



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta tecnológica, previo a la obtención del título de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

“Estudio de una propuesta para el mejoramiento de un sistema de automatización, monitoreo y digitalización utilizando tecnologías robustas como PLC, HMI Y SCADA dirigido a las técnicas de medición de las temperaturas de los gases de combustión basándose en el funcionamiento del motor HYUNDAI 9H21/32 de la Central Termoeléctrica Santa Elena II de la Unidad de Negocios Electroguayas Celec Ep.”

AUTOR

ADRIANA STEFANYA CASTILLO LINDAO

PROFESOR TUTOR

ING. LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMÉNEZ, MSC.

LA LIBERTAD–ECUADOR

2024

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por permitirme culminar con éxito esta carrera, teniendo buena salud y fortaleza en todo momento.

Agradezco a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por abrirme las puertas y darme la oportunidad de culminar esta etapa académica, a mis docentes por su dedicación en guiarme en este proceso tan importante en mi vida.

Quiero expresar mi más sincera gratitud por su paciencia y apoyo incondicional dedicando esta tesis a mi esposo **Ing. Elias Muñoz** y a mis hijos **Jared y Ethan Muñoz** quienes son mi pilar motivacional en todo momento.

A mis padres y hermanas que han estado conmigo sin importar las condiciones, a la familia de mi esposo por su ayuda en cada ciclo, demás familiares, amigos y compañeros especiales en mi vida por ser parte de este importante proceso.

Adriana Stefanya Castillo Lindao.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de titulación denominado “**Estudio de una propuesta para el mejoramiento de un sistema de automatización, monitoreo y digitalización utilizando tecnologías robustas como PLC, HMI y SCADA dirigido a las técnicas de medición de las temperaturas de los gases de combustión basándose en el funcionamiento del motor Hyundai 9h21/32 de la Central Termoeléctrica Santa Elena II de la Unidad de Negocios ELECTROGUAYAS CELEC EP**”, elaborado por la egresada Castillo Lindao Adriana Stefanya, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo a la estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La Libertad, 22 de febrero de 2022



firmado electrónicamente por:
**LUIS ENRIQUE
CHUQUIMARCA JIMENEZ**

Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez MSc.

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Washington Torres Guin, Mgt.

DECANO DE LA FACULTAD

Ing. José Sánchez Aquino, Mgt.

DIRECTOR DE CARRERA



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ENRIQUE
CHUQUIMARCA JIMENEZ**

Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Mgt.

DOCENTE TUTOR

**OSCAR
WLADIMIR
GOMEZ
MORALES**

Firmado digitalmente por OSCAR
WLADIMIR GOMEZ MORALES
DN: cn=OSCAR WLADIMIR
GOMEZ MORALES, gn=OSCAR
WLADIMIR GOMEZ MORALES,
c=Ecuador, l=EC
Motivo: Soy el autor de este
documento

Ing. Oscar Gómez Morales, Mgt.

DOCENTE ÁREA

Ab. María Rivera González, Mgt.

SECRETARIA GENERAL

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

“Estudio de una propuesta para el mejoramiento de un sistema de automatización, monitoreo y digitalización utilizando tecnologías robustas como PLC, HMI y SCADA dirigido a las técnicas de medición de las temperaturas de los gases de combustión basándose en el funcionamiento del motor Hyundai 9h21/32 de la central termoeléctrica santa elena II de la unidad de negocios ELECTROGUAYAS CELEC EP”

Autor: Adriana Stefanya Castillo Lindao

Tutor: Luis Enrique Chuquimarca Jiménez

RESUMEN

La Central Térmica Santa Elena está destinada a producir y comercializar electricidad tanto local como nacional. CELEC EP es una empresa comprometida con la producción y transmisión de energía eléctrica que apoya el desarrollo del Ecuador.

En algunas centrales térmicas se utilizan motores de combustión interna, los cuales son propulsados por una mezcla de combustible diesel y fuel-oil # 4 que es producido por la Refinería de La Libertad.

Con el tiempo, el motor puede experimentar múltiples fallas y su función prevista puede verse comprometida, lo que resulta en una interrupción del ciclo de trabajo del sistema. Estos cambios pueden o no ser significativos y pueden alcanzar un punto máximo de tensión o falla, causando inestabilidad operativa disminuyendo su vida útil.

Actualmente los datos de las temperaturas de los gases de combustión las obtiene manualmente el proceso se lo realiza diariamente. El operador se acerca al motor y obtiene los datos a través de los medidores (termómetro de glicerina) la cual sus resultados podrían variar y no estar entre los rangos de temperatura admisibles establecidos por el mismo fabricante (Hyundai).

Debido a esta problemática se propone realizar un estudio de una propuesta para el monitoreo de las temperaturas de los gases de combustión de los motores Hyundai 9H21/32 de la Central Termoeléctrica Santa Elena II, a través de un PLC proyectándolos en un HMI.

Palabras clave: Central, combustión, inestabilidad, rangos, monitoreo.

ABSTRACT

The Santa Elena Thermal Power Plant is intended to produce and market both local and national electricity. CELEC EP is a company committed to the production and transmission of electricity that supports the development of Ecuador.

In some thermal power plants internal combustion engines are used, which are powered by a mixture of diesel fuel and fuel oil # 4 that is produced by the La Libertad Refinery.

Over time, the motor may experience multiple failures and its intended function may be compromised, resulting in an interruption of the system's duty cycle. These changes may or may not be significant and can reach a peak of stress or failure, causing operational instability decreasing its service life.

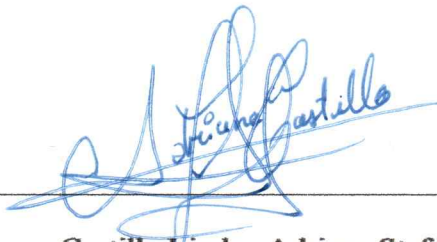
Currently, the data of the flue gas temperatures are obtained manually by the process on a daily basis. The operator approaches the engine and obtains the data through the meters (glycerin thermometer) which its results could vary and not be among the permissible temperature ranges established by the same manufacturer (Hyundai).

Due to this problem, it is proposed to carry out a study of a proposal for the monitoring of the temperatures of the combustion gases of the Hyundai 9H21/32 engines of the Santa Elena II Thermoelectric Power Plant, through a PLC projecting them into an HMI.

Key words: Power plant, combustion, instability, ranges, study, monitoring.

DECLARACIÓN

El contenido del presente Trabajo de Titulación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena



Castillo Lindao Adriana Stefanya

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
TRIBUNAL DE GRADO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
DECLARACIÓN	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
LISTA DE ANEXOS	xiv
INTRODUCCIÓN	- 15 -
CAPÍTULO I	16
1.1 ANTECEDENTES	16
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	17
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO	19
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	19
1.4 RESULTADOS ESPERADOS	20
1.5 JUSTIFICACIÓN	20
1.6 METODOLOGÍA	21
CAPÍTULO II	22
2.1 MARCO CONTEXTUAL	22
2.1.1 Corporación Eléctrica del Ecuador	22
2.2 MARCO CONCEPTUAL	23
2.2.1 Motor de combustión interna	23
2.2.1.1 Aire combustión	23
2.2.1.2 Turbocargador	24
2.2.2 Temperatura de los gases de combustión	25
2.2.2.1 Daños motor Hyundai	25

2.2.3	Termocupla	27
2.2.4	Interfaz hombre - maquina.....	27
2.2.5	Controlador lógico programable.....	27
2.2.6	Protocolo de comunicación	28
2.2.7	Normas industriales.....	30
2.3	MARCO TEORICO.....	32
CAPÍTULO III.....		33
3.1	COMPONENTES DE LA PROPUESTA.....	33
3.1.1	Componentes físicos.....	33
3.1.1.1	Simatic PLC SIEMENS S7-1200	33
3.1.1.2	Simatic PLC SIEMENS S7-300	34
3.1.1.3	Convertidores de temperatura TC ISOLATED 3111.....	35
3.1.1.4	MODULE EXPANCIÓN SIEMENS S7-1200.....	36
3.1.1.3	Termopar tipo K.....	38
3.1.1.5	Pantalla HMI Pro- Face GP3600	39
3.1.1.3	Motor Hyundai 9H21/32.....	40
3.1.2	Componentes lógicos.....	43
3.1.2.1	GP-Pro Ex	43
3.1.2.2	Tia portal V15	43
3.1.2.3	Cade Simu	44
3.2	DISEÑO DE LA PROPUESTA.....	44
3.2.1	Algoritmo del proceso.....	44
3.2.2	Estructura del PLC S7-1200 Y modulo expansor	45
3.2.3	Configuración HMI Pro-Face	46
3.2.2	Bornas.....	48
3.2.3	Estructura metálica	48
3.2.4	Configuración del PLC SIEMENS S7-1200 y HMI Pro-Face.....	50
3.2.5	Adaptación PLC SIEMENS S7-1200 a PLC SIEMENS S7-300.	52
3.3	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	61

3.3.1 Factibilidad técnica.....	61
3.3.2 Análisis de costo del proyecto.....	62
3.4 PRUEBAS Y RESULTADOS.....	66
CAPITULO IV.....	71
4.1 CONCLUSIONES.....	71
4.2 RECOMENDACIONES.....	72
4.3 BIBLIOGRAFIAS.....	73
4.4 ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Central Termoeléctrica Santa Elena	22
Figura 2. Diagrama del sistema de ingreso de aire y salida de gases	24
Figura 3. Fisura de válvulas.	26
Figura 4. Daños camisa del motor.	26
Figura 5. Derrame de combustible en el motor.	26
Figura 6. Comunicación de control industrial vía Ethernet.	29
Figura 7. Comunicación PLC a PC.	29
Figura 8. Red Profinet.	30
Figura 9. Estructura de bloques del PLC.	30
Figura 10. PLC Siemens S7-1200.	34
Figura 11. PLC Siemens S7-300	35
Figura 12. Convertidor PR 3111	36
Figura 13. 6ES7231- 4HF32-0XBO.....	37
Figura 14. Termopar tipo k.	38
Figura 15. HMI Proface.	40
Figura 16. Sección transversal del motor	42
Figura 17. Sección longitudinal del motor	43
Figura 18. Diagrama MDU.	45
Figura 19. Entradas/salidas analógicas y digitales del PLC S7-1200 y módulo de expansión.	46
Figura 20. Vista de software PRO – FACE para HMI.	47
Figura 21. Vista de programa GP-PRO EX para HMI.	48
Figura 22. bornas.	48
Figura 23. Termómetro de glicerina.	49
Figura 24. Estructura metálica.	49
Figura 25. Diagrama de conexiones PLC Y HMI PRO-FACE.....	50
Figura 26. Diagrama de conexiones PLC Y RC3111 (1).	50
Figura 27. Diagrama de conexiones PLC Y RC3111 (2), (3), (4), (5).	51
Figura 28. Diagrama de conexiones PLC Y RC3111 (6), (7), (8), (9).	51
Figura 29. Conexión RJ45 NORMAS T568B [41].	52
Figura 30. Configuración PLC S7-1200 a PLC S7-300.....	52
Figura 31. Solicitud de datos al PLC S7 300.....	53
Figura 32. Datos almacenados.	53
Figura 33. Arreglo de datos de potencia.....	54

Figura 34. Ingreso de datos.	54
Figura 35. Arreglo de datos cilindro 1.....	55
Figura 36. Escalamiento de valores.....	55
Figura 37. Variables con su tipo de datos para cada cilindro.....	56
Figura 38. Valor proceso - cilindro 1.	56
Figura 39. Valor proceso, cilindro 2.....	56
Figura 40. Programación para cilindro 3.....	57
Figura 41. Programación para cilindro 4.....	57
Figura 42. Programación para cilindro 5.....	57
Figura 43. Programación para cilindro 6.....	58
Figura 44. Programación para cilindro 7.....	58
Figura 45. Programación para cilindro 8.....	58
Figura 46. Programación para cilindro 9.....	59
Figura 47. Variables tipo reales.....	59
Figura 48. Promedio de valores de los cilindros con las funciones matemáticas.....	59
Figura 49. Promedio de los 9 cilindros.....	60
Figura 50. Programación en el bloque de organización.....	60
Figura 51. Panel de distribución eléctrica.	66
Figura 52. Conexión del PLC S7-1200 y los convertidores 3111.....	67
Figura 53. Conexión HMI Pro-face.....	67
Figura 54. Interfaz mostrando barras verticales.	69
Figura 55. Interfaz mostrando valores de temperatura de cada cilindro.	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas de PLC S7-1200.	34
Tabla 2. Especificaciones transmisor de temperatura serie 3111.	35
Tabla 3. Descripción modulo expansión siemens S7-1200.	37
Tabla 4. Código de color tipo k.	39
Tabla 5. Especificaciones funcionales HMI PRO-FACE.	40
Tabla 6. Especificaciones motor Hyundai 9h21/32.	41
Tabla 7. Costos de equipos.	63
Tabla 8. Costo de otros elementos del proyecto.	63
Tabla 9. Costos de montaje del proyecto.	64
Tabla 10. Valores de componentes y mano de obra.	65

LISTA DE ANEXOS

Anexos 1. Diagrama panel de control principal.	75
Anexos 2. Nivel carga vs temperatura de los gases de combustión.	76
Anexos 3. Diagrama eléctrico termocuplas.	77
Anexos 4. Diagrama eléctrico termocuplas.	78
Anexos 5. Código de tipos y especificaciones de termocuplas.	79
Anexos 6. Vista lateral del motor.	80
Anexos 7. Datos principales para los generadores 9H2132.	84
Anexos 8. Código de tipos y especificaciones.	85
Anexos 9. comportamiento motor Hyundai 9h2132.	86
Anexos 10. Tabla valores termopar tipo k.	84
Anexos 11. Tabla valores termopar tipo k.	85

INTRODUCCIÓN

En la industria hay una variedad de procesos que requieren la supervisión permanente garantizando así el buen funcionamiento de los equipos, estabilidad en la máquina, la correcta obtención de resultados obtenidos, a lo largo del tiempo se han creado varias alternativas para tener un correcto registro y control de registros térmicos garantizando así la vida útil [1].

Es necesario establecer mejoras y control de operación utilizando tecnologías robustas de la industria, que permitan la confiabilidad de sus procesos equipos y maquinarias para su producción mediante la automatización a través de PLC (Programmable Logic Controller), HMI (human-machine interface) y las redes de comunicación, obteniendo el monitoreo de la variable física como lo es la temperatura de gases de combustión, mediante análisis de datos obtenidos, evitando fallos en el motor, pues la irregularidad de los datos en los parámetros establecidos por el fabricante podrían causar daños graves y serios los cuales causarían grandes pérdidas de producción, confiabilidad y grandes aumentos de paralización del motor por fallas internas.

Al realizar el estudio para una posible implementación en el futuro podría garantizar que la Central termoeléctrica pueda garantizar su buen desarrollo en sus operaciones de producción, guiado hacia la automatización que permita preservar los equipos y maquinarias principales y auxiliares que forman parte del proceso de producción de la energía eléctrica por medio de los motores de combustión interna.

El monitoreo de las temperaturas de los gases de combustión de un motor diesel de 4 tiempos es muy importante, debido a este control podemos detectar fallas, desgastes, fugas y presión de inyectores de combustible a tiempo evitando daños considerables en el motor [2].

Este proyecto está conformado por cuatro capítulos, en el cual el primer capítulo describe los antecedentes donde se describe la creación de la central, la ubicación, su administración, descripción de las unidades, el proceso de producción distribución de Kilovatios por hora, luego se tiene la correspondiente descripción del proyecto, mencionando los objetivos planteados a cumplir, además, la respectiva justificación, resultados y metodología de esta investigación.

CAPÍTULO I

1.1 ANTECEDENTES

La estación Santa Elena - provincia Santa Elena a 4 ½ km de la vía Santa Elena-Ancón. La instalación es operada por la unidad de negocio Electroguayas y tiene una capacidad instalada de 90 MW.

La energía eléctrica que es producida por los grupos electrógenos en CSE II la Central tiene 53 unidades de 1.7 Megavatios cada una, modelo 9H21/32, los equipos fueron adquiridos a la compañía Hyundai con un costo cercano de 100 millones de dólares. La planta Termoeléctrica es de las llamadas PPS (Packaged Power Station), cuyas unidades auxiliares y compartimientos de control fueron ensamblados en Corea del Sur; el combustible que utiliza es el fuel oil, # 4 que es producido por la Refinería de La Libertad. Esto garantiza un alto rendimiento, calculado en 18.3 kilovatios-hora por galón. La energía es incorporada al Sistema Nacional interconectado (SNI), para satisfacer la demanda de las zonas residenciales y productivas de Santa Elena y del país.

Los grupos electrógenos están divididos por Centrales de generación eléctrica conocidas como la Central Santa Elena II (CSE II) que opera con motores Hyundai y la Central Santa Elena III (CSE III) que opera con motores Mak Caterpillar.

El combustible es adquirido por Petroecuador EP, es transportado por tanqueros de gran capacidad. Se aprovecha la energía térmica producida por el gas de combustión aire – combustible, de la reacción química que se produce internamente en el cilindro del motor, el calor del gas resultante de la combustión estos gases generados a altas temperaturas que se promedia entre 300°C a 400°C cuando el motor trabaja de un 80% al 100% de su carga nominal, pasan por medio de ductos a los E.G.B (Exhaust Gas Boiler), que son calderas del tipo pirotubular por el cual circula fuego por los tubos, en este caso gases quemados y el agua se encuentra en el reservorio que es atravesado por los tubos, generando así el vapor necesario para los procesos como el calentamiento del combustible bunker (fuel oil 4) que es utilizado para la generación continua, lo cual genera un alto rendimiento y eficiencia térmica. La planta por su diseño y dimensionamiento calculado posee 7 E.G.B, cada una produce 2 Ton métricas de vapor por hora a una presión máxima de 7 bar, las cuales son eficientes ya que entre todas poseen un sistema llamado HTW (Hot Well Tank), el cual se encarga de recolectar todo el condensado

generado en la circulación de vapor por el sistema y este es llevado a un equilibrio térmico al unirse con agua tratada y a una temperatura aproximada de 75°C sirve de alimentación constante a la caldera para producir nuevamente vapor, teniendo así un vapor sobre calentado recirculando por la líneas. La Central tiene varios tanques de combustible pesado con una capacidad instalada de aproximadamente 1'500.000 galones, con una aproximación de 280 horas de generación continúa a la máxima carga nominal establecida por el fabricante Sur Coreano Hyundai.

El objetivo principal es mejorar el sistema de control de monitoreo de temperatura de gases de combustión, para ello se basan actualmente la información que recaudan diariamente a través con medidores analógicos (termómetros de glicerina) para obtener datos y resultados no tan confiables sobre el comportamiento interno del Motor Hyundai durante el ciclo de la combustión.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En la Central Térmica Hyundai está el departamento de Operación y Mantenimiento, son los encargados del monitoreo de los motores Hyundai 9H21/32 de la Central Termoeléctrica Santa Elena II. El motor posee 9 cilindros en línea, funciona a 900 RPM y genera 1.7Mw, estos motores utilizan combustible fósil, el arranque y parada, lo realizan quemando diésel y para generación continua queman fuel oíl # 4 por lo tanto son equipos sometidos a grandes temperaturas y esfuerzos.

Los motores pueden presentar varios errores, directamente relacionadas con los tiempos de trabajo, intensidad de la carga a la que trabajan, las condiciones operacionales y sus parámetros, siempre llegan a un punto en el cual sus propiedades se pueden ver alteradas, las funciones para las cuales fueron diseñadas pueden ver afectadas derivando así en perturbaciones de los ciclos de funcionamiento de un sistema. Este tipo de alteraciones pueden o no, notarse de forma significativa posiblemente hasta que lleguen a su punto máximo de esfuerzo o ruptura.

Los parámetros adecuados del motor presiden en el contexto operacional que controla el correcto funcionamiento, mantenibilidad y/o sintomatología de una falla. Los datos operativos del motor se encuentran citados por el manual del fabricante específico para cada planta, indicando los valores adecuados para la

operación del motor.

La toma de datos de las temperaturas de los gases la realiza un operador, este proceso se lo realiza diariamente. El operador se acerca al motor y obtiene los datos desde los medidores analógicos (termómetro de glicerina) la cual sus resultados podrían variar y no estar entre los rangos de temperatura admisibles establecidos por el mismo fabricante (Hyundai) al momento de adquirir datos el motor de esta manera se propone analizar que sensor sería el más adecuado para realizar la toma de datos, el cual permita capturar datos y ser controlados a través de un PLC el cual será programado a través del programa TIA PORTAL para que pueda definir los niveles de baja temperatura, temperatura media, temperatura alta y apagar el motor en caso de ser necesario, estos datos podrán ser mostrarlos en un HMI, y así poder obtener un registro de valores garantizando la obtención de cifras en tiempo real del motor, usando los respectivos estándares, protocolos y normativas de comunicación y conexión de los dispositivos.

Para ser más específicos en el proceso se realizará un estudio como se obtendrían los datos técnicos de temperatura si se reemplaza el actual termómetro de glicerina por un sensor que me permita detectarlos y visualizar los datos HMI garantizando precisión y eficaz en la toma de datos, que sea resistente a las vibraciones del motor, que tenga mayor durabilidad que dé resultados de manera inmediata, tomando en cuenta que también la falta de una programación técnicamente establecida y que realmente se corresponda con el requerimiento y especificaciones de los equipos, también implica una deficiente gestión del mantenimiento preventivo, lo que ocasiona que se observen paradas imprevistas en los sistemas del motor Hyundai 9H21/32.

Este trabajo de titulación va enfocado en contribuir a la minimización o eliminación de las paradas imprevistas de máquinas y equipos.

Se diseñará un HMI donde se visualizará los rangos de medición de temperatura de los gases de combustión obtenidos por los sensores análogos.

Automatizar el sistema de alarmas donde permita observar las temperaturas de los gases de combustión establecidas por el fabricante del motor.

