 se da a conocer el presupuesto sobre las horas de ingeniería que se tomó en cuenta al momento de realizar el proyecto tomando en cuenta el salario básico unificado y el valor estimado de pequeños materiales a utilizar en la maqueta del proceso de transesterificación.

**Tabla 3**

*Cuadro de presupuesto*

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor Unitario</i>	<i>Valor total</i>
<i>Horas de Ingeniería</i>	<i>90</i>	<i>\$2.90</i>	<i>\$261</i>
<i>Sensor Tipo J</i>	<i>1</i>	<i>\$10</i>	<i>\$10</i>
<i>Sensor de nivel</i>	<i>6</i>	<i>\$2</i>	<i>\$12</i>
<i>Resistencias</i>	<i>2</i>	<i>\$5</i>	<i>\$10</i>
<i>Total</i>			<i>\$293</i>

## 9 CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo el diseño e implementación del proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel usando PLC, PID para el control de temperatura, y comunicación IoT.
- La programación del PLC en el software Tia Portal permitió la automatización del proceso de proceso de transesterificación con la integración del PID se logró tener un control estable y preciso de la temperatura la cual es fundamental en el proceso de transesterificación.
- La interfaz HMI desarrolla para este proyecto facilito la supervisión y manipulación del proceso, proporcionado una herramienta muy útil para poder visualizar o controlar los parámetros que se necesitan para producción del biodiesel.
- La implementación en los módulos del laboratorio de Automatización II permitió identificar factores claves que fueron tomados en cuenta para la mejora del prototipo lo que permitió evitar fallas de funcionamiento que hubieran comprometido el desarrollo del proyecto.
- La comunicación IoT entre el PLC y la nube se efectuó correctamente, asegurando el monitoreo remoto del proceso en tiempo real y sentando las bases para futuras aplicaciones de Industria 4.0 en el ámbito de biocombustibles.

## 10 RECOMENDACIONES

- En base a las simulaciones realizadas en condiciones de laboratorio se recomienda realizar pruebas piloto o escala semindustrial con el fin de validar el diseño en condiciones más cercanas a las de una planta de producción real de biocombustibles.
- Aunque la comunicación entre el PLC y la nube fue exitosa se sugiere integrar herramientas de análisis y al almacenamiento de datos en la nube que permitan generar reportes detallados de las condiciones de trabajo y el rendimiento.
- Ampliar la automatización del sistema incluyendo un control más preciso del nivel o de otras variables que puedan influir como la presión, para así tener un control más integral del proceso.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abidur R., M. R. (Agosto de 2024). *ResarchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/383096219\\_Novel\\_biofuel\\_blends\\_for\\_diesel\\_engines\\_Optimizing\\_engine\\_performance\\_and\\_emissions\\_with\\_C\\_cohnii\\_microalgae\\_biodiesel\\_and\\_algae-derived\\_renewable\\_diesel\\_blends](https://www.researchgate.net/publication/383096219_Novel_biofuel_blends_for_diesel_engines_Optimizing_engine_performance_and_emissions_with_C_cohnii_microalgae_biodiesel_and_algae-derived_renewable_diesel_blends)

Aström, K. (2006). *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. LUND University.

Chang, T. P. (Mayo de 2011). *Science Direct*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261910004733?via%3Dihub>

Computer and Electrical Engineerin. (2020). *Recent advances, enabling technologies and open challenges. Computers & Electrical Engineering*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790618329550?via%3Dihub>

Dennis YC Leung, X. W. (2010). Una revisión sobre la producción de biodiésel mediante transesterificación catalizada. *ScienceDirect*.

ElSawy, A. (2012). Automatización de un procesador de biodiésel a partir de aceite vegetal usado mediante un controlador lógico programable . *Retrieved from ASEE PEER*.

