



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO

**SISTEMA DE SUPERVISIÓN INDUSTRIAL BASADO EN ISA-101-
18.2, PARA GENERADORES ELÉCTRICOS MEDIANTE
FACTORYTALK VIEW Y MODBUS TCP/IP**

AUTOR

Castro Camino Ramiro Norberto

TRABAJO DE TITULACIÓN

**Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TUTOR

Pozo Palma, Paúl Marcelo

Santa Elena, Ecuador

Año 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**ALICIA GERMANIA
ANDRADE VERA**

**Ing. Alicia Andrade
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**PAUL MARCELO POZO
PALMA**

**Ing. Paúl Pozo Palma, Ph.D.
TUTOR**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**LUIS ENRIQUE
CHUQUIMARCA JIMENEZ**

**Ing. Luis Chuquimarca Jimenez, Ph.D.
DOCENTE
ESPECIALISTA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**JUNIOR RAFAEL
FIGUEROA OLMEDO**

**Ing. Junior Figueroa Olmedo, Mgtr.
DOCENTE
ESPECIALISTA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**MARIA MARGARITA
RIVERA GONZALEZ**

**Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIO GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por **CASTRO CAMINO RAMIRO NORBERTO**, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Electrónica y Automatización.

TUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**PAUL MARCELO POZO
PALMA**

Pozo Palma Paúl Marcelo Ph. D.

Santa Elena, 30 de julio 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **RAMIRO NORBERTO CASTRO CAMINO**

DECLARO QUE

El trabajo de Titulación, **“SISTEMA DE SUPERVISIÓN INDUSTRIAL BASADO EN ISA-101-18.2, PARA GENERADORES ELÉCTRICOS MEDIANTE FACTORYTALK VIEW Y MODBUS TCP/IP”** previo a la obtención del título en Magíster en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 30 de julio de 2026

EL AUTOR



Firmado electrónicamente por:
**RAMIRO NORBERTO
CASTRO CAMINO**

Ramiro Norberto Castro Camino



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **“SISTEMA DE SUPERVISIÓN INDUSTRIAL BASADO EN ISA-101-18.2, PARA GENERADORES ELÉCTRICOS MEDIANTE FACTORYTALK VIEW Y MODBUS TCP/IP”**, presentado por el estudiante, **RAMIRO NORBERTO CASTRO CAMINO** fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 9%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | UPSE-ECU

CASTRO RAMIRO_TESIS 21-07-2026(1)
ID : 0eef204df346569d87374a1184dfded4eb30277



9%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : CASTRO RAMIRO_TESIS 21-07-2026(1).txt
Tamaño del archivo original : 8,87 MB
Número de palabras : 10.947

Depositante : PAUL MARCELO POZO PALMA
Fecha de depósito : 29 de julio de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 29 de julio de 2026

TUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**PAUL MARCELO POZO
PALMA**

Ing. Paúl Marcelo Pozo Palma Ph. D.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Ramiro Norberto Castro Camino** autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de este proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, 30 de julio de 2026

EL AUTOR



Firmado electrónicamente por:
**RAMIRO NORBERTO
CASTRO CAMINO**

Ramiro Norberto Castro Camino

AGRADECIMIENTO

El presente proyecto de titulación lo dedico en primer lugar a Dios por regalarme la existencia y brindarme la fortaleza y perseverancia, a mi esposa Lorena Mera que con sus palabras de aliento me permitieron seguir avanzando, a mis hijos José e Ismael que complementan mi fuerza y mi impulso, para no decaer.

A mi Madre Teresa con su recuerdo me inspira a seguir caminando por conseguir y cumplir mis metas y objetivos, a mi Padre Ermel con su consejo de que nada es imposible de alcanzar, y que todo sacrificio vale la pena.

Ramiro Norberto Castro Camino

DEDICATORIA

A mis Supervisores quienes permitieron que puede desarrollar el proyecto de titulación, brindando el apoyo durante las jornadas de trabajo en campo necesarias para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A los docentes de la carrera, quienes con sus conocimientos y experiencia brindaron enseñanzas a mi formación académica y profesional, a mi tutor de tesis, por su orientación, y valiosos aportes académicos, los cuales fueron esenciales para el desarrollo y culminación de la presente investigación.

Ramiro Norberto Castro Camino

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO.....	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	IV
DECLARO QUE	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
1.1. Revisión de literatura	4
1.2. Desarrollo teórico y conceptual	5
1.2.1. Supervisión industrial (SCADA/HMI) aplicada a grupos electrógenos	5
1.2.2. Norma ISA-101: fundamentos para el diseño y la gestión de HMI.	7
1.2.3. Norma ISA-18.2 e IEC 62682: gestión de alarmas como eje de seguridad operativa .	9
1.2.4. Modbus TCP/IP en supervisión industrial: arquitectura, desempeño y limitaciones de seguridad	11
1.2.5. FactoryTalk View como plataforma HMI/SCADA: alcance e integración.....	12

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	15
2.1. Contexto de la investigación	15
2.2. Diseño y alcance de la investigación	15
2.3. Tipo y métodos de investigación.....	16
2.4. Población y muestra.....	17
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.....	18
2.6.1. Validez de los instrumentos	18
2.6.2. Confiabilidad de los instrumentos.....	19
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
3.1. Diseño de arquitectura del sistema de control	20
3.1.1 Área de Generación.....	20
3.1.2. Sección de control de motores.....	21
3.1.3. Arquitectura propuesta del sistema de control	22
3.2. Desarrollo de la interfaz gráfica SCADA.	25
3.2.1 Easygen serie 3000 Woodward	25
3.2.2. Engine System Manager ESM.....	26
3.2.3. PLC CompactLogix L35E.....	27
3.2.4. Diseño de interfaces HMI	28
3.2.5. HMI Interfaz de parámetros eléctricos	28
3.2.6. Interfaz HMI de pirómetros de Murphy	31
3.2.7. Interfaz HMI de carga total generada	34
3.3. Implementación del sistema de control automatizado	36
3.3.1. Configuración de alarmas.....	36
3.3.2. Variables Operativas de generación.....	41
3.3.3. Implementación del sistema de control automatizado	43
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS.....	50

ANEXOS	2
---------------------	----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Relación de la norma ISA-101 con las variables	8
Tabla 2 Fases del ciclo de vida ISA-18.2.....	10
Tabla 3 Comparación entre Modbus RTU y Modbus TCP/IP.....	14
Tabla 4 Elementos de la interfaz de Parámetros eléctricos.....	31
Tabla 5 Parámetros de Murphy y ESD	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama esquemático SCADA.....	6
Figura 2 Ciclo de vida ISA 18.2	9
Figura 3 Arquitectura de comunicación MODBUS TCP/IP.....	12
Figura 4 Operación de Generadores	21
Figura 5 Diagrama de Flujo del sistema de control.	22
Figura 6 Arquitectura del sistema de control.....	24
Figura 7 Diagrama de bloques del ESM.....	27
Figura 8 Procesador CompactLogix L35E	28
Figura 9 Interfaz HMI de parámetros eléctricos	30
Figura 10 Parámetros de Murphy y ESD.....	32
Figura 11 Interfaz HMI carga total generada.....	36
Figura 12 HMI Configuración de alarmas	37
Figura 13 HMI Seteo valores de alarmas alto y alto-alto	38
Figura 14 Activación de alarmar por set del alto (180 F°).....	39
Figura 15 Verificación de alarma en banner.....	39
Figura 16 Historial de alarmas	40
Figura 17 Reset de alarmas.....	40
Figura 18 Verificacion de reset alarma en banner	41
Figura 19 Resumen general variables generadoras.....	42
Figura 20 Generación de reportes operativos	43
Figura 21 Dashboard Principal	44

Figura 22 Pantalla del MDC	44
Figura 23 Pantalla Variables Generadoras.....	45
Figura 24 HMI Easygen Generador 11	46
Figura 25 HMI ESM Motor MDC	47

RESUMEN

La generación eléctrica mediante motores a gas se ha consolidado como una alternativa eficiente y de menor impacto ambiental, especialmente en entornos rurales, industriales aislados e infraestructuras críticas, no obstante, muchos de estos sistemas aún operan con esquemas de supervisión manual o poco integrados, lo que limita la detección temprana de fallas y la eficiencia operativa, por lo tanto se tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema automatizado de monitoreo y control remoto para grupos de generadores eléctricos a gas, basado en protocolos de comunicación industrial Modbus TCP/IP y una plataforma SCADA, cumpliendo las normas ISA-101 e ISA-18.2.

El estudio adopta un enfoque cuantitativo, experimental y explicativo, evaluando variables operativas críticas mediante sensores industriales, PLC y supervisión en tiempo real, los resultados evidencian mejoras en la eficiencia operativa, la gestión de alarmas y la disponibilidad del sistema, constituyendo una solución técnica escalable, replicable y de bajo costo, con aportes relevantes en los ámbitos técnico, académico y social para la generación eléctrica descentralizada.

Palabras claves: *gas, generación eléctrica, control.*

ABSTRACT

Electricity generation using gas engines has become established as an efficient and environmentally friendly alternative, especially in rural areas, isolated industrial sites, and critical infrastructure, however, many of these systems still operate with manual or poorly integrated monitoring schemes, which limits early fault detection and operational efficiency, therefore, the objective is to design and implement an automated remote monitoring and control system for groups of gas-fired electric generators, based on Modbus TCP/IP industrial communication protocols and a SCADA platform, complying with ISA-101 and ISA-18.2 standards.

The study adopts a quantitative, experimental, and explanatory approach, evaluating critical operating variables using industrial sensors, PLCs, and real-time monitoring; the results demonstrate improvements in operational efficiency, alarm management, and system availability, constituting a scalable, replicable, and low-cost technical solution with significant contributions in the technical, academic, and social spheres for decentralized electricity generation.

Keywords: *gas, electricity generation, control.*

INTRODUCCIÓN

La generación eléctrica mediante motores a gas constituye una alternativa eficiente para el suministro energético en instalaciones industriales y sistemas aislados, debido a su capacidad de operación continua y al aprovechamiento de recursos energéticos disponibles localmente. Su aplicación requiere un monitoreo permanente de variables críticas como temperatura, presión, velocidad, voltaje, corriente y carga, con el fin de garantizar condiciones seguras de operación y prevenir fallas en los equipos.

Sin embargo, en muchas instalaciones la supervisión de estos parámetros continúa realizándose mediante procedimientos manuales o sistemas parcialmente automatizados, dificultando la visualización integral del proceso y limitando la detección temprana de anomalías. Esta situación puede incrementar los tiempos de respuesta ante fallas, afectar la disponibilidad de los generadores y aumentar los costos asociados al mantenimiento correctivo.

La ausencia de criterios estandarizados para el diseño de interfaces de supervisión y sistemas de alarmas puede generar una interpretación inadecuada de la información presentada al operador. En este contexto, las normas ISA-101 e ISA-18.2 proporcionan lineamientos para mejorar la visualización de procesos industriales y la gestión eficiente de alarmas dentro de plataformas de supervisión.

Frente a esta problemática, la presente investigación propone la implementación de un sistema automatizado de monitoreo y control remoto para grupos de generadores eléctricos a gas, basado en un PLC CompactLogix L35E, comunicación Modbus TCP/IP y una plataforma SCADA. La propuesta se enfoca en obtener, en tiempo real, las variables más importantes del proceso, desarrollar interfaces HMI que permitan la supervisión a distancia e incorporar un sistema de alarmas alineado con las normas internacionales aplicables.

El estudio abarca el diseño y la implementación de la arquitectura de supervisión, la comunicación entre los diferentes equipos industriales, la representación gráfica de las variables del proceso y la administración de alarmas.

Como hipótesis se plantea que la incorporación de un sistema automatizado de supervisión, sustentado en tecnologías SCADA y protocolos de comunicación industrial, contribuirá a incrementar la eficiencia operativa, optimizar el monitoreo y mejorar la disponibilidad de los grupos electrógenos a gas. Además, facilitará la identificación oportuna de fallas y permitirá que los operadores tomen decisiones con mayor rapidez y precisión.

Desde una perspectiva técnica y académica, esta investigación propone una alternativa que puede ampliarse e implementarse en otros sistemas de generación eléctrica descentralizada. Se promueve la aplicación de estándares internacionales de automatización industrial en escenarios reales, aportando una solución adaptable a distintos entornos.

Formulación del problema de investigación

¿Cómo influye la implementación de un sistema automatizado de monitoreo y control remoto, basado en plataformas SCADA y protocolos de comunicación industrial, en la eficiencia operativa y en la capacidad de supervisión de grupos de generadores eléctricos que funcionan a gas?

Objetivo General:

Implementar un sistema de control automatizado en equipos de generación eléctrica a gas, que mejoren la eficiencia operativa y la toma de decisiones mediante la supervisión en tiempo real.

Objetivos Específicos:

1. Diseñar la arquitectura de un sistema de monitoreo para la adquisición de datos en tiempo real, que registre variables críticas de generadores eléctricos a gas mediante programación de un PLC L35E con protocolos industriales de comunicación (como Modbus TCP/IP).
2. Desarrollar una interfaz gráfica SCADA para la supervisión remota del estado de los generadores eléctricos, que cumpla con la norma ISA-101 y sea accesible desde estación central.
3. Implementar un sistema de alarmas conforme a la norma ISA-18.2, para facilitar la toma de decisiones y reducir eventos no planificados mediante criterios de clasificación, priorización y registro histórico.

Planteamiento hipotético

La implementación de un sistema automatizado de monitoreo y control remoto, basado en tecnologías de comunicación industrial como Modbus TCP/IP y plataformas SCADA, mejorará significativamente la eficiencia operativa, la detección temprana de fallas y la disponibilidad de los grupos de generadores eléctricos a gas, diseñada bajo estándares internacionales de interfaces y gestión de alarmas, constituyendo una solución técnica viable y eficiente para optimizar la gestión de la generación eléctrica descentralizada y mejorar la seguridad operativa del sistema.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Revisión de literatura

La generación eléctrica mediante motores a gas se ha consolidado como una alternativa eficiente y confiable para aplicaciones industriales y sistemas de respaldo energético, debido a sus menores emisiones y mayor flexibilidad operativa respecto a otras tecnologías convencionales. Sin embargo, la disponibilidad y confiabilidad de estos sistemas dependen del monitoreo continuo de variables críticas como temperatura, presión, voltaje y frecuencia, lo que ha impulsado la incorporación de tecnologías de supervisión y control avanzadas. En este contexto, las arquitecturas Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) integradas con tecnologías IoT han permitido mejorar la adquisición de datos y la supervisión remota en sistemas energéticos distribuidos, especialmente en instalaciones basadas en gas natural (Waqas & Jamil, 2024a).

Los sistemas SCADA constituyen una de las tecnologías más utilizadas para la adquisición y procesamiento de datos en tiempo real dentro de entornos industriales. Según He et al. (2024) una arquitectura que integra tecnologías IoT y SCADA permite mejorar el monitoreo y control de sistemas fotovoltaicos. En su estudio, demostraron que la implementación de sensores inteligentes junto a plataformas de supervisión incrementa la disponibilidad de los equipos y facilita la gestión remota de los recursos energéticos. Aunque la investigación se centró en instalaciones fotovoltaicas, los principios y resultados obtenidos son aplicables a sistemas de generación eléctrica a gas, dado que ambos requieren la adquisición continua de variables operativas y un monitoreo constante.

