



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN MEACATRÓNICA**

“REPOTENCIACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL EQUIPO BOMBA CALORIMÉTRICA ADIABÁTICA, PARA EL ANÁLISIS DEL PODER CALORÍFICO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN EL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE – MATRÍZ”

AUTOR: DÁVALOS CARRILLO, GREGORY JOSUE

DIRECTOR: ING. VILLAVICENCIO POVEDA, ANGELO HOMERO

Latacunga, 2023



CONTENIDO

1. Resumen
2. Objetivos
3. Hipótesis
4. Situación Actual
5. Repotenciación
6. Sistema de Adquisición de Datos
7. Pruebas y Resultados
8. Conclusiones y Recomendaciones



RESUMEN

Los equipos de laboratorio en la actualidad son altamente empleados en el campo investigativo por la precisión que proveen al realizar ensayos. Estos equipos también son utilizados en los centros educativos universitarios para ofrecerla a los estudiantes la oportunidad de operarlos y enseñarles a analizar los resultados con un enfoque aplicativo. Actualmente existen equipos que han quedado relegados de ocuparse debido a los años de los mismo se van perdiendo funcionalidades y presión en ciertos casos y en otros llegan al punto de quedar inutilizables. En el presente trabajo, se presenta la repotenciación, diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para la bomba calorimétrica adiabática Gallenkamp perteneciente al Laboratorio de Conversión de la Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Matriz.

Este equipo fue adquirido hace mas de 40 años y ha sido utilizado en varias prácticas a lo largo de los años, principalmente para la obtención del poder calorífico de combustibles líquidos ya que con este dato se pueden realizar análisis investigativos y aplicativos en diferentes áreas de estudio. Mediante la repotenciación de este equipo se logró recuperar toda su parte física empleando mantenimiento correctivo en gran parte de su sistema mecánico. Además se realizó un rediseño de todo su sistema eléctrico, implementando componentes modernos y disponibles actualmente en el mercado, mejorando de esta manera sus funcionalidades y considerando protecciones para el operador. El diseño e implementación del sistema de adquisición fue realizado pensando en la fácil operabilidad del equipo, que fuese intuitivo para el usuario, facilitando de esta manera todo el proceso que conllevan los ensayos y sobre todo obteniéndose resultados precisos al evaluarse el poder calorífico de combustibles líquidos.



OBJETIVOS

Objetivo General

- Realizar la repotenciación, diseño e implementación un Sistema de Adquisición de Datos en el equipo Bomba Calorimétrica Adiabática en el Laboratorio de Conversión de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Objetivos Específicos

- Realizar el mantenimiento correctivo en los componentes que así lo requieran, para conseguir la recuperación completa del funcionamiento correcto del equipo.
- Diseñar un sistema de adquisición de datos que permita la obtención rápida y eficaz de las mediciones referentes a las variables de interés del equipo Bomba Calorimétrica Adiabática.
- Implementar un sistema de Adquisición de Datos que sea intuitivo y fácil de emplear por los estudiantes y docentes, permitiéndoles realizar prácticas de manera eficiente.



HIPÓTESIS

¿Mediante la repotenciación, diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos en la bomba calorimétrica adiabática se podrá analizar el poder calorífico de combustibles líquidos en el laboratorio de conversión de energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Matriz?

Variable Independiente

- Repotenciación, Diseño e Implementación de un Sistema de Adquisición de Datos en el equipo Bomba Calorimétrica Adiabática.

Variable Dependiente

- El análisis del poder calorífico de combustibles líquidos dentro del Laboratorio de Conversión de Energía.



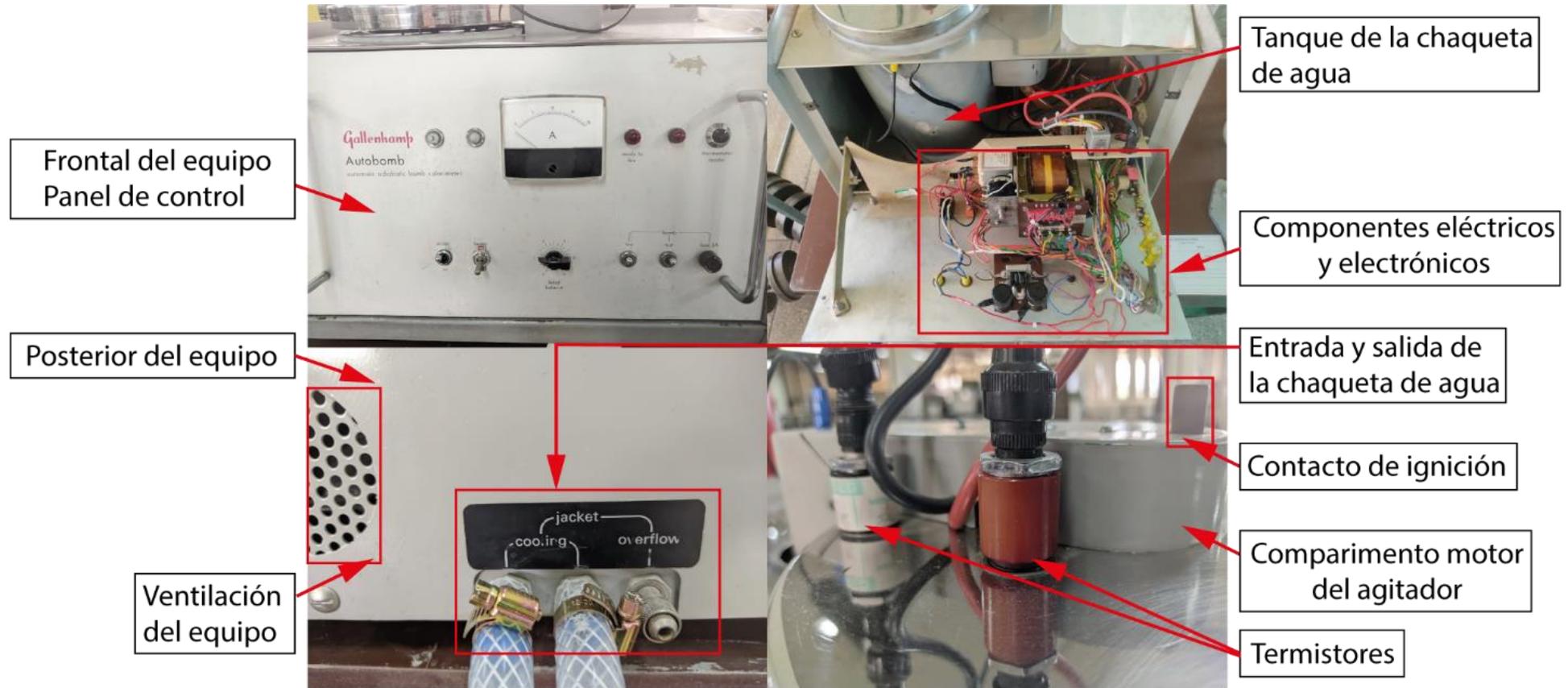
SITUACIÓN ACTUAL

La bomba calorimétrica adiabática Gallenkamp es un equipo adquirido por parte de la universidad en la década de los 80, para implementar prácticas de laboratorio de conversión de la energía en el cual intervenga el análisis del poder calorífico de combustibles.

El equipo cuenta con varios dispositivos para efectuar dichos ensayos, como lo son. Una camisa de agua con dos resistencias eléctricas en su interior para conseguir el sistema adiabático. Un panel de control manual para el accionamiento de las resistencias eléctricas, la bomba de agua, y el motor de agitación.



Componentes Generales



Sistema Mecánico

Panel Frontal

- Presenta ciertas manchas apreciables en varias
- Rayones en la mayor parte de su superficie
- Funcionalidad y rigidez se encuentra en perfecto estado



Sistema Mecánico

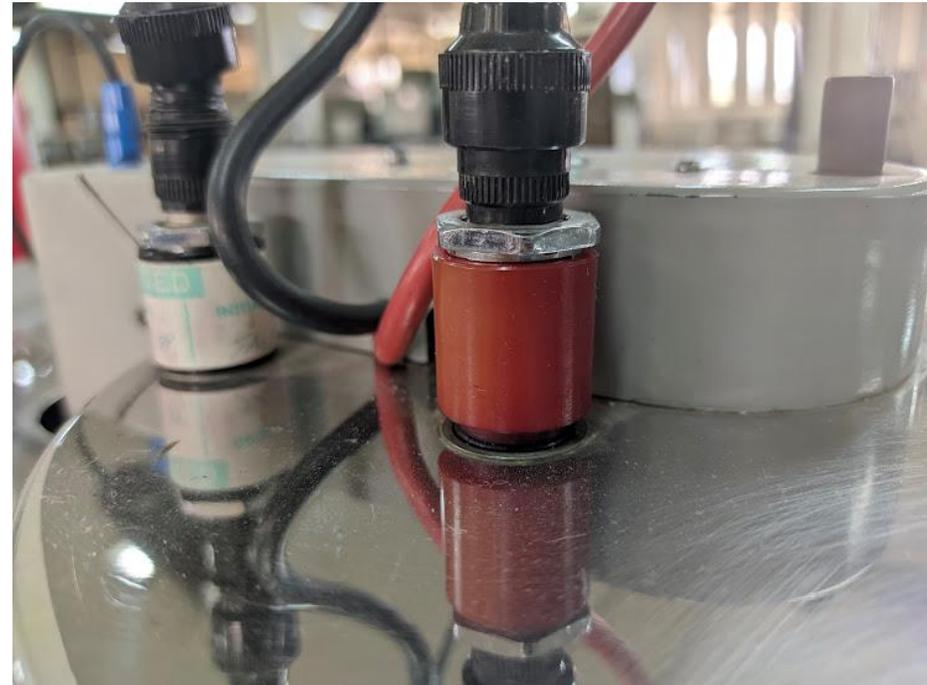
Panel Superior



- Funcional completamente.
- Rayones en la mayor parte de su superficie
- Aspecto estructural en buen estado.

Soportes de los termistores

- Se encuentran completamente cristalizados.
- Su estructura es deficiente y muy probable que falle en el futuro.
- Roscas internas en mal estado, no sujeta correctamente al termistor.



Sistema Mecánico

Base

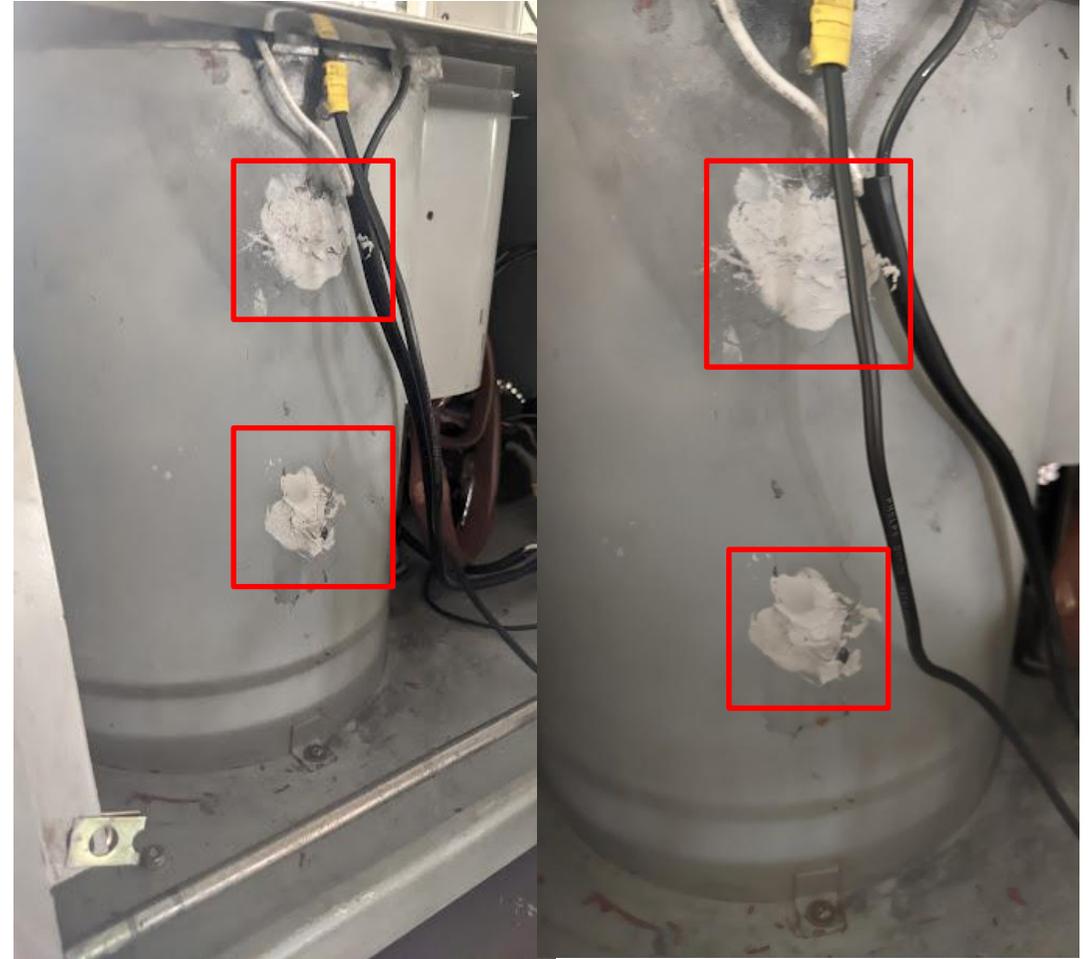


- Presenta óxido en la posición de la chaqueta de agua y en los perfiles de la base.
- Guarda cables cristalizados y en mal estado .
- Ausencia de elementos de sujeción para los paneles laterales.