Farouk, S. M. (23 de Enero de 2024). *Recent advances in transesterification for sustainable biodiesel*. Obtenido de Springer Nature Link: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32027-4>

Ferencz, K. &. (02 de 2019). *Using Node-RED platform in an industrial environment*. XXXV. *Jubileumi Kandó Konferencia, Budapest, 52-63*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/339596157\\_Using\\_Node-RED\\_platform\\_in\\_an\\_industrial\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/339596157_Using_Node-RED_platform_in_an_industrial_environment)

Gutierrez, I. (1 de 05 de 2012). *Programacionsiemens.com* . Obtenido de Programacionsiemens.com : <https://programacionsiemens.com/acerca-de/>

Jack, M. (2008). *SCIENCE DIRECT*. Obtenido de Guía de Techno Security para proteger SCADA: <https://doi.org/10.1016/B978-1-59749-282-9.00002-6>

Martin, C. F. (25 de 06 de 2025). *Picuíno*. Obtenido de Picuíno: <https://www.picuíno.com/es/control-pid.html>

Node-Red. (2025). *Node-red*. Obtenido de Node-red: <https://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard>

Panda , A., Singh, R., & Mishra, D. (2023). Temperature ontrol in biodiesel reactors using PID-based process automation. *Renewable Energy Research and Applications*. Automation . (Marzo de 2020). Proportional/Integral/Derivative Control (2-Loop). En *Allen-Bradley* (págs. 34-35). Allen-Bradley.

School, E. B. (25 de 05 de 2022). *CEUPE*. Obtenido de CEUPE: <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-transesterificacion.html>

SDI Industrial. (2024). *PLC*.

SIEMENS. (12 de Noviembre de 2024). *Sieportal*. Obtenido de TIA PORTAL-An overview of the most important Documents and links-controller: <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/mx/Catalog/Products/10317036?activetab=productinformation>

Siemens S7-1500. (2020). *PLC*.

tecnopl. (1 de 4 de 2022). *tecnopl.com*. Obtenido de tecnopl.com:  
<https://www.tecnopl.com/tia-portal-utilidades-del-software/>

Verma, P. (Septiembre de 2016). *Science Direct*. Obtenido de  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116300879?via%3Dihub>

