



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Título del trabajo

**Automatización del sistema de dosificación de combustible  
en generadores eléctricos y supervisión de las variables  
eléctricas de grupos electrógenos**

Previo la obtención del Título de:

**Magister en Automatización y Control Industrial**

Presentado por:

Johnny Arturo Baque Carvallo

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2025

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi familia, tanto a mi madre como a mi padre, quienes me han apoyado en todo este proceso de todas las maneras posibles.

A las memorias de mi tío y abuelo, quienes estarían orgullosos de mi progreso profesional y académico.

A mi abuela, quien me ha ayudado con consejos y haciendo sacrificios para que este proceso fuera lo más sencillo posible.

Johnny Baque

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres por enseñarme a enfrentar los desafíos que se presentan en la vida para cumplir mis objetivos.

A Msc. Richard Sánchez, quien fue mi maestro y tutor durante la maestría, le agradezco su ayuda y soporte durante el proceso de titulación.

A mis amigos y familiares, por creer en mi durante este proceso.

Johnny Baque

## DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Johnny Arturo Baque Carvalho acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 20 de noviembre de 2025.

---

Ing. Johnny Arturo  
Baque Carvalho

## **EVALUADORES**

.....  
**Msc. Richard Sánchez Rosado**

PROFESOR TUTOR

.....  
**Msc. Carlos Salazar López**

PROFESOR EVALUADOR

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema automatizado para la dosificación de combustible y supervisión remota de un conjunto de generadores eléctricos, los cuales fueron instalados como respuesta a los cortes energéticos que afectaron al país en el 2024. Una empresa (cliente objetivo) enfrenta problemas operativos debido a trabajos manual de dosificación del combustible, tales como derrames, tiempos muertos, falta de monitoreo de variables en tiempo real, entre otras.

La solución que se propuso integró tecnologías de automatización y comunicación industrial, empleando un PLC Siemens Logo V8.4 con módulos de expansión, un HMI, sensor de presión, actuadores y un sistema SCADA desarrollado en InduSoft Web Studio. El protocolo de comunicación utilizado fue Modbus TCP/IP, estructurado en una topología de red en árbol, lo que permitió establecer una comunicación robusta entre los dispositivos. El sistema fue validado mediante simulaciones en Factory I/O y pruebas finales en planta, tanto del sistema y SCADA.

Los resultados que se obtuvieron demostraron una eficacia operativa del sistema diseñado, permitiendo que la dosificación de combustible. El sistema que se implementó es escalable, cumpliendo con los estándares industriales de programación y sienta las bases para futuras integración con tecnologías orientas a la Industria 4.0. Finalmente, se implementa el sistema destacando la eficacia operativa para lo cual se lo diseñó, la mejora en la supervisión de variables de interés, reducción de manipulación de fluidos y escalabilidad del sistema. Además, de indicar ideas para futuras actualizaciones.

**Palabras Clave:** Automatización industrial, supervisión remota, Combustible, SCADA, grupo electrógeno.

## ***ABSTRACT***

This thesis aims to design and implement an automated system for fuel dosing and remote monitoring of a set of electric generators, which were installed in response to the power outages that affected the country in 2024. A company (target client) faces operational problems due to manual fuel dosing, such as spills, downtime, lack of real-time variable monitoring, among others. The proposed solution integrated automation and industrial communication technologies, using a Siemens Logo V8.4 PLC with expansion modules, an HMI, pressure sensor, actuators, and a SCADA system developed in InduSoft Web Studio. The communication protocol used was Modbus TCP/IP, structured in a tree network topology, which allowed establishing robust communication between the devices. The system was validated through simulations in Factory I/O and final tests on the plant, both of the system and SCADA. The results obtained demonstrated the operational effectiveness of the designed system, allowing fuel dosing. The implemented system is scalable, complies with industrial programming standards, and lays the foundation for future integration with technologies oriented to Industry 4.0. Finally, the system is implemented, highlighting the operational efficiency for which it was designed, the improvement in the supervision of variables of interest, reduction of fluid handling, and scalability of the system, in addition to indicating ideas for future updates.

**Keywords:** Industrial automation, remote monitoring, Fuel, SCADA, generator set.



# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE PLANOS .....	XII
Introducción .....	XIII
CAPÍTULO 1 .....	14
1. Estado del arte .....	14
1.1 Descripción del problema .....	14
1.2 Justificación del problema.....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 Objetivo General .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos .....	16
1.4 Marco teórico .....	16
CAPÍTULO 2.....	25
2. Metodología.....	25
2.1 Selección de la alternativa de solución .....	26
2.2 Proceso de Diseño .....	27
2.3 Diseño conceptual .....	28
2.4 Definición de actuadores y componentes mecánicos .....	29

2.5	Selección de protocolo de comunicación.....	31
2.6	Selección de dispositivos de control .....	32
2.7	Selección de elementos eléctricos.....	34
2.8	Diagramas de fuerza y control .....	35
2.9	Topología de red.....	37
2.10	Parametrización de controladores de grupo electrógenos.....	37
2.11	Programación y configuración de PLC.....	39
2.12	Parametrización de sensor .....	41
2.13	Definición de programa para HMI .....	41
2.14	Definición de pantallas para programa SCADA .....	42
2.15	Definición de modelo de planta previo al proyecto .....	44
CAPÍTULO 3.....		45
3.	Resultados Y ANÁLISIS .....	45
3.1	Resultado de programación de HMI y SCADA .....	45
3.2	Resultado de Entorno de simulación para lógica programada.....	52
3.3	Prueba de comunicación de SCADA en planta sin carga .....	55
3.4	Resultado y puesta en marcha del sistema dentro de campo con carga.....	59
3.4.1	Elementos mecánicos y actuadores.....	59
3.4.2	Paneles de control y elementos de control.....	61
3.4.3	Pruebas de panel principal.....	63
3.4.4	Pruebas con carga de SCADA .....	64
3.5	Validación del proyecto.....	69
3.6	Análisis de costos .....	70
CAPÍTULO 4.....		72
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	72
4.1	Conclusiones .....	72

4.2	Recomendaciones .....	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	74
	APÉNDICES .....	77

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
SCADA	Control de Supervisión y Adquisición de Datos
HMI	Interfaz Hombre-Máquina
PLC	Controlador Lógico Programable
DSE	Deep Sea electronics
P&ID	Pipe and Instrumentation diagram
VDF	Variador de frecuencia
PID	Proporcional, Integral y Derivativo
LD	Diagrama de Escalera
ST	Texto Estructurado
FBD	Diagrama de bloques de funciones
IL	Lista de instrucciones
SFC	Diagrama de funciones secuenciales

## SIMBOLOGÍA

V	Voltios
Vac	Voltaje corriente alterna
Vdc	Voltaje corriente directa
A	Amperios
Hz	Hercios
W	Watts
VAR	Potencia Reactiva
VA	Potencia Aparente
RPM	Revoluciones por minutos
°C	Grados Celsius
Pa	Pascal
s	Segundos
m	metros
kg	Kilogramo
N	Newton
%	Porcentaje
FP	Factor de potencia

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1.1 Automated fuel supply of genset, fuel costs reduced by 15% [15].....	21
Ilustración 1.2 Sistema de suministro de combustible para una planta diésel [16] ....	21
Ilustración 1.3 HMI del proyecto de tesis, Universidad Politécnica Salesiana [17] ....	22
Ilustración 1.4 Propuesta para la implementación de un sistema SCADA [18].....	23
Ilustración 1.5 Monitoreo de Generadores Control Tec [19] .....	23
Ilustración 1.6 Monitoreo de generador a través de IoT [20].....	24
Ilustración 2.1 Plano arquitectónico del proyecto [21].....	25
Ilustración 2.2 Proceso de diseño .....	28
Ilustración 2.3 Diseño conceptual .....	29
Ilustración 2.4 Datos técnicos de bomba [22] .....	30
Ilustración 2.5 Características de cañería [23].....	30
Ilustración 2.6 Diagrama de Fuerza .....	35
Ilustración 2.7 Diagrama de control 1 .....	36
Ilustración 2.8 Diagrama de control 2 .....	36
Ilustración 2.9 Topología de red.....	37
Ilustración 2.10 Parametrización DSE 6120 .....	38
Ilustración 2.11 Parametrización DSE 8610 .....	38
Ilustración 2.12 Configuración Servidor y cliente .....	39
Ilustración 2.13 Direccionamiento y configuración cliente Modbus.....	40
Ilustración 2.14 Diagrama de flujo del proyecto .....	40
Ilustración 2.15 Parametrización de sensor de presión .....	41
Ilustración 2.16 Configuración de HMI .....	42
Ilustración 2.17 Modelo de simulación .....	44
Ilustración 3.1 Menú HMI .....	45
Ilustración 3.2 HMI-Pantalla Principal .....	46
Ilustración 3.3 HMI-Parámetros de Generador .....	47
Ilustración 3.4 HMI- Modo de Operación .....	47
Ilustración 3.5 HMI- Panel de Operación .....	48
Ilustración 3.6 HMI- Alarma .....	48
Ilustración 3.7 SCADA-Principal .....	49

Ilustración 3.8 SCADA- Modo de operación .....	49
Ilustración 3.9 SCADA- Panel de operación .....	50
Ilustración 3.10 SCADA-Parámetro de generadores .....	51
Ilustración 3.11 SCADA-Alarmas .....	51
Ilustración 3.12 Entorno de simulación .....	52
Ilustración 3.13 Bloque de función control nivel 1-4.....	53
Ilustración 3.14 Bloque de función Control nivel 5 .....	53
Ilustración 3.15 Bloque de función de Sobrepresión.....	53
Ilustración 3.16 Simulación de dosificación y transmisión de datos.....	54
Ilustración 3.17 Pantalla de operación .....	54
Ilustración 3.18. Conexión SCADA con Red industrial.....	55
Ilustración 3.19 Prueba-SCADA-Principal.....	55
Ilustración 3.20 Prueba-SCADA-Gen# 1.....	56
Ilustración 3.21 Prueba-SCADA-Gen# 2.....	56
Ilustración 3.22 Prueba-SCADA-Gen# 3.....	57
Ilustración 3.23 Prueba-SCADA-Gen# 4.....	57
Ilustración 3.24 Prueba-SCADA-Alarma .....	58
Ilustración 3.25 Prueba-SCADA-Alarma_2.....	58
Ilustración 3.26 Prueba-SCADA-Alarma-3.....	59
Ilustración 3.27 Prueba-SCADA-Base de datos .....	59
Ilustración 3.28 Tuberías, filtros y actuadores .....	60
Ilustración 3.29 Conexión de electroválvula.....	60
Ilustración 3.30 Registro de bomba .....	61
Ilustración 3.31 Conexión de sensor.....	61
Ilustración 3.32 Panel de control.....	62
Ilustración 3.33 Panel de control (puerta) .....	62
Ilustración 3.34 Switch central .....	63
Ilustración 3.35 Conexión a los módulos DSE .....	63
Ilustración 3.36 Comunicación DSE y Pantalla principal.....	64
Ilustración 3.37 Comunicación DSE y variables mecánicas .....	64
Ilustración 3.38. Hora de inicio de la prueba .....	65
Ilustración 3.39 Variables Gen# 1 .....	65

Ilustración 3.40 Variables Gen# 2 .....	66
Ilustración 3.41 Variables Gen# 3 .....	66
Ilustración 3.42 Variables Gen# 4 .....	67
Ilustración 3.43 Nivel de combustible antes de la prueba .....	67
Ilustración 3.44 Nivel de combustible posterior a la prueba .....	68
Ilustración 3.45 Valores deseados en prueba .....	68
Ilustración 3.46 Modo automático .....	68
Ilustración 3.47 Resultados de simulación de pre-proyecto .....	70



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Controladores de grupos electrógenos diésel.....	17
Tabla 1.2 Variables críticas de generadores.....	18
Tabla 1.3 Practicas de programación de PLC .....	19
Tabla 2.1 Alternativas de solución .....	26
Tabla 2.2 Criterios de diseño .....	26
Tabla 2.3 Características electroválvulas [24].....	31
Tabla 2.4 Protocolos de comunicación [25] [26] .....	32
Tabla 2.5 Tabla E/S físicas del proyecto.....	33
Tabla 2.6 Elementos eléctricos seleccionados .....	34
Tabla 2.7 Variables mecánicas .....	39
Tabla 2.8 Descripción de pantallas de HMI .....	42
Tabla 2.9 Pantalla SCADA.....	43
Tabla 2.10 Métricas para modelado de planta .....	44
Tabla 3.1 Resultados de dosificación .....	69
Tabla 3.2 Tabla de costos.....	70

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Diagrama de fuerza Panel en planta
- PLANO 2 Diagrama de control Panel en planta
- PLANO 3 Diagrama P&ID

## INTRODUCCIÓN

En el 2024, Ecuador sufrió el peor problema de sequía en más de seis décadas, debido a corrientes naturales. Esto desembocó que las hidroeléctricas (principal fuente de energía en el país) dejaran de funcionar a su máxima carga ya que los cuerpos acuáticos no sustentaban un nivel eficaz sino uno crítico, trayendo como resultado que las principales hidroeléctricas solo puedan cubrir el 38% de la carga nacional [1] . Como consecuencia el país tuvo cortes de hasta 14 horas programadas por sectores y otro tipo de factores. Provocando reacciones en cadena a escala nacional, uno de los sectores más afectados fue el industrial.

Según la Cámara de Comercio de Quito, durante los meses de septiembre y octubre del 2024, las pérdidas en la industria y comercio alcanzaron aproximadamente 7500 millones de dólares americanos, donde el 53.33% representó la pérdida en el sector industrial [2]. Sin embargo, algunas empresas vieron en este suceso una oportunidad de tener una ventaja competitiva con respecto a sus rivales comerciales, esta fue la adquisición de generadores eléctricos propulsados por motores de combustión interna alimentados por Diesel, debido a que el país tuvo la capacidad de satisfacer la demanda de combustible.

Una empresa con el objetivo de aplicar esta estrategia empresarial adquirió 4 generadores para sincronismo 425kVA se modificó a 380 Vac y otro de la misma capacidad a 220 Vac todos con sistema trifásico.

# CAPÍTULO 1

## 1. ESTADO DEL ARTE

### 1.1 Descripción del problema

La empresa que adquirió los equipos realizó las instalaciones a más de 150 metros del edificio principal, debido a que en dicha zona se encuentra el área de parqueo. Dentro de la planificación inicial se tenía un sistema rudimentario para la dosificación de combustible. Este constaba de una bomba, mangueras y recipientes de 55 galones que almacenaban el Diesel. No obstante, durante la puesta en marcha del sistema se notó que el consumo nominal de los generadores en plena carga superaba las expectativas, por tanto, el personal de mantenimiento debía de realizar varias cargas durante el día ya que los cortes de luz eran de periodos de 4 horas durante el turno matutino y 4 horas durante el turno nocturno.

Uno de los principales problemas que se presentaban en este tipo de maniobras era el derramamiento de combustible en la zona de generadores que a su vez es una zona de despacho, donde varios camiones de carga van a retirar producto. Esto podría ocasionar diversos accidentes tales como caídas, contaminación ambiental, riesgo de incendio e intoxicación por inhalación de carburos, tal y como se menciona en el OSHIA [3]. Además, realizar tareas repetitivas en un contexto de dosificación de líquidos crea una dependencia sobre la experiencia de los obreros, creando una debilidad empresarial con respecto al capital humano dispuesto ya que con la aleatoriedad de las posibles situaciones o eventos suceden dentro del ambiente industrial, no siempre se contará con el personal capacitado para realizar la tarea en cuestión, por tanto, se crearían tiempos muertos, debido a que se debe esperar la disponibilidad del personal. Se sabe que el 20% de las causas de los tiempos muertos se deben a un mal diseño del proceso según la ley de Pareto [4]. Añadiendo que recorrer la distancia antes mencionada y realizar las maniobras diariamente, exige un esfuerzo considerable al personal encargado, produciendo un estrés físico innecesario. Según McKinsey&Company, aproximadamente el 51% de las actividades en los sectores como manufactura, producción, entre otros se pueden automatizar, especialmente tareas repetitivas [5]. Dentro del mismo ámbito, tenemos los errores que se cometen al momento de realizar la maniobras ya que estas dependen de los sensores biológicos del ser humano, tal y como la vista, oído, etcétera, dando cabida a múltiples eventos como una incorrecta

dosificación de combustible. Otro problema al que se enfrenta la empresa es la falta de acceso a la información del estado de los generadores, como alarmas, cargas, potencia, voltaje u otras variables. Para que los ingenieros de planta puedan realizar la inspección de estos datos, tienen que ir al lugar donde se encuentra cada generador e ir observando uno por uno las variables de interés, sin mencionar que el ruido que producen los equipos es de aproximadamente 74 dB en un rango de 7 metros cada uno [6]. Esto provoca que el personal no pueda supervisar los equipos en tiempo real ni puedan tener acceso a los datos de los equipos.

## **1.2 Justificación del problema**

El desarrollo del proyecto incluye la migración del proceso manual a automatizado, esto contribuye significativamente a la disminución de derrames líquidos ocasionados por errores humanos. Además, mejora la eficacia en la repetibilidad del proceso y disminuye el riesgo de contacto directo con las sustancias que pueden ser peligrosas [7]. En España realizan un énfasis sobre la importancia de la automatización y el impacto que tiene en la prevención de fugas y vertido de líquidos, a través de la INSST en su nota técnica de prevención 363 [8].

El sistema automático no solo mitiga la probabilidad de tener un ambiente inseguro y evita la exposición del capital humano a sustancias nocivas, sino que es capaz de reducir el tiempo en el que los operadores trabajen repetidamente un mismo procedimiento, esto disminuye su atención al entorno provocando errores. Además, que se reduce la fatiga física de los trabajadores debido que no tienen que realizar acciones manuales, permitiendo que sus capacidades cognitivas estén disponibles para otros eventos.

La implementación de la automatización en los procesos industriales aumenta la productividad en aproximadamente entre un 0.8% a 1.4% anualmente [5]. Al tener un sistema dosificador de combustible controlado por un computador, los tiempos muertos disminuirán debido que los operarios no tendrán que estar recorriendo grandes distancias para realizar la tarea. Además, que el sistema minimizaría las probabilidades de que los generadores se queden sin combustible, por tanto, el sistema de respaldo estará alimentado para trabajar cuando se lo necesite.

Por otro lado, el sistema de generación tiene variables de interés por cada generador como ya se había mencionado anteriormente, por tanto, es necesario dotar al personal de herramientas para que sean capaces de realizar la tarea de supervisión de una

manera centralizada, es decir, que puedan observar y controlar desde las oficinas. Esto con el propósito de que tenga conocimiento del estado de los equipos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema automatizado para la dosificación de combustible y supervisión de generadores eléctricos, utilizando protocolos de comunicación industrial y tecnologías de automatización, con el propósito de permitir lecturas en tiempo real de variables de interés y controlar el llenado de los tanques diarios de los equipos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Diseñar un sistema SCADA para el monitoreo en tiempo real de las variables del proceso y el estado operativo de los generadores, incorporando alarmas que alerten sobre anomalías o condiciones.
2. Diseñar una red de comunicación industrial adecuada a las características y limitaciones de los dispositivos seleccionados, considerando la compatibilidad entre protocolos y garantizando una correcta integración.
3. Desarrollar un entorno de simulación mediante software especializado, que permita observar y verificar el funcionamiento de la lógica de control programada.
4. Diseñar un panel de control principal utilizando PLC, HMI u otros componentes eléctricos auxiliares, permitiendo la centralización de la información y asegurando el correcto funcionamiento de los actuadores o transmisión de datos.
5. Configurar los parámetros de comunicación en los dispositivos involucrados en el sistema, asegurando el eficaz funcionamiento del proyecto.
6. Analizar la eficiencia del sistema luego de su automatización y supervisión considerando tiempos muertos y reducción de pérdidas

## **1.4 Marco teórico**

### **Controlador inteligente de grupos electrógenos**

Este dispositivo electrónico está diseñado para que sea capaz de automatizar, supervisar y proteger el correcto funcionamiento de un generador eléctrico, aunque existen variaciones con respecto al tipo de combustible usado por el motor mecánico. Estos

controladores tienen integrado tecnologías digitales de comunicación, además de contar con una programación que ayuda a gestionar el manejo óptimo tanto del motor como el alternador. Esto les permite adaptarse a una gran variedad de generadores con diferentes potencias y estructuras de red, añadiendo, el uso de estos dispositivos es independiente de las marcas de los motores o alternadores. Por otro lado, este instrumento es compatible con una gran variedad de sensores de presión, temperatura, pick up, entre otros, que tienen curvas no lineales y que envían señales analógicas, el controlador está programado para que traduzca las señales a la variable física, con tan solo, seleccionar el tipo de sensor instalado y otros parámetros [9]. En la Tabla 1.1, se puede observar alguna de las marcas que se observan en el mercado para grupos electrógenos diésel.

**Tabla 1.1 Controladores de grupos electrógenos diésel**

<b>Nombre de controladores</b>
Deep sea (DSE)
CompAP
Woodward
SmartGen
AGG

### **Normas y buenas prácticas de dosificación de combustible**

Según la NFPA, es su artículo 30 “Flammable and Combustible Liquids Code”, menciona la importancia de evitar el llenado completo (100%) de los tanque para prevenir sobrepresión ocasionada por las dilataciones térmicas del combustible, por esta razón lo más recomendable es que se llene el tanque hasta un 90% de su capacidad. [10], no obstante es su artículo 110, “Standard for Emergency and Standby Power Systems”, hace mención que los tanques de combustibles deben mantenerse con niveles que aseguren un suministro continuo a los equipos de generación para que puedan actuar en casos de emergencia [11]. Por esta razón, Caterpillar, empresa especialista en generación, propone que para garantizar que el equipo se mantenga en funcionamiento, se debe de recargar el tanque diario cuando el nivel caiga aproximadamente entre un 50-55% de su capacidad nominal [12]. Este fabricante propone no dejar que el nivel caiga a menos del 15% debido a la acumulación de sedimentos en el fondo del tanque, para evitar daños internos en las líneas de combustible.

### **Variables críticas de grupos electrógenos**

La revista científica FINIBUS, publicó en el 2025 un artículo de investigación donde analizaba el comportamiento de un generador sincrónico mediante simulación. En dicho escrito resaltó variables eléctricas y mecánicas importantes a monitorear, como la tensión, corriente, potencia, frecuencia y velocidad de motor [13]. En el 2022, el grupo AMPER desarrolló un escrito donde explica el funcionamiento e impacto de los generadores en diferentes contextos, en este documento detalla variables similares las antes mencionadas, sin embargo, realizó énfasis en otras variables mecánicas, como temperatura de motor, presión de aceite y tensión de batería [14]. En la Tabla 1.2, se muestra las variables resaltadas en los artículos.

**Tabla 1.2 Variables críticas de generadores**

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
Voltaje L-L	Es la diferencia de potencial que existe entre las líneas del generador	Voltios [V]
Corriente eléctrica (Por línea)	Carga soportada por generador	Amperios [A]
Frecuencia	Numeró de ciclos que da la onda en un segundo. Usualmente se usa sistemas a 60 o 50 Hz	Hercios [HZ]
Potencia Activa	Potencia útil que se usa para activar la carga.	Watts [W]
Potencia Reactiva	Potencia necesaria para mantener el campo magnético.	VAR
Factor de Potencia	Es un indicador de la eficiencia que tiene un sistema eléctrico para usar Potencia útil	-
Velocidad del Rotor	Revoluciones que da el motor, está relacionada con la frecuencia eléctrica	RPM
Temperatura de Motor	Temperatura que tiene el motor o líquido refrigerante del mismo.	Celsius [°C]
Presión de Aceite	Indicador de lubricación y nivel de aceite de motor	Pascal [Pa]
Nivel de Combustible	Fuente de alimentación de motor mecánico	Porcentaje [%]
Tensión de batería	Alimenta el motor de arranque del sistema mecánico, usualmente es de 12 o 24 Vdc	Voltios [V]

Las variables presentadas están ubicadas mediante el SI, sin embargo, pueden variar según el modelo y fabricante.

### **Normativas y Estándares para PLC y SCADA**



Dentro del mundo de la automatización industrial es indispensable crear estándares internacionales para el desarrollo de controladores, lenguajes de programación y prácticas de desarrollo. Esto debido a los diferentes fabricantes, además de facilitar el diferente uso y actualización de los equipos o códigos.

Algunas normativas que se utilizan son:

- IEC 61131-3: Regula los controladores programables industriales (PLC)

Este estándar regula los lenguajes de programación que se pueden utilizar para programar PLC de manera estructurada. Estos son LD, ST, FBD, IL, SFC.

Además, regula prácticas de programación de los controladores. Algunas de estas se pueden observar en la Tabla 1.3.

**Tabla 1.3 Prácticas de programación de PLC**

<b>Práctica</b>	<b>Descripción</b>
Modularidad	Se aconseja dividir el código en bloques para reutilizarlos en diferentes proyectos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Secuencias de arranque de motores</li> <li>• Normalización de señales analógicas</li> </ul>
Estandarización de funciones	Hace referencia a la creación de bloques pensados en su reciclaje, además de ubicarle etiquetas guías. Por último, el uso de comentarios y documentar las variables a utilizar (uso y tipo)
Escalabilidad	Programar código pensando en futuras actualizaciones, gestionando el tipo de datos definidos por el usuario.
Manejo de Fallos	Colocar código que genere alarmas con acciones que se recomiendan tomar. Ubicar hardware para accionar en caso de emergencias.
Documentación	Crear comentarios en las variables y cada línea de código. Describir la funcionalidad de cada bloque. Entregar diagramas de flujo para mayor entendimiento.

