



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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 Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Matriz

Dávalos Carrillo, Gregory Josue

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Villavicencio Poveda, Angelo Homero

15 de febrero 2023

Latacunga



Tesis Bomba Calorimetrica Adiabatica - Dávalos Gregory.p...

Scanned on: 18:0 February 12, 2023 UTC



Overall similarity score



Results found



Total words in text

	Word count
Identical	210
Minor Changes	198
Paraphrased	951
Omitted	0



Ing. Angelo Villavicencio



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"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 Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Matriz"** fue realizado por el señor **Dávalos Carrillo, Gregory Josue**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 10 febrero 2023

Firma:



Ing. Villavicencio Poveda, Angelo Homero

C. C 1709338931



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Dávalos Carrillo, Gregory Josue**, con cédula de ciudadanía n° 1724458045, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **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 Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Matriz** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 15 febrero de 2023



Dávalos Carrillo, Gregory Josue

C.C. 1724458045



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo **Dávalos Carrillo, Gregory Josue**, con cédula de ciudadanía n° 1724458045 ,autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación:
Título: 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 Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Matriz en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 15 febrero de 2023



Dávalos Carrillo, Gregory Josue

C.C. 1724458045

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico a mis padres quienes con mucho amor, esfuerzo y sacrificio me han ayudado a formarme, a no decaer jamás, a no darme por vencido en ningún momento apoyándome incondicionalmente. A mi padre quien ha sido el mejor compañero de proyectos y trabajos con quien constantemente hemos aprendido a la par, quien me ha mostrado que con perseverancia y dedicación se pueden llegar a cumplir metas y sueños. A mi madre quien con amor y sabiduría me ha sabido aconsejar en el momento indicado para no decaer, quien siempre ha sabido llegar con sus palabras para motivarme a ser una mejor persona y un buen profesional.

Dávalos Carrillo, Gregory Josue

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme la fortaleza para haber sobrellevado todos los obstáculos a lo largo de este camino y poner en el mismo a las personas adecuadas que han aportado en este proceso, a mi familia que han sido el pilar fundamental y el soporte en todo momento que mediante amor y disciplina me han impulsado a salir adelante siempre. A mis tíos Héctor y Lourdes por convertirse en mis segundos padres, saber acogerme en su hogar y apoyarme durante toda esta etapa de la mejor manera. A Evelyn por ser la mejor compañía, apoyo y soporte quien siempre me ha impulsado y motivado para seguirme preparando y mejorando en todos los aspectos de mi vida. A Steven por saber escucharme y apoyarme incondicionalmente en esta etapa universitaria. Al Ing. Roberto Buenaño y al Ing. Angelo Villavicencio por abrirme las puertas del Laboratorio de Conversión de Energía y permitirme poner en práctica y fortalecer mis conocimientos adquiridos en la carrera, además de apoyarme con su experiencia y conocimientos durante el desarrollo de este proyecto. A los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE que me han compartido su conocimiento y experiencia para conseguir formarme como un gran profesional.

Dávalos Carrillo, Gregory Josue

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de Contenido.....	8
Índice de Figuras.....	12
Índice de Tablas.....	16
Resumen.....	17
Abstract.....	18
Capítulo I: Generalidades	19
Antecedentes	19
Planteamiento del Problema.....	19
Descripción Resumida del Proyecto	20
Justificación e importancia.....	21
Objetivos	22
<i>Objetivo General</i>	22
<i>Objetivos Específicos</i>	22
Hipótesis	22

<i>Variable Independiente</i>	22
<i>Variable Dependiente</i>	22
Capítulo II: Estado del Arte	23
Calor	23
Combustión	23
Calorimetría	23
Bomba Calorimétrica Adiabática	23
Cantidad de Calor	24
Capacidad de Calor Efectivo	24
Calor específico de combustión	24
Combustibles líquidos	25
Termistor	26
Interfaz Hombre Máquina	26
Capítulo III: Situación Actual	27
Análisis del estado actual del equipo	27
<i>Estado General</i>	27
Sistema Eléctrico	32
Sistema Electrónico y de Control	36
Sistema Mecánico	37
Sistema Térmico	40
Capítulo IV:Repotenciación	43
Identificación del estado mecánico, térmico, eléctrico y electrónico del equipo	43

<i>Estado del sistema mecánico</i>	45
<i>Estado del sistema térmico</i>	50
<i>Estado del sistema eléctrico</i>	51
<i>Estado del sistema electrónico</i>	52
Reparación de los componentes deteriorados	54
<i>Mantenimiento del tanque de la camisa de agua</i>	54
<i>Reemplazo de mangueras del sistema de circulación de agua de la camisa</i>	54
<i>Pintado de la base del equipo</i>	55
<i>Mantenimiento de la bomba de agua</i>	56
<i>Mantenimiento del eje de desplazamiento vertical</i>	57
<i>Mantenimiento Motor Eléctrico de Agitación</i>	57
<i>Reemplazo de mangueras sistema de desfogue</i>	58
Capítulo V: Sistema de Adquisición de Datos	60
Identificación de las variables de interés	60
Diseño del sistema de adquisición de datos	60
<i>Consideraciones de diseño</i>	60
<i>Diagrama de Bloques del Sistema</i>	62
<i>Selección del Controlador</i>	63
<i>Selección de los sensores</i>	65
<i>Selección del HMI</i>	67
Implementación del sistema de adquisición de datos	70
<i>Rediseño del Panel Frontal</i>	70

<i>Rediseño del Sistema Eléctrico</i>	74
<i>Construcción del sistema eléctrico y de control</i>	83
<i>Programación del PLC Logo v8.3</i>	90
<i>Diseño de la Interfaz Hombre Máquina.....</i>	97
Capítulo VI: Pruebas y Análisis de Resultados.....	103
Pruebas de Funcionamiento.....	103
<i>Evaluación de Estanqueidad del Sistema de Circulación de Agua</i>	103
<i>Evaluación de la Presión de la Bomba Calorimétrica.....</i>	104
<i>Comprobación de Funcionamiento de los Elementos Calefactores</i>	105
<i>Revisión del Funcionamiento de la Interfaz Hombre Máquina.....</i>	106
<i>Ensayos con Combustibles Líquidos</i>	108
Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones.....	115
Conclusiones	115
Recomendaciones	117
Bibliografía.....	118
Anexos.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Bomba Calorimétrica Adiabática Gallenkamp</i>	28
Figura 2 <i>Componentes generales antes de la repotenciación de la Bomba Calorimétrica</i> ...	29
Figura 3 <i>Estado de la estructura externa del equipo</i>	30
Figura 4 <i>Estado mecánico interno del equipo</i>	30
Figura 5 <i>Estado general del sistema eléctrico</i>	31
Figura 6 <i>Terminales de los termistores</i>	322
Figura 7 <i>Placa de datos eléctricos del equipo</i>	32
Figura 8 <i>Transformador de tensión del equipo</i>	33
Figura 9 <i>Amperímetro de las resistencias eléctricas</i>	34
Figura 10 <i>Relé Vintage Diamond H Controls</i>	34
Figura 11 <i>Bomba de agua</i>	35
Figura 12 <i>Motor agitador</i>	36
Figura 13 <i>Tarjeta de control</i>	37
Figura 14 <i>Elementos de control del panel frontal</i>	37
Figura 15 <i>Frontal externo del equipo</i>	38
Figura 16 <i>Panel superior del equipo</i>	38
Figura 17 <i>Estado del tanque de la camisa de agua</i>	39
Figura 18 <i>Mangueras del sistema de circulación en la camisa de agua</i>	40
Figura 19 <i>Bomba calorimétrica</i>	41
Figura 20 <i>Ensayo de presión bomba calorimétrica</i>	41
Figura 21 <i>Terminales del sistema de ignición</i>	42
Figura 22 <i>Análisis del estado del panel frontal</i>	45
Figura 23 <i>Panel superior del equipo</i>	45
Figura 24 <i>Soportes de los termistores</i>	46
Figura 25 <i>Base del equipo</i>	46
Figura 26 <i>Estado del tanque de la camisa de agua</i>	47
Figura 27 <i>Eje de desplazamiento vertical</i>	47

Figura 28	<i>Tapa del motor eléctrico de agitación</i>	48
Figura 29	<i>Tapa de la camisa de agua</i>	48
Figura 30	<i>Mangueras del sistema de circulación de agua</i>	49
Figura 31	<i>Mangueras del sistema de desfogue</i>	50
Figura 32	<i>Elementos calefactores camisa de agua</i>	50
Figura 33	<i>Estado bomba calorimétrica</i>	51
Figura 34	<i>Estado general del sistema eléctrico</i>	52
Figura 35	<i>Estado de los termistores</i>	53
Figura 36	<i>Estado tarjeta de control</i>	53
Figura 37	<i>Tanque de la camisa de agua repintado</i>	54
Figura 38	<i>Reemplazo de mangueras sistema de circulación de agua</i>	55
Figura 39	<i>Pintado de la base del equipo</i>	55
Figura 40	<i>Limpieza al interior de la bomba de agua</i>	56
Figura 41	<i>Mantenimiento externo de la bomba de agua</i>	56
Figura 42	<i>Engrasado de resortes del eje de desplazamiento vertical</i>	57
Figura 43	<i>Colocación de los muelles engrasados en su sitio</i>	57
Figura 44	<i>Engrasado del acople del motor eléctrico de agitación</i>	58
Figura 45	<i>Limpieza del eje del motor agitador</i>	58
Figura 46	<i>Reemplazo de las mangueras del sistema de desfogue</i>	59
Figura 47	<i>Diagrama de Bloques del Sistema de Adquisición de Datos</i>	62
Figura 48	<i>PLC Siemens LOGO! v8.3</i>	65
Figura 49	<i>Transmisor de temperatura HDT500</i>	67
Figura 50	<i>Datos técnicos HMI Kinco GL070E</i>	69
Figura 51	<i>HMI Kinco GL070E</i>	70
Figura 52	<i>Diagrama del Rediseño del Panel Frontal</i>	71
Figura 53	<i>Perforaciones de las luces piloto al panel frontal</i>	72
Figura 54	<i>Perforaciones del pulsador y selector al panel frontal</i>	72
Figura 55	<i>Panel Frontal Rediseñado</i>	73

Figura 56 <i>Comparativa Antes vs Después del Rediseño del Panel Frontal</i>	73
Figura 57 <i>Bomba Hidráulica</i>	74
Figura 58 <i>Motor eléctrico de agitación</i>	75
Figura 59 <i>Terminal del sistema de ignición</i>	77
Figura 60 <i>Fuente de alimentación DC Mean Well EDR-120-24</i>	81
Figura 61 <i>Colocación del riel DIN y los componentes del sistema eléctrico</i>	83
Figura 62 <i>Cableado inicial del sistema eléctrico renovado</i>	84
Figura 63 <i>Diagrama de conexión sensores de temperatura HDT500</i>	85
Figura 64 <i>Cableado de los sensores de temperatura HDT500</i>	85
Figura 65 <i>Colocación de terminales de actuadores y tierra física del equipo</i>	85
Figura 66 <i>Cableado de todos los componentes</i>	86
Figura 67 <i>Colocación del Transformador de Voltaje</i>	86
Figura 68 <i>Cableado Final del Sistema Eléctrico</i>	87
Figura 69 <i>Termistor original del equipo</i>	87
Figura 70 <i>Acople del termistor original del equipo</i>	87
Figura 71 <i>Modelado del acople de los sensores de temperatura</i>	88
Figura 72 <i>Laminado del modelo del acople de los sensores de temperatura</i>	88
Figura 73 <i>Comparación de acoples termistor vs sensor de temperatura HDT500</i>	89
Figura 74 <i>Colocación de los sensores de temperatura en su posición</i>	89
Figura 75 <i>Programación del control de la bomba de agua y el motor de agitación</i>	90
Figura 76 <i>Linealización Sensores de Temperatura</i>	91
Figura 77 <i>Normalizado de las señales analógicas</i>	92
Figura 78 <i>Filtrado de las señales analógicas</i>	92
Figura 79 <i>Envío de señale analógicas al HMI</i>	93
Figura 80 <i>Programación del Sistema de Adquisición de Datos</i>	93
Figura 81 <i>Datos obtenidos a lazo abierto elementos calefactores</i>	94
Figura 82 <i>Gráficas de ajuste controlador de temperatura</i>	95
Figura 83 <i>Parámetros del Controlador P</i>	95

Figura 84	<i>Programación del Regulador P.....</i>	96
Figura 85	<i>Programación del Control de Temperatura.....</i>	96
Figura 86	<i>Configuración de direcciones IP HMI y PLC.....</i>	97
Figura 87	<i>Red de comunicación PLC – HMI.....</i>	98
Figura 88	<i>Pantalla de inicio HMI.....</i>	98
Figura 89	<i>Pantalla de Proceso HMI.....</i>	99
Figura 90	<i>Pantalla de Gráficas de Tendencia.....</i>	100
Figura 91	<i>Pantalla de Datos HMI.....</i>	101
Figura 92	<i>Pantalla de Ayuda HMI.....</i>	101
Figura 93	<i>Prueba de estanqueidad sistema de circulación de agua.....</i>	103
Figura 94	<i>Conexión de la bomba calorimétrica al tanque de oxígeno.....</i>	104
Figura 95	<i>Apertura del manómetro a 24 bar de presión</i>	104
Figura 96	<i>Gráfica T1 vs T2 Prueba de Elementos Calefactores</i>	106
Figura 97	<i>Evaluación del funcionamiento de HMI Pantalla de Proceso</i>	107
Figura 98	<i>Evaluación del funcionamiento de HMI Pantalla de Gráficas de Tendencia.....</i>	107
Figura 99	<i>Gráfica comparativa Extra - Super - Diesel.....</i>	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Comparación de controladores lógicos programables</i>	63
Tabla 2 <i>Comparación transmisores de temperatura</i>	66
Tabla 3 <i>Características del transmisor de temperatura HDT500</i>	67
Tabla 4 <i>Comparación HMI</i>	68
Tabla 5 <i>Datos de la bomba hidráulica</i>	75
Tabla 6 <i>Datos del Motor Eléctrico Sistema de Agitación</i>	76
Tabla 7 <i>Resistencias Eléctricas Sistema Adiabático</i>	76
Tabla 8 <i>Datos del Transformador de Voltaje Sistema de Ignición</i>	78
Tabla 9 <i>Datos eléctricos PLC Siemens LOGO</i>	78
Tabla 10 <i>Datos eléctricos Sensores HDT500</i>	79
Tabla 11 <i>Datos eléctricos HMI Kinco GL070E</i>	79
Tabla 12 <i>Dimensionamiento de la Fuente DC</i>	80
Tabla 13 <i>Datos eléctricos Fuente DC Mean Well</i>	81
Tabla 14 <i>Dimensionamiento del interruptor termomagnético</i>	82
Tabla 15 <i>Prueba de elementos calefactores</i>	105
Tabla 16 <i>Estandarización de la bomba calorimétrica</i>	109
Tabla 17 <i>Parámetros para la obtención del poder calorífico</i>	110
Tabla 18 <i>Ensayos con combustibles líquidos</i>	111
Tabla 19 <i>Costo total del proyecto</i>	114

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 más 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.

Palabras clave: Bomba calorimétrica, Sistema Adiabático, Sistema de Adquisición de Datos, Combustibles Líquido.

Abstract

Laboratory equipment is nowadays highly used in the research field because of the precision it provides when performing tests. This equipment is also used in university educational centers to offer students the opportunity to operate them and teach them to analyze the results with an applicative approach. Currently, there is equipment that has been relegated from use due to the age of the equipment, which in some cases has been losing its functionalities and pressure, and in others it has reached the point of being unusable. In this work, we present the repowering, design and implementation of a data acquisition system for the Gallenkamp adiabatic calorimetric pump belonging to the Energy Conversion Laboratory of the University of the Armed Forces ESPE Matriz. This equipment was acquired more than 40 years ago and has been used in several practices over the years, mainly for obtaining the calorific value of liquid fuels, since with this data it is possible to perform research and application analysis in different areas of study. Through the repowering of this equipment, it was possible to recover all its physical part using corrective maintenance in a great part of its mechanical system. In addition, the entire electrical system was redesigned, implementing modern components currently available in the market, thus improving its functionalities and considering protections for the operator. The design and implementation of the acquisition system was made thinking in the easy operability of the equipment, which was intuitive for the user, thus facilitating the whole process involved in the tests and above all obtaining accurate results when evaluating the calorific value of liquid fuels.