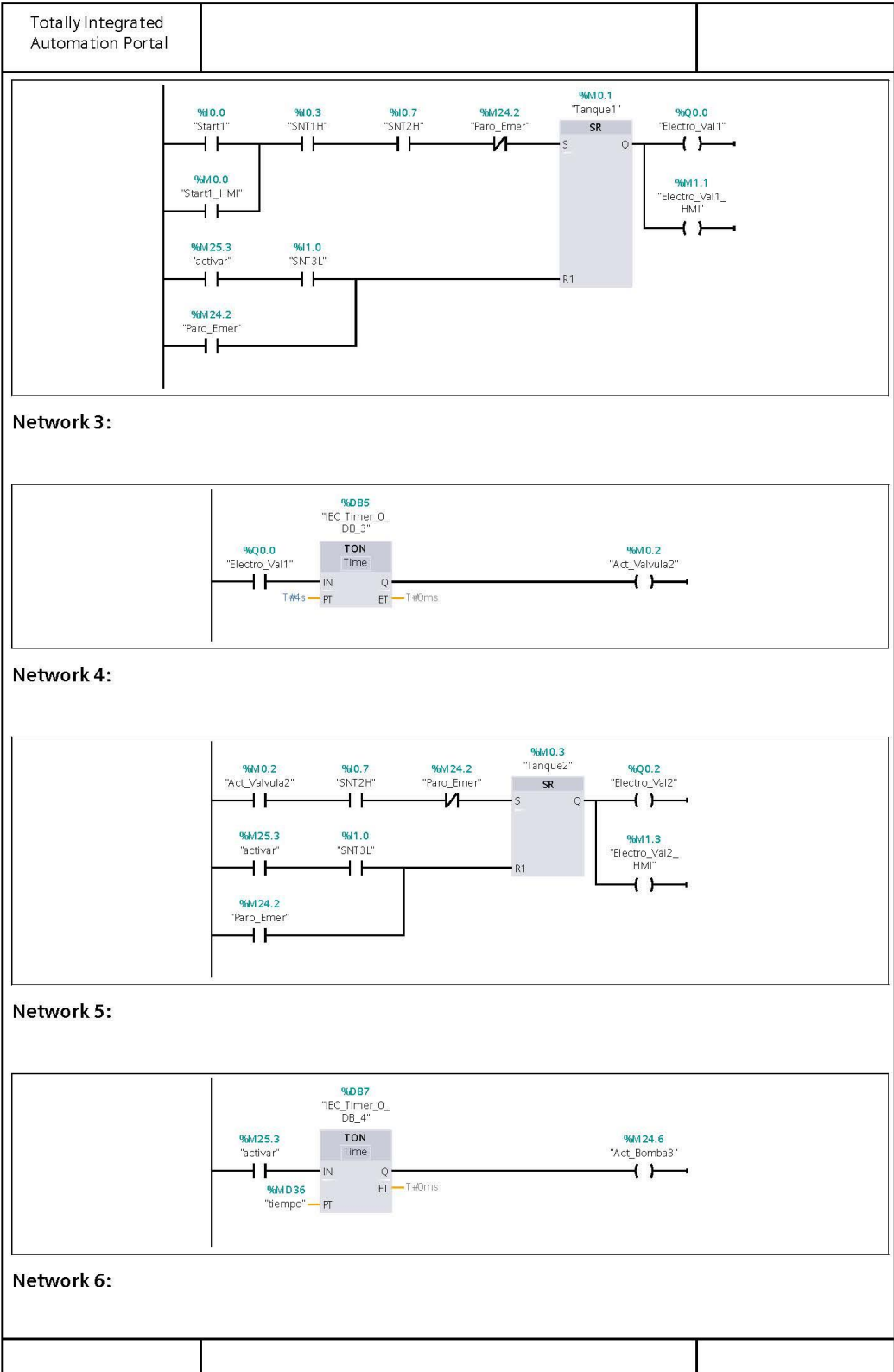
wattco. (1 de 07 de 2023). *WATTCO*. Obtenido de WATTCO:  
<https://www.wattco.com/es/2023/10/aplicaciones-industriales-del-biodiesel-y-como-se-aplica-a-la-calefaccion/>