De acuerdo con las características del motor y al rango de temperaturas establecidos por el fabricante, a través de un sensor analógico permita al PLC detectar señales,

en referencia a enviar acciones según su programación, seguido por la detección de datos poder mostrarlas en un HMI estudiando así de manera más segura su comportamiento.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar una propuesta de mejoramiento para un sistema de automatización, monitoreo y digitalización utilizando tecnologías robustas como PLC, HMI y SCADA dirigido a las técnicas de medición de las temperaturas de los gases de combustión basándose en el funcionamiento del motor HYUNDAI 9H21/32 de la Central Termoeléctrica Santa Elena II de la unidad de negocios ELECTROGUAYAS CELEC EP

1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Seleccionar un sensor optimo que me permita medir el nivel temperatura de los gases de combustión del motor Hyundai 9H21/32.
- Automatizar el sistema usando un controlador robusto, el cual permita digitalizar los valores de las temperaturas de los gases de combustión del motor y proyectarlos en una interfaz HMI.
- Estudiar e identificar la red de comunicación industrial a través de protocolos, normativas y estándares de comunicación internacionales que permita enlazar los dispositivos robustos con los sensores y actuadores del sistema cuyos parámetros serán visualizados en una interfaz HMI.
- Identificar y describir los elementos de arranque, protección y control del sistema bajo estándares y normativas internacionales.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

Para el respectivo estudio y simulación del sistema de monitoreo de temperaturas de gases de combustión se espera lo siguiente:

- Presentar mediante simulación el monitoreo de los datos de las temperaturas de los gases de combustión del motor Hyundai 9H21/32 presentados en un HMI.
- Elaborar una base de datos mediante la realización de mediciones.
- Descripción de Software y Hardware, con la respectiva comunicación través de protocolos, normativas y estándares de comunicación internacionales.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Dadas las condiciones actualmente la Central Termoeléctrica Santa Elena se ve en la necesidad de proponer una mejora del mecanismo de monitoreo y control de los motores Hyundai para integrar datos de temperatura de gases de combustión al sistema, y así garantizar la operación, monitoreo, análisis y toma de decisiones, para de esta manera poder minimizar las posibles fallas mecánicas y disminuir el porcentaje de error humano, obteniendo resultados adecuados y realizar un mejor análisis del estado, funcionamiento y desarrollo de la máquina obteniendo como beneficio un ahorro de tiempo y precautelando la seguridad del motor y el personal que realiza estos monitoreos.

El levantamiento de información de las temperaturas de los gases de combustión en los motores de la Central de Generación Eléctrica ubicada en Santa Elena, la problemática manifestada y la falta de seguridad, garantías y referencias acerca de las lecturas y valores apuntados en los formatos de control y monitoreo pertenecientes al departamento de operaciones se dio a conocer gracias a los comentarios y a las experiencias de los técnicos operadores y de mantenimiento encargados y realizar análisis inmediatos del estado físico del motor, monitoreando el comportamiento durante sus horas de trabajo. Se podrá tener registros instantáneos lo cual va a permitir desarrollar mejor un análisis de la posible causa raíz de falla y comportamiento.

Esta propuesta se basa en experiencias y sugerencias del personal especializado, que manifiestan que es una gran problemática hacer la toma de datos, los cuales

no son de total confianza, por lo que se solicita realizar la respectiva propuesta de mejora en los motores Hyundai 9H21/32 para la mejor obtención de datos y registros de las temperaturas de gases de combustión. Este estudio beneficia al departamento de Operación y Mantenimiento, encargados del control de los motores de la Central Termoeléctrica Santa Elena II.

1.6 METODOLOGÍA

TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto requiere de la utilización de los tipos de investigación, que se detallan a continuación:

INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Esta investigación es realizada en base a opiniones de técnicos especializados y datos técnicos del motor.

- Consultas a expertos.
- Consultas a manuales.

INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Se realizará mediante consulta a libros, revistas, artículos técnicos y científicos publicados en internet.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

De acuerdo con la propuesta de estudio se podrá realizar las respectivas comparaciones del manejo del sistema acorde a las pruebas que se vayan realizando en el sistema.

CAPÍTULO II

2.1 MARCO CONTEXTUAL

2.1.1 Corporación Eléctrica del Ecuador

El 30 de Marzo del 2011, la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) inaugura la nueva central termoeléctrica Santa Elena, ubicada en la provincia del mismo nombre.

Es administrada por la unidad de negocios Electroguayas con una potencia instalada de 90 megavatios.

La central tiene 53 unidades de 1,7 megavatios cada una. Los equipos se obtuvieron de la empresa Hyundai. La planta Termoeléctrica es llamada PPS (Packaged Power Station), cuyas unidades, equipos auxiliares y de control fueron ensamblados en Corea del Sur. El combustible que utiliza es el fuel oíl # 4 la cual es adquirida por la empresa por la refinería La Libertad. Garantizando el buen rendimiento de 18.3 Kilovatios-hora por galón.

Esta propuesta de estudio para la mejora del sistema de monitoreo de las temperaturas de los gases de combustión del motor Hyundai, de la Central térmica Santa Elena ubicada en el kilómetro 4 ½ en la vía Santa Elena – Ancón, atrás del colegio Técnico “Santa Elena” (ver **Figura 1**).

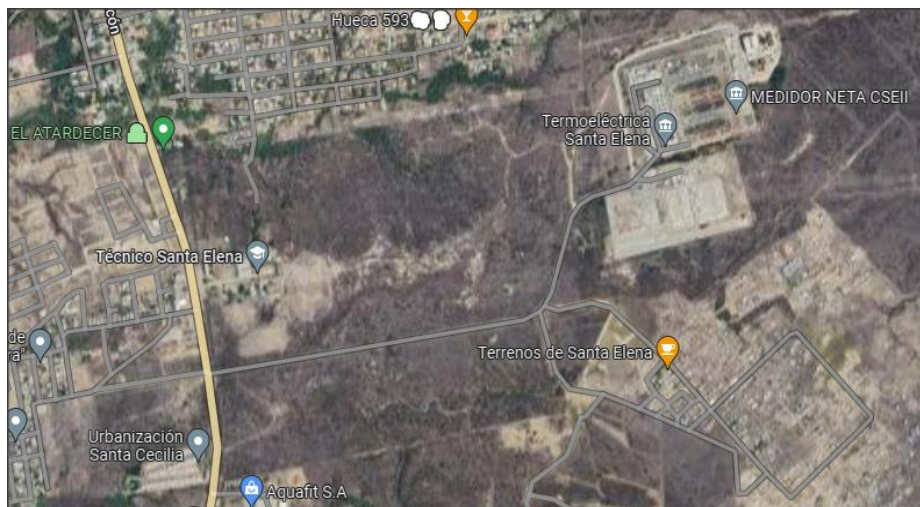


Figura 1. Central Termoeléctrica Santa Elena [43].

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Motor de combustión interna

El motor de combustión interna o también conocido como motor explosión, es una máquina que a través de la energía química del combustible que arde dentro de la cámara de combustión obtenido de la energía mecánica.

Los motores efectúan una carrera útil de trabajos de cuatro tiempos (4T) para su combustión interna que son los siguientes:

- **Admisión:** A medida que el pistón desciende, la válvula de admisión se abre, permitiendo que la mezcla de aire y combustible ingrese a la cámara de combustión. Este proceso ocurre cuando la válvula de escape está cerrada.
- **Compresión:** Cuando la válvula está cerrada, el pistón sube hasta llegar al extremo superior, comprimiendo el aire y el combustible.
- **Explosión:** Cuando el combustible ingresa a la cámara de combustión, el aire comprimido provoca una detonación con la ayuda de una chispa eléctrica (los motores de gasolina tienen bujías) o la autodetonación (motores diésel) con compresión.
- **Escape:** Este es el último ciclo y la válvula de escape se abre para expulsar los gases producidos por la explosión durante la elevación del pistón [3].

La combustión se produce en la autoignición del combustible que se produce por los altos niveles de temperatura, generados por la compresión en la cámara. A este proceso se lo conoce como ciclo Diésel [4].

2.2.1.1 Aire combustión

El aire de la succión no sólo contribuye a la combustión, pero también al refrescar de componentes circundantes. La cantidad de flujo de aire tiende a ser reducida debido a violaciones del sistema en horas de operación. Cualquier o algunas violaciones en los componentes con respecto al aire y pasaje de gases de descarga pueden aumentar la resistencia del flujo de aire y por consiguiente causa un aumento en la caída de presión y la cantidad reducida del flujo de aire. La presión baja significa reducción de presión atmosférica de cargo, que resulta en presión más baja del cilindro y más consumo de combustible como consecuencia. La cantidad reducida de flujo de aire resulta en la temperatura más alta de gases de descarga y componentes del cilindro, así como más

consumo de combustible.

Los componentes de la turbina deben de ser limpiados aproximadamente cada 200 horas operativas [5].

2.2.1.2 Turbocargador

Los turbocargadores tienen la función de comprimir el aire de combustión a la entrada de los motores. Cuando se comprime el aire de entrada, es posible introducir una mayor masa de aire en el mismo volumen de los cilindros como se muestra en la **Figura 2**. Esto resulta en un mayor volumen de aire disponible para la combustión, un rendimiento mejorado y mayor potencia en los motores.

El aire requerido para la combustión es recogido por el filtro fijado al turbo cargador. Es importante que el aire de explosión esté libre de agua salada, polvo y humos, etc.

El turbo cargador es enfriado y lubricado con aceite lubricante del sistema de aceite lubricante principal.

Durante la operación, el compresor del turbocargador puede acumular depósitos de sucio. Por lo tanto, el compresor debe ser limpiado mientras está en operación por inyección de agua en intervalos regulares. En esta manera los depósitos son removidos mecánicamente con el impacto de las gotitas.

La combustión del combustible pesado causa la contaminación de las aspas de la turbina y los sellos de la boquilla del turbocargador. Los resultados son baja eficiencia de turbina, temperatura alta de gases de salida, Presiones más alta de explosión y de carga. Por lo tanto, la limpieza mojada de las aspas de la turbina y los sellos de la boquilla deben de ser hechas en intervalos regulares [6].

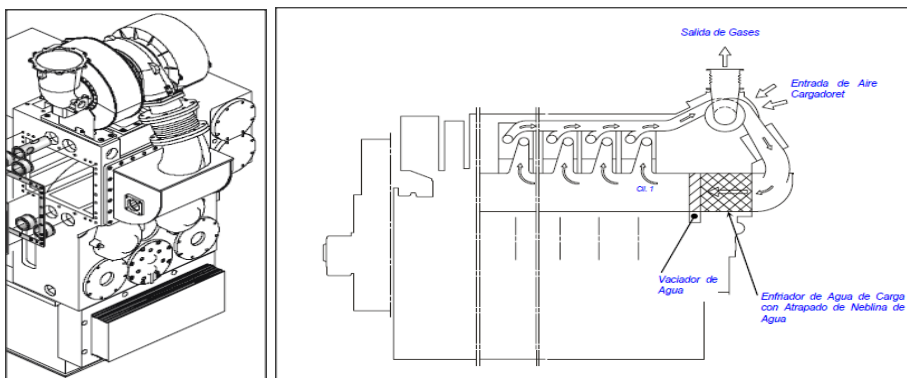


Figura 2. Diagrama del sistema de ingreso de aire y salida de gases [6].

2.2.2 Temperatura de los gases de combustión

La temperatura de los gases de combustión es un parámetro muy importante nos permite detectar a tiempo ciertos problemas de funcionamiento del motor. Los rangos varían conforme sean los motores diésel o los de gasolina, pero lo que se toma en cuenta es la variación de temperatura fuera del rango de referencia normal que puede representar algún efecto defectuoso [7].

En el siguiente anexo 2 a continuación nos muestra en rango óptimo de temperatura de los gases de escape de cada cilindro entre 290°C – 350°C con una carga de 1700KW.

2.2.2.1 Daños motor Hyundai

Los operadores del motor deben entender los peligros potenciales del motor y deben ser autorizados para manejar el funcionamiento y trabajo de mantenimiento del motor incluyendo las advertencias.

El cuarto del motor, sobre todo alrededor del motor siempre debe estar limpio y contar con luminosidad adecuada para evitar cualquier posibilidad de accidentes.

Censar la temperatura con las manos no es permitido excepto a personal autorizado. El termómetro de no contacto infrarrojo es recomendado para revisar la temperatura de la superficie de la máquina [6].

En un motor es muy importante llevar un control de su temperatura, sino se la lleva podría provocar daños significativos al motor, acorde a eso se puede diagnosticar cuales podrían ser las causas de los daños del motor evitando consecuencias en su rendimiento.

- Reducción de la potencia del motor.
- Agrietamiento de la cabeza del motor.
- Deslizamiento.
- Espacios huecos.

Una temperatura fuera del rango establecido puede significar anormalidades, por lo que habrá que se procedería a evaluar y diagnosticar su posible causa, si existen fugas

u obstrucciones que afecten al flujo de aire por lo sino se diagnostica a tiempo podría provocar desgaste y rotura en los componentes internos del motor, como se muestra en las siguientes figuras (**ver Figura 3**), (**ver Figura 4**) (**ver Figura 5**).

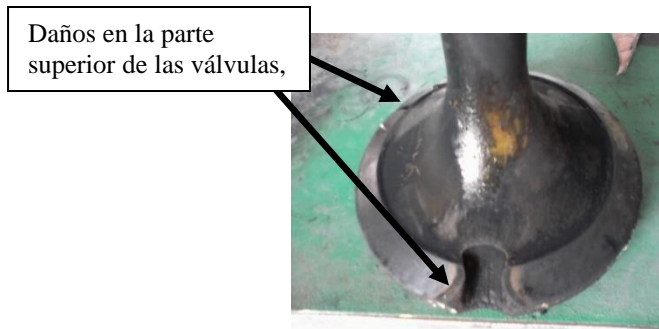


Figura 3. Fisura de válvulas.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

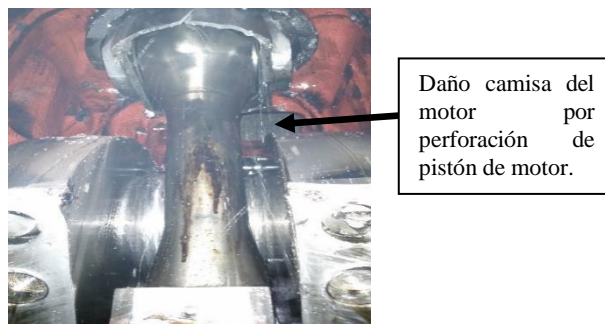


Figura 4. Daños camisa del motor.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

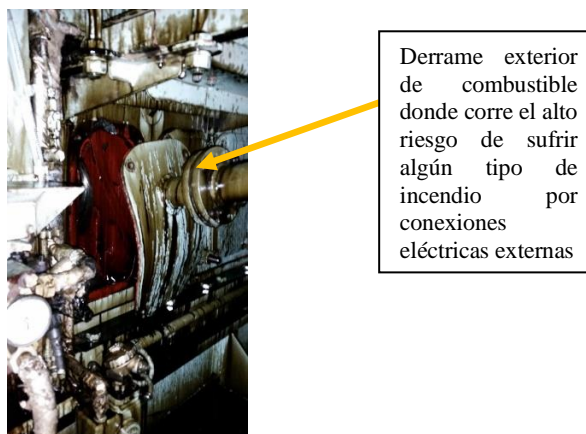


Figura 5. Derrame de combustible en el motor.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

2.2.3 Termocupla

Un sensor es un dispositivo que detecta un cambio en un entorno reaccionando con una salida de otro sistema. Un sensor permite convertir un fenómeno físico analógica en una tensión medible que puede mostrarse en una pantalla legible. Se utilizan para medir la temperatura y prevenir los riesgos causados por los cambios extremos de temperatura [8].

Termopar: es el sensor de temperatura industrial más utilizado. Consiste en dos alambres de diferentes materiales, unidos en un extremo por una soldadura generan una fuerza electromotriz (EMF) como se puede visualizar en el anexo 5. Cuando se aplica calor o frío a la unión de los dos extremos, se produce una tensión muy pequeña en el rango de la millitensión, que aumenta con la temperatura [9].

2.2.4 Interfaz hombre - maquina

HMI son las siglas de Human-Machine Interface y denota un panel que permite al usuario interactuar con la máquina, el software o el sistema. Técnicamente, puede ser cualquier pantalla utilizada para interactuar con una máquina, pero se suele utilizar para pantallas en un entorno industrial. Las HMI muestran datos en tiempo real y permiten al usuario controlar la máquina mediante una interfaz gráfica.

El grado de sofisticación de una HMI depende de la complejidad de la máquina o el sistema en el que se utiliza. También depende del uso previsto de la HMI, ya sea para la supervisión de máquinas o para otros fines, como la supervisión del funcionamiento de una fábrica y el control de equipos [10].

La HMI proporciona una visión centralizada de la información sobre el funcionamiento de los equipos de la planta y mejora la visibilidad de las operaciones de la planta. Los operadores también pueden utilizar la HMI para ver y gestionar las alarmas y resolverlas rápidamente [11].

2.2.5 Controlador lógico programable

Los PLC son equipos electrónicos aplicables en la industria para procesos de automatización, permite detectar muchas señales de proceso, guiados con su programación. Es una computadora que se usa para los procesos de automatización la cual nos permite obtener un autodiagnóstico en caso de presentarse algún inconveniente, lectura de entrada y grabación, lectura y realización del programa,

registro y actualización de salidas de manera periódica y permanente según sea su programación [12].

2.2.6 Protocolo de comunicación

La comunicación de control industrial a través de Ethernet se refiere a un protocolo de red de área local (LAN) que permite el intercambio de información entre un controlador lógico programable y una computadora personal a través de una conexión por cable.

Ethernet/IP es un protocolo de red utilizado para aplicaciones de automatización industrial (**ver figura 6**). Basado en los protocolos estándar TCP/IP, aplicados en el hardware y software Ethernet para establecer un nivel de protocolo para configurar, acceder y controlar dispositivos de automatización industrial [13].

El **protocolo S7 (RFC 1006)** permite la conexión de dispositivos de automatización S7 con cualquier interlocutor. Proporciona acceso directo a la memoria de usuario del S7 sin realizar cambios en la propia aplicación de usuario.

El protocolo S7 (RFC 1006) permite el direccionamiento de todos los componentes internos en el lado del PLC, es decir, independientemente de los bloques de datos (DB). Dependiendo del PLC, se admite el protocolo S7 (RFC 1006) con pocos o ningún cambio de configuración. [14]

La serie SIMATIC S7 soporta de forma nativa el protocolo ISO-on-TCP en modo pasivo, es decir, funciona como servidor y acepta conexiones de clientes.

Protocolo ISO-on-TCP

La transmisión de datos orientada a paquetes es la principal ventaja del protocolo de transporte ISO.

Debido a que TCP (Protocolo de control de transmisión) tiene capacidades de enrutamiento de Internet, la gente intenta combinar lo mejor de ambos protocolos. Extensión RFC 1006 (RFC - Solicitud de comentarios) "ISO sobre TCP", también conocida como ISO-on-TCP, describe la creación de propiedades para protocolos de transporte distintos de TCP. El protocolo ISO-on-TCP también se encuentra en la capa 4 del modelo de referencia ISO-OSI como puerto estándar para la transmisión de datos. [15].

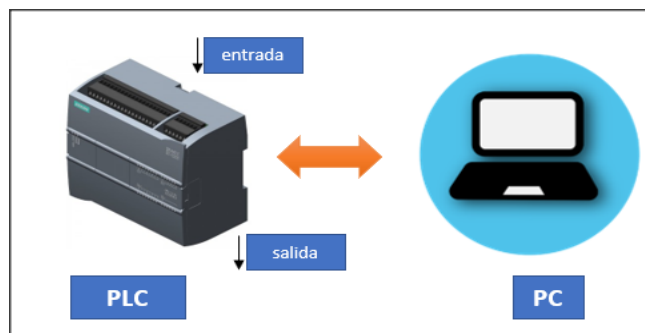


Figura 6. Comunicación de control industrial vía Ethernet.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

El protocolo **IEEE 802.3** el cual vincula el software con el hardware a través de cable de redes LAN, permitiendo el cambio de datos entre los terminales (**ver figura 7**).

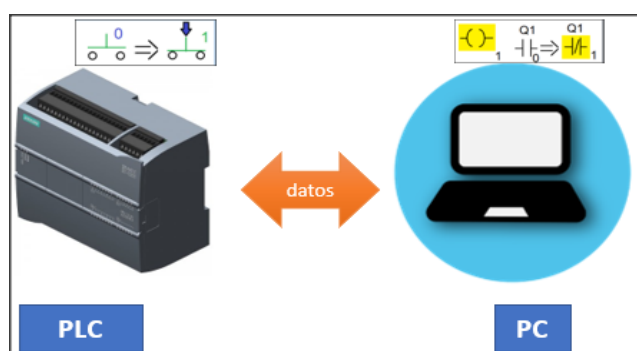


Figura 7. Comunicación PLC a PC.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

PROFINET (Process Field Network) es un protocolo de comunicación Ethernet industrial basado en el estándar abierto TCP/IP. PROFINET es un estándar Ethernet abierto que cumple con la especificación IEC 61158 para automatización industrial. Este tipo de red permite la conexión de equipos de comando y control (PLC y otros) de nivel empresarial (sistemas informáticos e Internet). PROFINET proporciona comunicación unificada con el personal de ingeniería, cubre todos los equipos industriales y administrativos, soporta tecnología de la información hasta el nivel de control. (**ver figura 8**).

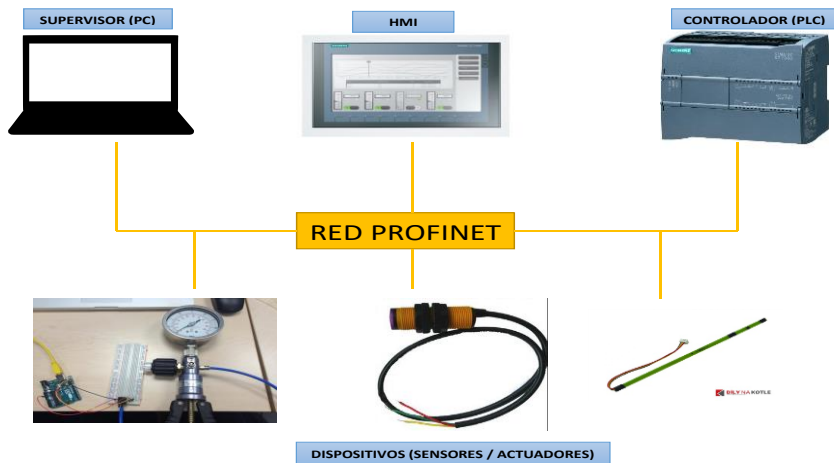


Figura 8. Red Profinet.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

En la industria, los protocolos de comunicación son esenciales para asegurar los procesos de producción y mantener los estándares de calidad y garantizar el intercambio instantáneo de información [16].