Por otro lado, Gonzalez et al. (2018) desarrollaron una plataforma SCADA para supervisar el consumo de combustible y evaluar la eficiencia energética de generadores diésel. Los resultados mostraron mejoras tanto en el control del proceso como en la supervisión remota de los equipos. De manera similar, Beretta et al. (2020) emplearon información de un sistema SCADA combinada con técnicas de aprendizaje automático para detectar fallas en generadores eólicos mediante el análisis de alarmas y el uso de

autoencoders. A pesar de que estas investigaciones se llevaron a cabo en tecnologías distintas a los motores a gas, ambas evidencian que los sistemas SCADA son fundamentales para optimizar las tareas de mantenimiento, aumentar la disponibilidad de los equipos y detectar anomalías de forma temprana, aspectos que también son parte de los objetivos de esta investigación.

En este mismo contexto, Gnana Swathika et al. (2024) indican que la integración entre PLC y SCADA es uno de los elementos clave de la automatización industrial contemporánea, especialmente en aplicaciones del sector energético donde el monitoreo continuo es esencial para mantener la eficiencia de los procesos. Este enfoque respalda el uso del PLC CompactLogix L35E y de la plataforma FactoryTalk View en el presente trabajo.

En conjunto, la revisión de la literatura demuestra que las arquitecturas SCADA, al integrarse con PLC y tecnologías IoT, se han establecido como una opción efectiva para la automatización y supervisión de sistemas energéticos. Los estudios revisados presentan resultados positivos en aplicaciones de monitoreo en tiempo real, telemetría y mantenimiento predictivo, utilizando el seguimiento de variables como temperatura, presión, voltaje y frecuencia para optimizar el rendimiento y la fiabilidad de la operación.

1.2. Desarrollo teórico y conceptual

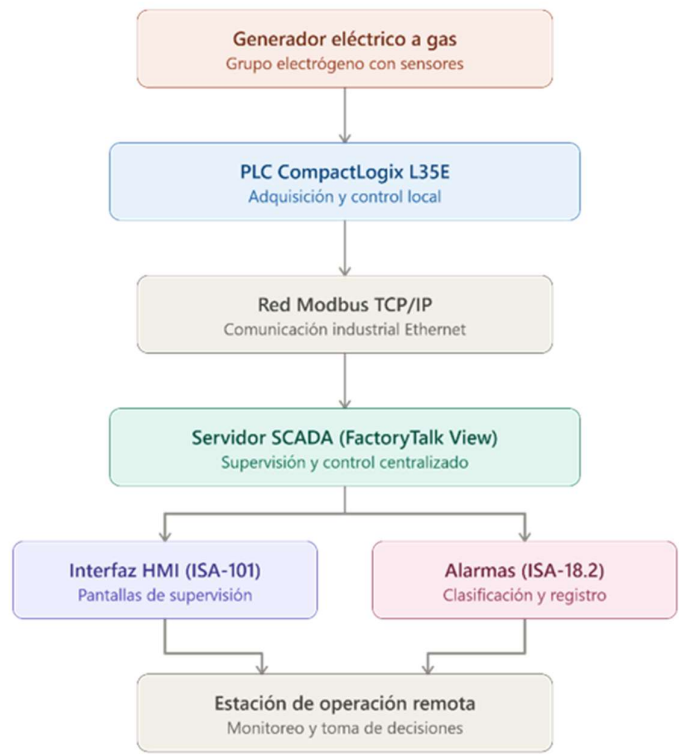
1.2.1. Supervisión industrial (SCADA/HMI) aplicada a grupos electrógenos

La supervisión industrial integra adquisición de datos, visualización, alarmas, tendencias e históricos para apoyar la operación segura y eficiente de procesos críticos. En el contexto de generadores eléctricos como motores a gas o diésel, el sistema SCADA/HMI se orienta a monitorear variables operativas entre tensión, corriente, potencia, frecuencia, temperatura, presión, velocidad, niveles, estados y fallas habilitando acciones de operación (arranque/parada, transferencia, modos de control) bajo restricciones de seguridad y disponibilidad; en infraestructuras críticas y ubicaciones remotas, la supervisión cobra especial relevancia por la necesidad de respuesta temprana a fallas,

reducción de paradas no planificadas y trazabilidad de eventos históricos, auditoría y análisis posterior (Waqas & Jamil, 2024b) .

La literatura reciente sobre arquitecturas de monitoreo energético/SCADA en estaciones remotas evidencia la tendencia a integrar sensores, comunicaciones industriales y plataformas de supervisión para mejorar visibilidad operativa y toma de decisiones como se muestra en la

Figura 1 Diagrama esquemático SCADA.



Nota: Configuración de sistema SCADA para el sistema.

Fuente (Waqas & Jamil, 2024b).

La integración de los principales componentes y el flujo de comunicación de la arquitectura propuesta se presentan en la **Figura 1**.

La arquitectura propuesta para el sistema de supervisión industrial se fundamenta en la adquisición de las variables críticas de los grupos electrógenos a gas, entre ellas temperatura, presión, velocidad, voltaje, corriente y carga, mediante sensores de campo conectados a un PLC CompactLogix L35E, encargado del procesamiento de las señales y del control local del proceso. La comunicación entre el PLC y la plataforma de supervisión se establece mediante el protocolo Modbus TCP/IP, permitiendo la transmisión de los datos hacia el sistema SCADA desarrollado en FactoryTalk View. Este sistema centraliza la visualización y supervisión del proceso mediante una interfaz gráfica diseñada bajo los lineamientos de la norma ISA-101, mientras que la gestión de alarmas se implementa considerando los criterios establecidos por la norma ISA-18.2 para la clasificación, priorización y registro de eventos anómalos. De esta manera, el operador puede supervisar las condiciones de funcionamiento de los grupos electrógenos y disponer de información del proceso desde una estación de operación remota.

Desde una perspectiva de ingeniería de sistemas, un SCADA/HMI para generadores suele estructurarse por capas:

- i. Campo (sensores/actuadores, PLC/RTU).
- ii. Comunicación (red industrial).
- iii. Supervisión (servidor HMI/SCADA, alarmas, históricos) y
- iv. Usuario (estaciones de operador, mantenimiento y jefatura).

Esta separación permite analizar el desempeño del sistema con variables como disponibilidad, latencia de comunicación, integridad de datos, tiempo de respuesta ante alarmas, carga cognitiva del operador y calidad de la presentación HMI.

1.2.2. Norma ISA-101: fundamentos para el diseño y la gestión de HMI.

La ANSI/ISA-101.01-2015 establece un marco para diseñar y gestionar HMIs en automatización de procesos con enfoque de ciclo de vida, buscando mejorar seguridad, eficiencia y desempeño del operador mediante principios de consistencia, navegación, jerarquía visual y apoyo a la conciencia situacional.

International Society of Automation (2015) norman que el aporte central de ISA-101 es la formalización de tres artefactos clave: Filosofía HMI, Guía de Estilo HMI y Toolkit (biblioteca/objetos reutilizables), los que permiten pasar de decisiones “ad hoc” a un diseño gobernado por criterios verificables, en implementaciones con plataformas comerciales, este enfoque se traduce en plantillas de pantallas, paletas controladas, reglas para colores, contrastes, simbología uniforme y navegación por niveles (visión general, detalle y diagnóstico).

a) Enfoques contemporáneos vinculados a ISA-101

En la práctica industrial reciente, ISA-101 suele articularse con el paradigma de High-Performance HMI, que prioriza claridad, reducción de ruido visual, uso selectivo del color resaltando anormalidad, tendencia histórica y contexto operacional para acelerar diagnósticos, un soporte aplicado a este enfoque son guías de estilo de fabricantes que alinean sus recomendaciones con ISA-101 (Rockwell Automation, 2019); de esta manera se puede visualizar en la **Tabla 1** la relación con las variables de estudio directamente.

Tabla 1 Relación de la norma ISA-101 con las variables

Variable	Relación
Usabilidad/efectividad HMI	Facilidad para localizar información crítica.
Conciencia situacional	Detección temprana de desviaciones.
Tiempo de respuesta del operador	Desde la alarma hasta la acción.
Consistencia y error humano	Reducción de interpretaciones ambiguas

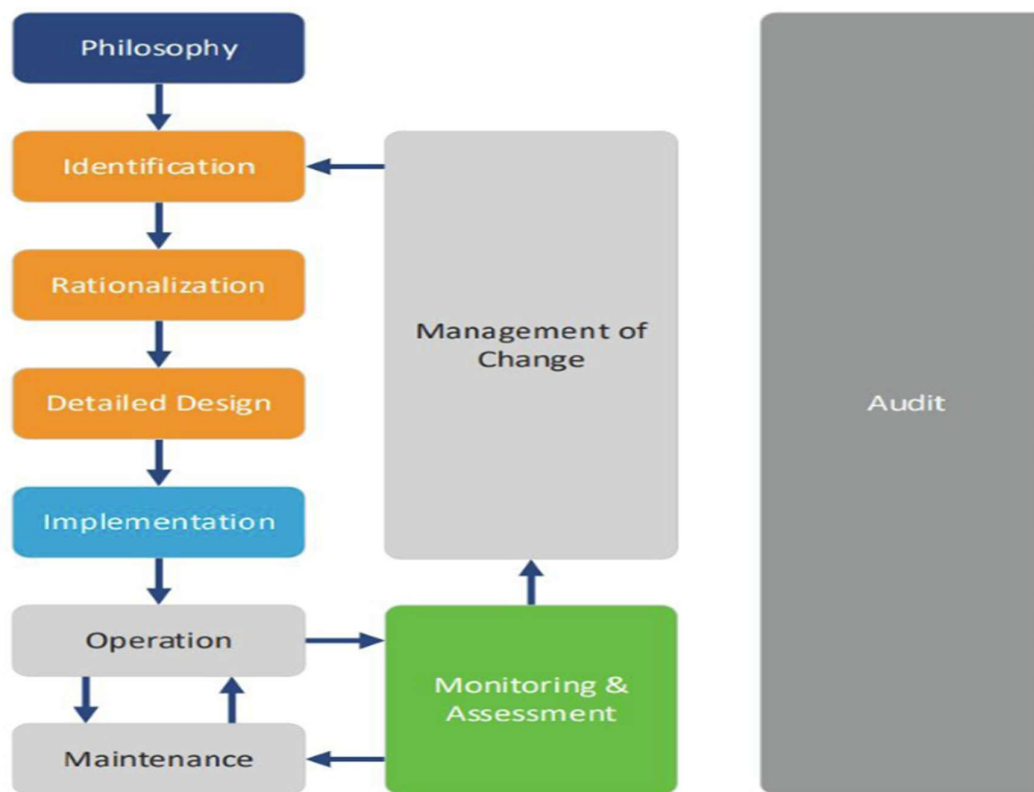
Nota: Conexión de la norma ISA-101 y su relación con las variables intervinientes.

Fuente: El autor.

1.2.3. Norma ISA-18.2 e IEC 62682: gestión de alarmas como eje de seguridad operativa

La ANSI/ISA-18.2 define requisitos y procesos para la gestión del sistema de alarmas en industrias de proceso, incorporando un modelo de ciclo de vida que se muestra en la **Figura 2** en donde se expone: especificación, diseño, implementación, operación, monitoreo, mantenimiento y gestión del cambio (International Society of Automation, 2016).

Figura 2 Ciclo de vida ISA 18.2



Nota: Fases clave de la administración de alarmas y su ciclo de vida (ISA 18.2).

Fuente: (International Society of Automation, 2016).

En la **Tabla 2** se presentan las principales fases que conforman el ciclo de vida para la gestión de alarmas establecido por la norma ANSI/ISA-18.2. En ella se describe la función de cada fase y su importancia dentro de la administración del sistema de alarmas, desde la definición de la filosofía y la racionalización de las alarmas hasta su diseño, implementación, operación, monitoreo y mantenimiento.

Cada fase cumple una función específica dentro de este proceso, permitiendo establecer una gestión sistemática que garantice que las alarmas sean pertinentes, accionables y gestionadas adecuadamente durante su ciclo de vida, tal como se detalla a continuación.

Tabla 2 Fases del ciclo de vida ISA-18.2.

Fase	Descripción
Filosofía de Alarmas	Base del ciclo de vida de la gestión de alarmas, define los principios, objetivos y estrategias del sistema, estableciendo qué es una alarma, sus prioridades y los criterios de supresión.
Racionalización de Alarmas	Evaluación de cada alarma para asegurar su utilidad, capacidad de acción y relevancia para el operador, eliminando alarmas innecesarias y disminuyendo la saturación de alarmas.
Diseño de Alarmas	Configuración del sistema de alarmas de acuerdo con la racionalización, estableciendo puntos de activación, opciones de ocultamiento (shelving) y mensajes claros y comprensibles.
Implementación	Integración del sistema de alarmas en el sistema de control, formación de operadores y establecimiento de procedimientos para situaciones anormales.
Operación	Gestión diaria del sistema de alarmas, supervisando su rendimiento, controlando alarmas excesivas y garantizando el cumplimiento de los objetivos establecidos.
Mantenimiento y Monitoreo	Seguimiento continuo del rendimiento del sistema, mantenimiento regular, actualización de configuraciones y documentación, así como la corrección de problemas identificados.

Nota: Descripción de las fases del ciclo de vida de la norma ISA-18.2

Fuente: (International Society of Automation, 2016).

A nivel internacional, IEC 62682 se desarrolló a partir de ISA-18.2 y mantiene el enfoque de ciclo de vida, con énfasis en asegurar que las alarmas sean accionables, racionalizadas y mantenidas para evitar sobrecarga (alarm floods) y degradación del desempeño humano, recientemente International Electrotechnical Commission (2023) destaca la vigencia del problema y la necesidad de prácticas sistemáticas de gestión.

a) Comparación y complementariedad

EEMUA (2024) en su guía fundamentada en ISA-18.2 e IEC 62682, ofrece recomendaciones prácticas para mitigar la sobrecarga de alarmas y mejorar su gestión.

Entre los conceptos clave se incluyen:

- **Racionalización:** Establecer el propósito, la prioridad, el umbral de activación, la respuesta esperada y las repercusiones de no actuar.
- **Métricas de desempeño:** Analizar la cantidad de alarmas por operador y por tiempo, las alarmas repetitivas, el chattering y las inundaciones de alarmas.
- **Gestión del cambio:** Garantizar que las alteraciones en la lógica o en las HMI no comprometan el rendimiento del sistema de alarmas.