Sistema Mecánico

Camisa de Agua

- Presenta óxido en la posición de la chaqueta de agua y en los perfiles de la base.
- Guarda cables cristalizados y en mal estado .
- Ausencia de elementos de sujeción para los paneles laterales.



Tapa del motor de agitación



- Su funcionalidad es la esperada.
- Sistema de fijación en buen estado, no presenta deslizamiento ni vibraciones.
- Presenta ciertos detalles estéticos en la pintura del mismo.

Tapa de la camisa de agua

- Movimiento de apertura suave y funcional.
- Cierre y aislamiento térmico de la camisa de agua correcto para evitar la pérdida de temperatura.
- Ausencia de fugas de agua al interior y exterior de la tapa.



Sistema Mecánico

Mangueras del sistema de circulación de agua



- Dobleces en varias mangueras del sistema.
- Agua con óxido al interior de las mangueras del sistema.
- Mangueras rotas en varios puntos de las mismas.

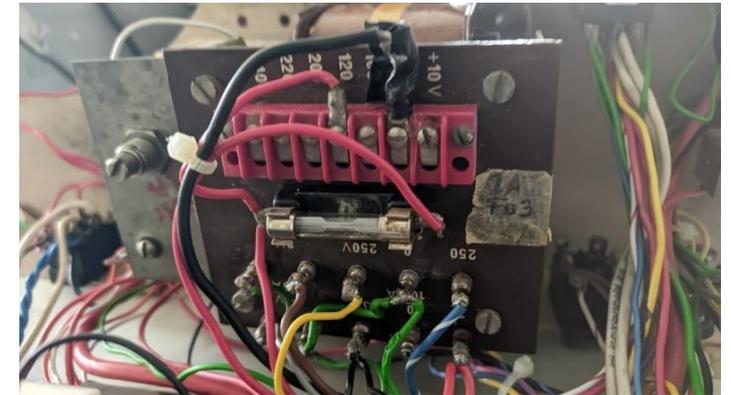
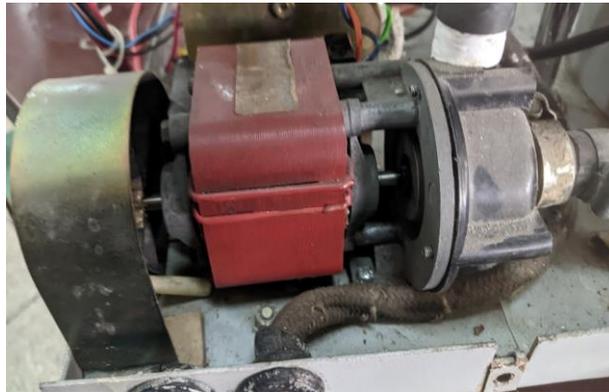
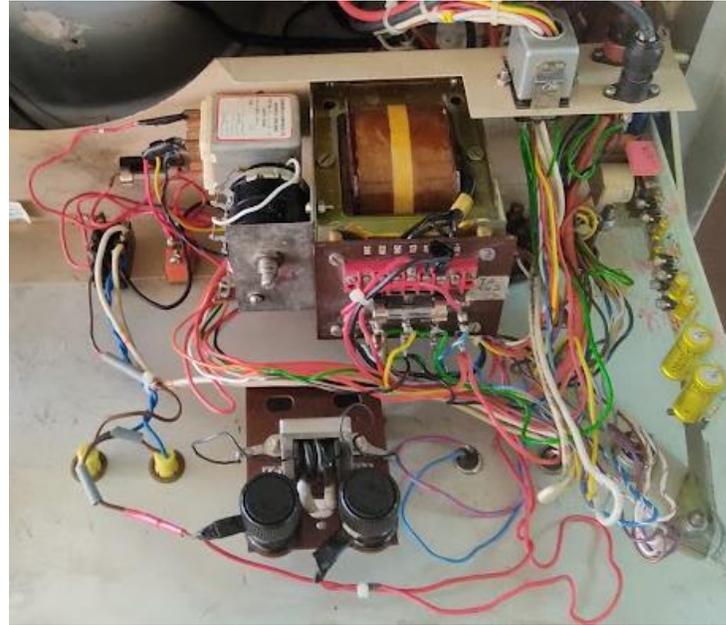
Sistema Mecánico

Mangueras del sistema de desfogue de agua

- Dobleces en varias mangueras del sistema.
- Agua con óxido al interior de las mangueras del sistema.
- Mangueras rotas en varios puntos de las mismas.



Sistema Eléctrico



Sistema Térmico

Elementos calefactores

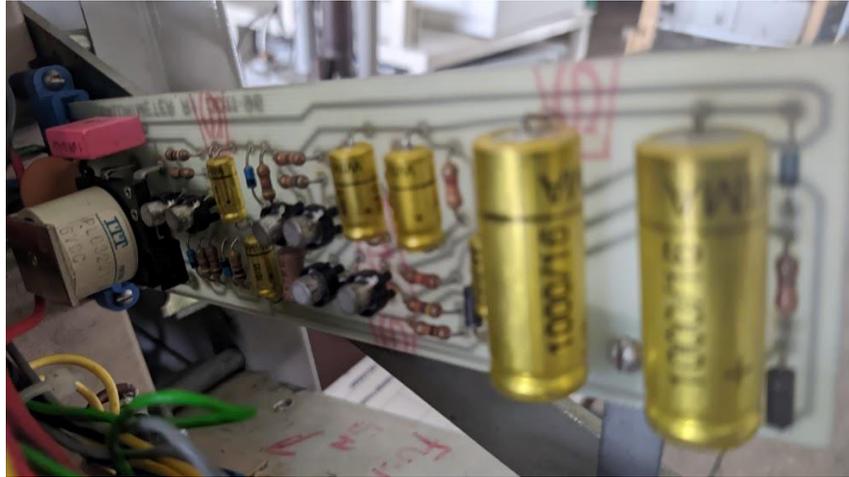


Bomba calorimétrica



Sistema Electrónico y de Control

Tarjeta de Electrónica de Control



Elementos de Control



Termistores



REPOTENCIACIÓN

Camisa de agua



Antes



Después

- Corrección de fugas.
- Eliminación de masilla y elementos de mantenimientos realizados previamente en la camisa.
- Pintado completo del exterior del tanque.
- Evaluación de estanqueidad.



REPOTENCIACIÓN

Sistema de circulación de agua

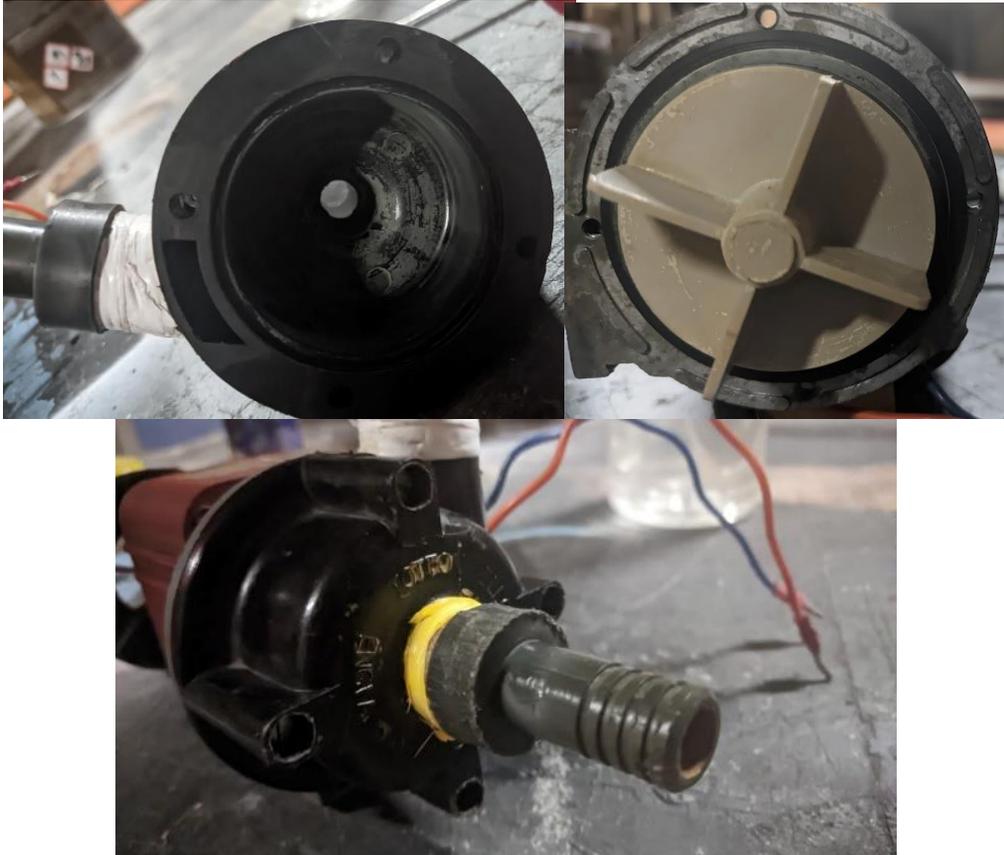


- Reemplazo completo de las mangueras del sistema.
- El reemplazo se lo realizo por mangueras malladas para así evitar el dobléz de las mismas.
- Añadido de abrazaderas en todas las mangueras del sistema.
- Purgado del sistema para eliminar el óxido interior.



REPOTENCIACIÓN

Bomba de agua

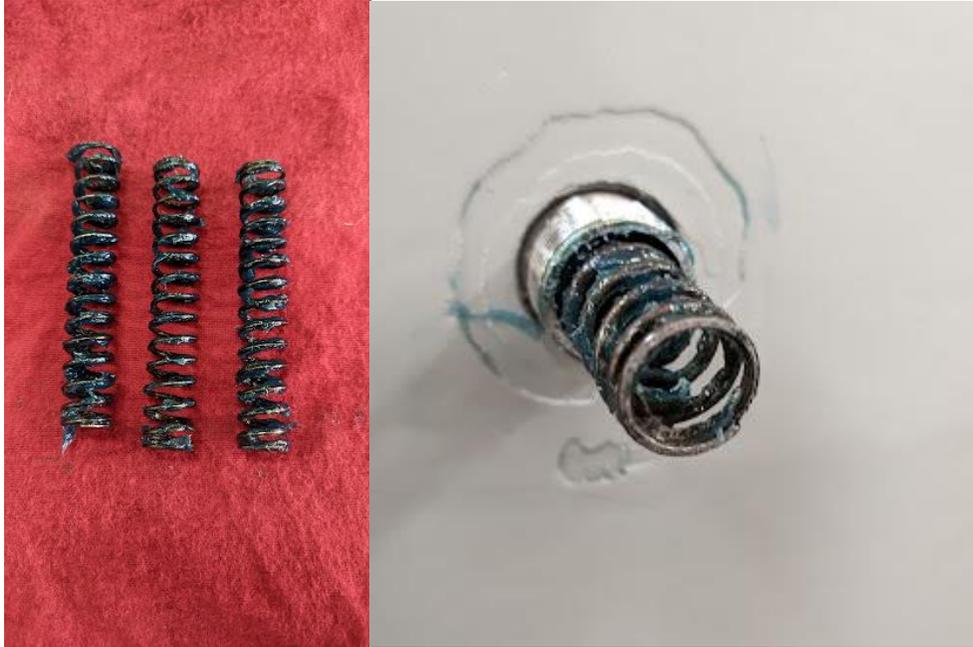


- Mantenimiento de la tapa de la bomba.
- Limpieza y corrección de la posición de las aspas.
- Corrección en la soldadura de los terminales de la bomba y añadido de terminales tipo puntera en sus cables de alimentación.