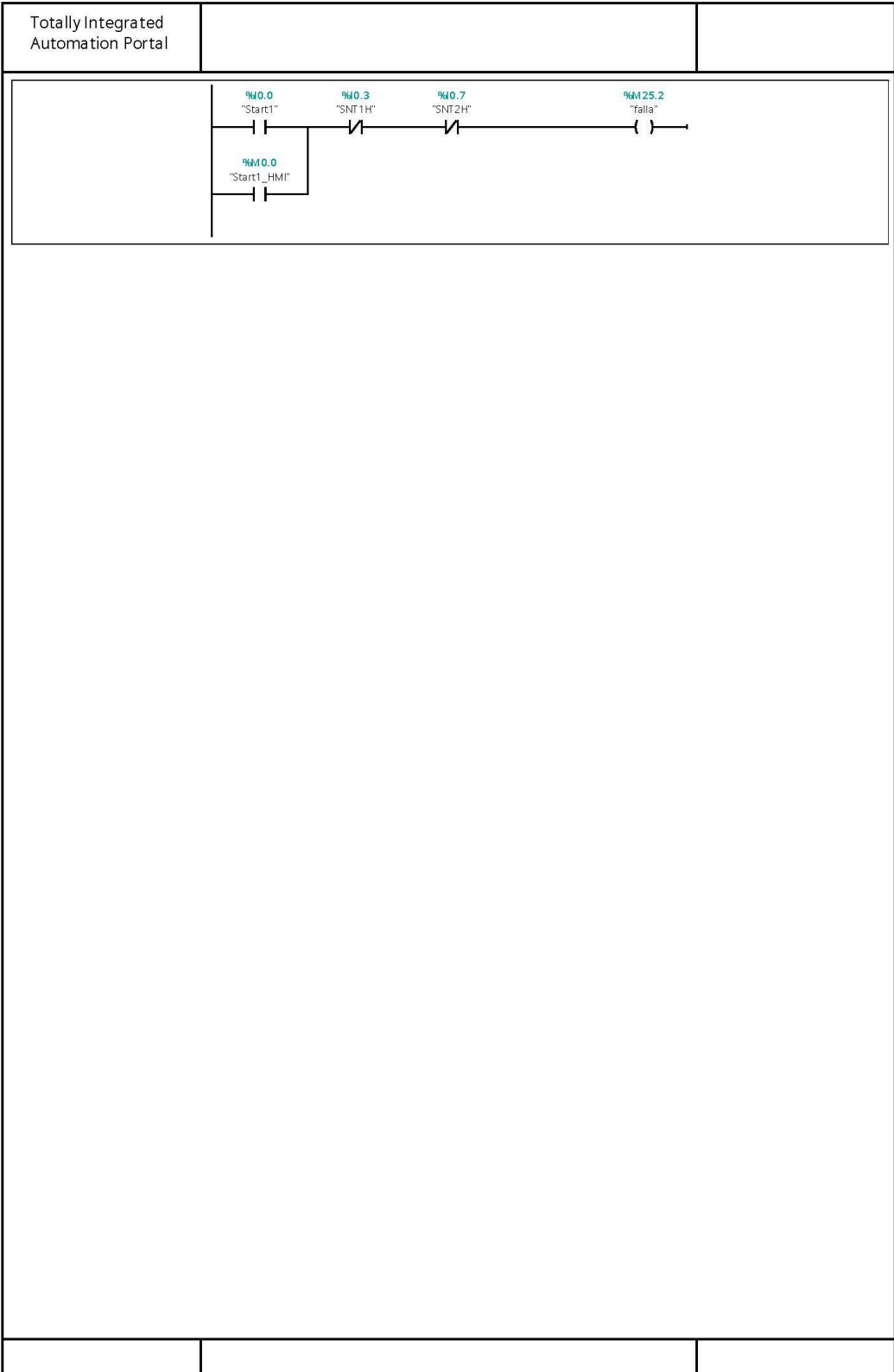
Wong, J. (2023). Biodiesel casero: guía para aceite vegetal. *Beijing ultrasonic*.

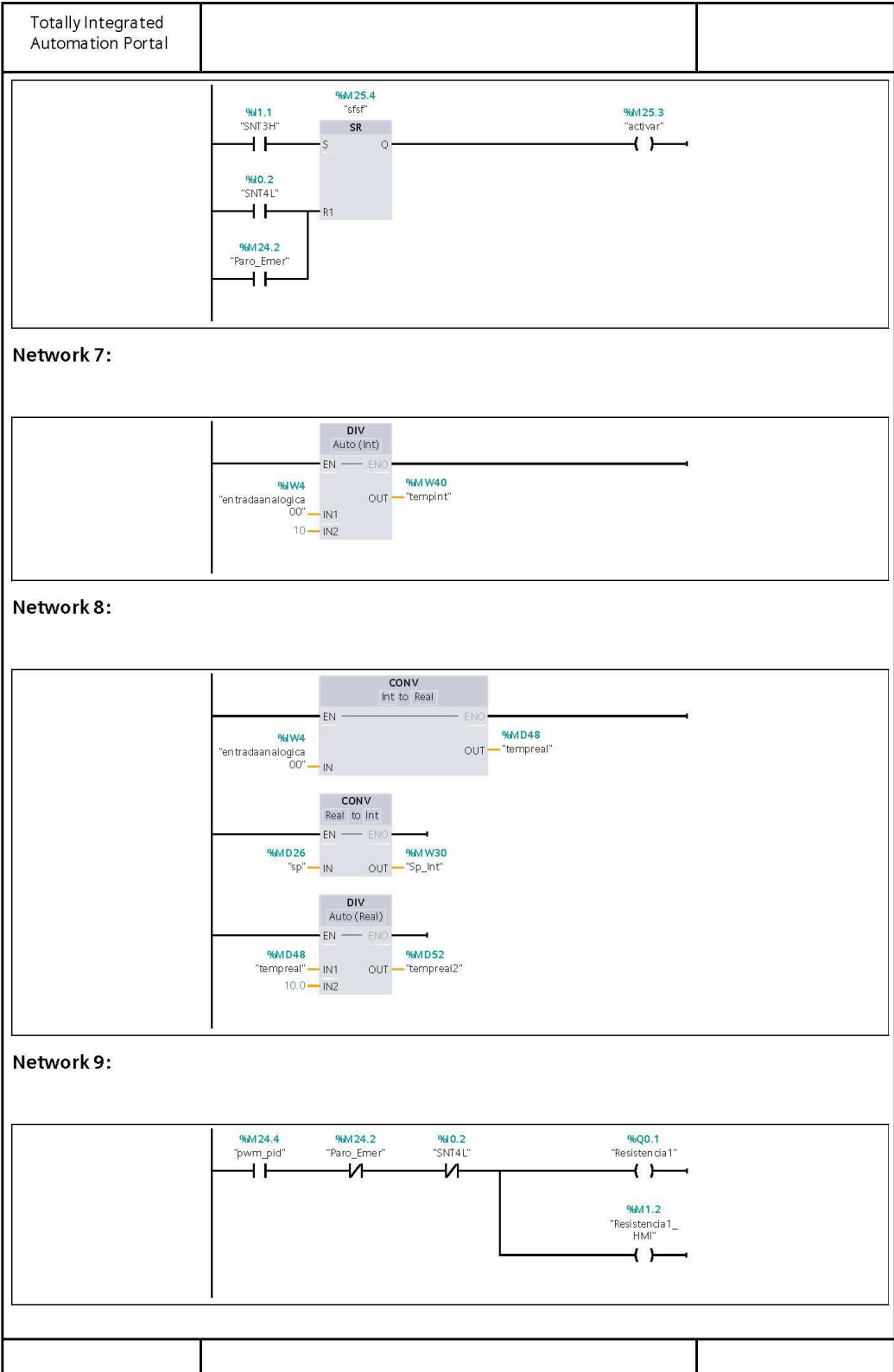
## **13.ANEXOS**

En esta sección se adjunta la documentación de que proporciona el software utilizado Tia portal, de los networks que corresponden a la programación que se usó en el desarrollo de este proyecto.

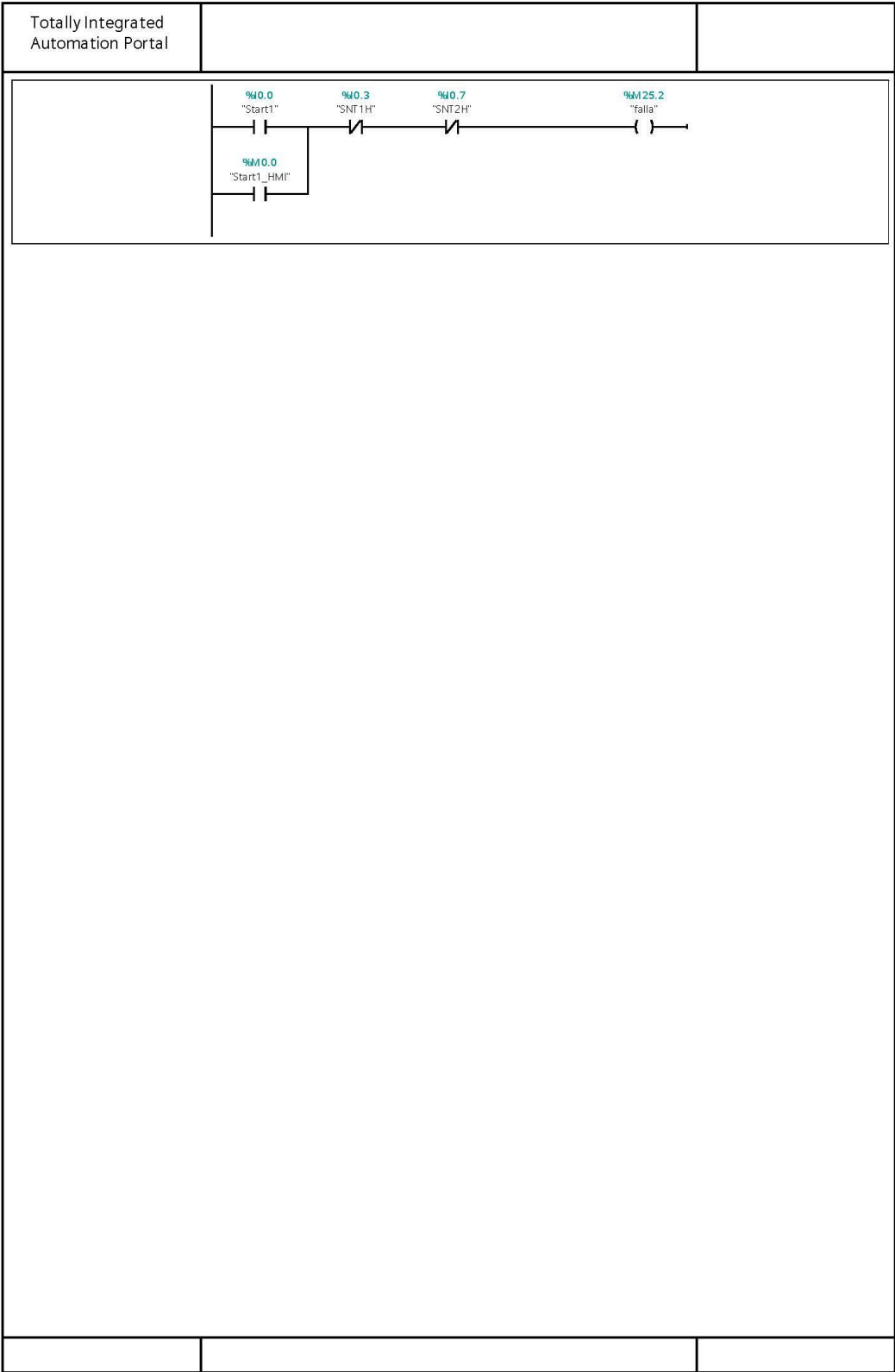
Totally Integrated Automation Portal			
<b>MÓDULO_1_AUTOMATIAZCIÓN_2 / MODULO_1 [CPU 1516-3 PN/DP] / Program blocks</b>			
<b>Main_1 [OB123]</b>			
<b>Main_1 Properties</b>			
<b>General</b>			
<b>Name</b>	Main_1	<b>Number</b> 123	
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b> Automatic	
<b>Type</b>	OB		
<b>Information</b>			
<b>Title</b>	"Main Program Sweep (Cycle)"	<b>Author</b>	
<b>Family</b>		<b>Version</b> 0.1	
<b>Comment</b>			
<b>User-defined ID</b>			
<b>Main_1</b>			
<b>Name</b>	<b>Data type</b>	<b>Default value</b>	<b>Comment</b>
▼ Input			
Initial_Call	Bool		Initial call of this OB
Remanence	Bool		=True, if remanent data are available
▼ Temp			
var	Real		
hj	Real		
SR	Bool		
Constant			
<b>Network 1:</b>			
<b>Network 2:</b>			











## MÓDULO\_1\_AUTOMATIAZCIÓN\_2 / MODULO\_1 [CPU 1516-3 PN/DP] / Program blocks

### Control\_PID [OB30]

#### Control\_PID Properties

##### General

Name	Control_PID	Number	30	Type	OB
Language	LAD	Numbering	Automatic		

##### Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

#### Control\_PID

Name	Data type	Default value	Comment
▼ Input			
Initial_Call	Bool		Initial call of this OB
Event_Count	Int		Events discarded
Temp			
Constant			

#### Network 1:

