



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**  
**ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"**

**MAESTRÍA EN**  
**ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**  
*Resolución: **RPC-SO-09-No.265-2021***

**PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGÍSTER**

<b>Título del proyecto:</b>
<b>"CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL MOTOR DE UN GENERADOR EN UNA TERMOELÉCTRICA DE SANTA ELENA"</b>
<b>Línea de Investigación:</b>
<b>Sistemas de Control y Automatización en una Central de Generación Eléctrica</b>
<b>Campo amplio de conocimiento:</b>
<b>Sistemas, Procesos y Seguridad Industrial, Control, Operación y Generación Térmica</b>
<b>Autor/a:</b>
<b>ELÍAS BERNAVÉ MUÑOZ PÉREZ</b>
<b>Tutor/a:</b>
<b>René Ernesto Cortijo Leyva</b>

**Quito – Ecuador**

**2022**

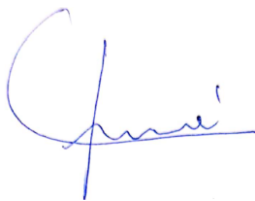
## APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Mg. **René Ernesto Cortijo Leyva** con C.I: **1719010108**, en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **“Control automático de temperaturas de combustión interna del motor de un generador en una termoeléctrica de Santa Elena”**.

Elaborado por: **Elías Bernavé Muñoz Pérez**, de C.I: **0926460627**, estudiante de la Maestría: **Electrónica y Automatización**, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito 22 de septiembre del 2022



---

**Firma**

# Carta de declaración de autorización



**Universidad  
Israel**

## DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN

Yo, Elías Bernavé Muñoz Pérez, portador/a de C.C. 0926460627, **autor/a** del trabajo de titulación:

**Tema:** “CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL MOTOR DE UN GENERADOR EN UNA TERMOELÉCTRICA DE SANTA ELENA”, previo a la obtención del título de **Magister en Electrónica y Automatización**.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de difundir el respectivo trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículo 4,5 y 6, en calidad de autor/a del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de graduación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito, 19 de septiembre de 2022

**Elías Bernavé Muñoz Pérez**

Firma: \_\_\_\_\_

**C.C. 0926460627**

## Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	2
Carta de declaración de autorización.....	3
INFORMACIÓN GENERAL .....	9
Contextualización del tema.....	9
Problema de investigación .....	12
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos.....	16
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:.....	16
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	18
1.1. Contextualización general del estado del arte.....	18
Efecto Seebeck y Peltier .....	20
1.2. Proceso investigativo metodológico.....	23
CAPÍTULO II: PROPUESTA .....	25
2.1 Fundamentos teóricos aplicados.....	25
Introducción.....	25
Descripción breve del motor Hyundai 9H21/32 .....	25
HMI Pro-Face GP3600 .....	27
Controlador Lógico Programable PLC SIMATIC S7-1200.....	30
Controlador Lógico Programable PLC SIEMENS SIMATIC S7-300 .....	32
Convertidor de Temperatura TC Insolated 3111 .....	33
Sensor de temperatura termocupla tipo K.....	35
Descripción del funcionamiento de una termocupla tipo K .....	37
2.2 Descripción de la propuesta .....	39
a. Estructura general .....	39
b. Explicación del aporte .....	41
Estrategias y/o técnicas.....	42
<b>Levantamiento de la información base del Motor de Combustión Interna a Intervenir</b> .....	43
<b>Elaboración de planos y diagramas del proyecto</b> .....	44
<b>Trabajos mecánicos y eléctricos</b> .....	48
<b>Ingeniería de Automatización y Programación</b> .....	48
<b>Configuración del PLC SIEMENS S7-1200 y HMI Pro-Face</b> .....	49
<b>Instalación de sensores y pruebas de funcionamiento</b> .....	52
<b>Estudio de Factibilidad de la Propuesta</b> .....	54

2.3	Validación de la propuesta .....	58
2.4	Matriz de articulación de la propuesta .....	60
2.5	Análisis de resultados. Presentación y discusión .....	61
	CONCLUSIONES .....	66
	RECOMENDACIONES .....	68
	BIBLIOGRAFÍA .....	69
	ANEXOS 1 .....	71
	ANEXOS 2 .....	72
	ANEXOS 3 .....	73
	ANEXOS 4 .....	74
	ANEXOS 5 .....	75
	ANEXOS 6 .....	76
	ANEXOS 7 .....	77
	ANEXOS 8 .....	78
	ANEXOS 9 .....	78
	ANEXOS 10 .....	79
	ANEXOS 11 .....	81
	ANEXOS 12 .....	81
	ANEXOS 13 .....	82
	ANEXOS 14 .....	82
	ANEXOS 15 .....	84
	ANEXOS 16 .....	85
	ANEXOS 17 .....	85
	ANEXOS 18 .....	86
	ANEXOS 19 .....	86
	ANEXOS 20 .....	87
	ANEXOS 21 .....	87
	ANEXOS 22 .....	88
	ANEXOS 23 .....	92
	ANEXOS 24 .....	93

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b>	Presupuesto de materiales y mano de obra del proyecto de mejora .....	54
<b>Tabla 2:</b>	Costos variables de producción de un ciclo operativo 12000 hrs .....	56
<b>Tabla 3:</b>	Presupuesto de materiales para termómetros de glicerina.....	57
<b>Tabla 4:</b>	Descripción de perfil de validadores.....	58
<b>Tabla 5:</b>	Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Luis Chuquimarca Jiménez MSc .....	59
<b>Tabla 6:</b>	Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. José Ramírez Castro MSc.....	59
<b>Tabla 7:</b>	Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Samuel Bustos Gaibor MSc .....	59
<b>Tabla 8:</b>	Matriz de articulación .....	60
<b>Tabla 9:</b>	Costos de aplicación entre ambas tecnologías. ....	62
<b>Tabla 10:</b>	Análisis de tiempos empleados según uso de cada instrumento.....	63

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Vista aérea de los grupos electrógenos de Bahía 1 de la CSE .....	9
<b>Figura 2:</b> Datos principales del generador Hyundai 9H21/32.....	11
<b>Figura 3:</b> Termómetros de glicerina para medición de temperaturas de gases de combustión del motor Hyundai 9H21/32.....	12
<b>Figura 4:</b> Formato de Office para registro digital de parámetros operativos del motor Hyundai .....	13
<b>Figura 5:</b> Datos del funcionamiento normal del motor Hyundai .....	14
<b>Figura 6:</b> Efecto Seebeck .....	20
<b>Figura 7:</b> Composición de la producción de energía bruta del Ecuador .....	24
<b>Figura 8:</b> Estructura del motor Hyundai 9H21/32 .....	26
<b>Figura 9:</b> Lados del motor Hyundai 9H21/32 .....	27
<b>Figura 10:</b> Pantalla del panel eléctrico PRO-FACE (GP3600) del motor Hyundai.....	28
<b>Figura 11:</b> HMI PRO-FACE (GP3600) del motor Hyundai .....	28
<b>Figura 12:</b> Programa GP-Pro EX.....	29
<b>Figura 13:</b> Programación de pantalla de temperaturas de gases en GP-Prox Ex.....	29
<b>Figura 14:</b> PLC SIEMENS S7-1200 .....	31
<b>Figura 15:</b> PLC SIEMENS SIMATIC S7-300 .....	32
<b>Figura 16:</b> Convertidor PR 3111 aislado galvánicamente la entrada la salida y alimentación .....	33
<b>Figura 17:</b> Convertidor de temperatura PR 3111 .....	34
<b>Figura 18:</b> Definición estándar de colores en termopar .....	36
<b>Figura 19:</b> Lista principal de tipos de termocuplas.....	37
<b>Figura 20:</b> Código de colores típicos para conductores termopares tipo k .....	38
<b>Figura 21:</b> Características de termocuplas para EN 60 584 .....	38
<b>Figura 22:</b> Ventana para visualización temperaturas de combustión en el HMI .....	39
<b>Figura 23:</b> Diagrama de bloques del sistema de medición de temperaturas de los cilindros del motor Hyundai .....	40
<b>Figura 24:</b> Diagrama de flujo del proceso de encendido y monitoreo de la MDU.....	41
<b>Figura 25:</b> Diagrama de Gantt de la Planificación del Proyecto .....	43
<b>Figura 26:</b> Diseño de la estructura metálica y montaje de instrumentos.....	44
<b>Figura 27:</b> Diagrama eléctrico de conexiones termocuplas K – Convertidores – PLC.....	45
<b>Figura 28:</b> Diagrama de conexión de termopares – Entradas PLC.....	46
<b>Figura 29:</b> Diagrama de conexión del PLC SIEMENS S7-1200 – HMI PRO-FACE.....	47
<b>Figura 30:</b> Esqueleto metálico con instrumentos de medición .....	48
<b>Figura 31:</b> Escalamiento de las señales analógicas en el software TIA PORTAL .....	50

<b>Figura 32:</b> Ventana de barras de temperaturas de combustión de los 9 cilindros del motor	51
<b>Figura 33:</b> Ventana de valores de temperaturas de combustión de los 9 cilindros del motor .....	52
<b>Figura 34:</b> Termocupla tipo K – Termopozo – Acople Reductor .....	52
<b>Figura 35:</b> Conexión de la termopar tipo K en la bornera .....	53
<b>Figura 36:</b> Instalación de la termopar tipo K en el pozo de medición .....	53
<b>Figura 37:</b> Nueva forma de monitoreo de temperaturas de combustión del motor.....	63



## INFORMACIÓN GENERAL

### Contextualización del tema

Este se desarrolla dentro de un ámbito profesional basado en un entorno tecnológico industrial. La Central Térmica está ubicada en la Provincia de Santa Elena, a la altura del km 4.5 vía a Ancón, a 1.2 km atrás del colegio Técnico Santa Elena; está compuesta de dos 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.

La energía eléctrica que es producida por los grupos electrógenos en CSE II es a través de 53 motores marca HYUNDAI modelo 9H21/32, entregando una potencia nominal instalada para el Sistema Eléctrico Nacional de 90 MW.

El modelo de motor de combustión interna de cuatro tiempos que utiliza la Central Santa Elena II, están diseñados con una potencia nominal de 1.7 MW a 900 rpm, con 9 cilindros en línea, con una potencia máxima de diseño del 110% de la potencia nominal. Cada motor está acoplado a un generador de la marca Hyundai con voltaje nominal de 4.160 KV, y una potencia 2.127 MVA, 295.1 A, 8 polos, a 60 Hz.

**Figura 1:** Vista aérea de los grupos electrógenos de Bahía 1 de la CSE



La energía producida es enviada al SNI (Sistema Nacional Interconectado), a nivel de 138 kV para la CSE II, esto se hace a través de transformadores elevadores de 4.16 kV a 34,5 kV de la misma marca Hyundai y un transformador principal de la marca China Shenda de 34.5 kV a 138 kV, instalado en la subestación de la Central II, el voltaje producido por los grupos electrógenos es entregado a TRASELECTRIC, a través de un sistema de cableado aéreo de alta tensión.

Estos motores utilizan combustible fósil, para arranque y parada, lo hacen quemando diésel y para generación continua queman fuel oil 4, con un consumo teórico calculado de 187 g/kWh. El combustible es proporcionado por Petroecuador EP, el cual es transportado por medio de tanqueros de gran capacidad. Se aprovecha la energía térmica producida por el calor de los gases resultante de la combustión de una reacción química entre el aire – combustible, que se origina internamente en el cilindro del motor, 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, y así generar a 7 bar 2 Toneladas métricas de vapor el cual se utiliza para el servicio de los procesos auxiliares como el calentamiento del combustible (fuel oil 4), el mismo que es utilizado para la generación continua. La Central cuenta varios tanques de combustible pesado con una capacidad instalada de aproximadamente 1'500.000 galones, esto le da unas 280 horas de generación continua a la máxima carga nominal establecida por el fabricante Sur Coreano Hyundai.

La cámara de combustión es un cilindro, dentro del cual se desplaza un pistón de forma lineal y es movido por el brazo de biela, el cual es impulsado por el movimiento giratorio del cigüeñal del motor, este movimiento en vertical cambia constantemente el volumen que existe al interior de esta cámara, en la cual ingresa un comburente (aire) y combustible (en este caso diésel o fuel oil #4) en una mezcla no proporcional, sino que va en función de la relación estequiométrica calculada en el diseño, la cual se relaciona con la aceleración y el régimen o mecanismo de regulación del motor, determinado por la bomba de inyección de combustible. Durante el tiempo de compresión las válvulas de admisión y escape se cierran, sellando herméticamente la cámara de combustión, en este punto teóricamente el pistón se mueve hacia arriba hasta el punto muerto superior (**PMS**), comprimiendo el aire, el cual se calienta a altas temperaturas. El espacio entre el volumen de aire que ingresa cuando el pistón está en el punto muerto inferior (**PMI**) frente al volumen que comprime al llegar al PMS, se lo denomina Relación de Compresión, esto se da cuando el cigüeñal gira una vuelta completa o 360°.

Siendo: **Relación de compresión = Volumen PMI / Volumen PMS**; Para nuestro motor Hyundai 9H21/32, la relación de compresión se establece en 17:1

**Figura 2:** Datos principales del generador Hyundai 9H21/32

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	Línea de adentro				
Número de Cilindro	5 – 6 – 7 – 8 – 9				
Velocidad de operación	rpm	720	750	900	1000
Potencia por Cilindro(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 <sup>3</sup>	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				
Dirección de la rotación 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			

▲ HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.      División de motor y maquinaria      05.04/KJC

Fuente: (Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., 2011)

El motor de combustión interna del tipo marino a diésel y combustible pesado generan grandes esfuerzos y por lo tanto desgaste por fricción debido a la constante inercia y el movimiento axial y radial de sus partes internas, produciendo altas temperaturas y presiones en su interior, las cuales deben ser controladas dentro de sus rangos de fabricación, estas temperaturas y presiones como la del aceite, agua, aire y sobre todo el combustible, son de vital importancia monitorear y registrar constantemente, en vista de que pequeñas variaciones fuera de los rangos establecidos por el fabricante, pueden causar daños críticos al interior y exterior de la máquina, el descuido o ignorar estos detalles importantes ya sean en espacios cortos de tiempo son perjudiciales para el performance del motor.

## Problema de investigación

Actualmente las temperaturas de gases de combustión de los cilindros de los motores Hyundai, es registrada en un documento físico (Formato de Parámetros de Operación), como indica la **figura 4**, el cual es llenado durante las horas de trabajo del motor por el operario y técnico de turno, esta lectura de temperatura que es mostrada por un termómetro de glicerina instalado en un termopozo en cada una de las salidas de gases de combustión de los 9 cilindros del motor, tal cual se observa en la **figura 3**, es luego tipeada por el operario de sala de control en un formato digital office. Dada la experiencia y análisis de resultados, se han registrado situaciones donde estos datos pueden llegar a ser erróneos por varias razones, ya sean el factor humano, como visualización incorrecta, fatiga física, falta de atención y concentración, perspectiva errada de apreciación de los valores mostrados por el termómetro, error en la escritura y tipeado de los datos ya sea al papel y al archivo office; otro factor es el desgaste del material del termómetro, falla en la calibración del instrumento, fisura del cristal que contiene la glicerina, opacidad o visión borrosa en la mirilla del termómetro, deterioro del elemento que se dilata para efectuar la medición de temperatura, rompimiento de partes del instrumento por niveles de vibración altos o constantes, mayor porcentaje de error en la lectura medida por el instrumento de acuerdo a su fabricación y marca, mayor costo de inversión en la compra del instrumento, mayor gasto de mano de obra en mantenimiento, instalación y calibración, entre muchos otros.

**Figura 3:** Termómetros de glicerina para medición de temperaturas de gases de combustión del motor Hyundai 9H21/32



**Figura 4:** Formato de Office para registro digital de parámetros operativos del motor Hyundai

1		A 2			DIA 3					
		12h00	16h00	20h00	00h00	04h00	08h00	12h00	16h00	20h00
% DE CARGA		88%	76%	76%	76%	86%	88%	88%	88%	88%
ENG/GEN CONTROL PAVEL	GENERATOR LOAD	1493	1304	1276	1281	1450	1487	1493	1505	1507
	RUNNING HOUR	56155	56159	56163	56167	56170	56174	56178	56182	56186
	AUX. POWER									
	ENGINE SPEED	906	906	905	905	905	905	904	906	904
	TURBOCHARGER SPEED	34976	32695	32510	32617	34188	34687	34878	34893	54798
	STARTING AIR PRESS	23.5	23	23.4	24	23	23.6	28.9	26	29.8
	LO INLET TEMP. (TI-62)	71	68	69	67	68	68	70	69	63
	CHARGE AIR TEMP. (PIB)	58	54	51	52	54	54	56	55	54
	HT WATER OUTLET TEMP (TE-76)	80	79	79	79	79	79	79	79	79
	LT WATER INLET TEMP. (T1-71)	48	44	42	44	43	43	45	45	43
	EXH TIC INLET GAS TEMP. (TI-26) [A][B][C]	513	493	484	488	495	500	504	501	497
467		450	446	444	453	457	461	457	456	
510		491	486	487	494	499	502	501	497	
EXH TIC OUTLET GAS TEMP. (TI-27)	360	354	355	356	352	353	356	354	351	
GENERATOR SYSTEM	MWH	78904	78910	78915	78920	78925	78931	78938	78944	78950
	REACTIVE POWER	286	296	270	286	252	298	294	302	277
	FREQUENCY	59.94	60.03	60.06	59.98	60.03	60.01	59.98	60	59.9
	CURRENT. [R][S][T]	213	188	189	199	205	212	214	217	220
		208	188	184	191	197	206	211	210	212
		205	177	178	179	198	206	210	208	206
	GEN. WINDING TEMP. [R][S][T]	79	72	68	67	72	76	78	78	75
		79	72	68	67	72	75	78	78	75
79		72	68	65	73	76	78	78	75	
GENERATOR BEARING TEMP.	64	65	62	62	62	62	63	64	62	
FUEL OIL SYST EM	FO ENGINE INLET PRESS. (PI-51)	7.8	10	10.2	7.7	7.2	7.3	7.7	7.5	7.2
	FO ENGINE INLET TEMP. (TI-51)	119	122	124	123	111	112	104	108	109
	GOVERNOR INDICATOR POSITION	7.7	7.1	7.1	7	7.4	7.7	7.6	7.6	7.6
LUB. OIL SYST EM	LO ENG INOUT FILTER PRESS. (PI-61-62)	4.5	4.5	4.6	5	4.9	4.5	4.5	4.5	4.5
		4.9	4.9	5	4.6	4.5	4.9	4.9	4.9	4.9
	LUB. OIL BEFORE TIC. (PI-63)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
COOLING WATER SY	JACKET C.F.W INLET (PI-75)	3.3	2.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
	COOLER C.F.W INLET (PI-71)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
	LTW CHARGE AIR COOLER OUTLET TEMP	47	45	42	43	43	42	45	44	43
	LTW LO COOLER INLET TEMP (TI-72)	51	48	44	45	46	46	49	48	47
	HTW ENGINE INLET TEMP (TI-75)	72	72	72	72	2	72	72	72	72
	LTW RADIATOR INLET TEMP (TI-305)		54	52					56	53
LTW RADIATOR OUTLET PRESS (PI-304)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
CHARG AIR SYS	CHARGING AIR PRESS. (PI-21)	2.6	2.2	2.2	2.2	2.5	2.7	2.6	2.7	2.7
CYLINDER UNIT	Cylinder # 1	425	410	405	410	415	420	420	420	415
	Cylinder # 2	385	370	365	370	375	380	385	380	380
	Cylinder # 3	390	375	370	375	380	385	385	385	375
	Cylinder # 4	415	405	400	400	405	410	410	410	405
	Cylinder # 5	405	395	390	390	395	395	400	400	395
	Cylinder # 6	360	350	345	345	350	355	355	355	350
	Cylinder # 7	375	360	360	360	365	370	370	370	370
	Cylinder # 8	340	330	330	330	335	340	340	340	340
	Cylinder # 9	385	370	370	365	370	375	380	380	375
Promedio	387	374	371	372	377	381	383	382	378	
DESBALANCE DE TEMPERAT	Maximo	425	410	405	410	415	420	420	420	415
	Minimo	340	330	330	330	335	340	340	340	340



En este contexto el monitoreo y registro de temperaturas de gases de combustión del motor en la CSE necesita automatizar sus instrumentos de lectura, para aplicar controles que me brinden mayor confidencialidad y seguridad a la hora de poner en servicio el motor con determinada carga o potencia instantánea generada. Por medio de un sistema de control automatizado, se puede implementar tendencias de máximos y mínimos, valores promedios calculados en referencia a la carga, registro de curvas valores de desviación de los cilindros según la temperatura promedio calculada, restricción de la carga del motor si alguno parámetro tiende a disminuir o aumentar fuera de los rangos permitidos por el fabricante y en relación con la carga producida por el motor.

Figura 5: Datos del funcionamiento normal del motor Hyundai

<b>IMS EN</b>		<b>H21/32</b>		Pag. 1/1	
<b>Normas de Diseño de Motor &amp; Data de Operacion</b>		<b>Datos del Funcionamiento Normal</b>		Section No.	
연진 설계 개요 및 운전 데이터		정상 운전 데이터		G01400	
				Rev. 1C	
<p>일반적으로 연진의 정상 운전 데이터는 아래의 표와 같다. 그러나, 데이터중 일부는 다를 수도 있는데, 해당 프로젝트에 따라 별도의 데이터가 제공된다. 그러므로 연진 운전요원은 그 차이를 이해하고 규정된 범위 내에서 연진을 운전해야 한다.</p>			<p>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.</p>		
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)		113%(1 <sup>st</sup> ) 115%(2 <sup>nd</sup> ) Velocidad Fija	
		720/750/900/1000			
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 <sub>MDO</sub> < 1.0 bar P <sub>HFO</sub> < 4.0 bar		
	La Presion de entrada del combustible del Motor (para el funcionamiento de MDO Continuo)	6.0 ~ 8.0 bar (MDO)	P <sub>MDO</sub> < 4.0 bar		
	La Temperatura de entrada del combustible del Motor	30 ~ 45 °C (MDO) 110 ~ 140 °C (HFO)			
Sistema de Aceite Lubricante	Filtro de Gotas de la Presion de Aceite Lubricante	0.1 ~ 1.0 bar	> 1.5 bar	> 2.0 bar	
	Presion de Aceite Lubricante de la entrada del Motor después del filtro	4.0 ~ 5.0 bar	< 3.5 bar	< 3.0 bar	
	Temperatura de Aceite Lubricante de la entrada del Motor	60 ~ 70 °C	> 80 °C	> 85 °C	
	Presion de Aceite Lubricante de la entrada de TC	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 Presion 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	Compressed air Inlet pressure	5~7 bar	< 4.5 bar		For 5,6,7 cyl.
		8~10 bar	< 7.5 bar		For 8,9 cyl.

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

▲ HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD. Division de Motor y Maquinaria 05.09/RJC

Fuente: (Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., 2011)

Teniendo en cuenta todas estas variables y condiciones negativas al usar instrumentos analógicos que reflejen lecturas no digitalizados, es evidente entender que al existir instrumentos electrónicos que nos puedan mostrar los valores en un panel digital, ya sea un HMI, o en un SCADA, se garantiza de manera más fiable y correcta la forma de registrar y controlar las temperaturas de combustión del motor.

Utilizando instrumentos electrónicos y de automatización industrial se podrá tener registros instantáneos y formar un historial de temperaturas de combustión del motor, alarmas, y acciones preventivas, esto va a permitir mejorar el análisis causa raíz de falla y comportamiento durante la generación.

Por lo antes expuesto surge la importancia de que en La Central Termoeléctrica Santa Elena pueda automatizar de forma eficaz el procedimiento para obtener un mejor mecanismo de captación, monitoreo, registro y control de los parámetros de temperaturas de gases de combustión del motor Hyundai 9H21/32, para determinar el comportamiento al interior del cilindro durante las horas del trabajo del elemento motriz en el proceso de generación térmica, y así garantizar la operación eficiente y mejorar el rendimiento tanto del motor como de la Central Térmica, realizar análisis de fallas futuras, determinar posibles mantenimientos preventivos en función de los datos obtenidos y mejorar la toma de decisiones para prevenir fallas prematuras mecánicas y poder disminuir las indisponibilidades del motor, pérdidas de producción, aminorar el porcentaje de error humano en la toma de parámetros y resultados adecuados y realizar un mejor análisis del estado, funcionamiento y desarrollo de la máquina.

Por tal razón se va a realizar el cambio de los nueve termómetros de glicerina que miden y muestran en la parte superior a la altura del cabezote las temperaturas de manera analógica de los gases de combustión producidos al interior de las camisas o cilindros del motor, para colocar termocuplas tipo K que me permitan visualizar los datos de temperatura llevados hacia una cabina insonora y segura donde se encuentra la pantalla HMI PROFACE instalada directamente en el LCP (*Local Control Panel*) de la MDU (*Main Diesel Unit*). Al utilizar sensores me permite configurar diferentes opciones de control y seguridad para el motor, así como precautelar la seguridad física del operario al momento de tomar los datos, debido a que se evitaría estar en contacto con áreas calientes, altos niveles de ruido, vibraciones, posibles caídas desde altura mayor a 1.8 m, subir y bajar escaleras en vertical instaladas en el motor para llegar hacia los termómetros, cuidar de posibles proyectiles por desprendimiento de objetos metálicos que puedan salir disparados en diferentes direcciones y dañar al operario o técnico presente.

## **Objetivo general**

Desarrollar un sistema de control automático de temperaturas de combustión interna del motor de un generador en una termoeléctrica de Santa Elena.

## **Objetivos específicos**

- Establecer tendencias con rangos de seguridad que permitan ejecutar acciones preventivas y evitar fallas y daños en el motor durante las horas de trabajo.
- Diseñar la telemetría del sistema utilizando elementos electrónicos como termocuplas tipo k, PLC Siemens, y HMI Proface, para monitorear las temperaturas de combustión del motor.
- Automatizar el sistema de control registro y monitoreo de las temperaturas de gases de combustión en los cilindros del motor Hyundai 9H21/32, si los parámetros exceden los límites establecidos por el fabricante.
- Validar los resultados obtenidos por medio de las pruebas de rodaje en ralentí y con niveles de carga del motor.

## **Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:**

La innovación permanente es uno de los principios del sector eléctrico ecuatoriano y en especial de la Corporación Eléctrica, empresa líder en generación y transmisión eléctrica.

La implementación de éste y nuevos sistemas automatizados para el estudio de investigación como innovación tecnológica, actualmente estaría beneficiando al Departamento de Operaciones y Mantenimiento encargados de llevar el control de los motores. Esto nos ayuda a llevar un mejor control, desempeño y registro de valores y resultados de las variables escalares como las temperaturas de gases de combustión de un motor de estas dimensiones y potencia, es de mucha importancia, puesto que el desfase de los parámetros fuera de los rangos permitidos puede causar serios daños muy graves en el motor, los cuales se derivarían en serios problemas y grandes gastos para la empresa, así como pérdidas de producción, confiabilidad y aumentos de índices de indisponibilidad por fallas internas.

En el presente, la industria explora y desea mejorar la eficiencia, autonomía y confiabilidad de sus procesos, procedimientos, equipos y maquinarias de producción mediante la automatización, a través de PLC's, HMI y las redes de comunicación. Automatizar es importante para la industria porque le permite ser competitivo (Chuqui, 2019).



Es necesario establecer mejoras en el monitoreo y control de operación del motor, utilizando tecnologías robustas de la industria, que por medio del control automatizado nos brinden garantías de seguridad y respuesta inmediata ante un evento fortuito o inesperado que se pueda suscitar de manera repentina, y es ahí donde entrarían a funcionar y actuar inmediatamente el control programado de la automatización industrial, evitando posibles siniestros o catástrofes que terminen perjudicando la producción continua de los activos de la empresa y mermando sus índices de confiabilidad, disponibilidad y capacidad de producción calificada ante el respectivo ente regulador de los despachos de generación eléctrica a nivel nacional; el llevar un sistema confiable de registro de los datos de temperaturas de combustión del motor, nos mejoraría los índices del **Costo Variable de Producción**, el cual aproximadamente se encuentra en un 0.042 USD/kWh. Este valor es determinado mediante el cálculo del costo de mantenimiento por horas de trabajo del motor, así como el consumo de combustible, agua y aceite, entre otros; así mismo es importante mantener los valores de temperaturas de combustión entre los parámetros establecidos por el fabricante ya que estos valores nos determinarán el grado de eficiencia del motor, al tener un equipo más eficiente en la combustión, se reducen los niveles contaminantes de elementos nocivos y tóxicos que salen a la atmósfera luego de la combustión final, evitando así causar daños graves y deterioros al medio ambiente.

El control de estos parámetros y el estudio de los resultados le brindará a la empresa mejores ingresos por producción, lo cual a su vez se transforma en felicitaciones y estímulos por cumplimiento para los respectivos técnicos de campo. Considerando que los arranques, paradas, incrementos y decrementos de cargas súbitas, afectan a las partes móviles y fijas del motor, lo que se verá reflejado en la disminución progresiva de la vida útil de los componentes de los MCI de la central.

En la industria es trascendental implementar en ciertos procesos que se realizan en las máquinas, algunas tareas se hagan sin ser necesario que actúe el hombre, esto con el objetivo de optimizar recursos, ahorrar tiempo, dinero y en muchas veces reducir el gasto de la mano de obra (Sangoluiza, 2020).

## CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 1.1. Contextualización general del estado del arte

Entre las causas más comunes que generan las constantes paradas no planificadas o programadas por mantenimientos de los motores Hyundai 9H21/32 de la Central Santa Elena, se debe a las temperaturas de los gases de combustión de los cilindros, por lo tanto como se menciona anteriormente a lo largo del documento, esto repercute en una serie de eventos que ocasionan cambios repentinos en la programación de generación eléctrica, causando atrasos en la entrega inmediata de la carga requerida por el ente regulador, indisponibilidades del motor no planeadas, pérdidas de presión de vapor en el sistema debido a la falta de flujo másico de gases de escape hacia los recuperadores EGB, fallos en la planificación de desarrollo del plan diario de maniobras operativas como lavados de turbos de otros motores, problemas en el calentamiento del combustible fuel oil 4 por falta de calentadores EGB que generen vapor para satisfacer la demanda del sistema, y así otros puntos negativos que representan gastos no planificados y pérdidas no estimadas en la operación continua de los motores, fallos que pueden tener un costo menor si lo comparamos con el costo unitario del motor si llegará a sufrir siniestro por el árbol de problemas creados debido a un mal reporte y monitoreo de las temperaturas de gases de combustión del motor.