REPOTENCIACIÓN

Eje de desplazamiento vertical de la tapa de la chaqueta de agua



- Limpieza completa del eje.
- Engrasado de los muelles pertenecientes al sistema.
- Corrección de posición de los muelles.
- Verificación del desplazamiento adecuado.

REPOTENCIACIÓN

Motor de agitación



- Limpieza del acople del motor.
- Limpieza del compartimiento de soporte del motor.
- Engrasado del acople.
- Verificación del movimiento adecuado del agitador.

REPOTENCIACIÓN

Componentes internos del equipo



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Variables de Interés

Las variables de interés principales de la bomba calorimétrica son la temperatura de la camisa de agua y la temperatura de la bomba calorimétrica. Una de las variables opcionales según la norma ASTM D240-02 es la corriente proporcionada al sistema de ignición, es decir se puede disponer de un amperímetro o de una luz piloto que indique al usuario el accionamiento del sistema de ignición.



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Consideraciones de diseño

El diseño del sistema de adquisición de datos se referenció en la norma ASTM D240-02 Anexo 1, aparato para ensayo de calor de combustión. En el cual se especifica los equipos y elementos necesarios que debe poseer una bomba calorimétrica adiabática.

El sistema de adquisición de datos se prevé realizarlo mediante un controlador lógico programable como centro del sistema de adquisición de datos, es decir que empleando los ADC que disponga el controlador lógico programable se adquiera la señal de los sensores de temperatura de las dos cavidades que se necesitan medir dentro de una bomba calorimétrica adiabática.



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Actuadores

La bomba calorimétrica adiabática posee cuatro actuadores en su sistema los cuales son:

- Motor agitador.
- Bomba de agua.
- Elementos calefactores de la camisa de agua.
- Sistema de ignición

Adicionalmente se planea incorporar dentro del panel frontal dos luces piloto.

- Luz piloto verde (Encendido del equipo)
- Luz piloto naranja (Indicador del sistema de ignición)



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Entradas Analógicas

Como se ha mencionado previamente las variables de interés para la bomba calorimétrica adiabática son dos temperaturas mediadas en dos cavidades distintas del equipo

- Sensor de temperatura (Camisa de Agua)
- Sensor de temperatura (Envase Bomba Calorimétrica)

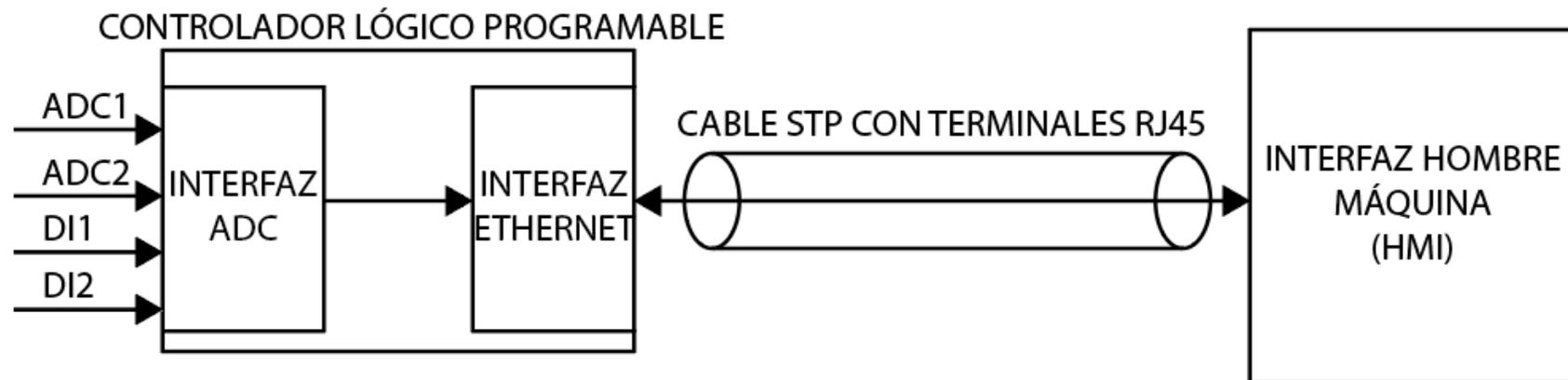
Para los sensores se debe tener en cuenta uno de los parámetros que se establecen en la norma ASTM D204 – 02, refiriéndose a la precisión de los sensores de temperatura estableciéndose un valor de ± 0.1 °C de precisión.



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Entradas Digitales

Se considerará colocar dentro del panel frontal del equipo un interruptor para el encendido y apagado del equipo. Adicionalmente se colocará un pulsador sin enclavamiento el cual se lo utilizará para accionar el sistema de ignición.



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Selección del Controlador

La selección del controlador lógico programable para esta aplicación está determinada por los siguientes criterios:

- Resolución (ADC)
- Número de entradas analógicas
- Costo
- Número de salidas digitales
- Número de entradas digitales
- Capacidad de carga en las salidas digitales

Parámetro	SIEMENS S7-200	SIEMENS LOGO!	XINJE XC3	Micro Logix 1100
Resolución (ADC)	13 bits	10 bits	10 bits	10 bits
N° Entradas Analógicas	2	4 (Config.)	-	2
N° Entradas Digitales	6	8 (Config.)	14	6
N° Salidas Digitales	4	4	10	6
Capacidad de salidas digitales	10A	10A	8A	10A
Costo	\$650.00	\$180.00	\$320.00	\$700.00



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Selección de los sensores

Criterios de selección:

- Voltaje de alimentación 24 VDC
- Resolución 10 bits
- Precisión +/- 0.1°C
- Transmisor de 0 – 10 V
- Rango de temperature 0 - 50 °C
- Longitud de la sonda
- Costo

Parámetro	ProSense XTP25N- 030-N40	HDT-500	Termocupla Tipo K
Resolución	12 bits	10 bits	-
Voltaje de Alimentación	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Precisión	+/- 0.01°C	+/- 0.1°C	+/- 2.2°C
Transmisor	4-20 mA	0-10 V	-
Longitud de la sonda	80 mm	100 mm	50 mm
Rango de Temperatura	50-150 °C	0-50°C	0 – 1260 °C
Costo	\$165.00	\$130.00	\$85.00



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Selección del HMI

Criterios de selección:

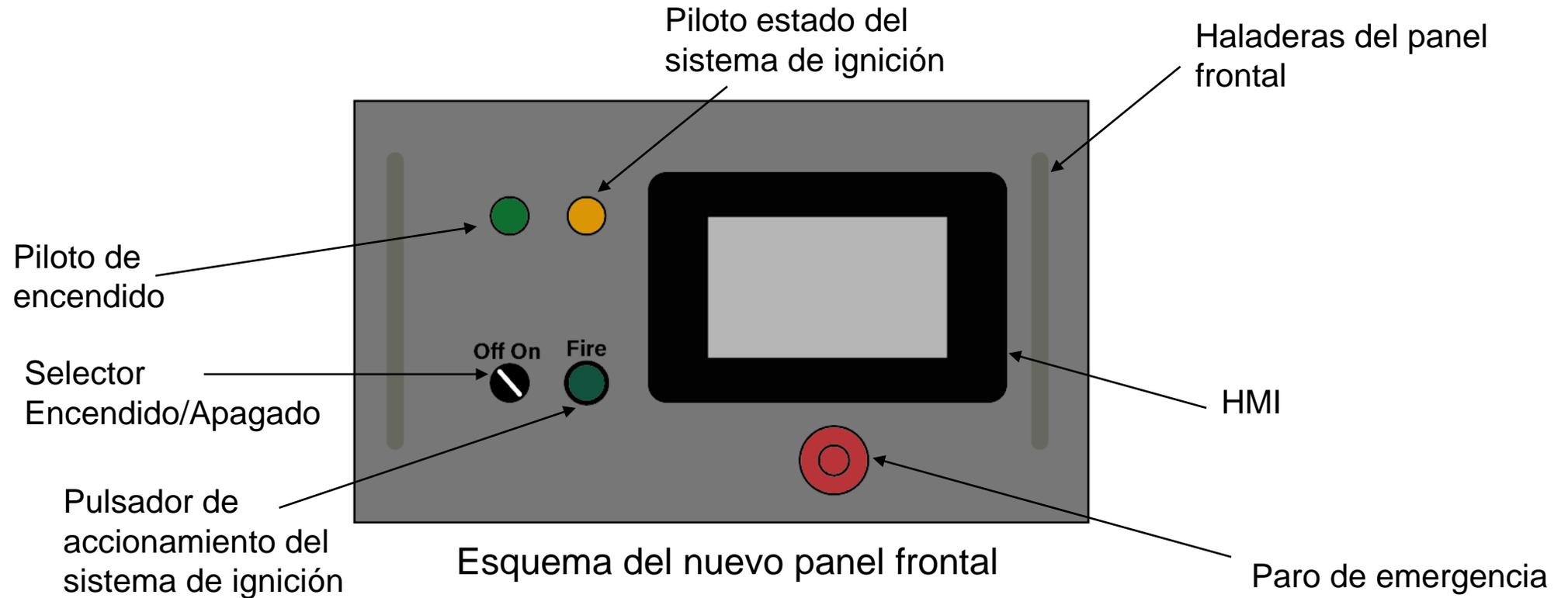
- Voltaje de alimentación 24VDC
- Protocolo de comunicación Ethernet
- Tamaño del Display 4 -7 in
- Costo

Parámetro	HMI	HMI	HMI
	DELTA	DELTA	KINCO
	DOP-107EG	DOP-103W	GL070E
Voltaje de	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Alimentación			
Protocolo de	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Comunicación			
Tamaño de la pantalla	7 in	4.3 in	7 in
Costo	\$320.00	\$280.00	\$170.00



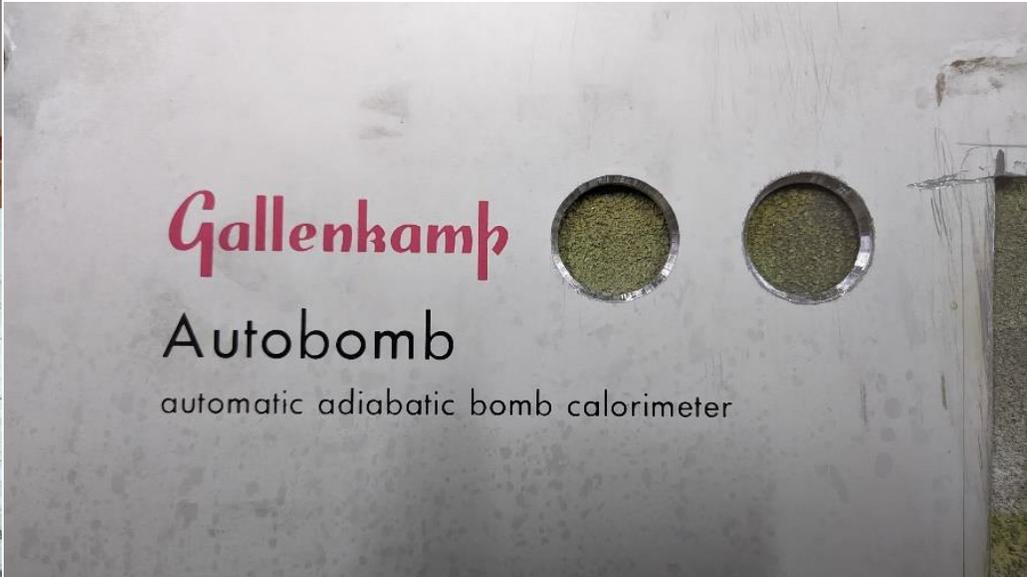
SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Rediseño del Panel Frontal



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Modificaciones al Panel Frontal



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Panel Frontal Terminado



REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Datos de consumo eléctrico de los componentes

Bomba Hidráulica	
Marca	Totto Electric
Voltaje	110 /220 VAC
Corriente Nominal	2.4 A
Frecuencia	60 Hz
Fases	1 ~

Transformador de Voltaje	
Marca	-
Voltaje de Entrada	110 VAC
Voltaje de Salida	12 VAC
Corriente Nominal	5 A