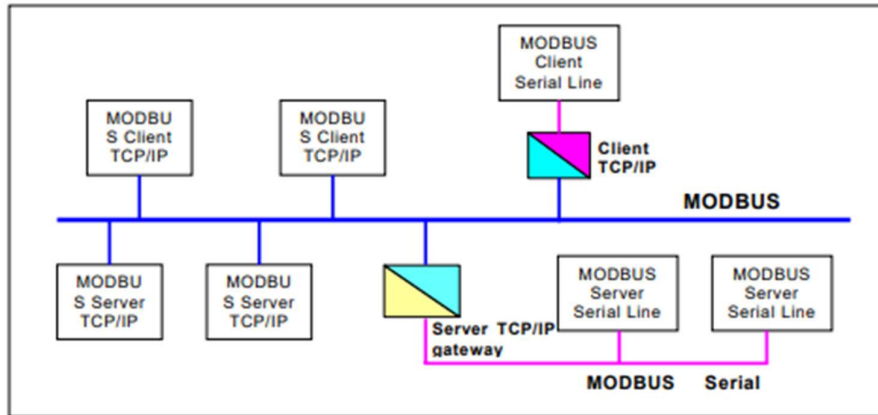
Y vincula la norma con:

- **Indicadores de desempeño de alarmas** (tasa, floods, repetitividad).
- **Tiempo de reconocimiento y respuesta.**
- **Disponibilidad y continuidad operativa** del grupo generador (reducción de disparos evitables).
- **Seguridad funcional/procedimental** (alarmas como barrera operativa).

1.2.4. Modbus TCP/IP en supervisión industrial: arquitectura, desempeño y limitaciones de seguridad

Modbus TCP/IP es un mapeo de Modbus sobre TCP/IP como se puede observar en **Figura 3**, mantiene un modelo cliente/servidor para lectura/escritura de registros (coils, discrete inputs, input/holding registers), su adopción se explica por simplicidad e interoperabilidad entre PLC/RTU, gateways y sistemas SCADA/HMI descrito en la arquitectura y encapsulamiento sobre TCP/IP (Modbusorg, 2006).

Figura 3 Arquitectura de comunicación MODBUS TCP/IP



Nota: Arquitectura de comunicación MODBUS TCP/IP cliente – servidor.

Fuente: (Modbusorg, 2006).

a) Limitación estructural clave

Dao et al. (2025) manifiesta que Modbus clásico carece de cifrado, autenticación e integridad, lo que lo hace vulnerable a interceptación, suplantación y manipulación si se usa sin controles adicionales, estudios recientes y propuestas de mejora abordan precisamente estas debilidades en entornos ICS/SCADA, ante esto como respuesta, la Modbus Organization publicó Modbus Security, que incorpora TLS y certificados X.509 para autenticación e integridad (encapsulamiento seguro) (Modbusorg, 2006).

En un sistema de supervisión para generadores, Modbus TCP/IP impacta en:

- Latencia de lectura/escritura y tasa de actualización HMI (rendimiento percibido).
- Pérdida de comunicación y calidad de datos (timeouts, reconexión).
- Riesgo ciber (exposición de red, acceso no autorizado).
- Disponibilidad (ataques/errores que provocan caída o datos corruptos).

1.2.5. FactoryTalk View como plataforma HMI/SCADA: alcance e integración

a) FactoryTalk View Site Edition (SE)

Es una solución HMI/SCADA escalable para visualización en tiempo real, capaz de operar desde estaciones individuales hasta arquitecturas distribuidas con servidores, clientes y componentes de soporte, por ejemplo, historización, su documentación técnica y página de producto describen su enfoque como plataforma de operaciones con capacidades de despliegue y escalabilidad, en términos de diseño Rockwell Automation (2019) indica los lineamientos de estilo y objetos reutilizables permiten alinear la implementación con ISA-101 mediante bibliotecas consistentes, navegación estandarizada, y convenciones visuales como plantillas, banners, alarmas, tendencias, lo cual favorece mantenibilidad y coherencia.

FactoryTalk View se asocia con:

- Calidad de presentación HMI en consistencia, navegación, jerarquía.
- Gestión de alarmas e históricos trazabilidad y análisis.
- Disponibilidad de la supervisión arquitectura cliente/servidor, redundancias según diseño.
- Mantenibilidad en reutilización de objetos, control de cambios.

b) Comparación entre Modbus RTU y Modbus TCP/IP

El protocolo Modbus ha evolucionado desde arquitecturas seriales tradicionales hacia implementaciones basadas en redes Ethernet industriales. Modbus RTU opera a través de interfaces seriales, tales como RS-232 y RS-485, utilizando una estructura maestro-esclavo y códigos CRC para asegurar la integridad de los datos transmitidos. Por otro lado, Modbus TCP/IP envía los mensajes Modbus a través del protocolo TCP/IP y utiliza un modelo cliente-servidor, lo que facilita la comunicación en redes Ethernet y mejora la compatibilidad entre dispositivos industriales (Modbusorg, 2006).

La adopción de Modbus TCP/IP en sistemas SCADA modernos responde a sus ventajas en términos de escalabilidad, integración con redes IP y compatibilidad con plataformas de supervisión industrial. Estas características resultan especialmente relevantes en aplicaciones que requieren monitoreo remoto y adquisición de datos en tiempo real. En la presente investigación se emplea Modbus TCP/IP debido a su compatibilidad con el

PLC CompactLogix L35E y la plataforma FactoryTalk View, permitiendo implementar una arquitectura abierta y escalable para la supervisión de grupos electrógenos a gas (Dao et al., 2025; Modbusorg, 2006).

En la **Tabla 3** se presenta una comparación entre Modbus RTU y Modbus TCP/IP, considerando características como el medio físico, la arquitectura de comunicación, la integridad de los datos, la escalabilidad y su integración con sistemas SCADA. Esta comparación permite identificar las principales diferencias entre ambas variantes del protocolo y sustentar la selección de Modbus TCP/IP para la arquitectura de comunicación propuesta.

Tabla 3 Comparación entre Modbus RTU y Modbus TCP/IP

Característica	Modbus RTU	Modbus TCP/IP
Medio físico	RS-232 / RS-485	Ethernet
Arquitectura	Maestro–esclavo	Cliente–servidor
Integridad de datos	CRC-16	TCP/IP, MBAP Header
Escalabilidad	Limitada por el bus serial	Alta integración en redes IP
Integración con SCADA	Requiere interfaces seriales o gateways	Integración directa

Nota: Comparación entre Modbus RTU y Modbus TCP/IP

Fuente: (Dao et al., 2025; Modbusorg, 2006)

c) Arquitectura jerárquica ISA-95 para sistemas de supervisión industrial

La norma ANSI/ISA-95, conocida internacionalmente como IEC 62264, establece un modelo jerárquico para la integración entre sistemas empresariales y sistemas de control industrial, organizando la arquitectura en distintos niveles funcionales que abarcan desde el proceso físico hasta la supervisión y gestión de la información. Esta estructura permite separar las funciones de adquisición de datos, control, comunicación y supervisión, facilitando la interoperabilidad entre dispositivos heterogéneos como PLC, SCADA, HMI y equipos de campo (*ISA-95 Standard: Enterprise-Control System Integration*, s/f).

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Contexto de la investigación

La presente investigación se desarrolla en el Bloque 46, campo MDC, específicamente en el área de generación eléctrica, donde la producción de energía se realiza mediante generadores eléctricos a gas alimentados por gas proveniente del proceso de separación de petróleo, esta estación de generación forma parte de la infraestructura crítica para la operación continua del campo, asegurando el suministro eléctrico a sistemas de producción, control y seguridad.

La planta de generación dispone de 12 generadores eléctricos a gas, cada uno con una potencia aproximada de 1 MW. Estos dispositivos operan de forma distribuida y, cuando las circunstancias lo requieren, pueden funcionar en conjunto. Esta configuración representa una alternativa eficiente y versátil, además de producir menores emisiones contaminantes en comparación con sistemas que utilizan diésel o carbón.

Actualmente, la supervisión de los generadores presenta deficiencias relacionadas con la estandarización de las interfaces, la gestión de alarmas y la visualización integral del proceso. Por lo tanto, se propone implementar un sistema de supervisión industrial basado en las normas ISA-101 para el diseño de HMI e ISA-18.2 para la gestión de alarmas, utilizando FactoryTalk View como plataforma de supervisión y Modbus TCP/IP como protocolo de comunicación industrial.

2.2. Diseño y alcance de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental-aplicado, debido a que se intervino directamente en el objeto de estudio mediante el diseño, implementación y validación de un sistema automatizado de supervisión industrial para generadores eléctricos a gas, este enfoque permite analizar empíricamente los efectos de la automatización y estandarización de interfaces sobre variables operativas críticas del sistema.

La investigación abarca la creación de un prototipo operativo que incorpora sensores industriales, un PLC y una red de comunicación Modbus TCP/IP. Incluye la configuración de pantallas HMI de acuerdo con los lineamientos de la norma ISA-101 y la implementación de la gestión de alarmas conforme a ISA-18.2. Por último, se llevan a cabo pruebas de arranque, operación, sincronización y monitoreo continuo de los generadores en condiciones controladas y en escenarios que representan el funcionamiento real.

En cuanto al alcance, la investigación es de tipo explicativo, ya que busca establecer una relación causal entre la implementación del sistema de supervisión industrial y la mejora en indicadores como eficiencia operativa, reducción de fallas, tiempos de respuesta ante eventos anómalos y disponibilidad del sistema. Este alcance permite comprender cómo y por qué la aplicación de normas ISA y tecnologías SCADA impacta positivamente en la gestión de generación eléctrica

2.3. Tipo y métodos de investigación

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, centrado en la medición objetiva de variables operativas provenientes de los generadores eléctricos a gas, entre las variables analizadas se incluyen temperatura, presión, voltaje, frecuencia, potencia activa, estados de operación, tiempos de arranque y respuesta ante alarmas.

Este enfoque cuantitativo permite comparar el desempeño del sistema antes y después de la implementación del sistema de supervisión industrial, utilizando indicadores, medibles y verificables.

Los resultados obtenidos validan la hipótesis formulada y evidencian la viabilidad del sistema desarrollado.

La metodología principal utilizada es el método hipotético-deductivo, que parte de la premisa de que un sistema SCADA basado en las normas ISA-101 e ISA-18.2 mejora el rendimiento operativo de los generadores. Adicionalmente, se aplican los métodos analítico y sintético, analizando de manera separada los componentes del sistema para posteriormente integrarlos en una solución funcional.

2.4. Población y muestra

La población de estudio está conformada por instalaciones industriales que operan grupos de generadores eléctricos a gas como fuente principal o de respaldo energético, incluyendo plantas industriales, infraestructuras críticas y estaciones de generación distribuida.

Para el presente estudio, la muestra corresponde a la estación de generación eléctrica del Bloque 46, compuesta por 12 generadores eléctricos a gas, así como por el personal técnico y operativo directamente involucrado en su supervisión y mantenimiento, distribuido de la siguiente manera:

- 2 técnicos de control.
- 2 técnicos de instrumentación.
- 4 operadores SCADA en sala de control.
- 2 técnicos mecánicos.

Con un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a la accesibilidad del sitio, la disponibilidad de los equipos y la factibilidad técnica para la implementación del prototipo, siendo un tamaño de muestra adecuado para una investigación experimental-aplicada cuyo objetivo es validar una solución tecnológica en un entorno real.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos cuantitativos, se realiza una revisión exhaustiva de documentación técnica, manuales de fabricantes, normas industriales (ISA-101, ISA-

18.2, IEC, ANSI), informes operativos y registros históricos del sistema de generación eléctrica, relacionados con variables como temperatura, presión, voltaje, frecuencia, potencia generada, estados de operación, tiempos de arranque, eventos de falla y alarmas,, se recogen datos directamente del sistema de supervisión industrial mediante el SCADA FactoryTalk View, a través de registros automáticos y tendencias obtenidas vía comunicación Modbus TCP/IP, los cuales permitirán evaluar el desempeño operativo de los generadores eléctricos a gas.

En cuanto a los datos cualitativos, se emplean técnicas como entrevistas semiestructuradas y cuestionarios dirigidos al personal técnico y operativo involucrado en la supervisión de los generadores eléctricos.

2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.

La validez y confiabilidad de los instrumentos utilizados garantizan la precisión y reproducibilidad de los datos recolectados, al tratarse de una investigación cuantitativa y experimental, se prioriza el uso de instrumentación estandarizada y métodos técnicos de verificación.

2.6.1. Validez de los instrumentos

a) Validez de contenido

Los sensores y el sistema SCADA fueron seleccionados conforme a normas técnicas reconocidas (ANSI, IEC, ISA), asegurando rangos de medición, resolución y precisión adecuados para generadores eléctricos a gas, su selección fue validada por personal técnico especializado en automatización e instrumentación.

b) Validez criterio

Las lecturas obtenidas por el sistema automatizado fueron comparadas con instrumentos de referencia calibrados, como multímetros certificados, manómetros y termómetros industriales, garantizando coherencia entre mediciones.

c) Validez de experimental

Durante las pruebas se controlaron las condiciones operativas y se documentaron variables externas, asegurando que los cambios observados fueran atribuibles a la implementación del sistema de supervisión industrial.

2.6.2. Confiabilidad de los instrumentos

a) Pruebas de repetibilidad

Se realizaron mediciones repetidas bajo condiciones similares, verificando consistencia en los resultados dentro del margen de error permitido.

b) Análisis de correlación

Se aplicaron pruebas estadísticas de correlación entre mediciones repetidas y valores de referencia para evaluar la estabilidad del sistema de medición.

c) Calibración y trazabilidad

Los sensores utilizados cuentan con calibración de fábrica o verificación frente a instrumentos patrón, asegurando trazabilidad metrológica.

d) Prueba piloto del sistema

Antes de la recolección definitiva de datos, se ejecutó una prueba piloto del sistema SCADA, validando la lógica de arranque, la comunicación Modbus TCP/IP, la visualización en FactoryTalk View y la correcta gestión de alarmas según ISA-18.2.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir del diseño e implementación del sistema de supervisión industrial para generadores eléctricos, desarrollado bajo los lineamientos de las normas ISA-101 e ISA-18.2, utilizando la plataforma FactoryTalk View y el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP, los resultados expuestos reflejan el desempeño funcional del sistema SCADA en condiciones reales de operación, considerando aspectos de monitoreo, visualización, gestión de alarmas y confiabilidad de la comunicación industrial.

El análisis se centra en la evaluación de la arquitectura de supervisión propuesta, la correcta adquisición y transmisión de variables eléctricas críticas, la organización jerárquica de pantallas conforme a la norma ISA-101, así como la efectividad del sistema de alarmas basado en los principios de racionalización, priorización y gestión establecidos por la norma ISA-18.2, de la misma manera se examina la respuesta del sistema ante eventos operativos y condiciones anómalas, evidenciando su aporte a la mejora de la visibilidad operativa y la toma de decisiones del personal técnico.

3.1. Diseño de arquitectura del sistema de control

Actualmente el parque de generación se compone de doce grupos de electrógenos marca Waukesha los cuales funcionan con gas natural, este sistema centrado en estos doce grupos obtiene una producción de alrededor 9000 KVA, siendo la demanda requerida 6800 KVA quedando una potencia rodante de 1200 KVA; esta estación se conforma por un centro de motores MCC en donde se ubican los equipos como PLCs, concentrados de señales, breakers, relés de protección, equipos energéticos, etc.

3.1.1 Área de Generación

Los doce grupos de electrógenos Waukesha como se muestra en el Anexo 1 **Anexo 1** , tienen como principal fuente de energía gas natural que se obtiene de los pozos de

producción generando una potencia de 9000KVA y su nivel de generación de baja tensión equivale a 480V.

A continuación, en la **Figura 4** se presenta la potencia generada por cada uno de los grupos electrógenos conectados a la MCC, permitiendo identificar la capacidad de generación de cada equipo y su aporte al sistema eléctrico.

Figura 4 Operación de Generadores

Trending													
MOTOGENERADOR	GE-50401	GE-50402	GE-50403	GE-50404	GE-50405	GE-50406	GE-50407	GE-50408	GE-50409	GE-50410	GE-60401	GE-58401	GE-50411
Voltaje (V)	478	478	478	478	480	480	481	481	482	481	479	13602	0
Frecuencia (Hz)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	0
Pot Activa (kw)	647	653	632	661	646	696	683	688	648	666	750	700	0
Pot Reactiva (kVAR)	284	304	270	286	227	234	197	192	174	202	153	-144	0
Pot Aparente (kVA)	707	724	691	717	684	737	712	694	670	697	764	714	0
Ip	0.92	0.90	0.92	0.92	0.94	0.94	0.96	0.96	0.97	0.96	0.98	0.98	0.00
Horómetros	157938.39	157892.52	152972.03	138705.80	116805.59	116825.87	101563.69	100371.16	37489.36	37323.69	7907.42	17343.69	0.00
Presión de aceite (PSI)	48	44	53	45	51	51	55	46	57	53	51	55	0
Temp. de agua (°F)	179	179	176	176	176	179	177	179	177	177	179	182	-40
Temp. de aceite (°F)	177	174	172	181	179	177	177	181	174	177	177	180	-40
Temp. de manifold (°F)	122	122	123	114	127	123	111	105	129	127	122	125	-40
Porcentaje de carga (%)	68	68	68	68	76	60	70	69	65	63	61	69	0
Posición acelerador (%)	37	34	31	35	32	47	32	38	56	36	45	40	0
Banco izquierdo (inHg)	28	29	28	27	33	30	27	27	30	27	30	29	0
Banco derecho (inHg)	30	28	28	29	31	29	31	30	27	25	27	28	0
Temp. de cilindros (°C)													
1	717	707	732	723	721	693	674	703	693	662	697	692	-17
2	735	705	737	719	728	722	683	705	697	702	712	693	-18
3	733	704	729	719	732	723	686	709	703	689	709	699	-18
4	722	707	730	711	711	706	670	704	691	677	707	699	-18
5	737	727	735	677	731	723	683	712	708	684	712	712	-18
6	699	682	691	675	702	685	654	685	672	659	692	684	-18
7	733	708	1114	718	728	735	685	711	714	685	710	699	-18
8	704	725	728	691	720	724	681	723	708	703	718	714	-17
9	702	734	739	720	735	716	678	724	706	708	720	721	-17
10	716	709	730	726	730	722	681	711	704	679	716	710	-18
11	735	719	722	722	719	722	676	730	712	695	717	716	-18
12	708	731	722	729	724	724	686	726	699	692	714	716	-18
13	726	721	722	719	723	715	675	708	685	693	697	702	-18
14	746	712	704	726	722	729	702	712	697	684	707	700	-18
Energía Real (MWh)	76378.02	76874.15	63746.83	65601.31	81410.63	81197.11	71075.08	70337.06	28063.16	28035.92	6194.94	13770.48	0.00
Energía Reactiva (MVarh)	26272.52	26846.14	17784.26	18663.15	19995.37	20008.06	18076.25	17708.35	6708.95	7592.02	1231.73	2.10	0.00
Horómetros	157938.39	157892.52	152972.03	138705.80	116805.59	116825.87	101563.69	100371.16	37489.36	37323.69	7907.42	17343.69	0.00
Energía F3 (MWh)	7031.50	H COMPRESOR MDC 02		14177.00	FOIT -50316		132176.7	ENERGIA		2004.76			
Energía F4 (MWh)	10556.75	H COMPRESOR MDC 40		12805.00	FOIT -50409		11047.79	E REACTIVA		519.05			
Energía F5 (MWh)	3943.35	H COMPRESOR MDC 50		8445.00	FOIT -50410		11533.34	HOROMETRO		3487.23			
Energía F6 (MWh)	4159.07												

Nota: Potencia que genera cada uno de los electrógenos.

Fuente: El autor.

3.1.2. Sección de control de motores

El área de control de motores compuesto por un tablero que se divide en secciones individuales en donde se colocan los equipos de control, arranque y protección de los mismos, sus circuitos, equipos de distribución y comunicaciones industriales como se puede observar en la **Anexo 2**. Los MCC se diseñan y construyen para soportar entornos de trabajo complejos protegiendo los componentes internos, la sala de control consta de paredes y techos de paneles autoportantes en material de PVC y espuma de poliuretano lo que permite mantener a largo plazo resistencia estructural con un peso adecuado que se apoya en losas de concreto sobre el suelo.

La **Figura 5** presenta el flujo funcional del sistema de control implementado para los generadores eléctricos a gas, describiendo el proceso de adquisición, procesamiento y supervisión de variables críticas mediante tecnologías de automatización industrial.

Nivel 0 y Nivel 1: Campo y adquisición de datos

En estos niveles se ubican los grupos electrógenos Waukesha, junto con los sensores e instrumentos encargados de medir variables como voltaje, corriente, frecuencia, temperatura, presión y velocidad del motor. La recolección y el control local de estas variables son llevados a cabo por los controladores EasYgen 3500XT y el sistema Engine System Manager (ESM).

Nivel 2: Control

Las variables recolectadas se transmiten a través de Modbus TCP/IP al PLC CompactLogix L35E, donde se realizan procesos de lectura de registros, escalado de variables, creación de etiquetas y lógica de alarmas para su posterior supervisión.

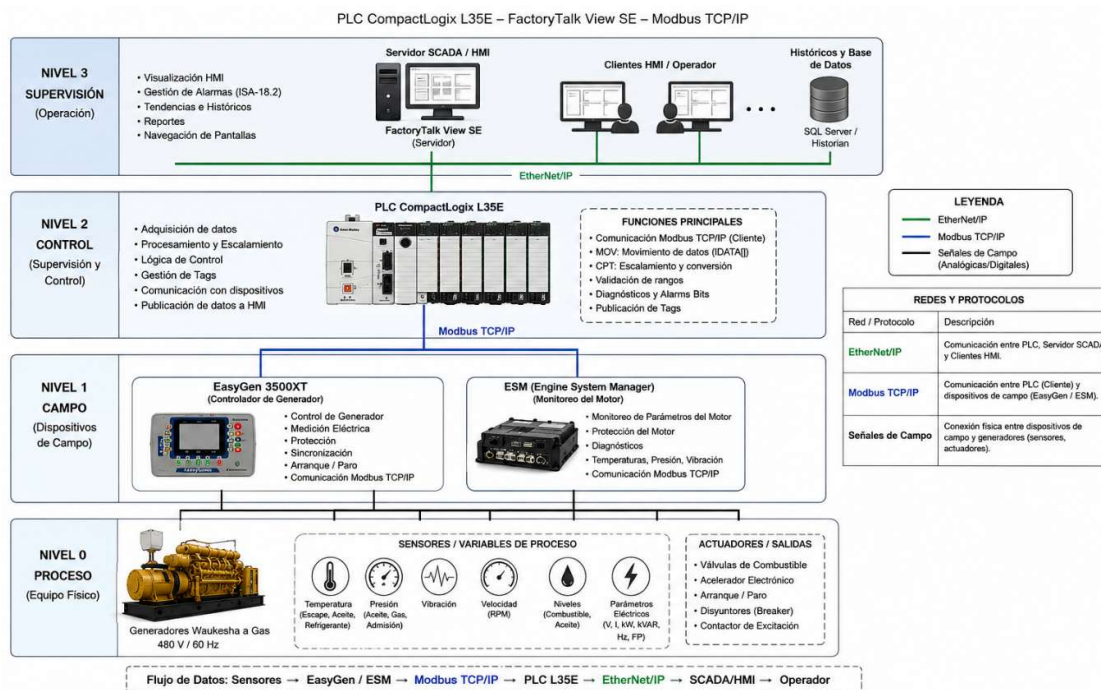
Nivel 3: Supervisión

La información procesada se envía mediante EtherNet/IP a la plataforma FactoryTalk View SE, lo que permite la visualización en tiempo real, el registro histórico y la gestión de alarmas de acuerdo con las normas ISA-101 e ISA-18.2.

Nivel de operación

Finalmente, el operador de la sala de control supervisa el estado del sistema y ejecuta acciones como arranque, parada, sincronización y reconocimiento de alarmas, facilitando la toma de decisiones y mejorando la continuidad operativa del proceso.

Figura 6 Arquitectura del sistema de control



Nota: Arquitectura jerárquica del sistema de control

Fuente: El autor

La **Figura 6** presenta la arquitectura jerárquica del sistema de control diseñada bajo los lineamientos de la norma ISA-95, permitiendo organizar los diferentes componentes del sistema en niveles funcionales que facilitan la integración, escalabilidad y mantenimiento del proceso.

Nivel 0: Proceso

Corresponde al proceso físico de generación eléctrica, conformado por los grupos electrógenos Waukesha a gas y los sensores asociados. En este nivel se generan y capturan variables críticas como temperatura, presión, vibración, velocidad, niveles y parámetros eléctricos del sistema.

Nivel 1: Campo

Está integrado por los dispositivos de adquisición y control local, incluyendo los controladores EasYgen 3500XT y el sistema Engine System Manager (ESM). Estos equipos realizan funciones de monitoreo, protección y diagnóstico del generador y del motor, además de publicar la información mediante Modbus TCP/IP.

Nivel 2: Control

Corresponde al PLC CompactLogix L35E, encargado de la adquisición y procesamiento de datos. El PLC opera como cliente Modbus TCP/IP, ejecutando tareas de lectura de registros, escalamiento de variables, creación de tags y lógica de control para la posterior supervisión del sistema.

Nivel 3: Supervisión

Comprende la plataforma FactoryTalk View SE, los clientes HMI y el sistema de históricos. En este nivel se realiza la visualización en tiempo real, la gestión de alarmas conforme a ISA-18.2, el análisis de tendencias y la generación de reportes operativos.

Redes y protocolos de comunicación

La arquitectura implementa Modbus TCP/IP para la comunicación entre el PLC y los dispositivos de campo, mientras que EtherNet/IP es utilizado para el intercambio de información entre el PLC y el sistema SCADA/HMI. Esta integración permite garantizar la disponibilidad de datos en tiempo real y una supervisión centralizada del proceso.

3.2. Desarrollo de la interfaz gráfica SCADA.

3.2.1 Easygen serie 3000 Woodward

El easYgen de la serie 3000 que se muestra en la **Anexo 4** es un controlador diseñado para la supervisión y gestión de sistemas de grupos electrógenos, su amplia disponibilidad de entradas y salidas, así como a su plataforma de software hace posible la

implementación en diversas configuraciones operativas, tales como sistemas de emergencia, operación de generadores en paralelo, funcionamiento en paralelo con la red eléctrica, esquemas de cogeneración y sistemas de respaldo, entre otros; es adecuado para la sincronización de hasta 32 grupos electrógenos en modo isla, así como para aplicaciones de operación en paralelo, incorporando funciones de arranque y parada automáticas de los generadores en función de la demanda de carga del sistema.

3.2.2. Engine System Manager ESM

El sistema de administración del Motor (ESM) permite el monitoreo y control remoto de los parámetros operativos del motor mediante comunicación Modbus RTU sobre RS-485, optimizando su desempeño y asegurando condiciones adecuadas de funcionamiento, este sistema integra funciones críticas como la sincronización de encendido, control de velocidad y potencia, gestión de arranque y parada, supervisión de variables de protección y detección de fallas, incorporando además herramientas de diagnóstico y registro de eventos para garantizar la seguridad del motor.

La Unidad de Control del Motor (ECU) constituye el núcleo del ESM, alojada en un módulo sellado como se muestra en la **Anexo 5** que dispone de memoria flash, entradas y salidas digitales y analógicas, así como sistemas internos de monitoreo de voltaje y temperatura, permitiendo una operación confiable y segura del motor.

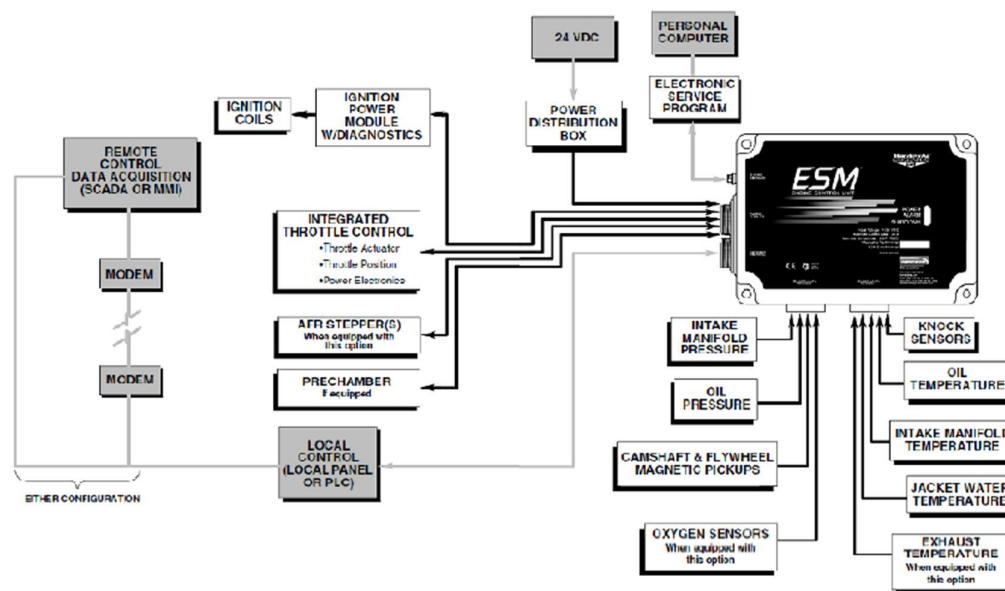
Este sistema se compone de los siguientes elementos y sensores:

- Unidad de Control del Motor (ECU).
- Módulo de encendido-diagnóstico (IPM-D).
- Programa de Servicio Electrónico basado en una PC (ESP).
- Actuador electrónico de aceleración.
- Paso a paso para el regulador de gas (uno por banco de motor).
- Sensor de presión del aceite.
- Sensor de temperatura del aceite.
- Sensor de presión del colector de admisión.

- Sensor de temperatura del colector de admisión.
- Sensor de choque.
- Sensor de oxígeno (AFR, relación aire/combustible).
- Sensor de temperatura del escape (exhaust).
- Sensor de temperatura para el agua de la chaqueta.

El sistema de control del motor obedece a un diagrama en bloques que se muestra en la **Figura 7**.

Figura 7 Diagrama de bloques del ESM



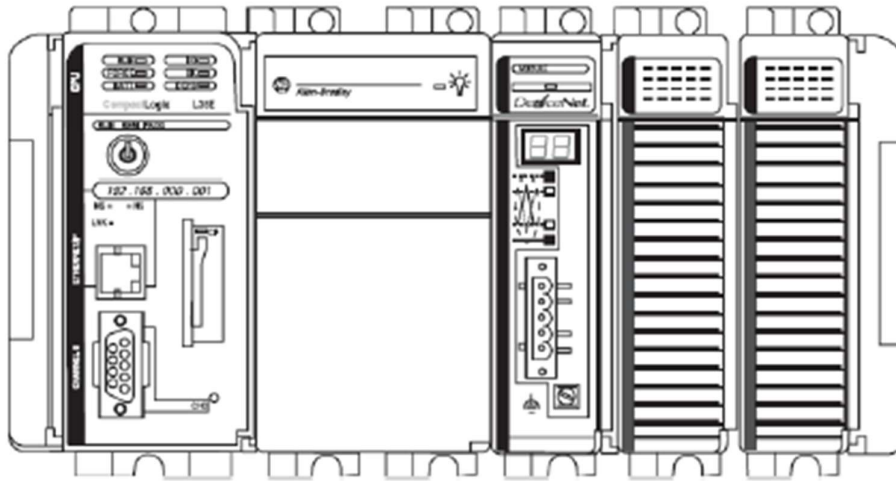
Nota: diseño de diagrama de bloque y especificaciones ESM

Fuente: Manual y documentación ESM Waukesha

3.2.3. PLC CompactLogix L35E

El sistema CompactLogix que se muestra en la **Figura 8** con alto nivel de rendimiento y una integración sencilla para aplicaciones industriales de pequeña y mediana escala que demandan soluciones de control eficientes y rentables, dispone de memoria de usuario de hasta 1,5 MB, puertos de comunicación integrados como Ethernet/IP, ControlNet y DeviceNet, y permite la expansión del sistema mediante la incorporación de hasta 30 módulos de entradas y salidas.

Figura 8 Procesador CompactLogix L35E



Nota: estructura interna de procesador CompactLogix L35E.

Fuente; Manual de instrucciones de instalación del controlador CompactLogix L35E

3.2.4. Diseño de interfaces HMI

La interfaz Hombre-Máquina HMI diseñada para el monitoreo y la supervisión de los parámetros eléctricos y mecánicos de los grupos electrógenos se concibió bajo criterios de usabilidad, simplicidad y funcionalidad, con el propósito de facilitar la operación por parte del personal encargado de la generación eléctrica, en este sentido, se priorizó un diseño claro e intuitivo que permita una rápida interpretación de la información, evitando el uso de elementos gráficos innecesarios o estructuras visuales complejas que puedan afectar la eficiencia operativa.

La aplicación fue desarrollada utilizando la plataforma FactoryTalk View Studio Edition y se encuentra estructurada en un conjunto de pantallas que permiten la visualización, control y seguimiento de las variables críticas del sistema.

3.2.5. HMI Interfaz de parámetros eléctricos

La interfaz Hombre-Máquina (HMI) del sistema de supervisión industrial para generadores eléctricos fue diseñada conforme a los lineamientos establecidos por la norma ISA-101: Human-Machine Interfaces for Process Automation Systems, la cual

define principios para el diseño de interfaces orientadas a mejorar la conciencia situacional del operador, reducir la carga cognitiva y minimizar la probabilidad de errores operativos, considerando los criterios de la norma ISA-18.2, relacionados con la gestión, presentación y reconocimiento de alarmas en sistemas industriales.

Desde el punto de vista del uso del color, la interfaz adopta una paleta cromática sobria y funcional, en concordancia con ISA-101, evitando colores saturados o decorativos, los tonos neutros predominan en el fondo de la pantalla, mientras que los colores intensos se reservan exclusivamente para indicar estados operativos relevantes, condiciones anómalas o eventos de alarma., por ejemplo, el estado operativo del generador se representa mediante indicadores visuales claramente diferenciados, permitiendo una identificación inmediata de condiciones normales o de alerta sin ambigüedad visual.

En relación con la jerarquía de la información, la interfaz organiza los datos de manera estructurada y coherente, priorizando la visualización de las variables críticas del proceso y aquellos parámetros eléctricos fundamentales tales como voltaje, corriente, potencia activa y reactiva, frecuencia y factor de potencia, se presentan en áreas destacadas de la pantalla, mientras que la información secundaria, como contadores de energía y horas de operación, se dispone en secciones específicas sin interferir con la lectura de las variables principales; esta jerarquización responde al principio de “información relevante primero”, promovido por ISA-101, y facilita una rápida toma de decisiones por parte del operador.

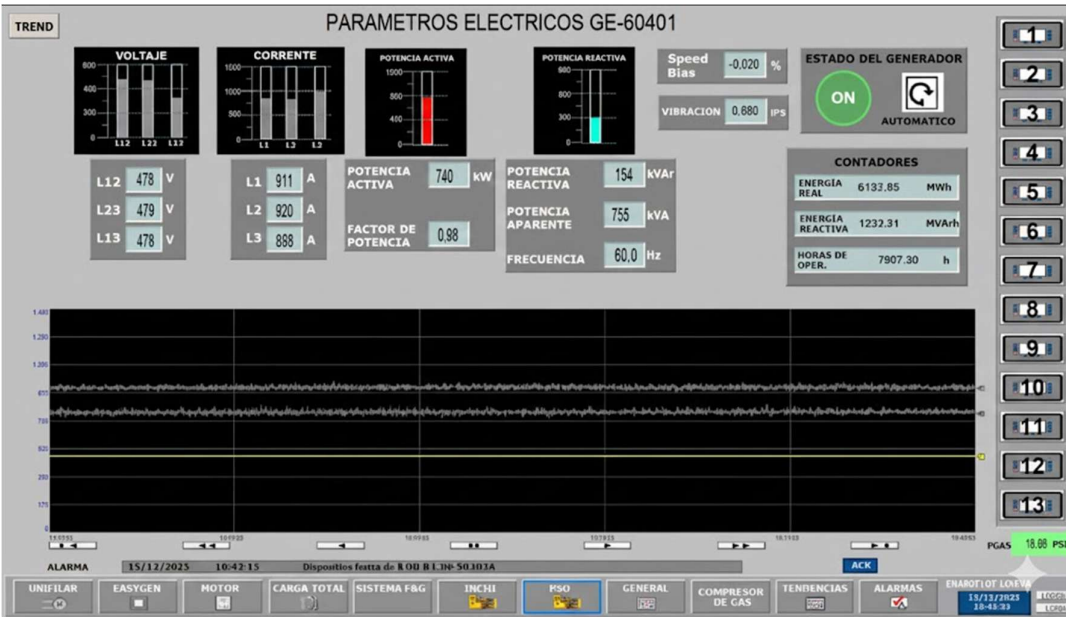
En la gestión de alarmas, el diseño de la interfaz se adhiere a los lineamientos establecidos por la norma ISA-18.2, garantizando que las alarmas se distingan claramente de la información de monitoreo. Además, cada alarma requiere la confirmación del operador, lo que previene la saturación de mensajes y disminuye la aparición de alertas innecesarias.

Este enfoque optimiza la respuesta ante eventos críticos y permite al operador enfocarse en las situaciones que representan un riesgo para la operación del generador.

La inclusión de tendencias gráficas de las variables eléctricas facilita el análisis del comportamiento histórico del sistema, favoreciendo la detección de fallas y la identificación de patrones anómalos, en línea con los principios de conciencia situacional propuestos por la norma ISA-101.

En conjunto, la interfaz HMI desarrollada cumple con los principios normativos de diseño establecidos por ISA-101 e ISA-18.2 como se muestra en la **Figura 9**, integrando criterios de color, jerarquía de información y gestión de alarmas que contribuyen a una operación segura, eficiente y confiable del sistema de supervisión industrial de generadores eléctricos, implementado mediante FactoryTalk View y comunicación Modbus TCP/IP. y cual desea visualizar los parámetros eléctricos, lo que resulta especialmente relevante en configuraciones con múltiples grupos electrógenos.

Figura 9 Interfaz HMI de parámetros eléctricos



Nota: Interfaz de parámetros eléctricos para administración de alarmas bajo normas ISA-101 e ISA-18.2

Fuente: El autor.

En la **Tabla 4** se presentan los elementos que se reflejan en la interfaz de parámetros eléctricos:

Tabla 4 Elementos de la interfaz de Parámetros eléctricos

Ítem	Descripción
1 Indicadores de voltaje y corriente:	Se muestran los valores de tensión y corriente por fase del generador, lo que permite verificar el equilibrio eléctrico y el nivel de carga.
2 Potencias eléctricas:	Visualizan la potencia activa, reactiva y aparente, ofreciendo información clave sobre el rendimiento energético del generador.
3 Parámetros eléctricos complementarios:	Incluyen la frecuencia y el factor de potencia, que son fundamentales para evaluar la estabilidad del sistema eléctrico.
4 Estado y modo de operación del generador:	Indican el estado operativo (ON/OFF) y el modo de funcionamiento (automático), facilitando la supervisión del sistema.
5 Indicadores mecánicos:	Presentan variables relacionadas con la condición mecánica del generador, como la vibración y el ajuste de velocidad.
6 Contadores de energía y horas de operación:	Registran la energía activa y reactiva acumulada, así como las horas totales de funcionamiento.
7 Gráfica de tendencias:	Permite analizar el comportamiento histórico de los parámetros eléctricos en el tiempo.
8 Navegación y alarmas:	Facilita el acceso a otras pantallas del sistema y muestra la presencia de alarmas con opción de reconocimiento.

Nota: Descripción de parámetros eléctricos

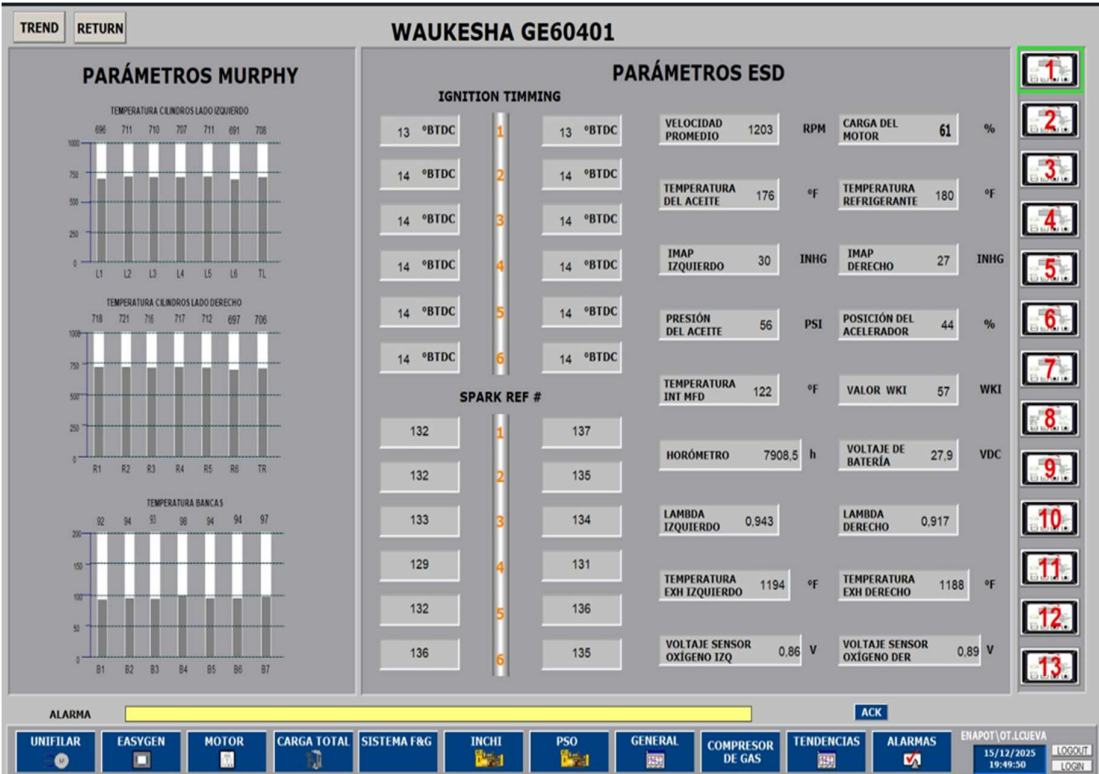
Fuente: El autor

3.2.6. Interfaz HMI de pirómetros de Murphy

El módulo TDXM **Anexo 6** dispone de 24 canales de entrada configurables para el uso de termocuplas tipo J o tipo K, permitiendo seleccionar la unidad de medida de temperatura en grados Fahrenheit (°F) o Celsius (°C) de manera individual para cada

canal, en la interfaz de supervisión se visualizan las temperaturas correspondientes a los doce cilindros del motor, incluyendo las mediciones asociadas al sistema de escape, lo que facilita un monitoreo térmico integral del motor.

Figura 10 Parámetros de Murphy y ESD



La interfaz de la **Figura 10** correspondiente al sistema de supervisión del generador WAUKESHA GE60401 fue desarrollada en la plataforma FactoryTalk View, utilizando comunicación Modbus TCP/IP para la adquisición de variables operativas y de protección, su diseño se fundamenta en los principios establecidos por las normas ISA-101 para interfaces gráficas y ISA-18.2 para la gestión de alarmas, priorizando la claridad visual, la jerarquización de la información y la mejora de la conciencia situacional del operador.

La pantalla se estructura en bloques funcionales claramente diferenciados, lo que permite una lectura ordenada de la información;

- En el sector izquierdo se presentan los parámetros Murphy, donde se visualizan las temperaturas de los cilindros del motor, tanto del lado izquierdo como del lado derecho, así como las temperaturas de las bancadas.
- Las variables se representan mediante gráficos de barras, facilitando la identificación rápida de desviaciones térmicas entre cilindros, en concordancia con los criterios de comparación visual recomendados por ISA-101.
- En la sección central de la interfaz se muestran los parámetros asociados al sistema de encendido (Ignition Timing) y las referencias de chispa (Spark Reference), organizados por cilindro, esta disposición jerárquica permite al operador evaluar de manera simultánea el comportamiento del sistema de combustión, reduciendo la necesidad de navegación adicional y mejorando la eficiencia operativa.

Por su parte, el área derecha de la pantalla agrupa los parámetros ESD (Emergency Shutdown) y variables críticas de operación del generador, tales como velocidad promedio del motor, carga del motor, temperaturas de aceite y refrigerante, presión de aceite, posición del acelerador, voltaje de batería, relación lambda y temperaturas de escape.

La presentación numérica de manera clara y la utilización de unidades estandarizadas favorecen una interpretación exacta de las condiciones operativas del sistema.

Además, la interfaz incluye una barra de navegación lateral y un menú en la parte inferior, que facilitan el acceso rápido a otras pantallas del sistema, como EasYgen, motor, carga total, sistema de combustible, tendencias y alarmas. Este diseño de navegación coherente se adhiere a los principios de consistencia y estandarización visual establecidos por la norma ISA-101.

En cuanto a la gestión de alarmas, la interfaz se integra con los lineamientos de la norma ISA-18.2, diferenciando claramente las condiciones normales de operación de los eventos de alarma y permitiendo su reconocimiento explícito por parte del operador, lo que contribuye a una respuesta oportuna ante situaciones críticas.

En la **Tabla 5** se exponen los elementos que conforman la interfaz de parámetros Murphy y ESD

Tabla 5 Parámetros de Murphy y ESD

Ítem	Descripción
1	Parámetros Murphy: Visualización gráfica de las temperaturas de los cilindros y bancadas del motor.
2	Temperaturas de escape: Supervisión de la temperatura del sistema de escape por cilindro.
3	Ignition Timing: Indicadores del tiempo de encendido del motor organizados por cilindro.
4	Spark Reference: Referencias de chispa para el sistema de combustión del motor.
5	Velocidad del motor: Visualización de la velocidad promedio del motor en revoluciones por minuto.
6	Carga del motor: Indicación del porcentaje de carga operativa del generador.
7	Parámetros de aceite: Monitoreo de la temperatura y presión del aceite del motor
8	Temperatura del refrigerante: Medición de la temperatura del sistema de enfriamiento.
9	Parámetros ESD: Variables críticas relacionadas con el sistema de protección y paro de emergencia.
10	Parámetros lambda: Indicadores de la mezcla aire-combustible en los bancos izquierdo y derecho.
11	Voltaje de batería: Supervisión del nivel de tensión del sistema de alimentación auxiliar.
12	Barra de navegación: Acceso a las diferentes pantallas del sistema HMI.
13	Gestión de alarmas: Visualización y reconocimiento de alarmas conforme a ISA-18.2.

Nota: Descripción de parámetros de Murphy y ESD

Fuente: El autor.

3.2.7. Interfaz HMI de carga total generada

La pantalla “SCADA Generación” que se muestra en la figura **Figura 11** presenta una vista general del sistema de generación eléctrica a gas natural, permitiendo al operador

supervisar en tiempo real el estado operativo de las unidades de generación, la potencia producida y las variables críticas del suministro de combustible.

A la izquierda, se visualiza el listado de unidades de generación (GE-50401 a GE-50412), indicando para cada una su potencia instantánea (kW) y su estado operativo (RUN, SHUTDOWN o FALLA), mediante codificación visual que facilita la identificación inmediata de condiciones anómalas.

En la parte superior central, se muestran los indicadores globales del sistema, tales como la potencia total generada, la frecuencia del bus eléctrico y la presión de gas de entrada, los cuales representan variables críticas para la estabilidad y continuidad del proceso de generación.

En el centro de la pantalla se exhibe un diagrama simplificado del sistema de suministro de gas, donde se pueden observar los puntos de medición de presión y caudal, así como las condiciones operativas del sistema de alimentación. Esto facilita la identificación rápida del estado del combustible y la detección de eventos como una disminución en la presión del gas.

En la parte inferior se muestran los principales parámetros del motor, incluyendo la temperatura del refrigerante, la presión y temperatura del aceite, y la presión de admisión. Esta información permite evaluar la condición térmica y mecánica de las unidades.

Adicionalmente, la pantalla incorpora un sistema de gestión de alarmas, donde se indica el número de alarmas críticas y advertencias activas, conforme a los lineamientos de la norma ISA-18.2, así como botones de acceso a pantallas específicas (motor, eléctrico, carga total y tendencias), garantizando una navegación estructurada y coherente, esta pantalla proporciona una visión integral del proceso de generación eléctrica, integrando variables eléctricas, mecánicas y de suministro de combustible, lo que permite una

supervisión eficiente, segura y alineada con los principios normativos ISA-101 e ISA-18.2.

Figura 11 Interfaz HMI carga total generada



Nota: Vista general del HMI de la carga total generada por los equipos.

Fuente: El autor.

3.3. Implementación del sistema de control automatizado

La implementación del sistema control automatizado se realizó mediante la integración de funciones de monitoreo y gestión de eventos dentro de la plataforma SCADA FactoryTalk View SE. Para ello, se configuraron condiciones de alarma asociadas a variables críticas del proceso, permitiendo su detección automática, visualización en tiempo real, reconocimiento por parte del operador y almacenamiento histórico. Estas funcionalidades contribuyen a mejorar la capacidad de respuesta ante condiciones anómalas y apoyar la toma de decisiones operativas.

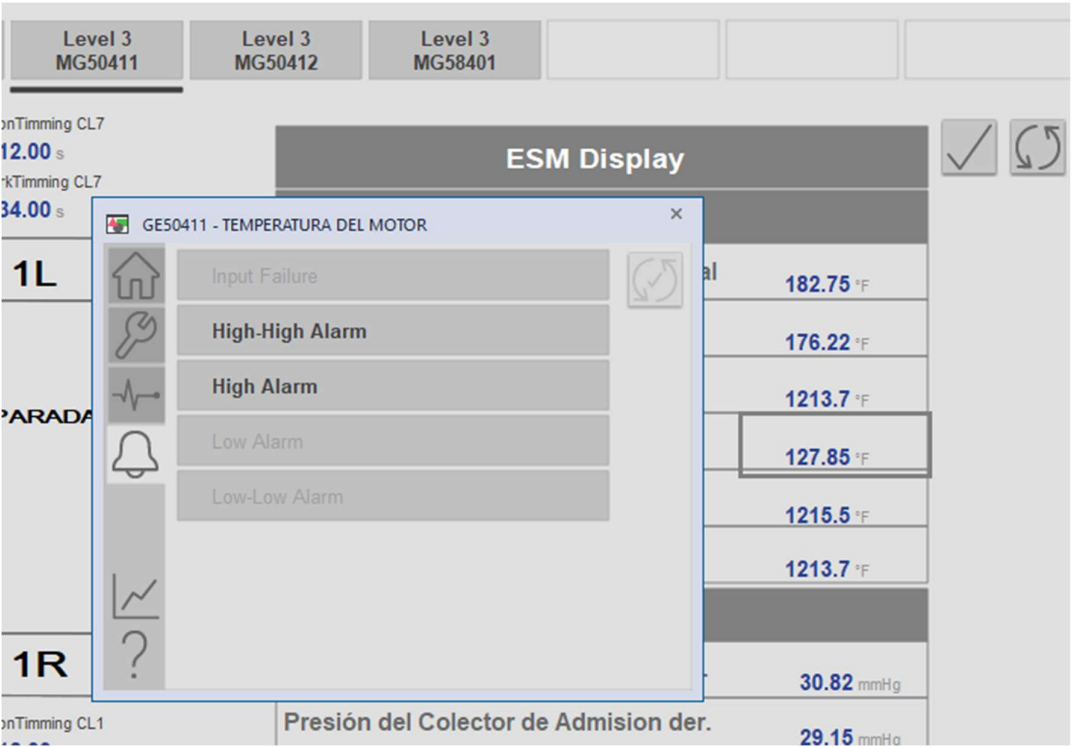
3.3.1. Configuración de alarmas

Se configuraron los límites operativos de las variables críticas del sistema mediante la plataforma HMI, estableciendo umbrales de alarma para condiciones de operación

anormales. Esta parametrización permite detectar oportunamente desviaciones que puedan afectar el funcionamiento de los generadores.

La **Figura 12** muestra la configuración inicial de alarmas para la variable temperatura del motor dentro del sistema HMI. Se habilitaron los niveles de severidad High y High-High, permitiendo establecer condiciones de advertencia y alarma crítica para la supervisión de esta variable.

Figura 12 HMI Configuración de alarmas

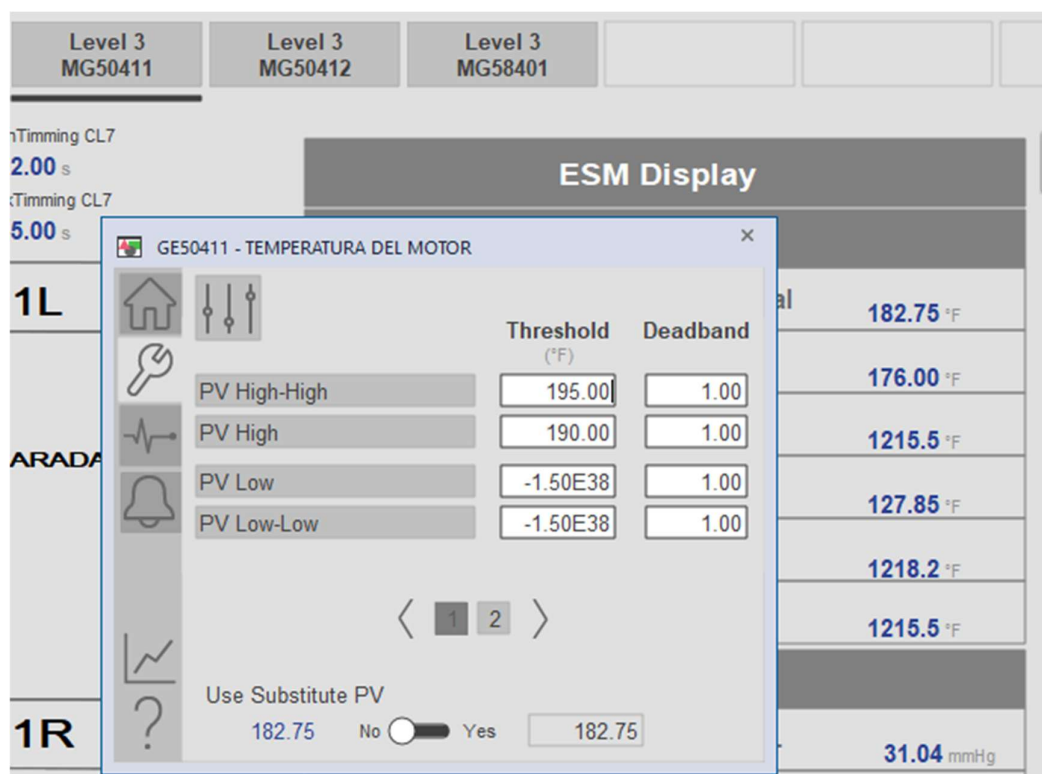


Nota: Configuración inicial de alarmas

Fuente: El Autor

En la **Figura 13** se presentan los valores configurados para los niveles de alarma de temperatura del motor. Se establecieron umbrales de 190 °F para condición High y 195 °F para condición High-High, permitiendo detectar oportunamente desviaciones en la operación del generador.

Figura 13 HMI Seteo valores de alarmas alto y alto-alto

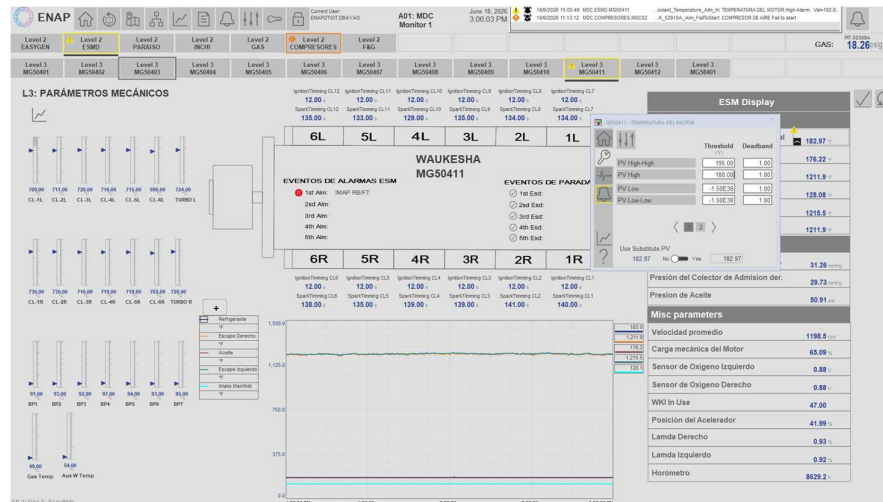


Nota: Configuración de alarma para los niveles de temperatura

Fuente: El Autor

La **Figura 14** muestra la simulación de una condición de alarma mediante la sustitución temporal del valor de proceso. Esta funcionalidad permite validar el comportamiento del sistema y verificar la correcta generación de alarmas sin afectar la operación real del equipo.

Figura 14 Activación de alarmar por set del alto (180 F°)

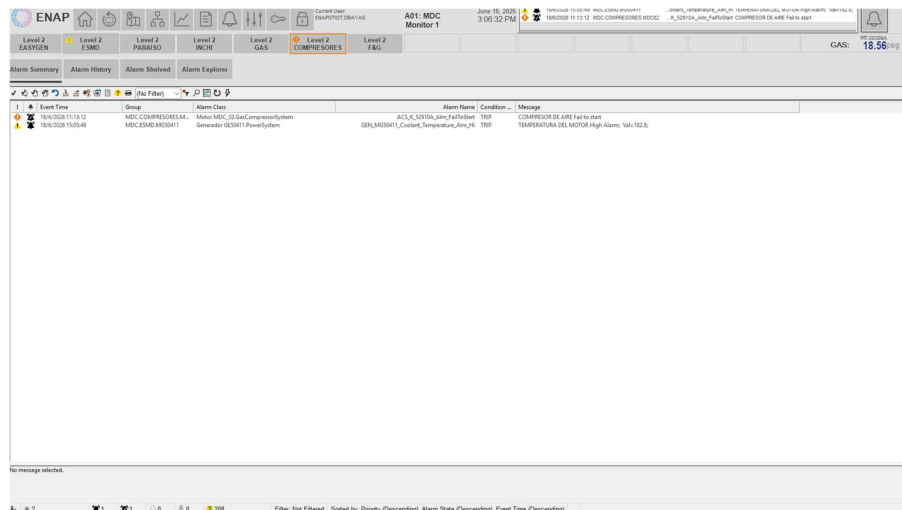


Nota: Activación de alarma de Temperatura

Fuente: El autor

La **Figura 15** presenta la activación de una alarma de alta temperatura visualizada en el banner superior del sistema SCADA. La notificación generada permite al operador identificar de forma inmediata la condición anómala y tomar las acciones correspondientes.

Figura 15 Verificación de alarma en banner



Nota: Notificaciones de activación de alarma

Fuente: El autor

Figura 16 Historial de alarmas

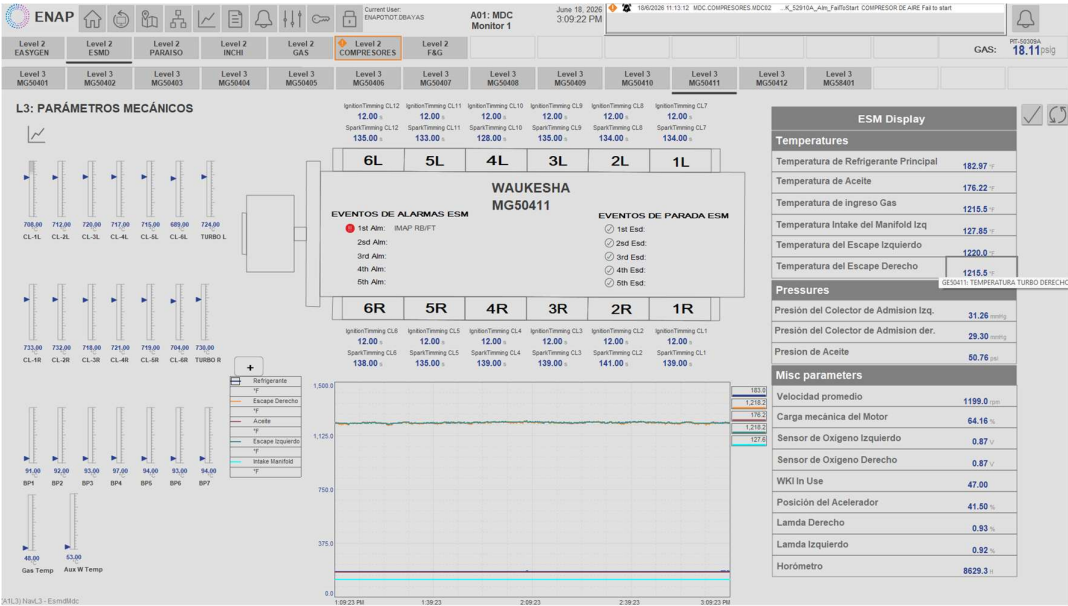
Figura 17 Reset de alarmas

40

Fuente: El autor

La **Figura 18** muestra la condición normalizada del proceso después de la atención de la alarma. La desaparición de las indicaciones visuales de alarma confirma el correcto funcionamiento de la lógica de reconocimiento y restablecimiento implementada en el sistema.

Figura 18 Verificación de reset alarma en banner



Nota: Normalización del Sistema y del banner

Fuente: El autor

3.3.2. Variables Operativas de generación

Con el fin de proporcionar una supervisión integral del sistema de generación, se desarrollaron interfaces HMI orientadas a la visualización de variables operativas y la generación de reportes. Estas pantallas permiten acceder de forma centralizada a la información de los generadores, facilitando el monitoreo, análisis y control de las condiciones de operación.

La **Figura 19** muestra una interfaz HMI diseñada para la supervisión centralizada de los grupos electrógenos. En esta pantalla se visualizan variables eléctricas, mecánicas y operativas como voltaje, frecuencia, corriente, potencia, temperaturas, presiones y horas

de funcionamiento, permitiendo evaluar el estado general de cada unidad de generación en tiempo real.

Figura 19 Resumen general variables generadoras

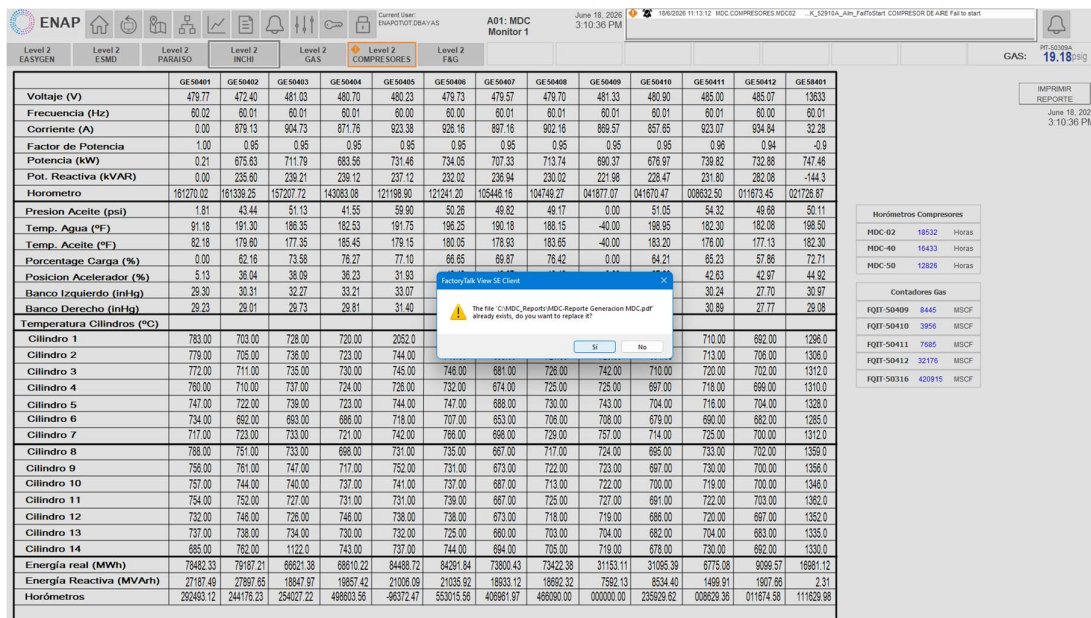
ENAP Current User: ENAPOTOT DEBYAS A01: MDC Monitor 1 June 18, 2026 3:10:05 PM 18/06/2026 11:15:12 MDC COMPRESORES ROCOS -X_L35HSA_Aim_Falldiary COMPRESOR DE AIRE Fall to start PS-03308A 18.60psig June 18, 2026 3:10:05 PM IMPRIMIR REPORTE														
Level 2 EASYGEN	Level 2 ESMO	Level 2 PARAISO	Level 2 INCHI	Level 2 GAS	Level 2 COMPRESORES	Level 2 F&G								
	GE50401	GE50402	GE50403	GE50404	GE50405	GE50406	GE50407	GE50408	GE50409	GE50410	GE50411	GE50412	GE50401	
Voltaje (V)	479.87	472.57	481.27	480.83	480.33	480.20	479.47	479.93	481.13	480.90	484.00	485.10	13943	
Frecuencia (Hz)	60.04	60.00	60.01	60.00	59.99	59.99	59.97	59.99	59.98	59.98	59.98	59.98	60.00	
Corriente (A)	0.00	897.87	882.97	946.18	901.23	937.96	870.39	930.34	877.54	871.97	900.89	931.96	32.52	
Factor de Potencia	-0.7	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96	0.94	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	-0.9	
Potencia (KW)	0.17	689.49	690.13	746.18	712.43	744.20	683.61	738.38	698.14	688.20	713.97	735.43	751.27	
Pot. Reactiva (kVAR)	-0.15	245.56	241.87	250.80	234.44	232.43	236.44	230.95	220.63	232.10	250.04	270.24	-156.6	
Horometro	161270.02	161339.23	157207.72	143083.06	121198.90	121241.20	105446.15	104749.26	041677.06	041670.47	008632.49	011673.44	021728.86	
Presion Aceite (psi)	1.81	94.03	55.04	48.41	48.99	51.85	49.31	48.44	0.00	55.91	58.78	53.66	52.07	
Temp. Agua (°F)	91.18	174.65	186.58	182.75	191.75	196.48	190.18	188.38	-40.00	199.18	182.75	182.08	196.50	
Temp. Aceite (°F)	82.18	175.10	177.35	185.45	179.15	180.28	178.83	183.65	-40.00	183.20	176.00	177.13	182.30	
Porcentaje Carga (%)	0.00	27.10	72.61	75.78	77.00	66.55	69.78	76.12	0.00	64.50	65.09	57.37	73.10	
Posicion Acelerador (%)	5.13	18.02	37.06	35.30	31.79	48.10	40.87	41.26	0.00	37.21	42.14	41.70	45.36	
Banco Izquierdo (inHg)	29.30	14.36	31.55	32.59	32.62	31.84	28.43	30.17	0.00	28.57	29.88	27.34	31.40	
Banco Derecho (inHg)	29.23	12.47	29.08	29.88	31.40	30.97	29.01	31.91	0.00	28.44	31.26	27.77	29.08	
Temperatura Cilindros (°C)														
Cilindro 1	784.00	705.00	731.00	725.00	2052.0	717.00	666.00	722.00	726.00	684.00	711.00	695.00	1296.0	
Cilindro 2	779.00	708.00	738.00	728.00	746.00	690.00	723.00	733.00	695.00	713.00	710.00	710.00	1304.0	
Cilindro 3	771.00	714.00	737.00	733.00	747.00	749.00	682.00	727.00	747.00	710.00	722.00	704.00	1312.0	
Cilindro 4	760.00	713.00	740.00	728.00	726.00	736.00	676.00	726.00	730.00	699.00	718.00	700.00	1312.0	
Cilindro 5	748.00	726.00	742.00	728.00	745.00	751.00	689.00	730.00	748.00	708.00	717.00	705.00	1327.0	
Cilindro 6	733.00	665.00	694.00	688.00	721.00	711.00	654.00	707.00	711.00	681.00	692.00	686.00	1286.0	
Cilindro 7	717.00	728.00	736.00	724.00	743.00	771.00	700.00	730.00	762.00	715.00	727.00	703.00	1313.0	
Cilindro 8	763.00	754.00	738.00	700.00	731.00	734.00	687.00	716.00	723.00	696.00	737.00	704.00	1359.0	
Cilindro 9	754.00	767.00	749.00	718.00	752.00	730.00	671.00	719.00	726.00	698.00	734.00	703.00	1358.0	
Cilindro 10	752.00	750.00	743.00	739.00	741.00	737.00	683.00	711.00	734.00	701.00	721.00	702.00	1348.0	
Cilindro 11	750.00	757.00	729.00	732.00	732.00	740.00	666.00	723.00	726.00	692.00	726.00	706.00	1366.0	
Cilindro 12	730.00	751.00	729.00	747.00	738.00	738.00	671.00	715.00	721.00	687.00	724.00	701.00	1357.0	
Cilindro 13	733.00	741.00	735.00	732.00	732.00	726.00	659.00	704.00	707.00	682.00	708.00	686.00	1335.0	
Cilindro 14	682.00	767.00	1122.0	745.00	737.00	745.00	692.00	704.00	721.00	679.00	734.00	695.00	1334.0	
Energía real (MWh)	78482.33	79187.21	69921.38	68810.21	84488.71	84291.83	73800.42	73422.37	31153.10	31095.38	6775.08	9099.58	16981.12	
Energía Reactiva (MVarh)	27187.49	27697.65	18847.97	19857.42	21008.09	21035.92	18933.12	18892.32	7592.13	8534.40	1499.91	1907.66	2.31	
Horómetros	262493.12	124426.82	253499.29	498057.44	-69863.99	552505.90	406307.82	465562.10	000000.00	235438.10	008629.35	011674.58	111138.46	

Nota: Visualización de todas las variables críticas.

Fuente: El autor

La **Figura 20** presenta la funcionalidad de generación de reportes implementada en el sistema SCADA. Esta herramienta permite exportar información histórica y operativa de los generadores, facilitando el análisis de desempeño, la gestión de mantenimiento y el seguimiento de indicadores del proceso.

Figura 20 Generación de reportes operativos



Nota: Herramienta de exportación

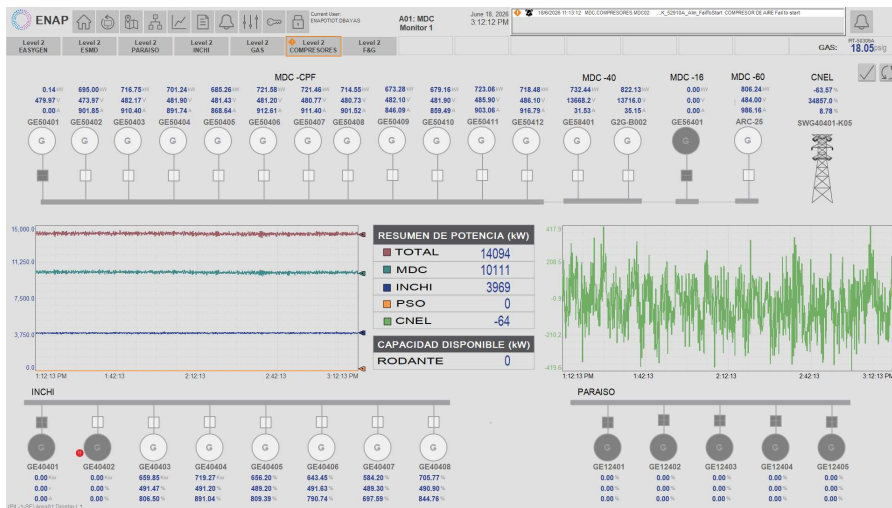
Fuente: El autor

3.3.3. Implementación del sistema de control automatizado

Con el objetivo de proporcionar una supervisión integral del sistema de generación eléctrica, se desarrollaron pantallas HMI que permiten visualizar el estado general de la planta, monitorear variables operativas y acceder al detalle de cada generador. Estas interfaces fueron diseñadas siguiendo criterios de organización jerárquica y navegación intuitiva para facilitar la operación y supervisión del proceso.

La **Figura 21** presenta la pantalla principal del sistema SCADA, desde la cual se visualiza el estado operativo de todos los generadores conectados a la red de generación. Además, se muestran indicadores de potencia total, potencia rodante y tendencias de comportamiento del sistema en tiempo real.

Figura 21 Dashboard Principal

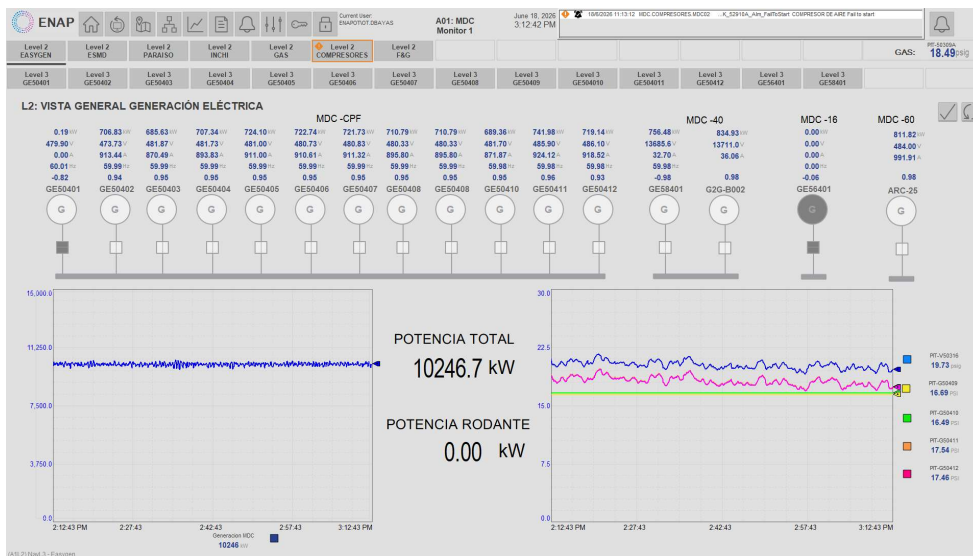


Nota: Vista general del HMI

Fuente: El autor

La **Figura 22** muestra una vista consolidada de los generadores pertenecientes al sistema MDC. Esta pantalla permite supervisar la potencia generada por cada unidad y visualizar tendencias históricas que facilitan el análisis del desempeño energético de la planta.

Figura 22 Pantalla de Generación MDC

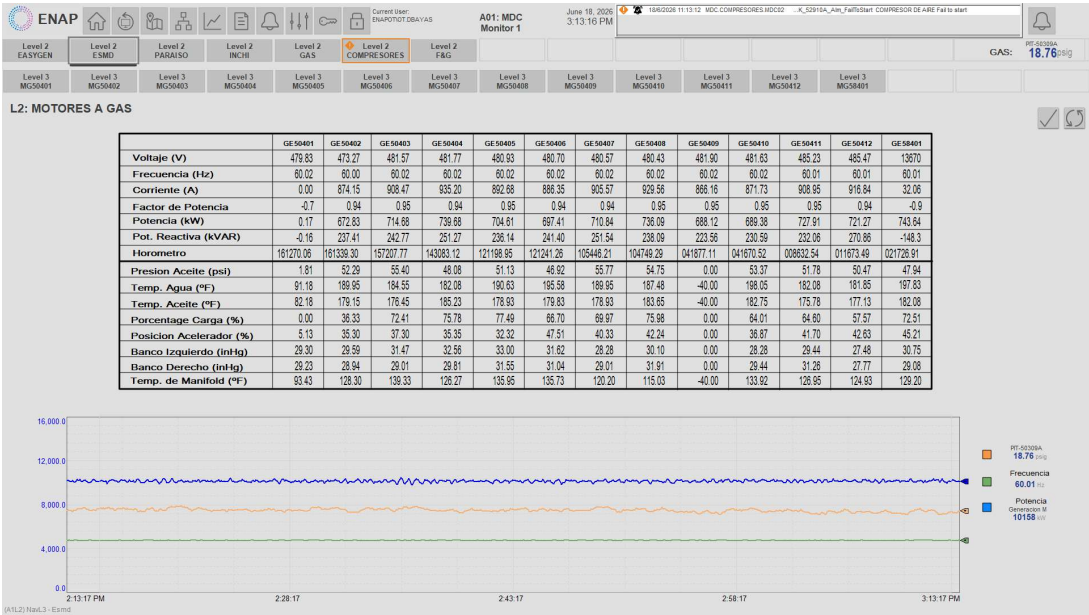


Nota: HMI EASYGEN MDC

Fuente: El Autor

La **Figura 23** presenta una interfaz destinada al monitoreo de variables eléctricas y mecánicas de los generadores. Entre los parámetros supervisados se encuentran voltaje, frecuencia, corriente, potencia, temperaturas, presiones y porcentaje de carga, proporcionando una visión detallada del estado de operación de cada equipo.

Figura 23 Pantalla Variables Generadoras

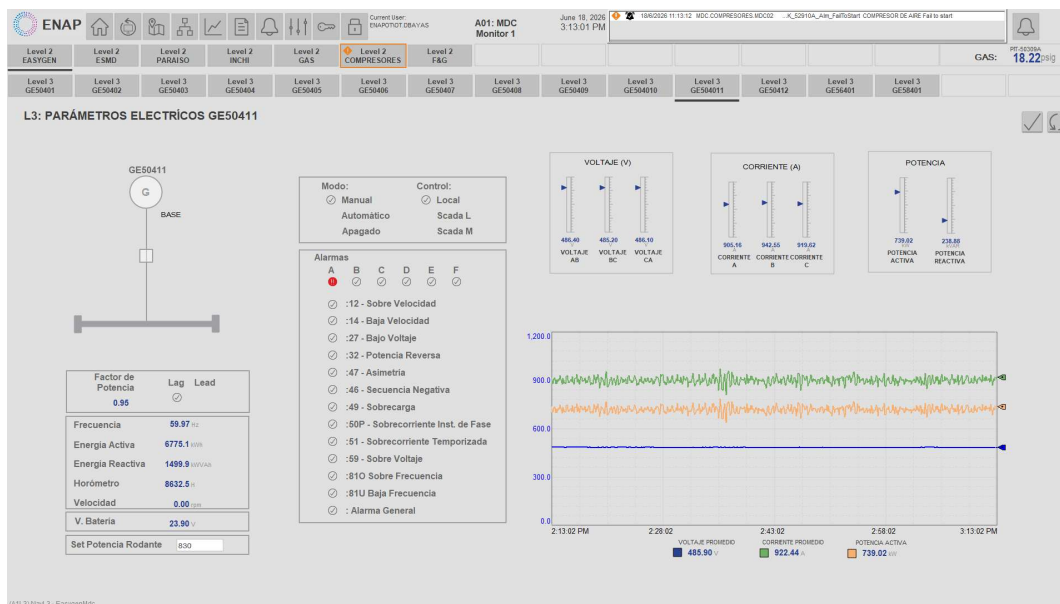


Nota: Inclusión de Pantalla HMI, parámetros variables generadores

Fuente: El autor

La **Figura 24** muestra la interfaz de supervisión individual del generador GE50411. En esta pantalla se visualizan variables eléctricas, modos de operación, estados de alarma y tendencias de proceso, permitiendo un análisis específico del comportamiento y desempeño de la unidad de generación.

Figura 24 HMI Easygen Generador 11



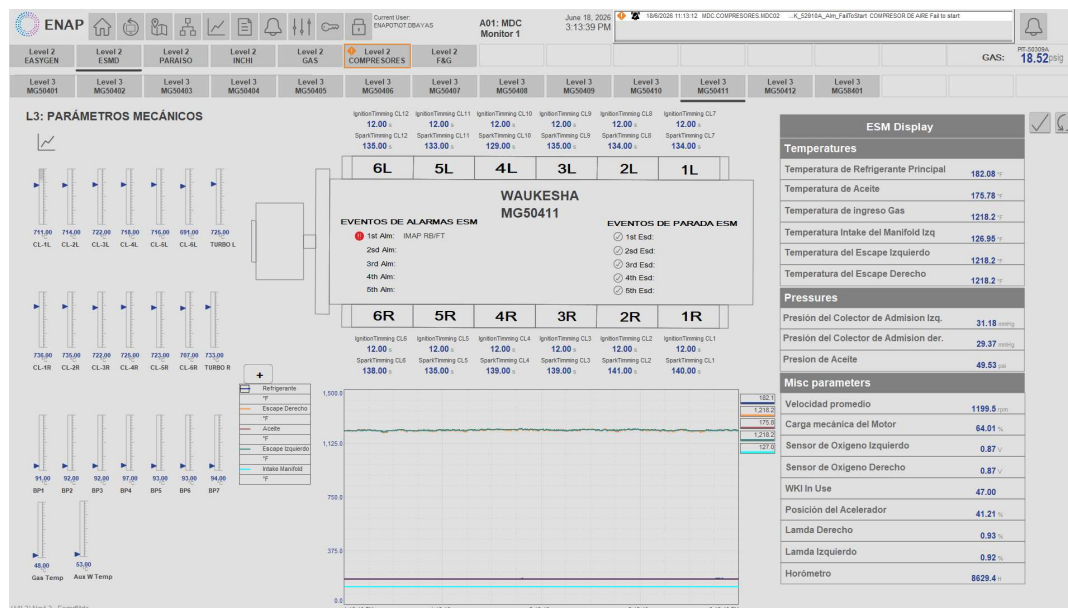
Nota: Interfaz de monitoreo de variables eléctricas y mecánicas de los generadores

Fuente: El autor

La **Figura 25** muestra la interfaz HMI desarrollada para la supervisión de parámetros mecánicos provenientes del sistema Engine System Manager (ESM).

En esta pantalla se monitorean variables críticas como temperaturas de cilindros, temperatura de refrigerante, temperatura de escape, presión de aceite, presión de admisión, velocidad del motor, carga mecánica y sensores de oxígeno, permitiendo evaluar en tiempo real el estado operativo del generador.

Figura 25 HMI ESM Motor MDC



Nota: Supervisión de parámetros ESM

Fuente: El autor

Los resultados obtenidos durante la implementación evidencian el correcto funcionamiento del sistema de supervisión desarrollado. La comunicación mediante Modbus TCP/IP entre los controladores EasyGen 3500XT, ESM y el PLC CompactLogix L35E permitió adquirir de forma confiable las variables del proceso en tiempo real. A su vez, la plataforma SCADA facilitó la visualización, el registro histórico y la gestión de alarmas conforme a los criterios establecidos. Las pruebas realizadas evidenciaron una respuesta adecuada del sistema ante eventos operativos y condiciones de alarma, validando la arquitectura propuesta y el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

CONCLUSIONES

- Se diseñó una arquitectura industrial para la adquisición y supervisión de datos en tiempo real de los generadores eléctricos a gas, integrando los controladores EasYgen 3500XT, el Engine System Manager (ESM), el PLC CompactLogix L35E y la plataforma SCADA a través de protocolos de comunicación industrial. Basada en los principios de ISA-95, esta arquitectura facilitó un flujo confiable de información desde el proceso hasta la supervisión centralizada, garantizando la interoperabilidad y escalabilidad del sistema.
- Se desarrolló una interfaz SCADA en FactoryTalk View SE para la supervisión remota de las principales variables eléctricas y mecánicas de los generadores. Las pantallas HMI fueron diseñadas de acuerdo con la norma ISA-101, aplicando criterios de jerarquía visual, navegación sencilla y un uso adecuado del color, lo que facilitó la interpretación de la información y mejoró la conciencia situacional del operador.
- La implementación de la gestión de alarmas conforme a la norma ISA-18.2 permitió establecer criterios para la identificación, priorización y visualización de eventos operativos. Su integración en la plataforma SCADA mejoró la capacidad de monitoreo y proporcionó un mayor apoyo en la toma de decisiones del personal operativo.
- La integración de tecnologías como Modbus TCP/IP, EtherNet/IP, el PLC CompactLogix L35E y FactoryTalk View SE demostró ser una alternativa viable para la supervisión de sistemas de generación eléctrica a gas. Los resultados reflejan una mejor visibilidad del proceso, una detección más oportuna de fallas y un acceso continuo a información en tiempo real, favoreciendo la eficiencia operativa y la continuidad de la generación.

RECOMENDACIONES

- Es aconsejable incorporar mecanismos adicionales de ciberseguridad industrial, tales como segmentación de red, firewalls industriales y la implementación de Modbus Security (TLS), con el fin de mitigar las vulnerabilidades inherentes al protocolo Modbus TCP/IP.
- Se aconseja integrar módulos de análisis predictivo y mantenimiento basado en condiciones, utilizando los datos históricos y las tendencias recopiladas por el sistema SCADA para prever fallas y mejorar el mantenimiento de los generadores.
- Se propone llevar a cabo estudios comparativos que analicen el efecto del sistema en indicadores tales como la disminución de tiempos de inactividad, los gastos de mantenimiento y el consumo energético, con el objetivo de fortalecer la validación técnica y económica de la solución sugerida.

REFERENCIAS

- Beretta, M., Cárdenas, J. J., Koch, C., & Cusidó, J. (2020). Wind Fleet Generator Fault Detection via SCADA Alarms and Autoencoders. *Applied Sciences*, 10(23), 8649. <https://doi.org/10.3390/app10238649>
- Dao, Q.-T., Nguyen, L.-T., Ha, T.-K., Nguyen, V.-H., & Nguyen, T.-A. (2025). Investigation of Secure Communication of Modbus TCP/IP Protocol: Siemens S7 PLC Series Case Study. *Applied System Innovation*, 8(3), 65. <https://doi.org/10.3390/asi8030065>
- EEMUA. (2024). *Alarm Systems-A Guide to design management and procurement Publication* 191 EEMUA. <https://www.eemua.org/products/publications/digital/eemua-publication-191>
- Gnana Swathika, Karthikeyan, A., Karthikeyan, K., Sanjeevikumar, P., Karapparambil Thomas, S., & Babu, A. (2024). Critical review Of SCADA And PLC in smart buildings and energy sector. *Energy Reports*, 12, 1518–1530. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.07.041>
- Gonzalez, A., Camargo L, J. R., & Perdomo Ch, C. A. (2018). SCADA System for Supervision of Diesel Consumption and Energy Efficiency for Electric Generators. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(35), 1–8. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i35/131518>
- He, W., Baig, M. J. A., & Iqbal, M. T. (2024). An Internet of Things—Supervisory Control and Data Acquisition (IoT-SCADA) Architecture for Photovoltaic System Monitoring, Control, and Inspection in Real Time. *Electronics*, 14(1), 42. <https://doi.org/10.3390/electronics14010042>
- International Electrotechnical Commission. (2023). *IEC*. International Electrotechnical Commission.

- International Society of Automation. (2015). *ANSI/ISA-101.01-2015: Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*. <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-101-standards>
- International Society of Automation. (2016). *ANSI/ISA-18.2-2016: Management of Alarm Systems for the Process Industries*. <https://www.isa.org/products/ansi-isa-18-2-2016-management-of-alarm-systems-for>
- ISA-95 Standard: Enterprise-Control System Integration*. (s/f). Recuperado el 19 de junio de 2026, de https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-95-standard?utm_source=chatgpt.com
- Modbusorg. (2006). *MODBUS Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b Modbus Organization*. <http://www.Modbus.org>
- Rockwell Automation. (2019). *Rockwell Automation Process HMI Style Guide White Paper*. https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/process-wp023_-en-p.pdf
- Waqas, M., & Jamil, M. (2024a). Smart IoT SCADA System for Hybrid Power Monitoring in Remote Natural Gas Pipeline Control Stations. *Electronics*, 13(16), 3235. <https://doi.org/10.3390/electronics13163235>
- Waqas, M., & Jamil, M. (2024b). Smart IoT SCADA System for Hybrid Power Monitoring in Remote Natural Gas Pipeline Control Stations. *Electronics*, 13(16), 3235. <https://doi.org/10.3390/electronics13163235>

ANEXOS

Se presenta la información consultada. Pueden ser, carta de compromiso, carta aval, instrumentos, evidencia fotográfica, entre otros que el autor considere necesario.

Anexo 1 Área de Generación



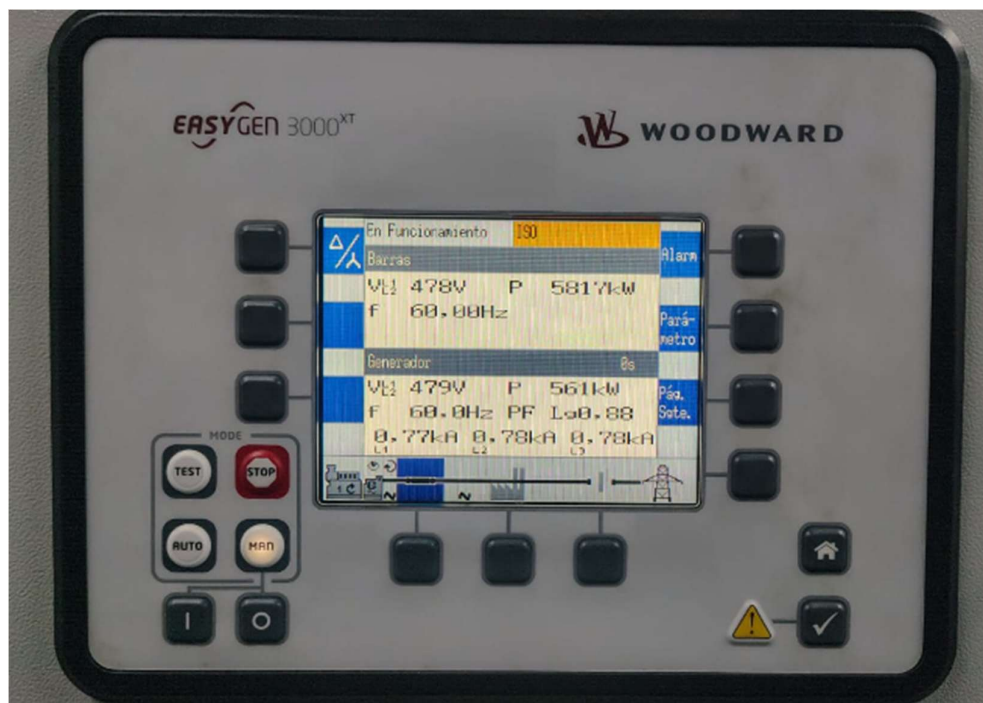
Anexo 2 Área de control MCC



Anexo 3 Centro de control de motores MCC



Anexo 4 EasYgen serie 3000



Anexo 5 Alojamiento físico del ESM



Anexo 6 Módulo TDXM



Anexo 7 Modelo presentado en sala de control room área de generación.