Con el transcurrir de los años y el acrecentamiento de nuevas y mejores tecnologías y técnicas automatizadas que nos sirven para llevar el control y monitoreo de un proceso en cada una de sus etapas y estados, la automatización industrial se acrecienta de manera inteligente forzando a las fábricas y empresas en desarrollo constante a utilizar elementos de mejor y más avanzada configuración tecnológica. La implementación de nuevas tecnologías para el proceso de la generación eléctrica es un punto de mucha importancia para poder garantizar que la Central Térmica pueda desarrollar todas sus operaciones necesarias y oportunas, y pueda alcanzar un gran desarrollo en los diferentes ámbitos socioeconómicos, ambientales, culturales; de ahí la importancia de una buena estrategia de planificación para la operación y mantenimiento utilizando como herramienta principal el control automatizado encaminado a la preservación de los equipos y máquinas principales y auxiliares que forman parte del proceso de producción de la energía eléctrica por medio de motores de combustión interna en la CSE.

El monitoreo y registro de las temperaturas y presiones de los gases de combustión de un motor a diésel de 4 tiempos es de suma importancia debido a que estos dos parámetros son indicadores muy significativos para determinar posibles fallas, por lo tanto un estudio demostró que la cantidad de fallas detectadas en los motores marinos en dependencia de la temperatura

de combustión, fueron de mayor relevancia que las reportadas en la medición de presiones pico o presiones de compresión y presión de inyección de combustible. Por lo cual se determina que las altas temperaturas de gases de combustión en los cilindros por lo general se las vincula con un alto nivel de gases y defectuoso estado de los inyectores, y que la disparidad entre los valores de presiones se relaciona con la baja hermeticidad de la cámara de combustión y el estado físico defectuoso de los elementos del sistema de alimentación (Edilberto Antonio Llanes Cedeño, 2019).

Conforme se ha mencionado anteriormente la temperatura de los gases de combustión influye de manera muy significativa en el desarrollo de los motores. Por medio de este parámetro y realizando un seguimiento y análisis riguroso se podría determinar si la mezcla estequiométrica es correcta en función del diseño del motor establecido por el fabricante, de no ser el caso la desviación entre los valores de temperatura está en relación la masa de aire en la cámara de combustión y el volumen de combustible. Si la masa de aire sobrepasa los niveles máximos se incrementa la humedad en el sistema, se reduce la combustión y disminuye la eficiencia, por lo cual disminuye la temperatura de los gases hasta valores no admisibles para el funcionamiento normal del motor. La temperatura está en dependencia de la composición de la mezcla, la calidad de expansión y el intercambio de calor en la expansión y en el escape (Luis Tipanluisa, 2017).

En este tipo de estudios es muy importante instalar la instrumentación adecuada que permita conocer el funcionamiento de los motores de combustión, de tal forma que se pueda determinar mejores estrategias de control para adaptar estos motores como fuente de energía que garantice la correcta operación y generación eléctrica. Todos los motores de combustión interna tienen un límite de temperatura para su normal operación, de exceder estos valores máximos o mínimos permisibles por el manual del fabricante, se puede desencadenar una cascada de eventos que derivan en problemas como el de la lubricación, al disminuir la viscosidad del aceite, se puede tener problemas de deformación de piezas mecánicas (Flavio Humberto Fernández Morales, 2013).

Para la fundamentación de las mediciones de temperatura, se utilizan diferentes métodos como mecánicos, eléctricos, por radiación, y se usan varios elementos de los cuales se puede resaltar los termómetros, termistores, pirómetros, y otros, que son adecuados para el control de esta.

Dentro de los métodos eléctricos se aplican

- a) Por cambios en la resistencia de un conductor (sonda de resistencia y semiconductores

como el **termistor**.

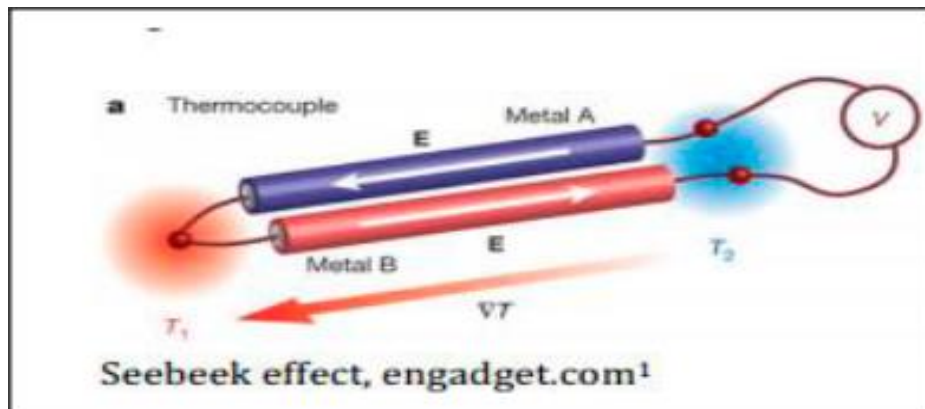
- b) Por diferencia de potencial creada a partir de la unión de dos metales como el **termopar**.
- c) Por medio de intensidad de radiación emitida como los **pirómetros de radiación**.

**En el año 2016**, se desarrolló una tesis para la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, EN LA FACULTAD DE TECNOLOGÍA MECÁNICA INDUSTRIAL, con el tema “DISEÑO DE UNA ESTACIÓN PARA LA MEDICIÓN DE TEMPERATURAS DE LOS GASES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA”; se concluye que “La medición de temperaturas permite calcular por medio de gráficas y tablas, los promedios dependiendo de la cantidad de termopares que se utilicen, los máximos y mínimos. Para el desarrollo de este proyecto se usó termocuplas tipo K, basándose en los criterios de facilidad de conexión, rango de temperatura el cual es hasta máximo 1300 °C, es ideal para trabajos en ambientes sometidos a altos niveles de vibración y de rápida disponibilidad del elemento en el mercado. (Sabogal, 2016).

#### **Efecto Seebeck y Peltier**

Hay una propiedad de la materia que consiste en que cuando se unen dos metales distintos y se calienta una unión al tiempo que la otra se enfría, se genera corriente eléctrica y a este fenómeno se le denomina efecto Seebeck. Como se ha comprobado no hace falta que dichos metales estén soldados simplemente en contacto. El efecto Seebeck no tiene nada que ver con estas instalaciones de gran producción de electricidad, sino que es un efecto de muy pequeña potencia y rendimiento, quedando su utilización actualmente sólo para instrumentación de medida de temperatura. (Rivera, 2008).

**Figura 6:** Efecto Seebeck



Fuente: (Sabogal, 2016)

Por lo tanto, se podría determinar que la aplicación del *Efecto Seebeck* es la transformación continua de los valores de la temperatura en electricidad. Este efecto se da por la diferencia entre los valores de temperatura de los dos metales que interactúan entre ellos.

**En el año 2012**, llegaron a Ecuador los motores estacionarios de combustión interna de procedencia alemana, de la marca Mak Caterpillar, modelo 16CM43C, de potencia instalada de 14001 kW, acoplados a un Generador eléctrico de marca AVK de 17000 kVA a 13800 Voltios; estos electrógenos fueron montados en una Central Térmica en Santa Elena. Los motores trajeron instalados en cada uno de los 16 cilindros una tecnología basada en sensores como las **termocuplas tipo K** para la captación, registro y control de las temperaturas de gases de combustión interna. Según las referencias técnicas del fabricante recomienda el uso de este tipo de termocuplas para estos sistemas, debido a las condiciones extremas de trabajo a la cual es sometido el motor, considerando las condiciones ambientales normales y extremas de la región.

Las termocuplas fijadas en los 16 cilindros para la medición de temperaturas de combustión cumplen con el principal requisito que se necesita de medir la temperatura dentro de los rangos específicos, sin llegar a sufrir averías o fallos en la medición, evitando así tener datos erróneos y falsos, que puedan ocasionar pérdidas de producción innecesarias durante la operación en condiciones normales para el motor. Es ahí donde basados en la experiencia del uso de estos sensores y su efectividad al momento de realizar la medición de los datos de temperaturas y su control efectivo en el envío de la data para ejercer el control y monitoreo automático que garantice el cuidado y la seguridad tanto del motor, del operario y de la producción.

**En el año 2017**, por medio de los especialistas Edilberto Llanes, Juan Rocha, Luis Tipanluisa, desarrollaron un estudio acerca del análisis comparativo de gases residuales productos de la combustión de los motores Hyundai 9H21/31, en una estación de Generación Eléctrica en Bayamo, Granma – Cuba, en la cual se utilizó un método multifactorial tomando como muestra 16 motores de una Bahía. En este estudio se observó el comportamiento de los diferentes gases de combustión producto de la reacción química que ocurre en la parte interna de la cámara de combustión; utilizando un análisis de varianza se pudo determinar una comparativa de las concentraciones de los gases y su influencia para determinar posibles fallos de los sistemas. (Luis Tipanluisa, 2017).

**En el año 2019**, se desarrolló un trabajo de investigación con el tema “Detección de fallas en motores de combustión mediante indicadores de temperatura y presión de inyección”, por los especialistas Edilberto Cedeño, Yans Guardia, Alain Andino, Santiago Cevallos y Juan Rocha, éste trabajo tuvo como objetivo proponer los indicadores para la detección temprana de fallas en los

motores de combustión interna de los grupos electrógenos instalados en la Provincia Cubana Granma; para éste estudio se utilizó un diseño multifactorial usando como factor principal 16 motores Hyundai 9H21/32 de 1.7 MW. Luego de varias pruebas, el análisis e interpretación de resultados se obtiene que el número de fallas detectadas por la medición efectiva de las temperaturas de gases de combustión fueron más significativas. Además, el estudio muestra que durante el cumplimiento de las funciones de los Grupos Electrógenos estos están sometidos a diferentes exigencias relacionadas con la producción eléctrica, las cuales ocasionan su deterioro y reducción de capacidad de potencia máxima. El deterioro comprende todas las formas de desgaste y desgarradura ocasionadas como fatiga, corrosión, abrasión, erosión y degradación. (Edilberto Antonio LLanes Cedeño, 2019).

**En el año 2019**, se instalaron sensores de temperatura como termocuplas tipo K, para la medición de temperaturas en la cada etapa de un gasificador Downdraft Gek, las cuales alcanzan valores aproximado a los 700 °C, y poder llevar de mejor manera el control de gasificación. En conclusión, se obtiene que, para la medición de temperaturas, es necesaria la implementación de un sistema de instrumentación con sensores termopares que permiten llevar un mejor control y monitoreo de la temperatura del gas. (Hormanza Rodriguez, 2019).

**En el año 2019**, en la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central de la Ciudad de Bogotá - Colombia, se desarrolló un instrumento de medición de temperaturas a través de termocupla del tipo k, en este diseño se recomienda el uso de este tipo de termocupla por su efectividad en la medición de temperatura dentro de la industria en un proceso estándar pero debe ir acoplado a un módulo convertidor analógico para poder visualizar el valor de la temperatura en una pantalla digital. (Yeraldyn Grajales Erazo, 2019).

Sobre los antecedentes expuestos entonces podremos determinar que, para la medición de gases de temperaturas, se recomienda usar sensores termopares los cuales posean características técnicas capaces de soportar las condiciones específicas de los cambios de la materia al sufrir cambios por factores físicos. Siendo estos valores registrados por el sensor, pero es necesario contar con un convertidor del tipo analógico que convierta los datos en lecturas legibles al elemento controlador como en este caso un PLC.

## 1.2. Proceso investigativo metodológico

El estudio del fenómeno en desarrollo se realiza a través de una investigación con enfoque mayormente cualitativo, basado en las características técnicas del diseño del motor y la mejora de sus funcionalidades a través de la implementación de nuevas y mejores tecnologías robustas de la industria en el control automatizado. Se planteará un análisis con un enfoque cuantitativo desde el punto de vista productivo y el análisis de datos históricos de los parámetros de temperaturas de combustión del motor, revisando sus tendencias de máximos y mínimos registrados en bitácoras y archivos guardados en los repositorios del departamento de operaciones, con los datos almacenados se realizará una investigación aplicada en razón de que se estudiará las diferentes causas y efectos de la importancia y magnitud de llevar un buen registro y monitoreo eficaz y eficiente del parámetro físico de las temperaturas de gases de combustión de cada cilindro del motor, así como los posibles efectos de su desviación fuera de los rangos establecidos por el fabricante del motor.

El proyecto se fundamenta en métodos de observación, experimentación y medición para poder adquirir y acondicionar los datos que permitan definir los parámetros de trabajo de los instrumentos de automatización electrónica.

Se realizará un pequeño análisis acerca de las causas de falla y sus efectos al observar temperaturas fuera del valor promedio establecido y las maniobras inmediatas a realizar por el personal técnico de campo.

Se efectuará un análisis del balance económico para representar los beneficios, las ventajas y desventajas de una inversión en calidad de las garantías de eficiencia, rendimiento y seguridad que puede brindar la implementación del proyecto.

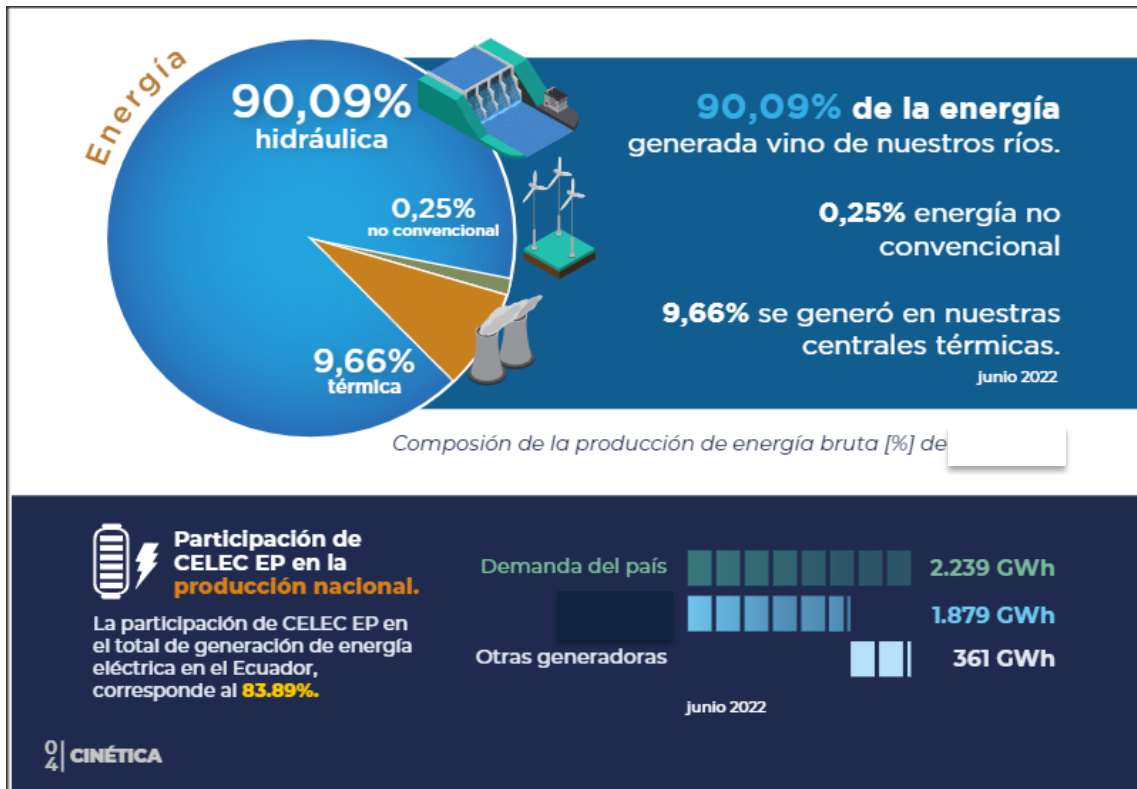
La población consta de 53 motores de combustión interna de la marca Hyundai 9H21/32 de la Central Termoeléctrica Santa Elena, tomando una muestra aleatoria entre 1 a 4 motores que componen una planta o bloque de generación eléctrica.

Se utilizarán un método como:

- Consulta en el manual del fabricante.
- Consultas bibliográficas.
- Observaciones de campo.
- Análisis de tendencias históricas.
- Entrevistas a técnicos de la Central de Generación.

El presente proyecto de investigación se realizará en la Provincia de Santa Elena, en el Cantón Santa Elena, aplicado a una Central Térmica de Generación Eléctrica que aporta su energía al Sistema Nacional Interconectado a nivel de 138 kV, como tesis previa a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Máster en Electrónica y Automatización, en la Universidad Tecnológica de Israel.

**Figura 7:** Composición de la producción de energía bruta del Ecuador



Fuente: (CELEC EP, 2022)

Para el desarrollo de este proyecto se hace uso elementos electrónicos y de instrumentos de aplicación industrial, algunos de ellos son aprovechados por ser parte inédita de la configuración del motor y otros son repuestos de compras hechas que permanecen en el stock y almacenamiento de la Central Santa Elena. Se hará el uso de termocuplas tipo k para la medición física de la temperatura interna de combustión en los cilindros, PLC's SIEMENS S7-300 y S7-1200, convertidores de temperatura de entradas analógicas, pantalla HMI Schneider Pro-Face, conductores con recubrimiento térmico, entre otros elementos.



## CAPÍTULO II: PROPUESTA

### 2.1 Fundamentos teóricos aplicados

#### Introducción

Un motor de combustión interna es una máquina o dispositivo que transforma la energía química que se obtiene del combustible que se quema en el interior de una cámara de combustión, en energía mecánica. Un motor de combustión interna es un conjunto de elementos mecánicos que permiten obtener energía mecánica a partir del estado térmico de un fluido de trabajo que se ha generado en su propio seno mediante un proceso de combustión. (Antonio Rovira de Antonio, 2015).

Para proceder con la ejecución e implementación de este proyecto que es “CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL MOTOR DE UN GENERADOR EN UNA TERMOELÉCTRICA DE SANTA ELENA”, fue necesario investigar información relacionada con cada uno de los diferentes dispositivos que se va a implementar y han sido seleccionados de acuerdo con sus características de diseño técnico y capacidad tecnológica necesaria y útil para cumplir con los objetivos establecidos.

#### Descripción breve del motor Hyundai 9H21/32

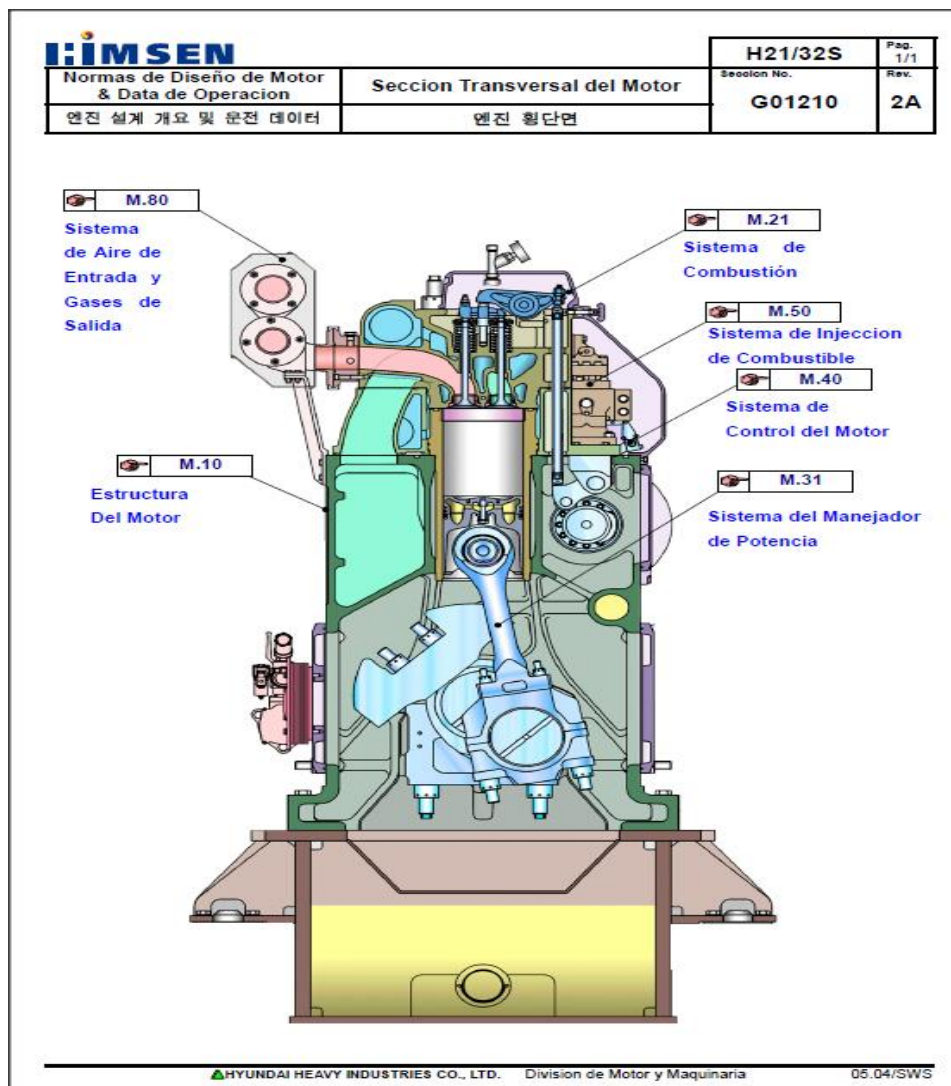
Los motores de combustión interna instalados en la Central Térmica Santa Elena que se usan para el proceso de generación eléctrica son de 9 cilindros en línea, los cuales tienen 320 mm de carrera del pistón entre el PMI y el PMS, con diámetro interno de la cámara de combustión de 210 mm, para describir un ratio de compresión de 17:1. El motor genera una potencia de 200 kW por cilindro, por lo que entrega al generador una potencia bruta de 1800 kW. La compresión pico máxima por cilindro a mayor carga es de 200 bar con una diferencia de temperaturas máximas y mínimas de +/- 50°C de diferencia entre la suma promedio de todos los cilindros, esto bajo condiciones normales de operación y rangos establecidos por el fabricante Hyundai. El cigüeñal del motor describe una velocidad de giro angular de 900 rpm a una frecuencia de 60 Hz.

Los grupos electrógenos constan de un motor de combustión interna acoplados cada uno a un generador eléctrico para el efecto de la transformación de la energía mecánica producida por el motor en energía eléctrica entregada por el generador, ambos de la marca Hyundai.

El motor consta de varios sistemas que tienen que trabajar en sincronismo para su eficiente funcionamiento, estos sistemas son: el sistema de combustible bombas-inyectores, sistema de

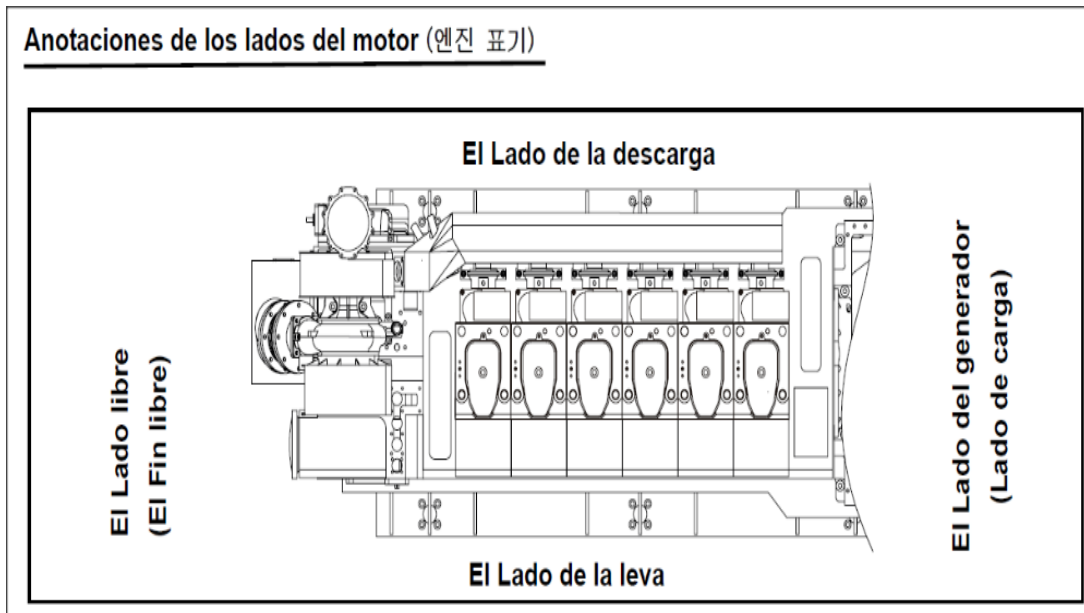
entrada de aire para la combustión compresor-válvulas, el sistema de gases de escape turbina-válvulas, el sistema de aceite para la lubricación mecánica, el sistema de agua HTW y LTW para el enfriamiento de parte mecánicas y fluidos, el sistema de arranque neumático motor de arranque, el sistema de control de potencia biela-pistón, sistema de control del motor gobernador-fuel rack. El comportamiento del motor está en dependencia de las condiciones de operación y estado físico de sus partes mecánicas y los sistemas que complementan su funcionamiento óptimo. El fabricante recomienda de manera muy severa mantener y registrar el comportamiento del motor con mucha frecuencia, para proveer una guía fiable y mejorar el servicio de mantenimiento oportuno, para esto se debe de analizar de manera continua las tendencias y parámetros descritos y registrados en las memorias de operación, esto ayuda en diagnosticar la condición del motor.

**Figura 8:** Estructura del motor Hyundai 9H21/32



Fuente: (Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., 2011)

**Figura 9:** Lados del motor Hyundai 9H21/32



Fuente: (Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., 2011)

### **HMI Pro-Face GP3600**

Es muy importante destacar además que el conocimiento del operador en cuanto a la tarea de monitoreo, supervisión y revisión de los parámetros operativos que reflejan el estado del motor debe ser el adecuado, oportuno y eficaz, para permitir la toma de decisiones rápidas y acertadas cuando las variables del sistema empiece a cambiar y ubicarse en niveles máximos y mínimos permitidos por el fabricante. Por esta razón es necesario escalar los parámetros a medir hacia una pantalla de visualización HMI (Interfaz Hombre Máquina).

Para la visualización de los parámetros de temperaturas de gases de combustión del motor Hyundai 9H21/32, se utilizará la misma pantalla HMI PRO-FACE GP3600-T1-AF de la serie 3000 de la marca Schneider Electric, como vemos en la **figura 10**, el cual utiliza un módulo esclavo PRO-FACE modelo 3383202 y posee un puerto de conexión por cable Profibus (**figura 11**), estos equipos ubicados en el panel principal del motor, en el cual se crearán nuevas pantallas para en ellas mostrar los datos instantáneos de temperaturas de combustión de los 9 cilindros, así como el rango de máximos y mínimos calculados, tendencias, históricos y alarmas.

Figura 10: Pantalla del panel eléctrico PRO-FACE (GP3600) del motor Hyundai

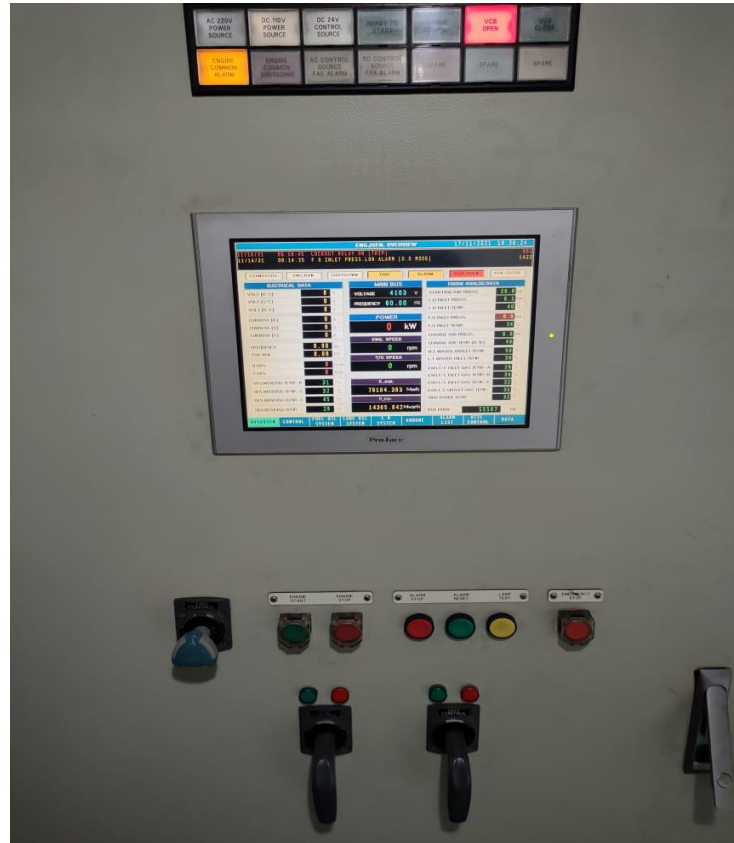
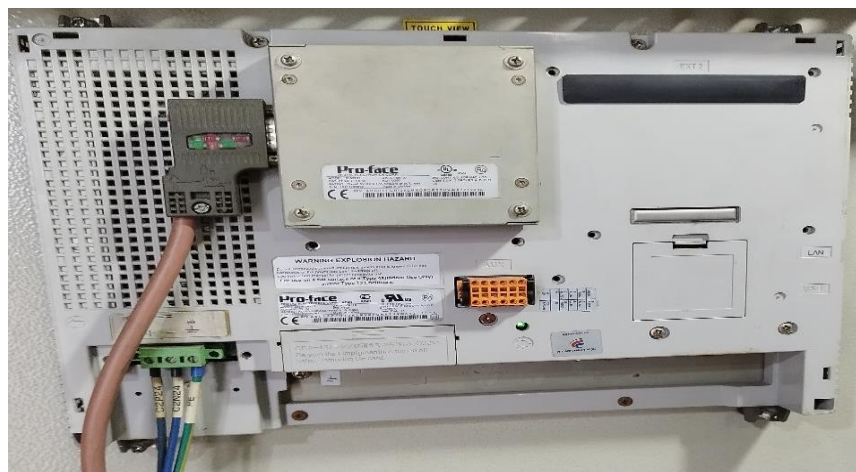


Figura 11: HMI PRO-FACE (GP3600) del motor Hyundai



Para configuraciones y programación del HMI Pro-Face, se utiliza el software de fabricación japonés GP-Pro Ex como se muestra en las **figuras 12 y 13**, el cual es de múltiples plataformas, un software HMI de primer nivel que admite soluciones dedicadas y abiertas HMI (basadas en PC). Este software es compatible con los datos del pasado y tiene muchas funcionalidades que ayudan a disminuir el tiempo de desarrollo; es fácil de utilizar y llevar al usuario a través del proceso de desarrollo paso a paso con una gama muy amplia de herramientas, aplicaciones y

funciones que permiten obtener diagnósticos amplios, lo cual permite simulaciones en el programa GP-Pro Ex capaz de manejar las aplicaciones HMI más exigentes. (Schneider Electric Japan Holdings Ltd, 2022).

Figura 12: Programa GP-Pro EX

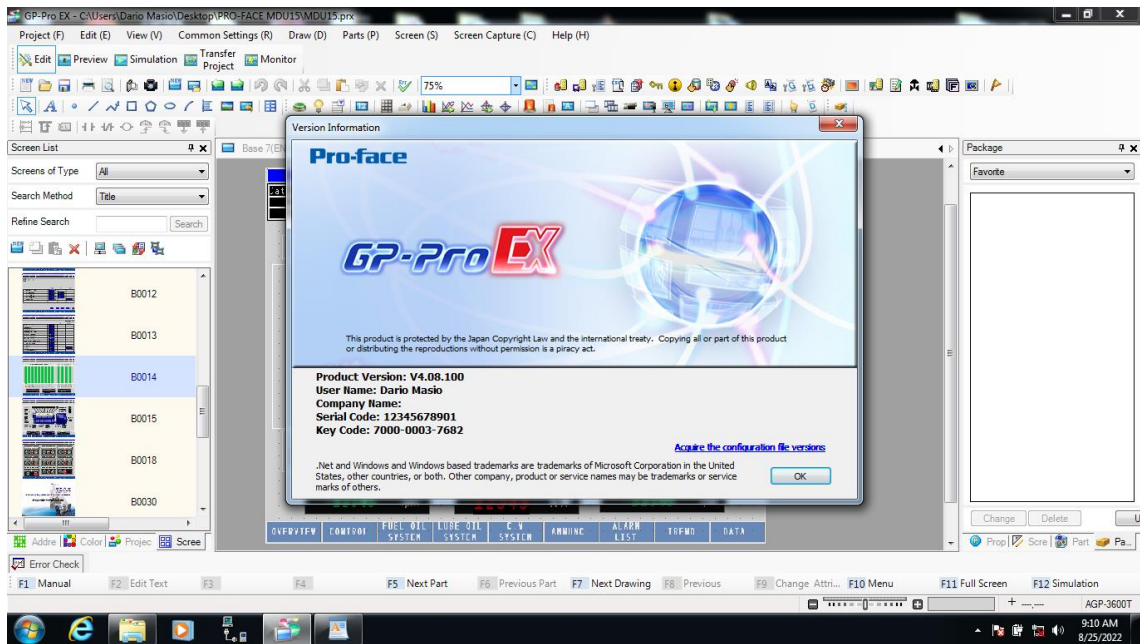
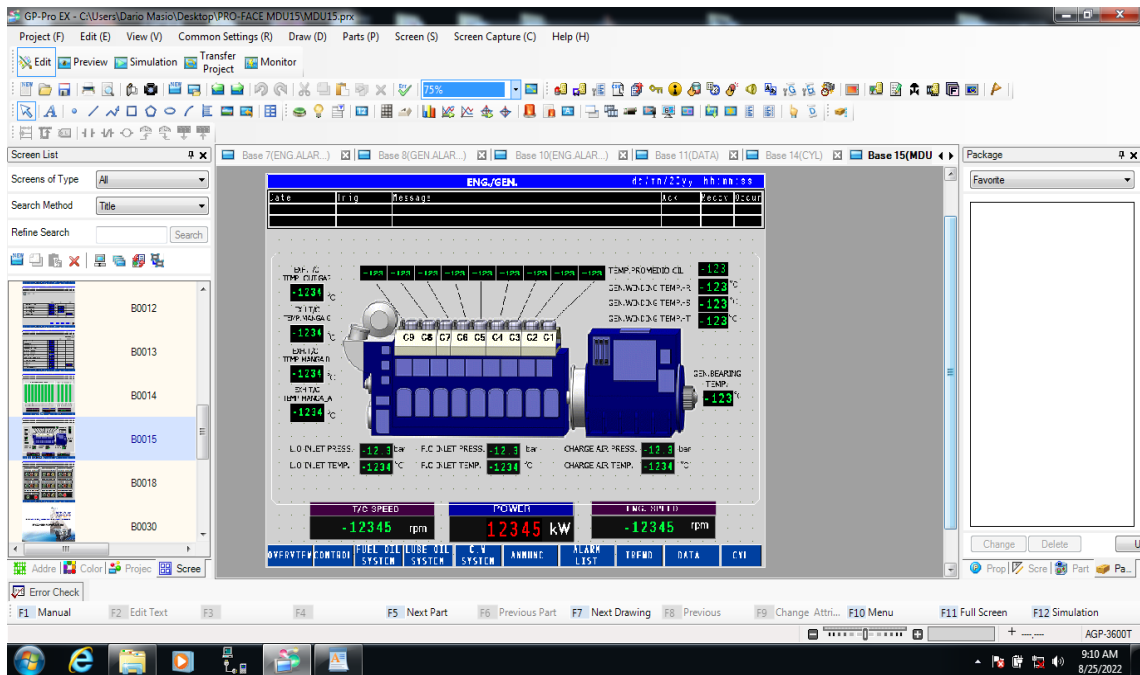


Figura 13: Programación de pantalla de temperaturas de gases en GP-Prox Ex



## **Controlador Lógico Programable PLC SIMATIC S7-1200**

En el mundo de la industria y la automatización, el uso de los autómatas programables o comúnmente conocidos como PLC (Controladores Lógicos Programables), son los elementos de control automatizados dominantes en la actualidad, por lo cual los ingenieros buscan día a día desarrollar mejores softwares para brindarle al controlador mejores capacidades y maximizar el resultado de sus funciones. Estos dispositivos de tecnología moderna, para ejercer su tarea de control automático se deben programar en función de los diferentes elementos de entrada (sensores) que demande el proceso para aplicar su lógica de automatización, por lo tanto en todo proyecto de automatización se requerirá de sensores, transductores, convertidores, y otros que nos ayudan en la recolección de los datos de campo avisando al controlador lógico cual es el estado físico y posición de las diferentes variables captadas al instante durante la medición en el tiempo.

Para el desarrollo e implementación de este proyecto de automatización de mediciones de temperaturas de combustión, se ha seleccionado el PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1214c DC/DC/DC 6ES7 214-1AG31-0XB0, este autómata programable se compone 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. El lenguaje de programación se basa en KOP o lenguaje de contactos que es el primer lenguaje empleado para la programación de autómatas, el cual facilita la tarea de leer y comprender programas de control. En este lenguaje se integrarán los datos que se obtienen desde el punto físico donde ocurre el fenómeno de transformación, a través de las diferentes entradas discretas y analógicas, la información será captada a través de los sensores de temperatura o termopares y convertida la señal digital en analógica por medio del transductor o convertidor.

El PLC SIEMENS S7-1200, brinda muchas ventajas y beneficios para el desarrollo e implementación del proyecto, tales como, espacio físico que ocupa en el LCP de la MDU, compatibilidad con los elementos del sistema del motor, ingeniería amigable, simplicidad en la programación, mayor flexibilidad de desarrollo, implementación y expansión futura, facilidad para la adquisición de repuestos y mantenimiento. Este se conectará al HMI principal del motor por medio de cable Ethernet.



**Figura 14: PLC SIEMENS S7-1200**



Fuente: (SIEMENS, siemens.com, 2022)

Los controladores SIMATIC S7-1200 de SIEMENS son la elección inteligente para soluciones de automatización compactas con opciones de comunicación ampliadas y funciones tecnológicas integradas; estos autómatas están disponibles en versiones estándar y de seguridad. Son la opción ideal cuando se trata de realizar tareas de automatización de forma flexible y eficiente en el rango de rendimiento bajo a medio y presentan una amplia gama de funciones tecnológicas y comunicación integrada, así como un diseño especialmente compacto y que ahorra espacio. (SIEMENS, siemens.com, 2022).

Un PLC por su capacidad técnica puede ser usado ampliamente en una industria. En la actualidad con las tecnologías disponibles, los PLC tienen una gran ventaja al momento de la automatización y control de las variables de un sistema; el PLC se utiliza en las instalaciones en las cuales es necesario un proceso de maniobra, control y señalización, donde es muy útil por ser de un tamaño menor, con simplicidad de montaje y de fácil configuración para adaptarse a los diferentes cambios que se requieran durante el funcionamiento de la maquinaria y su análisis de estado (Vladimir, 2020).

## Controlador Lógico Programable PLC SIEMENS SIMATIC S7-300

Como parte del proceso de la ejecución y desarrollo de este proyecto se aprovechan los recursos ya disponibles en la planta y en el motor, como es el caso del uso del PLC SIEMENS 300 (figura 15), el cual es el controlador lógico ya instalado en el panel eléctrico principal del motor Hyundai 9H21/31 y posee una conexión de protocolo PROFIBUS.

Por medio de esta conexión el HMI Pro-Face se comunica con el PLC S7-300 para poder extraer los parámetros como son la potencia, velocidad del motor, del turbo cargador, temperaturas de los devanados del generador, entre otros datos de interés para que sean mostrados en las nuevas ventanas que se crearán en el HMI y puedan ser visualizados y analizados como referencia entre la carga del motor y el incremento de la temperatura de gases de combustión de los 9 cilindros.

**Figura 15:** PLC SIEMENS SIMATIC S7-300



El SIMATIC S7-300 se utiliza en muchas aplicaciones en todo el mundo y ha demostrado su eficacia millones de veces. Los controladores universales SIMATIC S7-300 ahorran espacio de instalación y cuentan con un diseño modular. Se puede utilizar una amplia gama de módulos para expandir el sistema de forma centralizada o para crear estructuras descentralizadas de acuerdo con la tarea en cuestión, y facilita un stock rentable de piezas de repuesto. SIMATIC es conocido por su continuidad y calidad. (SIEMENS, siemens.com Sitio web mundial , 2022).

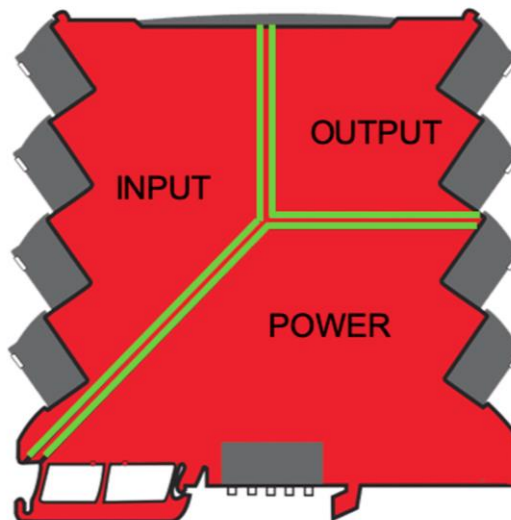


### Convertidor de Temperatura TC Insolated 3111

Los transmisores de temperatura ofrecen una conversión confiable y precisa de señales de temperatura de los diferentes procesos de la industria a salidas analógicas o digitales.

Los convertidores de temperatura de la serie 3000 están diseñados y clasificados para trabajar en ambientes de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo cual convierte al dispositivo en una buena elección para aplicaciones en donde la temperatura del medio ambiente es muy cambiante, este tipo de transmisores poseen un bajo coeficiente de temperatura, con lo cual se logra mediciones más precisas incluso cuando el panel eléctrico se expone a diferentes variaciones de temperatura ambiente, por lo que brinda mayor confianza de la señal de salida sin recalibraciones constantes. (RS Corporations, 2022).

**Figura 16:** Convertidor PR 3111 aislado galvánicamente la entrada la salida y alimentación

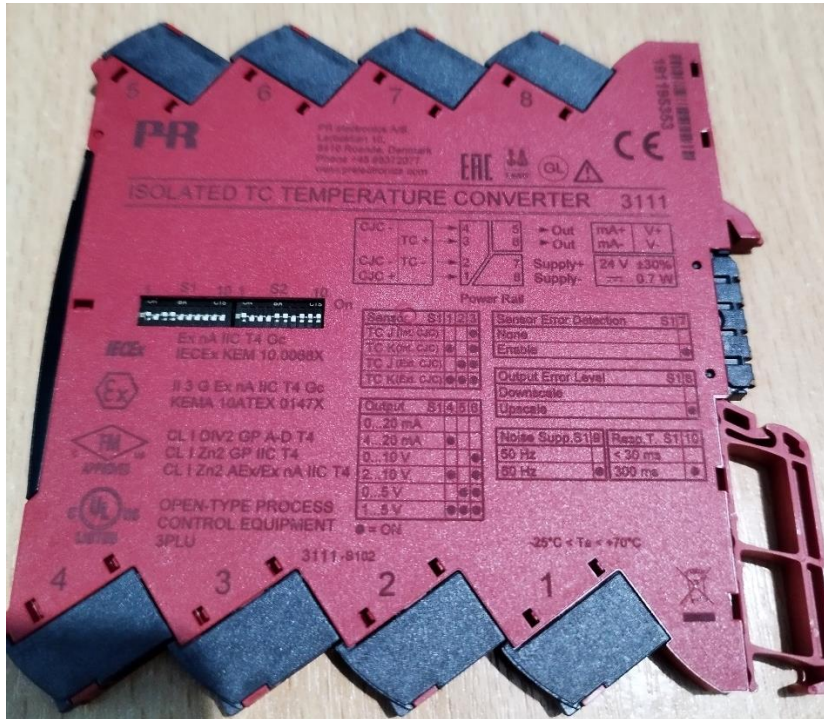


Fuente: (Proeléctrico, 2019)

Es necesario un buen aislamiento galvánico debido al bucle de masa o de tierra, el cual es una corriente no deseada que circula por medio de un conductor que se une entre dos puntos, esta corriente es producida por el diferencial de potencial entre las tierras conectadas, esta causa es una interferencia muy frecuente de ruido en sistemas y señales típicos de la industria.

En la implementación de los elementos del proyecto se utilizará el convertidor de temperatura ISOLATED TC de la serie 3111.

**Figura 17:** Convertidor de temperatura PR 3111



La serie 3000 le proporciona elevada precisión del 0.05% en todos los rangos de señales, garantizar un aislamiento de 2.5 kVCA y excelente inmunidad al ruido, transmite los cambios rápidos en las mediciones del proceso al PLC / DCS rápido tiempo de respuesta y baja deriva térmica en tan solo 6 mm, posee un tiempo de respuesta de <5 / <7 ms (> 100 Hz de ancho de banda de señal) para señales analógicas, <30 ms para medición de temperatura y >60 ms para señal HART, mediciones precisas de señales de par de aceleración y temperaturas de termopar, bajo coeficiente de temperatura superior al 0.01% / °C en un amplio intervalo de -25 a 70°C para obtener mediciones precisas, precisión a largo plazo superior al 0.1% / 3 años sin necesidad de volver a calibrar. (PR electronics S.L, 2022).

Debido a las especificaciones de diseño técnico, el convertidor PR de la serie 3111 en su página oficial indica las siguientes aplicaciones y características técnicas:

- Este convertidor 3111 de temperaturas, realiza controles de sensores de temperatura estándar TC, J y K, el cual brinda una salida de tensión o de corriente analógica aislada.
- Su sistema de aislamiento de 3 puertos ofrece supresión de sobretensiones y protege el sistema de control contra ruidos, y excelente relación de señal / ruido >60 dB.
- Útil para aplicaciones marinas.
- Posee alimentación flexible de 24 VCC (+/-30%) a través de conectores y power rail.
- Brinda un tiempo rápido de <30 ms con detección de error si se selecciona.

- Excelente precisión de conversión en todos los rangos disponibles, superior al 0.05% del intervalo.
- Posee un led color verde el cual nos indica el estado de trabajo y del sensor de entrada, y todos los terminales están protegidos contra sobretensión y error de polaridad.
- Cumple con la norma NAMUR NE 21.
- Ofrece un óptimo rendimiento en las mediciones de entornos CEM adversos.
- Alto aislamiento galvánico de 2.5 kVA.

### **Sensor de temperatura termocupla tipo K**

Como primer paso debemos entender los principios científicos de los sensores electrónicos y sus características físicas que gracias a esa capacidad pueden ser usados y aplicados en un determinado proceso y sistema para ayudarnos a conocer, y comprender cuál es el estado de lo que sucede internamente dentro del fenómeno físico de la transformación de la materia.

Los sensores electrónicos son elementos basados en principios físicos que con el paso del tiempo y la tecnología nos han ayudado a medir con mayor y mejor exactitud las diferentes magnitudes físicas de un determinado fenómeno o evento. Un sensor es un dispositivo que detecta cambios en el entorno y responde a ciertas salidas de otro sistema. Es necesario que los sensores tengan su acondicionamiento de señal debido a la baja intensidad que emiten, por lo cual es importante equilibrar sus características con las del circuito, para permitirles adquirir, acondicionar, procesar y actuar con las señales. Posiblemente la temperatura sea uno de los parámetros físicos más comúnmente estudiados y analizados dentro del mundo de la electrónica.

Un termopar es un dispositivo para la medición de la temperatura, basado en efectos termoeléctricos. Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura, que origina una fuerza electromotriz.

El principio de funcionamiento de los sensores termoeléctricos se basa en los descubrimientos de Thomas Johann Seebeck (1822), Jean C.A. Peltier (1834) y William Thompson (1847), denominados efecto Seebeck, efecto Peltier y efecto Thompson. (Edwin Jhovanny Alzate Rodríguez, 2007).

Las termocuplas se basan en el hecho de que la corriente del orden de milivoltios fluye en un circuito continuo de dos alambres metálicos diferentes. La señal varía con la temperatura de

“juntura caliente”. Las temperaturas de hierro-constantán son comúnmente usadas en el rango de temperaturas de 0 a 1300°C. (Yedadyin Grajales Erazo, 2019).

Figura 18: Definición estándar de colores en termopar

ANSI Code	ANSI MC 96.1 Colour Coding		Alloy Combination		Comments Environment Bare Wire	Maximum T/C Grade Temp. Range	EMF (mV) Over Max. Temp. Range	IEC 584-3 Colour Coding		IEC Code
	Thermocouple Grade	Extension Grade	+ Lead	- Lead				Thermocouple Grade	Intrinsically Safe	
J			IRON Fe (magnetic)	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	Reducing, Vacuum, Inert. Limited Use in Oxidising at High Temperatures. Not Recommended for Low Temperatures.	-210 to 1200°C -346 to 2192°F	-8.095 to 69.553			J
K			CHROMEGA™ NICKEL-CHROMIUM Ni-Cr	ALOMEGA™ NICKEL-ALUMINUM Ni-Al (magnetic)	Clean Oxidising and Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Wide Temperature Range. Most Popular Calibration	-270 to 1372°C -454 to 2501°F	-6.458 to 54.886			K
T			COPPER Cu	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	Mild Oxidising, Reducing Vacuum or Inert. Good Where Moisture Is Present. Low Temperature & Cryogenic Applications	-270 to 400°C -454 to 752°F	-6.258 to 20.872			T
E			CHROMEGA™ NICKEL-CHROMIUM Ni-Cr	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	Oxidising or Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Highest EMF Change Per Degree	-270 to 1000°C -454 to 1832°F	-9.835 to 76.373			E
N			OMEGA-P™ NICROSIL Ni-Cr-Si	OMEGA-N™ NISIL Ni-Si-Mg	Alternative to Type K. More Stable at High Temps	-270 to 1300°C -450 to 2372°F	-4.345 to 47.513			N
R	NONE ESTABLISHED		PLATINUM-13% RHODIUM Pt-13% Rh	PLATINUM Pt	Oxidising or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature	-50 to 1768°C -58 to 3214°F	-0.226 to 21.101			R
S	NONE ESTABLISHED		PLATINUM-10% RHODIUM Pt-10% Rh	PLATINUM Pt	Oxidising or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature	-50 to 1768°C -58 to 3214°F	-0.236 to 18.693			S
U	NONE ESTABLISHED		COPPER Cu	COPPER-LOW NICKEL Cu-Ni	Extension Grade Connecting Wire for R & S Thermocouples, Also Known as RX & SX Extension Wire.					U
B	NONE ESTABLISHED		PLATINUM-30% RHODIUM Pt-30% Rh	PLATINUM-6% RHODIUM Pt-6% Rh	Oxidising or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temp. Common Use in Glass Industry	0 to 1820°C 32 to 3308°F	0 to 13.820			B
G* (W)	NONE ESTABLISHED		TUNGSTEN W	TUNGSTEN-26% RHENIUM W-26% Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F). Not for Oxidising Atmosphere	0 to 2320°C 32 to 4208°F	0 to 38.564	NO STANDARD USE ANSI COLOUR CODE		G (W)
C* (W5)	NONE ESTABLISHED		TUNGSTEN-5% RHENIUM W-5% Re	TUNGSTEN-26% RHENIUM W-26% Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F). Not for Oxidising Atmosphere	0 to 2320°C 32 to 4208°F	0 to 37.066	NO STANDARD USE ANSI COLOUR CODE		C (W5)
D* (W3)	NONE ESTABLISHED		TUNGSTEN-3% RHENIUM W-3% Re	TUNGSTEN-25% RHENIUM W-25% Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F). Not for Oxidising Atmosphere	0 to 2320°C 32 to 4208°F	0 to 39.506	NO STANDARD USE ANSI COLOUR CODE		D (W3)

\* Not official symbol or standard designation

\* JIS colour code also available.

Fuente: (Sabogal, 2016)

### Descripción del funcionamiento de una termocupla tipo K

La termocupla tipo K consta de una aleación de 90% de níquel y 10% de cromo, es el conductor positivo y un conductor compuesto de 94% de níquel, 2% de aluminio, 3% de manganeso y 1% de silicio como elemento negativo. Este termopar puede medir hasta 1200°C. Ya que el níquel lo hace bastante resistente a la oxidación. Es utilizado a menudo en hornos de tratamientos térmicos (López Velasco Walter Estuardo, 2011).

**Figura 19:** Lista principal de tipos de termocuplas

Calibración	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Rango de temperatura habitual	Línea de error estándar (elija la más grande)	Línea de error especial (elija la más grande)
Tipo T	Cobre	Constantan	-200°C~0°C	+/-1°C ou +/-1,5%	--
Tipo T	Cobre	Constantan	0°C~370°C	+/-1°C ou +/-0,75%	+/-0,5°C ou +/-0,4%
Tipo J	Hierro	Constantan	0°C~760°C	+/-2,2°C ou +/-0,75%	+/-1,1°C ou +/-0,4%
Tipo E	Cromel	Constantan	0°C~870°C	+/-1,7°C ou +/-0,5%	+/-1,0°C ou +/-0,4%
Tipo K	Cromel	Alumel	0°C~1260°C	+/-2,2°C ou +/-0,75%	+/-1,1°C ou +/-0,4%
Tipo N	Nicrosil	Nisil	0°C~1260°C	+/-2,2°C ou +/-0,75%	+/-1,1°C ou +/-0,4%
Tipo S	90% Platino / 10% Rhinate	Pt 100%	0°C~1480°C	+/-1,5°C ou +/-0,25%	+/-0,6°C ou +/-0,1%
Tipo R	87% Platino / 13% Rhinate	Pt 100%	0°C~1480°C	+/- 1,5°C ou +/-0,25%	+/-0,6°C ou +/-0,1%
Tipo B	70% Platino / 30% Rhinate	94% Platino / 06% Rhinate	870°C~1700°C	+/- 0,5%	+/-0,25%

Fuente: (Alutal, 2022)

El termopar de tipo K se refiere a algún sensor de temperatura que contenga conductores de Chromel y Alumel, los cuales deben de cumplir con los requisitos de salida según la Norma ANSI/ASTM E320 o IEC 60584 para termopares tipo K, posee una sensibilidad aproximada de 41  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  y es de buena resistencia a la oxidación.

**Figura 20:** Código de colores típicos para conductores termopares tipo k

Combinación de Conductores		Cambio aproximado de las F.E.M. Generadas por grado celsius con la unión de referencia a 0°C $\mu$ V			Rango de funcionamiento aproximado de temperatura de la unión de medida		Tolerancias de salida de termopar a IEC 60584-1			
Conductor +	Conductor -	100°C	500°C	1000°C	Continuo	Puntual	Tipo	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Niquel - Cromo También conocido como: Chromel™, Thermokanthal KP™, NiCr, T1™, Tophel™	Niquel - Aluminio (magnético) También conocido como: Ni-Al, Alumel™, Thermokanthal KN™, T2™, NiAl™	42	43	39	0 a +1100°C	-180 a +1350°C	Rango de Temperatura Tolerancia Rango de Temperatura Tolerancia	-40°C a +375°C $\pm 1.5^\circ\text{C}$ 375°C a 1000°C $\pm 0.004 \cdot  t $	-40°C a +330°C $\pm 2.5^\circ\text{C}$ 333°C a 1200°C $\pm 0.0075 \cdot  t $	-167°C a +40°C $\pm 2.5^\circ\text{C}$ -200°C a - 167°C $\pm 0.015 \cdot  t $

1. La tolerancia está expresada como desviación en °C ó en función de la temperatura medida.  
2. Los termopares se suelen suministrar de forma que cumplan las tolerancias especificadas en la tabla de temperaturas por encima de -40°C. No obstante, estos materiales pueden no estar dentro de tolerancia para bajas temperaturas indicadas en la clase 3 para los termopares tipo T, E y K. Si los termopares deben cumplir la tolerancia clase 3, así como los de clase 1 ó clase 2, el cliente debe indicar este dato, ya que es preciso seleccionar el material.

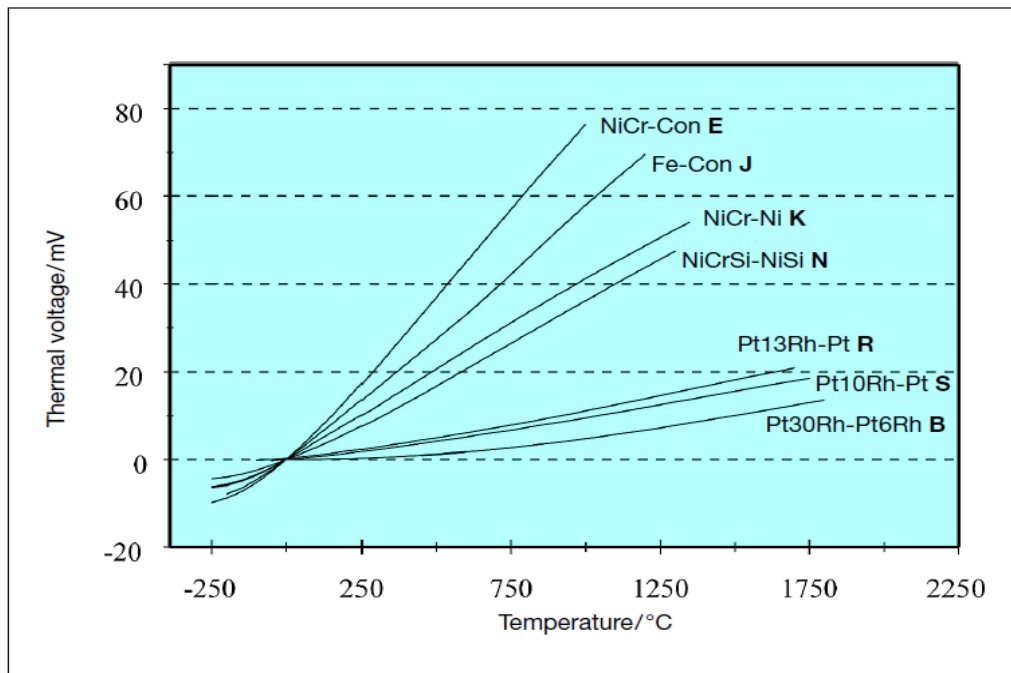
**Código de Colores del Termopar Tipo K**

Código de Colores a IEC 60584-3	ANSI/MC96.1	Códigos de colores nacionales redundantes		
		BS 1843	DIN 43714	NFC 42324

Fuente: (TC SA, 2022)

La tensión producida por un termopar no es lineal con la temperatura y, por lo tanto, debe ser linealizada por medios electrónicos. Los instrumentos digitales se programan con tablas de linealización, o bien los valores de calibración o el usuario debe introducir los valores de calibración adecuados. Los instrumentos analógicos suelen estar provistos de escalas no lineales. Las características de los termopares se definen mediante tablas de tensión para garantizar la plena intercambiabilidad.

**Figura 21:** Características de termocuplas para EN 60 584



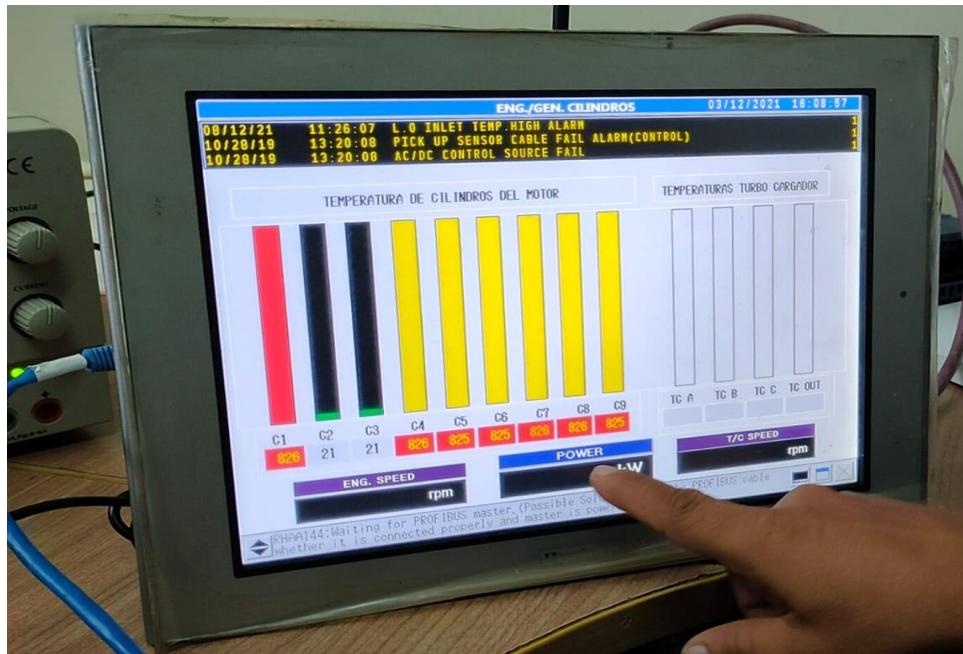
Fuente: (JUMO Instrument Co. Ltd., 2009)



## 2.2 Descripción de la propuesta

El desarrollo e implementación de un sistema electrónico automatizado como se observa en la **figura 22** para el registro y monitoreo de las temperaturas de combustión interna de los 9 cilindros del motor Hyundai 9H21/32 ubicados en la Central Térmica, los cuales se usan para el proceso de generación eléctrica, va a ser de gran ayuda para los departamentos de Operación y Mantenimiento.