Motor Eléctrico Sistema de Agitación	
Marca	MB10
Voltaje	110 /220 VAC
Corriente Nominal	0.8 A
Frecuencia	50/60 Hz
RPM	200 – 300 rpm
Fases	1 ~

Controlador Lógico Programable	
Marca	Siemens
Voltaje de Entrada	24 VDC
Consumo Eléctrico	0.35 -0.7 A

HMI Kinco GL070E	
Marca	Kinco
Voltaje de Entrada	24 VDC
Consumo Eléctrico	0.5 – 0.9 A

Resistencias Eléctricas Sistema Adiabático	
Marca	-
Voltaje	110 /220 VAC
Corriente Nominal	3.2 A /1.75A
Potencia	530 W

Sensores de Temperatura HDT500	
Marca	HDT
Voltaje de Entrada	24 VDC
Consumo Eléctrico	0.2 – 0.5 A



REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Dimensionamiento de la fuente DC

Componente	Número de Elementos	Corriente Nominal	Total
PLC Siemens		0.7 A	0.7 A
LOGO v8.3 24VDC	1		
Sensores HDT500	2	0.5 A	1 A
HMI Kinco GL070E	1	0.9 A	0.9 A
	Total		2.6 A

La corriente total para el dimensionamiento de la fuente de corriente directa es de:

$$I_n = 2.6 A$$

Empleando un criterio de seguridad de 25% de la corriente nominal para la protección.

$$I_{FuenteDC} = 1.25 * I_n$$

$$I_{FuenteDC} = 1.25 * (2.6 A)$$

$$I_{FuenteDC} = 3.25 A$$



REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Dimensionamiento del interruptor termomagnético

Componente	Número de Elementos	Corriente Nominal	Total
Bomba Hidráulica	1	2.4 A	2.4 A
Motor Eléctrico de Agitación	1	0.8 A	0.8 A
Resistencias Eléctricas Sistema Adiabático	2	3.2 A	6.4 A
Transformador de Voltaje	1	5 A	5 A
Fuente DC Mean Well EDR-120-24	1	3.2 A	3.2 A
Total			17.8 A



REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Dimensionamiento de los conductores eléctricos

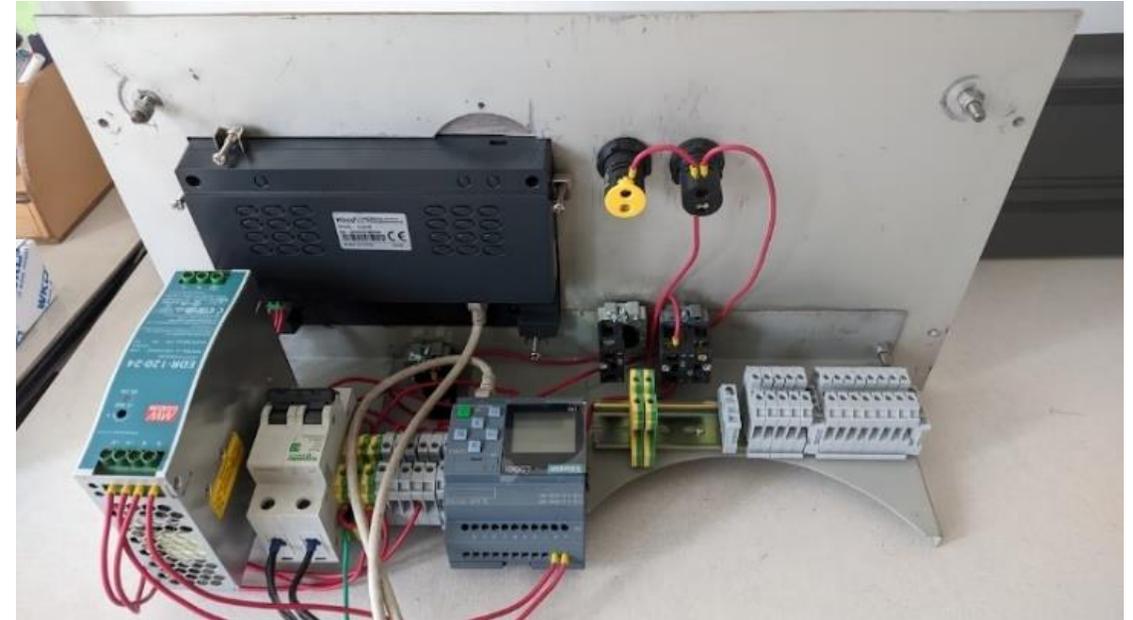
Para todo el circuito eléctrico tanto de 110 VAC como para el de 24 VDC. Se empleará un conductor flexible AWG #18 que soporta una corriente máxima de 5 A, con aislamiento THW, esto debido a que el consumo de corriente en todos los componentes es menor o igual a ese valor.



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL



Implementación de los componentes en el riel DIN



Cableado para realizar primeras pruebas en vacío



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Conexión de los sensores

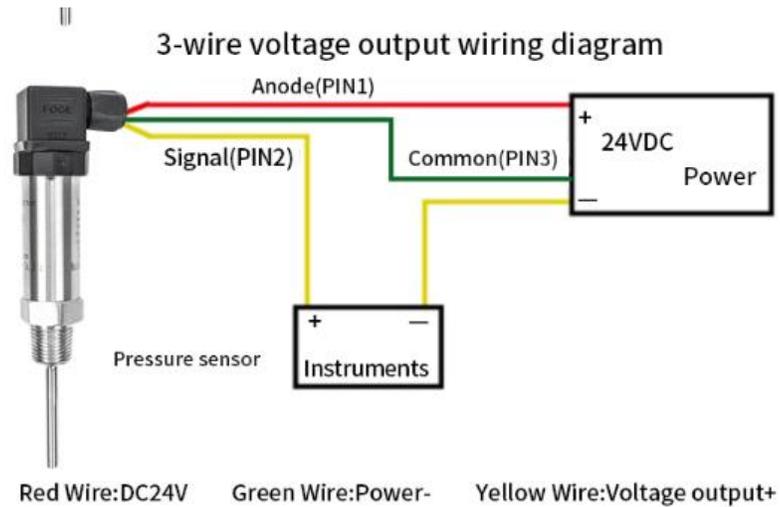
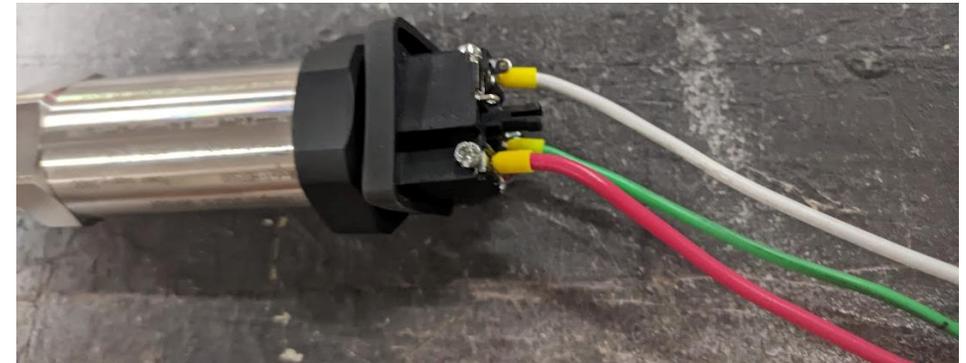


Diagrama de conexión

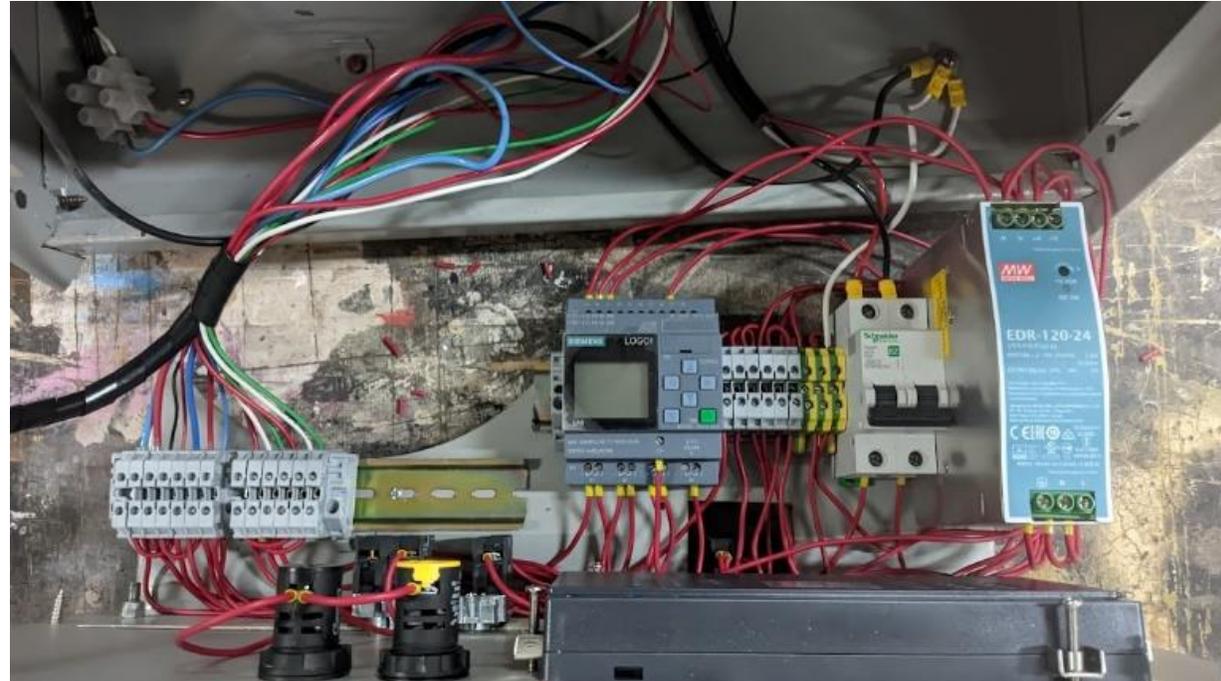


Cableado de los sensores

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL



Colocación de terminales en cables de alimentación y en cables de puesta a tierra



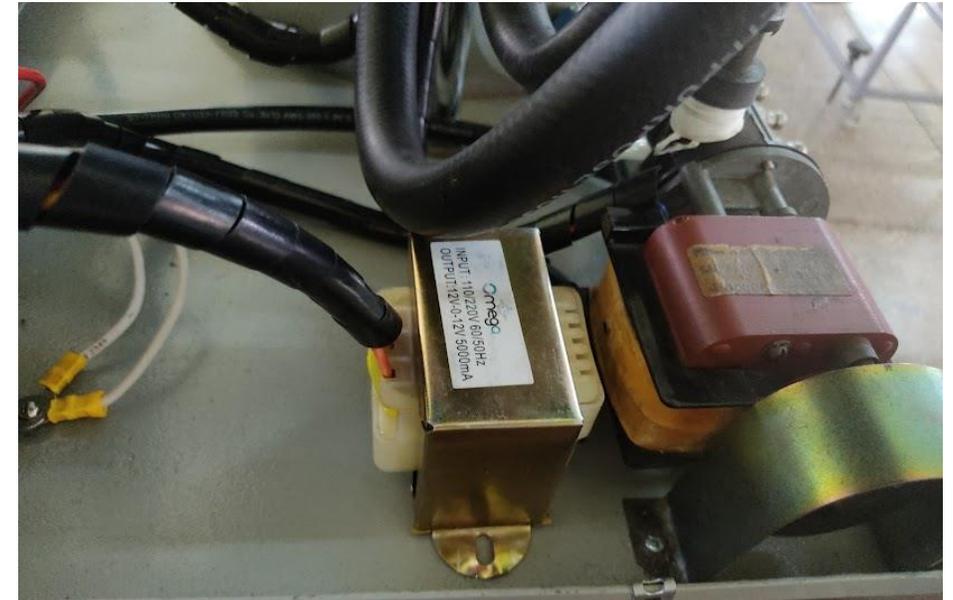
Cableado de todos los componentes del sistema eléctrico, de control e instrumentación