A continuación, se describe el proceso por el cual se realiza la toma de datos, en este caso temperatura de los gases de combustión, en el cual puedan interactuar entre el PLC y el HMI para que esta toma de datos sea leída a través de este proceso (**ver figura 9**),

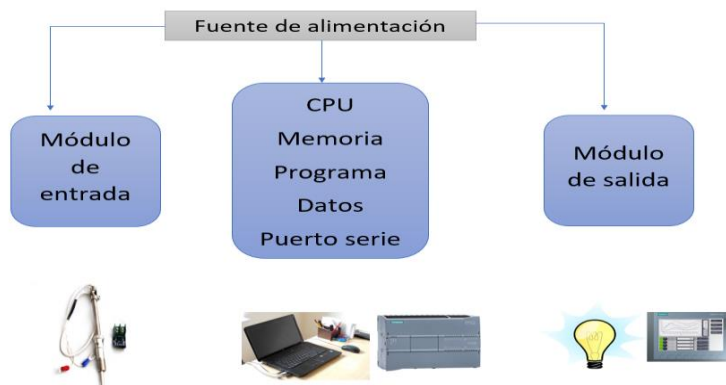


Figura 9. Estructura de bloques del PLC.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

2.2.7 Normas industriales

El organismo encargado de establecer estándares para bienes, servicios, procedimientos y sistemas en los EE. UU. se llama **Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI)**. ANSI participa tanto en la **Comisión**

Electrotécnica Internacional (IEC) como en la **Organización Internacional para la Estandarización (ISO)**. Los estándares nacionales estadounidense están alineados con esta organización de tal modo que los productos de dicho país puedan usarse en todo el mundo [17].

ISO (Internacional Organization for Standardization) es la **Organización Internacional de Normalización**, cuya principal actividad es la elaboración de normas técnicas internacionales.

ISO 3046-1 se aplica a los motores alternativos de combustión interna (RIC) para uso terrestre, marítimo y de tracción ferroviaria [18].

ISO 15550 determinación y método para la medición de la potencia del motor de combustión interna [18].

ISO 14001 Es un estándar de sistema de gestión ambiental. Es un sistema de principios de gestión que describe los requisitos para desarrollar e implementar una estrategia de gestión ambiental [19].

ISO 50001 Es un estándar internacional para sistemas de gestión de energía. Proporciona un marco para la eficiencia y optimización energética. La certificación de este estándar es un compromiso para mejorar la gestión energética de sus instalaciones.

ISO 45001 Es un estándar de ambiente de trabajo. Ayuda a las empresas a reducir los factores que pueden provocar accidentes, enfermedades, lesiones personales u otros daños. Como resultado, los empleados están más protegidos en el trabajo y se reducen los incidentes de seguridad. Las empresas de cualquier industria pueden utilizar este marco para desarrollar estándares de salud y seguridad más completos en sus lugares de trabajo.

ISO 27001 Ofrece un marco de sistema de gestión de seguridad de la información (SGSI). Este estándar internacional mantiene la confidencialidad de los datos sensibles y cumple con la ley. Se trata de una respuesta integral a las amenazas a la seguridad, como incendios, vandalismo y ataques cibernéticos, para que su empresa pueda minimizar el tiempo de inactividad en caso de estos incidentes [20].

INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) la Norma **ISO 11102-2** fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 70 Motores de combustión interna. La Norma ISO 11102 para motores de combustión interna de pistones alternativos aptos para uso terrestre, ferroviario y marítimo [21].

2.3 MARCO TEORICO

Durante el desarrollo del marco teórico se han estudiado varios trabajos relacionados con la presente propuesta tecnológica la cual sirven para la correcta orientación de este proyecto.

De acuerdo con la REVISTA DE ROBOTS (2021) el proceso de automatización implica mejorar los tiempos de ciclo, productividad, la calidad del proceso y la competitividad de la empresa. La automatización es un elemento clave la cual garantiza que sus procesos sean más eficientes aumentando la productividad y calidad de producto, seguridad laboral al reemplazar procesos complicados de personal humano por una máquina, protegiéndolo de riesgos por enfermedad, lesiones o exposición de lugares nocivos para la salud [22].

Según EDS/ROBOTICS la automatización ha generado grandes cambios exponenciales en la forma en la que vivimos y laboramos, ya casi todo esto ligado a la tecnología donde los autómatas facilitan muchas actividades diarias que ponían en riesgo la vida de los seres humanos. La automatización nos permite aumentar la producción garantizando la calidad del producto, reducir el tiempo de producción, reducir el costo de producción [23].

La revista AUTOMÁTICA E INSTRUMENTACIÓN.COM de productividad y eficiencia del diseño a la producción pública, los sistemas de automatización los robots la fabricación aditiva y las tecnologías 4.0 son un componente central de las estrategias de fabricación. En el ámbito educativo la robótica y la programación son los principales medios de enseñanza en el mundo tecnológico, las cuales nuevas plataformas tecnológicas permitan que el aprendizaje sea inmenso y experimental, validando los conocimientos adquiridos [24].

CAPÍTULO III

3.1 COMPONENTES DE LA PROPUESTA

En esta sección se procede a dar detalles de los componentes que conformarían esta propuesta tecnológica de tesis, los cuales se los describe los componentes físicos y componentes lógicos.

3.1.1 Componentes físicos

Esta propuesta de tesis está enfocada a la automatización para la toma de datos de las temperaturas de los gases de combustión del motor Hyundai 9H21/32 a través de un sensor, lo que permitirá visualizar los datos a través de un HMI.

3.1.1.1 Simatic PLC SIEMENS S7-1200

El PLC SIEMENS S7-1200 brinda muchas ventajas y beneficios en el campo de la automatización, es una versión actualizada de los modelos PLC Siemens. Es un controlador compacto modular con tamaño reducido la cual se adapta mejor en procesos industriales. Permite adaptar módulos compatibles para la expansión del controlador, localizando inmediatamente errores, Software de programación, facilitando el acceso a todo sistema de manera integral, contiene entradas y salidas compuestas para módulos, Profinet incorporado y entradas analógicas como se puede visualizar en la **figura 10** [25].

Este PLC Siemens S7-1200 es de fácil instalación, se puede instalar vertical u horizontalmente en la industria, ahorra espacio físico y facilita la automatización de sistemas que requieran de sus datos técnicos, como se muestra en la Tabla 1 [26].

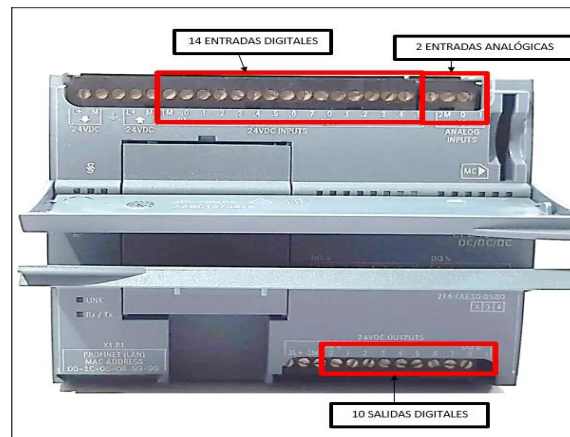


Figura 10. PLC Siemens S7-1200.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Tabla 1. Características técnicas de PLC S7-1200.

DATOS TECNICOS	
MODELO	CPU 1214 DC/DC/DC 6ES7 214-1AG31-0XB0
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	AC 20.4 - 28.8 V DC
ENTRADAS DIGITALES	14 ENTRADAS DIGITALES DE 24 VOLTIOS DC
SALIDAS DIGITALES	10 SALIDAS DIGITALES
ENTRADAS ANALÓGICAS	2 ENTRADAS INTEGRADAS DE 0 A 10 VOLTIOS DC
INTERFAZ	PROFINET (PROFINET INDUSTRIAL)

Fuente: [27].

3.1.1.2 Simatic PLC SIEMENS S7-300

Actualmente está instalado en el panel principal un PLC SIEMENS S7-300 (ver **figura 11**) el cual el motor Hyundai 9H21/32 realiza el proceso de la ejecución ya programada.

A través del tiempo los PLC Siemens han evolucionado tratando de obtener características cada vez adaptables en la industria, el lenguaje de programación estándar proporcionado por STEP 7, el programa de control se puede desarrollar de manera conveniente y eficiente. Su conexión con el PLC S7-300 se da por medio del

HMI Pro-face [28].



Figura 11. PLC Siemens S7-300 [42].

3.1.1.3 Convertidores de temperatura TC ISOLATED 3111

Los convertidores de temperatura 3111 realizan mediciones de sensores de temperatura TC J y K ofrecen una conversión segura y fiable de señales de temperatura en los procesos industriales a salidas analógicas y digitales. Está diseñado para trabajar con un valor nominal de funcionamiento de -25°C y $+70^{\circ}\text{C}$, estos dispositivos son aplicados donde la temperatura ambiente cambia significativamente en especial áreas donde está expuesto a variaciones de temperatura drásticas y no necesita de calibración frecuente [29].

Transmite cambios rápidos en las mediciones de procesos, en los **PLC/DCS (es un Controlador Lógico Programable / sistema de control distribuido)** para tener una monitorización rápida y precisa de señales críticas. Proporciona una precisión del 0.05% en sus señales disponibles, es altamente inmune al ruido, su tiempo de respuesta es de <30 ms para obtener las mediciones de temperatura con precisión a largo plazo, como se puede ver en la tabla 2 de especificaciones del transmisor de temperatura [30].

Tabla 2. Especificaciones transmisor de temperatura serie 3111.

ATRIBUTO	VALORES
TIPO DE ENTRADA	TEMPERATURA
TIPO DE SALIDA	CORRIENTE
TENSION DE ALIMENTACIÓN	16,8 → 31,2 V DC
TEMPERATURA DE	-25°C

FUNCIONAMIENTO MINIMA	
TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO MAXIMA	+70°C
SERIE	3111

Fuente: [29].

En la figura 12, se puede ver en el lado izquierdo la estructura de conexiones del equipo electrónico, en el lado derecho vemos la imagen del equipo físico.

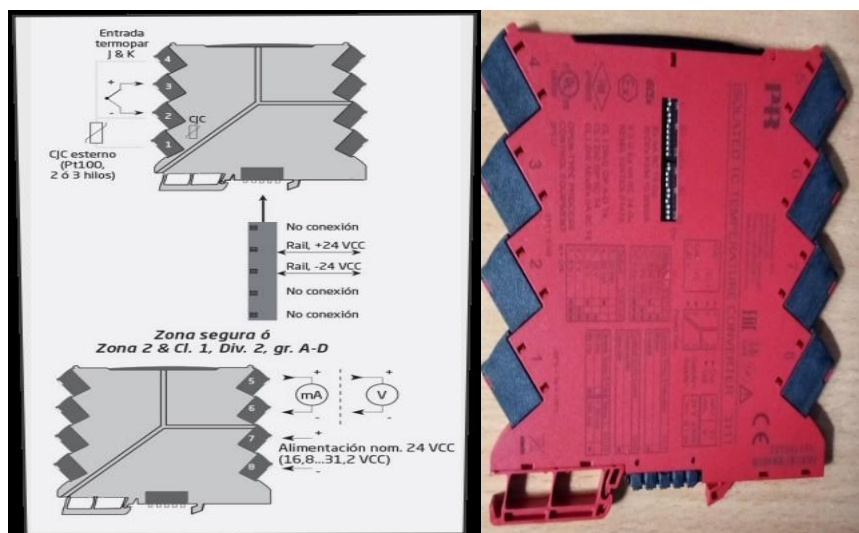


Figura 12. Convertidor PR 3111 [30].

3.1.1.4 MODULE EXPANCIÓN SIEMENS S7-1200

El módulo de expansión PLC Puede aumentar la cantidad de entradas y salidas si la potencia del módulo de expansión del PLC es insuficiente para manejar las demandas de las aplicaciones de automatización.

En la **figura 13** se ve el módulo de expansión utilizado, en la tabla 3 se especifica las características del módulo expansor en este caso como se están tomando medidas de temperaturas variables entonces se usa modulo expansor analógico [31].

Tipos de módulos de expansión

Módulos de entradas

Permite que el PLC aumente la cantidad de entradas digitales, analógicas o especializadas como termopares y RTD.

Módulos de salidas

Agrega una cantidad predeterminada de salidas al PLC, incluidas salidas tipo relé, digitales, analógicas y otras salidas más utilizadas. [32].



Figura 13. 6ES7231- 4HF32-0XBO.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Tabla 3. Descripción modulo expansión siemens S7-1200.

DESCRIPCIÓN	
DIMENSIONES	45 x 100 x 75mm
COMPATIBLE	CONTROLADORES S7 - 1200
CORRIENTE ENTRADA	45 mA
TIPO DE ENTRADA	ANALÓGICA
NUMERO DE ENTRADAS	8
NUMERO DE IO PUERTOS	8
TIPO PRIMARIO	ENTRADA
SERIE	S7 - 1200
SUMINISTRO VOLTAGE	24 VDC
TEMPERATURA DE RANGO DE OPERACIÓN	-20 A 60 °C

Fuente: [31].

3.1.1.3 Termopar tipo K

El termopar **tipo K (NiCr-NiAl)** constituido por los elementos Níquel-Cromo y Níquel-Alumel, también conocido como Cromel – Alumel.

Cromel: 90% Níquel + 10% Cromo.

Alumel: 95% Níquel + 2% Manganeso + 2% Aluminio + 1% Silicio [33].

Los sensores de temperatura metálicos están diseñados para uso frecuente a altas temperaturas. La **Figura 14** muestra un termopar, que es una herramienta clave en el proceso de automatización, ya que es una de las principales herramientas de control, por lo que permite al controlador o monitor (HMI) leer lecturas de temperatura y convertirlas en voltajes y mostrarlas en grados Celsius o Fahrenheit.



Figura 14. Termopar tipo k.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

El termopar tipo K es versátil, económico, fácilmente disponible y tiene un rango de temperatura de funcionamiento de 300° C a 1260° C su composición lo hace altamente resistente a la corrosión y es el sensor de temperatura metálico más utilizado a altas temperaturas, sin embargo, no es adecuado para ambientes ácidos.

Se han desarrollado normas y protocolos ya establecidos para la correcta identificación de los termopares, la norma ANSI o norma americana, aplicada en varias partes del mundo (México, América latina, Estados Unidos), las normativas DIN (Deutsches Institut für Normung) que traducido al español significa Instituto Alemán de Normalización, es una norma técnica para el control de calidad de los productos industriales y científicos alemanes. Para evitar confusiones, es importante identificar la fuente del material y con qué estándar se ha identificado, en la siguiente Tabla 2.

Tabla 4. Código de color tipo k.

CODIGO DE COLORES PARA TERMOCUPLAS				
TIPO	ANSI		DIN	
	+	-	+	-
J	BLANCO	ROJO	ROJO	AZUL
K	AMARILLO	ROJO	ROJO	VERDE
T	AZUL	ROJO	ROJO	MARRÓN
E	PURPURA	ROJO	ROJO	NEGRO

Fuente: [34].

Es muy importante saber el tipo de termocupla usar eso va a depender mucho del rango de temperatura, ambiente a usar, de acuerdo con su tipo y calibración diseñada. En la siguiente **Anexo 5** se puede analizar la temperatura para la que están diseñados, la función de los termopares es generar y transmitir impulsos eléctricos proporcionales a la temperatura a la que están expuestos, el sensor recibe un voltaje que es amplificado para su correcta interpretación, permitiendo registrar temperaturas de manera segura, eficiente e inmediata [35].

La lectura del termopar debe conectarse a un instrumento que lea el EMF generado en milivoltios o su equivalente en °C. Los termopares y los instrumentos (indicadores, registradores, etc.) se conectan con cables especiales [33].

3.1.1.5 Pantalla HMI Pro- Face GP3600

La HMI que se utiliza en una amplia gama de industrias. El HMI PRO-FACE (GP360) de la serie 3000 de la marca Schneider Electric (**ver figura 15**), se usa para visualizar los parámetros de temperaturas de los gases de combustión del motor Hyundai 9H21/32, (**ver tabla 5**) el cual utiliza un módulo esclavo PRO-FACE modelo 3383202, la cual posee un puerto de conexión Profibus, el cual están ubicados en el panel principal del motor mostrando diversas opciones de monitoreo para diferentes partes de monitoreo del motor la HMI mostrara los datos de temperatura de los gases de combustión del motor de los 9 cilindros, con rangos máximos y mínimos ingresados de acuerdo a su manual Hyundai.

La complejidad de una HMI depende de la complejidad de la máquina o sistema que la utiliza. También depende del uso previsto de la HMI, ya sea para monitoreo de máquinas o para otros fines, como monitoreo del desempeño de la planta y control de equipos. [10].



Figura 15. HMI Proface [36].

Tabla 5. Especificaciones funcionales HMI PRO-FACE.

TIPO DE VISUALIZACIÓN	LCD A COLOR TFT
TAMAÑO DE LA PANTALLA	12'1"
RESOLUCIÓN	800 X 600 PÍXELES (SVGA)
CONTROL DE BRILLO	8 NIVELES (AJUSTADOS CON EL PANEL TÁCTIL)
VIDA ÚTIL DE LA RETROILUMINACIÓN	50.000 HORAS O MAS (FUNCIONAMIENTO CONTINUO)
MEMORIA DE APLICACIÓN	EPROM FLASH 16 MB
TIPO DE PANEL TÁCTIL	PELÍCULA RESISTIVA (ANALÓGICA)
RESOLUCIÓN DEL PANEL TÁCTIL	1024 X 1024
VIDA ÚTIL DEL PANEL TÁCTIL	1.000.000 DE VECES O MAS

Fuente: [36].

3.1.1.3 Motor Hyundai 9H21/32

El motor Hyundai 9H21/32 es utilizado para la generación eléctrica, el motor de combustión interna este acoplado a un generador eléctrico para la transformación de la energía mecánica producida por el motor de la energía eléctrica entregada por el generador.

El motor Hyundai modelo 9H21/32 está compuesto por el sistema de lubricación, el sistema de admisión y sistema de enfriamiento.

El sistema de admisión de estos motores es capaz de suministrar el aire limpio a la temperatura y cantidad correcta para la posterior combustión.

El sistema de enfriamiento tiene como función principal la regulación de la temperatura de trabajo del motor. Esto asegura que el motor opere al rango más eficiente y que tenga una larga vida útil [6].

La siguiente tabla 6, indica las especificaciones del motor, por lo que se recomienda mantener un registro permanente de su comportamiento del motor asegurando su estabilidad, funcionamiento y evitando futuros daños internos, llevando como referencia la guía de su respectivo manual Hyundai como se muestra en el **anexo 7** y **anexo 8**.

Se puede ver en la **figura 16** la sección transversal del motor donde se señala los sistemas con los que opera el motor en la parte interna. En la **figura 17** se visualiza la sección longitudinal del motor, también se puede entender que secciones del motor cumplen con cada sistema

Tabla 6. Especificaciones motor Hyundai 9h21/32.

TIPO DE MOTOR	4 TIEMPOS, VERTICAL INYECCIÓN DIRECTA, ACCIÓN SIMPLE CON TURBO CARGADOR Y ENFRIAMIENTO INTERMEDIO.
CONFIGURACIÓN DE LOS CILINDROS	EN LÍNEA
N° CILINDROS	9
VELOCIDAD	900 RPM
POTENCIA DEL CILINDRO	200KW
DIÁMETRO DEL CILINDRO	210 MM
CARRERA DE PISTÓN	310 MM
VOLUMEN DE BARRIDO	11.1 dm^3

VELOCIDAD MEDIA DEL PISTÓN	9.6 M/S
RAZÓN DE COMPRESIÓN	17.1
POTENCIA DEL MOTOR	1800 KW
POTENCIA DEL GENERADOR	1700KW
ORDEN DE ENCENDIDO DEL CILINDRO	1-3-5-7-9-8-6-4-2

Fuente: [6].

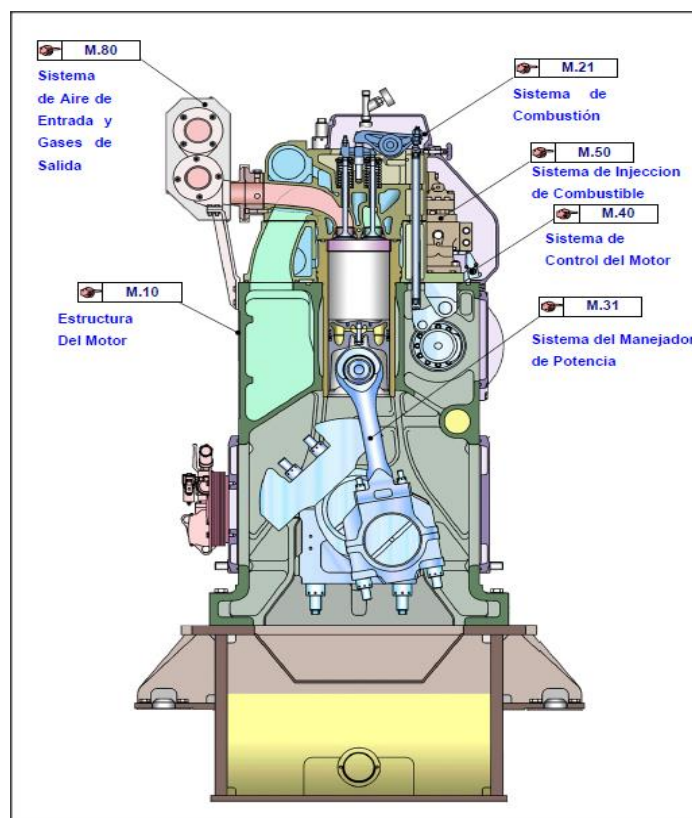


Figura 16. Sección transversal del motor [6].

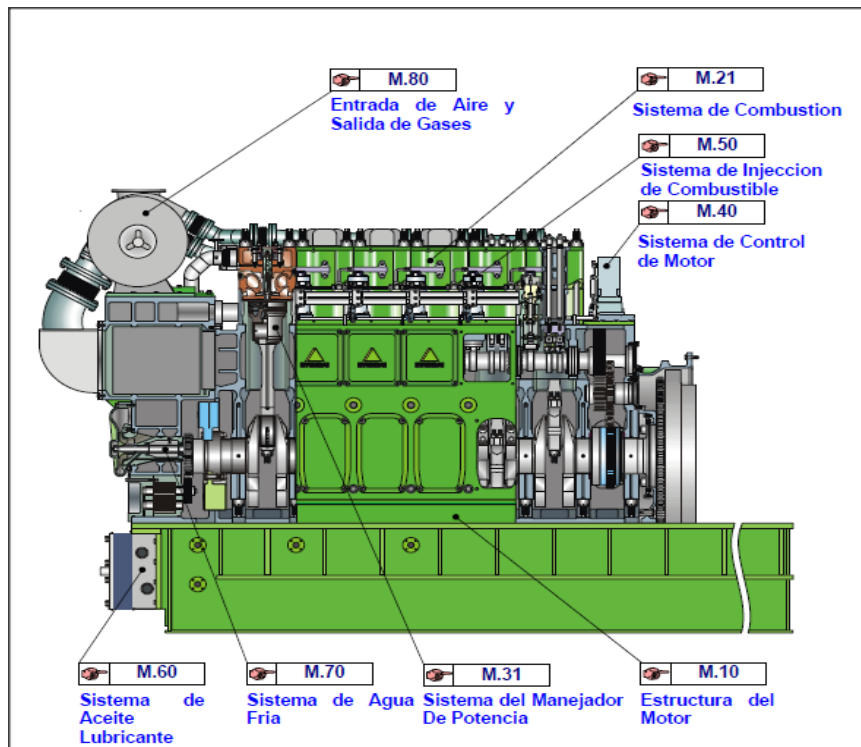


Figura 17. Sección longitudinal del motor [6].

3.1.2 Componentes lógicos

3.1.2.1 GP-Pro Ex

Para su configuración y programación se realiza a través del software japonés GP-Pro Ex es un programa que permite programar la visualización en el HMI, es compatible con versiones anteriores permitiendo la fácil migración de datos y actualizar configuraciones y opciones de visualización para el manejo del sistema.

GP-Pro EX es compatible con datos anteriores ahorrando tiempo en su desarrollo nos permite editar pantallas y lógica, editar la presentación, ordenar y crear un historial de muestreo de las alarmas [36].

A través de este programa se edita la visualización del HMI PRO-FACE (GP3600) donde mostraran los datos que detecte el PLC S7-1200 a través de los termopares instalados en el motor Hyundai 9H21/32 y a través de la conexión Profibus.

3.1.2.2 Tia portal V15

Tia portal (Totally Interated Aumatation Portal) es el software más usado en los mercados del mundo por su gama completa de servicios de automatización

digitalizada, el cual simplifica de una manera considerable la productividad y da excelentes resultados en el menor tiempo para las industrias.

Este software nos permite configurar, programar, simular y diagnosticar los controladores SIMATIC, programando los PLCs de la línea S7-1200 – S7-1500 – S7-300 los cuales son robustos y función de disponibilidad a largo plazo, gracias a avances tecnológicos se han extendido los módulos de comunicación de E/S según modelo y aplicación [37].

3.1.2.3 Cade Simu

El programa Cade Simu, es un software gratuito que nos permite realizar distintos esquemas eléctricos a través de distintas opciones de símbolos eléctricos y electrónicos de sus librerías integradas, nos permite visualizar posibles errores de conexión. Es un programa portable por lo tanto ocupa muy poco espacio ocupando muy pocos recursos y es compatible con formato CAD [38].

3.2 DISEÑO DE LA PROPUESTA

3.2.1 Algoritmo del proceso

El diagrama mostrará los diferentes elementos de control que integran el sistema de automatización para la obtención de la medición de las temperaturas de los gases de combustión interna por medio de los sensores termopares tipo k colocadas en un punto específico en cada uno de los 9 cilindros del motor Hyundai.

Todo proceso debe estar constituido por un diagrama de flujo, el cual representa gráficamente la secuencia del proceso y que decisiones tomara en caso de presentarse posibles cambios durante su proceso con el fin de mejorar la comprensión y control de calidad del motor (**ver figura 18**).

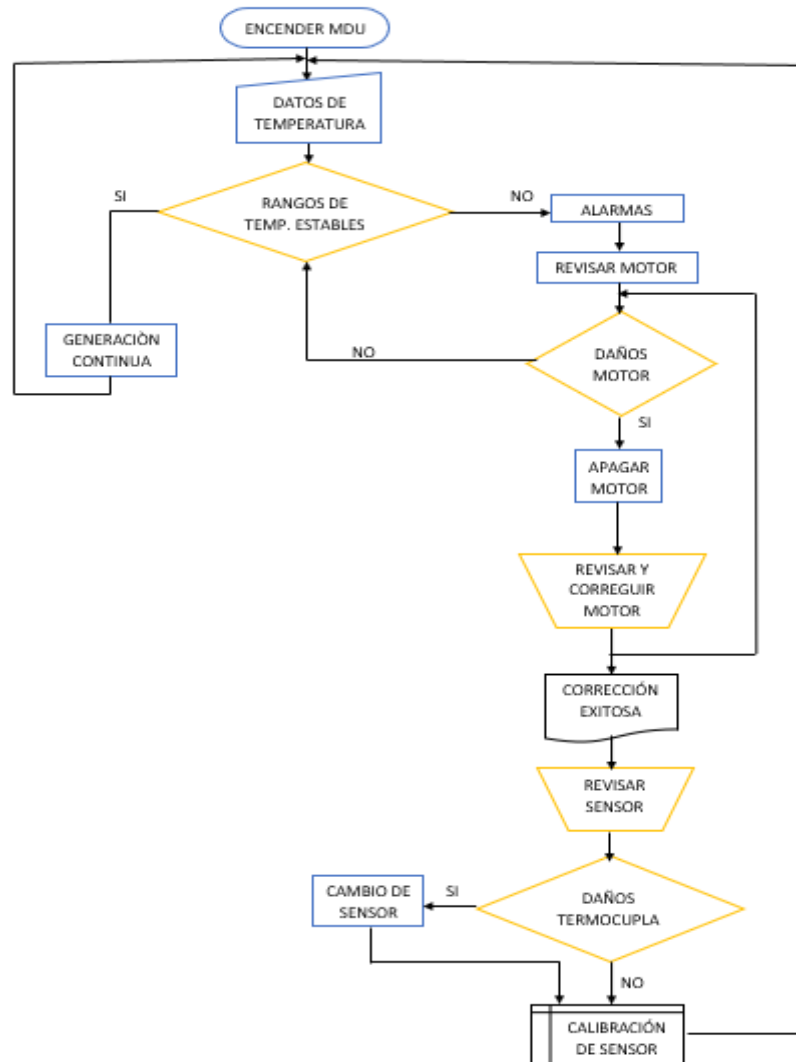


Figura 18. Diagrama MDU.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

3.2.2 Estructura del PLC S7-1200 Y modulo expansor

Para este proyecto de automatización de mediciones de temperaturas de combustión, se ha seleccionado el PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC 6ES7 214-1AG31-0XB0, compuesto por 14 entradas digitales de 24 Voltios DC, 2 entradas analógicas integradas de 0 a 10 Voltios DC, 10 salidas digitales, posee una memoria interna de 75 Kbyte para las diferentes configuraciones y programación del dispositivo.

Se debe de usar un módulo expansor o slot de 8 entradas analógicas acoplado al PLC SIEMENS S7-1200, para aumentar el número de entradas analógicas (**ver figura 19**).

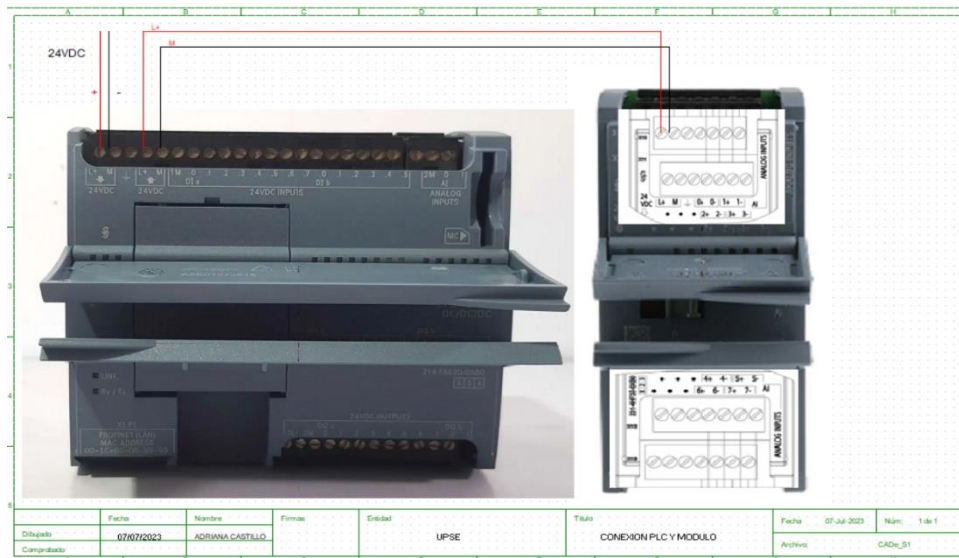


Figura 19. Entradas/salidas analógicas y digitales del PLC S7-1200 y módulo de expansión.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

3.2.3 Configuración HMI Pro-Face

Pro-Face se vincula con el programa GP-PRO EX, es donde se va a diseñar las vistas del programa para el HMI Pro-Face, que mostrara los rangos de temperatura, es un programa el cual permita llevar un control de la maquina y sus alarmas. Es fácil de usar y tiene una amplia gama de herramientas para su diseño.

En el software GP – PRO EX se realiza la programación donde se dibuja las barras rectangulares de colores, indicando colores para determinar en cada una las condiciones de temperatura, color (verde) estará dentro del rango estable, cuando el valor de temperatura en grados centígrados empieza a crecer y su valor es mayor al de los rangos de estabilidad, aumente la carga del motor y la temperatura de gases de combustión en cada uno de los 9 cilindros cambiara el color (amarillo) donde las 9 barras de forma vertical configuradas según la alineación determinada por el manual del motor, cuando el valor sea inferior a los rangos mínimos de estabilidad la barra cambiara a color (azul), desde el cilindro 1 al 9 se empieza por el lado del turbo compresor y finalizando por el lado del generador las barras estarán de color verde con sus respectivos valores, si algún dato de temperatura excede el parámetro normal determinado por el fabricante para su operatividad regular cambian de color alertando irregularidad en el sistema (**ver figura 22**).

Se diseña las barras verticales tanto de temperatura de los cilindros de motor, como las temperaturas del turbo cargador (**ver figura 22**) esta vista nos ayudara a ver si la temperatura detectada por la termocupla en la cámara de gases de combustión está

dentro de los parámetros permitidos según su manual (**ver anexo 2**).

Además, se mostrarán los valores de temperatura de los tubos de escape de gases A-B-C a través del colector de escape que conduce a la turbina, ya que estas temperaturas indican en qué valor la masa de gas debe realizar el trabajo de desplazamiento lateral de los gases de escape. gas procedente de la turbina del turbocompresor, así como la temperatura de salida del gas a la atmósfera después de las revoluciones (rpm) por minuto de la turbina, del motor y del turbocompresor y la potencia instantánea entregada al generador.

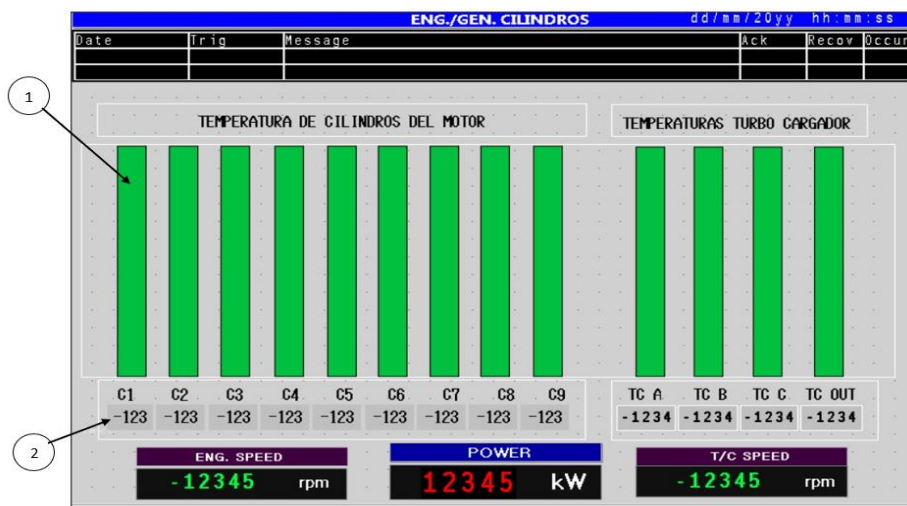


Figura 20. Vista de software PRO – FACE para HMI.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

En el punto 1 de la **figura 20** esta interfaz se visualiza la temperatura de cilindros del motor donde C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 donde cada una de estas barras representa el nivel de temperatura de las termocuplas a través de colores que identifican sus condiciones de funcionamiento en cada uno de los cilindros y en el punto 2 los valores numéricos que está registrando. Esta pantalla muestra si el termopar está activo o no según el rango ingresado, a través de esta pantalla podemos determinar si los parámetros especificados están dentro del rango permitido por el manual HYUNDAI, en caso de ver alguna anomalía se revisa primero si las termocuplas presentan fallas.

En el punto 1 de la **figura 21** se muestra una interfaz donde se puede visualizar gráficamente en el HMI, dónde están las termocuplas instaladas mostrando el valor de temperatura de cada cilindro (**ver figura 24**).

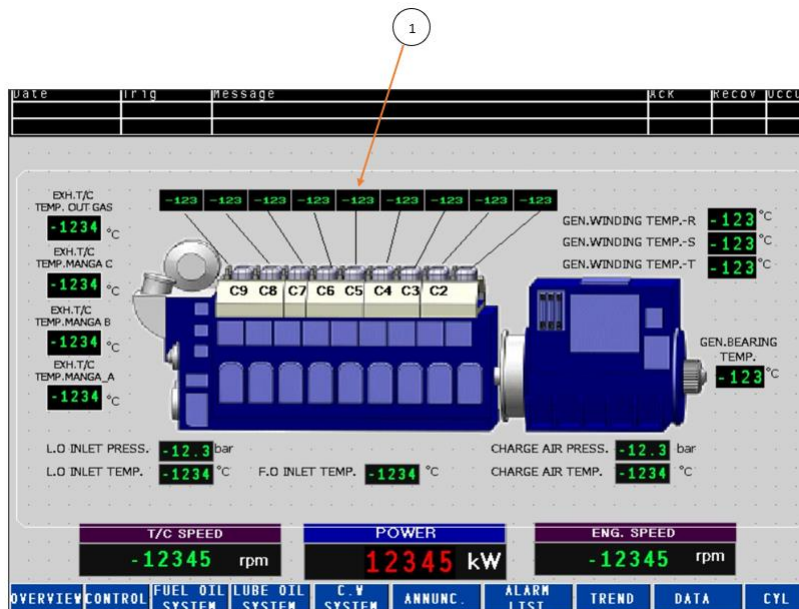


Figura 21. Vista de programa GP-PRO EX para HMI.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

3.2.2 Bornas

Dentro de la caja de conexiones (ver figura 22), los terminales del termopar se montarán en rieles, las entradas/salidas se unirán con la misma aleación que el tipo de termopar utilizado y se identificarán correctamente para garantizar una conexión adecuada. Aceptan cables de hasta 2 mm de diámetro y permiten un rango de temperatura de -50°C a 120°C , estas bornas se utilizan para conexión de termopares tipo K, T, J, N, R/S, E y B [39].

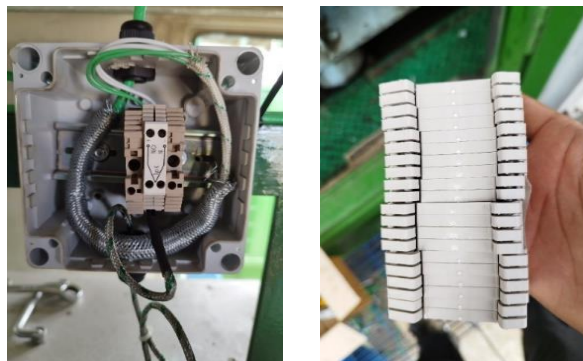


Figura 22. bornas.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

3.2.3 Estructura metálica

Actualmente el sistema de control de monitoreo del motor Hyundai 9H21/32 los dan los termómetros de glicerina instalado en un termopozo en cada una de las salidas de

los gases de combustión de los 9 cilindros (**ver figura 23**), en los cabezotes del motor Hyundai.



Figura 23. Termómetro de glicerina.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Por lo que se recomienda utilizar sensores de termopar, cajas de conexiones, cajas de conexiones y conductores, así como los elementos necesarios para medir el valor de temperatura y transferirlo al equipo receptor de conversión y visualización.

Para la correcta ubicación de los elementos electrónicos que se utilizaron para la toma de datos de los gases de combustión, se tuvo que solicitar al departamento mecánico de soldadura (**ver figura 24**) para que realice la estructura y el montaje metálico, en la parte superior sobre los cabezotes del motor Hyundai, en el punto 1 con material de platina 1/8 x2” con 320 x 106 cm, en el punto 2 sobre esa estructura se instalan las 9 cajas de conexiones, en su parte interior estarán las bornas donde pasara el cable para termocupla tipo k, se instalan los sensores termopar, las borneras, las cajas de conexiones y conductores que son necesarios para poder obtener la información de las mediciones de los valores de temperatura.

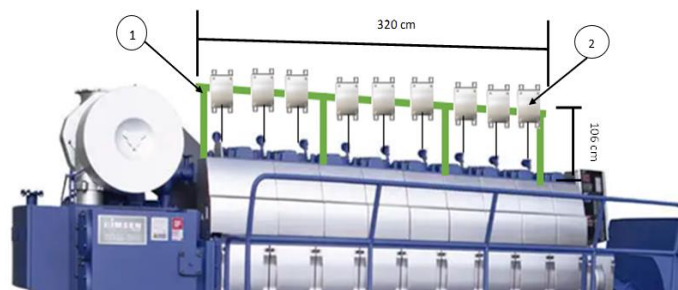


Figura 24. Estructura metálica.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

En el Anexo 6, podemos entender la instalación del sistema, cuáles fueron sus componentes que se utilizaron.

3.2.4 Configuración del PLC SIEMENS S7-1200 y HMI Pro-Face

En el siguiente diagrama realizado en el programa cade-simu, se puede ver la conexión de un PLC hacia el HMI, su fuente de alimentación y la IP con la que es reconocida cada elemento (**ver figura 25**).

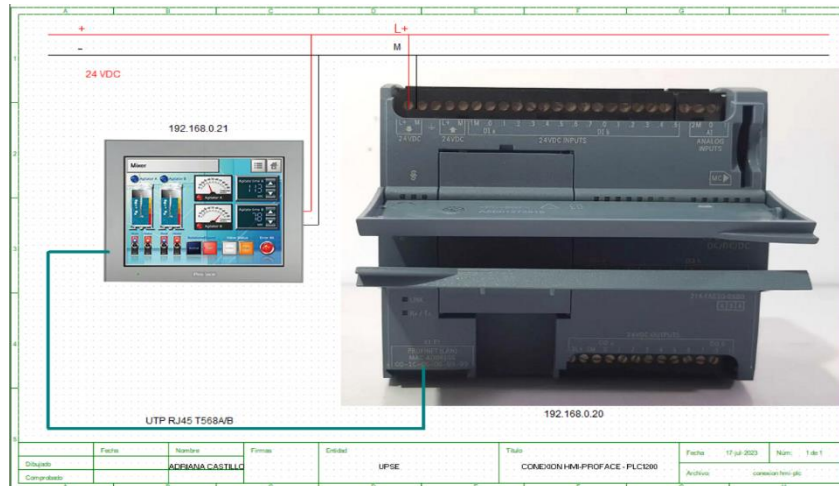


Figura 25. Diagrama de conexiones PLC Y HMI PRO-FACE.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

En la **figura 26** se puede observar la conexión con el PLC y el PR 3111 ya que el PLC solamente tiene una entrada analógica la cual se aprovechará para conectar un convertidor.

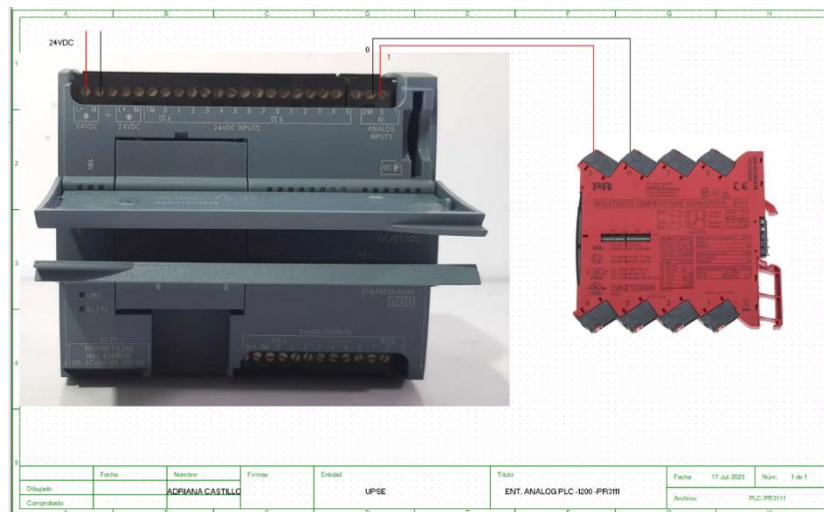


Figura 26. Diagrama de conexiones PLC Y RC3111 (1).

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Es necesario el módulo expansor para poder conectar los otros 8 convertidores PR-3111 tal como se ve en la figura 27 y figura 28.

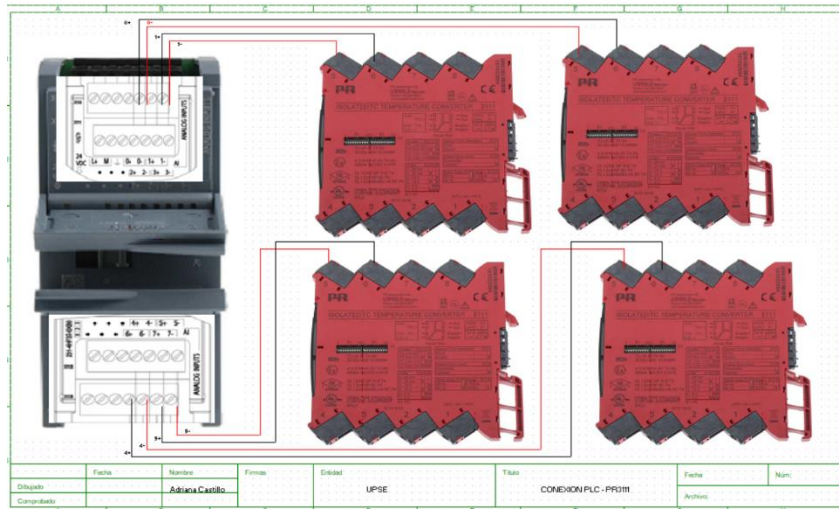


Figura 27. Diagrama de conexiones PLC Y RC3111 (2), (3), (4), (5).

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

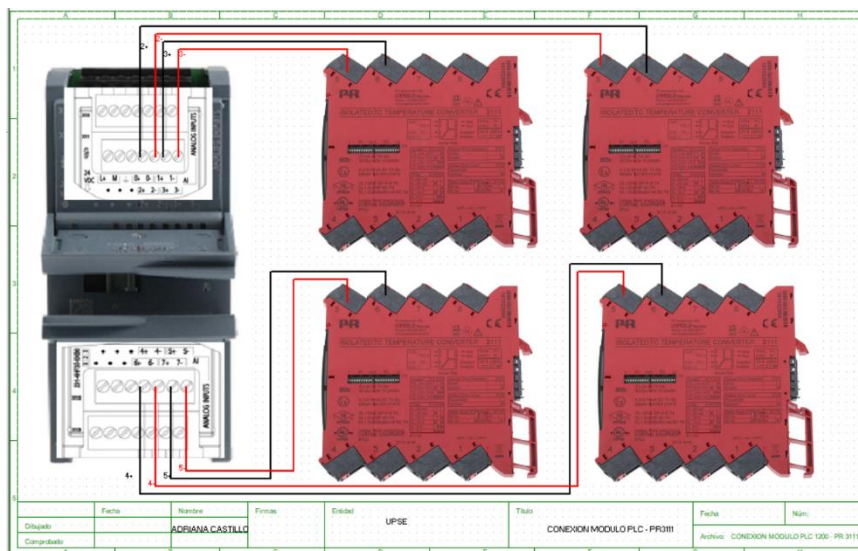


Figura 28. Diagrama de conexiones PLC Y RC3111 (6), (7), (8), (9).

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Para la programación se utiliza el software TIA PORTAL V15, el cual permite la integración e intercambio de información entre dispositivos, la conexión de comunicación de red se realiza a través de un cable Ethernet, con conexión tipo B, basado en el estándar T568 A-B (ver **Figura 29**) Dirección IP asignada. Variables de entrada y salida analógicas y distribución de voltaje para cada uno de los 9 termopares tipo k en el cilindro y varios convertidores 3111.

También se utilizará un módulo expensor o slot de 8 entradas analógicas acoplado al PL SIEMENS S7-1200, para aumentar el número de entradas analógicas, debido a que éste PLC posee 14 entradas digitales y 10 salidas digitales, y solo 2 entradas

analógicas de 0 a 10 Voltios DC.

En estas 8 entradas analógicas del módulo expansor y en una de las entradas analógicas del PLC, se conectará cada una de las 9 señales de voltaje enviadas por la termocupla tipo k hacia los convertidores TC PR 3111 y transformadas en valores de temperatura que serán leídos en el PLC S7-1200 por la lógica de programación creada en el software Tia Portal V15, para que estos valores sean enviados por medio de conexión de cable tipo Ethernet y visualizados gráficamente en el software GP-Pro Ex (ver figura 29) en una ventana de la pantalla del HMI Pro-Face, el cual a su vez se comunicará con el PLC SIEMENS S7-300 por medio de cable con protocolo de conexión de tipo Profibus, este PLC es el cerebro principal de control del motor donde se almacenan todas las variables del sistema y su lógica de funcionamiento [40].

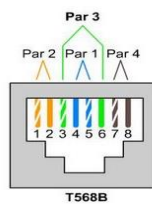


Figura 29. Conexión RJ45 NORMAS T568B [41].

3.2.5 Adaptación PLC SIEMENS S7-1200 a PLC SIEMENS S7-300.

GET – Datos de lectura q me permite la comunicación del PLC S7-1200 a través de una dirección de red ID W#16#100 con el PLC S7-300 (ver figura 30).

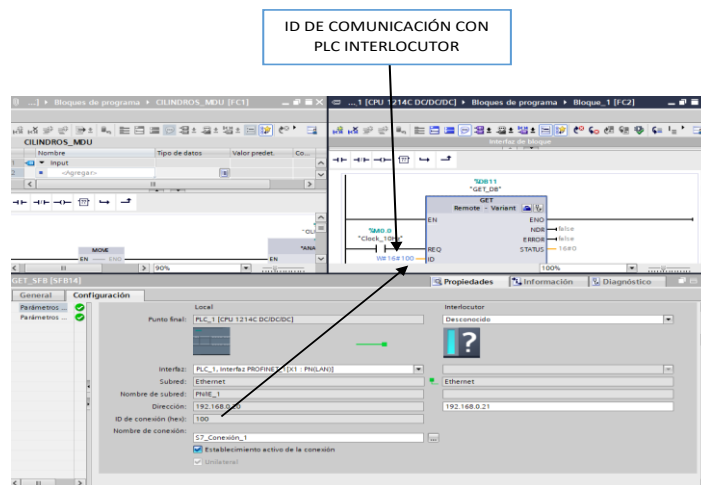


Figura 30. Configuración PLC S7-1200 a PLC S7-300.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Estas 3 direcciones son las que está solicitando al con ADDR_1, ADDR2, ADDR3, y esos datos que dan el PLC S7-300 los deposita en RD_1, RD_2, RD_3 (ver figura 31).

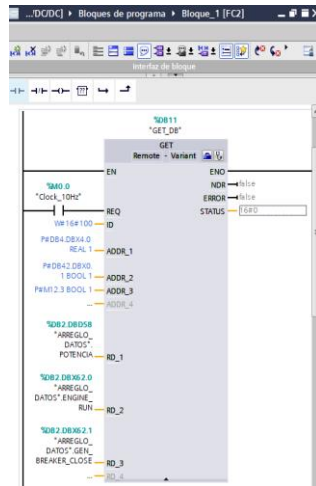


Figura 31. Solicitud de datos al PLC S7 300.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

En RD_1, RD_2, RD_3, (ver figura 32) es donde van a ir almacenados los valores extraídos del PLC S7-300 hacia el PLC S7-1200.

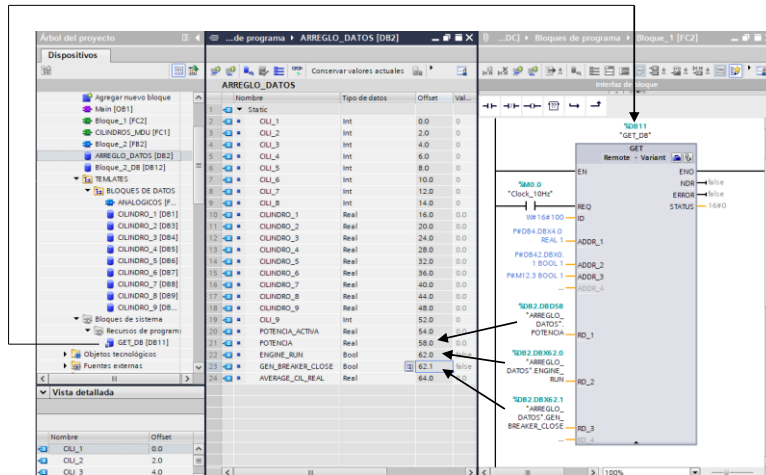


Figura 32. Datos almacenados.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Los datos de arreglo de datos de potencia que son extraídos se los almacena en arreglo de datos de potencia activa (ver figura 33).

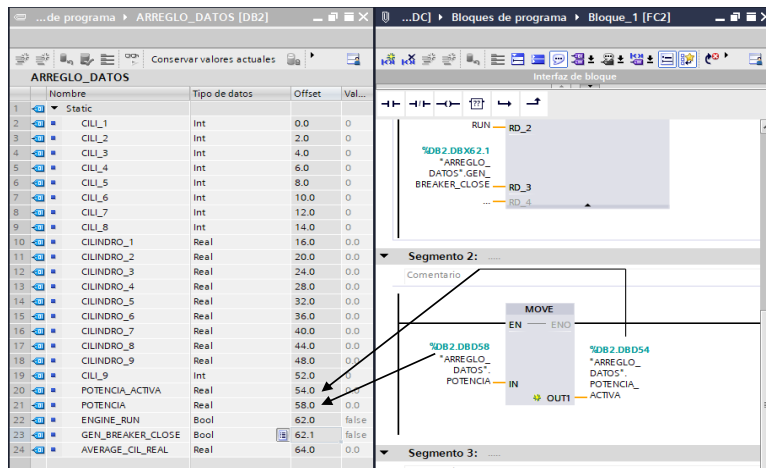


Figura 33. Arreglo de datos de potencia.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Del Bloque_2_DB se llama a la primera variable CIL_1 %IW96 es un dato que envían las termocuplas (Ver figura 34).

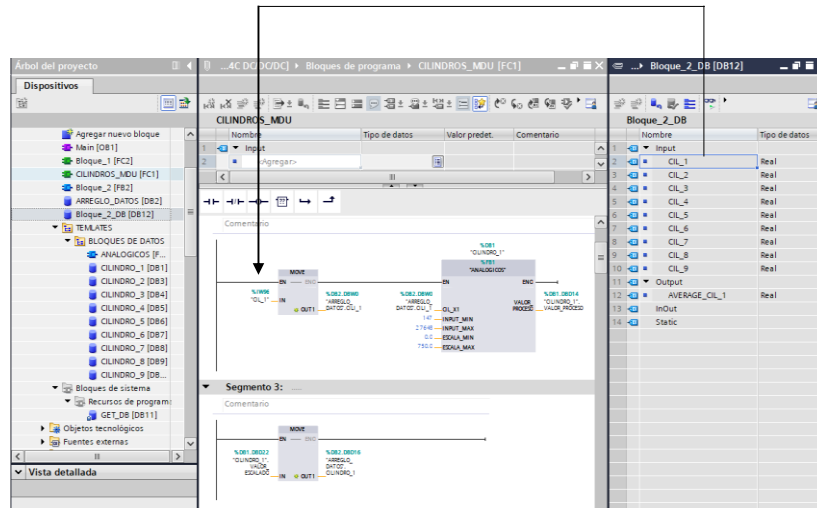


Figura 34. Ingreso de datos.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Este dato es almacenado en el arreglo de datos DB2 en CILI_1, este valor es almacenado en %DB2.DBD16 con la variable CILINDRO_1, esta variable es de tipo real, y con esa variable vamos a tener comunicación con el HMI el cual va a presentar los datos obtenidos en las termocuplas (ver figura 35).

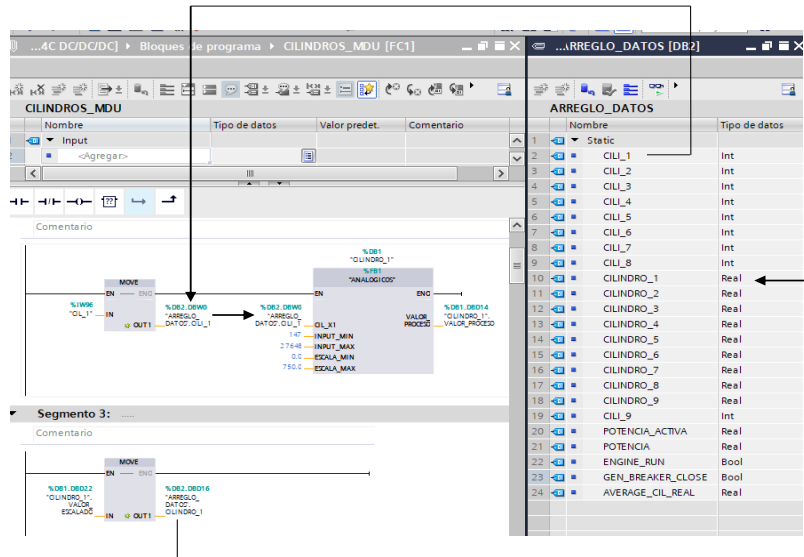


Figura 35. Arreglo de datos cilindro 1.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

En INPUT_MIN se establece el rango 147 con ese valor comienza porque ese valor esta ya regulado en la termocupla, en el BLOQUE DE DATOS - ANALOGICOS [FB1] es donde se realiza el respectivo escalamiento de datos según sus valores máximos y mínimos (ver figura 36).

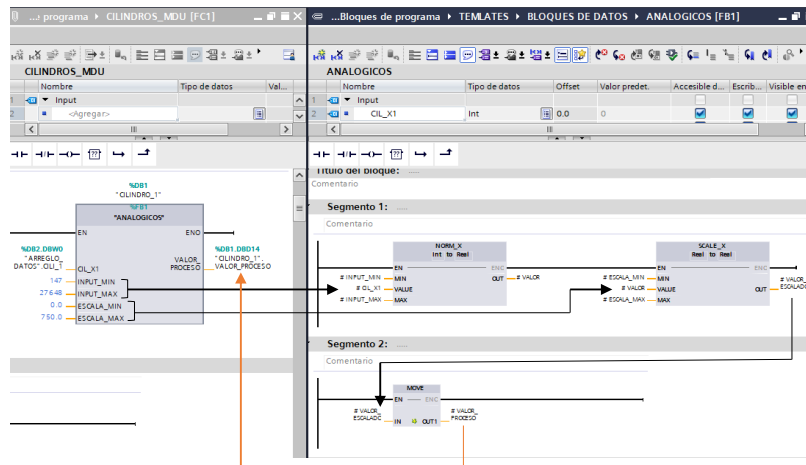


Figura 36. Escalamiento de valores.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Las variables que usaran para realizar el respectivo escalado de valores ingresados están adentro de CILINDRO_1[DB1], CILINDRO_2[DB2], CILINDRO_3[DB4], CILINDRO_4[DB5], CILINDRO_5[DB6], CILINDRO_6[DB7], CILINDRO_7[DB8], CILINDRO_8[DB9], CILINDRO_1[DB10], por la termocupla, estos variables pueden ser detectados a través de tipo de datos enteros y reales (ver figura 37).

Nombre	Tipo de datos	Offset
1	Input	
2	CIL_X1	Int 0.0
3	INPUT_MIN	Int 2.0
4	INPUT_MAX	Int 4.0
5	ESCALA_MN	Real 6.0
6	ESCALA_MAX	Real 10.0
7	Output	
8	VALOR_PROCESO	Real 14.0
9	InOut	
10	Static	
11	VALOR	Real 18.0
12	VALOR_ESCALADO	Real 22.0

Figura 37. Variables con su tipo de datos para cada cilindro.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Una vez ingresado los valores, se los procesa y los almacena en cada cilindro “VALOR_PROCESO” del CILINDRO 1, (ver figura 38).

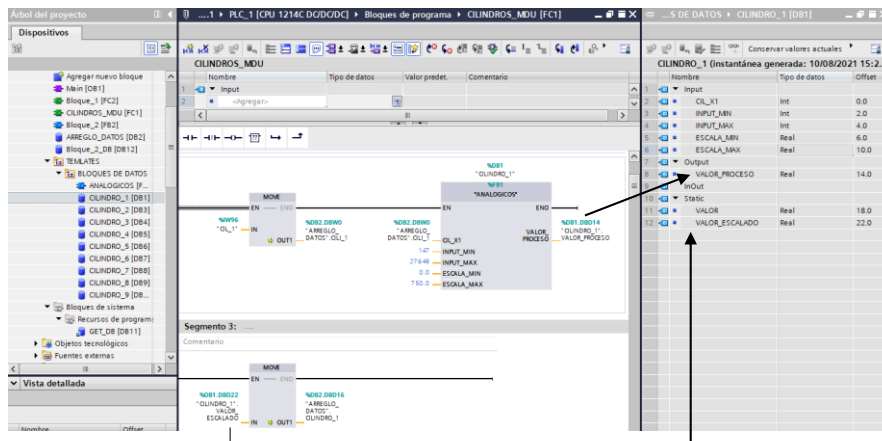


Figura 38. Valor proceso - cilindro 1.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Ese mismo proceso se repite en cada uno de los 9 cilindros, con los mismos parámetros de acuerdo con cada uno de los cilindros correspondientes.

Cilindro 2 (ver figura 39).

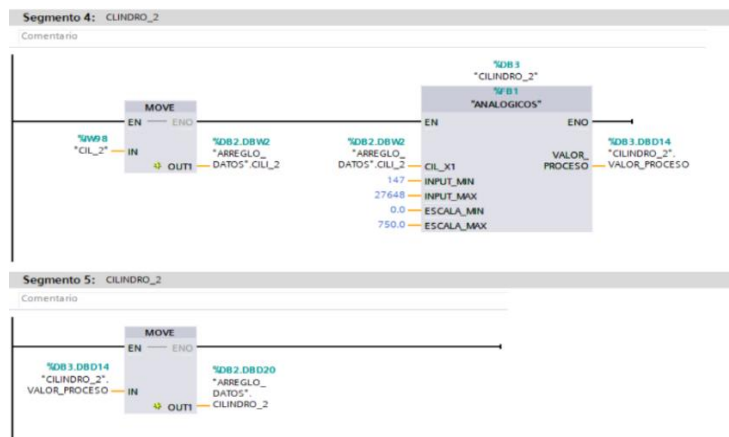


Figura 39. Valor proceso, cilindro 2.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Cilindro 3 (ver figura 40).

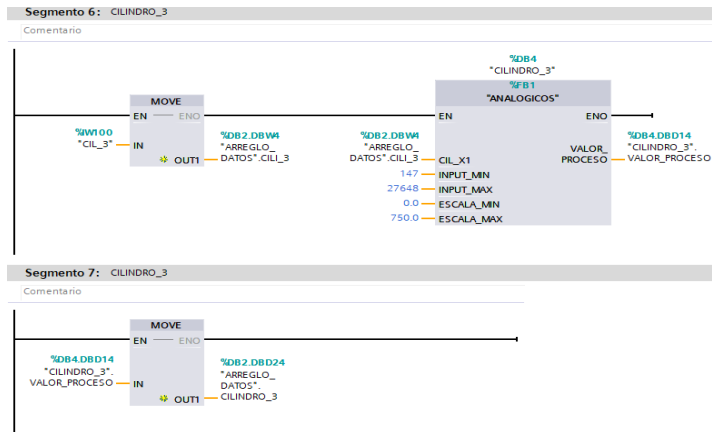


Figura 40. Programación para cilindro 3.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Cilindro 4 (ver figura 41).

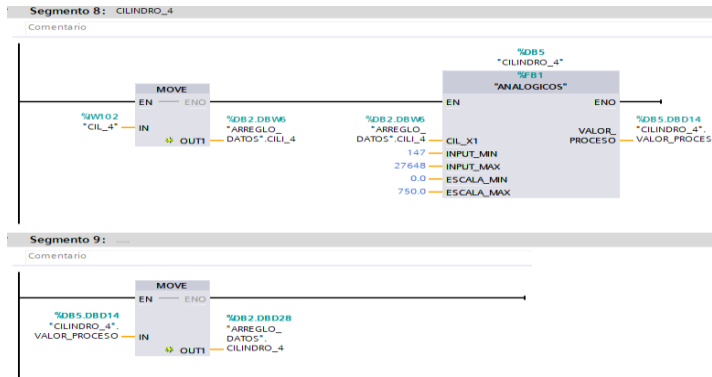


Figura 41. Programación para cilindro 4.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Cilindro 5 (ver figura 42).

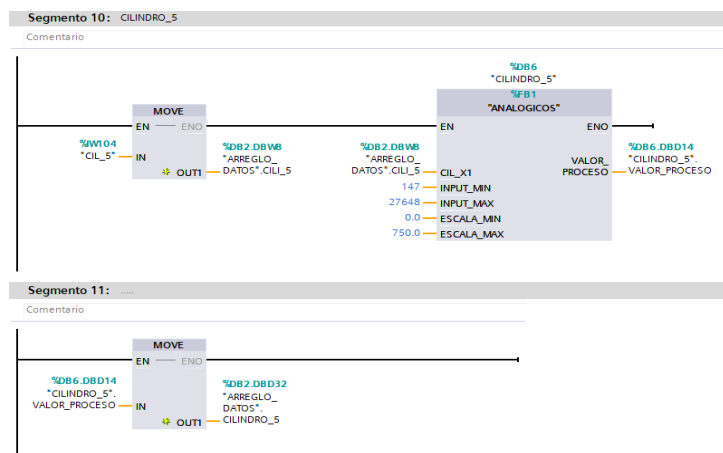


Figura 42. Programación para cilindro 5.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Cilindro 6 (ver figura 43).

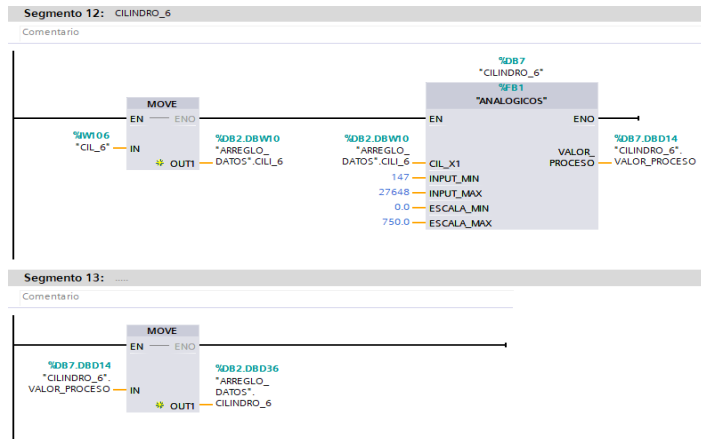


Figura 43. Programación para cilindro 6.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Cilindro 7 (ver figura 44).

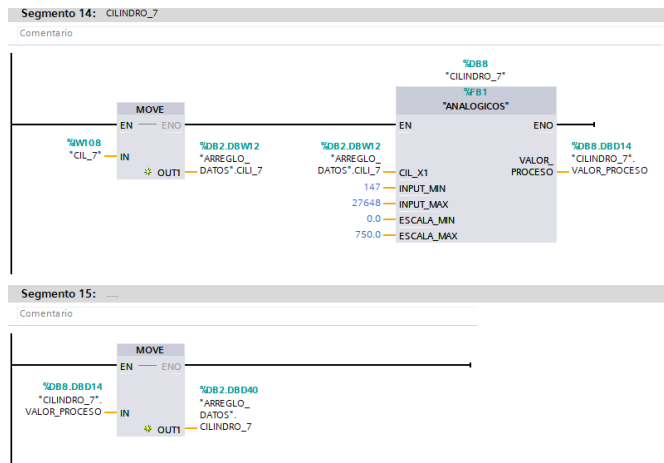


Figura 44. Programación para cilindro 7.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Cilindro 8 (ver figura 45).

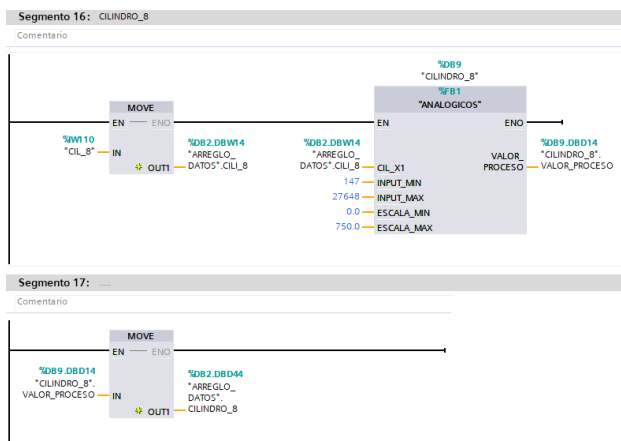


Figura 45. Programación para cilindro 8.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Cilindro 9 (ver figura 46).

