



Recuperación, adquisición de datos y puesta a punto del equipo de “transferencia de calor en barras de sección cónica”, del Laboratorio de Conversión de Energía Térmica

Salazar Bosmediano, Luis Miguel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

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

Ing. Villavicencio Poveda, Ángel Homero

06 de Septiembre del 2021

Urkund Analysis Result

Analysed Document: RECUPERACIÓN, ADQUISICIÓN DE DATOS Y PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN BARRAS DE SECCIÓN CÓNICA DEL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA TÉR M.pdf (D111436647)

Submitted: 8/18/2021 9:30:00 PM

Submitted By: ahvillavicencio@espe.edu.ec

Significance: 3 %

Sources included in the report:

GustavoGuerrero-PaulArias.pdf (D99385375)

Juan Emanuele Valdivieso Ortega.pdf (D102341670)

TESIS_GUANO_NEPAS ACTUALIZADA.pdf (D96434609)

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA FLUJOS PARALELO Y CRUZADO UTILIZANDO COMO FLUIDO DE TRABAJO AGUA PARA EL LAB DE CONVERSION DE LA ENERGÍA DEL DECEM.pdf (D43590040)

DennysMontero.pdf (D110591549)

FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR TEORÍA Y EJERCICIOS.pdf (D78804422)

https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf

<https://www.ucronics.com/ucronics-30-800-degree-centigrade-digital-temperature-meter-blue-led-display-k-type-thermocouple-temp-sensor-2-wires-reverse-polarity-protection-with-black-case.html>

<https://www.lazada.com.ph/products/quality-assurance-us-plug-4000w-ac-220v-variable-voltage-controller-control-for-fan-speed-motor-tool-i490608018.html>

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11247/Documento%20Final%20Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/20.500.12622/1612/1/Rep_Itm_pre_Torres.pdf

Instances where selected sources appear:

11



Ing. Angelo Homero Villavicencio Poveda MSc.

Director del Trabajo de Integración Curricular

C. C. 1709338931



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**Recuperación, adquisición de datos y puesta a punto, del equipo de transferencia de calor en barras de sección cónica del Laboratorio de Conversión de Energía Térmica**" fue realizado por el señor **Salazar Bosmediano Luis Miguel**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 06 de septiembre de 2021

Firma:

Ing. Ángel Homero Villavicencio Poveda MSc.

C.C: 170933893-1

Director del Trabajo de Unidad de Integración Curricular



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Salazar Bosmediano Luis Miguel**, con cedula de ciudadanía N°: **172446396-1**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Recuperación, adquisición de datos y puesta a punto del equipo de transferencia de calor en barras de sección cónica del Laboratorio de Conversión de Energía Térmica”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 06 de septiembre de 2021

Salazar Bosmediano, Luis Miguel

C.C: 172446396-1



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Salazar Bosmediano Luis Miguel**, con cedula de ciudadanía N°: **172446396-1**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Recuperación, adquisición de datos y puesta a punto del equipo de transferencia de calor en barras de sección cónica del Laboratorio de Conversión de Energía Térmica”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 31 de agosto de 2021

Sr. Salazar Bosmediano, Luis Miguel

C.C: 172446396-1

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a la memoria de Vicente Alfredo Salazar Méndez, quien fue un pilar fundamental en la familia.

Luis Miguel Salazar Bosmediano

Agradecimiento

A Dios por darme fuerzas para nunca rendirme en el trayecto de mi carrera que a pesar de todas las complicaciones siempre mantuvo la ventana abierta.

A mi padre que con mucho esfuerzo y sacrificio me apoyo incondicionalmente para culminar mi carrera.

A mi madre que velo por mi salud, brindándome siempre su cariño y afecto.

A mi hermano Anthony por ayudarme con los proyectos de mi carrera y sobre todo en la realización de este trabajo de titulación.

A Christian Flores, quien considero un hermano más, su apoyo incondicional fue clave para poder culminar mi carrera profesional siendo una de las pocas personas que creyeron en mí ayudándome a levantarme en todas y cada una de las caídas que nos pone la vida.

Al amor de mi vida María Gabriela la mejor compañera de vida que Dios me pudo dar, me ayudó a superar cada obstáculo de mi carrera y me ayuda a ser mejor persona cada día.

A mis amigos de la carrera que hicieron este trayecto más llevadero, gracias por los mejores recuerdos que me llevo de la universidad en donde se queda un pedazo de mi corazón.

Luis Miguel Salazar Bosmediano

Índice de contenidos

Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de contenidos	8
Índice de Tablas	11
Índice de Figuras	13
Resumen	17
Abstract	18
Capítulo I Generalidades	19
Antecedentes	19
Objetivos	20
Alcance	21
Justificación e Importancia	22
Capítulo II Marco Teórico	24
Termodinámica	24
Transferencia de Calor	25
Conducción	26
Radiación	29
Balance de Energía	31
Resistencia Térmica	32
Aislante Térmico	33
Termopar	34

Capítulo III	Determinación del estado del equipo y correcciones a realizarse	36
	Componentes del Equipo.....	36
	Unidad de Control Máster	37
	Barras Cónicas.....	38
	Instrumentos.....	39
Capítulo IV	Descripción de los Elementos Instalados y Construcción	46
	Criterios de Diseño para la Construcción de una Nueva Unidad de Control Master	46
	Designación en la ubicación de sensores de temperatura	46
	Selección de Instrumentos.....	47
	Reóstato	51
	Tablero	53
	Regulador de Caudal de Agua	55
	Selección de Medidores Digitales	57
	Selección de material aislante	63
	Diseño de cuadro de instrumentos.....	65
	Construcción y Mantenimiento Realizado.....	68
	Construcción del cuadro de instrumentos e instalación de medidores	78
	Conexiones Eléctricas realizadas en la nueva unidad de control master	81
	Conexión entre la barra de sección cónica y tablero de control	84
	Conexión a la entrada y salida de agua, instalación del aislante térmico	87
	Etiquetado de termopares en cableado, cuadro de instrumentos y barras de sección cónica	89
Capítulo V	Toma de datos, cálculos y análisis	90
	Mediciones del equipo.....	90

Toma de Datos	91
Gráficas de los perfiles de la temperatura y convergencia.....	94
Cálculo de la conductividad térmica	97
Capítulo VI Condiciones iniciales de operación y manejo del equipo	102
Encendido y condiciones de operación	102
Precauciones con el equipo	103
Capítulo VII Análisis financiero	104
Costos Directos	104
Costos indirectos.....	108
Costos asumidos	108
Costo total del proyecto	109
Capítulo VIII Conclusiones y Recomendaciones	110
Conclusiones	110
Recomendaciones.....	110
Referencias.....	112
ANEXOS	114

Índice de Tablas

Tabla 1 Características Técnicas de la Unidad de Control Master.....	37
Tabla 2 Características Técnicas de la Barra de sección Cónica.	38
Tabla 3 Variables susceptibles a medición en las cañerías de entrada y salida de agua en la barra de secciones cónicas.	48
Tabla 4 Sensores de Temperatura dentro de la barra de sección cónica para el lado aislado y no aislado.	48
Tabla 5 Matriz de selección del cableado termopar.	50
Tabla 6 Matriz de selección para el reóstato.....	51
Tabla 7 <i>Características Técnicas del reóstato seleccionado.</i>	53
Tabla 8 Características técnicas del tablero para montaje de la nueva unidad de control máster	54
Tabla 9 Características de la válvula reguladora de presión GENE BRE	56
Tabla 10 Matriz de selección para el medidor de voltaje y amperaje.....	57
Tabla 11 Características Técnicas de medidor de voltaje y corriente CrocSee-CRS022B.....	58
Tabla 12 Matriz de selección para los sensores de temperatura.	59
Tabla 13 Características técnicas del medidor de temperatura digital.	61
Tabla 14 Matriz de selección de caudalímetros	62
Tabla 15 Características del medidor de agua seleccionado.....	63
Tabla 16 <i>Matriz de selección para el aislante térmico.</i>	64
Tabla 17 Características técnicas del aislante térmico seleccionado	65
Tabla 18 Medidas de la barra de sección cónica	90
Tabla 19 Medidas de longitudes a lo largo de la barra.....	91

Tabla 20 Toma de datos de temperatura del lado aislado	92
Tabla 21 Toma de datos de temperatura lado no aislado.....	93
Tabla 22 Interpolación de valores	101
Tabla 23 Costo de remuneración al docente, tutor y laboratorista.	104
Tabla 24 Costo de remuneración al estudiante, responsable del proyecto.....	104
Tabla 25 Costo de instrumentos y accesorios para instalación del equipo.....	105
Tabla 26 Costos de materiales utilizados durante el proyecto.	107
Tabla 27 Costos que influyeron indirectamente en el proyecto.	108
Tabla 28 Costos asumidos en el proyecto realizado.....	108
Tabla 29 Costo total del Proyecto, Costos Directos e Indirectos.....	109

Índice de Figuras

Figura 1 Equilibrio térmico de dos cuerpos dentro de medio aislado.....	25
Figura 2 Diferencias de temperaturas de una bebida fría con el medio ambiente, señalando la transferencia de calor que es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas.	26
Figura 3 Conducción que se realiza desde T_1 a T_2 , considerando diferencia de temperaturas $T_1 > T_2$, un espesor Δx y un área A perpendicular a la razón de transferencia de calor Q	27
Figura 4 Perfil de velocidad del aire vs variación de temperatura, forma de circulación del aire.	29
Figura 5 Transferencia de calor entre superficies y un medio más grande considerado como un cuerpo negro con aire de por medio sin interferir en la radiación.....	30
Figura 6 Flujo de calor de una pared de una habitación en invierno en sus diferentes modos de transferencia de calor.	32
Figura 7 Tipos de aislantes térmicos, lanas minerales como son lana de roca y lana de vidrio usadas como aisladores acústicos y cortafuegos residenciales su presentación puede darse en rollos y planchas.....	34
Figura 8 Tipos de Termopares según su extremo de medición que pueden ser junta roscada o en forma de bulbos.....	35
Figura 9 Equipo de Transferencia de Calor en barras Cónicas conectado a suministro eléctrico y suministro de agua.....	36
Figura 10 Amperímetro analógico, marca TRIPLETT, modelo 330 – GL de origen EEUU	40
Figura 11 Voltímetro analógico, marca TRIPLETT, modelo 330 – GL de origen EEUU	41
Figura 12 Medidor de temperatura analógico, marca TRIPLETT, modelo 420 – GL de origen EEUU	42
Figura 13 Reóstato, marca THE SUPERIOR ELECTRIC, tipo 217BU, origen EEUU	43

Figura 14 Selector de varios canales, para cada lado de la barra (10 canales, izquierda) y para seleccionar la conexión con el medidor de temperatura (2 canales, derecha).....	44
Figura 15 Termopar instalados en la barra de sección cónica y extremo unido sin protección en el punto de medición	45
Figura 16 Asignación de nombre y ubicación a los sensores de temperatura en la barra de secciones cónicas para el lado aislado (izquierda) y lado no aislado (derecha).	47
Figura 17 Termopar Tipo K, con tornillo M6 de dos metros de largo.	50
Figura 18 Reóstato seleccionado SNDY – 4000W	52
Figura 19 Tablero auto soportado seleccionado para reemplazo de la unidad de control máster	54
Figura 20 Válvula reguladora de presión de agua, marca GENEBRE y manómetro de presión. ...	56
Figura 21 Medidor de corriente seleccionado CrocSee-CRS022B	58
Figura 22 Medidor de temperatura digital UCTRONICS, modelo UCT-3485	60
Figura 23 Medidor de caudal seleccionado WAYSEAR	63
Figura 24 <i>Lana de Roca</i>	65
Figura 25 Formación de grupos partiendo desde la barra de sección cónica para el diseño de la nueva unidad de control master.....	66
Figura 26 Diseño final del cuadro de instrumentos para la nueva unidad de control master.	67
Figura 27 Voltaje de entrada (izquierda) y salida (derecha) para la fuente de alimentación para los medidores de temperatura.	68
Figura 28 Prueba de funcionamiento de los sensores de temperatura.	69
Figura 29 Pruebas preliminares de funcionamiento del medidor de corriente y voltaje con el reóstato.....	70

Figura 30	Recubrimiento de perlita como aislante térmico	71
Figura 31	Limpieza y corrosiones presentes en la barra de sección cónica	72
Figura 32	Conexión eléctrica sulfatada en la resistencia eléctrica	73
Figura 33	Limpieza de los agujeros de los termopares.....	74
Figura 34	Calibración de profundidad para la instalación de termopares	74
Figura 35	Instalación de Termopares	75
Figura 36	<i>Cambio de tomas en la salida de agua con adaptador para termopar</i>	<i>75</i>
Figura 37	Cambio de toma en la entrada de agua.....	76
Figura 38	Limpieza de cañerías de agua, llaves, conector de entrada de agua y reservorio	77
Figura 39	Instalación de Termopares en las cañerías de entra y salida de agua	78
Figura 40	Corte y prueba de instalación de los instrumentos	79
Figura 41	Preparación de la superficie y aplicación de pintura.....	80
Figura 42	Instalación completa de medidores e interruptores.	81
Figura 43	<i>Instalación de fuentes de poder y protecciones en fase</i>	<i>82</i>
Figura 44	<i>Conexión final de la nueva unidad de control máster.....</i>	<i>83</i>
Figura 45	<i>Etiquetado de cableado termopar y ordenamiento unidireccional.</i>	<i>83</i>
Figura 46	<i>Conexión de equipo a la red eléctrica del laboratorio.</i>	<i>84</i>
Figura 47	<i>Conexión de la resistencia eléctrica</i>	<i>85</i>
Figura 48	<i>Conexión de termopares y ordenamiento del cableado.</i>	<i>86</i>
Figura 49:	<i>Prueba de correcto funcionamiento de todos los instrumentos</i>	<i>86</i>
Figura 50	<i>Manguera de salida de agua en la barra cónica e ingreso a la unidad de control máster para medir el caudal.</i>	<i>87</i>
Figura 51	<i>Filtro de reducción de sedimentos y válvula reguladora de caudal</i>	<i>88</i>

Figura 52 <i>Instalación de lana de roca y soporte para unida de control máster</i>	88
Figura 53 <i>Etiquetado en parte frontal del tablero y cableado termopar</i>	89
Figura 54 Condiciones iniciales de operación del equipo.....	91
Figura 55 Convergencia de datos en el estado estable	94
Figura 56 Perfiles de temperatura del lado aislado y no aislado de la barra	95
Figura 57 Conductividad térmica del latón.....	100

Resumen

En el Laboratorio de Conversión de Energía Térmica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE se realizan prácticas con el equipo de Unidad de Conducción Térmica en Barras Cónicas, el cual se encuentra operando desde el año 1981 hasta la presente fecha.

El equipo es fundamental en la demostración de la Conducción Unidimensional de Calor en una barra de sección cónica, tema relevante en la cátedra de Transferencia de Calor de la carrera de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica. Durante los treinta y ocho años de operación se ha realizado los mantenimientos recomendados para su funcionamiento, sin embargo, se aprecia desgaste causado por el uso en sus componentes presentando fugas y adaptaciones que necesitan ser mejoradas y renovadas acorde a la actualidad.

En el presente proyecto se realizó la actualización de los medidores analógicos de: temperatura, voltaje, caudal, y amperaje por unos medidores digitales. Se colocó un filtro y regulador de presión que mantendrá el caudal constante, además se reemplazó el cableado termopar con lo cual se mostrarán los valores en tiempo real, mejorando los resultados de adquisición de datos en las prácticas de laboratorio.

Cabe destacar que todos los medidores se ubicaron en un tablero de tal manera que facilitará la lectura de los datos y la comprensión de la práctica misma que desde el inicio del funcionamiento del equipo de Unidad de Conducción Térmica en Barras Cónicas fue confusa, sobre todo la lectura de las temperaturas y medición de caudales.

Palabras clave:

- **CONDUCCIÓN UNIDIMENSIONAL**
- **TRANSFERENCIA DE CALOR**
- **TEMPERATURA**

Abstract

In the Laboratory of Thermal Energy Conversion of the University of the Armed Forces - ESPE, practices are carried out with the Thermal Conduction Unit in Conical Bars, which has been operating since 1981 to the present date.

The equipment is fundamental in the demonstration of One-Dimensional Heat Conduction in a conical section bar, a relevant topic in the Heat Transfer course of the Mechanical Engineering and Mechatronics Engineering career. During the thirty-eight years of operation, the recommended maintenance for its operation has been carried out, however, wear caused by the use of its components has been observed, presenting leaks and adaptations that need to be improved and renewed according to the present time.

In this project, the analog meters for temperature, voltage, flow, and amperage were upgraded to digital meters. A filter and pressure regulator were installed to keep the flow rate constant, and the thermocouple wiring was replaced, which will show the values in real time, improving the results of data acquisition in the laboratory practices.

It should be noted that all the gauges were located on a board in such a way that will facilitate the reading of the data and the understanding of the practice itself that since the beginning of the operation of the equipment of Thermal Conduction Unit in Conical Bars was confusing, especially the reading of temperatures and flow rate measurement.

Key Words:

- **ONE-DIMENSIONAL CONDUCTION**
- **HEAT TRANSFER**
- **TEMPERATURE**

Capítulo I Generalidades

Antecedentes

En la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica cuenta con el equipo de Unidad de Conducción Térmica en Barras de Sección Cónica, que tiene como objetivo realizar prácticas para los estudiantes de ingeniería mecánica y mecatrónica en el área de conversión de energía. El equipo consta de una barra de sección cónica y una unidad de control master: dentro de la barra cónica encontramos los siguientes elementos: resistencia eléctrica, 20 termopares, una barra cónica aislada, una barra cónica no aislada, entradas y salidas de agua en el extremo de cada barra. Mientras que la unidad de control máster cuenta con: un reóstato, cuatro selectores de 10 posiciones cada uno, medidor analógico de voltaje, amperaje, y temperaturas, todos los elementos mencionados se conectan a la barra mediante dos cables de datos de varios canales cada uno.

El equipo fue adquirido y entregado al laboratorio de Termodinámica el 13 de agosto de 1981 iniciando su funcionamiento el 15 de diciembre del mismo año, el fabricante es LAB SCIENCES de procedencia británica, el equipo trabajó normalmente hasta finales del año 2019 a partir de la fecha mencionada presentó desgaste en sus componentes y principalmente en su unidad de control master (Abarza, 2021). Los mantenimientos eléctricos y mecánicos de termocuplas, módulo de potencia, uniones, seleccionadores y pintura han sido realizados por el analista de laboratorio al finalizar cada periodo académico.

El funcionamiento del equipo se realiza a través de la toma de ocho mediciones de temperatura en el centro de cada barra con los termopares de tipo K los cuales deben ser colocados en contacto con la superficie de la línea media de la barra. Además, mide la temperatura de la resistencia eléctrica, de la entrada y salida de agua de cada lado de la barra. La corriente, voltaje y el caudal de agua deben mantenerse constantes durante toda la práctica.

Desde el año 2002 se realizaron ajustes en el equipo, alargando la vida útil de los componentes principales, sin embargo, debido al uso en cada período académico el mismo ha presentado un desgaste normal en sus componentes de circulación de agua causando fugas en las uniones y llaves; por otro lado, en la unidad de control master a causa de la pérdida de un reóstato y switch de encendido el equipo quedó fuera de operación.

Objetivos

Objetivos General

Realizar la recuperación, adquisición de datos y puesta a punto del equipo de transferencia de calor en barras de sección cónica del laboratorio de conversión de energía térmica.

Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento técnico del estado del equipo.
- Seleccionar los instrumentos de medición digitales que se encuentren dentro del rango de toma de datos.
- Diseñar un tablero de control para los instrumentos.
- Realizar pruebas de operación y toma de datos para encontrar la conductividad del bronce amarillo.

Alcance

El presente trabajo tiene como finalidad la recuperación, adquisición de datos y puesta a punto del equipo de transferencia de calor en barras de sección cónica del laboratorio de conversión de energía térmica mediante la actualización de los instrumentos de medición de analógico a la digital, un regulador de presión que mantendrá constante el flujo de agua y el diseño de una nueva unidad de control máster, así como el diseño de cuadro de instrumentos.

Este trabajo se desarrollará en las siguientes etapas:

- Primera etapa, estudio y levantamiento de la información del equipo obtenida del manual del equipo, instructivos de operación, levantamiento técnico, registro de prácticas de laboratorio y libro de vida – identificación del equipo proporcionado por el analista de laboratorio.
- Segunda etapa, identificar el rango de operación de cada instrumento en la unidad de control máster, las alimentaciones requeridas de agua y energía disponibles en el laboratorio.
- Tercera etapa, selección de instrumentos digitales para la actualización de la unidad de control máster.
- Cuarta etapa, diseñar un soporte para los nuevos instrumentos de medición que reemplazarán la unidad de control máster.
- Quinta etapa, ensamblar y conectar cada instrumento en la nueva unidad de control máster.
- Sexta etapa, ensamble final de unidad de control máster, barras de sección cónica y entrada de agua.

- Séptima etapa, desarrollo de pruebas de funcionamiento y encontrar la conductividad térmica del latón.
- Octava etapa, se redactará las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en el trabajo.

Justificación e Importancia

Justificación Técnica

El equipo de barras de sección cónica tiene alrededor de cuatro décadas y se ha mantenido operativo en cada periodo académico, cabe destacar que lo ha realizado con pequeñas modificaciones las cuales han alargado su tiempo de vida. Sin embargo, debido al desgaste normal de sus componentes es imperativo realizar una innovación en la lectura de caudales de agua, temperaturas, voltaje y amperaje. De esta manera se recuperará el equipo con una nueva unidad de control máster que contará con instrumentos digitales.

En el levantamiento técnico del equipo, en el apartado de condiciones para la toma de datos, se recomienda tomarlos tan rápido como sea posible, al principio de cada intervalo de la práctica. Lo cual resulta irrealizable debido a la configuración de la unidad de control máster, ya que esta lee los datos de uno en uno, en cada sección de la barra cónica; teniendo en cuenta que, se debe realizar 20 lecturas en total en cada intervalo. La actualización de los instrumentos de medición de analógico a la digital representa una renovación acorde con la tecnológica actual, siendo de vital importancia para mejorar los tiempos en la toma de datos que se presentarían en tiempo real y mediante una fotografía se puede obtener instantáneamente los 20 datos de temperaturas.

Justificación Académica

El uso del equipo de transferencia de calor en barras de sección cónica del laboratorio de Conversión de Energía Térmica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, es fundamental en la enseñanza e investigación en las carreras de grado y pregrado.

Por lo que, si no se realiza la innovación de sus instrumentos de medición: toma de datos, un caudal de agua y voltaje constante como sugiere el fabricante; no se podrá recuperar el equipo. Lo cual generará la obtención de datos ineficaces con resultados lejanos a los recogidos de forma teórica afectando a los estudiantes de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecatrónica y Maestría de Energías Renovables, al no poder cumplir con el objetivo de las prácticas de laboratorio de Conversión de Energía.

Capítulo II Marco Teórico

Termodinámica

La termodinámica es una ciencia que estudia las transformaciones del calor en trabajo y viceversa. Apareció en el siglo XIX para comprender el funcionamiento de las máquinas de combustión externa logrando determinar su rango de operación y las capacidades que estas podían tener. Basándose en la observación y experimentación enuncia cuatro “Principios” fundamentales, uno de ellos, que no tiene una demostración matemática representa a escala macroscópica la transformación de la energía que de hecho nunca ha dejado de cumplirse. Las leyes de la termodinámica definen relaciones entre las funciones y las variables de estado (Smith, Van Ness, & Abbott, 1997; Jiménez Morales & Lemos Fernández, 2001).

Proviene de las palabras griegas *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza), el calor y la fuerza interaccionan con su alrededor y estudian la etapa final de una transformación y no contribuyen información alguna de la rapidez a la que se produce. Actualmente la termodinámica incluye las diferentes transformaciones de la energía, generación de potencia, refrigeración y propiedades de la materia (Cengel & Boles, 2012; Incropera & DeWitt, 1999).

Primera Ley de la Termodinámica

También conocida como “Ley de la Conservación de la Energía”, nos enuncia que la energía total de un sistema aislado siempre será constante ya que esta se transforma en otras diferentes. Lo que se expresa así: la energía no se crea ni se destruye solo se transforma (Cengel & Boles, 2012).

Segunda ley de la Termodinámica

También conocida como “Ley de la Entropía”, según Gordon indica que, si bien todo el trabajo mecánico en una interacción puede transformarse en calor, no todo el calor puede

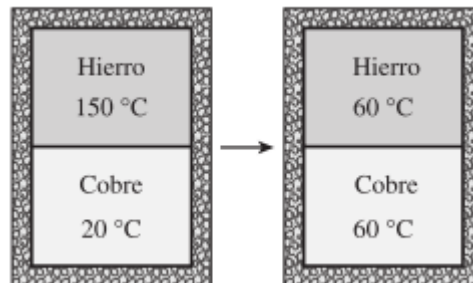
transformarse en trabajo mecánico fijando así una dirección de la transferencia de calor (Pérez García, García Santillán , Alcántara Lópe, & Sánchez Tapia, 2020).

Ley cero de la Termodinámica

Si dos cuerpos a diferentes temperaturas están en contacto como se muestra en la **Figura 1**, sus temperaturas se igualarán con el medio que los rodea, si hubiere un tercer cuerpo con la temperatura del medio, los tres cuerpos estarían en equilibrio térmico (Cengel & Boles, 2012).

Figura 1

Equilibrio térmico de dos cuerpos dentro de medio aislado



Nota: Tomado de (Cengel & Boles, 2012)

Transferencia de Calor

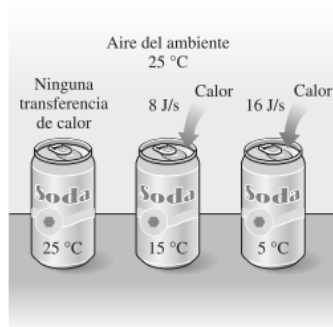
Es la ciencia que se encarga de determinar las razones por las que se lleva a cabo la transferencia de energía en una o varias formas, Yunus A. Cengel describe el calor como: *“la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura”* (Cengel & Ghajar , 2011). Existen diferentes procesos de transferencia de calor que utilizan un medio y puede ser: sólido, fluido en movimiento y superficies radiantes.

La transferencia de calor se da hasta encontrar un equilibrio térmico en los cuerpos y tiene una gran aplicación tanto en dispositivos como en construcciones del hogar. Un análisis de transferencia de calor puede optimizar el uso de energía y ahorrar dinero con los sistemas de refrigeración, al elegir los aislantes adecuados tanto para paredes como techos, y se optimizaría el uso en tiempos cálidos así mismo con la calefacción en tiempos de invierno. La velocidad de la transferencia de calor se da en una dirección y depende del gradiente de temperatura que es directamente proporcional con la transferencia de calor, mientras sea mayor la diferencia de temperaturas de los cuerpos como se indica en la **Figura 2**

Figura 2 mayor será la transferencia de calor (Cengel & Ghajar , 2011; Cengel & Boles, 2012).

Figura 2

Diferencias de temperaturas de una bebida fría con el medio ambiente, señalando la transferencia de calor que es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas.



Nota: tomado de (Cengel & Boles, 2012).

Conducción

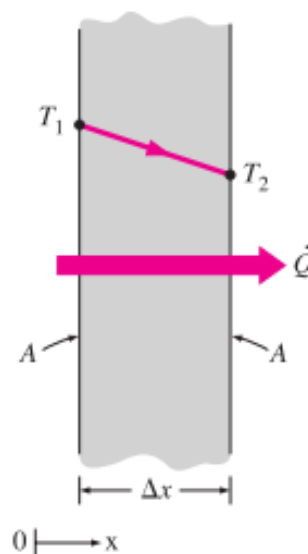
Si la transferencia de calor entre cuerpos sólidos va del cuerpo con mayor temperatura al cuerpo con menor temperatura se la conoce como conducción. La conducción se puede dar en sólidos por la combinación de vibraciones en las moléculas y en fluidos debido a

las interacciones entre sus moléculas. Existen varios aspectos a tomarse en cuenta en la transferencia de calor como: el espesor, configuración geométrica, diferencia de temperaturas que se tenga y el material del cuerpo, mismos que influirán en la rapidez o razón de la conducción (Cengel & Ghajar , 2011).

La conducción es la transferencia de energía que se da del punto con mayor temperatura al de menor temperatura a través de un espesor y área determinada. Esta razón de transferencia de calor es directamente proporcional al aumentar la temperatura de un solo lado o el área conductiva e inversamente proporcional al aumentar el espesor como se muestra en la siguiente **Figura 3** de forma general.

Figura 3

Conducción que se realiza desde T_1 a T_2 , considerando diferencia de temperaturas $T_1 > T_2$, un espesor Δx y un área A perpendicular a la razón de transferencia de calor \dot{Q} .



Nota: Tomado de (Cengel & Ghajar , 2011).

La razón de transferencia de calor, se denotaría por la ecuación 1:

$$\dot{Q}_{cond} = k A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -k A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [W] \quad (1)$$

Donde k es una constante que está definida según el material, es una medida de la cantidad de calor que este puede conducir, el signo menos nos indica que la dirección del calor de izquierda a derecha es positiva manteniendo la transferencia de calor del lado más energético al menos energético. La ley de Fourier aparece cuando la distancia Δx tiende a disminuir hasta aproximarse a cero, expresando la siguiente ecuación 2 de forma diferencial (Cengel & Ghajar , 2011):

$$\dot{Q}_{cond} = -k A \frac{dT}{dx} \quad [W] \quad (2)$$

Convección

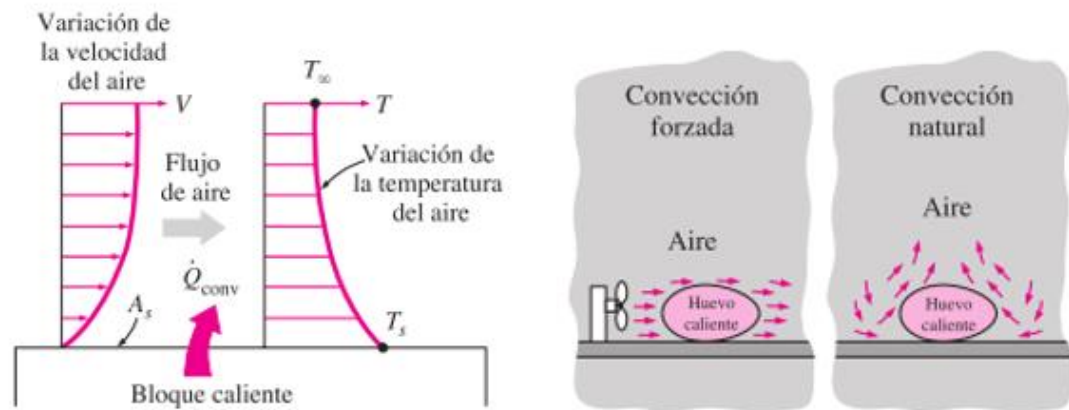
Es la transferencia de calor que se da entre una superficie sólida y un fluido en movimiento y puede presentarse en estado líquido o gaseoso. La transferencia de calor es directamente proporcional con el movimiento del fluido, al no presentar ningún movimiento el fluido se dice que la transferencia de calor es conducción pura, el movimiento del fluido puede presentarse de forma natural o de forma forzada mediante ventiladores cuando el fluido es gaseoso o bombas en líquidos. La convección se enuncia por la ley de enfriamiento de Newton:

$$\dot{Q}_{conv} = h A_s (T_s - T_\infty) \quad [W] \quad (3)$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, que depende del entorno que lo rodea, si es flujo se da por convección forzada o natural como se indica en la **Figura 4**, A_s es el área superficial y T_∞ la temperatura del ambiente que lo rodea (Cengel & Ghajar , 2011).

Figura 4

Perfil de velocidad del aire vs variación de temperatura, forma de circulación del aire.



Nota: Tomado de (Cengel & Ghajar , 2011).

Radiación

Es la transferencia de calor que se presenta entre superficies que no se encuentran en contacto sin la presencia de un medio sólido o fluido como en los modos de conducción y convección, se origina en forma de ondas electromagnéticas en todos los cuerpos cuya temperatura supere el cero grados kelvin o cero absoluto. Dentro de los tipos de radiación, la térmica se estudia en la transferencia de calor, que se presenta de forma volumétrica absorbiendo o emitiendo radiación en la superficie para sólidos opacos, los cuales según su estructura atómica dificultan la salida de la radiación a la superficie (Incropera & DeWitt, 1999).

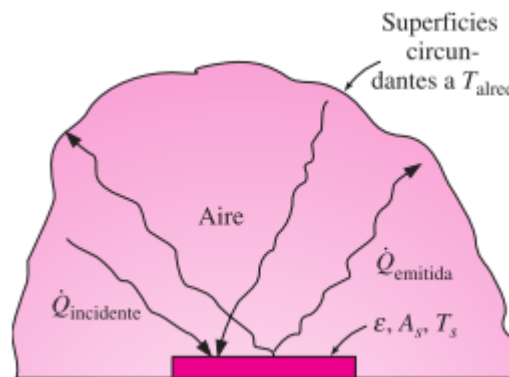
Las propiedades de absorptividad (σ) y emisividad (ε) varían en cada cuerpo, representándose en valores de cero a uno según el material y temperaturas que los rodean, la absorptividad se presenta como la radiación que es absorbida por el cuerpo mientras que la emisividad es la emisión de la radiación incidente (Incropera & DeWitt, 1999; Cengel & Ghajar , 2011).

Utilizando la ley de Stefan-Boltzman, para un caso particular de una superficie radiante en un entorno libre que se encuentre rodeado de aire que no se relaciona con la radiación como se muestra en la **Figura 5**, se tiene la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad [W] \quad (4)$$

Figura 5

Transferencia de calor entre superficies y un medio más grande considerado como un cuerpo negro con aire de por medio sin interferir en la radiación.



Nota: Tomado de (Cengel & Ghajar, 2011).

La transferencia de calor por radiación, se da simultáneamente con la transferencia de calor por convección cuando el fluido que los rodea es un gas, generalmente el fluido presente es el aire con lo que la razón de transferencia de calor sería la suma de la radiación y convección. Para facilitar el análisis se define un coeficiente combinado que involucra los dos modos de transferencia así:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{total} &= \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} \quad [W] \\ \dot{Q}_{total} &= h_{conv} A_s (T_s - T_{alred}) + \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \\ \dot{Q}_{total} &= h_{combinado} A_s (T_s - T_{\infty}) \\ h_{combinado} &= h_{conv} + h_{rad} \end{aligned} \quad (5)$$

$$h_{combinado} = h_{conv} + \varepsilon \sigma (T_s - T_{alred}) (T_s^2 + T_{alred}^2) \quad (6)$$

La radiación es relevante si la mayor transferencia de calor se da de este modo, sería descartada aunque esté presente si la mayor transferencia de calor se da por convección forzada (Cengel & Ghajar , 2011).

Balance de Energía

Según lo enunciado en la primera ley de la termodinámica, “la energía no se crea ni se destruye solo se transforma” esta se puede transferir de un medio a otro en sus diferentes formas expresando que la variación de la energía en un sistema es igual, a diferencia de la energía que entra y sale del mismo expresado en la siguiente ecuación:

$$E_{entrada} - E_{sale} = \Delta E_{sistema} \quad (7)$$

El balance de energía es necesario aplicarlo en superficies de tránsito de calor que como se expuso anteriormente se puede dar en los tres modos de transferencia que son: conducción, convección y radiación. Una superficie es un punto o plano referencial que no interactúa con el flujo de calor siendo un lugar elegido convencionalmente como un sistema de flujo estacionario lo que se expresa de la ecuación siete igualada a cero al no presentar variaciones así (Cengel & Ghajar , 2011):

$$\dot{E}_{entrada} = \dot{E}_{sale} \quad (8)$$

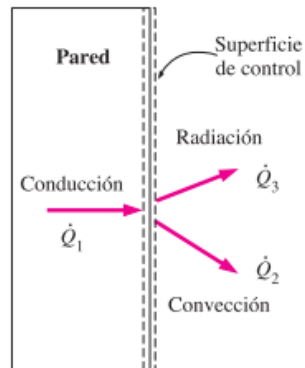
La superficie de control se puede establecer para estados transitorios o estables sin afectar al flujo de calor ya que al no poseer masa esta no genera cambios en el paso de calor de un modo a otro como se aprecia en la **Figura 6**; para una habitación que se encuentra en invierno el flujo de calor se dará de adentro hacia afuera, manteniendo el balance de energía de la cantidad de calor \dot{Q}_1 que se genera por conducción de la pared del lado interno hasta llegar al lado externo es igual a suma de \dot{Q}_2 de convección que pasa al aire exterior y \dot{Q}_3 de radiación de

la superficie con el medio exterior que como se revisó anteriormente se da del lado más energético al menos energético, por lo tanto la ecuación del balance de energía nos queda de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 \quad (9)$$

Figura 6

Flujo de calor de una pared de una habitación en invierno en sus diferentes modos de transferencia de calor.



Nota: tomado de (Cengel & Ghajar , 2011)

Resistencia Térmica

Se presenta una similitud entre la resistencia eléctrica y la térmica, como en la electricidad se genera resistencia al flujo de electrones en los cables eléctricos, cada cuerpo tiene una resistencia con la conducción del calor que lo atraviesa, es así que los valores de resistencia dependen del material y la forma que tenga el cuerpo. Estas resistencias varían en cada modo de transferencia de calor para la Conducción y la Convección como se expresa en las siguientes ecuaciones (Incropera & DeWitt, 1999):

$$R_{Convección} = \frac{1}{hA_s} \quad (10)$$

$$R_{\text{Conducción}} = \frac{L}{kA_c} \quad (11)$$

Dónde; h es el coeficiente de transferencia de calor por convección

k : es el coeficiente de la conductividad térmica

A_s : es el área superficial o de contorno del cuerpo

A_c : es el área perpendicular a la transferencia de calor

L : es la longitud que pasa la transferencia de calor

Aislante Térmico

Los aislantes térmicos son utilizados para reducir la transferencia de calor entre dos cuerpos que se encuentran a diferentes temperaturas, esto se logra debido a la baja conductividad térmica que posee cada tipo de aislante según el material del que estén fabricados. Se pueden clasificar en tres tipos comunes que se encuentran en el mercado como son: Lanas Minerales, Sintéticos y Naturales.

El aislante de Lanas Minerales es el de mayor uso debido a su gran aplicación en construcciones residenciales, por que ofrece una doble función. Aparte de aislar térmicamente también funciona como aislamiento acústico brindando un mayor confort en edificaciones y ahorro en equipos de climatización. El espesor y el tipo de cada aislante como se puede observar en la **Figura 7** se lo puede seleccionar según el uso en cada espacio o característica fundamental de selección.

Figura 7

Tipos de aislantes térmicos, lanas minerales como son lana de roca y lana de vidrio usadas como aisladores acústicos y cortafuegos residenciales su presentación puede darse en rollos y planchas.



Nota: tomado de (INSTITUTO VALENCIANO DE LA EDIFICACIÓN , 2011)

Termopar

Son un conjunto de metales de dos elementos diferentes que se encuentran unidos entre sí en un extremo, sirven para medir la temperatura en punto específico. Debido a la variación de temperatura se genera una diferencia de voltaje en un rango muy bajo que con la ayuda de un sistema DAQ se puede visualizar los datos de temperaturas. Existen varios tipos de termopares que según la composición en los elementos termopares tienen específicamente un rango de medición determinado, los termopares pueden ajustarse a los requerimientos más comunes para instalarse en su extremo como juntas empernadas y bulbos como se muestra en la **Figura 8** con rango de operación de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 8

Tipos de Termopares según su extremo de medición que pueden ser junta roscada o en forma de bulbos.



Capítulo III Determinación del estado del equipo y correcciones a realizarse

Componentes del Equipo

En la **Figura 9** se muestra el equipo que trabajaba en el laboratorio de Conversión de Energía Mecánica, actualmente consta de una unidad de control máster y el equipo de barras cónicas. Para el funcionamiento se necesita una toma de corriente que suministrará energía a la unidad máster y una toma de agua que se conectará en el equipo de barras cónicas junto a una conexión de desagüe para la salida del agua.

La conexión entre la unidad de control máster y el equipo de barras cónicas se da para medir la temperatura de la resistencia eléctrica y lectura de los termopares instalados en cada lado, un lado de la barra tiene un aislamiento térmico cubriendo la resistencia eléctrica y un lado de la barra cónica, además el aislamiento se encuentra revestido de una tela.

Figura 9

Equipo de Transferencia de Calor en barras Cónicas conectado a suministro eléctrico y suministro de agua.



Unidad de Control Máster

La Unidad de Control Máster cuenta con medidores analógicos de voltaje, amperaje y temperatura que se pueden revisar en escala Centígrada o Fahrenheit, dos reóstatos que controlan la intensidad de corriente que se suministra a la resistencia eléctrica, switch de encendido para cada lado y selectores de varias posiciones con los cuales se medirán la señal de temperatura de cada termopar de forma individual.

Se produjo un cortocircuito interno del cableado del reóstato dejando fuera de servicio la unidad de control máster, los breakers de protección se encuentran sin continuidad al igual que algunos de los termopares de cada lado de la barra. El equipo no cuenta con una señalética clara y precisa para cada instrumento de medición presentándose confusión en los valores obtenidos durante cada medición de tiempo.

Tabla 1

Características Técnicas de la Unidad de Control Master.

Características	Fotografía
Fabricante: LAB-SCIENCES	
Código: LT – 41 – E	
Origen: Reino Unido	
Voltaje: 220 [V]	
Frecuencia: 60 [Hz]	
Fases: 3	
Indicadores: Voltaje, Amperaje y Temperatura	
Selectores de Canales: 6 Unidades	




Barras Cónicas

La barra cónica tiene dos lados, uno se encuentra cubierto por aislante térmico. Cada lado tiene una llave de agua que sirve para controlar el caudal de la misma y un termopar que mide la temperatura en la salida del agua. El ingreso del agua se da en la parte inferior, en la cual se encuentra un termopar que se encarga de medir la temperatura de ingreso del líquido. El aislante térmico utilizado es de perlita para tubos de dos pulgadas, cubriendo parcialmente la barra, en la resistencia tiene un aislante de yeso que recubre toda la resistencia eléctrica y una parte que sostiene el aislante de perlita de la barra.

Tabla 2

Características Técnicas de la Barra de sección Cónica.

Características	Fotografía
<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: LAB-SCIENCES • Código: LT-41-E • Origen: Reino Unido • Voltaje: 220 [V] • Frecuencia: 60 [Hz] • Fases: 2 	

Continúa siguiente página

Características	Fotografía
<ul style="list-style-type: none"> • Llaves de agua: 2 Unidades • Termopares: 20 Unidades • Resistencia: Eléctrica • Aislantes térmicos: Perlita, yeso • Aislantes térmicos: Perlita 	

Instrumentos

El equipo lleva algunos instrumentos de medición analógicos para su operación los cuales están en la unidad de control máster, la comunicación de las barras cónicas con la unidad se realiza mediante cables de datos que tiene una conexión desmontable para aislar la unidad máster facilitando así su transporte.

Amperímetro analógico

Es un dispositivo que presenta una medición de corriente eléctrica con una aguja y una carátula marcada en una escala específica según el rango de medición, el amperímetro analógico utilizado en el equipo presenta un rango de cero a diez amperios en corriente alterna como se muestra en la **Figura 10**, con una apreciación de dos décimas. Antes de realizar las prácticas de laboratorio se debe encerrar el equipo, si fuera necesario con un destornillador plano en cero amperios como indica el manual de operación del equipo.

El amperímetro mide el flujo de corriente que pasa de la salida del reóstato en la unidad de control master a la resistencia eléctrica en la barra de sección cónica. La medida de operación de trabajo es de 3.5 amperios.

Figura 10

Amperímetro analógico, marca TRIPLETT, modelo 330 – GL de origen EEUU



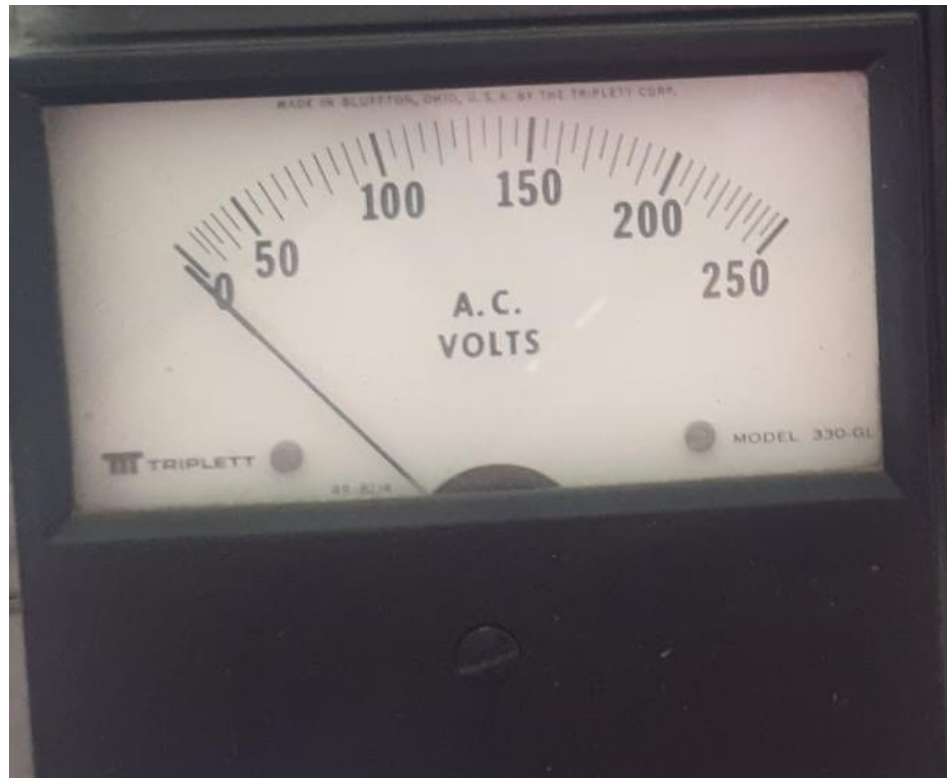
Voltímetro analógico

Es un dispositivo que nos permite medir el voltaje en una línea energizada de corriente, la medición se realiza mediante una aguja y una carátula con escala marcada. El voltímetro analógico utilizado en la unidad de control máster tiene un rango de operación de cero a doscientos cincuenta voltios como se muestra en la **Figura 11**, con una apreciación de cinco unidades. Se debe calibrar cada vez que exista un desplazamiento de cero voltios con un desarmador plano en la parte inferior de la carátula.

La lectura del voltaje se realiza desde la salida del reóstato a la resistencia eléctrica en la barra de sección cónica, es el principal indicador para regular la temperatura a un voltaje de operación en ciento sesenta voltios.

Figura 11

Voltímetro analógico, marca TRIPLETT, modelo 330 – GL de origen EEUU



Termómetro analógico

Son dispositivos que marcan la temperatura con una aguja en una carátula marcada con escalas de temperaturas definidas. La lectura de medición se realiza a través de un cableado termopar del tipo K. El termómetro analógico presenta dos escalas de medición, una para grados centígrados y otra para grados Fahrenheit, con un rango de 0 a 750 grados Fahrenheit como se muestra en la **Figura 12** y una apreciación de diez decenas. La calibración se la realiza manualmente con un destornillador plano cuando sea requerido, la escala puede ser duplicada con un selector de dos posiciones ubicado en la parte inferior de la carátula.

La medición de las temperaturas va de la mano con los selectores de canales en la parte inferior, la lectura se la realiza de uno en uno del total de 20 termopares que constan en la barra de sección cónica, activando cada canal para una medición en cada lado.

Figura 12

Medidor de temperatura analógico, marca TRIPLETT, modelo 420 – GL de origen EEUU



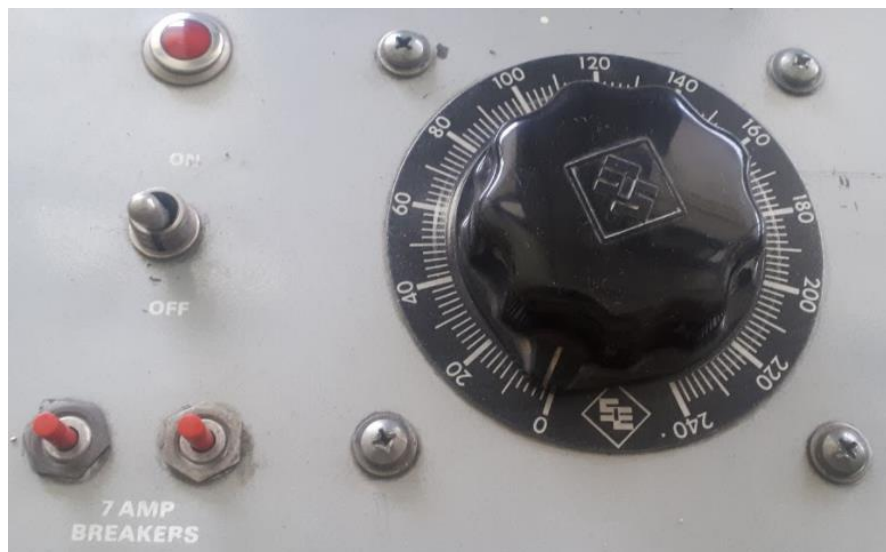
Reóstato

Es un dispositivo que nos permite regular la cantidad de voltaje mediante una resistencia eléctrica variable, el rango de operación del reóstato depende de la línea de alimentación en la entrada de corriente. El equipo del laboratorio trabaja con 220 V para lo cual la resistencia tiene una escala de cero a doscientos cuarenta como se muestra en la **Figura 13**. El reóstato trabaja en conjunto con el medidor de voltaje fijando así el voltaje de operación recomendado en ciento setenta voltios. Consta con una protección de breakers de siete amperios, un switch de encendido con una luz piloto, y controles que se encuentran en la parte superior de la unidad de control máster.

Actualmente un reóstato de la unidad de control máster se encuentra deshabilitado debido a un cortocircuito al interior del dispositivo dejando inoperable la mitad de los controles e instrumentos de medición.

Figura 13

Reóstato, marca THE SUPERIOR ELECTRIC, tipo 217BU, origen EEUU



Selector de Canales

Son dispositivos con varias direcciones llamados canales, que selecciona un canal a la vez con perillas mecánicas o con relés según el dispositivo. El equipo consta de un total de seis selectores de varios canales, cuatro tienen diez canales y los otros dos tienen cuatro canales. Se necesitan tres selectores para una barra de sección cónica, dos de ellos se encargarán de medir en cada uno de los lados de la barra (lado aislado, lado no aislado) y uno de ellos se encargará de seleccionar qué selector se conecta para enviar una señal al medidor de temperatura como se muestra en la **Figura 14**.

Cada lado de la barra consta de ocho termopares separados por una misma distancia entre sí a lo largo de la barra. Los cuales miden la temperatura según la posición fijada en el selector.

Figura 14

Selector de varios canales, para cada lado de la barra (10 canales, izquierda) y para seleccionar la conexión con el medidor de temperatura (2 canales, derecha).



Termopar tipo K

Son alambres metálicos de diferente composición y cada uno se encuentra unido en un solo extremo. Cuando entran en contacto con una superficie que se encuentra a distinta

temperatura, se genera una tensión que es directamente proporcional con la temperatura medida. La combinación de metales del tipo K es de cromel y alumel. Los termopares son instalados en la parte central de la barra cónica y fijados con pasta térmica como se muestra en la **Figura 15**. El extremo unido no presenta ningún tipo de protección o ajuste para su instalación, dejando el cableado metálico libre y sin fijación alguna al instalar o desinstalar el termopar. Al terminar la sección que ingresa hasta la zona central se encuentra un protector plástico rojo que va hasta la base de aluminio, la cual une con terminales de conexión rápida la barra de sección cónica y la unidad de control máster.

Figura 15

Termopar instalados en la barra de sección cónica y extremo unido sin protección en el punto de medición



Capítulo IV Descripción de los Elementos Instalados y Construcción

Los instrumentos y medidores a utilizarse se seleccionarán de acuerdo a la necesidad requerida y el rango de medición que se necesita, basándose en las carátulas de los medidores analógicos, en el levantamiento técnico realizado y las temperaturas máximas alcanzadas en las prácticas de laboratorio. Se tendrá prioridad en los costos más accesibles que cumplan con las características que se necesita.

Criterios de Diseño para la Construcción de una Nueva Unidad de Control Master

La función primordial del equipo de Transferencia de Calor en Barras de Sección Cónica del Laboratorio de Conversión de Energía Térmica, es el didáctico y experimental en la demostración de los modos de transferencia de calor.

La lectura de los datos de temperaturas, se debe presentar identificando a qué sección de la barra corresponde cada medida, separando las mediciones de temperaturas de entrada y salida de agua tanto para el lado aislado, lado no aislado y resistencia eléctrica en la barra.

Facilita la medición de caudales de agua para cada sección de la barra y regular la presión de la misma que varía a lo largo de las jornadas académicas en la universidad, obteniendo así mejores resultados en las prácticas de laboratorio que faciliten la comprensión de la misma.

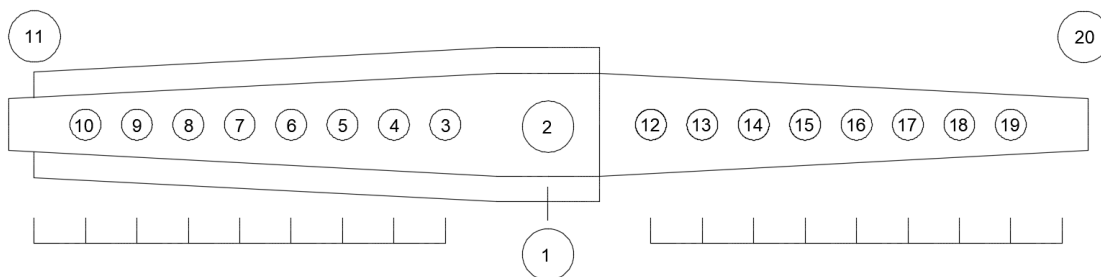
Designación en la ubicación de sensores de temperatura

En la barra de sección cónica se realiza un total de veinte mediciones de las cuales ocho pertenecen a cada lado, una a la salida de agua en cada lado, una en la entrada de agua y finalmente una a la resistencia eléctrica. Para poder identificar de mejor manera a cada sensor de temperatura se le asignará un número específico según se detalla en la **Figura 16**. Los

sensores número once y veinte corresponden a la salida de agua de cada lado mientras que el sensor número uno corresponde a la entrada de agua.

Figura 16

Asignación de nombre y ubicación a los sensores de temperatura en la barra de secciones cónicas para el lado aislado (izquierda) y lado no aislado (derecha).



Selección de Instrumentos

Termopares

Los sensores de temperatura son el elemento principal a utilizar en la innovación de equipo por lo cual se empleará un total de veinte. Se realizarán diecisiete mediciones en la barra de sección cónica y tres en las cañerías de agua. Además, se analizarán las opciones disponibles tanto en el mercado local como en el mercado estadounidense con la elección de importación de componentes principales de ser necesario.

Tabla 3

Variables susceptibles a medición en las cañerías de entrada y salida de agua en la barra de secciones cónicas.

No. Sensor	Variable a medir
Sensor 1	Temperatura de entrada de agua.
Sensor 11	Temperatura de Salida del agua en Lado Aislado.
Sensor 20	Temperatura de Salida del agua en Lado No Aislado.

Tabla 4

Sensores de Temperatura dentro de la barra de sección cónica para el lado aislado y no aislado.

No. Sensor	Variable a medir
Sensor 2	Temperatura de la resistencia en barra de sección cónica
Sensor 3	Temperatura en barra de sección cónica lado aislado
Sensor 4	Temperatura en barra de sección cónica lado aislado
Sensor 5	Temperatura en barra de sección cónica lado aislado
Sensor 6	Temperatura en barra de sección cónica lado aislado
Sensor 7	Temperatura en barra de sección cónica lado aislado
Sensor 8	Temperatura en barra de sección cónica lado aislado
Sensor 9	Temperatura en barra de sección cónica lado aislado

Continúa siguiente página

No. Sensor	Variable a medir
Sensor 10	Temperatura en barra de sección cónica lado aislado
Sensor 12	Temperatura en barra de sección cónica lado no aislado
Sensor 13	Temperatura en barra de sección cónica lado no aislado
Sensor 14	Temperatura en barra de sección cónica lado no aislado
Sensor 15	Temperatura en barra de sección cónica lado no aislado
Sensor 16	Temperatura en barra de sección cónica lado no aislado
Sensor 17	Temperatura en barra de sección cónica lado no aislado
Sensor 18	Temperatura en barra de sección cónica lado no aislado
Sensor 19	Temperatura en barra de sección cónica lado no aislado

Los termopares disponibles en el mercado que cumplen los requerimientos de rango y precio son:

- Termopares del tipo K
- Termopares del tipo J

Los que se seleccionaran según la matriz a detallarse en la tabla siguiente:

Tabla 5

Matriz de selección del cableado termopar.

Características	Ponderación	Tipo K	Tipo J
Largo	20%	2	2
Conexión	20%	2	2
Rango de medición	40%	4	3.5
Recubrimiento	20%	2	2
TOTAL:	100%	100	95

La matriz de selección nos muestra valores muy próximos entre las dos opciones a tomar, económicamente los termopares tipo J son más baratos que termopares tipo K sin embargo su diferencia no varía mucho. El rango de medición es mayor en el tipo K, permitiendo tener una mayor holgura en las mediciones sin llegar a valores límites. Al no existir una mayor diferencia más que en su rango de operación se selecciona al termopar Tipo K como nuevo sensor de temperatura en la presentación de tornillo M6 con recubrimiento protector de malla metálica como se muestra en la **Figura 17**.

Figura 17

Termopar Tipo K, con tornillo M6 de dos metros de largo.



Reóstato

Dentro el mercado ecuatoriano no se encuentran reóstatos que trabajen a doscientos veinte voltios con corriente alterna, en el mercado estadounidense se encontró dos potenciales opciones que pueden trabajar a doscientos veinte voltios tanto en la entrada como en la salida. Además, se requiere que sean bifásicos para realizar la conexión directamente desde la toma de corriente que se dispone en el laboratorio, los reóstatos o control de voltaje variable encontrados son:

- SNDY – 4000 W
- ACMC60 – 1

Con la matriz de selección se tomará el que mejor se ajuste a los requerimientos necesarios para el trabajo y criterios de selección.

Tabla 6

Matriz de selección para el reóstato.

Características	Ponderación	SNDY – 4000 W	ACMC60 – 1
Corriente de trabajo	20%	2	2
Fases	40%	4	2
Costo	20%	1	2
Rango de Voltaje	20%	2	2
TOTAL:	100%	90%	80%

El reóstato que se adapta de mejor manera es el modelo SNDY – 4000 W, con poca diferencia siendo de mayor relevancia la simplicidad de conexión y las fases a utilizarse en las conexiones. La frecuencia de trabajo es de cincuenta a sesenta Hertz que es la que se maneja en

el país con un rango de cero a doscientos veinte voltios, la carcasa exterior es metálica facilitando el montaje en el tablero como se muestra en la **Figura 18**.

Las características principales se detallan en la **Tabla 7**, el reóstato será desarmado para ser instalado sin la cubierta de cierre, eliminando el tomacorriente de salida para realizar la conexión a la resistencia eléctrica. En las conexiones se utilizarán tubos termo retráctiles que aislarán perfectamente cada empalme a realizarse.

Figura 18

Reóstato seleccionado SNDY – 4000W



Nota: imagen referencial tomada de (Lazada, 2021)

Tabla 7

Características Técnicas del reóstato seleccionado.

Característica	Valor	Unidades
Voltaje de entrada	0 – 200	V
Voltaje de salida	0 - 200	V
Potencia máxima	4000	W
Tipo de corriente	Alterna	N/A
Intensidad de Corriente máxima	40	A

Nota: valores tomados de (Lazada, 2021)

Tablero

El cuerpo de la nueva unidad de control máster se montó sobre un tablero de policarbonato de alta resistencia a impactos que consta con dos cubiertas metálicas y una tapa transparente de acrílico. El tablero posee un caucho en el contorno de la tapa que lo protege cuando se cierra de forma hermética como se muestra el **Figura 19**. Se detalla las especificaciones en la **Tabla 8**, las cubiertas metálicas son de soporte para las fuentes de alimentación interna y externa para los instrumentos de medición.

Figura 19

Tablero auto soportado seleccionado para reemplazo de la unidad de control máster

**Tabla 8**

Características técnicas del tablero para montaje de la nueva unidad de control máster

Característica	Valor	Unidades
Resistencia	Agentes químicos, alcalinos, sales, etc.	N/A
Tensión Nominal	Hasta 690	V
Corriente Máxima	800	A

Continúa en la siguiente página

Característica	Valor	Unidades
Temperatura de Funcionamiento	-35 a 65	°C
Material	Polietileno, acrílico	N/A
Placas de montaje	<ul style="list-style-type: none"> • 1 desmontable para instrumentación. • 1 fija para fuentes 	N/A
Color	Gris y puerta transparente	N/A

Regulador de Caudal de Agua

El suministro de agua en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, proviene de un pozo, manteniendo durante el día una presión variable de agua. Para controlar el caudal se instaló una válvula reguladora de presión a la salida de la llave y por recomendación del fabricante de la válvula se instaló un filtro de partículas antes de la entrada a la misma, con ello se asegura que no existirá sedimentos con el paso del tiempo que puedan afectar su operación. Para la regulación de la presión se utilizó un manómetro con una capacidad máxima de 100 PSI como se muestra en la **Figura 20**. Las características principales de la válvula se detallan en la **Tabla 9**.

La regulación de la válvula se la realiza con una llave hexagonal retirando el capuchón superior, y según la posición final en la instalación se lo retira para instalar el manómetro a un costado libre. La presión de trabajo que se fijó en la válvula fue de 1.5 bar.

Figura 20

Válvula reguladora de presión de agua, marca GENE BRE y manómetro de presión.



Nota: tomado de (INDUSTRIAS ASOCIADAS S.A.S. - INSTRUMENTACIÓN PARA LA INDUSTRIA , 2021)

Tabla 9

Características de la válvula reguladora de presión GENE BRE

Característica	Valor	Unidades
Presión Máxima	400	PSI
Presión de salida establecida	3	BAR
Temperatura Máxima de Trabajo	130	°C
Extremos roscados	1/2	NPT
Conexión a manómetro	1/4	In

Nota: Valores tomados de (INDUSTRIAS ASOCIADAS S.A.S. - INSTRUMENTACIÓN PARA LA INDUSTRIA , 2021)

Selección de Medidores Digitales

Medidor de Voltaje y Amperaje

La selección de un medidor de voltaje y amperaje se realizó con la siguiente matriz teniendo en cuenta el tipo de corriente a utilizarse y la facilidad de medición de la misma según se disponga, con lo cual tenemos tres opciones a seleccionar:

- CrocSee – CRS 022B
- PO6S-20
- HiLetgo

Tabla 10

Matriz de selección para el medidor de voltaje y amperaje.

Características	Ponderación	CrocSee-CRS 022B	PO6S-20	HiLetgo
Costo	20%	1.5	1	2
Medidor de Amperaje	20%	2	2	1
Rango de Amperaje	30%	3	2	1.5
Rango de Voltaje	30%	3	2.5	2
TOTAL:	100%	95	75	65

El medidor CrocSee-CRS022B es el seleccionado ya que se ajusta de mejor manera a nuestras características, presenta una fácil medición de amperaje por medio de transformador de corriente de núcleo dividido con ello no es necesario realizar ningún empalme o corte en los alambres, solo al pasar una línea por el núcleo se obtiene el valor de corriente utilizada, como se muestra en la siguiente **Figura 21**. Las características técnicas del equipo se detallan en la **Tabla 11**.

Figura 21

Medidor de corriente seleccionado CrocSee-CRS022B

**Tabla 11**

Características Técnicas de medidor de voltaje y corriente CrocSee-CRS022B.

Característica	Valor	Unidades
Voltaje de operación	80 – 260	V
Corriente	0 – 100	A
Potencia	0 – 22	kW
Energía	0 - 999	kWh
Frecuencia	45 – 65	Hz

Nota: valores y características tomado de (Amazon, 2021)

Medidor de Temperatura

Los sensores de temperatura que van en la barra de sección cónica tienen que instalarse a una profundidad específica, para cada sección en un diámetro de seis milímetros

aproximadamente y para la medición de la temperatura se puede utilizar las siguientes opciones:

- Arduino
- PLC
- Sensor de temperatura individual.

Con la ayuda de una matriz de selección, se podrá elegir el que cumpla con las características necesarias y criterios fijados anteriormente.

Tabla 12

Matriz de selección para los sensores de temperatura.

Características	Ponderación	Arduino	PLC	Sensor de temperatura individual
Rango de Medición	30 %	2	2.5	3
Costo	30 %	2	0.5	2.5
Componentes Adicionales	20 %	0.5	1.5	2
Tamaño	10 %	0.5	1	1
Entradas	10 %	0.5	0.5	1
TOTAL:	100 %	55%	60%	95%

Con la ayuda de la matriz podemos seleccionar los sensores de temperatura individuales que se adaptan mejor a las características que se necesita. La disponibilidad de compra se encuentra en EEUU, el termopar que se utiliza es de tipo K y se encuentra dentro del rango de temperaturas. La presentación de la lectura de temperaturas se da en una pantalla

digital de color azul en la escala de centígrado hasta con décimas de apreciación para temperaturas inferiores a cien grados centígrados como se muestra en la .

Figura 17.

Para la operación de los medidores se necesita una fuente de poder de doce voltios en corriente continua, los sensores poseen binchas en la carcasa exterior para una fijación en pared de forma vertical, las conexiones son rápidas respetando la polaridad tanto para la alimentación de energía como para el cableado termopar. El resumen de las características principales se presenta en la **Tabla 6**.

Figura 22

Medidor de temperatura digital UCTRONICS, modelo UCT-3485



Nota: Imagen referencias tomado de (2021 UCTRONICS Store, 2021)

Tabla 13

Características técnicas del medidor de temperatura digital.

Característica	Valor	Unidades
Rango de Medición	-30 - 800	°C
Precisión de temperatura	+/- 0.3	°C
Fuente de alimentación	12+/- 2	V
Frecuencia de Actualización	500	ms
Temperatura de Funcionamiento	-20 a 50	°C
Consumo de energía	< 50	mA
Termopar de Entrada	Tipo K	N/A
Color de la pantalla	Azul	N/A

Nota: Recuperado de (2021 UCTRONICS Store, 2021)

Medidor de Caudal de Agua

Los medidores de caudal utilizados fueron seleccionados con la matriz que se presenta en la **Tabla 14**, en el mercado local no se encontró según las especificaciones requeridas. Por lo tanto, se utilizó el mercado estadounidense para la adquisición de los medidores de caudal de agua. Dentro de los cuales se tiene tres opciones a tomar en cuenta que son:

- WAYSEAR
- CGOLDENWALL
- SPORBA

Tabla 14*Matriz de selección de caudalímetros*

Características	Ponderación	WAYSEAR	CGOLDENWALL	SPORBA
Costo	40%	3	2	2
Rango de Flujo	20%	2	2	2
Unidades	30%	3	1	2
Conexiones	10%	1	0.5	1
TOTAL:	100%	90	55	70

Gracias a la matriz de selección se eligió al medidor de caudal WAYSEAR, que presenta el puntaje más alto como punto de relevancia el costo de adquisición. El medidor de flujo muestra los datos de forma acumulativa, la cantidad de fluido que ha pasado se lo puede presentar en diferentes unidades como: litros, un cuarto de galón, galón y pintas. El caudal en tiempo real también se lo puede mostrar en las unidades mencionadas. Las tomas de ingreso y salida de flujo de agua son del tipo hembra con diámetro de una pulgada de forma horizontal como se puede observar en la **Figura 23**. Las características del equipo se detallan en la **Tabla 15**.

Figura 23

Medidor de caudal seleccionado WAYSEAR

**Tabla 15**

Características del medidor de agua seleccionado.

Característica	Valor	Unidades
Unidades de medición	0 – 9999	L / GAL / PTS / QTS
Alimentación	3	V – CC
Rango de Flujo	10- 120	L /min
Presión Máxima de trabajo	20	Bar

Nota: tomado de especificaciones medidores de caudal de agua (Amazon , 2021)

Selección de material aislante

El material que cubrirá un lado de la barra será cambiado debido al nivel de corrosión superficial que se encontró con la utilización de yeso, el aislante de perlita no cubre la mayor parte de la barra de sección cónica, por lo tanto, con una matriz de selección se

escogerá el mejor aislante para el equipo. En el mercado nacional tenemos varios productos para este fin entre ellos destacan los principales recubrimientos que son:

- Aislantes Sintéticos: Poliestireno expandido, extruido y poliuretano.
- Lanas Minerales: lana de roca y lana de vidrio.
- Naturales: Corcho, lino, lana de oveja.

Los más comunes en el mercado son del tipo lanas minerales, debido a su bajo precio y gran utilización en el sector constructor ya que trabajan también como aislantes acústicos. La presentación más común se da en rollos o planchas que varían en tamaño y espesor según la necesidad.

Tabla 16

Matriz de selección para el aislante térmico

Características	Ponderación	Lana de Roca	Lana de vidrio
Conductividad Térmica	10%	1	1
Espesor	10%	1	1
Costo	40%	3	2
Presentación	40%	3	1
TOTAL:	100%	80	50

Los aislantes térmicos de lana de roca y vidrio presentan características térmicas similares, con precio a favor en la lana de roca debido a que se la puede adquirir en plancha de 1.22 x 0.60 x 0.05 [m] como se muestra en la **Figura 24**. Mientras que la presentación en la lana de vidrio es de rollo lo que nos generaría un gran desperdicio debido al poco aislante a utilizarse. Las características técnicas del aislante se detallan en la **Tabla 17**.

Figura 24*Lana de Roca***Tabla 17**

Características técnicas del aislante térmico seleccionado

Característica	Valor	Unidades
Origen	Mineral	N/A
Tipo de aislante	Lana de roca	N/A
Conductividad térmica	0.031	W/m ² °C
Inflamabilidad	NO	N/A

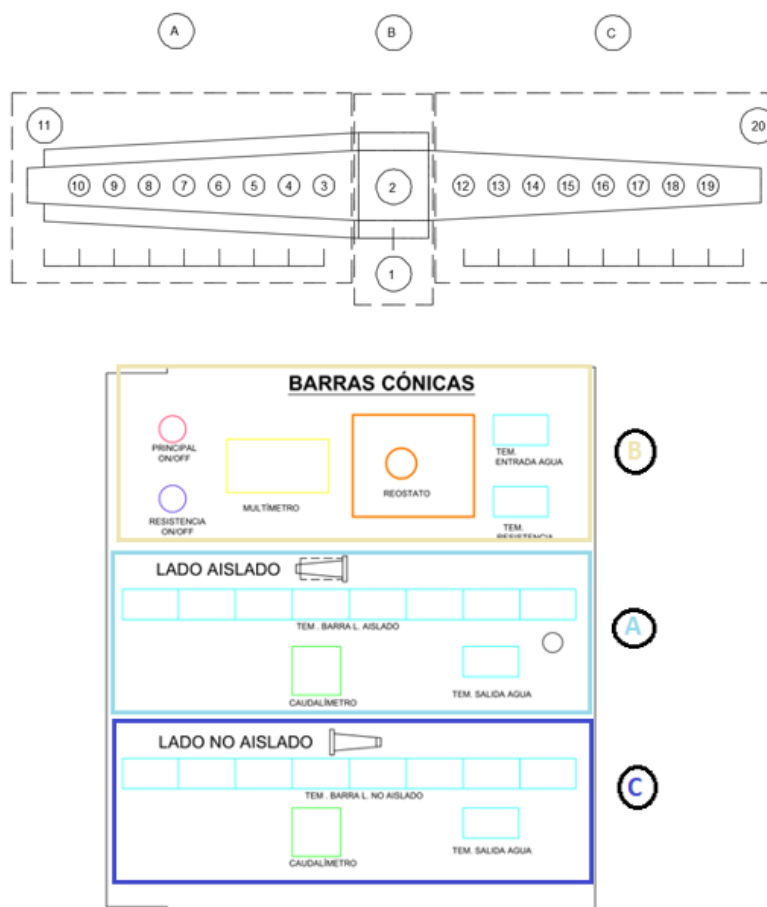
Diseño de cuadro de instrumentos

En el diseño del cuadro de instrumentos se ubicará las etiquetas de la nueva unidad de control máster con la barra de sección cónica de forma didáctica para que sea comprensible. La agrupación principal se realizó con la diferencia entre un lado aislado y no aislado, junto con las variables que cambiarán con el tiempo y los ajustes principales.

En el diseño se debe colocar un selector de dos posiciones on – off, que será un switch para encendido y apagado general de todos los instrumentos, y otro para el encendido de la resistencia eléctrica con una luz piloto indicadora del paso de corriente que trabaje a 220 [V]. La instalación de los medidores de flujo se realizó dentro del tablero en cada grupo de la barra como se muestra la **Figura 25** evitando confusiones en lecturas, corrigiendo uno de los inconvenientes del equipo anterior.

Figura 25

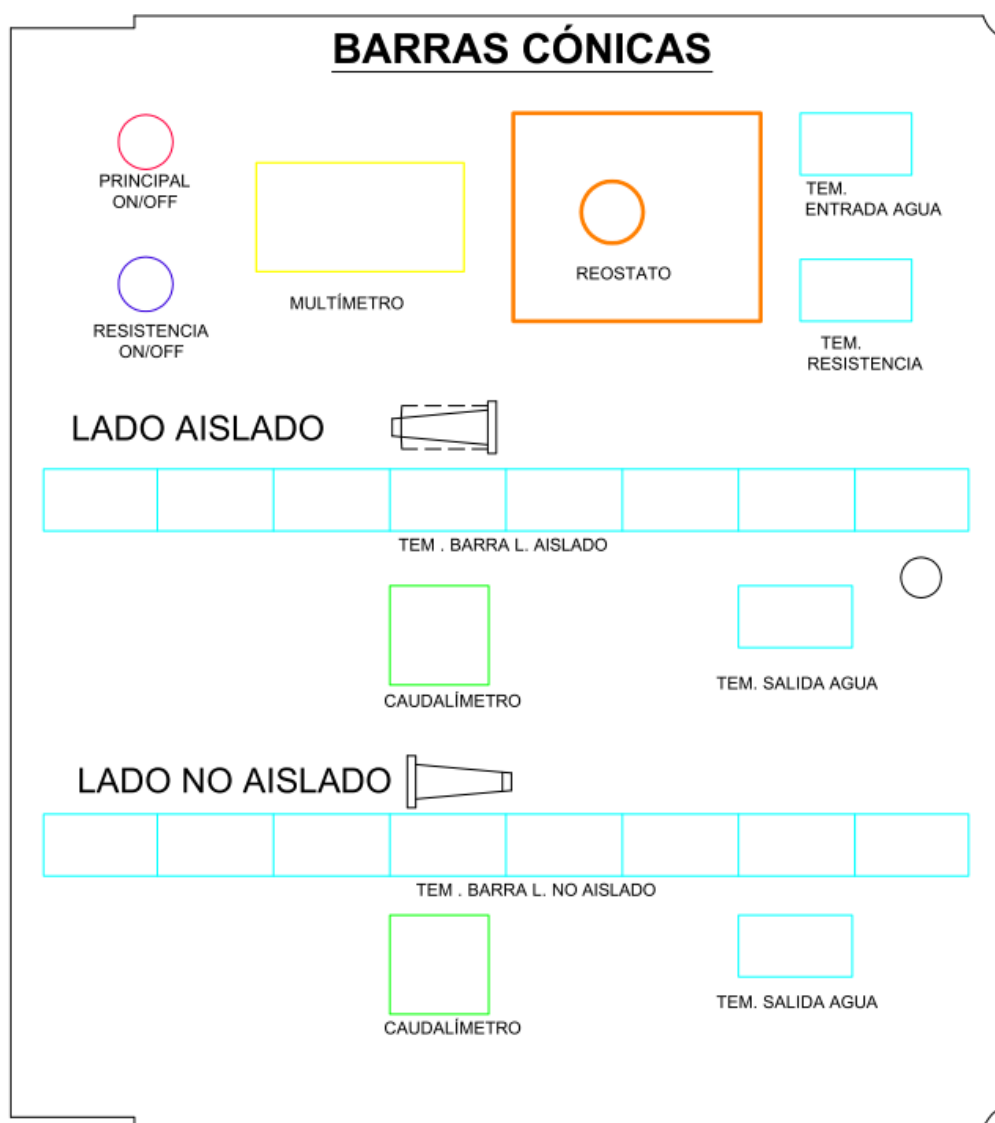
Formación de grupos partiendo desde la barra de sección cónica para el diseño de la nueva unidad de control master.



Las medidas finales para aberturas serán tomadas de las especificaciones de cada sensor y equipo a utilizarse, dejando un milímetro extra por lado para el corte a realizar con las herramientas de abrasión dando como resultado el diseño final como se evidencia en la **Figura 26**.

Figura 26

Diseño final del cuadro de instrumentos para la nueva unidad de control master.



Construcción y Mantenimiento Realizado

Pruebas de Funcionamiento de instrumentos

Con la compra de los instrumentos se realizó una prueba preliminar de funcionamiento y operación de los sensores de medición, las fuentes de alimentación fueron seleccionadas respetando el voltaje de cada uno.

Para los sensores de medición de temperatura se necesita una fuente de doce voltios, que puede ser alimentada de 110 – 220 V, en la instalación del tablero se utilizará la alimentación de 110 V realizando una derivación interna de la toma de 220 V. La primera prueba preliminar se realizó verificando la salida y entrada de la fuente de alimentación como se indica en la **Figura 27**.

Figura 27

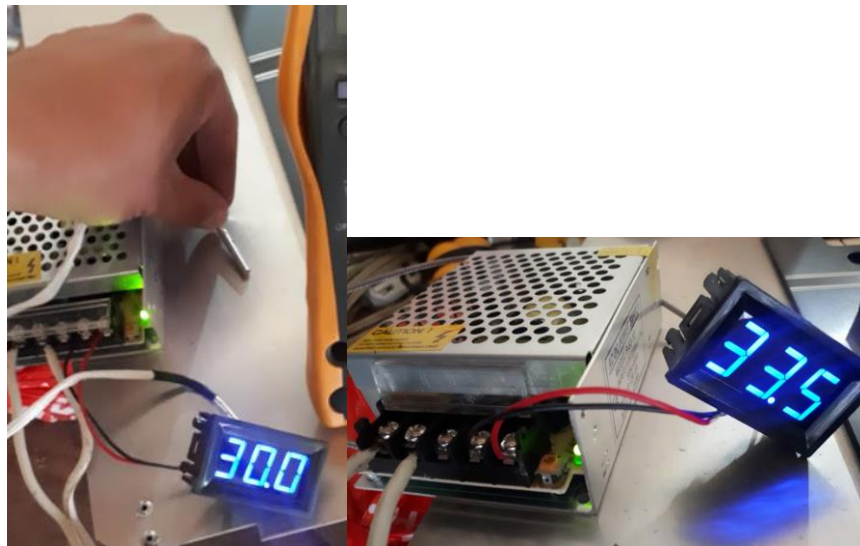
Voltaje de entrada (izquierda) y salida (derecha) para la fuente de alimentación para los medidores de temperatura.



Con la fuente de alimentación en correcto funcionamiento se realizó una prueba con los sensores de temperatura y el termopar del tipo K como se muestra en la **Figura 28**.

Figura 28

Prueba de funcionamiento de los sensores de temperatura.



Nota: se realizó la mediación de una superficie metálica.

Se realizó una prueba preliminar con el medidor de corriente, realizando una conexión auxiliar con un foco. El procedimiento se da para verificar el funcionamiento del transformador de corriente de núcleo dividido que comienza a realizar las mediciones de amperaje desde que fluye la corriente eléctrica como se muestra en la **Figura 29** y del reóstato con el cual se varió la cantidad de corriente.

Figura 29

Pruebas preliminares de funcionamiento del medidor de corriente y voltaje con el reóstato



Nota: se puede observar la conexión del medidor de corriente y voltaje con el reostato (izquierda), la variación de la resistencia se aprecia en las fotos de arriba hacia abajo (derecha).

Retiro de Aislamiento Térmico, Termocuplas limpieza

Para poder dar mantenimiento al equipo de barras de sección cónica se necesita retirar el recubrimiento de la barra y de la resistencia eléctrica, al tener acceso a los termopares

se procederá a retirarlas de una en una. Los termopares fueron asegurados con pasta térmica y para ser retirada se necesita romperla hasta liberar el termopar como se ve observa en la **Figura 30**.

Figura 30

Recubrimiento de perlita como aislante térmico



El aislante térmico que cubre la barra es de perlita mientras que el que cubre a la resistencia eléctrica es de yeso, el cual fue instalado con la ayuda de un molde. Al revelar la barra de los aislantes térmicos se encontró corrosión superficial debido a fugas en las cañerías

de salida de agua hecho que se puede evidenciar en la **Figura 31**. Presentando la mayor profundidad en la corrosión de la barra en la zona aledaña a la resistencia eléctrica.

Figura 31

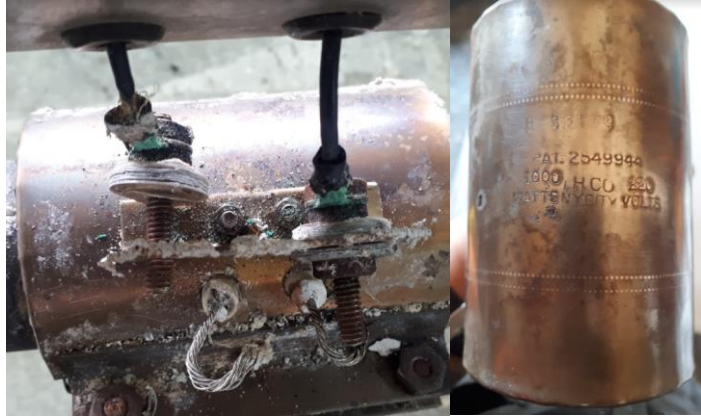
Limpieza y corrosiones presentes en la barra de sección cónica



Al retirar la resistencia eléctrica se realizó una prueba rápida de funcionamiento, ya que no se encontraba operable la unidad de control máster, con lo cual se pudo evidenciar el funcionamiento adecuado de la resistencia eléctrica. Con ello se realizó una limpieza superficial de la parte exterior por los residuos de yeso encontrados y en la parte eléctrica que presentaba una sulfatación en los conectores como se muestra en la **Figura 32**.

Figura 32

Conexión eléctrica sulfatada en la resistencia eléctrica.



Instalación de Termocuplas en la barra de sección cónica

Los termopares deben ser instalados cada uno a una profundidad determinada, el extremo del termopar debe estar en contacto con la barra de sección cónica. Para ello se realizó la limpieza de cada agujero utilizando herramientas que no desgasten la superficie de la barra como se muestra en la **Figura 33**. Con las superficies limpias se procede a medir la profundidad de cada una, posteriormente se calibra esa medida al extremo del termopar como se indica en la

Figura 34.

La instalación de los termopares se debe realizar con cuidado de no apretar generando torque de ajuste, se revisó la continuidad de cada termopar al ser instalado para asegurar la correcta instalación y medición de temperaturas.

Figura 33

Limpeza de los agujeros de los termopares

**Figura 34**

Calibración de profundidad para la instalación de termopares



En la instalación del termopar de la resistencia eléctrica se realizó un ajuste a la cabeza del tornillo para que se pueda cerrar perfectamente como se observa en la **Figura 35**.

Figura 35

Instalación de Termopares

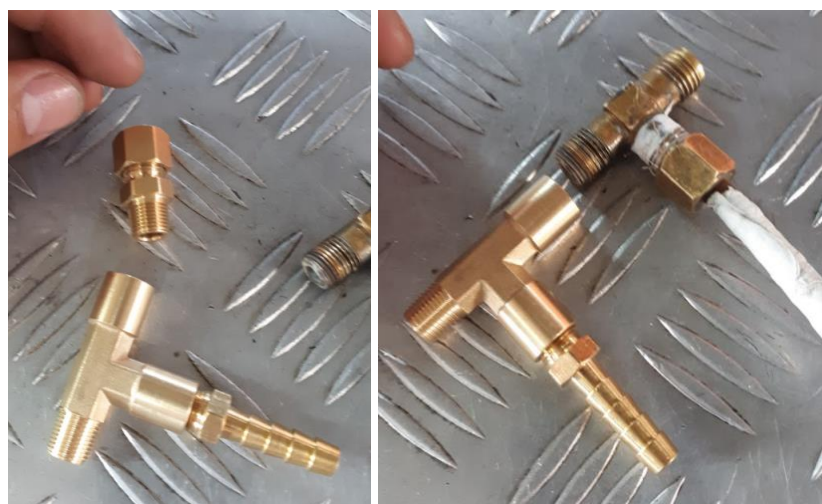


La correcta instalación de los termopares es de fundamental importancia para la lectura correcta de temperatura, la cual variará a lo largo del centro geométrico en cada lado de la barra de un total de diecisiete termopares. Los tres termopares finales son instalados en las cañerías de entrada y salida de agua, para ello se reemplazó los conectores de salida de agua de cada lado con un conector de manguera con salida para una manguera de un cuarto de pulgada indicado en la .

Figura 36 y en el ingreso de agua con un adaptador que se maquinó rosca para el accesorio adicional como se muestra en la **Figura 37**.

Figura 36

Cambio de tomas en la salida de agua con adaptador para termopar



Estos cambios de las tomas son necesarios porque los actuales presentan adaptaciones en la conexión de la salida y entrada con la cañería de bronce a las mangueras, produciendo fugas en cada una de las conexiones ya que no son las adecuadas.

Figura 37

Cambio de toma en la entrada de agua



Antes de realizar las conexiones de los termopares se dió mantenimiento a las llaves de agua, los reservorios y cañerías de bronce eliminando todo residuo con cepillos de cerdas suaves como se muestra en la **Figura 38**

Figura 38

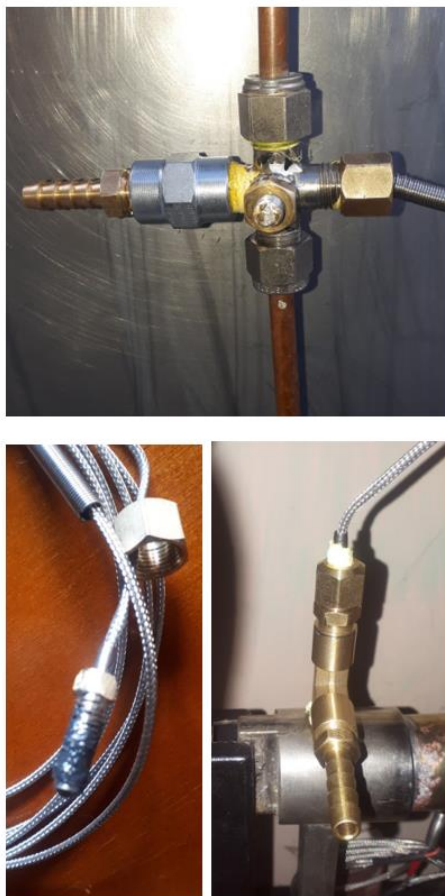
Limpieza de cañerías de agua, llaves, conector de entrada de agua y reservorio



En la instalación de los termopares que van conectados en las cañerías de agua se realizó ajustes en la cabeza de los tornillos redondeando los bordes para de esa manera lograr apretar y así evitar posibles fugas. En los costados de los termopares se utilizó pegamento epóxico, se volvió a corregir y calibrar la forma para una correcta medición de temperatura con la ayuda de cinta teflón. En las roscas de la unión se fijó las cañerías de entrada y salida de agua procurando dar un ajuste firme sin generar torque a las cañerías del soporte en la barra de sección cónica como se muestra en la **Figura 39**

Figura 39

Instalación de Termopares en las cañerías de entra y salida de agua



Construcción del cuadro de instrumentos e instalación de medidores

La construcción del cuadro de instrumentos como se muestra en la **Figura 26** se lo realizará en una plancha metálica de un milímetro de espesor con las medidas diseñadas para cada instrumento. El proceso de construcción empezará realizando los trazos de las medidas en la plancha metálica, seguido del corte de cada sección y manteniendo una tolerancia de un milímetro como se muestra en la **Figura 40**, para finalizar con la instalación de prueba de los instrumentos.

Figura 40

Corte y prueba de instalación de los instrumentos



Como etapa final tenemos el suavizado de todas las superficies cortadas, limpieza de las superficies planas con disco polifan y preparación para la pintura. Para empezar se aplica una capa desoxidante dejando actuar por treinta minutos, se realiza limpieza con solvente universal y la aplicación de tres capas de pintura Almendra – SEC 114, color que es seleccionado según la tonalidad de los equipos en el laboratorio como se muestra en la **Figura 41**.

Figura 41

Preparación de la superficie y aplicación de pintura.

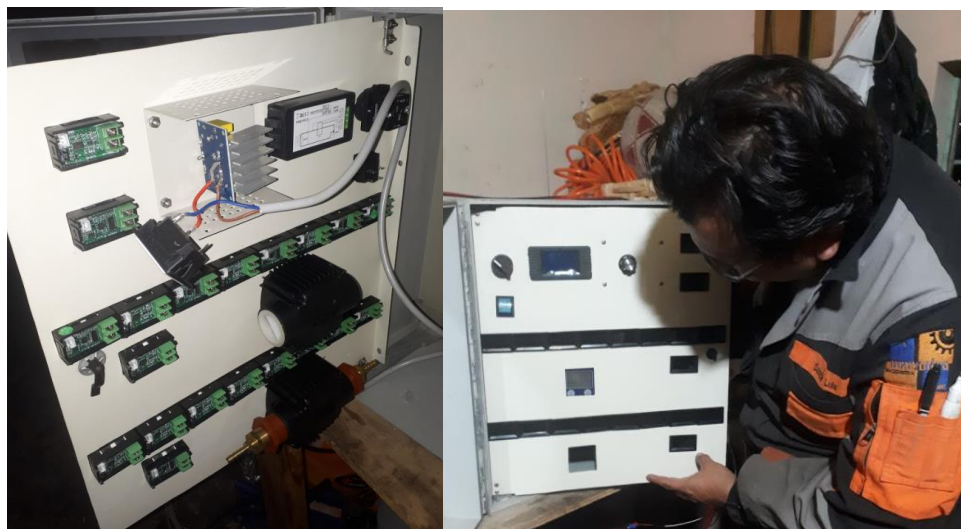


Con las superficies listas, luego de aplicar las capas de pintura se procede a instalar los medidores de temperatura, medidores de flujo, medidor de voltaje y amperaje, interruptor principal, interruptor de la resistencia eléctrica y reostato. En el cuadro de instrumentos se instalan las bisagras en la parte inferior y superior del lado izquierdo con la opción de poder desmontarlo cuando se necesite, y al lado derecho en la parte central se instaló un seguro para mantener el cuadro de instrumentos fijo al cerrar la tapa transparente como se muestra en la

Figura 42.

Figura 42

Instalación completa de medidores e interruptores.



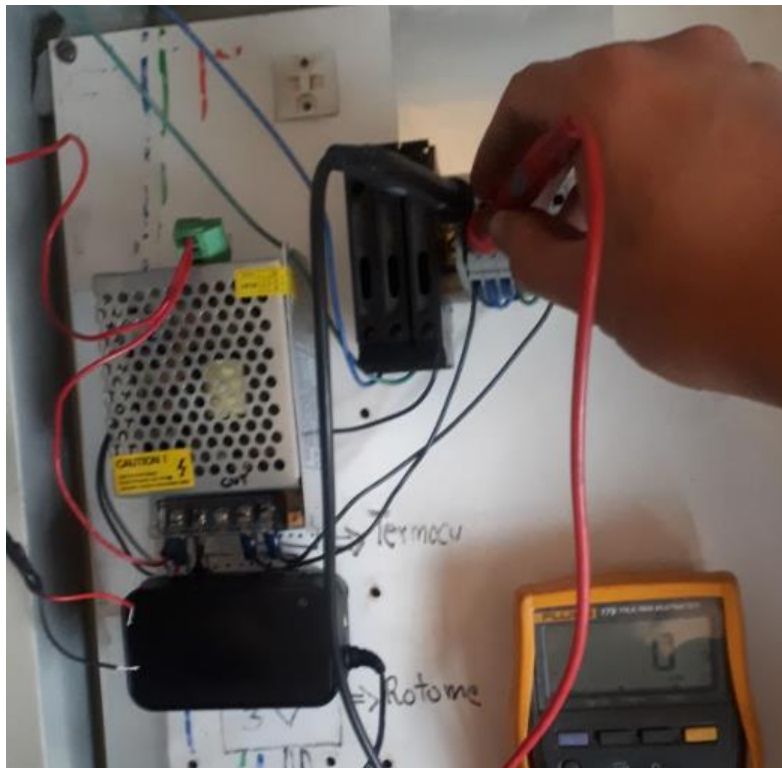
Conexiones Eléctricas realizadas en la nueva unidad de control master

En primer lugar, se realizó la instalación de las fuentes de poder, las protecciones para cada línea y una derivación a 110 [V] que alimentará a las fuentes de doce y de tres voltios respectivamente como se observa en la **Figura 42**. Junto a las protecciones se realizó una conexión de distribución de corriente para la fuente de doce voltios que se alimentará la mayor cantidad de medidores.

Los medidores de flujo trabajan con una alimentación de dos pilas AAA, las cuales fueron reemplazadas por una fuente de tres voltios quedando libre de mantenimiento. En los empalmes se utilizó caucho termo encogible de diferentes diámetros que brindan un mejor aislamiento que las cintas eléctricas.

Figura 43

Instalación de fuentes de poder y protecciones en fase



Las conexiones de poder en los medidores de temperatura se realizaron de dos en dos, para la salida de la resistencia se conectó un extremo a la red de distribución y se dejó libre la conexión que posteriormente, en el laboratorio, se realizará la conexión final entre la barra de sección cónica y la nueva unidad de control máster. Se ordenó los cables para liberar espacio y poder trabajar con el cableado termopar como se puede observar en la **Figura 44**, esto se logró siguiendo una sola dirección de los cables de tal forma que se evitará el cruce entre ellos con la ayuda de amarras plásticas.

En la distribución de doce voltios se dejó dos puertos libres para cualquier ampliación o salida que se requiera a futuro.

Figura 44

Conexión final de la nueva unidad de control máster



Finalizando la parte eléctrica se ordenó unidireccionalmente y etiquetó el cableado termopar dentro del soporte como se muestra en la **Figura 44**.

Figura 45

Etiquetado de cableado termopar y ordenamiento unidireccional.



Conexión entre la barra de sección cónica y tablero de control

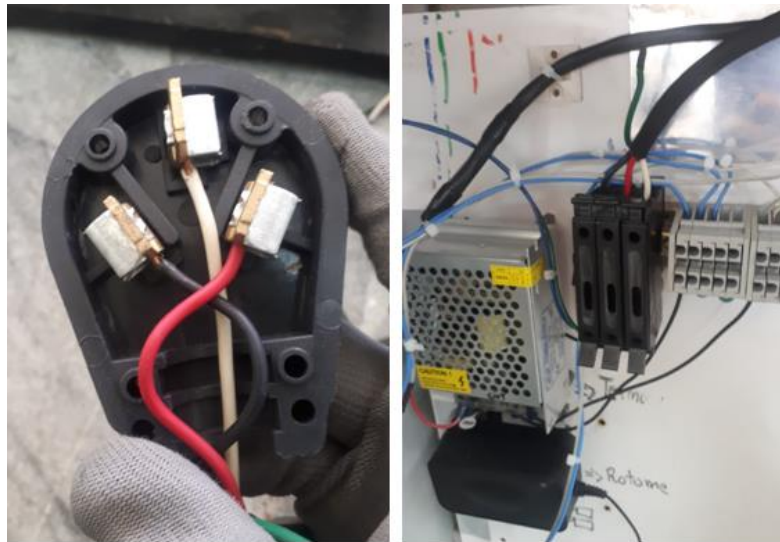
La conexión a la red eléctrica se da mediante una toma de 220 [V] la cual ingresa al tablero. Cada línea tiene su protección con un fusible de 15 [A]. Con la ayuda de un multímetro se identifica primero a qué corresponde cada línea, sea una fase o neutro. Concluyendo así que en el laboratorio se trabaja con dos fases de 110 [V] y una línea neutra como se muestra en la

Figura 46.

Para la resistencia se conectará primero los aislantes térmicos y el set de tornillos al cual se le dio mantenimiento retirando los sulfatos adheridos a la superficie del cableado y de la resistencia. Para ello, se sigue el orden con el cual se desmanteló al inicio del mantenimiento. Después de realizar una primera prueba de operación con el equipo conectado a la red del laboratorio, se procederá a conectar los termopares del tipo K en los medidores de temperatura.

Figura 46

Conexión de equipo a la red eléctrica del laboratorio.



Las tuercas de sujeción del cableado de la resistencia no deben ser ajustadas hasta generar torque ya que con el aumento de temperatura los tornillos estarían sometidos a tracción, lo que provocaría la pérdida de uno y fallas en el equipo o peor aún el daño del aislante termoeléctrico causando un cortocircuito y la pérdida de la resistencia como se muestra en la

Figura 47

Figura 47

Conexión de la resistencia eléctrica



La conexión entre el termopar y los sensores de temperatura se realizan respetando el etiquetado inicial, después de ejecutar todas las conexiones se efectúa el ordenamiento de los cables evitando que se crucen entre sí como se muestra en la **Figura 48**.

Con las conexiones de suministro de energía eléctrica y de sensores de temperatura quedaría por concluir la conexión a la entrada y salida de agua. Una primera prueba de conexión de todos los componentes se puede ver en la **Figura 49** lo que nos muestra que todas las conexiones son correctas.

Figura 48

Conexión de termopares y ordenamiento del cableado.

**Figura 49:**

Prueba de correcto funcionamiento de todos los instrumentos



Conexión a la entrada y salida de agua, instalación del aislante térmico

Para las conexiones de entrada y salida de agua en la barra de sección cónica se utilizó manguera de $\frac{1}{4}$ de pulgada con abrazadera metálica de tornillo del mismo diámetro como se muestra en la **Figura 50**. Para la conexión del suministro de agua se utilizó manguera de $\frac{1}{2}$ de pulgada. El manual del regulador de presión de agua recomienda instalar un filtro anti sedimentos antes de la válvula, para que filtre partículas y objetos extraños evitando así que con el pasar del tiempo se acumulen en la válvula.

El filtro utilizado es de SPUN POLIPROPILENO, con capacidad de retener el sedimento de hasta 10 micrones y un caudal máximo de 19 litros por minuto como se indica en la **Figura 51**.

Figura 50

Manguera de salida de agua en la barra cónica e ingreso a la unidad de control máster para medir el caudal.



Figura 51

Filtro de reducción de sedimentos y válvula reguladora de caudal



Se recubrió con papel aluminio, como protección, el aislante térmico seleccionado ya que debido a hilos fibrosos en la lana de roca se puede incrustar en la piel al ser manipulado de forma directa. Para la sujeción al cuerpo de la barra se utilizó amarras plásticas. Además, se construyó un soporte unido a la barra de sección cónica como se muestra en la **Figura 51**, para facilitar la movilidad del equipo.

Figura 52

Instalación de lana de roca y soporte para unida de control máster

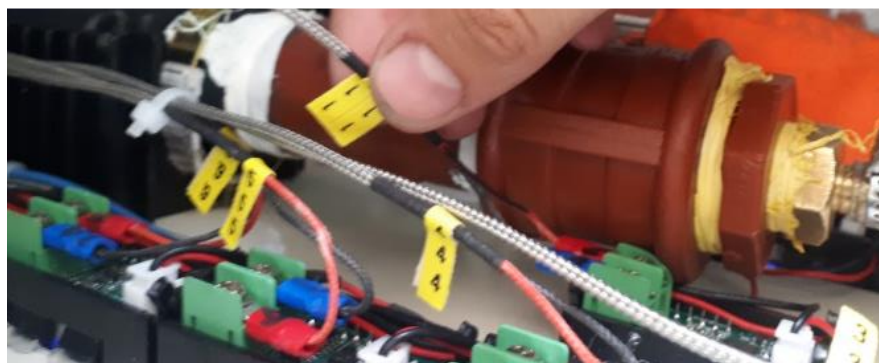


Etiquetado de termopares en cableado, cuadro de instrumentos y barras de sección cónica

Para futuros mantenimientos y mejor comprensión de la práctica, se procedió a etiquetar el cableado termopar con un número específico según el diagrama de termopares en la **Figura 16**, utilizando cintas numéricas tanto en el cableado termopar como en la base de aluminio de la barra de sección cónica y el tablero frontal como se indica en la **Figura 53**. El número de la etiqueta correspondiente al termopar se encuentra debajo del sensor de temperatura.

Figura 53

Etiquetado en parte frontal del tablero y cableado termopar



Capítulo V Toma de datos, cálculos y análisis

Mediciones del equipo

Previamente al encender el equipo, se debe realizar las mediciones de distancias entre termopares y diámetros. Para facilitar el trabajo se lo puede realizar en el lado no aislado de la barra de sección cónica ocupando las mismas medidas para el otro lado aislado debido a la simetría que se presenta en el equipo. Las medidas de los diámetros en cada sección obtenidas se presentan en la **Tabla 18**

Tabla 18

Medidas de la barra de sección cónica

Diámetros			
Lado Aislado		Lado No Aislado	
Ubicación	Medida [mm]	Ubicación	Medida [mm]
Resistencia	50.18	Resistencia	50.18
Termopar #3	49.42	Termopar #12	49.12
Termopar #4	47.21	Termopar #13	46.87
Termopar #5	44.75	Termopar #14	44.95
Termopar #6	42.40	Termopar #15	42.09
Termopar #7	40.03	Termopar #16	39.85
Termopar #8	37.7	Termopar #17	37.45
Termopar #9	35.10	Termopar #18	35.15
Termopar #10	32.80	Termopar #19	32.88
Final de la Barra	31.88	Final de la Barra	31.86

Las medidas de la longitud en la barra se detallan en la **Tabla 19**, los termopares se encuentran a distancias equidistantes en cada lado, la distancia que varía es desde la resistencia al primer termopar como se puede apreciar en la **Figura 16**.

Tabla 19

Medidas de longitudes a lo largo de la barra.

Longitudes	
Especificación	Medida [mm]
Largo total de la barra	702.5
Distancia entre termopares	38.24
Distancia de la resistencia al termopar 3 o 12.	75.79

Toma de Datos

Para la toma de datos se fijó primero las condiciones iniciales de operación en los caudales de agua en; 0.6 [L/min] para el lado aislado y 0.5 [L/min] en el no aislado como se muestra en la **Figura 54**, seguido de la regulación de voltaje en 170 [V]. El amperaje se muestra automáticamente en el display del medidor.

Figura 54

Condiciones iniciales de operación del equipo



Las lecturas de las temperaturas serán tomadas con intervalos de diez minutos hasta llegar al estado estable, al estabilizarse se procederá a tomar datos verificando que no exista variación a lo largo del tiempo. Las temperaturas registradas se muestran en la **Tabla 20** Toma de datos de temperatura del lado aislado. Siguiendo el etiquetado de los termopares y las distancias marcadas entre las mismas.

Tabla 20

Toma de datos de temperatura del lado aislado

LADO AISLADO												
MEDICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	
1	20	19.8	19.8	20	19.5	20	19.4	19	19.1	19	20	
2	19	154	118	90	74.3	58	47.8	39	30.4	24.4	19	
3	20	242	205	169	152	125	109	85	66.7	45.7	21	
4	21	299	263	221	207	175	157	124	97.3	64.3	22	
5	22	338	303	259	247	209	190	151	119	77.6	22	
6	21	366	332	285	273	233	213	168	134	86.7	22	
7	21	387	353	304	293	251	230	182	145	93.3	22	
8	21	402	368	318	307	263	242	192	153	97.8	22	
9	20	410	376	325	316	270	250	198	157	100	22	
10	21	417	384	332	322	275	255	202	161	103	22	
11	21	424	390	338	328	281	260	207	164	105	23	
12	21	427	393	342	331	283	263	209	166	106	23	
13	21	429	395	343	333	286	264	210	167	107	22	
14	21	431	398	345	335	288	266	211	169	107	23	
15	20	432	399	346	337	289	267	212	170	108	23	
16	21	435	402	350	340	291	270	214	171	109	23	
ESTADO	17	22	436	402	351	340	291	270	214	171	109	22
ESTABLE	18	22	436	402	350	340	291	270	215	171	109	22
	19	21	437	403	350	341	292	270	215	171	109	23
PROMEDIO	21.5	436	402.3	350.3	340.3	291.3	270	214.5	171	109	22.5	

Nota: los valores de T1 y T11 corresponden a la entrada y salida de agua, T2 la resistencia.

Tabla 21*Toma de datos de temperatura lado no aislado*

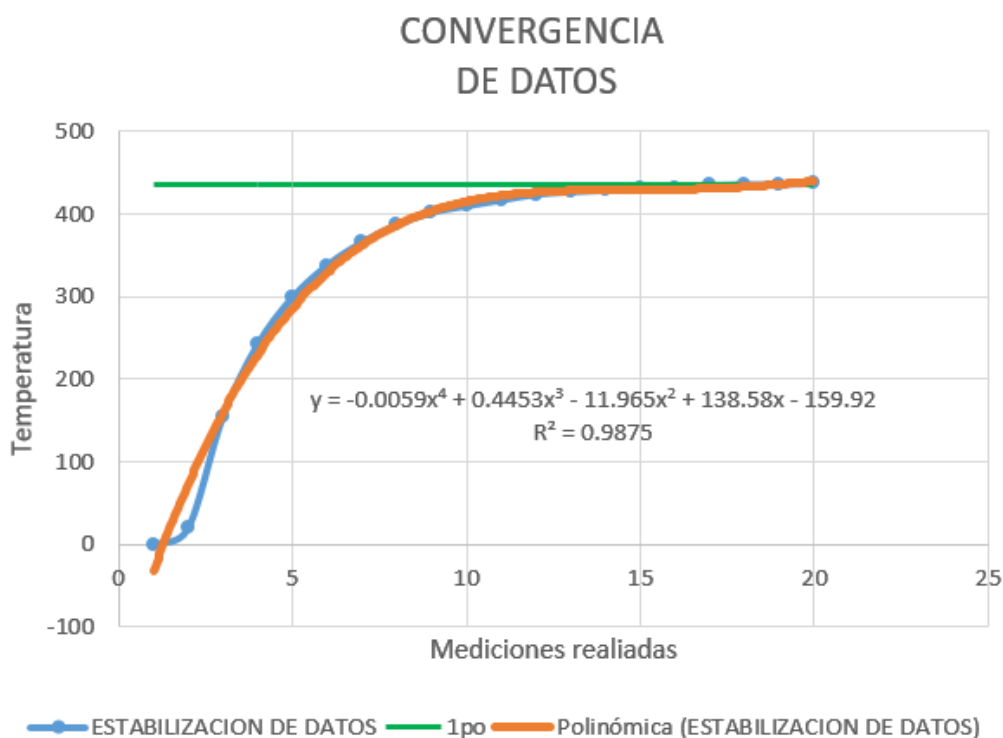
LADO NO AISLADO												
MEDICION	T1	T2	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	
1	20	19.8	20	20	20	20	20	21	20	20	20.7	
2	19	154	112	90	73	57	46	37	30	25	20.1	
3	20	242	191	164	142	119	99	78	61	43	20.7	
4	21	299	242	214	189	162	138	109	85	56	22.1	
5	22	338	278	248	220	192	164	132	100	67	22.3	
6	21	366	304	270	243	212	182	147	113	74	22.4	
7	21	387	321	286	259	226	195	157	119	79	22.3	
8	21	402	335	299	270	237	204	165	126	82	22.3	
9	20	410	342	306	278	244	211	169	130	84	22.4	
10	21	417	348	311	282	247	214	173	131	85	22.5	
11	21	424	353	317	288	252	219	176	133	87	22.5	
12	21	427	357	319	290	254	220	178	134	88	22.6	
13	21	429	358	321	292	256	221	179	135	88	22.5	
14	21	431	360	322	294	258	222	180	136	89	22.5	
15	20	432	361	323	294	258	222	179	136	88	22.7	
16	21	435	362	325	297	260	224	181	138	88	22.9	
ESTADO	17	22	436	364	326	297	260	224	181	139	88	22.9
ESTABLE	18	22	436	364	325	297	225	182	137	88	23.1	
	19	21	437	364	326	297	224	181	138	88	22.8	
PROMEDIO	21.5	436	363.5	325.5	297	259.5	224.3	181.3	138	88	22.9	

Gráficas de los perfiles de la temperatura y convergencia

Con las temperaturas en el estado estable podemos tomar un máximo de tres a cuatro mediciones como se realizó en la práctica. Esto debido a que la convergencia de datos se estabiliza en el marcador en verde seleccionado en la **Figura 55**. Se utilizó una línea de tendencia polinómica de grado 4 para mejorar la aproximación con un valor de $R = 0.98$ lo que nos indica la correcta selección de la aproximación elegida.

Figura 55

Convergencia de datos en el estado estable



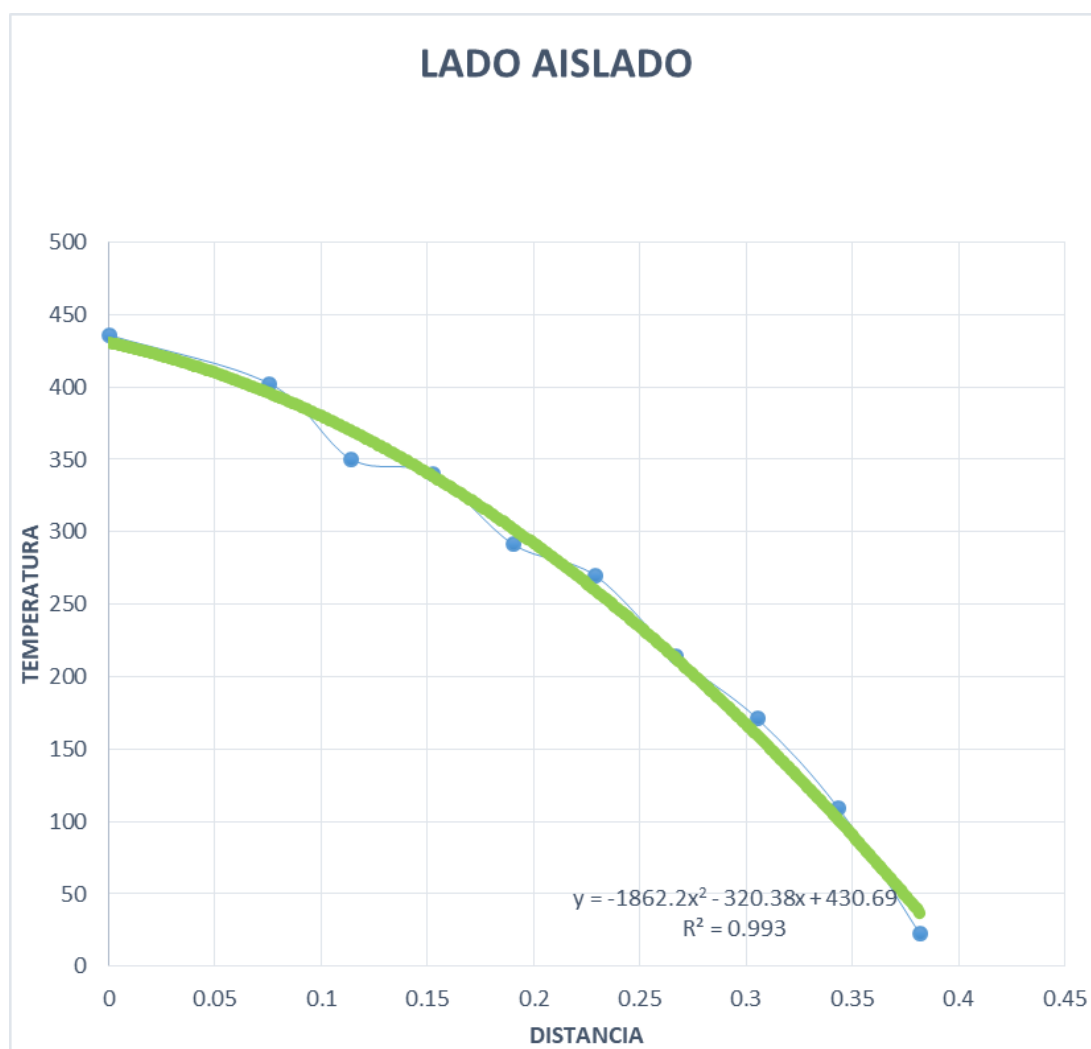
Los perfiles de temperatura nos ayudan a interpretar la variación a lo largo de la barra mostrando que la transferencia de calor se da de la parte más energética a la menos energética. La mayor cantidad de transferencia de calor se da de la resistencia eléctrica a la barra por conducción descartando así una transferencia de calor por convección y radiación al

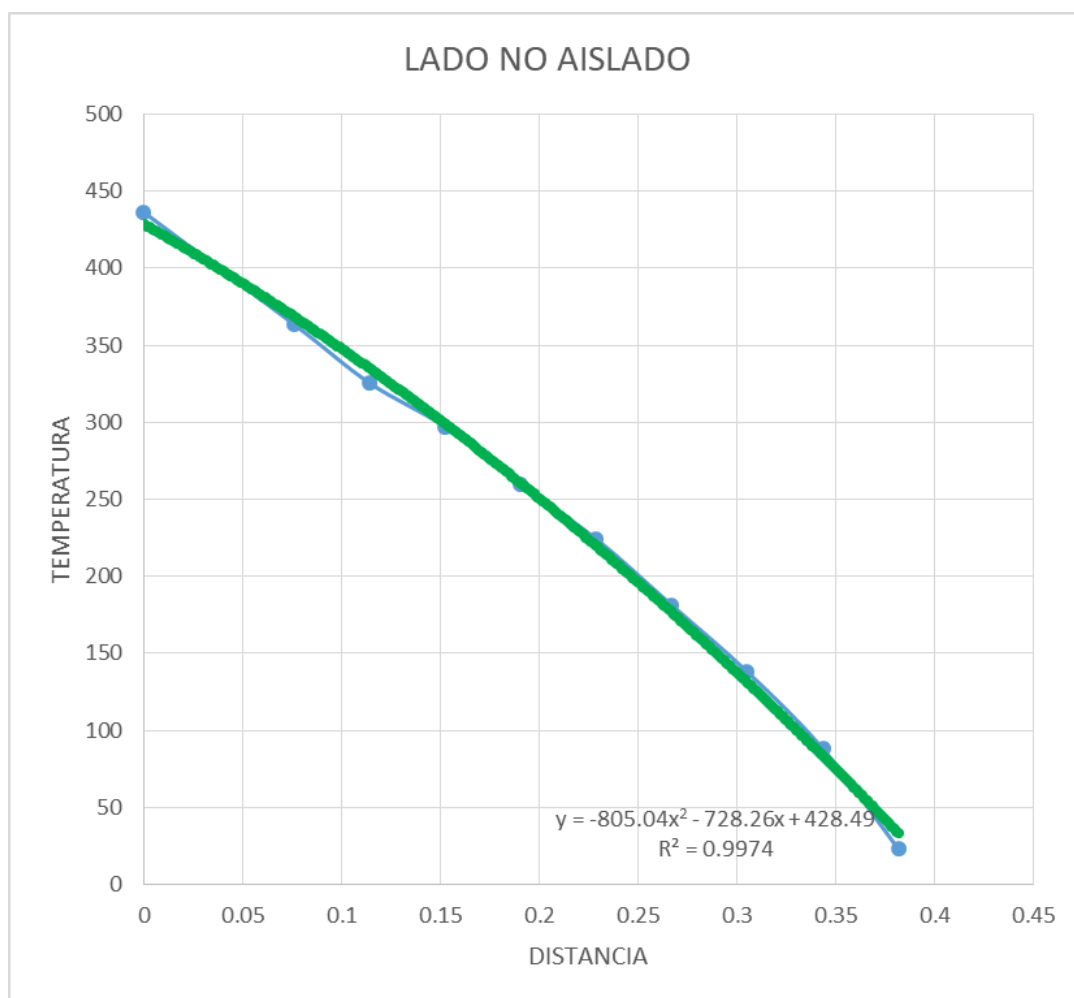
medioambiente. Esto no implica que no exista transferencia de calor en estos modos con el medio, solo que son insignificantes en comparación a la que se da por conducción de forma longitudinal en la barra.

En las gráficas del perfil de temperaturas de la **Figura 56** se utilizó una línea de tendencia cuadrática con un coeficiente de regresión múltiple aproximado a uno, lo que nos asegura que la línea de tendencia abarca la mayoría de los datos obtenidos.

Figura 56

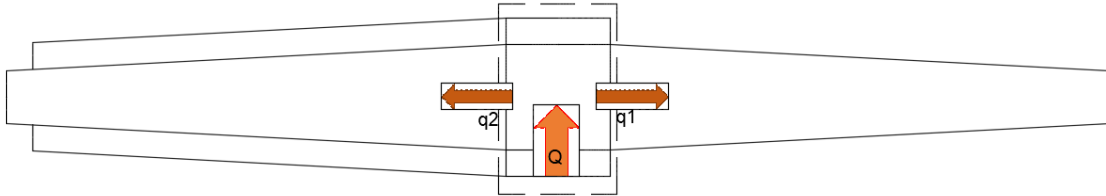
Perfiles de temperatura del lado aislado y no aislado de la barra





Cálculo de la conductividad térmica

Balance de energía en la resistencia eléctrica



$$E_{entra} + E_{genera} - E_{sale} = E_{almacena}$$

$$E_{genera} = E_{sale}$$

$$Q = q_1 + q_2 \quad (12)$$

$$q_1 = q_2 = q_{sale} \quad (13)$$

$$Q = V \times I \quad (14)$$

$$Q = 170 [V] \times 3.242 [A]$$

$$Q = 551.14 [W]$$

Q en 12

$$551.14 [W] = 2q_{sale} \quad (15)$$

$$q_{sale} = 275.57 [W]$$

Como la energía que se genera es igual a la energía que sale, y la que sale es la misma para cada lado de la barra se tiene que la energía que pasa por cada barra sería 275.57 [W]. Se calcula las pérdidas debido al agua que es:

$$\dot{q} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (16)$$

$$\dot{q} = 0.00001 \left[\frac{m^3}{s} \right] 4200 \left[\frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \right] 1000 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] (22.5 - 21.5)^\circ C$$

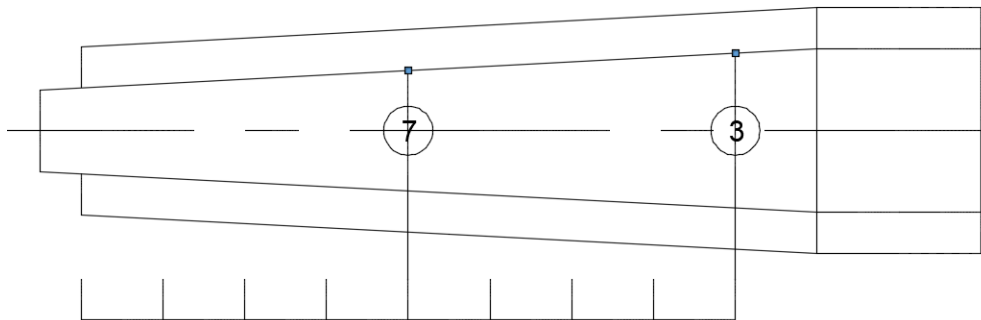
$$\dot{q} = 42 [W]$$

Restando 16 de 15 tendremos que la transferencia de calor por conducción que atraviesa la barra en el lado aislado es

$$q_{sale} = 275.57 [W] - 42 [W] \quad (17)$$

$$q_{sale} = 233.57 [W]$$

En el cálculo de la conducción en la barra está involucrado el área que varía según se va avanzado en cada punto, para ello se necesita el área en función del radio.



$$T_3 = (114; 24.71) [mm]$$

$$T_7 = (267; 20) [mm]$$

Realizando la ecuación punto pendiente tenemos:

$$y - y_3 = \left(\frac{y_3 - y_7}{x_3 - x_7} \right) (x - x_3)$$

$$y - 24.71 = \left(\frac{24.71 - 20}{114 - 267} \right) (x - 114)$$

$$y - 24.71 = -0.031 x + 3.51$$

$$y = 28.22 - 0.031 x$$

$$r(x) = 28.22 - 0.031 x \quad (18)$$

Con el valor de $r(x)$ podemos reemplazar en el área de la ecuación de la conducción, e integrando dentro de los límites establecidos por la toma de datos tenemos:

$$\dot{Q}_{cond} = -k A \frac{dT}{dx} \quad (19)$$

$$\dot{Q}_{cond} dx = -k A dT$$

$$\dot{Q}_{cond} dx = -k \pi r^2 dT$$

Reemplazando 18 en 19 e integrando:

$$\dot{Q}_{cond} dx = -k \pi (28.22 - 0.031 x)^2 dT$$

$$\dot{Q}_{cond} \frac{dx}{(28.22 - 0.031 x)^2} = -k \pi dT$$

$$\int_0^{343.5} 233.57 \times \frac{dx}{(28.22 - 0.031 x)^2} = \int_{109}^{436} -k \pi dT$$

$$161.8 \left[\frac{W}{mm} \right] = -k (1027.3) [^{\circ}K]$$

$$161800 \left[\frac{W}{m} \right] = -k (1027.3) [^{\circ}K]$$

$$k = 157.5 \left[\frac{W}{m^{\circ}K} \right]$$

El valor experimental se compara con el valor teórico para obtener el porcentaje de error con el cual se determinará si el equipo fue puesto correctamente a punto. Se realiza la

interpolación de los valores en la **Tabla 22**, tomando como referencia los datos de la Tabla A – 3 para la composición de “latón para cartuchos” como se muestra en la siguiente **Figura 57**.

Figura 57

Conductividad térmica del latón

TABLA A-3												
Propiedades de metales sólidos												
Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), (W/m · K)/c _p (J/kg · K)						
		ρ kg/m ³	c _p J/kg · K	k W/m · K	α × 10 ⁶ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000	
Aluminio:												
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218		
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	65	163	482	798	949	1 033	1 146
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	186	186	925	1 042	
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	
Bismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	203	1 114	191	2 604	2 823	3 018	
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	112	120	127				
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85	
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	128	600	463	1 892	2 160	2 338	
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	203	99.3	94.7				
Cobre:												
Puro	1 358	8 933	385	401	117	198	222	242				
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17	192	384	484	542	581	616	
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	
Constantán	1 493	8 920	384	23	6.71	236	379	450	503	550	628	
						482	413	393	379	366	352	
						252	356	397	417	433	451	
							42	52	59			
							785	160	545			
							41	65	74			
							—	—	—			
						75	95	137	149			
						360	395	395	425			

Nota: tabla tomada de (Cegnel & Ghajar , 2011)

Tabla 22*Interpolación de valores*

Material	Temperaturas		
	400	600	709
Latón para Cartuchos	137	149	155.54

Porcentaje de error

$$\%_{error} = \frac{k_{real} - k_{teorico}}{k_{teorico}} \times 100\% \quad (20)$$

$$\%_{error} = \left| \frac{155.54 - 157.5}{155.54} \right| \times 100\%$$

$$\%_{error} = 1.26 \%$$

Capítulo VI Condiciones iniciales de operación y manejo del equipo

Encendido y condiciones de operación

1. Asegurar que las dos mangueras de salida de agua se encuentren conectadas en el mesón al desagüe del laboratorio.
2. Conectar la unidad de control máster a la toma de corriente de 220 [V].
3. Encender el tablero con el selector de dos posiciones ON / OFF
4. Abrir la llave de la toma de agua principal, seguida de la llave que se encuentra en el regulador de presión.
5. Regular el caudal necesario con las llaves de ingreso de agua para cada lado en la barra. Presionando en el tablero la tecla "MENU" de los medidores de caudal se puede obtener directamente la lectura del caudal en [L/min], la cual se puede regular en 0.5 [L/min] para el lado no aislado y 0.6 [L/min] para el lado aislado.
6. Con los caudales fijados, se procese a tomar captura de las temperaturas en el tablero.
7. Encender la resistencia eléctrica con la ayuda del reóstato y medidor de voltaje, fijar el voltaje en 170 [V].
8. Tomar datos de las temperaturas en intervalos de 10 min hasta llegar al estado estable que es aproximadamente 2h30.
9. Cuando se llegue al estado estable (no varían las temperaturas), tomar 4 mediciones de datos cada 5 min.
10. Cuando se finalice la práctica apagar la resistencia eléctrica y dejar fluir el agua durante 30 min para enfriar el equipo.
11. Cerrar las llaves de agua en la válvula reguladora y después de la toma principal.

Precauciones con el equipo

- Las mangueras no deben estar dobladas pronunciadamente por que se impide la circulación normal del agua.
- Las llaves para regular el caudal del agua en cada lado de la barra, deben ser ajustadas lo más despacio posible hasta el caudal necesario.
- Durante la práctica se puede ajustar nuevamente el caudal si lo requiere, considerando la temperatura de la barra se lo debe realizar con cuidado.
- Al finalizar la práctica dejar el fluido de agua circular por aproximadamente 30 min para enfriar el equipo.
- Al apagar el equipo desconectar el enchufe del tomacorriente y cerrar todas las llaves de agua.

Capítulo VII Análisis financiero

Con la finalización del proyecto se presenta un análisis financiero dentro del cual se detallarán los valores directos e indirectos que fueron parte del proyecto para la culminación y puesta a punto del mismo.

Costos Directos

Remuneración a docente

Tabla 23

Costo de remuneración al docente, tutor y laboratorista.

Nombre	Cargo	Tiempo (HORAS)	Costo Hora (USD)	Costo Total (USD)
Ing. Angelo Villavicencio	Director	64	20	1280
Lic. Roberto Buenaño	Laboratorista	64	15	960
			<i>Subtotal 1</i>	2240

Remuneración a estudiante

Tabla 24

Costo de remuneración al estudiante, responsable del proyecto.

Nombre	Cargo	Tiempo (HORAS)	Costo Hora (USD)	Costo Total (USD)
Sr. Luis Miguel Salazar	Responsable del Proyecto	400	2.5	1000
			<i>Subtotal 2</i>	1000

Costo de instrumentación e implementación para toma de datos.**Tabla 25***Costo de instrumentos y accesorios para instalación del equipo.*

Nro.	Descripción	Cant.	Costo	
			Unitario (USD)	Total
1	Medidor de Corriente Alterna	1	19.98	19.98
2	Medidor de Temperatura	20	10.49	209.80
3	Medidor de Caudal	2	33.59	67.18
4	Termopar tipo K	20	5.00	100
5	Reóstato	1	30.69	30.69
6	Fuente de 12 V 5 A	1	14	14
7	Fuente de 3 V 0.5 A	1	13	13
8	Llave de paso	1	2.80	2.80
9	Filtro de Sedimentos	1	70	70
10	Cartuchos de fibra	2	5.00	10
11	Reducción macho roscada de ½ a manguera de ¼	4	2.50	10
12	Reducción macho roscada de 1 a ½	4	1.30	5.20
13	Adaptador macho manguera ¼	3	3.50	10.50
14	Adaptador hembra de ½	1	2.50	2.50
15	Conectores en tee manguera y roscado	2	4.5	9.00
16	Enchufe de 220 [V]	1	3.5	3.5

Continúa en la siguiente página

Nro.	Descripción	Cant.	Costo	
			Unitario (USD)	Total
17	Fusilera de tablero	3	1.00	3.00
18	Fusibles	3	0.10	0.3
19	Neplo de 10 cm de 1 in	2	0.7	1.4
20	Neplo corrido de ½	1	0.50	0.50
21	Oring de filtro sedimentador	2	1.68	3.36
22	Manguera de ½	2	3.16	6.32
23	Manguera de ¼	7	0.97	6.79
24	Soportes para patas de Vinil	2	1.85	3.70
25	Borneras de Tablero	10	0.50	5.00
26	Lana de Roca	1	7.00	7.00
27	Rollo de Aluminio	1	6.50	6.50
28	Válvula reguladora de presión	1	32.50	32.50
29	Manómetro	1	4.00	4.00
30	Abrazadera ½	4	0.95	3.80
31	Abrazadera de ¼	10	0.35	3.50
			<i>Subtotal 3</i>	665.82

Costo de Materiales**Tabla 26***Costos de materiales utilizados durante el proyecto.*

Nro.	Descripción	Cant.	Costo	
			Unitario (USD)	Total
1	Teflón	4	1.00	4.00
2	Aislador eléctrico termoencogible 3mm	2	3.40	6.80
3	Aislador eléctrico termoencogible 5mm	1	4.50	4.50
4	Cuaderno de etiquetas	1	3.00	3.00
5	Pintura Spray	3	2.00	6.00
6	Cepillos de acero cerdas gruesas	1	2.00	2.00
7	Cepillos de acero cerdas finas	3	1.25	3.75
8	Lija 400	2	0.50	1.00
9	Pegatanke	1	5.50	5.50
10	Amarras plásticas	2	1.50	3.00
11	Broca Metal 5 mm	1	1.00	1.00
12	Broca Concreto 5 mm	1	1.00	1.00
13	Tacos Fisher	4	0.60	2.40
14	Set de Fresas Esmeril	2	2.50	5.00
15	Disco de corte Metal	4	2.00	8.00
16	Disco Polifan 400	1	2.50	2.50
			<i>Subtotal 4</i>	59.45

Costos indirectos**Tabla 27***Costos que influyeron indirectamente en el proyecto.*

Nro.	Descripción	Cant.	Costo	
			Unitario (USD)	Total
1	Transporte (Gasolina - Mantenimiento)	1	150	150
2	Parqueadero	2	15	30
3	Alimentación	1	25	25
4	Servicios Básicos (Luz – Agua - Internet)	1	30	30
5	Varios	1	50	50
			<i>Subtotal 5</i>	285

Costos asumidos**Tabla 28***Costos asumidos en el proyecto realizado*

Costos asumidos			
Estudiante responsable del proyecto		Universidad de las fuerzas armadas - ESPE	
Descripción	Valor	Descripción	Valor
Personal	1000	Personal	2240
Instrumentación y materiales	725.27	Suministros de Oficina	50
		Servicios Básicos	30

Total	1725.27	Total	2320
-------	---------	-------	------

Costo total del proyecto

Tabla 29

Costo total del Proyecto, Costos Directos e Indirectos

Descripción	Total
Subtotal 1 - Tabla 23	2240
Subtotal 2 - Tabla 24	1000
Subtotal 3 - Tabla 25	665.82
Subtotal 4 - Tabla 26	59.45
Subtotal 5 - Tabla 27	285
TOTAL	4250.27

Capítulo VIII Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- La recuperación, adquisición de datos y puesta a punto del equipo de transferencia de calor en barras de sección cónica del laboratorio de conversión de energía térmica se encuentra en condiciones operativas garantizando el correcto funcionamiento de los medidores de temperatura, caudal y corriente eléctrica.
- Se determinó que la toma de datos y procedimiento del equipo es correcta, dando un valor de error de 1.26% en la comparación con el teórico versus práctico.
- La actualización de los instrumentos de medición cumple con las indicaciones del fabricante mejorando el tiempo de lectura de los datos.
- El diseño del tablero se realizó en bloques, manteniendo los componentes e indicadores en cada bloque facilitando la comprensión de la toma de datos y la ubicación de cada sensor siendo así la práctica más didáctica en la distribución de temperaturas.
- Las curvas de distribución de temperaturas nos ayudan a comprender la transferencia de calor en un medio asilado y no aislado.

Recomendaciones

- No encender la resistencia eléctrica si no se encuentra circulando agua por ambos lados de la barra al caudal mínimo establecido.
- Mantener una distancia prudente al momento de cerrar las llaves de agua y desconectar el equipo.

- Cuando se finalice la práctica de laboratorio dejar circular por 30 minutos el agua para enfriar el equipo, una vez transcurrido el tiempo cerrar todas las llaves de entrada de agua.

Referencias

2021 UCTRONICS Store. (03 de 08 de 2021). *UCTRONICS*. Obtenido de

<https://www.uctronics.com/uctronics-30-800-degree-centigrade-digital-temperature-meter-blue-led-display-k-type-thermocouple-temp-sensor-2-wires-reverse-polarity-protection-with-black-case.html>

Abarza, J. R. (25 de Abril de 2021). Barras Cónicas. (L. M. Bosmediano, Entrevistador) Sangolquí.

Amazon . (04 de 08 de 2021). Obtenido de

https://www.amazon.com/dp/B08CDD552F/ref=pd_di_sccai_8/130-3175920-5006541?pd_rd_w=p8KFj&pf_rd_p=c9443270-b914-4430-a90b-72e3e7e784e0&pf_rd_r=41X8DTKWSVMSPB45JSKK&pd_rd_r=c6e7d157-714e-4247-9bac-7dcfac619cfd&pd_rd_wg=ejl2p&pd_rd_i=B08CDD552F&th=1

Amazon. (04 de 08 de 2021). Obtenido de [https://www.amazon.com/CRS-022B-Frecuencia-](https://www.amazon.com/CRS-022B-Frecuencia-Mult%C3%ADmetro-Amper%C3%ADmetro-Transformador/dp/B07K3S4K9L/ref=sr_1_2_sspa?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=ac%2Bvoltmeter&qid=1620170099&sr=8-2-spons&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPU)

[Mult%C3%ADmetro-Amper%C3%ADmetro-](https://www.amazon.com/CRS-022B-Frecuencia-Mult%C3%ADmetro-Amper%C3%ADmetro-Transformador/dp/B07K3S4K9L/ref=sr_1_2_sspa?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=ac%2Bvoltmeter&qid=1620170099&sr=8-2-spons&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPU)

[Transformador/dp/B07K3S4K9L/ref=sr_1_2_sspa?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=ac%2Bvoltmeter&qid=1620170099&sr=8-2-spons&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPU](https://www.amazon.com/CRS-022B-Frecuencia-Mult%C3%ADmetro-Amper%C3%ADmetro-Transformador/dp/B07K3S4K9L/ref=sr_1_2_sspa?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=ac%2Bvoltmeter&qid=1620170099&sr=8-2-spons&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPU)

Cengel, Y. A., & Ghajar , A. J. (2011). *Transferencia de Calor y Masa - Fundamentos y*

Aplicaciones. México: Mc Graw Hill.

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica - Séptima Edición*. México: McGrawHill.

COMPRA. (03 de 08 de 2021). *OCOMPRA*. Obtenido de

<https://www.ocompra.com/ecuador/item/manometro-0-100-psi-conexion-1-4-caja-metal-50mm-vert-ptk-432040424/>

Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor - Cuarta Edición*.

México: PRENTICE HALL.

INDUSTRIAS ASOCIADAS S.A.S. - INSTRUMENTACIÓN PARA LA INDUSTRIA . (03 de 08 de 2021).

industrias asociadas . Obtenido de

<https://www.industriasasociadas.com/producto/valvula-reguladora-de-presion-para-agua-serie-3318n/>

INSTITUTO VALENCIANO DE LA EDIFICACIÓN . (2011). PRODUCTOS Y MATERIALES Propiedades

de aislantes térmicos para rehabilitacion energética. *Cuadernos de Rehabilitación*, 1 - 3 .

Jiménez Morales, F., & Lemos Fernández, M. (2001). *Termodinámica: Una guía de clases*. Sevilla:

Publicaciones de la Universidad de Sevilla Manuales Unniversitarios.

Lazada. (03 de 08 de 2021). *Lazada Group*. Obtenido de

<https://www.lazada.com.ph/products/quality-assurance-us-plug-4000w-ac-220v-variable-voltage-controller-control-for-fan-speed-motor-tool-i490608018.html>

Pérez Garcia, G., García Santillán , M., Alcántara Lópe, K., & Sánchez Tapia, R. (2020). Segunda

ley de la termodinámica y entropía. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior*

Tepeji del Río, 75.

Smith, J., Van Ness, H., & Abbott, M. (1997). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería*

Química. Mexico: McGraw-Hill.

ANEXOS