



Repotenciación, rediseño térmico, y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para un banco de temperaturas y conducción transitoria, del Laboratorio de Conversión de la Energía

Ávila Navarrete, José Eduardo y Espinosa Coronel, Camila Patricia

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Villavicencio Poveda, Ángelo Homero MSc.

01 de marzo de 2024



Plagiarism report

TESIS_AVILA JOSE_ESPINOSA CAMILA_ ...

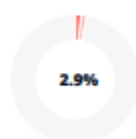
Scan details

Scan time:
February 27th, 2024 at 0:59 UTC

Total Pages:
52

Total Words:
12939

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	1.5%	196
Minor Changes	1.3%	170
Paraphrased	0%	0
Omitted Words	1.4%	175

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text

Plagiarism Results: (27)

T-ESPE-040864.pdf 0.6%

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21273/1/t-espe-040864.pdf>

Cristian Enriquez

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO D...

Sistema de adquisición de Datos | Omega Engineering 0.5%

<https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>

Cookies de la web de Omega Utilizamos cookies en la web. Estas cookies son esenciales para que la web que funcione correctamente...

FreonTM 404A (R-404A) | Refrigerante de HFC | Refrigerantes FreonTM 0.3%

<https://www.freon.com/es/products/refrigerants/r404a#:~:text=fue%20dise%C3%B1ado%20para%20reempla...>

Skip to Main Content ...

GAS REFRIGERANTE FREON 404A – 425 GR CHEMOURS – AB Importaciones 0.3%

<https://abimportaciones.com.pe/producto/gas-refrigerante-freon-404a-425-gr-chemours/>

Saltar al contenido Calle Augusto Durand #2...



Ing. Villavicencio Poveda, Ángel Homero
C.C.:1709338931

Certified by
Copleaks

About this report
help.copleaks.com

copleaks.com
in f o t



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular, **“Repotenciación, rediseño térmico, y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para un banco de temperaturas y conducción transitoria, del Laboratorio de Conversión de la Energía”** fue realizado por los señores Ávila Navarrete, José Eduardo y Espinosa Coronel, Camila Patricia, 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 analizada 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.

Sangolquí, 01 de marzo de 2024

Firma:



Ing. Villavicencio Poveda, Ángel Homero

C. C.: 1709338931



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Ávila Navarrete, José Eduardo y Espinosa Coronel, Camila Patricia**, con cédulas de ciudadanía n° 1727290601 y n° 1725701005, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Repotenciación, rediseño térmico, y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para un banco de temperaturas y conducción transitoria, del Laboratorio de Conversión de la Energía"** es de nuestra 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.

Sangolquí, 01 de marzo de 2024

Firmas:

Ávila Navarrete José Eduardo

C.C.: 1727290601

Espinosa Coronel Camila Patricia

C.C.: 1725701005



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Autorización de Publicación

Nosotros, **Ávila Navarrete, José Eduardo y Espinosa Coronel, Camila Patricia**, con cédulas de ciudadanía n° 1727290601 y n° 1725701005, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **"Repotenciación, rediseño térmico, y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para un banco de temperaturas y conducción transitoria, del Laboratorio de Conversión de la Energía"**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 01 de marzo de 2024

Firmas:

Ávila Navarrete José Eduardo

C.C.: 1727290601

Espinosa Coronel Camila Patricia

C.C.: 1725701005

Dedicatoria

Dedico este trabajo de integración a mi padre Galo que desde el cielo siempre me estuvo guiando, el que en las noches más difíciles siempre sentía su aliento desde el cielo.

A mi madre Patty, a mi mejor amiga, a mi razón de vivir, que jamás dejo de creer en mí, y por toda la paciencia que me tuvo.

A mis hermanas, Sammy y Mimi, por ser mi apoyo incondicional en cada momento de mi vida, y a mis cuñados Santi y Leo, que son como mis hermanos por siempre hacerme sentir que yo puedo.

A todas las personas que me hayan brindado su apoyo y ayuda a lo largo de este camino por verme convertirme como un profesional.

También quiero dedicar este trabajo a mi perrita Wanda por ser esa ancla que nunca me dejo sola y fue mi fiel compañera en las desveladas a lo largo de mi carrera.

Camila Patricia Espinosa Coronel

Dedico este trabajo a mis padres, Diego y Blanca, quienes me brindaron su amor incondicional, su apoyo para alcanzar mis objetivos y realizaron innumerables sacrificios para que pudiera lograr este hito académico el día de hoy.

Asimismo, dedico este trabajo a mis hermanos, Diego y Ana, quienes siempre han demostrado su amor, comprensión y ternura a lo largo de toda mi vida. A ustedes, mis mejores amigos, les dedico y celebro este logro junto a ustedes.

También dedico este trabajo a Guillermo Navarrete Racines, a quien considero más que un familiar, vecino y padrino; lo considero amigo, compañero y mi abuelo. Siempre ha estado presente para escucharme, corregirme cuando lo necesitaba y celebrar conmigo cada nuevo logro alcanzado.

Este logro también les pertenece a ustedes, mi querida familia.

También Dedico este trabajo al ilustre Junior Bartolomeo, quien fue mi apoyo cuando más lo necesité y me ayudó a seguir adelante cuando pensé en rendirme. Aunque el día de hoy ya no está junto a mí, me dio el valor para afrontar las dificultades, y es gracias a él que me encuentro aquí hoy. Aunque nunca dijo una palabra, su presencia y su recuerdo fueron más que suficientes para reconfortarme. Este también es tu logro, mi amigo.

José Eduardo Ávila Navarrete

Agradecimientos

Agradezco a Dios por ser la guía en este largo camino y jamás permitir que haya perdido la fe en mí.

A mis padres, Galo y Patty, por siempre haber confiado en mí, por haberme brindado todo su apoyo en cada decisión que he tomado y por aceptarme tal y como soy.

A mis hermanas que siempre estuvieron para mí cuando necesitaba una mano, siempre me escucharon y jamás dejaron de motivarme a seguir adelante, gracias por ser mi gran ejemplo. A mi mejor amiga Andrea por recordarme en las noches más difíciles la persona fuerte que soy y jamás dejar que me rinda.

A todos los Ingenieros que tuve a lo largo de esta carrera, por brindarme todos sus conocimientos y experiencias para convertirme un gran profesional.

A mi tutor, Ing. Ángelo Villavicencio y al Analista de Laboratorio Roberto Buenaño, por brindarme sus conocimientos y experiencias que me han ayudado para poder culminar este proyecto.

Camila Patricia Espinosa Coronel

"A mis queridos amigos Stephen, Giancarlo, Mauricio, Patricio, Víctor, Marlon, Jesús, Fráncico, Sebastián, Johan, Erik, quienes han sido más que simples compañeros; han sido mi familia a lo largo de esta carrera universitaria. Gracias por compartir risas, frustraciones y momentos inolvidables durante estos años. Su apoyo y amistad han sido fundamentales en mi camino hacia el éxito."

"A los distinguidos profesores que compartieron su sabiduría conmigo, permitiéndome explorar nuevas ideas y desafiar mis límites intelectuales. Su apoyo y compromiso con mi crecimiento académico han sido un faro de luz en mi camino hacia la excelencia."

"A mi compañero foráneo Mijo Mijo (Efraín), por siempre tenderme una mano y recibirme en su hogar cuando lo necesite, por compartir conmigo todo lo que podías y sobre todo por su amistad incondicional."

"Quiero agradecer especialmente a mi compañero que, aunque actualmente ya no se encuentra estudiando la carrera, fue el principal apoyo y motivación al principio de la misma, todo el tiempo que pudimos compartir juntos es memorable hasta el día de hoy, Gabriel Granizo te agradezco sinceramente por todo lo que hiciste por mí en su momento y por la amistad que conservamos hasta ahora, sigue cumpliendo tus sueños."

"A mí mismo, por no rendirme incluso en los momentos más difíciles. Por perseverar con determinación y dedicación, superando toda adversidad y alcanzando metas que parecían imposibles en su momento. Ser el primero de mi promoción en graduarme es el fruto de mi esfuerzo y compromiso, y estoy orgulloso de haber llegado hasta aquí."

José Eduardo Ávila Navarrete

Índice

Dedicatoria.....	6
Agradecimientos	8
Resumen	22
Abstract.....	23
Glosario de Términos.....	24
Capítulo I: Generalidades.....	27
Antecedentes	27
Planteamiento del Problema	28
Objetivos	29
Objetivo General	29
Objetivos Específicos.....	29
Alcance.....	30
Justificación.....	30
Capitulo II: Marco Teórico.....	32
Introducción.....	32
Teoría de transferencia de calor	32
Transferencia de calor transitoria en diversos materiales.....	35
Sistema de Refrigeración	39
Refrigeración:.....	39
Sistema de Refrigeración	40
Números Adimensionales	44
Numero de Reynolds.....	45
Numero de Biot.....	46
Número de Fourier.....	48
Ciclo Invertido de Carnot	49
Conceptos básicos de circuitos	50
Adquisición de datos.....	52
Conceptos básicos en los sistemas de adquisición de datos	52
Acondicionamiento de señales	55
Sistema de adquisición de datos.....	55
Componentes.....	57

Controlador Lógico Programable (PLC).....	58
Capitulo III: Diseño Mecánico y Térmico	60
Síntesis del Problema	60
Diseño del modelo CAD	61
Figuras Geométricas	61
Banco de temperaturas	62
Diseño del espesor del tanque.....	62
Diseño del espesor del tanque.....	64
Dimensionamiento de la tubería	65
Sistema de Refrigeración	66
Cálculos de la bomba de agua.....	73
Construcción de la estructura y banco de Temperatura	75
Selección de Materiales	76
Construcción	77
Montaje de accesorios.....	79
Aislamiento	80
Construcción de Figuras geométricas en diferentes materiales.....	81
Colocación de termocuplas en las figuras geométricas.....	84
Montaje del Sistema de Refrigeración.....	86
Materiales y herramientas necesarias.....	86
Instalación del Sistema de Refrigeración	87
Vacío y presurización del sistema	90
Pruebas de funcionamiento.....	91
Capitulo IV: Diseño e implementación del sistema de adquisición de datos	94
Diseño del sistema de adquisición de datos	94
Selección de Instrumentación.....	95
Selección del controlador	96
Selección de los sensores de temperatura figuras geométricas.....	97
Selección de los sensores de temperatura	99
Diseño del sistema de adquisición de datos.....	100
Diseño del sistema eléctrico	101
Identificación de Actuadores	101

Identificación del Sistema de refrigeración	102
Identificación resistencia Eléctricas	104
Identificación de la bomba de agua	106
Instalación	107
Implementación del sistema de adquisición de datos.....	107
Programación del PLC	109
Acondicionamiento de los sensores	110
Diseño de la interfaz HMI.....	113
Configuración de la pantalla	115
Pruebas de funcionamiento y puesta a punto.....	118
Capítulo V: Implementación de Banco de temperaturas	119
Resultados de las pruebas	119
Resultados toma de datos figuras geométricas.....	119
Resultados de datos banco de temperaturas	120
Adquisición y procesamiento de datos.....	121
Cálculos, Resultados y Gráficos Figuras Geométricas.....	121
Cálculos, Resultados y Gráficos Banco de Temperaturas	138
Validación de resultados.....	146
Capítulo VI: Análisis Económico	148
Costos Directos	148
Costo total del proyecto	153
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	154
7.1. Conclusiones	154
7.2. Recomendaciones	155
Bibliografía	156
Apéndice	160

Índice de Tablas

Tabla 1	Datos para determinar el flujo másico del refrigerante	65
Tabla 2	Parámetros de diseño determinados por el fabricante	67
Tabla 3	Datos para el cálculo del serpentín	69
Tabla 4	Comparación de materiales de la estructura para selección	77
Tabla 5	Materiales de la estructura	86
Tabla 6	Número de sensores	95
Tabla 7	Tabla de decisión para la selección del controlador.....	97
Tabla 8	Tabla de decisión para el sensor de temperatura figuras geométricas.....	98
Tabla 9	Características de la termocupla tipo K.....	98
Tabla 10	Tabla de decisión para la selección de sensores	99
Tabla 11	Características del PT100	100
Tabla 12	Datos compresor Sist. de refrigeración	101
Tabla 13	Datos resistencia eléctrica 1	102
Tabla 14	Datos resistencia eléctrica 2	102
Tabla 15	Datos resistencia eléctrica 3	102
Tabla 16	Datos bomba de agua.....	102
Tabla 17	Tabla de datos acero.....	119
Tabla 18	Tabla de datos aluminio.....	119
Tabla 19	Tabla de datos bronce	120
Tabla 20	Tabla de resultados banco de temperaturas	121
Tabla 21	Determinación coeficiente de convección para la esfera de acero.....	125
Tabla 22	Determinación coeficiente de convección para la esfera de acero.....	127
Tabla 23	Determinación error descenso esferas de acero	127
Tabla 24	Resultados de la esfera de acero.....	128
Tabla 25	Determinación coeficiente de convección para el cilindro de acero	129
Tabla 26	Determinación error ascenso del cilindro de acero	130
Tabla 27	Determinación error descenso del cilindro del acero	130
Tabla 28	Resultados del cilindro del acero.....	130
Tabla 29	Determinación coeficiente de convección para el cubo de acero	131
Tabla 30	Determinación error ascenso del cubo de acero	132

Tabla 31	Determinación error descenso del cubo de acero	132
Tabla 32	Resultados del cubo del acero.....	132
Tabla 33	Resultados errores	139
Tabla 34	Remuneraciones profesionales	148
Tabla 35	Remuneraciones no profesionales.....	149
Tabla 36	Remuneración de estudiantes	149
Tabla 37	Costos de instrumentación	150
Tabla 38	Costo de materiales.....	150
Tabla 39	Costos Indirectos	153
Tabla 40	Costos totales	153

Índice de Figuras

<i>Figura 1</i> Conducción de calor a través de una pared grande.....	33
<i>Figura 2</i> Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección	35
<i>Figura 3</i> Conducción unidimensional de calor a través de un elemento de volumen en una esfera.	36
<i>Figura 4</i> Conducción unidimensional de calor a través de un elemento de volumen en una pared plana grande.....	37
<i>Figura 5</i> Conducción unidimensional del calor a través de un elemento de volumen en un cilindro largo.	38
<i>Figura 6</i>	41
<i>Figura 7</i>	42
<i>Figura 8</i> Condensador	43
<i>Figura 9</i> Válvula de expansión	43
<i>Figura 10</i>	44
<i>Figura 11</i> Diagrama T-s ciclo invertido de Carnot.....	50
<i>Figura 12</i> Precisión y exactitud	53
<i>Figura 15</i> Conversor ADC MCP3008.....	56
<i>Figura 16</i> Convertidor D/A modulo HX711.....	56
<i>Figura 17</i> Termocupla tipo K.....	57
<i>Figura 18</i> Termorresistencias PT100.....	58
<i>Figura 19</i> PLC de la marca LOGO!	59
<i>Figura 20</i> Diseño Inventor cilindro	61
<i>Figura 21</i> Diseño Inventor esfera	62
<i>Figura 22</i> Diseño Inventor cubo	62
<i>Figura 23</i> Valores de β y el valor de S pág 215 Pressure Vessel Handbook	63
<i>Figura 24</i> Valores de β y el valor de S pág 215 Pressure Vessel Handbook	64
<i>Figura 25</i> Nivel de diseño y altura de diseño del tanque	68
<i>Figura 26</i>	73
Diagrama Freon 404A.....	73
<i>Figura 27</i> Diseño Inventor del tanque	75
<i>Figura 28</i> Diseño Inventor estructura.....	75
<i>Figura 29</i> Diseño en Sapp2000 de la estructura	76
<i>Figura 30</i> Construcción de la estructura	77
<i>Figura 31</i> Construcción del tanque.....	78

<i>Figura 32 Perforación del tanque.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 33 Estructura terminada</i>	<i>79</i>
<i>Figura 34 Prueba de fugas</i>	<i>79</i>
<i>Figura 35 Accesorios del tanque</i>	<i>80</i>
<i>Figura 36 Instalación de accesorios</i>	<i>80</i>
<i>Figura 37 Instalación del aislamiento</i>	<i>81</i>
<i>Figura 38 Simulación fusión 360 esfera</i>	<i>82</i>
<i>Figura 39 Esferas mecanizadas</i>	<i>82</i>
<i>Figura 40 Simulación función 360 cilindro</i>	<i>82</i>
<i>Figura 41 Mecanizado de los cilindros</i>	<i>83</i>
<i>Figura 42 Simulación fusión 360 cubo.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 43 Mecanizado de los cubos</i>	<i>83</i>
<i>Figura 44 Colocación de termocuplas en los cilindros</i>	<i>85</i>
<i>Figura 45 Colocación de termocuplas en los cubos.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 46 Colocación de termocuplas en las esferas</i>	<i>85</i>
<i>Figura 47 Características de la unidad de refrigeración</i>	<i>86</i>
<i>Figura 48 Unidad de refrigeración</i>	<i>87</i>
<i>Figura 49 Instalación de la unidad condensadora en la estructura</i>	<i>87</i>
<i>Figura 50 Visor de liquido.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 51 Filtro de secado</i>	<i>88</i>
<i>Figura 52 Válvula solenoide</i>	<i>88</i>
<i>Figura 53 Armado del evaporador</i>	<i>89</i>
<i>Figura 54 Instalación del evaporador</i>	<i>89</i>
<i>Figura 55 Válvula de expansión</i>	<i>90</i>
<i>Figura 56 Instalación completa del sistema de refrigeración</i>	<i>90</i>
<i>Figura 57 Tablero del sistema de refrigeración</i>	<i>91</i>
<i>Figura 58 Pruebas del evaporador</i>	<i>92</i>
<i>Figura 59 Presiones del sistema de refrigeración</i>	<i>92</i>
<i>Figura 60 Diagrama P&ID del sistema de refrigeración.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 61 Diagrama de potencia.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 62 Diagrama de mando</i>	<i>95</i>
<i>Figura 63 Termocupla tipo K.....</i>	<i>98</i>

<i>Figura 64 Sensor de temperatura PT100</i>	<i>100</i>
<i>Figura 65 Gabinete de HMI, pilotos, paro de emergencia y selectores</i>	<i>101</i>
<i>Figura 66 Distribución de los elementos en el tablero</i>	<i>108</i>
<i>Figura 67 Programación del módulo principal y del sensor 1</i>	<i>110</i>
<i>Figura 68 Linealización de sensor de temperatura T1</i>	<i>111</i>
<i>Figura 69 Introducción de ecuaciones de linealización en el programa</i>	<i>112</i>
<i>Figura 70 Configuración de la comunicación entre PLC y HMI</i>	<i>112</i>
<i>Figura 71 Configuración tablas HMI</i>	<i>113</i>
<i>Figura 72 Configuración de las direcciones IP.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 73 Red de comunicación PLC – HMI.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 74 Pantalla de inicio HMI.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 75 Menú de procesos</i>	<i>116</i>
<i>Figura 76 Conducción transitoria.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 77 Banco de temperaturas.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 78 Tabla de datos del banco de temperaturas</i>	<i>117</i>
<i>Figura 79 Tiempos.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 80 Propiedades de los materiales</i>	<i>123</i>
<i>Figura 81 Diagrama de Heisler para esferas.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 83 Diagrama de Heisler para cilindros.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 84 Diagrama de Heisler para cubo</i>	<i>131</i>
<i>Figura 85 ϑ^* vs Fo Cubo de Acero</i>	<i>133</i>
<i>Figura 86 ϑ^* vs Fo Cubo de Aluminio</i>	<i>134</i>
<i>Figura 87 ϑ^* vs Fo Cubo de Bronce</i>	<i>135</i>
<i>Figura 88 ϑ^* vs Fo Cilindro de acero</i>	<i>135</i>
<i>Figura 89 ϑ^* vs Fo Cilindro de aluminio</i>	<i>136</i>
<i>Figura 90 ϑ^* vs Fo Cilindro de bronce</i>	<i>136</i>
<i>Figura 91 ϑ^* vs Fo Esfera de acero</i>	<i>137</i>
<i>Figura 92 ϑ^* vs Fo Esfera de aluminio</i>	<i>137</i>
<i>Figura 93 ϑ^* vs Fo Esfera de bronce</i>	<i>138</i>
<i>Figura 94 Gráfica de temperaturas en ascenso</i>	<i>140</i>
<i>Figura 95 Ajuste lineal del patrón</i>	<i>141</i>
<i>Figura 96 Ajuste lineal del sensor temperatura PT100</i>	<i>141</i>

<i>Figura 97 Ajuste lineal del termómetro de carátula</i>	<i>142</i>
<i>Figura 98 Ajuste lineal termómetro bimetalico digital</i>	<i>142</i>
<i>Figura 99 Ajuste lineal termocupla tipo K.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 100 Gráfica de temperatura en descenso.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 101 Ajuste lineal patrón.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 102 Ajuste lineal PT100.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 103 Ajuste lineal Termómetro de Carátula.....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 104</i>	<i>145</i>
<i>Figura 105 Ajuste lineal termocupla tipo K.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 106 Comparación del R2 vs el error</i>	<i>147</i>

Resumen

La investigación se enfoca en la renovación y mejora integral del Laboratorio de Conversión de Energía, con la implementación de un sistema de adquisición de datos, con el propósito de potenciar su eficiencia y funcionalidad como componente clave en la formación académica e investigativa en energía. Comienza con una evaluación técnica exhaustiva del equipo existente para identificar áreas de mejora, seguida del diseño e implementación de soluciones innovadoras, con un enfoque en la eficiencia térmica y la fiabilidad del equipo, como la optimización de la disposición térmica y el diseño de un sistema de refrigeración eficiente.

La recopilación de datos se realiza en un entorno controlado para garantizar la integridad y comparabilidad de los resultados. Se lleva a cabo una comparación exhaustiva con datos previos para validar el impacto de las mejoras, lo que permite verificar si se cumplen los estándares establecidos y evaluar el éxito de las implementaciones.

Los resultados muestran mejoras significativas en el rendimiento del equipo, con reducción de errores de medición y cumplimiento satisfactorio de criterios térmicos. Se resalta la aplicación práctica de conocimientos en ingeniería mecánica y la importancia de la investigación aplicada en la mejora de infraestructuras educativas. Además, se identifican áreas para futuras investigaciones y se formulan recomendaciones para la continua actualización de equipos y la difusión de resultados, con el objetivo de enriquecer el conocimiento en ingeniería mecánica y de energía. En conclusión, la investigación contribuye al avance y la mejora continua en el ámbito de la ingeniería mecánica y de energía, destacando la importancia de la innovación y la investigación aplicada en la educación y la práctica profesional.

Palabras Clave: Repotenciación, Rediseño térmico, adquisición de datos y eficiencia energética.

Abstract

The research focuses on the comprehensive renovation and improvement of the Energy Conversion Laboratory, with the implementation of a data acquisition system, with the purpose of enhancing its efficiency and functionality as a key component in academic and research training in energy. It begins with a thorough technical assessment of existing equipment to identify areas for improvement, followed by the design and implementation of innovative solutions, with a focus on thermal efficiency and equipment reliability, such as thermal layout optimization and system design. efficient cooling.

Data collection is performed in a controlled environment to ensure the integrity and comparability of results. A comprehensive comparison with previous data is carried out to validate the impact of the improvements, which allows verifying whether established standards are met and evaluating the success of implementations.

The results show significant improvements in equipment performance, with reduction in measurement errors and satisfactory compliance with thermal criteria. The practical application of knowledge in mechanical engineering and the importance of applied research in improving educational infrastructures are highlighted. In addition, areas for future research are identified and recommendations are made for the continuous updating of equipment and the dissemination of results, with the aim of enriching knowledge in mechanical and energy engineering. In conclusion, the research contributes to the advancement and continuous improvement in the field of mechanical and energy engineering, highlighting the importance of innovation and applied research in education and professional practice.

Keywords: Repowering, Thermal redesign, Data acquisition and Energy efficiency

Glosario de Términos

Conducción: Transferencia de calor a través de un medio estacionario, generalmente sólido.

Convección: Transferencia de calor debido al movimiento de un fluido (líquido o gas).

Radiación: Transferencia de calor a través de ondas electromagnéticas, como la luz solar.

Coefficiente de transferencia de calor: Constante que representa la capacidad de un material para transferir calor.

Conductividad térmica: Propiedad de un material que determina su capacidad para conducir el calor.

Primer principio de la termodinámica: Principio de conservación de la energía aplicado a sistemas termodinámicos.

Segundo principio de la termodinámica: Principio que establece la dirección del flujo de calor y la conversión de energía en trabajo.

Ciclo termodinámico: Serie de procesos que un sistema termodinámico experimenta y se repite periódicamente.

Entropía: Medida de la cantidad de energía no disponible para hacer trabajo en un sistema.

Compresor: Dispositivo que comprime un refrigerante gaseoso para aumentar su temperatura y presión.

Evaporador: Componente donde el refrigerante absorbe calor y se evapora, enfriando el entorno.

Condensador: Componente donde el refrigerante se condensa, liberando calor al entorno exterior.

Refrigerante: Sustancia utilizada en el ciclo de refrigeración para transferir calor del espacio enfriado al exterior.

Ciclo de refrigeración: Proceso cíclico que implica la compresión, condensación, expansión y evaporación del refrigerante.

Breaker: Dispositivo de protección que interrumpe la corriente eléctrica en caso de sobrecarga o cortocircuito.

Sensor PT100: Sensor de temperatura resistivo que utiliza la resistencia eléctrica del platino para medir la temperatura.

Termocupla tipo K: Dispositivo de medición de temperatura que utiliza la diferencia de voltaje entre dos metales diferentes para determinar la temperatura.

Bornera: Conector utilizado para conectar y asegurar los cables eléctricos.

Fuente de poder: Dispositivo que proporciona energía eléctrica a un sistema electrónico o instrumento.

Número de Prandtl (Pr): Relación entre la difusividad térmica y la viscosidad de un fluido.

Número de Reynolds (Re): Relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas en un flujo de fluido.

Número de Nusselt (Nu): Relación entre el coeficiente de transferencia de calor convectivo y la conductividad térmica del fluido.

Número de Grashof (Gr): Relación entre las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas en un flujo de fluido.

Número de Biot (Bi): Relación entre la resistencia interna de un cuerpo y la resistencia externa de transferencia de calor.

Compresión Isentrópica: En esta etapa, el refrigerante se comprime adiabáticamente y de manera reversible en un compresor. Durante este proceso, el refrigerante aumenta su presión y temperatura.

Transferencia de Calor Isotérmica: El refrigerante se enfría a presión constante en un condensador, liberando calor al entorno circundante. Durante esta etapa, el refrigerante cambia de estado de vapor a líquido mientras mantiene una temperatura constante.

Expansión Isentrópica: El refrigerante se expande adiabáticamente y de manera reversible a través de una válvula de expansión, disminuyendo su presión y temperatura. Durante este proceso, el refrigerante experimenta una disminución en su estado de energía.

Transferencia de Calor Isotérmica: El refrigerante se calienta a presión constante en un evaporador, absorbiendo calor del entorno a enfriar. Durante esta etapa, el refrigerante cambia de estado de líquido a vapor mientras mantiene una temperatura constante.

Capítulo I: Generalidades

Antecedentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE ha demostrado un compromiso constante con la innovación y la excelencia académica en diversos campos de estudio. Uno de los aspectos sobresalientes de esta institución educativa es su Laboratorio de Conversión de Energía, un espacio dedicado a la investigación y desarrollo en el ámbito de la ingeniería y la tecnología. A lo largo de los años, este laboratorio ha sido escenario de proyectos notables que han contribuido significativamente al avance de la ciencia y la aplicación práctica de conocimientos técnicos.

En el pasado, los estudiantes del Laboratorio de Conversión de Energía se han destacado por su capacidad para abordar desafíos complejos relacionados con la mejora y optimización de equipos de conversión de energía. En las últimas tesis realizadas por los estudiantes en el Laboratorio de Energías tales como “REINGENIERÍA ENERGÉTICA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR HORIZONTAL DE CONVECCIÓN FORZADA DEL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA”, se llevaron a cabo exitosas repotenciaciones de diversas máquinas, a las cuales se les implementó un nuevo sistema de adquisición de datos, ampliando aún más la capacidad investigativa y práctica del laboratorio. Estos esfuerzos no solo han demostrado la destreza técnica de los estudiantes, sino también su capacidad para abordar problemáticas relevantes en el campo de la ingeniería energética.

En la evolución constante de este laboratorio, se ha identificado la necesidad de abordar un nuevo desafío de gran relevancia hoy: el rediseño térmico de un Banco de Temperatura y Conducción Transitoria. Este banco de pruebas, esencial para la investigación en transferencia

de calor y sistemas térmicos, presenta la oportunidad de implementar un sistema de enfriamiento avanzado que mejorará su rendimiento y eficiencia.

El propósito fundamental de esta nueva fase de investigación es ir más allá de las repotenciaciones tradicionales y abordar un enfoque más complejo y vanguardista. Al incorporar un sistema de enfriamiento al Banco de Temperatura y Conducción Transitoria, se busca no solo mejorar su capacidad de medición y análisis térmico, sino también abrir nuevas puertas para investigaciones más precisas y detalladas en el campo de la termociencia.

Los estudiantes y profesores involucrados en este proyecto están decididos a continuar con la tradición de excelencia en investigación y desarrollo, mientras enfrentan los desafíos tecnológicos y científicos más actuales. El resultado final enriquecerá el conocimiento en la transferencia de calor y reflejará el compromiso de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con la formación de ingenieros altamente capacitados y la contribución significativa al avance tecnológico en la sociedad.

Planteamiento del Problema

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en su compromiso con la excelencia académica y la innovación en ingeniería y tecnología, ha identificado un desafío de considerable relevancia en el ámbito de la investigación en transferencia de calor y sistemas térmicos. Específicamente, se ha constatado la necesidad de abordar el rediseño térmico del Banco de Temperatura y Conducción Transitoria dentro del Laboratorio de Conversión de Energía.

A pesar de su importancia como herramienta fundamental para la investigación, el equipo actual presenta limitaciones que afectan su capacidad para mantener condiciones de temperatura estables y controladas. Esta deficiencia compromete la precisión de las mediciones y la confiabilidad de los datos obtenidos en los experimentos realizados en el laboratorio.

Por lo tanto, el problema central que motiva esta investigación radica en la imperante necesidad de mejorar el rendimiento y la eficiencia del Banco de Temperatura y Conducción Transitoria mediante la implementación de un sistema de enfriamiento avanzado. Esta mejora no solo busca superar las limitaciones técnicas y operativas actuales del equipo, sino también posibilitar la realización de investigaciones más precisas, detalladas y representativas en el ámbito de la termo ciencia.

En este contexto, se plantea la presente tesis como un esfuerzo académico destinado a abordar este problema de manera integral y proporcionar soluciones innovadoras que contribuyan al avance del conocimiento en transferencia de calor y sistemas térmicos, así como al fortalecimiento de la infraestructura y capacidad investigativa del Laboratorio de Conversión de Energía en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar la repotenciación, rediseño térmico, y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para un banco de temperaturas y conducción transitoria, del Laboratorio de Conversión de la Energía

Objetivos Específicos

- Realizar la evaluación técnica del equipo mediante el análisis detallado del rendimiento actual de los componentes.
- Diseñar e implementar un sistema eficiente de refrigeración y rediseño térmico para el equipo, garantizando así un entorno óptimo para las prácticas del laboratorio.
- Desarrollar un diseño mecánico innovador y funcional que potencie la eficiencia y fiabilidad del banco de temperaturas y conducción transitoria.

- Realizar el diseño e implementación del sistema de adquisición de datos a través del uso de un PLC.

Alcance

El proyecto se inicia con una evaluación técnica exhaustiva del equipo, examinando su estado actual y la funcionalidad de sus componentes e instrumentos de medición. Además, implica el diseño mecánico, fabricación y reacondicionamiento de partes obsoletas debido a su antigüedad. El mantenimiento eléctrico y electrónico es esencial para garantizar un funcionamiento óptimo. También se implementará un sistema de refrigeración eficiente para mantener condiciones de temperatura estables durante las operaciones.

La siguiente fase implica la selección y adquisición precisa de instrumentación digital, mejorando la precisión en la recopilación de datos. Se diseñará un sistema automatizado de adquisición de datos y una interfaz de usuario intuitiva, lo que facilitará la interacción con el equipo y agilizará el proceso de obtención de datos.

En la etapa final, se llevará a cabo la toma de datos y un análisis detallado de los resultados obtenidos, contribuyendo al avance del conocimiento en la transferencia de calor y sistemas térmicos. Además, se elaborarán manuales destinados al mantenimiento eléctrico y mecánico, así como a la guía de usuario. Estos manuales se diseñarán con el propósito de garantizar un funcionamiento adecuado y una prolongada vida útil del equipo. El proyecto refleja la habilidad del laboratorio para enfrentar desafíos complejos y su compromiso con la excelencia en investigación y desarrollo.

Justificación

El rediseño térmico del Banco de Temperatura y Conducción Transitoria con la implementación de un sistema de enfriamiento surge como una respuesta necesaria ante los desafíos actuales en la investigación y aplicación de sistemas térmicos y de transferencia de

calor. Esta iniciativa está respaldada por múltiples razones fundamentales que buscan mejorar la eficiencia, la precisión de las mediciones y la versatilidad de las investigaciones en el Laboratorio de Conversión de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

En primer lugar, el Banco de Temperatura y Conducción Transitoria es una herramienta esencial para el estudio de la transferencia de calor en cuerpos de distintos materiales. Sin embargo, su capacidad para mantener temperaturas constantes y controladas puede verse afectada por fenómenos de calor residual. La incorporación de un sistema de enfriamiento permitirá mantener niveles de temperatura estables y predecibles, lo que a su vez garantiza mediciones más confiables y datos más precisos en los experimentos.

Además, con la creciente demanda de eficiencia energética en sistemas térmicos y la necesidad de evaluar el comportamiento de materiales en condiciones extremas, un sistema de enfriamiento adaptativo en el Banco de Temperatura y Conducción Transitoria ofrece la oportunidad de simular situaciones más cercanas a la realidad. Esto permitirá a los investigadores examinar cómo los dispositivos de diferentes materiales se comportan en escenarios de variación térmica y, desarrollar soluciones más robustas y adaptadas a condiciones del mundo real.

Capítulo II: Marco Teórico

Introducción

Teoría de transferencia de calor

Generalidades

La transferencia de calor es un fenómeno fundamental en la termodinámica que describe cómo la energía térmica se transfiere de una región de mayor temperatura a una de menor temperatura en un sistema. Esta transferencia de energía puede ocurrir a través de tres procesos principales: conducción, convección y radiación.

Conducción

La conducción es un proceso de transferencia de calor que ocurre en sólidos, líquidos y gases estacionarios y se debe a las colisiones y difusión de partículas en el material. Implica la transferencia de energía térmica desde partículas más energéticas a partículas adyacentes menos energéticas, lo que resulta en un flujo de calor desde una región más caliente a una más fría. La velocidad de conducción de calor depende de factores como la geometría del material, su espesor, el tipo de material y la diferencia de temperatura a través de él.

La tasa de conducción de calor a través de una capa plana se relaciona con la diferencia de temperatura y el área de transferencia de calor, siendo inversamente proporcional al espesor de la capa. Esta relación está gobernada por la ecuación de conducción de calor, donde la constante de proporcionalidad "k" representa la conductividad térmica del material. La conducción juega un papel crucial en la transferencia de calor en una variedad de situaciones prácticas, como la pérdida de calor a través de paredes aisladas y el calentamiento de objetos sólidos por contacto con fuentes de calor (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019, p. 17).

La conducción de calor se puede expresar mediante la ley de Fourier de la conducción del calor.

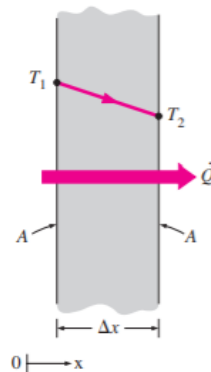
$$\dot{Q}_{cond} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (W)$$

Donde:

- \dot{Q}_{cond} : Transferencia de Calor por Conducción
- k : Conductividad térmica
- $\frac{dT}{dx}$: Gradiente de Temperatura
- A : Areal

Figura 1

Conducción de calor a través de una pared grande



“La conductividad térmica de un material se puede definir como la razón de la transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura” (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019, p. 40). En el caso que el valor de conductividad térmica sea alto esto indicara que el material es un buen conductor de calor y en el caso que el valor sea bajo indicará que no es un buen conductor de calor o es un aislante.

Convección. “La convección es un proceso de transferencia de calor que ocurre entre una superficie sólida y un fluido en movimiento, y combina los efectos de la conducción y el movimiento del fluido” (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019, p. 25). La velocidad de transferencia de calor por convección aumenta con la velocidad del fluido; en ausencia de movimiento masivo del fluido, la transferencia de calor es principalmente por conducción. La convección puede ser forzada o natural.

La convección forzada implica un movimiento del fluido inducido externamente, como por un ventilador o una bomba. La convección natural se debe a las diferencias de densidad causadas por las variaciones de temperatura en el fluido.

En procesos de transferencia de calor que involucran cambios de fase en un fluido, como la ebullición o la condensación, también se considera convección debido al movimiento inducido durante estos procesos. A pesar de la complejidad de la convección, la tasa de transferencia de calor por convección se relaciona con la diferencia de temperatura a través de la Ley de Newton del enfriamiento, donde "h" es el coeficiente de transferencia de calor por convección y depende de diversas variables, como la geometría de la superficie, el movimiento del fluido y las propiedades del mismo (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019).

La Ley de Newton del Enfriamiento se expresa de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_{conv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad (W)$$

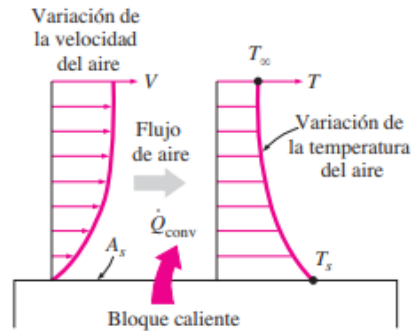
Donde:

- \dot{Q}_{conv} : Transferencia de Calor por Conducción
- h : Coeficiente de transferencia de calor por convección
- T_s : Temperatura Superficial
- T_{∞} : Temperatura Ambiental

- A_s : Areal Superficial

Figura 2

Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección



Transferencia de calor transitoria en diversos materiales

Transferencia de calor en un cuerpo esférico. La ecuación de la conducción de calor en una esfera es un concepto fundamental en la teoría de la transferencia de calor que describe cómo la temperatura varía en el interior de una esfera en función del tiempo y la posición. Este enfoque considera propiedades como la densidad, el calor específico y el radio exterior de la esfera. A diferencia de otras geometrías, como cilindros o planos, en una esfera, el área de transferencia de calor varía en función de la ubicación debido a la dependencia del radio en cada punto. Comprender esta ecuación es esencial para analizar sistemas esféricos y aplicaciones prácticas, como el diseño de reactores nucleares, geología y procesos de calentamiento o enfriamiento en sistemas esféricos (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019, p. 72).

La ecuación se expresa de la siguiente manera:

a) Conductividad Variable:

$$\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 k \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \dot{e}_{gen} = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

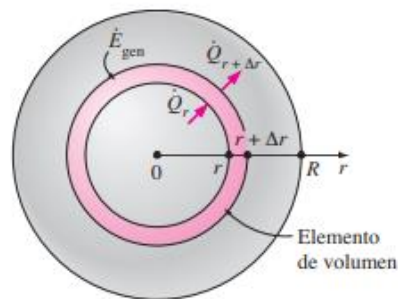
b) Conductividad Constante:

$$\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\dot{e}_{gen}}{k} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

- Régimen estacionario: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$
- Régimen transitorio, sin generación de calor: $\dot{e}_{gen} = 0$
- Régimen estacionario, sin generación de calor: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ y $\dot{e}_{gen} = 0$

Figura 3

Conducción unidimensional de calor a través de un elemento de volumen en una esfera.



Transferencia de calor en un cuerpo Cuadrado. La ecuación de conducción de calor en una pared plana grande se deriva de la ley de Fourier de la conducción térmica y describe cómo la temperatura en una pared cambia con el tiempo y la posición. Se utiliza para analizar sistemas que involucran transferencia de calor en estructuras planas (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019, p. 69).

La conducción de calor en una pared plana se puede dar de la siguiente manera:

- a) Conductividad Variable:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{e}_{gen} = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

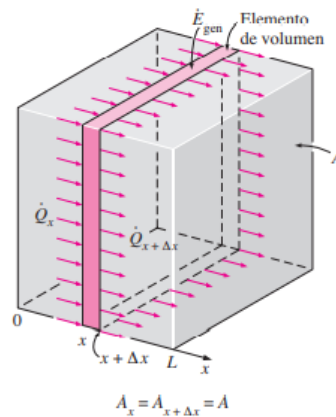
- b) Conductividad Constante:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{e}_{gen}}{k} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

- Régimen estacionario: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$
- Régimen transitorio, sin generación de calor: $\dot{e}_{gen} = 0$
- Régimen estacionario, sin generación de calor: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ y $\dot{e}_{gen} = 0$

Figura 4

Conducción unidimensional de calor a través de un elemento de volumen en una pared plana grande.



Transferencia de calor en un cuerpo Cilíndrico. La ecuación de conducción de calor en un cilindro largo es un concepto importante en la teoría de transferencia de calor que describe cómo la temperatura varía en función del tiempo y la posición a lo largo de un cilindro.

Esta ecuación se deriva de los principios de la conducción térmica y es fundamental en campos como la ingeniería, la física y la geología para comprender la distribución de calor en estructuras cilíndricas. Se basa en la ley de Fourier y se expresa a través de ecuaciones diferenciales parciales que relacionan la temperatura, el tiempo y las coordenadas radiales y axiales del cilindro. El estudio de esta ecuación es esencial para analizar sistemas como

tuberías, barras y otros dispositivos cilíndricos, permitiendo el diseño eficiente de sistemas de calefacción, refrigeración y aislamiento térmico (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019, p. 71).

Se expresa de la siguiente manera:

c) Conductividad Variable:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(rk \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \dot{e}_{gen} = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

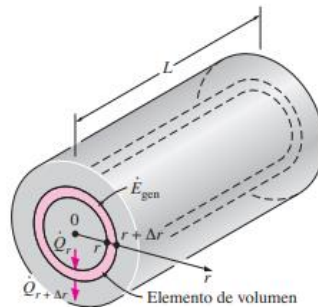
d) Conductividad Constante:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\dot{e}_{gen}}{k} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

- Régimen estacionario: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$
- Régimen transitorio, sin generación de calor: $\dot{e}_{gen} = 0$
- Régimen estacionario, sin generación de calor: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ y $\dot{e}_{gen} = 0$

Figura 5

Conducción unidimensional del calor a través de un elemento de volumen en un cilindro largo.



Sistema de Refrigeración

Refrigeración:

La refrigeración es un proceso esencial que implica controlar y mantener la temperatura de diversos procesos, espacios y materiales en relación con la temperatura del entorno circundante. Esta práctica tiene una amplia gama de aplicaciones, abarcando sectores tan variados como la industria alimentaria, la construcción, la química, la medicina y la metalurgia, convirtiéndose en un componente esencial para la productividad en múltiples campos (Bonilla, Castelo, Orozco, & Jácome, 2018).

En el mundo de la refrigeración, se han establecido dos enfoques principales: la refrigeración por compresión y la refrigeración por absorción.

La refrigeración por compresión implica la transferencia de energía térmica entre dos regiones con presiones altas y bajas, utilizando el cambio de estado del refrigerante de líquido a vapor y viceversa. Esta técnica se emplea en aplicaciones cotidianas, como refrigeradores y sistemas de aire acondicionado, así como en la industria.

La refrigeración por absorción utiliza sustancias que absorben calor al cambiar de estado de líquido a gaseoso y es conocida por su enfoque ambientalmente amigable al aprovechar fuentes de calor residuales o sostenibles. Aunque su coeficiente de rendimiento es inferior en comparación con la refrigeración por compresión, se han desarrollado sistemas híbridos para optimizar su desempeño y consideraciones medioambientales.

Además de los tipos de refrigeración mencionados anteriormente, es importante destacar la diferencia entre la refrigeración por compresión ideal y real.

La refrigeración por compresión ideal se basa en un proceso teórico en el que el compresor que impulsa el ciclo debería ser perfecto, sin pérdidas de energía y con una

eficiencia del 100%. En este escenario ideal, el ciclo de compresión es completamente reversible y sigue las leyes termodinámicas de manera perfecta. Sin embargo, en la práctica, no existe un compresor ideal, y existen pérdidas de energía y eficiencia que afectan el rendimiento del sistema.

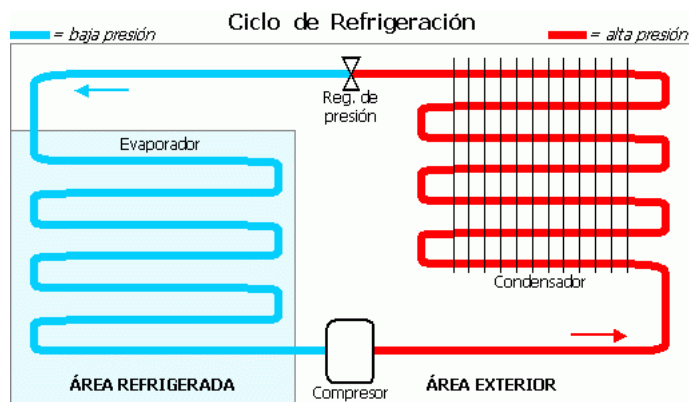
Por otro lado, la refrigeración por compresión real tiene en cuenta las imperfecciones y pérdidas en el proceso de compresión. En la realidad, los compresores tienen eficiencias menores al 100%, lo que resulta en una mayor demanda de energía para lograr el mismo efecto de enfriamiento. Además, otros factores, como las fugas de refrigerante, el intercambio de calor no perfecto y las restricciones del sistema, también influyen en el rendimiento real del ciclo de refrigeración por compresión (Bonilla, Castelo, Orozco, & Jácome, 2018).

Sistema de Refrigeración

La introducción del sistema de refrigeración es un componente esencial en el ámbito de la ingeniería térmica, especialmente cuando se aborda el control preciso de la temperatura en entornos específicos. En este contexto, se busca establecer un vínculo entre el sistema de refrigeración y la manipulación de figuras geométricas con el banco de temperaturas para optimizar la eficiencia del proceso. La conexión entre ambos aspectos radica en la necesidad de mantener condiciones térmicas específicas en áreas que albergan dispositivos sensibles a cambios de temperatura, mientras se considera la geometría del espacio circundante (Bonilla, Castelo, Orozco, & Jácome, 2018).

Figura 6

Ciclos de sistema de refrigeración



Un sistema de refrigeración es un conjunto de componentes y dispositivos diseñados para extraer el calor de un espacio o de un medio, manteniendo así una temperatura baja o controlada. Este proceso es esencial en una variedad de aplicaciones, desde la refrigeración de alimentos y espacios habitables hasta la gestión térmica de dispositivos electrónicos y procesos industriales.

Los sistemas de refrigeración funcionan según los principios básicos de la termodinámica, utilizando un fluido refrigerante para absorber el calor del área que se desea enfriar. Este fluido pasa por un ciclo de compresión y expansión, alternando entre estados gaseoso y líquido, para transferir eficientemente el calor de un lugar a otro.

Compresor. El compresor es el componente encargado de aumentar la presión del refrigerante en un sistema de refrigeración, lo que desempeña un papel clave en el proceso de transferencia de calor y en la capacidad del sistema para enfriar eficazmente un espacio o mantener la temperatura deseada. Los compresores pueden variar en tipo y diseño, pero todos cumplen la función esencial de elevar la presión del refrigerante para que el ciclo de refrigeración funcione de manera eficiente (Bonilla, Castelo, Orozco, & Jácome, 2018).

Figura 7

Compresor ½ hp

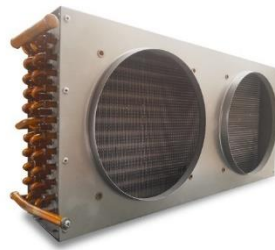


Evaporador. El evaporador es la parte del sistema de refrigeración donde ocurre la absorción de calor, ya que el refrigerante se evapora y cambia de estado de líquido a gaseoso. Esto permite que el sistema extraiga el calor del espacio o el ambiente que se desea enfriar, contribuyendo al proceso de refrigeración y al mantenimiento de temperaturas más bajas en esa área.

Condensador. El condensador es la parte del sistema de refrigeración donde ocurre la liberación de calor, ya que el refrigerante gaseoso se enfría y cambia de estado de gaseoso a líquido. Esto es esencial para garantizar que el sistema de refrigeración pueda eliminar el calor del espacio o del ambiente que se desea enfriar, contribuyendo así al proceso de enfriamiento y al mantenimiento de temperaturas controladas.

Figura 8

Condensador



Válvula Expansora. La válvula de expansión es la parte del sistema de refrigeración que regula la cantidad de refrigerante que ingresa al evaporador y controla la presión en el sistema. Al permitir que el refrigerante se expanda y cambie de estado, contribuye al proceso de absorción de calor en el evaporador y es esencial para mantener una temperatura deseada en el sistema de refrigeración o aire acondicionado.

Figura 9

Válvula de expansión



Refrigerante. El refrigerante R404A es una mezcla de hidrofluorocarbonos (HFC) compuesta por R-125, R-134a y R-143a. Fue diseñado para reemplazar el R-502 y el R-22 que se utilizan en equipos de refrigeradores comerciales para rangos de temperatura baja y media 1. El R404A es un refrigerante no inflamable y de baja toxicidad que cuenta con una clasificación de seguridad ASHRAE A1 1.

Figura 10

Refrigerante R404a.



Números Adimensionales

Son valores numéricos que se utilizan en la física y la ingeniería para describir relaciones entre variables físicas en un problema específico sin hacer referencia a unidades de medida. Estos números son útiles porque permiten simplificar ecuaciones y comparar situaciones físicas similares en diferentes escalas y contextos.

Numero de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es un número adimensional que se utiliza en mecánica de fluidos para caracterizar y clasificar el tipo de flujo en un fluido, ya sea líquido o gas (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019).

El número de Reynolds se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu}$$

Donde:

- Re es el número de Reynolds.
- ρ es la densidad del fluido.
- v es la velocidad del fluido.
- L es una longitud característica del flujo (como el diámetro de una tubería o una dimensión característica de un objeto en el flujo).
- μ es la viscosidad dinámica del fluido.

El número de Reynolds es importante porque determina el tipo de flujo que se produce en un sistema. Se divide en tres regímenes principales:

1. Flujo laminar ($Re < 2000$): En este rango, las fuerzas viscosas son dominantes, y el flujo es suave y ordenado. Las capas de fluido se deslizan unas sobre otras de manera ordenada, sin turbulencia significativa. Las ecuaciones que describen el flujo laminar son relativamente simples.

2. Transición ($2000 < Re < 4000$): En esta zona de transición, el flujo puede ser inestable y oscilar entre laminar y turbulento. La transición de un régimen a otro puede depender de factores como la rugosidad de la superficie y las condiciones iniciales.
3. Flujo turbulento ($Re > 4000$): En este rango, las fuerzas inerciales son dominantes y el flujo es caótico y desordenado. Se caracteriza por la formación de remolinos y la mezcla intensa de las capas de fluido. Las ecuaciones que describen el flujo turbulento son más complejas que las del flujo laminar.

Su capacidad para determinar si el flujo será laminar o turbulento resulta crucial en el diseño y análisis de sistemas que involucran fluidos y, en particular, en la transferencia de calor. Esto se refleja en su relevancia en la convección de calor, el diseño de intercambiadores de calor y la determinación de coeficientes de transferencia de calor convectivo, donde se considera su influencia en la eficiencia de dicha transferencia y la conductividad térmica del fluido. En resumen, el número de Reynolds se convierte en una herramienta esencial en la termodinámica, ya que permite anticipar si el flujo fluido será laminar o turbulento, lo que a su vez impacta significativamente en aplicaciones prácticas como el diseño de sistemas de refrigeración y calefacción, así como en otros dispositivos de transferencia de calor (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019).

Numero de Biot

El número de Biot (Bi) es un número adimensional que se utiliza en la transferencia de calor para caracterizar la resistencia térmica dentro de un sólido en comparación con la resistencia térmica en la interfaz sólido-fluido. Este número lleva el nombre del científico francés Jean-Baptiste Biot, quien hizo importantes contribuciones en campos como la termodinámica y la mecánica de fluidos.

El número de Biot se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Bi = \frac{hL}{ks}$$

Donde:

- Bi es el número de Biot.
- h es el coeficiente de transferencia de calor convectivo entre el sólido y el fluido.
- L es una longitud característica asociada al sólido.
- ks es la conductividad térmica del sólido.

El número de Biot (Bi) es utilizado para evaluar la eficiencia de la transferencia de calor entre sólidos y fluidos cuando interactúan, indicando la rapidez con la que ocurre la transferencia de calor desde la superficie del sólido hacia el fluido circundante. Un valor bajo de Bi ($Bi \ll 1$) implica que la resistencia térmica en el sólido es insignificante en comparación con la resistencia térmica en la interfaz sólido-fluido, lo que sugiere que la transferencia de calor está mayormente controlada por la convección en el fluido. Este número desempeña un papel esencial en el diseño de dispositivos como intercambiadores de calor, donde ayuda a determinar la eficiencia de la transferencia de calor y cómo se comportará un sólido en términos de transferencia de calor en un sistema específico. Cuando Bi es alto ($Bi \gg 1$), indica que la transferencia de calor en el sólido es el factor limitante, lo que requiere el desarrollo de sistemas que mejoren la conductividad térmica del sólido o la eficiencia de transferencia de calor en la interfaz sólido-fluido. En resumen, el número de Biot es una herramienta fundamental en la evaluación de la transferencia de calor en sólidos en contacto con fluidos, y desempeña un papel esencial en la termodinámica y la mecánica de fluidos para analizar la transferencia de calor en diversas aplicaciones prácticas y el diseño de sistemas de transferencia de calor (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019).

Número de Fourier

El Número de Fourier (Fo) es una herramienta fundamental para entender la transferencia de calor en diversos sistemas. Podemos relacionarlo de la siguiente manera:

- Conducción de Calor:

El Número de Fourier está relacionado con la difusión térmica en un material. Cuanto mayor sea el Fo, más rápido se propaga el calor a través del material. Si Fo es pequeño (cercano a cero), la conducción de calor es lenta. Esto ocurre cuando el tiempo característico (t) es grande en comparación con la longitud (L) del material. Si Fo es grande (mucho mayor que uno), la conducción de calor es rápida. Esto sucede cuando el tiempo característico es pequeño en comparación con la longitud del material.

- Ecuación del Número de Fourier:

La ecuación del Número de Fourier es:

$$Fo = \frac{\alpha t}{L^2}$$

Donde:

Fo: Número de Fourier.

α (alfa): Difusividad térmica (m²/s).

t: Tiempo característico (s).

L: Longitud a través de la cual ocurre la conducción de calor.

El número de Fourier se lo puede interpretar de la siguiente manera:

- Si Fo es grande, significa que la difusión térmica es rápida en comparación con el almacenamiento de energía. Por lo tanto, el calor se propaga rápidamente.

- Si F_0 es pequeño, la difusión térmica es lenta y el calor se almacena más que se propaga.

Ciclo Invertido de Carnot

El ciclo invertido de Carnot es un modelo teórico que describe el funcionamiento de un sistema de refrigeración ideal. Este ciclo consta de cuatro procesos reversibles: dos procesos adiabáticos y dos procesos isotérmicos. El ciclo comienza con la compresión adiabática del refrigerante, lo que aumenta su temperatura y presión. Luego, el refrigerante se enfría a temperatura constante en el condensador, liberando calor al ambiente. A continuación, el refrigerante se expande adiabáticamente, lo que reduce su temperatura y presión. Finalmente, el refrigerante se calienta a temperatura constante en el evaporador, absorbiendo calor del ambiente (YUNUS A. & AFSHIN J., 2019).

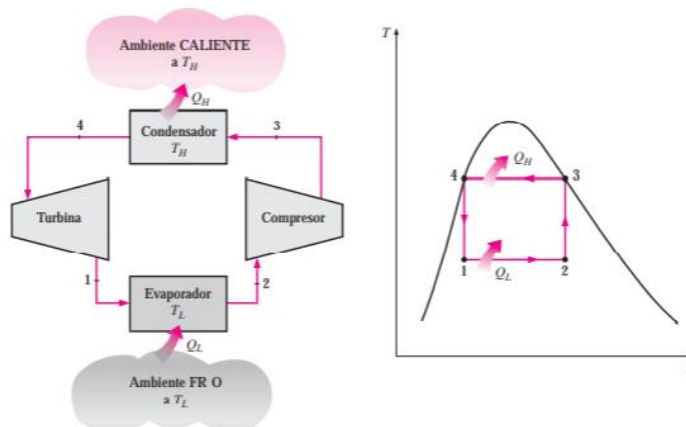
El ciclo invertido de Carnot es un modelo teórico que se utiliza para evaluar la eficiencia de los sistemas de refrigeración. La eficiencia de un sistema de refrigeración se define como la cantidad de calor que se extrae del ambiente frío dividido por la cantidad de trabajo que se realiza en el sistema. El ciclo invertido de Carnot es el ciclo de refrigeración más eficiente posible, y se utiliza como punto de referencia para comparar la eficiencia de otros sistemas de refrigeración.

A continuación, en la figura 10 se puede observar el ciclo invertido de Carnot dentro de la campana de saturación de un refrigerante. En el proceso 1-2 el refrigerante absorbe calor isotérmicamente de una fuente de baja temperatura a T_L en la cantidad de Q_L , posterior a eso en el proceso 2-3 únicamente se comprime isoentrópicamente donde la temperatura se eleva hasta llegar a T_H , en el proceso 3-4 se rechaza el calor isotérmicamente en un sumidero de alta temperatura a T_H en la cantidad de Q_H , y finalmente se expande isoentrópicamente hasta

llegar al punto 1 donde la temperatura desciende hasta T_L . El refrigerante cambia de un estado de vapor saturado a un estado de líquido saturado en el condensador en el proceso 3-4.

Figura 11

Diagrama T-s ciclo invertido de Carnot.



Conceptos básicos de circuitos

Voltaje. El voltaje es la medida que indica la disparidad en el potencial eléctrico entre dos puntos específicos. También conocido como diferencia de potencial eléctrico o tensión eléctrica, se define como el trabajo realizado por unidad de carga eléctrica al mover una partícula a través de un campo eléctrico desde un punto hasta otro. El voltaje se expresa en voltios (V) y sirve para representar la fuerza electromotriz proveniente de una fuente de energía eléctrica. (*Definición de Voltaje - Qué Es y Concepto*, s. f.)

Potencia. La potencia eléctrica se define como la cantidad de energía eléctrica generada o disipada por unidad de tiempo en un circuito eléctrico. En términos más simples, representa la proporción de corriente eléctrica transferida en un circuito en un lapso de tiempo específico. La unidad de medida de la potencia eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades (SI) es el vatio (W), equivalente a un julio por segundo. En un circuito eléctrico, la

potencia eléctrica se puede calcular multiplicando el voltaje por la corriente eléctrica que fluye a través del circuito. (*Potencia Eléctrica: Definición y Concepto*, s. f.) (Matan, 2024)

Resistencia Eléctrica. La resistencia eléctrica se refiere a la oposición que un material presenta al flujo de corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades (SI), la unidad de medida para la resistencia es el ohmio (Ω), representado por la letra griega omega. La resistencia eléctrica de un conductor está influenciada por factores como su longitud, sección transversal y el material del cual está compuesto. La fórmula de la resistencia eléctrica es

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Donde R es la resistencia eléctrica en ohmios, ρ es la resistividad del material en ohmios por metro, L es la longitud del conductor en metros y A es la sección transversal del conductor en metros cuadrados. (JL, 2023)

Corriente Eléctrica. La corriente eléctrica se define como el desplazamiento de carga eléctrica a lo largo de un material conductor, provocado por el movimiento de los electrones que giran alrededor del núcleo de los átomos que constituyen dicho conductor. Se cuantifica en amperios (A), la unidad fundamental en el ámbito de la electricidad. La intensidad eléctrica se refiere a la cantidad de carga eléctrica que atraviesa un material conductor en una unidad de tiempo y se expresa en amperios. Existen distintos tipos de corriente eléctrica, como la corriente continua (CC) y la corriente alterna (CA). La corriente eléctrica genera efectos caloríficos y lumínicos, como la producción de calor e iluminación. (Leskow, 2021a)

Circuito Eléctrico. Un circuito eléctrico constituye una ruta por la cual puede fluir la corriente eléctrica. Está compuesto por tres elementos fundamentales: un generador de corriente, un conductor de conexión y un receptor eléctrico. El generador de corriente tiene la capacidad de generar una diferencia de potencial entre dos áreas de su estructura,

denominadas polos. El conductor de conexión facilita la unión de estos polos. (Fernández, s. f.-a) (Ucad, 2021)

Adquisición de datos

Conceptos básicos en los sistemas de adquisición de datos

Señales discretas. Una señal discreta en el contexto de adquisición de datos se caracteriza por tener un dominio definido exclusivamente para valores específicos y finitos de tiempo. En contraste con las señales de tiempo continuo, en las cuales la amplitud varía de manera continua, la amplitud de una señal discreta solo experimenta cambios en intervalos discretos de tiempo. En términos simples, una señal discreta implica que se toman muestras de la señal en intervalos regulares y se almacenan en una memoria digital para su posterior procesamiento. (*Que Es una Señal Discreta En Adquisición de Datos - Bing*, s. f.) (González, 2023)

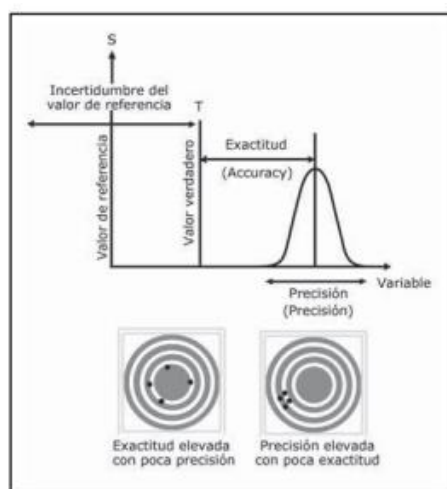
Señales análogas. Una señal analógica es el resultado de un fenómeno electromagnético y puede describirse como una función matemática continua. En esta función, la amplitud y el período de la señal varían en relación con el tiempo, representando así datos de información.

Exactitud. Se define como la proximidad entre el resultado medido y el valor de referencia, conocido también como valor verdadero o magnitud real. En términos simples, la precisión se relaciona con la habilidad de algo o alguien para ser exacto, certero, oportuno y cercano a la verdad. Este atributo es fundamental en diversos ámbitos, tales como la ciencia, la ingeniería, la medicina, la investigación y la industria, donde se demanda una medición que sea tanto precisa como confiable. En la figura 12 se puede evidenciar un ejemplo de exactitud. (De Enciclopedia Significados, 2019)

Precisión. La precisión se define como la capacidad de un instrumento para producir resultados consistentes en mediciones repetidas bajo condiciones idénticas o para generar el resultado deseado con exactitud. En términos más sencillos, la precisión se relaciona con la dispersión de los valores obtenidos en mediciones repetidas de una magnitud como se muestra en la figura 12. En este contexto, una menor dispersión indica una mayor precisión. (colaboradores de Wikipedia, 2023)

Figura 12

Precisión y exactitud



Sistema Binario. Los números binarios constituyen un sistema de numeración que emplea exclusivamente dos dígitos: 0 y 1. Este sistema tiene una amplia aplicación en informática y electrónica debido a que los dispositivos electrónicos digitales solo pueden reconocer dos estados, representados por los dígitos 1 y 0, que indican encendido y apagado, respectivamente. (Redacción, 2015)

Bit. Un bit se presenta como la unidad elemental de información empleada en el ámbito de la informática y la electrónica. Se caracteriza por tener dos posibles valores: 0 o 1. La

expresión "bit" proviene de la abreviatura de "binary digit" (dígito binario). (*Que Es un Bit - Bing*, s. f.)

Byte. Un byte constituye una unidad fundamental de información en el ámbito de la informática y las telecomunicaciones, compuesto por un conjunto organizado de ocho bits. A nivel internacional, no existe un símbolo establecido para el término "byte". (colaboradores de Wikipedia, 2023b)

Controlador. En un sistema de adquisición de datos, el controlador es un elemento encargado de recibir y procesar la información recopilada por los sensores y los dispositivos de medición. Su función principal abarca la adquisición, el procesamiento y el almacenamiento de los datos, realizando tareas como la conversión de señales analógicas a digitales, el filtrado de señales y la compensación de errores. Además, los controladores tienen la capacidad de ofrecer interfaces para la visualización y el análisis de datos, pudiendo ser programados para llevar a cabo tareas específicas. (*Adquisición de Datos (DAQ): La Guía Completa*, 2024)

Figura 13

Controlador



Microcontrolador. Un microcontrolador es un chip programable diseñado para dirigir dispositivos electrónicos digitales. Este dispositivo está conformado por diversos bloques funcionales especializados, incluyendo la unidad central de procesamiento (CPU), la memoria y

los periféricos de entrada/salida, cada uno destinado a cumplir funciones específicas. Los microcontroladores gozan de una amplia aplicación en sistemas integrados, siendo comúnmente utilizados en el control de automóviles, electrodomésticos, dispositivos médicos, juguetes y una variedad de otros dispositivos electrónicos. (Administrador, 2021)

Figura 14

Microcontrolador PIC



Acondicionamiento de señales

El acondicionamiento de señal implica la modificación de una señal de entrada para adaptarla adecuadamente al procesamiento posterior. Este proceso se emplea con el fin de mejorar la calidad de la señal, reducir el ruido, amplificarla y convertirla a un formato apto para su procesamiento. En sistemas de adquisición de datos, los dispositivos de acondicionamiento de señal aseguran la precisión y confiabilidad de las señales de entrada.

En contraste, un accionamiento es un dispositivo que transforma las señales de control en un movimiento o acción operativa. Los accionamientos son utilizados en sistemas de control para supervisar el movimiento de motores y otros dispositivos mecánicos. Estos pueden adoptar distintas formas, como accionamientos eléctricos, hidráulicos o neumáticos, según las necesidades de la aplicación.

Sistema de adquisición de datos

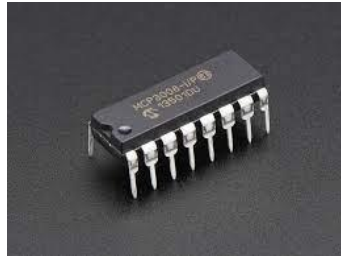
Los sistemas de adquisición de datos, tal como su nombre indica, comprenden productos y procesos destinados a recopilar información para documentar o analizar un

fenómeno. En su forma más básica, un técnico que registra la temperatura de un horno en papel está llevando a cabo una toma de datos. Con el avance de la tecnología, este proceso se ha simplificado y vuelto más preciso, versátil y fiable mediante el uso de dispositivos electrónicos. A continuación, se presentan algunos términos comunes en el ámbito de la adquisición de datos:

Convertor Analógico-Digital (ADC): Un dispositivo electrónico encargado de transformar señales analógicas a su equivalente en forma digital. Este convertidor, que convierte datos continuos en valores discretos, constituye el núcleo esencial en la mayoría de los sistemas de adquisición de datos.

Figura 15

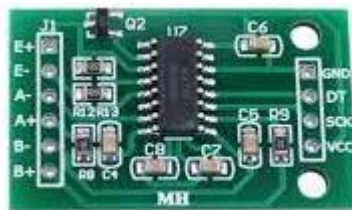
Convertor ADC MCP3008



Convertidor Digital-Analógico (D/A): Un componente electrónico presente en diversos dispositivos de adquisición de datos, responsable de generar una señal de salida en formato analógico.

Figura 16

Convertidor D/A modulo HX711



Entrada/Salida Digital (DIO): Se refiere a un tipo específico de señal en la adquisición de datos. Las señales de Entrada/Salida Digital son discretas y pueden encontrarse en uno de dos estados. Estos estados pueden representarse como encendido/apagado, alto/bajo, 1/0, etc. También se conocen como Entrada/Salida Binaria (binaria I/O).

Entrada Simple (SE): Describe la forma en que se conecta el cable de la señal a un dispositivo de adquisición de datos. En comparación con las entradas diferenciales, las entradas simples poseen una conexión tanto positiva como negativa para cada canal. Los dispositivos de adquisición de datos pueden tener entradas simples o diferenciales, y muchos de ellos admiten ambas configuraciones.

Componentes

Termocuplas. Una termocupla es un sensor de temperatura compuesto por dos metales diferentes unidos en un extremo, generando una tensión proporcional a los cambios de temperatura. El termopar tipo K, con conductores de níquel-cromo y níquel-aluminio, es común, y existen calibraciones adicionales para altas temperaturas, fabricadas con metales preciosos. Cada calibración tiene un rango de temperatura y entorno específicos.

Figura 17

Termocupla tipo K



Termorresistencias. Los sensores Pt100 utilizan la variación de la resistencia eléctrica del platino con la temperatura para proporcionar mediciones precisas y confiables de la temperatura en una amplia gama de aplicaciones industriales y científicas. (*Sistema de Adquisición de Datos | Omega Engineering, s. f.-b*)

Figura 18

Termorresistencias PT100



Controlador Lógico Programable (PLC)

Un Controlador Lógico Programable (PLC) se define como un tipo de computadora utilizada en automatización o automatización industrial para automatizar procesos que involucran componentes electromecánicos, electroneumáticos y electrohidráulicos, por ejemplo, para controlar máquinas en líneas de ensamblaje o Proceso de fabricación de otros componentes. Procesos. Estos dispositivos se utilizan en diversas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de uso general, los PLC están diseñados para manejar múltiples señales de entrada y salida, soportar amplios rangos de temperatura, ser insensibles al ruido eléctrico y resistentes a vibraciones y golpes. Los programas de control de máquinas normalmente se almacenan en baterías, copias de seguridad o memoria no volátil. Los PLC son un ejemplo de un sistema en tiempo real que requiere que se generen resultados de salida en respuesta a condiciones de entrada en un período de tiempo limitado; De lo contrario, no se logrará el resultado deseado. (Yuridia & Yuridia, 2023)

Figura 19

PLC de la marca LOGO!



Capítulo III: Diseño Mecánico y Térmico

Síntesis del Problema

El Laboratorio de Conversión de la Energía enfrenta desafíos significativos relacionados con la eficiencia y confiabilidad de sus sistemas, especialmente en lo que respecta al diseño mecánico y térmico. La necesidad imperante de repotenciar y rediseñar térmicamente los equipos para optimizar su rendimiento, se convierte en el punto focal de esta investigación. La falta de un sistema de adquisición de datos integral agrega complejidad al análisis, limitando la capacidad para evaluar de manera precisa y eficiente las condiciones de temperatura y conducción transitoria en el laboratorio.

El diseño mecánico actual presenta deficiencias que comprometen la integridad estructural y el funcionamiento apropiado de los componentes esenciales en la conversión de energía. La identificación y resolución de estos problemas son cruciales para garantizar la durabilidad y eficiencia a largo plazo del laboratorio. Asimismo, el inadecuado control térmico afecta directamente la precisión de los experimentos, limitando la capacidad del laboratorio para generar datos confiables y reproducibles.

La ausencia de un sistema de adquisición de datos especializado constituye una barrera significativa para la recopilación eficiente de información crítica sobre temperaturas y conducción transitoria. La falta de datos precisos impide una evaluación exhaustiva del rendimiento térmico de los sistemas, afectando la capacidad del laboratorio para realizar investigaciones de vanguardia.

En este contexto, el presente proyecto se propone abordar estos desafíos mediante la repotenciación y rediseño mecánico-térmico para mejorar la integridad estructural y funcional. La introducción de un sistema de adquisición de datos innovador permitirá un monitoreo en tiempo real y una recopilación de datos más efectiva, contribuyendo a la excelencia operativa del Laboratorio de Conversión de la Energía.

Diseño del modelo CAD

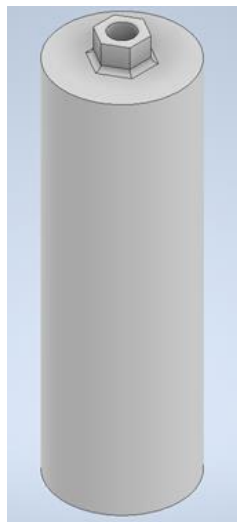
Figuras Geométricas

Se emprendió el diseño de las figuras geométricas, meticulosamente ajustadas a los parámetros de las formas preexistentes. Sin embargo, se tomó la decisión de elevar la calidad mediante la implementación de un sistema de sujeción mejorado para las termocupas, así como la optimización del método de fijación. Este enfoque refinado no solo garantiza la coherencia con las figuras geométricas establecidas, sino que también potencia la eficiencia y la confiabilidad del sistema en su conjunto, permitiendo obtener mediciones más precisas.

Cilindro. Los cilindros están fabricados en aluminio, bronce y acero inoxidable, respetando las dimensiones pre definidas en los modelos existentes, así mismo se maquinó una rosca interna para sujetar la termocupla y evitar filtraciones.

Figura 20

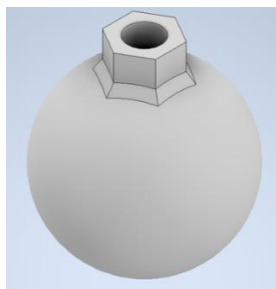
Diseño Inventor cilindro



Esfera. Las esferas están fabricadas en aluminio, bronce y acero inoxidable, respetando las dimensiones pre definidas en los modelos existentes, así mismo se maquinó una rosca interna para sujetar la termocupla y evitar filtraciones.

Figura 21

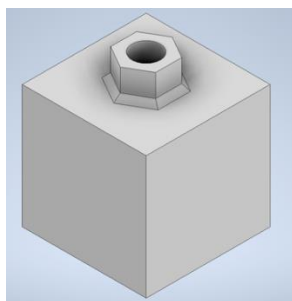
Diseño Inventor esfera



Cubo. Los cubos están fabricados en aluminio, bronce y acero inoxidable, respetando las dimensiones pre definidas en los modelos existentes, así mismo se maquinó una rosca interna para sujetar la termocupla y evitar filtraciones.

Figura 22

Diseño Inventor cubo



Banco de temperaturas

Diseño del espesor del tanque.

Para la construcción del tanque del banco de temperaturas se decidió utilizar el material de acero inoxidable dado que sus características son las más idóneas para el sistema de refrigeración. Para el cálculo del espesor se toma la fórmula establecida en el Handbook de

Pressure Vessel, parte 1, número 13 que hace referencia al diseño de tanques rectangulares abiertos.

Se calcula la razón que existe entre H la altura del tanque y L la distancia:

$$\frac{H_1}{L_1} = \frac{38 \text{ cm}}{27.5 \text{ cm}} = \frac{14.9606 \text{ in}}{10.8267 \text{ in}} = 1.37$$

Con el valor de 0.633 utilizando la tabla que se encuentra a continuación se puede determinar los valores de β y el valor de S es para el acero inoxidable 316 que es igual a 3800psi

Figura 23

Valores de β y el valor de S pág 215 Pressure Vessel Handbook

Values of α and β							
Ratio, $\frac{H}{L}$ or $\frac{H}{l}$	0.25	0.286	0.333	0.4	0.5	0.667	
Constant, β	0.024	0.031	0.041	0.056	0.080	0.116	
Constant, α	0.00027	0.00046	0.00083	0.0016	0.0035	0.0083	
Ratio, $\frac{H}{L}$ or $\frac{H}{l}$	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Constant, β	0.16	0.26	0.34	0.38	0.43	0.47	0.49
Constant, α	0.022	0.043	0.060	0.070	0.078	0.086	0.091

H = height of tank L = length of tank l = maximum distance between supports

Se procede a calcular el espesor con la siguiente fórmula

$$t = L \sqrt{\frac{\beta * H * 0.036 * G}{S}}$$

$$t_1 = 16.732 \sqrt{\frac{0.16 * 14.96 * 0.036 * 1}{3800}}$$

$$t_1 = 0.0797 \text{ in} = 2 \text{ mm}$$

Por lo cual, el espesor que se tome en cuenta es de 2 mm de lámina de acero inoxidable, para su fabricación se le va a soldar y doblar a la lámina para dar su forma rectangular.

Diseño del espesor del tanque

Para la construcción del tanque del banco de temperaturas se decidió utilizar el material de acero inoxidable dado que sus características son las más idóneas para el sistema de refrigeración. Para el cálculo del espesor se utiliza la formula establecida en el Handbook de Pressure Vessel, parte 1, número 13 que hace referencia al diseño de tanques rectangulares abiertos.

Se calculó la razón que existe entre H la altura del tanque y L la distancia entre:

$$\frac{H_2}{L_2} = 0.894$$

Con el valor de 0.633 utilizando la tabla que se encuentra a continuación se puede determinar los valores de β y el valor de S es para el acero inoxidable 316 que es igual a 3800psi

Figura 24

Valores de β y el valor de S pág 215 Pressure Vessel Handbook

Values of α and β							
Ratio, $\frac{H}{L}$ or $\frac{H}{l}$	0.25	0.286	0.333	0.4	0.5	0.667	
Constant, β	0.024	0.031	0.041	0.056	0.080	0.116	
Constant, α	0.00027	0.00046	0.00083	0.0016	0.0035	0.0083	
Ratio, $\frac{H}{L}$ or $\frac{H}{l}$	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Constant, β	0.16	0.26	0.34	0.38	0.43	0.47	0.49
Constant, α	0.022	0.043	0.060	0.070	0.078	0.086	0.091

H = height of tank L = length of tank l = maximum distance between supports

Se procede a calcular el espesor con la siguiente fórmula

$$t = L \sqrt{\frac{\beta * H * 0.036 * G}{S}}$$

$$t_2 = 23.622 \sqrt{\frac{0.116 * 14.96 * 0.036 * 1}{3800}}$$

$$t_2 = 0.096 \text{ in} = 2.438 \text{ mm}$$

Por lo cual, el espesor que se tome en cuenta es de 2 mm de lámina de acero inoxidable, para su fabricación se le va a soldar y doblar a la lámina para dar su forma rectangular.

Dimensionamiento de la tubería

Es crucial que el diámetro de la tubería se dimensione adecuadamente para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y accesorios. Las velocidades que se utilizan en la línea de succión (evaporador) de (8 a 15 m/s). (Núñez,2017)

Se obtuvo la tasa de flujo másico del refrigerante en el evaporador al realizar el balance de energía con los datos de la siguiente tabla

Tabla 1

Datos para determinar el flujo másico del refrigerante

<i>Datos</i>	
Cp agua	4187 J/kg*K
Cp refrigerante (R404a)	1640 J/kg*K
Temperatura del agua (exterior)	20 C
Temperatura del agua (interior)	3 C
\dot{m}_{agua}	0.3 kg/min

$$Q_{entrada}(R404a) = Q_{salida}(agua)$$

$$\dot{m}_{R404a} * C_{pR404a} * \Delta T_{R404a} = \dot{m}_{agua} * C_{p_{agua}} * \Delta T_{agua}$$

$$\dot{m}_{R404a} = \frac{\dot{m}_{agua} * C_{p_{agua}} * \Delta T_{agua}}{C_{pR404a} * \Delta T_{R404a}}$$

$$\dot{m}_{R404a} = 0.16 \text{ kg/s}$$

Para calcular el diámetro de la tubería se realiza por medio de la siguiente fórmula tomando en

$$A = \frac{m_{R404a}}{\rho * Velocidad}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * m_{R404a}}{\rho * Velocidad * \pi}}$$

$$\phi = 4.839 \text{ mm}$$

El diámetro comercial en el país es de:

$$\phi = \frac{3}{8} \text{ in} = 9.525 \text{ mm}$$

Sistema de Refrigeración

La eficacia de un sistema de refrigeración se sustenta en un diseño meticuloso respaldado por cálculos precisos que garanticen un control térmico óptimo. En el contexto de nuestro proyecto, la introducción de cálculos específicos desempeña un papel central en la consecución de un rendimiento excepcional. Estos cálculos abarcarán desde la carga térmica requerida para mantener las condiciones deseadas hasta la selección de componentes clave, como compresores y evaporadores, considerando factores como la geometría del entorno y la variabilidad en las condiciones de carga. La aplicación de metodologías de cálculo avanzadas no solo fundamentará las decisiones de diseño, sino que también permitirá una optimización precisa del sistema de refrigeración, asegurando un equilibrio eficiente entre la demanda térmica y la capacidad del sistema. Esta sección explorará, por ende, la importancia crítica de los cálculos en el diseño del sistema de refrigeración, proporcionando un marco sólido para la implementación exitosa de un sistema que cumpla con los requisitos específicos del Laboratorio de Conversión de la Energía.

Se tomará en consideración la siguiente tabla de datos para los cálculos posteriores:

Tabla 2

Parámetros de diseño determinados por el fabricante

PARAMETROS DE DISEÑO FABRICANTE		DATOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN ORIGINAL	
Cp_{agua}	$4187 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$	Ti_{cond}	80
Cp_{R404}	$1640 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$	To_{cond}	40
Ti_{agua}	$20 \text{ }^\circ\text{C}$	Ti_{evap}	-10
Tc_{agua}	$3 \text{ }^\circ\text{C}$	To_{evap}	0
Th_{agua}	$70 \text{ }^\circ\text{C}$	Ti_{comp}	0
$m1_{agua}$	70 kg	To_{comp}	80
$m2_{agua}$	33 kg		
$fm1_{agua}$	$\frac{m1_{agua}}{4.60} = 0.296 \text{ kg}$		
V_{R404a}	8 m/s		
ρ_{R404a}	1091 kg/m^3		

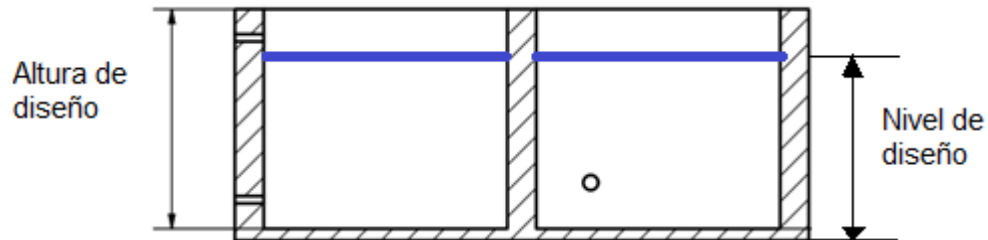
Carga térmica del equipo. Carga térmica del agua teórica y del R404a. Existen diferentes tipos de resistencias eléctricas que se pueden utilizar para calentar fluidos en un tanque, como las resistencias blindadas o las resistencias de cartucho. Para este caso se procedió a calcular la potencia eléctrica requerida para poder calentar el tanque de 71 L.

Para calentar:

Tomamos en cuenta la altura de diseño y el nivel diseño como se puede observar en la figura.

Figura 25

Nivel de diseño y altura de diseño del tanque



- Para el banco de temperaturas:

$$Q_{1H} = -m1_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot \frac{(T_f - T_i)}{3600}$$

$$Q_{1H} = 71 \text{ kg/h} \cdot 4187 \text{ J} \cdot \text{K/kg} \cdot \frac{(343\text{K} - 293\text{K})}{3600}$$

$$Q_{1H} = 4129 \text{ W}$$

- Para tanque de figuras geométricas:

$$Q_{2H} = -m2_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot \frac{(T_f - T_i)}{3600}$$

$$Q_{2H} = 33 \text{ kg/h} \cdot 4187 \text{ J} \cdot \text{K/kg} \cdot \frac{(343\text{K} - 293\text{K})}{3600}$$

$$Q_{2H} = 1917 \text{ W}$$

Para que pueda satisfacer el requerimiento de carga eléctrica de ambos equipos se utilizará 3 resistencias de 1440 W y 1 una resistencia de 2000W de la marca DERNORD.

Para enfriar

- Para el banco de temperaturas:

$$Q_{1C} = m1_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot \frac{(T_f - T_i)}{3600}$$

$$Q_{1c} = -1404 \text{ W}$$

Se requiere retirar 1404 W del fluido para que alcance la temperatura deseada.

Dimensionamiento de Serpentín. El dimensionamiento del serpentín en un sistema de refrigeración es un proceso crucial para asegurar un intercambio de calor eficiente y un rendimiento óptimo del sistema. Se realiza cálculos de transferencia de calor para determinar la capacidad del serpentín. Esto implica considerar las temperaturas de entrada y salida del aire y del refrigerante, así como las propiedades térmicas de los materiales involucrados.

Tabla 3

Datos para el cálculo del serpentín

Datos	
hf_{R404a}	$200 \text{ KJ}/\text{kg}$
k_{cobre}	$385 \text{ W}/\text{m} * \text{K}$
h_{agua}	$500 \text{ W}/\text{m}^2 * \text{K}$

$$mp_{R404} = \frac{-Q_{1aguaC}}{hf_{R404}} = 7.065 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Delta T1 = Ti_{cond} - To_{cond} = 40$$

$$\Delta T2 = To_{evap} - Ti_{evap} = 10$$

$$\Delta T1_m = \frac{(\Delta T1 - \Delta T2)}{\ln\left(\frac{\Delta T1}{\Delta T2}\right)} = 21.64$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hf_{R404}} + \frac{1}{h_{agua}} + \frac{0.0008}{k_{cobre}}} = 111.085$$

El área requerida de transferencia de calor de despeja de la siguiente ecuación:

$$q_{requerido} = U * A * F * \Delta T_m$$

Despejando el área del tubo tenemos:

$$A_{tubo} = \frac{-Q1_{agua} C}{U * \Delta T1_m} = 0.116 \text{ m}^2$$

Longitud total de tubería y número de tubos: una vez calculada el área de transferencia de calor se puede realizar el cálculo de la longitud total de la tubería.

$$D_{ext} = \frac{9.525}{1000} = 9.525 \text{ m}$$

Longitud de los tubos del serpentín

$$L_{tubo} = 0.50 \text{ m}$$

$$n = \frac{A_{tubo}}{\pi * D_{ext} * L_{tubo}} = 9.758$$

Además, se calculó el tiempo que tardaría en enfriar con ese número de tubos tomando en cuenta que $Q = 351 \frac{W}{h}$

$$T = \frac{1441}{351}$$

$$T = 4 \text{ horas}$$

Dado que el tiempo que tardaría en enfriar sería 4 horas, y en base a los antecedentes de las prácticas de laboratorio no deben durar más de una hora, se buscó la forma de optimizar este tiempo de tal forma:

$$T = \frac{1441}{1441}$$

$$T = 1 \text{ horas}$$

Con esto se evidenció que para que el sistema de refrigeración el número de tubos es 40 cm

$$n_{real} = 40$$

$$L_{real} = n_{real} * L_{tubo} = 20 \text{ m}$$

$$L_{comercial} = 15 \text{ m}$$

$$n_{tubos} = \frac{L_{real}}{L_{comercial}} = 1.333$$

Número de tubería a comprar

$$n_{rollos} = 2$$

$$S_{tubo} = \frac{D_{ext} * 1000}{\sqrt{n_{real}}} = 1.506 \text{ mm}$$

Separación entre tubos

$$S_{empirico} = 30 \text{ cm}$$

Definición de las presiones según las condiciones ambientales

$$T_{amb_{ref}} = (3 + 273.15)$$

$$T_{amb} = 37.4$$

$$DT_1 = 12$$

$$T_{evap} = T_{amb} - DT_1 = 25.4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{evp} = (T_{evap} - 32) * \frac{5}{9} = -3.661 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_m = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 60$$

$$T_{cond} = T_m + \Delta T = 80$$

Según la tabla de propiedades del refrigerante R134 se tiene que para las temperaturas obtenidas se tienen las presiones:

$$P_{evap} = 242 \text{ kpa}$$

$$P_{cond} = 2036 \text{ kpa}$$

$$RC = \frac{P_{cond}}{P_{evap}} = 8.016$$

Cálculo de entalpía y el coeficiente de Performance (COP). Utilizando la tabla para el refrigerante R404a, se procedió a ubicar los puntos en la curva en base a su presión y temperatura para encontrar la entalpía correspondiente a cada punto.

Para una presión de 510 kpa y temperatura de -5 °C

$$h_1 = 185 \frac{KJ}{kg}$$

Para una presión de 1605 kpa y temperatura de 80 °C

$$h_2 = 370 \frac{KJ}{kg}$$

Para una presión de 1605 kpa y temperatura de 80 °C

$$h_3 = 405 \frac{KJ}{kg}$$

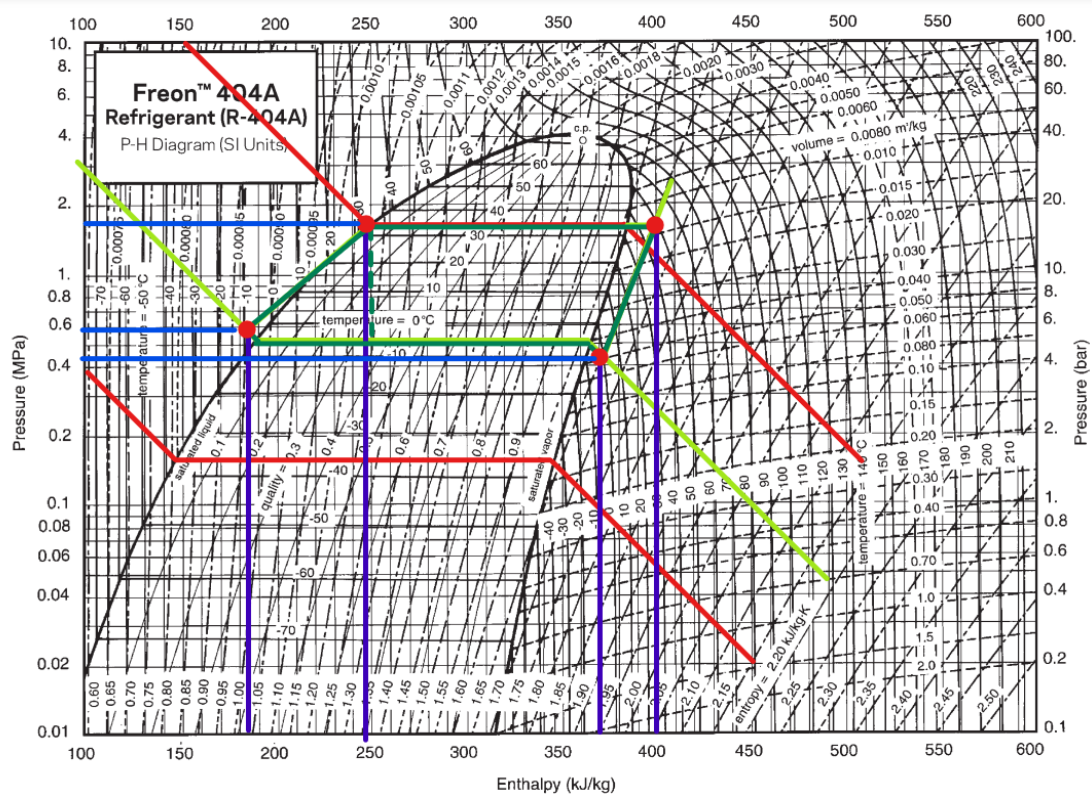
Para una presión de 510 kpa y temperatura de -5 °C

$$h_4 = 250 \frac{KJ}{kg}$$

$$COP = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_2} = 5.29$$

Figura 26

Diagrama Freon 404A



Cálculos de la bomba de agua

Dado el diseño de la máquina se tuvo que implementar una bomba de agua que permita el paso del agua del sistema de refrigeración hacia el lado frío del banco de temperaturas por lo que se realizaron los siguientes para determinar la potencia de la bomba que se va a utilizar.

Caudal requerido (Q):

Volumen de entrada

$$V1 = 30 L$$

Tiempo estimado

$$t = 120 (s)$$

Caudal

$$Q = \frac{V1}{t} = \frac{30}{120} = 0.00025 \frac{m^3}{s}$$

Altura Manométrica (H)

Altura de succión

$$h1 = 0.8 \text{ m}$$

Altura de Impulsión

$$h2 = 1.40 \text{ m}$$

Altura Geométrica

$$h3 = h1 + h2 = 0.8 + 1.40 = 2.20 \text{ m}$$

Diámetro Tubería

$$d_{in} = 12.7 \text{ mm}$$

Perdidas

Codo de $90^\circ = 1$

$$P. \text{ codo}90^\circ = 5 \text{ m}$$

Altura Manométrica:

$$H = h.3 + P_{\text{codo}90^\circ} = 2.2 + 5 = 7.2 \text{ m}$$

Potencia Requerida

Datos:

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$\eta = 0.86$$

$$P = \frac{g * \rho * Q * H}{\eta} = 20.53 \text{ W}$$

Potencia Comercial:

$$P_{\frac{1}{8}} = 93.21 \text{ W}$$

Potencia Seleccionada:

$$P_{lav} = 35 W$$

Construcción de la estructura y banco de Temperatura

Para el banco de temperaturas y de la estructura se realizó su diseño en Inventor donde se pudo reflejar el bosquejo de la maquina y de la estructura en 3D.

Figura 27

Diseño Inventor del tanque

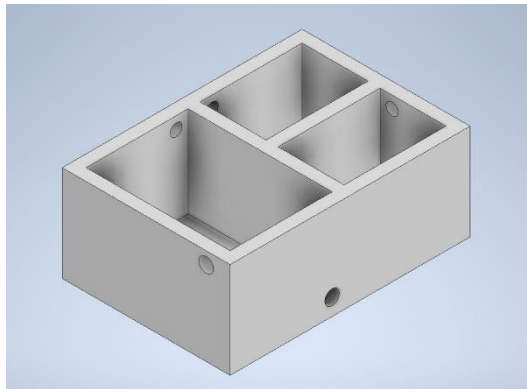
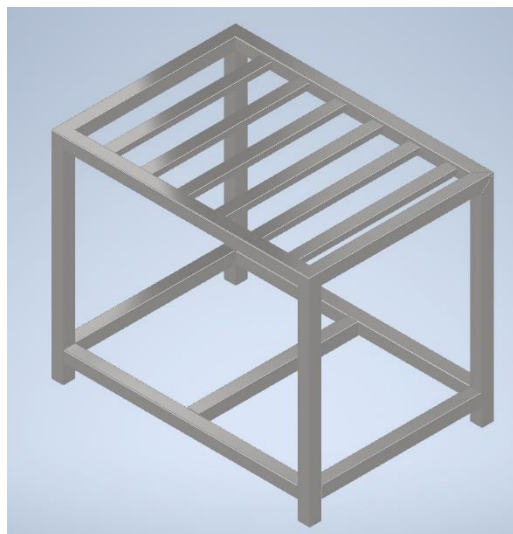


Figura 28

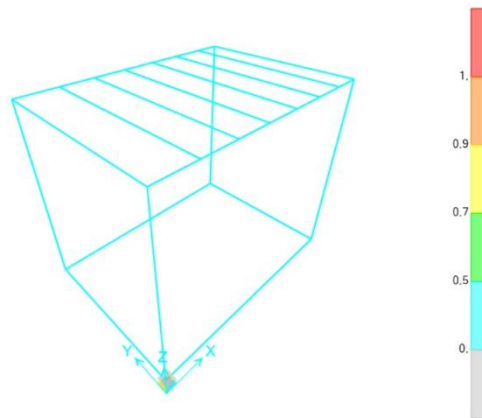
Diseño Inventor estructura



Para la estructura metálica se realizó el diseño en sapp 2000 para poder verificar que el diseño soporte la carga del diseño del tanque donde se realizó una tabla de toma de decisiones para escoger el perfil que se ajuste a nuestras necesidades de diseño.

Figura 29

Diseño en Sapp2000 de la estructura



Selección de Materiales

Una vez realizado el análisis estructural se pudo verificar la selección de los materiales fue correcta y soportaran la carga del tanque de agua. A continuación, se detalla los materiales que se utilizaron en la estructura.

Tabla 4

Comparación de materiales de la estructura para selección

Parámetros	Escala	Ponderación	Perfil		
	0-10	%	1,5x1,5x2	1x1x2	2x2x2
Deformación	10	70	5*0,7=3,5	2*0,7=1,4	10*0,7=7
Precio	10	20	7*0,2=1,4	8*0,2=1,6	5*0,2=1
Disponibilidad en el Mercado	10	10	8*0,1=0,8	8*0,1=0,8	8*0,1=0,8
		100	5,7	3,8	8,8

Construcción

Una vez realizado el análisis en SAP se pudo proceder a la fabricación de la estructura y del tanque de agua en un taller metal mecánico ubicado en el sector de Conocoto.

Figura 30

Construcción de la estructura



Figura 31*Construcción del tanque*

Una vez terminado el tanque se realizó las perforaciones de diámetro 6mm para las entradas y salidas de la tubería de agua, y las entradas de las resistencias. Y se realizó las colocaciones de las resistencias.

Figura 32*Perforación del tanque*

Finalmente, se realizó el montaje del tanque sobre a la estructura y se realizaron las pruebas de fugas de agua en los tanques, donde se llenaron los 3 tanques con agua y se tomó la distancia existente entre el tope del tanque y el ras del agua, se dejó el agua toda la noche para la verificación que no exista fugas.

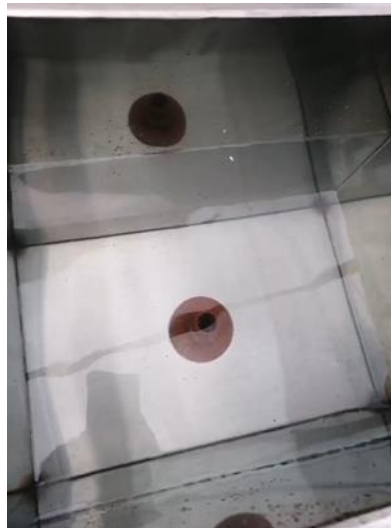
Figura 33

Estructura terminada



Figura 34

Prueba de fugas



Montaje de accesorios

Para el tanque se utilizaron varios accesorios como tubería PVC, acoples, codos, empates, válvulas de cierre, teflón los cuales fueron implementados de forma manual con la ayuda de herramientas básicas.

Figura 35

Accesorios del tanque

**Figura 36**

Instalación de accesorios

**Aislamiento**

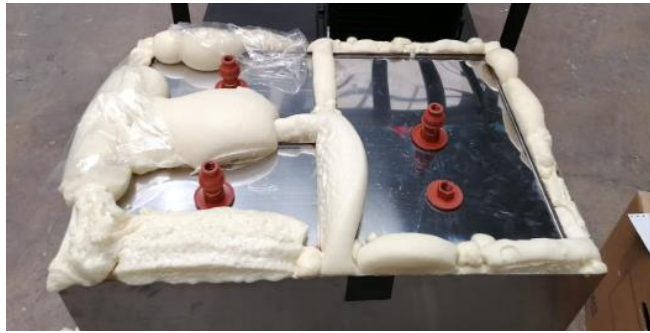
El aislamiento de poliuretano es una opción popular para el aislamiento de tanques con sistemas de refrigeración. La espuma rígida de poliuretano es conocida por proporcionar un aislamiento óptimo en múltiples aplicaciones. Algunas de las ventajas de utilizar el aislamiento de poliuretano en un tanque con sistema de refrigeración son:

Baja densidad: Debido a su composición, tiene una densidad menor que otros aislantes térmicos, dando una ventaja en su ligereza y flexibilidad. Esto facilita su instalación y transporte.

Bajo almacenamiento de calor: Su enfriamiento es más rápido, lo que permite un ahorro de energía en el proceso de refrigeración.

Figura 37

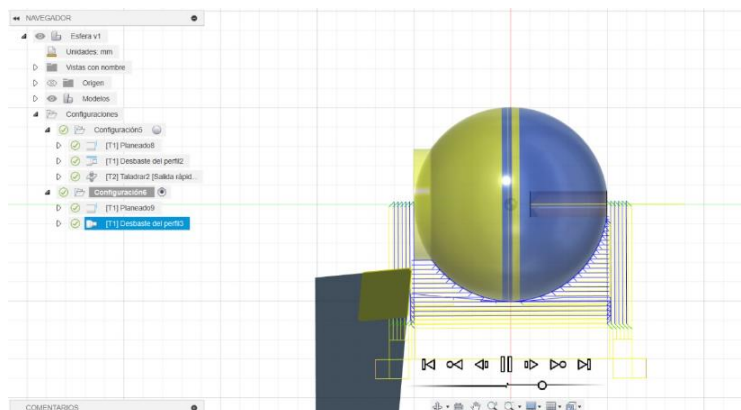
Instalación del aislamiento



Construcción de Figuras geométricas en diferentes materiales

Las figuras geométricas fueron fabricadas mediante un proceso de torneado en donde se les dio el acabado requerido además de maquinar la rosca interna NPT y los puntos de sujeción para su manipulación. Pero para poder realizar este proceso, se realizó varias simulaciones en el programa fusión 360 para poder determinar la ruta de fabricación de cada pieza y se realizó la hoja de procesos.

Para las esferas se realizó la siguiente simulación, para posteriormente obtener la pieza mecanizada.

Figura 38*Simulación fusión 360 esfera***Figura 39***Esferas mecanizadas*

Para los cilindros se realizó la siguiente simulación, para posteriormente obtener la pieza mecanizada.

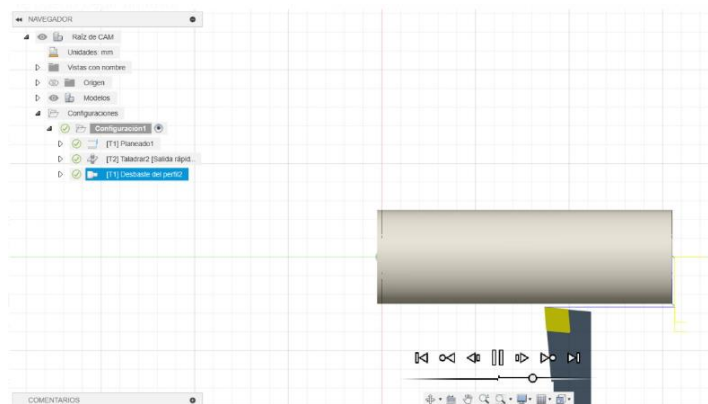
Figura 40*Simulación función 360 cilindro*

Figura 41

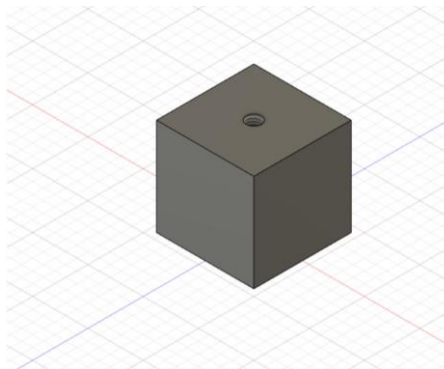
Mecanizado de los cilindros



Para los cubos se realizó la siguiente simulación, para posteriormente obtener la pieza mecanizada.

Figura 42

Simulación fusión 360 cubo

**Figura 43**

Mecanizado de los cubos



Los motivos por los cuales se utilizó los materiales aluminio, bronce y acero inoxidable son los siguientes:

- El bronce es una aleación de cobre y estaño que se utiliza en diversas aplicaciones debido a sus propiedades únicas. El bronce posee características como la alta conductividad térmica. Esto lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere una transferencia de calor eficiente, como la convección. La convección es la transferencia de calor entre una superficie y un líquido en contacto con ella. El proceso de transferencia de calor por convección ocurre mediante difusión térmica (el movimiento aleatorio de moléculas de fluido) y advección, en la que se transporta materia o calor a través del movimiento a gran escala de corrientes en arroyos. (Connor, 2021) (Mood, 2023)
- El aluminio es un metal no ferromagnético, muy abundante en la naturaleza, solo aventajado por el oxígeno y el silicio. El aluminio es conocido por su alta conductividad térmica y eléctrica, lo que lo hace útil en una amplia variedad de aplicaciones, desde la construcción hasta la electrónica. Además, el aluminio es resistente a la corrosión, lo que lo hace ideal para su uso en aplicaciones marinas y de construcción.
- Acero Inoxidable. El acero inoxidable tiene una baja conductividad térmica, alrededor de 15 vatios por Kelvin por metro. Sin embargo, en comparación con los materiales no metálicos, tiene una capacidad excepcional para conducir el calor. Esta propiedad lo convierte en una opción ideal en situaciones donde se requiere una rápida transferencia de calor, como en la fabricación de equipos de cocina y refrigeración en la industria alimentaria. (Posts, 2019) (Ulbrinox, 2022)

Colocación de termocuplas en las figuras geométricas

Cada figura geométrica cuenta con un rosca tipo NPT cuya principal función por su diseño es proveer una unión mecánica con un sello hidráulico, su diseño cónico de rosca M8x1.5 permite el empate entre la figura geométrica y las termocuplas. Se procedió a la

instalación de manera manual con la ayuda de varias herramientas como llave #10, tarraja, teflón, entre otras.

Figura 44

Colocación de termocuplas en los cilindros



Figura 45

Colocación de termocuplas en los cubos



Figura 46

Colocación de termocuplas en las esferas



Montaje del Sistema de Refrigeración

Materiales y herramientas necesarias

Los materiales y herramientas que fueron utilizados para la instalación del sistema de refrigeración se encuentran detallados en la Tabla 4.

Tabla 5

Materiales de la estructura

N	Descripción
1	Suelda de 15% plata
2	Uniones 3/8
3	Suela autógena
4	Tubería de cobre
5	Martillo de goma
6	Cortador filo de tubo
7	Dobladora de tubo
8	Accesorios

Unidad de aire refrigeración. Para la unidad de refrigeración se realizó la compra por medio del proveedor MegaFrío el cual se compró el equipo con las siguientes características:

Figura 47

Características de la unidad de refrigeración



Grupos de condensación específicos*

MODELO	POTENCIA FRIGORÍFICA 43° amb., 10K sobrecal., 3K subenfri.							POT. FRIGO. EH13215 To -35°C		P. son. dB(A) a 10m	Coo- dal vent. m³/h	Vel. Dep.	Díam. Tub.		Peso neto/ bruto Kg	N.º Tam.	Intensidad máx. según código tensión	
	Temperatura de evaporación (°C):							Rend. (W)	COP (W/W)				Asp.	De sc.			FZ	TZ
	-25°	-15°	-10°	-5°	0°	5°	15°											
CAJ/TAJT9480ZMHR	429	746	934	1143	1376	1634	2245	1299	1,69	38	1130	1,50	1/2"	3/8"	37/40	M300	7,3	3,4
CAJ/TAJT9510ZMHR	548	937	1168	1426	1711	2028	2781	1627	1,74	39	1180	1,50	5/8"	3/8"	42/41	M320	9,2	3,4

Figura 48

Unidad de refrigeración

**Instalación del Sistema de Refrigeración**

En la instalación se colocó inicialmente el sistema de refrigeración en la parte baja de la estructura donde con la ayuda de unos pernos se realizó la sujeción de la misma.

Figura 49

Instalación de la unidad condensadora en la estructura



Posterior a eso se procedió a sacar las medidas que se iban a utilizar para la tubería de cobre para las diferentes partes que se necesitaba agregar al sistema como:

- El visor de filtro que ayuda a observar los cambios que tiene el refrigerante y de indicar con color el nivel de humedad.

Figura 50

Visor de liquido



- El filtro de secado cuya función principal es filtrar las partículas y los residuos que fluyen alrededor de todo el sistema y absorber cualquier tipo de humedad que se encuentre.

Figura 51

Filtro de secado



- La válvula solenoide cuya función es controlar el flujo del refrigerante a través de todo el sistema.

Figura 52

Válvula solenoide



Una vez colocadas las piezas y soldadas en las partes correspondientes se procedió a colocar el evaporador que previamente ya fue cortada la tubería, doblada en las dimensiones requeridas para poder instalar en la parte interna del tanque.

Figura 53

Armado del evaporador



Figura 54

Instalación del evaporador



Posterior a esto se procedió a instalar la válvula de expansión en la parte interna del tanque dado que, por recomendaciones del técnico para poder evitar accidentes con los estudiantes debido a la manipulación, sin embargo esto no afectaba como tal su funcionamiento. Se colocó su sensor dentro de la tubería de retorno la cual estaba recubierta por neopreno ya que sirve como aislante para evitar así alguna alteración con el exterior.

Figura 55*Válvula de expansión***Figura 56***Instalación completa del sistema de refrigeración****Vacío y presurización del sistema***

Finalmente se procedió a realizar el vacío y la presurización del sistema con el fin de determinar la existencia de posibles fugas. Para realizar el vacío y la presurización se hará uso de una bomba de vacío, un juego de manómetros y un tanque de nitrógeno. Los pasos que se realizaron fueron los siguientes:

- Conectar el juego de manómetros con la bomba y el compresor
- Encienda la bomba de vacío para que los gases no gases que se encuentran dentro sean extraídos por la diferencia de presión. Conforme la presión baja la temperatura de

evaporación del agua también disminuye y al ser inferior a la temperatura ambiente se evapora y sale del sistema.

- Una vez que no exista presencia de gases se apaga la bomba y se desconectan las mangueras de la bomba y se conectan hacia el tanque de nitrógeno para comenzar la presurización.
- Se carga el nitrógeno dentro del sistema, una vez que este cargado esperamos un tiempo para verificar si hay fugas. En el caso de existir pérdidas la presión en el manómetro comenzara a bajar.
- El proceso de vacío y presurización debe repetirse 3 veces donde el vacío tenga una duración de 30 minutos y la presurización 45 como mínimo.

Pruebas de funcionamiento

Una vez cargado el refrigerante en el sistema se procedió a cargar el agua en el tanque donde se puso en marcha el equipo configurándolo para que llegué a una temperatura de 2.7 °C. En el transcurso de 35 minutos la temperatura bajo de 11°C (temperatura ambiente) hasta 2.7 °C.

Figura 57

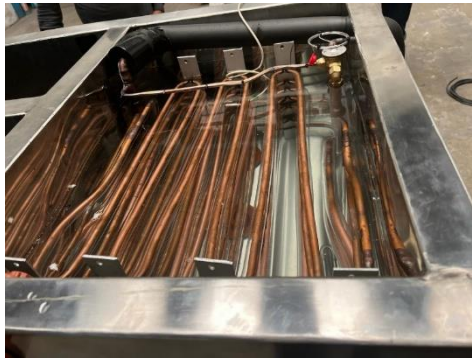
Tablero del sistema de refrigeración



En la figura 43 se puede observar como el refrigerante que circula por el evaporador ha creado una capa de hielo alrededor de la tubería de cobre.

Figura 58

Pruebas del evaporador



Se verifico en el manómetro la presión del refrigerante en el caso de posibles fugas, pero los valores se encontraban estables.

Figura 59

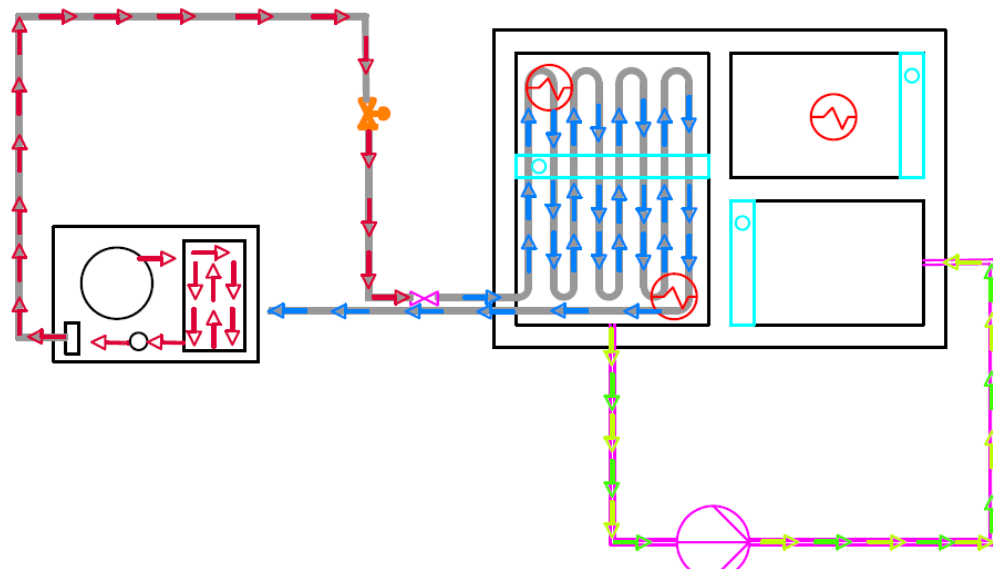
Presiones del sistema de refrigeración



A continuación, se muestra el diagrama P&ID del sistema de la máquina.

Figura 60

Diagrama P&ID del sistema de refrigeración



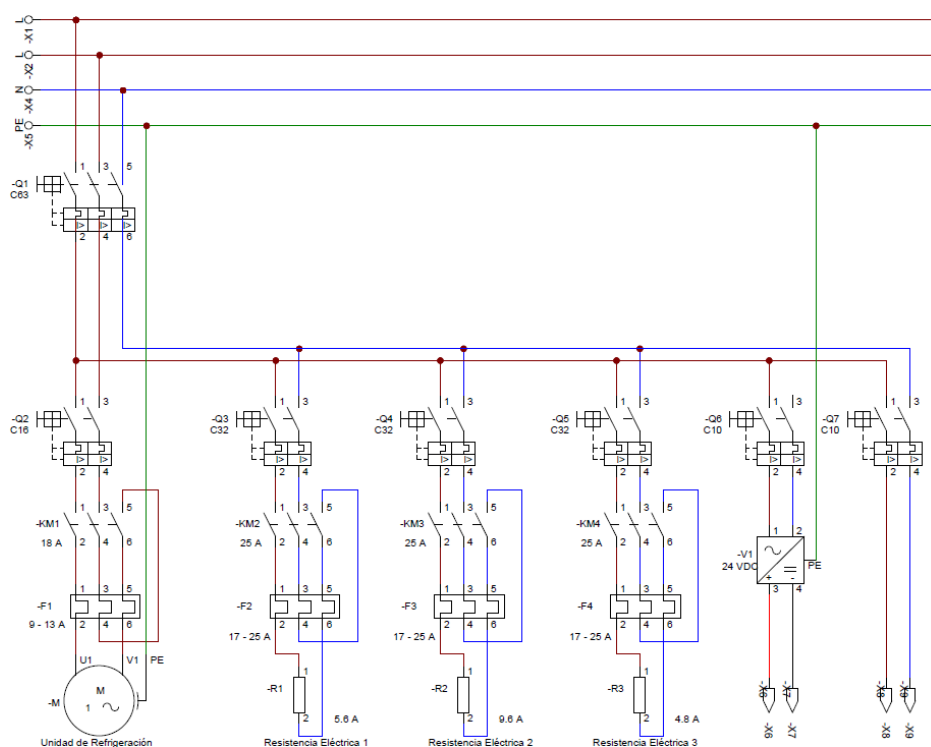
Capítulo IV: Diseño e implementación del sistema de adquisición de datos

Diseño del sistema de adquisición de datos

Los componentes eléctricos del equipo se dividen en dos partes, en el primer gráfico se muestra el diagrama de potencia donde se muestran las conexiones de todos los actuadores, es decir en este caso los motores, bombas, resistencias, etc, además de la alimentación del equipo.

Figura 61

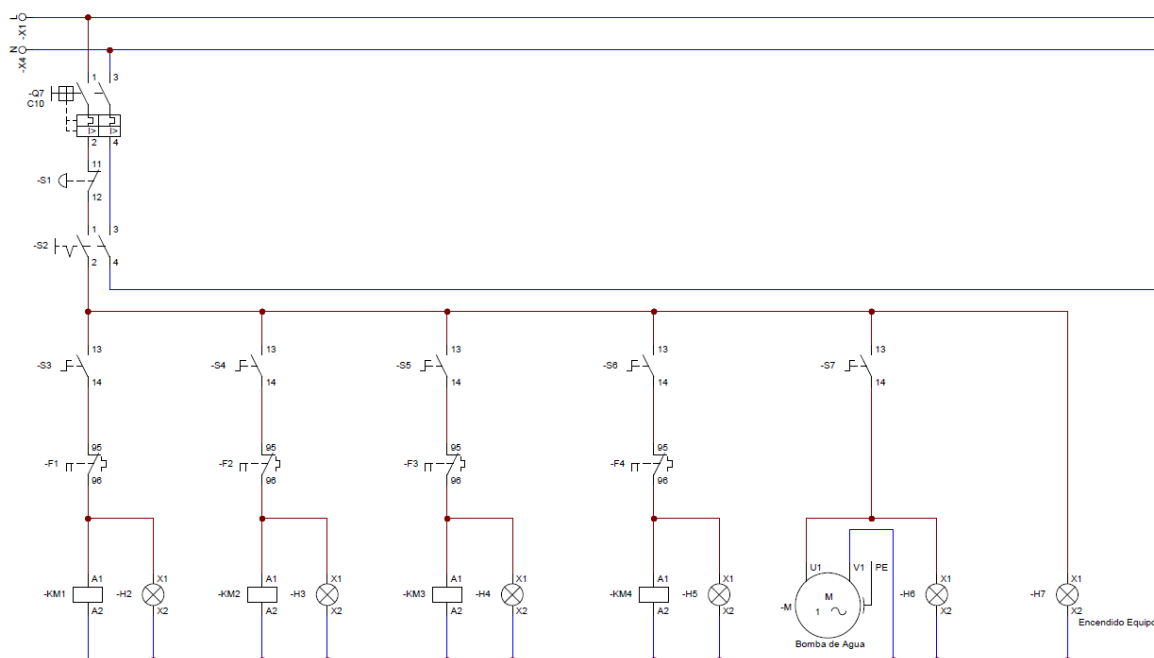
Diagrama de potencia



Segundo tenemos el diagrama de mando donde se encuentran únicamente los interruptores de paros de emergencia y pilotos de todo el equipo, es decir todo lo sé qué se va a controlar en el equipo y sus actuadores.

Figura 62

Diagrama de mando



Selección de Instrumentación

La información recopilada por los sensores que detectan fenómenos físicos o eléctricos necesita ser preparada para su procesamiento por parte del controlador y su presentación en una interfaz de usuario gráfica (HMI). En este caso contamos con una variable que es la temperatura.

En la tabla 6 se muestran el número de sensores necesarios para el diseño de adquisición de datos.

Tabla 6

Número de sensores

VARIABLES	CANTIDAD
Temperatura	12
Total	12

Selección del controlador

Para poder seleccionar de manera adecuada el controlador para el sistema de adquisición de datos, se debe considerar las siguientes variables:

- Número de entradas analógicas (12 entradas analógicas)
- Voltaje de alimentación (5-24 V DC)
- Costo
- Facilidad de instalación
- Disponibilidad en el mercado

Los controladores son dispositivos esenciales en la automatización industrial. En base a las características establecidas se pudo determinar tres tipos de controladores que se pueden utilizar en el sistema:

- Arduino Uno: tiene 6 entradas analógicas (pines A0 a A5) que pueden leer valores de 0 a 5 voltios con una resolución de 1024 (10 bits)
- SM 1231 de Siemens: 12 entradas analógicas y es compatible con un voltaje de alimentación 5 – 24V DC
- PLC modular DVP20S: dispone de 4 entradas analógicas y 8 digitales, añadiendo tres módulos de 6 entradas digitales de temperatura.

Se usará una tabla donde se desglosarán las características esenciales para poder tomar una decisión del mejor controlador.

Tabla 7

Tabla de decisión para la selección del controlador

Parámetro	Escala (0-10)	Ponderación 100%	Arduino UNO	Sm 1231 de Sieme-s	PLC modular DVP20SX2
Núm. entradas analógicas	10	40	8/0.4=3.2	10/0.4=4	9/0.4=3.6
Disponibilidad en el mercado	10	25	7/0.25=1.75	8/0.25=2	8/0.25=2
Tipo de entrada analógica 4-20mA	10	5	7/0.05=0.35	7/0.05=0.3 5	9/0.05=0.4 5
Programación	10	5	8/0.05=0.4	7/0.05=0.3 5	9/0.05=0.4 5
Costo	10	20	10/0.2=2	5/0.2=1	9/0.2=1.8
Facilidad de instalación	10	5	8/0.05=0.4	7/0.05=0.3 5	10/0.05=0. 2
Puntuación total		100	8.1	7.9	8.4

Se considero ciertos requisitos que se debían cumplir para que el controlador sea el más adecuado, posteriormente a una investigación de mercado se seleccionó el PLC modular DVP análogo versión.

El voltaje de alimentación del PLC es de 24V DC, uno de los más utilizados en el campo industrial, el costo de este implemento fue de \$364. Este PLC cuenta con protección IP65 ideal para cualquier tipo de trabajo industrial y su facilidad de instalación es uno de sus grandes beneficios. El lenguaje de programación para este PLC es Ladder, por medio de diagramas de bloques o diagramas de funciones secuenciales.

Selección de los sensores de temperatura figuras geométricas

Para la selección de los sensores de temperatura se determinó los rangos los cuales estos van a trabajar para según eso poder realizar una investigación de mercado y seleccionar el mejor sensor en referente a calidad y precio.

Tabla 8

Tabla de decisión para el sensor de temperatura figuras geométricas

Parámetros	Escala 0-10	Ponderación %	Equipo		
			Tipo K	Tipo J	Tipo T
Precisión	10	50	$10 \cdot 0,5 = 5$	$5 \cdot 0,5 = 2,5$	$3 \cdot 0,5 = 1,5$
Rango de Temperatura	10	30	$7 \cdot 0,3 = 2,1$	$5 \cdot 0,3 = 1,5$	$9 \cdot 0,3 = 2,7$
Disponibilidad en el Mercado	10	20	$10 \cdot 0,2 = 2$	$8 \cdot 0,2 = 1,6$	$6 \cdot 0,2 = 1,2$
Puntuación total		100	9,1	5,6	5,4

Para este caso se seleccionó la termocupla tipo k dado que se ajustaba más a las especificaciones de diseño y según los parámetros de evaluación era la más adecuada para nuestro sistema.

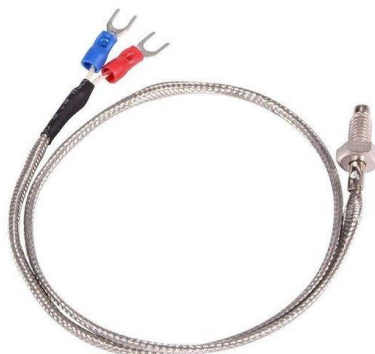
Tabla 9

Características de la termocupla tipo K

Característica	Descripción
Voltaje de alimentación	24 VDC
Rango de temperatura	0 a 600 °C
Tipo de sensor	Tipo K
material de sonda	

Figura 63

Termocupla tipo K



Selección de los sensores de temperatura

Para la selección de los sensores cuya función será la toma de temperatura de los tanques de agua fría y el tanque de agua caliente, debe tomarse en cuenta los rangos de temperatura los cuales va a trabajar. Además, algunas características que debe cumplir para la selección de este sensor, se detalla los puntos a tomar en cuenta:

- Voltaje de alimentación de 24V
- Disponibilidad en mercado, costo
- Longitud de sonda
- Transmisor (4 – 20 mA)

Para poder seleccionar el sensor más adecuado se realizó una tabla de decisión comparando con tres sensores más.

Tabla 10

Tabla de decisión para la selección de sensores

Parámetros	Escala 0-10	Ponderación %	Equipo		
			PT100	PT500	PT1000
Costo	10	40	$10 \cdot 0,4 = 4$	$5 \cdot 0,4 = 2$	$3 \cdot 0,4 = 1,2$
Precisión	10	30	$3 \cdot 0,3 = 0,9$	$5 \cdot 0,3 = 1,5$	$10 \cdot 0,3 = 3$
Disponibilidad en el Mercado	10	20	$10 \cdot 0,2 = 2$	$5 \cdot 0,2 = 1$	$3 \cdot 0,2 = 0,6$
Rango de Temperatura	10	10	$10 \cdot 0,1 = 1$	$10 \cdot 0,1 = 1$	$5 \cdot 0,1 = 0,5$
Ponderación Total		100	7,9	5,5	5,3

El sensor PT100 cumplía con todas las características necesarias para nuestro sistema, donde se evaluó costo y señal de transmisión, además tiene una rosca M8 para mayor facilidad de instalación.

Figura 64*Sensor de temperatura PT100***Tabla 11***Características del PT100*

Característica	Descripción
Voltaje de alimentación	24 VDC
Rango de temperatura	-50 a 150 °C
Salida	4 – 20 mA
Modelo	HDT500
Tipo de sensor	PT100
material de sonda	Acero inox 306L
Rango de precisión	0.2 °C
Nivel de protección	IP65

Diseño del sistema de adquisición de datos

La estructura base o cajetín para el tablero eléctrico es de tamaño 60x40x20 donde se montará las conexiones eléctricas, electrónicas y la HMI.

Figura 65

Gabinete de HMI, pilotos, paro de emergencia y selectores

**Diseño del sistema eléctrico**

En esta sección se detallará todos los elementos eléctricos que se utilizaron para el sistema de adquisición de datos.

Dimensionamiento de la fuente y protección del sistema

Identificación de Actuadores

Para poder realizar el dimensionamiento primero se identificó de actuadores que se utilizaran en las siguientes tablas

Tabla 12

Datos compresor Sist. de refrigeración

Característica	Especificación
Voltaje Nominal	208-220V
Frecuencia	60 Hz
Amperaje de carga Nominal (RLA)	7.5 A
Refrigerante	R404a

Tabla 13*Datos resistencia eléctrica 1*

Característica	Especificación
Potencia	2KW
Voltaje Nominal	127 v
Corriente Nominal	15.75 A

Tabla 14*Datos resistencia eléctrica 2*

Característica	Especificación
Potencia	2KW
Voltaje Nominal	127 v
Corriente Nominal	15.75 A

Tabla 15*Datos resistencia eléctrica 3*

Característica	Especificación
Potencia	2KW
Voltaje Nominal	127 v
Corriente Nominal	15.75 A

Tabla 16*Datos bomba de agua*

Característica	Especificación
Potencia	35 w
Voltaje Nominal	110 v
Corriente Nominal	0.32 A

Identificación del Sistema de refrigeración

Para el sistema de refrigeración se toma los datos de la corriente y al ser una carga continúa dado que funciona por más de 3 horas se considera:

$$I_{carga} = 0.32 A$$

$$I_{conductor} \geq 1.25 I_{carga}$$

$$I_{termomagnético} \geq 1.25 I_{carga}$$

Cálculo del conductor sin factores de corrección:

$$I_{conductor} = 1.25 I_{carga}$$

$$I_{conductor} = 1.25(7.5 A)$$

$$I_{conductor} = 9.375 A$$

Cálculo del conductor con factores de corrección:

- Factor de corrección de temperatura: Considerando una temperatura promedio en un rango de 26 – 30°C y un ambiente seco y húmedo

$$F_t = 1$$

- Factor de Ajuste: Al encontrarse 8 conductores en la misma tubería. Se encuentra en el rango de 7 – 9 conductores.

$$F_a = 70\%$$

$$I_{carga-f} = \frac{I_{carga}}{(F_t \times F_a)}$$

$$I_{carga-f} = \frac{7.5}{(1 \times 0.7)}$$

$$I_{carga-f} = 10.72 A$$

Al tenerse $I_{carga-f} > I_{carga}$

Se considera la corriente de la carga de 10.72 A al ser la mayor.

∴ El conductor seleccionado según la I_{carga} es un AWG 18 THHN

Selección del Interruptor Termomagnético: al tenerse el conductor seleccionado a un AWG 18 THHN que soporta 14 A

∴ El termomagnético seleccionado según la I_{carga} es de 16 A

Selección del Contactor: al tenerse la corriente nominal $I_{carga} = 10.72 A$. Se selecciona el contactor con un valor inmediato superior al valor de I_{carga} el cual es 12 A

Selección del Relé Térmico: al tenerse la corriente nominal $I_{carga} = 10.72 A$. Se selecciona un relé térmico que posea el valor de la I_{carga} en su rango de trabajo, el cual es: 9 – 13 A.

Identificación resistencia Eléctricas

Para el sistema de refrigeración se toma los datos de la corriente y al ser una carga continúa dado que funciona por más de 3 horas se considera:

$$I_{carga} = 15.75 A$$

$$I_{conductor} \geq 1.25 I_{carga}$$

$$I_{termomagnético} \geq 1.25 I_{carga}$$

Cálculo del conductor sin factores de corrección:

$$I_{conductor} = 1.25 I_{carga}$$

$$I_{conductor} = 1.25(15.75 A)$$

$$I_{conductor} = 19.7 A$$

Cálculo del conductor con factores de corrección:

- Factor de Corrección de Temperatura: Considerando una temperatura promedio en un rango de 26 – 30 °C y un ambiente seco y húmedo.

$$F_t = 1$$

- Factor de Ajuste: Al encontrarse 8 conductores en la misma tubería. Se encuentra en el rango de 7 – 9 conductores.

$$F_a = 70\%$$

$$I_{carga-f} = \frac{I_{carga}}{(F_t \times F_a)}$$

$$I_{carga-f} = \frac{15.75}{(1 \times 0.7)}$$

$$I_{carga-f} = 22.5 \text{ A}$$

Al tenerse $I_{carga-f} > I_{carga}$

Se considera la corriente de la carga de 22.5 A al ser la mayor.

∴ El conductor seleccionado según la I_{carga} es un AWG 14 THHN

Selección del Termomagnético: Al tenerse el conductor seleccionado a un AWG 14 THHN que soporta 25 A

∴ El termomagnético seleccionado según la I_{carga} es de 25 A

Selección del Contactor: Al tenerse la corriente nominal $I_{carga} = 22.5 \text{ A}$. Se selecciona el contactor con un valor inmediato superior al valor de I_{carga} el cual es 25 A

Selección del Relé Térmico: Al tenerse la corriente nominal $I_{carga} = 22.5 \text{ A}$. Se selecciona un relé térmico que posea el valor de la I_{carga} en su rango de trabajo, el cual es: 17 – 25 A.

Identificación de la bomba de agua

Al ser una carga continua (funciona por más de 3 horas) se considera:

$$I_{carga} = 0.32 \text{ A}$$

$$I_{conductor} \geq 1.25 I_{carga}$$

$$I_{termomagnético} \geq 1.25 I_{carga}$$

Cálculo del conductor sin factores de corrección:

$$I_{conductor} = 1.25 I_{carga}$$

$$I_{conductor} = 1.25(0.32 \text{ A})$$

$$I_{conductor} = 0.4 \text{ A}$$

Cálculo del conductor con factores de corrección:

- Factor de Corrección de Temperatura: Considerando una temperatura promedio en un rango de 26 – 30 °C y un ambiente seco y húmedo.

$$F_t = 1$$

- Factor de Ajuste: Al encontrarse 8 conductores en la misma tubería. Se encuentra en el rango de 7 – 9 conductores.

$$F_a = 70\%$$

$$I_{carga-f} = \frac{I_{carga}}{(F_t \times F_a)}$$

$$I_{carga-f} = \frac{0.4}{(1 \times 0.7)}$$

$$I_{carga-f} = 0.6 A$$

Al tenerse $I_{carga-f} > I_{carga}$

Se considera la corriente de la carga de 0.6 A al ser la mayor.

∴ El conductor seleccionado según la I_{carga} es un AWG 18 SPT

Selección del Termomagnético: Al tenerse el conductor seleccionado a un AWG 18 THHN que soporta 10 A

∴ El termomagnético seleccionado según la I_{carga} es de 10 A

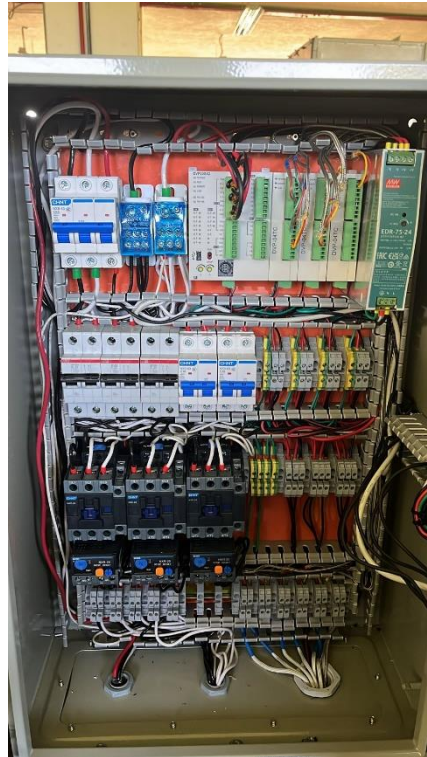
Instalación

Implementación del sistema de adquisición de datos

Inicialmente colocamos las canaletas por donde irá el cableado eléctrico y después el riel DIN donde se colocará todos los accesorios eléctricos y electrónicos. Se tomo en cuenta que para la distribución los elementos deben estar organizados de forma ordenada y de fácil ventilación como se muestra en la siguiente figura.

Figura 66

Distribución de los elementos en el tablero



Se dispuso una distribución de 4 filas sobre la placa de doble fondo de color naranja, en la primera fila de izquierda a derecha encontramos:

- Interruptor termomagnético
- Repartidor de carga
- PLC (módulo principal)
- Módulos de expansión
- Fuente de alimentación

Segunda fila

- Breaker de las resistencias de 32A
- Breaker 10^a X2 (Fuente DC, Mando)
- Borneras de alimentación

Tercera fila

- Contactores resistencias
- Relé térmico
- Borneras tierras
- Borneros sensores

Cuarta fila

- Borneras conexiones actuadores
- Borneras Termocuplas

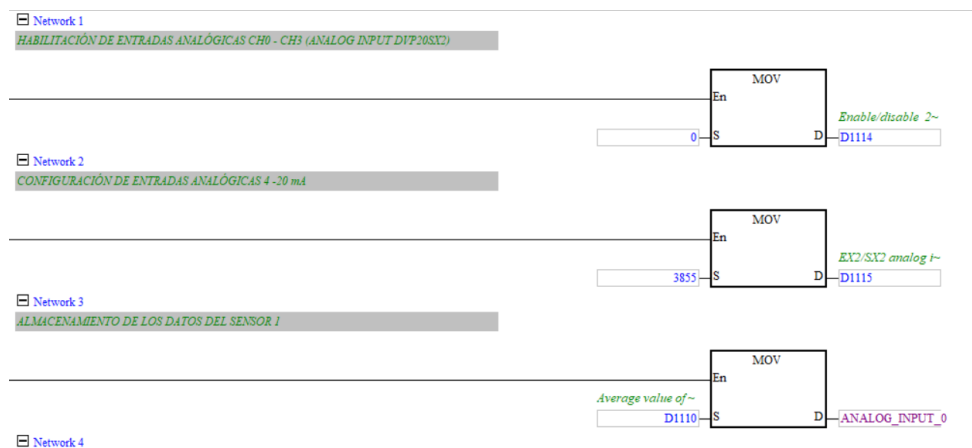
Programación del PLC

La programación del PLC se realizó mediante un software libre ISPsoft 3.17, cuyo uso es especial para este tipo de PLC. El lenguaje de programación que utiliza es Ladder.

Adquisición de datos de los sensores: Todos los sensores que fueron utilizados son de 4 a 20 mA, por lo que las entradas analógicas deben estar configuradas para aceptar este rango de corriente. A continuación, se presentará la programación del sensor 1 donde se configura su entrada analógica, se almacena los datos del sensor 1 en una señal analógica, posteriormente se convierte de entero a flotante y se almacena en el escalamiento del sensor.

Figura 67

Programación del módulo principal y del sensor 1



El primero módulo de expansión se conectara a los X sensores, en el segundo X sensores y en el tercero X sensores, los cuales se configuraron de la misma forma que con el módulo principal.

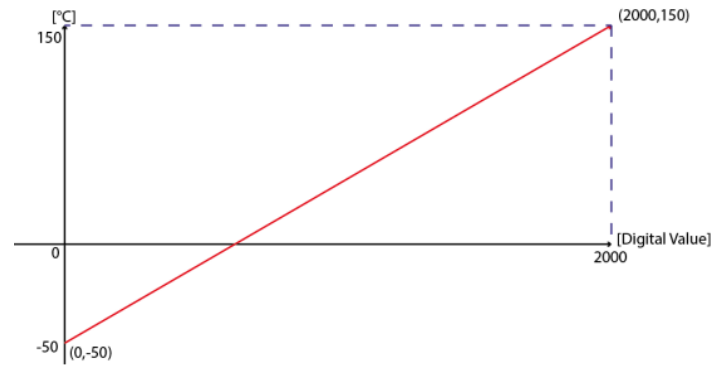
Acondicionamiento de los sensores

Para que la lectura de los lectores sea la adecuada se debe realizar un escalamiento, teniendo en cuenta que el escalamiento es diferente para cada módulo. En este caso para el PLC seleccionado se recomienda utilizar entradas analógicas de 4 a 20 mA, el rango de conversión digital para el módulo principal es de 0 a 2000 bits mientras que para los módulos de expansión es de 0 a 4000 bits.

Para mostrar un ejemplo, se tomará en cuenta el sensor de temperatura T1 con su rango de medida -50 a 150.

Figura 68

Linealización de sensor de temperatura T1



$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{y - (-50)}{150 - (-50)} = \frac{x - 0}{2000 - 0}$$

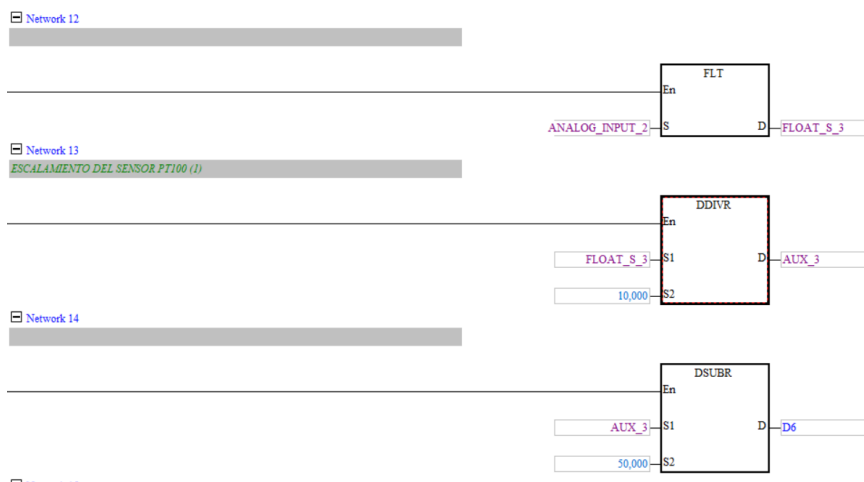
$$\frac{y + 50}{200} = \frac{x}{2000}$$

$$y = \frac{x}{10} - 50$$

Una vez realizado el paso de arriba, se debe obtener los datos en enteros, por lo que con la instrucción FLT podemos obtener los valores decimales. Se añaden los valores de linealización de cada sensor en la instrucción DDIVR, para en ejemplo del primer sensor sería:

Figura 69

Introducción de ecuaciones de linealización en el programa

**Figura 70**

Configuración de la comunicación entre PLC y HMI

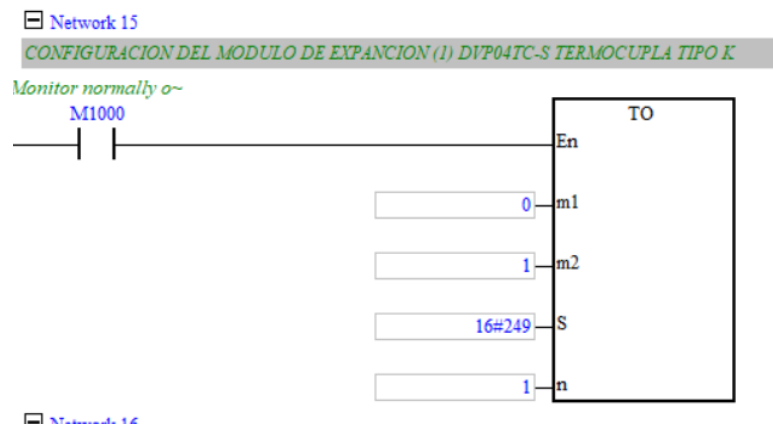
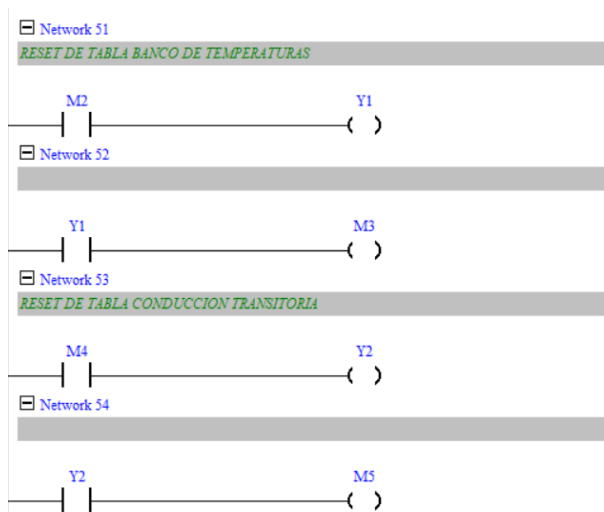


Figura 71**Configuración tablas HMI****Diseño de la interfaz HMI**

El HMI que se utilizó es el Kinco GL070E el cual se maneja con su propio software libre llamado Kinco Dtools. Para la configuración de la comunicación Ethernet PLC – HMI se verificó las direcciones IP de ambos dispositivos se encuentren en el mismo segmento de red como se observa en la siguiente figura.

Figura 72**Configuración de las direcciones IP**

The screenshot shows the 'HMI Attribute' configuration window. It has a menu bar with options: HMI System Information Text, Security Levels Setting, User Permissions Setting, Historical Events Storage, Print Setting, Internet Time Synchronization/summer time, Mail, COM0 Setting, COM2 Setting, Extended Memory, HMI, Task Bar, HMI License Setting, and HMI Extended Attributes. The main content area is divided into several sections:

- Network Setting:** Includes a checkbox for 'Enable FTP Password' (set to 888888) and buttons for 'Network Device Setting', 'Data Transmission Setting', and 'System Param Setting'. There is also a checkbox for 'Multi route cross network segment'.
- Network 0 Setting:** IP: 192.168.0.253, Subnet Mask: 255.255.255.0, Default Gateway: 192.168.0.1, DNS1: 0.0.0.0, DNS2: 0.0.0.0. Includes a checkbox for 'Enable DHCP(Slave is not recommended to enable)'.
- Network 1 Setting:** IP: 192.168.1.253, Subnet Mask: 255.255.255.0, Default Gateway: 192.168.0.1, DNS1: 0.0.0.0, DNS2: 0.0.0.0. Includes a checkbox for 'Enable DHCP(Slave is not recommended to enable)'.
- Wi-Fi Setting:** IP: 192.168.2.253, Subnet Mask: 255.255.255.0, Default Gateway: 192.168.0.1, DNS1: 0.0.0.0, DNS2: 0.0.0.0. Includes a checked checkbox for 'Enable DHCP(Slave is not recommended to enable)'.
- Display Setting:** 'Display mode' is set to 'Horizontal'. Includes a 'Field Bus Setting' button.
- Save Screenshot to The Extended Memory:** Includes radio buttons for 'USB1' and 'HMI'.
- VNC:** Includes checkboxes for 'Use operation password' (888888) and 'Use monitoring password' (888888), and an 'Open multi-client' checkbox.
- Description:** An empty text input field.

Buttons at the bottom: OK, Cancel, Help.

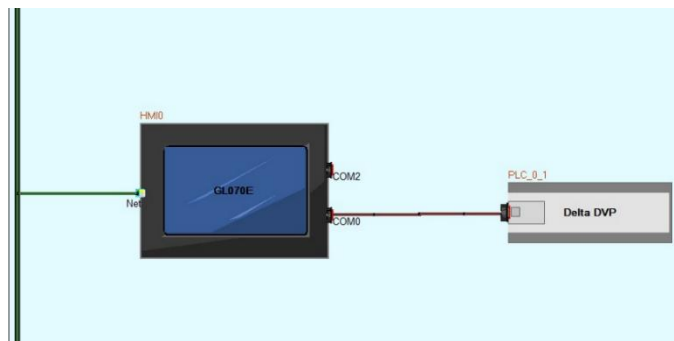
The screenshot shows the 'PLC Attribute' configuration window. It has a menu bar with 'PLC'. The main content area includes:

- Station No.:** A text input field containing the number '1'.
- Network Ports Setting:** IP: 192.168.0.2, Port: 502. Includes an 'advanced settings' button.

Para que las señales IP sean conectadas al HMI al PC para programar correctamente.

Figura 73

Red de comunicación PLC – HMI



Configuración de la pantalla

Una vez hecha la configuración, se continua con el diseño de la interfaz hombre – máquina basándose en los lineamientos de la norma ISA 101.01-2015.

Figura 74

Pantalla de inicio HMI



En la pantalla principal se muestra el nombre del equipo "Conducción transitoria y Banco de temperaturas", el sello de la universidad en la parte central, los nombres de los alumnos que realizaron el proyecto en las esquinas inferiores y en la parte superior izquierda tenemos el botón de los procesos.

Pruebas de funcionamiento y puesta a punto

Para poder realizar las pruebas de funcionamiento se cargó el sistema nuevamente donde se realizó la toma de tiempo que tarda cada proceso que se evidencia en la siguiente tabla.

Figura 79

Tiempos

Tiempo (min)	Descripción
6	Carga de agua tanque A
6	Carga de agua tanque B
60	Enfriamiento del tanque A
70	Calentamiento del tanque B

Capítulo V: Implementación de Banco de temperaturas

Resultados de las pruebas

Resultados toma de datos figuras geométricas

A continuación de muestra la prueba de funcionamiento del banco de temperaturas donde sus temperaturas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 17

Tabla de datos acero

Cilindro				Cubo				Esfera			
Subida		Bajada		Subida		Bajada		Subida		Bajada	
Tiempo (s)	Temperatura	Tiempo (s)	Temperatura	Tiempo (s)	Temperatura	Tiempo (s)	Temperatura	Tiempo (s)	Temperatura	Tiempo (s)	Temperatura
0	27	34	50	0	25,4	0	50,2	0	26,2	0	50,4
14	32,2	48	45	13	29,7	3	45	12	30,5	4	45
28	37	61,8	40,1	18	35,2	7	40	15	34,6	11	40,2
47	42	72	35,2	23	40,6	12	35,2	20	40,3	27	35,1
65,6	47,1	85,8	29,9	30	45,5	22	30,2	27	45,6	50	29,9
119	50	127,2	25	36	50,1	36	24,9	36	50,2	79	25,1

Tabla 18

Tabla de datos aluminio

Cilindro				Cubo				Esfera			
Subida		Bajada		Subida		Bajada		Subida		Bajada	
Tiempo (s)	Temperatura	Tiempo (s)	Temperatura	Tiempo (s)	Temperatura	Tiempo (s)	Temperatura	Tiempo (s)	Temperatura	Tiempo (s)	Temperatura
0	25,1	12	50,2	0	26,3	0	50	0	256	0	50,1
4	29,5	20	44,8	11	30,5	2	45,8	5	30	3	44,8
8	35,1	27	39,8	15	35,8	6	39,7	9	35	7	39,6
14	39,8	36	34,9	17	40,1	10	34,9	12	40,9	12	35,2
20	45,2	47	29,9	21	46	16	30	16	45,9	23	30,1
32	50,2	61,2	24,9	25	50,4	27	25	21	50,6	41	25

Tabla 19*Tabla de datos bronce*

Cilindro				Cubo				Esfera			
Subida		Bajada		Subida		Bajada		Subida		Bajada	
Tiempo(s)	Temperatura	Tiempo(s)	Temperatura	Tiempo(s)	Temperatura	Tiempo(s)	Temperatura	Tiempo(s)	Temperatura	Tiempo(s)	Temperatura
0	25	18	50	0	28,2	0	50	0	24,5	0	50,3
7	30,2	25	45,2	4	29,9	3	44,1	8	30,4	4	45,4
13	35,4	35	39,7	9	35,3	6	40,5	11	35,8	7	39,7
19	40,1	47	35,2	13	41	11	35,4	14	39,6	11	35,3
28	45,2	61,8	29,9	18	44,6	22	29,8	19	45,5	20	30,1
41	50,1	73,8	25,1	20	50	40	25,1	26	49,9	42	25,1

Resultados de datos banco de temperaturas

Para el banco de temperaturas se procedió a introducir la termocupla y los termómetros en el seno del líquido, donde se agita el agua y se toma la temperatura ambiente. Para esta prueba se tomó el termómetro de mercurio como el patrón de referencia. Luego se empieza en enciende el equipo y se procede a la toma de datos que se evidencian en la siguiente tabla.

Tabla 20

Tabla de resultados banco de temperaturas

	Tiempo	Mercurio	PT100 °C	Termómetro de carátula	Termómetro Bimetálico Digital	Termocupla tipo K
Calentamiento 1	1	25	24,8	20	24,6	25,4
Calentamiento 2	2	30	29,6	24	29,6	31,3
Calentamiento 3	3	35	34,7	30	34,8	38,8
Calentamiento 4	4	40	39,8	35	40,3	45,4
Calentamiento 5	5	45	44,6	40	45,4	51,6
Calentamiento 6	6	50	49,7	45	49,6	57,6
Calentamiento 7	7	55	54,3	50	54,5	64
Calentamiento 8	8	60	59,7	55	60,4	70,4
Calentamiento 9	9	65	64,7	60	64,6	76,4
Enfriamiento 1	1	60	60	57	60,9	70,6
Enfriamiento 2	2	55	54,5	50	54,7	63,7
Enfriamiento 3	3	50	48,9	45	48,7	55,1
Enfriamiento 4	4	45	45,3	39	44,8	48,7
Enfriamiento 5	5	40	39,7	36	39,7	43
Enfriamiento 6	6	35	34,8	30	35	37,7
Enfriamiento 7	7	30	29,7	25	30,5	30,8
Enfriamiento 8	8	25	24,9	20	24,7	24,7
Enfriamiento 9	9	20	19,6	14	19,5	17,7

Adquisición y procesamiento de datos

Una vez tomado los datos para ambas prácticas se procedió a realizar los cálculos dependiendo de cada proceso.

Cálculos, Resultados y Gráficos Figuras Geométricas

Tomando en consideración que los cálculos para cada material son los mismos, se realizó los cálculos para el acero y en los anexos se encontrará las tablas de los resultados para el caso del aluminio y bronce.

Esfera. Primero se determinó el k para el acero.

Número de Biot

$$Bi = \frac{hL_c}{k}$$

Número de Fourier

$$Fo = \frac{\alpha t}{L_c^2}$$

Coefficiente de difusividad térmica

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

Partiendo de la ecuación 5.6 de Incropera:

$$\frac{\theta_i}{\theta} = \frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty} = e^{-\frac{h}{\rho L_c} t}$$

$$\frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty} = e^{-\frac{ht}{\rho C_p L_c}}$$

$$\ln\left(\frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty}\right) = -\frac{ht}{\rho C_p L_c}$$

Despejamos el coeficiente de conectividad:

$$h = \frac{\rho C_p L_c}{t} \ln\left(\frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty}\right)$$

$$h = \frac{\rho C_p L_c}{t} \ln\left(\frac{1}{\theta^*}\right)$$

La longitud característica de las figuras es:

$$L_{c \text{ esfera}} = \frac{r_o}{3}$$

$$L_{c \text{ cubo}} = L$$

$$L_{c \text{ cilindro}} = \frac{r_o}{2}$$

Propiedades de los materiales:

Figura 80

Propiedades de los materiales

TABLA A.1 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados*

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)									
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134 216	94.0 384	69.5 490	54.7 574	43.3 680	32.8 975	28.3 609	32.1 654		
Acero al carbón Carbón ordinario (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7 487	48.0 559	39.2 685	30.0 1169				
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			58.7 487	48.8 559	39.2 685	31.3 1168				
Carbón-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			49.8 501	44.0 582	37.4 699	29.3 971				
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1090				

TABLA A.1 Continuación

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)									
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Aluminio puro	933	2702	903	237	97.1	302 183	237 208	240 140	231 1033	218 1146					
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65 473	163 787	186 925	186 1042						
Aleación 195, vaciado (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2			174	185						
Arco (99.75% puro)		7870	447	72.7	20.7	95.6 215	80.6 384	65.7 490	53.1 574	42.2 680	32.3 975	28.7 609	31.4 654		
Berilio	1550	1850	1825	200	59.2	990 203	301 1114	161 2191	126 2604	106 2823	90.8 3018	78.7 3227	3519		
Bismuto	545	9780	122	7.86	6.59	16.5 112	9.69 120	7.04 127							
Boro	2573	2500	1107	27.0	9.76	190 128	55.5 600	16.8 1463	10.6 1892	9.60 2160	9.85 2338				
Cadmio	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7							
Cinc	693	7140	389	116	41.8	117 297	118 367	111 402	103 436						
Circonio	2125	6570	278	22.7	12.4	33.2 205	25.2 264	21.6 300	20.7 322	21.6 342	23.7 362	26.0 344	28.8 344	33.0 344	
Cromo	2118	7160	449	93.7	29.1	159 192	111 384	90.9 484	80.7 542	71.3 581	65.4 616	61.9 682	57.2 779	49.4 937	
Cobalto	1769	8862	421	99.2	26.6	167 236	122 379	85.4 450	67.4 503	58.2 550	52.1 628	49.3 733	42.5 674		
Cobre puro	1358	8933	385	401	117	482 282	413 356	393 397	379 417	366 433	352 451	339 480			
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14			42 785	52 460	59 545					

Se usará como ejemplo la esfera de acero para los cálculos:

$$h = \frac{\rho C_p L_c}{t} \ln \left(\frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty} \right)$$

$$T_m = \frac{(57 + 2.5)^\circ\text{C}}{2} + 273 = 303^\circ\text{K}$$

$$\rho = 7854 \text{ Kg/m}^3$$

$$Cp_{a 300^\circ\text{K}} = 434 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right]$$

$$Cp_{a 400^\circ\text{K}} = 487 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right]$$

$$\alpha = 17.7 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$Cp = \frac{(T - T_{300})}{(T_{400} - T_{300})} (Cp_{a 400^\circ\text{K}} - Cp_{a 300^\circ\text{K}}) + Cp_{a 300^\circ\text{K}}$$

$$Cp = \frac{(303 - 300)}{(400 - 300)} (487 - 434) + 434 = 435.59 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \right]$$

$$h_1 = \frac{7854 \cdot 435.59 \cdot 0.00833}{12} \ln \left(\frac{26.2 - 57}{30.5 - 57} \right) = 357.25 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

$$h_{prom ascenso} = \frac{h_1 + \dots + h_6}{6} = 816.16 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

Tabla 21

Determinación coeficiente de convección para la esfera de acero

Temp [°C]	Tiempo descenso[s]	Temp [K]	θ/θ_i	h [W/m ² °K]	h _{prom}
26,2	0	299,2			[W/m ² °K]
30,5	12	303,5	1,162	357,25	
34,6	15	307,6	1,375	605,26	
40,3	20	313,3	1,844	872,54	816,16
45,6	27	318,6	2,702	1049,46	
50,2	36	323,2	4,529	1196,28	

Temp [°C]	Tiempo descenso[s]	Temp [K]	θ/θ_i	h [W/m ² °K]	h _{prom}
50,4	0	323,4			[W/m ² °K]
45	4	318	1,127	852,51	
40,2	11	313,2	1,271	620,61	
35,1	27	308,1	1,469	406,31	493,80
29,9	50	302,9	1,748	318,49	
25,1	79	298,1	2,119	271,08	

En ascenso: $\theta_0 = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty}$

$$\theta_0 = \frac{50.2 - 60}{25.1 - 60} = 0.143$$

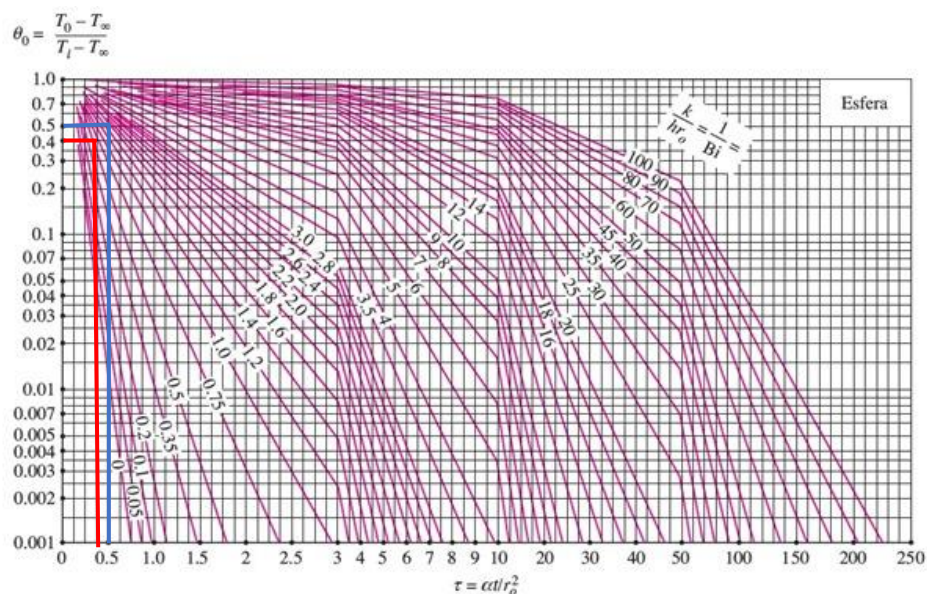
$$\tau = \frac{\alpha t}{r_o^2}$$

$$\tau = \frac{17.7 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right] \cdot 38.3 [s]}{\left(\frac{0.0508}{2} \right)^2 [m^2]} = 1.05$$

Usando la tabla de Heisler:

Figura 81

Diagrama de Heisler para esferas



$$\frac{1}{Bi} = 0.95$$

$$Bi = 1.066$$

Para obtener la conductividad térmica de ascenso:

$$Bi = \frac{hL_c}{k}$$

$$k_{ascenso} = \frac{h \cdot r_0}{Bi}$$

$$k_{ascenso} = \frac{816.16 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \cdot \left(\frac{0.5}{2} \right) [m]}{1.066} = 19.3837 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

$$k_{descenso} = \frac{493.80 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \cdot \left(\frac{0.05}{2} \right) [m]}{1.066} = 18.7644 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

La conductividad térmica teórica viene dada por:

$$k_{a \ 300^\circ K} = 60.5 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

$$k_{a \ 400^\circ K} = 56.7 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

$$k = \frac{(T - T_{300})}{(T_{400} - T_{300})} (k_{T_{400}} - k_{T_{300}}) + k_{T_{300}}$$

$$k_{teorico} = \frac{(303 - 300)^{\circ}K}{(400 - 300)^{\circ}K} (56.7 - 60.5) \frac{W}{m^{\circ}K} + 60.5 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

$$k_{teorico} = 60.386 \left[\frac{W}{m^{\circ}K} \right]$$

Cálculo del error:

$$Error_{ase} K_{acero} = \frac{k_{exp} - k_{teórico}}{k_{teórico}} \cdot 100$$

Para el ascenso:

Tabla 22

Determinación coeficiente de convección para la esfera de acero

Temp [°C]	Tiempo ascenso[s]	k	Error %
26,2	0		
30,5	12	62,38	3,30
34,6	15	58	3,95
40,3	20	58,86	2,53
45,6	27	60,36	0,04
50,2	36	62,74	3,90
Promedio			2,74

Para descenso:

Tabla 23

Determinación error descenso esferas de acero

Temp [°C]	Tiempo descenso[s]	k	Error %
50,4	0		
45	4	63,32	4,86
40,2	11	60,74	0,59
35,1	27	60,37	0,03
29,9	50	61,05	1,10
25,1	79	57,52	4,75
Promedio			2,26

Cálculo transferencia de calor:

$$Q_{max} = \rho V C_p (T_i - T_{\infty})$$

Tabla 24

Resultados de la esfera de acero

θ^*	Fo	1/Bi	Bi	k	kprom	Qmax	q
0,86	0,34	1	1	20,4039289		5933,67	494,47
0,73	0,42	0,75	1,33333333	15,3029467		5015,63	1671,88
0,54	0,57	1	1	20,4039289	19,3837324	3739,33	747,87
0,37	0,76	1	1	20,4039289		2552,60	364,66
0,22	1,02	1	1	20,4039289		1522,60	169,18

θ^*	Fo	1/Bi	Bi	k	kprom	Qmax	q
0,89	0,11	1,6	0,625	19,7520586		-9516,26	-2379,07
0,79	0,31	1,4	0,71428571	17,2830513		-8441,48	-1205,93
0,68	0,76	1,6	0,625	19,7520586	18,7644557	-7299,53	-456,22
0,57	1,42	1,4	0,71428571	17,2830513		-6135,19	-266,75
0,47	2,24	1,6	0,625	19,7520586		-5060,41	-174,50

Cilindro. Para el cilindro se realizó el mismo proceso que para las esferas.

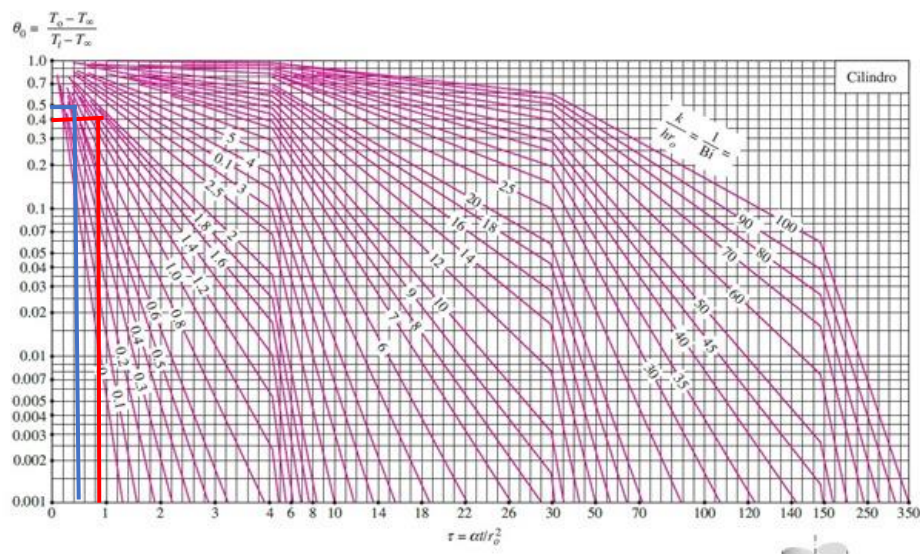
Cuadro de Heiser de placa para el cálculo de Biot.

Figura 82

Diagrama de Heisler para cilindros

Figura 83

Diagrama de Heisler para cilindros

**Tabla 25**

Determinación coeficiente de convección para el cilindro de acero

Temp [°C]	Tiempo ascenso[s]	Temp [K]	θ_i/θ	h [W/m ² °K]	h_{prom}
27	0	300			[W/m ² °K]
32,2	14	305,2	1,21	581,45	
37	28	310	1,50	619,26	
42	47	315	2,00	630,68	615,42
47,1	65,6	320,1	3,03	722,73	
50	119	323	4,29	522,97	
Temp [°C]	Tiempo descenso[s]	Temp [K]	θ_i/θ	h [W/m ² °K]	h_{prom}
50	0	323			[W/m ² °K]
45	14	318	1,12	339,75	
40,1	27,8	313,1	1,26	719,07	
35,2	38	308,2	1,45	840,32	698,65
29,9	51,8	302,9	1,73	908,43	
25	93,2	298	2,11	685,71	

Tabla 26*Determinación error ascenso del cilindro de acero*

Temp [°C]	Tiempo ascenso[s]	k	Error %
27	0		
32,2	14	61,21	1,36
37	28	57,5	4,78
42	47	63,2	4,66
47,1	65,6	61,17	1,30
50	119	59,1	2,13
Promedio			2,85

Tabla 27*Determinación error descenso del cilindro del acero*

Temp [°C]	Tiempo descenso[s]	k	Error %
50	0		
45	14	59,64	1,24
40,1	27,8	60,75	0,60
35,2	38	57,58	4,65
29,9	51,8	61,49	1,83
25	93,2	60,21	0,29
Promedio			1,72

Tabla 28*Resultados del cilindro del acero*

θ^*	Fo	1/Bi	Bi	k	kprom	Qmax	q
0,83	0,40	1,00	1,00	17,85		28478,25	2034,16
0,67	0,79	1,00	1,00	17,85		23561,14	1682,94
0,50	1,33	0,50	2,00	8,92	13,21	18439,16	970,48
0,33	1,86	0,60	1,67	10,71		13214,73	710,47
0,23	3,37	0,60	1,67	10,71		10243,98	191,83
θ^*	Fo	1/Bi	Bi	k	kprom	Qmax	q
0,89	0,40	0,20	5,00	4,05		-22536,75	-1609,77
0,79	0,79	0,50	2,00	10,13		-17517,20	-1269,36
0,69	1,08	0,60	1,67	12,16	13,37	-12497,65	-1225,26
0,58	1,47	0,80	1,25	16,21		-7068,34	-512,20
0,47	2,64	1,20	0,83	24,31		-2048,80	-49,49

Cubo. Para el cubo se realizó el mismo proceso que los anteriores.

Cuadro de Heisler de placa para el cálculo de Biot.

Figura 84

Diagrama de Heisler para cubo

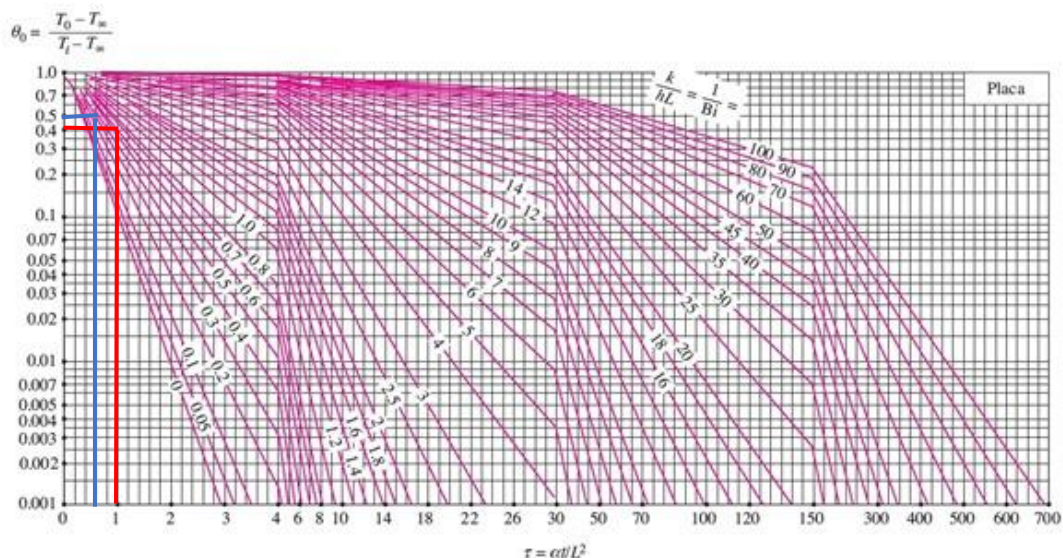


Tabla 29

Determinación coeficiente de convección para el cubo de acero

Temp [°C]	Tiempo ascenso[s]	Temp [K]	θ_i/θ	h [W/m ² °K]	h_{prom}
25,4	0	298,4			[W/m ² °K]
29,7	13	302,7	1,16	962,33	
35,2	18	308,2	1,45	1764,00	
40,6	23	313,6	1,93	2438,95	2332,42
45,5	30	318,5	2,75	2881,76	
50,1	36	323,1	4,58	3615,07	

Temp [°C]	Tiempo descenso[s]	Temp [K]	θ_i/θ	h [W/m ² °K]	h_{prom}
50,2	0				[W/m ² °K]
45	3	318	1,12	3290,76	
40	7	313	1,27	2939,61	
35,2	12	308,2	1,46	2690,97	2566,01
30,2	22	303,2	1,72	2112,93	
24,9	36	297,9	2,13	1795,78	

Tabla 30*Determinación error ascenso del cubo de acero*

Temp [°C]	Tiempo ascenso[s]	k	Error %
25,4	0		
29,7	13	60,87	0,80
35,2	18	59,34	1,73
40,6	23	62,22	3,04
45,5	30	61,27	1,46
50,1	36	63,30	4,83
Promedio			2,37

Tabla 31*Determinación error descenso del cubo de acero*

Temp [°C]	Tiempo descenso[s]	k	Error %
50,2	0	-	-
45	3	63,39	4,97
40	7	59,69	1,15
35,2	12	60,04	0,57
30,2	22	58,61	2,94
24,9	36	58,12	3,75
Promedio			2,86

Tabla 32*Resultados del cubo del acero*

θ^*	Fo	1/Bi	Bi	k	kprom	Qmax	q
0,86	0,37	0,60	1,67	34,99		11674,59	898,05
0,69	0,51	0,70	1,43	40,82		9322,56	1864,51
0,52	0,65	0,60	1,67	34,99	38,48	7013,30	1402,66
0,36	0,85	0,70	1,43	40,82		4917,87	702,55
0,22	1,02	0,70	1,43	40,82		2950,72	491,79
θ^*	Fo	1/Bi	Bi	k	kprom	Qmax	q
0,89	0,08	0,70	1,43	44,91		-18174,72	-6058,24
0,79	0,20	0,80	1,25	51,32	48,75	-16036,52	-4009,13
0,69	0,34	0,80	1,25	51,32		-13983,84	-2796,77
0,58	0,62	0,80	1,25	51,32		-11845,64	-1184,56

0,47 1,02 0,70 1,43 44,91 -9579,15 -684,22

Para graficar en forma adimensional se tomó en cuenta las siguientes formulas

$$\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0} \text{ vs } \frac{\alpha t}{L^2}, \text{ para las barras, con el valor promedio de } k.$$

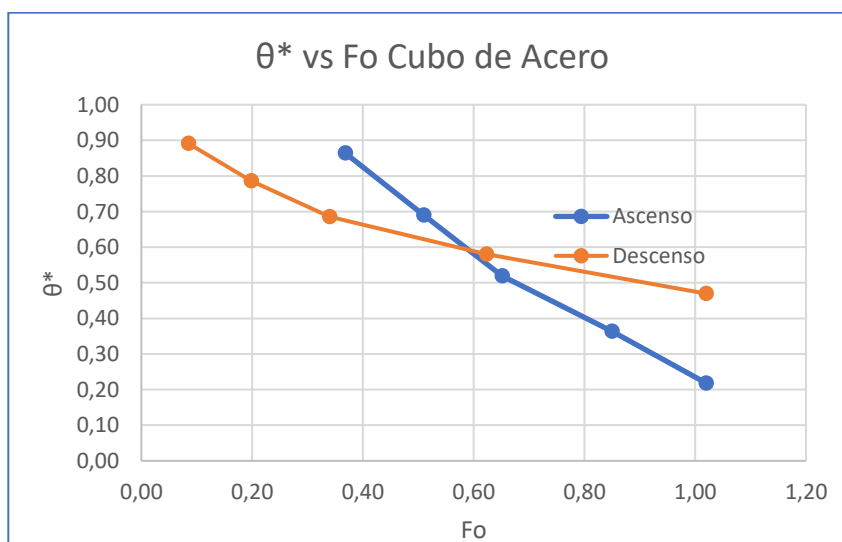
$$\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0} \text{ vs } \frac{\alpha t}{R^2}, \text{ para las cilindros, con el valor promedio de } k$$

$$\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0} \text{ vs } \frac{\alpha t}{R^2}, \text{ para las esferas, con el valor promedio de } k$$

- Para cubos

Figura 85

θ^* vs Fo Cubo de Acero

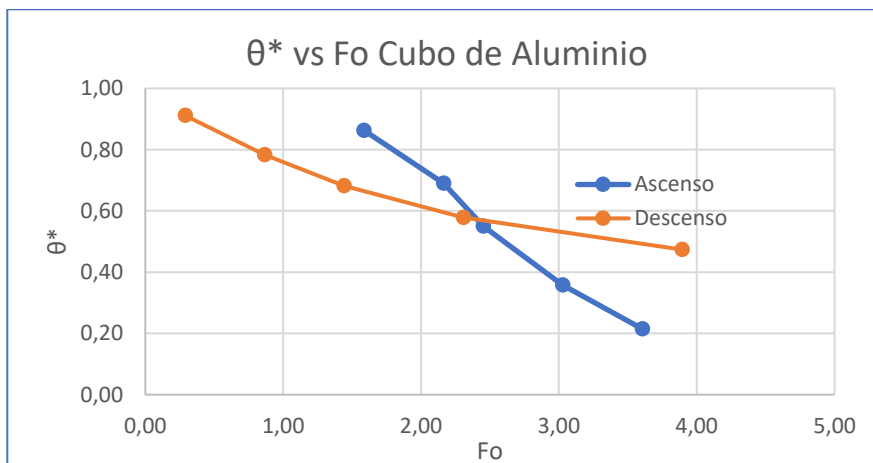


Presenta una curva decreciente donde la gráfica correspondiente a la temperatura en ascenso se cruza con la temperatura en descenso. En el caso del descenso la gráfica presenta valores más altos para Fourier con respecto al ascenso, indicando una mayor relación que

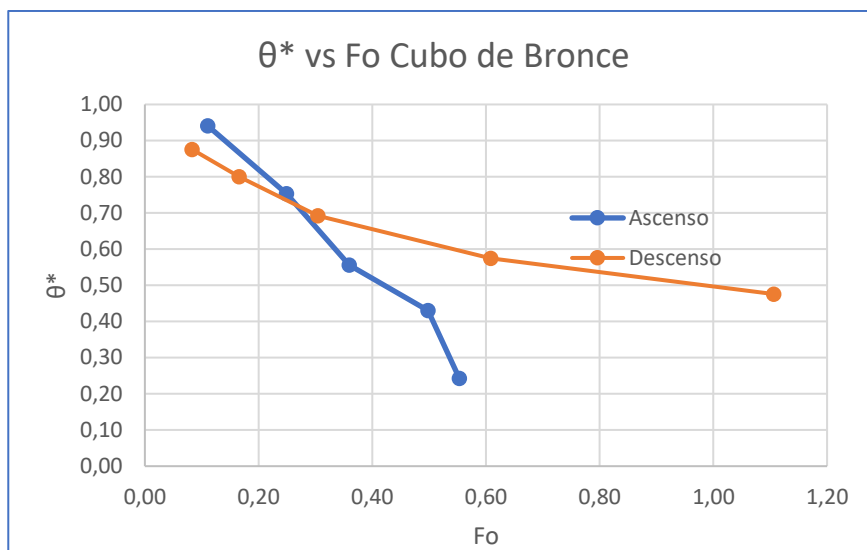
tiene la velocidad en descenso de la conducción de calor y la velocidad del almacenamiento de energía del cuerpo.

Figura 86

θ^* vs Fo Cubo de Aluminio



Se presenta un caso similar que el acero donde la curva decreciente correspondiente a la temperatura de ascenso se cruza con la temperatura de descenso. En el caso del descenso presenta nuevamente valores más altos para Fourier con respecto al ascenso, indicando relación que tiene la velocidad de descenso con la conducción de calor y la velocidad del almacenamiento de energía del cuerpo.

Figura 87 θ^* vs Fo Cubo de Bronce

En la gráfica se muestra nuevamente que la curva de ascenso se cruza con la curva de descenso del bronco. Donde podemos determinar que presenta nuevamente valores más altos para Fourier con respecto al ascenso, indicando relación que tiene la velocidad de descenso con la conducción de calor y la velocidad del almacenamiento de energía del cuerpo.

- Para cilindros

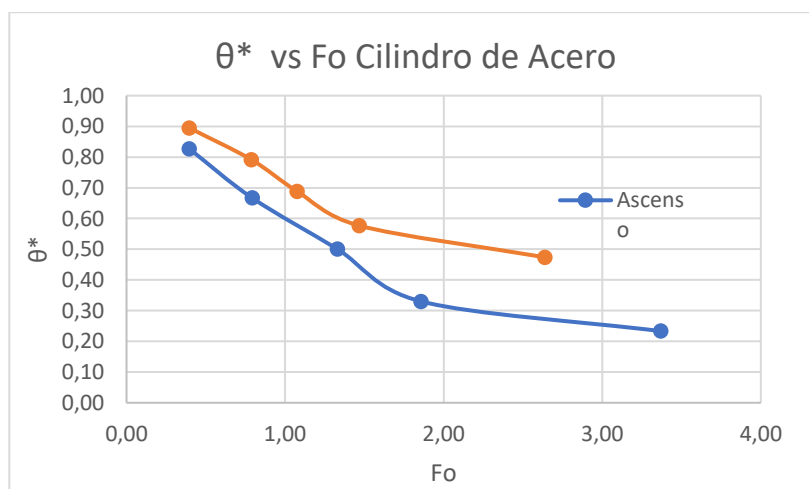
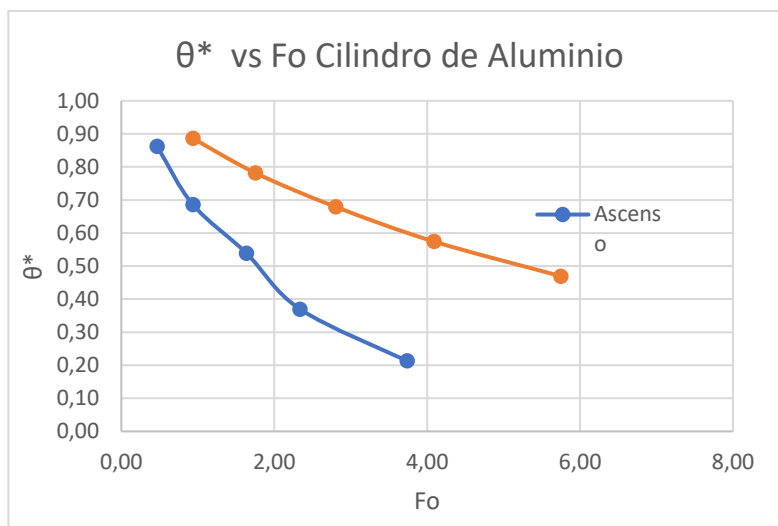
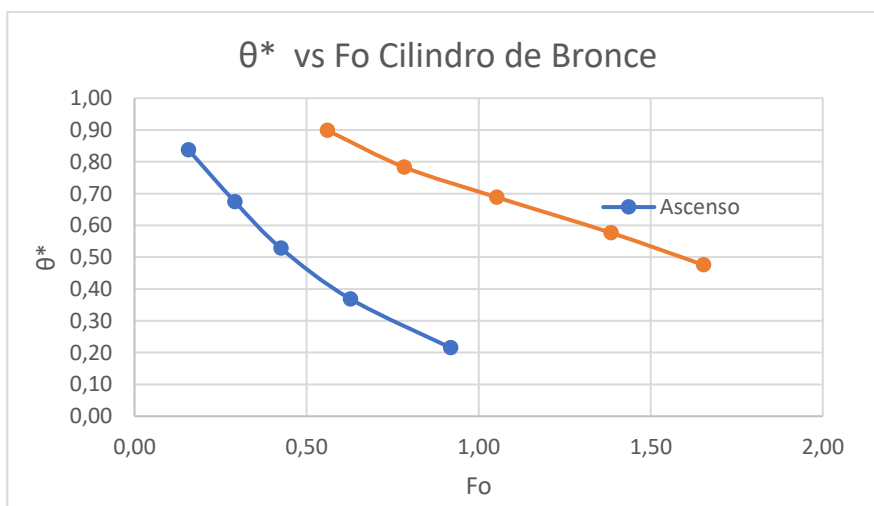
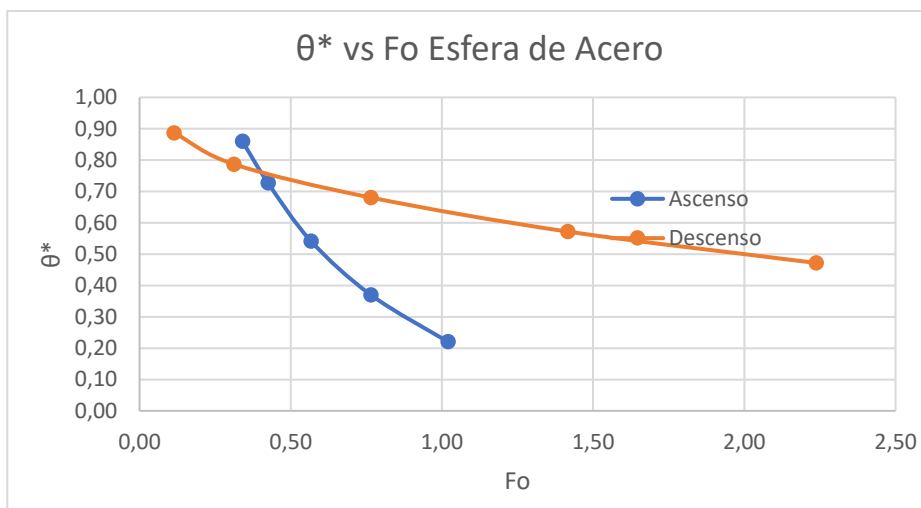
Figura 88 θ^* vs Fo Cilindro de acero

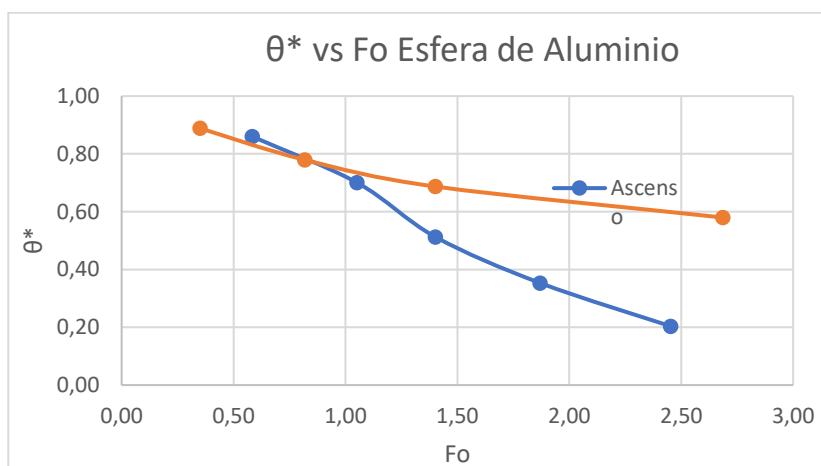
Figura 89 θ^* vs Fo Cilindro de aluminio**Figura 90** θ^* vs Fo Cilindro de bronce

Se puede evidenciar que las tres curvas se encuentran separadas donde solamente el aluminio y el bronce obtienen valores más altos de Fourier, indicando una mayor relación entre ascenso que tiene la velocidad de conducción de calor y la velocidad del almacenamiento de energía del cuerpo.

- Para esferas

Figura 91 θ^* vs Fo Esfera de acero

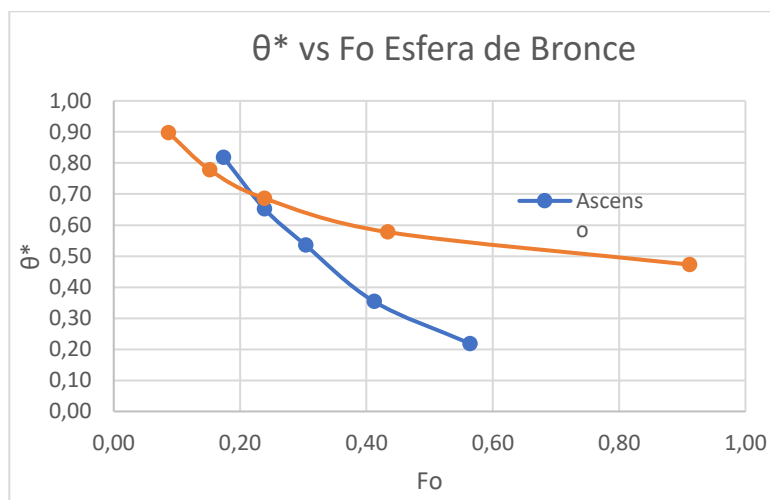
El descenso de la esfera de acero tiene un valor más alto de Fourier que el ascenso, indicando una mayor relación que tiene la velocidad de la conducción de calor y la velocidad del almacenamiento de energía del cuerpo. Del mismo modo en la esfera de acero se observan cruces entre la gráfica de ascenso y descenso.

Figura 92 θ^* vs Fo Esfera de aluminio

En la esfera de aluminio se observan cruces entre la gráfica del ascenso y descenso al igual que la esfera de acero.

Figura 93

θ^* vs Fo Esfera de bronce



En la esfera de bronce se observan cruces entre la gráfica del ascenso y descenso al igual que la esfera de acero.

Cálculos, Resultados y Gráficos Banco de Temperaturas

Empezamos realizando el cálculo de los errores con las siguientes fórmulas para poder realizar una regresión lineal con la ayuda de la herramienta de Excel.

$$Error = \frac{Valor\ teórico - Valor\ real}{Valor\ teórico} * 100$$

En la siguiente tabla se presenta los errores porcentuales de ascenso y descenso de las diferentes tomas de datos.

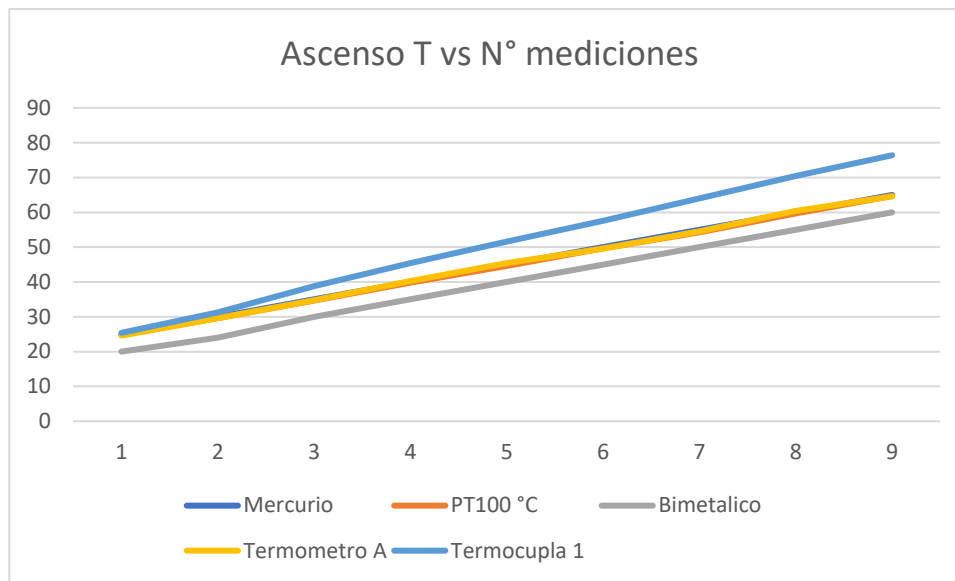
Tabla 33*Resultados errores*

	Mercu- rio	PT100 °C	Erro r%	Termómetro de caratula	Erro r%	Termómetro Bimetálico Digital	Erro r%	Termocupl a tipo K	Erro r%
Calentami- ento 1	25	24,8	0,80	20	20,0 0	24,6	1,60	25,4	1,60
Calentami- ento 2	30	29,6	1,33	24	20,0 0	29,6	1,33	31,3	4,33
Calentami- ento 3	35	34,7	0,86	30	14,2 9	34,8	0,57	38,8	10,8 6
Calentami- ento 4	40	39,8	0,50	35	12,5 0	40,3	0,75	45,4	13,5 0
Calentami- ento 5	45	44,6	0,89	40	11,1 1	45,4	0,89	51,6	14,6 7
Calentami- ento 6	50	49,7	0,60	45	10,0 0	49,6	0,80	57,6	15,2 0
Calentami- ento 7	55	54,3	1,27	50	9,09	54,5	0,91	64	16,3 6
Calentami- ento 8	60	59,7	0,50	55	8,33	60,4	0,67	70,4	17,3 3
Calentami- ento 9	65	64,7	0,46	60	7,69	64,6	0,62	76,4	17,5 4
		Error Prom.	0,80	Error Prom.	12,5 6	Error Prom.	0,90	Error Prom.	12,3 8
Enfriamie- nto 1	60	60	0,00	57	5	60,9	1,50	70,6	17,6 7
Enfriamie- nto 2	55	54,5	0,91	50	9,09	54,7	0,55	63,7	15,8 2
Enfriamie- nto 3	50	48,9	2,20	45	10,0 0	48,7	2,60	55,1	10,2 0
Enfriamie- nto 4	45	45,3	0,67	39	13,3 3	44,8	0,44	48,7	8,22
Enfriamie- nto 5	40	39,7	0,75	36	10,0 0	39,7	0,75	43	7,50
Enfriamie- nto 6	35	34,8	0,57	30	14,2 9	35	0,00	37,7	7,71
Enfriamie- nto 7	30	29,7	1,00	25	16,6 7	30,5	1,67	30,8	2,67
Enfriamie- nto 8	25	24,9	0,40	20	20,0 0	24,7	1,20	24,7	1,20
Enfriamie- nto 9	20	19,6	2,00	14	30,0 0	19,5	2,50	17,7	11,5 0
		Error Prom.	0,94	Error Prom.	14,2 6	Error Prom.	1,25	Error Prom.	9,17

A continuación, se presenta las gráficas y análisis correspondientes para los datos de calentamiento de agua donde tenemos en la gráfica X el macro de todos los equipos de medición y posterior los individuales.

Figura 94

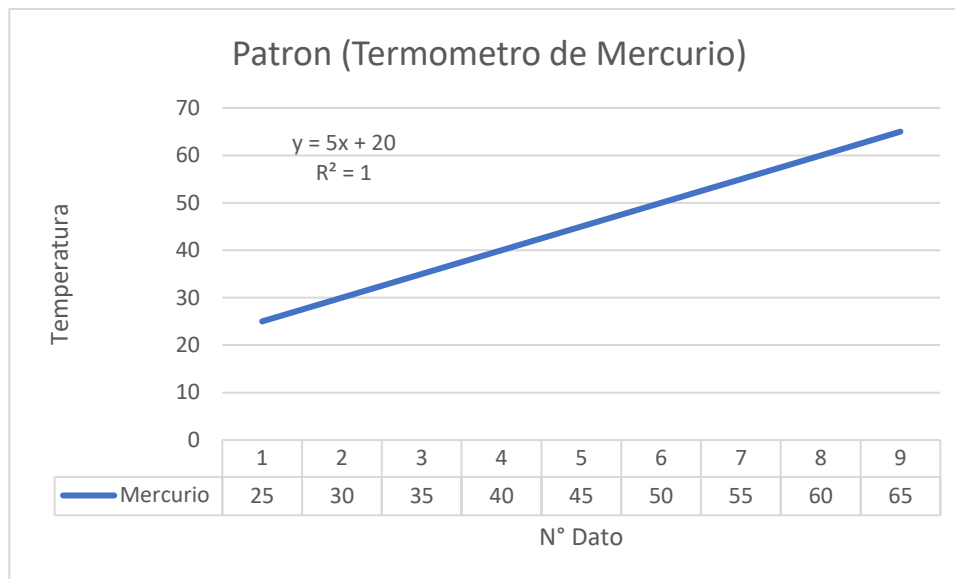
Gráfica de temperaturas en ascenso



Como se puede observar en la figura 91 la representación de cada instrumento de medición para la toma de datos de ascenso tiene un comportamiento lineal con una pendiente positiva. Ya que se demostró en la tabla de errores que el PT100 y el termómetro bimetalico digital son los que tenían errores mejores por lo que su recta es la que más se acerca a la recta del patrón.

Figura 95

Ajuste lineal del patrón

**Figura 96**

Ajuste lineal del sensor temperatura PT100

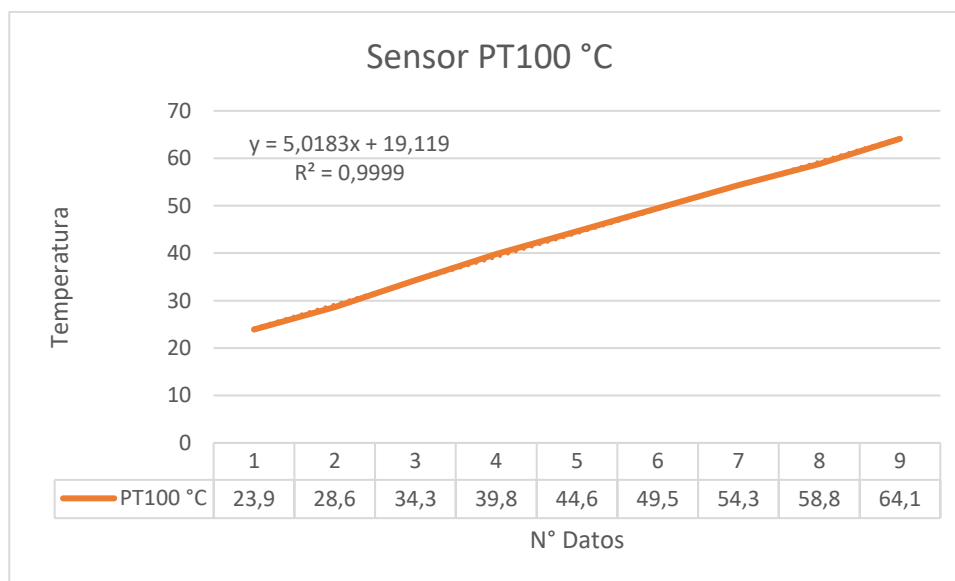


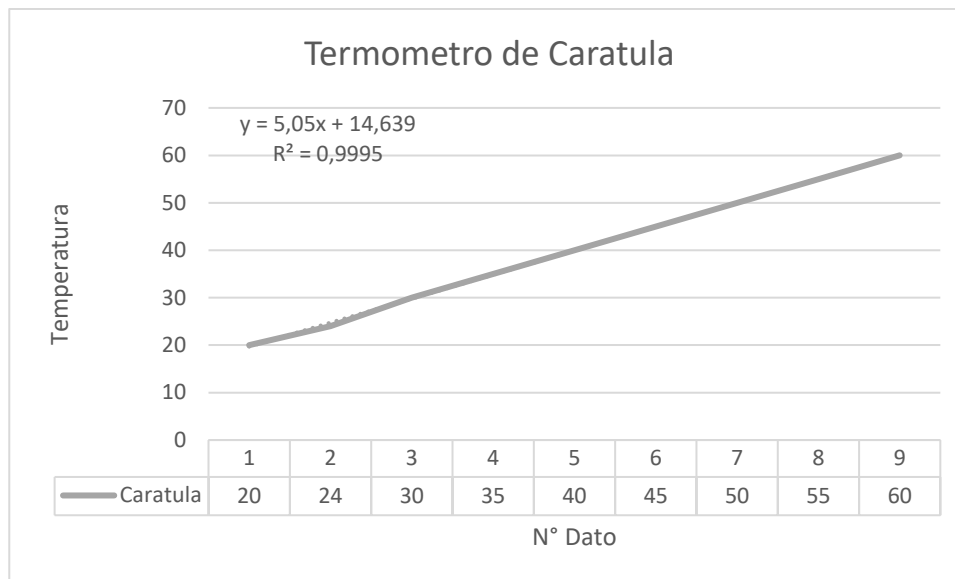
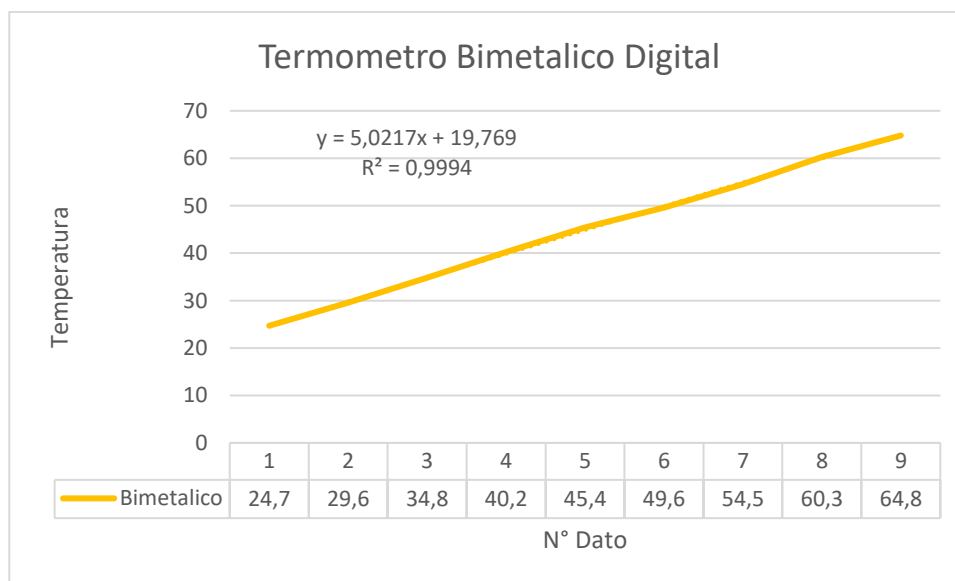
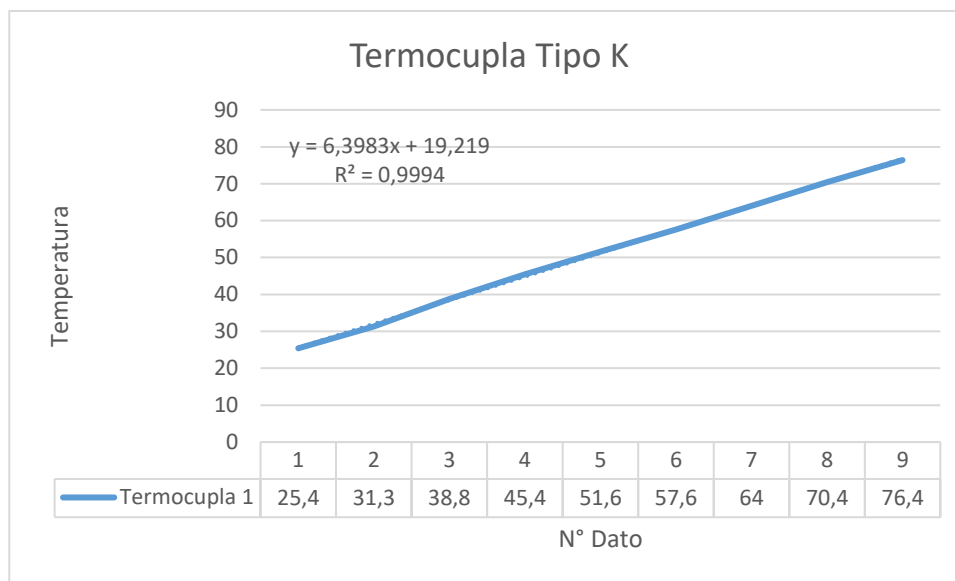
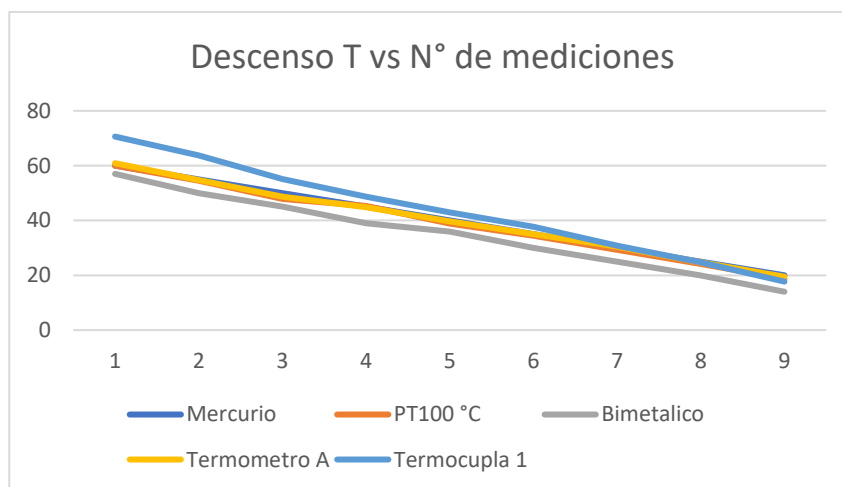
Figura 97*Ajuste lineal del termómetro de carátula***Figura 98***Ajuste lineal termómetro bimetálico digital*

Figura 99*Ajuste lineal termocupla tipo K***Figura 100***Gráfica de temperatura en descenso*

Como se puede observar en la figura 97 la representación de cada instrumento de medición para la toma de datos de ascenso tiene un comportamiento lineal con una pendiente negativa. Ya que se demostró en la tabla de errores que el PT100 y el termómetro bimetalico

digital son los que tenían errores mejores por lo que su recta es la que más se acerca a la recta del patrón.

Figura 101

Ajuste lineal patrón

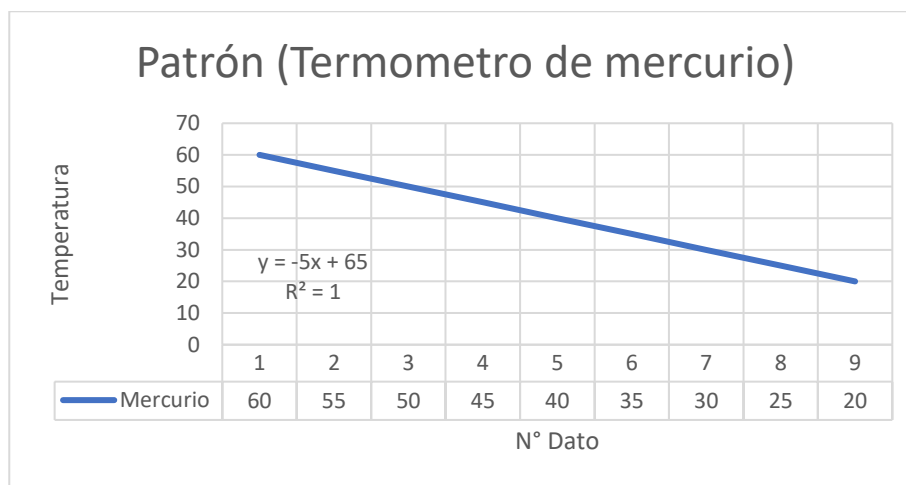


Figura 102

Ajuste lineal PT100

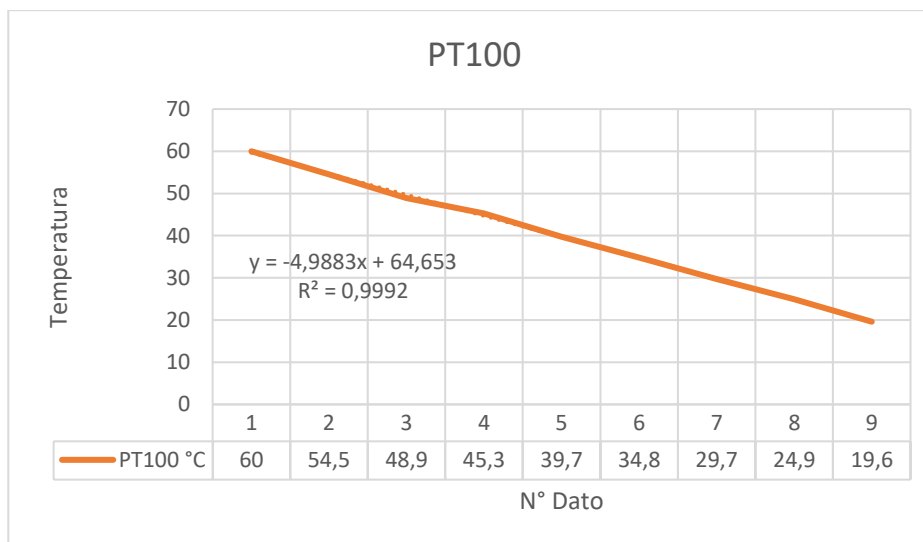
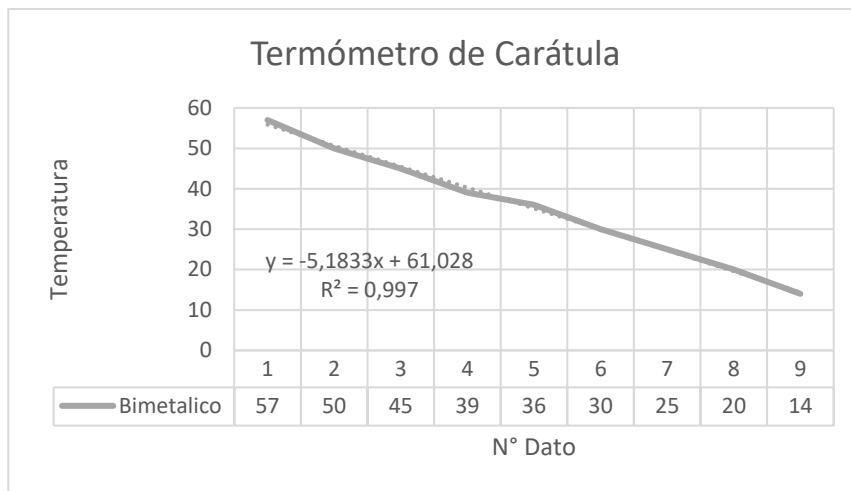


Figura 103

Ajuste lineal Termómetro de Carátula

**Figura 104**

Gráfica del termómetro

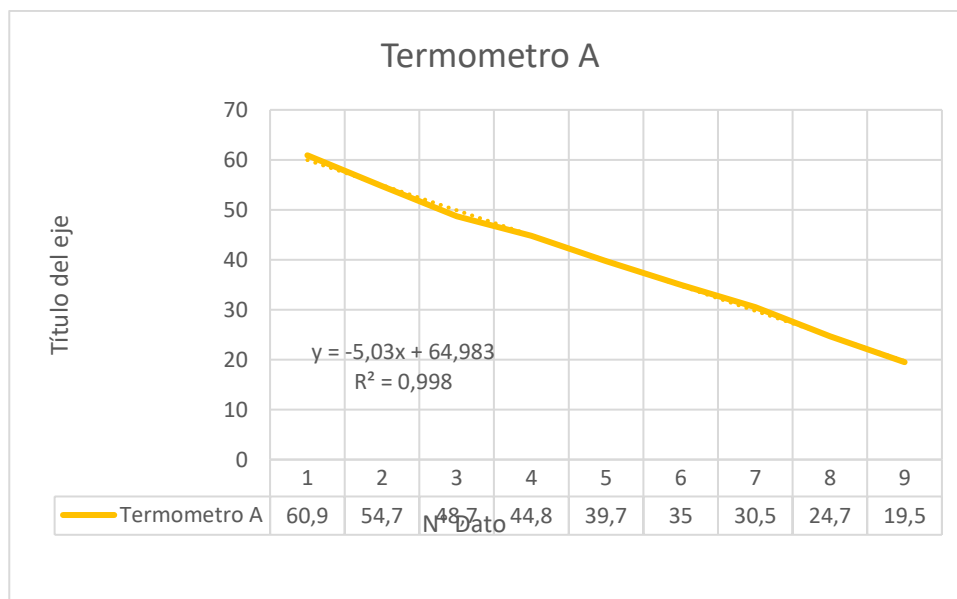
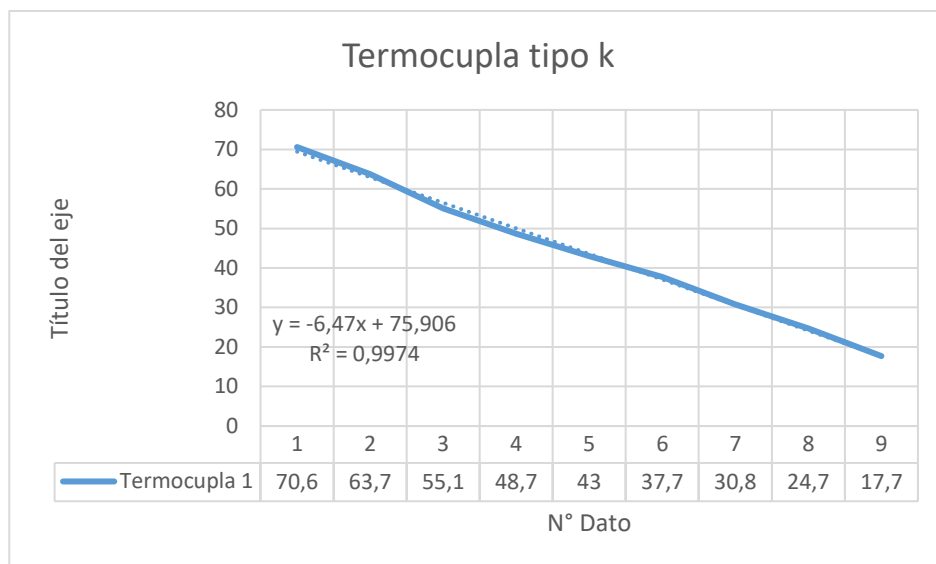


Figura 105

Ajuste lineal termocupla tipo K

**Validación de resultados**

Los datos fueron recopilados en un entorno controlado, en el cual todos los equipos e instrumentos operaron bajo condiciones de temperatura y manipulación idénticas, con el fin de asegurar la integridad de los datos obtenidos. Además, durante las mediciones en el banco de temperatura, se procuró mantener el fluido en un movimiento constante para homogeneizar sus propiedades, y se llevó a cabo la toma de mediciones en el mismo punto con cada equipo, minimizando al máximo la diferencia de tiempo entre las lecturas de los dispositivos utilizados.

Se llevó a cabo una comparación de los resultados obtenidos en ambas prácticas con los obtenidos en prácticas anteriores utilizando equipos previamente utilizados. El objetivo fue verificar si los resultados obtenidos se encuentran dentro de los parámetros previamente establecidos por los equipos anteriores.

Figura 106*Comparación del R2 vs el error*

Ascenso								
Patrón	PT100	Error %	Caratula	Error %	Bimetálico	Error %	Termocupla	Error %
1	0,9999	0,01	0,9995	0,05	0,9994	0,06	0,9994	0,06
Descenso								
Patrón	PT100	Error %	Caratula	Error %	Bimetálico	Error %	Termocupla	Error %
1	0,9998	0,02	0,997	0,3	0,998	0,2	0,9974	0,26

Capítulo VI: Análisis Económico

A continuación, se detalla en el análisis económico los costos directos e indirectos del proyecto.

Costos Directos

Abarcan los costos de remuneración del personal profesional, no profesional y de los estudiantes que participaron, además de los costos de instrumentación y de los materiales que fueron utilizados para la construcción del mismo.

Remuneración Profesional. El proyecto consta con la asesoría a través de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por medio de sus docentes, cuyos costos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 34

Remuneraciones profesionales

N	Nombre	Cargo	Tiempo [hr]	Costo [USD]
1	Ing. Ángelo Villavicencio	Director proyecto	40.00	800.00
2	Ing. Roberto Buenaño	Laboratorista	40.00	400.00
Total				1200.00

Remuneración no profesional. El proyecto consta de un sistema de refrigeración y conexiones eléctricas, por lo que fue necesario un asesoramiento adecuado por parte de personal externo para poder garantizar el correcto funcionamiento del equipo, estos costos se detallan en la Tabla 35

Tabla 35*Remuneraciones no profesionales*

N	Cargo	Tiempo [hr]	Costo [USD]
1	Técnico mecatrónico	32	450
2	Técnico en refrigeración	24	250
Total			700.00

Remuneración de estudiantes. Como estudiantes y futuros profesionales, debemos reconocer nuestro trabajo y, por tanto, evaluar los costos de nuestros conocimientos; estos se detallan a continuación.

Tabla 36*Remuneración de estudiantes*

N	Nombre	Cargo	Tiempo [hr]	Costo [USD]
1	Sr. José Ávila	Estudiante	400.00	1150.00
2	Srta. Camila Espinosa	Estudiante	400.00	1150.00
Total				2300.00

Costo de instrumentación. En la tabla 37 se encuentra detallado los costos de los instrumentos de medida que fueron utilizados en el proyecto como el controlador, los módulos de expansión, fuente de alimentación, entre otros accesorios que fueron necesarios para el sistema de adquisición de datos.

Tabla 37*Costos de instrumentación*

N	Descripción	Cant	Costo Ud. [USD]	Costo T. [USD]
1	Temperature transmitter PT100 sensor	3	46.22	138.65
2	Thermocouple 2m Type K	3	10.56	31.7
3	Thermocouple 2m Type K	6	10.28	61.70
4	HMI Touch Screen Kinco	1	125.14	125.14
5	Delta PLC DVD Analog Version	1	363.54	363.54
6	DELTA Thermocouple Temperature Module	3	142.55	427.65
Total				1383.43

Costo de materiales. En la tabla 38 se detallan todos los materiales que fueron utilizados para la construcción de este proyecto, como materiales eléctricos, mecánicos, tuberías, accesorios, entre otros.

Tabla 38*Costo de materiales*

Num	Cant	Descripción	Costo Ud. [USD]	Costo T. [USD]
1	6	Tubo cuadrado	20	120
2	2	Placha de Acero Inox	100	200
3	1	Plancha de Acero	20	20
4	2	Tubo rectangular	10	20
5	6	Tuberia de Agua	1,7	10,2
6	4	Adapatador Tanque	1,04	4,16
7	2	Teflon	0,88	1,76
8	1	Adapatador Tanque	2,86	0
9	3	Adapatador Tanque	5,63	16,89
10	10	Neplo corrido	0,41	4,1

11	3	Neplo Roscable	0,393	1,18
12	3	Neplo Roscable	0,43	0
13	7	Neplo Roscable	0,39	2,73
14	24	Codo Roscable	0,27	6,48
15	5	Codo Cachimba	0,58	2,9
16	6	Unión Universal	0,62	3,72
17	4	Tee	0,35	1,4
18	3	Unión Red	2,13	6,39
19	5	válvula Esfera	2,63	13,15
20	1	Adaptador Tanque	5,98	5,98
21	8	Sika Boom	6,2	49,6
22	2	Amarras	3,88	7,76
23	1	Tornillo Autoperforante	1,13	1,13
24	4	Tornillo Autoperforante	0,53	2,12
25	1	Bomba de agua	13	13
26	2	Abrazaderas	0,78	1,56
27	12	Orines	0,2	2,4
28	1	Manguera	5,49	5,49
29	6	Mangura	1,07	6,42
30	3	Tuercas	0,85	2,55
31	6	Pernos	0,38	2,3
32	3	Sensor PT100	51,59	154,78
33	3	Termocupla tipo K	13,98	41,95
34	6	Termocupla tipo K	15,45	92,7
35	1	Pantalla Led	149,51	149,51
36	1	PLC	420,75	420,75
37	3	Extensión PLC	169,86	509,59
38	6	Selector Metalico 2 posiciones	2,37	14,22
39	1	Pulsador Hongo Emergencia NC	3,63	3,63
40	6	Contacto NA	0,82	4,92
41	6	Contacto NC	0,82	4,92

42	1	Etiqueta Emergencia	0,74	0,74
43	8	Luz Piloto Verde	1,44	11,52
44	4	Riel DIN	2,34	9,36
45	3	Canaleta 24x40 mm	6,03	18,09
46	70	Bornera 12 AWG 20A	0,37	25,9
47	20	Bornera Tierra 12 AWG 20A	1,36	27,2
48	20	Tope bornera	0,26	5,2
49	1	Barra de tierra 12x8 mm	3,68	3,68
50	2	Repartidor de carga 125 A	14,69	29,38
51	1	Breaker 3 polos 63A	11,8	11,8
52	1	Breaker 2 polos 16A	6,12	6,12
53	3	Breaker Diferencial 2 polos 25A		0
54	2	Breaker 2 polos 10A	6,12	12,24
55	1	Contactador trifásico 120A 12A		0
56	3	Contactador trifásico 120A 25A	21,2	63,6
57	1	Relé Térmico 9-13A	18,03	18,03
58	3	Relé Térmico 17-25A	18,03	54,09
59	1	Rollo Cable flexible AWG 16	38,25	38,25
60	1	Gabinete 60x40x20	84,37	84,37
61	4	Prensas	0,39	1,56
62		Alambre		0
63	1	Fuente de poder	51,18	51,18
64	1	Cable de comunicación	9	9
65	3	Breaker	7,5	22,5
			Total	2436,15

Costos Indirectos. Estos costos se detallan en la tabla 39 y hacen referencia a los servicios básicos, alimentación y transporte, que intervienen durante la duración del proyecto.

Tabla 39*Costos Indirectos*

N	Descripción	Cant	Costo [USD]
1	Servicios básicos	2	50.00
2	Alimentación	2	60.00
3	Transporte	2	40.00
Total			150.00

Costo total del proyecto

La Tabla 40 resume los costes totales del proyecto.

Tabla 40*Costos totales*

N	Descripción	Costo Total [USD]
1	Remuneración profesional	1200.00
2	Remuneración no profesional	700.00
3	Remuneración de estudiantes	2300.00
4	Costo de instrumentación	1383.43
5	Costo de materiales	2436,15
6	Costos Indirectos	150.00
Total		8169.58

CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- El proceso de fabricación del equipo ha representado una oportunidad para la aplicación y consolidación de los conocimientos adquiridos en el ámbito de la Ingeniería Mecánica, particularmente en áreas fundamentales como Termodinámica, Transferencia de Calor, Máquinas Térmicas y Estructuras Metálicas.
- La contribución al Laboratorio de Energías de la Universidad de las Fuerzas Armadas mediante la entrega de un equipo renovado y funcional destaca la importancia de la investigación aplicada en la mejora de infraestructuras educativas. Este equipo proporcionará a las generaciones futuras de estudiantes la oportunidad de participar en prácticas más dinámicas y comprensibles, enriqueciendo así su experiencia de aprendizaje.
- La ejecución exitosa de la repotenciación, rediseño térmico y desarrollo de un sistema de adquisición de datos para el banco de temperaturas y conducción transitoria del Laboratorio de Conversión de Energía subraya la capacidad para aplicar los principios teóricos en entornos prácticos y resolver desafíos técnicos complejos de manera efectiva.
- La evaluación del rendimiento actual del equipo y sus componentes evidencia mejoras significativas, con errores de medición inferiores al 5% en comparación con estándares de referencia. Asimismo, se confirma que el equipo cumple con los criterios térmicos necesarios para optimizar las prácticas experimentales, representando una mejora substancial respecto a su versión anterior.
- La implementación de un sistema de refrigeración que satisface los requisitos de temperatura y tiempos necesarios para las prácticas demuestra una eficaz gestión de

recursos y tiempos en el laboratorio, lo que contribuye a una mayor eficiencia en las actividades de enseñanza e investigación.

7.2. Recomendaciones

- Para futuras investigaciones y desarrollos en el ámbito de la ingeniería mecánica y de energía, se sugiere explorar nuevas oportunidades para la optimización de equipos y procesos, así como la integración de tecnologías emergentes que puedan mejorar la eficiencia y funcionalidad de los laboratorios.
- El Laboratorio de Energías de la Universidad de las Fuerzas Armadas debe considerar la continua inversión en la actualización y mantenimiento de equipos, así como en la formación del personal técnico, con el fin de garantizar el funcionamiento óptimo de los laboratorios y la calidad de la enseñanza ofrecida.
- Se recomienda la difusión y compartición de los resultados y experiencias obtenidos en este proyecto a través de publicaciones académicas y presentaciones en conferencias, con el propósito de enriquecer el conocimiento en el campo de la ingeniería mecánica y de energía y fomentar el intercambio de buenas prácticas entre la comunidad académica y profesional.

Bibliografía

Sistema de adquisición de Datos | Omega Engineering. (s. f.).

<https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html#:~:text=Los%20sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20de,realizando%20una%20toma%20de%20datos.>

Freon™ 404A (R-404A) | Refrigerante de HFC | Refrigerantes Freon™. (s. f.).

<https://www.freon.com/es/products/refrigerants/r404a>

Bonilla, S. (2018, 26 marzo). *Sistemas de refrigeración.*

<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/03/sistemas-refrigeracion.html/hdl.handle.net/>

Leskow, E. C. (2021, 15 julio). *Voltaje - Concepto, tipos de voltaje y cómo medirlo.* Concepto.

<https://concepto.de/voltaje/>

Definición de Voltaje - Qué es y Concepto. (s. f.). <https://enciclopedia.net/voltaje/>

Potencia eléctrica: Definición y concepto. (s. f.). <https://solar-energia.net/electricidad/corriente-electrica/potencia-electrica>

que es potencia en un circuito electrico - Bing. (s. f.). Bing.

<https://bing.com/search?q=que+es+potencia+en+un+circuito+electrico>

Matan. (2024, 16 enero). *Potencia y energía en circuitos eléctricos.* Electricity - Magnetism.

<https://www.electricity-magnetism.org/es/potencia-y-energia-en-circuitos-electricos/>

colaboradores de Wikipedia. (2024, 20 febrero). *Resistencia eléctrica.* Wikipedia, la

Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_el%C3%A9ctrica

JL, B. (2023, 11 julio). *Resistencia eléctrica.* Electrónica Online.

<https://electronicaonline.net/electricidad/resistencia-electrica/>

Leskow, E. C. (2021a, julio 15). *Corriente Eléctrica - Concepto, intensidad, tipos y efectos.*

Concepto. <https://concepto.de/corriente-electrica/>

Fernández, J. L. (s. f.). *Corriente eléctrica*. Fisicalab.

<https://www.fisicalab.com/apartado/movimiento-de-cargas>

Fernández, J. L. (s. f.-a). *Circuito eléctrico*. Fisicalab.

<https://www.fisicalab.com/apartado/circuitos-electricos>

Ucad, U. (2021, 19 noviembre). *¿Qué es un circuito eléctrico?* Voz Universidad UCAD.

<https://voz.ucad.edu.mx/que-es-un-circuito-electrico/>

que es una señal discreta en adquisición de datos - Bing. (s. f.). Bing.

<https://bing.com/search?q=que+es+una+se%C3%B1al+discreta+en+adquisici%C3%B3n+de+datos>

González, A. G. (2023, 20 diciembre). *Señales continuas, analógicas, discretas y digitales*.

Panama Hitek. <https://panamahitek.com/senales-continuas-analogicas-discretas-y-digitales/>

colaboradores de Wikipedia. (2024a, enero 10). *Señal analógica*. Wikipedia, la Enciclopedia

Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al_anal%C3%B3gica

De Enciclopedia Significados, E. (2019, 10 diciembre). *Exactitud: Qué es, Concepto y*

Definición. Enciclopedia Significados. <https://www.significados.com/exactitud/>

colaboradores de Wikipedia. (2023, 15 febrero). *Precisión*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Precisi%C3%B3n>

Redaccion. (2015, 26 noviembre). *Los números binarios | Qué son los números binarios*.

Matemáticas. <https://es.plusmaths.com/los-numeros-binarios.html>

que es un bit - Bing. (s. f.). Bing. <https://bing.com/search?q=que+es+un+bit>

colaboradores de Wikipedia. (2023b, agosto 30). *Byte*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Byte>

Adquisición de datos (DAQ): la guía completa. (2024, 5 febrero). Soluciones de Adquisición de

Datos (DAQ). <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-adquisicion-de-datos>

colaboradores de Wikipedia. (2024b, enero 24). *Microcontrolador*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>

Administrador. (2021, 7 marzo). Microcontrolador - qué es y para que sirve. *HeTPro-Tutoriales*. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>

accionamiento de señales - Bing. (s. f.). Bing.

<https://bing.com/search?q=accionamiento+de+se%C3%B1ales>

Sistema de adquisición de Datos | Omega Engineering. (s. f.-b).

<https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html#:~:text=Los%20sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20de,realizando%20una%20toma%20de%20datos.>

colaboradores de Wikipedia. (2024c, febrero 3). *Controlador lógico programable*. Wikipedia, la Enciclopedia Libre.

https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable

Yuridia, & Yuridia. (2023, 8 noviembre). *¿Qué es un PLC, cómo funciona y cuáles son sus ventajas?* SDI. <https://sdindustrial.com.mx/blog/que-es-un-plc/>

Connor, N. (2020, 7 enero). *¿Qué es la convección? Transferencia de calor por convección: definición*. Thermal Engineering. <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conveccion-transferencia-de-calor-por-conveccion-definicion/>

Connor, N. (2021, 22 septiembre). *¿Cuáles son las propiedades térmicas de los bronce?* *Definición | Propiedades materiales*. Material Properties. <https://material-properties.org/es/cuales-son-las-propiedades-termicas-de-los-bronces-definicion/>

Mood. (2023, 26 octubre). *Descubre los secretos del bronce: Qué es, cómo se hace y sus usos fascinantes - Moodle Centros*. Moodle Centros. <https://moodlecentros.com.es/que-es-el-bronce/>

Posts, V. M. (2019, 2 agosto). *Conductividad térmica del acero inoxidable y otros metales.*

Corteaceros. <https://cortesasa.wordpress.com/2019/08/01/conductividad-termica-del-acero-inoxidable-y-otros-metales/>

Ulbrinox. (2022, 23 noviembre). La conductividad térmica del acero inoxidable. *Ulbrinox.*

<https://www.ulbrinox.com.mx/blog/la-conductividad-termica-del-acero-inoxidable/>

Bonilla, S., Castelo, J., Orozco, L., & Jácome, E. (Marzo de 2018). Análisis del funcionamiento de sistemas de refrigeración por compresión y absorción. Obtenido de Observatorio de la Economía Latinoamericana: <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/03/sistemas-refrigeracion.html>

Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de calor.* Mexico: Prentice Hall.

YUNUS A., Ç., & AFSHIN J., G. (2019). *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA.* Mexico: McGRAW-HILL.

Apéndice