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

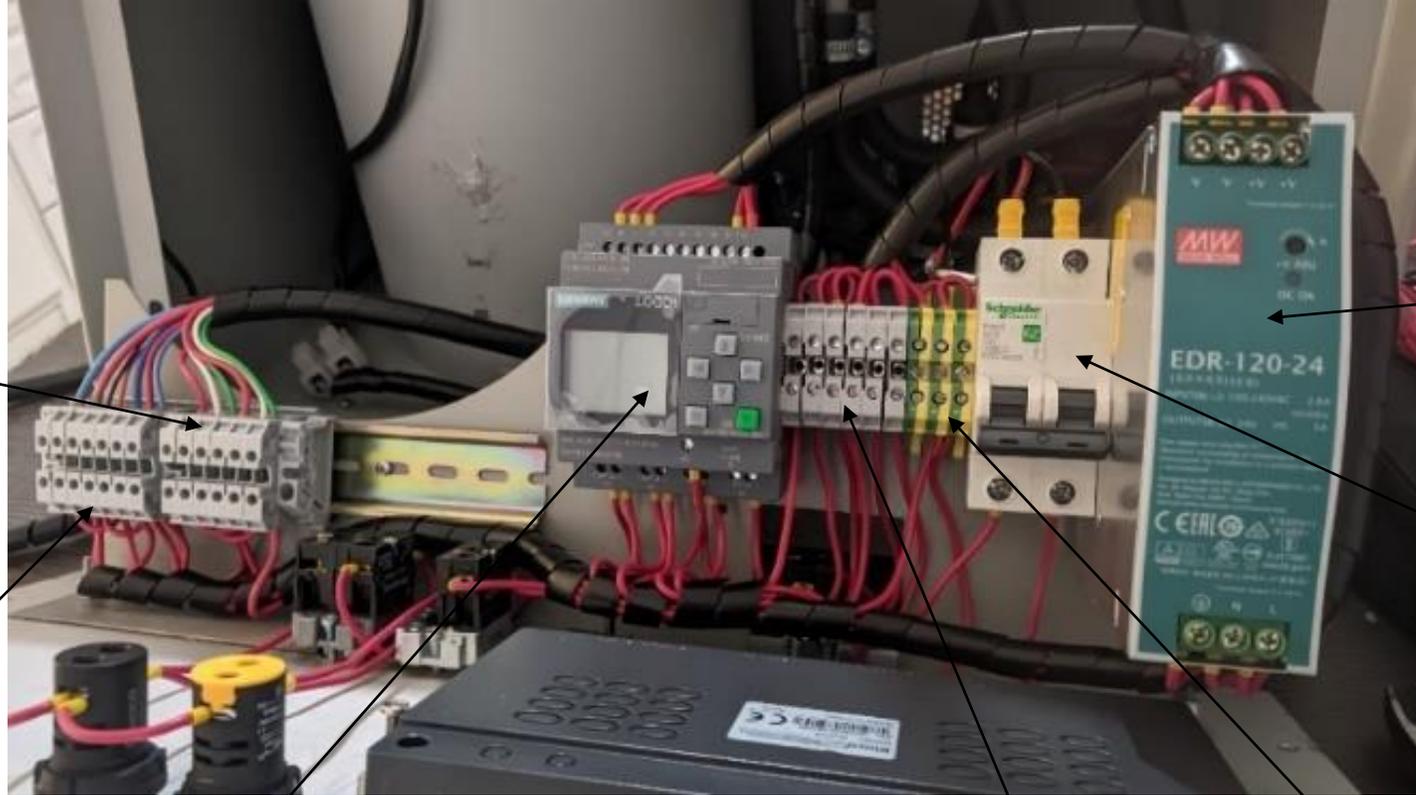
Sistema de Ignición

Como se detalló en la sección de rediseño del sistema eléctrico para el sistema de ignición de la bomba calorimétrica adiabática Gallenkamp se emplearía un transformador de voltaje de 110 VAC – 12VAC.

Refiriéndose en la norma ASTM D240-02 Sección 8. Se establece que el transformador debe ser de un voltaje de 9 -15 V con una corriente de 2- 5 A



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL



Borneras de conexión para los sensores

Borneras de conexión para los actuadores

PLC

Borneras de conexión 110 VAC/12VAC/24VDC

Borneras de conexión a tierra

Fuente DC

Interruptor Termomagnético



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Rediseño de soportes para los sensores



Termistor original del equipo



Soporte a rediseñar

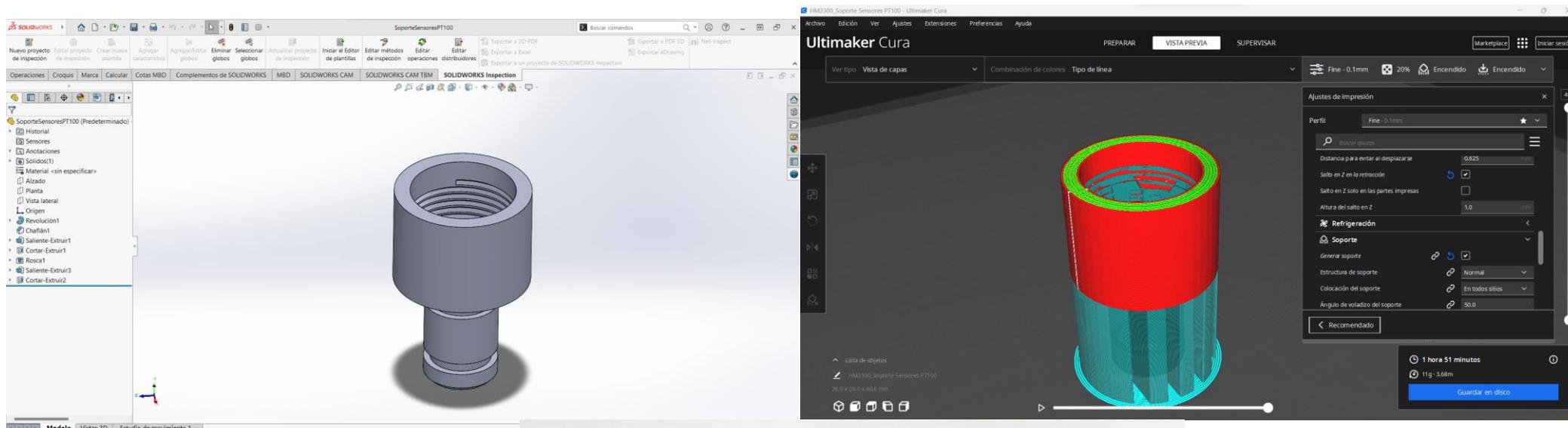


Sensor de temperatura HDT500



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

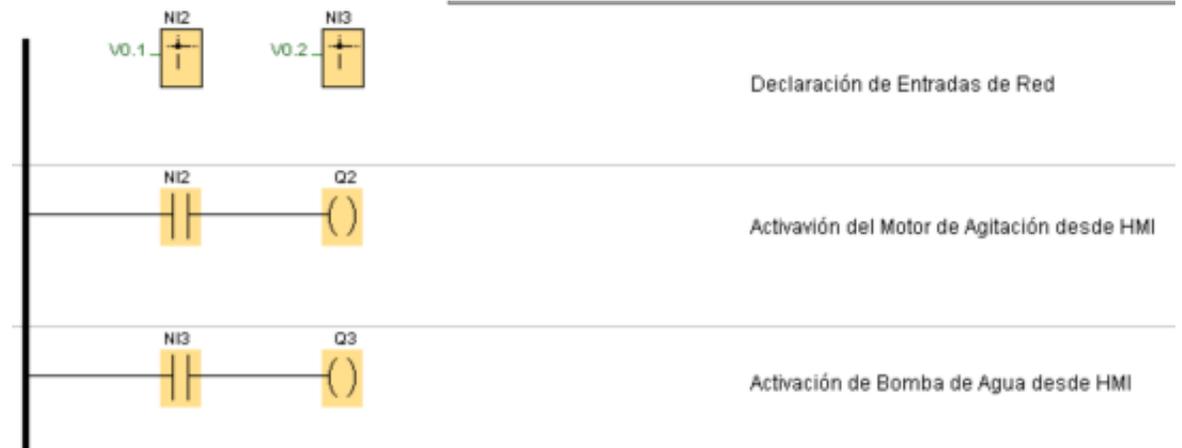
Rediseño de soportes para los sensores



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Programación del PLC – Programación de Motores

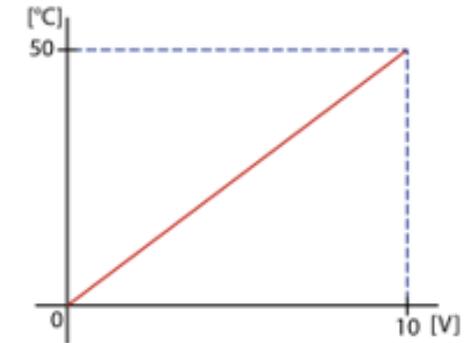
El control de encendido y apagado de la bomba de agua encargada de la circulación dentro de la camisa de agua, así como también el motor de agitación se lo realizará desde la interfaz hombre máquina colocada en el panel frontal.



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Programación del PLC – Adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos en este equipo debe ser muy preciso por lo cual se emplearon los sensores previamente mencionados. Una parte importante del sistema de adquisición de datos es el acondicionamiento de las señales, puesto que de esto depende que los valores mostrados sean reales y con un margen de error pequeño.



$$m = \frac{50}{10} = 5$$

$$b = 0$$

$$y = 5x$$

$$T = 5v$$



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Programación del PLC – Adquisición de datos

SF007 [Amplificador analógico]

Parámetros Comentario

Parámetro

Nombre de bloque:

Sensor

Sensor: 0 ... 10 V

Configuración analógica

Rango de medida

Mínimo: 0

Máximo: 50

Parámetro

Gain: 0,05

Offset: 0

Normalizado de la señal

SF011 [Filtro analógico]

Parámetros Comentario

Parámetro

Nombre de bloque:

Filtro analógico

Número de muestras: 128

Otros

Protección activa

Aceptar Cancelar Ayuda

Filtrado de la señal

NAQ2 [Salida analógica de red]

Parámetros Comentario

Parámetro

Escribir valor en

Memoria variable local (VM)

Dispositivo remoto

Memoria variable local (VM)

Dirección VW: 20

Aceptar Cancelar Ayuda

Envío de los valores al HMI



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

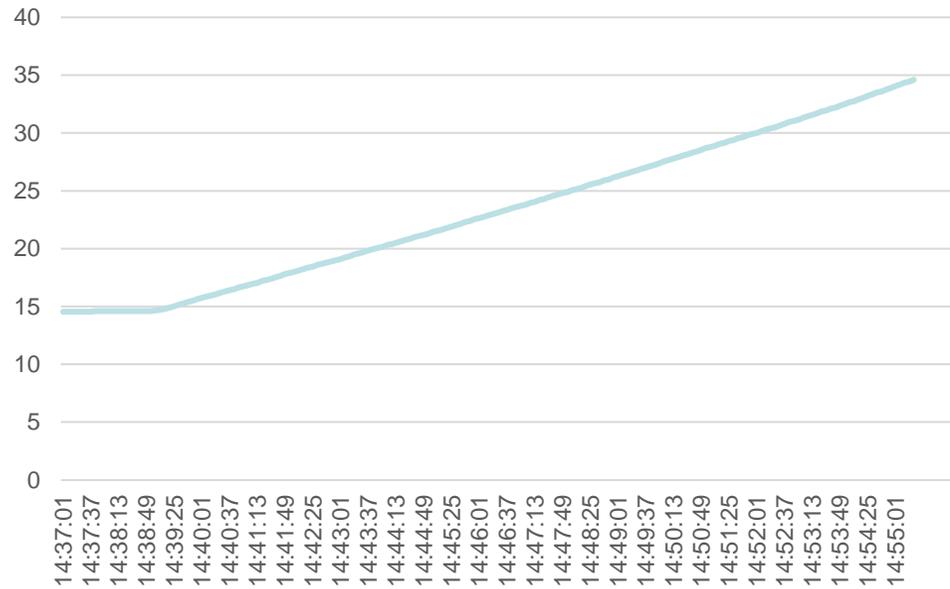
Programación del PLC – Adquisición de datos



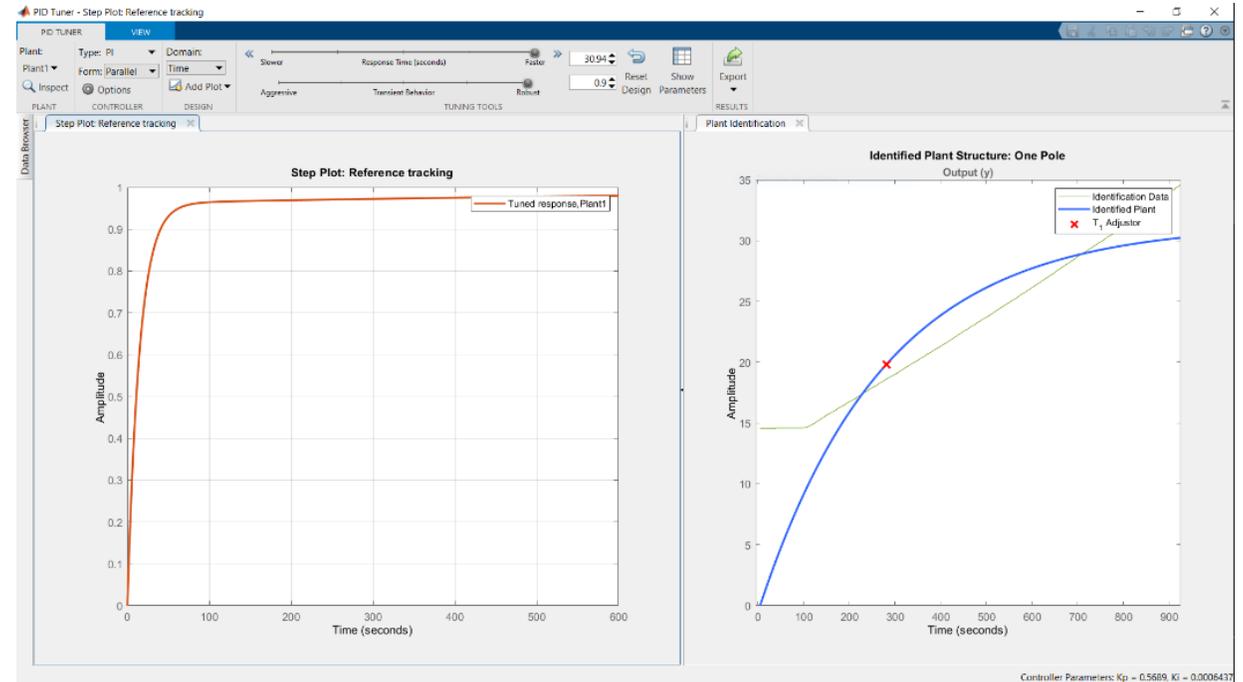
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Programación del PLC – Sistema Adiabático

Temperatura



Toma de valores a lazo abierto



Diseño del controlador



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

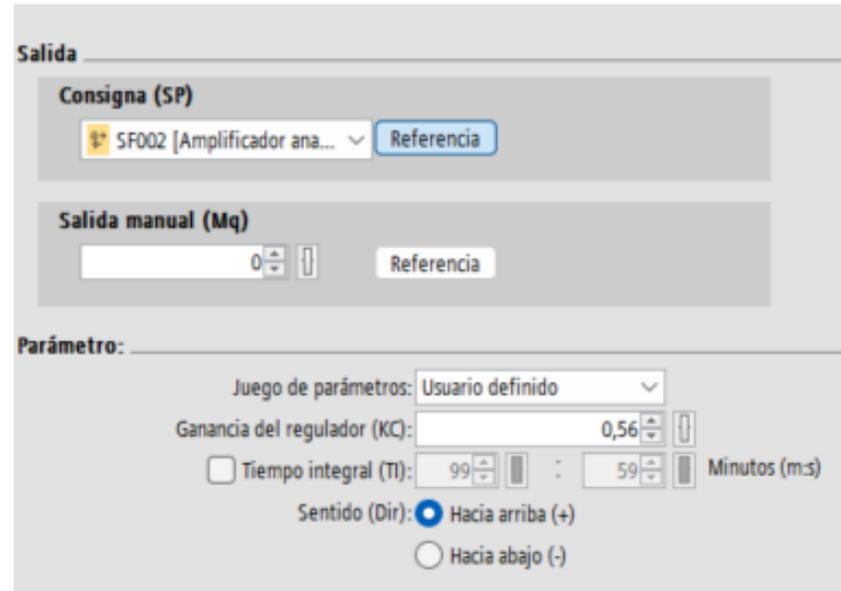
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Programación del PLC – Sistema Adiabático

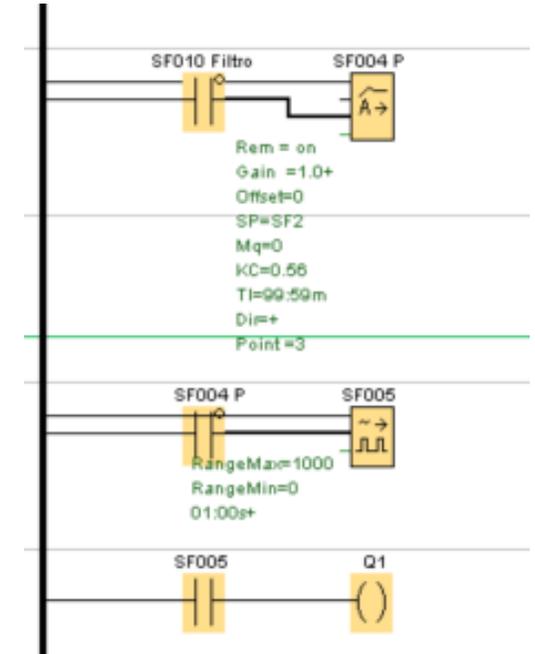
Controller Parameters	
	Tuned
Kp	0.56901
Ki	n/a
Kd	n/a
Tf	n/a

Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	32.1 seconds
Settling time	57.2 seconds
Overshoot	0 %
Peak	0.947
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	93.2 deg @ 0.0646 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Parámetros del controlador

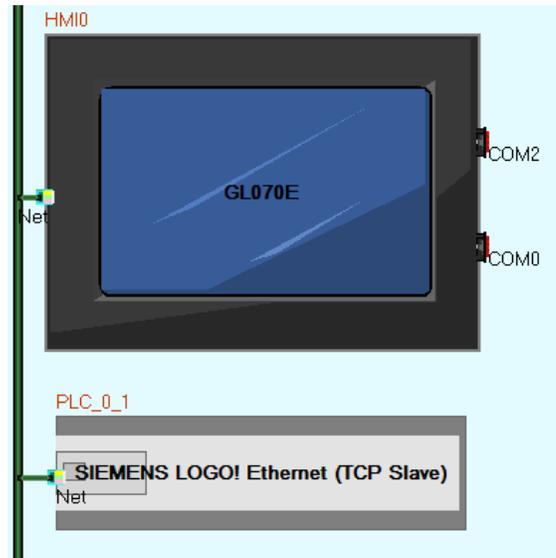


Programación del controlador P en el PLC



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Configuración de la comunicación ethernet PLC-HMI



Topología de la comunicación

Network Device Setting

Device	IP Addr	Port	Protocol	Master/Slave	Station NO....	Virtual PLC ...
HMI0	192.168.1.225	102	SIEMENS L...	M		
PLC_0_1	192.168.1.150	102	SIEMENS L...	S	1	

Direccionamiento IP de los dispositivos

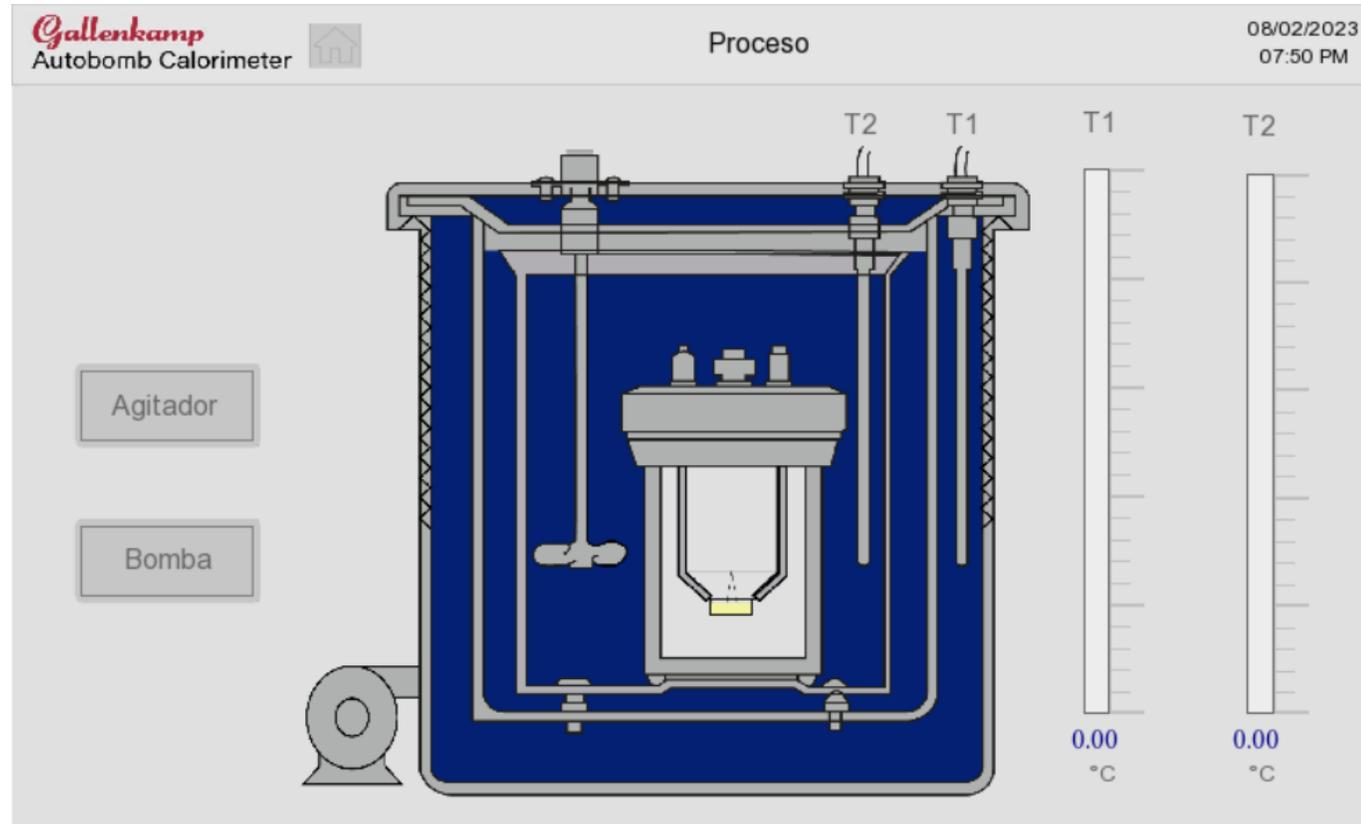
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Diseño de la interfaz hombre máquina – Pantalla de Inicio



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Diseño de la interfaz hombre máquina – Pantalla de Proceso



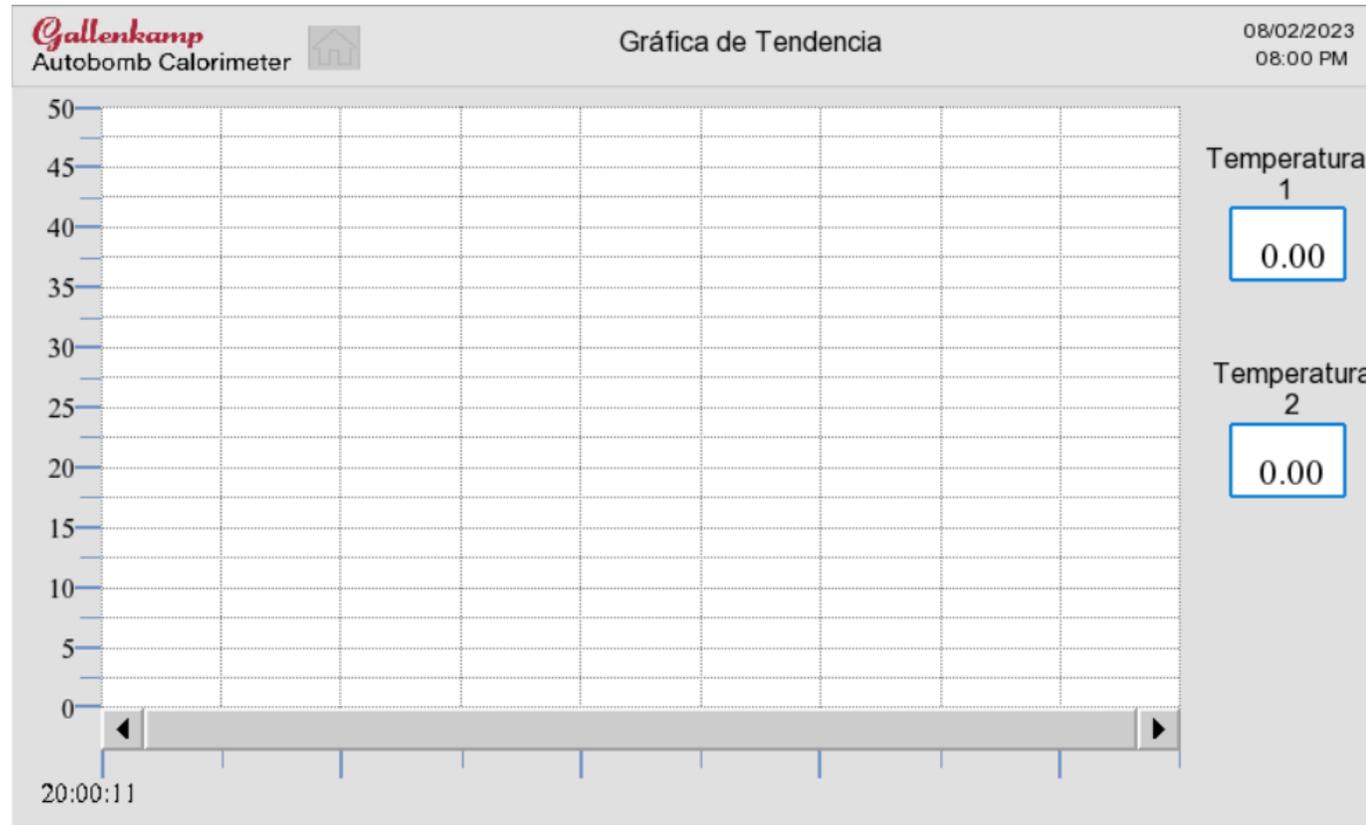
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Diseño de la interfaz hombre máquina – Pantalla de Gráficas de Tendencia