- IEC 60204-1: Establece requisitos de seguridad en el sistema eléctrico.

Regula que el diseño del sistema eléctrico cuente con protecciones contra diferentes adversidades como cortocircuitos o sobrecargas. Además, define la organización de circuitos de fuerza y control. Por otro lado, indica que el sistema debe tener modos para entrar a una fase de seguridad en caso de eventos.

- ANSI/ISA-101.01-2025: Diseño de HMI en proceso automatizados

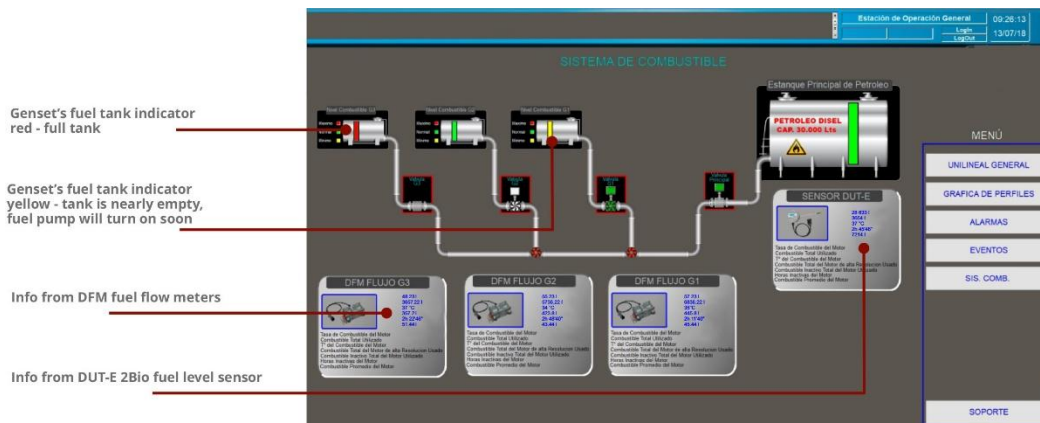
Recomienda limitar el uso de colores, es decir, que cada color debe de tener un significado funcional en todo el sistema. Por otro lado, es prioritario tener una jerarquía clara con respecto a la información a mostrar, no mostrar en exceso animaciones o gráficos. De la misma manera, suspender el uso de fondos brillantes sino usar tonos en escala de grises. Esto para evitar fatiga visual a los operadores.

- IEC 63303: Criterios para garantizar concentración de operador

Resalta el uso de interfaces simples con un buen contraste de colores. Añadiendo que se usen tonalidades fuertes solo para alarmas o avisos importantes. Se debe diseñar las pantallas pensando en la ergonomía visual.

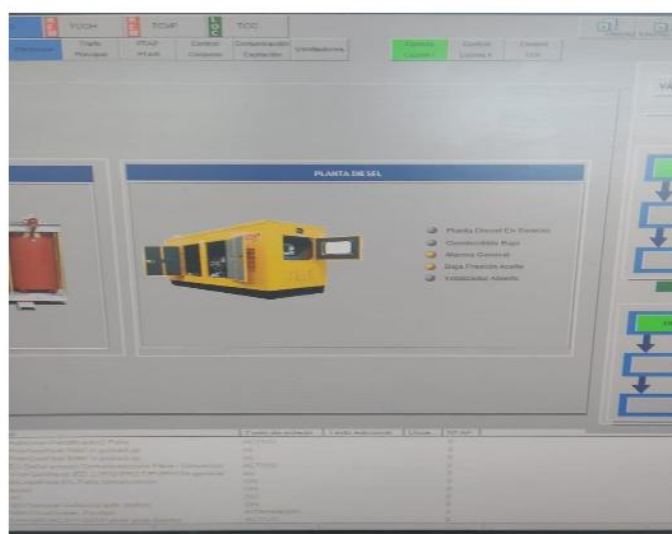
### **Estado del arte**

Una empresa propuso un caso de estudio que fue resuelto por ellos mismos. Dicha publicación se llama "Technoton case: automated fuel supply of genset, fuel costs reduced by 15%". La firma encaraba una problemática sobre asegurar una ininterrumpida fuente de combustible a un conjunto de 3 generadores, los cuales tienen un tanque diario de 30000 litros cada uno, el problema se basaba en que los tanques de los generadores se recargaban mediante una bomba que no estaba automatizada. Los operadores tenían que prender las bombas manualmente y en algunos casos se dejaba algún tanque vacío. La solución que se propuso fue realizar un sistema de monitoreo y control del consumo de combustible de cada generador integrado en un SCADA. Ubicaron sensores de nivel y flujo que se comunican mediante Modbus RTU con interfaz RS-485. Entonces, cuando el sistema detecta que algún recipiente tiene el nivel mínimo comienza a rellenarlo hasta que alcanza el máximo [15]. Los resultados que tuvieron fue que eliminaron el problema de que los generadores se quedarán sin combustible y que el costo de operación de este proceso se redujo en un 15% [15]. En la Ilustración 1.1, se muestra la pantalla principal del SCADA



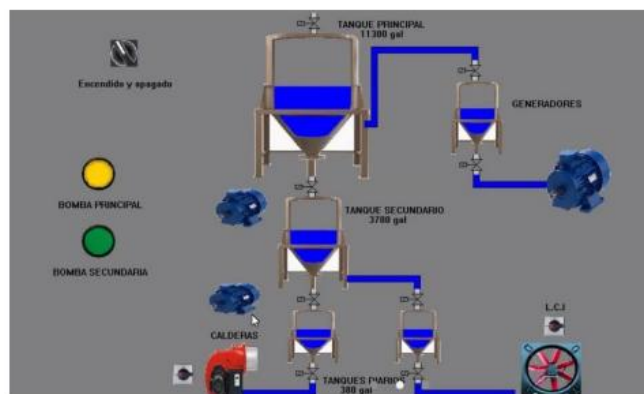
**Ilustración 1.1 Automated fuel supply of genset, fuel costs reduced by 15% [15]**

En el repositorio de una institución fue publicado un proyecto de grado que se centró en el desarrollo e implementación de un sistema automatizado para el suministro de combustible para plantas eléctricas de emergencia. El autor realizó inspecciones y estudios de campo para desarrollar un sistema confiable para garantizar el suministro de combustible. Esto se hizo con el propósito de reducir tiempos muertos y disminuir riesgos operativos. El proyecto desarrolló paneles de control y lógica digital, es decir, mediante salidas digitales del controlador del generador y lógica cableada realiza el control de nivel de combustible del equipo. Luego realizó un pequeño SCADA para monitorizar los estados de funcionamiento del proyecto [16].



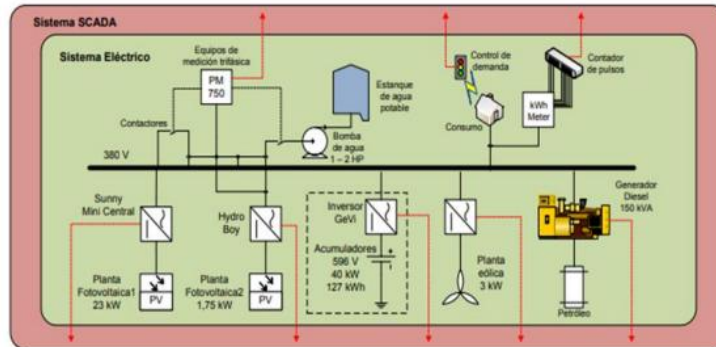
**Ilustración 1.2 Sistema de suministro de combustible para una planta diésel [16]**

Una institución de educación superior, en el Ecuador, publicó en su repositorio en el 2022 un trabajo de tesis, donde diseñaron y simularon un sistema de distribución de diésel desde un tanque principal hacia tanques secundarios. El sistema consistía que, mediante el accionamiento de bombas y electroválvulas, los tanques secundarios eran dosificados. Para realizar esta operación utilizaban switches de nivel que eran ubicados en los tanques y conmutaban según el nivel el tanque. Además, crearon un HMI de una sola pantalla, donde ubicaron 2 luces pilotos y un selector de encendido y apagado, adicionalmente de una asistencia visual del sistema, sin embargo, el sistema no está completamente automatizado y es necesario la presencia de un operador. El desarrollo del proyecto se enfoca en el diseño mecánico del sistema como la selección de las bombas y la tubería [17].



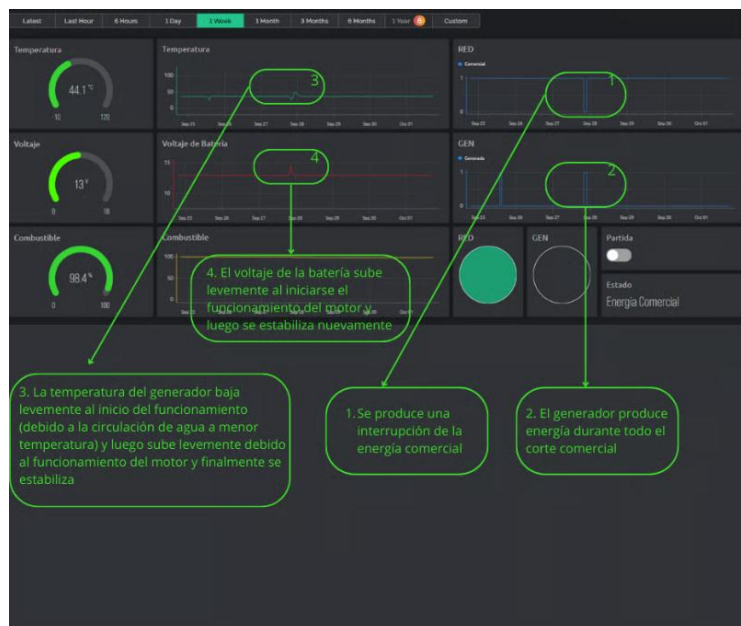
**Ilustración 1.3 HMI del proyecto de tesis, Universidad Politécnica Salesiana [17]**

En el programa de maestría en gestión de proyectos de una universidad en Ecuador, se publicó una tesis donde desarrollan una propuesta para un proyecto para la implementación de un SCADA para el encendido remoto de generadores. Este grupo electrógeno cargará unas baterías cuando el sistema fotovoltaico de la finca donde se desarrolla el proyecto no puedan hacerlo. El desarrollo de esta tesis se basa en el análisis del costo beneficio del proyecto con algunos atisbos o de detalles de la ingeniería que conllevaría realizar la implementación del sistema [18].



**Ilustración 1.4 Propuesta para la implementación de un sistema SCADA [18]**

Una empresa, en el 2023, publica un artículo técnico donde expone las características de su sistema SCADA para generadores mediante el uso de telemetría avanzada. Este desarrollo implementa dashboards para teléfonos móviles y tiene soporte en la web, además de notificar alertas a través de correo electrónico. Además, miden tiempo de operación (horómetro y fechas), consumo de combustible, muestra un análisis de variables mediante gráficas [19].



**Ilustración 1.5 Monitoreo de Generadores Control Tec [19]**

En el 2020, se publicó un artículo científico “Sistema Inteligente para para la gestión automática de un generador eléctrico basado en la arquitectura del IoT”. Este sistema se basa en plataformas no comerciales sino de recursos abiertos, donde realizó el desarrollo de un prototipo de plataforma para la gestión de un generador usando IoT a través de un

MQTT. Esto controla el encendido, apagado, horas de uso, variables mecánicas, pero no mide variables eléctricas. El proyecto usa como hardware principal el Arduino, ubicando sensores que sean compatibles con este [20].



**Ilustración 1.6 Monitoreo de generador a través de IoT [20]**

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se explica el procedimiento que se siguió para encontrar y desarrollar la solución que cumpla los requerimientos de diseño y a su vez con los objetivos planteados. En el escrito se detalló los pasos seguidos desde la selección de la alternativa, definición de requerimientos de diseño y parámetros de este, hasta llegar a la selección de los elementos eléctricos, dispositivos de control y automatización. Además, se indicó las restricciones y limitaciones que tuvo el proyecto con respecto al desarrollo de este. En la Ilustración 2.1, se puede ver un plano arquitectónico del espacio con la distribución de los equipos, donde se etiqueta como sector 1 el lugar donde están los tres generadores, sector 0 donde están “Los desechos Peligroso”, ahí se encuentra el tanque principal y sector 2 donde están los otros dos generadores.

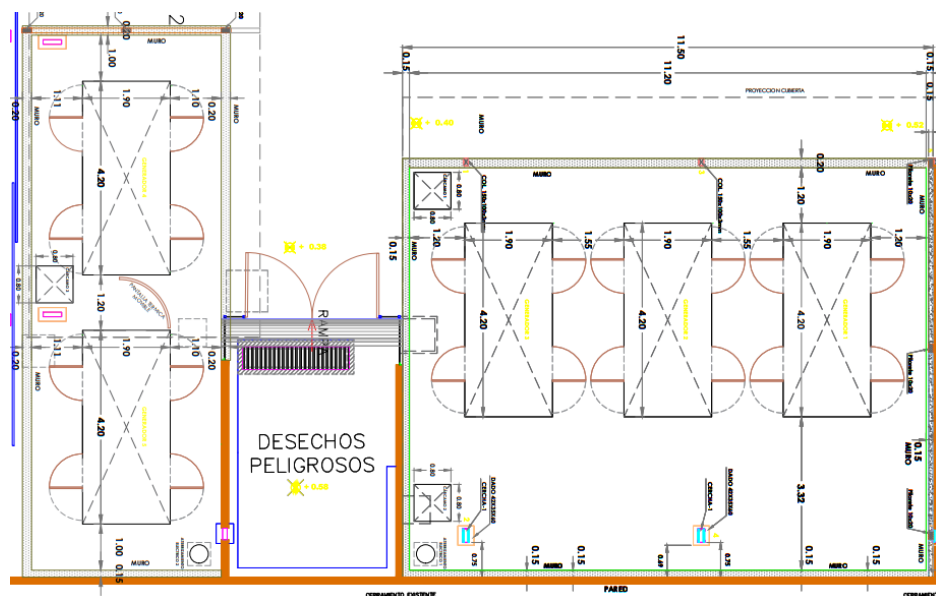


Ilustración 2.1 Plano arquitectónico del proyecto [21]

## 2.1 Selección de la alternativa de solución

Luego de analizar la problemática en secciones anteriores, se procedió a describir 2 alternativas de solución para la automatización de la dosificación de combustible y supervisión del grupo electrógeno. Estas se detallan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Alternativas de solución**

<b>Alternativa 1</b>	El diseño de un sistema automatizado de dosificación usando salidas digitales de los controladores de los generadores como una entrada para un PLC, de esta manera se realizará la programación para mantener los niveles en un rango. En el panel principal se tendrá un HMI donde se muestren los estados mediante animaciones, además, se utilizarán electroválvulas y 1 bomba como actuadores. La supervisión de las variables se tendría que hacer manualmente en cada generador.
<b>Alternativa 2</b>	Diseño de un sistema automatizado de dosificación de combustible mediante el uso de protocolos de comunicación para establecer un enlace entre los controladores y el PLC. Además, se ubicará un panel de control en campo con los arrancadores, PLC y HMI, donde se ubicará pantallas para supervisar ciertas variables, cambiar modos de operación entre otras. Se realizará un sistema SCADA para que el personal tenga acceso a las variables y supervisar los estados.

Con la finalidad para la selección de la alternativa se creó los criterios de diseño, vistos en la Tabla 2.2, en base a la observación u análisis del problema, además, de los requerimientos del cliente.

**Tabla 2.2 Criterios de diseño**

<b>Supervisión</b>	El proyecto debe ser capaz de mostrar el estado de los actuadores y generadores, además de variables de interés.
<b>Escalabilidad</b>	El proyecto debe ser la base para futuras actualizaciones, además de tener la certeza de encontrar repuestos después de un largo periodo de tiempo de haber sido finalizado (10 años)
<b>Eficacia</b>	El sistema debe de realizar el trabajo tal cual se lo programó satisfaciendo las necesidades del procedimiento.
<b>Mantenimiento</b>	El sistema debe facilitar el mantenimiento de los dispositivos, permitiendo que el personal encargado pueda limpiar o reemplazar algún elemento de manera sencilla.
<b>Facilidad de Uso</b>	Dado que el personal realizaba las maniobras manualmente, es necesario que el sistema no sea complejo

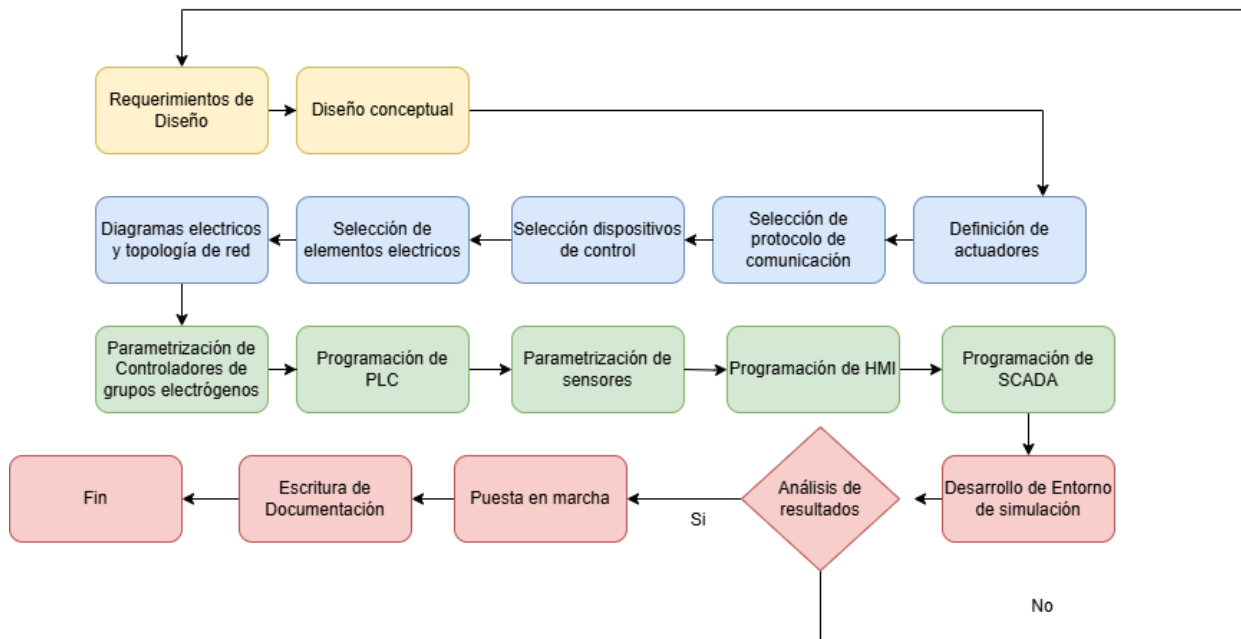


<b>Industria 4.0</b>	El sistema debe de tener la habilidad de enviar los datos a la nube, para futuros trabajos
<b>Estandarizado</b>	Tanto la programación del PLC, HMI y SCADA deben de seguir los estándares de programación y diseño

Se analizó y evaluó las dos alternativas tomando en cuenta los criterios de diseño vistos en la Tabla 2.2, por tanto, se elige la alternativa 2 como la solución que cumplió con todos los requerimientos propuestos. Esto se debe a que, al utilizar protocolos de comunicación como enlace principal de control, nos permitió tener acceso a las diferentes variables que se necesitaban para realizar el sistema de supervisión, ya que dichas variables son obtenidas en tiempo real proporcionada por los controladores de cada generador. Se seleccionó elementos que se están en la vanguardia en el ambiente industrial, por tanto, se garantizó que el sistema tenga escalabilidad con respecto al tiempo, permitiendo encontrar repuestos en un largo periodo de tiempo. Al realizar el sistema SCADA, se dio acceso a la industria 4.0 ya que el sistema tendría la capacidad de enviar datos a la nube dentro de próximas actualizaciones. La programación tanto del PLC, HMI y SCADA siguieron las normas y estándares con respecto a los comentarios, identificación de variables, colores y carga visual de cada pantalla (visto en el marco teórico). Esto ayudará a la facilidad de uso del sistema, ya que al estar bien distribuido y etiquetado los elementos, los usuarios podrán realizar la supervisión de manera sencilla.

## 2.2 Proceso de Diseño

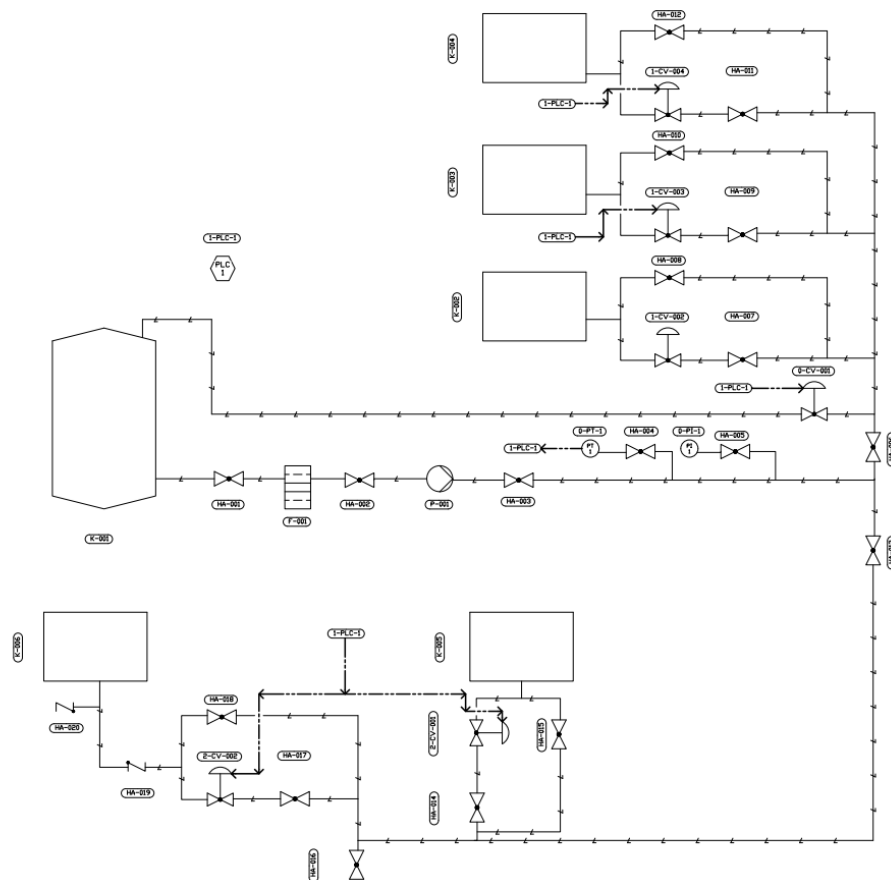
En la Ilustración 2.2, se puede observar el diagrama de flujo que se desarrolló con el propósito de mostrar la metodología que se siguió para poder desarrollar la solución. Se empezó definiendo los requerimientos de diseño con respecto a las necesidades del proyecto, luego se desarrolló un diseño conceptual. Posteriormente, se realiza la definición de actuadores con todos los conductores, además de seleccionar los elementos eléctricos que se necesitarán. Luego se definirán los diagramas eléctricos y topologías de red. Habiendo superado la fase de selección se procede a realizar la parametrización y programación de los elementos. Por último, se procede a realizar la simulación, análisis y puesta en marcha del sistema.



**Ilustración 2.2 Proceso de diseño**

### 2.3 Diseño conceptual

En la Ilustración 2.3, se puede observar un diagrama P&ID de cómo se diseñó el sistema con respecto a los elementos que se definieron en la solución, como, por ejemplo, los transmisores de presión, indicadores de presión, bombas, electroválvulas, válvulas manuales, tanques, entre otras. Este diseño conceptual se basó en la distribución de diésel, que sale del tanque principal, pasa por un filtro racor, luego por la bomba, a su vez que esta línea principal deriva para el sensor de presión y para el indicador. Luego, mediante una Tee la tubería se divide en dos lados. Uno de estos va para los tanques de los generadores 1 y 5 (K-005 y K-006), la otra para los generadores 2, 3, 4 (K-002, K-003, K-004). Además, se observa las electroválvulas, mismas que son accionadas mediante el PLC. Cabe resaltar que se ubicó una derivación de alivio mediante otra electroválvula que en casos de emergencia (aumento de presión) retornará diésel al tanque principal.



**Ilustración 2.3 Diseño conceptual**

Para censar la presión de la tubería se ubicó un sensor que enviará una señal analógica al controlador y según los datos de placa de la bomba se colocará los límites necesarios para evitar una presurización en los conductos. Debido a que es un sistema de respaldo energético, es necesario que en caso de que el sistema falle, el usuario tenga la capacidad de poder recargar de combustible a los generadores, por tanto, en cada salida o toma se colocó un bypass con válvula de bola para que puedan recargar a los equipos manualmente.

#### **2.4 Definición de actuadores y componentes mecánicos**

Los generadores tienen una capacidad de consumo de aproximadamente 112.5 Litros por hora, sin embargo, al tener un sistema de sincronismo donde la carga se reparte, la ratio de consumo baja. Aproximando y suponiendo que los 4 equipos soporten  $\frac{1}{4}$  de la carga, el consumo puede ser de 28.125 Litros por hora, sin embargo, hay que recordar que tenemos un quinto generador con la misma capacidad de consumo. Añadiendo que se asumirá que el sistema se mantendrá en un rango seguro con respecto al nivel de

combustible. Por esta razón, el caudal para la bomba debe ser mayor a 112.5 L/h. Por otro lado, el fluido que se va a transportar es diésel, el cual, es un combustible y es más viscoso que el agua, oscila entre 1.9 a 4.1 mm<sup>2</sup>/s a 40°C, por tanto, el actuador para llevar el diésel debe ser una bomba rotativa de paletas para crear una presión y poder transportar el fluido. Con respecto a las pérdidas por accesorios, altura y cabezal, se despreciarán debido a que el tanque ayudará con presión positiva, adicionalmente, que el combustible no se transportará a alturas apreciables.

