



**Universidad
Técnica de
Cotopaxi**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA ANÁLISIS
DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA
CONTROLADA POR PANTALLA TÁCTIL.”**

Autores:

Jhonatan Javier Guacapiña Toapanta

Marlon Daniel Núñez Verdezoto

Tutor:

PhD. Enrique Torres Tamayo

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2018



AVAL DE AUTORÍA

Nosotros Guacapiña Toapanta Jhonatan Javier y Núñez Verdezoto Marlon Daniel declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: siendo **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA CONTROLADA POR PANTALLA TÁCTIL."** siendo el Ing. Enrique Torres Tamayo Ph.D. tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Guacapiña Toapanta Jhonatan Javier

C.I: 1724044969

Núñez Verdezoto Marlon Daniel

C.I: 0202350435



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA CONTROLADA POR PANTALLA TÁCTIL.” de los postulantes Guacapiña Toapanta Jhonatan Javier y Nuñez Verdezoto Marlon Daniel, de la carrera de Ingeniería Electromecánica considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la FACULTAD de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio del 2018

Ing. Enrique Torres Tamayo Ph.D.

El Tutor 1



AVAL DE APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACION

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Guacapiña Jhonatan con CI: 1724044969 y Núñez Daniel con CI: 0202350435, con el título de Proyecto de titulación: **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA CONTROLADA POR PANTALLA TÁCTIL"** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Julio 2018

Para constancia firman:

Lector 1

Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina; Ms.C.

C.I: 050284769-2

Lector 2

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi Ms.C.

C.I: 050239517-6

Lector 3

Ing. Yadira Araceli Herrera Martínez M.B.A.

C.I: 050290485-7



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, Agosto del 2018

Ing. Enrique Torres Tamayo Ph.D.

Director de la línea N° 3

Universidad Técnica de Cotopaxi "Carrera de Ingeniería Electromecánica"

Presente.-

En calidad de director de línea N°3 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS Y USO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA, confirma la realización del proyecto **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA CONTROLADA POR PANTALLA TÁCTIL"** implementado por los señores estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica**; Guacapiña Jhonatan con CI: 1724044969 y Núñez Daniel con CI: 0202350435, bajo la supervisión y coordinación de la carrera.

Aceptamos conocer y estar conformes con los términos y condiciones de las actividades que se van a realizar en la Universidad Técnica de Cotopaxi, laboratorios de la Carrera de Ingeniería Electromecánica para la ejecución del proyecto de los señores estudiantes.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para el interesado pueda hacer uso para los fines que crea conveniente.

Atentamente:

Ing. Enrique Torres Tamayo Ph.D.

Director de la línea N° 3

AGRADECIMIENTO

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar nuestros padres son los estudios, sin embargo no creo que sea el único legado del cual yo particularmente me siento muy agradecido hacia ellos y hacia DIOS por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han confiado siempre en mí, dándome un ejemplo de superación, humildad y sacrificio y sobre todo enseñándome a valorar lo que tengo.

JHONATAN.

AGRADECIMIENTO.

En primer lugar quiero agradecer a dios por brindarme la sabiduría para formarme tanto personal como profesionalmente, a mi madre por el apoyo brindado en cada momento de mi vida, a la universidad por haberme acogido, y a toda la familia electromecánica que me nunca me dieron la espalda.

DANIEL.

DEDICATORIA.

Lleno de regocijo dedico el presente trabajo a mis padres, porque han fomentado en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida, ya que han sido quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es para mí una gran satisfacción poder dedicarles a ellos.

JHONATAN.

DEDICATORIA.

Este trabajo le dedico a mi madre por la confianza y el apoyo brindado para culminar esta meta planteada, a mi tía por inculcarme valores para ser una persona de bien y en un futuro un gran profesional.

DANIEL.

INDICE

AVAL DE AUTORÍA.....	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DE APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACION	iii
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	ix
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
1. INFORMACIÓN BÁSICA.....	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	3
2.1. Título de la propuesta tecnológica	3
2.2. Tipo de alcance	3
2.3. Área del conocimiento	3
2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica	3
2.5. Objeto de estudio y campo de acción	4
2.5.1. Objeto de estudio.....	4
2.5.2. Campo de acción	4
2.6. Situación problémica y problema	4
2.6.1. Situación problémica.....	4
2.6.2. Problema.....	5
2.7. Hipótesis	5
2.8. Objetivo(s)	5
2.8.1. Objetivo general	5
2.8.2. Objetivos específicos.....	5
2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos	6
VARIABLES	7
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1. Antecedentes	8
3.2. Introducción	8
3.3. Transferencia de calor.....	9

3.3.1. Tipos de transferencia de calor.....	9
3.4. Transferencia de calor por convección	11
3.4.1. Mecanismo físico de la convección	12
3.4.2. Mecanismos térmicos.....	13
3.4.3. Ley de Newton del enfriamiento.....	13
3.5. Análisis dimensional.....	14
3.5.1. Números adimensionales.....	14
3.5.2. Número de Prandtl (Pr)	15
3.5.3. Número de Reynolds (Re).....	15
3.5.4. Número de Nusselt.....	16
3.6. Clasificación de los flujos de fluidos.....	16
3.6.1. Capa límite de velocidad	16
3.6.2. Capa límite térmica	17
3.6.3. Flujo laminar y turbulento.....	18
3.7. Convección externa forzada.....	19
3.7.1. Convección interna forzada.....	19
3.7.2. Convección natural sobre superficies.....	20
3.8. Intercambiador circular.....	20
4. METODOLOGÍA.....	21
4.1. Descripción del proyecto	21
4.2. Antecedentes de módulos de transferencia de calor por convección.....	21
4.2.1. Partes del módulo de EDIBON.....	22
4.2.2. Prácticas que se pueden realizar de transferencia de calor por convección.....	24
4.3. Coeficiente de convección	24
4.4. Ecuación de Zhukauskas.....	25
4.4.1. Número de Nusselt	25
4.4.2. Número de Reynolds.....	26
4.4.3. Error absoluto.....	27
4.4.4. Error relativo	28
4.5. Partes y elementos del módulo	28
4.5.1. Blower para ingreso del fluido	28
4.5.2. Ducto de aire	29
4.5.3. Criterios de selección del acero empleado	29

4.5.4. Partes del ducto de aire.....	30
4.5.5. Disipador de calor	31
4.5.6. Aislante del disipador.....	32
4.5.7. Sensores de temperatura.....	32
4.5.8. Pantalla Touch para resultados.....	33
4.5.9. Sistema de control de temperatura	34
4.5.10. Arduino MEGA ADK	35
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	36
5.1. Resultados obtenidos a través de la ecuación de Zhukauskas.	36
5.2. Resultados obtenidos a través de ecuaciones matemáticas.	37
5.3. Resultados experimentales obtenidos.	37
5.4. Resultados experimentales obtenidos a través de la práctica.....	39
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	41
6.1. Presupuesto	41
6.1.1. Análisis costo-beneficio.	42
6.2. Análisis de impactos	42
6.2.1. Impacto práctico:	42
6.2.2. Impacto tecnológico:	43
6.2.3. Impacto epistemológico:.....	43
6.2.4. Impacto económico:	43
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
7.1. Conclusiones	44
7.2. Recomendaciones	45
8. REFERENCIA	46
9. ANEXOS.....	47

INDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1. Velocidad transferencia de calor	8
Figura 3. 2. Primera ley de la termodinámica.....	11
Figura 3. 3. Transferencia de calor	13
Figura 3. 4. Ley de Newton del enfriamiento.....	14
Figura 3. 5. Capa límite termo aplicada	16
Figura 3. 6. Velocidad del fluido.....	17
Figura 3. 7. Capa límite térmica	18
Figura 3. 8. Flujo laminar	19
Figura 3. 9. Formación de la capa límite y la separación por el cilindro	21
Figura 4. 1. Disipadores de temperatura.....	22
Figura 4. 2. Partes del módulo.....	24
Figura 4. 3. Partes del módulo.....	28
Figura 4. 4. Blower.....	29
Figura 4. 5. Ducto de entrada de aire.....	30
Figura 4. 6. Partes del ducto	31
Figura 4. 7. Curvas de sensores	32
Figura 4. 8. Curvas de sensores, relación milivoltios-temperatura	33
Figura 4. 9. Pantalla.....	34
Figura 4. 10. Diagrama de bloques del sistema de control.....	34
Figura 4. 11. Pruebas del sistema de control	35
Figura 4. 12. Arduino MEGA ADK.....	35
Figura 5. 1. Coeficiente de convección (ecuación de Zhukauskas).....	38
Figura 5. 2. Coeficiente de convección.	39

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Área y sub-área del conocimiento.	3
Tabla 2. 2 Beneficiarios del proyecto	4
Tabla 2. 3. Sistema de tareas por objetivos	6
Tabla 2. 4 Operacionalización de variables	7
Tabla 4. 1. Constantes para el cilindro circular en flujo cruzado	26
Tabla 4. 2. Constantes mediante la temperatura.	27
Tabla 4. 3. Tabla de selección de blowers	29
Tabla 4. 4. Datos de disipadores	29
Tabla 4. 5. Dimensiones del disipador	30
Tabla 4. 6. Datos y temperaturas de los disipadores	31
Tabla 4. 7. Tipos de Termocuplas	33
Tabla 6. 1. Detalle de costos de elementos mecánicos	41
Tabla 6. 2. Detalle de costos de elementos eléctricos y electrónicos	41
Tabla 6. 3. Costos directos e indirectos	42

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO: Implementación de una unidad didáctica para análisis de transferencia de calor por convección forzada controlada por pantalla táctil.

Autor/es:

Guacapiña Toapanta Jhonatan Javier

Núñez Verdezoto Marlon Daniel

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de una unidad didáctica para análisis de transferencia de calor por convección forzada, equipo que será implementado en los laboratorios de la carrera de ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, como aporte al conocimiento teórico práctico de los estudiantes, el mismo que podrá ser utilizado como material de enseñanza por las especialidades que cuenten con asignaturas afines en su plan de estudio. El módulo de transferencia de calor es una herramienta que permite la obtención del coeficiente de convección a través de prácticas experimentales. El módulo cuenta con partes eléctricas y mecánicas, siendo las partes mecánicas los ductos de entrada y salida de aire, coexistiendo con los componentes de la parte eléctrica como blower, resistencia tipo cartucho, pirómetro, Contactores, interruptor térmomagnético, pulsadores y sensores de temperatura y velocidad de fluido. El proceso de transferencia de calor se da a partir de un fluido en movimiento siendo el blower quien envía aire a través del ducto que internamente cuenta con los elementos sensores y este a su vez está acoplado a un cilíndrico donde se encuentra una resistencia encargada de producir la disipación de calor. Estos datos son enviados a un procesador. Los resultados obtenidos a través de la práctica experimental fueron comparados con los resultados obtenidos a través de expresiones matemáticas expresadas por diferentes investigadores obteniendo como resultado un error inferior al 11.20% y 13.48% respectivamente por lo que permite validar el módulo desarrollado en la presente investigación. Cabe resaltar que todo el sistema de mando se encuentra protegido por interruptores térmomagnéticos, con el fin de precautelar el buen estado del equipo.

Palabras claves: convección, disipador de temperatura, forzada, transferencia,

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
ELECTROMECHANICAL ENGINEERING CAREER

TOPIC: Implementation of a didactic unit for analysis of heat transfer by forced convection controlled by touch screen.

Author/s

Guacapiña Toapanta Jhonatan Javier

Núñez Verdezoto Marlon Daniel

ABSTRACT

This project has an objective design and executing a didactic unit for analysis of heat transfer by forced convection equipment that will be implemented in the laboratories to the Electromechanical Engineering Career of Technical University of Cotopaxi. As a contribution to theoretical and practical knowledge of students, this project can be used as teaching material for specialties that have related subjects in their study plan. The heat transfer module is a tool that allows obtaining the convection coefficient through experimental practices. The module has electrical and mechanical parts, the mechanical parts being the air inlet and outlet ducts, coexisting with the components of the electrical part such as blower, cartridge type resistance, pyrometer, contactors, thermomagnetic switch, pushbuttons and temperature sensors, fluid velocity. The process of heat transfer gives from a fluid in motion being the blower who sends air through the duct that internally has the sensor elements and this in turn to a cylindrical where a resistance is in charge of producing the dissipation of heat. This data sends to a processor the results obtained through the experimental practice were compared with the results obtained through mathematical expressions expressed by different investigators, resulting in an error lower than 11.2% and 13.50% respectively, which allows validating the module developed in this investigation. It should be noted that thermomagnetic switches protect the entire control system, in order to safeguard the good condition of the equipment.

Keywords: convection, Temperature Dissipator, forced, transfer.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la Unidad Académica de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, GUACAPIÑA TOAPANTA JHONATAN JAVIER y NÚÑEZ VERDEZOTO MARLON DANIEL**, cuyo título versa **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA CONTROLADA POR PANTALLA TÁCTIL"**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, julio del 2017

Atentamente,


.....
Msc. Alison Mena Barthelotty
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501801252



1. INFORMACIÓN BÁSICA

Propuesto por:

JHONATAN JAVIER GUACAPIÑA TOAPANTA

MARLON DANIEL NÚÑEZ VERDEZOTO

Tema aprobado:

Implementación de una unidad didáctica para análisis de transferencia de calor por convección forzada controlada por pantalla táctil.

Carrera:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Director de la propuesta tecnológica:

Ing. Enrique Torres Tamayo Ph.D

Equipo de trabajo:

Ing. Enrique Torres Tamayo Ph.D

Jhonatan Javier Guacapiña Toapanta

Marlon Daniel Núñez Verdezoto

Lugar de ejecución:

Cotopaxi Zona 3, Latacunga, Parroquia Eloy Alfaro, Barrio El Ejido- San Felipe, Universidad Técnica de Cotopaxi La Matriz, Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

Tiempo de duración de la propuesta:

Inicio marzo 2017 – finalización agosto 2018

Fecha de entrega:

Agosto del 2018

Línea(s) y sub líneas de investigación

Según las líneas de investigación determinadas a partir del plan nacional del buen vivir y la matriz de desarrollo productiva contextualizada a la zona 3, así como también las de la Universidad Técnica de Cotopaxi para nuestra investigación se procedió de la siguiente manera:

Línea 5: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

Esta línea de investigación abarca tres grandes ejes para su accionar investigativo, que están en correspondencia con los objetivos nacionales e internacionales de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en esta área.

Sub líneas de investigación de la carrera:

Acorde a nuestra investigación las siguientes sub líneas que se detallan a continuación:

- Eficiencia energética en sistemas electromecánico y uso de fuentes renovables de energía

Tipo de propuesta tecnológica:

- El proyecto a desarrollar es un módulo el cual será implantado en los talleres de la Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Este es un módulo que servirá para realizar prácticas en la asignatura de Termo Dinámica y Termo Aplicada que beneficiara a los estudiantes que estén cursando dicha asignatura.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. Título de la propuesta tecnológica

“Implementación de una unidad didáctica para análisis de transferencia de calor por convección forzada controlada por pantalla táctil.”

2.2. Tipo de alcance

Multipropósito: el proyecto tiene el propósito de complementar la parte teórica impartida en el aula de clase con la parte práctica a realizarse en el taller de ingeniería electromecánica de la Universidad.

Interdisciplinar: La construcción del módulo tiene la finalidad de unificar los conocimientos de las diferentes asignaturas que se encuentran expresas en el silabo de la carrera como tal.

2.3. Área del conocimiento

El área de conocimiento de la UNESCO vigente en la normativa del SENESCYT está determinado de la siguiente manera:

Tabla 2. 1 Área y sub-área del conocimiento.

ÁREA	SUB ÁREA
Ingeniería, industria y construcción	52 Ingeniería y profesiones afines
	Dibujo Asistido por computadora, Diseño de elementos de Maquinas, Resistencia de Materiales, Termo Dinámica, Termo Aplicada, Fluidos, Instrumentación, electrónica e ingeniería energética.

Fuente: [1]

2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica

El presente proyecto está enfocado a la construcción e implementación de un módulo didáctico para realizar prácticas de transferencia de calor por convección forzada, la finalidad que tiene la construcción de este módulo es la obtención de datos al realizarse la transferencia de calor, así como también relacionarlos al intercambiar el disipador de calor que contendrá en su interior un cilindro con distintas dimensiones cada uno, la velocidad y cantidad de circulación del aire en el interior del ducto serán aquellos que determinen la cantidad de calor

que se ha transferido desde la superficie del disipador y los datos obtenidos de la práctica experimental serán comparados con los datos calculados a través de ecuaciones literarias.

Este módulo beneficiara a los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica que cursan la asignatura de termo aplicada y a fines. Ya que brinda la oportunidad de realizar prácticas experimentales de acorde a la parte teórica impartida en el aula de clases.

Tabla 2. 2 Beneficiarios del proyecto

DIRECTOS	INDIRECTOS
Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica.	Docentes de la carrera de Ingeniería Electromecánica que dictan la asignatura de Termo Aplicada.

2.5. Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1. Objeto de estudio

La unidad didáctica para el análisis de los sistemas de transferencia de calor por convección forzada en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.5.2. Campo de acción

Prácticas experimentales de laboratorio para la comprobación del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada a través del módulo didáctico.

2.6. Situación problémica y problema

2.6.1. Situación problémica

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica que cursan la asignatura de Termo Aplicada, realizan ejercicios de transferencia de calor por convección de una manera teórica, teniendo un pequeño déficit en la comprensión del tema ya que no se cuenta con un método práctico de enseñanza que permita al estudiante entender cuál es el proceso que se genera al transferir el calor de una superficie, además de comparar los resultados teóricos con los resultados experimentales.

En los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi no existe un módulo para realizar dichas prácticas, por este motivo los estudiantes al culminar la asignatura tienen un aprendizaje teórico y un déficit práctico. Por este motivo se ha visto necesario realizar un

módulo de transferencia de calor para que los estudiantes obtengan un aprendizaje completo tanto práctico como teórico.

El módulo beneficiara a los estudiantes que estén cruzando la materia de Termo Aplicada, aunque no de carácter excluyente para otras asignaturas que también lo requieran.

2.6.2. Problema

La Inexistencia de un módulo didáctico para realizar pruebas de transferencia de calor por convección forzada en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi para la asignatura de termo aplicada.

2.7. Hipótesis

La implementación de un módulo didáctico de transferencia de calor por convección forzada, permitirá el desarrollo de prácticas experimentales y de esta manera fortalecer los conocimientos académicos impartidos en la academia

2.8. Objetivo(s)

2.8.1. Objetivo general

Implementar una unidad didáctica para el análisis de los sistemas de transferencia de calor por convección forzada en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.8.2. Objetivos específicos

- Realizar la fundamentación teórica relacionada con el proceso de intercambio térmico por convección forzada.
- Establecer el método para el diseño del módulo didáctico de intercambio térmico.
- Construir el módulo a partir de los procesos de intercambio térmico por convección dentro de la fundamentación teórica y el diseño previamente establecido.
- Realizar pruebas experimentales para la obtención del coeficiente de transferencia de calor por convección y su comparación con el cálculo a través del cálculo matemático.

2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

Tabla 2. 3. Sistema de tareas por objetivos

Objetivo	Actividades	Tareas por objetivo	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad
Objetivo 1	Realizar la fundamentación teórica relacionada con el proceso de intercambio térmico por convección forzada.	Analizar los conceptos de transferencia de calor de diferentes autores.	Comparar los conceptos para aumentar el conocimiento	Investigación bibliográfica.
		Establecer los fundamentos teóricos relacionados con el coeficiente de transferencia de calor por convección y su obtención de forma experimental.	Llegar a un concepto común al agrupar criterios técnicos.	Investigación bibliográfica.
Objetivo 2	Establecer el método para el diseño del módulo didáctico de intercambio térmico.	Analizar detenidamente las ecuaciones para el cálculo de la transferencia de calor.	Planos de las dimensiones reales definidas.	Investigación experimental para la toma de datos.
Objetivo 3	Construir el módulo a partir de los procesos de intercambio térmico por convección dentro de la fundamentación teórica y el diseño previamente establecido.	Ensamblar las piezas y elementos que conforman el módulo didáctico.	Selección de los diferentes diámetros del material para pruebas.	Investigación experimental.
		Elaboración del manual de mantenimiento y operación del didáctico.	Análisis de fallas en el funcionamiento del módulo.	Investigación experimental y de campo

Objetivo 4	Realizar pruebas experimentales para la obtención del coeficiente de transferencia de calor por convección y su comparación con el cálculo a través del cálculo matemático.	Pruebas finales del módulo de transferencia de calor con los diferentes intercambiadores.	Análisis y resultados de las pruebas del módulo de transferencia de calor.	Investigación experimental y de campo
-------------------	---	---	--	---------------------------------------

Tabla 2. 4 Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Gradiente de temperatura del aire	Gradiente de temperatura es la variación de temperatura por unidad de distancia.	[K]	-Sensores de temperatura. (Termocuplas tipo K)
Velocidad	La velocidad es la magnitud física que muestra la variación en cuanto a posición de un objeto o cuerpo en función del tiempo.	[m/s]	- Anemómetro
Temperatura de superficie	La temperatura es una propiedad física que nos permite conocer la presencia o ausencia de calor en un cuerpo.	[K, °C]	- Termocuplas tipo K,
Coefficiente de convección.	Es una relación bilateral entre las condiciones del fluido y las estado del flujo.	[W/m ² .K]	- Uso de ecuaciones

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

El estudio de transferencia de calor se basa en una investigación de varios autores que conocen ampliamente los procesos termodinámicos en especial el proceso de transferencia de calor, donde se entiende como transferencia de calor a la dispersión del mismo con relación al medio en el cual actúa. Para que exista una transferencia de calor es necesario que exista una diferencia de temperatura entre las partes que interactúan, el mismo que se llevara a cabo hasta llegar a un equilibrio térmico.

Según Incropera D. [2]. Transferencia de calor es la energía de tránsito debido a una diferencia de temperaturas. Para que exista transferencia de calor debe existir una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos.

La transferencia de calor se va a dar tomando como relación dos cuerpos, la temperatura se transfiere del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura para lograr un equilibrio térmico como se muestra en la figura 3.1.

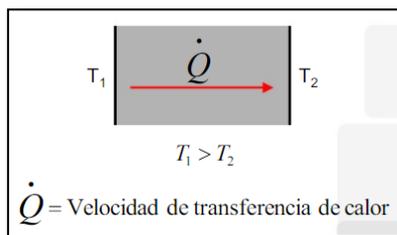


Figura 3. 1. Velocidad transferencia de calor

Fuente: [3]

Existen diferentes metodos para realizar el proceso de transferencia de calor, siendo el método de transferencia de calor por convección el seleccionado para el caso de estudio realizado.

3.2. Introducción

El desarrollo de este trabajo de grado surge como respuesta a la necesidad de implementar un módulo de proceso de transferencia de calor, para la Universidad Técnica de Cotopaxi en la unidad académica de ciencias de la ingeniería y aplicada en la facultad de ingeniería Electromecánica, aunque no de carácter excluyente para otras facultades que también lo requieran.

Debido a la inexistencia del análisis de transferencia de calor por convección a nivel académico- educativo, se hace cada vez más necesario la implementación de un módulo

didáctico del mismo, ya que este instrumento educativo brindará la capacidad de analizar dicho proceso.

Para el análisis de transferencia de calor por convección se creará un módulo didáctico, el mismo que será utilizado de acuerdo a la necesidad del estudiante pudiendo ser un proceso de transferencia de calor forzada únicamente. Es por ello que se diseñará los planos y diagramas de construcción que faciliten el montaje de los elementos que lo conforman.

En el documento también se encuentran los fundamentos teóricos, para facilitar la comprensión de conceptos, definiciones y los principios de funcionamiento de cada elemento que intervendrá en el diseño y construcción, así como también los equipos de control eléctrico que se utilizarán para identificar las características y diagramas proporcionados por la aplicación dada.

3.3. Transferencia de calor

Incopera expresa que siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor.

Según se muestra en la figura 3.2, nos referimos a los diferentes tipos de procesos de transferencia de calor como modos. Cuando existe un gradiente de temperatura en un medio estacionario que puede ser un sólido o un fluido utilizamos el término conducción para referirnos a la transferencia de calor que se producirá a través del medio. En cambio, el término convección se refiere a la transferencia de calor que ocurrirá entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas. El tercer modo de transferencia de calor se denomina radiación térmica todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. [2].

La transferencia de calor es el proceso por el cual se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos o entre diferentes puntos de un mismo cuerpo que están a diferentes temperaturas, la transferencia de calor se produce siempre y cuando exista un gradiente térmico o cuando dos sistemas a diferentes temperaturas se encuentren en contacto. Existen tres formas diferentes para lograr una transferencia de calor que son: conducción, convección y radiación.

3.3.1. Tipos de transferencia de calor

Cuando se habla de transferencia de calor se debe conocer las distintas formas como se transfiere la temperatura. Esta se divide en tres:

- Por conducción.
- Por convección.
- Por radiación.

Por conducción

El proceso de transferencia de calor por conducción es la más fácil de entender ya que se produce a través del medio es decir se transfiere calor entre dos puntos de un cuerpo sin que se produzca transferencia de materia entre ellos, para esto estos puntos deben encontrarse a diferentes temperaturas. (Figura 3.2.)

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. En 1822, el matemático francés Joseph Fourier dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado). [22]

Por convección

Cengel [5], expresa que la transferencia de calor se da cuando interviene un fluido ya sea líquido o gas, el proceso se lleva a cabo cuando el fluido se encuentra en movimiento y transfiere el calor entre dos zonas que se encuentren a diferentes temperaturas. (Figura 3.2).

La convección es un proceso natural en el que el calor se transfiere entre dos sustancias líquidas, entre dos sustancias gaseosas o un gas y un líquido, siempre y cuando se encuentren a diferentes temperaturas.

Incluso, se puede llamar convección al proceso de transferencia de calor entre un gas y un sólido o entre un líquido y un sólido a diferentes temperaturas. [23] [5]

Esta se divide en dos como son libre o natural y forzada.

- **Libre o natural**, el fluido es el encargado de extraer calor de una zona que se encuentra a mayor temperatura, variando su densidad para desplazarse a una zona que se encuentra a menor temperatura.
- **Forzada**, en este proceso se emplea un elemento adicional que será el encargado de producir el movimiento de un fluido haciendo que este a su vez transporte el calor de una superficie a otra.

Por radiación térmica

En este método de transferencia de calor no existe contacto entre cuerpos o con algún fluido, este se produce por las ondas electromagnéticas del cuerpo que emite, entonces la transferencia de calor se va a dar solo por radiación entre dos cuerpos a diferentes temperaturas.

Un cuerpo caliente emite energía radiante en todas las direcciones. Cuando esta energía alcanza a otro cuerpo parte de ella puede reflejarse, otra parte puede ser transmitida a través del cuerpo, y el resto es absorbida y transformada en calor. A temperatura elevada la transición de calor por radiación es exclusiva del calor y difiere mucho de todas las otras formas materiales de transporte, especialmente en que no necesita la presencia de un medio material (de hecho necesita la ausencia de medio o que el medio sea transparente). Se estudia haciendo uso de las leyes básicas de la radiación así como algunas leyes experimentales.

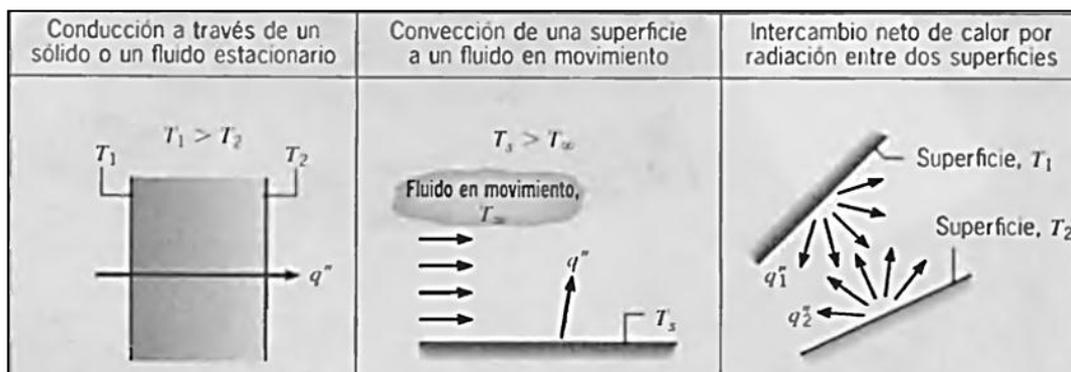


Figura 3. 2. Primera ley de la termodinámica

Fuente: [5]

3.4. Transferencia de calor por convección

La transferencia de calor por convección consiste en transferir calor desde una superficie a otra a través del movimiento de un fluido pudiendo ser de dos maneras libre y forzada.

3.4.1. Mecanismo físico de la convección

La transferencia de calor por convección se produce por medio del movimiento de un fluido que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. El coeficiente de transferencia de calor por convección depende de la densidad, viscosidad y velocidad del fluido, así como de sus propiedades térmicas (conductividad térmica y calor específico). Para que exista convección debe existir movimiento de fluido.

La convección es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido, por ejemplo: al trasegar el fluido por medio de bombas o al calentar agua en una cacerola, la que está en contacto con la parte de abajo de la cacerola se mueve hacia arriba, mientras que el agua que está en la superficie, desciende, ocupando el lugar que dejó la caliente.

La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Se incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico (convección mecánica, forzada o asistida). En la transferencia de calor libre o natural un fluido es más caliente o más frío y en contacto con una superficie sólida, causa una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido. La transferencia de calor por convección depende con intensidad de las propiedades del fluido: Viscosidad dinámica (μ), Conductividad térmica (k), densidad (ρ), calor específico (C_p) así como de la velocidad del fluido (V). También depende la configuración geométrica y aspereza de la superficie sólida y del tipo de flujo del fluido (Laminar o Turbulento) como se puede apreciar en la figura 3.3.

Por lo tanto no es sorprendente que la convección sea el mecanismo más complejo de transferencia de calor al relacionar tantas variables. [2].

Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme a un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro la ciencia que trata de la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. [4].

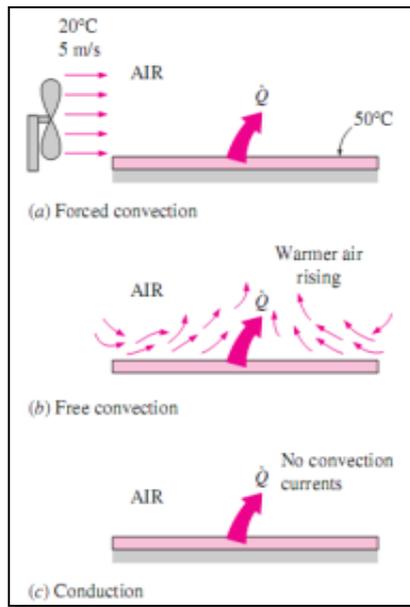


Figura 3. 3. Transferencia de calor
Fuente: [5]

3.4.2. Mecanismos térmicos

Se define como ambiente al espacio tanto interior como exterior a la envolvente del cerramiento, en el cual se incluye todos aquellos parámetros físicos que intervienen en los procesos de transferencia de calor, ya sea por radiación como por convección.

Se define como cerramientos a los elementos de separación entre el ambiente interior y el ambiente exterior de un edificio y que constituyen su envolvente ciega. Los elementos delimitadores del ambiente interior que pueden permitir el paso del aire, la luz, etc. se denominarán huecos, y no serán objeto de este estudio, ni tampoco las particiones entre diferentes zonas del ambiente interior. [6]

3.4.3. Ley de Newton del enfriamiento

Un gran científico como lo es Isaac Newton realizó muchos estudios basándose en los fenómenos físicos, para plantear La ley de Enfriamiento el calentó un bloque de hierro al rojo vivo y tras retirarlo del fuego, el bloque se enfriaba más rápidamente es decir cuando más caliente está más rápido se enfría y más lentamente cuando su temperatura se acercaba a la temperatura del aire.

Existe una expresión denominada por razones históricas ley de enfriamiento de Newton que permite calcular el calor transferido entre un sólido y un fluido por convección. Dada una superficie sólida en contacto con un fluido. [6]

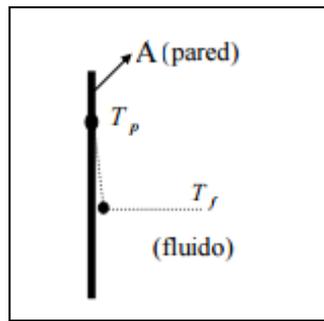


Figura 3. 4. Ley de Newton del enfriamiento

Fuente: [7]

Como se observa en la figura 3.4 la energía transferida entre la pared y el fluido por unidad de tiempo proporcional a la superficie y al salto de temperaturas entre ambos

La constante de proporcionalidad “h” se denomina coeficiente de transferencia por convección. Esta constante de proporcionalidad depende de varios factores:

1. Que la pared sea plana o curva
2. Que sea horizontal, inclinada o vertical
3. Que el fluido en contacto sea un gas o un líquido.
4. La densidad, viscosidad, calor específico y conductividad térmica del fluido.
5. Las características del escurrimiento del fluido (régimen laminar o turbulento).
6. Si tiene lugar evaporación, condensación o no hay cambio de fase.

El valor del coeficiente de convección es mayor, cuando mayor es la turbulencia en el fluido, que a su vez es mayor cuando mayor es la velocidad y /o cuando menor es la viscosidad.

En el caso de muy bajas velocidades o altas viscosidades se puede alcanzar un grado de turbulencia despreciable y el escurrimiento se denomina “laminar”.

En este caso el valor de coeficiente de convección es muy bajo y la transferencia de calor es cercana (algo mayor) a la que se produciría por conducción a través del fluido. [7] [8]

A bajas velocidades los fluidos tienden a moverse como si fueran un conjunto de "láminas líquidas" superpuestas que deslizan unas sobre otras. No hay mezclado lateral (entre “láminas”) respecto a la dirección del movimiento global del fluido. Se está en presencia de un escurrimiento laminar.

3.5. Análisis dimensional.

3.5.1. Números adimensionales

La transferencia de energía por convección es un fenómeno complicado en donde participan un gran número de efectos, no hay suficiente información para permitir la formulación, ya sea

de las ecuaciones diferenciales que lo gobiernan, o de una noción clara y completa del fenómeno al cual se le puedan aplicar leyes fundamentales. El análisis debe ser experimental y la correlación de las observaciones será un acercamiento empírico a la ecuación que describa correctamente el proceso.

Una herramienta que es utilizada en fenómeno tan complicados es el análisis dimensional, esta metodología permite obtener una relación entre un conjunto de ciertos números adimensionales, que de alguna forma, incluyen toda la información necesaria para describir el fenómeno con un cierto rigor (cuanto mayor sea este más información se requiere). Cada número adimensional es una medida del comportamiento del sistema en cierto aspecto, por ejemplo el número adimensional conocido como número de Reynolds es una medida de la importancia de las fuerzas inerciales frente a las viscosas en un fluido en condiciones dadas.

A través de correlaciones, cuya forma matemática es obtenida a través del análisis dimensional, y sus factores y exponentes a través de la determinación experimental, se puede describir un fenómeno como la convección, de estas expresiones participan los números adimensionales, que como se dijo introducen la información que describe la situación. [7]

3.5.2. Número de Prandtl (Pr)

El número de Prandtl es una relación entre la "capacidad" del fluido de transferir cantidad de movimiento y la "capacidad" de transferir su energía. Se obtiene a través del cociente de la difusividad de cantidad de movimiento (μ / ρ) y la difusividad térmica. [9]

3.5.3. Número de Reynolds (Re)

Expresa la relación entre el valor de las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas en un dado fluido en movimiento. Esta relación determina el tipo de escurrimiento (laminar o turbulento).

Altos valores de "Re" implican un escurrimiento turbulento. Las velocidades individuales de las partículas tienen direcciones diversas, no coincidentes con la del escurrimiento, generando un mezclado. Para bajos valores de Re el escurrimiento es laminar, sin mezclado trasversal al mismo. Para Re altos las fuerzas inerciales predominan en las partículas del fluido haciéndoles tender a moverse en trayectorias rectas aún en lugares donde el fluido globalmente debe cambiar de dirección provocando inestabilidades que generan torbellinos. Las fuerzas viscosas se resisten al desplazamiento macroscópico.

La ecuación (4.5) indica los parámetros que plantea Reynolds.

3.5.4. Número de Nusselt.

Es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección) comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción. [8]

La ecuación (4.4) indica los parámetros que plantea Reynolds.

3.6. Clasificación de los flujos de fluidos

La transferencia de calor por convección está relacionada con la mecánica de fluidos, ya que se necesita conocer el comportamiento del fluido o de los fluidos bien sea que se encuentren en reposo o en movimiento que tengan una interacción con sólidos. Para poder hacer más factible el estudio de este mecanismo de transferencia de calor es conveniente clasificar los flujos de fluidos. [10] [11]

Inicialmente, el desarrollo de la capa límite es laminar, pero a una distancia crítica del borde principal, dependiendo del campo de flujo y las propiedades del fluido, comienzan a amplificarse pequeñas perturbaciones en el fluido y tiene lugar un proceso de transición hasta que el flujo se vuelve turbulento. Podemos pensar en la región de flujo turbulento como en una agitación aleatoria en la que partes del fluido se mueven de aquí para allá, en todas direcciones.

3.6.1. Capa límite de velocidad

Para comprender el desarrollo de la capa límite de velocidad en un fluido, se considera un fluido consta de capas adyacentes apiladas unas sobre otras y la velocidad de las partículas en la primera capa se vuelve cero debido a la condición de no deslizamiento entre el fluido y la superficie como lo muestra la figura (3.5).

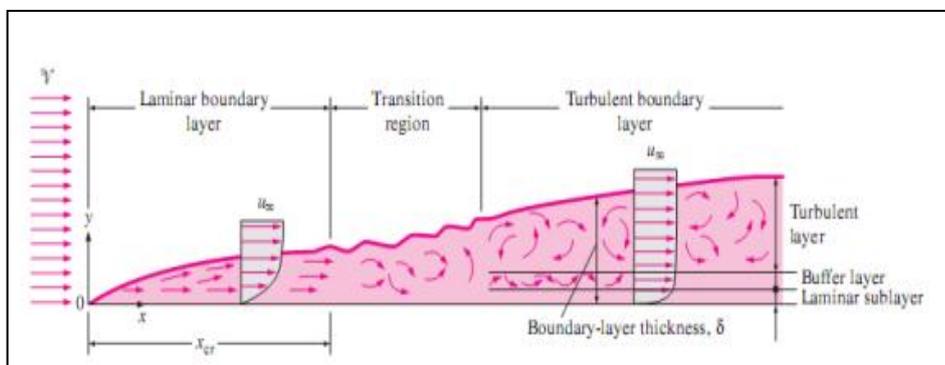


Figura 3. 5. Capa límite termo aplicada

Fuente: [5]

Esta capa inmóvil retarda las partículas de la capa vecina como resultado de la fricción entre ambas las cuales tienen velocidades diferentes, esta última retarda la capa siguiente y así sucesivamente. Por lo tanto se implanta una distancia nominal δ , donde a partir de ella la velocidad de las capas superiores (u) permanecen inalteradas como se muestra en la figura (3.6).

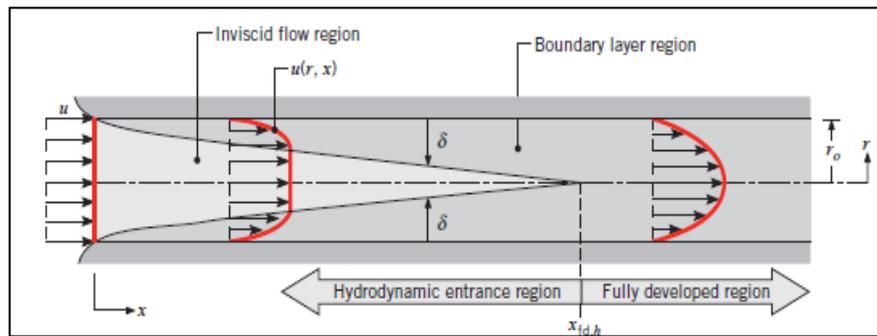


Figura 3. 6. Velocidad del fluido
Fuente: [9]

La recta hipotética (u) divide el flujo sobre la placa en dos regiones: la región de la capa límite, en el cual los efectos viscosos y los cambios de velocidad son significativos, y la región del flujo no viscoso, donde los efectos de la fricción son despreciables y la velocidad permanece constante. [11]

3.6.2. Capa límite térmica

De la misma forma como se desarrolla una capa límite de velocidad, cuando un fluido fluye sobre una superficie, de modo semejante se desarrolla una capa límite térmica cuando un fluido a una temperatura específica fluye sobre una superficie que está a una temperatura diferente, como se puede apreciar en la figura (3.7). [12]

El perfil de velocidades en un fluido, por ejemplo laminar, será perfectamente parabólico en el caso en que este sea isoterma. Cuando hay calentamiento el fluido cercano a la pared tendrá mayor temperatura que en el seno del mismo, lo que implicará una menor viscosidad (mayor facilidad para escurrir) del líquido en contacto con la pared que el restante, lo que deformará el perfil respecto al caso isoterma aumentando las velocidades (para otras condiciones iguales) cercanas a la pared. En el caso de enfriamiento sucede exactamente lo contrario. Por todo esto de alguna manera la expresión debe diferenciarlos, ya que el cambio de velocidades implica cambios en las características de la transferencia de energía.

Debe aclararse que en el caso de los gases, al contrario de los líquidos, la viscosidad aumenta con la temperatura, por lo que los razonamientos anteriores son válidos pero en los casos contrarios. [9].

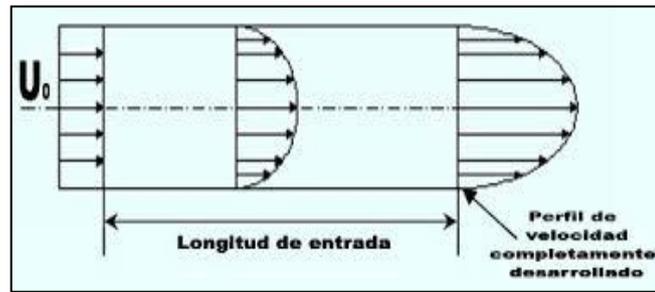


Figura 3. 7. Capa límite térmica
Fuente: [13]

Al considerar un fluido que fluye a una temperatura sobre una placa que se encuentra a una temperatura T_s , las partículas de dicho fluido en la capa adyacente a la superficie alcanzan un equilibrio térmico con la placa debido a el contacto directo u el factor de no deslizamiento la temperatura del fluido en ese punto es igual a la de la placa ($T_\alpha = T_s$).

Entonces las partículas del fluido intercambian energía con las partículas que están en la capa adjunta, y así sucesivamente, desarrollando así un perfil de te temperaturas que va desde T_s hasta T_α como se muestra en la figura (3.7).

El espesor de la capa limite térmica δ en cualquier lugar a lo largo de la superficie se define como la distancia en la cual se desarrolla el perfil de temperaturas. La razón de transferencia de calor por convección en cualquier parte a lo largo de la superficie está relacionada directamente con el gradiente de temperatura en ese lugar. Por lo tanto el perfil de la capa limite térmica impone la transferencia de calor por convección.

3.6.3. Flujo laminar y turbulento

Los flujos de un fluido siguen líneas de corrientes suaves a velocidades bajas, pero se vuelven caóticos conforme incrementa la velocidad, como se muestra en la figura. En el primer caso se dice que el flujo es laminar, caracterizado por líneas suaves de corriente y un movimiento altamente ordenado; mientras que en el segundo caso. [12]

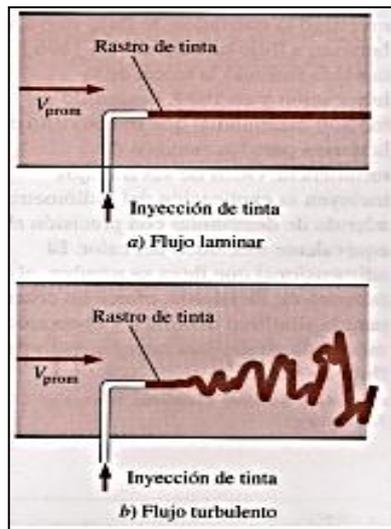


Figura 3. 8. Flujo laminar

Fuente: [8]

El mezclado intenso del fluido en un flujo turbulento, mejora la transferencia de calor y de la cantidad de movimiento entre las partículas de ese fluido, lo cual incrementa la fuerza de fricción sobre la superficie y la velocidad de la transferencia de calor por convección.

3.7. Convección externa forzada

La convección forzada es donde se obliga al fluido a transcurrir por un medio, es decir, mediante una variación de presión que puede ser ocasionada por equipos tales como ventiladores, bombas, entre otros. La convección externa es donde el fluido fluye externamente a la superficie donde ocurre la transferencia de calor. Por lo tanto, la convección externa forzada es aquel mecanismo de transferencia de calor entre una superficie y un fluido con movimiento. Flujos Laminar macroscópico que fluye alrededor de la misma, el cual es forzado a circular a través de esta por algún equipo donde se hace variar la presión del fluido de trabajo. [12]

3.7.1. Convección interna forzada

Existen numerosas correlaciones para la convección forzada en conductos, la gran mayoría de geometría cilíndrica, las complicaciones obedecen a los efectos de rugosidad, influencia de la temperatura en las propiedades, efectos de entrada y sección de flujo variable que limitan la seguridad de los resultados empíricos. Sin embargo, es posible calcular los coeficientes de transferencia de calor sin un conocimiento detallado de las distribuciones de temperatura y velocidad.

El análisis simplificado se basa en asumir los perfiles de temperaturas $T=T(z)$ y de velocidad $V=V(z)$ unidimensionales, si el conducto tiene una sección de flujo constante, la velocidad para estado estacionario puede suponerse constante.

Debe descartarse que estas suposiciones son comúnmente usadas en las estimaciones de performance de intercambiadores de flujo laminar donde la velocidad y la temperatura están muy influenciadas por distintas superficies. [12] [8]

3.7.2. Convección natural sobre superficies

En la transferencia de calor por convección natural sobre una superficie depende de la configuración geométrica de esta así como de su orientación. También depende la variación de temperatura sobre la superficie y de las propiedades termofísicas del fluido que interviene. Aun cuando comprendemos bien el mecanismo de convección natural, las complejidades del movimiento del fluido hace que sea muy difícil obtener relaciones analíticas sencillas para la transferencia de calor mediante la resolución de las ecuaciones que rigen el movimiento y la energía.

3.8. Intercambiador circular

El fluido de la corriente libre se lleva al reposo en el punto de estancamiento delantero, con el acompañamiento de una elevación de la presión. A partir de este punto, la presión disminuye al aumentar x mientras que la coordenada laminar y la capa límite se producen bajo la influencia de un gradiente de presión favorable ($dp/dx < 0$). Sin embargo la presión debe finalmente alcanzar el mínimo, y hacia la parte posterior del cilindro ocurre la producción de otra capa límite en la presencia de un gradiente de presión adverso ($dp/dx > 0$). En la figura (3.9) se debe advertir la disminución entre la velocidad corriente arriba y la velocidad de flujo libre a diferencia de las condiciones para la placa libre en un flujo paralelo, estas velocidades difieren y ahora depende de la distancia desde el punto de estancamiento. De la ecuación de Euler para un fluido no viscoso $u_{\infty}(x)$ debe mostrar un comportamiento opuesto al de $p(x)$. Es decir de $u_{\infty}=0$ en el punto de estancamiento, el fluido se acelera debido al gradiente de presión favorable.

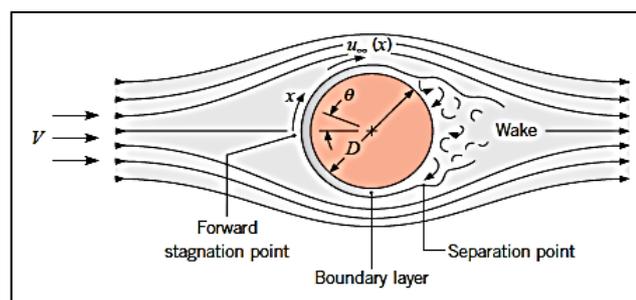


Figura 3. 9. Formación de la capa límite y la separación por el cilindro

Fuente: [2]

4. METODOLOGÍA

4.1. Descripción del proyecto

El módulo de transferencia de calor por convección es una herramienta que permitirá a estudiantes que cursan la asignatura de termo aplicada desarrollar los conocimientos y comprender el proceso de transferencia de calor por convección.

El proyecto desarrollado tiene la finalidad de contribuir de manera tecnológica a los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi y principalmente a la formación académica de estudiantes y como elemento de soporte a docentes que imparten asignaturas a fines, el módulo consta de diferentes elementos eléctricos y mecánicos que conjuntamente permiten apreciar el proceso de transferencia de calor. Ver Anexo I.

4.2. Antecedentes de módulos de transferencia de calor por convección

En el país no existen módulos de transferencia de calor por convección forzada con disipadores de forma cilíndrica para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección.

Un módulo de transferencia de calor por convección forzada es una herramienta que se emplea para conocer cómo se realiza dicho proceso y más aún como una herramienta educativa, en el mercado existe una sola empresa que lo fabrica bajo ciertos parámetros de enseñanza y de fácil comprensión por ser una unidad de uso didáctico, esta empresa es la encargada del diseño y construcción de este y otros tipos de equipos relacionados con el campo termodinámico y afines, la empresa tiene el nombre de “EQUIPOS EDIBON”.

El módulo que esta empresa oferta para transferencia de calor por convección consta de las siguientes características:

Este equipo permite estudiar el rendimiento de distintos intercambiadores, analizando los coeficientes de transmisión de calor de cada uno de los intercambiadores expuestos a diferentes caudales de aire. Un ventilador situado en la parte superior del túnel permite controlar el caudal de aire que atraviesa el túnel. Una caja-interface de control conectable a un computador (PC) contiene circuitos de control para medición de temperaturas, control eléctrico, alimentación eléctrica y control de velocidad del ventilador. La interface proporciona una salida al computador (PC) en el que se muestran los valores y gráficos de todas las variables involucradas en las prácticas. El caudal de aire se mide con un sensor de

caudal colocado en la parte inferior del túnel. El equipo permite realizar un estudio de la transmisión de calor en tres tipos diferentes de intercambiadores: Intercambiador plano. Intercambiador de espigas. Intercambiador de aletas. Este Equipo Controlado desde Computador se suministra con el Sistema de Control desde Computador (SCADA) de EDIBON, e incluye: el propio Equipo + una Caja-Interface de Control + una Tarjeta de Adquisición de Datos + Paquetes de Software de Control, Adquisición de Datos y Manejo de Datos, para el control del proceso y de todos los parámetros que intervienen en el proceso. [14]



Figura 4. 1. Disipadores de temperatura
Fuente: [14]

4.2.1. Partes del módulo de EDIBON.

- Equipo de sobremesa.
- Estructura de aluminio anodizado y paneles en acero pintado.
- Principales elementos metálicos en acero inoxidable.
- Diagrama en el panel frontal con distribución similar a la de los elementos en el equipo real. Túnel de acero inoxidable de sección rectangular de 700 mm. de longitud, pintado y resistente a la corrosión.
- En el túnel pueden ser montados tres tipos diferentes de intercambiadores de calor.
- Visor de metacrilato que permite una buena visualización del intercambiador que está en uso.
- Estabilizadores para garantizar un flujo de aire uniforme.
- 8 Sensores de temperatura, (tipo “J”): 2 Sensores de temperatura miden la temperatura del aire en la entrada y en la salida de la zona de intercambio de calor. Las medidas de temperatura a diferentes distancias de la base de los intercambiadores de espigas y de aletas se realizan mediante otros 5 sensores de temperatura que se introducen por un lateral del túnel. 1 Sensor de temperatura en los intercambiadores. Temperatura

máxima de trabajo: 120°C. Sensor de caudal para medir el caudal de aire que se genera en el túnel.

- 3 Intercambiadores de aluminio: Intercambiador de calor plano (100 x 100 mm). Intercambiador de calor de espigas. 17 espigas, cada una de 10 mm de diámetro y 125 mm de longitud. Intercambiador de calor de aletas. 9 aletas, cada una de 100 x 125 mm.
- Resistencia de calentamiento de 150 W para cada intercambiador, controlada desde computador (PC).
- Ventilador de velocidad variable, controlado desde computador (PC), que genera el flujo de aire a través del túnel, rango: 0-1200 l./min.
- Medida de potencia desde el computador (PC).
- El equipo completo incluye también: Sistema SCADA con Control Avanzado en Tiempo Real. Control Abierto + Multicontrol + Control en Tiempo Real. Software de Control EDIBON específico, basado en Labview.
- Tarjeta de Adquisición de Datos de National Instruments (250 KS/s, kilo muestras por segundo).
- Ejercicios de calibración, incluidos, que enseñan al usuario cómo calibrar un sensor y la importancia de comprobar la precisión de los sensores antes de realizar las mediciones.

Compatibilidad del equipo con un proyector y/o una pizarra electrónica, que permiten explicar y demostrar el funcionamiento del equipo a toda la clase al mismo tiempo. Preparado para realizar investigación aplicada, simulación industrial real, cursos de formación, etc. El usuario puede realizar las prácticas controlando el equipo a distancia, y además es posible realizar el control a distancia por el departamento técnico de EDIBON. El equipo es totalmente seguro, ya que dispone de 4 sistemas de seguridad (mecánico, eléctrico, electrónico y por software). Diseñado y fabricado bajo varias normas de calidad. [14]

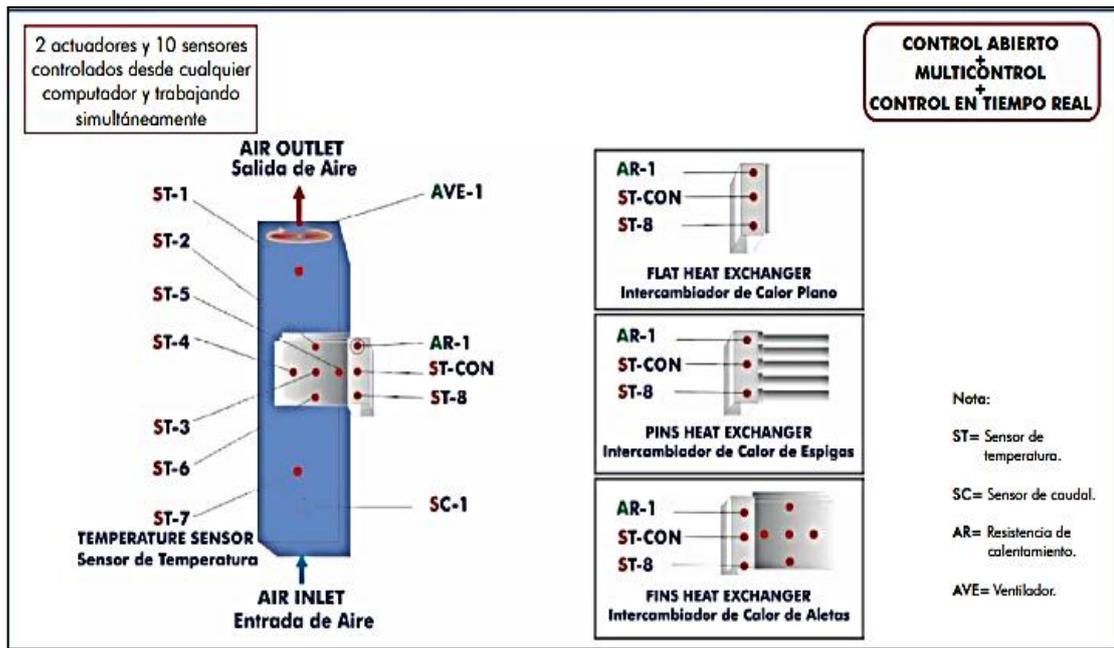


Figura 4. 2. Partes del módulo
Fuente: [14]

4.2.2. Prácticas que se pueden realizar de transferencia de calor por convección

La finalidad de diseñar y construir el módulo de transferencia de calor es comparar el coeficiente de transferencia de calor obtenido de manera experimental con el coeficiente de transferencia de calor obtenido a partir de ecuaciones literarias expresadas por diferentes investigadores, las practicas que pueden realizarse en esta unidad didáctica son diversas y dependen de los parámetros de temperatura y velocidad del fluido proporcionados por el profesor que imparta la asignatura de termo aplicada a través de una guía proporcionada por el mismo siendo los responsables del correcto uso de esta herramienta educativa.

4.3. Coeficiente de convección

$$q = h * A(T_f - T_i) \quad 4.1$$

Donde:

h : Es el coeficiente de convección. $[\frac{W}{m^2 * K}]$

A : Es el área del intercambiador. $[m^2]$

T_i : Es la temperatura inicial. $[^{\circ}C]$

T_f : Es la temperatura final. $[^{\circ}C]$

q : Flujo de calor. $[W]$

Para encontrar el coeficiente de convección despejamos la fórmula 4.1.

$$h = \frac{q}{A*(T_f - T_i)} \quad 4.2$$

Para el cálculo de flujo de calor es necesario tomar en cuenta las perturbaciones que se generan de manera ocasional, estas dependen del medio en el que se ejecute la práctica experimental, por este motivo se estima que existe una pérdida de flujo de calor del 15% ya sea por lo anterior mente mencionado o por perdidas debidas al material empleado en la construcción de los elementos que componen el módulo.

4.4. Ecuación de Zhukauskas

Para realizar una comparación entre ecuaciones empíricas de la literatura y de Zhukauskas es indispensable tomar en cuenta ciertos parámetros tales como números adimensionales, ley de enfriamiento de Newton y los temas expresados en la sección 3 de esta investigación.

$$h = Nu_D * \frac{k}{D} \quad 4.3$$

Donde:

h ; Es el coeficiente de convección. $[\frac{W}{m^2 * K}]$

Nu_D = Número de Nusselt.

k = conductividad térmica del fluido $[W/m.K]$

D = Diámetro del disipador de calor $[m]$

4.4.1. Número de Nusselt

$$Nu_D = C * Re_D^m * Pr^n \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{\frac{1}{4}} \quad 4.4$$

Donde:

Nu_D = Número de Nusselt.

C = Constante para el cilindro circular (tabla 4.1)

Re_D^m = Número de Reynolds

Pr^n = Número de Prandtl (tabla 4.1)

Los parámetros de “C” y “m”, son valores constantes que se encuentran en la tabla (4.1). Para lo obtención de dichos valores es necesario conocer el valor de la ecuación de Reynolds.

4.4.2. Número de Reynolds

$$Re_D = \frac{V * D}{\nu} \quad 4.5$$

Donde:

Re_D = Número de Reynolds

V = Velocidad [m/s]

D = Diámetro del dissipador de calor [m]

ν = Viscosidad del fluido [m^2/s] (tabla 4.2)

Para obtener el valor de la viscosidad del fluido que se recurre a la tabla (4.2).

Tabla 4. 1. Constantes para el cilindro circular en flujo cruzado

Re_D	C	m
1–40	0.75	0.4
40–1000	0.51	0.5
$10^3–2 \times 10^5$	0.26	0.6
$2 \times 10^5–10^6$	0.076	0.7

Fuente: [2]

Tabla 4. 2. Constantes mediante la temperatura.

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709

Fuente: [2]

El valor del coeficiente de transferencia de calor “h” obtenido a través de la práctica experimental será comparado con el valor de “h” determinado a través de ecuaciones literarias expresadas por los diferentes autores. Una vez determinados estos valores se procede al cálculo del porcentaje de error absoluto y este será quien determine la validez de la práctica realiza, este porcentaje de error debe ser el mínimo con relación a los datos obtenidos, además de ser aceptado por el rango porcentual que se expresa en el campo ingenieril.

4.4.3. Error absoluto

$$\varepsilon_\alpha = h_z - h_{exp} \quad 4.6$$

Donde:

ε_α = Error absoluto

h_z = coeficiente de convección (Ecuaciones de autores).

h_{exp} = coeficiente de convección (experimental).

4.4.4. Error relativo

$$ER = \frac{\varepsilon_{\alpha}}{h_z} \quad 4.7$$

El rango de incertidumbre se determina mediante la ecuación 4.8.

$$\text{incertidumbre} = ER * 100\% \quad 4.8$$

4.5. Partes y elementos del módulo

Un módulo didáctico es un material interactivo que contiene todos los materiales necesarios para el aprendizaje de conceptos y destrezas del estudiante, sin el elemento presencial continuo del maestro, profesor o instructor. [15]

El módulo consta de los siguientes elementos:

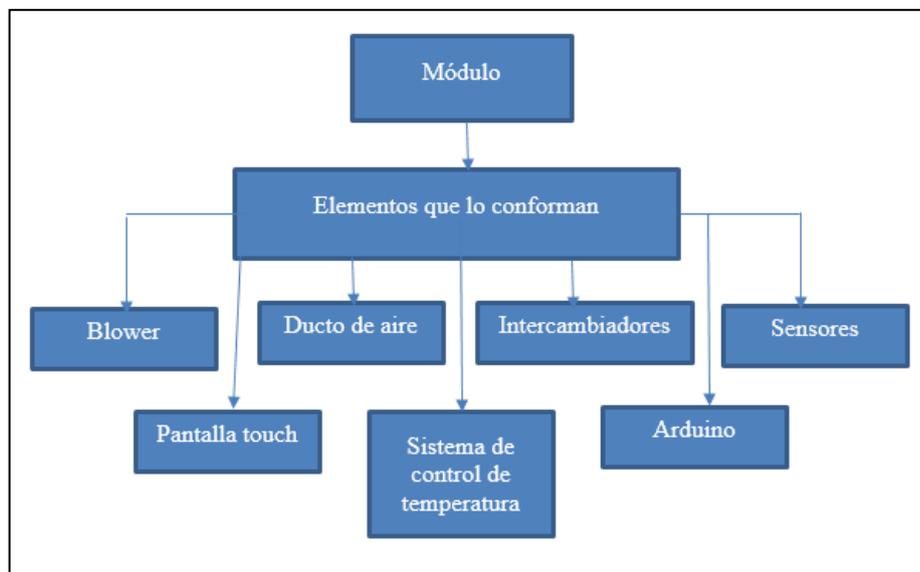


Figura 4. 3. Partes del módulo

4.5.1. Blower para ingreso del fluido

Es un instrumento el cual me va a permitir enviar aire a diferentes velocidades a través del ducto. El orificio de salida de aire del blower es de 6.35 cm (2.5 pulg.) a una velocidad máxima de $(10 \frac{m}{s})$. El blower seleccionado cumple los parámetros mencionados en el planteamiento del ejercicio tomado como ejemplo para la ejecución del proyecto

La descripción detallada de este elemento se encuentra en la tabla 4.3. Y en el anexo II.



Figura 4. 4. Blower

Tabla 4. 3. Tabla de selección de blowers

Diametro de salida de los blowers (cm).	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad minima (m/s)
5,08	7.5	5.5
6,35	10	8
7,62	13	11

4.5.2. Ducto de aire

El ducto ha sido elaborado en acero de transmisión y de forma circular debido a diferentes condiciones propias del diseño y sus especificaciones se encuentran descritas en la tabla 4.4. Y en el Anexo III.

Tabla 4. 4. Datos de disipadores

	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)
Ingreso de aire	460	77
Salida de aire	200	77

4.5.3. Criterios de selección del acero empleado

- Resistencia a la corrosión y durabilidad general.
- Alta resistencia mecánica a alta temperatura,
- Bajo costo en mantenimiento,
- Bajo costo de comercialización.

Tabla 4. 5. Dimensiones del disipador

DUCTO DE ENTRADA DE AIRE	
Longitud	46 cm
Diámetro	7.7 cm

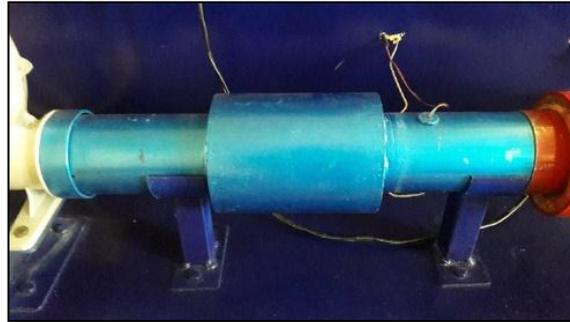


Figura 4. 5. Ducto de entrada de aire

4.5.4. Partes del ducto de aire

- ✓ **Primera parte:** Se encuentra acoplada al blower, en la parte interior del ducto se encuentran ubicados un sensor de temperatura al ingreso del aire y un sensor de velocidad de aire (ventilador). Ver Anexo III.
- ✓ **Segunda parte:** Lugar donde va a ir ubicado el intercambiador de calor, explicación en el punto (4.3.3).
- ✓ **Tercera y última parte:** Ducto de salida de aire, en la parte interior del ducto se encuentran ubicados un sensor de temperatura el cual indicara la temperatura final del proceso. Ver Anexo IV.

Justificación: Los elementos mecánicos y eléctricos que se encuentran en las partes mencionadas son completamente desmontables con el objetivo de dar mantenimiento a estos elementos ya sean de carácter preventivo o correctivo.

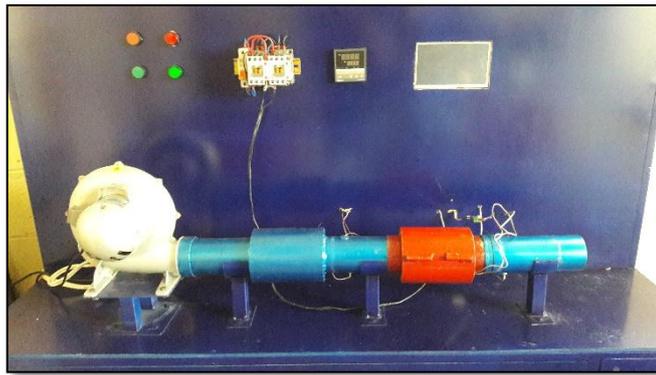


Figura 4. 6. Partes del ducto

Para la comprensión y descripción del este material se agregó especificaciones extraídas del manual de IVAN BOHMAN en el Anexo (X).

4.5.5. Disipador de calor

El disipador es un elemento diseñado para transferir calor de un medio a otro, por tal motivo se toma en cuenta al intercambiador como un elemento que emite calor desde una superficie sólida hacia el medio a través de un fluido en movimiento como se puede apreciar en el Anexo V.

Dentro de cada intercambiador se encuentra una resistencia tipo cartucho con una potencia de 60 W y con rango de temperatura de operación que va desde los 0° C hasta una máximo de 150°C, por lo que para el funcionamiento del proyecto se tomara ciertas restricciones. Como muestra el Anexo VI.

El rango de temperatura hacer aplicada y las dimensiones de los diferentes intercambiadores se expresan en la tabla (4.6).

Tabla 4. 6. Datos y temperaturas de los disipadores

	D. MENOR (2)	D. MAYOR (1)
Longitud (mm)	72.8	71.5
Diametro (mm)	12.6	44.6
Temp. Mínima °C	50	50
Temp. Máxima °C	110	70
Potencia (W)	60	60

4.5.6. Aislante del disipador

EL método empleado para aislar el ducto donde se encuentra el disipador de calor fue la implementación de lana de vidrio con un espesor de 3 cm, este elemento fue seleccionado por sus propiedades térmicas siendo el adecuado para el caso de estudio, la función que cumple el elemento es mantener al usuario fuera de contacto con la temperatura establecida para la práctica experimental, es decir fuera de cualquier tipo de quemadura.

La lana de vidrio es un material aislante térmico y acústico utilizado en la construcción y en la industria. Es ideal para muchas aplicaciones industriales abarcando temperaturas de bajas a medianas (hasta 400°C). [16]

4.5.7. Sensores de temperatura

Los sensores son dispositivos que transforman señales físicas en señales analógicas, en el caso de las termocoplas estas ofrecen señales en el orden de los milivoltios o miliamperios proporcional a la temperatura seteada. La termocupla tipo K se emplean a temperaturas con rangos inferiores a los 1300 °C. Como lo indican los grafios a continuación.

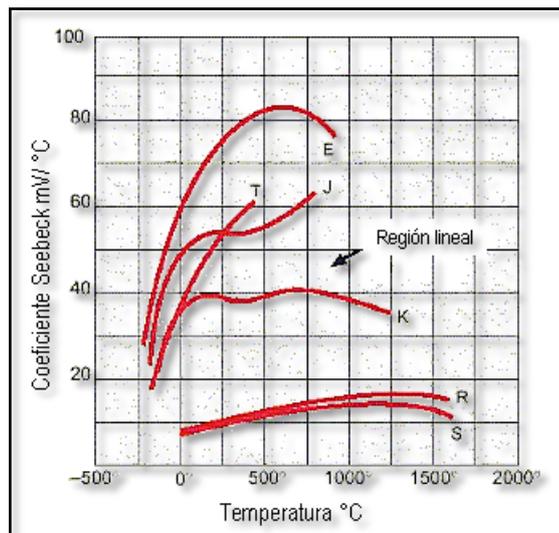


Figura 4. 7. Curvas de sensores
Fuente: [17]

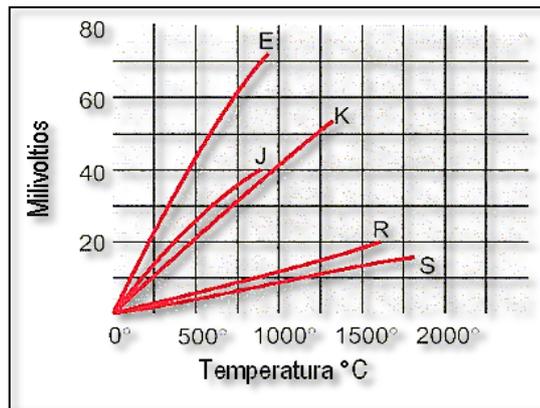


Figura 4. 8. Curvas de sensores, relación milivoltios-temperatura
Fuente: [17]

Tabla 4. 7. Tipos de Termocuplas

TERMOCUPLAS				
CODIGO ANSI	TERMINAL +	TERMINAL -	RANGO TEMP.	SALIDA mV
J	HIERRO	CONSTATAN	0 A 750 °C	0 A 42.283
K	Ni-Cr	Ni-Al	-200 A 1250 °C	-5.973 A 50.633
V*	Cu	Cu-Ni	0 A 80 °C	
T	Cu	Cu-Ni	-200 A 350 °C	-5.602 A 17.816
E	Ni-Cr	Cu-Ni	-200 A 900 °C	-8.824 A 68.783
N*	Ni-Cr-Si	Ni-Si-Mg	-270 A 1300 °C	-4.345 A 47.502
R	Pt-13%Rh	Pt	0 A 1450 °C	0 A 16.741
S	Pt-10%Rh	Pt	0 A 1450 °C	0 A 14.973
U*	Cu	Cu-Ni	0 A 50 °C	
B	Pt-30%Rh	Pt-6%Rh	0 A 1700 °C	0 A 12.426
G*	W	W-26%Re	0 A 2320 °C	0 A 38.564
C*	W-5%Re	W-26%Re	0 A 2320 °C	0 A 37.066
D*	W-3%Re	W-25%Re	0 A 2320 °C	0 A 39.506

* SIMBOLO NO OFICIAL O ESTANDARIZADO

Fuente: [17]

4.5.8. Pantalla Touch para resultados

Una pantalla táctil o touch es una herramienta tecnológica que nos permite representar de forma gráfica y legible los datos obtenidos a través de un interfaz de comunicación como lo es el Arduino, por lo tanto, es aquella que permite la interacción a través de un toque por parte del usuario. [18]

La pantalla touch en el proyecto será aquella que nos presente los datos y parámetros obtenidos del proyecto tales como longitudes, diámetros, potencias, las temperaturas de entrada, intercambiador y salida y el coeficiente de transferencia de calor “h” como resultado de la prueba desarrollada por el usuario, estos parámetros serán presentados en tiempo real a través de curvas comparativas. La programación de la pantalla se presenta en el ANEXO (VII).



Figura 4. 9. Pantalla

4.5.9. Sistema de control de temperatura

Existen diferentes sistemas de control de temperatura y se distinguen por su precisión y complejidad, para el caso de estudio se emplea un sistema de control on/off ya que el propósito de este sistema es estabilizar la temperatura del disipador en un valor determinado y que no supere el valor establecido para cada intercambiador. El principio de funcionamiento de un sistema de control on/off es similar al de un interruptor, este es un sistema de lazo cerrado ya que recibe señales de retroalimentación a través del sensor de temperatura colocado en el disipador esta señal será aquella que permita el paso o no de la energía eléctrica hacia la resistencia colocada en el interior del disipador.

En la figura 4.10 se muestra el diagrama de bloques del control on/off de temperatura y el Anexo VIII indica el diagrama eléctrico.

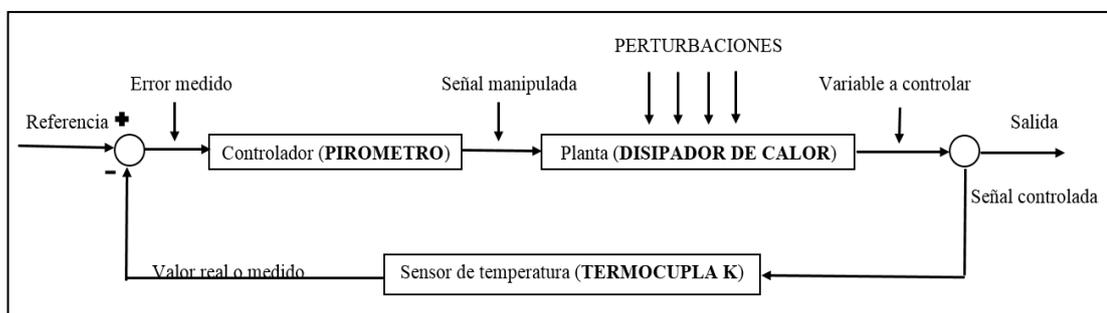


Figura 4. 10. Diagrama de bloques del sistema de control



Figura 4. 11. Pruebas del sistema de control

4.5.10. Arduino MEGA ADK

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos. [19]

La tarjeta de arduino utilizada para la recopilación de datos a través de los distintos sensores es del tipo MEGA ADK ya que cuenta con un sinnúmero de entradas de señales que son las requeridas para el desarrollo de la programación, además de ser viable la comunicación entre los sensores y la tarjeta de arduino debido a que los elementos sensores cuentan con su respectivo módulo de comunicación directo a arduino. Por otra parte el sensor del caudal (ventilador) fue adaptado y adecuado para lograr la comunicación con el arduino, la relación que existe entre el valor que muestra este elemento fue comprobado con la ayuda de un anemómetro.



Figura 4. 12. Arduino MEGA ADK
Fuente: [20]

La programación del Arduino aplicada se indica en ANEXO (IV).

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La evaluación final de la investigación es de gran importancia ya que permite establecer en qué medida esta ha contribuido con el desarrollo educativo y técnico de la Universidad Técnica de Cotopaxi específicamente en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica. El análisis de esta permite además ser una base para el desarrollo de futuros trabajos arraigados con el tema de procesos térmicos. En este punto se analizará los resultados obtenidos a través de la investigación, así como también la valoración económica e impacto que tendrá la instalación del módulo en el laboratorio de Termodinámica.

La transferencia de calor es un proceso que se realiza cuando un fluido se encuentra en movimiento y este transfiere el calor entre dos zonas que se encuentran a diferentes temperaturas, para el análisis de este proceso se toma en cuenta varios criterios de diferentes investigadores siendo uno de los más esenciales el que se expresará a continuación donde se dice que en el transcurso de este proceso se estima que alrededor de un 15% de la disipación del potencia se pierde a través del efecto acumulado de la radiación superficial y de la conducción a través de los extremos.

5.1. Resultados obtenidos a través de la ecuación de Zhukauskas.

$$T_s = 45^\circ C$$

$$T_\infty = 18^\circ C$$

$$L = 0.0728m$$

$$D = 0.0126m$$

Al trabajar con la relación de Zhukauskas, ecuación 4.3

$$Nu_D = C * Re_D^m * Pr^n \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Todas las propiedades, excepto Pr_s se evalúan en T_∞ . En consecuencia,

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} = \frac{7m/s \times 0.0126m}{15.89 \times 10^{-6} m^2/s} = 5550.66$$

Por tanto, de la tabla 4.1, $C=0.26$ y $m=0.6$. También, como $Pr < 10$, $n=0.36$. Se sigue que;

$$Nu_D = 0.26(5550.66)^{0.6} (0.707)^{0.36} \left(\frac{0.707}{0.707} \right)^{\frac{1}{4}} = 40.46$$

$$h = Nu_D \frac{k}{D} = 40.46 \frac{23.3 \times 10^{-3} W / m \cdot K}{0.0126 m} = 74.81 W / m^2 \cdot K$$

5.2. Resultados obtenidos a través de ecuaciones matemáticas.

Análisis: el coeficiente de transferencia de calor por convección se determina a partir de los datos proporcionados, mediante el uso de la ley de enfriamiento de Newton. Es decir;

$$\begin{aligned} T_s &= 45^\circ C & Q &= h_{conv} (A \times (T_s - T_\infty)) \\ T_\infty &= 18^\circ C & Q &= 74.81 \times (\pi \times (0.0728) \times (0.0126)) \times (45 - 18) \\ L &= 0.0728 m & Q &= 5.81 \\ D &= 0.0126 m \end{aligned}$$

Con $Q = 5.81$ y $A = \pi * D * L$, se sigue que

$$h_{conv} = \frac{Q}{A(T_s - T_\infty)}$$

$$h_{conv} = \frac{5.81}{\pi \times (0.0728 m) \times (0.0126 m) \times (45^\circ C - 18^\circ C)}$$

$$h_{conv} = \frac{5.81 W}{0.077 m^2 K}$$

$$h_{conv} = 75.45 W / m^2 K$$

5.3. Resultados experimentales obtenidos.

$$\begin{aligned} T_s &= 33^\circ C \\ T_\infty &= 22^\circ C \\ P &= 60 W \\ L &= 0.0728 m \\ D &= 0.0126 m \end{aligned}$$

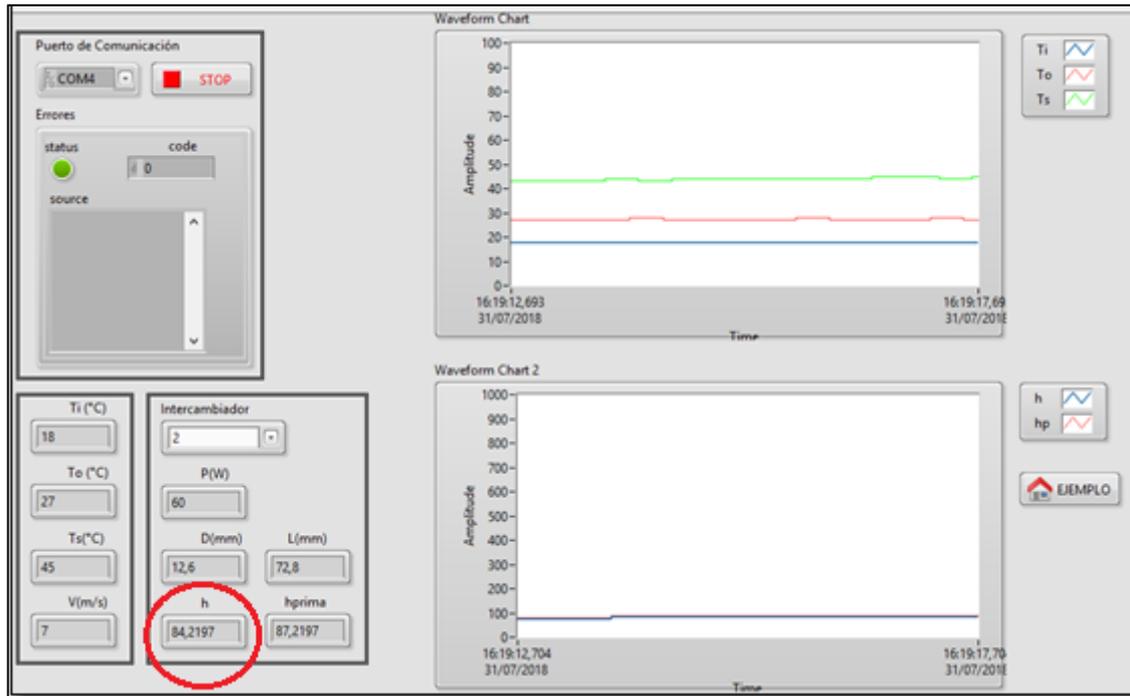


Figura 5. 1. Coeficiente de convección (ecuación de Zhukauskas).

La comparación entre el cálculo literario y el resultado obtenido de manera experimental se representa de la siguiente manera a través del cálculo del error en porcentaje.

Error absoluto:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\alpha} &= h_z - h_{\text{exp}} \\ \varepsilon_{\alpha} &= 84.21 - 74.81 \\ \varepsilon_{\alpha} &= 9.4 \end{aligned}$$

Error relativo:

$$\begin{aligned} ER &= \frac{\varepsilon_{\alpha}}{h_z} \\ ER &= \frac{9.4}{84.21} \\ ER &= 0.11 \end{aligned}$$

Incertidumbre:

$$\text{Incertidumbre} = ER * 100\%$$

$$\text{Incertidumbre} = 0.11 * 100\%$$

$$\text{Incertidumbre} = 11.16\%$$

La obtención del coeficiente de transferencia de calor por convección experimental se determinó a partir de la medición de los diferentes parámetros, este además se comparó con valores experimentales obtenidos por diferentes investigadores de renombre, los mismos que muestran un error inferior al 11.2% por lo que permite validar el módulo desarrollado a través de esta investigación.

5.4. Resultados experimentales obtenidos a través de la práctica.

$$T_s = 45^{\circ}C$$

$$T_{\infty} = 18^{\circ}C$$

$$L = 0.0728m$$

$$D = 0.0126m$$

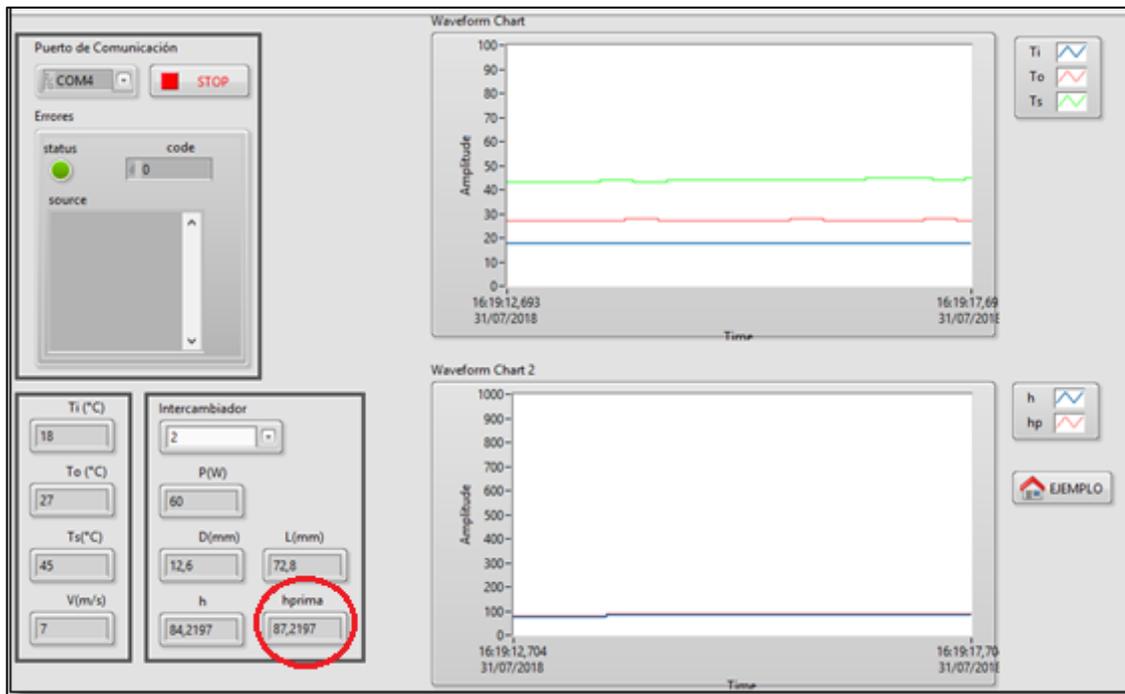


Figura 5. 2. Coeficiente de convección.

La comparación entre el cálculo literario y el resultado obtenido de manera experimental se representa de la siguiente manera a través del cálculo del error en porcentaje.

Error absoluto:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\alpha} &= h_z - h_{\text{exp}} \\ \varepsilon_{\alpha} &= 87.21 - 75.45 \\ \varepsilon_{\alpha} &= 11.76\end{aligned}$$

Error relativo:

$$\begin{aligned}ER &= \frac{\varepsilon_{\alpha}}{h_z} \\ ER &= \frac{11.76}{87.21} \\ ER &= 0.13\end{aligned}$$

Incertidumbre:

$$\text{Incertidumbre} = ER * 100\%$$

$$\text{Incertidumbre} = 0.13 * 100\%$$

$$\text{Incertidumbre} = 13.48\%$$

La obtención del coeficiente de transferencia de calor por convección experimental se determinó a partir de la medición de los diferentes parámetros, este además se comparó con valores experimentales obtenidos por diferentes investigadores de renombre, los mismos que muestran un error inferior al 13.5% por lo que permite validar el módulo desarrollado a través de esta investigación.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1.Presupuesto

Tabla 6. 1. Detalle de costos de elementos mecánicos

ELEMENTOS MECANICOS				
Cantidad	Unidad	Elemento	Costo p/u (\$)	Costo total (\$)
1	M	Estructura del módulo	350,00	350,00
1	M	Madera MDF	200,00	200,00
6	M	Fibra de vidrio	1,00	6,00
1	Cm	Ducto	100,00	100,00
3	M	Canaletas	2,00	6,00
1	U	Taípe	1,00	1,00
1	U	Cinta doble fast	3,00	3,00
1	U	Caja de distribución	6,00	6,00
1	U	Silicón	3,00	3,00
20	U	Tornillos	0,10	2,00
2	U	Espray	2,00	4,00
			TOTAL	\$686,00

Tabla 6. 2. Detalle de costos de elementos eléctricos y electrónicos

ELEMENTOS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS				
Cantidad	Unidad	Elemento	Costo p/u (\$)	Costo total (\$)
3	U	Resistencias de cartucho	12	36,00
1	U	Pirómetro	40	40,00
2	U	Contactores	16	32,00
5	M	Cable eléctricos 12 AWG	1,5	7,50
1	U	Interruptor termomagnético	6,50	6,50
2	U	Enchufes	1	2,00
6	U	Termocuplas tipo K	12,50	75,00
1	U	Luz de paro	2,50	2,50
1	U	Luz de marcha	2,50	2,50
2	U	Pulsadores	2,50	5,00
1	U	Pantalla touch	150,00	150,00
1	U	Arduino	80,00	80,00
5	U	Borneras	0,20	1,00
2	U	Sokeds de conexión	1,00	2,00
4	M	Cable de alta temperatura	2,00	8,00
3	U	Aislador de madera	5,00	15,00
50	U	Cable de Arduino	0,10	5,00
1	U	Ventilador de CPU	5,00	5,00
1	U	Blower	45,00	45,00
			TOTAL	\$ 520,00

Tabla 6. 3. Costos directos e indirectos

COSTOS DIRECTOS	
Componente del gasto	Costo total (\$)
Elementos mecánicos	\$686,00
Elementos eléctricos y electrónicos	\$ 520,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS	\$ 1206,00
COSTOS INDIRECTOS	
Transporte	20,00
Mano de obra	384,00
Tutoría de programación	200,00
Herramientas (mécnicas)	20,00
Alimentación	20,00
Servicios Basicos	20,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS	\$664,00
TOTAL COSTOS	\$1870,00

6.1.1. Análisis costo-beneficio.

Los estudiantes que realizasen prácticas de esta índole y que no contasen con un laboratorio y un equipo de análisis de transferencia de calor adecuado deberían acudir a diferentes instituciones que constan con estos módulos cancelando un valor mínimo de \$ 50 dólares por práctica realizada de manera mensual y el monto de \$600 dólares al año.

En el mundo existe una sola empresa encargada de elaborar y distribuir este equipo con un costo alrededor a los \$45.000 dólares, valor que para una institución educativa es muy elevado, el módulo que se elaboró para beneficio de la Universidad y en específico para la carrera de ingeniería electromecánica tiene un costo de \$1870,00.

6.2. Análisis de impactos

6.2.1. Impacto práctico:

La implementación del módulo de transferencia de calor permitirá fortalecer los conocimientos teóricos impartidos durante el proceso académico, ya que brinda la posibilidad de realizar diversas prácticas experimentales que difícilmente podrían ser comprendidas por los estudiantes que cursan por la asignatura pertinente, demostrando así que es un herramienta necesaria para la completa comprensión de la asignatura y de esta manera contribuir con el

aporte teórico-práctico en la formación académica de los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica.

6.2.2. Impacto tecnológico:

La implementación del módulo de transferencia de calor además de ser una herramienta que permite conocer el mecanismo y proceso que se lleva a cabo para lograr la transferencia por convección, es un elemento que contribuirá con el desarrollo académico dentro de un área específica del conocimiento y fortalecerá a la carrera de Ingeniería Electromecánica de manera específica a la formación del laboratorio de Termodinámica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

6.2.3. Impacto epistemológico:

La implementación del módulo de transferencia de calor demanda conocimientos que deben ser adquiridos a lo largo de la formación académica tales como termodinámica, termo aplicada, fluidos e Instalaciones Eléctricas, así como también de la interpretación de los datos obtenidos de forma experimental. El módulo además ofrece la oportunidad de fortalecer dichos conocimientos vistos de manera práctica y que serán tomados en cuenta en el desempeño laboral.

6.2.4. Impacto económico:

La implementación del módulo beneficia a estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica y a especialidades que cuenten con asignaturas afines en su plan de estudios, reduciendo así tiempo y dinero al movilizarse hacia laboratorios de otras entidades educativas que cuenten con este equipo, además de su elevado costo de alquiler.

Con un TIR del 120% y un VAN de \$6.389,00. La inversión se va a recuperar desde el primer año de su funcionamiento.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

La tasa interna de retorno (TIR) nos da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. [21]

El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto. [22]

La tabla de (TIR) y (VAN) se muestra en el ANEXO (XIV)

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- La fundamentación teórica realizada en esta investigación se basa a diferentes criterios de autores reconocidos por sus grandes aportes al campo termodinámico y a los diferentes procesos que se aplican en función a la necesidad requerida, es así que se tomó como referencia para el diseño y construcción del módulo de transferencia de calor la publicación del catálogo realizada por el equipo de Edibon, donde se incluyen diferentes elementos que conforman el sistemas de control del proceso de transferencia de calor con la finalidad de determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección.
- El diseño desarrollado para el módulo de transferencia de calor por convección fue seleccionado bajo ciertos parámetros de consideración tales como, los rangos de temperatura y la tolerancia de diferentes tipos de sensores (termocuplas), las velocidades máximas del fluido que se pueden lograr con diferentes geometrías del elemento encargado de suministrar el fluido (Blower) y demás elementos que intervienen en el proceso, cabe mencionar que estos parámetros han sido tomados en cuenta en base a diferentes ejercicios propuestos en la literatura.
- La construcción del módulo para el cálculo del coeficiente de calor por convección está constituido por un Blower que es el encargado de provocar el gradiente térmico, un sistema de control de temperatura encargado de registrar y controlar la temperatura de la superficie, diferentes resistencias tipo cartucho para provocar el calentamiento del fluido y lograr el proceso de transferencia de calor, y demás elementos que se encargaran de sensar dichas magnitudes físicas.
- La obtención del coeficiente de transferencia de calor por convección experimental se determinó a partir de la medición de los diferentes parámetros tales como la velocidad del fluido (aire), la temperatura de superficie del disipador y temperatura del fluido, este además se comparó con valores experimentales obtenidos por diferentes investigadores de renombre, los mismos que muestran un error inferior al 2.5% por lo que permite validar el módulo desarrollado a través de esta investigación.

7.2. Recomendaciones

- Dar continuidad a esta investigación en los campos aplicados para la elaboración de esta unidad con la finalidad de repotenciar la misma ya que es una herramienta que fortalecerá el conocimiento de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica.
- No sobrepasar los rangos de temperatura mencionados en la literatura de esta investigación por seguridad de los elementos que conforman el módulo y garantizar la vida útil de los mismos, aunque esta unidad está equipada con un sistema de control de temperatura el mismo que por ningún motivo deberá ser desactivado cuando el sistema se encuentre en funcionamiento.
- Dar mantenimiento al módulo para la cual se deberá realizar un plan mantenimiento teniendo en cuenta el manual expresado por los autores, dicho plan deberá ser elaborado y administrado por la autoridad pertinente, así como también debe ser responsabilidad del coordinador del laboratorio y del estudiante responsable de la ejecución de las diferentes prácticas.

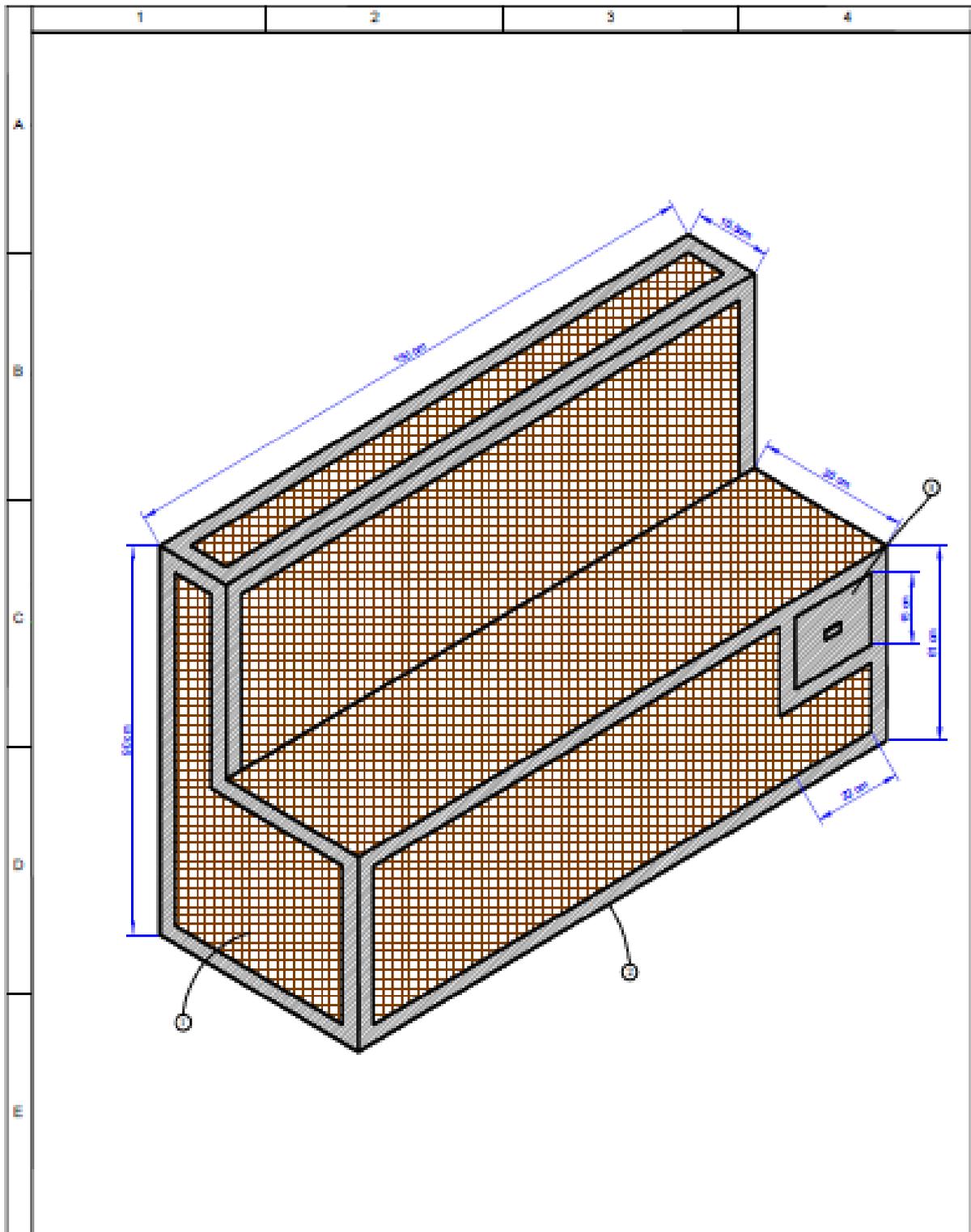
8. REFERENCIA

- [1] Unesco, «Senescyt,» [En línea]. Available: <https://www.puce.edu.ec/intranet/documentos/PISP/PISP-Areas-Subareas-Conocimiento->.
- [2] F. Incropera y D. De Witt,, «Fundamentos de la transferencia de calor,» 1999. [En línea].
- [3] J. Cantillo, «Transferencia de calor,» [En línea]. Available: http://www.academia.edu/9308847/Transferencia_de_Calor.
- [4] Y. Cengel, «Transferencia de calor y masa,» Tercera edición, [En línea]. Available: https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf.
- [5] Ecuared, «convección,» [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Conveccion%20C3%B3n>.
- [6] Claudio, «mecanismos térmicos,» [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos27/transferencia-calor/transferencia-calor.shtml#tipos>.
- [7] G. Carrasco, «Enfriamiento de un cuerpo,» [En línea]. Available: http://www.cienciaredcreativa.org/informes/enfriam_carrasco.pdf.
- [8] P. Holman, «Transferencia de calor,» 1999. [En línea].
- [9] F. Kreith, R. Manglik, y M. Bohn, , «Principios de transferencia de calor,» [En línea]. Available: https://issuu.com/cengagelatam/docs/principios_de_transferencia_de_calor_kreith/3.
- [10] E. Ayala. [En línea]. Available: <https://dredgarayalaherrera.files.wordpress.com/2013/08/conveccion1.pdf..>
- [11] F. Lamas, «Estudio Cfd de la Transferencia de Calor Asociada a Fusión,» [En línea].
- [12] «Transferencia de calor,» [En línea]. Available: <http://www.nebrija.es/areas/material/Superior/TermicyFluidos/TEMA41.pdf..>
- [13] J. Corveran, «Convección Forzada,» [En línea]. Available: <http://www.upv.es/upl/U0296622.pdf..>
- [14] «Fluidos en tuberías,» [En línea]. Available: https://www.google.com.ec/search?q=capa+limite+termica+en+superficies+cerradas&rlz=1C1AVNA_enEC616EC616&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0a

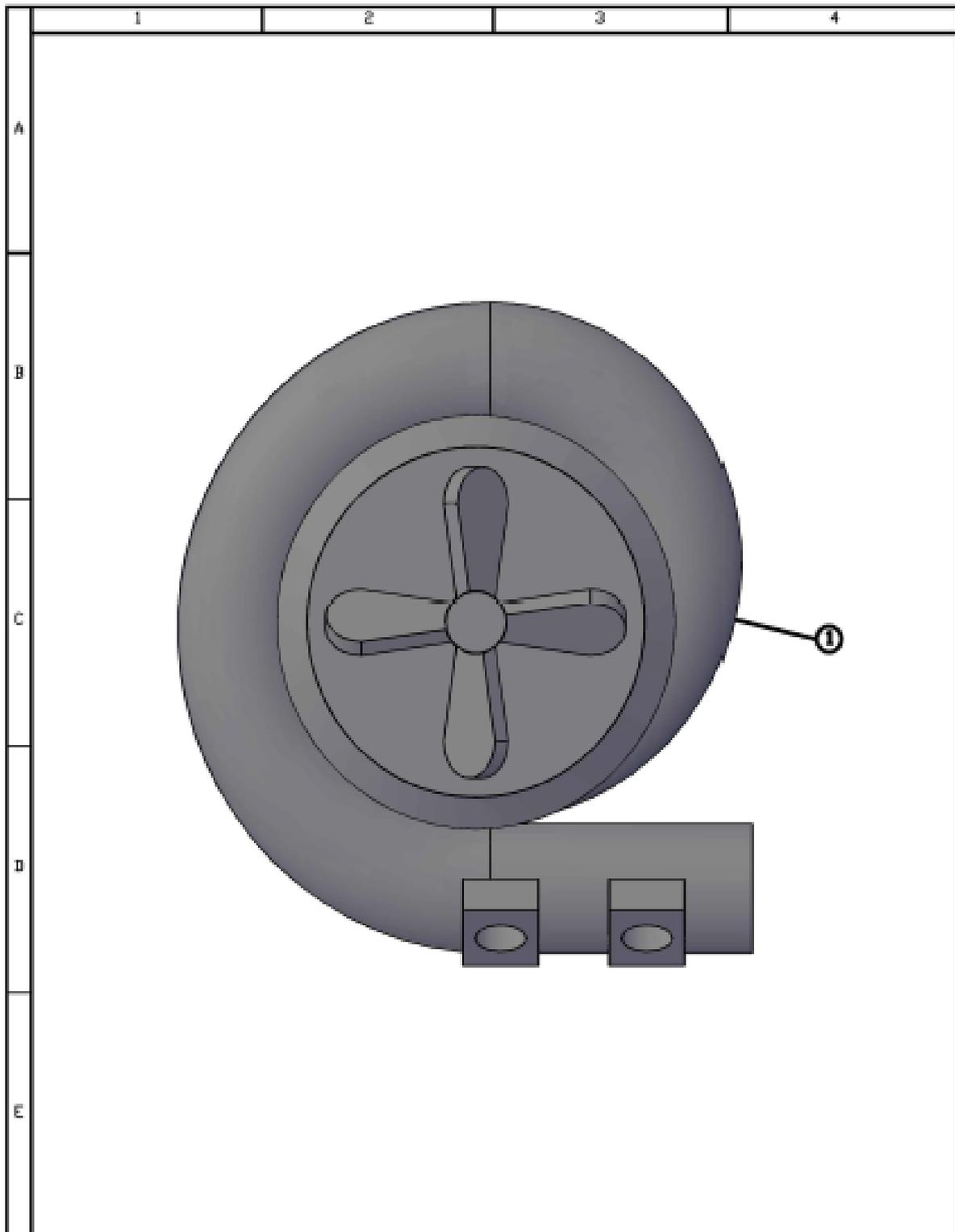
hUKEwjhhILv9fXYAhWi1IMKHWx8Dz8Q_AUICigB&biw=1366&bih=637#imgrc=pnTJ8_7wBC6UWM:..

- [15] E. EDIBOM, «Equipos de transferencia de calor por convección,» [En línea].
- [16] W. Vélez, «Módulo Didáctico,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/ydanw/que-es-un-modulo-educativo>.
- [17] ARQUIGRAFO. [En línea]. Available: <https://arquigrafico.com/lana-de-vidrio-como-aislante-termico-y-acustico/>.
- [18] J. Rodríguez, «Medición de temperatura,» [En línea].
- [19] «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Pantalla_t%C3%A1ctil.
- [20] «Tipos de Arduinos,» [En línea]. Available: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>.
- [21] [En línea]. Available: <http://arduino.cl/arduino-mega-adk/>.
- [22] «economipedia,» [En línea]. Available: <http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>.
- [23] «conexionesan,» [En línea]. Available: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>.
- [24] N. Fime, «Conducción,» [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos15/transf-calor/transf-calor.shtml>.
- [25] T. Torres, «overall head transfer coefficients, pressure drop and power demand in plate head exchangers during the ammonia liquor cooling process,» Septiembre 2016. [En línea].
- [26] «ejercicios,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/27089627/Ejercicio-Resuelto-Conveccion>.

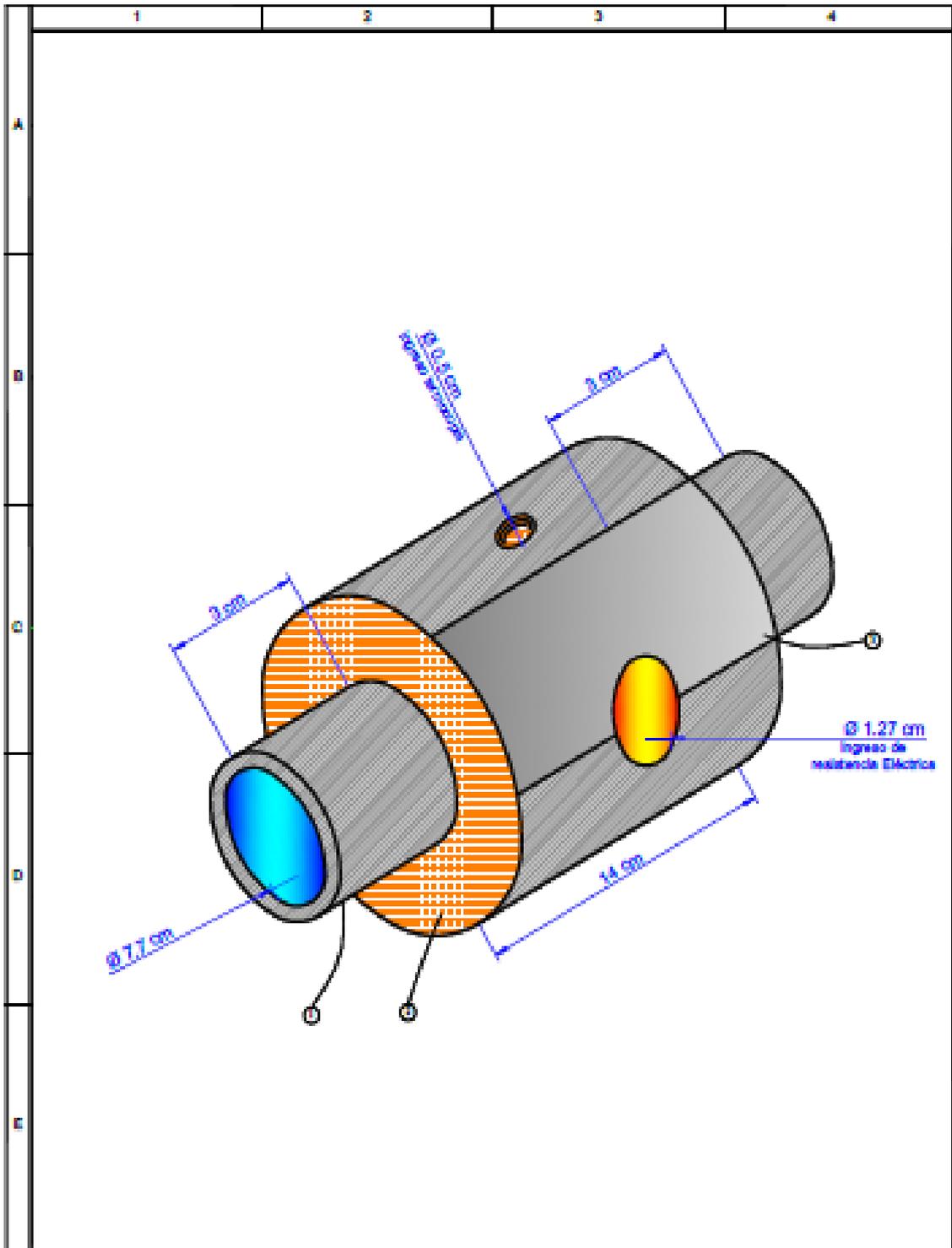
9. ANEXOS.



REF.	MATERIALES	TIPO	ESPESOR	Tolerancias		(Peso)	Módulo didáctico de transferencia de calor por convección forzada
9							
8							
7							
6					Fecha	Nombre	TABLERO DE TRABAJO
5				Dib.	27/07/18	Ortiz de I. Molina D.	
4				Rev.	27/07/18	Ortiz de I. Molina D.	
							Escala 1:5

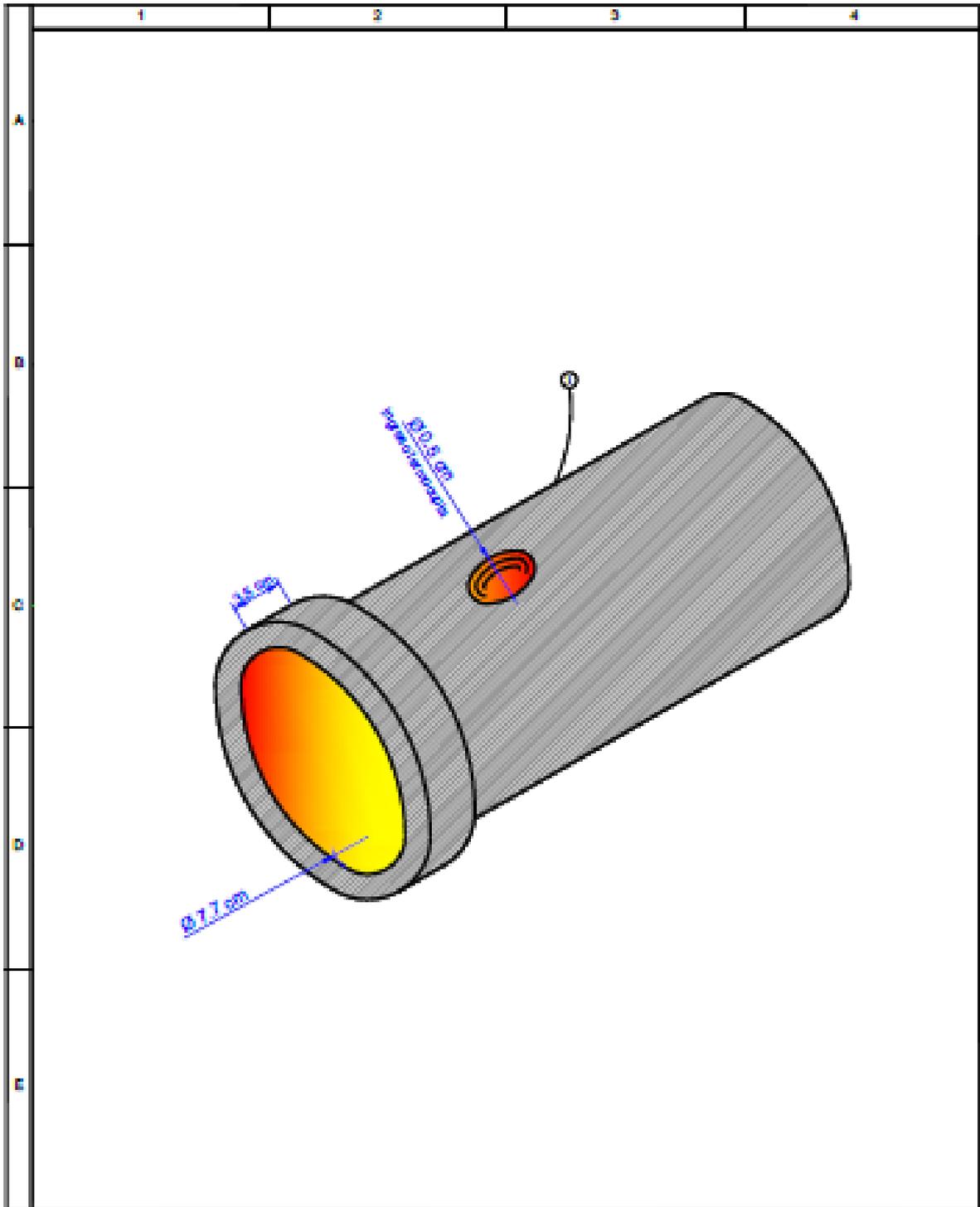


REF.	MATERIALES	TIPO	ESPESOR	Tolerancias		(Pues)	
9						Módulo didáctico de transferencia de calor por convección forzada	
8							
7							
6					Fecha	Nombre	
5				Dib.	27/07/18	Guerra	1
						BLOWER	Escala 1-3

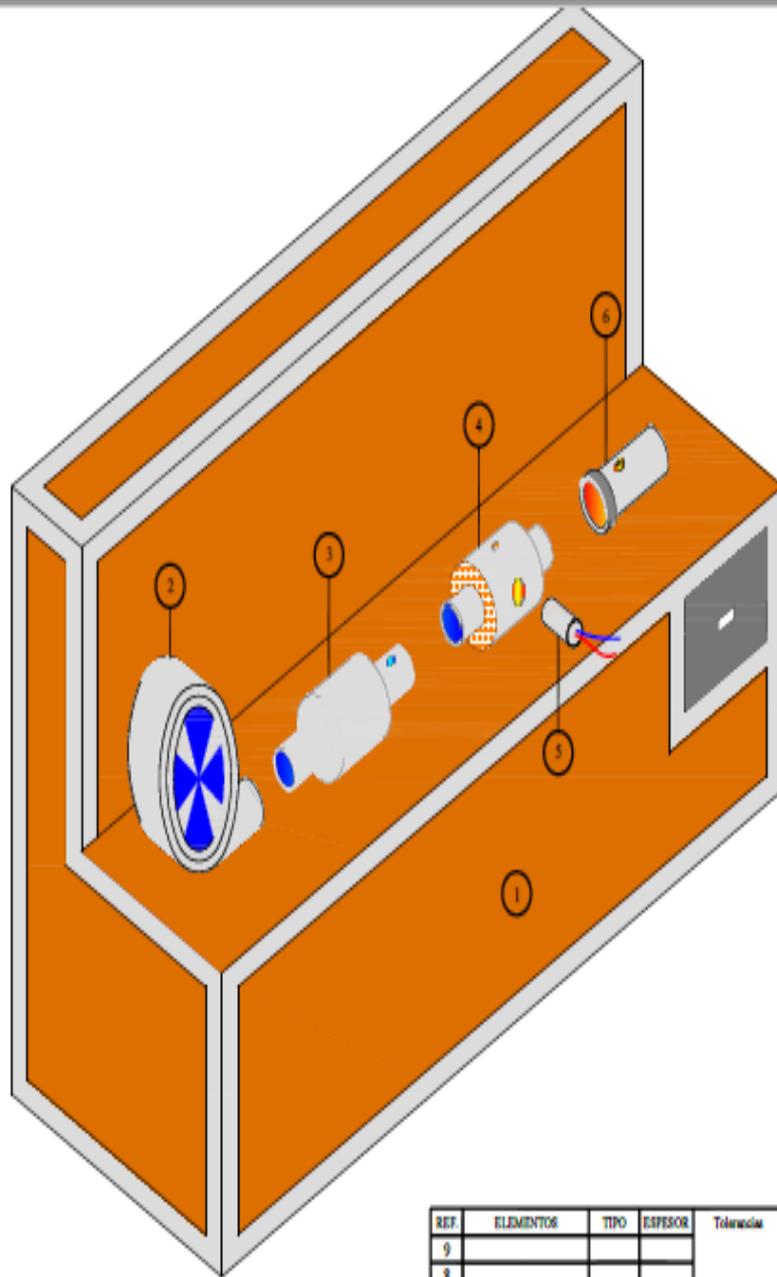


REF.	MATERIALES	TIPO	ESPESOR			(Paso)		
9							Módulo didáctico de transferencia de calor por convección forzada	
8								
7								
6					Fecha	Nombres	DISIPADOR DE CALOR	
5					Edi. 27/07/18	Guerra 1		
4					Rev. 27/07/18	Guerra 2 Guerra 3		

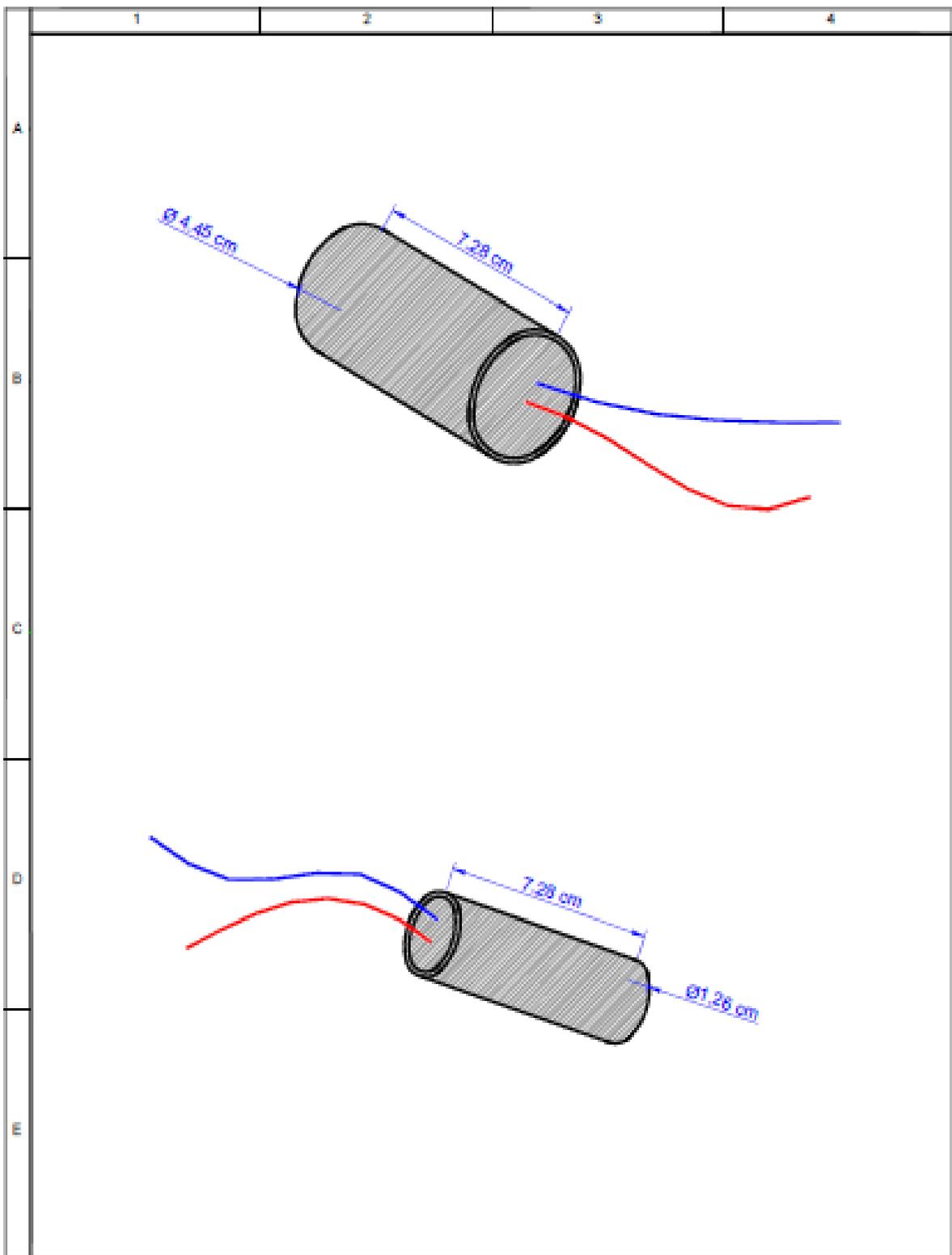
Escala
1:3



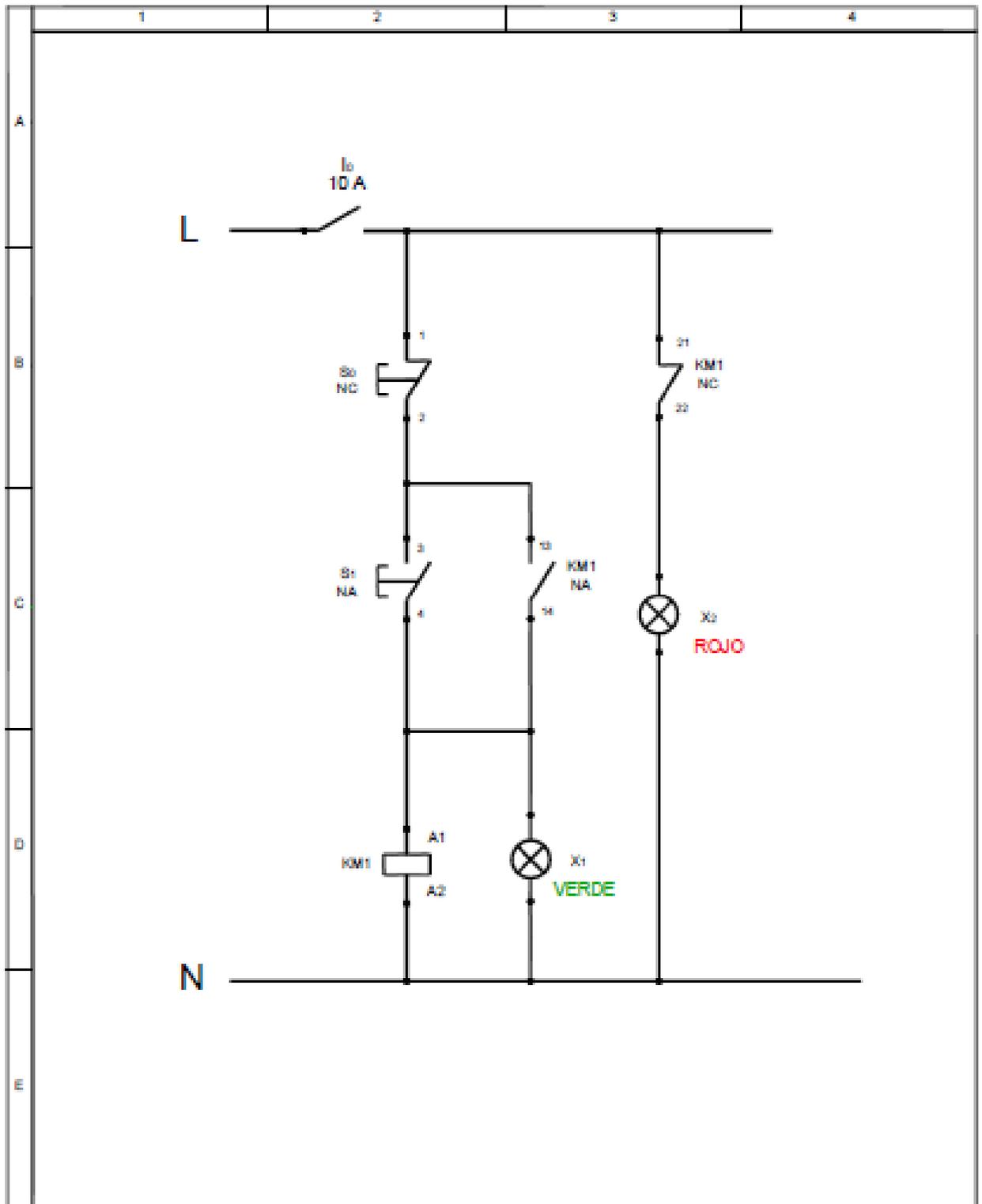
REF.	MATERIALES	TIPO	ESPESOR	Tolerancias		(Pais)	Módulo didáctico de transferencia de calor por convección forzada
9							
8							
7							
6					Fecha	Noticias	DUCTO DE SALIDA DEL FLUIDO
5				Edi.	27/07/18	Compartir	
4				Rev.	27/07/18	Imprimir	
						Ver	
							Escala 1:3



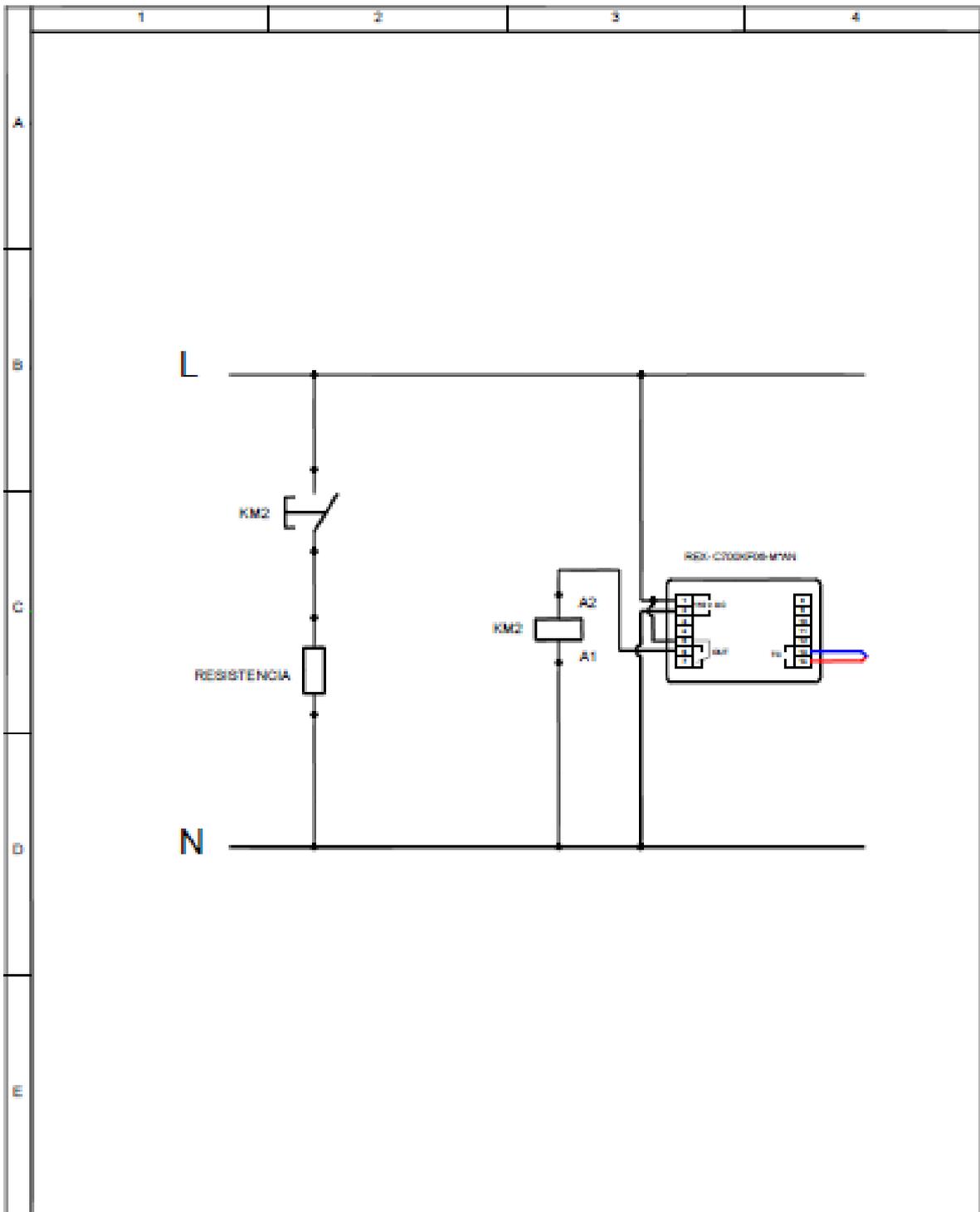
REF.	ELEMENTOS	TIPO	ESPESOR	Tolerancias	(Pais)	Módulo didáctico de transferencia de calor por convección forzada	
9							
8							
7							
6	Dato de salida de Aire				Fecha	Nombre	
5	Embalaje Eléctrico			Dis.	27/07/18	Guayubá I. Villar D.	DESCGLOSE DEL MÓDULO
4	Intensificador de Calor			Rev.	27/07/18	Guayubá I. Villar D.	
3	Dato de entrada de Aire			Apra.	27/07/18	Ing. Estefanía T.	ANEXO I
2	Base						
1	Tablero de Trabajo				UTC		Escala 1:5



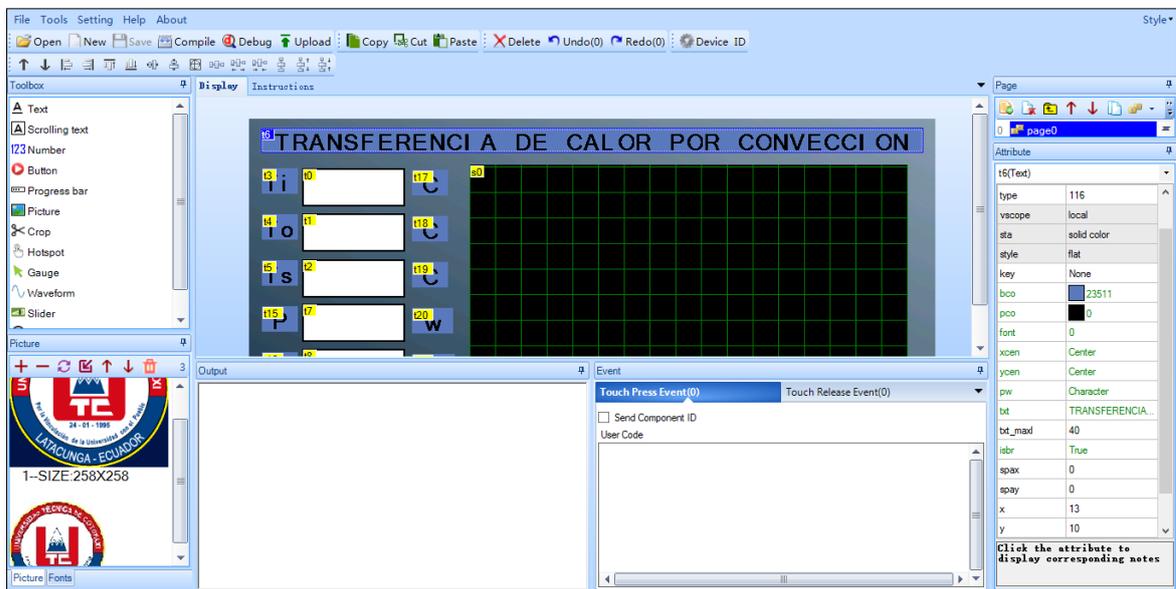
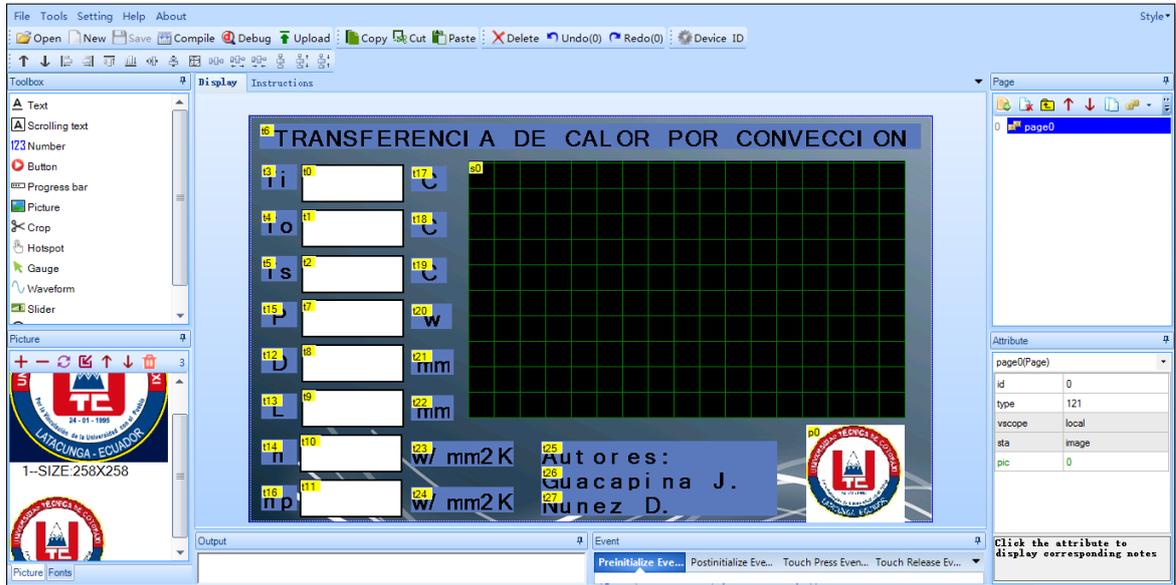
REF.	MATERIALES	TIPO	ESPESOR	Tolerancias		(Firma)	Módulo didáctico de transferencia de calor por convección forzada	
9								
8								
7								
6					Fecha	Nombre	RESISTENCIAS ELECTRICAS	Escala 1:1
5				Dib.	27/07/18	Guerra 1		
4				Rev.	27/07/18	Guerra 1		

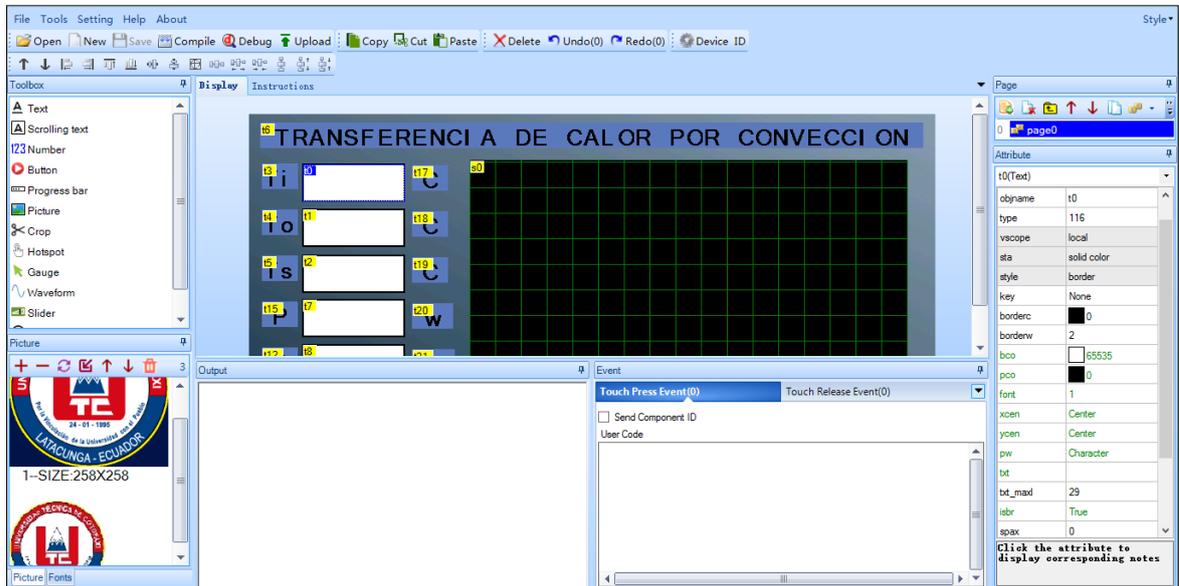
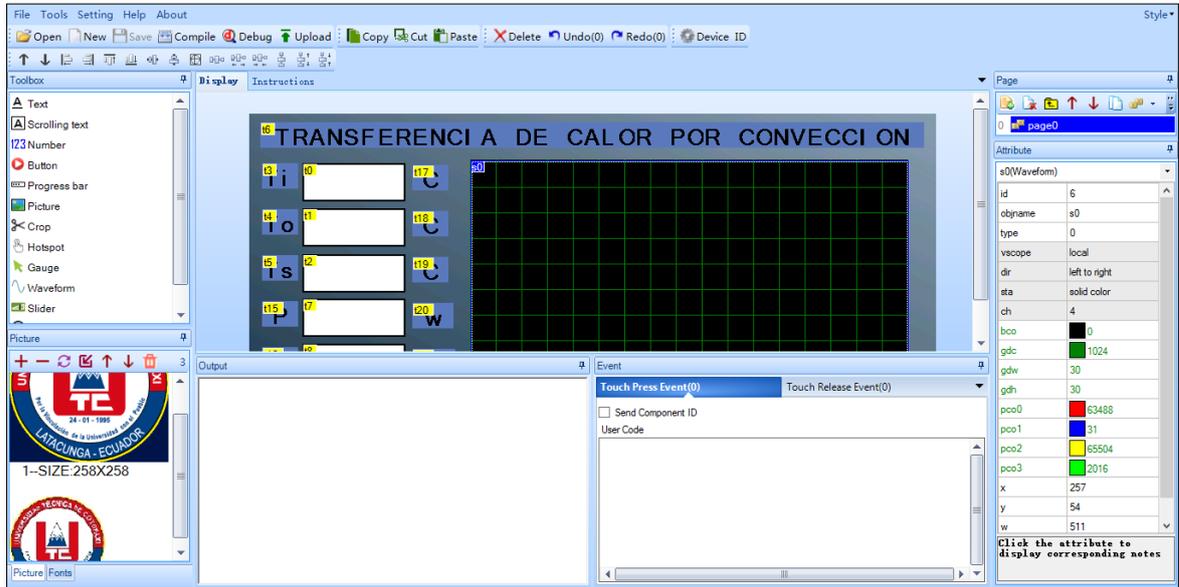


REF.	MATERIALES	TIPO	ESPESOR	Tolerancias		(Peso)	Módulo didáctico de transferencia de calor por convección forzada	DIAGRAMA ELECTRICO DE CONTROL	Escala S/E
9									
8									
7									
6					Fecha	Nombre			
5				Dib.	27/03/18	Diagrama 1			
4				Rev.	27/03/18	Diagrama 2			



REF.	MATERIALES	TIPO	ESPESOR	Tolerancias		(Firma)	Módulo didáctico de transferencia de calor por convección forzada	Escala S/E
9								
8								
7								
6					Fecha	Nombre	DIAGRAMA ELÉCTRICO DE FUERZA	
5				Deb.	25/03/18	Guayula I		
4				Rev.	25/03/18	Guayula I Halejo D.		





ANEXO IX	PROGRAMACIÓN ARDUINO	9-1
<pre> #include <max6675.h> #include <stdlib.h> #include <stdio.h> #include <Nextion.h> #include <Wire.h> #include <LiquidCrystal_I2C.h> int thermoDO_1 = 4; int thermoCS_1 = 5; int thermoCLK_1 = 6; int thermoDO_2 = 10; int thermoCS_2 = 9; int thermoCLK_2 = 8; int thermoDO_3 = 24; int thermoCS_3 = 25; int thermoCLK_3 = 26; MAX6675 thermocouple_1(thermoCLK_1, thermoCS_1, thermoDO_1); MAX6675 thermocouple_2(thermoCLK_2, thermoCS_2, thermoDO_2); MAX6675 thermocouple_3(thermoCLK_3, thermoCS_3, thermoDO_3); int vccPin_1 = 3; int gndPin_1 = 2; int vccPin_2 = 12; int gndPin_2 = 11; int vccPin_3 = 22; int gndPin_3 = 23; int anem = 0; //int niq = 7; unsigned int ti = 0; unsigned int to = 0; unsigned int tr = 0; //unsigned int sp = 25; //unsigned int la = 0; //unsigned int lb = 0; //unsigned int hi = 5; unsigned int i = 1; unsigned int d_h = 0; unsigned int d_l = 0; int32_t vel_a = 0; int32_t op=0 ; int32_t ho=0 ; </pre>		

```
int x = 56;
int y = 321;
int width = 195;
int height = 8;
int sensor = 500;
int inChar = 0;
int vel = 0;
float h = 0;
int cont = 0;

#define LEVEL_HIGH    (50)
#define LEVEL_LOW    (0)

#define CH0_OFFSET (0)
#define CH1_OFFSET (0)
#define CH2_OFFSET (0)
#define CH3_OFFSET (0)

Serial.begin(9600);
nexInit();
// use Arduino pins
pinMode(vccPin_1, OUTPUT);digitalWrite(vccPin_1, HIGH);
pinMode(gndPin_1, OUTPUT);digitalWrite(gndPin_1, LOW);
pinMode(vccPin_2, OUTPUT);digitalWrite(vccPin_2, HIGH);
pinMode(gndPin_2, OUTPUT);digitalWrite(gndPin_2, LOW);
pinMode(vccPin_3, OUTPUT);digitalWrite(vccPin_3, HIGH);
pinMode(gndPin_3, OUTPUT);digitalWrite(gndPin_3, LOW);
// pinMode(niq, OUTPUT);
//
lcd.init();           // initialize the lcd
// Print a message to the LCD.
lcd.backlight();
// wait for MAX chip to stabilize
// la=sp+h;
// lb=sp-h;
delay(500);
}
void loop() {

void envio(unsigned long dato) {
  d_h=dato>>8;
  d_l=dato;
  Serial.write(d_h);
  Serial.write(d_l);
  return;
}
```

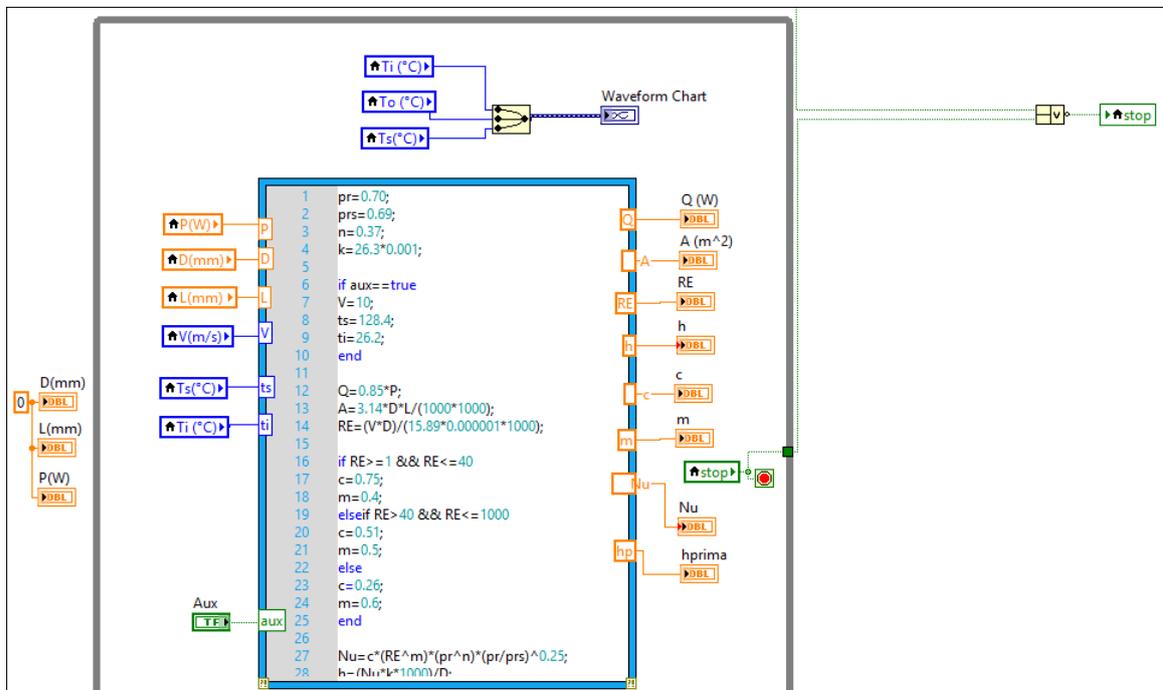
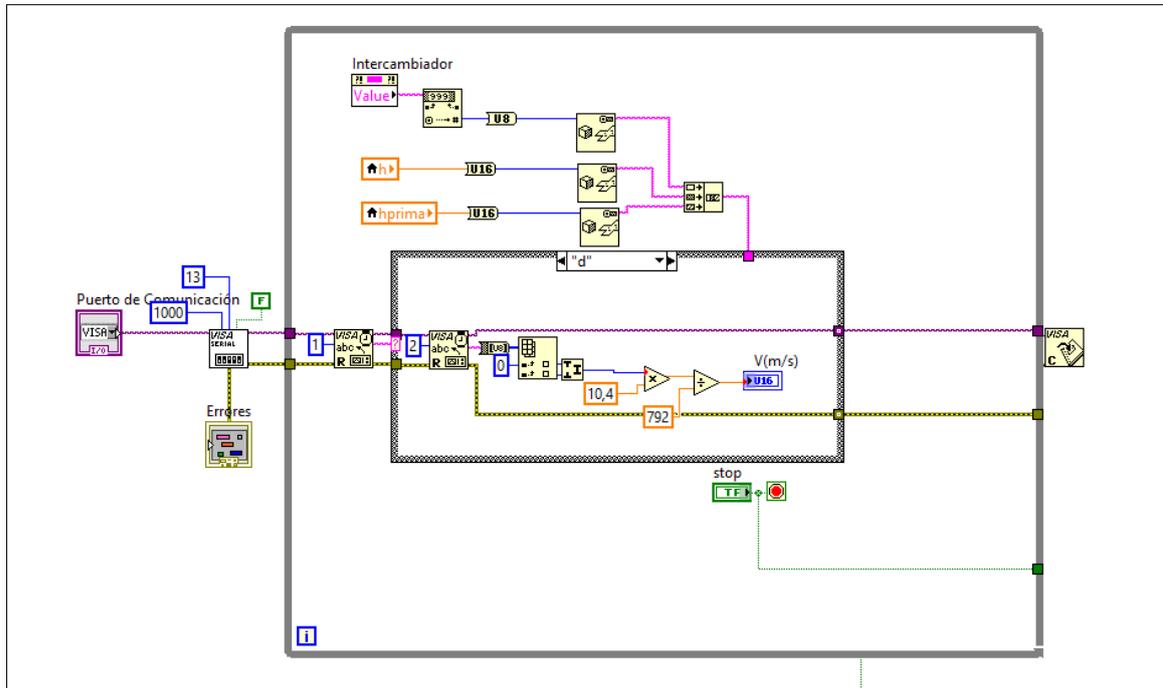
```
void recepcion(){
  unsigned long rcv=0;
  char id="";
  char aux="";
  char d_l="";
  char d_h="";
  //char d_l_2="";
  //char d_h_2="";

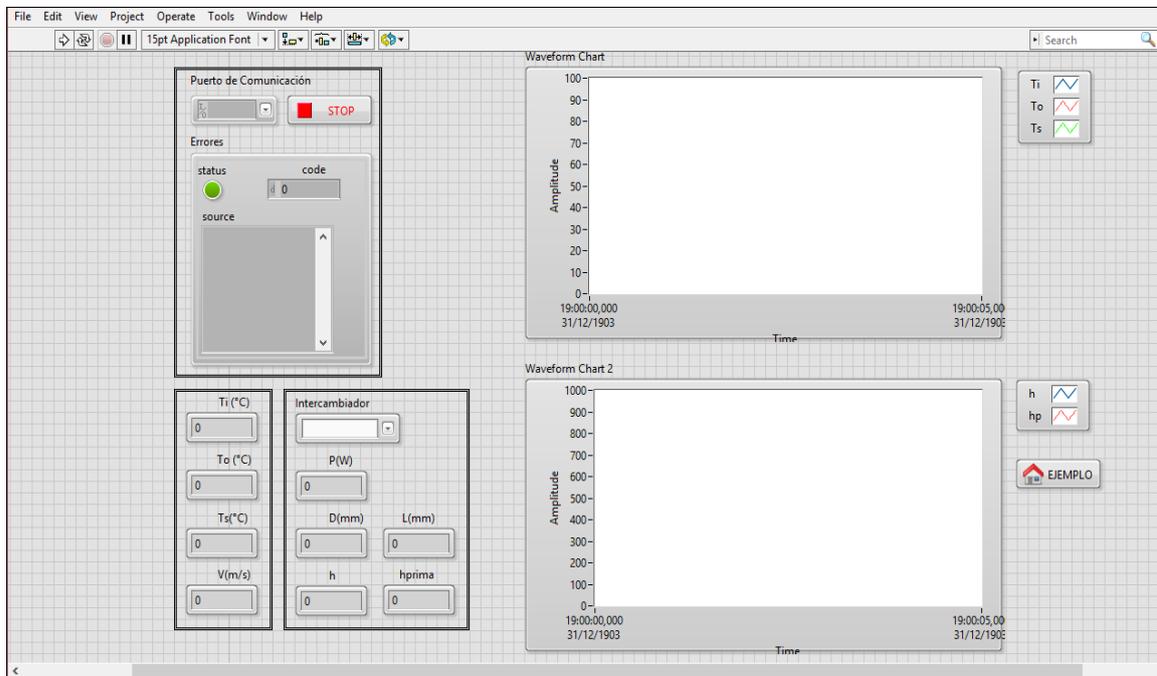
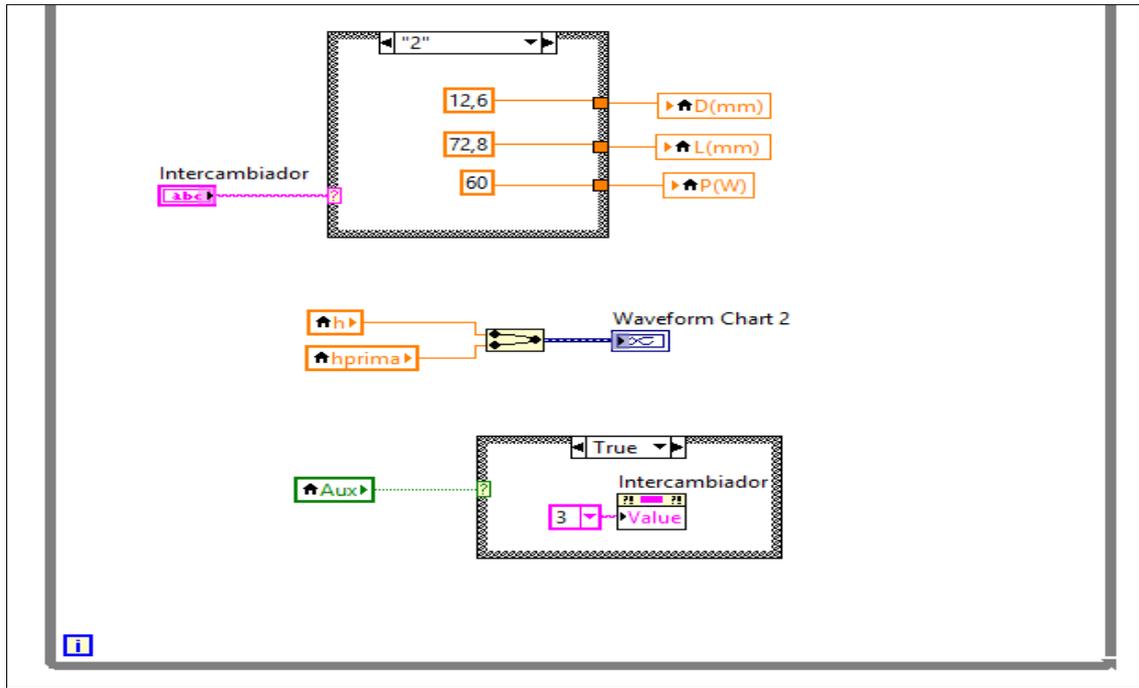
  if(Serial.available(>0){
    //lcd.setCursor(0,0);
    //lcd.print("Ingreso");
    id = (char)Serial.read();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(int(id));
    d_h = (char)Serial.read();
    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.print(int(d_h));
    d_l = (char)Serial.read();
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print(int(d_l));
    rcv = d_h<<8;
    rcv = rcv + d_l;
    memset(buffer, 0, sizeof(buffer));
    itoa(rcv, buffer, 10);
    t10.setText(buffer);
    d_h="";
    d_h = (char)Serial.read();
    lcd.setCursor(3,1);
    lcd.print(int(d_h));
    d_l="";
    d_l = (char)Serial.read();
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print(int(d_l));
    rcv = d_h<<8;
    rcv = rcv + d_l;
    memset(buffer, 0, sizeof(buffer));
    itoa(rcv, buffer, 10);
    t11.setText(buffer);
  }
  t7.setText("46");
  t8.setText("12");
  t9.setText("94");
  default:
  return;
}
return;
}
```

ACERO	DIAMETRO NOMINAL (plgs.)	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	ESPESOR DE PARED (mm)
304 - L	½	21.34	2.11
304 - L	¾	26.67	2.11
304 - L	1	33.40	2.77

ANÁLISIS TÍPICO %	C	Mn	P	S
SAE 10 - 18	0.15-0.20	0.60	0.040	0.050
Código de color				

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
1 / 4	0.2
5/16	0.4





El Manual de Operación y Mantenimiento del módulo para prácticas de laboratorio sobre transferencia de calor por convección, es el instrumento que permite garantizará la seguridad de los estudiantes al realizar las prácticas respectivas. Este documento se creó con la finalidad de dar a conocer el uso correcto del mismo así como también el plan de mantenimiento que se debe seguir para garantizar el funcionamiento continuidad del módulo.

1. Detalles del módulo.

El módulo es una herramienta que beneficiara a los estudiantes que cruzan la signatura de termo aplicada con el objetivo de realizar prácticas de transferencia de calor por convección, estas prácticas permitirán realizar la comparación del coeficiente de transferencia de calor obtenido a través de ecuaciones literarias con el coeficiente obtenido de manera experimental.

2. Elementos que conforman el sistema de control del módulo

Los elementos eléctricos que conforman el sistema de control de mando y temperatura son elementos comunes y que en conjunto tienen la finalidad de proteger, censar y controlar las diferentes magnitudes que se presentan en el módulo, estos elementos se expresan a continuación.

- **Pulsador de paro:** Es el encargado de cortar el flujo de energía de manera manual en caso que exista un inconveniente en la funcionabilidad del módulo, este además va acompañado de una luz piloto de color rojo que indicara que el módulo se encuentra listo para entrar en funcionamiento y a su vez apagado.



Figura XII.1: pulsador de paro

- **Pulsador de marcha:** Es el encargado de permitir el flujo de energía de manera manual, este además va acompañado de una luz piloto de color verde que indicara que el módulo se encuentra en funcionamiento.



Figura XII.2: pulsador de marcha.

- **Interruptor termomagnético:** Es un elemento de protección que tiene la función de permitir y bloquear el paso de energía en condiciones estables de funcionamiento, este elemento actúa (abre el circuito) cuando exista una anomalía o falla en el sistema protegiendo así el sistema de control. Además de ser el elemento que energiza el sistema.



Figura XII. 3: interruptor termomagnético de un polo.

Contactador: el principio de funcionamiento de este elemento es similar a de un interruptor, el módulo consta de 2 contactores, uno de ellos conforma parte del sistema de mando es decir permitira el paso de energía hacia el resto del sistema, el otro contactor será el encargado de operar bajo condiciones de lectura de temperatura y es controlado por el pirometro, y permite el flujo de energía hacia la resistencia.



Figura XII. 4: contactor.

- **Pirómetro:** Este equipo es el encargado de recibir las señales de lecturas de la termocupla y realizar la comparación con la lectura recibida y con el valor de temperatura ingresada en la memoria de este equipo, una vez que estos valores son iguales el pirómetro manda a abrir el circuito para desenergizar la resistencia a través del contactor y de cerrar el circuito cuando estos valores de temperatura sean diferentes permitiendo el flujo de energía hacia la resistencia. Este equipo funciona con la configuración on/off.



Figura XII. 5: pirómetro.

3. Elementos de medición

- Los elementos sensores seleccionados son las termocuplas tipo “K”



Figura XII.6. Elementos de medición.

4. Elementos de programación y visualización

- Para la programación se empleó un arduino MEGA 2560
- Para la visualización de datos en la pantalla HMI NEXTION de 7 pulgadas.



Figura XII. 7: Arduino.



Figura XII.8: pantalla HMI NEXTION.

5. Mantenimiento

- Desenergizar el módulo
- Realizar la limpieza del módulo externamente de partículas residuales que se encuentran en el ambiente trimestralmente.
- buscar cables recalentados y cambiarlos
- eliminar puntas recalentadas de cables
- Realizar la limpieza de Contactores con sustancias dieléctricos trimestralmente.
- Revisar estado de contactos de Contactores, si están dañados conseguir repuesto y remplazarlos, o cambiar contactor.
- Realizar reapriete de conexiones.
- Localizar elementos dañados y sustituir
- Revisar elementos de medición.
- La limpieza de la pantalla debe realizarse de una manera minuciosa y con materiales antiestáticos para evitar daños de la misma una vez por mes.
- Si existe anomalías en el sistema revisar de una manera visual la conexión del Arduino.
- Cambio de resistencia de cartucho una vez por año.
- Por último y más importante se debe realizar prueba de funcionamiento y mediciones de voltaje y corriente, de ser posible que el operador realice el arranque y puesta en servicio de equipo, ya que un arranque equivocado puede dañar un equipo.



Figura XII.8: mantenimiento.

6. Precauciones

Para un correcto funcionamiento del módulo y evitar accidentes se debe tener en cuenta los siguientes consejos:

- ✓ Evitar colocar las manos o cualquier elemento en las rejillas de ingreso de aire del blower.
- ✓ Colocar la temperatura máxima deseada en el pirómetro después de su encendido de acuerdo al intercambiador empleado.
- ✓ Al realizar el cambio de intercambiadores

Primero: Revisar que todo el sistema este desenergizado.

Segundo: Desconectar la termocupla del pirómetro y del Arduino.

Tercero: Desconectar el socket del intercambiador.

Cuarto: Retirar el ducto final de una manera cuidadosa.

Quinto: Retirar el intercambiador y colocar el otro.

Sexto: Una vez colocado el intercambiador realizar el proceso inverso.

- ✓ Mantener las medidas de seguridad expresadas en la hoja de práctica.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

PRÁCTICA DE LABORATORIO

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Guacapiña Jhonatan Núñez Daniel	Guacapiña Jhonatan Núñez Daniel	Ing. Enrique Torres. Ph.D.
FECHA:	FECHA:	FECHA:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECHANICA	IEM.T.05.2	TERMODINAMICA/TERMO APLICADA

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	TERMODINAMICA/TERMO APLICADA	DURACIÓN (HORAS)
01	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Diseño de diagramas de control y potencia	2

1	OBJETIVOS
	- Conocer el proceso de transferencia de calor por convección de manera práctica

- Realizar la práctica experimental de acuerdo a los parámetros establecidos por el docente para cada caso de estudio
- Obtener el coeficiente de transferencia de calor por convección de manera experimental respetando los parámetros dados
- Realizar el cálculo del coeficiente de transferencia de calor mediante expresiones literarias y compararla con la obtenida de manera experimental.
- Calcular el porcentaje de error que existe entre los coeficientes obtenidos al finalizar la práctica.

2 FUNDAMENTACION TEORICA

2.1. INTRODUCCIÓN

Elementos de mando.- Son aquellos dispositivos que abren y cierran circuitos de baja potencia (circuitos de mando) y que son accionados por un operador o usuario, como pulsadores NC y NA...

Elemento de maniobra.- En el circuitos de control la función de los elementos de maniobras consiste en energizar o desenergizar los equipos del sistema; tales como pirómetro, resistencia eléctrica o el sistema por completo.

Pruebas previas a realizar la práctica

- 1) Prueba de componentes- Se realiza la comprobación del funcionamiento del blower, verificar que no exista obstrucciones en el ingreso del aire, revisar que los componentes sensores no presenten daños físicos como rupturas del conductor.
- 2) Prueba del sistema de control- Se realiza la comprobación del circuito de mando a través del paso de energía por parte del interruptor térmomagnético y observar las condiciones de operación en el manual de uso y mantenimiento.
- 3) Prueba de aislamiento con la carcasa- verificar la ausencia de desgaste del material aislante en el intercambiador a emplearse con el fin de evitar accidentes.

2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos e Instrumentos:

- Pc (que contenga los programas necesarios)

Materiales:

- destornilladores

2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Tener a su disposición una copia de la guía de laboratorio con las indicaciones exactas de lo que va a realizar

No se debe realizar maniobras para las cuales no ha sido entrenado o autorizado

Antes de conectar un equipo, los usuarios / estudiantes deberán chequear que la conexión se encuentre en óptimas condiciones (cables bajo aislados, no empalmados, tomas de conexión en buenas condiciones. En caso de detectar una condición insegura, se deberá comunicar de inmediato al instructor.

Atención:

Al desconectar un equipo no se debe tirar del cable, sino retirarlo con precaución desde su lugar de conexión.

2.4. TRABAJO DE PRÁCTICA**2.4.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR**

Obtención del coeficiente de calor por convección.

1.-

2.4.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Identificar cada uno de los elementos que se encuentran en el módulo

Realizar el montaje del intercambiador con precaución, conecte los instrumentos de medida y alimentación al sistema posteriormente compruebe su correcto funcionamiento.

Se recomienda que para familiarizarse con su funcionamiento y realizar cuantas pruebas sean necesarias.

Recuerde que la tensión de alimentación del módulo es monofásica que se obtendrá de las tomas de distribución. Del mismo modo las tensiones del circuito de control.

Tabla XIV: TIR Y VAN

AÑO	FLUJO BENEFICIO	EGRESOS	FLUJO BENEFICIO	
0	0	\$ 1.870,00	(\$ 1.870,00)	
1	2400	100	\$ 2.300,00	
2	2400	105	\$ 2.295,00	
3	2400	110	\$ 2.290,00	
4	2400	115	\$ 2.285,00	
5	2400	120	\$ 2.280,00	
	TASA	0,12	VAN	\$ 6.389,00
			TIR	120%