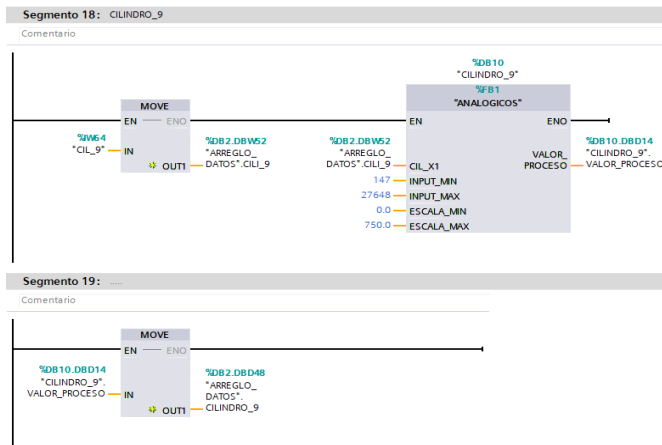


Figura 46. Programación para cilindro 9.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Variables ingresadas en la base de datos BLOQUE_02_DB son de tipo real este valor (ver figura 47).

Bloque_2_DB		
	Nombre	Tipo de datos
1	Input	
2	CIL_1	Real
3	CIL_2	Real
4	CIL_3	Real
5	CIL_4	Real
6	CIL_5	Real
7	CIL_6	Real
8	CIL_7	Real
9	CIL_8	Real
10	CIL_9	Real
11	Output	
12	AVERAGE_CIL_1	Real
13	InOut	
14	Static	

Figura 47. Variables tipo reales.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Se crea un bloque_2, que es un bloque de función donde ingresan los valores de cilindros (ver figura 48) tipo de datos reales se hace un promedio por cada valor de cada cilindro se suman todos los valores y después se dividen el valor obtenido.

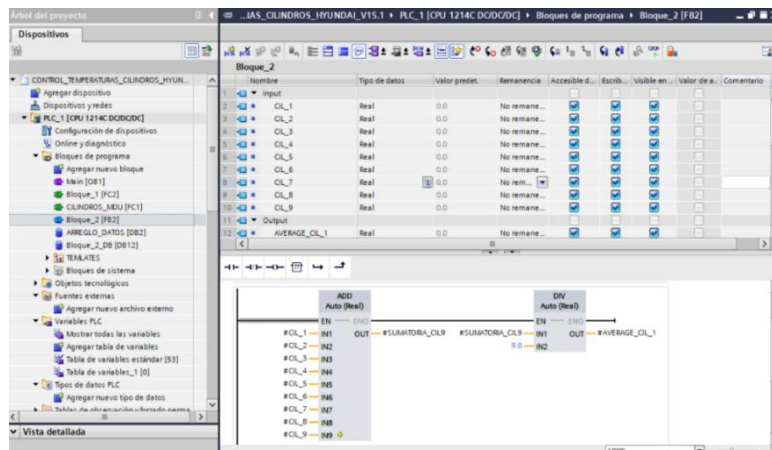


Figura 48. Promedio de valores de los cilindros con las funciones matemáticas.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Una vez obtenido los valores de cada cilindro y el resultado obtenido por cada cilindro, se procede a realizar el promedio de las temperaturas en cada cilindro (ver **figura 49**).

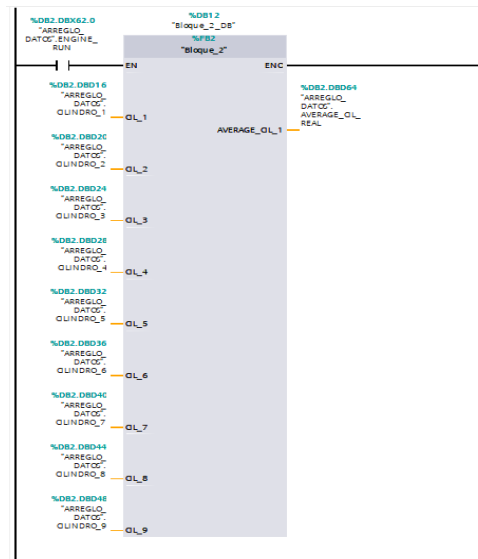


Figura 49. Promedio de los 9 cilindros.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

En el bloque de función llamado bloque_1 trabaja con los valores obtenidos es los demás bloques configurados.

Una vez ya programada la lectura de las termocuplas en el PLC (ver **figura 50**) para que esto sea compilado se tiene que utilizar la opción de bloque organización donde este bloque es el encargado de compilar lo programado en el cada uno de los bloques del programa Tía portal.

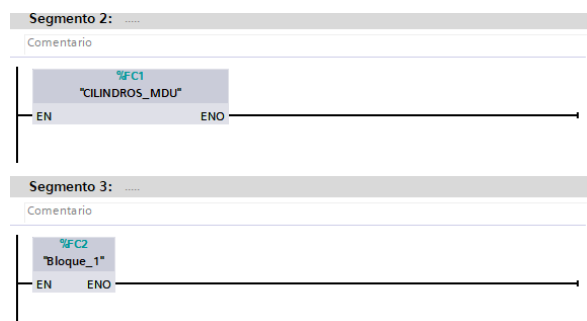


Figura 50. Programación en el bloque de organización.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

3.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

3.3.1 Factibilidad técnica

Mediante el estudio propuesto en este documento se puede realizar un aporte a dicha empresa a través de información detallada del sistema adaptándose a los parámetros. Se pretende mejorar las condiciones a la cual se toma las medidas de las temperaturas, de los gases de combustión del motor HYUNDAI 9H2132, recordando que para manipulación o cualquier tipo de contacto directamente con la máquina tiene que ser bajo una persona autorizada, capacitada y bajo las normas de protección y seguridad que requiere los estándares antes mencionados (**ver sección 2.2.6 – 2.2.7**) dentro del documento.

Automatizar el motor a través de sensores y PLC permite configurar diferentes opciones de control y seguridad. Precautelar la seguridad física del operario al momento de tomar los datos, ya que esto evitará el contacto con áreas calientes, ruidos en altos niveles, vibraciones excesivas y también unas posibles caídas, ya que el motor tiene una altura mayor a 1.8 m, subir y escalar las escaleras de manera vertical instaladas en el motor ya que en la parte superior del motor es donde se encuentran los termómetros de glicerina, donde se hace la respectiva toma de datos de las temperaturas de los gases de combustión.

Para analizar la factibilidad del proyecto de mejora tecnológica, se realizó un análisis presupuestario del costo de los materiales, mano de obra, máquinas y equipos necesarios para la ejecución de esta propuesta.

Para esta mejora se utilizaron los equipos de lectura:

- PLC S7-1200 1214 DC/DC/RLY.
- Módulo de expansión slot para PLC SIEMENS S7-1200 6ES7 231-4HF32-0XB0 SIMATIC S7-1200, ANALOG INPUT.
- Pantalla HMI PRO – FACE.
- convertidor de temperatura PR 3111.
- termocuplas tipo K.

Adicionalmente los elementos que se necesitaron para su implemento:

- Conectores /reductores de acero inoxidable $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$.
- Borneras para termocupla tipo k.
- Cable blindado para termocupla tipo k.
- Cable UTP cat 5E
- Caja de distribución PVC 102 x 102 x 56mm
- Terminales T
- Canaleta ranurada gris 33 x 45mm.

El software que se utilizó para declarar e ingresar los datos del sistema, creando así las alarmas, el Tía portal V15, el cual nos permite controlar el sistema a través del lenguaje escalera.

También se utilizó el programa GP-PRO EX para la presentación del HMI PRO – FACE el cual, a través de barras verticales, clasificadas en rangos de temperaturas para identificar la temperatura de los gases de combustión de motor Hyundai.

Se simula las conexiones de las termocuplas en el programa CADE – SIMU el cual es un programa de libre descarga, manejo fácil, y con este programa se puede realizar varias simulaciones eléctricas lo más cercano a la industria.

Los equipos, dispositivos y software empleados en el proyecto se pueden adquirir en el mercado nacional, esto facilita la adquisición de los repuestos, y los elementos son de mayor fiabilidad, su sencilla operatividad a la hora de tomar datos en el HMI desde oficina.

3.3.2 Análisis de costo del proyecto

Para determinar el costo de la implementación del sistema de monitoreo de niveles de temperaturas de los gases de combustión, a continuación, se detallan los costos de equipos, licencias de software, mano de obra u otros elementos utilizados.

COSTOS DE EQUIPOS

Estos equipos que se muestran en la tabla 7 son los que usaran para capturar las medidas de temperatura de los gases de combustión en cada uno de los cilindros estos equipos requieren ser calibrados y programados para obtener datos precisos permitiendo la comunicación entre hardware y software.

Tabla 7. Costos de equipos.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO / U \$	CANT.	COSTO TOTAL \$
1	TERMOCUPLAS TIPO K Ni/Cr-Ni	175	9	1575
2	CONVERTIDOR DE TEMPERATURA PR 3111	204.1	9	1836.9
3	PLC SIEMENS S7-1200 1214c	800	1	800
4	MÓDULO DE EXPANSIÓN SLOT PARA PLC SIEMENS S7-1200 6ES7 231-4HF32-0XB0 SIMATIC S7-1200, ANALOG INPUT	597	1	597
5	HMI Pro-Face GP3600	645.85	1	645.85
			COSTO	\$5,454.75

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

COSTOS DE OTROS ELEMENTOS

Estos elementos no requieren programación, pero permite la conexión física entre los equipos asegurando para que no sufran daños como, caídas, golpes o vibraciones excesivas que no me permita tener respuesta positiva.

Tabla 8. Costo de otros elementos del proyecto.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO / U \$	CANT.	COSTO TOTAL \$
1	TERMOPOZOS ACERO INOXIDABLE DE ½"	87	9	783
2	CONECTORES/REDUCTORES DE ACERO INOXIDABLE DE ¾" A ½"	1.65	9	14.85
3	BORNERAS PARA TERMOCUPLA TIPO K	2.24	9	20.16
4	CABLE BLINDADO PARA TERMOCUPLA TIPO K	7.55	110	830.5
5	CONECTORES/REDUCTORES DE ACERO INOXIDABLE DE ¾" A ½"	1.65	9	14.85
6	CABLE UTP CAT 5E	0.37	2	0.74
7	CABLE UTP CAT 5E	0.37	2	0.74
8	CAJA DE DISTRIBUCIÓN PVC 102*102*56MM	3.2	9	28.8

9	CANALETA RANURADA GRIS 33*45MM*2M CSC	7.65	1	7.65
10	ABRAZADERA DE ACERO INOXIDABLE 316 LISAS RECUBIERTAS DE PVC LRP- 5.6*350MM	3.55	20	71
11	TERMINALES T/ PUNTERAN P/ CABKE 16-14 ROJO	0.03	40	3
12	AMARRAS PLÁSTICAS 3.6*150 MM	0.01	50	0.5
13	PRENSA ESTOPA JSL 3/8" PG-9	0.27	20	5.4
14	RIEL DIN EBASEE 1M 35MM ACERO	2.5	2	5
15	CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA DE SOPORTE	110	1	130
			COSTO	\$1,916.19

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

COSTOS FINAL

Este es costo aproximadamente que se tomaría este sistema, este valor incluye ya la programación e instalación de los equipos.

Tabla 9. Costos de montaje del proyecto.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO / U \$	CANT.	COSTO TOTAL \$
1	COSTOS DE EQUIPOS	5,454.75		5,454.75
2	COSTOS DE OTROS ELEMENTOS	1916.19	1	1916.19
3	MANO DE OBRA POR INSTALACIÓN Y MONTAJE DE ELEMENTOS FÍSICOS	600	1	600
4	DESARROLLO Y EJECUCIÓN DE LA INGENIERÍA DE PROGRAMACIÓN	1000	1	1000
			COSTO	\$8,970.94

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

En la **tabla 7** y **tabla 8**, se describen los componentes que se necesitaron en la implementación de la propuesta, dentro del área de impacto y aplicación del estudio en desarrollo, cada uno con su respectivo valor económico.

Al realizar la sumatoria total de los elementos, equipos y personal que se utilizó para la implementación se obtiene un costo total de \$8,970.94; en esta propuesta de mejora hay que tomar muy en cuenta estos siguientes puntos muy importantes:

- Cada grupo electrógeno (motor-generator), recibe un valor económico de compensación en relación con la disponibilidad de carga que se registre diariamente, este valor es referido en un formato “Despacho de Generación”, el cual es realizado por el ente regulador del Control de Energía (CENACE).
- El registro de esta información es un parámetro muy importante para evitar fallas prematuras del motor, tiempos de inactividad prolongados por disponibilidad, compra y reemplazos inesperados de piezas, costos de mano de obra por horas, repuestos y costos de transporte de personal. El proceso de contratación pública para el motor mejorado fue debido a los graves daños y la contaminación ambiental por el aumento de los residuos.

En la siguiente tabla 10, se realiza un análisis de los costos que representa el uso de termómetros analógicos de glicerina para el monitoreo y registro de temperaturas de gases de combustión de los motores Hyundai 9H21/32 en un ciclo operativo (12000 hrs o 500 días).

Tabla 10. Valores de componentes y mano de obra.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO x U \$	CANTIDAD	COSTO TOTAL \$
1	TERMÓMETROS DE GLICERINA	715	9	6435
2	TERMOPOZOS ACERO INOXIDABLE DE ¾”	93	9	837
3	COSTO DE MANO DE OBRA HORA HOMBRE EMPLEADA	7.5	4	30
			SUB	7302
			TOTAL	
			IVA 12%	876.24
			COSTO TOTAL	8178.24

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

3.4 PRUEBAS Y RESULTADOS

Para poder realizar esta propuesta de mejora e implementarla, se debe contar con una serie de permisos y autorizaciones, así como certificaciones que la empresa requiere tanto para sus bases legales como lo exigen las aseguradoras y empresas dueñas de los diseños del sistema de todo el sistema de automatización y SCADA de la Central Eléctrica de Santa Elena.

Esta propuesta de mejora se la realizó con dispositivos de capacidad industrial los cuales tienen características técnicas de diseño robusto, es de gran capacidad tecnológica y pueden ser instalado bajo varias condiciones ambientales

Para automatizar este sistema para medir las temperaturas de los gases de combustión del motor Hyundai 9h2132 con la termocupla tipo K se buscó un espacio físico donde se pueda ubicar el PLC S7- 1200 tomando en cuenta que la fuente de alimentación del equipo PLC es de 24V DC el cual ya viene previamente destruido para alimentación acorde a los voltajes (ver figura 51) de los diferentes equipos con el cual trabaja el motor Hyundai (anexo 1).



Figura 51. Panel de distribución eléctrica.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Las 8 entradas analógicas del módulo expansor, más una de las entradas analógicas del PLC, se usará en cada una de las 9 señales de voltaje enviadas por la termocupla tipo k, conectadas a los convertidores TC PR 3111 (**ver figura 52**) para transformarlas en valores de temperatura y ser reconocidas por la lógica de programación creada en el software del PLC S7-1200.



Figura 52. Conexión del PLC S7-1200 y los convertidores 3111.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Por medio de conexión de cable tipo Ethernet se enviarán los datos para ser visualizados en la pantalla del HMI Pro-Face a través de gráficos del proceso creados en el software GP-Pro Ex (**ver figura 53**), que a su vez el PLC SIEMENS S7-1200 se comunicará con el PLC SIEMENS S7-300 (**ver figura 10**) a través del cable con protocolo de conexión de tipo Profibus, ya que este PLC es el cerebro principal de control del motor donde se almacenan todas las variables del sistema y su lógica de funcionamiento.



Figura 53. Conexión HMI Pro-face.
Realizado por: Adriana Castillo, 2023

Estamos mejorando la capacidad de respuesta y la precisión del circuito de detección para el control de calidad ya que cuando se detecta un sobrecalentamiento el sistema pueda tomar medidas preventivas evitando daños internos como se menciona en la sección (2.2.2.1), se utiliza este sensor porque son los más comercializados, lo cual es una ventaja a la hora de requerir repuesto, cada sensor se calibra de acuerdo a su tabla

fabricación (**ver anexo 11**) adaptarla a los rangos adecuados del motor según su manual (**ver anexo 2**).

El dispositivo que normalmente se utiliza para la toma de datos son los termómetros de glicerina (**ver figura 27**) que van en el motor, pero para seguridad del operador y de la empresa se reemplaza con una termocupla tipo k logrando visualizar las temperaturas mínimas y máximas requeridas en una pantalla HMI.

Este sistema está evitando daños internos cercanos en el motor como descalibraciones, reajustes entre otros inconvenientes generales según manual HIMSEN (**ver anexo 10**). Para que el PLC S7-1200 pueda leer los valores que detecta la termocupla esta se conecta a un Convertidor TC - aislado 3111 descrito en la sección **(3.1.1.3)** el cual hace que el PLC S7-1200 pueda reconocer los valores de salida de tensión o de corriente analógica aislada, en la sección **(3.2.1)** se describe la conexión entre el PLC S7-1200 y en la **figura 20** donde se puede apreciar su instalación en el panel de conexión.

Para que este proceso de lectura sea procesado se deben tener 8 entradas analógicas adicionales y para eso se coloca un módulo expensor 6ES7231- 4HF32-0XBO como se muestra en la **Figura 22** descrito en la tabla 6 este módulo de expansión analógico el cual me va a permitir tener las entradas analógicas suficientes para que PLC S7-1200 pueda procesar los datos capturados por la termocupla.

Para asegurar la conexión eléctrica entre los conductores del cable termopar en un sistema de carril DIN como se puede visualizar en la **figura 26** esto asegura que no se acumule voltaje termoeléctrico en la unión del termopar y el terminal.

Se programa un PLC S7-1200 y se solicita información al PLC S7-300 para poder adquirir información y realizar la prueba, con el que normalmente trabaja en motor HYUNDAI 9H2132.

En el HMI se crean opciones adicionales en el interfaz donde una opción mostrara las barras de las temperaturas de cada uno de los cilindros como se muestra en la **figura 54**, y las segunda los valores adicionales como presión y temperatura de aceite, presión y carga de aire estas interfaces de las realizo en el programa PRO – FACE como se indica en la sección **(3.2.3)** y como se especifica en la **figura 55**.

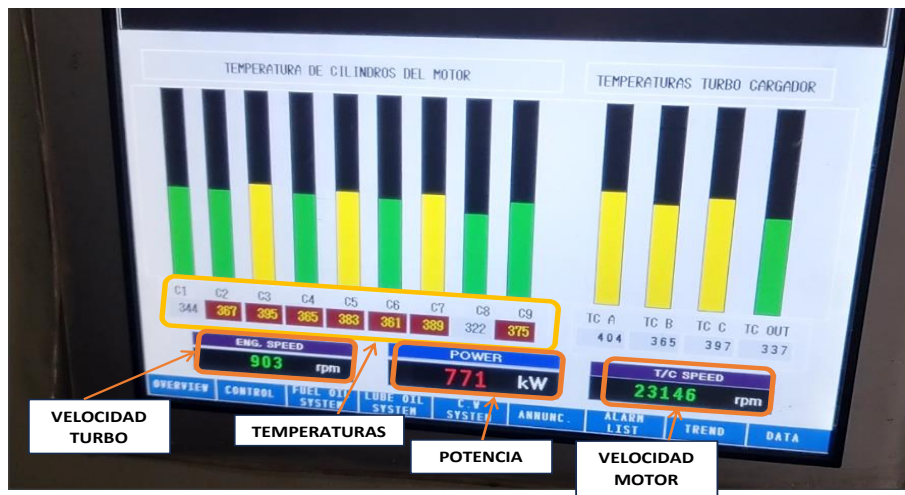


Figura 54. Interfaz mostrando barras verticales.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

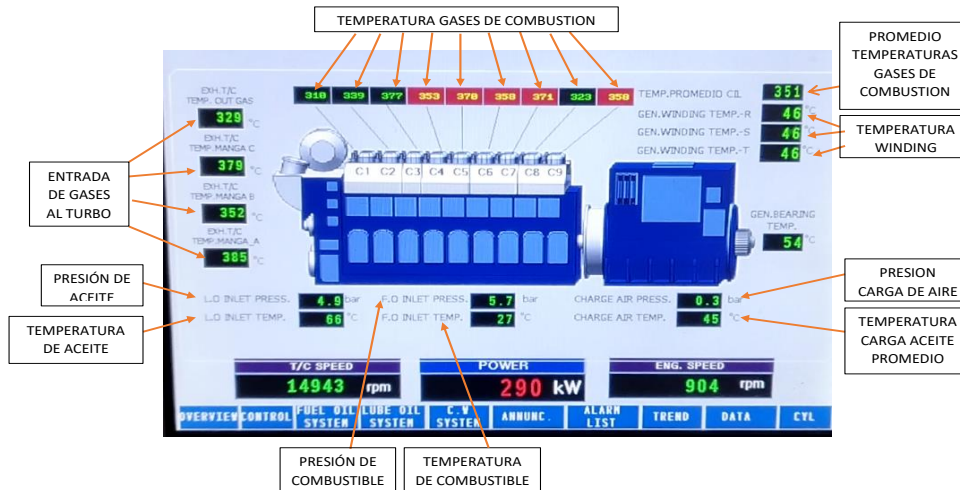


Figura 55. Interfaz mostrando valores de temperatura de cada cilindro.

Realizado por: Adriana Castillo, 2023

En este proyecto se tiene la gran ventaja que la toma de datos y monitoreo del motor es seguro para el operario tomando los valores de la temperatura de los 9 cilindros son captados ahora por un termopar tipo K mostrados en una pantalla HMI Pro-face ubicada en la cabina principal del motor, es insonora y segura tomado en cuenta los protocolos (ver 2.2.6) y normativas (ver 2.2.7) que permite la comunicación y entre equipos. Es muy confiable e inmediata a la hora de dar respuesta sobre datos que necesitamos obtener, además es accesible su adquisición logrando así que el operador

pueda registrar y monitorear de una manera fiable, segura, con parámetros periódicamente registrados en caso de haber algún tipo de inconveniente, obtener la información de manera inmediata si los datos cumplen con los parámetros en función al trabajo realizado por el motor según la potencia entregada sirve de control y monitoreo para la Central Santa Elena, el cual es operado por los especialistas técnicos de la Sala de Control.

No olvidar que para esta propuesta de mejora primero se debe de calibrar la termocupla a través de equipos especiales como mufla o horno de calibración este proceso lo realiza solo personal capacitado y certificado.

CAPITULO IV

4.1 CONCLUSIONES

El obtener datos de temperatura de los gases de combustión para los motores 9H2132 permite controlar y monitorear los motores de manera fácil y protege la salud de los operadores.