Keywords: Calorimetric pump, Adiabatic System, Data Acquisition System, Liquid Fuels.

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en su Laboratorio de Conversión de Energía dispone de varios equipos para impartir las clases prácticas referentes a Termodinámica, Transferencia de Calor, Termofluidos, etc. El equipo Bomba Calorimétrica Adiabática de la marca Gallenkamp fue adquirido en el año de 1981 con el propósito de realizar investigaciones en el campo de la calorimetría, realizando ensayos para obtener la capacidad calorífica de combustibles como la Gasolina Extra, Gasolina Super y Diesel, de esta manera comparar los resultados y realizar análisis comparativos con ellos. Además de esto la bomba calorimétrica adiabática permitía crear un entorno de trabajo donde los estudiantes adquirieran criterios importantes mediante prácticas que fortalezcan el conocimiento y habilidades de las competencias de la malla curricular. El proceso de funcionamiento del equipo es mediante interruptores, encendiendo y apagando los accionamientos del equipo. De igual manera con las mediciones de la temperatura y corriente con dispositivos de lectura análoga. El equipo fue utilizado y se ejecutaron las últimas prácticas hasta el año 2016. Por lo cual se han excluido las prácticas con los temas referentes al equipo desde entonces y no se lo ha vuelto a encender.

Planteamiento del Problema

El laboratorio de conversión de energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas dispone de diferentes equipos académicos, los cuales han sido comprados en los años ochenta y ninguno cuenta con un sistema actualizado de toma de datos. La bomba calorimétrica adiabática es uno de estos equipos y actualmente se encuentra fuera de servicio, posee una instrumentación deteriorada por el paso de los años y el uso que se le ha dado a lo largo de los años.

El equipo bomba calorimétrica adiabática fue utilizado por última vez en el año 2016 en el cual se realizaban prácticas para la medición de poder calorífico de combustibles líquidos empleados en vehículos. Desde entonces no se han podido efectuar dichas prácticas debido al deterioro del equipo y fallas presentes en las mediciones de este.

El equipo no posee de un sistema de adquisición de datos actualizado ya que los instrumentos que posee son en su mayor parte analógicos y en ciertos de ellos se presentan fallas en las mediciones. Al tratar de dar movimiento a los accionamientos del equipo se podría llegar a atentar contra la salud del usuario, así como también al no estar seguros de la presión que se está manejando el mismo debido a la falla en los dispositivos de medición.

Descripción Resumida del Proyecto

Para la repotenciación se realizará un mantenimiento preventivo y correctivo, adicionalmente de ser el caso se efectuará el diseño y la construcción de partes mecánicas, eléctricas y electrónicas que por la edad del equipo sean requeridas.

Una vez realizado este proceso se efectuarán pruebas en vacío para ver el funcionamiento de sus componentes, mecánicos, térmicos eléctricos y electrónicos con la finalidad de ponerlo a punto.

Se desarrollará el diseño del sistema de adquisición, supervisión, control y una interfaz hombre – máquina para el equipo. Para lo cual dentro del diseño del sistema de adquisición de datos se seleccionará la instrumentación adecuada para obtener las mediciones de las variables de interés en el equipo. En el caso del sistema de supervisión se considerará la selección de una HMI, así como el diseño y programación del mismo empleando indicadores visuales que permitan dar a conocer al usuario la información necesaria del proceso. Dentro del apartado de control se desarrollará un control a lazo abierto de los actuadores pertenecientes al equipo. Así como también se incluirán botones dentro de la interfaz hombre – máquina que permitan accionar los mismos.

Se implementará el sistema de adquisición de datos integrando los diferentes elementos de control, monitorización, y HMI corroborando su correcto funcionamiento en cada una de las etapas.

Se realizará el manual de mantenimiento, guías de práctica, manual de usuario en los cuales se podrá encontrar la información necesaria para que los estudiantes sean capaces de realizar prácticas en el equipo, así como también para que se le pueda dar tanto un mantenimiento preventivo y correctivo al equipo.

Justificación e importancia

La repotenciación, diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos en el equipo bomba adiabática calorimétrica serán de gran ayuda puesto que se empleará instrumentación moderna, además de que se visualizarán las mediciones de interés y se dispondrán de controles dentro de una interfaz hombre máquina facilitando el uso y funcionamiento del equipo notablemente.

El laboratorio de conversión de energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas dispone de diferentes equipos mediante los cuales se da sustento práctico a las cátedras de: Termodinámica, Termodinámica Aplicada, Transferencia de Calor, Diseño Térmico, Máquinas Térmicas, Termofluidos I y Termofluidos II por lo cual es necesaria la rehabilitación de la Bomba Calorimétrica Adiabática Gallenkamp para de esta manera poderla incluir nuevamente dentro de las prácticas de laboratorio.

Mediante la repotenciación del equipo se repararán y reemplazarán los componentes tanto mecánicos como eléctricos que lo necesiten para obtener un funcionamiento correcto y mediante la automatización de los actuadores que serán controlados mediante la interfaz hombre máquina se minimizará el contacto que tendrá el usuario con el equipo ofreciéndole seguridad al operario en todo momento.

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.

Capítulo II

Estado del Arte

Calor

Se denomina calor a la energía que fluye debido a la diferencia de temperatura en un cuerpo. (Severns, Degler, & Miles, 1981)

También se puede definir al calor como la energía en movimiento a través de la frontera de un sistema, la misma que no se puede identificar como una fuerza mecánica que actúa a lo largo de una distancia. (Rolle, 2006)

Combustión

La combustión es la reacción química exotérmica perteneciente a alguno de los elementos constituyentes de los combustibles con el oxígeno atmosférico, por lo tanto, se considera que la combustión es una reacción de oxidación.

Calorimetría

La calorimetría es la ciencia encargada de medir la cantidad de calor liberado por un sistema durante un periodo de tiempo. Cuando la variable monitoreada es el calor liberado por el sistema, se la conoce como calorimetría directa, y no otra variable diferente, cuya medición permite encontrar el calor liberado por alguna reacción física o matemática, en este caso se la llama calorimetría indirecta. (Alfonso & Correa Cely, 2006)

Bomba Calorimétrica Adiabática

La bomba calorimétrica es un sistema autónomo que consta de dos grandes partes generales: el reactor donde se producirá la combustión, que liberará el calor, y un sistema de camisa de agua autorregulable que rodea al reactor y forma parte del sistema, que absorberá el calor liberado con el resto del material. Por tanto, una masa conocida de una sustancia cuyo calor de combustión se desea determinar arde en presencia de oxígeno. Como se mencionó anteriormente, el aparato es totalmente adiabático, por lo tanto, el calor generado en la reacción de combustión se convierte en un aumento de la temperatura de

una masa de agua en la camisa que rodea al reactor. Este proceso se lleva a cabo con volumen constante porque el reactor está sellado. Aunque el calor absorbido por el agua no es el poder calorífico del combustible, el calor es cedido por la formación de ácido nítrico debido a diversos factores como el calor absorbido por la propia bomba (termómetro, agitador, etc.), la exotérmica de los hilos que provocan el incendio del combustible, etc., que, entre otras cosas, se puede determinar aumentando la temperatura del agua y conociendo la constante de la bomba calorimétrica. (Ruiz, O. A. P., & Sáez, A. V., 2019).

Cantidad de Calor

El calor (Q) se define como la energía liberada o absorbida por una masa (m) cuando su temperatura cambia en un cierto número de grados. La cantidad de calor (Q) está directamente relacionada con las propiedades de las sustancias que componen el cuerpo. La cantidad de calor depende de la naturaleza de la sustancia, caracterizada por una cantidad llamada calor específico de la sustancia. (Ruiz, O. A. P., & Sáez, A. V., 2019).

Capacidad de Calor Efectivo

La capacidad calorífica efectiva se define como el calor requerido para producir un incremento unitario en la temperatura del sistema calorimétrico bajo las condiciones de la determinación calorimétrica. Se determina quemando una masa conocida de ácido benzoico puro en una bomba y elevando la temperatura.

Calor específico de combustión

Cuando se quema el cuerpo, el calor se libera de manera diferente según las propiedades físicas y químicas del cuerpo en cuestión. Una variable que puede caracterizar cuantitativamente la liberación de calor de un cuerpo en llamas es el llamado calor específico de combustión, denotado con la letra I .

El calor específico de combustión se define como la cantidad de calor (Q) liberada por una unidad de masa de un cuerpo tras la combustión completa. El calor específico de combustión se expresa en unidades de energía (J) por unidad de masa (kg) y varía según el

tipo de combustible. Cantidades iguales de diferentes combustibles emiten diferentes cantidades de calor (Q) cuando se queman por completo. De lo contrario, diferentes masas del mismo combustible liberan diferentes cantidades de calor (Q). La cantidad de calor (Q) liberado por la combustión completa de una masa dada (m) de combustible se puede calcular utilizando la siguiente fórmula: $Q = Im$.

El calor específico de combustión se asocia comúnmente con sustancias consideradas combustibles convencionales (petróleo, carbón, alcohol, madera, etc.), pero también se puede asociar con combustibles alternativos. Por lo tanto, al conocer el calor específico de combustión, es importante conocer la inflamabilidad de varios materiales que no se usan comúnmente para la combustión.

Para evaluar más claramente la inflamabilidad de los materiales utilizados en la combustión para liberar energía térmica, el análisis puede comenzar con el conocimiento del calor específico de combustión de estos materiales. (Ruiz, O. A. P., & Sáez, A. V., 2019).

Combustibles líquidos

Desde un punto de vista industrial, los combustibles líquidos son productos derivados del petróleo crudo o del alquitrán de hulla. Si se deriva del alquitrán de hulla, clasificar por viscosidad o fluidez.

El petróleo crudo contiene una gran cantidad de compuestos de hidrocarburos, que cubren una amplia gama de compuestos de hidrocarburos dentro de las clases que se producen.

Se pueden producir varios combustibles líquidos a partir del petróleo crudo. El petróleo resultó ser la quintaesencia de los combustibles líquidos. El principal combustible líquido es:

- Gasolinas: Abarcan compuestos hidrocarbonados que van desde C4 a C10.
- Turboreactores: C10 - C18/C14

- Fuel-oil: Van a ser lo que tengan un punto de destilación más altos; es decir, los de mayor número de átomos de carbono y los más pesados ("Combustibles líquidos I. Generalidades | Textos Científicos", 2022)

Termistor

Un termistor es un dispositivo basado en materiales semiconductores. Los materiales eléctricamente conductores aumentan su resistencia eléctrica a medida que aumenta la temperatura. En un termistor, la resistencia eléctrica disminuye a medida que aumenta la temperatura. La resistencia eléctrica de un termistor cambia con la temperatura.:

$$R = A \exp\left(\frac{B}{T}\right)$$

donde T es la temperatura absoluta y A y B son las constantes características del termistor. (Güémez, J., & Alfonso, C. G., 2003)

Interfaz Hombre Máquina

HMI representa un medio de interacción entre un usuario y una pieza específica de hardware. En el caso del control de procesos, una HMI presenta los datos básicos de un sistema de control de procesos al usuario, como variables de proceso, controladores, puntos de ajuste o variables de punto de ajuste, todo en tiempo real, es decir, H. en el momento en que realizas las distintas variaciones.

Se recomienda que un HMI incluya componentes gráficos y numéricos. Asimismo, debe utilizar una terminología uniforme y clara para sus usuarios finales. Además, las variables de proceso, los puntos de referencia y las variables de control deben quedar lo más claras posible para el usuario. De igual forma, se debe mantener un registro histórico de las variaciones que se han producido para poder estudiar su comportamiento y realizar buenas predicciones. En resumen, el HMI debe explicar lo que está sucediendo en el proceso en tiempo real, de manera transparente y oportuna. (Lizama, E. R., Mitma, J. L. I., & Pinzás, A. R. C., 2008)

Capítulo III

Situación Actual

En el presente capítulo se describe el estado previo a la realización del proyecto, para observar las condiciones iniciales, así como también analizar el estado de la bomba calorimétrica adiabática desde su última práctica. En el apartado de los antecedentes se mencionaron alguno de los problemas que presenta el equipo actualmente, en este capítulo se describirá de manera más detallada a los mismos.

Seguido de esto, se da inicio a un proceso de ingeniería inversa, donde se determina el funcionamiento de cada uno de los componentes y del conjunto en general para finalmente ejecutar pruebas sobre los elementos de medición, interruptores, luces piloto y actuadores para verificar su funcionamiento.

Análisis del estado actual del equipo

Estado General

La bomba calorimétrica adiabática Gallenkamp en el que se realiza la repotenciación se encuentra en el laboratorio de Conversión de Energía del Departamento de Energía y Mecánica. La bomba calorimétrica adiabática Gallenkamp, se encontró en las condiciones que se observan en la siguiente figura 1.

Figura 1.

Bomba Calorimétrica Adiabática Gallenkamp.

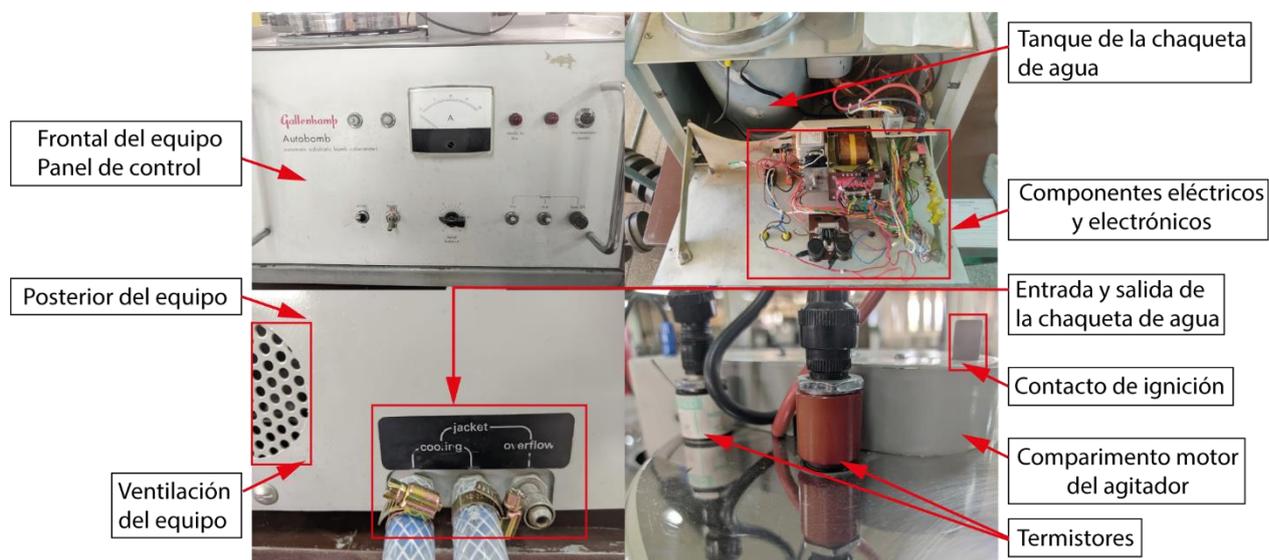


Se procede a realizar una investigación documental, recabar información, características técnicas y funcionamiento del equipo. A la vez que se realiza una inspección visual del equipo en general de sus: componentes, actuadores, mecanismos, sistema eléctrico y estructura, para de esta manera realizar una planificación de la repotenciación que se realizará en la bomba calorimétrica Gallenkamp se procede a identificar los componentes principales con los que cuenta en un inicio; de esta manera una vez finalizada la intervención se podrán observar los cambios efectuados y realizar una comparación con el resultado final.

La bomba calorimétrica adiabática Gallenkamp previo a la repotenciación cuenta con los siguientes componentes generales que se muestran en la figura 2.

Figura 2

Componentes generales antes de la repotenciación de la Bomba Calorimétrica Adiabática Gallenkamp.



El equipo cuenta con varios sistemas que lo componen como lo son el sistema eléctrico, mecánico, térmico, electrónico y de control.

Referente al estado general del equipo en su parte estructural mecánica se encuentra en buen estado, salvo que en ciertas piezas se encuentran ausentes elementos de sujeción como tornillos y pernos. Adicionalmente presentan ciertos rayones en las latas posteriores de la máquina. En el panel frontal del equipo se presentan ciertas manchas respecto a lo estético. Pero en general la parte mecánica estructural y funcional del equipo se encuentra en buenas condiciones.

Figura 3

Estado de la estructura externa del equipo



En cuanto respecta al estado general mecánico interno del equipo, se puede observar en la figura 4 que el tanque de la chaqueta de agua presenta un mantenimiento realizado previamente para corregir fugas que se han presentado previamente. Así como también se encuentran las mangueras de circulación de la chaqueta de agua en mal estado.

Figura 4

Estado mecánico interno del equipo



Analizando de manera general el componente eléctrico del equipo se puede observar que presenta varias deficiencias, como lo son: cables desconectados de varios de los componentes, empalmes técnicamente mal realizados, aislamiento de terminales nulo

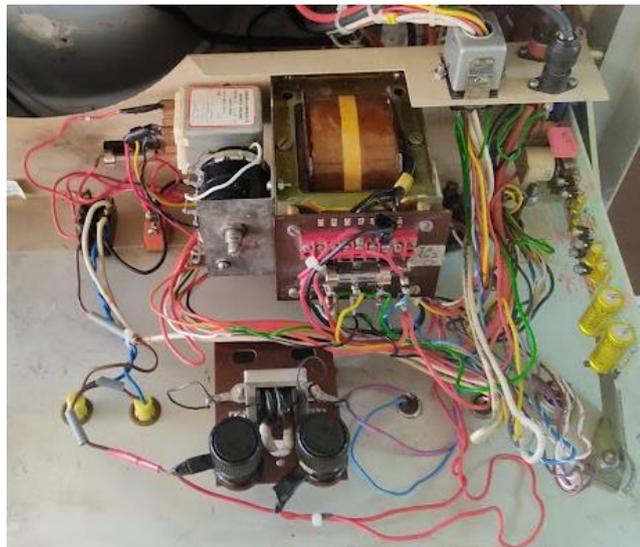
en ciertos componentes, cableado desorganizado y los conductores de alimentación en mal estado.

Dentro del sistema eléctrico se encuentran los actuadores del equipo, bomba de agua y niquelinas. De manera general y a simple vista se puede ver que se encuentran superficialmente en buen estado.

Se realizará un análisis mayormente detallado en cada uno de los componentes más adelante.

Figura 5

Estado general del sistema eléctrico



Como parte de los sistemas electrónico y de control del equipo se encuentra la tarjeta de control de temperatura y los termistores ubicados en el interior de la camisa de agua y la bomba calorimétrica. Con respecto a la tarjeta electrónica a simple vista se observan componentes que han presentado fallas y pistas averiadas, esta tarjeta se deberá evaluar más adelante. Y haciendo referencia a los termistores se evidencia que existen cables rotos en sus terminales como lo muestra la figura 6.

Figura 6*Terminales de los termistores*

Una vez realizada una inspección visual del equipo y de cada uno de sus sistemas, se procederá con el análisis detallado de cada uno de ellos, para evaluar y determinar el estado de los componentes que lo conforman.

Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico que dispone el equipo está conformado por varios componentes.

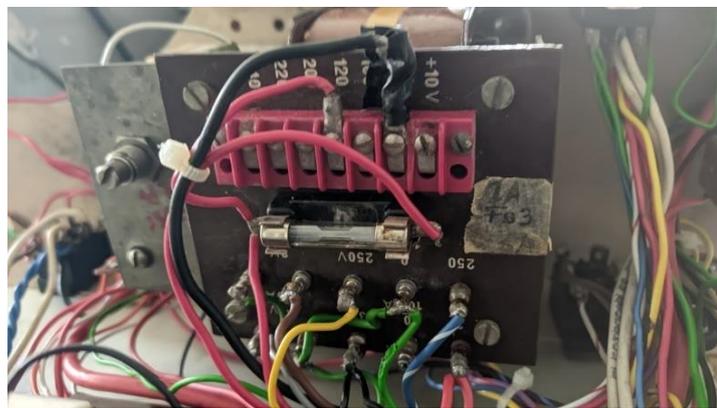
La alimentación de energía eléctrica del equipo se la realiza mediante un enchufe tipo B que tradicionalmente se utiliza en el país, el cual está diseñado para un voltaje de 100 -127 V. Los tomacorrientes del laboratorio operan con un voltaje de 110 V a una frecuencia de 60 Hz por lo cual es adecuado para su uso. Además de esto se debe tener en cuenta que se dispone de un terminal a tierra para la protección del operador del equipo en todo momento.

Figura 7*Placa de datos eléctricos del equipo*

Uno de los componentes importantes del sistema eléctrico del equipo es el transformador de voltaje. Se trata de un transformador reductor con varios devanados, ya que reduce el voltaje de entrada de 110 V a distintas tensiones para alimentar a varios componentes eléctricos del equipo, Figura 8. Al evaluar el funcionamiento del transformador se evidenció un sobre calentamiento en uno de los devanados y además se verificó voltajes fuera de rangos normales en sus terminales.

Figura 8

Transformador de tensión del equipo



La bomba calorimétrica también posee un amperímetro de 0-20 A, mostrado en la figura 9, perteneciente al sistema eléctrico el cual se encarga de medir la corriente que se suministra a las resistencias eléctricas que se encuentran en el interior de la camisa de agua, con esto se logra la evaluación tanto del buen funcionamiento de estas, como también la intensidad de calor que el usuario se encuentra suministrando al sistema. Al ejecutarse pruebas de funcionamiento en vacío del amperímetro se detectaron fallas en su funcionamiento ya que el elemento indicador no muestra mediciones.

Figura 9*Amperímetro de las resistencias eléctricas*

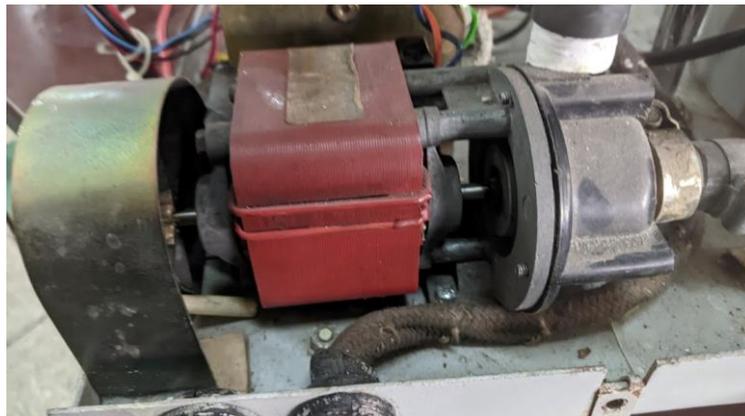
Se dispone también de un relé vintage de la marca Diamond H Controls, figura 10, el cual tiene una bobina de 24 VDC con capacidad de contacto de 25 A 24VDC / 240 V AC, tiene 4 polos de una solo toma, 2 juegos de contactos normalmente cerrados y otros 2 normalmente abiertos por lo que se puede configurar como un doble polo de doble acción. Este componente eléctrico es empleado en el equipo para accionar los actuadores como lo son las resistencias eléctricas y la bomba de agua. Al ejecutarse pruebas en vacío de este componente se pudo verificar que presenta fallas en ciertos contactos, por lo cual no funciona correctamente.

Figura 10*Relé Vintage Diamond H Control*

Pertenece al sistema eléctrico, se dispone también de una bomba de agua con salida y entrada de $\frac{1}{2}$ in de diámetro. Posee una alimentación de 110 V, la función que cumple esta, es mantener en movimiento el agua, para homogeneizar la temperatura del líquido que se encuentra en el interior de la camisa de agua del equipo. Esta bomba se encuentra en funcionamiento, no sobre calienta, y posee el torque suficiente como para distribuir correctamente el agua por todo el circuito. Se requiere hacer un mantenimiento preventivo de dicha bomba para evitar futuras fallas, dicha bomba se la puede observar en la figura 11.

Figura 11

Bomba de agua



Otro de los componentes pertenecientes al sistema eléctrico es el motor agitador. Se trata de un motor relativamente pequeño como se puede observar en la figura 12, con una alimentación de 110V y bajo torque, el cual se encarga de mezclar el agua dentro del recipiente, (bomba calorimétrica), con el objetivo de homogeneizar la temperatura del líquido.

Este motor ha sido probado y se encuentra en perfecto estado, posee un funcionamiento correcto, no presenta sobre calentamiento y dispone en su eje motor un torque adecuado para su función.

Figura 12

Motor agitador



Sistema Electrónico y de Control

La bomba calorimétrica adiabática posee una tarjeta electrónica, figura 13, la cual se encarga de realizar el control de la temperatura de los elementos calefactores dentro de la camisa de agua, este control es semi automático y depende completamente del operador ya que en el frontal del equipo se posee una perilla para seleccionar el balance deseado y esto repercute en la cantidad de voltaje proporcionado a los elementos calefactores. Al realizar pruebas con el equipo se pudo observar que varios componentes de la tarjeta electrónica presentan fallas por lo cual los elementos calefactores no reciben voltaje alguno.

Adicionalmente se presentan problemas en el control del accionamiento del elemento de ignición. Esto es causado por varias fallas que se detectaron en las pistas y en varios componentes de la tarjeta electrónica.

Figura 13

Tarjeta de control



En el sistema de control la máquina posee controles manuales en su panel frontal mostrados en la figura 14, los cuales permiten al operador accionar los elementos calefactores, el sistema de ignición, y controlar el balance inicial del sistema. El funcionamiento de estos elementos es adecuado, ya que al evaluarse con un multímetro se corroboró el correcto desempeño de estos.

Figura 14

Elementos de control dl panel frontal



Sistema Mecánico

Dentro del apartado del sistema mecánico se realizó el diagnóstico de la estructura tanto interna como externa del equipo, así como también de las mangueras, acoples, y el tanque de la camisa de agua.

La parte estética del equipo en su apartado externo se encuentra en buen estado, fuera de manchas y rayones en la pintura de este, véase en la figura 15.

En el ámbito de rigidez de la estructura se encuentra en buen estado, los únicos elementos faltantes para mejorarlo son elementos de fijación como lo son tornillos, arandelas y tuercas, en diferentes componentes de la estructura del equipo.

Figura 15

Frontal externo del equipo



El panel superior del equipo, figura 16, se encuentra en perfecto estado, no presenta aberturas ni filtración de líquido en la tapa de la camisa de agua.

Figura 16

Panel superior del equipo



En el interior del equipo podemos observar y analizar como primer punto el estado del tanque de la camisa de agua mostrado en la figura 17, el cual evidencia mantenimientos

correctivos previos, ya que se puede observar correcciones de las fugas de agua en varios puntos del mismo. Al realizar la prueba de estanqueidad se presentaron fugas de agua en varios puntos del tanque. Las mangueras de circulación de agua de la camisa se las encontró soldadas al mismo.

Figura 17

Estado del tanque de la camisa de agua



Al interior del equipo se puede observar las mangueras pertenecientes al circuito de circulación de la camisa de agua. El equipo posee un total de seis mangueras, tres pertenecientes al circuito de circulación de la camisa de agua y las otras tres a la alimentación y desfogue de agua de la camisa.

Realizando una inspección visual se pudo observar que las mangueras se encuentran en mal estado, apreciándose en la figura 18, con dobleces en varios puntos, además de evidenciarse contaminación del agua en su interior por el color presentado.

Figura 18

Mangueras del sistema de circulación en la camisa de agua

**Sistema Térmico**

El sistema térmico del equipo se encuentra conformado por dos elementos calefactores que se encuentran en el interior de la camisa de agua. Al tratarse de un sistema completamente cerrado, el método para comprobar el funcionamiento de estos fue una prueba en vacío conectando directamente las resistencias a la corriente eléctrica. Al realizar dichas pruebas se evidenció el consumo eléctrico de cada uno de estos mediante una pinza amperimétrica, obteniéndose valores de consumo para cada resistencia de 3.2 A. Además de esto se evidenció el incremento de temperatura dentro de la camisa de agua mediante termómetros. Obteniéndose valores de temperatura en un periodo de tiempo de encendido de 10 min de 60 °C.

Otro elemento para analizar dentro del sistema térmico es la bomba calorimétrica, figura 19. Puesto que en esta se realizará la combustión de las muestras. Se realizaron distintas pruebas en la bomba calorimétrica para poder evidenciar su correcto funcionamiento.

Figura 19*Bomba calorimétrica*

Una de las pruebas realizadas fue la de presión y prueba de fugas en la bomba calorimétrica como se muestra en la figura 20, trabajando con presiones de 20 – 30 bar, (290 - 435 psi) ya que es el rango de presión en el cual se van a realizar los ensayos.

Figura 20*Ensayo de presión bomba calorimétrica*

Otra de las pruebas realizadas, fue la medición del aislamiento del terminal del sistema de ignición con la carcasa de la bomba calorimétrica y la continuidad de la bornera con en el terminal del sistema de ignición para asegurar el paso de corriente a la muestra de ensayo. De estas pruebas se pudo concluir el correcto funcionamiento.

Figura 21

Terminales del sistema de ignición



Los elementos de la bomba calorimétrica, figura 21, y del sistema térmico en general se encuentran en buen estado, transfieren la temperatura correctamente hacia el ambiente en el que se encuentran, y en el crisol no se evidenciaron fugas al utilizar una muestra líquida.

Capítulo IV

Repotenciación

En el presente capítulo se realizará el análisis del estado específico de cada uno de los componentes pertenecientes a los diferentes subsistemas del equipo bomba calorimétrica adiabática, con el objetivo de evaluar el estado de cada uno de estos. Además, se tomará en cuenta la inspección visual realizada para todos los componentes en el anterior capítulo.

Identificación del estado mecánico, térmico, eléctrico y electrónico del equipo.

La bomba calorimétrica adiabática Gallenkamp posee cuatro sistemas principales los mismos que contienen diferentes componentes.

El sistema mecánico este conformado por los siguientes elementos:

- Panel frontal
- Panel superior
- Soporte de los termistores
- Base de la máquina
- Tanque de la camisa de agua
- Eje de desplazamiento vertical
- Tapa del motor de agitación y terminal de ignición
- Eje de rotación del panel frontal
- Manijas del panel frontal
- Tapa de la camisa de agua
- Mangueras del sistema de circulación de agua
- Mangueras del sistema de desfogue de agua

Se analizará el estado de dichos componentes mecánicos con más detalle más adelante en este capítulo.

El sistema térmico posee a su vez diferentes componentes como lo son:

- Elementos calefactores de la camisa de agua
- Recipiente de agua
- Bomba calorimétrica

Los elementos que componen al sistema eléctrico son los siguientes:

- Transformador de voltaje.
- Amperímetro análogo 0-20A.
- Interruptor de dos posiciones sin enclavamiento para el sistema de ignición.
- Potenciómetro de elección del balance inicial.
- Luz piloto roja del sistema de contacto para la ignición.
- Luz piloto roja para ensayo del sistema de ignición.
- Luz piloto amarilla indicador de encendido del equipo.
- Luz piloto amarilla indicador del encendido de los elementos calefactores.
- Contactor Diamond H. Controls
- Bomba de Agua
- Motor de Agitación
- Fusibles de 1A,10 y 20A
- Motor vibrador para termómetros
- Cables de alimentación
- Terminales de ignición
- Borneras

Los componentes que pertenecen al sistema electrónico son los siguientes:

- Tarjeta de control
- Termistores

Estado del sistema mecánico

Panel Frontal

El estado del panel frontal es aceptable como se puede observar en la figura 22, presenta ciertas manchas apreciables en varias zonas de este, además presenta rayones en la mayor parte de su superficie por lo cual lo ideal sería mejorar la parte estética del mismo. En cuanto a la funcionalidad y rigidez se encuentra en perfecto estado.

Figura 22

Análisis del estado del panel frontal



Panel superior

El panel superior se encuentra en perfecto estado tanto funcional como estético, figura 23, por lo cual a este componente solo se le debe realizar un mantenimiento preventivo.

Figura 23

Panel superior del equipo



Soportes de los termistores

Los soportes de los termistores se encuentran cristalizados por el tiempo que se los ha utilizado, ya que tienen el mismo tiempo de vida que el equipo, se puede observar a estos en la figura 24. Se debe reemplazar dichos soportes para evitar rupturas en el futuro.

Figura 24

Soportes de los termistores



Base del equipo

La base del equipo se encuentra bastante deteriorada en su aspecto físico como se puede observar en la figura 25; ya que presenta óxido en la posición del tanque de la camisa de agua y en los perfiles laterales. Además, los guarda cables ubicados en la parte posterior se encuentran cristalizados y con manchas de pintura.