**Figura 22:** Ventana para visualización temperaturas de combustión en el HMI



### a. Estructura general

Por medio del siguiente diagrama de bloques (**figura 23**), se exponen los diferentes elementos de control que integran el sistema de automatización en el proceso de medición de las temperaturas de gases de combustión interna por medio de los sensores termopares de tipo k colocadas en un punto específico en cada uno de los 9 cilindros del motor Hyundai, así como la visualización a través de la pantalla HMI colocada en el cuarto de mando nivel 1 que es el Panel Eléctrico Principal de la MDU.

**Figura 23:** Diagrama de bloques del sistema de medición de temperaturas de los cilindros del motor Hyundai

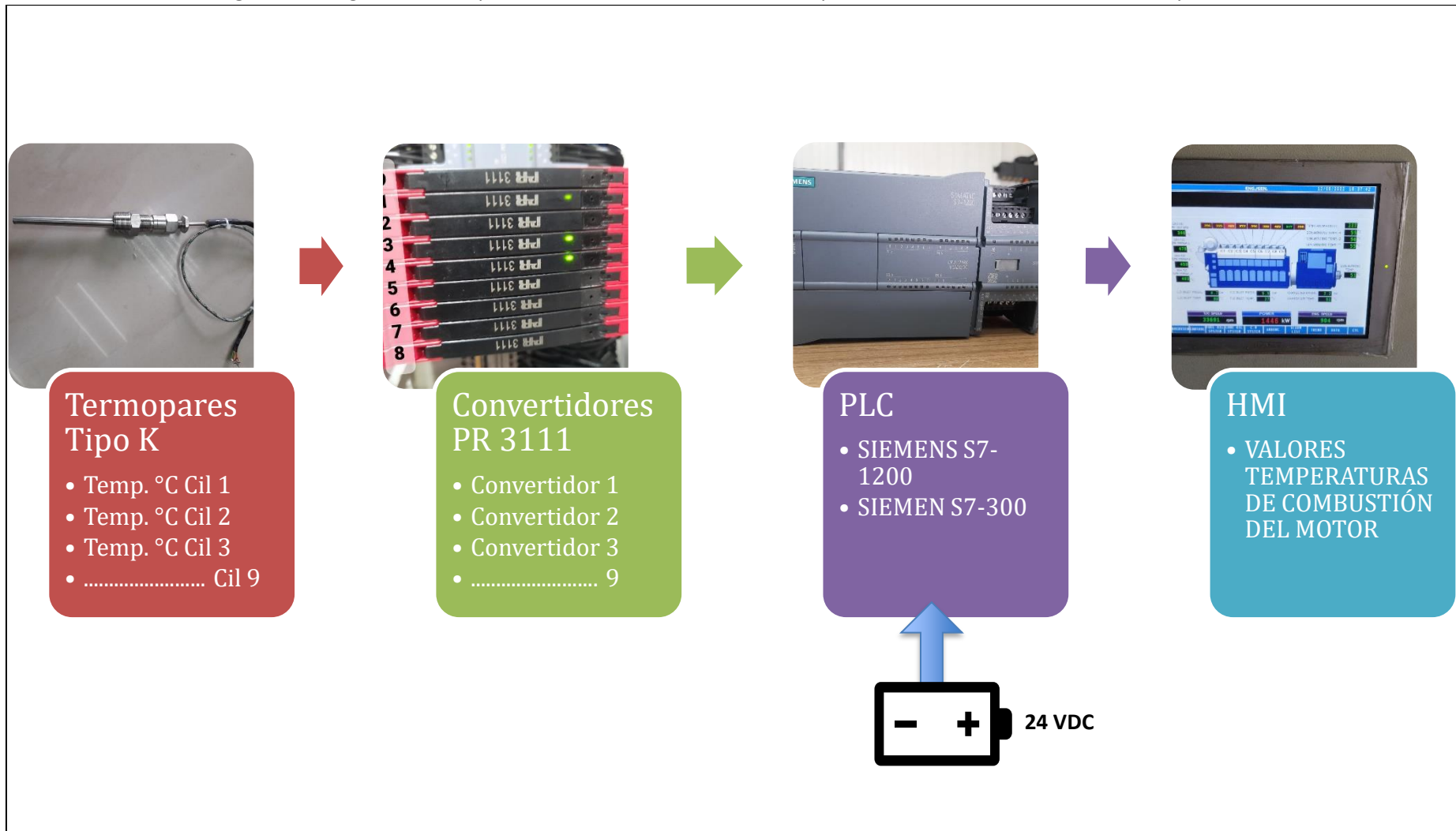
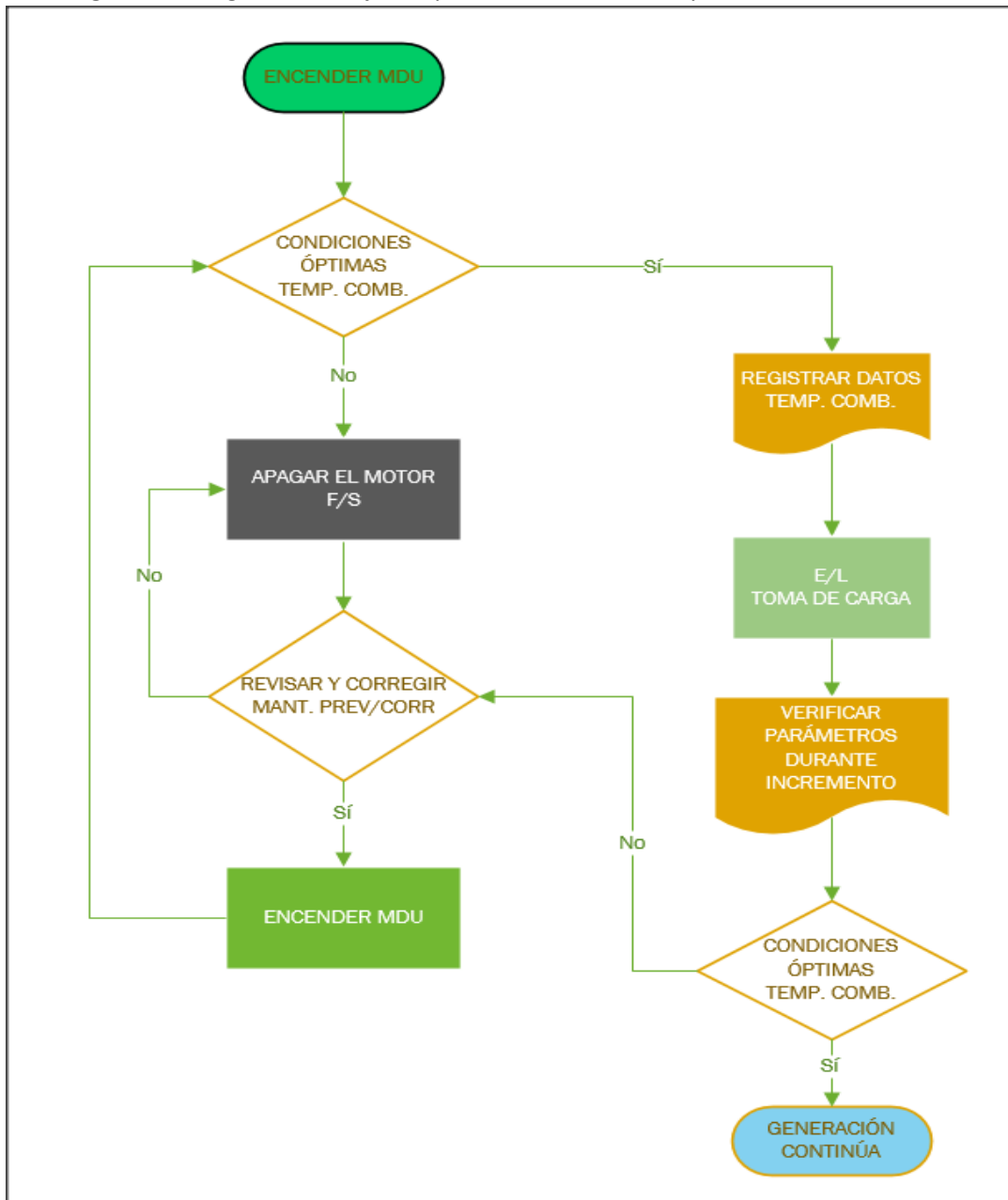




Figura 24: Diagrama de flujo del proceso de encendido y monitoreo de la MDU



### b. Explicación del aporte

Este sistema de monitoreo con sensores termocuplas y visualización remota en un HMI, servirá al técnico operador a llevar una visualización más segura y exacta de los datos de las temperaturas de combustión, dado que el personal técnico operativo no tendrá que arriesgarse físicamente a posibles quemaduras con superficies calientes, evitar el riesgo de quemaduras con combustibles a altas temperaturas, a posible intoxicación por la inhalación de vapores y humos productos de la combustión y el trabajo térmico del motor, a posibles caídas por subir escaleras hasta la parte de ubicación de los termómetros, a evitar riesgo de daño físico por posible

proyectiles metálicos productos de la fuerza de admisión de aire, prevenir daño parcial y permanente del sistema auditivo por exposición continua y prolongada a altos niveles de ruidos producidos al interior del contenedor durante las horas de trabajo del motor al momento de realizar la toma de datos.

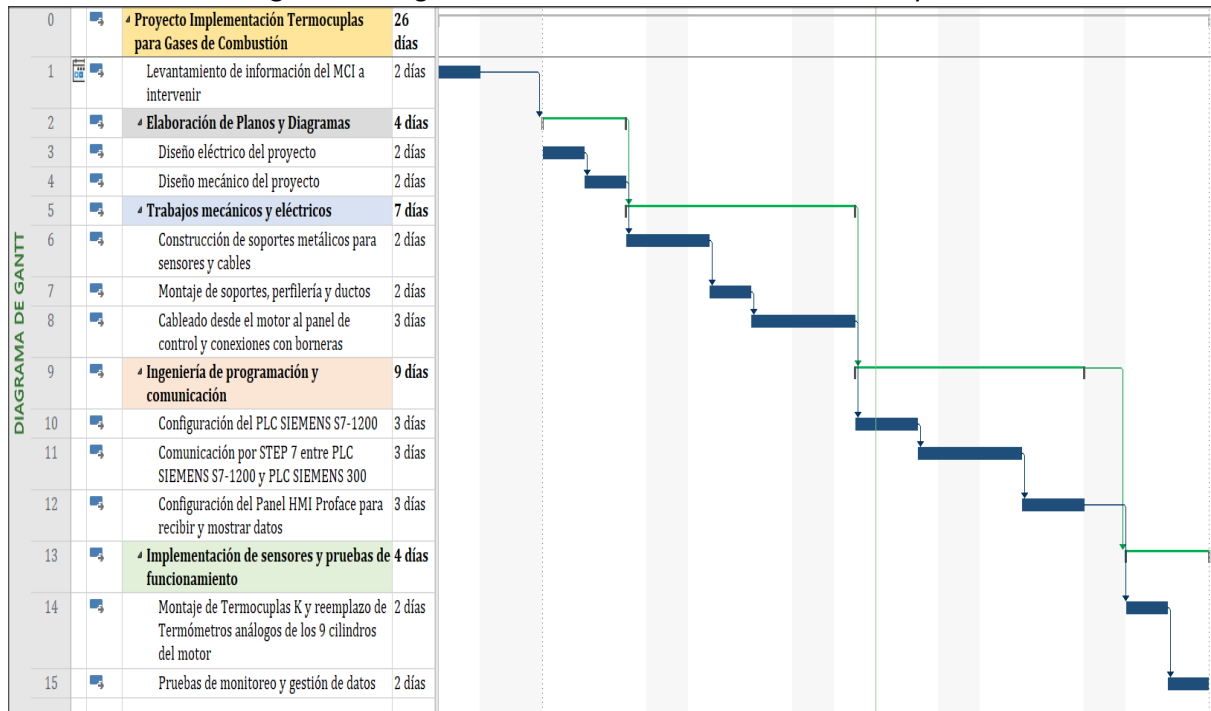
Por lo tanto al ejecutar este proyecto de control automático le permite a los departamentos técnicos de la Central a llevar una mejor verificación y registro instantáneo e histórico de la información generada y capturada por los sensores y almacenada en las memorias de los instrumentos, información que es de mucha ayuda debido a que se minimiza el error humano en la visualización de los parámetros bajo condiciones extremas y de riesgos antes mencionadas, así como también nos ayuda al monitoreo eficaz de los rangos de los parámetros de trabajo del motor en cuanto a las tendencias de temperatura según los valores máximos y mínimos determinados por el fabricante Hyundai; debido a estas condiciones presentadas y según lo han demostrado los estudios antes mencionados, podemos entender que el monitoreo permanente de las temperaturas de gases de un motor de combustión interna es muy importante a causa de que nos permite determinar fallas prematuras y significativa relacionadas con varias causas de origen mecánico.

### **Estrategias y/o técnicas**

Como es de conocimiento científico cada proyecto de implementación e innovación tecnológica, como lo es a nivel de la electrónica y automatización, se debe iniciar por realizar un diseño estructural, el cual tiene como principal objetivo de brindar las soluciones a un determinado problema, o de satisfacer una necesidad planteada, con el fin de mejorar los índices de la calidad de producción, el gasto de mano de obra, el gasto de mantenimiento, las paradas no planificadas de productividad, entre otros.

Para poder llegar a cumplir con la meta propuesta del proyecto se desarrollará siguiendo los siguientes pasos a ejecutarse de manera consecutiva hasta finalizar el plan.

**Figura 25: Diagrama de Gantt de la Planificación del Proyecto**



### **Levantamiento de la información base del Motor de Combustión Interna a Intervenir**

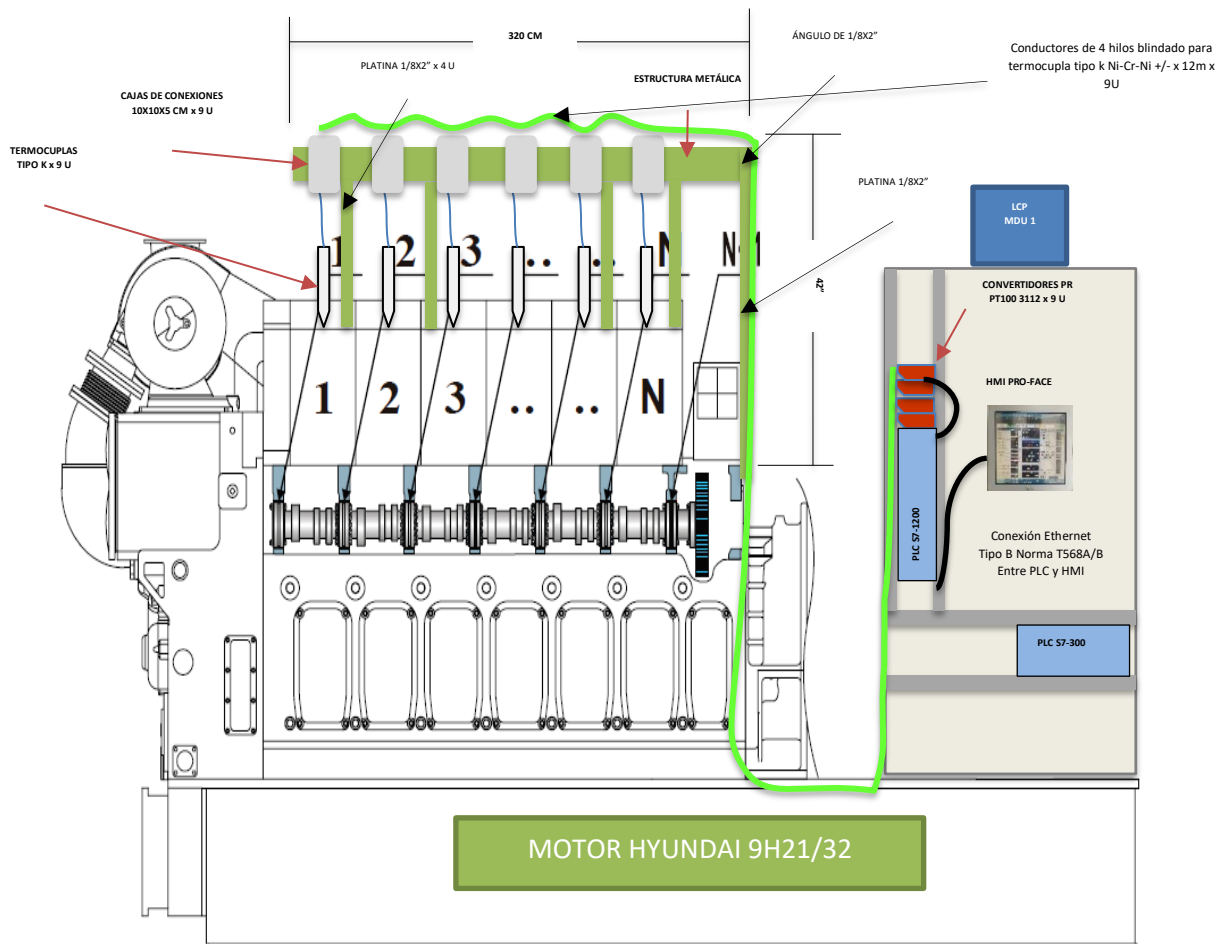
Para poder realizar la implementación y ejecución del proyecto de mejora en el aspecto tecnológico, primero se debe realizar un proceso de selección del equipo a intervenir, dentro de este procedimiento debemos realizar consultas y entrevistas con diferentes personas que están relacionadas de manera directa e indirecta con el funcionamiento del motor, a revisar datos históricos, condiciones y estado de trabajo actual del motor, restricciones, anomalías, fallas, horas de recorrido actual, capacidad de generación establecida, número de indisponibilidades presentadas y sus razones, entre otras.

Una vez que se ha conversado al personal técnico de operaciones y mantenimiento de los cuales se obtiene información muy valiosa e importante acerca del estado operativo del motor, procedemos con estos datos a tramitar por vías oficiales dirigiendo la solicitud e información correspondiente hacia los jefes a cargo de los departamentos de mantenimiento y operación, para que por medio del área encargada de programación y control, analistas operativos, supervisores de operación y mantenimiento, se informe y se genera la consignación respectiva y poder aplicar la implementación de la mejora en función de la descripción del proyecto.

## Elaboración de planos y diagramas del proyecto

Uno de los pasos muy importantes para la realización de los trabajos de automatización, es realizar los respectivos planos ya sean mecánicos de ser necesario y de mucha necesidad el plano de conexiones eléctricas. Este plano debe ser legible y aplicable a cualquier motor a intervenir sin importar su ubicación física, solo es necesario que se cumplan con los datos de base que son la marca Hyundai, modelo 9H21/32.

**Figura 26:** Diseño de la estructura metálica y montaje de instrumentos



Fuente: (Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., 2011) y autor

**Figura 27:** Diagrama eléctrico de conexiones termocuplas K – Convertidores – PLC

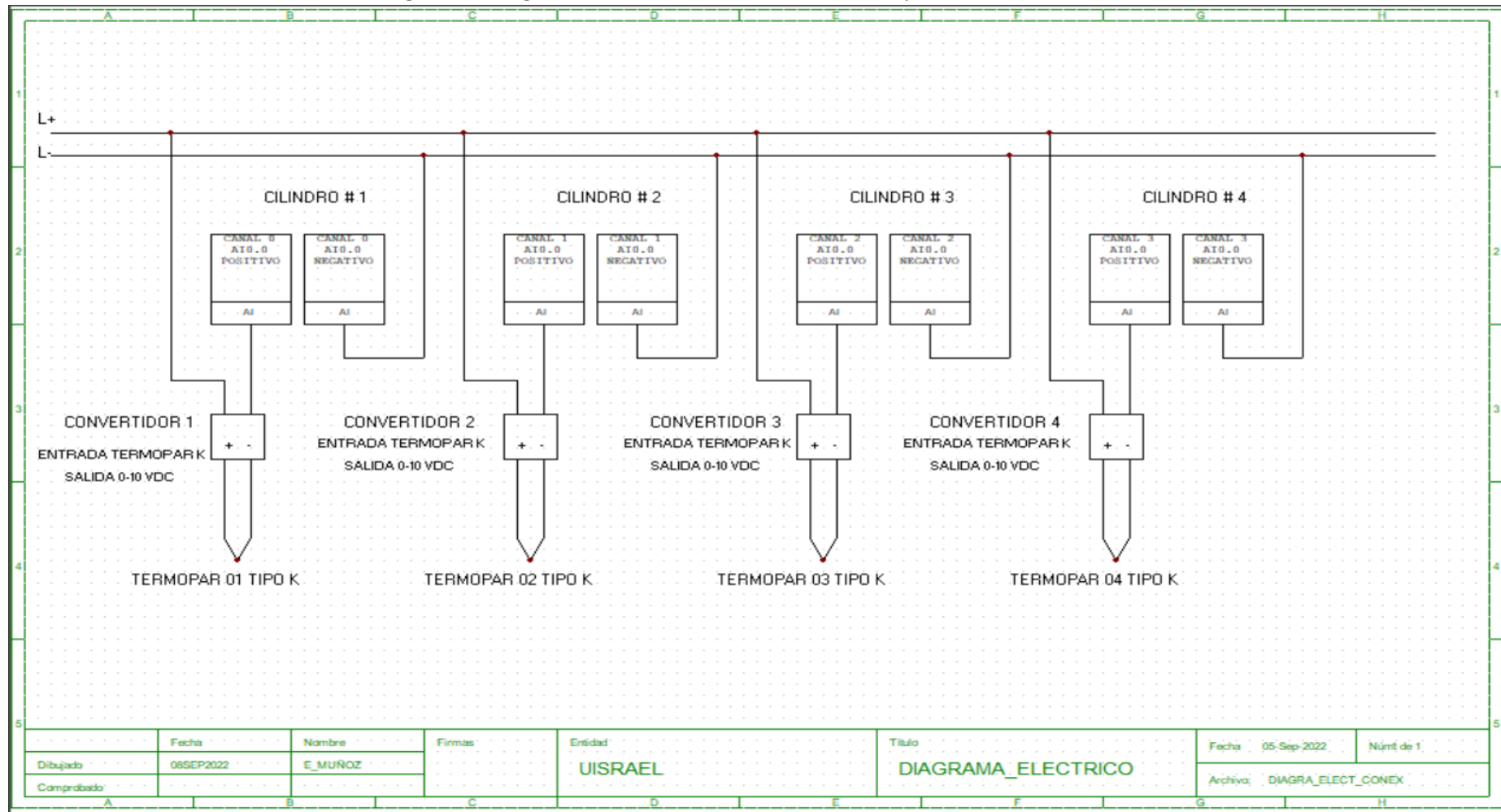


Figura 28: Diagrama de conexión de termopares – Entradas PLC

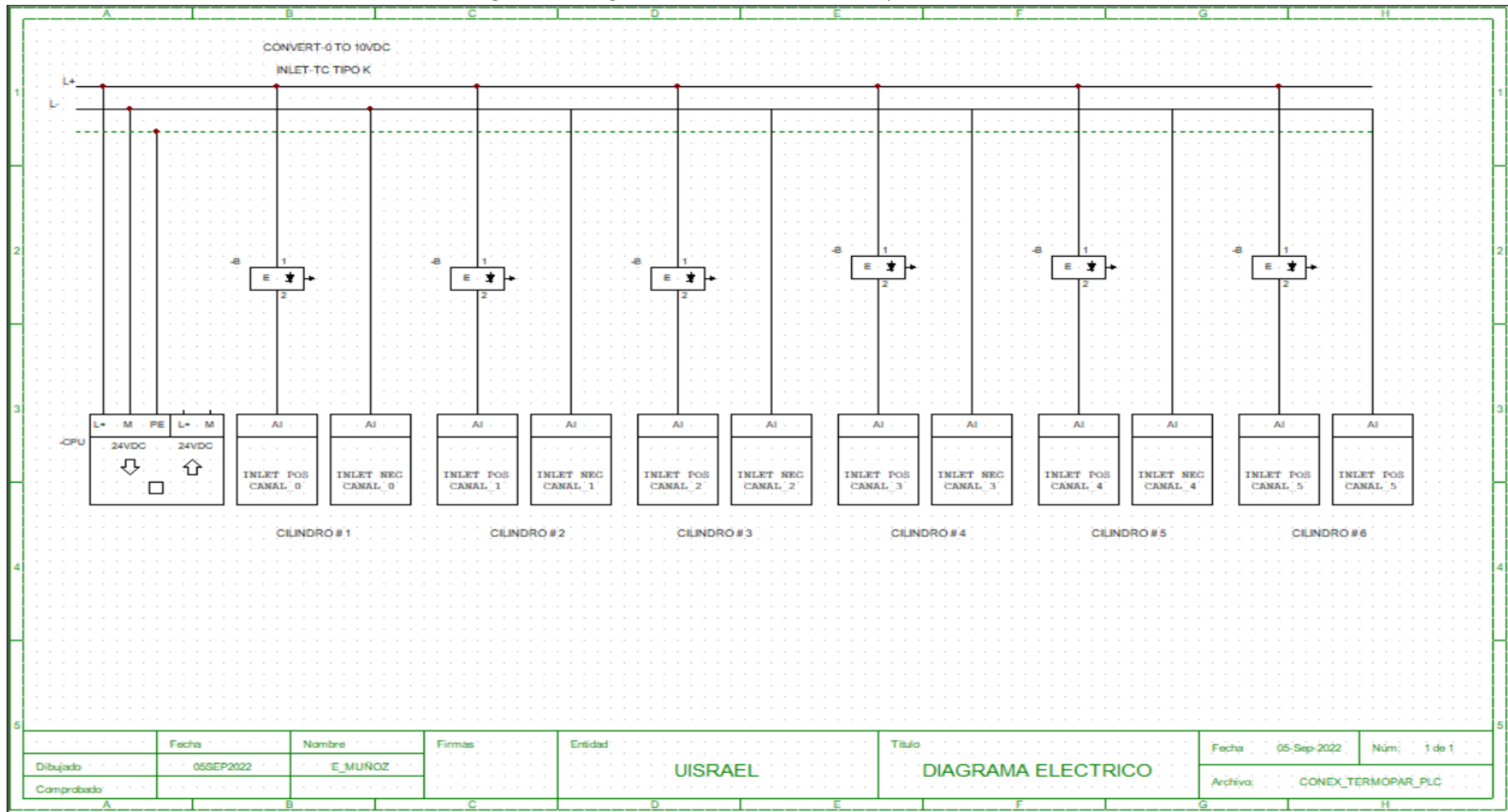
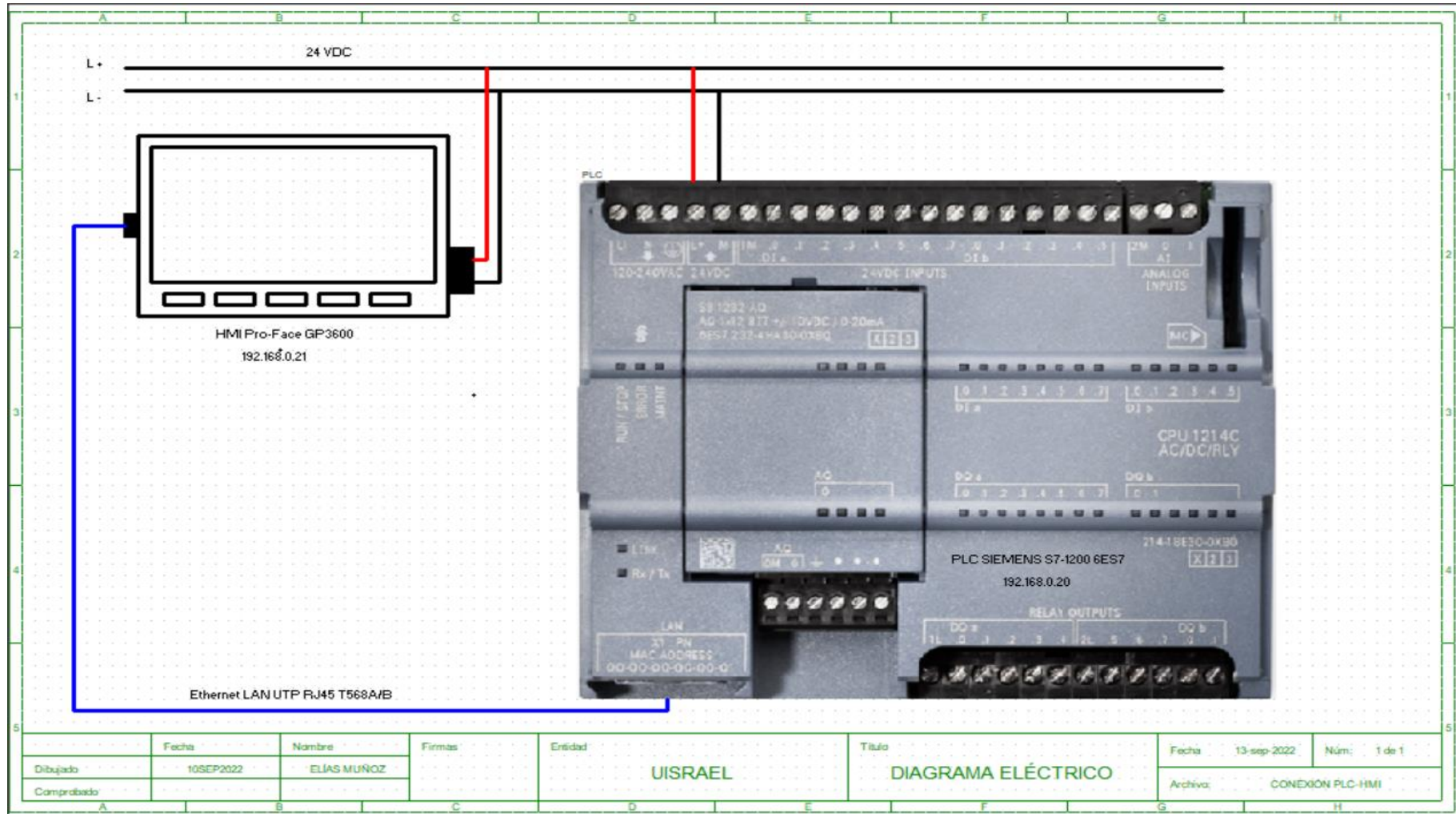


Figura 29: Diagrama de conexión del PLC SIEMENS S7-1200 – HMI PRO-FACE





## Trabajos mecánicos y eléctricos

Para el montaje de varios elementos electrónicos, se debe realizar una gestión dirigida al departamento mecánico y de soldadura para que realice la construcción y montaje de una estructura básica de metal como indica en el esquema de la **figura 26**, sobre los cabezotes del motor Hyundai, en la cual se podrán acoplar los sensores termopar, borneras, cajas de conexiones y conductores, elementos necesarios para la medición de los valores de temperatura y el transporte hacia los dispositivos receptores de conversión y de visualización.

**Figura 30:** Esqueleto metálico con instrumentos de medición



## Ingeniería de Automatización y Programación

Luego de haber culminado los respectivos diseños de diagramas y planos eléctricos y mecánicos del proyecto, así como la instalación física del esqueleto metálico para soporte de los instrumentos electrónicos, procedemos con el desarrollo del software de ingeniería y la programación de la lógica de funcionamiento del sistema.

Para ello se debe tener hechas las respectivas conexiones entre todos los dispositivos electrónicos, solo dejando pendiente la inserción física de las termocuplas tipo k en el termopozo de los 9 cilindros del motor Hyundai, esta acción se recomienda realizar una vez que se finalicen las pruebas a los termopares con los calibradores de proceso.



## **Configuración del PLC SIEMENS S7-1200 y HMI Pro-Face**

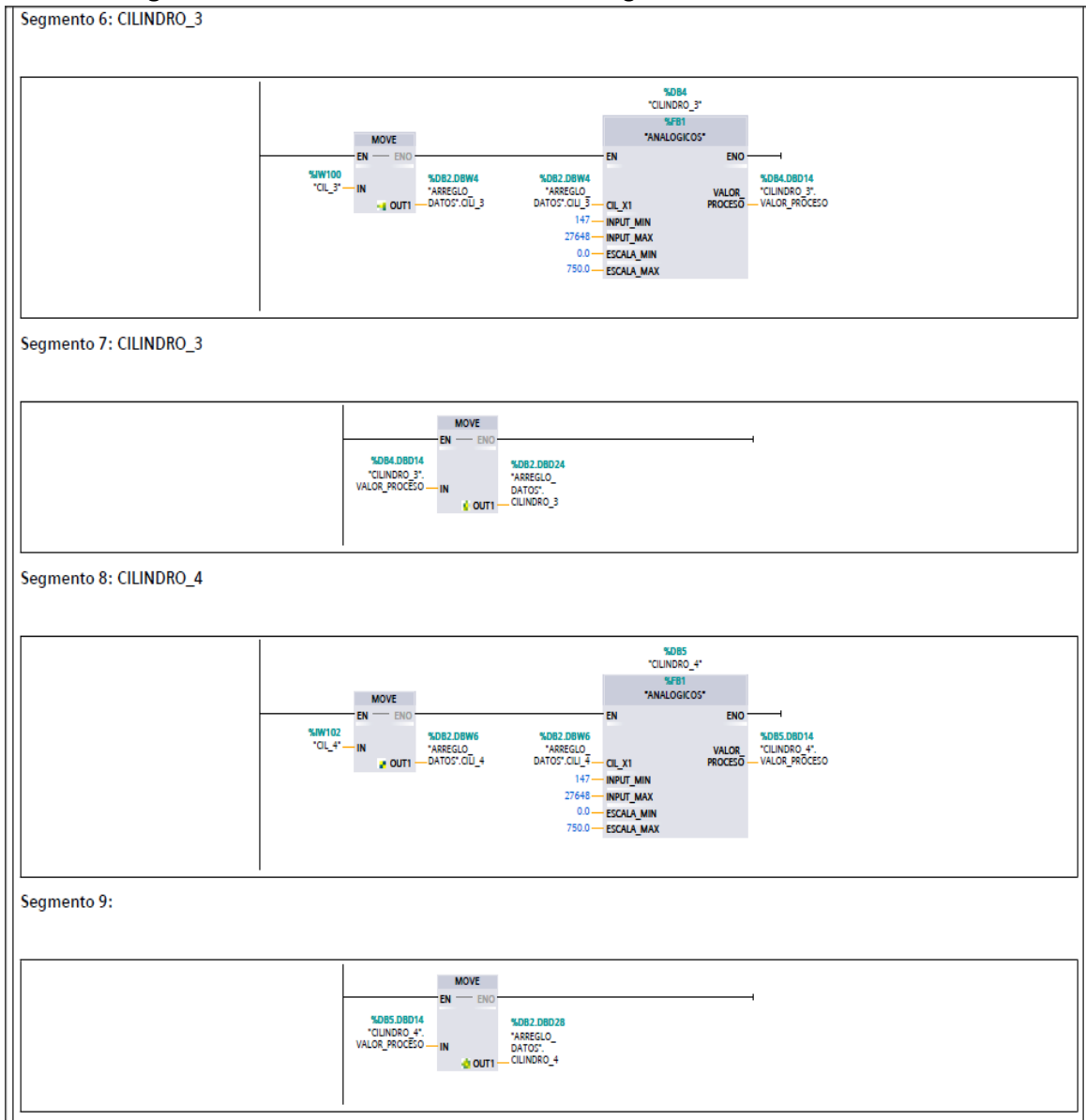
Para la programación de la lógica se hará uso del software de ingeniería (TIA PORTAL V15), en este software se escribirán gráficos de programación, basándonos en las observaciones y los datos de las investigaciones realizadas sobre los parámetros de funcionamiento normal del motor Hyundai 9H21/32.

En este software la programación integra dispositivos que intercambian información entre ellos, el establecimiento del enlace de comunicación de red se realiza a través de cable ethernet, con un tipo de conexión B basado en la Norma T568 A-B con una dirección IP asignada. Se realiza la asignación de variables de entradas y salidas analógicas como los valores de voltaje enviados por cada una de las 9 termocupla k de los cilindros, hacia los diferentes convertidores PR 3112 asignados según el número de su cilindro.

Se utilizará un módulo expensor o slot de 8 entradas analógicas acoplado al PLC 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 expensor 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 por la lógica de programación creada en el software del PLC S7-1200, para que después estos valores sean enviados por medio de conexión de cable tipo Ethernet y visualizados a través de gráficos del proceso creados en el software GP-Pro Ex 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, debido a 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 31:** Escalamiento de las señales analógicas en el software TIA PORTAL

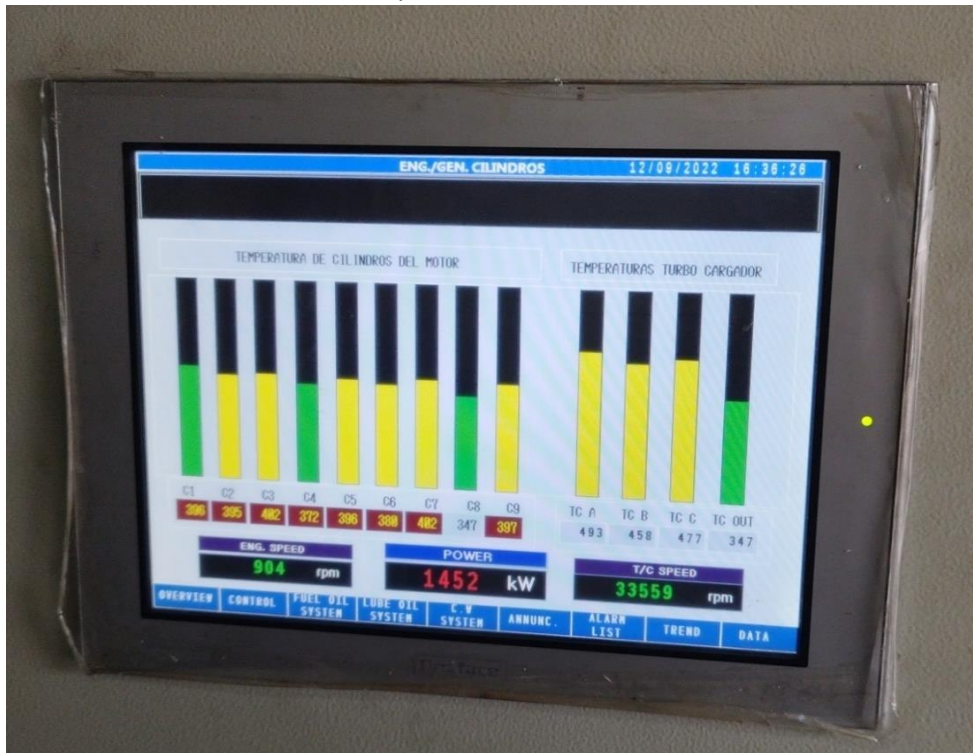


El PLC es alimentado por una fuente de 24 VDC, la cual se toma desde uno de los puntos del panel eléctrico principal de la MDU donde se montará el PLC S7-1200.

En el HMI Pro-Face se realiza la programación en bloque, dibujando las barras rectangulares de colores, la cuales se llenará con un determinado color (verde) cuando el valor de temperatura en grados centígrados empiece a incrementar según aumente la carga del motor y por ende la temperatura de gases de combustión en cada uno de los 9 cilindros como se aprecia en la **figura 32**, por lo cual se diseñarán 9 barras de en forma vertical alineadas según la configuración de la alineación del motor, esto quiere decir que va desde el cilindro 1 al 9 empezando por el lado del turbo compresor y finalizando por el lado del generador, y se pondrá de color amarillo con los

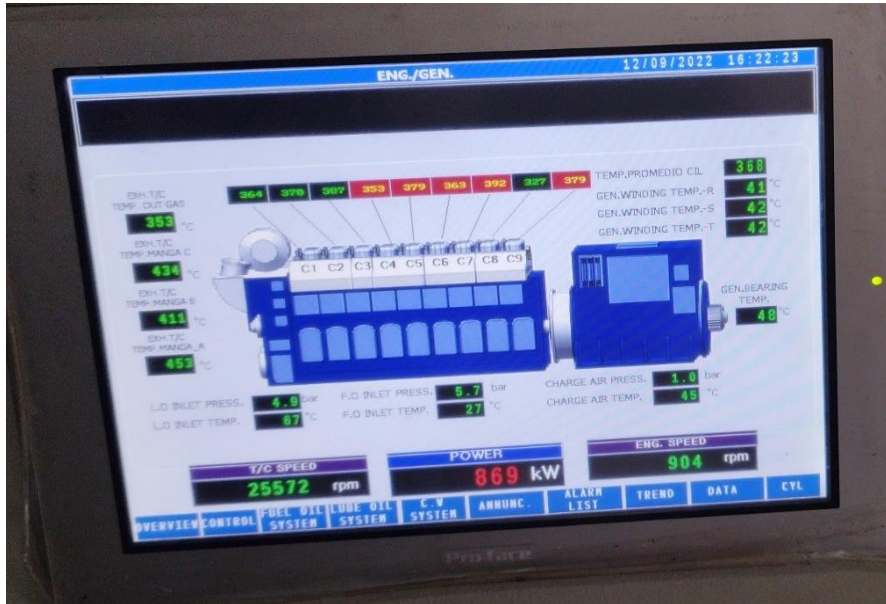
valores en color rojo si algún dato de temperatura excede el parámetro normal recomendado por el fabricante y según el criterio operativo del motor para trabajo normal. También se hará una escala de otros valores necesarios a visualizar en esta ventana, como son temperaturas de las mangas A-B-C de salida de gases por el múltiple de escape hacia la turbina, ya que estas temperaturas nos indican a qué valor llega la masa de gases que harán el trabajo de mover el lado de escape de la turbina del turbocargador, así mismo la temperatura de gases luego de la turbina hacia la salida a la atmósfera, y la velocidad de giro en rpm tanto del motor como del turbocargador y la potencia instantánea entregada por el electrógeno.

**Figura 32:** Ventana de barras de temperaturas de combustión de los 9 cilindros del motor



En una siguiente ventana (**figura 33**), se diseñará un motor en referencia al grupo electrógeno, en la cual se escalan los valores de temperatura de combustión de los 9 cilindros, estos serán mostrados en forma de gráficos rectangulares horizontales y se ubicará sobre la parte superior de cada cilindro. Así mismo se hará la escala de otros parámetros de interés como lo son las temperaturas de gases en las mangas A-B-C y salida hacia la atmósfera, el valor promedio calculado de la suma de todas las temperaturas de los 9 cilindros, las temperaturas de los devanados del generador, la temperatura y presión de aceite, la temperatura y presión de combustible, la temperatura y presión de aire de carga, velocidad del turbo y del motor, y la potencia bruta entregada al instante por el grupo electrógeno.

**Figura 33:** Ventana de valores de temperaturas de combustión de los 9 cilindros del motor



### Instalación de sensores y pruebas de funcionamiento

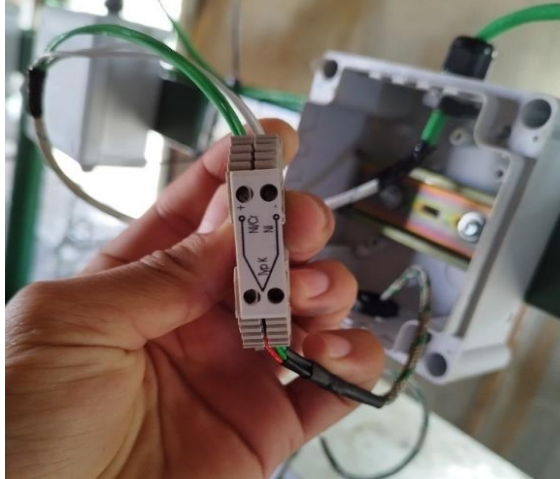
Una vez configurada la programación respectiva en el PLC SIEMENS S7-1200 y en el HMI Proface, y teniendo armada la estructura metálica con los conductores y la caja de conexiones y borneras como se observa en la **figura 30**, se procede a desmontar los termómetros analógicos de glicerina instalados en los 9 cilindros del motor y se realiza el cambio con las termocuplas tipo K de aleación Ni-Cr-Ni (**figura 34**).

En este procedimiento usaremos acople-reductor de  $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ ", termopozo o termovaina para termocupla tipo k, tal como indican las figuras siguientes.

**Figura 34:** Termocupla tipo K – Termopozo – Acople Reductor



**Figura 35:** Conexión de la termopar tipo K en la bornera



**Figura 36:** Instalación de la termopar tipo K en el pozo de medición



Las termocuplas antes de ser montadas en los cilindros como se ve en la **figura 36**, deben pasar por una prueba de ensayo y error; esta revisión se realiza por medio de instrumentos llamados calibradores de patrones. En la Central Térmica el departamento de Instrumentación cuenta con un Calibrador de Proceso de la marca Fluke modelo 754 de la serie 750 y una mufla u horno de calibración de la marca Fluke, cuyas imágenes se incluyen en los anexos.

Estos instrumentos de calibración nos sirven para verificar el estado de funcionamiento de la termocupla y saber si su error de tolerancia se encuentra dentro de los parámetros admisible según el fabricante, evitando así que al momento de instalar neutro sensor termopar en el motor vayamos a tener valores con tolerancias muy altas, lo cual nos proyectará valores equivocados

al momento de realizar la medición y envío de datos al HMI, por lo que podría causar confusión en la operación y determinación de fallas prematuras en el motor.

### Estudio de Factibilidad de la Propuesta

Para poder determinar la factibilidad y viabilidad de la implementación, desarrollo y gestión del presente proyecto de mejora tecnológica, se debe de realizar un presupuesto de costos de materiales, mano de obra, máquinas y equipos necesarios en la ejecución de la propuesta.

**Tabla 1:** Presupuesto de materiales y mano de obra del proyecto de mejora

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO / U \$	CANT.	COSTO TOTAL \$
1	TERMOCUPLAS TIPO K Ni/Cr-Ni	175.00	9	1575.00
2	CONVERTIDOR DE TEMPERATURA PR 3111	204.10	9	1836.9
3	PLC SIEMENS S7-1200 1214c	800.00	1	800.00
4	TERMOPOZOS ACERO INOXIDABLE DE ½"	87.00	9	783.00
5	CONECTORES/REDUCTORES DE ACERO INOXIDABLE DE ¾" A ½"	1.65	9	14.85
6	BORNERAS PARA TERMOCUPLA TIPO K	2.24	9	20.16
7	CABLE BLINDADO PARA TERMOCUPLA TIPO K	7.55	110	830.5
8	MÓDULO DE EXPANSIÓN SLOT PARA PLC SIEMENS S7-1200 6ES7 231-4HF32-0XB0 SIMATIC S7-1200, ANALOG INPUT	597.00	1	597.00
9	CABLE UTP CAT 5E	0.37	2	0.74
10	CAJA DE DISTRIBUCIÓN PVC 102*102*56MM	3.20	9	28.80
11	CANALETA RANURADA GRIS 33*45MM*2M CSC	7.65	1	7.65
12	ABRAZADERA DE ACERO INOXIDABLE 316 LISAS RECUBIERTAS DE PVC LRP-5.6*350MM	3.55	20	71.00
13	TERMINALES T/ PUNTERA P/ CABKE 16-14 ROJO	0.03	40	3.00
14	AMARRAS PLÁSTICAS 3.6*150 MM	0.01	50	0.50
15	PRENSA ESTOPA JSL 3/8" PG-9	0.27	20	5.40
16	RIEL DIN EBASEE 1M 35MM ACERO	2.50	2	5.00
17	CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA DE SOPORTE	110.00	1	130.00
18	MANO DE OBRA POR INSTALACIÓN Y MONTAJE DE ELEMENTOS FÍSICOS	600.00	1	600.00
19	DESARROLLO Y EJECUCIÓN DE LA INGENIERÍA DE PROGRAMACIÓN	1000.00	1	1000.00
			SUB TOTAL	8309.5
			IVA 12%	997.14
			<b>COSTO TOTAL</b>	<b>9306.64</b>

En la tabla no. 1, se describen todos los diferentes componentes que se necesitarán en la implementación de la propuesta dentro del área de impacto y aplicación del estudio en desarrollo, cada uno con su respectivo costo económico según el mercado actual y en referencia a la oferta y demanda presente en el portal de compras.

Al realizar el análisis económico del costo de la propuesta en base a la cotización de los precios de los elementos antes presentados, se obtiene un costo total de **\$ 9306.64**; dentro de este costo económico es muy necesario analizar los siguientes puntos:

- Según datos de referencias económicas propias de la empresa, se tiene como informe que cada grupo electrógeno (motor-generador), recibe un valor económico de compensación en relación con la disponibilidad de carga que se registre diariamente, el cual es de aproximadamente de \$ 70.XX +/- 5% por hora en stand by, sin considerar la capacidad de carga que puede entregar en kWh y los tiempos de respuestas a un evento que pudiera responder. Este valor es calculado y referido en un formato “Despacho de Generación”, el cual es realizado por el ente regulador del Control de Energía (CENACE).
- Al declarar la indisponibilidad de un motor por falla, en éste caso en referencia a un estado físico mecánico, como recordamos la referencia de los estudios técnicos antes mencionados, el debido registro eficaz y el análisis imperativo de este parámetro nos es de mucha ayuda a poder determinar fallas prematuras en el motor y evitar largas paradas por indisponibilidad, compras de repuestos no predichos, mayor costo de mano de obra por horas hombre trabajadas en mantenimientos más largos, gastos de transportación de piezas y de personal, procesos engorrosos de compras públicas para levantar el motor debido a daños de gravedad, aumento de niveles de contaminación ambiental con desechos.

#### **Cálculo de los componentes de los costos variables de producción de la central**

El Ciclo Operativo de la unidad se considera en un periodo de 12000 horas o 500 días de generación continua, para mantenimiento completo (Overhaul), se estima un promedio de 6 días por cada planta (4 motores), con una restricción de 5,78 MW por cada 3000 horas o 125 días de generación continua, para realizar reajuste de piezas mecánicas e inspecciones del estado de sistemas del motor.

Cabe indicar que las actividades de programación de mantenimiento están en relación con los mantenimientos preventivos establecidos por el fabricante Hyundai Heavy Industries, el cual



se relaciona directamente con las horas de operación del motor, y por ende refleja un costo de mantenimiento.

Considerando que los arranques, paradas, incrementos y decrementos de cargas súbitas, afectan a las partes móviles y fijas del motor, lo cual se ve reflejado en la reducción progresiva de la vida útil de los componentes de los motores de combustión interna de la central. En contraste, la operación continua disminuye el desgaste progresivo de sus componentes, lo que se consigue con cambios de cargas graduales, pues los cambios de temperatura no son súbitos.

A continuación, como indica la **tabla 2**, se muestran valores promedio de los diferentes costos variables de producción que intervienen en un ciclo operativo, datos establecidos bajo los parámetros técnicos del motor en referencia al fabricante y la experiencia de la Central, y según las regulaciones del sector eléctrico y procedimientos desarrollados por el área administrativa, operación y mantenimiento, basados en normativas vigentes.

**Tabla 2:** Costos variables de producción de un ciclo operativo 12000 hrs

ÍTEM	CÁLCULO DE COSTOS VARIABLES DE PRODUCCIÓN DE CSE / CICLO OPERATIVO	UNIDAD	VALOR TOTAL
1	GENERACIÓN BRUTA	KWH	999 600 000
2	RENDIMIENTO CALCULADO DEL GRUPO ELECTRÓGENO (MOTOR-GENERADOR)	KWH/GAL	16.6459
3	COSTO VARIABLE DEL COMBUSTIBLE FUEL OIL 4 SEGÚN REGULACIÓN VIGENTE	USD/GAL	0.4896
4	COSTO DE COMBUSTIBLE FUEL OIL 4	USD/KWH	0.0265
5	COSTO VARIABLE DEL COMBUSTIBLE DIÉSEL OIL 4 SEGÚN REGULACIÓN VIGENTE	USD/GAL	0.8203
6	COSTO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL OIL	USD/KWH	0.00493
7	COSTO TOTAL DEL COMBUSTIBLE PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA	USD/KWH	0.0314
8	COSTO DE TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE FUEL OIL	USD/GAL	0.0186
9	COSTO DE TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE DIÉSEL OIL	USD/GAL	0.0120
10	COSTO TOTAL DE TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE	USD/KWH	0.00107
11	COSTO DE VERIFICACIÓN POR GALÓN DE COMBUSTIBLE	USD/GAL	0.00249
12	CONSUMO DE ACEITE LUBRICANTE X MES	GAL	400 000
13	COSTO DE INSUMOS QUÍMICOS	USD/KWH	0.00232
14	CONSUMO DE ACEITE	GAL	283 936
15	COSTO UNITARIO DEL ACEITE LUBRICANTE	USD	8.09
16	COSTO UNITARIO DE AGUA POTABLE	USD/M <sup>3</sup>	1.79
17	CONSUMO DE AGUA	M <sup>3</sup>	34 048
18	COSTO DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE	USD/KWH	0.0000609
19	COSTO DE MANTENIMIENTO	USD/KWH	0.00559
20	COSTO DE SERVICIO TÉCNICO ADICIONAL	USD/KWH	0.05587



<b>21</b>	COSTO DE OTROS INSUMOS Y MATERIALES	USD	738 461.54
<b>22</b>	COSTO DE REPUESTOS PARA EL MOTOR	USD	4 845 726.66
<b>23</b>	COSTO DE ENERGÍA PARA AUXILIARES	USD/KWH	0.00229
<b>COSTOS VARIABLES DE PRODUCCIÓN</b>		USD/KWH	<b>0.04273</b>

- Otro aspecto para considerar, es el costo que representa el uso cotidiano de los termómetros de glicerina para la medición de las temperaturas de gases de combustión del motor, teniendo en cuenta su costo de instalación, de mantenimiento preventivo y de calibración, en este punto no se hará referencia a los peligros y tiempos que emplea el técnico operador en poder registrar los valores de temperatura en el formato de la fig. 4, ni tampoco al menor grado de confiabilidad de los datos de temperatura de gases observados en campo.

En la siguiente **tabla 3**, 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 3:** Presupuesto de materiales para termómetros de glicerina

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO x U \$	CANTIDAD	COSTO TOTAL \$
<b>1</b>	TERMÓMETROS DE GLICERINA	715.00	9	6435.00
<b>2</b>	TERMOPOZOS ACERO INOXIDABLE DE ¾"	93.00	9	837.00
<b>3</b>	COSTO DE MANO DE OBRA HORA HOMBRE EMPLEADA	7.50	4	30.00
			SUB TOTAL	7302.00
			IVA 12%	876.24
			COSTO TOTAL	<b>8178.24</b>

Como se puede observar en la tabla anterior, el costo que representa en un motor Hyundai el uso de termómetros de glicerina para los 9 cilindros es de **\$ 8178.24**, este valor se multiplica por 2 debido a que la recomendación técnica indica que los termómetros se deben cambiar cada 6000 horas y calibrarse cada 3000 horas de operación continua, para garantizar la veracidad de sus lecturas. Para el proceso de calibración se utiliza un mufla u horno patrón calibrador de

proceso, para ello se utiliza de ejemplo un termómetro ya calibrado y certificado por una prestadora de servicio externa que cumpla con la normativa del proceso. Y este proceso se lo hace dentro de la empresa si se cuenta con los equipos patrones de calibración necesarios, ya que de lo contrario el costo por mantenimiento preventivo de los sensores se incrementa más, debido a que una empresa certificada cobra unos \$ 400.00 aproximadamente por termómetro para realizar la calibración y certificación del funcionamiento del equipo.

Por lo que se estaría hablando de un costo de \$16356.48, para cambio de termómetros por cada ciclo operativo de 12000 hrs, más \$7200.00, gastos por mantenimiento de calibración con una prestadora de servicio externa y certificada.

### 2.3 Validación de la propuesta

La presente propuesta de mejora tecnológica en el ámbito de la Electrónica y Automatización fue validada por tres especialistas con un extenso conocimiento y experiencia tanto laboral como profesional en el este campo, cada uno de ellos ejerce actividades de ingeniería a nivel industrial y educativo relacionadas con su profesión, lo cual después de largos años de práctica les permite poseer la capacidad de para determinar y analizar la eficiencia y eficacia de diferentes procesos que sirven como desarrollo e implementación en el entorno industrial, con el fin de brindar una mejora que sirva de beneficio productivo y de la misma forma de seguridad en muchos aspectos.

**Tabla 4:** Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Luis Enrique Chuquimarca Jiménez	10	Máster en Ingeniería Electrónica	Docente y Director de Carrera Universitaria en la UPSE
José Stalin Ramírez Castro	17	Magíster en Automatización y Control Industrial	Especialista Técnico 01 de Operaciones en CELEC Electroguayas
Samuel Baldomero Bustos Gaibor	15	Magíster en Automatización y Control Industrial	Docente y Decano de Carrera Universitaria en la UPSE

**Tabla 5:** Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Luis Chuquimarca Jiménez MSc

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad				X	
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

**Tabla 6:** Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. José Ramírez Castro MSc.

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad			X		
Calidad Técnica				X	
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

**Tabla 7:** Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Samuel Bustos Gaibor MSc

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad				X	
Calidad Técnica				X	
Factibilidad					X
Pertinencia					X

## 2.4 Matriz de articulación de la propuesta

**Tabla 8:** Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto		Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
<b>1</b>	Definición: Se utilizó Software de desarrollo de Ingeniería para la programación de las variables de entradas analógicas del PLC como el Tía Portal v15 y el diseño de los gráficos del proceso en Gprox-Ex.	1.1. Tablas comparativas de elementos 1.2. Análisis de costos y factibilidad 1.3. Tomas de decisiones en base a funcionalidades y beneficios.	Automatización de sistemas electrónicos. Interfaz didáctica para lectura de parámetros. Eficacia de medición de temperaturas de combustión por medio de termopares. Características de trabajo de PLC Siemens S7-1200	Software de programación de ingeniería Tía Portal v15. Gprox-Ex para configuración de gráficos del HMI
<b>2</b>	Diseño: Se diseñaron los planos eléctricos de conexiones entre cada uno de los diferentes elementos que intervienen en el sistema.	2.1. Pantalla HMI para monitoreo de parámetros de temperatura 2.2. Circuito de comunicación por Ethernet y Profibus 2.3. Uso de Software CadeSimu.	Aplicaciones de diseño de circuitos electrónicos: Tía Portal v15 Gprox-Ex CadeSimu	Computadora de campo perteneciente al Dpto de Instrumentación bajo permisos de la empresa y bajo supervisión del departamento y personas encargadas oficialmente.
<b>3</b>	Implementación: Cableado de los diferentes instrumentos de medición usando conductores blindado de máxima duración y resistencia, se construyó una estructura metálica que sirva de soporte para conexiones de conductores y sensores	3.2. Convertidores PR TC 3100. 3.3. PLC Siemens S7-300 3.4. PLC Siemens S7-1200. 3.5. Termocuplas tipo k	Cableado estructurado Instalaciones eléctricas industriales Sistemas de comunicaciones Desarrollo de bases de datos Protocolos de comunicación Ethernet Profibus	PLC Siemens S7-1200 Pantalla HMI Pro-face PLC Siemens S7-300 Sensores Termopar tipo k Convertidores TC PR 3111 Borneras Conductor blindado Cajas de conexión

## 2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión

Este proyecto de automatización se realizó mediante el uso dispositivos de capacidad industrial, los cuales cumplen con características técnicas de diseño robusto y gran capacidad tecnológica que permiten ser instalados bajo diferentes condiciones y ambientes, a su vez brindan confiabilidad en el tratamiento de la data obtenida en campo, versatilidad de integración entre dispositivos electrónicos incluidos los de marca diferente.

Para poder determinar los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto, se realizaron varias observaciones de campo sobre la problemática presente y sus efectos adversos ante la ausencia y uso de nuevos equipos de tecnología avanzada.

Una de las observaciones realizadas en campo fue que el operador de la máquina debe subir por medio de unas escaleras verticales hasta una altura de 1.70 m aproximadamente para sobre un carril horizontal de metal de unos 50 cm de ancho caminar a lo largo de 3.50 m para durante todo ese recorrido poder capturar los datos de las temperaturas de gases de combustión de los 9 cilindros del motor Hyundai que son mostrados por los termómetros analógicos de glicerina. Este trabajo no es seguro para el operario debido a muchos factores como la temperatura ambiente circula entre los 40°C y 50°C debido al trabajo del motor, así como los altos niveles de ruido que oscilan entre los 120 dB a 150 dB que con el pasar del tiempo y la constancia causan riesgo físico, así como quemaduras por contacto directo con superficies metálicas calientes, y fluidos que circulan a altas temperaturas.

Con la implementación del proyecto, se tiene la ventaja de toma de datos y monitoreo seguro para el operario ya que los valores de temperatura de combustión de los 9 cilindros del motor son captados por los termopares tipo k y mostrados en la pantalla HMI Pro-face ubicada en el LCP principal de la máquina que está ubicado en una cabina insonora y segura, tal como se observa en la figura 10, consiguiendo que el operador pueda registrar y monitorear de manera fiable y segura los diferentes parámetros registrados y a su vez hacer una comparación y revisión inmediata si los datos tienen relación con los rangos en función del trabajo realizado por el motor según la potencia entregada. Con la aplicación de esta mejora, se reduce el tiempo de toma y reporte de datos que el operador empleaba en realizar esta maniobra.

Entonces en la siguiente **tabla 9**, analizaremos el costo – beneficio entre el uso de termómetros de glicerina y termocuplas tipo k para la medición y registro de temperaturas de un motor Hyundai 9H21/32.

**Tabla 9:** Costos de aplicación entre ambas tecnologías.

ÍTEM	ANÁLISIS DE COSTOS DEL USO ENTRE AMBOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN POR CICLO OPERATIVO (12000 hrs)	PRECIO x U \$	CANTIDAD	COSTO TOTAL \$
1	COSTO TOTAL DE USO DE TERMÓMETROS DE GLICERINA (no se considera costo de calibración)	8178.24	2	<b>16356.48</b>
2	COSTO TOTAL DE USO DE TERMOCUPLAS K CON AUTOMATIZACIÓN (no se considera costo de calibración)	9306.64	1	<b>9306.64</b>

En la tabla anterior se puede observar claramente el beneficio económico que brinda el usar sensores e instrumentos de medición que pueden ser automatizados y la factibilidad de la inversión, debido a que el ahorro es inmediato puesto que nos estamos ahorrando un gasto del 44% del total presupuestado para un ciclo operativo al trabajar con termómetros de glicerina.

Adicionalmente se mencionan otros beneficios que genera la implementación de termopares de tipo k en los cilindros del motor Hyundai, utilizando tecnologías robustas de la industria.

- Toma segura de datos directamente desde el panel HMI ubicado en el cuarto de control de la MDU.
- Mejor visualización real de los valores de temperatura emitidos por cada uno de los 9 cilindros del motor durante su funcionamiento.
- Análisis más exacto del comportamiento y desarrollo de las temperaturas en relación a la suma promedio de los 9 cilindros.
- Mejor observación y rápida respuesta de maniobras a realizar ante alarmas visuales que indican que si algún parámetro de temperatura está fuera del límite establecido por el departamento técnico de operaciones y mantenimiento.
- Capacidad futura del control eficiente de carga por medio de reducción y alarmas de seguridad que determinen por medio de programación el avance del incremento de carga si un parámetro está fuera de los rangos permitidos.
- Mayor confiabilidad de los datos de temperatura presentados para reporte de informes técnicos sobre el funcionamiento del motor durante la generación continua.

**Figura 37:** Nueva forma de monitoreo de temperaturas de combustión del motor



En la siguiente tabla se hace una referencia al tiempo empleado por el operador en la toma de los datos de temperaturas de los cilindros, incluyendo la forma anterior que se utilizaban los termómetros de glicerina y con la implementación de la mejora donde se utilizan termocuplas y visualización directa en el HMI.

**Tabla 10:** Análisis de tiempos empleados según uso de cada instrumento.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TIEMPO (Segundos/ Cilindro)	CANTIDAD (Cilindros)	CANTIDAD (Motores/ Operador)	NÚMERO DE MUESTREO Por día (24h)	TIEMPO TOTAL EMPLEADO/ OPERADOR (Segundos)
1	CON EL USO DE TERMÓMETROS DE GLICERINA	5	9	8	12	4320
2	CON EL USO DE SENSORES TERMOCUPLAS K	15	1 ventana	8	12	1440

Como podemos observar en la **tabla 10**, se realiza una descripción del tiempo promedio empleado por cada operador en realizar la toma de datos de temperatura usando los diferentes instrumentos de medición. Claramente se observa que al contar con esta tecnología de automatización el ahorro de tiempo es muy significativo, pudiendo luego ser usado este espacio de tiempo en otras actividades que contribuyen a la generación de energía, como por ejemplos: procesos de lavados de turbina, lavados de compresor, aforos de tanques, alineaciones de

válvulas y sistemas en general del circuito de producción, creación de reporte de novedades, entre otras maniobras diarias de operación.

Al contabilizar los segundos empleados solo en la actividad de registro en referencia a las temperaturas de cilindros, durante un día de operación continua del motor sin para (24 horas), podemos ver que se consumen 4320 segundos (1.2 horas) cuando se están utilizando termómetros de glicerina; mientras que, con el uso de los termopares tipo k con visualización directa en el HMI, se empleará un tiempo aproximado de 1440 segundo (0.4 horas).

Adicional a esta referencia se deben contemplar los costos por mantenimientos de los termómetros de glicerina que genera para la empresa dentro de un ciclo operativo, son mucho mayores que el costo por mantenimiento que se requiere con el uso de termocuplas, tal cual se hace mención a este punto de manera general en la explicación de la **tabla 3**, sumando todas estas variables veremos que los precios definidos para el cobro por generación en USD/kWh, se incrementa, causando que en la tabla de despacho económico diario, mensual y anual que es realizado por el CENACE, la Central sea desplazada hacia debajo de otras Centrales Térmicas de Generación Eléctrica, lo cual causa perjuicios y pérdidas para la empresa, ya que al estar ubicada en mejor posición la Central Santa Elena será considerada más rápidamente permitiendo tener mayores ingresos no solo por disponibilidad y confiabilidad, sino también por manejar menor costo operativo.

Por lo tanto, la automatización del sistema de medición muestra la factibilidad del uso de mejores herramientas de la automatización industrial para disminuir tiempos perdidos en la ejecución de tareas repetitivas que conllevan a realizar tareas que consumen momentos muy valiosos para la producción.

Al implementarse este proyecto, el cual se puede dividir en tres fases, siendo esta la primera, nos deja la posibilidad y viabilidad de acrecentar la seguridad del motor efectuando luego solo la ingeniería de programación más avanzada con enlaces de comunicación al PLC S7-300 principal de la máquina, donde se puede configurar entradas y salidas digitales en las que se incluyan alarmas sonoras y visuales, reducción del porcentaje de carga, tendencias de máximos y mínimos de los parámetros de temperaturas de los cilindros, calculados mediante la lógica de programación establecida, para capturar y almacenar durante determinado tiempo los históricos de los valores medidos en cada cilindro y luego poder acceder a ellos.

Realizar la vinculación de este software de control y monitoreo con un software de mantenimientos predictivos y preventivos, en los cuales sean ingresados automáticamente los parámetros de los sensores termocupla y el programa establecido determine las condiciones



operativas y el comportamiento del motor y así de recomendaciones sobre posibles fallas, desgastes, calibraciones, reajustes, entre otras recomendaciones técnicas.

Así mismo poder visualizar y tomar acciones inmediatas al tener los datos de temperaturas registrados a través del SCADA Hyundai y que sirve de control y monitoreo para la Central Santa Elena, el cual es operado por los especialistas técnicos de la Sala de Control.

Es necesario mencionar que, para la implementación de todas estas mejoras mencionadas, 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.

## CONCLUSIONES

- Luego de haber realizado el respectivo levantamiento de información referente al procedimiento de toma y registro de los datos de las temperaturas gases de combustión que se viene realizando en los motores de la Central de Generación Eléctrica ubicada en Santa Elena, y tomando como referencia las experiencias de los técnicos operadores y de mantenimiento sobre 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 procede a desarrollar una mejora al método y al sistema, el cual permita brindar garantías técnicas que me aprueben mejores técnicas de trabajo a los departamentos encargados y realizar mejores análisis del estado físico del motor, así como el determinar de forma más específica el comportamiento durante sus horas de trabajo. Por lo cual se implementó un sistema de control automatizado que capture y registre las temperaturas de los gases de combustión del motor Hyundai 9H21/32, el cual se acoplado a un generador eléctrico y juntos son parte del proceso de transformación de energía mecánica a eléctrica que es distribuida al Sistema Nacional Interconectado.
- Se utilizaron técnicas de investigación para poder especificar las tendencias y rangos de seguridad permitidos para el parámetro de temperaturas de combustión del motor, basando los resultados en datos determinados por el fabricante HHI, y el aporte del personal con experiencia que opera y trabaja a diario con el motor. En este punto se estableció una alarma visual que alerte al operador del área si algún parámetro excede el valor máximo permitido para operación continua de carga máxima, y según el departamento técnico de la Central, se propuso un ajuste máximo de 405°C por cada cilindro, adicional se programó la visualización del cálculo de la temperatura promedio de los 9 cilindros, éste valor referencial es de mucha importancia en la toma de decisiones, debido a que según el fabricante se recomienda que la desviación de los datos de temperatura de combustión de cada cilindro no debe superar a +/- 50°C en relación con la temperatura promedio del total de la suma de valores de temperatura de los 9 cilindros, tal como indica la **figura 5**, donde se muestran los parámetros operativos del motor en condiciones normales. También fue necesario contemplar un análisis para evitar pérdidas y gastos que se le genera a la empresa cuando un motor no dispone de instrumentos confiables de lecturas de temperaturas, como pérdidas de tiempos en la toma de datos, falta de confiabilidad de estos, error en las lecturas, indisponibilidades del motor por causas de cambios de instrumentos defectuosos durante la operación continua.

- Una vez establecidos los parámetros de trabajo y observando la estructura impuesta en el motor para el registro de temperaturas de gases, se diseña un sistema de sensorización automatizado que se pueda implementar sobre esta estructura física y nos permita captar dichos valores de manera más segura con una mejor técnica, por lo que se lleva a cabo el uso de termopares que trabajan bajo el efecto Seebeck y Peltier como la termocupla del tipo k que opera entre rangos de 0 a 1300 °C en promedio, enviando una señal analógica del voltaje según se incrementa la dilatación de los termoconductores en dependencia de los grados de calor medido en el pozo. Para ello se recomienda utilizar los convertidores de temperatura para poder para que la señal de voltaje sea transformada y leída por la lógica cableada del PLC por medio de un slot de entradas analógicas; esta información es mostrada en una pantalla HMI por medio de gráficos dinámicos e interactivos que cambian de acuerdo con los valores mostrados según sea la lectura del sensor en el campo.
- Luego de automatizar el sistema de monitoreo de temperaturas de combustión de los 9 cilindros del motor Hyundai, se validan los resultados por medio de pruebas con el motor en vacío y a plena carga declarada (1445 kW), donde se puede observar el beneficio de la implementación de la propuesta, así como el ahorro de tiempos muertos, seguridad en el ejercicio de la maniobra, mayor legibilidad de los valores mostrados, efectividad de los reportes, mejor y más rápida respuesta en la toma de decisiones.

## RECOMENDACIONES

- Una de las recomendaciones es mantener el monitoreo constante de los parámetros del motor sin descuidar su vigilancia, debido a que el proyecto de automatización de las mediciones de temperatura solo puede verse reflejadas en el HMI del motor. Por lo que se propone que se tome como base esta implementación mejorada para que a partir de aquí se pueda ir perfeccionando y automatizando la planta con la aplicación de instrumentos de control electrónico del tipo industrial, softwares mejorados de programación, envío de datos eficientes, llegando hasta el SCADA que controla el proceso de generación eléctrica de la Central Santa Elena.
- Uno de los retos de la industria es la constante evolución e implementación de nuevas técnicas, equipos y herramientas de trabajo que le brinden al hombre la capacidad de utilizar de una mejor manera el tiempo y los recursos de producción, evitando gastos que generan pérdidas en la producción y afectaciones al ambiente y al ser humano.
- Según el estudio técnico se recomienda el uso de instrumentos que posean la capacidad técnica requerida para trabajar bajo ciertas condiciones ambientales extremas y no usar elementos de bajo costo pero que no generan confianza para trabajo continuo, como por ejemplo usar termómetros de glicerina que cuestan menos, pero se dañan y descalibran más rápido.
- Es necesario seguir con una nueva etapa de proyecto en la cual se incluya la reestructuración de la programación del PLC principal de la máquina el S7-300 con software compatibles que ayuden a diagnosticar fallas prematuras en el motor en función del análisis de las temperaturas de gases de combustión de los cilindros que es el indicador de fallas más importante para analizar el estado interno del motor.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alutal. (2022). *vendas@alutal.com.br*. Obtenido de <https://www.alutal.com.br/es/termopar>
- Antonio Rovira de Antonio, M. M. (2015). Motores de Combustión Interna. *UNED*.
- CELEC EP. (2022). TÉCNICOS DE CELEC EP A LA VANGUARDIA. *CINÉTICA*, 1, 23.
- Chuqui, D. A. (2019). *AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL MEDIANTE UN PLC, INTERFACE HMI Y CONTROL REMOTO DESDE DISPOSITIVOS MÓVILES*. Quito: UISRAEL.
- Edilberto Antonio LLanes Cedeño, Y. G. (2019). DETECCIÓN DE FALLAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN MEDIANTE INDICADORES DE TEMPERATURA Y PRESIÓN DE INYECCIÓN. *INGENIUS*, 45. doi: <https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.04>
- Edwin Jhovanny Alzate Rodríguez, J. W. (2007). Medición de temperatura: sensores termoeléctricos. *Scientia Et Technica*, 1(34). doi:<https://doi.org/10.22517/23447214.5509>
- Flavio Humberto Fernández Morales, J. E. (2013). Módulo para la medición de variables en motores de combustión interna. *Ingeniería y Tecnología*, 9.
- Hormanza Rodriguez, W. M. (2019). *Implementación de un sistema de instrumentación con sensores de temperatura y de flujo en cada etapa del gasificador Downdraft GEK 1.2.5 de la facultad técnica para regular la eficiencia en grupo electrógeno Otto usando gas de síntesis obtenido por bioma*. Guayaquil.
- Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. (2011). Tipo de Motor H21/32. Cheonha-Dong, Dong-Gu, Ulsan, Korea.
- JUMO Instrument Co. Ltd. (01 de 07 de 2009). *JUMO*. Obtenido de [www.jumo.co.uk](http://www.jumo.co.uk)
- López Velasco Walter Estuardo, M. A. (2011). *Desarrollo de un sistema SCADA para la medición de temperatura con sistemas embebidos para el laboratorio de Mecatrónica*. Riobamba.
- Luis Tipanluisa, G. V. (2017). Análisis Comparativo de los Gases Residuales de la Combustión y Fallas en Motores Hyundai Modelo 9H21/32, En Estación de Generación Eléctrica Distribuida. *Innova*, 2, 41. doi:<https://doi.org/10.33890/innova.v2.n3.2017.130>
- Omega Ingeniería, Inc. (2022). *Omega*. Obtenido de <https://www.omega.com/en>
- PR electronics S.L. (2022). *PR electronics*. Obtenido de <https://www.prelectronics.com/es/>
- Proeléctrico. (Agosto de 2019). *Proeléctrico Representaciones S.A.* Obtenido de <https://www.proelectrico.com/acondicionamiento/>
- Rios, R. S. (Octubre de 2015). *ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL Y DIGITAL ANALÓGICO SIGMA DELTA*. Cataluña: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA.
- Rivera, E. M. (2008). *GENERACIÓN ELÉCTRICA POR PILA TERMOELÉCTRICA — EFECTO SEEBECK —*. Isagogé.

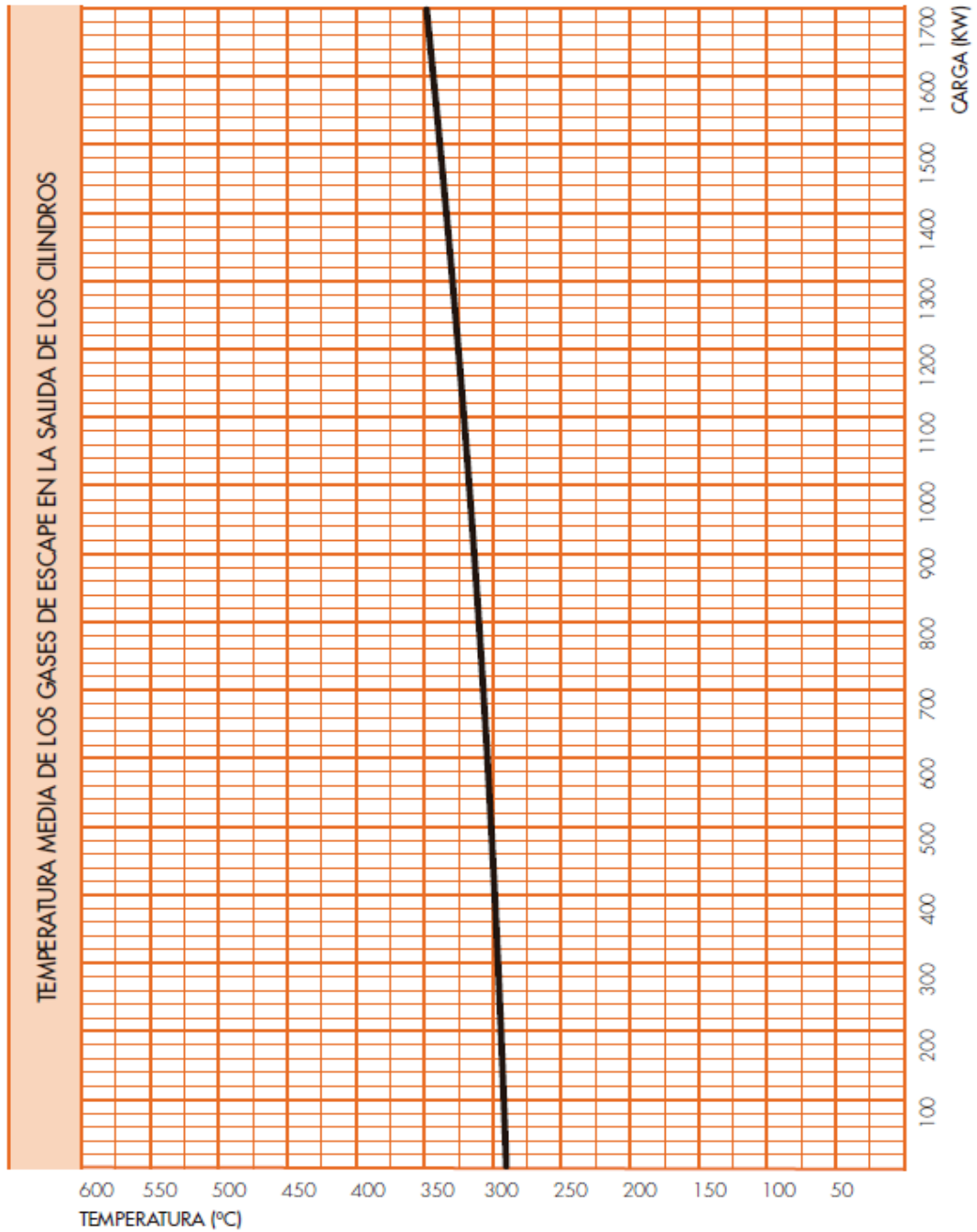
- RS Corporations. (2022). *RS Components Sdn Bhd Suite 9D*. Obtenido de <https://my.rs-online.com/web/p/temperature-transmitters/8275451>
- Sabogal, G. A. (2016). *DISEÑO DE UNA ESTACIÓN PARA LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA DE LOS GASES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA*.
- Sangoluiza, P. C. (2020). *AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL LLENADO DE LA TOLVA DE RECEPCIÓN DE AFRECHO HÚMEDO EN CERVECERÍA NACIONAL QUITO*. QUITO: UISRAEL.
- Schneider Electric Japan Holdings Ltd. (2022). *Pro-Face*. Obtenido de <https://profaceamerica.com>
- SIEMENS. (2022). *siemens.com*. Obtenido de <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>
- SIEMENS. (2022). *siemens.com Sitio web mundial*. Obtenido de <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-300.html>
- TC SA. (2022). *TC Medida y Control de Temperatura, S.A.* Obtenido de [info@tc-sa.es](mailto:info@tc-sa.es): <https://www.tc-sa.es/termopares/tipo-k-termopar.html>
- Vladimir, O. C. (2020). *REINGENIERÍA DEL SISTEMA DE CONTROL DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR NÚMERO 4 DE CERVECERÍA NACIONAL PLANTA QUITO*. Quito: UISRAEL.
- Yedadyin Grajales Erazo, J. F. (2019). *DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA A TRAVÉS DE TERMOCUPLA TIPO K Y MICROCONTROLADOR USANDO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SPI*.
- Yeraldyn Grajales Erazo, J. F. (2019). *DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA A TRAVÉS DE TERMOCUPLA TIPO K Y MICROCONTROLADOR USANDO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SPI*. Bogotá DC.

## ANEXOS 1

Carta de temperatura media de los gases de escape en la salida de los cilindros del motor  
Hyundai 9h21/32

TAREA: CARTA DE RÉGIMEN TECNOLOGÍA HHI 1,7 MW PPS

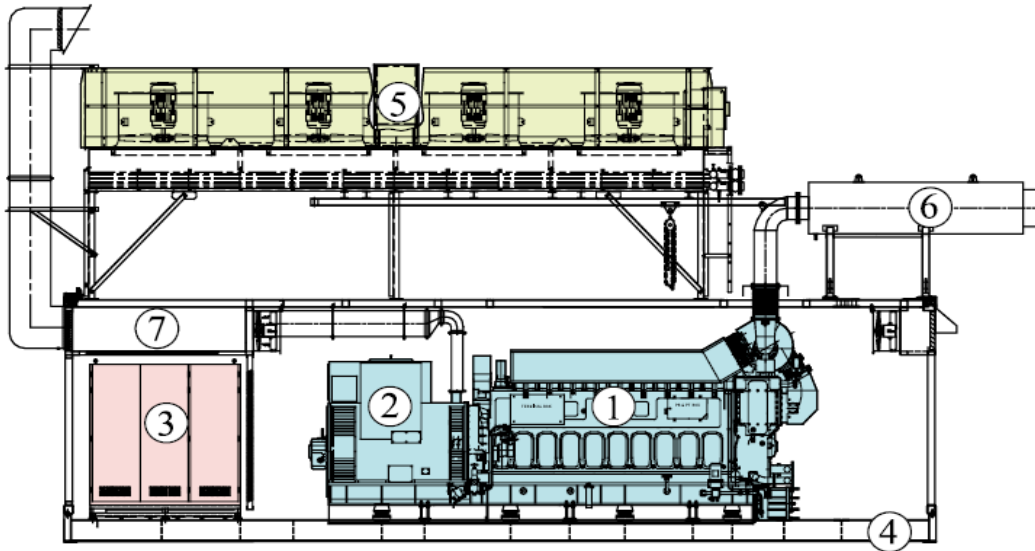
CÓDIGO: UJHG 0304  
FECHA DE EMISIÓN: 01/05/2009  
REVISIÓN: 001  
PÁGINA: **281** (10/15)



## ANEXOS 2

Estructura del motor y especificaciones en general

### ESTRUCTURA



- ① Motor
- ② Generador
- ③ Panel de control
- ④ Recinto
- ⑤ Radiador
- ⑥ Silenciador de escape de gas
- ⑦ Extractor de aire de ventilación

### ESPECIFICACIÓN GENERAL

Modelo de motor	6H17/28	8H17/28	6H21/32	8H21/32	9H21/32
Motor (kW)	690 / 720	920 / 960	1,200	1,600	1,800
Generador (kW)	645 / 673	865 / 902	1,128	1,505	1,701
Peso total (ton)	24	30	42	48	50
Dimensión (WxHxL)	2.4m × 3.4m × 12m (Container Size)				
Método de enfriamiento	Radiator / Cooling Tower				
Velocidad (rpm)	900 / 1,000				
Combustible	<b>Diesel Oil / Heavy Fuel Oil</b>				



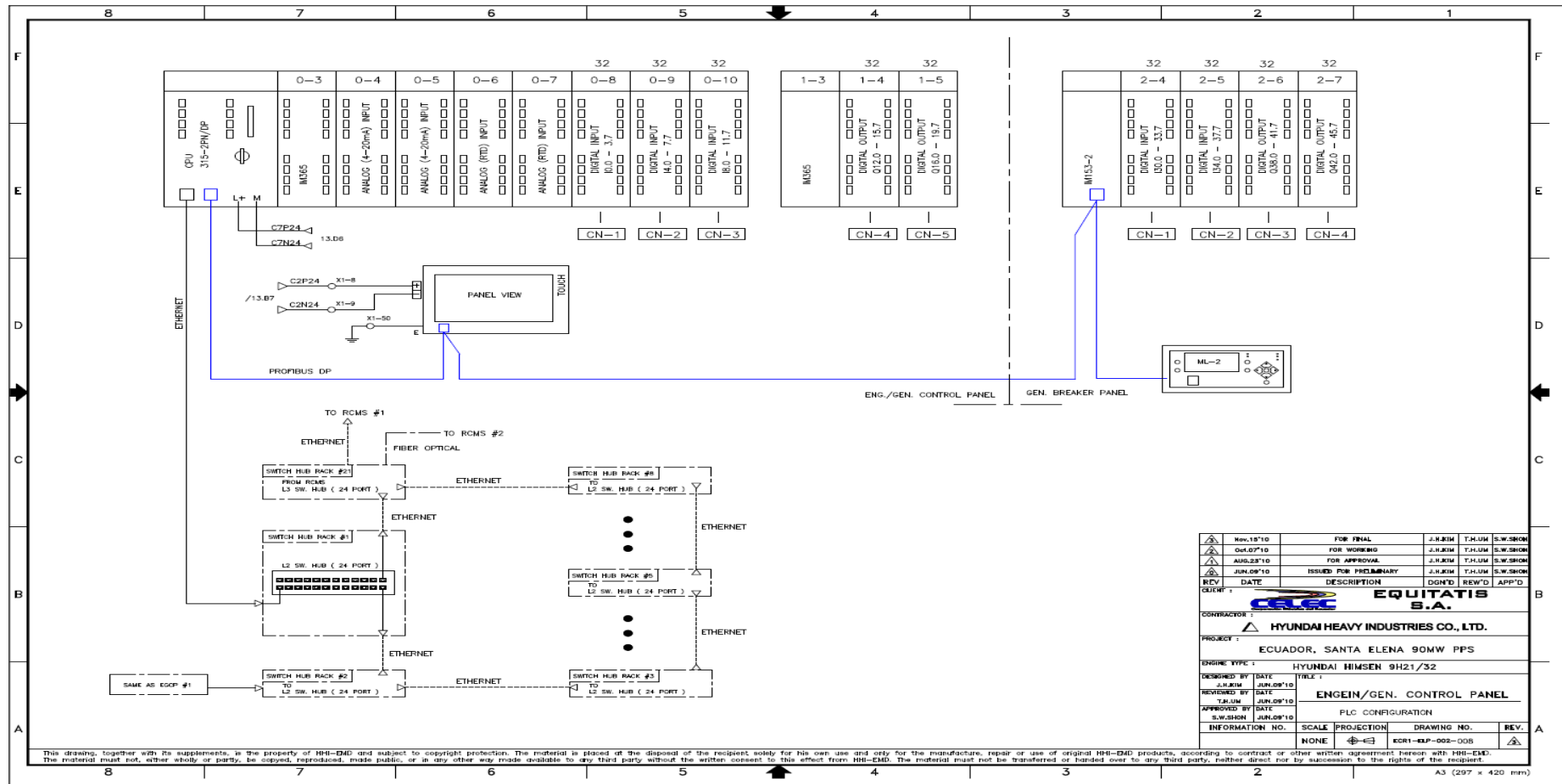
### ANEXOS 3

#### Especificaciones técnicas del generador Hyundai

6. CALCULATED TECHNICAL DATA			
Item no.	Description	Unit	Data
<b>GENERATOR</b>			
1	Maker		HYUNDAI
2	Type		Brushless and rotating with Damper winding
3	Rated Output	KVA	2127KVA(1701KW)
4	Rated Voltage	V	4160
5	Rated Current	A	295.1
6	Rated Frequency	Hz	60
7	Rated Power Factor	Cos $\phi$	0.8
8	Class of Insulation		F
	(a) Stator		F
	(b) Rotor		F
	(c) Exciter		F
9	Temperature rise		F
10	Enclosure		IP23
11	Rated Speed	Rpm	900
12	Rated Over Speed	Rpm	1080
13	No. of Pole		8
14	Excitation Type		Brushless and self excited
15	Excitation Voltage	V	80
16	Excitation Current	A	6.0
17	Type of Bearing		Sleeve
18	No. of Bearing		One
19	Cooling Type		Air

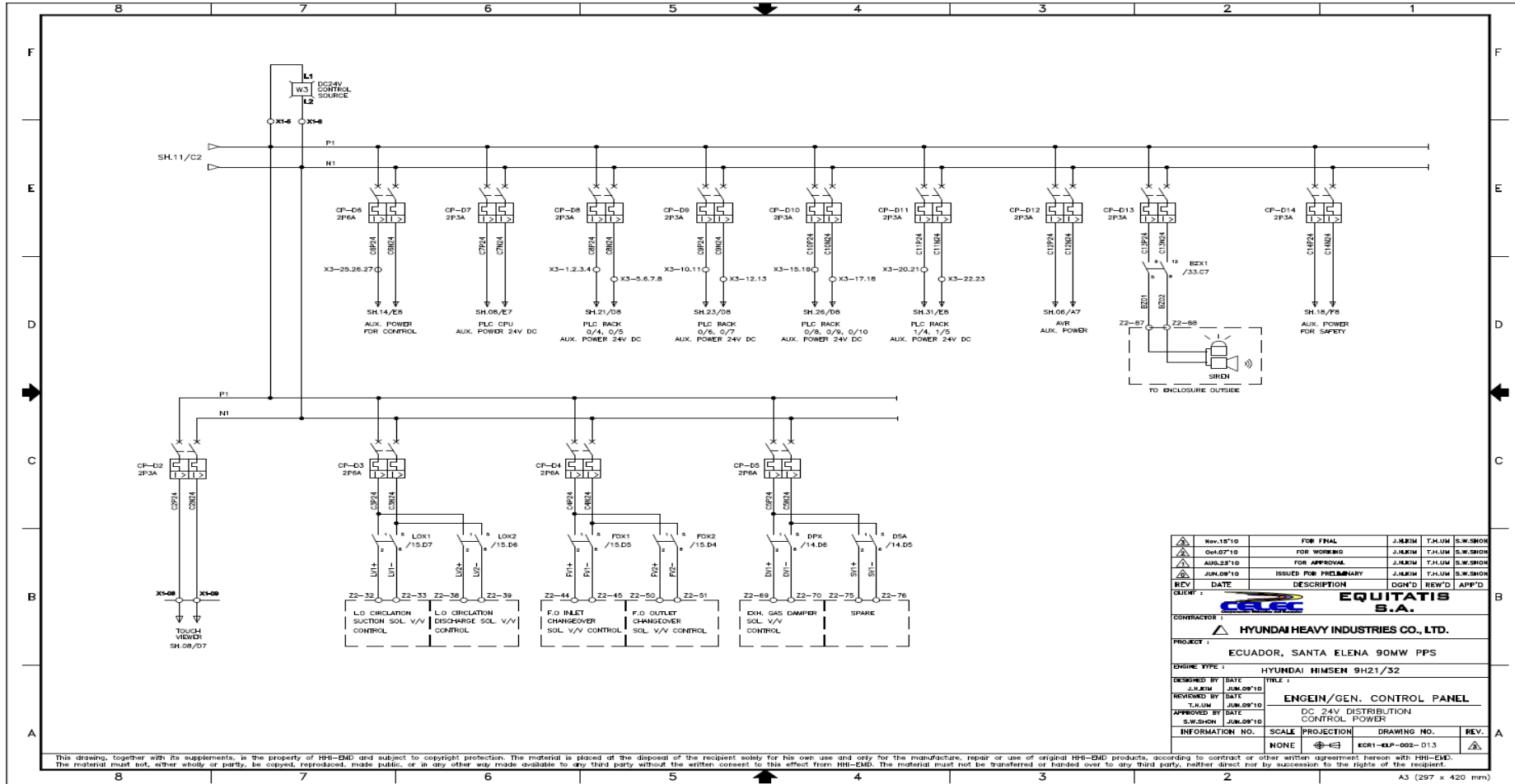
## ANEXOS 4

### Configuración de conexión principal del PLC SIEMENS S7-300 del motor Hyundai



# ANEXOS 5

## Distribución 24 VDC para alimentación de control



## ANEXOS 6

### Especificaciones funcionales del HMI Pro-Face AGP3600



#### Especificaciones funcionales

Tipo de visualización	LCD a color TFT
tamaño de la pantalla	12,1"
Resolución	800 x 600 píxeles (SVGA)
Paso de punto	Ancho 0,3075 x Alto 0,3075 mm [Ancho 0,01 x Alto 0,01 pulg.]
Área de visualización efectiva	An. 248 x Al. 186,5 mm [An. 9,76 x Al. 7,34 pulg.]
Colores de visualización	65 536 colores (sin parpadeo)/16 384 colores (parpadeo)
Iluminar desde el fondo	Cuando GP Revisión 5 y posterior:   *1
Control de brillo	8 niveles (ajustados con el panel táctil)
Control de contraste	No aplica
Vida útil de la retroiluminación	50.000 horas o más (funcionamiento continuo a 25 °C antes de que el brillo de la luz de fondo disminuya al 50 % o la luz de fondo comience a parpadear)
Fuentes de idioma	Japonés: 6962 (estándares JIS 1 y 2) (incluidos 607 caracteres que no son kanji), ANK: 158 (se pueden descargar fuentes coreanas, chino simplificado y chino tradicional).
Tamaños de caracteres	Fuente estándar: fuentes de 8 x 8, 8 x 16, 16 x 16 y 32 x 32 píxeles, fuente de trazo: fuentes de 6 a 127 píxeles, fuente de imagen: fuentes de 8 a 72 píxeles
Tamaños de fuente	Fuente estándar: el ancho se puede expandir hasta 8 veces. La altura se puede expandir hasta 8 veces.
8x16 puntos	100 caracteres x 37 filas
16x16 puntos	50 caracteres x 37 filas
32x32 puntos	25 caracteres x 18 filas
8x8 puntos	100 caracteres x 75 filas
Área del programa	EPROM FLASH 132 KB
Número de paso	Equivalente a 15.000 pasos *2
área variable	SRAM 64 KB (usa batería de litio) *3
Memoria de aplicación	EPROM FLASH 16MB *4
Copias de seguridad	SRAM 320KB (usa batería de litio) *5
Precisión del reloj	65 seg/mes (desviación a temperatura ambiente y energía apagada) *6
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 más
Serie (COM1)	RS-232C/422/485, transmisión asíncrona, longitud de datos: 7 u 8 bits, paridad: ninguna, par o impar, bit de parada: 1 o 2 bits, velocidad de transmisión de datos: de 2400 bps a 115,2 kbps, conector: D-Sub9 (enchufar)
Serie (COM2)	RS-422/485, transmisión asíncrona, longitud de datos: 7 u 8 bits, paridad: ninguna, par o impar, bit de parada: 1 o 2 bits, velocidad de transmisión de datos: 2400 bps a 115,2 kbps, 187,5 kbps (MPI), conector : D-Sub9 (enchufe)
Ethernet (LAN)	IEEE802.3i/IEEE802.3u, 10BASE-T/100BASE-TX, Conector: Conector modular (RJ-45) x 1
Unidad de expansión 1	Unidad de expansión de comunicación x 1
Unidad de expansión 2	Unidad de expansión de entrada VM/DVI x 1
USB (TIPO-A)	Cumple con USB1.1 (TYPE-A) x 2, Voltaje de fuente de alimentación: DC 5 V ±5 %, Corriente de salida: 500 mA o menos, Distancia de comunicación: 5 m o menos
Memoria de expansión	Memoria de expansión de función x 1 (cubierta de interfaz interior)
Tarjeta CF	Ranura para tarjeta Compact Flash CF (TIPO-II) X 1
Salida de sonido	Salida de altavoz, 70 mW (carga nominal: 8 Ω, frecuencia: 1 kHz), conector: bloque de terminales de 2 piezas (AUX) x 1
Entrada/Salida AUX	Salida de alarma, salida RUN, salida de zumbador, voltaje nominal: CC 24 V, corriente nominal: 50 mA, entrada de reinicio remoto, voltaje de entrada: CC 24 V, conector: bloque de terminales de 2 piezas (AUX) X 1

## ANEXOS 7

### Especificaciones técnicas del HMI Pro-Face AGP3600

#### Especificaciones generales

Normas Internacionales de Seguridad	 
Voltaje de entrada nominal	CC 24V
Límites de voltaje de entrada	19,2 a 28,8 V CC
Caída de voltaje permitida	10ms o menos
El consumo de energía	50 W o menos
Corriente de entrada	30 A o menos
Resistencia de voltaje	CA 1000 V, 20 mA durante 1 minuto (entre carga y terminales FG)
Resistencia de aislamiento	DC500V 10MΩ (mín.), (entre carga y terminales FG)
Temperatura del aire circundante	0 a 50 °C (32 a 122 °F)
Temperatura de almacenamiento	-20 a 60 °C (-4 a 140 °F)
Humedad ambiental	10 a 90% HR (Temperatura de bulbo húmedo: 39°C máx. - sin condensación.)
Humedad de almacenamiento	10 a 90% HR (Temperatura de bulbo húmedo: 39°C máx. - sin condensación.)
Polvo	0,1 mg/m <sup>3</sup> o menos (niveles no conductores)
Grado de contaminación	Para uso en entornos con grado de contaminación 2
Atmósfera	Libre de gases corrosivos
Presión de aire (rango de altitud)	800 a 1114 hPa (2000 m [6561 pies] sobre el nivel del mar o menos)
Resistencia de vibración	Cumple con IEC/EN61131-2, de 5 a 9 Hz Amplitud única de 3,5 mm [0,14 pulg.], de 9 a 150 Hz Aceleración fija: 9,8 m/s <sup>2</sup> , direcciones X, Y, Z durante 10 ciclos (100 minutos)
Resistencia a la conmoción cerebral	Cumple con IEC/EN61131-2, 147 m/s <sup>2</sup> Direcciones X, Y, Z 3 veces
Inmunidad al ruido	Voltaje de ruido: 1000 Vp-p, Duración del pulso: 1 μs, Tiempo de subida: 1 ns (a través del simulador de ruido)
Inmunidad a descargas electrostáticas	Método de descarga de contacto: 6kV (IEC/EN61000-4-2 Nivel 3)
Toma de tierra	Conexión a tierra funcional: resistencia de conexión a tierra de 100 Ω, cable de 2 mm <sup>2</sup> o más grueso, o el estándar aplicable de su país. (Igual para terminales FG y SG)
Estructura	Equivalente a IP65f NEMA #250 TIPO 4X/13 (Superficie frontal del panel integrado) **7
Configuración de la instalación	Panel empotrado
Método de enfriamiento	Circulación de aire natural
Peso aproximado.	3 kg [6,6 lb] o menos (solo unidad de visualización)
Dimensiones externas	An. 313 x Al. 239 x Pr. 56 mm [An. 12,32 x Al. 9,41 x Pr. 2,2 pulg.]
Dimensiones de corte del panel	An. 301,5 x Al. 227,5 mm [An. 11,87 x Al. 8,96 pulg.], área de grosor del panel: 1,6 a 10 mm [0,06 a 0,39 pulg.] **8

## ANEXOS 8

### Especificaciones técnicas del PLC SIEMENS 1200



#### ESPECIFICACIONES DE UN VISTAZO:

Al pasar a una CPU S7-1200, estas son algunas de las principales especificaciones técnicas que tendrá que tener en cuenta:

- Temperatura de funcionamiento mínima: -20 °C
- Temperatura de funcionamiento máxima: 60 °C
- Categoría de tensión: 20,4 - 28,8 V dc (24 V dc nominal) u 85 - 264 V ac (115 o 230 V ac nominal) según la versión utilizada
- Tipo de entrada: Analógico, digital
- Tipo de salida: Relé o transistor
- Tipo de red: Ethernet
- Tipo de puerto de comunicación: Ethernet, Profinet, UDP
- Interfaz de programación: Profinet
- Entradas/Salidas máximas: 14/10
- Montaje: Pared/Carril DIN
- Lenguaje de programación utilizado: FBD, LAD, SCL

## ANEXOS 9

### Módulo de expansión de entradas analógicas para PLC SIEMENS 1200



Haz clic en la imagen para obtener una vista ampliada



Siemens 6ES7 231-4HF32-0XB0 SIMATIC S7-1200, Analog Input, SM 1231, 8 AI, 10V, 5V, -2.5V, OR 0-20mA/4-20 MA, 12 BIT + Sign OR (13 BIT ADC)

[Visita la tienda de Siemens](#)



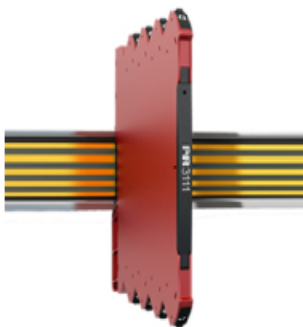
- Fábrica superávit artículo

#### Especificaciones para este producto

Código UNSPSC	32000000
Ean	6940408102040
Nombre de la marca	SIEMENS
Número de identificación comercial global	06940408102040
Número de modelo	ST70-1200
Número de pieza	6ES7231-4HF32-0XB0
Peso del producto	2.20 libras

## ANEXOS 10


### Características técnicas del convertidor de temperatura PR 3111



### Convertidor TC - aislado

## 3111

- Excelente precisión, superior al 0,05% del intervalo
- Carcasa slimline de 6,1 mm
- Excelente rendimiento CEM y supresión de ruidos de 50/60 Hz
- Tiempo de respuesta seleccionable < 30 ms / 300 ms
- Rangos de temperatura precalibrados, seleccionables mediante interruptores DIP



#### Aplicaciones

- El convertidor de temperatura 3111 realiza mediciones de sensores de temperatura estándar TC J y K, y ofrece una salida de tensión o de corriente analógica aislada.
- El alto aislamiento de 3 puertos proporciona supresión de sobretensiones y protege el sistema de control contra ruidos transitorios y ruidos.
- El 3111 se puede montar en zona segura o en áreas de zona 2 / división 2.
- Aprobado para aplicaciones marinas.

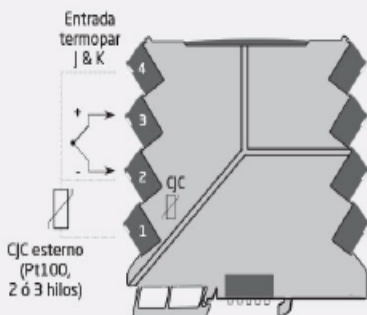
#### Características técnicas

- Alimentación flexible de 24 VCC ( $\pm 30\%$ ) a través de power rail o conectores.
- Tiempo de respuesta rápido de < 30 ms con detección de error en el sensor simultánea si se selecciona.
- Tiempo de respuesta de 300 ms seleccionable en caso de sea necesaria la atenuación de la señal.
- CJC interno/externo seleccionable.
- Excelente precisión de conversión en todos los rangos disponibles, superior al 0,05% del intervalo.
- Conforme a las recomendaciones de NAMUR NE21, el 3111 ofrece un rendimiento óptimo en las mediciones en entornos CEM adversos.
- El dispositivo cumple la norma NAMUR NE43, que establece los valores de salida fuera de rango y de error en el sensor.
- Un LED visible de color verde indica el estado de funcionamiento y el estado del sensor de entrada.
- Todos los terminales están protegidos contra sobretensión y errores de polaridad.
- Alto aislamiento galvánico de 2,5 kVAC.
- Excelente relación señal / ruido de > 60 dB.

#### Montaje / instalación / programación

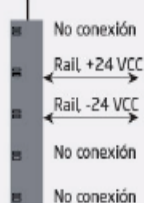
- Ajustes DIP seleccionables para la configuración sencilla de más de 1.000 rangos de medición calibrados de fábrica.
- La carcasa fina de 6,1 mm y el bajo consumo de energía permiten montar hasta 185 unidades por metro de rail DIN, sin separación entre las unidades.
- Amplio rango de temperatura de funcionamiento de -25...+70°C.

#### Aplicaciones



Entrada termopar J & K

CJC externo (Pt100, 2 ó 3 hilos)



No conexión

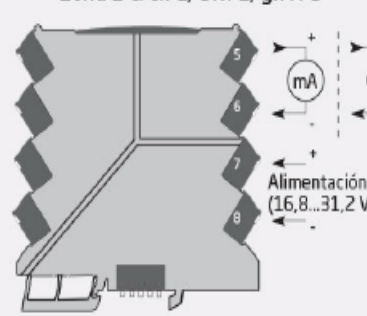
Rail +24 VCC

Rail -24 VCC

No conexión

No conexión

**Zona segura ó**  
**Zona 2 & Cl. 1, Div. 2, gr. A-D**



mA

V

Alimentación nom. 24 VCC (16,8...31,2 VCC)

79



Pedido

Modelo	Versión
3111	Con conector power rail / terminales :-
	Alimentación a través de terminales :-N

Ejemplo: 3111-N

**Condiciones ambientales**

Temperatura de funcionamiento.....	-25°C a +70°C
Temperatura de almacenamiento.....	-40°C a +85°C
Temperatura de calibración.....	20...28°C
Humedad relativa.....	< 85% HR (no cond.)
Grado de protección.....	IP20
Instalación en.....	Grado de polución 2 y cat. de medida / sobretensión II

**Especificaciones mecánicas**

Dimensiones (HxAxP).....	113 x 6,1 x 115 mm
Peso aprox.....	70 g
Tipo rail DIN.....	DIN EN 60715/35 mm
Tamaño del cable.....	0,13...2,5 mm <sup>2</sup> / AWG 26...12 cable trenzado
Torsión del terminal de atornillado.....	0,5 Nm
Vibración.....	IEC 60068-2-6
2...25 Hz.....	±1,6 mm
25...100 Hz.....	±4 g

**Especificaciones comunes**

<b>Alimentación</b>	
Tensión de alimentación.....	16,8...31,2 VCC
Potencia necesaria máx.....	0,70 W
Max. disipación de potencia.....	0,70 W
<b>Voltaje de aislamiento</b>	
Voltaje de aislamiento, test / operación.....	2,5 kVCA / 300 VCA (reforzado)
Zona 2 / Div. 2.....	250 VCA
<b>Tiempo de respuesta</b>	
Tiempo de respuesta (0...90%, 100...10%).....	< 30 ms / 300 ms (seleccionable)
Relación señal / ruido.....	Min. 60 dB
Programación.....	Interruptores DIP
Señal dinámica, entrada.....	23 bits
Señal dinámica, salida.....	18 bits
Precisión.....	Mejor que 0,05% del rango seleccionado
<b>Influencia sobre la inmunidad</b>	
EMC.....	< ±0,5% d. intervalo
Inmunidad EMC extendida: NAMUR NE21, criterio A, explosión.....	< ±1% d. intervalo
Identificación de la configuración DIP-switch incorrecta.....	Salida 0 V / 0 mA; LED 0,5 s / 1 Hz

**Especificaciones de entrada**

<b>Entrada temporar</b>	
Rango de temperatura, TC J.....	-100...+1200°C
Rango de temperatura, TC K.....	-180...+1372°C
Rango de medida mín. (intervalo) - TC J & K.....	50°C
Precisión: la mayor entre.....	Mejor que 0,05% del intervalo o 0,5°C
Coefficiente de temperatura: la mayor entre.....	0,1°C/°C o ≤ ±0,01%/°C
Resistencia del cable del sensor.....	< 5 kΩ por hilo
<b>Compensación unión fría (CJC):</b>	
Precisión vía entrada Pt100 externa.....	Mejor que ±0,15°C

**Compensación unión fría (CJC):**

Precisión vía CJC interno.....	Mejor que ±2,5°C
Detección de error en el sensor CJC interno.....	Sí
Detección de error en el sensor CJC externo.....	Sí - seleccionable mediante interruptor DIP
Detección de temporar abierto.....	Sí - seleccionable mediante interruptor DIP

**Especificaciones de salida**

<b>Especificaciones de salida comunes</b>	
Tiempo de actualización.....	10 ms
<b>Salida de corriente</b>	
Rango de la señal.....	0...23 mA
Rangos de señal programables.....	0 / 4...20 mA
Indicación de error en el sensor (0...20 mA).....	0 mA o 23 mA / OFF
Indicación de error en el sensor (4...20 mA).....	3,5 mA o 23 mA / según NAMUR NE43 o OFF
Carga (a salida de corriente).....	≤ 600 Ω
Estabilidad de carga.....	≤ 0,01% d. intervalo / 100 Ω
Limite de corriente a baja carga de salida.....	< 80 mA pico / < 4 mA media
<b>Salida de tensión</b>	
Rangos de señal programables.....	0/1...5 y 0/2...10 V
Indicación de error en el sensor.....	0 V / 10% por encima del máx. / sin
Salida abierta.....	< 18 V

**Marcado S.I. / Ex**

ATEX.....	II 3 G Ex ec IIC T4 Gc
IECEX.....	Ex ec IIC T4 Gc
FM, US.....	Cl. I, Div. 2, Gr. A, B, C, D T4 o Cl. I, Zone 2, AEx nA IIC T4
FM, CA.....	Cl. I, Div. 2, Gr. A, B, C, D T4 o Cl. I, Zone 2, Ex nA IIC T4
EAC Ex.....	2Ex nA IIC T4 Gc X

**Requerimientos observados**

EMC.....	2014/30/UE & UK SI 2016/1091
LVD.....	2014/35/UE & UK SI 2016/1101
ATEX.....	2014/34/EU & UK SI 2016/1107
RoHS.....	2011/65/UE & UK SI 2012/3032
ATEX.....	2014/34/UE
EAC.....	TR-CU 020/2011
EAC Ex.....	TR-CU 012/2011

**Aprobaciones**

ATEX.....	KEMA 10ATEX0147 X
IECEX.....	KEM 10.0088X
UKEX.....	DEKRA 21UKEX0055X
e FM us.....	FM17US0004X / FM17CA0003X
e UL us, UL 61010-1.....	E314307
DNV Marina.....	TAA00001RW
EAC Ex.....	RU C-DK-HA85.B.00355/19

3111-0725



## ANEXOS 11

### Voltaje para los termopares tipo K

La siguiente es una selección de valores de salida para termopares tipo K a temperaturas seleccionadas. Nota: El siguiente resultado se basa en una unión de referencia a 0 °C/32 °F:

La temperatura	Producción
0°C	0,000 mV
100°C	4,096 mV
200°C	8,138 mV
300°C	12,209 mV
400°C	16,397mV
500°C	20,644mV
600°C	24,905mV
700°C	29,129 mV
800°C	33,275mV
900°C	37,326 mV
1000°C	41,276 mV
1100°C	45,119 mV
1200°C	48,838mV

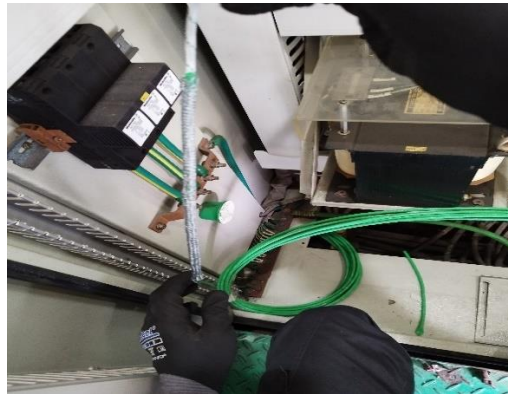
## ANEXOS 12

Mediciones, construcción y montaje de estructura de metal para soporte de cables, cable y cajas de conexiones con borneras y termopares tipo k



### ANEXOS 13

Cableado de conductores blindado de 4 hilos para termocupla (9 conductores de 12 m de largo)

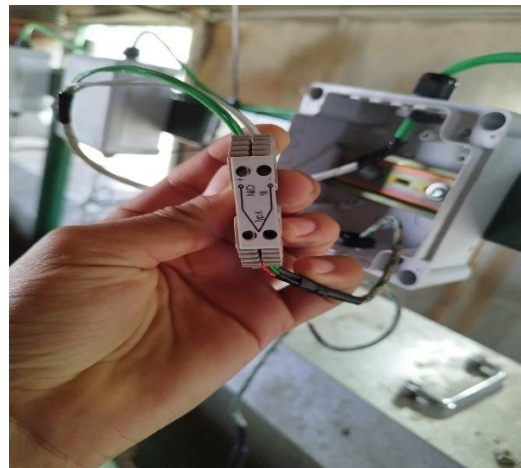


### ANEXOS 14

Conexiones de conductores, borneras y cambios de termómetros de glicerina e instalación de termocuplas tipo k



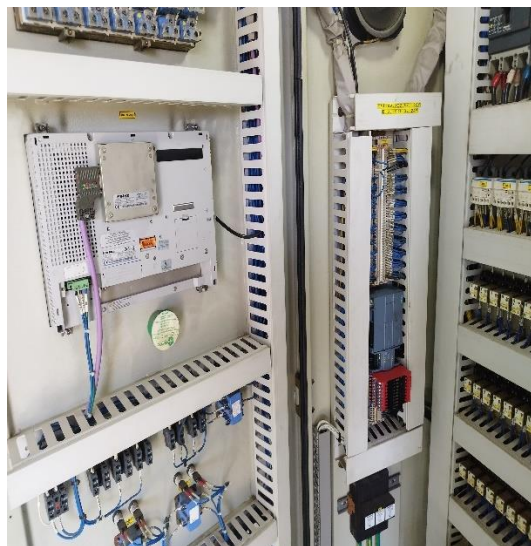
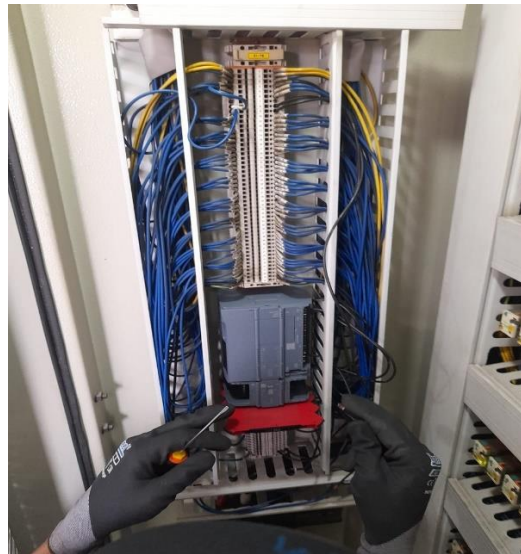
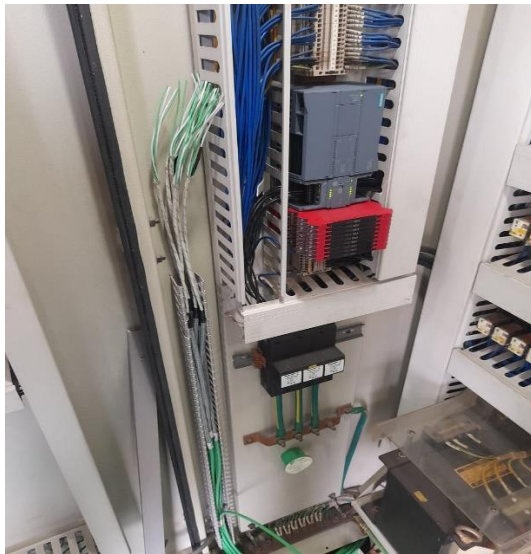






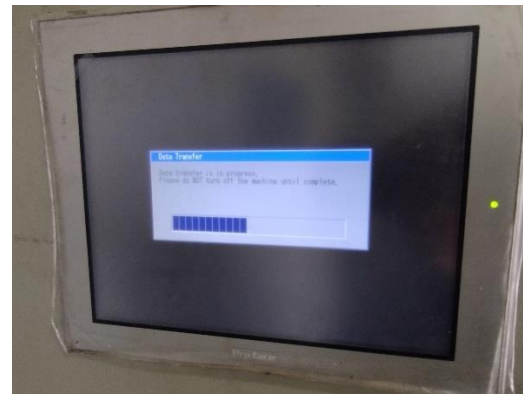
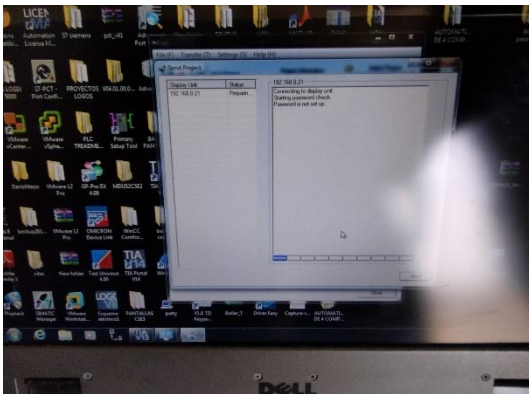
## ANEXOS 15

Instalación de PLC SIEMENS S7-1200, Convertidores PR 3111 y Alimentación de Voltaje DC



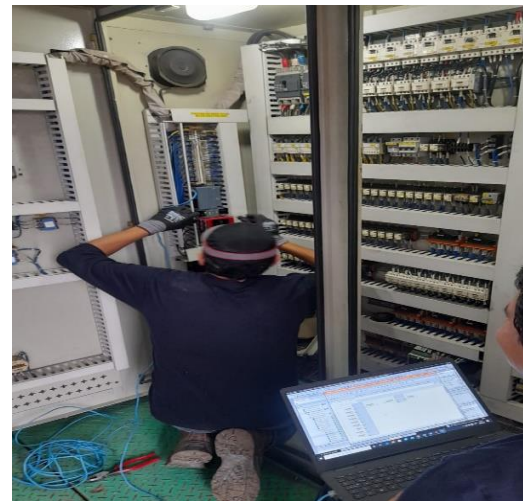
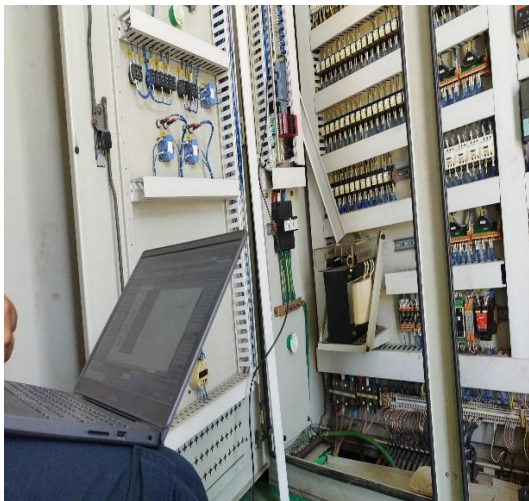
## ANEXOS 16

### Configuraciones y programación del HMI con Software Gprox-Ex

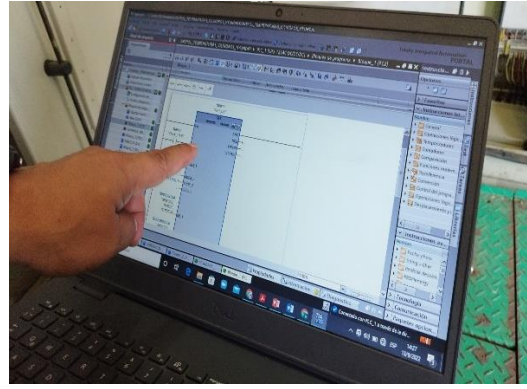
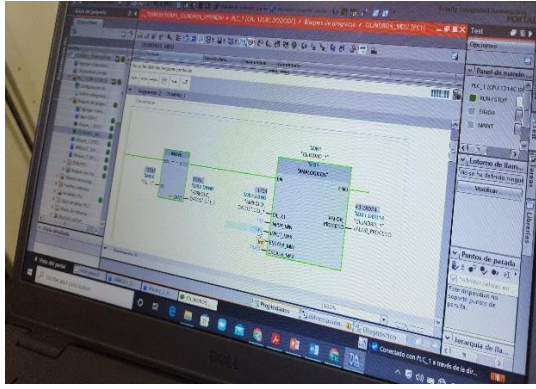


## ANEXOS 17

### Configuraciones y programación del PLC S7-1200 con Software Tía Portal v15







### ANEXOS 18

Equipo calibrador de proceso Fluke 750



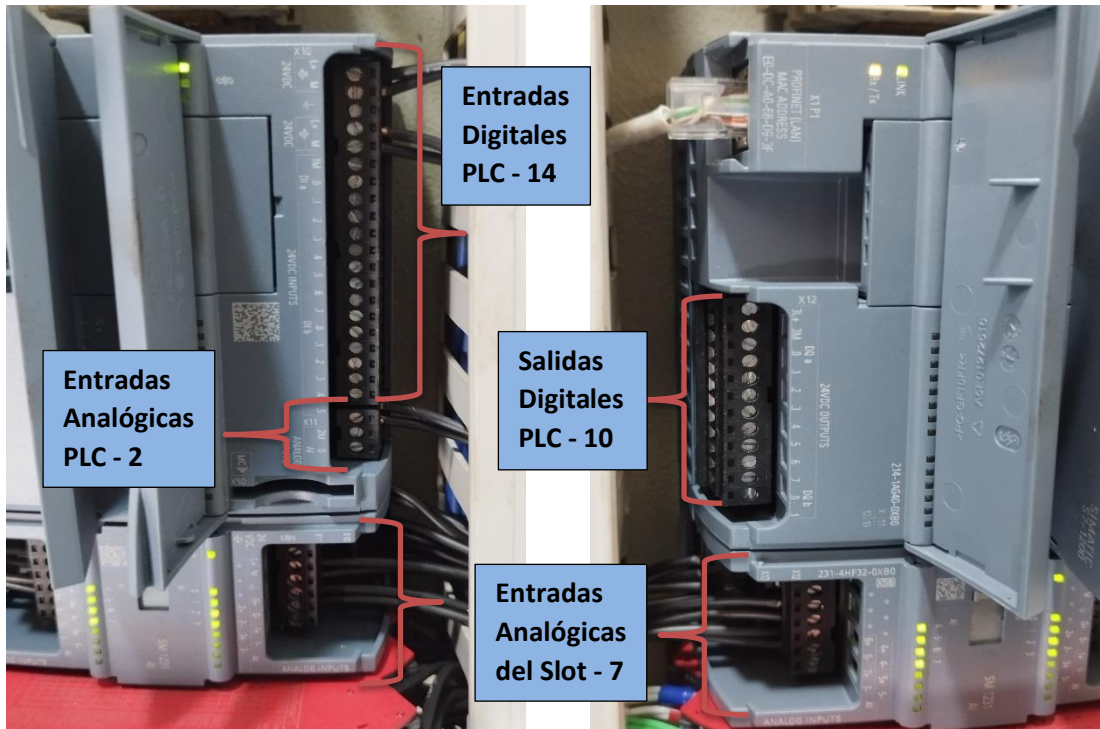
### ANEXOS 19

Ventanas del HMI para monitoreo de temperaturas de salida de gases de los cilindros



## ANEXOS 20

Entradas/Salidas analógicas del módulo de expansión y digitales del PLC SIEMENS S7-1200



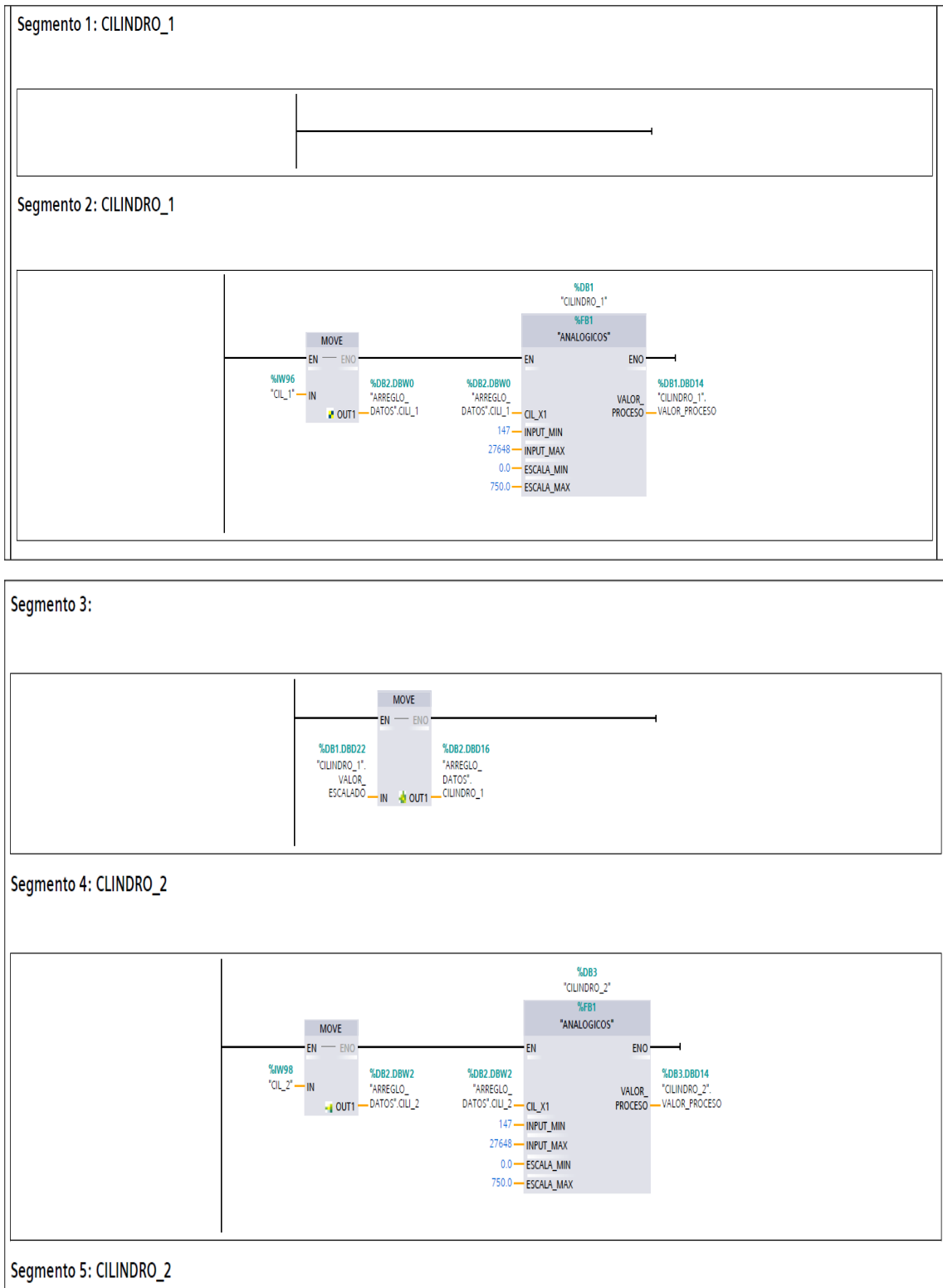
## ANEXOS 21

PLC principal del motor SIEMENS S7 - 300

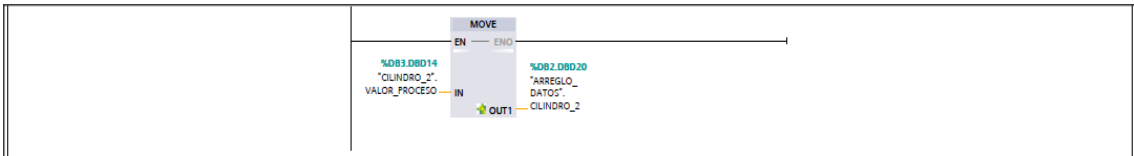


## ANEXOS 22

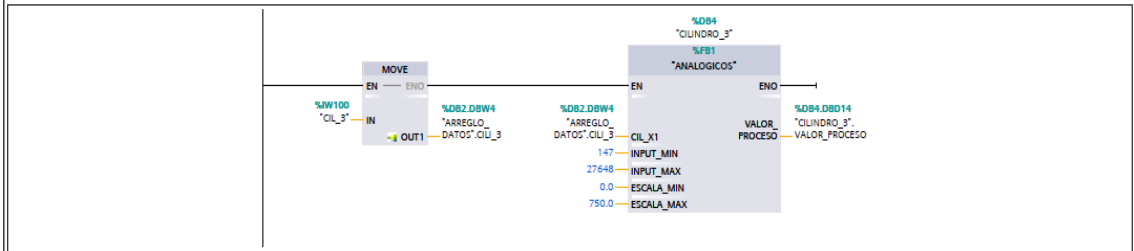
Secuencia de lógica de programación del PLC S7-1200 en Tía Portal v15 para lectura de temperaturas de cilindros del motor



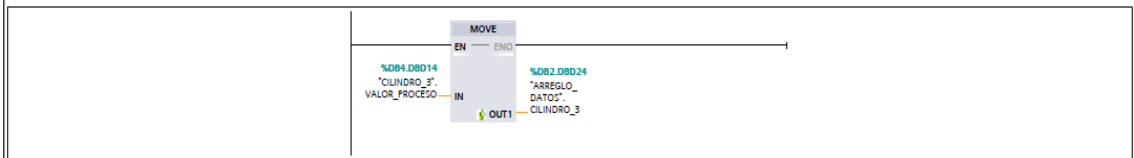




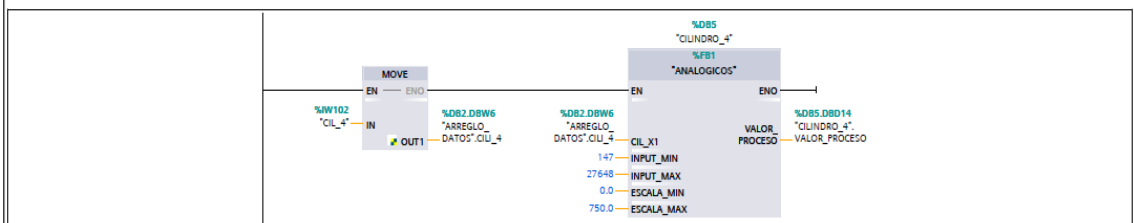
Segmento 6: CILINDRO\_3



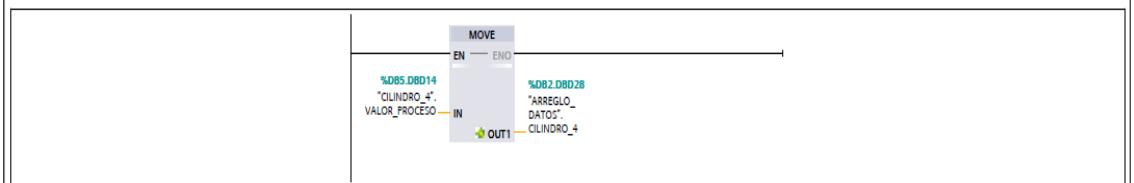
Segmento 7: CILINDRO\_3



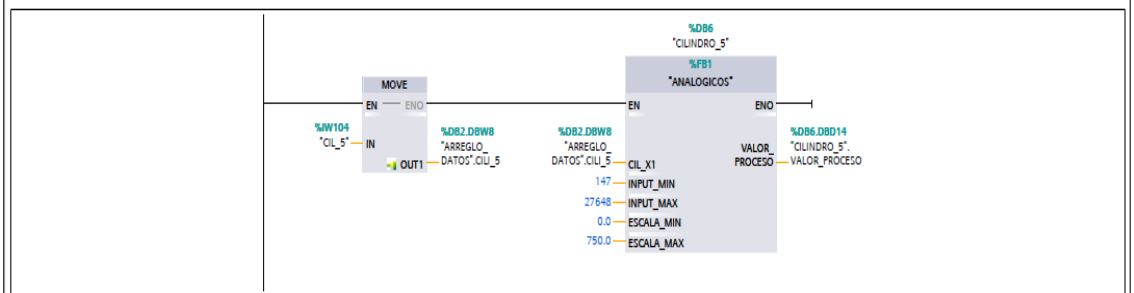
Segmento 8: CILINDRO\_4



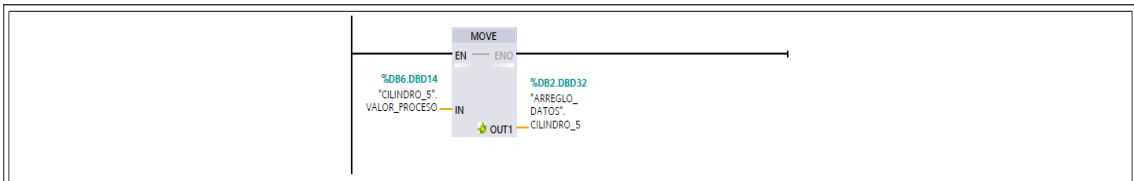
Segmento 9:



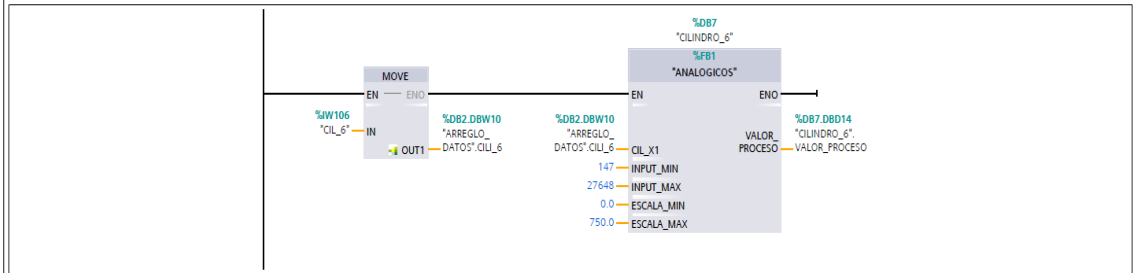
Segmento 10: CILINDRO\_5



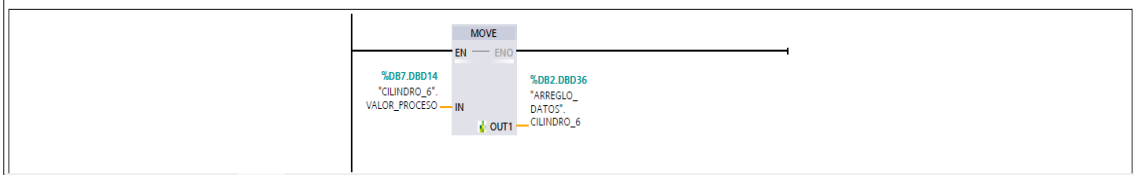
Segmento 11:



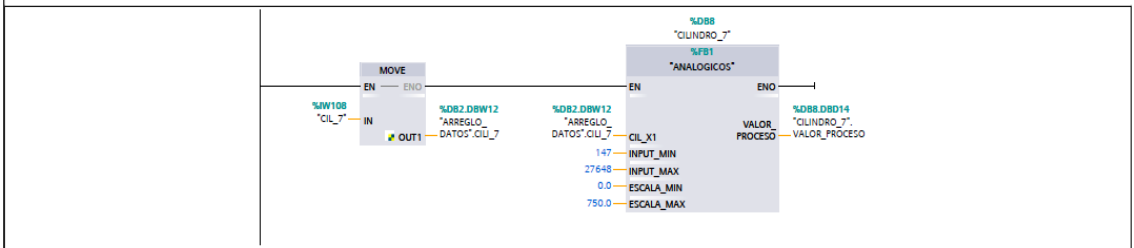
Segmento 12: CILINDRO\_6



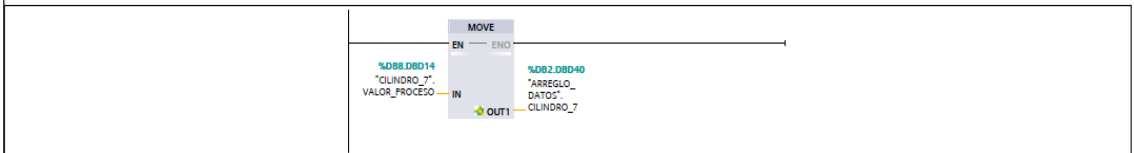
Segmento 13:



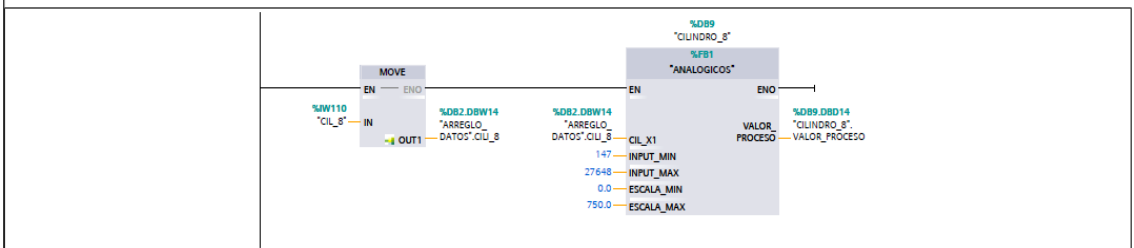
Segmento 14: CILINDRO\_7



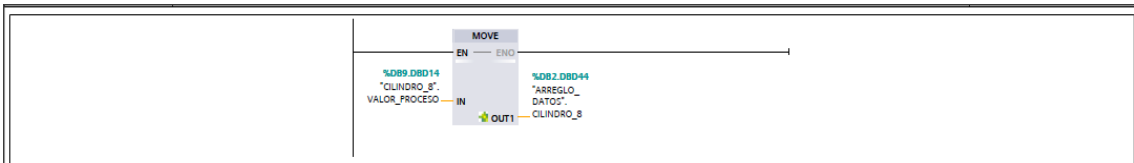
Segmento 15:



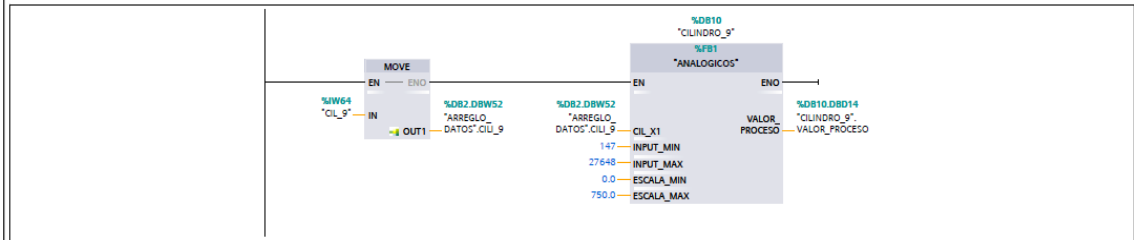
Segmento 16: CILINDRO\_8



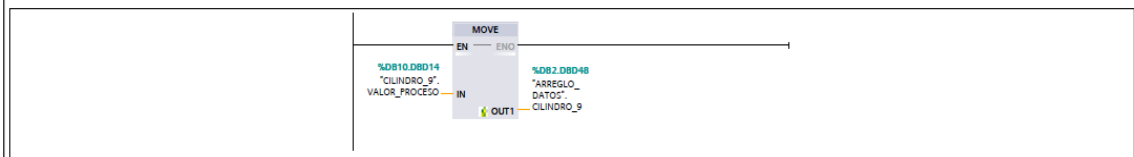
Segmento 17:



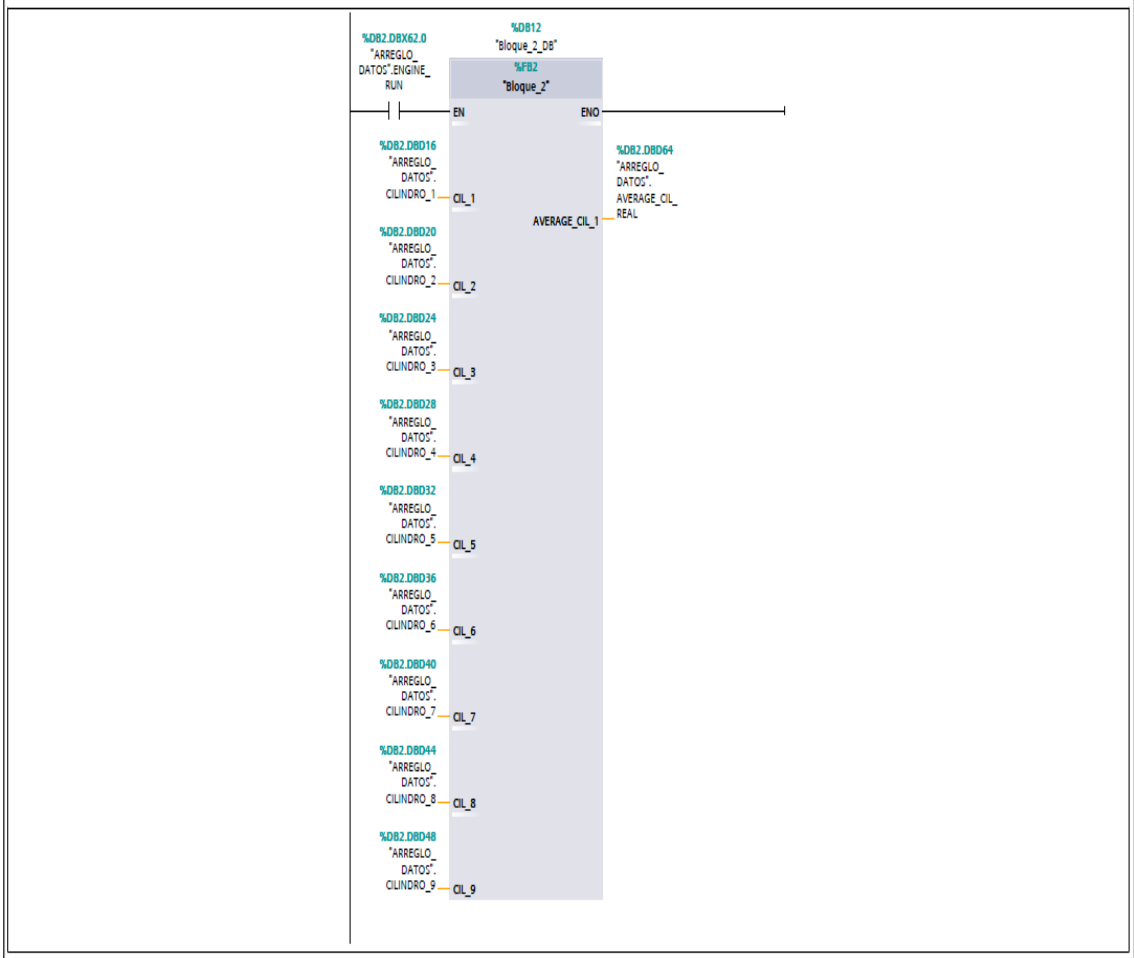
Segmento 18: CILINDRO\_9



Segmento 19:

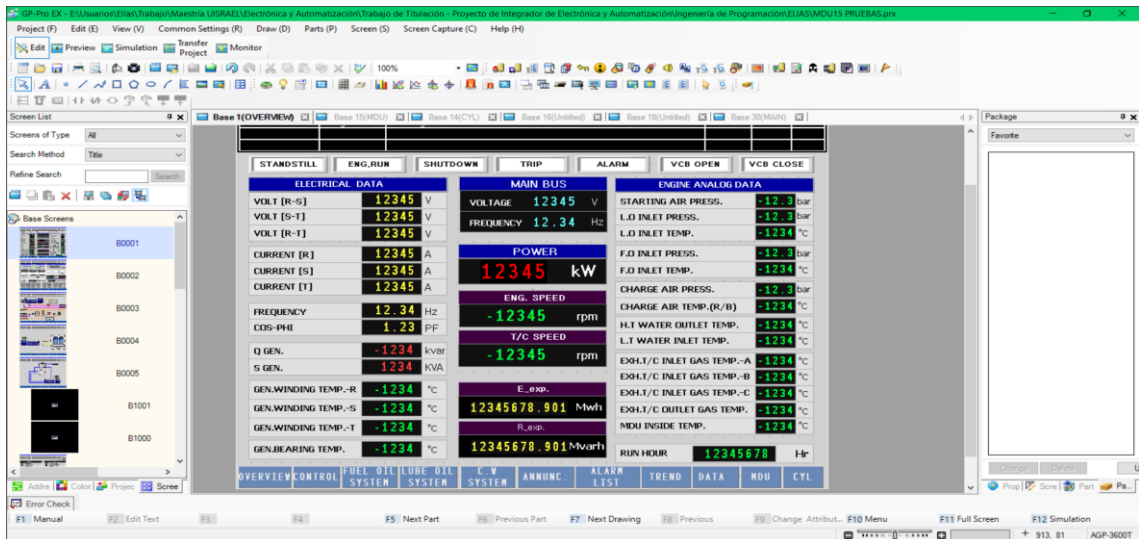
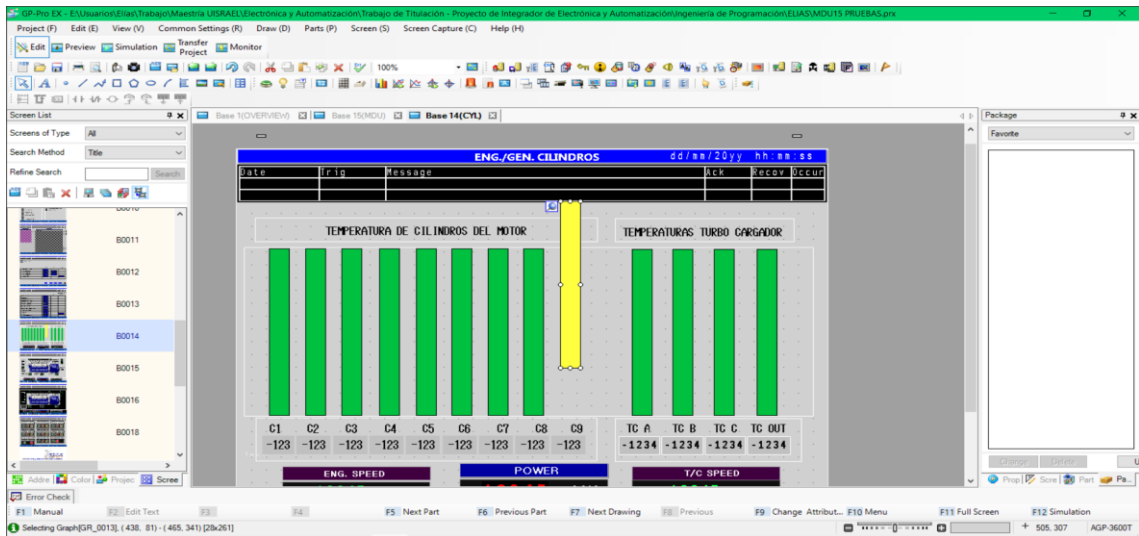
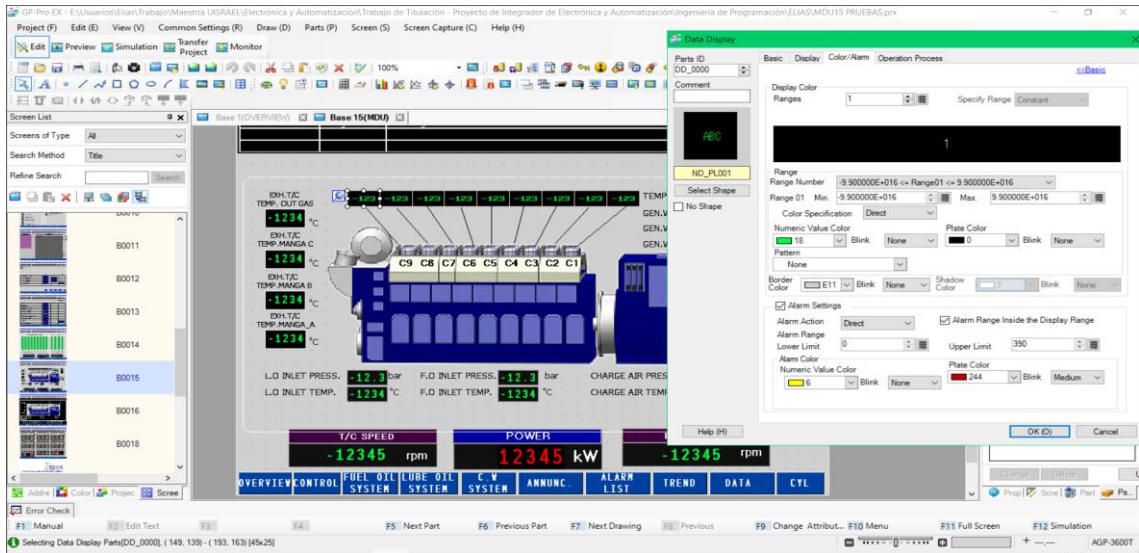


Segmento 20: PROMEDIO DE TEMPERATURAS



## ANEXOS 23

### Pantalla de programación del Gpro-Ex para el HMI Pro-Face



## ANEXOS 24

Validadores de la Tesis



Yo, **Samuel Baldomero Bustos Gaibor**, con C.I 1713145538 en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **“CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL MOTOR DE UN GENERADOR EN UNA TERMOELÉCTRICA DE SANTA ELENA”**.

Elaborado por el Ing. **Elías Bernavé Muñoz Pérez**, con C.I **0926460627**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización, de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Santa Elena, 09 septiembre del 2022



firmado electrónicamente por:  
**SAMUEL BALDOMERO  
BUSTOS GAIBOR**

**Ing.Msc Samuel Baldomero Bustos Gaibor**  
**C.I. 1713145538**  
**Registro SENESCYT**  
**# 1021-2016-1677419**



Yo, **Luis Enrique Chuquimarca Jiménez MSc.**, con C.I **1104610132**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **“CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL MOTOR DE UN GENERADOR EN UNA TERMOELÉCTRICA DE SANTA ELENA”**.

Elaborado por el Ing. **Elías Bernavé Muñoz Pérez**, con C.I **0926460627**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización, de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Santa Elena, 09 septiembre del 2022



firmado electrónicamente por:

**LUIS ENRIQUE  
CHUQUIMARCA  
JIMENEZ**

**Luis Enrique Chuquimarca Jiménez MSc.**

**C.I 1104610132**

**Registro SENESCYT 7675 R-15-20477**



Yo, **JOSE STALIN RAMIREZ CASTRO**, con C.I **0914793823** en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **“CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL MOTOR DE UN GENERADOR EN UNA TERMOELÉCTRICA DE SANTA ELENA”**.

Elaborado por el Ing. **Elías Bernavé Muñoz Pérez**, con C.I **0926460627**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización, de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Santa Elena, 09 septiembre del 2022



firmado electrónicamente por:  
**JOSE STALIN  
RAMIREZ  
CASTRO**

**ING JOSE STALIN RAMIREZ CASTRO, MGS  
MAGISTER EN AUTOMATIZACION  
Y CONTROL INDUSTRIAL  
C.I 0914793823  
REGISTRO SENESCYT 1021-2016-1677422**