Por dichas razones, se seleccionó la bomba rotativa de paletas y autocebante PIUSI E120, la cual es especialmente diseñada para diésel. Una de las características de este actuador es que presuriza las líneas a 1 bar, las otras características se las puede observar en la Ilustración 2.4.

TECHNICAL DATA													
PART #	DESCRIPTION	FLUIDS TYPE	FLOW RATE		VOLTAGE				RPM	INLET OUTLET NPT	FLANGE CONNECTION	BYPASS VALVE	INLET FILTER
			L/MIN	GPM	SINGLEPHASE MOTOR V./HZ	THREEPHASE MOTOR V./HZ	POWER WATT	AMP. MAX.					
FO032701B	E120 110V/60HZ 30GPM (PUMP ONLY)	D	113.5	30	120/60	-	1150	12	1750	1"	YES	YES	NO

**Ilustración 2.4 Datos técnicos de bomba [22]**

Para la selección de la tubería se identificó que debe de ser de 1 pulgada debido a que tanto la bomba y el puerto de los tanques diarios de los generadores son del mismo diámetro. Además, se consideró que el material del tubo no tiene que contaminar el fluido ni que se corra por el mismo. Por tanto, se seleccionó que el material del tubo fuera hierro negro ya que no reacciona químicamente con el combustible. Teniendo dichos datos, se propuso la cañería que se puede ver en la Ilustración 2.5.

Dimensiones				Propiedades			
Díámetro Nominal	Díámetro Exterior	Espesor	Peso	Área	I	W	I
Pulg	mm	mm	Kg/4m	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
1/2	21.35	2.00	0.99	1.22	0.57	0.59	0.98
3/4	26.90	2.30	1.45	1.78	1.34	1.09	0.87
1	33.70	2.50	1.96	2.45	2.98	1.91	1.10
1 1/4	42.40	2.50	2.55	3.13	6.24	3.13	1.41
1 1/2	48.30	2.65	3.02	3.87	10.05	4.41	1.61
2	60.30	2.65	3.79	4.89	20.26	7.04	2.04
2 1/2	73.00	3.20	5.65	7.02	42.73	12.24	2.47
3	88.90	3.20	6.81	8.62	79.09	18.46	3.03
4	114.30	3.60	9.92	12.52	191.78	34.65	3.91

NOMENCLATURA	
A=	Área de la selección transversal del tubo, cm <sup>2</sup>
I=	Momento de inercia de la sección, cm <sup>4</sup>
W=	Módulo resistente de la sección, cm <sup>3</sup>
i=	Radio de giro de la sección cm

**Ilustración 2.5 Características de cañería [23]**

Para analizar el comportamiento dinámico de la tubería con respecto a la presión que ejercerá la bomba, Lo primero que se hizo fue encontrar que tipo de pared se tenía delgada o gruesa, si era el primer caso debía cumplir con la ecuación 2.1.

$$\frac{\text{Espesor de tubería}}{\text{Radio interno}} < 0.1 \quad 2.1$$

La relación dio 0.17, por tanto, es una pared gruesa y se debe usar el análisis por fórmulas de Lamé, el cual se lo observa en el Apéndice A. Donde se concluyó que la tubería soportaría por mucho los esfuerzos producidos en el sistema, dando un factor de seguridad muy elevado. Los accesorios que se utilizaron también fueron de hierro negro.

Para la selección de las electroválvulas se tomó en cuenta el diámetro exterior de las tuberías (1”), la presión que 100kPa que provocará la bomba al encender y el tiempo de alimentación eléctrica la cual tiene que ser de 24 Vdc. Por tanto, se seleccionó las válvulas Sanlixin modelo ZS1DF13V4D16, en la Tabla 2.3, se pueden observar sus características.

**Tabla 2.3 Características electroválvulas [24]**

<b>Alimentación</b>	24Vdc
<b>Presión admitida</b>	0-588.4 kPa
<b>Medio</b>	Agua, aire, aceites ligeros
<b>Material</b>	Acero inoxidable
<b>Estado</b>	Normalmente cerrada

## 2.5 Selección de protocolo de comunicación

Para la selección del protocolo de comunicación predominante del sistema se analizó el hardware que se tenía, es decir, los controladores inteligentes de los generadores. En la Tabla 2.4, se puede ver el modelo de controlador con los protocolos con lo que se pueden comunicar.

**Tabla 2.4 Protocolos de comunicación [25] [26]**

<b>Numero de Generador</b>	<b>Controlador</b>	<b>Protocolo de comunicación</b>
1	DSE 8610 MKII	Modbus RTU interfaz RS-485 Modbus TCP/IP interfaz ethernet
2	DSE 8610 MKII	Modbus RTU interfaz RS-485 Modbus TCP/IP interfaz ethernet
3	DSE 8610 MKII	Modbus RTU interfaz RS-485 Modbus TCP/IP interfaz ethernet
4	DSE 8610 MKII	Modbus RTU interfaz RS-485 Modbus TCP/IP interfaz ethernet
5	DSE 6120 MKII	Modbus RTU interfaz RS-485

Debido a que los cuatro generadores que operan en sincronismo tienen el DSE 8610 MKII con protocolo de comunicación modbus tcp/ip sobre interfaz basada en ethernet, además de modbus RTU con interfaz RS-485. Por otro lado, el DSE 6120 MKII solo trabaja con modbus RTU con interfaz RS-485. Se seleccionó modbus tcp debido a que el grupo electrógeno que trabaja en sincronismo tenía ocupados los puertos RS-485 por dispositivos que el fabricante había instalado.

Con el objetivo de que el generador cinco se una al protocolo dominante se necesitaría ubicar un Gateway para transformar de un protocolo a otro, no obstante, ahí es donde se presentó una de las limitaciones proyecto ya que no se lo implementó, esto será explicado a detalle más adelante. Por otro lado, para realizar el control de dosificación se configurará dos salidas de nivel alto y bajo.

## **2.6 Selección de dispositivos de control**

Para la selección del PLC se debe de considerar tanto el número de entradas y salidas físicas que tendrá el sistema, además, de que soporte el método de comunicación que se seleccionó anteriormente. En la Tabla 2.5, se pueden observar los parámetros E/S que tendrá el sistema con su respectiva naturaleza.

**Tabla 2.5 Tabla E/S físicas del proyecto**

Entradas digitales	
Parada de Emergencia	I1
Contacto NO de contactor	I2
Señal de protección térmica	I3
Señal Diesel (Gen# 5)	I4
Reserva	I5
Salidas digitales	
Contactador de Bomba	Q1
Válvula (Gen# 1)	Q2
Válvula (Gen# 2)	Q3
Válvula (Gen# 3)	Q4
Válvula (Gen# 4)	Q5
Válvula (Gen# 5)	Q6
Válvula de retorno	Q7
Entradas Analógicas	
Sensor de presión	AI 1

Se tiene 5 entradas digitales, 7 salidas digitales y una entrada analógica. Por otro lado, hay que tomar en cuenta que la programación no va a ser compleja, tampoco realizará algún control PID u otra tarea compleja que tenga un tiempo de reacción realmente corto, por esta, razón uno de los factores más importantes para la selección será el presupuesto. Por tanto, se seleccionó un PLC siemens LOGO V8.4 con alimentación de 12/24 Vdc, 8 entradas y 4 salidas de relé, esto cumple con los requisitos de comunicación, sin embargo, se les añadió dos módulos de expansión, un DM 16 24R con 8 DI y 8 DO y otro AM2 2AI para las entradas analógicas. No se recomendó algún equipo safety debido a que no se está trabajando en un ambiente abrasivo ni con algún factor externo que comprometa la integridad del sistema.

Para la selección de la interfaz hombre-máquina se seleccionó la HMI INVT TC6070W. Esta será utilizada como interfaz de usuario principal en el sistema de control ubicada en el panel principal. Esta pantalla táctil ofrece mayor capacidad de procesamiento, mejores

gráficos y funciones extendidas en comparación con los modelos básicos, lo que la convierte en una excelente opción para aplicaciones industriales exigentes.

En este proyecto, la TC6070W permitirá al operador:

- Ajustar parámetros de setpoint
- Iniciar/detener el proceso
- Activar el modo manual y automático
- Visualizar alarmas y parámetros en tiempo real

Todo esto se realizará mediante comunicación S7 directa con el PLC Siemens LOGO V8.4.

## 2.7 Selección de elementos eléctricos

La bomba se accionó mediante arranque directo usando una arquitectura eléctrica de guardamotor-contactor, para la selección de estos se utilizó los datos de placa del motor, utilizando el amperaje de 12 A y multiplicando un factor de 1.25 por motivos del arranque inicial. Por otro lado, como método de protección del PLC se colocará borneras portafusibles con fusibles de 2A para la entrada de señales y relés de 14 pines con bobinas de 24Vdc para la protección de las salidas.

Con el propósito de realizar la red de comunicación se debe utilizar Switches para que los diferentes dispositivos puedan estar en constante comunicación. Estos no necesitan se administrables y pueden ser de 5 puertos.

Por último, teniendo en cuenta la presión que producirá el actuador se seleccionó un sensor que pueda leer más de 100kPa y envíe una señal de 4-20mA.

En la Tabla 2.6, se puede observar todos los elementos eléctricos que se seleccionaron:

**Tabla 2.6 Elementos eléctricos seleccionados**

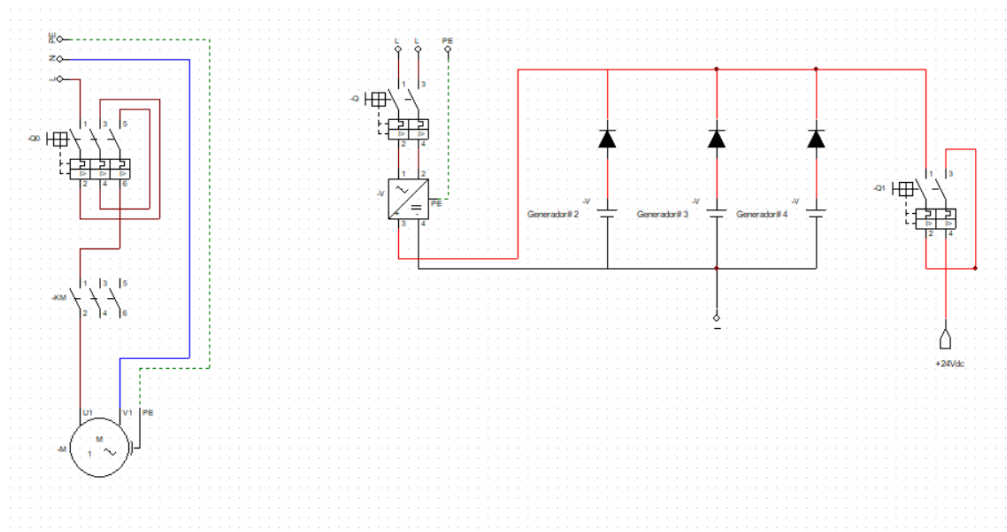
Elemento	Cantidad	Modelo
Guardamotor 10-16 A con bloque auxiliar	1	ABB: MS116-16
Contactor 18A en AC3 con bobina de 110-250V	1	ABB: M1031774X
Sensor de presión: 0-500kPa/ 4-20mA	1	NP-430D



Switch de 5 puertos no administrables, con alimentación de 24Vdc	2	Delta: DVS-005100
--	---	-------------------

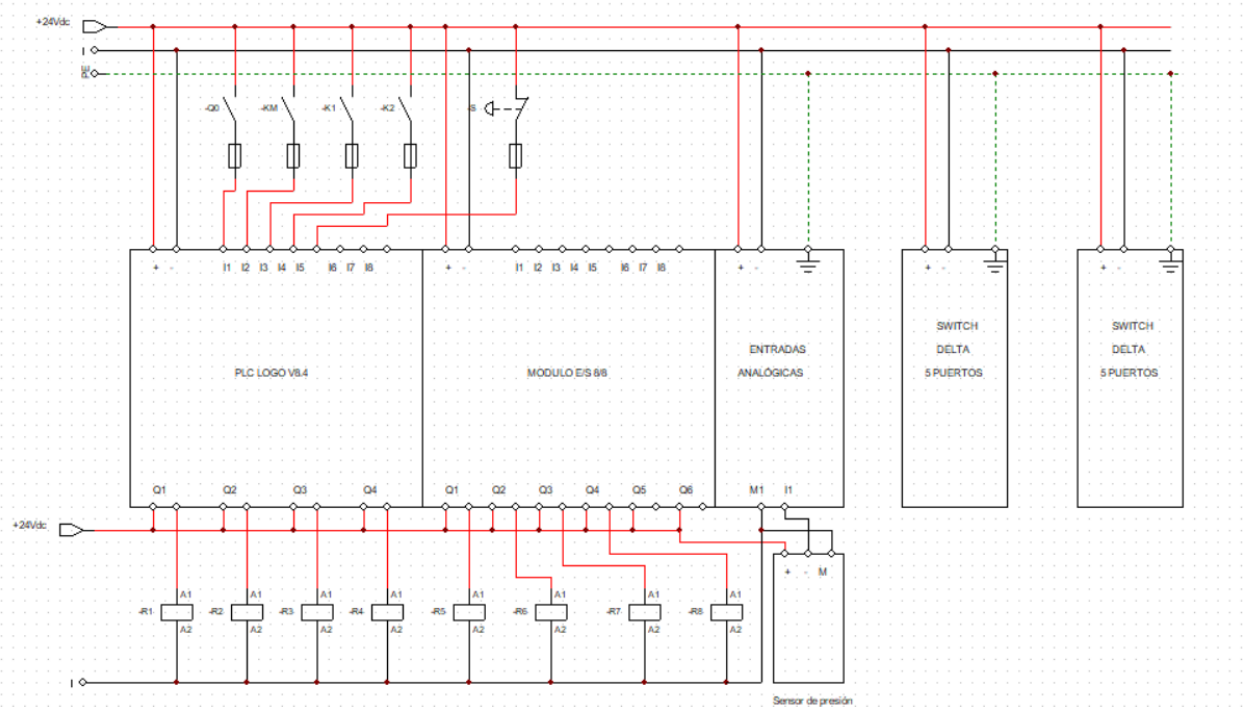
## 2.8 Diagramas de fuerza y control

En la Ilustración 2.6, se puede observar el diagrama de fuerza del tablero de control, el elemento Q0 representa el guardamotor de la bomba, como esta es monofásica es importante realizar el cableado de tal manera que la línea pase por todos los puertos del elemento de protección con el objetivo de que pueda disparar correctamente en casos de emergencia. A comparación del contactor que solo es un elemento de maniobra, solo necesita un puerto. Luego para poder obtener la energía que alimentará a los elementos de control, se conectó en paralelo las baterías de los equipos ubicados en el sector 1 y se conectó un diodo 6A para evitar retorno de energía.



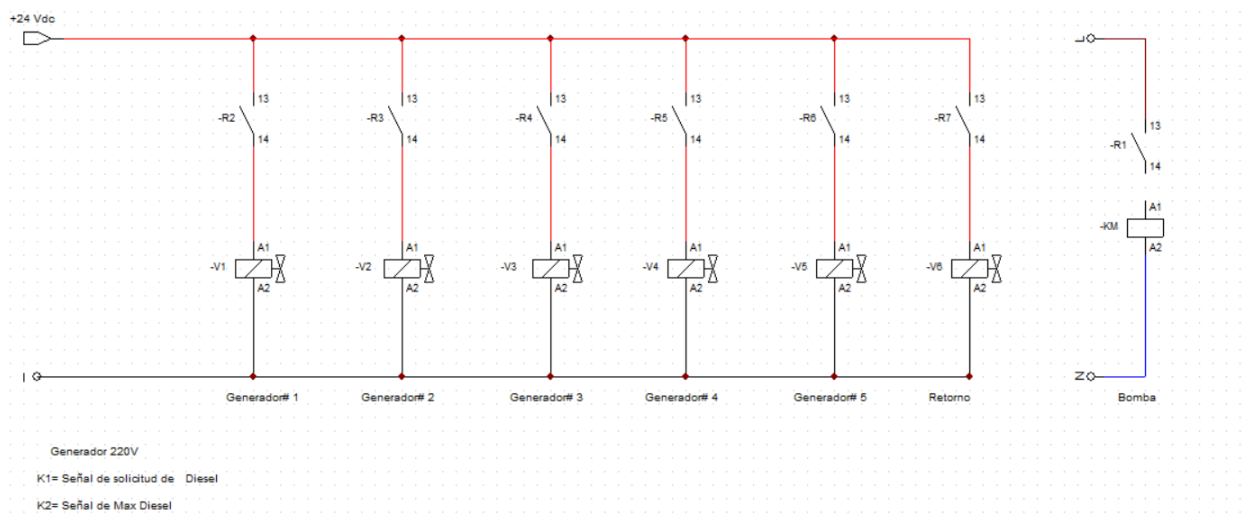
**Ilustración 2.6 Diagrama de Fuerza**

En la Ilustración 2.7, se puede ver las conexiones del PLC con sus respectivos módulos de expansión. Además de los diferentes elementos de protección como los fusibles y los relés. Cabe resaltar, la conexión del sensor de presión es tal cual el fabricante menciona en su manual.



**Ilustración 2.7 Diagrama de control 1**

Por último, en la Ilustración 2.8, se puede ver que cuando los relés son activados los contactos normalmente abiertos son los que hacen accionar a los actuadores, como se puede ver, las electroválvulas están conectadas a 24 Vdc y el contactor del motor está a 110 Vac.



**Ilustración 2.8 Diagrama de control 2**

## 2.9 Topología de red

El principal protocolo de comunicación del proyecto es Modbus TCP/IP con 4 clientes reales. En la Ilustración 2.9, se puede observar las direcciones IP de los clientes, los cuales se comunicarán por el protocolo 502. Se colocó un switch en un panel central, donde se centralizará todos los clientes, luego, mediante un cable se conectará al switch que estará ubicado en el panel principal de control. En este switch tendremos la conexión del PLC y HMI, no obstante, estos se comunicarán por el protocolo S7 usando el puerto 102, cabe aclarar que a la misma vez el PLC se comunicará con los clientes Modbus. Por otro lado, el SCADA al estar muy lejos, se ubicarán un switch como una especie de repetidor para poder evitar pérdidas en la señal, esto se representa en el diagrama con las burbujas verdes. La parte azul, sería las configuraciones que se tendrían que hacer para comunicar el quinto generador, sin embargo, no fue parte del proyecto. La topología que se utilizó fue árbol.

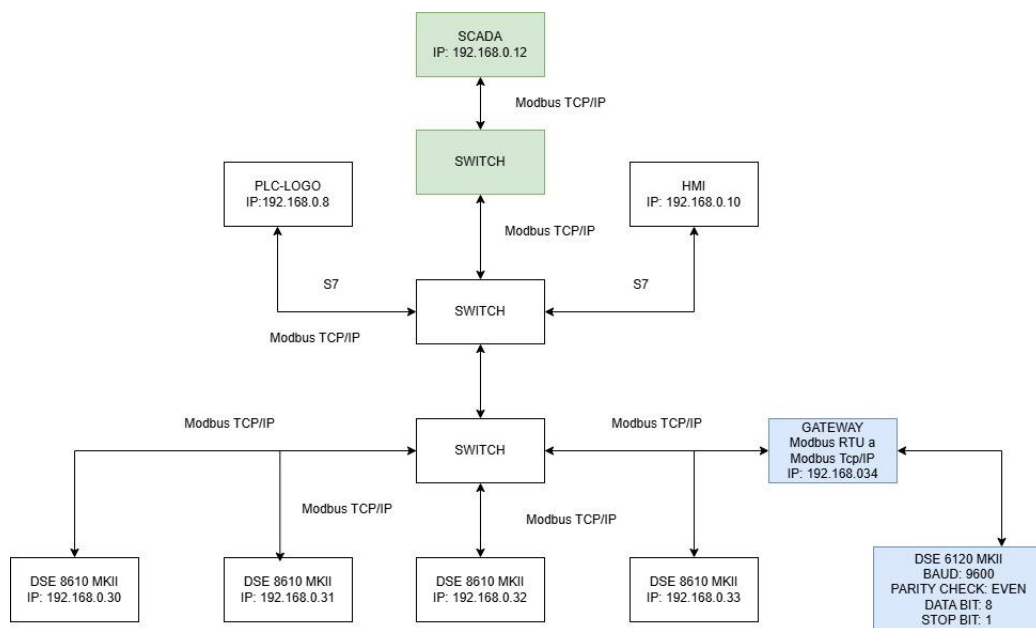
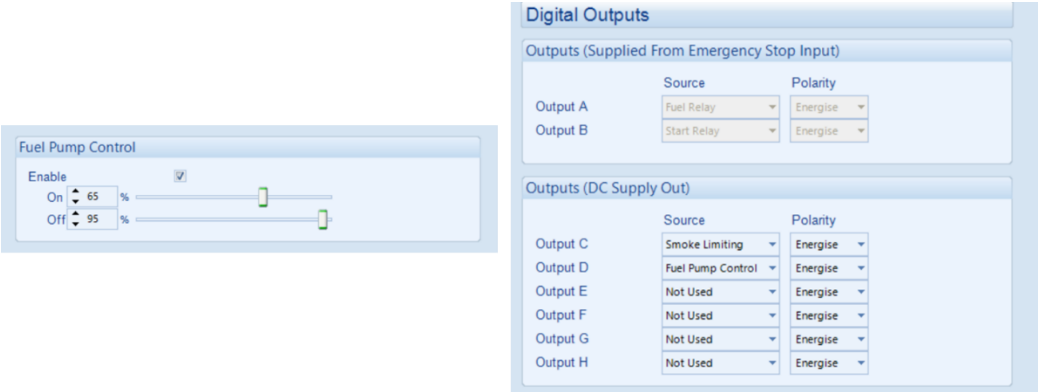


Ilustración 2.9 Topología de red

## 2.10 Parametrización de controladores de grupo electrógenos

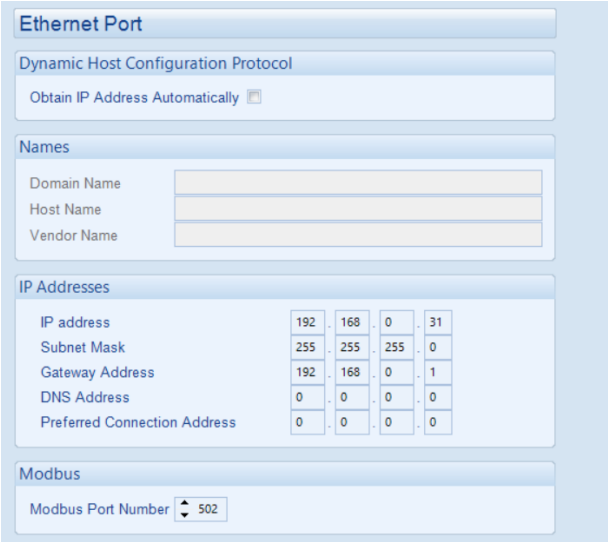
Para realizar la configuración de los controladores se debe de usar el software “DSE CONFIGURATION SUITE”. Como ya se ha mencionado anteriormente los generadores 1 al 4 tenían el DSE 8610 y el quinto generador el DSE 6120. Este último no es parte de la topología de red actual, sino que realizará el control de dosificación mediante una

programación interna del DSE. En la Ilustración 2.10, se puede observar que se habilita la opción de control de combustible en un umbral del 65%-95% (según las recomendaciones), además se programó un contacto normalmente abierto para que se cierre cuando tenga un nivel menor o igual del 65% y se abra cuando llegue a un nivel mayor o igual del 95%.



**Ilustración 2.10 Parametrización DSE 6120**

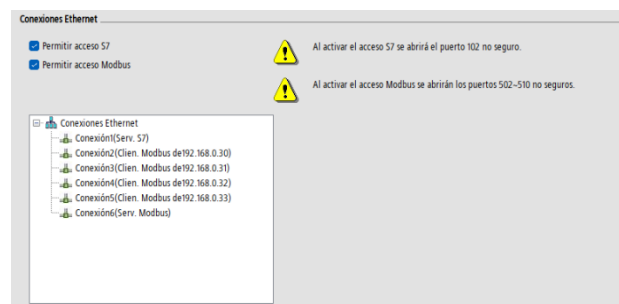
En el caso de los DSE 8610, se usa el mismo programa, sin embargo, no se habilita este control, si no que se configura los puertos de comunicación. En la Ilustración 2.11, se muestra cómo se habilita el puerto Modbus 502, seguido de la asignación de la IP correspondiente, la subred y el default Gateway, este caso sería el generador número 2.



**Ilustración 2.11 Parametrización DSE 8610**

## 2.11 Programación y configuración de PLC

Se realizó la programación y configuración de este dispositivo de control usando el software “LOGO! Soft Comfort V8.4”. Antes de realizar la programación, se debe de configurar los dispositivos que se comunicarán con el controlador. En la Ilustración 2.12, se muestra la configuración donde se definió al HMI como servidor S7, al SCADA como Servidor Modbus y a los otros dispositivos como cliente Modbus. Además, que se habilitaron los puertos 102 y 502 respectivamente para los protocolos usados.