Figura 25

Base del equipo



Tanque de la camisa de agua

Como ya se mencionó previamente en el capítulo anterior, el tanque de la camisa de agua evidencia que se han realizado trabajos correctivos en el mismo para controlar fugas existentes, ya que presenta pasta y masilla en varias zonas, véase en la figura 26.

Figura 26

Estado del tanque de la camisa de agua



Eje de desplazamiento vertical

El eje de desplazamiento vertical cumple la función de elevar la tapa de la camisa de agua y desplazarla hacia un costado para facilitar el ingreso de la bomba calorimétrica y su recipiente. Este componente se encuentra en buen estado y desliza con normalidad para cumplir sus funciones, figura 27.

Figura 27

Eje de desplazamiento vertical



Tapa del motor eléctrico de agitación

La tapa del motor eléctrico de agitación mostrado en la figura 28 cumple sus funciones de cubrir y proteger al cableado eléctrico y al motor eléctrico de agitación, estructuralmente se encuentra en buen estado, no cede hacia ningún lado ya que se está correctamente fijado por los tornillos que se observan en la figura 28. Estéticamente presenta ciertas fallas como rayones en la pintura.

Figura 28

Tapa del motor eléctrico de agitación



Tapa de la camisa de agua

La tapa de la camisa de agua mostrada en la figura 29 se nota en buen estado, se observa que se ha intervenido en ocasiones anteriores por el sellante que se puede apreciar en todo el perímetro de la base. En términos generales se encuentra en buen estado tanto físico como estético.

Figura 29

Tapa de la camisa de agua



Mangueras del sistema de circulación de agua

Las mangueras del sistema de circulación de agua se encuentran en mal estado como se evidencia en la figura 30, se puede observar dobleces en todas las mangueras, esto detendría el flujo de agua al accionarse la bomba. Además de esto se puede evidenciar que se encuentra agua con óxido al interior de las mangueras por lo que todo el sistema de circulación de agua debe encontrarse de manera similar.

Figura 30

Mangueras del sistema de circulación de agua



Mangueras del sistema de desfogue y alimentación de la chaqueta de agua

Las mangueras de este sistema se encuentran algunas rotas debido a la cristalización de estas, presentan también dobleces en varios puntos lo cual impediría la correcta evacuación del líquido.

Figura 31

Mangueras del sistema de desfogue

**Estado del sistema térmico****Elementos calefactores de la camisa de agua.**

Los elementos calefactores de la camisa de agua presentan un funcionamiento correcto ya que han sido conectadas en vacío para comprobar el incremento de temperatura de la camisa de agua, además de medirse con una pinza amperimétrica el consumo de cada uno de los elementos calefactores obteniéndose un valor de corriente de 3.2 A para cada uno. La única acción correctiva para estos sería la fijación adecuada de los cables que van a hacia dicha alimentación, figura 32

Figura 32

Elementos calefactores camisa de agua



Bomba calorimétrica

La bomba calorimétrica es el elemento en el cual se coloca la muestra y se lo llena de oxígeno previo a la ejecución de un ensayo. Es uno de los elementos más importantes del equipo.

Este componente se encuentra en excelente estado, véase la figura 33. Se ha evaluado el aislamiento del terminal eléctrico para descartar una falla eléctrica al momento de realizar el contacto con el terminal de ignición, además se la ha llenado de oxígeno a una presión de 22 Bar (319 psi) para revisar si existe la presencia de fugas, lo cual no sucedió. En términos generales la bomba calorimétrica se encuentra en perfecto estado.

Figura 33

Estado bomba calorimétrica



Estado del sistema eléctrico

Los elementos pertenecientes al sistema eléctrico mostrados en la figura 34 han sido analizados a detalle en el capítulo III, por lo cual en este apartado únicamente se hará una valoración general del estado de este sistema.

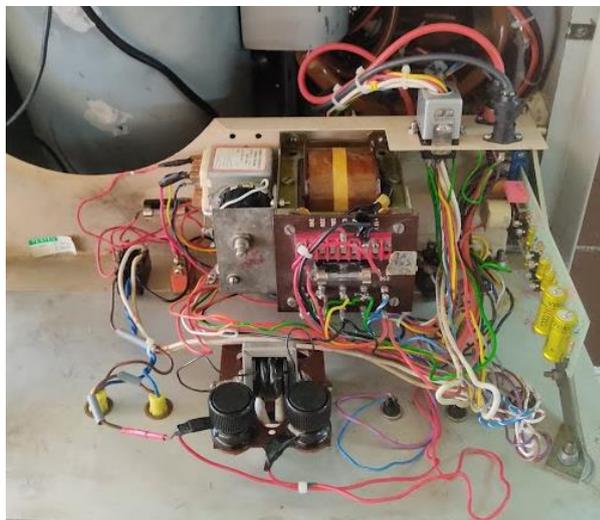
Como ya se analizó cada uno de los componentes, se puede evidenciar que gran parte del sistema eléctrico se encuentra deteriorado y varios elementos presentan fallas. Además de esto son componentes están actualmente discontinuados, por el tiempo del equipo.

Realizando un análisis de este sistema se considera como mejor opción un rediseño completo del sistema eléctrico del cual únicamente se conservarán los actuadores que se encuentran funcionando. Esto con el objetivo de actualizar completamente al equipo con elementos de fácil reemplazo y disponibles en el mercado.

Este rediseño eléctrico se lo detallará minuciosamente en el capítulo V.

Figura 34

Estado general del sistema eléctrico



Estado del sistema electrónico

Termistores

Los termistores del equipo presentan rupturas en su cableado, rupturas en las sondas de medición, así como también los terminales de conexión se encuentran oxidados y no realizan correctamente la conexión a su alimentación, véase la figura 35. Se realizaron pruebas con uno de los termistores para determinar si se pueden obtener lecturas, lo cual no ocurrió. Las sondas no envían ningún tipo de señal al estar conectadas a la alimentación

Figura 35

Estado de los termistores

**Tarjeta electrónica**

En el capítulo anterior ya se detalló el estado de este componente, por lo cual su reemplazo es necesario para obtener la funcionalidad del equipo. Lo tratado en el capítulo anterior incluye el sistema de adquisición de datos por lo cual esta tarjeta ya no sería necesaria en este sistema.

Figura 36

Estado tarjeta de control



Reparación de los componentes deteriorados

Para la repotenciación del equipo fue necesario el desmontaje de toda su estructura, de esta manera se pudo acceder hacia los componentes del interior. Al tener completamente desarmado al equipo se decidió pintar toda su estructura.

Mantenimiento del tanque de la camisa de agua

Para utilizar el mismo tanque de la camisa de agua se decidió primero corregir las fugas pequeñas que presentaba, se lijó la superficie para eliminar el exceso de masilla que se colocó en algún mantenimiento previo, así como también se lijó para obtener una mejor adherencia de la pintura, figura 37.

Figura 37

Tanque de la camisa de agua repintado



Reemplazo de mangueras del sistema de circulación de agua de la camisa

Una vez realizado el mantenimiento del tanque de la camisa de agua se procedió a reemplazar las mangueras por mangueras de mejor calidad malladas para evitar los dobleces. Todas las mangueras están ahora con sus respectivas abrazaderas y acoples como se puede visualizar en la figura 38.

Figura 38

Reemplazo de mangueras sistema de circulación de agua

***Pintado de la base del equipo***

Para mejorar la estética del equipo se decidió pintar toda su estructura, para lo cual se lijó ésta, para eliminar todo el óxido presente y para obtener una mejor adherencia de la pintura. Una vez realizado esto se pintó la estructura empleando un compresor, teniéndose el resultado mostrado en la figura 39.

Figura 39

Pintado de la base del equipo



Mantenimiento de la bomba de agua

En la bomba de agua era necesario realizar un mantenimiento preventivo debido a que como se pudo observar anteriormente en las mangueras se observaba la presencia de óxido al interior por lo cual todo el sistema de circulación de agua debía ser depurado.

Para el caso de este componente se abrió su acople para poder limpiar las aspas y la tapa de estas como se puede ver en la figura 40.

Figura 40

Limpieza al interior de la bomba de agua



Además de esto se recubrió a la tapa plástica con silicona UV para recuperar sus propiedades y darle una mejor apariencia. Adicionalmente se cambió el teflón del acople para evitar fugas en el futuro, figura 41.

Figura 41

Mantenimiento externo de la bomba de agua



Mantenimiento del eje de desplazamiento vertical

El eje de desplazamiento vertical está compuesto por un juego de tres resortes en su interior los cuales facilitan el movimiento de la tapa de la camisa de agua hacia arriba y hacia un costado por lo cual se realizó un mantenimiento preventivo retirándolos, limpiándolos y engrasándolos mostrado en la figura 42 y 43.

Figura 42

Engrasado de resortes del eje de desplazamiento vertical



Figura 43

Colocación de los muelles engrasados en su sitio



Mantenimiento Motor Eléctrico de Agitación

El motor de agitación transmite su movimiento hacia el elemento que permite la agitación del agua mediante un acople metálico. Se realizó el mantenimiento preventivo de

este compartimento para evitar los ruidos de roce y conseguir un movimiento más suave del agitador, esto se puede evidenciar en las figuras 44 y 45.

Figura 44

Engrasado del acople del motor eléctrico de agitación



Figura 45

Limpieza del eje del motor agitador



Reemplazo de mangueras sistema de desfogue

El reemplazo de las mangueras del sistema de desfogue era necesario ya que las anteriores mangueras se encontraban cristalizadas y rotas en ciertos puntos, además de esto presentaba dobleces marcados los cuales impedían la correcta circulación de agua, el resultado de este cambio se puede ver en la figura 46.

Figura 46

Reemplazo de las mangueras del sistema de desfogue



Capítulo V

Sistema de Adquisición de Datos

Identificación de las 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.

Por lo tanto, en base a las especificaciones de la normativa ASTM D240-02 se realizará el diseño del sistema de adquisición de datos empleando la medición de las dos temperaturas antes mencionadas y se utilizará una luz piloto para indicar el accionamiento del sistema de ignición.

Diseño del 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. Y adicionalmente en la salida del controlador lógico programable mediante un puerto de comunicación ethernet establecer la comunicación con el HMI y mostrar los datos de manera intuitiva en el mismo. Adicionalmente para el diseño de la interfaz hombre máquina nos basaremos en la norma ISA 101-01 2015 en la cual se establecen los parámetros necesarios para una interfaz hombre máquina industrial.

Se debe tomar en cuenta es que este equipo se encuentra en un laboratorio para uso de estudiantes y docentes por lo cual se debe establecer una interfaz de usuario amigable en el cual sea fácil observar el comportamiento del equipo y los datos de interés.

Previo a la selección de componentes se establece el número de entradas analógicas, el número de entradas digitales y el número de salidas digitales, por lo cual se realiza el siguiente análisis:

Actuadores

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

- Motor agitador.
- Bomba de agua.

Elementos calefactores de la camisa de agua.

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)

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.

Entradas Digitales

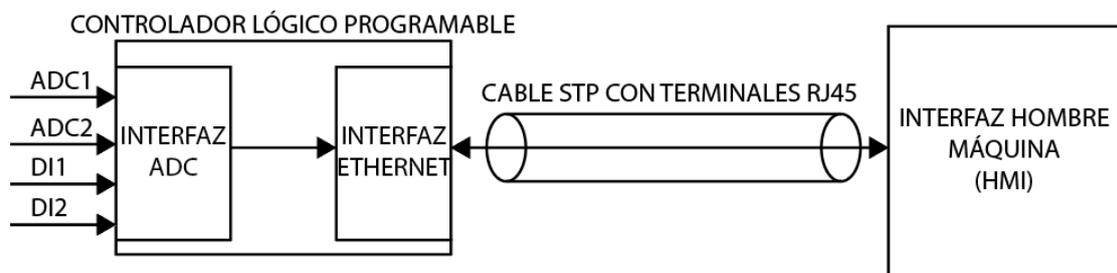
Se considerará colocar dentro del panel frontal del equipo un interruptor para el encendido y apagado del equipo. Adicionalmente se colocará un pulsador sin enclavamiento el cual se lo utilizará para accionar el sistema de ignición.

Diagrama de Bloques del Sistema

La aplicación del presente trabajo consiste en un ADC perteneciente al controlador programable que lee valores de señales de dos canales que se emplearan en dos sensores de temperatura, estos valores son transferidos a la interfaz ethernet del controlador lógico programable, y empleando el protocolo de comunicación ethernet enviar dichos datos al HMI el cual debe poseer el mismo protocolo de comunicación y por lo tanto un puerto de comunicación ethernet. Se puede observar el diagrama de bloques de la comunicación en la figura 47.

Figura 47

Diagrama de Bloques del Sistema de Adquisición de Datos



Posteriormente, cuando se haya seleccionado y adquirido el controlador lógico programable y la instrumentación se detallará dentro de la programación del PLC y dentro del diseño del HMI el acondicionamiento de los sensores para mostrar las temperaturas correctamente en el HMI. Además, se detallará la comunicación realizada entre el PLC y el HMI para efectuar un correcto envío y recepción 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

Tabla 1

Comparación de controladores lógicos programables

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

De la tabla se puede observar que el PLC XC3 no posee entradas analógicas. Por otro lado, las otras tres opciones disponen de características favorables para el proyecto, es decir tanto las entradas como salidas de los controladores lógicos programables son adecuadas para el equipo, pero PLC S7-1200 posee una mejor resolución en el ADC. El parámetro que los diferencia además del mencionado es el precio, por lo cual para adaptarse a las necesidades del proyecto y mantenerse dentro del presupuesto de este se ha tomado como mejor selección al PLC Siemens LOGO! El cual dispone de todas las características necesarias para incorporarse en el equipo y posee un precio que permite mantenerse dentro del presupuesto establecido.

Por lo tanto, después de haber realizado el análisis comparativo el sistema de adquisición de datos llevara como controlador lógico programable al PLC Siemens LOGO! V8.3 6ED1052-1HB08-0BA mostrado en figura 48, el cual posee las siguientes características:

- Puerto Ethernet
- Salidas de relé con máx. 10 A de corriente de salida
- Campo de visualización integrado con retroiluminación parametrizable (6 x 16 caracteres, 3 colores de fondo).
- Panel de control integrado.
- Memoria EEPROM integrada para programa de control y valores de consigna.
- Tarjetas micro CF estándar opcionales.
- Reloj de tiempo real integrado con cambio automático de horario de verano/invierno.
- Copia de seguridad del reloj en tiempo real integrado durante 20 días.
- 8 entradas digitales, 4 salidas digitales.
- 4 entradas como entradas analógicas en variantes de 12/24 V CC (0 a 10 V); las entradas también pueden utilizarse digitalmente.

Figura 48

PLC Siemens LOGO! v8.3



Selección de los sensores

Una vez seleccionado el controlador programable al PLC Siemens LOGO! V8.3, tomando en cuenta el parámetro de lectura de las entradas analógicas el cual es de 0 -10 V, ya que este rango es estándar dentro de la industria, y tomando en cuenta también la resolución del ADC el cual es de 10 bits. Con estos datos se procede a realizar una búsqueda en el mercado de sensores de temperatura que cumplan estas características de medición y adicionalmente que posea una precisión de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ como lo establece la norma ASTM D240-02.

Criterios de selección:

- Voltaje de alimentación 24 VDC
- Resolución 10 bits
- Precisión $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
- Transmisor de 0 – 10 V
- Rango de temperature 0 - 50 $^{\circ}\text{C}$
- Longitud de la sonda
- Costo

Tabla 2*Comparación transmisores de temperatura*

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

De acuerdo con la tabla anterior se puede evidenciar que existen sensores con mayor precisión que la requerida para esta aplicación, pero en este caso no se cumple la señal de salida del transmisor que debería ser de 0-10 V. Por lo cual en este caso al ser una opción válida para los parámetros de selección se ha escogido al sensor HDT-500 para este sistema de adquisición de datos.

El sensor HDT 500 mostrado en la figura 49, es un sensor de tipo industrial, posee una longitud de sonda de medición de 10 cm lo cual es idóneo para colocar en el equipo. Algunas características del sensor pueden observarse en la siguiente tabla:

Tabla 3*Características del transmisor de temperatura HDT500*

Modelo	HDT500
Voltaje de Alimentación	24 VDC
Salida	0 - 10 V
Rango de medición	0 – 50 °C
Temperatura ambiente	-20 – 85 °C
Tipo de Sensor	PT100
Precisión	0.1°C
Nivel de protección	IP67
Material de la sonda	Acero Inoxidable 306L

Figura 49*Transmisor de temperatura HDT500***Selección del HMI**

La interfaz hombre maquina o también conocida como HMI ayudarán al usuario a controlar de manera sencilla el equipo, además de indicarle en todo momento los datos del ensayo, se incluirán gráficos representativos para cada actuador y se indicará el estado de cada uno de los actuadores en la pantalla de proceso.

El voltaje de alimentación del PLC previamente seleccionado es de 24 VDC por lo cual se busca que todos los elementos de control y adquisición de datos manejen el mismo voltaje de alimentación.

Adicionalmente para que los usuarios puedan observar correctamente los diagramas, gráficas, mediciones y valores de interés sería recomendable que la pantalla donde se muestren los mismos sea de 4 – 7 in.

Por lo tanto, los criterios de selección de la interfaz hombre máquina en este caso son los siguientes:

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

Tabla 4

Comparación HMI

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

Al observar la tabla comparativa se puede observar que las HMI enfrentadas bajo los criterios previamente detallados disponen de características similares, y el parámetro distintivo es el costo, y lógicamente el HMI Kinco GL070E (figura 51) por el precio y las prestaciones en este caso es la mejor opción para este proyecto.

Algunas de las características del HMI Kinco GL070E son las mostradas en la figura 50.

Figura 50

Datos técnicos HMI Kinco GL070E

Model	GL070	GL070E
Performance specification		
Display size	7" TFT	
Display area	154.08mm(W)x85.92mm(H)	
Resolution	800*480 pixel	
Display color	1677 color	
Display angle of view	70/70/50/70(left/right/up/down)	
Contrast ratio	500:1	
Backlight	LED	
brightness	250cd/m2	
Backlight life	30000 hrs	
Touch panel	4 line precision resistance network (surface hardness 4H)	
CPU	ARM RISC 32Bit 792MHz	
Storage	128MB NAND Flash Memory+128MB DDR3 Memory	
RTC	Built-in	
Extensible memory	1 USB Host	
Print port	USB Host/serial port	
Ethernet	None	10/100MHz self-adaption
Program download	USB Slave/U disk	USB Slave/U disk/Ethernet
Communication port	COM0:RS232/RS485/RS422; COM2:RS232;	
Electrical specifications		
Input power supply	DC10V – DC28V	
Power waste	3.6W @24V DC	
Allowable loss of power	<3ms	
insulation resistance	Over 50MΩ@500V DC	
Hi-pot test	500 VAC 1 minute	
Structure specification		
Shell material	Engineering plastic	
Shape size	204mm*150mm*34mm	
Installation hole size	192mm*138mm	
Weight	0.5Kg	
Environmental specifications		
Temperature of Working environment	0 – 50°C	
Humidity of working environment	10 – 90%RH (non-condensing)	
Storage environment temperature	-20 – 60°C	
Storage environment humidity	10 ~ 90%RH (non-condensing)	
Anti-seismic degree	10 ~ 500Hz (X、Y、Z direction 2G/30 minute)	
Cooling mode	Natural air cooling	
Product certification		
Panel protection grade	Conforming to IP65 certification(4208—93)	
CE authentication	EN6100-6-4:2007,EN61000-6-2:2005	
Software		
configuration software	Kinco DTools V3.2 and above version	

Figura 51

HMI Kinco GL070E

**Implementación del sistema de adquisición de datos**

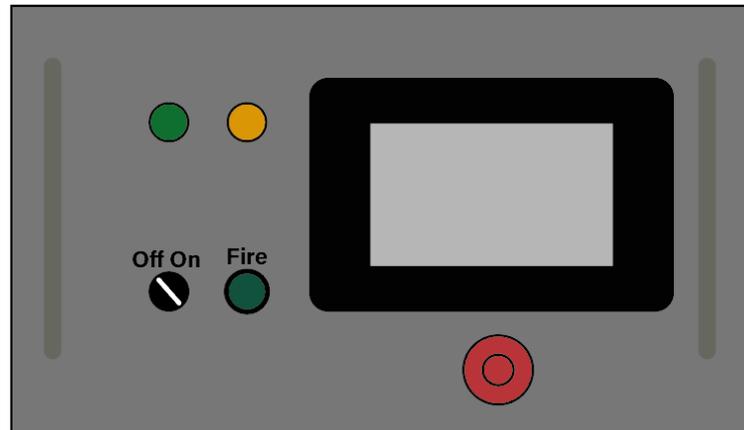
La implementación del sistema de adquisición de datos comprende varias etapas en las cuales se acondicionó a la bomba calorimétrica Gallenkamp para que tanto su parte eléctrica, instrumentación, sistema de control y adquisición de datos funcione correctamente. Es decir, se intervino tanto el sistema eléctrico y de control del equipo como se lo detalla a continuación.

Rediseño del Panel Frontal

Debido a que se reemplazaran todos los elementos del panel frontal por las razones especificadas en el capítulo IV, se debe realizar un rediseño de este, para conseguir ubicar los elementos de control y la interfaz hombre máquina apropiadamente, con la cual el usuario pueda acceder fácilmente a estos. Un esquema general del diseño planeado para el panel frontal del equipo se lo puede observar en la figura 52.

Figura 52

Diagrama del Rediseño del Panel Frontal



La figura 52 muestra un esquema del rediseño del panel frontal, en el cual se dispone de dos luces piloto y dos elementos de control. El piloto verde hace alusión al encendido del equipo cuando el selector que se encuentra en la parte inferior del mismo se posicione en On. El piloto amarillo se encenderá al accionar el pulsador ubicado en la parte inferior del mismo, ya que este pulsador accionará el sistema de ignición. Adicional a esto se contempló en el diseño la incorporación de un paro de emergencia para poder cortar la alimentación de corriente del equipo en cualquier momento que sea necesario. Este pulsador de paro de emergencia se ha colocado en la parte inferior derecha para un fácil acceso y manipulación por parte del usuario.

Finalmente se ha colocado la HMI en la parte superior derecha del panel frontal para que el usuario visualice correcta y fácilmente los datos y controles del equipo.

El rediseño del panel frontal se lo realizará empleando el panel frontal perteneciente al equipo, es decir únicamente se lo modificará para ubicar los nuevos elementos de control y eliminar los previamente usados. Para esto se realizaron varias perforaciones y cortes en el panel frontal de la bomba calorimétrica Gallenkamp como se puede ver en las figuras 53 y 54.

Figura 53

Perforaciones de las luces piloto al panel frontal

**Figura 54**

Perforaciones del pulsador y selector al panel frontal



Se realizaron perforaciones tomando las medidas de los elementos adquiridos, tanto para las luces piloto como para el pulsador y el selector para de esta manera obtener el diámetro adecuado para poder colocarlos.

A continuación se colocó una lámina en la parte frontal del panel para protección del material así como también para mejorar el aspecto de este. Una vez realizado esto se colocaron todos los elementos pertenecientes al nuevo panel frontal y el resultado se muestra la figura 55.

Figura 55*Panel Frontal Rediseñado*

Como se puede observar se reemplazaron todos los controles que existían en el panel frontal del equipo, por elementos nuevos y sobre todo se eliminaron varios de ellos puesto que se incorporaron dentro de la interfaz hombre máquina. Adicionalmente se incorporó un paro de emergencia ya que el equipo no lo poseía previamente, (véase la figura 56). Este es un elemento de seguridad esencial en todos los equipos por lo cual se ha decidido colocarlo dentro del rediseño del panel.

Figura 56*Comparativa Antes vs Después del Rediseño del Panel Frontal*

Rediseño del Sistema Eléctrico

En el presente apartado se dimensionarán los elementos de protección, conductores, elementos de potencia y demás componentes eléctricos que formarán parte del nuevo sistema eléctrico de la bomba calorimétrica adiabática.

Actuadores del equipo

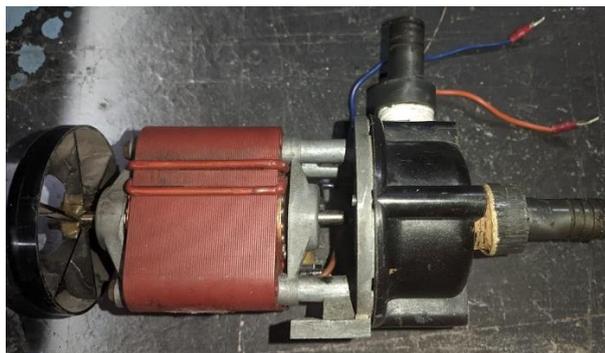
Como ya se lo mencionó al inicio de este capítulo, el equipo posee actuadores y controles manuales integrados en el panel frontal rediseñado. Estos elementos serán analizados más a detalle con sus características técnicas para conformar un rediseño eléctrico adecuado.

El equipo dispone de los siguientes actuadores para su funcionamiento:

- Una bomba hidráulica instalada al interior del equipo (figura 57) en la parte posterior derecha de su base, la misma que se encuentra conectada mediante mangueras hacia el tanque perteneciente a la camisa de agua del equipo.

Figura 57

Bomba Hidráulica



En la siguiente tabla se muestran los datos nominales de dicha bomba hidráulica

Tabla 5

Datos de la bomba hidráulica

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

- Un motor eléctrico encargado del sistema de agitación del agua (figura 58) perteneciente al envase en el cual se ubica la bomba calorimétrica. Este motor no dispone de ningún tipo de control más que el de encendido y apagado por lo cual en el nuevo sistema se mantendrá este funcionamiento.

Figura 58

Motor eléctrico de agitación



En la siguiente tabla se muestran los datos del motor del sistema de agitación.

Tabla 6*Datos del Motor Eléctrico Sistema de Agitación*

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 ~

- Para el sistema adiabático del equipo, se emplean dos resistencias eléctricas que se encuentran al interior de la camisa de agua, las cuales se encargan de calentar el sistema que se encuentra en circulación para evitar pérdidas de temperatura hacia el exterior de la camisa de agua. El control de estas resistencias eléctricas se lo realizaba mediante un reóstato en el balance inicial del equipo. Este tipo de control será sustituido como se especificará más adelante en la programación del PLC.

Tabla 7*Resistencias Eléctricas Sistema Adiabático*

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

- Un sistema de ignición o chispazo, el cual consta de un terminal colocado la parte superior de la tapa de la camisa de agua, el mismo se debe presionar para obtener un contacto con el terminal de la bomba calorimétrica al colocarse al interior del equipo. El otro terminal para cerrar el circuito se encuentra en la parte inferior del tanque, en donde se coloca un dispositivo para sujetar el recipiente que contendrá a la bomba calorimétrica y este hace contacto con la parte metálica exterior de la misma.

El sistema eléctrico anterior poseía este sistema de ignición alimentándose de un transformador de voltaje y accionándose mediante un interruptor de dos posiciones sin enclavamiento. Para el nuevo sistema eléctrico se realizará un control similar, pero empleando nuevos elementos.

Figura 59

Terminal del sistema de ignición



Para el dimensionamiento del transformador de voltaje empleado en el sistema de ignición se hace referencia en la norma ASTM D240-02 Anexo A1.

Tabla 8*Datos del Transformador de Voltaje Sistema de Ignición*

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

Análisis eléctrico del sistema de adquisición de datos

El equipo en su sistema eléctrico rediseñado empleará elementos para el sistema de adquisición de datos detallados más adelante en este capítulo, por lo tanto estos elementos deben tomarse en cuenta para el dimensionamiento de los conductores y protecciones del sistema eléctrico.

- PLC LOGO v8.3

Tabla 9*Datos eléctricos PLC Siemens LOGO*

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

- Sensores HDT500

Tabla 10

Datos eléctricos Sensores HDT500

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

- HMI Kinco GL070E

Tabla 11

Datos eléctricos HMI Kinco GL070E

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

Dimensionamiento de la fuente de corriente directa

En base a los valores de estos elementos se dimensionará la fuente de corriente directa que será utilizada para alimentar a los mismos.

Tabla 12*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.

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

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

$$I_{FuenteDC} = 3.25 A$$

Selección de la Fuente de Corriente Directa

Una vez dimensionada la fuente de corriente directa se puede proceder con la selección de esta, tomando en cuenta que todos los elementos que se incorporarán dentro del sistema eléctrico se los colocará en un riel DIN.

Puesto que dentro del mercado actualmente se encuentran fuentes de corriente directa para riel DIN de 1 A, 3A y 5 A se procederá escoger una fuente de 5A para suministrar los requerimientos antes señalados.

Tabla 13

Datos eléctricos Fuente DC Mean Well

Parámetro	Fuente para Riel DIN 24 VDC 5 A Mean Well
Voltaje de Alimentación	90 VAC – 264 VAC
Corriente de salida	5 A
Voltaje de salida	24 VDC
Potencia de salida	120 W
Tipo de entrada	1~
Costo	\$55.00

Figura 60

Fuente de alimentación DC Mean Well EDR-120-24



Dimensionamiento del interruptor termomagnético

Teniéndose todos los elementos con sus datos de consumo eléctrico se procede a dimensionar el interruptor termomagnético para proteger a todos los dispositivos del sistema eléctrico.

Tabla 14

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

Obtenido el valor de corriente nominal de funcionamiento del equipo como 17.8 A se seleccionará un interruptor termomagnético de 20 A ya que es el amperaje disponible en los componentes de protección en el mercado, además de establecerse un factor de seguridad.

Conductores para el sistema eléctrico

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.

Construcción del sistema eléctrico y de control

En la construcción del nuevo sistema eléctrico, de control e instrumentación se emplearán todos los componentes analizados, seleccionados y dimensionados en la sección anterior de este capítulo.

Puesto que ya se tenía los componentes del panel frontal del equipo colocados. Se retiró todos los componentes del sistema eléctrico anterior para colocar el riel DIN sobre la superficie que sostiene al sistema eléctrico. Una vez realizado esto se procedió a colocar todos los componentes sobre el riel DIN como se muestra en la figura 61.

Figura 61

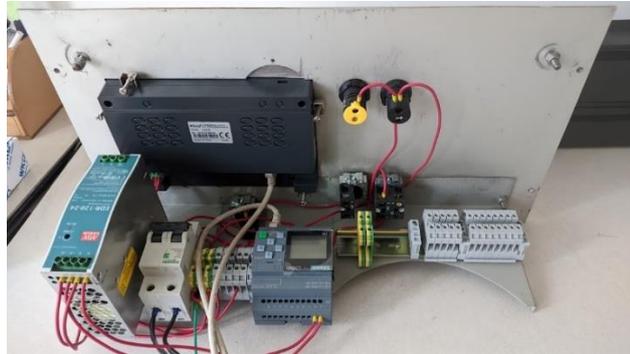
Colocación del riel DIN y los componentes del sistema eléctrico



Realizada la colocación de los componentes se procedió a añadir borneras y a cablear los componentes para realizar primeras pruebas en las cuales se evaluaría el funcionamiento de los componentes, figura 62.

Figura 62

Cableado inicial del sistema eléctrico renovado



Ya que se ejecutaron las pruebas en vacío, se realizó el primer encendido y funcionamiento inicial de los componentes como el PLC y el HMI se procede con el cableado de la instrumentación del equipo empleando el diagrama de conexión, véase en la figura 64.

El diagrama de conexión de los sensores tipo PT100 HDT500 de la figura 63 indica cuales son los pines de alimentación DC y el pin de salida de la señal de voltaje 0 – 10 V.

Figura 63

Diagrama de conexión sensores de temperatura HDT500

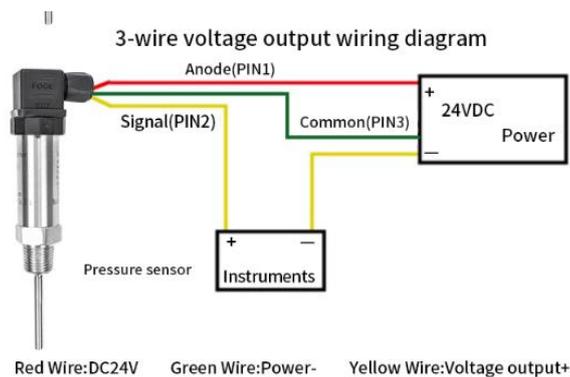
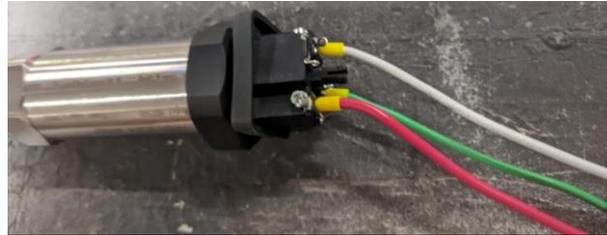


Figura 64

Cableado de los sensores de temperatura HDT500



Posteriormente se procedió a colocar nuevos terminales en los actuadores, en los cables de tierra de todos los componentes y en el cable para conectar a tierra la carcasa de la máquina como se aprecia en la figura 65.

Figura 65

Colocación de terminales de actuadores y tierra física del equipo



Realizado esto se completó el cableado a todas la borneras correspondientes a cada uno de los elementos previamente vistos (figura 66), con esto se consigue que el sistema eléctrico sea modular y no requiera un desarmado completo para el reemplazo de cualquier componente cuando esto sea necesario.

Figura 66

Cableado de todos los componentes



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. Por lo cual en esta sección se lo ha colocado y fijado al interior del equipo como se observa en la figura 67.

Figura 67

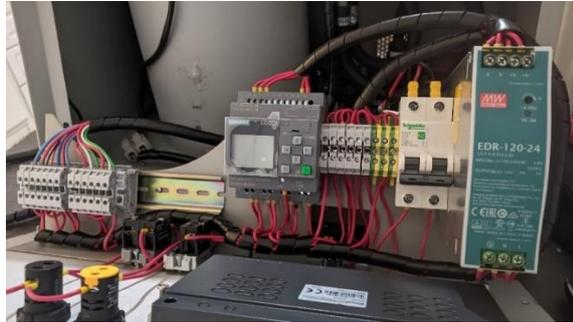
Colocación del Transformador de Voltaje



Finalmente se procedió a realizar la gestión de los cables para ordenarlos de manera adecuada y que los mismos no interfieran con el funcionamiento de ningún componente del equipo, como se puede observar en la figura 68.

Figura 68

Cableado Final del Sistema Eléctrico



Uno de los aspectos a considerar en el sistema de adquisición de datos fue que los sensores adquiridos poseían dimensiones diferentes a los termistores originales por lo cual se tuvo que realizar un diseño mecánico 3D para posterior a esto imprimirlo en una máquina de fabricación aditiva como se mostrará a continuación.

Los termistores que poseía el equipo (figura 69) disponían de un acople que ingresaba en la cavidad correspondiente en la tapa de la camisa de agua, figura 70. El acople en el cual entraba la rosca del termistor posee un diámetro de 16 mm. Y el diámetro de la rosca de los sensores adquiridos es de M20*1.5.

Figura 69

Termistor original del equipo



Figura 70

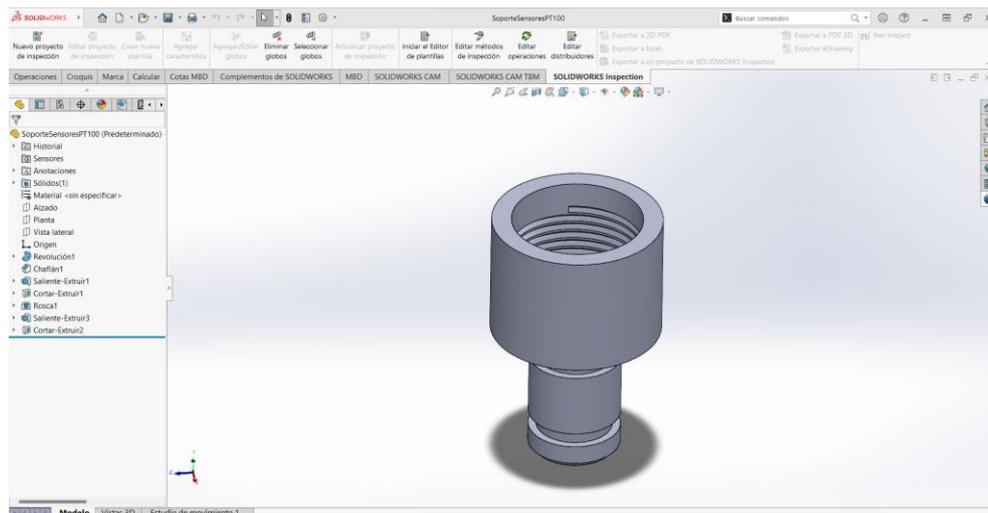
Acople del termistor original del equipo



Se tomaron las medidas necesarias tanto de los nuevos sensores como de la cavidad en la cual deben ingresar y mantenerse fijos por la presión de los o-ring para proceder a diseñarlo como se puede ver en la figura 71.

Figura 71

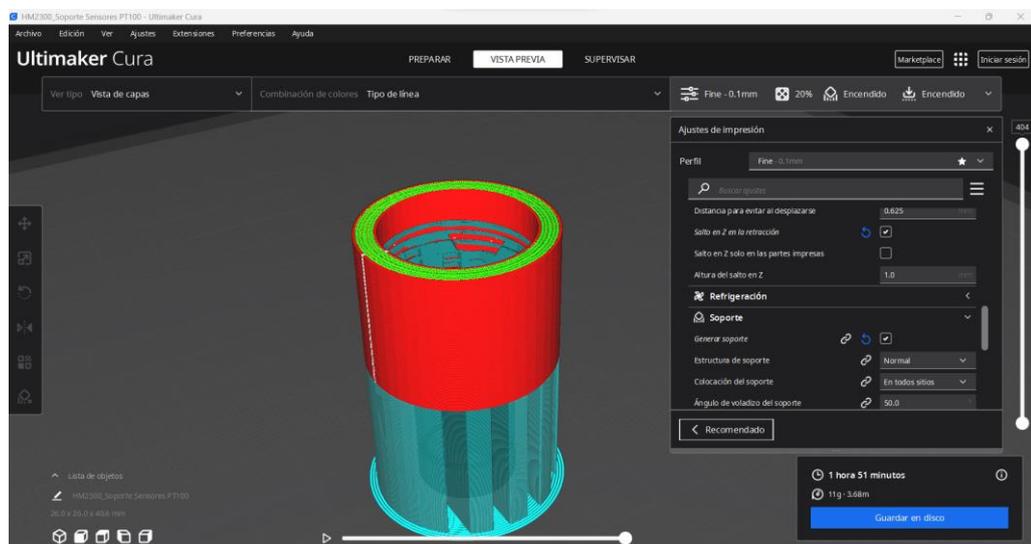
Modelado del acople de los sensores de temperatura



Realizado el diseño se procede a cargar al mismo dentro de un laminador (figura 72) para obtener el código G del modelo y poder cargarlo en la impresora 3D.

Figura 72

Laminado del modelo del acople de los sensores de temperatura



Ya obtenido el laminado del modelo 3D, se procede a cargar el archivo en la máquina y se la envía a trabajar. Obteniéndose así la pieza como se muestra en la figura 73.

Figura 73

Comparación de acoples termistor vs sensor de temperatura HDT500



Finalmente se colocó los acoples a los sensores de temperatura HDT500 y al conjunto se lo fijó en las cavidades respectivas sobre la tapa de la camisa de agua obteniéndose el resultado de la figura 74.

Figura 74

Colocación de los sensores de temperatura en su posición



Programación del PLC Logo v8.3

El algoritmo de control y adquisición de datos para el PLC Siemens LOGO! V8.3 6ED1052-1HB08-0BA1, se lo realizó empleando el software LOGO!Soft Comfort ya que este software está dedicado para este PLC, además de ser de uso libre. Además, que permite programar en varios lenguajes de programación como lo son bloques y KOP. Para el caso de esta máquina se ha realizado la programación empleando el lenguaje KOP.

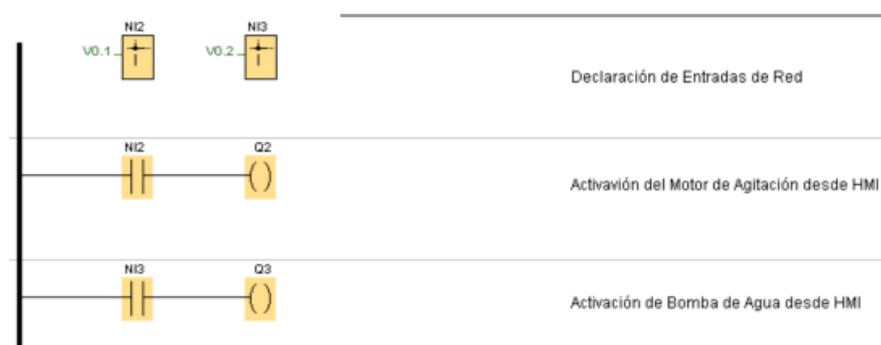
Control de la bomba hidráulica y el motor de agitación desde el HMI

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.

Para realizar esto dentro de la programación del PLC (figura 75) se emplearon bloque de entradas de red, los cuales permiten detectar si un pulsador o interruptor del HMI ha sido accionado y receptor esa señal para tomar una acción de control. En este caso la entrada de red NI2 corresponde al motor eléctrico de agitación y NI3 corresponde a la bomba de agua. Al ser detectada la activación de estas se energizará la bobina Q2 cerrando de esta manera el contacto NA de la salida digital 2 del PLC. El mismo comportamiento se tendrá para el otro actuador con Q3.

Figura 75

Programación del control de la bomba de agua y el motor de agitación



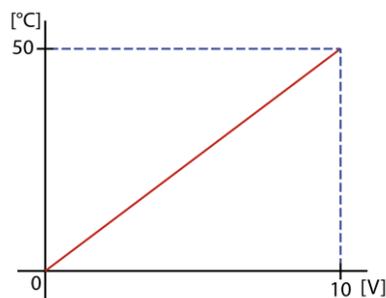
Adquisición de datos de los sensores de temperatura

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.

Para realizar el acondicionamiento mediante programación (figura 80), en el PLC se ha realizado el normalizado de las señales analógicas de entrada de AI1 y AI2. El normalizado se lo realizó empleando la ecuación de la recta (figura 76), tomando en cuenta que es un sensor tipo PT100 con un rango de medición de 0 – 50 °C y un intervalo de voltaje en la salida de 0 -10 V se tiene la siguiente recta con su respectiva ecuación.

Figura 76

Linealización Sensores de Temperatura



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

$$b = 0$$

$$y = 5x$$

$$T = 5v$$

Es decir, la temperatura va a ser 5 veces la salida de voltaje del sensor de temperatura.

Para realizar este normalizado de la señal o linealización se emplea los bloques SF007 y SF002 para la entrada AI1 y AI2 respectivamente, figura 77.

Figura 77

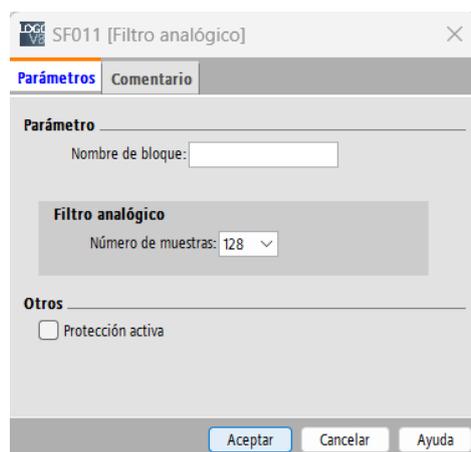
Normalizado de las señales analógicas



Otro componente importante dentro del acondicionamiento de una señal es el filtrado por lo cual en la programación para esta etapa se utilizaron las funciones SF010 y SF011 (figura 78), los cuales son filtros analógicos para hacer la toma de 128 muestras y evitar los valores atípicos de la señal.

Figura 78

Filtrado de las señales analógicas



Una vez acondicionadas las señales se procede a enviar estos datos al HMI para mostrarlos. Esto se lo hace mediante una salida analógica de red en el cual se debe establecer una memoria virtual para poder enviarla como se observa en la figura 79.

Figura 79

Envío de señales analógicas al HMI

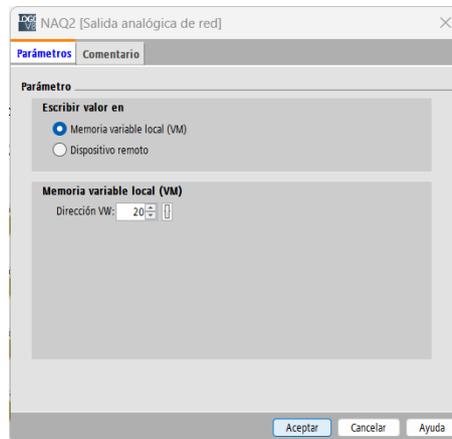


Figura 80

Programación del Sistema de Adquisición de Datos

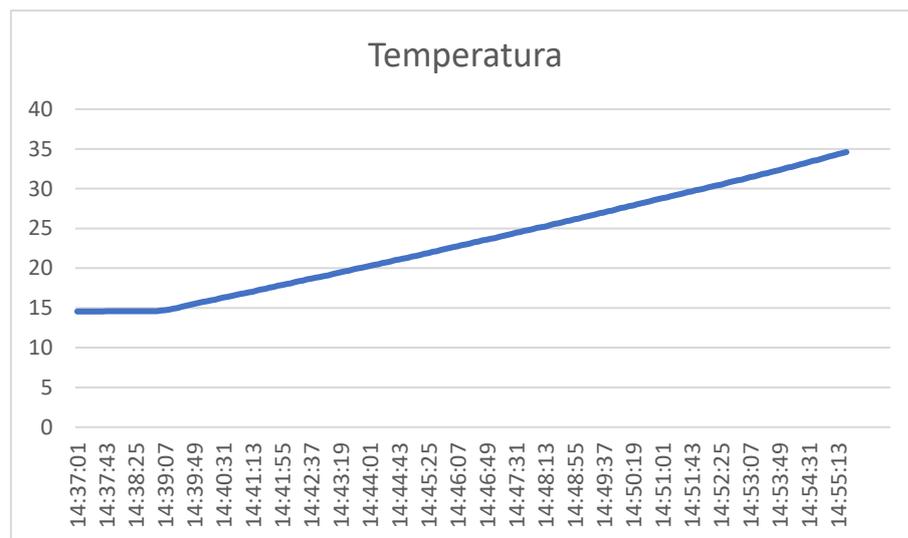


Control de Temperatura de la Camisa de Agua

El control de temperatura es muy importante para manejar el sistema adiabático del equipo por lo tanto se realizó un control a lazo cerrado de la temperatura que proveen los elementos calefactores ubicados en la camisa de agua. Para determinar el control adecuado de la planta se utilizó la técnica de identificación de sistemas empleando el software MATLAB. Se tomaron más de 300 muestras a lazo abierto (figura 81) para alimentar a la herramienta de identificación de sistemas y poder obtener la función de transferencia de la planta.

Figura 81

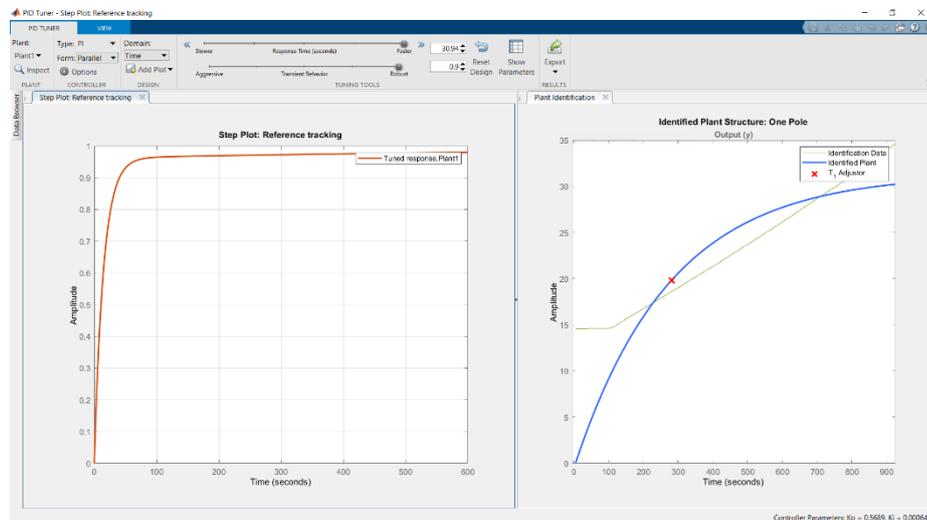
Datos obtenidos a lazo abierto elementos calefactores



Una vez obtenida la función de transferencia de la planta en el mismo software se utilizó estos datos para emplearlos en la herramienta de Sintonización PID y encontrar los parámetros que mejor se adapten al sistema, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 82.

Figura 82

Gráficas de ajuste controlador de temperatura



Los resultados muestran que el controlador ideal para el sistema es un controlador PI, pero estableciendo un valor del tiempo integral menor a 1 lo cual dentro del PLC LOGO no se lo permite, por lo cual se ha decidido utilizar un controlador P con los parámetros mostrados en la figura 83.

Figura 83

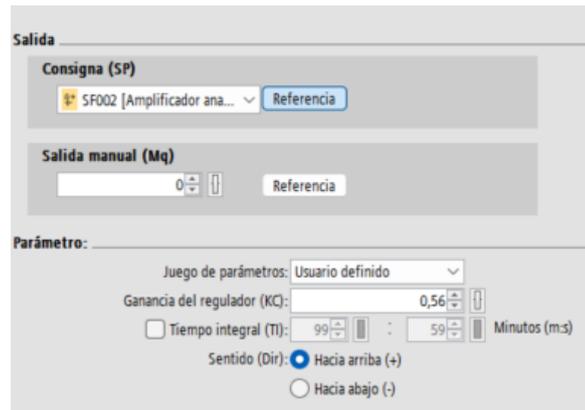
Parámetros del Controlador P

Controller Parameters	
	Tuned
K _p	0.56901
K _i	n/a
K _d	n/a
T _f	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

Una vez obtenidos los parámetros de sintonización para el controlador proporcional se utiliza la función de regulador PI en la programación del PLC, el cual permite introducir las constantes del controlador empleando una señal de entrada analógica, figura 84.

Figura 84

Programación del Regulador P



Finalmente para poder enviar los datos generador por el regulador P es necesario discretizar la señal de salida debido a que el PLC no dispone de salidas analógicas, sino únicamente digitales para lo cual se ha hecho uso de la función PWM para convertir la señal de salida del controlador proporcional a un tren de pulsos el cual irá variando en amplitud dependiendo de cuán lejos o cerca se encuentre la señal del setpoint que en este caso es la señal de temperatura del sensor ubicado en el compartimento de la bomba calorimétrica.

Figura 85

Programación del Control de Temperatura



Diseño de la Interfaz Hombre Máquina

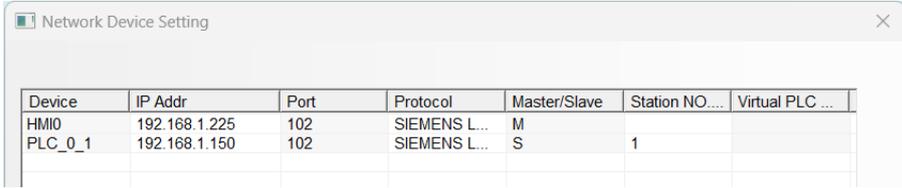
Para el diseño de la interfaz hombre máquina se emplea el software perteneciente a la marca del HMI, ya que se trabaja con un HMI Kinco GL070E el software del fabricante para la programación de esta es Kinco DTools, el cual es de libre uso y descarga, permitiendo realizar el diseño de manera muy fácil y flexible utilizando las variables previamente configuradas en el PLC y de igual manera una fácil comunicación entre el PLC y HMI.

Configuración de la comunicación Ethernet PLC – HMI

Para establecer la comunicación entre el PLC LOGO y el HMI Kinco se empleó el protocolo de comunicación ethernet. Para realizar esta comunicación se debe configurar a cada dispositivo con una IP que se encuentre en el mismo segmento de red como se lo realizó para este caso se lo muestra en la figura 86.

Figura 86

Configuración de direcciones IP HMI y PLC

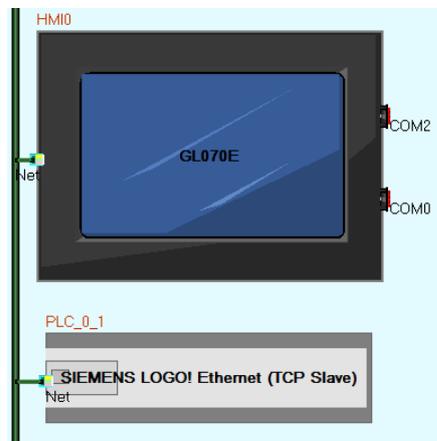


Device	IP Addr	Port	Protocol	Master/Slave	Station NO....	Virtual PLC ...
HMI0	192.168.1.225	102	SIEMENS L...	M		
PLC_0_1	192.168.1.150	102	SIEMENS L...	S	1	

Para poder enviar y recibir señales desde el HMI se lo ha configurado como maestro y al PLC como esclavo dentro de la comunicación ethernet. Adicionalmente para asegurarse de la conexión de los dispositivos el software Kinco DTools ofrece un diagrama de la red, figura 87.

Figura 87

Red de comunicación PLC – HMI



Pantalla de Inicio

Una vez establecida la comunicación entre los dispositivos se prosigue con el diseño de la interfaz hombre máquina. El diseño de esta interfaz se la ha realizado tomando en consideración la norma ISA 101.01-2015.

Figura 88

Pantalla de inicio HMI



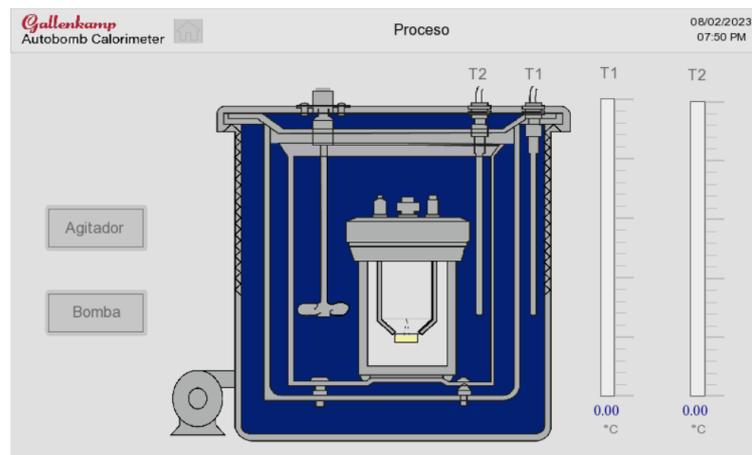
La pantalla de inicio está diseñada para visualizar el nombre del equipo, dentro de cada una de las pantallas de la interfaz se ha colocado un menú la parte superior, el cual contiene botones para dirigirse hacia otras pantallas. Por ejemplo, se puede observar que

desde la pantalla de inicio se puede dirigir hacia las pantallas de proceso, graficas, datos y a la pantalla de ayuda. Adicionalmente en cada pantalla se muestra en la parte superior el nombre de la pantalla en la cual se encuentra en ese instante.

Pantalla de Proceso

Figura 89

Pantalla de Proceso HMI



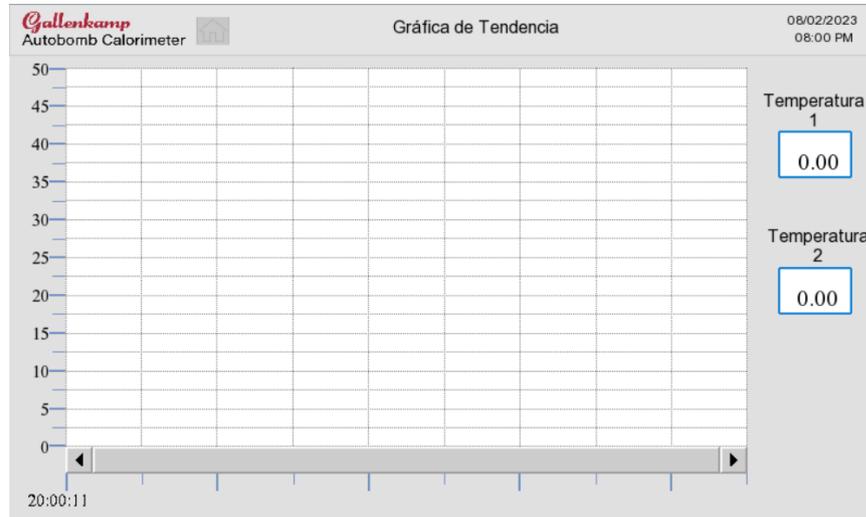
La pantalla de proceso es la más importante en este equipo debido a que en esta se tiene el diagrama del equipo, en el cual se pueden observar la posición de los sensores y actuadores. Además se tienen dos botones en la posición lateral izquierda de la pantalla, estos funcionan como interruptores para el accionamiento del motor eléctrico de agitación y de la bomba de agua.

Al ser un proceso en el cual las variables de interés son las temperaturas de la camisa de agua y de la bomba calorimétrica se han incorporado dos barras que mostrarán la temperatura T1 y T2 especificadas en el diagrama. Así como también se tienen dos indicadores numéricos para mostrar de igual manera cada una de las temperaturas.

Pantalla de Gráficas

Figura 90

Pantalla de Gráficas de Tendencia

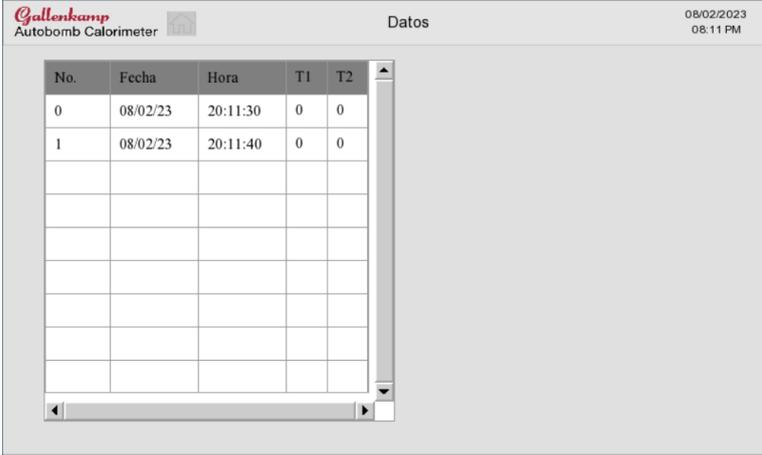


La pantalla de gráficas de tendencias está pensada para visualizar de una manera gráfica los valores de los dos sensores de temperatura al mismo tiempo en la misma gráfica, así como también para analizar el incremento de la temperatura durante los ensayos evaluando el tiempo en el cual la temperatura final se estabiliza. Adicionalmente al igual que en la pantalla de proceso se tiene dos indicadores numéricos para mostrar cada una de las temperaturas.

Pantalla de datos

Figura 91

Pantalla de Datos HMI



The screenshot shows the 'Datos' (Data) screen of the Gallenkamp Autobomb Calorimeter. The interface includes a header with the logo, a home icon, the title 'Datos', and the date/time '08/02/2023 08:11 PM'. Below the header is a table with the following data:

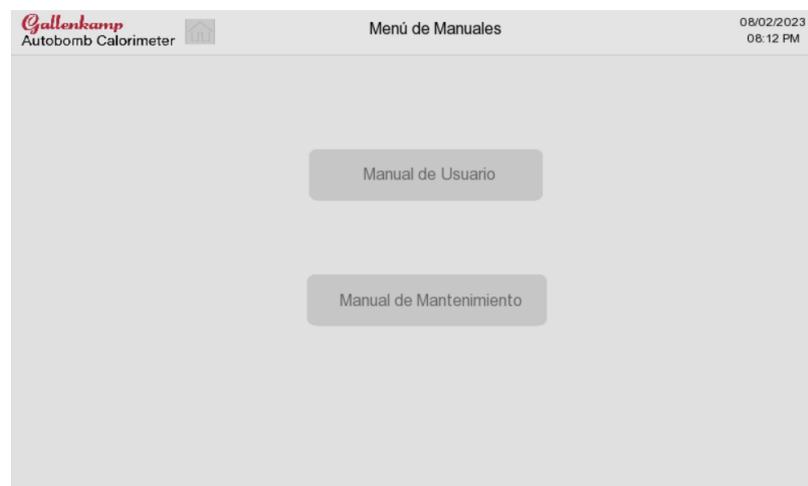
No.	Fecha	Hora	T1	T2
0	08/02/23	20:11:30	0	0
1	08/02/23	20:11:40	0	0

La pantalla de datos servirá al usuario para recopilar las mediciones de temperatura desde el inicio del ensayo, es decir al momento de accionar el sistema de ignición las mediciones almacenaran las temperaturas de interés en intervalos de 1 min como lo establece la norma.

Pantalla de Ayuda

Figura 92

Pantalla de Ayuda HMI



La pantalla de ayuda será de utilidad cuando el usuario tenga dificultades con el manejo del equipo, así como también cuando se pretenda realizar mantenimiento en el equipo para acceder al manual de mantenimiento. Podrá acceder al manual de usuario y al manual de mantenimiento, obteniendo instrucciones de uso del equipo y también instrucciones para el mantenimiento de este.

El acceso a esta pantalla se la realiza presionando el botón con el icono de interrogante desde la pantalla de inicio

Capítulo VI

Pruebas y Análisis de Resultados

En el presente capítulo se realizarán pruebas para evaluar el correcto funcionamiento de todos los sistemas del equipo, así como también se realizarán ensayos con combustibles líquidos para evaluar los resultados obtenidos después de la repotenciación y la implementación del nuevo sistema de adquisición de datos.

Pruebas de Funcionamiento

Evaluación de Estanqueidad del Sistema de Circulación de Agua

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

Figura 93

Prueba de estanqueidad sistema de circulación de agua



Luego de varias pruebas realizadas se evidenció la ausencia de fugas en el sistema de circulación de agua por lo cual se asegura un correcto funcionamiento de este en los ensayos.

Evaluación de la 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.

Figura 94

Conexión de la bomba calorimétrica al tanque de oxígeno



Figura 95

Apertura del manómetro a 24 bar de presión



Realizadas varias pruebas, se observó que el empaque de la tapa de la boba calorimétrica se encuentra en buen estado, así como toda la estructura de ésta impidiendo fugas de oxígeno. Es decir, no se encontró ninguna fuga ni pérdida de presión en la bomba calorimétrica del equipo

Comprobación de Funcionamiento de los Elementos Calefactores

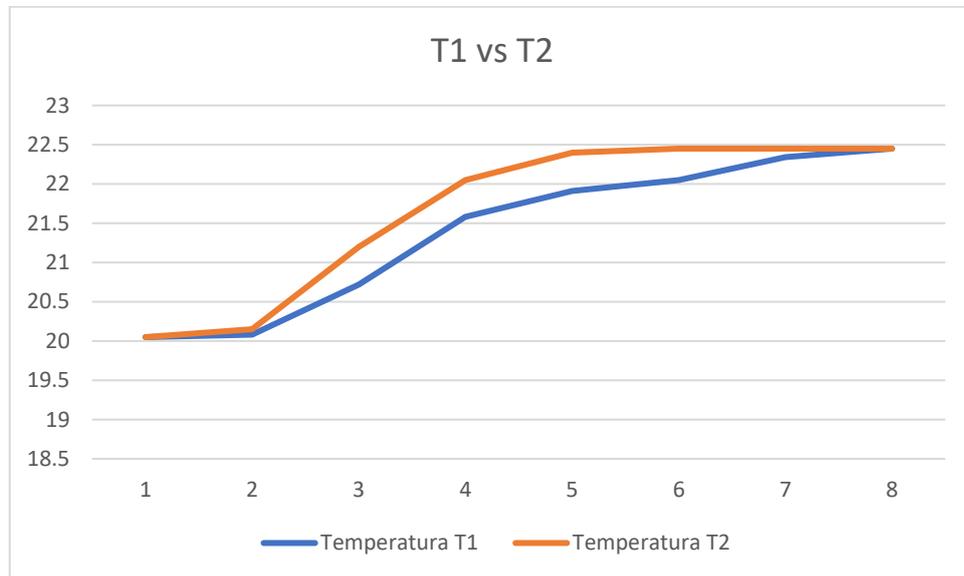
Para analizar el funcionamiento de los elementos calefactores, se realizó varias tomas de datos durante los ensayos de obtención de poder calorífico de combustibles líquidos por lo cual se mostrará el incremento de temperatura en ambas secciones medidas.

Los siguientes datos se obtuvieron de uno de los ensayos con muestra de combustible extra de 89 octanos. Se debe considerar que T1 hace referencia a la temperatura medida en la camisa de agua y T2 a la temperatura medida en el compartimento de la bomba calorimétrica.

Tabla 15

Prueba de 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

Figura 96*Gráfica T1 vs T2 Prueba de Elementos Calefactores*

Con estos datos se puede corroborar el funcionamiento de los elementos calefactores, así como también del control proporcional diseñado e implementado en el PLC, ya que se muestra que la temperatura T1 es decir la de la camisa de agua mediante el control proporcional trata de igualar todo el tiempo a la temperatura T2, posee una diferencia de ± 0.5 °C que se encuentra en los rangos recomendados para evitar la pérdida de calor hacia el exterior.

Revisión del Funcionamiento de la Interfaz Hombre Máquina

La evaluación de la interfaz hombre – máquina se la realizó en todos los ensayos desarrollados en el equipo, comprobando el accionamiento de los actuadores empleando el HMI, visualizando el comportamiento de los actuadores con el color de estos, es decir los actuadores al encenderse cambian a un color blanco en toda su figura del diagrama y al ser estos apagados retornan a su color inicial el gris.

Además, se pudo observar el funcionamiento de todas las pantallas diseñadas e incorporadas en la HMI, pudiéndose comprobar las mediciones obtenidas por los sensores

tanto en los indicadores gráficos como en los numéricos como se muestra a continuación en las figuras 97 y 98.

Figura 97

Evaluación del funcionamiento de HMI Pantalla de Proceso

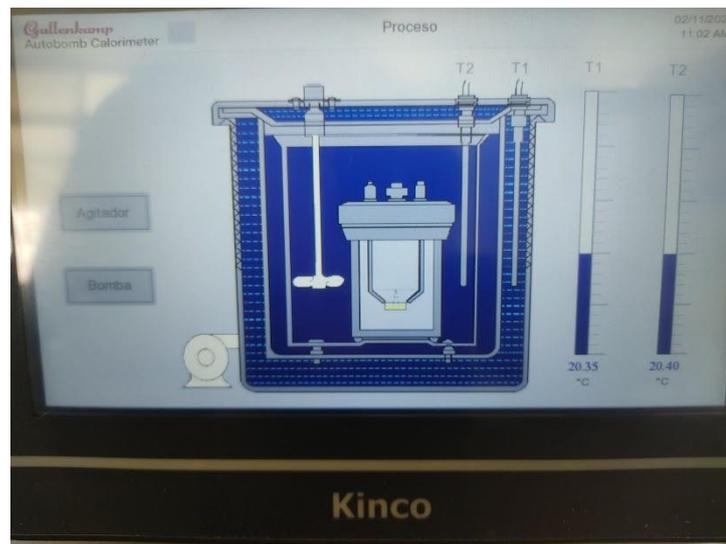
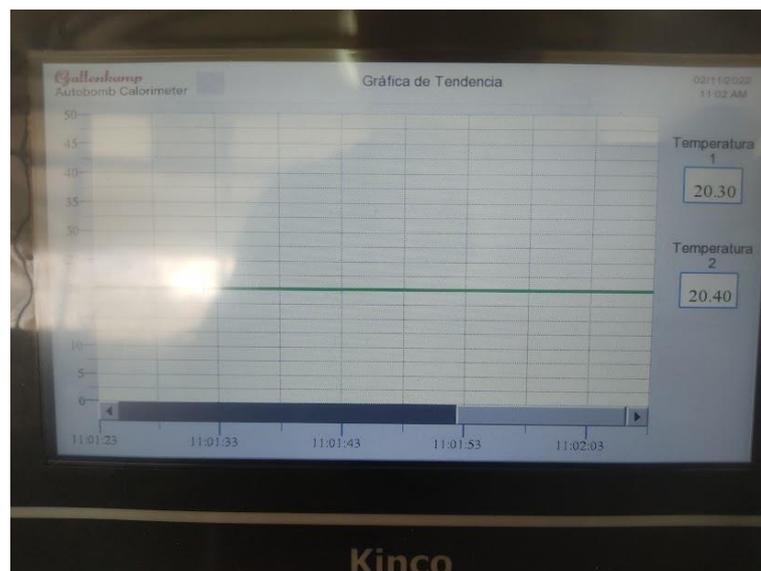


Figura 98

Evaluación del funcionamiento de HMI Pantalla de Gráficas de Tendencia



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

Uno de los factores de corrección se obviará para el uso de esta fórmula, siendo este e_1 . El factor de corrección por el calor de formación de ácido nítrico no se utilizará debido a que se requieren de equipos de laboratorio químico especializados los cuales no se disponen y adicionalmente se requieren compuestos químicos que en el laboratorio de conversión de energía no se encuentran disponibles.

Adicionalmente se debe tomar como valor estándar del calor de combustión de ácido benzoico 26454 J/g.

Bajo las consideraciones anteriores se tienen los siguientes datos para los ensayos empleando muestras de ácido benzoico en la tabla 16.

Tabla 16

Estandarización de la bomba calorimétrica

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

Se realizaron 8 ensayos empleando muestras de ácido benzoico para estandarizar a la bomba calorimétrica adiabática obteniendo el promedio de los ensayos para establecer la constante del equipo teniéndose así.

$$W = 11801.49 \text{ J/}^\circ\text{C}$$

Para los ensayos para determinar el poder calorífico de combustibles líquidos se los realizaron empleando la norma ASTM D240-02, específicamente el proceso para realizar los ensayos se encuentra en el apartado 9 de esta norma.

Se debe tomar en cuenta que los ensayos nos proporcionarán el poder calorífico superior de los combustibles líquidos y estos resultados son los que se analizarán.

Poder calorífico superior

En el cálculo del poder calorífico superior se deben tener en cuenta varios parámetros, en la siguiente tabla se observan los datos necesarios para la obtención del poder calorífico superior.

Tabla 17

Parámetros para la obtención del poder calorífico

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

Parámetro	Dato	Descripción
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.

Ensayos con Extra, Super y Diesel

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

Tabla 18

Ensayos con combustibles líquidos

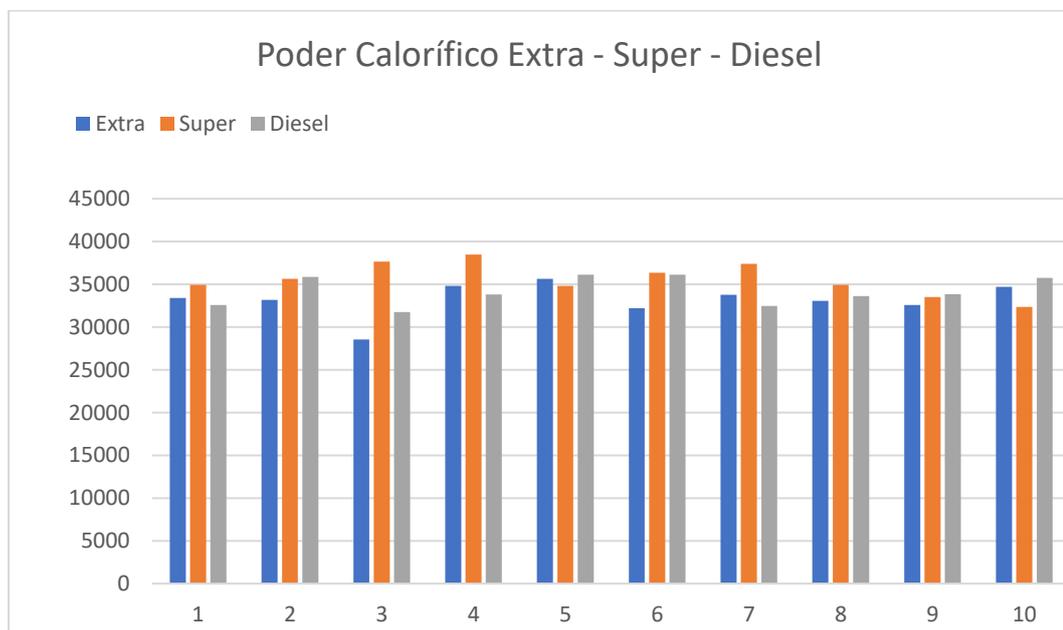
N° Ensayo	Tipo de Combustible	Temp. Inicial [°C]	Temp. Final [°C]	ΔT	Poder calorífico [J/°C]
1		21.14	23.97	2.83	33398.188
2		21.05	23.86	2.81	33162.159
3	E	21.61	24.03	2.42	28559.582
4	X	21.03	23.98	2.95	34814.366
5	T	20.98	24.00	3.02	35640.469
6	R	21.16	23.89	2.73	32218.04

N°	A	Temp.	Temp.	ΔT	Poder
Ensayo		Inicial [°C]	Final [°C]		calorífico
					[J/°C]
7		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
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
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

Observando los resultados se puede decir que empleando la energía equivalente del equipo y tomando mediciones correctamente en el nuevo sistema de adquisición de datos se pueden obtener buenos resultados al evaluarse el poder calorífico de combustibles líquidos realizando varias pruebas para conseguir un valor promedio el cual puede ser empleado para otros estudios.

Figura 99

Gráfica comparativa Extra - Super - Diesel



Costo del proyecto

Tabla 19

Costo total del proyecto

Componente	Cantidad	Valor unitario	Total
Pintura automotriz	½ Galón	\$8.00	\$8.00
Thinner	1 Galón	\$5.00	\$5.00
PLC Siemens LOGO! 24VDC	1	\$180.00	\$180.00
HMI Kinco GL070E	1	\$185.00	\$185.00
Cable AWG #18	30 m	\$0.60	\$18.00
Borneras para cable AWG #18	28	\$0.35	\$9.80
Fuente Mean Well 24 VDC	1	\$53.50	\$53.50
Sensores de temperatura HDT500	2	\$130.00	\$260.00
Paro de emergencia NC 110/220 V	1	\$4.50	\$4.50
Pulsador sin enclavamiento 110/220 V	1	\$1.50	\$1.50
Luz piloto verde 110 VAC	1	\$1.25	\$1.25
Luz piloto amarilla 12 VAC	1	\$1.25	\$12.5
Selector de dos posiciones 110/220 V	1	\$2.15	\$2.15
Mangueras ALFFLEXX ½ in	3	\$2.10	\$6.30
Mangueras plásticas transparentes 1/8 in	3	\$0.60	\$1.20
Interrupor termomagnético Schneider Electric 20 A	1	\$12.75	\$12.75
Cable STP con terminal RJ45	1	\$10	\$10
Terminales varios	50	\$0.20	\$10
TOTAL			\$770.20

Capítulo VII

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

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.

Se diseñó un sistema de adquisición de datos en conjunto con el rediseño eléctrico empleando una instrumentación adecuada para la precisión que requieren los ensayos en la bomba calorimétrica, además se utilizó un controlador lógico programable de uso industrial para asegurar la robustez del sistema de adquisición de datos y la rapidez de la adquisición de las señales.

Se diseñó una interfaz hombre máquina basándose en la norma ISA 101.1 2015 consiguiéndose una interfaz limpia, intuitiva y de fácil manejo, evitando la carga cognitiva del usuario al emplearse colores recomendados en la norma, además de mostrar los datos de interés en los ensayos de manera clara con indicadores gráficos y numéricos.

La implementación del sistema de adquisición de datos fue exitosa, empleándose materiales de excelente calidad para asegurar la durabilidad del equipo, así como también la calidad y precisión de los datos obtenidos por este, considerándose seguridades para salvaguardar el bienestar del operador y el buen estado de los componentes eléctricos y electrónicos.

Se realizaron varias pruebas en los diferentes sistemas y subsistemas del equipo al finalizar la repotenciación y la implementación del sistema de adquisición de datos para evaluar el funcionamiento de los mismos y de esta manera asegurar un correcto desempeño en todas las prácticas y ensayos que se realicen en el equipo.

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.

Recomendaciones

Previo a la realización de una práctica de laboratorio verificar que los controles de los actuadores funcionen, verificar el nivel de agua dentro de la chaqueta y el nivel de agua del compartimento perteneciente a la bomba calorimétrica.

Asegurarse de leer la norma ASTM D240 para observar el procedimiento de calibración del equipo cuando este no ha sido utilizado en largos periodos de tiempo con el fin de obtener la constante del calorímetro.

Colocar correctamente el alambre de conducción dentro de la bomba calorimétrica entre los dos terminales para asegurarse que se produzca la combustión de la muestra, asegurándose de emplear alambre NiChrome AWG#34 como lo establece la norma y emplear el factor de corrección para el mismo al realizar los cálculos del poder calorífico.

Utilizar la presión de oxígeno, (3 bar) dentro de la bomba calorimétrica establecida en la norma para evitar daños de la bomba y afecciones a la salud del usuario.

Sellar correctamente la bomba calorimétrica antes de cargar el oxígeno en la misma, asegurándose que el empaque de la tapa de esta se encuentre fijo en su respectiva cavidad, de esta manera se asegura que no exista pérdidas de presión y fugas de oxígeno.

Tomar correctamente las lecturas de los sensores de temperatura T1 y T2 mostradas en la interfaz hombre máquina, asegurándose de verificar e identificar la posición de cada uno de los sensores y tomándose muestras cada 1 min como se establece en la normativa.

Bibliografía

Alfonso, J. M., & Correa Cely, C. R. (2006). La calorimetría directa como herramienta para la medición de flujo de calor en circuitos electrónicos. *Ciencia y Tecnología - Universidad Industrial de Santander*, 12.

Digital, B. (20 de 05 de 2019). *Wonderware*. Obtenido de [https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/#:~:text=El%20Interfaz%20Hombre%2DM%C3%A1quina%20\(HMI,procesos%20industriales%20y%20de%20fabricaci%C3%B3n](https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/#:~:text=El%20Interfaz%20Hombre%2DM%C3%A1quina%20(HMI,procesos%20industriales%20y%20de%20fabricaci%C3%B3n).

Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica*. Prentice Hall.

Severns, W. H., Degler, H. E., & Miles, J. C. (1981). *La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases*. Barcelona: Reverté.

Yunes, C. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. New York: McGraw-Hill.

ANSI/ISA-101.01-2015, human machine interfaces for process automation systems. isa.org. (n.d.). Retrieved January 10, 2023, from <https://www.isa.org/products/ansi-isa-101-01-2015-human-machine-interfaces-for>

Autycom. (2019, July 11). *Qué Es logo! Siemens y Cómo Funciona*. AUTYCOM. Retrieved January 10, 2023, from <https://www.autycom.com/que-es-logo-siemens-y-como-funciona/>

Ethernet/IP - Protocolo de red en niveles para aplicaciones. Default. (n.d.). Retrieved January 10, 2023, from <https://www.siemon.com/es/home/Company/media-center/white-papers/03-10-13-ethernet-ip#:~:text=Ethernet%20FIP%20es%20un%20protocolo,controlar%20dispositivos%20de%20automatizaci%C3%B3n%20industrial>.

Interruptores Termomagnéticos. Schneider Electric Centroamérica. (n.d.). Retrieved January 10, 2023, from <https://www.se.com/cr/es/product-category/4200-interruptores-termomagn%C3%A9ticos/>

Logo! basic modules with display. SiePortal - Siemens RC-DE. (n.d.). Retrieved January 9, 2023, from <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/b1/Catalog/Products/10000026?activeTab=productinformation&ionUrl=WW>

Mean well switching power supply manufacturer. (n.d.). Retrieved January 10, 2023, from https://www.meanwell.com/Upload/PDF/Short_Form_din.pdf

PT100. Omega Engineering. (n.d.). Retrieved January 10, 2023, from <https://es.omega.com/prodinfo/pt100.html#:~:text=Un%20sensor%20Pt100%20es%20la,el%20espacio%20es%20muy%20limitado.&text=Un%20elemento%20de%20superficie%20es%20un%20tipo%20especial%20de%20elemento%20RTD.>

System manual. (n.d.). Retrieved January 10, 2023, from https://cache.industry.siemens.com/dl/files/582/1109582/att_22063/v1/s7200_system_manual_en-US.pdf

XC3-24R-E series plc Controller Catalog - 5.imimg.com. (n.d.). Retrieved January 9, 2023, from <https://5.imimg.com/data5/YF/GX/DU/SELLER-4148962/xc3-24r-e-xinje-plc.pdf>

¿Qué es el acondicionamiento de señal O acondicionador de señal? Dewesoft. (n.d.).

Retrieved January 10, 2023, from <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-acondicionamiento-de-seal>

Standard test method for heat of combustion of liquid hydrocarbon fuels by Bomb

Calorimeter. ASTM International - Standards Worldwide. (n.d.). Retrieved January 10, 2023, from <https://www.astm.org/d0240-02.html>

Anexos