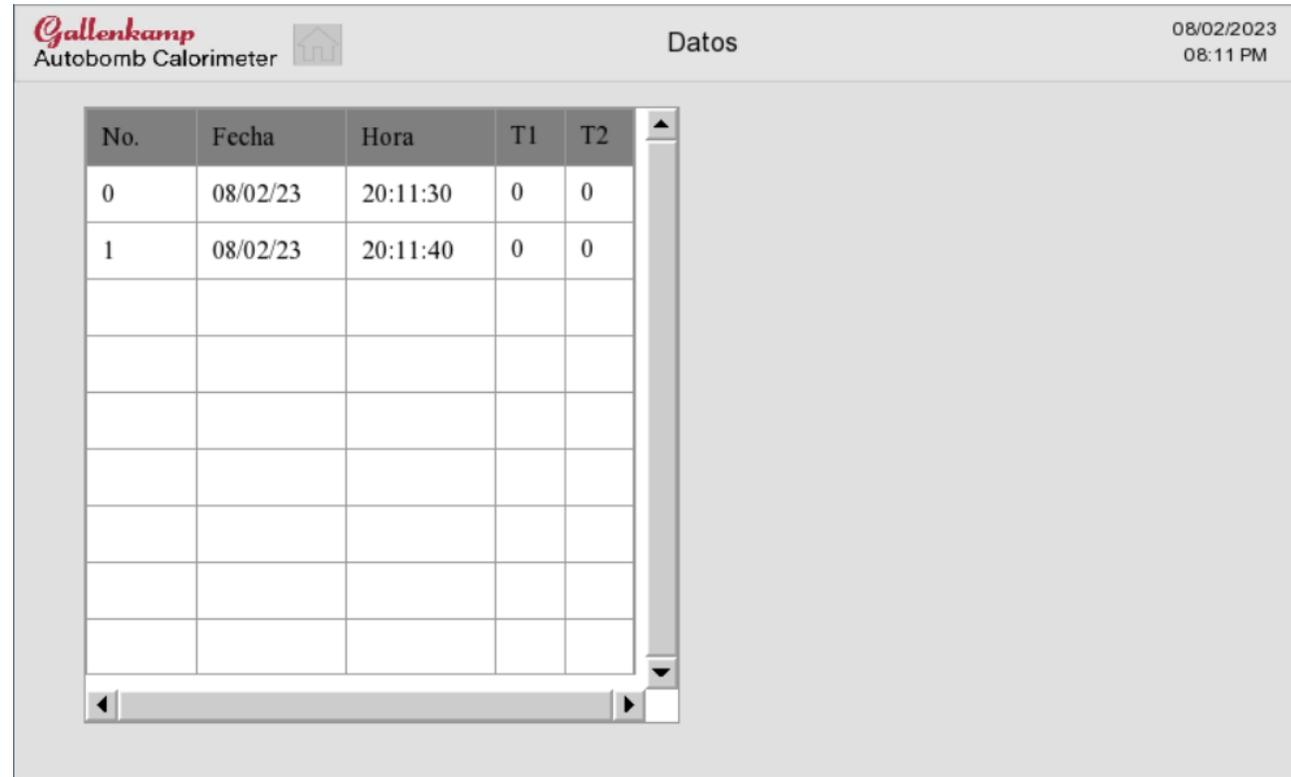
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Diseño de la interfaz hombre máquina – Pantalla de Gráficas



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Diseño de la interfaz hombre máquina – Pantalla de Datos



Gallenkamp
Autobomb Calorimeter

Datos

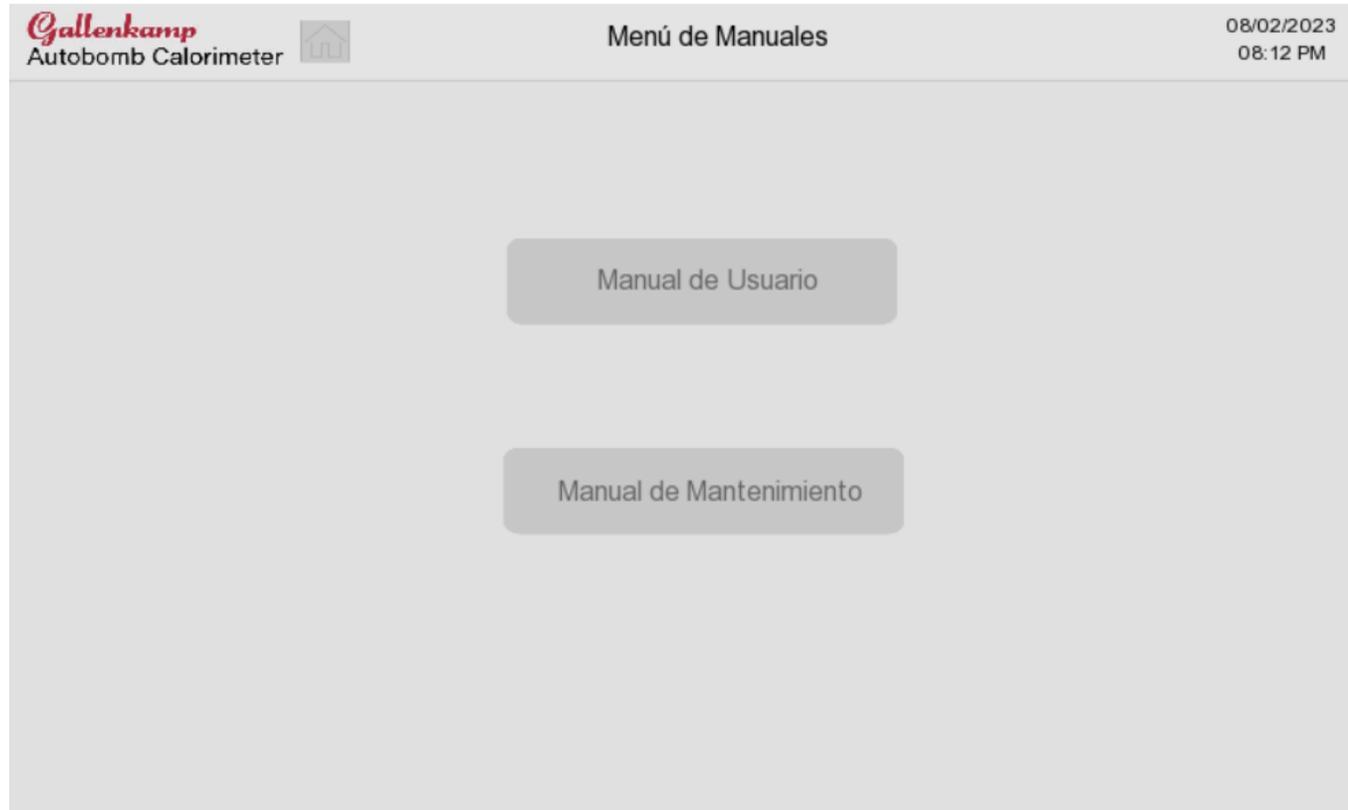
08/02/2023
08:11 PM

No.	Fecha	Hora	T1	T2
0	08/02/23	20:11:30	0	0
1	08/02/23	20:11:40	0	0



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Diseño de la interfaz hombre máquina – Pantalla de Ayuda



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de Funcionamiento – Evaluación de Estanqueidad

Se realizaron varias pruebas de estanqueidad en periodos no menores a tres días para evaluar si el sistema de circulación de líquido en el interior de la camisa de agua presenta o no fugas. Esto implica en la evaluación o inspección visual de cada uno de los componentes que integran el sistema como lo son:

- Tanque de la camisa de agua
- Tapa de la camisa de agua
- Mangueras conectadas a la bomba de agua
- Mangueras de desfogue



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de Funcionamiento – Evaluación de Presión de la Bomba Calorimétrica

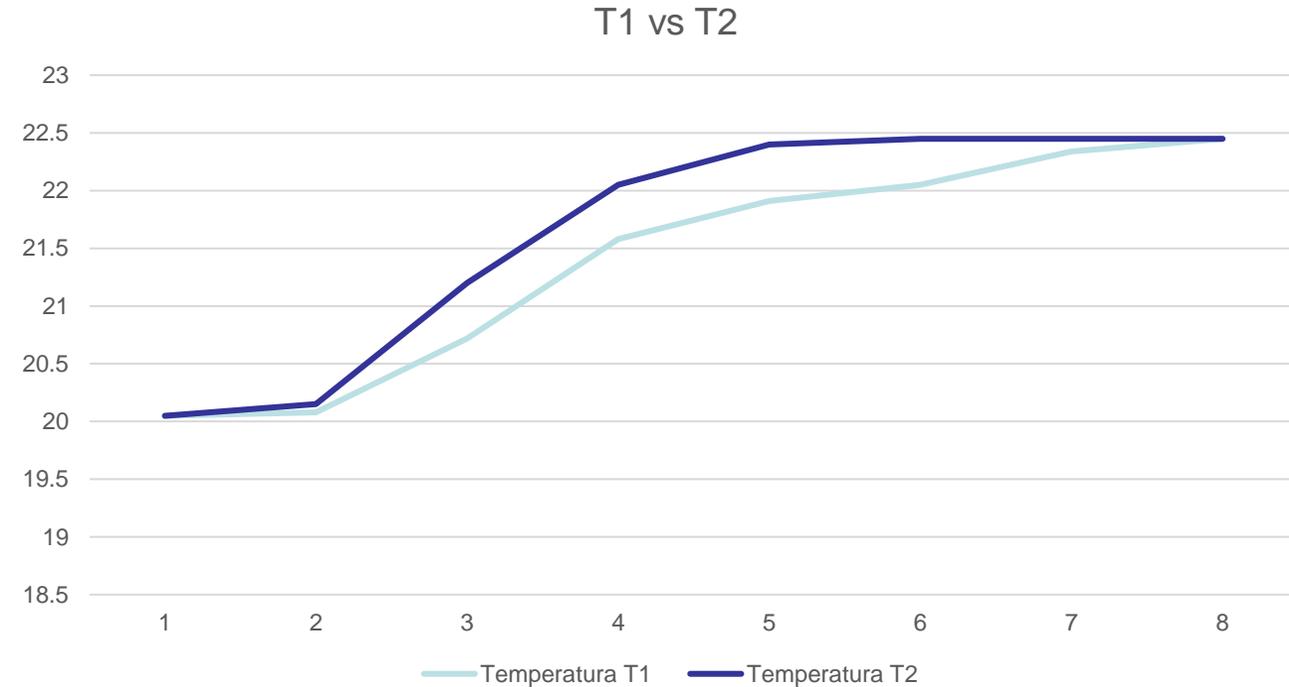
Para la evaluación de presión de la bomba calorimétrica se realizaron varias pruebas introduciendo oxígeno a presión en la misma. Las pruebas se realizaron con presiones en un rango de 20 – 30 bar ya que es lo que establece la normativa ASTM D240-02 para el ensayo en este equipo con combustibles líquidos.