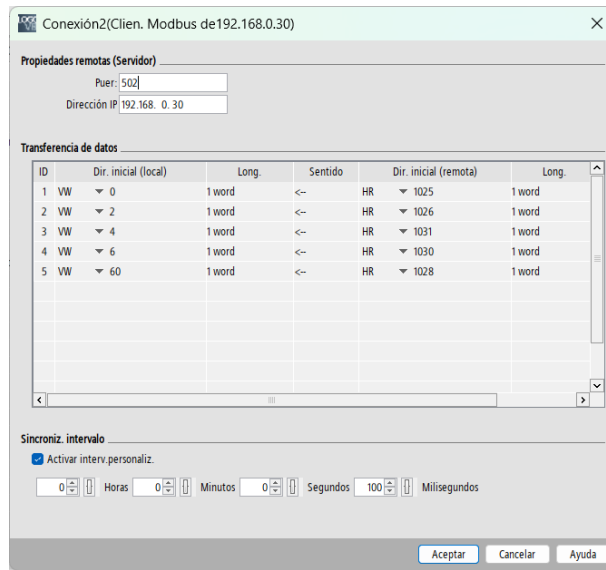


**Ilustración 2.12 Configuración Servidor y cliente**

En el caso del servidor S7, se debe direccionar a la IP que se definió anteriormente en la topología de red. Por otro lado, en la Ilustración 2.13, se observa cómo se realizó el direccionamiento de los DSE como “Holding register”, la dirección de envío (De DSE a PLC) y la solicitud de alguna de las variables mecánicas con su respectivo offset, en la Tabla 2.7, se puede apreciar a detalle dichas variables, resaltando que estas variables fueron solicitadas por el usuario final para verlas en campo.

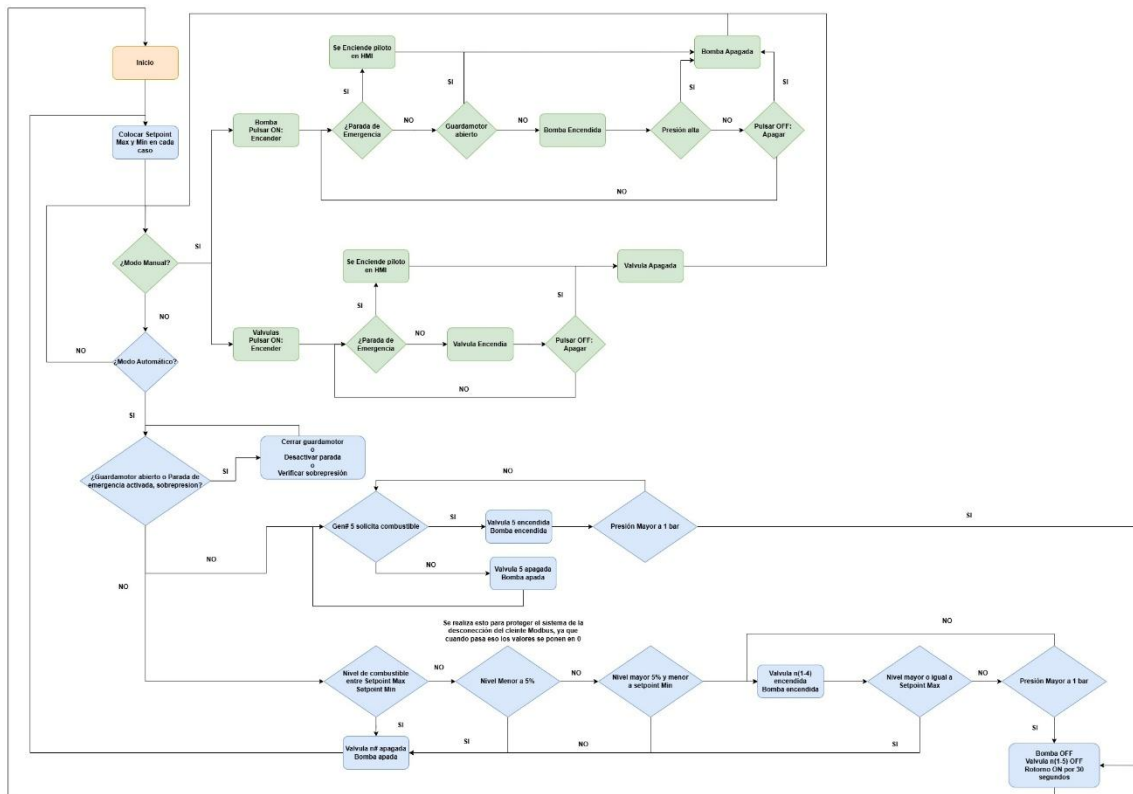
**Tabla 2.7 Variables mecánicas**

Variable	Dirección + offset	Longitud
Presión de Aceite (kPa)	1024+1	16 bits
Temperatura de Refrigerante (°C)	1025+1	16 bits
Velocidad de Motor (RPM)	1030+1	16 bits
Voltaje de Batería (Vdc)	1029+1	16 bits
Nivel de combustible (%)	1027+1	16 bits



**Ilustración 2.13 Direccinamiento y configuración cliente Modbus**

A continuación, se presenta la configuración realizada para definir el servidor Modbus. En la Ilustración 2.14, se presenta un diagrama de flujo que representa la lógica de programación realizada en el proyecto con algunas acotaciones y comentarios que ayudarán al entendimiento de esta.

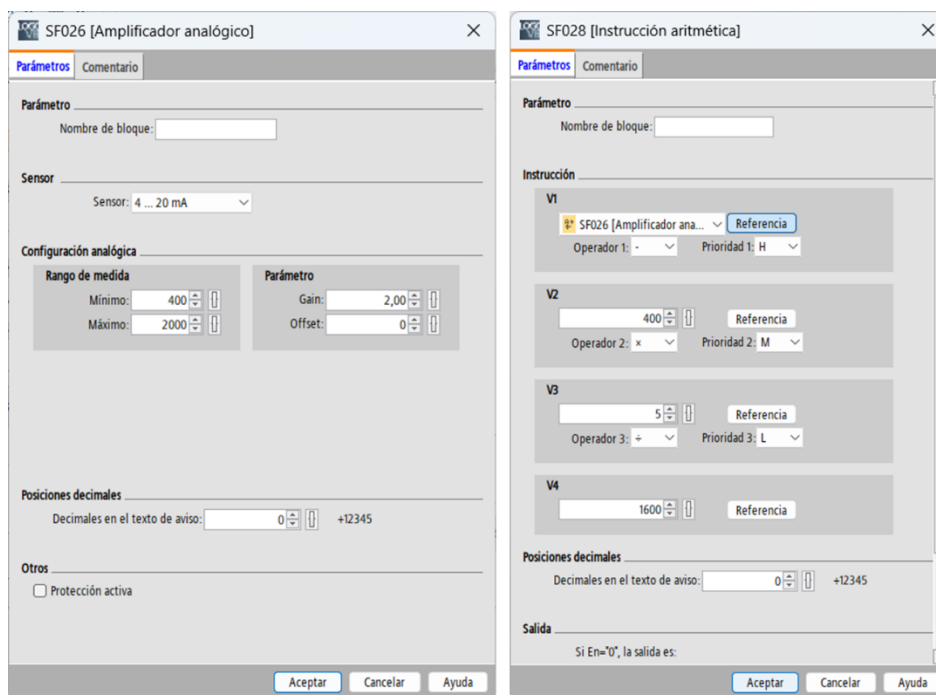


**Ilustración 2.14 Diagrama de flujo del proyecto**

En la Ilustración 2.14, hay un apartado donde se notificó que se implementó unas líneas de código para prevenir derrames. En el caso del PLC utilizado en el proyecto no se puede detectar un fallo en la comunicación de alguno de los clientes, por otro lado, las variables que se solicitan de los clientes se valoran en cero, por tanto, con una programación convencional encendería el sistema, sin embargo, se ubicó una restricción para que el sistema no se active cuando se detecte un nivel menor al 5%. Entonces para evitar una mala dosificación se debe ubicar setpoints entre un 95% a 65%, esto evitará que los generadores se queden sin combustible.

## 2.12 Parametrización de sensor

En la Ilustración 2.15, se puede observar cómo se parametrizó el sensor dentro del PLC. Los bloques que se utilizaron escalaron los valores del sensor de 4-20mA a 400-2000. Luego por medio de una ecuación lineal se obtiene valores de 0 a 5 bares.



**Ilustración 2.15 Parametrización de sensor de presión**

Para la ecuación lineal se consideró como variable independiente el valor escalado y la dependiente fue el valor de presión en bares.

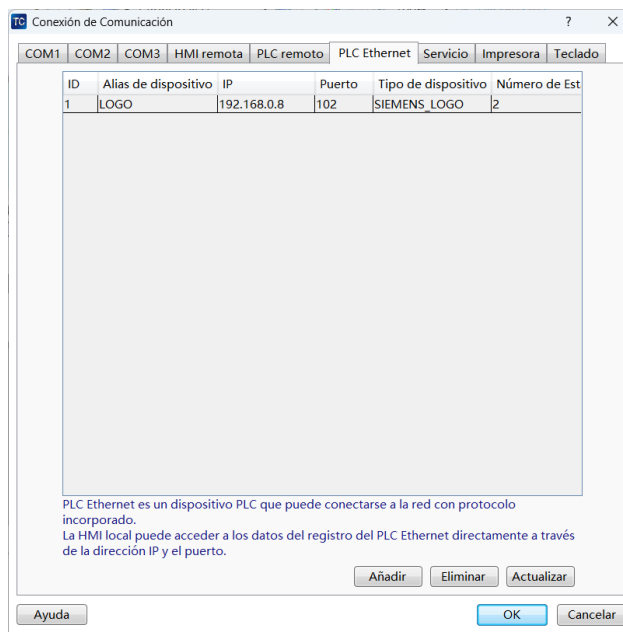
## 2.13 Definición de programa para HMI

Se definió que el HMI al estar en campo tendría 5 pantallas, las cuales se describen en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8 Descripción de pantallas de HMI**

Pantalla	Descripción
Principal	Esta pantalla contiene los niveles de los tanque y estado de los actuadores. Además, de contener la botonera de inicio del proceso
Parámetros de Generador	En esta pantalla contiene las variables mecánicas descritas anteriormente
Modo de Operación	En esta pantalla los usuarios podrán elegir la manera de trabajar de cada actuador (Manual-Automático)
Panel de Operación	En esta pantalla contiene las botoneras de marcha-paro, además, de poder ubicar los setpoints de máximo y mínimo.
Alarma	En esta pantalla se ubica los pilotos de paro de emergencia y sobrecarga del motor

Luego de definir las pantallas se realizó la configuración para la comunicación con el PLC. En la Ilustración 2.16, se muestra que se definió el protocolo de comunicación, dirección IP y puerto. El software que se utilizó para realizar las tareas mencionadas fue INVT TC Studio Pro.



**Ilustración 2.16 Configuración de HMI**

## 2.14 Definición de pantallas para programa SCADA

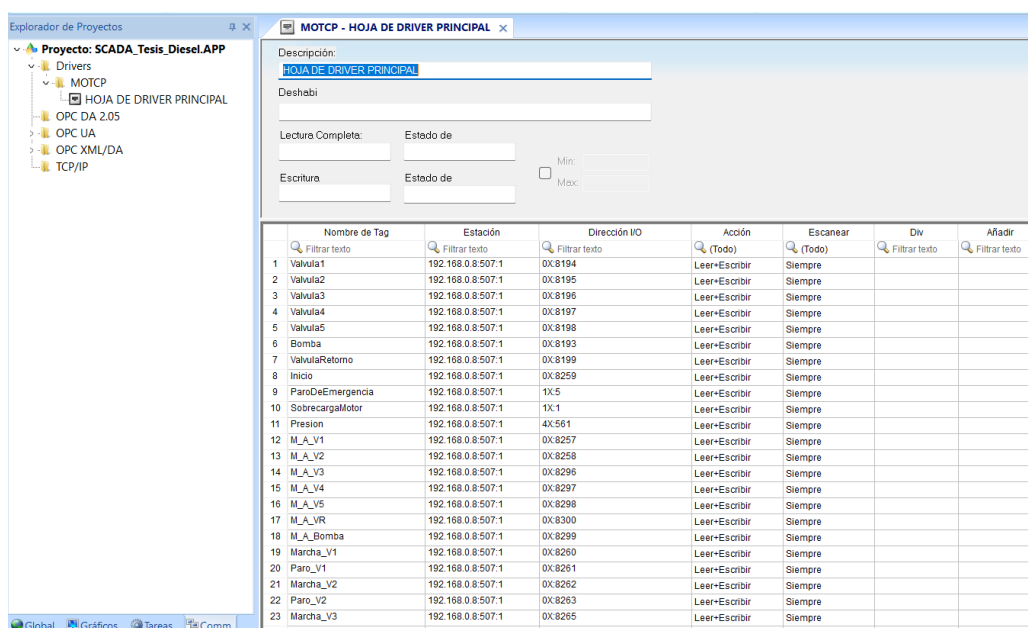
Para el desarrollo del SCADA se consideró las mismas funciones que tiene el HMI, además, como el objetivo de este elemento es supervisar más variables de interés y alarmas de los propios generadores se implementarán más pantallas y otras funciones.



En la Tabla 2.9, se podrá observar la planificación que se tuvo para el sistema, la cual, se basa en las configuraciones que los controladores inteligentes de los generadores tienen. El software que se utilizó fue indusoft web studio, mismo donde se realizó la configuración para tener múltiples clientes modbus como se observa en la Ilustración 2.13.

**Tabla 2.9 Pantalla SCADA**

Pantalla	Descripción
Principal	Muestra una representación del sistema similar al P&ID que se realizó con algunas variables de interés como nivel de combustible, voltaje de batería, etc. Además de los estados
Parámetros Generador# 1	Se mostrarán las variables de interés de Generador# 1
Parámetros Generador# 2	Se mostrarán las variables de interés de Generador# 2
Parámetros Generador# 3	Se mostrarán las variables de interés de Generador# 4
Parámetros Generador# 4	Se mostrarán las variables de interés de Generador# 3
Alarmas	Se mostrarán las alarmas que muestre cada generador y el del panel de diésel
Modo de dosificación diésel	Se ubicará espacios para escribir y leer setpoints, cambiar los modos de operación (Auto-Manual)
Panel de operación	Se ubicarán botoneras para encender y apagar los actuadores manualmente, además de mostrar los estados de los actuadores



**Ilustración 2.17 Comunicación SCADA Maestro-Esclavo Modbus**

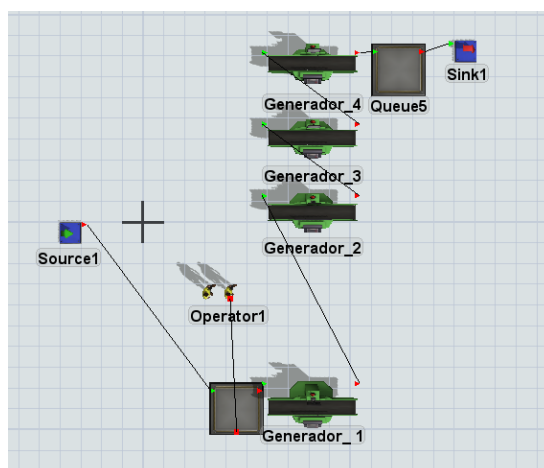
## 2.15 Definición de modelo de planta previo al proyecto

Debido a que uno de los objetivos del proyecto fue mejorar los tiempos muertos del capital humano es preciso crear un modelo que nos ayude a aproximar el comportamiento del personal previo a la implementación del proyecto. Se tomó en cuenta los datos que se pueden ver en la Tabla 2.10, con respecto, a la velocidad de una persona promedio al caminar, pero ubicándole un factor de corrección del 40% debido a que estaría cargando una manguera uno de los operarios, caudal de la bomba (será la misma utilizada en el proyecto) y las distancias reales según el plano arquitectónico de la planta visto en la Ilustración 2.1.

**Tabla 2.10 Métricas para modelado de planta**

<b>Velocidad</b>	0.8 m/s [27]
<b>Caudal de bomba</b>	30 galones por minuto
<b>Número de operarios</b>	2 (1 carga la manguera y 1 opera la bomba)

Además, para tener igualdad de condiciones entre el modelo creado y el proyecto se trabajará con valores equivalentes en tiempo a la cantidad de combustible dosificado en cada generador durante la prueba. Las configuraciones de los elementos se encuentran en el apéndice. El modelo se los puede observar en la Ilustración 2.18.



**Ilustración 2.18 Modelo de simulación**

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se mostrará las pantallas del HMI y SCADA, según la especificación y definición que se realizó en el capítulo anterior. Además, se mostrará como funcionaría la lógica de programación dentro un ambiente de simulación que se asemeje lo más parecido a la realidad. En la parte eléctrica y mecánica, se mostrará evidencia de los elementos definidos como bomba seleccionada, tubería, entre otros. Añadiendo, la puesta en marcha del panel y los elementos de comunicación según la topología de la red.

### 3.1 Resultado de programación de HMI y SCADA

La programación del HMI se realizó de tal manera que el usuario tendría acceso a todas las pantallas en todo momento, en la Ilustración 3.1, se puede observar el menú de las pantallas tal y como se había diseñado en la Tabla 2.8.

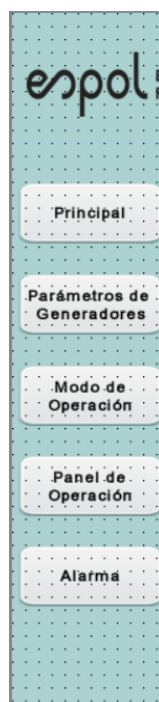
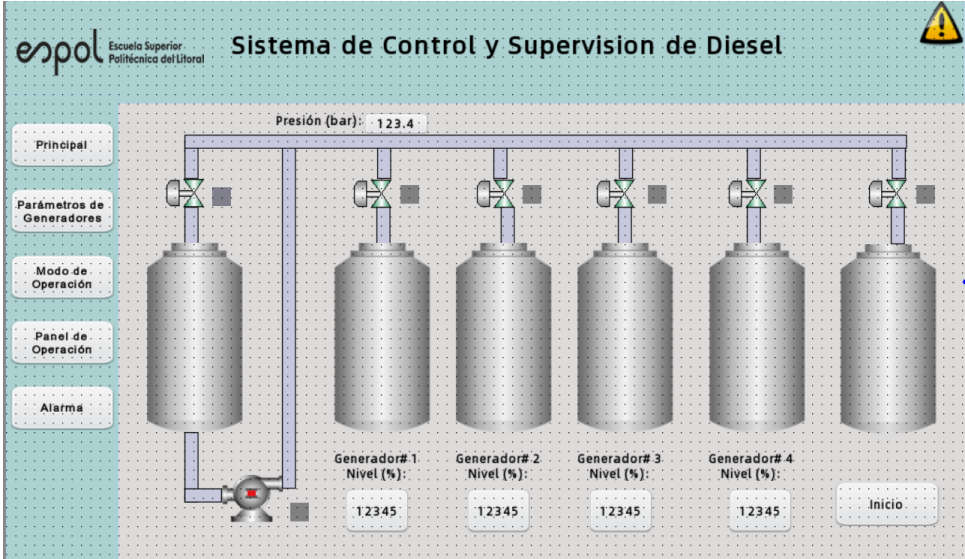


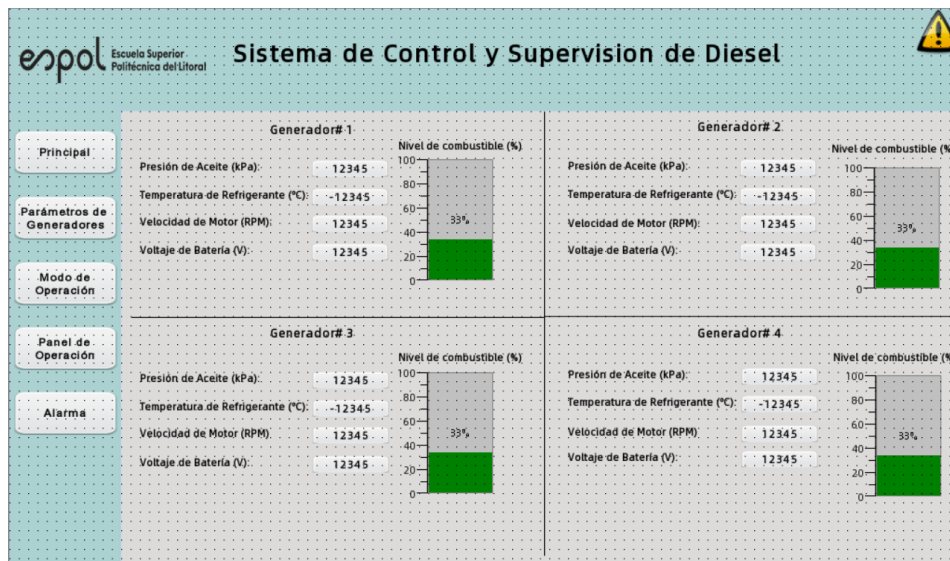
Ilustración 3.1 Menú HMI

En la Ilustración 3.2, se observa la pantalla principal donde se utilizó un piloto gris oscuro para identificar el actuador está apagado y un piloto blanco para cuando el actuador esté prendido. En la esquina inferior izquierda está el botón de inicio del proceso, junto a eso se encuentra el porcentaje de llenado de los tanques diarios de los generadores, añadiendo que en la parte superior se encuentra la presión de la tubería en bares.



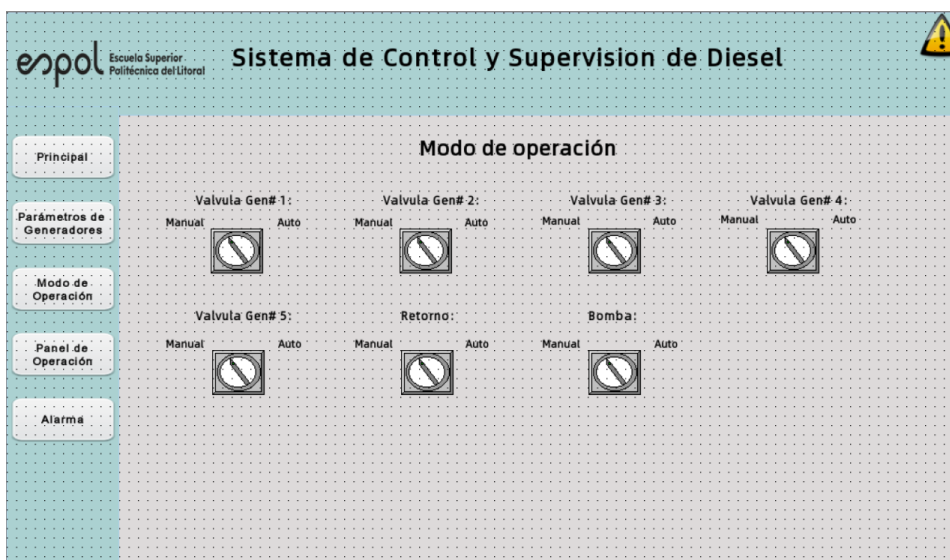
**Ilustración 3.2 HMI-Pantalla Principal**

En la Ilustración 3.3, se muestra los parámetros mecánicos de cada generador como ya se los había definido anteriormente. Junto a cada variable se muestra las unidades de cada variable, resaltando que el nivel de combustible se muestra en un gráfico iterativo para mejor observación.

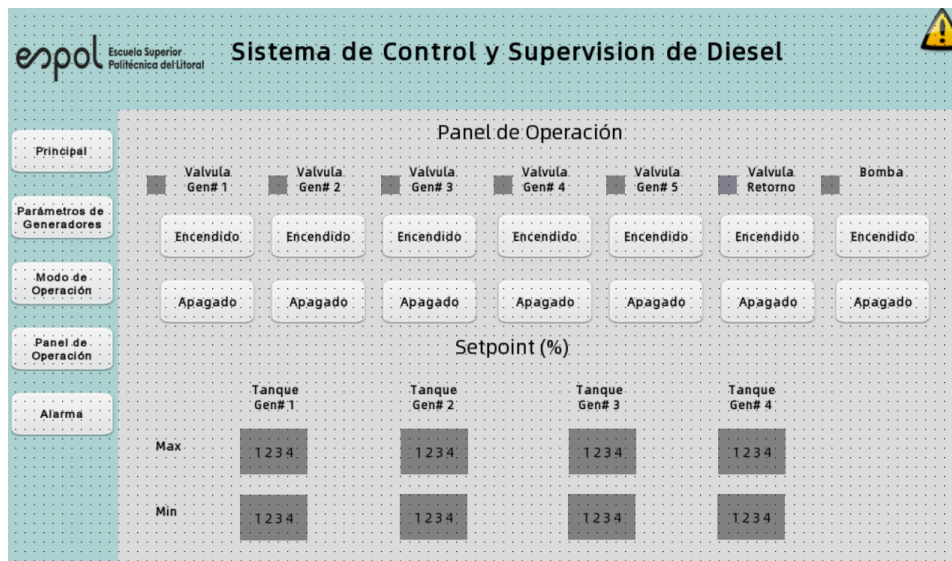


**Ilustración 3.3 HMI-Parámetros de Generador**

En las Ilustración 3.4 e Ilustración 3.5, se muestran las pantallas de “Modo de Operación” y “Panel de Operación”. Estas se desarrollaron mediante a la planificación propuesta en secciones anteriores



**Ilustración 3.4 HMI- Modo de Operación**



**Ilustración 3.5 HMI- Panel de Operación**

Por último, en la Ilustración 3.6, se muestra la pantalla de alarma donde se pueden ver las luces piloto que muestra una luz roja cuando la alarma está activa y verde cuando esta desactivada. Además, en todas las pantallas cuando se activa una alarma se muestra un ícono amarillo de advertencia; hay que recalcar que para resetear el sistema se aplasta el botón de inicio.



**Ilustración 3.6 HMI- Alarma**

Con respecto a las pantallas del SCADA, en la Ilustración 3.7, se presenta la pantalla principal del sistema, que de la misma manera que en el HMI se presentó los estados de

los actuadores y variables de interés del sistema de dosificación, además, del botón de inicio.

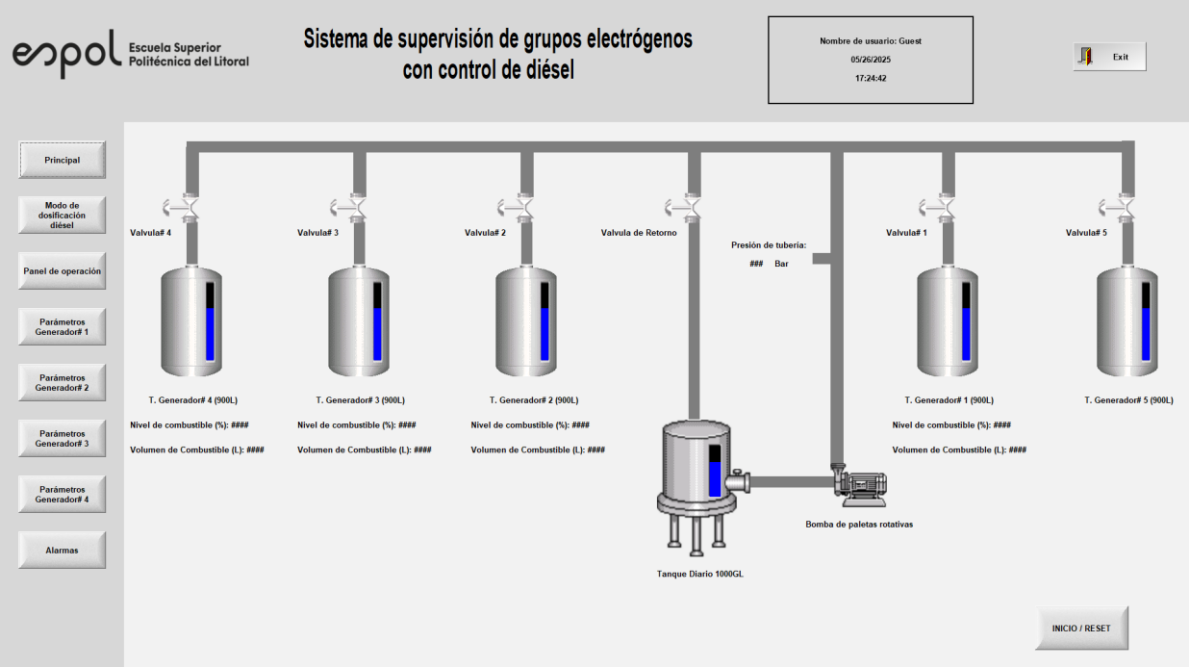


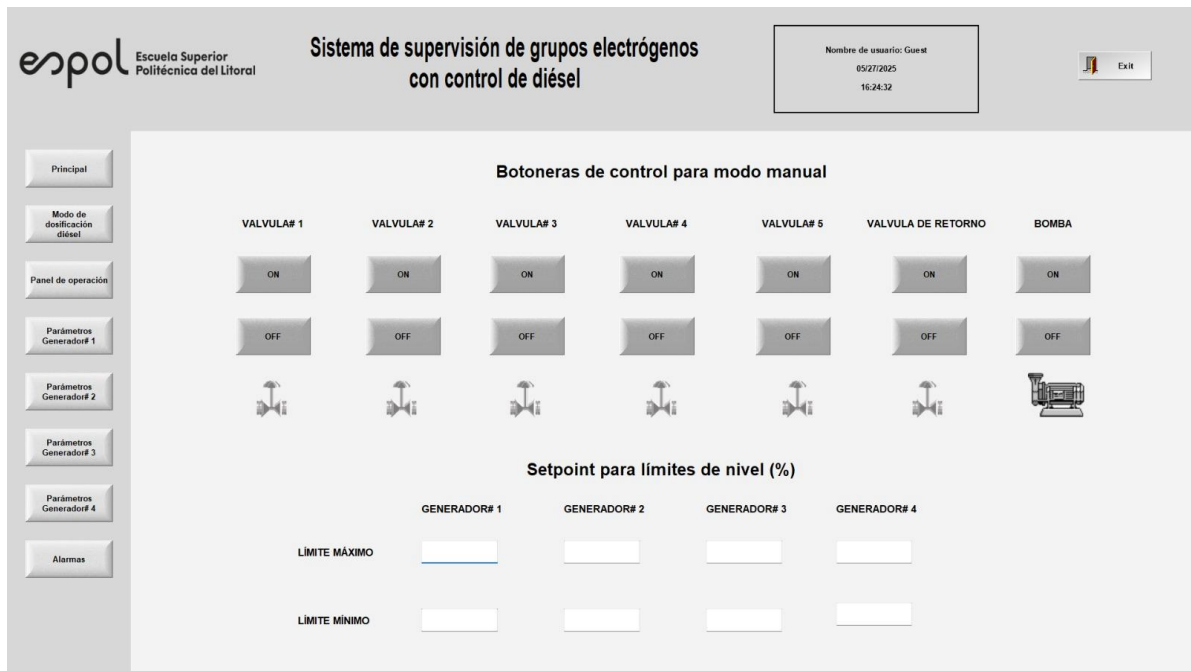
Ilustración 3.7 SCADA-Principal

En la Ilustración 3.8, se puede observar la página de modo de operación para cada uno de los actuadores del sistema.



Ilustración 3.8 SCADA- Modo de operación

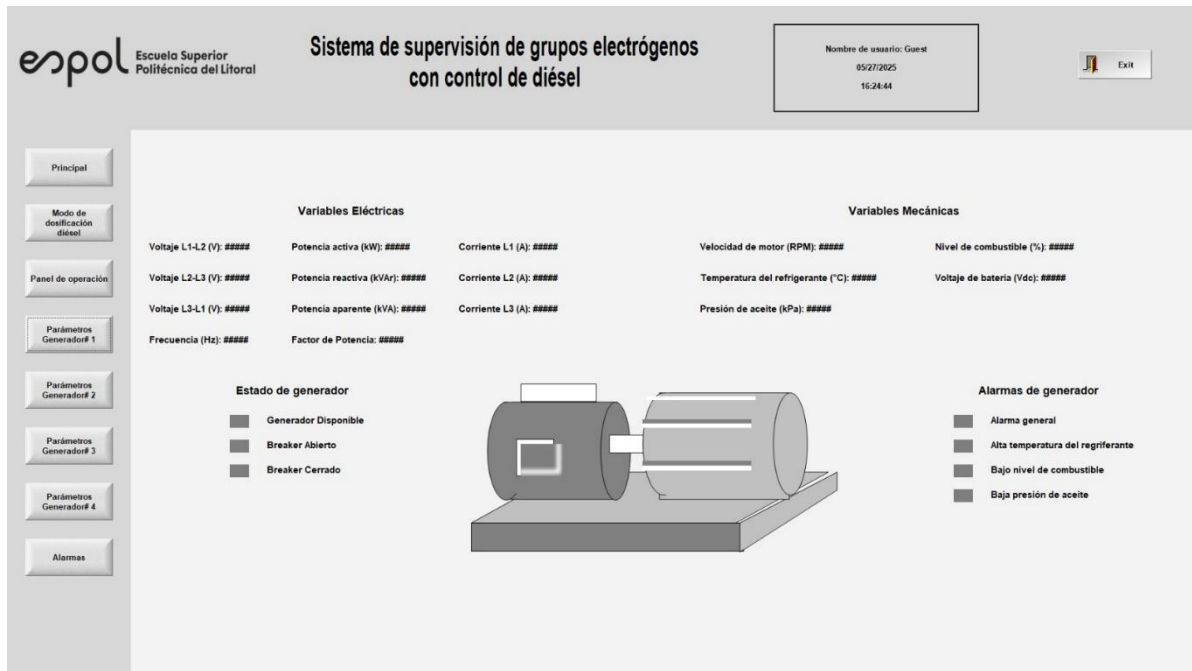
En la Ilustración 3.9, se puede observar la pantalla que será el panel de control para el modo manual y la ubicación de los setpoints



**Ilustración 3.9 SCADA- Panel de operación**

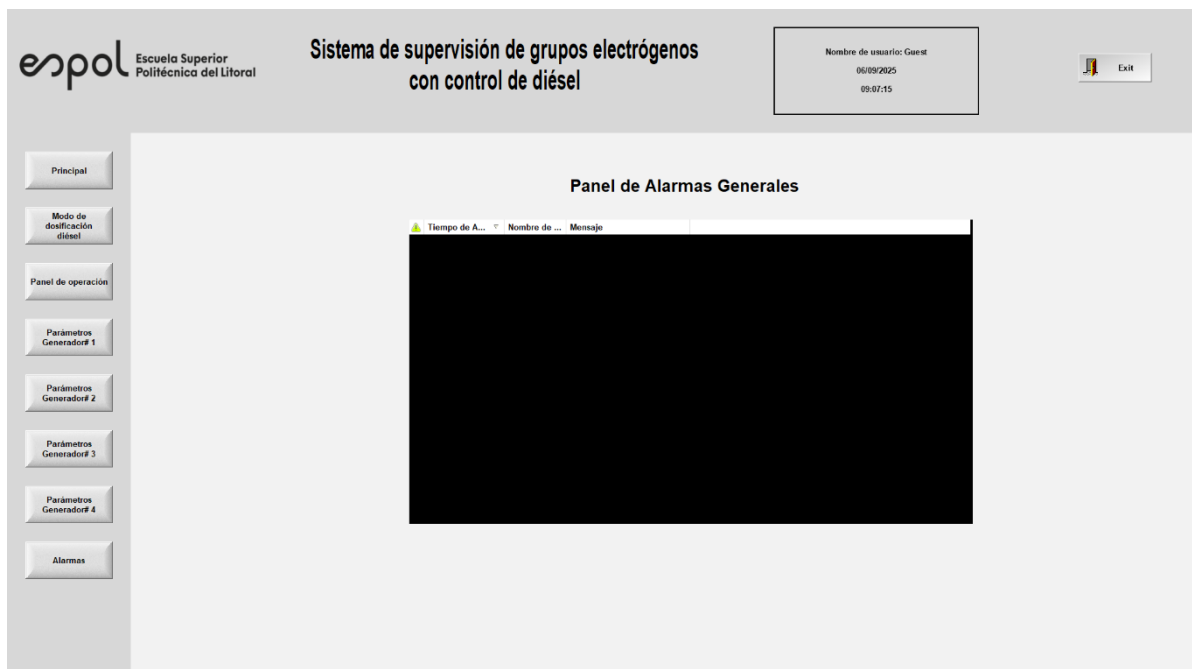
Para los parámetros de los generadores se seleccionó variables eléctricas de interés como potencia reactiva, activa, aparente, corrientes de línea, etcétera. Además, se les ubicó parámetros mecánicos de interés, los cuales se pueden ver en el HMI de la planta. Se le ubicó pilotos de alarma y estados de generador, cabe resaltar que estas alarmas son detectadas mediante el controlador de cada generador y transmitidos al SCADA, además, se utilizó la misma estructura para el resto de los generadores. Esta estructura se muestra en la Ilustración 3.10.





**Ilustración 3.10 SCADA-Parámetro de generadores**

En la Ilustración 3.11, se muestra la página de alarmas del sistema tanto de los generadores como el del sistema de diésel



**Ilustración 3.11 SCADA-Alarmas**

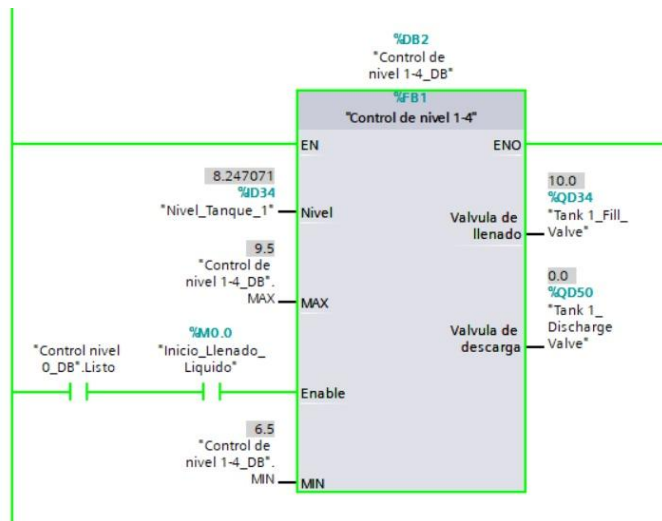
### 3.2 Resultado de Entorno de simulación para lógica programada

Para realizar la simulación lo que se hizo fue crear un pequeño entorno dentro del programa "Factory IO" donde se configuraron 6 tanques, los cuales representan, los 5 tanques diarios de cada generador y otro el tanque principal. En la Ilustración 3.12, se puede ver el entorno que se desarrolló para simular el sistema, añadiendo que, se ubicó una pequeña planta como una ejemplificación del entorno real de la firma.

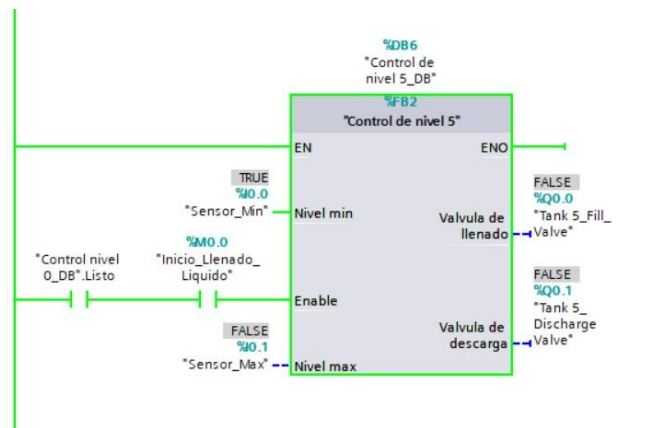


**Ilustración 3.12 Entorno de simulación**

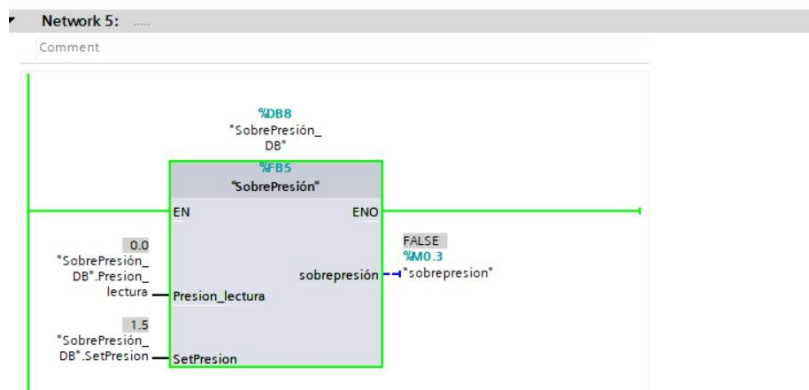
Se programó un S7-1500 y un HMI usando el programa Tia portal, además, se creó un PLC virtual usando PLC SIM Advance para poder crear una conexión entre el entorno de simulación y los dispositivos de control virtuales. El programa que se ubicó en el PLC virtual está hecho en base a la programación realizada en el PLC real con respecto a la manera que se realiza el control de dosificación, sin embargo, se añadió dentro de los bloques de función, la opción de descargar el líquido para que cuando se llene el tanque a nivel se pueda descargar, simbolizando el consumo de combustible. En la Ilustración 3.13, se puede ver el bloque de función que se utilizó para los 4 tanques diarios de los generadores en sincronismo, los cuales utilizan valores de nivel para poder realizar el control de dosificación, mientras que en la Ilustración 3.14, se representa el tanque# 5, donde el mismo controlador hace el control de nivel su ubicó una programación digital mediante contactos y señores de máximo y mínimo. En la Ilustración 3.15, muestra el bloque para la protección de sobrepresión de la tubería, donde si es mayor al setpoint se manda a apagar el sistema.



**Ilustración 3.13 Bloque de función control nivel 1-4**



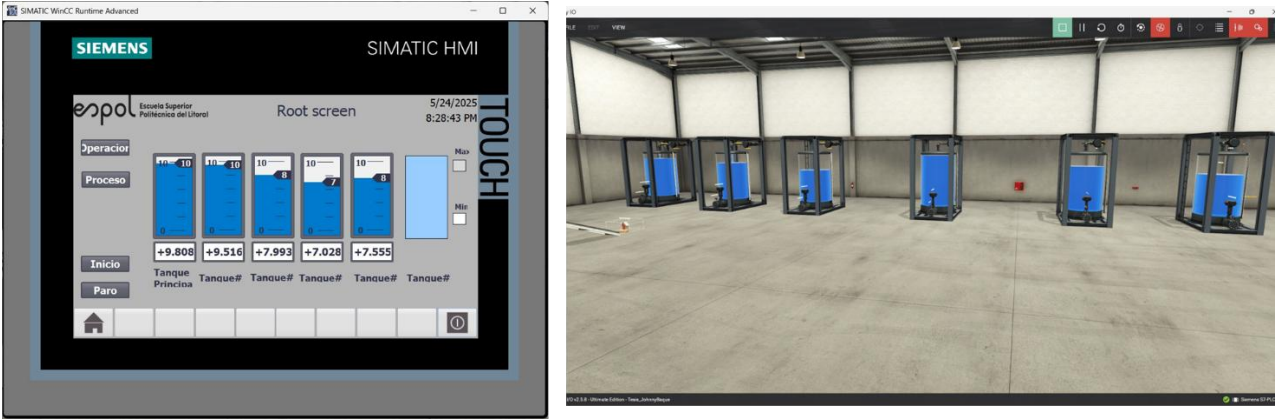
**Ilustración 3.14 Bloque de función Control nivel 5**



**Ilustración 3.15 Bloque de función de Sobrepresión**

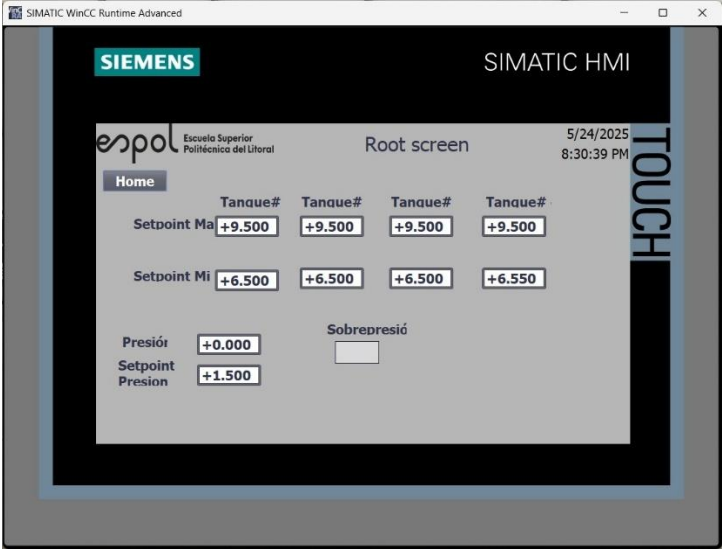
El HMI constó de 3 pantallas: principal, operación y proceso. Esta última se lo podrá ver a detallan en la sección de apéndice. En la Ilustración 3.16, se muestra la pantalla

principal donde se presentan los valores de nivel que son enviados por el entorno de simulación en tiempo real



**Ilustración 3.16 Simulación de dosificación y transmisión de datos**

En la Ilustración 3.17, se muestra la pantalla operación, donde se ubicaron los espacios para escribir los setpoints para mínimo y máximo nivel de los tanques, además una pequeña sección para evaluar la protección de sobrepresión.



**Ilustración 3.17 Pantalla de operación**

En el siguiente link se encuentra un vídeo de la simulación realizada:  
<https://youtu.be/135wP8Q0qtl>

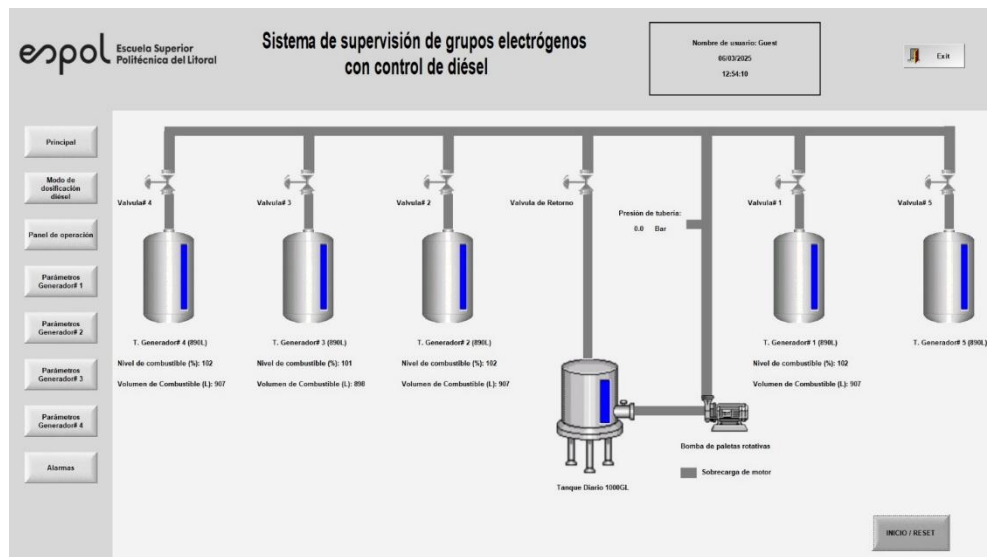
### 3.3 Prueba de comunicación de SCADA en planta sin carga

Para realizar la simulación de la prueba del SCADA se conectó el sistema tal y como se muestra en la Ilustración 3.18, siguiendo la topología de la red presentada en capítulos anteriores.



**Ilustración 3.18. Conexión SCADA con Red industrial**

En la Ilustración 3.19, se muestra la pantalla principal donde se observa el nivel de combustible de los tanques diario, estado de actuadores entre otros.



**Ilustración 3.19 Prueba-SCADA-Principal**

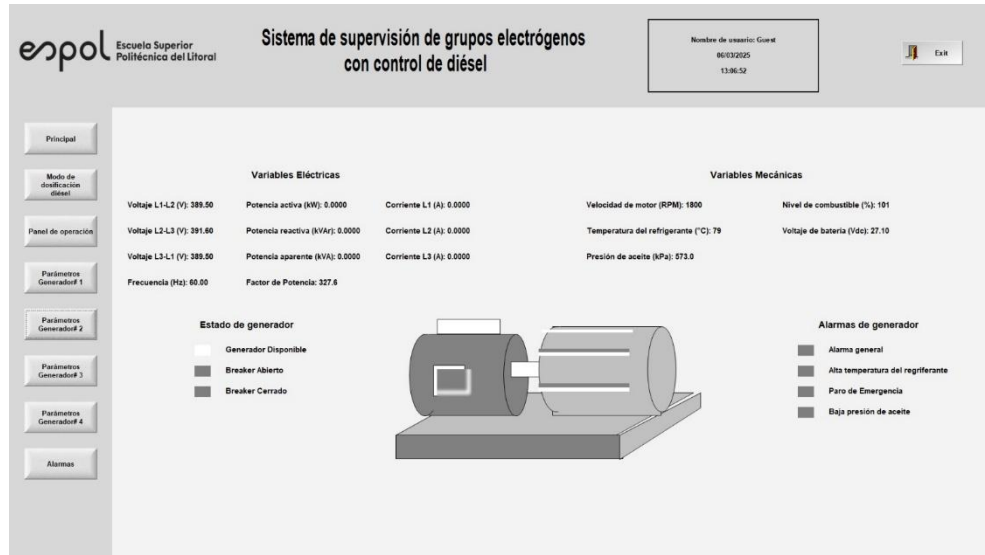
En la Ilustración 3.20, se muestra al generador número uno trabajando, pero en vacío donde se puede observar el voltaje, la frecuencia, variables mecánicas y estado del

generador, cabe resaltar que le factor de potencia envía un número “sin sentido” debido a que el equipo está sin carga, no puede determinar el valor.



**Ilustración 3.20 Prueba-SCADA-Gen# 1**

En la Ilustración 3.21, se muestra el caso del generador dos



**Ilustración 3.21 Prueba-SCADA-Gen# 2**

En la Ilustración 3.22, se muestra el caso de generador tres



**Ilustración 3.22 Prueba-SCADA-Gen# 3**

En la Ilustración 3.23, se muestra el generador cuatro, sin embargo, este no estaba prendido durante la prueba por tanto las variables eléctricas son 0



**Ilustración 3.23 Prueba-SCADA-Gen# 4**

En la Ilustración 3.24, se muestra la pantalla de alarmas, como se puede observar se pulsó la botonera de paro de emergencia y guardamotor del sistema de diésel para activar una alarma en el SCADA. Luego se desactivó dichos eventos y las alarmas cambiaron de color especificando que ya no están activas, en la Ilustración 3.25, se puede observar esto.

⚠	Tiempo de A...	Nombre de Tag	Mensaje
⚠	06/03/2025 13:10:24	SobrecargaMotor	Bomba Sobrecargada
⚠	06/03/2025 13:10:23	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia

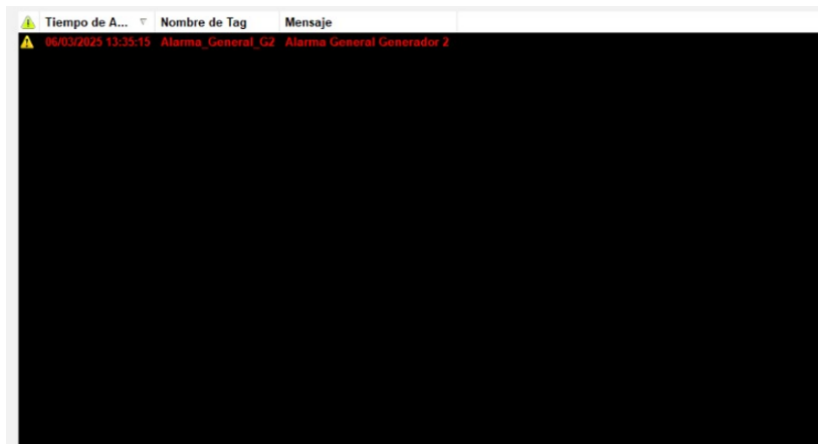
**Ilustración 3.24 Prueba-SCADA-Alarma**

⚠	Tiempo de A...	Nombre de Tag	Mensaje
⚠	06/03/2025 13:10:24	SobrecargaMotor	Bomba Sobrecargada
⚠	06/03/2025 13:10:23	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia

**Ilustración 3.25 Prueba-SCADA-Alarma\_2**

En la Ilustración 3.26, se puede observar una alarma que se envió desde el generador número 2.





**Ilustración 3.26 Prueba-SCADA-Alarma-3**

En la Ilustración 3.27, se muestra cómo se guardaron las alarmas dentro de una base de datos interna. Cabe resaltar que cuando se ponga en marcha el sistema se debe ubicar otra base de datos propia de la empresa con diferente ruta.

Al Start Time	Al Start Time_ms	Al Tag	Al Message
5/30/2025 4:48:50 PM	959	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
5/30/2025 4:48:50 PM	959	SobrecargaMotor	Bomba Sobrecargada
5/30/2025 4:48:50 PM	959	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
5/30/2025 4:48:50 PM	959	SobrecargaMotor	Bomba Sobrecargada
5/30/2025 4:48:50 PM	959	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
5/30/2025 4:48:50 PM	959	SobrecargaMotor	Bomba Sobrecargada
6/3/2025 2:02:35 PM	367	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
6/3/2025 2:41:52 PM	221	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
6/3/2025 4:37:38 PM	830	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
6/3/2025 4:38:01 PM	520	SobrecargaMotor	Bomba Sobrecargada
6/3/2025 4:46:03 PM	237	Alarma_General_G2	Alarma General Generador 2
6/3/2025 5:37:44 PM	612	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
6/3/2025 6:10:23 PM	589	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
6/3/2025 6:10:24 PM	837	SobrecargaMotor	Bomba Sobrecargada
6/3/2025 6:21:40 PM	573	Alarma_General_G2	Alarma General Generador 2
6/3/2025 6:21:40 PM	573	Alarma_General_G2	Alarma General Generador 2
6/3/2025 6:35:15 PM	928	Alarma_General_G2	Alarma General Generador 2
6/3/2025 6:35:15 PM	928	Alarma_General_G2	Alarma General Generador 2
6/6/2025 1:07:45 PM	998	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
6/6/2025 1:07:45 PM	998	SobrecargaMotor	Bomba Sobrecargada
6/6/2025 1:30:26 PM	195	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
6/6/2025 1:30:26 PM	195	SobrecargaMotor	Bomba Sobrecargada
6/6/2025 3:07:09 PM	142	ParoDeEmergencia	Sistema de diesel con Paro de Emergencia
6/6/2025 3:07:09 PM	142	SobrecargaMotor	Bomba Sobrecargada

**Ilustración 3.27 Prueba-SCADA-Base de datos**

### 3.4 Resultado y puesta en marcha del sistema dentro de campo con carga

#### 3.4.1 Elementos mecánicos y actuadores

En la Ilustración 3.28, se muestra cómo se ubicaron los elementos de tuberías para la admisión de cada generador, cabe resaltar que se colocó como último elemento una manguera con el objetivo de que amortigüe las vibraciones del generador y así no estresar los elementos rígidos.



**Ilustración 3.28 Tuberías, filtros y actuadores**

Una vez que se comprobó que el sistema no contaba con problemas de fuga, se procedió a realizar el cableado del sistema para poder alimentar los actuadores y realizar la comunicación de los sistemas.

En las Ilustración 3.29, Ilustración 3.30 e Ilustración 3.31, se puede observar cómo se está conectando las electroválvulas, motor y el sensor de presión respectivamente. Además, en la Ilustración 3.31, se puede observar el indicador de presión (manómetro)



**Ilustración 3.29 Conexión de electroválvula**



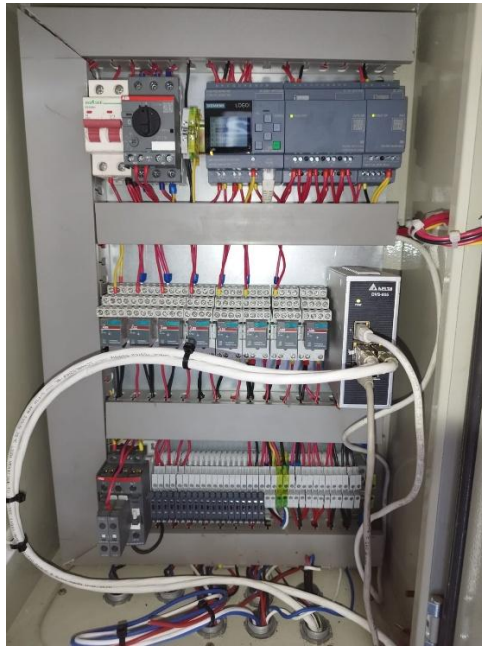
**Ilustración 3.30 Registro de bomba**



**Ilustración 3.31 Conexión de sensor**

### **3.4.2 Paneles de control y elementos de control**

Siguiendo los planos eléctricos presentados en secciones anteriores, se procedió a ensamblar el panel de control principal siguiendo los componentes descritos en las tablas descritas en el capítulo dos. En la Ilustración 3.32, se puede observar el panel físico (parte interior) que se instaló en la planta, se observa el PLC con los módulos de expansión pertinentes, el switch de 5 puertos para la comunicación, y los elementos de protección. En la Ilustración 3.33, se puede ver las conexiones que se realizaron para la pantalla HMI tanto para la alimentación y comunicación.

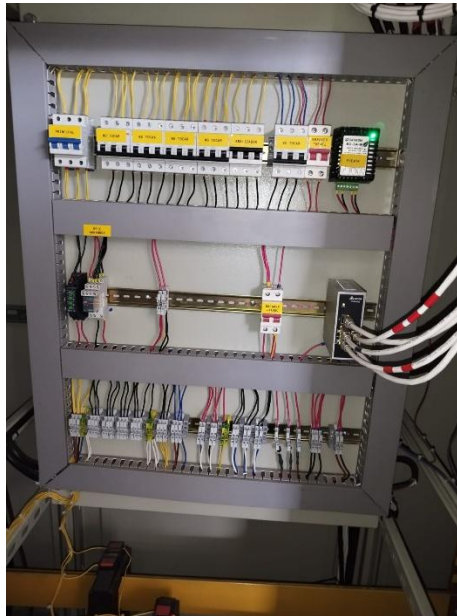


**Ilustración 3.32 Panel de control**



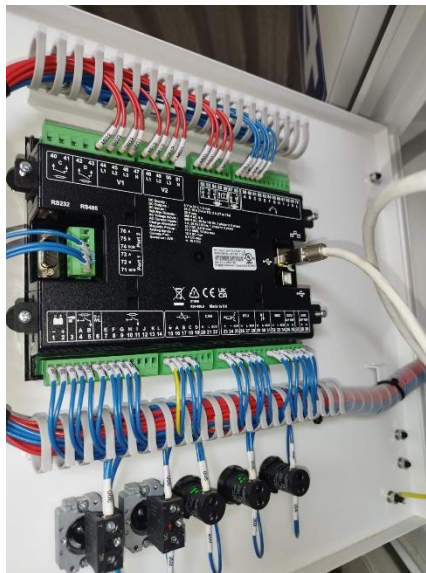
**Ilustración 3.33 Panel de control (puerta)**

Como se mencionaba en la topología de la red se decidió centralizar los cables de comunicación en un panel donde se encuentran las “Barras de sincronismo” mediante un switch de 5 puertos como se observa en la Ilustración 3.34.



**Ilustración 3.34 Switch central**

Los controladores inteligentes de los generadores fueron conectados mediante su interfaz ethernet como se muestra en la Ilustración 3.35.



**Ilustración 3.35 Conexión a los módulos DSE**

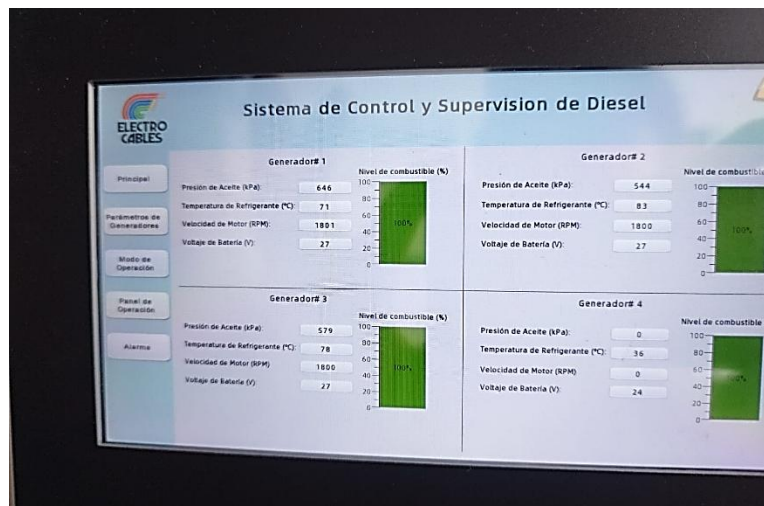
### **3.4.3 Pruebas de panel principal**

En la Ilustración 3.36, se puede ver los valores que se reciben mediante la comunicación del sistema, en específico se muestra la pantalla principal con los valores de nivel en porcentaje y el valor de presión (la bomba está apaga por eso el valor es 0).



**Ilustración 3.36 Comunicación DSE y Pantalla principal**

En la Ilustración 3.37, se muestra como el sistema está trabajando con respecto a todas las variables mecánicas que se definieron anteriormente en el capítulo 2. Cabe resaltar que la imagen se tomó cuando los generadores estaban apagados por tanto variables como presión de aceite y velocidad del motor son 0. Sin embargo, tenemos la temperatura del motor (tiene calentador de refrigerante).

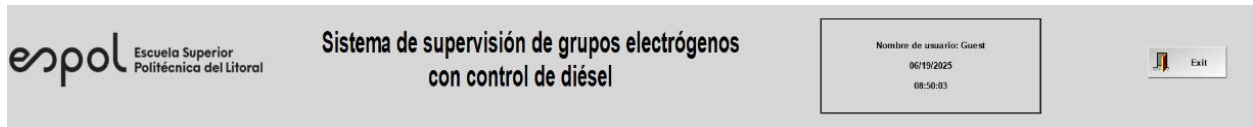


**Ilustración 3.37 Comunicación DSE y variables mecánicas**

### 3.4.4 Pruebas con carga de SCADA

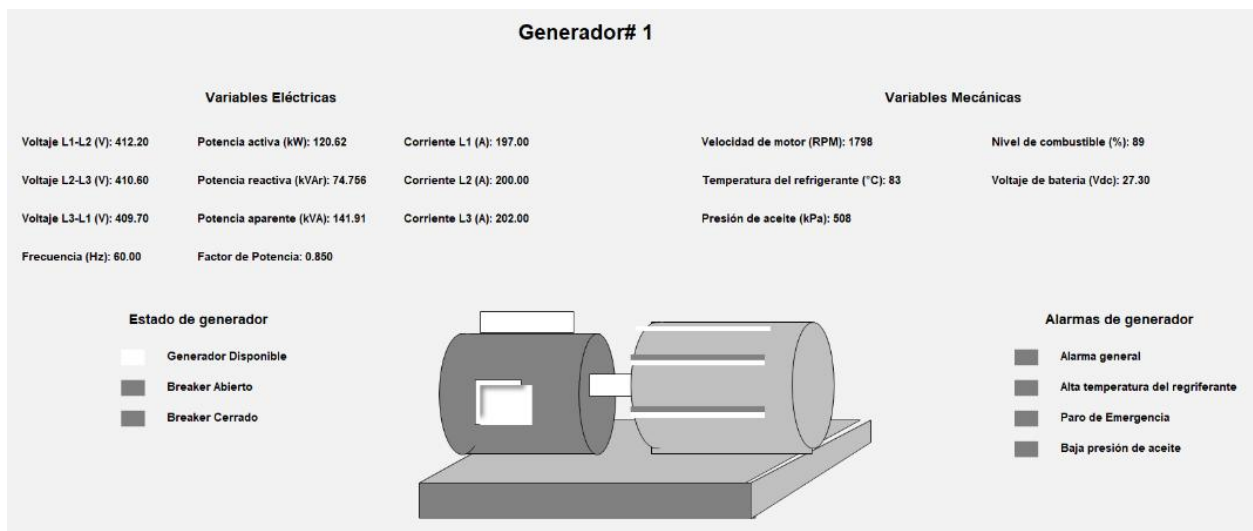
Se realizó una prueba donde los 4 generadores sincrónicos estuvieron trabajando alrededor de 3 horas. Por tanto, el sistema tenía que ser capaz de mostrar las variables y alarmas designadas. En la Ilustración 3.38, se puede ver la hora a la que se inició la

prueba. Por otro lado, se ubicó el sistema de dosificación en manual para analizarlo más adelante.



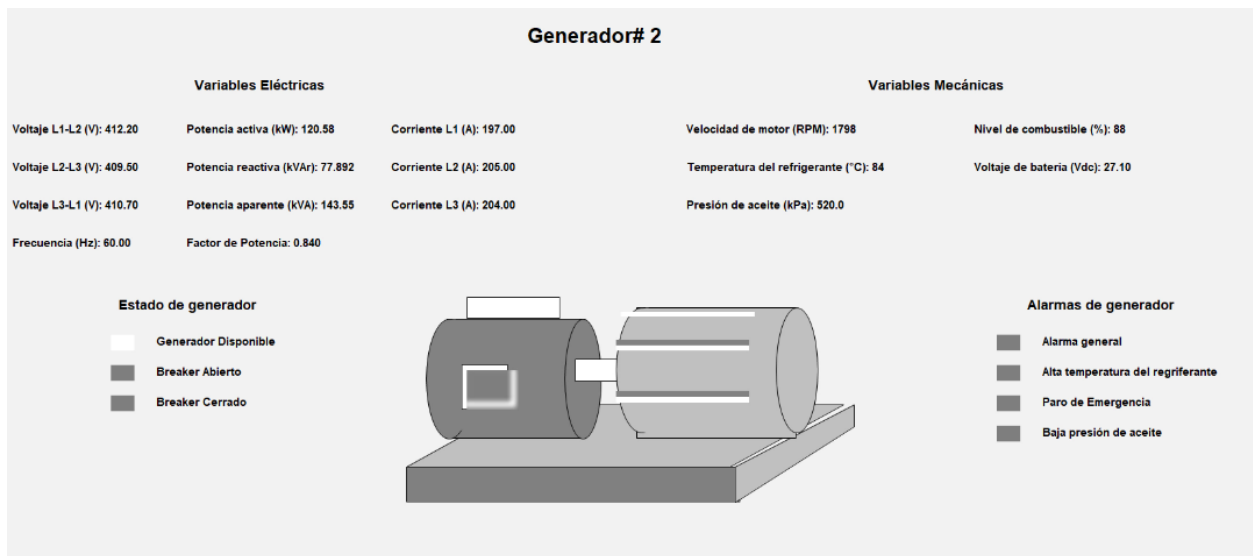
**Ilustración 3.38. Hora de inicio de la prueba**

En la Ilustración 3.39, se puede ver los parámetros del generador# 1 donde se puede que la tensión es de 410 V, su factor de potencia es de 0.85 y que la carga es de 200 A. Mecánicamente, se puede ver que el motor está estable porque ninguna de las alarmas se ha activado, añadiendo que el nivel de combustible es de 89%



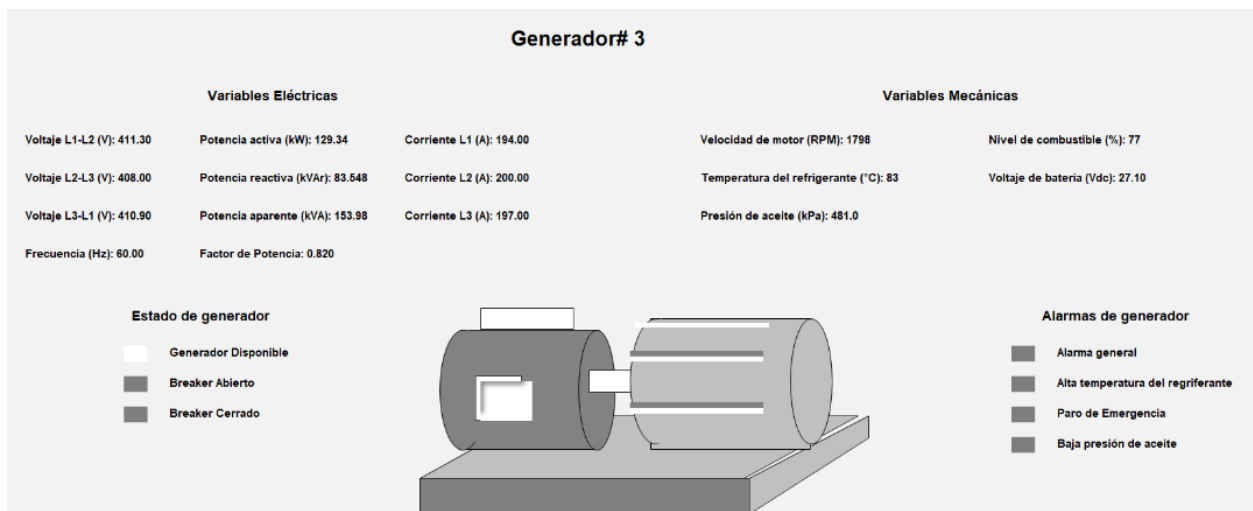
**Ilustración 3.39 Variables Gen# 1**

En la Ilustración 3.40, se puede ver los parámetros del generador# 2, como se puede ver el generador está prendido y sin alarma, girando a su velocidad nominal y produciendo 410 V. Debido a que el sistema es sincrónico la carga y la potencia se divide entre 4 por el número de generadores. Añadiendo, que tiene un 88% de combustible.



**Ilustración 3.40 Variables Gen# 2**

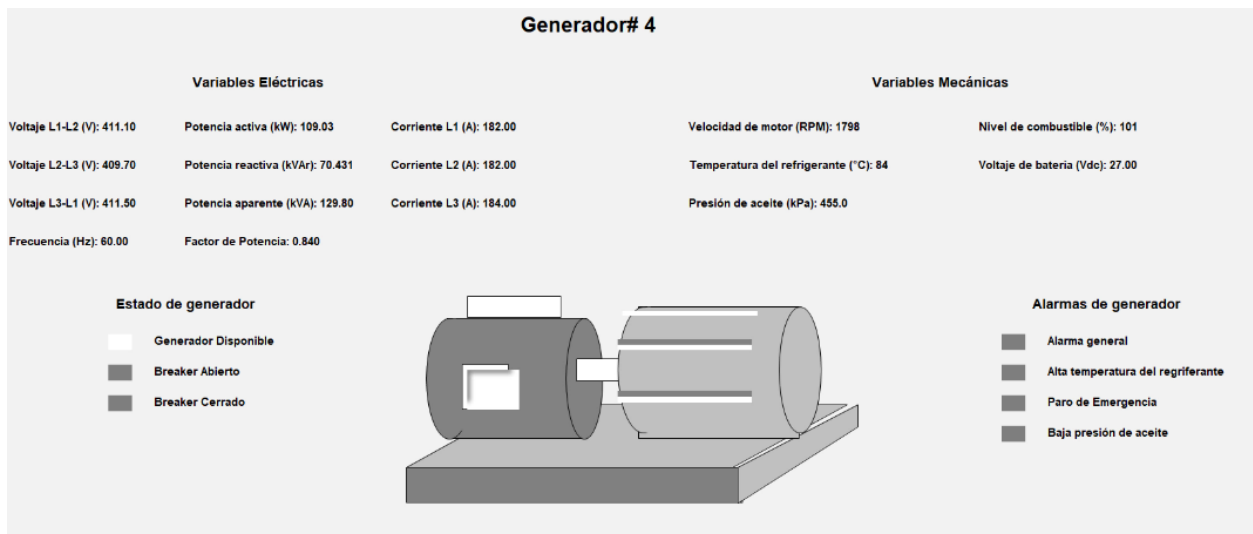
En la Ilustración 3.41, se puede ver las variables del generador# 3, por tanto, de la misma forma se puede ver el estado del mismo, por ejemplo, se puede ver que este generador tiene menor presión de aceite, que los otros con una temperatura de 83 °C al igual que los otros. Por tanto, este tipo de observaciones es la que el personal técnico necesita. Además, se puede ver que empezó la prueba con un 77% de combustible.



**Ilustración 3.41 Variables Gen# 3**

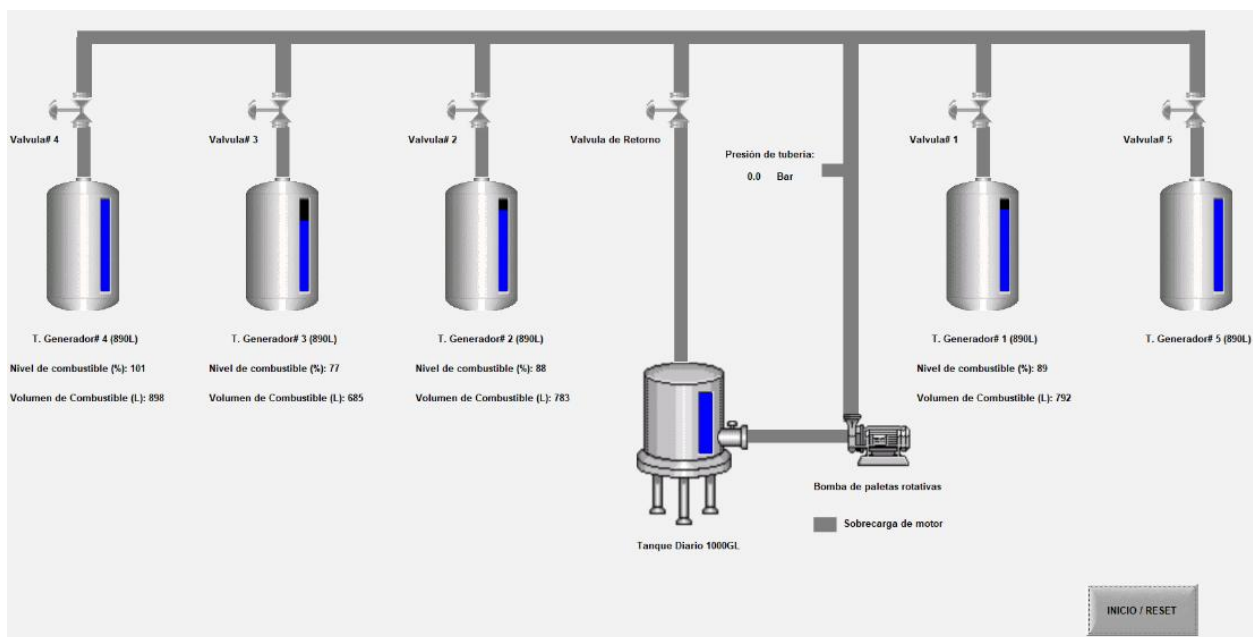
En la Ilustración 3.42, se puede ver el estado del generador# 4, el cual tiene aún menor presión de aceite (455 kPa), esto puede ser un indicativo que tiene menor cantidad de aceite, pero aun dentro del rango permitido ya que no existe ninguna alarma. Además, se puede ver que empezó la prueba con un 101% de combustible.





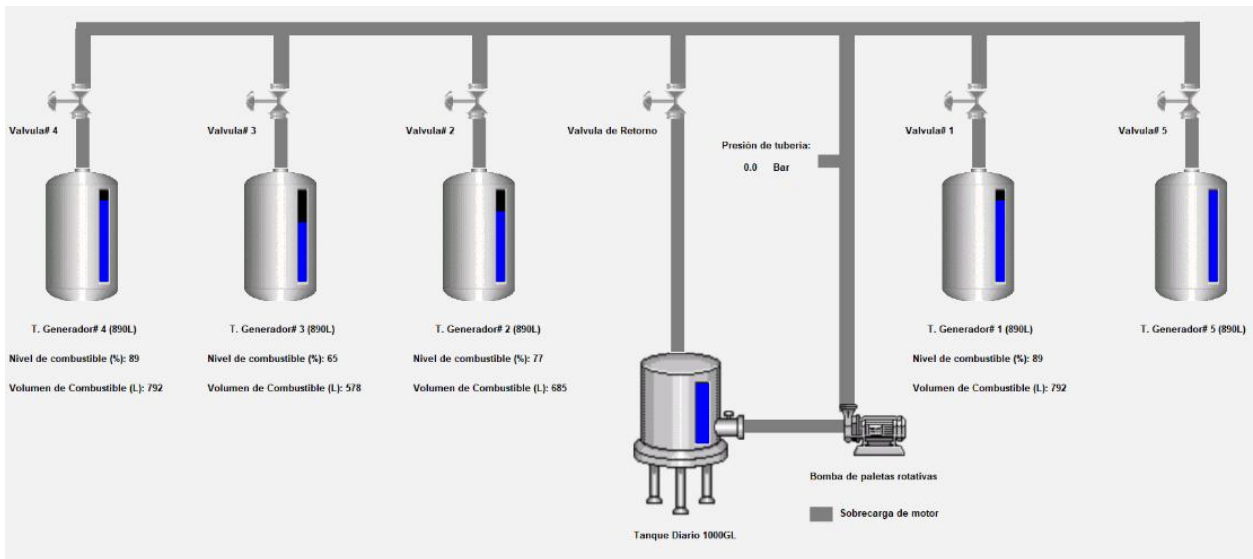
**Ilustración 3.42 Variables Gen# 4**

En la Ilustración 3.43, se puede ver la pantalla principal donde se observa que los actuadores están apagados y el nivel de combustible de cada uno de los generadores con su nivel en porcentaje y volumen.



**Ilustración 3.43 Nivel de combustible antes de la prueba**

Posterior a la prueba con carga, los niveles de combustible son los que se muestran en la Ilustración 3.44. Como se puede observar que existe un desbalance entre el nivel de combustible, esto es debido a la dinámica del sistema de sincronismo el cual elige quien de los generadores se mantiene prendido o no.



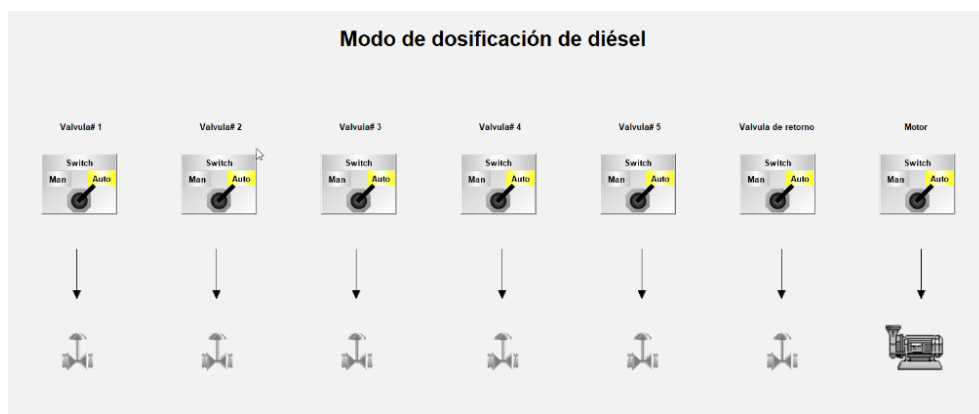
**Ilustración 3.44 Nivel de combustible posterior a la prueba**

En la Ilustración 3.44, se puede observar que el mayor porcentaje de nivel es de 89%, por tanto, para poner en marcha la dosificación automática se ubica como mínimo nivel de 90% y 95 % en el máximo, como se muestra en la Ilustración 3.45. Además, de ubicar el sistema en modo automático como ve en la Ilustración 3.46.

**Setpoint para límites de nivel (%)**

	GENERADOR# 1	GENERADOR# 2	GENERADOR# 3	GENERADOR# 4
LÍMITE MÁXIMO	95	95	95	95
LÍMITE MÍNIMO	90	90	90	90

**Ilustración 3.45 Valores deseados en prueba**



**Ilustración 3.46 Modo automático**

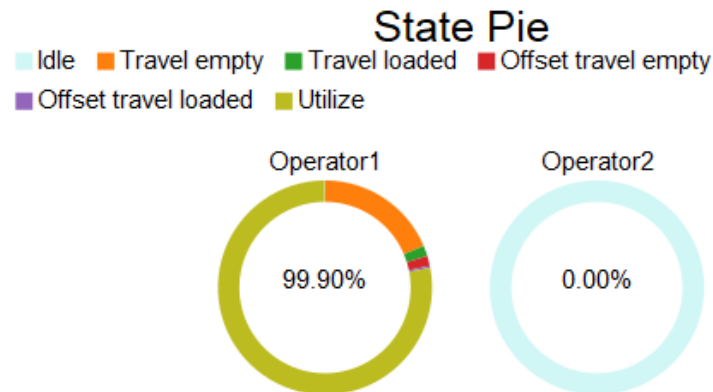
En la Tabla 3.1, se puede ver las características de llenado, resaltando que existe un error del 7.37% en el valor obtenido contra el valor requerido. Esto debido a la tasa de recolección de datos que tiene el controlador de cada generador y el sensor de nivel. Por tanto, se podría configurar esa razón de cambio o ubicarle un valor deseado menor, como por ejemplo, 90%. Anexando, que se dosificó en total 783.2 L o 206.90 galones americanos en 295 segundos. Cabe resaltar, que el tiempo se calculó mediante la hora que mostraba el SCADA, esto se puede ver en el.

**Tabla 3.1 Resultados de dosificación**

Generador	Volumen Llenado [L]	Tiempo [m]	Tiempo [s]	Error [%]
1	115.7 [L]	2:16	136	7.37
2	222.5 [L]	4:14	254	7.37
3	329.3 [L]	4:55	295	7.37
4	115.7 [L]	1:39	99	7.37

### 3.5 Validación del proyecto

Se realizó una simulación para poder recrear un modelo que aproxime la situación previa al proyecto, dando como resultado que el tiempo de operación fue de 1006.96 segundos (16:45 m), tomando en cuenta que las herramientas ya se encuentran en el lugar. Mientras que el sistema propuesto solo se demora un 29.30% del tiempo obtenido (295 segundos). Añadiendo, en la Ilustración 3.47, se puede ver que durante todo el proceso manual el 99.90% del tiempo uno de los operadores estuvo trabajando, sin embargo, alrededor de un 20% estuvo caminando provocando un aumento de esfuerzo físico y estrés. Por otro lado, se puede observar que el otro operador estuvo todo el tiempo sin realizar alguna operación real aumentando en el tiempo muerto en un 3.4964% dentro de una jornada laboral regular. Además, hay que recordar que los operarios, deben estar pendientes del nivel para que no exista derrames.



**Ilustración 3.47 Resultados de simulación de pre-proyecto**

### 3.6 Análisis de costos

En la Tabla 3.2, se puede ver los elementos que se necesitaron para realizar el proyecto junto al precio de estos dentro del mercado ecuatoriano. El precio total es de \$20,761.71, donde se incluyó tanto los elementos mecánicos, actuadores, controlador, conductores, material pequeño y mano de obra. Sin embargo, dentro de este análisis de costos no se está tomando en cuenta licencias de softwares necesarios para el uso de SCADA.

**Tabla 3.2 Tabla de costos**

Cantidad	Elemento	P. Unitario	P. Total
1	PLC Logo Siemens 8.4V	\$147.90	\$147.90
1	Módulo de expansión DM 16 24R	\$93.50	\$93.50
1	Módulo de expansión AM2 2AI	\$92.22	\$92.22
1	HMI INVT TC6070W	\$300.00	\$300.00
1	Guardamotor 10-16A	\$97.45	\$97.45
1	Contactora 18A AC3	\$58.03	\$58.03
1	Sensor de presión	\$180.00	\$180.00
3	Switch 5 puertos	\$130.00	\$390.00
1	Fuente de 24Vdc	\$65.00	\$65.00
3	Diodos 6A	\$1.00	\$3.00
8	Relés 24 Vdc de 14 pines	\$23.07	\$184.56
1	Cable STP CAT 6 (300metros)	\$150.00	\$150.00
20	Conectores rápidos RJ45 CAT 6	\$6.00	\$120.00
1	Elementos eléctricos (Conductores, protecciones, etc.)	\$2,500.00	\$2,500.00
1	Bomba 30 GPM, 110 Vac	\$1,350.00	\$1,350.00

6	electroválvulas 24 Vdc	\$607.00	\$3,642.00
1	Elementos mecánicos (Tubería, accesorios, etc.)	\$4,780.00	\$4,780.00
1	Dirección Técnica y Puesta en marcha	\$3,900.00	\$3,900.00
	<b>Subtotal</b>		\$18,053.66
	<b>IVA</b>	15.00%	\$2,708.05
	<b>Total</b>		\$20,761.71

Otro factor que no se está tomando en cuenta es la ductería o canalización para los elementos, sino que se asume que ese tipo de elementos ya están ubicados en planta. Además, que dentro del espacio donde se desarrolla el proyecto existen paneles de distribución para poder obtener la energía AC necesaria.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se diseñó un sistema que es capaz de monitorear variables eléctricas y mecánicas de relevancia en tiempo real, utilizando elementos de automatización, como PLC, HMI, sensores y SCADA. Todos comunicados con los controladores inteligentes de los generadores a través del protocolo Modbus TCP/IP. Teniendo dicha información el proyecto es capaz de dosificar de combustible a los grupos electrógenos según los valores deseados (entre 65% y 95%). Sin embargo, se mostró que tiene un error del 7.37% con el nivel máximo, por tanto, es necesario ubicar un valor de 90% como límite máximo.
- Se diseñó un sistema SCADA siguiendo las normativa y buenas prácticas mencionadas anteriormente, lo cual ayudará a que el personal no sufra algún tipo de fatiga por colores o gráficos innecesarios. Por ejemplo, cada color tiene un significado, el blanco significa prendido y el gris apagado. La interfaz muestra y guarda en una base de datos interna los registros de las alarmas tanto de los generadores, como la sobrecarga de motores o paros de emergencias.
- Se seleccionó el protocolo Modbus TCP/IP tomando en cuenta que los registros tenían un offset de 1. Además, que se ubicó un cable de red CAT 6 para poder mitigar las interferencias y tener una comunicación estable. Además, se configuro a los DSE de los generadores como esclavos habilitando el puerto 502 de esta manera se comunican con los maestros que son el PLC y SCADA. Por otro lado, el PLC también se lo definió como esclavo activando sus puertos 102, protocolo S7 para comunicación con el HMI, y el puerto 502 para comunicación con el SCADA.
- Se desarrollaron entornos de simulación para poder verificar el funcionamiento de la lógica de programación, integrando softwares donde se podía crear entornos más verosímiles que aproximarían el comportamiento real. Además, también se realizó una conexión digital para probar el estado de los actuadores, sensores a través de un HMI virtual para poder interactuar con la lógica de control.

- El sistema pudo dosificar a los cuatro generadores sincrónicos (783.2 L en total) en 295 segundos (5 minutos aproximadamente) mejorando a un 29.30% la velocidad de lo que se tardaba el proceso previo al proyecto. Además, se reduce en un 3.4964% el tiempo muerto de un operador dentro de la jornada laboral, por otro lado, se le reduce el tiempo de trabajo del otro operador en un 3.48% (aproximadamente), por tanto, el estrés laboral y las posibles lesiones que pueden ocurrirle también se reducen. Debido a que el presente proyecto no necesita personal que accione algún actuador.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda adquirir una puerta de enlace (Gateway) que permita la integración del quinto generador, el cual se base en Modbus RTU a Modbus TCP/IP, con el objetivo de crear un sistema más completo.
- Se recomienda la implementación de un sistema de almacenamiento de datos centralizado, donde los datos que se obtienen del SCADA se integren a la base de datos empresarial para tener un registro más ordenado, facilitando el análisis de tendencias o alarmas.
- Se sugiere realizar programas de capacitación continua al personal de mantenimiento sobre el funcionamiento del sistema, procedimientos y ajustes de variables
- En fases posteriores de proyectos se recomienda incorporar tecnologías basadas en plataformas IloT para la visualización remota desde dispositivos móviles o páginas web desde todos lados.
- Se sugiere ubicar un sensor ultrasónico para el tanque principal, con el objetivo de saber el nivel de dicho depósito, para prevenir que el sistema no se quede sin fluido que dosificar.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Primicias, «2024: El año en que se fue y regresó la luz,» *Primicias*, 22 abril 2025.
- [2] E. U. «En dos meses de apagones, pérdidas en industrias y comercios alcanzarían los \$ 7.500 millones,» *El Unicerso*, 16 noviembre 2016.
- [3] U. D. o. labor, «Occupational Safety and Health Administration,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.106>. [Último acceso: 22 abril 2025].
- [4] ALTERTECNIA, «ALTERTECNIA,» 9 enero 2024. [En línea]. Available: <https://altertecnia.com/en/tiempos-muertos-gestionar-paradas-ley-de-pareto/>.
- [5] M. G. Insitute, UN FUTURO QUE FUNCIONA: AUTOMATIZACIÓN, EMPLEO Y PRODUCTIVIDAD, 2017.
- [6] W. S. Car, «Western States Car,» [En línea]. Available: [https://www.westernstatescat.com/power-systems/electric-power/mobile-generator-sets/xq425-375-kw-470-kva-mobile-generator/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.westernstatescat.com/power-systems/electric-power/mobile-generator-sets/xq425-375-kw-470-kva-mobile-generator/?utm_source=chatgpt.com). [Último acceso: 23 abril 2025].
- [7] Metrohm, «Metrohm,» 20 mayo 2024. [En línea]. Available: [https://www.metrohm.com/es\\_es/discover/blog/2024/automated-liquid-handling.html](https://www.metrohm.com/es_es/discover/blog/2024/automated-liquid-handling.html).
- [8] insst, «insst,» 27 Octubre 2024. [En línea]. Available: <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/10-serie-ntp-numeros-331-a-365-ano-1995/ntp-363-prevencion-de-fugas-en-instalaciones-i-seguridad-en-proyecto>. [Último acceso: 23 abril 2025].
- [9] AGG, «AGG,» 14 diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.aggpower.com/es/news/what-is-the-controller-of-a-diesel-generator-set/#:~:text=Un%20controlador%20de%20grupo%20electr%C3%B3geno,y%20eficiente%20del%20grupo%20electr%C3%B3geno..>
- [10] NFPA, «NFPA 30: Flammable and Combustible Liquids Code,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards>.



- [11] NFPA, «NFPA 110: Standard for Emergency and Standby Power Systems,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=110>.
- [12] Caterpillar, «Diesel Fuels & Diesel Fuel Systems – Application and Installation Guide,» 2013.
- [13] J. Muñoz Sánchez, G. Ramos León, W. Nuñez Pilligua, L. Cuenca Álava y E. Palacios Castro, «Análisis, mediante simulación, del comportamiento eléctrico y mecánico de un generador sincrónico trifásico bajo carga,» *Revista Científica de Ingeniería, Industria y Arquitectura*, vol. 8, nº 15, p. 9, 2025.
- [14] C. Molina, «AMPER,» 15 Marzo 2022. [En línea]. Available: [https://amperxgroup.com/wp-content/uploads/2024/07/ART-GG.EE\\_.pdf](https://amperxgroup.com/wp-content/uploads/2024/07/ART-GG.EE_.pdf). [Último acceso: 21 Noviembre 2025].
- [15] Technoton, «Automated fuel supply of genset, fuel costs reduced by 15%,» [En línea]. Available: <https://jv-technoton.com/technoton-case-automated-fuel-supply-of-genset/>. [Último acceso: abril 2025].
- [16] J. García, «UNAD,» abril 2022. [En línea].
- [17] R. I. Aguilar Chávez y D. A. Rubio Palacios, «Universidad Politécnica Salesiana,» 2022. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21912/1/UPS%20-%20TTS618.pdf>. [Último acceso: 29 abril 2025].
- [18] E. F. Choez Gomez, «Universidad Politécnica Salesiana,» 2025. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29645/1/UPS-CT011920.pdf>.
- [19] Controltec SpA, «Controltec SpA,» 10 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.controltec.cl/monitoreo-avanzado-de-generadores>. [Último acceso: 25 Noviembre 2025].
- [20] «Sistema Inteligente para para la gestión automática de un generador eléctrico basado en la arquitectura del IoT,» *J. Comput. Electron. Sci.: Theory Appl.*, vol. 1, nº 1, p. 10, 2020.

- [21] A. Vásquez, *GENERADORES DE EMERGENCIA - ELECTROCABLES*, Guayaquil, 2024.
- [22] PIUSI, «PIUSI,» [En línea]. Available: [https://media.piusi.com/pdf/USA/Fuel-USA/Datasheet/PIUSI-USA-E120\\_EN.pdf](https://media.piusi.com/pdf/USA/Fuel-USA/Datasheet/PIUSI-USA-E120_EN.pdf). [Último acceso: 30 abril 2025].
- [23] DIPAC, «DIPAC,» [En línea]. Available: <https://dipacmanta.com/producto/tubos/canerias/caneria-negra/>.
- [24] Sanlixin, «Sanlixin,» [En línea]. Available: <https://khangngoc.com/wp-content/uploads/2020/09/Sanlixin-ZS-SERIES.pdf>.
- [25] D. S. «DSE,» [En línea]. Available: <https://www.deepseaelectronics.com/genset/load-sharing-synchronising-control-modules/dse8610-mkii/downloads>. [Último acceso: 1 Mayo 2025].
- [26] D. S. «DSE,» [En línea]. Available: <https://www.deepseaelectronics.com/genset/auto-mains-utility-failure-control-modules/dse6120-mkii/downloads>. [Último acceso: 1 mayo 2025].
- [27] J. Villamarín Monroy, F. Guío Burgos y D. Dueñas Ruiz, «Caracterización de la velocidad de caminata. Caso de estudio puente peatonal,» *Tecnura*, vol. 26, nº 71, p. 15, 2022.

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## Análisis para tubería de pared gruesa

Se conoce el radio interno ( $r_i$ ) de 14.35 mm, radio externo ( $r_o$ ) de 16.85 mm, presión interna de 100 kPa ( $P_i$ ) y presión externa es 0 Pa porque está al aire libre ( $P_o$ ).

Se calcula las condiciones de frontera A y B ubicando los valores de radio en metros y presiones en Pa

$$B = \frac{(P_i - P_o) * r_i^2 * r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} = 74.9565 \text{ Pa} * m^2$$

$$A = -P_i + \frac{B}{r_i^2} = 264 \text{ kPa}$$

Se calcula esfuerzo radial  $\sigma_r$  y circunferencial  $\sigma_\theta$  de la superficie interna y externa, usando las siguientes ecuaciones.

$$\sigma_r = A - \frac{B}{r^2}$$

$$\sigma_\theta = A + \frac{B}{r^2}$$

Para la superficie interna:

$$\sigma_r = -100 \text{ kPa}$$

$$\sigma_\theta = 628 \text{ kPa}$$

Para la superficie externa:

$$\sigma_r = 0 \text{ Pa}$$

$$\sigma_\theta = 528 \text{ kPa}$$

El punto más crítico es de 628kPa comparándolo con la fluencia del hierro negro que es de 250MPa, por tanto, tenemos un factor de seguridad de 473.48.

# APÉNDICE B

En la Ilustración B.1, se muestra el inicio del llenado a las 11:53:26, donde todas las válvulas se abrieron y la bomba se energizó

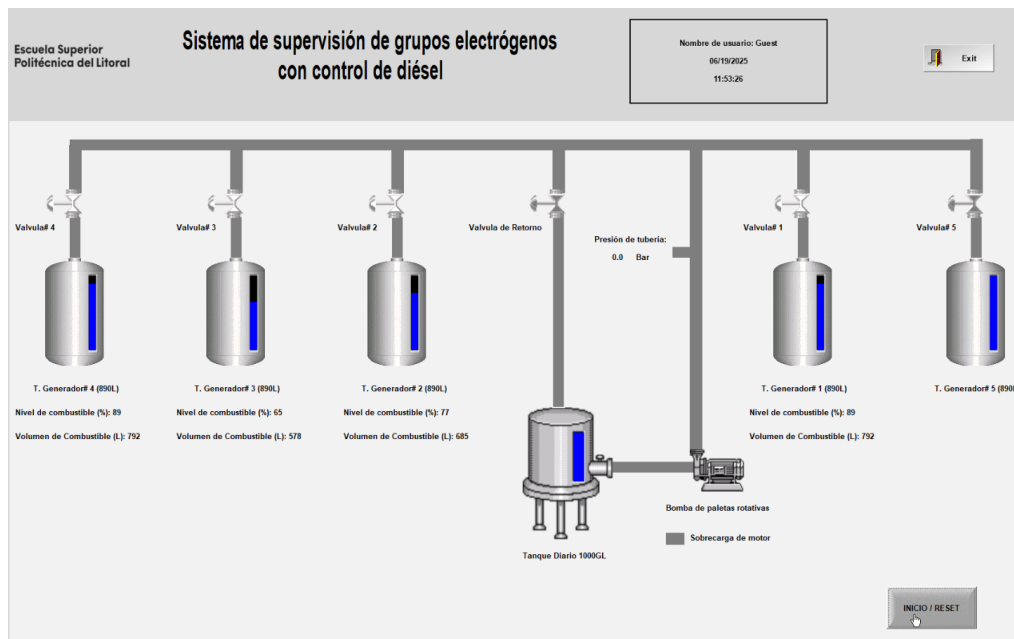


Ilustración B.1 Cuatro generadores llenando

A las 11:55:05 se cerró la válvula del generador# 4 porque ya había llegado al límite.

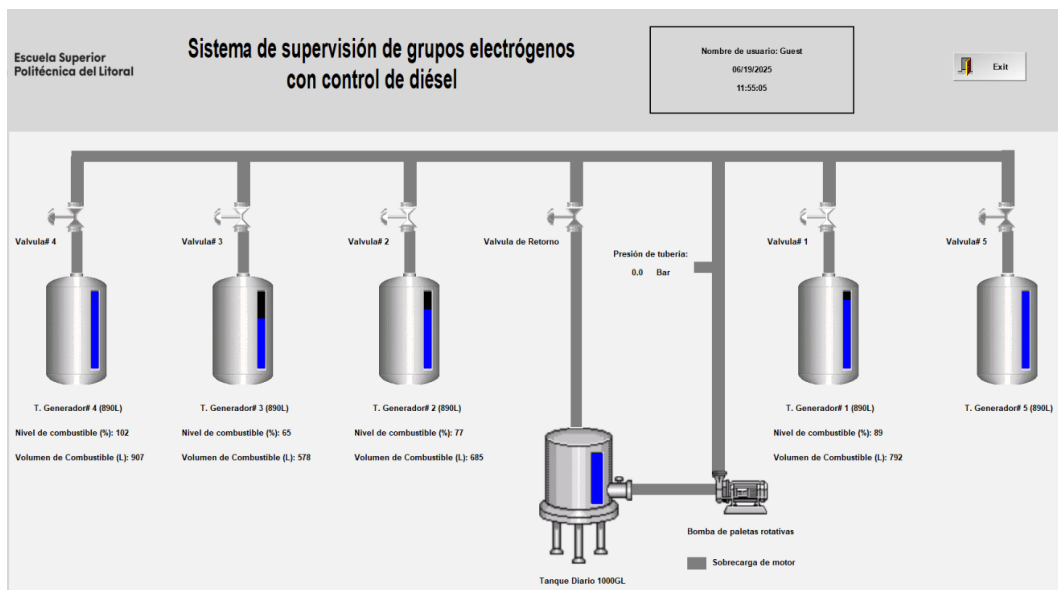
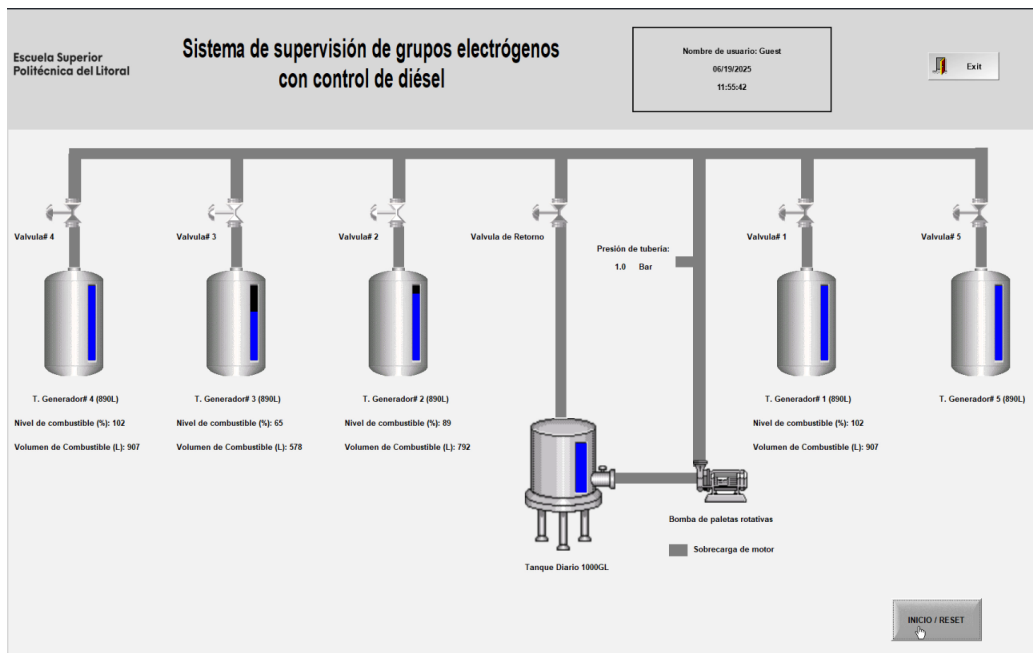


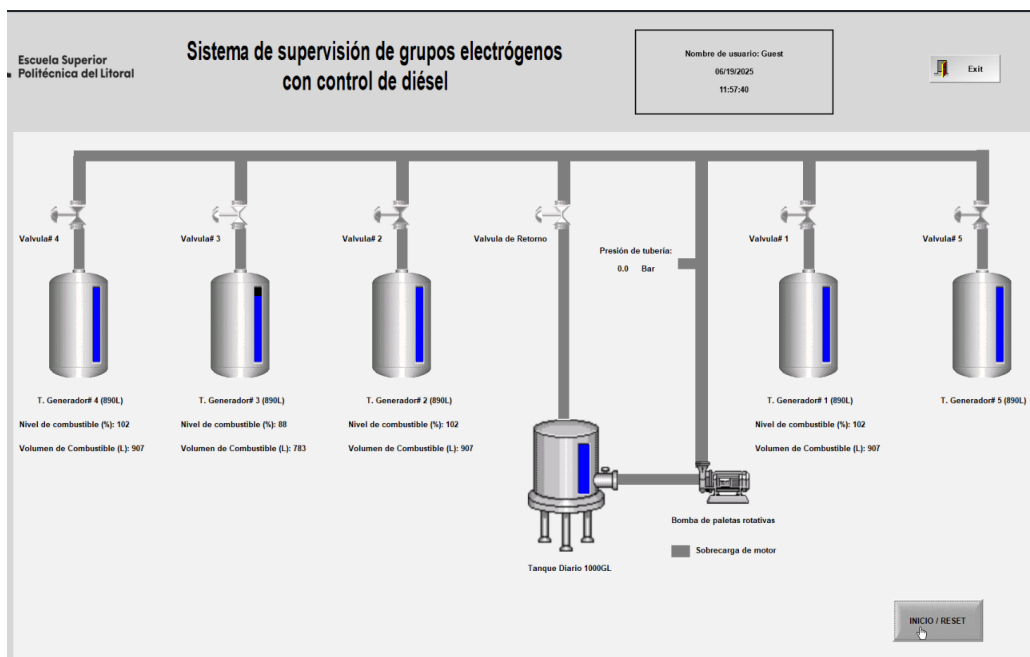
Ilustración B.2 Generador# 4 lleno

A las 11:55:42 la válvula del generador #1 se cerró



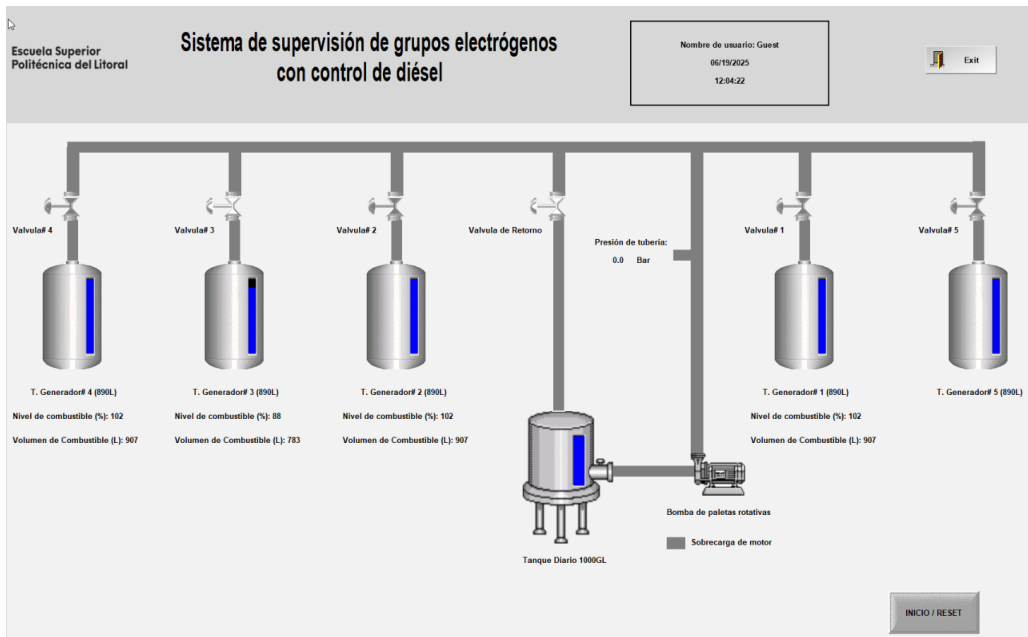
**Ilustración B.3 Generador# 1 lleno**

A las 11:57:40 la válvula del generador #2 se cerró



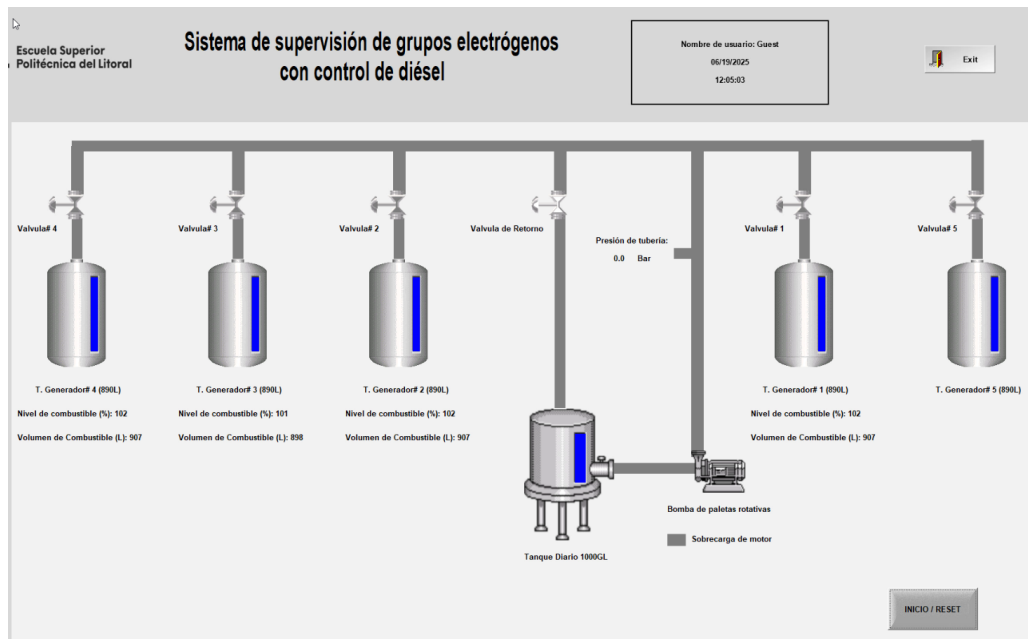
**Ilustración B.4 Generador# 2 lleno**

Por problemas externos, se paró el llenado del Generador# 3 pero se lo reinició a las 12:04:22



**Ilustración B.5 Generador# 3**

Se terminó el llenado del generador# 3 a las 12:05:03

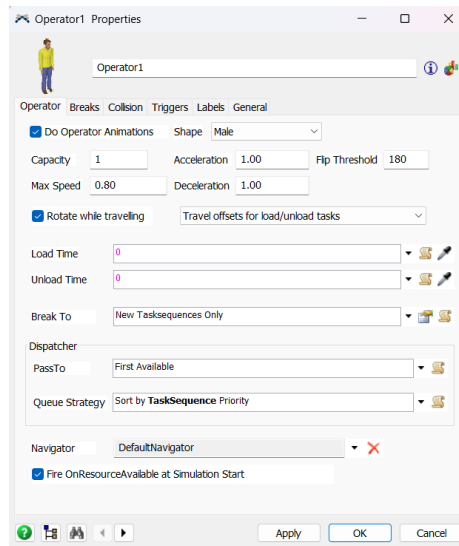


**Ilustración B.6 Generador# 3\_2**

# Apéndice C

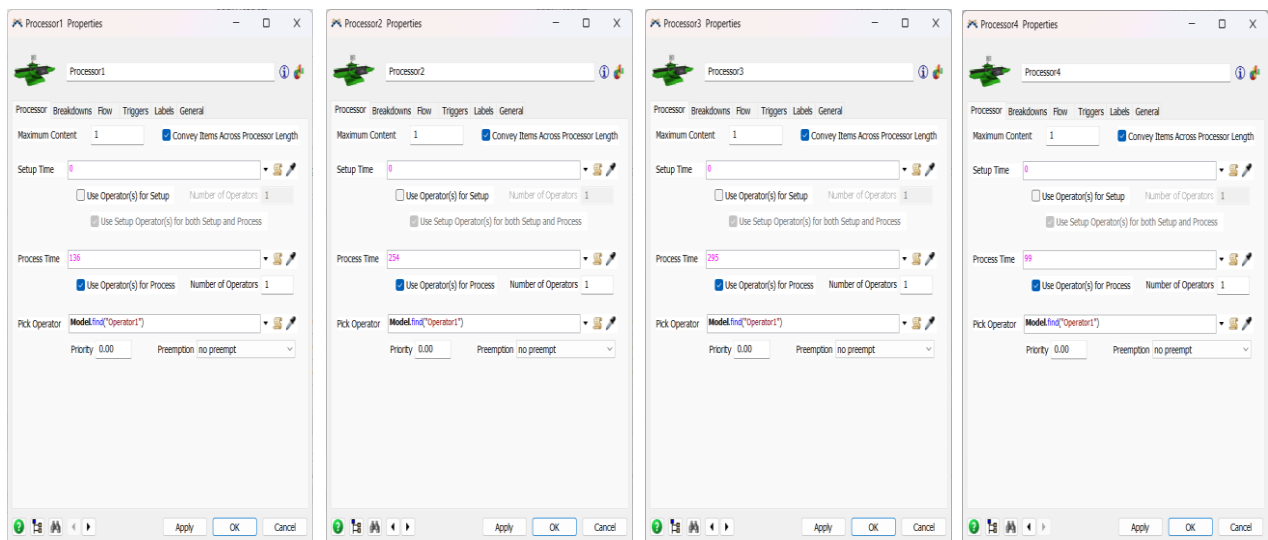
## Configuraciones para crear el modelo de planta antes de proyecto

En la Ilustración C.1, se puede ver la configuración del operario dentro del programa



**Ilustración C.1 Configuración de Operador**

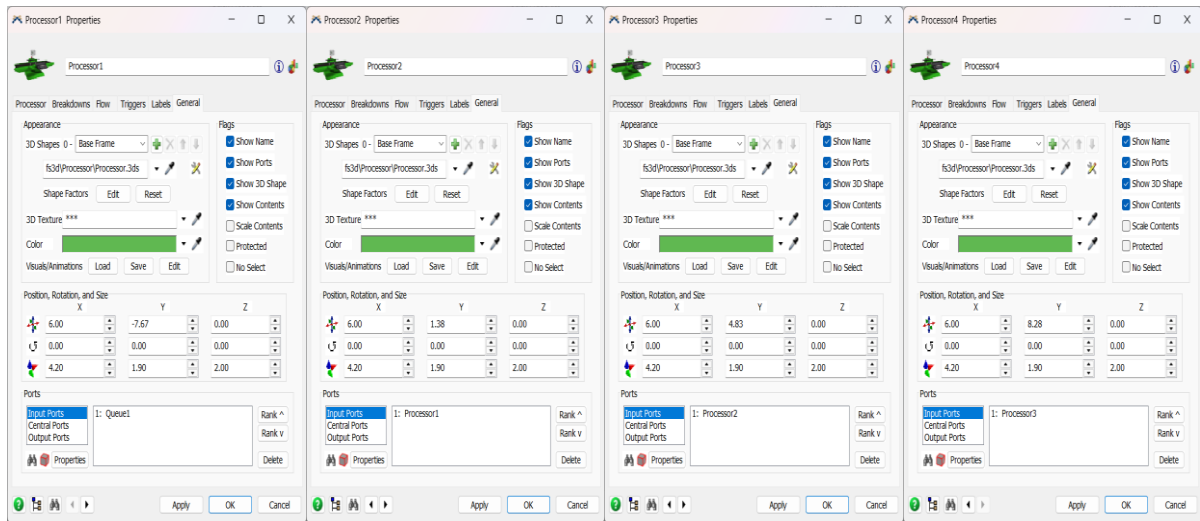
En la Ilustración C.2, se puede ver las configuraciones de los procesadores resaltando el tiempo equivalente al llenado de cada generador.



**Ilustración C.2 Configuración de Procesadores (tiempos)**

En la Ilustración C.3, se puede ver las configuraciones de los procesadores resaltando la posición de los mismos tomando como eje central al Generador# 1











**Ilustración C.3 Configuración de procesadores (posición)**

# Apéndice D

## Lista de direcciones Modbus y variables en SCADA

	Nombre de Tag	Estación	Dirección I/O	Acción	Escanear	Div
	 Filtrar texto	 Filtrar texto	 Filtrar texto	 (Todo)	 (Todo)	 Filtrar texto
1	Valvula1	192.168.0.8:507:1	0X:8194	Leer+Escribir	Siempre	
2	Valvula2	192.168.0.8:507:1	0X:8195	Leer+Escribir	Siempre	
3	Valvula3	192.168.0.8:507:1	0X:8196	Leer+Escribir	Siempre	
4	Valvula4	192.168.0.8:507:1	0X:8197	Leer+Escribir	Siempre	
5	Valvula5	192.168.0.8:507:1	0X:8198	Leer+Escribir	Siempre	
6	Bomba	192.168.0.8:507:1	0X:8193	Leer+Escribir	Siempre	
7	ValvulaRetorno	192.168.0.8:507:1	0X:8199	Leer+Escribir	Siempre	
8	Inicio	192.168.0.8:507:1	0X:8259	Leer+Escribir	Siempre	
9	ParoDeEmergencia	192.168.0.8:507:1	1X:5	Leer+Escribir	Siempre	
10	SobrecargaMotor	192.168.0.8:507:1	1X:1	Leer+Escribir	Siempre	
11	Presion	192.168.0.8:507:1	4X:561	Leer+Escribir	Siempre	
12	M_A_V1	192.168.0.8:507:1	0X:8257	Leer+Escribir	Siempre	
13	M_A_V2	192.168.0.8:507:1	0X:8258	Leer+Escribir	Siempre	
14	M_A_V3	192.168.0.8:507:1	0X:8296	Leer+Escribir	Siempre	
15	M_A_V4	192.168.0.8:507:1	0X:8297	Leer+Escribir	Siempre	
16	M_A_V5	192.168.0.8:507:1	0X:8298	Leer+Escribir	Siempre	
17	M_A_VR	192.168.0.8:507:1	0X:8300	Leer+Escribir	Siempre	
18	M_A_Bomba	192.168.0.8:507:1	0X:8299	Leer+Escribir	Siempre	
19	Marcha_V1	192.168.0.8:507:1	0X:8260	Leer+Escribir	Siempre	
20	Paro_V1	192.168.0.8:507:1	0X:8261	Leer+Escribir	Siempre	
21	Marcha_V2	192.168.0.8:507:1	0X:8262	Leer+Escribir	Siempre	
22	Paro_V2	192.168.0.8:507:1	0X:8263	Leer+Escribir	Siempre	
23	Marcha_V3	192.168.0.8:507:1	0X:8265	Leer+Escribir	Siempre	
24	Paro_V3	192.168.0.8:507:1	0X:8266	Leer+Escribir	Siempre	
25	Marcha_V4	192.168.0.8:507:1	0X:8267	Leer+Escribir	Siempre	
26	Paro_V4	192.168.0.8:507:1	0X:8268	Leer+Escribir	Siempre	
27	Marcha_V5	192.168.0.8:507:1	0X:8269	Leer+Escribir	Siempre	
28	Paro_V5	192.168.0.8:507:1	0X:8270	Leer+Escribir	Siempre	
29	Marcha_Bomba	192.168.0.8:507:1	0X:8271	Leer+Escribir	Siempre	
30	Paro_Bomba	192.168.0.8:507:1	0X:8272	Leer+Escribir	Siempre	
31	Marcha_VRetorno	192.168.0.8:507:1	0X:8273	Leer+Escribir	Siempre	
32	Paro_VRetorno	192.168.0.8:507:1	0X:8274	Leer+Escribir	Siempre	
33	SP_Max_G1	192.168.0.8:507:1	4X:571	Leer+Escribir	Siempre	
34	SP_Min_G1	192.168.0.8:507:1	4X:572	Leer+Escribir	Siempre	

35	SP_Max_G2	192.168.0.8:507:1	4X:573	Leer+Escribir	Siempre	
36	SP_Min_G2	192.168.0.8:507:1	4X:574	Leer+Escribir	Siempre	
37	SP_Max_G3	192.168.0.8:507:1	4X:575	Leer+Escribir	Siempre	
38	SP_Min_G3	192.168.0.8:507:1	4X:576	Leer+Escribir	Siempre	
39	SP_Max_G4	192.168.0.8:507:1	4X:577	Leer+Escribir	Siempre	
40	SP_Min_G4	192.168.0.8:507:1	4X:578	Leer+Escribir	Siempre	
41	VL1L2_G1	192.168.0.30:502:1	DW:1040	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
42	VL2L3_G1	192.168.0.30:502:1	DW:1042	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
43	VL3L1_G1	192.168.0.30:502:1	DW:1044	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
44	Frecuencia_G1	192.168.0.30:502:1	4X:1032	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
45	FP_G1	192.168.0.30:502:1	4X:S1558	Leer+Escribir	Siempre	100.000000
46	Corriente_L1_G1	192.168.0.30:502:1	DW:1046	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
47	Corriente_L2_G1	192.168.0.30:502:1	DW:1048	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
48	Corriente_L3_G1	192.168.0.30:502:1	DW:1050	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
49	RPM_G1	192.168.0.30:502:1	4X:1031	Leer+Escribir	Siempre	
50	Nivel_Combustible_G1	192.168.0.30:502:1	4X:1028	Leer+Escribir	Siempre	
51	Temperatura_G1	192.168.0.30:502:1	4X:S1026	Leer+Escribir	Siempre	
52	Presion_Aceite_G1	192.168.0.30:502:1	4X:1025	Leer+Escribir	Siempre	
53	V_Bateria_G1	192.168.0.30:502:1	4X:1030	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
54	Gen_Disponible_G1	192.168.0.30:502:1	4X:3346.10	Leer+Escribir	Siempre	
55	Breaker_abierto_G1	192.168.0.30:502:1	4X:3346.9	Leer+Escribir	Siempre	
56	Breaker_cerrado_G1	192.168.0.30:502:1	4X:3346.8	Leer+Escribir	Siempre	
57	Alarma_General_G1	192.168.0.30:502:1	4X:3346.7	Leer+Escribir	Siempre	
58	Alarma_Mecanicas_G1	192.168.0.30:502:1	4X:39426	Leer+Escribir	Siempre	
59	VL1L2_G2	192.168.0.31:502:1	DW:1040	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
60	VL2L3_G2	192.168.0.31:502:1	DW:1042	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
61	VL3L1_G2	192.168.0.31:502:1	DW:1044	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
62	Frecuencia_G2	192.168.0.31:502:1	4X:1032	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
63	FP_G2	192.168.0.31:502:1	4X:S1558	Leer+Escribir	Siempre	100.000000
64	Corriente_L1_G2	192.168.0.31:502:1	DW:1046	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
65	Corriente_L2_G2	192.168.0.31:502:1	DW:1048	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
66	Corriente_L3_G2	192.168.0.31:502:1	DW:1050	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
67	RPM_G2	192.168.0.31:502:1	4X:1031	Leer+Escribir	Siempre	
68	Nivel_Combustible_G2	192.168.0.31:502:1	4X:1028	Leer+Escribir	Siempre	
69	Temperatura_G2	192.168.0.31:502:1	4X:S1026	Leer+Escribir	Siempre	

70	Presion_Aceite_G2	192.168.0.31:502:1	4X:1025	Leer+Escribir	Siempre	
71	V_Bateria_G2	192.168.0.31:502:1	4X:1030	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
72	Gen_Disponible_G2	192.168.0.31:502:1	4X:3346.10	Leer+Escribir	Siempre	
73	Breaker_abierto_G2	192.168.0.31:502:1	4X:3346.9	Leer+Escribir	Siempre	
74	Breaker_cerrado_G2	192.168.0.31:502:1	4X:3346.8	Leer+Escribir	Siempre	
75	Alarma_General_G2	192.168.0.31:502:1	4X:3346.7	Leer+Escribir	Siempre	
76	Alarma_Mecanica_G2	192.168.0.31:502:1	4X:39426	Leer+Escribir	Siempre	
77	VL1L2_G3	192.168.0.32:502:1	DW:1040	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
78	VL2L3_G3	192.168.0.32:502:1	DW:1042	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
79	VL3L1_G3	192.168.0.32:502:1	DW:1044	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
80	Frecuencia_G3	192.168.0.32:502:1	4X:1032	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
81	FP_G3	192.168.0.32:502:1	4X:S1558	Leer+Escribir	Siempre	100.000000
82	Corriente_L1_G3	192.168.0.32:502:1	DW:1046	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
83	Corriente_L2_G3	192.168.0.32:502:1	DW:1048	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
84	Corriente_L3_G3	192.168.0.32:502:1	DW:1050	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
85	RPM_G3	192.168.0.32:502:1	4X:1031	Leer+Escribir	Siempre	
86	Nivel_Combustible_G3	192.168.0.32:502:1	4X:1028	Leer+Escribir	Siempre	
87	Temperatura_G3	192.168.0.32:502:1	4X:S1026	Leer+Escribir	Siempre	
88	Presion_Aceite_G3	192.168.0.32:502:1	4X:1025	Leer+Escribir	Siempre	
89	V_Bateria_G3	192.168.0.32:502:1	4X:1030	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
90	Gen_Disponible_G3	192.168.0.32:502:1	4X:3346.10	Leer+Escribir	Siempre	
91	Breaker_abierto_G3	192.168.0.32:502:1	4X:3346.9	Leer+Escribir	Siempre	
92	Breaker_cerrado_G3	192.168.0.32:502:1	4X:3346.8	Leer+Escribir	Siempre	
93	Alarma_General_G3	192.168.0.32:502:1	4X:3346.7	Leer+Escribir	Siempre	
94	Alarma_Mecanica_G3	192.168.0.32:502:1	4X:39426	Leer+Escribir	Siempre	
95	VL1L2_G4	192.168.0.33:502:1	DW:1040	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
96	VL2L3_G4	192.168.0.33:502:1	DW:1042	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
97	VL3L1_G4	192.168.0.33:502:1	DW:1044	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
98	Frecuencia_G4	192.168.0.33:502:1	4X:1032	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
99	FP_G4	192.168.0.33:502:1	4X:S1558	Leer+Escribir	Siempre	100.000000
100	Corriente_L1_G4	192.168.0.33:502:1	DW:1046	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
101	Corriente_L2_G4	192.168.0.33:502:1	DW:1048	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
102	Corriente_L3_G4	192.168.0.33:502:1	DW:1050	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
103	RPM_G4	192.168.0.33:502:1	4X:1031	Leer+Escribir	Siempre	
104	Nivel_Combustible_G4	192.168.0.33:502:1	4X:1028	Leer+Escribir	Siempre	
105	Temperatura_G4	192.168.0.33:502:1	4X:S1026	Leer+Escribir	Siempre	
106	Presion_Aceite_G4	192.168.0.33:502:1	4X:1025	Leer+Escribir	Siempre	
107	V_Bateria_G4	192.168.0.33:502:1	4X:1030	Leer+Escribir	Siempre	10.000000
108	Gen_Disponible_G4	192.168.0.33:502:1	4X:3346.10	Leer+Escribir	Siempre	
109	Breaker_abierto_G4	192.168.0.33:502:1	4X:3346.9	Leer+Escribir	Siempre	
110	Breaker_cerrado_G4	192.168.0.33:502:1	4X:3346.8	Leer+Escribir	Siempre	
111	Alarma_General_G4	192.168.0.33:502:1	4X:3346.7	Leer+Escribir	Siempre	
112	Alarma_Mecanica_G4	192.168.0.33:502:1	4X:39426	Leer+Escribir	Siempre	

# Apéndice E

Archivos utilizados en el proyecto:

Programación de PLC

[https://github.com/joharbaq/Tesis\\_MACI\\_2025/tree/2dc84e459e6fb8562c25be6a78d7eacfb75929/Programa%20PLC](https://github.com/joharbaq/Tesis_MACI_2025/tree/2dc84e459e6fb8562c25be6a78d7eacfb75929/Programa%20PLC)

Programación de HMI

[https://github.com/joharbaq/Tesis\\_MACI\\_2025/tree/4950b3273fc247ff31ec79b8e1733b4a8f7f5e7f/Programa%20HMI](https://github.com/joharbaq/Tesis_MACI_2025/tree/4950b3273fc247ff31ec79b8e1733b4a8f7f5e7f/Programa%20HMI)

Programación de SCADA

[SCADA Tesis Diesel.rar](#)

Programa de planta

[https://github.com/joharbaq/Tesis\\_MACI\\_2025/tree/ed5b9ecdbf0fca1d7558a04c9aa669f07096319a/Simulaci%C3%B3n%20Planta](https://github.com/joharbaq/Tesis_MACI_2025/tree/ed5b9ecdbf0fca1d7558a04c9aa669f07096319a/Simulaci%C3%B3n%20Planta)