- De acuerdo con los rangos de uso de cada termopar como se puede observar en el anexo 5 se determinó que el tipo K es el más adecuado para estos cilindros de motor, los termopares se utilizan ampliamente en la industria porque pueden medir una gama muy amplia de temperaturas y son relativamente robustos.
- La termocupla seleccionada nos permite a través de un convertidor de temperatura a voltaje enviar señales a un PLC automatizando este proyecto de obtención de datos de las temperaturas de los gases de combustión del motor Hyundai 9h2132, estos datos de temperatura son proyectados en la pantalla del panel HMI (**ver figuras 54 y 55**) ubicada en la sala de control de la MDU. Brinda mayor confiabilidad al obtener datos de temperatura presentados para reporte de informes técnicos sobre el funcionamiento del motor durante la generación continua.
- Se debe de tener muy en cuenta los protocolos y normativas de seguridad y de comunicación entre los equipos, como se lo menciona en la sección 2.2.6 y 2.2.7 que indica el proceso de intercambio de información para la automatización industrial, reduciendo el tiempo promedio empleado por el operador al realizar la toma de datos de las temperaturas. Este proceso mejora la eficiencia del motor reduciendo así las alarmas de parada cuando un parámetro de temperatura está fuera de los límites establecidos avisando a el departamento de ingeniería de operación y mantenimiento.
- Estos equipos funcionan con fuente de 24V DC evitando que el voltaje q sale del PLC sea insuficiente para el correcto funcionamiento de los equipos, para este monitoreo se establecen los rangos de control mínimo y máximo (ver figura 22 y 23), programando alarmas que se activen cuando el valor de las temperaturas detectados por la termocupla está por debajo o encima de los parámetros de normalidad mostrando en el panel alarma de advertencia y después de un tiempo mandar apagar el motor.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener un monitoreo de los parámetros, estar atento a las diferentes alarmas que se muestran en el HMI.
- Estar atento a las alarmas visuales que alerte al operador del área si algún parámetro esta fuera de sus rangos establecidos permitido para operación continua de carga.
- Estudiar el comportamiento de las mediciones de las temperaturas de los gases de combustión frecuentemente usando instrumentos que posean la capacidad técnica requerida para trabajar bajo ciertas condiciones ambientales extremas y no usar elementos de bajo costo que no generan confianza para trabajo continuo, en este caso los termómetros de glicerina tienen un valor inferior en el mercado local, pero tienden a fallar en un tiempo muy cercano. En caso de presentar algún tipo de alarma revisar directamente el estado de las termocuplas y su historial registrado en el HMI.
- Se debe considerar que el equipo debe de cambiarse cada 6000 horas y calibrarse cada 3000 horas de operación continua, garantizando la veracidad de sus lecturas, para la calibración de los termopares se utiliza un mufla u horno patrón calibrador de proceso, este proceso se lo realiza una empresa certificada externa.
- La correcta utilización de equipos de seguridad y protección del operario hacia el motor es fundamental por lo que varios factores como la temperatura ambiente circula entre los 40°C y 50°C debido al trabajo del motor, también los altos niveles de ruido que oscilan entre los 120 dB a 150 dB que a través del tiempo y la frecuencia constante podría ser muy riesgoso causando daños físico, también podrían causar quemaduras por contacto directo con superficies metálicas calientes, y fluidos que circulan a altas temperaturas.

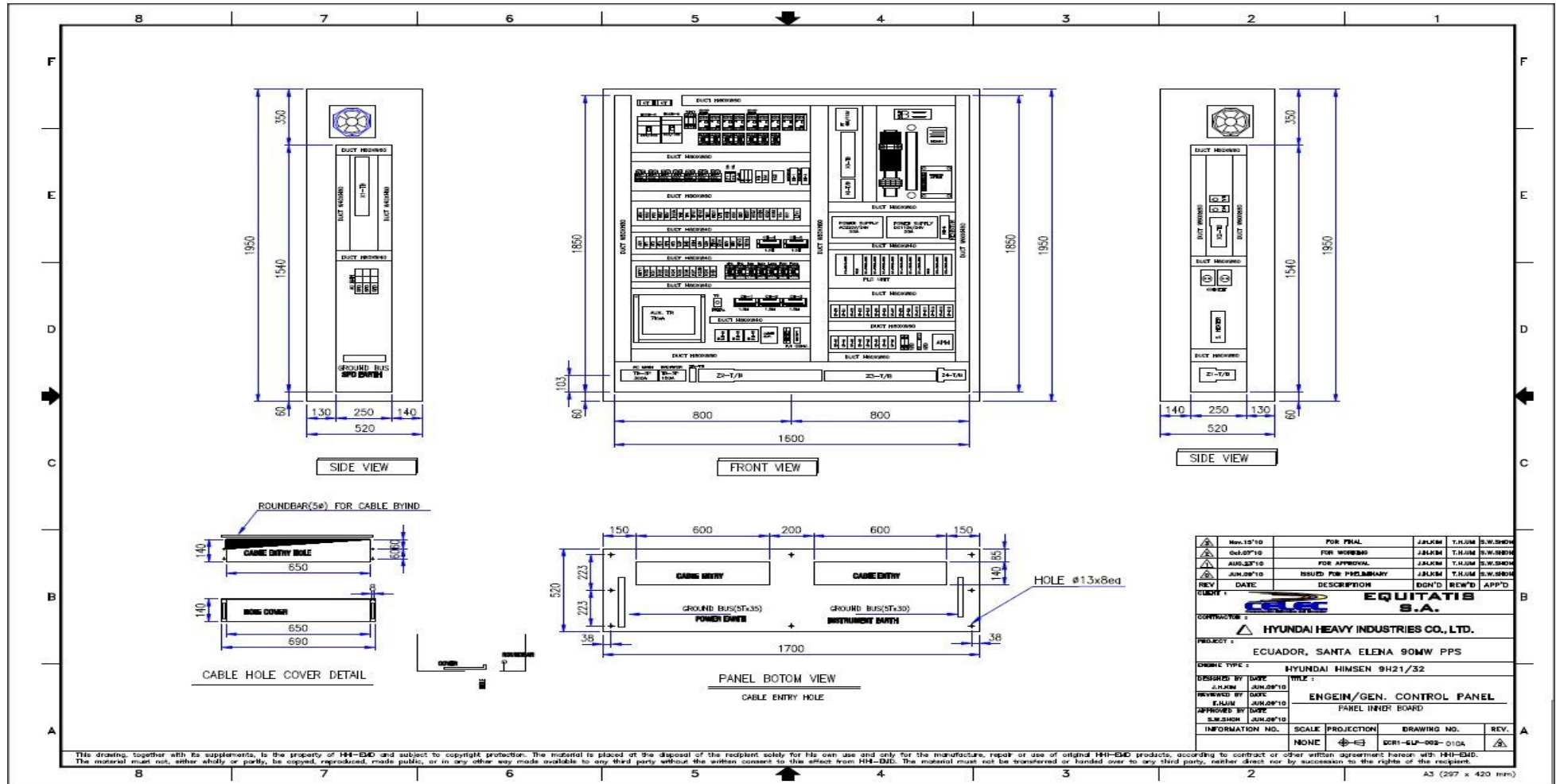
4.3 BIBLIOGRAFÍAS

- [1] YERALDYN GRAJALES ERAZO., «DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.itc.edu.co/bitstream/handle/001/378/completo.pdf;jsessionid=28283DC431A94E3F6CDB9FD6ABF3AA2A?sequence=1>. [Último acceso: 8 OCTUBRE 2022].
- [2] EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO, «Detección de fallas en motores de combustión mediante indicadores de temperatura y presión de inyección,» Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, n° 22, pp. 38-46, 2019.
- [3] Payri González, F.; Desantes Fernández, JM. (2011), MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS., España: Editorial Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/70998>, 2011-06-09.
- [4] Salomòn Consuegra Pacheco, «GUÍA DE ESTUDIO Y ASIGNATURA,» Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico – ITSA - 2007, Colombia, 2007.
- [5] J.M. Riesco-ÁvilaA. Gallegos-MuñozJ.M. Montefort-SánchezS. Martínez-Martínez, Procesos Alternativos de Combustión en Motores de Combustión Interna., vol. 15, n° 1, p. <https://doi.org/10.15174/au.2005.227>, 09 MAYO 2005-04-01.
- [6] HYUNDAI HIMSEN , LIBRO DE INTRODUCCIÓN VOLUMEN I TIPO DE MOTOR H21/32, Cheonha-Dong, Dong-Gu, Ulsan, Korea: Hyundai Heavy Industries Co., Ltd..
- [7] INGIENERIA ENERGETICA GENERAL, «COMBUSTION,» ENERGIA NOW, 2012.
- [8] PONTIFICA UNIVERSIDAD CATOLICA DE PERÚ - PUCP, «Diseño de un contrastador de temperatura para termómetros de termocuplas tipo K,» <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5108>, PERÚ, 2013.
- [9] TERMOPARES GUIA DE SELECCIÓN, 2022.
- [10] Universidad Tecnológica de Tijuana, , «La aplicación de interfaces humano-máquina (HMI), en la industria,» Ciencias de Ingeniería y Tecnología, Handbook, México, 2020.
- [11] OASYS OUTSOURCING AUTOMATION SYSTEMS, «SISTEMAS SCADA: QUE SON IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA 4.0,» [En línea]. Available: <https://oasys-sw.com/que-son-sistemas-scada-industria-40/>. [Último acceso: 5 NOVIEMBRE 2022].
- [12] José Guadalupe Castro Lugo, Juan José Padilla Ybarra, Eduardo Romero A. , «Metodología para realizar una automatización,» IMPULSO, REVISTA DE ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES , pp. 18- 21, 6 JULIO 2005.
- [13] T. S. Company, «SIEMON,» SIEMON GLOBAL PROJECT SERVICES, 2023. [En línea]. Available: <https://www.siemon.com/es/home/Company/media-center/white-papers/03-10->

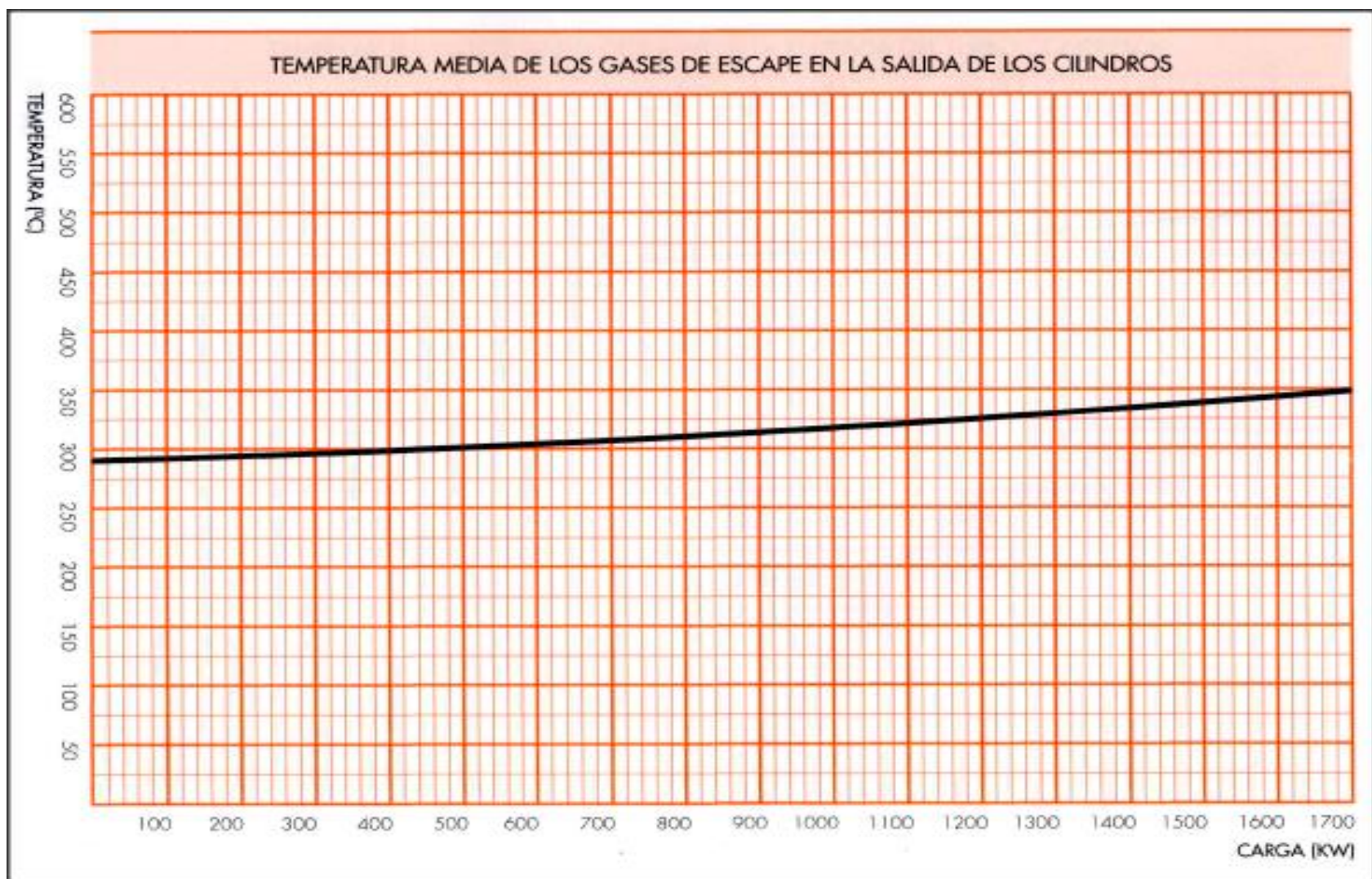
2020. [En línea]. Available: <https://www.edsrobotics.com/blog/que-es-la-automatizacion-industrial/>. [Último acceso: 2022 NOVIEMBRE 14].
- [24] AUTOMÁTICA E INSTRUMENTACIÓN.COM, «PRODUCTIVIDAD Y EFICIENCIA DEL DISEÑO A LA PRODUCCIÓN,» +INDUSTRIA 4.0, OCTUBRE, 2022.
- [25] GSL INDUSTRIAS , «PLC S7-1200,» INDUSTRIAS GSL, 2 JUNIO 2021. [En línea]. Available: <https://industriagsl.com/blogs/automatizacion/plc-s7-1200-siemens>. [Último acceso: 27 OCTUBRE 2022].
- [26] SIEMENS , «PRODUCT DATA SHEET 6ES7214-1HE30-0XB0,» Siemens AG 2012, 12 MARZO 2012. [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/a281/0900766b81089071.pdf>. [Último acceso: 21 MARZO 2023].
- [27] Siemens, «6ES7214-1BG31-0XB0,» siemens, china, 2022.
- [28] AUTYCOM ¡INNOCAVIÒN INTELIGENTE!, «PLC Siemens S7 300: sistemas autómatas para gamas baja y media,» GENERA CREATIVE GROUP, [En línea]. Available: <https://www.autycom.com/plc-siemens-s7-300-caracteristicas/>. [Último acceso: 27 OCTUBRE 2022].
- [29] PR ELECTRONICS, «CONVERTIDOR TC-AISLADO,» PERFORMANCE MADE SAMRTER , [En línea]. Available: <https://www.ibasa.com.mx/manuales/pr-electronics/transmisores/3111/3111-8629-ES.pdf>. [Último acceso: 8 NOVIEMBRE 2022].
- [30] PERFORMANCE MADE SMATER, «PRODUCT MANUAL 3000 SERIES 6MM SERIES OF TEMPERATURE CONVERTERS,» [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/112b/A700000006469873.pdf>. [Último acceso: 31 OCTUBRE 2022].
- [31] SIEMENS, «SIEMENS HOJA DE DATOS 6ES7231-4HF32-0XB0,» COPYRIGHT SIEMENS, 2022.
- [32] EMAC, «Módulos de expansión PLC,» EMAC, 1 JULIO 2021. [En línea]. Available: <https://emacstores.com/modulos-de-expansion-plc/#:~:text=%C2%BFPara%20qu%C3%A9%20sirven%20los%20m%C3%B3dulos,de%20una%20aplicaci%C3%B3n%20de%20automatizaci%C3%B3n..> [Último acceso: 26 MAYO 2023].
- [33] INSTRUCTEC, «TERMOCUPLAS Y TERMORESISTENCIAS,» INSTRUCTEC S.A, BUENOS AIRES - ARGENTINA.
- [34] G. D. Ciancia, « Solución a problemas frecuentes en mediciones con termocuplas,» SVS Consultores, Buenos Aires, 2016.
- [35] JM INDUSTRIAL, «SOLUCIONES INTEGRALES DE TEMPERATURA,» JM INDUSTRIAL TECHNOLOGY S.A DE C.V , 2022. [En línea]. Available:

- <https://www.jmi.com.mx/termocupla>. [Último acceso: 5 NOVIEMBRE 2022].
- [36] PRO-FACE BY SCHNEIDER ELECTRIC, «SOFTWARE,» SCHNEIDER ELECTRIC, 1996 - 2022. [En línea]. Available: <https://www.proface.com/en/product/soft/top>. [Último acceso: 7 NOVIEMBRE 2022].
- [37] Introducción a TIA Portal V15 1, «Universitat politècnica de valencia,» INGELEARN, 09 JUNIO 2020. [En línea]. Available: <https://polimedia.upv.es/visor/?id=7962b7e0-a8d3-11ea-acc-7be568d3f28d>. [Último acceso: 2 DICIEMBRE 2022].
- [38] RUIT - BIBLIOTECA RAFAEL PARGA CORTES, «Uso pedagógico del simulador CADE SIMU en el área de electricidad por los aprendices del programa de mantenimiento electromecánico industrial del SENA regional Tolima,» CEAC, 2020. [En línea]. Available: <https://repository.ut.edu.co/entities/publication/a2edc653-51a5-44f6-9767-ff266b731c63>. [Último acceso: 2 DICIEMBRE 2022].
- [39] T. -. DIRECT, «Bornas de Termopar para Carril DIN,» TC - DIRECT PARA SENSORES, MEDICIÓN DE TEMPERATURA, 2003-2023. [En línea]. Available: https://www.tcdirect.es/Default.aspx?level=2&department_id=280/9#:~:text=Estas%20bornas%20est%C3%A1n%20dise%C3%B1adas%20para,identificadas%20para%20una%20correcta%20conexi%C3%B3n.. [Último acceso: 2 FEBRERO 2023].
- [40] (Atom), «Norma de Cableado A y B,» Diseña la red LAN de acuerdo a las condiciones y requerimientos de la organización, 23 NOVIEMBRE 2015. [En línea]. Available: <http://redes2015.blogspot.com/2015/11/norma-de-cableado-y-b.html>. [Último acceso: 26 MAYO 2023].
- [41] M. t. telecomunicaciones, «¿cómo ponchar un UTP con un RJ45?,» Mundo teleco, 4 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/como-ponchar-un-cable-utp-con-un.html>. [Último acceso: 22 06 2023].
- [42] S. S. 70-300, «SIMATIC S7-300,» 2003.
- [43] G. Earth, «LOCALIZACIÓN CELEC EP,» SANTA ELENA .

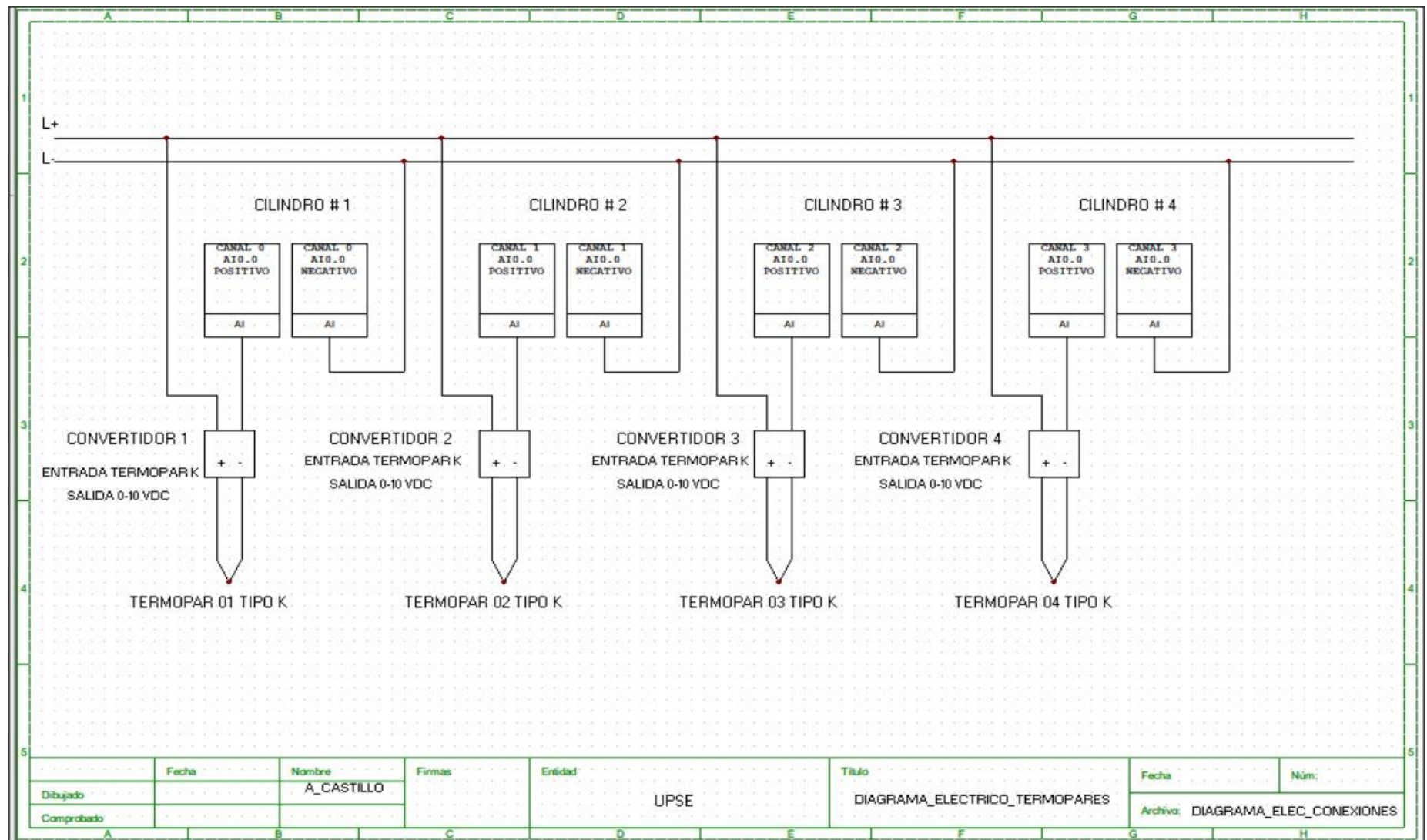
4.4 ANEXOS



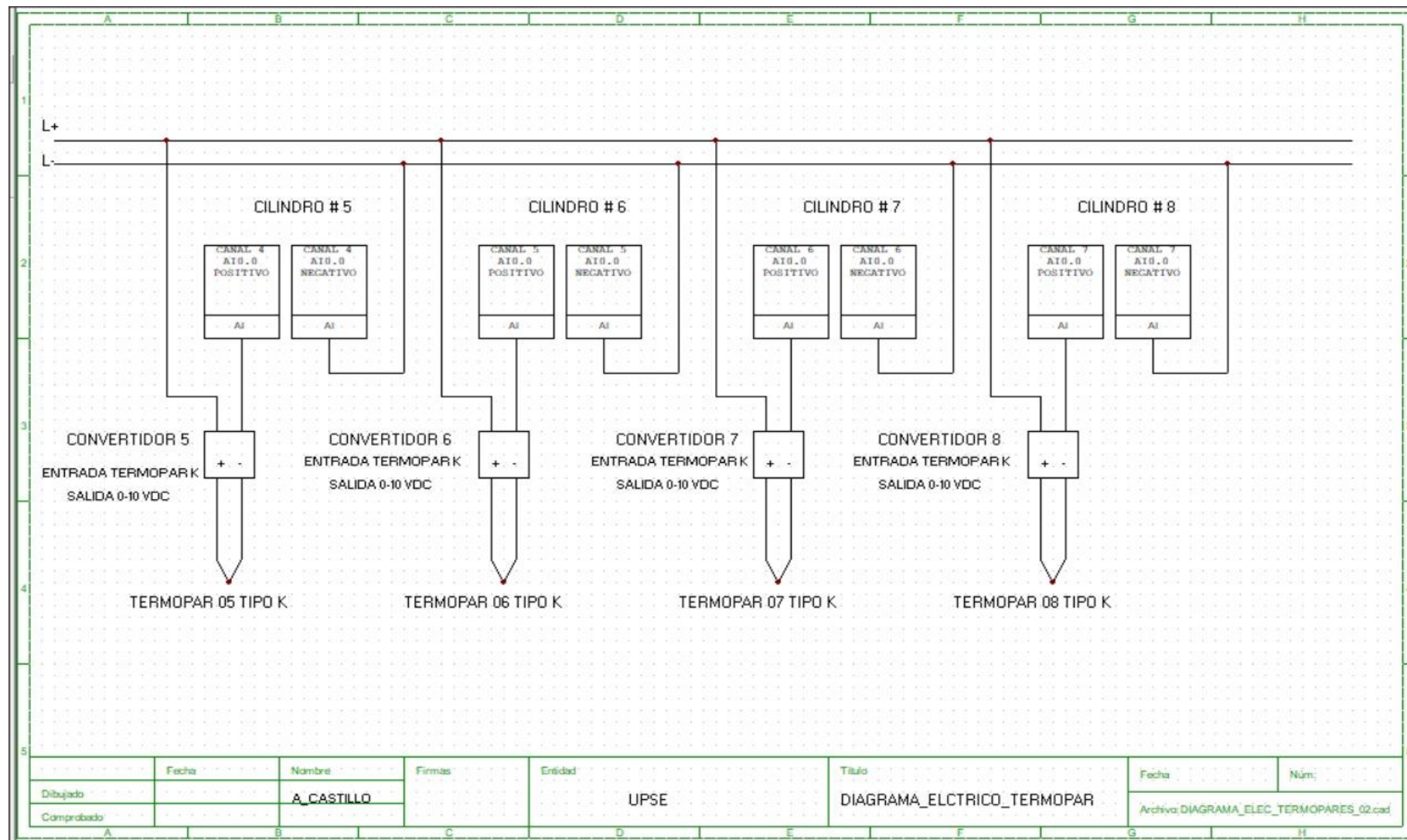
Anexos 1. Diagrama panel de control principal.



Anexos 2. Nivel carga vs temperatura de los gases de combustión.



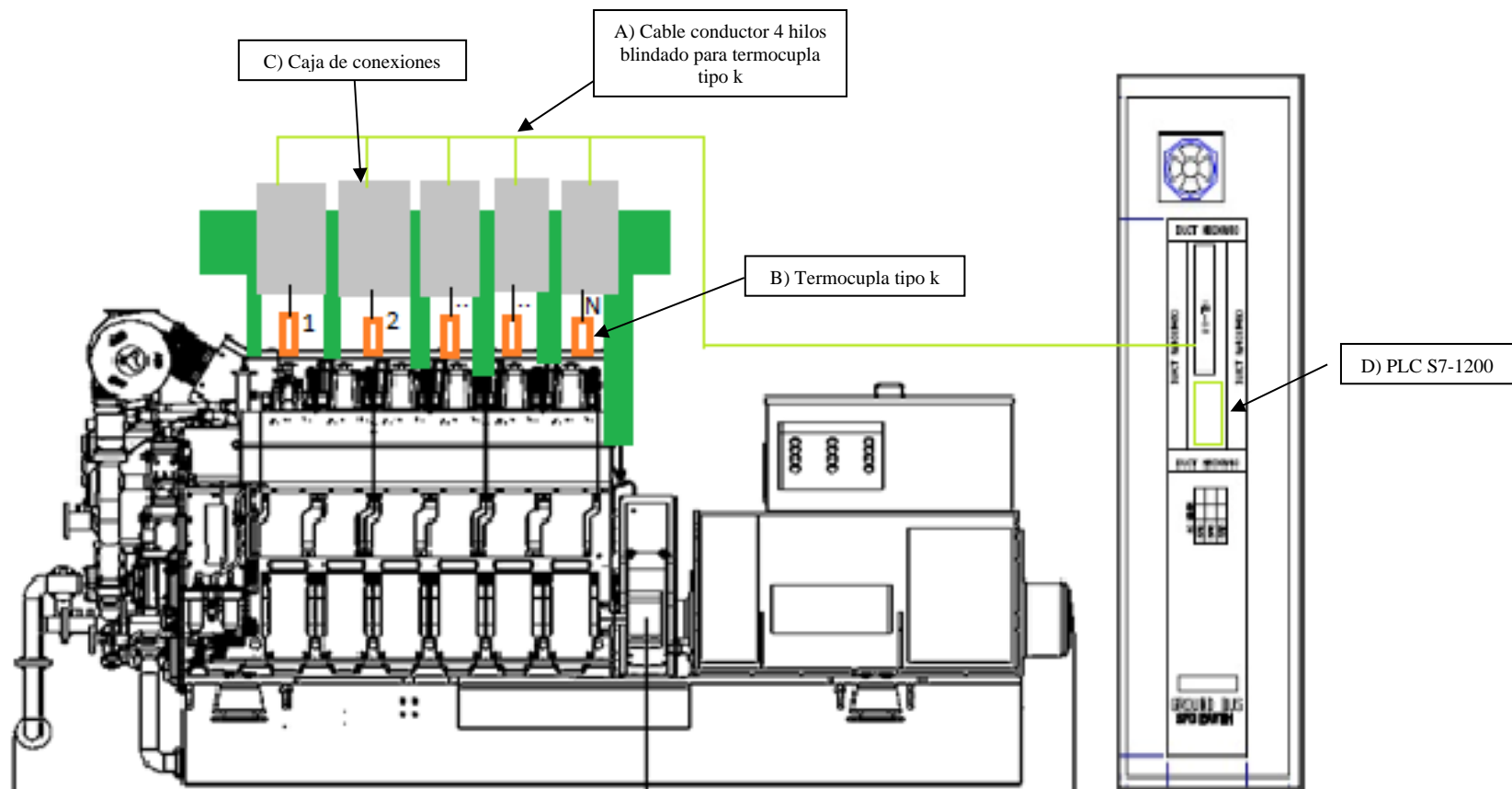
Anexos 3. Diagrama eléctrico termocuplas.



Anexos 4. Diagrama eléctrico termocuplas.

ANSI C96.1 - CODIGO DE TIPOS Y ESPECIFICACIONES					
TIPO	TERMOPAR		RANGO DE USO (Cº)	LIMITE DE ERROR	
	+	-		CALIDAD STANDARD	CALIDAD ESPECIAL
J	Hierro Fe	Constantan Co	0 a 760	+ - 2.2 ºC ó + - 0.75%	+ - 1.1 ºC ó + - 0.4%
K(2)	Cromel Cr	Alumel Al	0 a 300 300 a 1260	+ - 2.2 ºC ó + - 0.75%	+ - 1.1 ºC ó + - 0.4%
T	Cobre Cu	Constantan Co	-200 a -67 -67 a +133 133 a 350	+ - 1.5 % + - 1 ºC + - 0.75 ºC	- - + - 0.5 ºC ó + - 0.4%
E	Cromel Cr	Constantan Co	0 a 900	+ - 1.7 ºC ó + - 0.5%	+ - 1 ºC ó + - 0.4%
R	Platino Rodio 13%	Platino Pt	1000 a 1400	+ - 1.5 ºC ó + - 0.25%	+ - 0.6 ºC ó + - 0.1%
S	Platino Rodio 10%	Platino Pt	1000 a 1400	+ - 1.5 ºC ó + - 0.25%	+ - 0.6 ºC ó + - 0.1%

Anexos 5. Código de tipos y especificaciones de termocuplas.



Anexos 6. Vista lateral del motor.

Los Datos principales para los generadores desde H21/32

Tipo de motor	El 4-golpe, la inyección vertical, directa, la sola acción y tipo de pistón de tronco con el turbo cargador y enterrar-refrigerador				
Configuración del cilindro	Linea de adentro				
Número de Cilindro	5 - 6 - 7 - 8 - 9				
Velocidad de operacion	rpm	720	750	900	1000
Potencia por Cylindro(kW)	kW	160	160	200	200
Diametro del cilindro(mm)	mm	210			
Deplazamiento del pistón (mm)	mm	320			
El Volumen de barrido por el Cilindro	dm ³	11.1			
Promedio de la Velocidad del Pistón	m/s	7.7	8.0	9.6	10.7
Promedio de la Presión Eficaz	bar	24.1	23.1	24.1	21.7
La Proporción de compresión	17:1				
Direccion de la rotacion del motor	En el sentido de las agujas del reloj Visto del Lado del Generador (No-reversible)				
Orden de encendido de los cilindros	5H21/32	1 - 2 - 4 - 5 - 3			
	6H21/32	1 - 4 - 2 - 6 - 3 - 5			
	7H21/32	1 - 2 - 4 - 6 - 7 - 5 - 3			
	8H21/32	1 - 3 - 5 - 7 - 8 - 6 - 4 - 2			
	9H21/32	1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 8 - 6 - 4 - 2			

Anexos 7. Datos principales para los generadores 9H2132.

Normas de Diseño de Motor & Data de Operacion	Datos del Funcionamiento Normal	H21/32	Pag. 1/1
		Seccion No. G01400	Rev. 1C
엔진 설계 개요 및 운전 데이터	정상 운전 데이터		

일반적으로 엔진의 정상 운전 데이터는 아래의 표와 같다. 그러나, 데이터중 일부는 다를 수도 있는데, 해당 프로젝트에 따라 별도로 데이터가 제공된다. 그러므로 엔진 운전요원은 그 차이를 이해하고 규정된 범위 내에서 엔진을 운전해야 한다.

Datos de operacion normal del motor son listados como estan en la siguiente tabla. Sin embargo, algunos datos pueden cambiar y seran informados separados para el proyecto especifico. Por lo tanto, el operador del motor debe entender la diferencia y prender el motor dentro del rango especificado.

Sistema	Descripciones de Nombre	El Rango Normal de Operacion a Potencia Fija	Seteo de Alarma	Paro Auto. Del Motor	Comentarios
Control De Velocidad	Velocidad del Motor	Rated Speed (rpm) 720/750/900/1000		113%(1 st) 115%(2 nd) Velocidad Fija	
Sistema de Combustible	Nivel de goteo del combustible		Alto Nivel		
	La presión de entrada del combustible del Motor (para el funcionamiento de HFO Continuo)	3.0 ~ 6.0 bar (MDO) 7.0 ~ 10.0 bar (HFO)	P _{MDO} < 1.0 bar P _{HFO} < 4.0 bar		
	La Presion de entrada del combustible del Motor (para el funcionamiento de MDO Continuo)	6.0 ~ 8.0 bar (MDO)	P _{MDO} < 4.0 bar		
	La Temperatura de entrada del combustible del Motor	30 ~ 45 °C (MDO) 110 ~ 140 °C (HFO)			
Sistema de Aceite Lubrificante	Filtro de Gotas de la Presion de Aceite Lubrificante	0.1 ~ 1.0 bar	> 1.5 bar	> 2.0 bar	
	Presion de Aceite Lubrificante de la entrada del Motor después del filtro	4.0 ~ 5.0 bar	< 3.5 bar	< 3.0 bar	
	Temperatura de Aceite Lubrificante de la entrada del Motor	60 ~ 70 °C	> 80 °C	> 85 °C	
	Presion de Aceite Lubrificante de la entrada deTC	2.0 ~ 4.0 bar	1.5 bar		
	El detector de Humo del aceite (opcional)		Nivel Alto	Alto Nivel	
	Nivel de aceite lubricante en el marco bajo		Nivel Bajo/Alto		
Sistema de Enfriamiento de Agua	Nivel de Aceite Prelubricado		Low level		
	LT Presion de Entrada del Motor	1.5 ~ 4.5 bar	< static+0.4 bar		
	LT Temperatura de Entrada del Motor	30 ~ 40 °C	> 45 °C		
	HT Presión de Entrada del Motor	1.5 ~ 4.5 bar	< static+0.4 bar		
Sistema de Gas de Combustion	HT Temperatura del toma de corriente del Motor	75 ~ 85 °C	> 90 °C	>95 °C	
	La presión del cilindro	Max. ~ 200 bar	-	-	Refer to shop test result
	Desviación del promedio de cilindros	Max. ±5bar			
	Presión Atmosférica del Cargador después del Enfriamiento	2.5 ~ 3.2 bar			
	Temperatura de aire del Cargador después del Enfriamiento	35 ~ 55 °C			
	La desviación del promedio de cilindros	Max. ±50°C	Max. ±70°C		
Compressed air Inlet pressure	Temperatura de los gases TC entrantes	450 ~ 520 °C	> 550 °C		
	Compressed air Inlet pressure	5~7 bar 8~10 bar	< 4.5 bar < 7.5 bar		For 5,6,7 cyl. For 8,9 cyl.

*) Temperature deviation between thermometer and thermocouple = 10~40 degree caused by different measuring point.

엔진 성능 데이터의 기록

엔진 성능은 운전 조건과 엔진 조건에 따라 변한다. 따라서 양질의 엔진 서비스와 정비에 도움을 줄 수 있도록 성능 데이터를 가능한 자주(적어도 매주) 기록해야 한다. 엔진 메이커의 공장 시험 결과서와 초기 해당 시운전 자료를 기초로 하여 성능 데이터 기록들에 대한 경향 분석을 계속함으로써 엔진 상태를 정확히 파악 할 수 있으며, 적절한 사전 예방조치를 쉽게 취할 수 있다. 데이터 기록 양식은 공장 시험 결과 보고서 또는 유사 양식을 사용하면 된다.

성능관련 매개변수 및 평가

엔진은 연료를 태우고 연속적인 공기의 흡입과 배기가스 배출을 통해 동력을 생산하므로, 주변 또는 연료분사 계나 흡/배기계 구성품들의 오염 등과 같은 연소 매개변수들의 변화에 따라 성능 데이터는 많은 영향을 받는다.

정상적인 운전조건에서 벗어나면, 일반적으로 배기가스 온도의 상승이나 연료 소모량의 증가로 나타나며, 결국에는 엔진의 신뢰성에 영향을 미쳐 더 빈번한 정비/보수가 필요하다. 따라서, 배기가스 온도나 터보과급기의 속도가 정상 운전범위를 초과하게 되면, 엔진 출력은 제한되어야 한다. 주요 성능관련 매개변수들은 다음과 같다.

1. 엔진 주변 조건

기관실의 대기 온도, 압력, 냉각수 온도 등은 엔진의 출력, 연료 소모량, 배기가스 온도에 영향을 미친다.

Grabacion de Data del Comportamiento del Motor

El comportamiento del motor varia dependiendo de la condicion de la operacion y la condicion del motor. Por lo tanto, es recomendado fuertemente grabar el comportamiento del motor con frecuencia, por lo menos semanal, lo cual proveera una guia fiable para mejor servicio y mantenimiento. Un análisis de tendencia continua en referencia a los datos grabados del resultado de prueba de la tienda del fabricante del motor y los datos comisionados, contribuirán para diagnosticar la condición del motor precisamente y las precauciones o prescripciones pueden hacerse facilmente. Pueden enviarse los formularios de hojas de datos al informe de prueba de la tienda del fabricante del motor.

Evaluacion y Parametros del Rendimiento

Mientras el motor produce la potencia quemando el combustible con el aire entrante y los gases de la descarga, los datos del rendimiento son influenciados por el cambio de tales parámetros de la combustión como condición del ambiente o los componentes infringidos para la inyección de combustible, aire y sistema de flujo de gases. Si hay alguna desviación de la condición de operacion normal, la temperatura y el consumo de gases de descarga generalmente aparecen ser aumentados, que en el futuro influencia la fiabilidad del motor y necesita el mantenimiento más frecuente. Por consiguiente, el poder del motor se restringira si la temperatura de gases de descarga o la velocidad del turbo cargador excede el rango normal de operacion. Algunos de los parámetros sensibles son como sigue:

1. Condicion Ambiental

La temperatura y presion del cuarto del motor, mientras enfriando la temperatura de agua, etc. pueden influenciar la potencia del motor, el consumo de combustible, la temperatura de gases de descarga, y así sucesivamente.

K^oC

TABLE 9 Type K Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-270	-6.458											-270
-260	-6.411	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457	-6.458	-260
-250	-6.404	-6.408	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.438	-6.441	-250
-240	-6.344	-6.351	-6.358	-6.364	-6.370	-6.377	-6.382	-6.388	-6.393	-6.399	-6.404	-240
-230	-6.262	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337	-6.344	-230
-220	-6.158	-6.170	-6.181	-6.192	-6.202	-6.213	-6.223	-6.233	-6.243	-6.252	-6.262	-220
-210	-6.035	-6.048	-6.061	-6.074	-6.087	-6.099	-6.111	-6.123	-6.135	-6.147	-6.158	-210
-200	-5.891	-5.907	-5.922	-5.936	-5.951	-5.965	-5.980	-5.994	-6.007	-6.021	-6.035	-200
-190	-5.730	-5.747	-5.763	-5.780	-5.797	-5.813	-5.829	-5.845	-5.861	-5.876	-5.891	-190
-180	-5.550	-5.569	-5.588	-5.606	-5.624	-5.642	-5.660	-5.678	-5.695	-5.713	-5.730	-180
-170	-5.354	-5.374	-5.395	-5.415	-5.435	-5.454	-5.474	-5.493	-5.512	-5.531	-5.550	-170
-160	-5.141	-5.163	-5.185	-5.207	-5.228	-5.250	-5.271	-5.292	-5.313	-5.333	-5.354	-160
-150	-4.913	-4.936	-4.960	-4.983	-5.006	-5.029	-5.052	-5.074	-5.097	-5.119	-5.141	-150
-140	-4.669	-4.694	-4.719	-4.744	-4.768	-4.793	-4.817	-4.841	-4.865	-4.889	-4.913	-140
-130	-4.411	-4.437	-4.463	-4.490	-4.516	-4.542	-4.567	-4.593	-4.618	-4.644	-4.669	-130
-120	-4.138	-4.166	-4.194	-4.221	-4.249	-4.276	-4.303	-4.330	-4.357	-4.384	-4.411	-120
-110	-3.852	-3.882	-3.911	-3.939	-3.968	-3.997	-4.025	-4.054	-4.082	-4.110	-4.138	-110
-100	-3.554	-3.584	-3.614	-3.645	-3.675	-3.705	-3.734	-3.764	-3.794	-3.823	-3.852	-100
-90	-3.243	-3.274	-3.306	-3.337	-3.368	-3.400	-3.431	-3.462	-3.492	-3.523	-3.554	-90
-80	-2.920	-2.953	-2.986	-3.018	-3.050	-3.083	-3.115	-3.147	-3.179	-3.211	-3.243	-80
-70	-2.567	-2.620	-2.654	-2.688	-2.721	-2.755	-2.788	-2.821	-2.854	-2.887	-2.920	-70
-60	-2.243	-2.278	-2.312	-2.347	-2.382	-2.416	-2.450	-2.485	-2.519	-2.553	-2.587	-60
-50	-1.889	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.103	-2.138	-2.173	-2.208	-2.243	-50
-40	-1.527	-1.564	-1.600	-1.637	-1.673	-1.709	-1.745	-1.782	-1.818	-1.854	-1.889	-40
-30	-1.156	-1.194	-1.231	-1.268	-1.305	-1.343	-1.380	-1.417	-1.453	-1.490	-1.527	-30
-20	-0.778	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.006	-1.043	-1.081	-1.119	-1.156	-20
-10	-0.392	-0.431	-0.470	-0.508	-0.547	-0.586	-0.624	-0.663	-0.701	-0.739	-0.778	-10
0	0.000	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	-0.236	-0.275	-0.314	-0.353	-0.392	0
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397	0
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798	10
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203	20
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.368	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612	30
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023	40
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436	50
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851	60
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267	70
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682	80
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096	90
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509	100
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920	110
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328	120
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735	130
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138	140
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540	150
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941	160
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340	170
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739	180
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138	190

°C

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

°C

K^oC

TABLE 9 Type K Thermocouple—thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539	200
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940	210
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343	220
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747	230
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153	240
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561	250
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971	260
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382	270
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795	280
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209	290
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624	300
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040	310
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457	320
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874	330
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293	340
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713	350
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133	360
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554	370
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975	380
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397	390
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820	400
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243	410
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667	420
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091	430
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516	440
450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941	450
460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366	460
470	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792	470
480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218	480

K^oC

TABLE 9 Type K Thermocouple — thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
700	29.129	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548	700
710	29.548	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.798	29.840	29.882	29.924	29.965	710
720	29.965	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.382	720
730	30.382	30.424	30.466	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798	730
740	30.798	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213	740
750	31.213	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628	750
760	31.628	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.876	31.917	31.958	32.000	32.041	760
770	32.041	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453	770
780	32.453	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865	780
790	32.865	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275	790
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685	800
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093	810
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501	820
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908	830
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313	840
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718	850
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121	860
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524	870
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925	880
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326	890
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725	900
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124	910
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522	920
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918	930
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314	940
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708	950
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101	960
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494	970
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885	980
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276	990
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665	1000
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053	1010
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440	1020
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826	1030
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211	1040
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595	1050
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978	1060
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359	1070
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740	1080
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119	1090
1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497	1100
1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873	1110
1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249	1120
1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623	1130
1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995	1140
1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367	1150
1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737	1160
1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105	1170
1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473	1180
1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838	1190
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

K^oC

TABLE 9 Type K Thermocouple — thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202	1200
1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565	1210
1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926	1220
1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286	1230
1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644	1240
1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000	1250
1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355	1260
1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708	1270
1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060	1280
1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410	1290
1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759	1300
1310	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106	1310
1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451	1320
1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795	1330
1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138	1340
1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479	1350
1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819	1360
1370	54.819	54.852	54.886									1370
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

Anexos 11. Tabla valores termopar tipo k.