PRUEBAS Y RESULTADOS

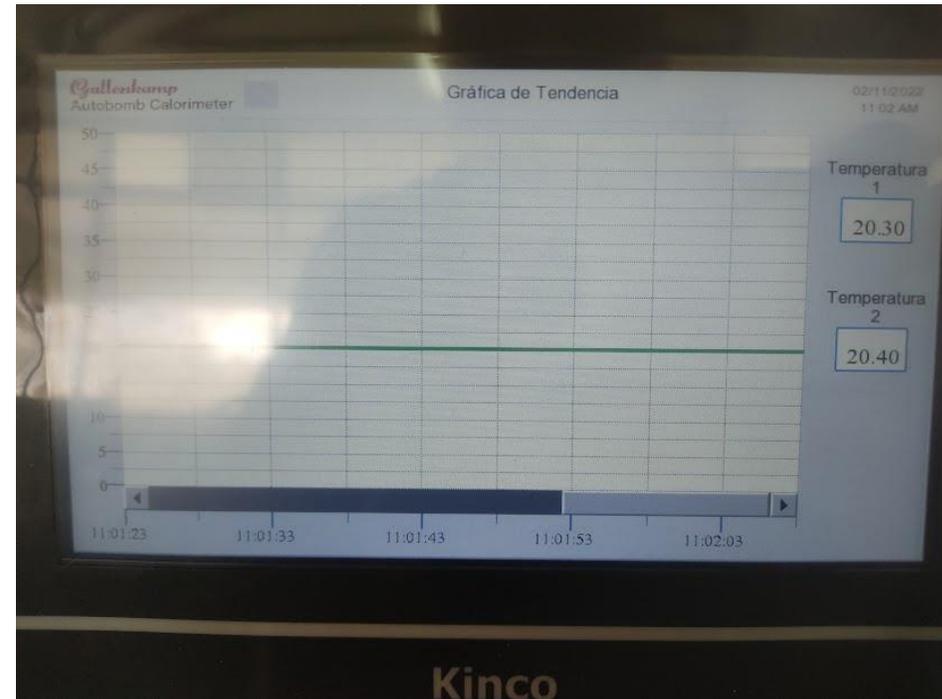
Pruebas de Funcionamiento – Elementos Calefactores

Temperatura T1 [°C]	Temperatura T2 [°C]	Tiempo [min]
20.05	20.05	0
20.08	20.15	1
20.72	21.2	2
21.58	22.05	3
21.91	22.4	4
22.05	22.45	5
22.34	22.45	6
22.45	22.45	7



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de Funcionamiento – HMI



PRUEBAS Y RESULTADOS

Ensayos con combustibles líquidos

Previo a la ejecución de ensayos empleando combustibles líquidos se realizó la estandarización o calibración de la bomba calorimétrica adiabática utilizando el apartado 8 de la norma ASTM D240-02 el cual establece que se obtiene la energía equivalente del calorímetro y esto se lo consigue ejecutando varios ensayos con muestras de ácido benzoico.

La siguiente fórmula se utilizó para el cálculo de la energía equivalente del calorímetro.

$$W = (Q \times g + e_1 + e_2) / \Delta t$$

Donde:

W = Energía equivalente del calorímetro, MJ/°C

Q = Calor de combustión de ácido benzoico estándar, MJ/g

g = Peso de la muestra de ácido benzoico, g

Δt = Variación de temperatura, °C

e_1 = Corrección por el calor de formación de ácido nítrico, MJ

e_2 = Corrección por el calor de combustión del alambre de encendido, MJ



PRUEBAS Y RESULTADOS

Ensayos con combustibles líquidos – Estandarización

N° de Ensayo	Inicio		Final		Masa de ácido benzoico	Alambre NiCr AWG 34 consumido	Energía equivalente del calorímetro J/°C
	Tempe Camisa [°C]	Temp. Bomba [°C]	Temp. Camisa [°C]	Temp. Bomba [°C]			
1	18.10	18.10	20.10	20.40	1 g	15 mm	11509.78
2	19.55	19.55	21.8	21.85	1 g	5 mm	11504.20
3	19.05	19.05	20.15	20.75	1 g	7 mm	15565.83
4	20.05	20.05	21.95	22.45	1 g	3 mm	11023.92
5	18.35	18.35	19.98	20.55	1 g	10 mm	12029.68
6	18.95	18.95	20.92	21.35	1 g	8 mm	11029.26
7	19.32	19.32	21.37	21.82	1 g	5 mm	10583.86
8	21.06	21.06	22.95	23.43	1 g	7 mm	11165.36
Constante Energía Equivalente del Calorímetro							11801.49



PRUEBAS Y RESULTADOS

Ensayos con combustibles líquidos – Parámetros

Parámetro	Dato	Descripción
Energía equivalente del calorímetro	11801.49 [J/°C]	Dato calculado previamente mediante la estandarización
Masa del combustible	1 [g]	La masa debe establecerse entre 0.9 g y 1.1 g
Temperatura Inicial	18.35 [°C]	Temperatura al iniciar la combustión
Temperatura Final	21.86 [°C]	Temperatura máxima al finalizar el ensayo
Variación de temperatura	3.51 [°C]	Diferencia entre la temperatura final y la temperatura inicial
Energía total liberada	41423.22 [J]	Valor de la energía equivalente multiplicado por la variación de temperatura
Poder calorífico superior	41423.22 [J/g]	Energía total liberada entre la masa de la muestra.



PRUEBAS Y RESULTADOS

Ensayos con combustibles líquidos

En la realización de todos los ensayos empleando combustibles líquidos se utilizaron las siguientes constantes:

- Presión de la bomba calorimétrica: 3 bar
- Masa de la muestra: 1g
- Longitud del cable NiCr AWG #34: 10 cm
- Energía equivalente del calorímetro: 11801.49 J/°C



PRUEBAS Y RESULTADOS

Ensayos con combustibles líquidos – Extra 87 octanos

N°	Tipo de	Temp.	Temp.	ΔT	Poder
Ensayo	Combustible	Inicial [°C]	Final		calorífico
			[°C]		[J/°C]
1		21.14	23.97	2.83	33398.188
2		21.05	23.86	2.81	33162.159
3	E	21.61	24.03	2.42	28559.582
4	X	21.03	23.98	2.95	34814.366
5	T	20.98	24.00	3.02	35640.469
6	R	21.16	23.89	2.73	32218.04
7	A	20.95	23.81	2.86	33752.233
8		21.32	24.12	2.8	33044.144
9		21.23	23.99	2.76	32572.0848
10		21.11	24.05	2.94	34696.351



PRUEBAS Y RESULTADOS

Ensayos con combustibles líquidos – Super 92 octanos

N°	Tipo de	Temp.	Temp.	ΔT	Poder
Ensayo	Combustible	Inicial [°C]	Final		calorífico
			[°C]		[J/°C]
11		20.89	24.10	3.21	34932.38
12		21.23	24.17	2.94	35640.469
13	S	21.17	24.13	2.96	37646.721
14	U	21.07	24.09	3.02	38472.825
15	P	21.00	24.19	3.19	34814.366
16	E	20.89	24.15	3.26	36348.558
17	R	21.08	24.03	2.95	37410.361
18		21.12	24.20	3.08	34932.38
19		20.94	24.11	3.17	33516.203
20		21.04	24.00	2.96	32336.055



PRUEBAS Y RESULTADOS

Ensayos con combustibles líquidos – Diesel 200 ppm

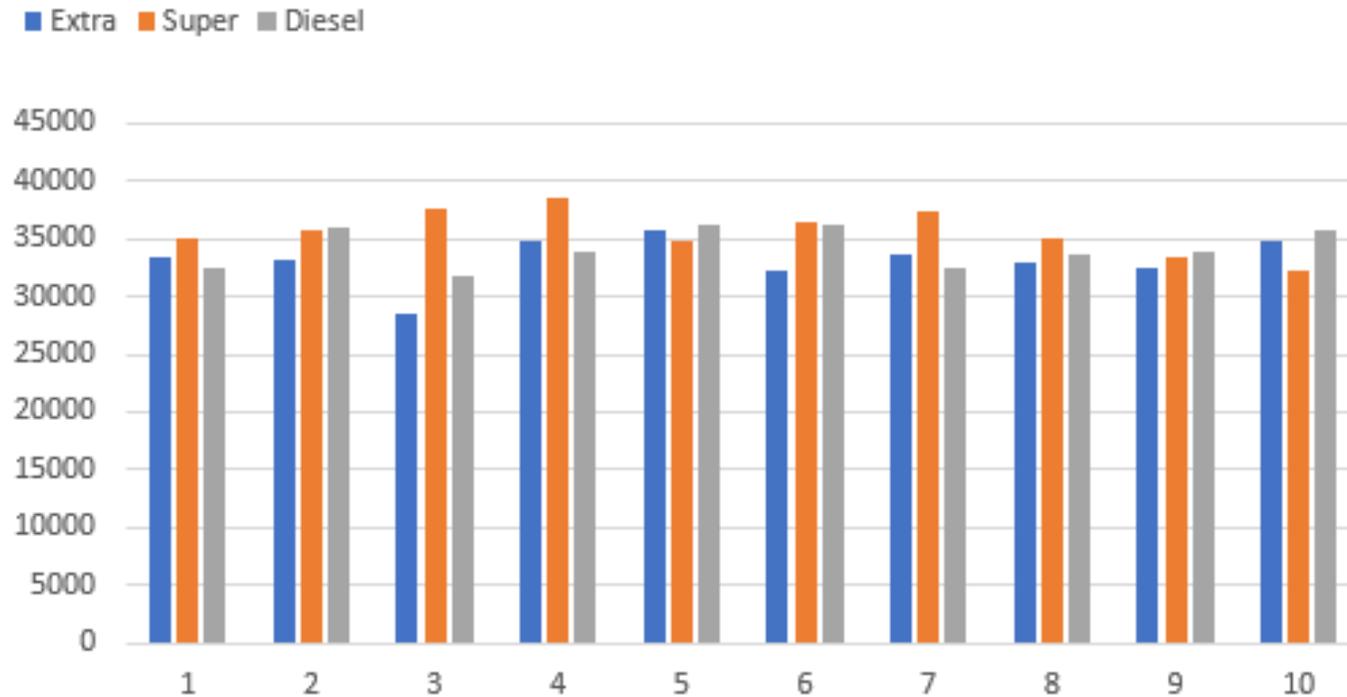
N°	Tipo de	Temp.	Temp.	ΔT	Poder
Ensayo	Combustible	Inicial [°C]	Final		calorífico
			[°C]		[J/°C]
21		21.00	23.84	2.84	32572.084
22		21.17	23.91	2.74	35876.499
23	D	21.05	23.81	2.76	31745.981
24	I	20.94	23.98	3.04	33280.114
25	E	21.10	23.79	2.69	36112.528
26	S	21.05	23.83	2.78	36112.528
27	E	20.89	23.95	3.06	32454.07
28	L	21.02	23.77	2.75	33634.218
29		21.00	23.85	2.85	33845.154
30		20.87	23.90	3.03	35758.484



PRUEBAS Y RESULTADOS

Ensayos con combustibles líquidos – Comparativa Poder Calorífico

Poder Calorífico Extra - Super - Diesel



CONCLUSIONES

- Mediante la repotenciación, diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos en el equipo se consiguió analizar el poder calorífico de combustibles líquidos disponibles en el mercado ecuatoriano.
- Se realizó exitosamente un mantenimiento correctivo reemplazando las mangueras del sistema de circulación de agua y del sistema de desfogue agua, mejorando el flujo de líquido en todos los componentes pertenecientes a dichos sistemas y consecuentemente evitando las pérdidas de temperatura en los ensayos.
- Se consiguió la recuperación completa de la parte mecánica del equipo aplicando mantenimientos preventivos y correctivos en las piezas que lo conforman, mejorando la estética y funcionalidades mecánicas para que al usuario se le facilite el uso de la bomba calorimétrica adiabática.
- El rediseño completo del sistema eléctrico permitió actualizar al equipo en términos de componentes eléctricos al usarse dispositivos modernos y disponibles en el mercado para conseguir un fácil reemplazo de los componentes en el caso de ser necesario, y además de un desempeño correcto en los actuadores eléctricos del equipo.



GRACIAS



DESARROLLADO POR: [unreadable]



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA