



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

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

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**TEMA:**

**TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN LINEAL Y RADIAL PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA TERMO APLICADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

**Autores:**

Cando Cueva Tatiana Elizabeth

Guzmán Pulamarín Fabricio Isaúl

**Tutor:**

Ing. Enrique Torres Tamayo Ph.D.

Ing. Verónica Paulina Freire Andrade

LATACUNGA- ECUADOR

2018



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, Tatiana Elizabeth Cando Cueva y Fabricio Isaúl Guzmán Pulamarín, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN LINEAL Y RADIAL PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA TERMO APLICADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, siendo el Ing. Enrique Torres Tamayo y Ing. Verónica Paulina Freire Andrade, tutores 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.

.....  
Tatiana Elizabeth Cando Cueva

055001184-5

.....  
Fabricio Isaúl Guzmán Pulamarín

172680198-6



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

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 CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS por cuanto, el o los postulantes: Cando Cueva Tatiana Elizabeth y Guzmán Pulamarín Fabricio Isaúl, con el título de Proyecto de titulación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN LINEAL Y RADIAL PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA TERMO APLICADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, 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, 25 de julio del 2018

Para constancia firman:

---

Lector 1 (Presidente)  
Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina Ms.C  
CC: 050284769-2

---

Lector 2  
Ing. Luis Rolando Cruz Panchi Ms.C  
CC: 0502595176

---

Lector 3  
Nombre: Yadira Araceli Herrera Martínez  
CC: 050290485-7



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN LINEAL Y RADIAL PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA TERMO APLICADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, de Cando Cueva Tatiana Elizabeth y Guzmán Pulamarín Fabricio Isaúl, de la carrera de Ingeniería en 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 la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 25 de julio del 2018

---

Firma

Ing. Enrique Torres Tamayo

---

Firma

Ing. Verónica Paulina Freire



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, 27 julio del 2018

Ing. Mauro Dario Albarracín Ms.C

**DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**Presente. -**

En calidad de Docente de la Universidad Técnica De Cotopaxi, confirmo la realización del proyecto como material didáctico **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN LINEAL Y RADIAL PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA TERMO APLICADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**.

Implementado por los señores estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, carrera de **Ingeniería Electromecánica**; Tatiana Elizabeth Cando Cueva con CI: 060411089-0 y Fabricio Isaúl Guzmán Pulamarín con CI: 172680198-6.

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  
**Docente de la Carrera de Ingeniería Electromecánica**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes. Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Técnica de Cotopaxi por confiar en mí, y por abrirme sus puertas, ante todo a la Facultad de Ingeniería Electromecánica por ser parte de este largo camino y permitirme alcanzar esta meta profesional, a cada uno de los docentes por impartir sus conocimientos y experiencias quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, a mis Padres que han sabido darme su ejemplo de trabajo, honradez y paciencia en este proyecto de estudio. Y a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su colaboración y se involucraron en este proyecto.

*TATIANA*

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios, quien con su bendición guio mis pasos cada uno de mis días, a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi eterna gratitud con la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme sus puertas, a cada una de las autoridades, mis docentes, personas de gran sabiduría que supieron guiarme hasta el punto en el que me encuentro hoy, a la carrera de Ingeniería Electromecánica, que me permito obtener conocimientos de calidad para desenvolverme en mi futura vida profesional y permitió cumplir mi objetivo planteado.

A mis padres que con su apoyo y palabras de aliento siempre estuvieron para mí. Y a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su colaboración.

*FABRICIO*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres Damián y Carmen por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, a mis hermanos y a toda mi familia, porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas, a la memoria de mi abuelita quien siempre me daba consejos y palabras de aliento que siga a delante, su ejemplo me motivo a ser una gran persona y a nunca rendirme.

*TATIANA*



## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico en primer lugar a Dios por haberme dado vida y salud, y que me dio la oportunidad de cumplir con mi meta, a las personas más importantes en mi vida con mucho amor a mis padres Juan y Mercedes, a mis hermanos Juan, Belén y Noé, gracias por todo su sacrificio y cariño.

A mis abuelitos Ángel y Luz que con sus oraciones estuvieron presentes, a mi novia Karina y a toda su familia por brindarme su apoyo.

A Leonardito mi amado pequeño este triunfo se lo dedico a él, con todo el amor que un padre siente por sus hijos. A mis amigos que estuvieron ahí en las buenas y en las malas.

*FABRICIO*

## ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	iii
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
AVAL DE TRADUCCIÓN .....	xx
1. INFORMACIÓN BÁSICA .....	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	2
2.1. Título de la propuesta tecnológica.....	2
2.2. Tipo de propuesta alcance .....	2
2.3. Área del conocimiento.....	2
2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica.....	3
2.5. Objeto de estudio y campo de acción .....	3
2.5.1. Objeto de estudio .....	3
2.5.2. Campo de acción .....	4
2.6. Situación problemática y problema.....	4
2.6.1. Situación problemática .....	4
2.6.2. Problema.....	4
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.....	5
3. MARCO TEÓRICO .....	8
3.1. Antecedentes.....	8
3.2. Introducción.....	9
3.3. Antecedentes de la termodinámica y energía .....	9
3.1.1. Primera ley de la termodinámica .....	10
3.1.2. Segunda ley de la termodinámica .....	11
3.4. Transferencia de calor.....	11
3.4.1. Transferencia de calor por conducción.....	12
3.4.2. Conductividad térmica de los materiales .....	14
3.5. Ley de Fourier para transferencia de calor .....	15
3.5.1. Conducción axial .....	15
3.5.2. Resistencia de contacto.....	15
3.5.3. Conducción radial.....	16
3.6. Descripción general del módulo de conducción de calor .....	17
4. METODOLOGÍA.....	17
4.1. Etapas del proyecto.....	18
4.2. Características de los módulos de conducción axial y radial .....	18
4.3. Desarrollo de prácticas de laboratorio por conducción .....	20
4.4. Cálculo de transferencia de calor por conducción axial y radial.....	20
4.4.1. Primera ley de la termodinámica .....	20
4.4.2. Transferencia de calor por conducción.....	20
4.4.3. Ley de Fourier .....	21

4.4.4. Conducción axial .....	21
4.4.5. Resistencia térmica de contacto: .....	21
4.4.6. Resistencia de cartucho potencias seleccionadas .....	22
4.4.7. Medidas y coeficientes térmicos de las probetas de ensayo axial .....	22
4.4.8. Práctica de transferencia de calor por conducción axial.....	22
4.4.9. Conducción radial.....	23
4.4.10. Medida y coeficiente térmico probeta de ensayo radial .....	24
4.4.11. Práctica de transferencia de calor por conducción radial .....	24
4.5. Análisis y selección de los materiales .....	25
4.5.1. Acero galvanizado .....	25
4.5.2. Norma INEN 2415. Tubos de acero al carbono .....	25
4.5.3. Materiales de las probetas de ensayo para transferencia de calor .....	25
4.5.3.1. Barra de cobre puro .....	25
4.5.3.2. Barra de aluminio .....	26
4.5.3.3. Barra de acero puro.....	26
4.5.4. Material refractario ladrillo refractario.....	27
4.5.5. Características generales de los ladrillos refractarios.....	27
4.5.6. Manta aislante de lana mineral de roca .....	28
4.5.7. Propiedades de las mantas aislantes .....	28
4.5.8. Resistencia por contacto .....	29
4.5.8.1. Datos técnicos de las resistencias de contacto tubulares .....	29
4.5.9. Termocuplas tipo K .....	30
4.5.10. Acondicionador MAX-6675.....	30
4.5.11. Tarjeta electrónica de adquisición de datos.....	31
4.5.12. Controlador de temperatura CAMSCO REX-C700 .....	32
4.5.13. Datos técnicos del controlador de temperatura.....	32

4.5.14. Pantalla LCD .....	33
4.5.15. Luces piloto .....	33
4.5.16. Pulsadores de marcha y paro .....	33
4.5.17. Contactores .....	34
4.5.18. Selector de posiciones .....	34
4.5.19. Programación labview .....	34
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	36
5.1. Desarrollo de la propuesta tecnológica.....	36
5.2. Resultados.....	36
5.2.1. Transferencia de calor por conducción lineal.....	36
5.2.1.1. Cobre puro diámetro de 15 mm.....	37
5.2.1.2. Análisis de los resultados obtenidos del cobre puro.....	37
5.2.1.3. Aluminio puro diámetro de 15 mm .....	38
5.2.1.4. Análisis de los resultados obtenidos del aluminio puro .....	39
5.2.1.5. Acero puro diámetro de 15 mm.....	40
5.2.1.6. Análisis de los resultados obtenidos del acero puro .....	41
5.2.2. Perfil de temperatura módulo de conducción lineal .....	41
5.2.3. Transferencia de calor por conducción radial.....	42
5.2.3.1. Análisis de los resultados obtenidos del disco de aluminio puro .....	43
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS .....	44
6.1. Presupuesto.....	44
6.1.1. Gastos directos de los materiales empleados.....	44
6.1.2. Mano de obra .....	46
6.1.2. Costos .....	47
6.1.3. Costo total.....	48
6.2. Análisis de impactos.....	48

6.2.1. Impacto social.....	48
6.2.2. Impacto económico .....	49
6.2.3. Costo beneficio.....	49
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	49
7.1. Conclusiones.....	49
7.2. Recomendaciones .....	50
8. REFERENCIAS .....	50
9. ANEXOS.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Teoría de la transferencia de calor .....	9
Figura 3.2. Primera ley de la termodinámica.....	10
Figura 3.3. Segunda ley de la termodinámica .....	11
Figura 3.4. Modos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación.....	12
Figura 3.5: Esquema que muestra la dirección del flujo de calor.....	13
Figura 3.6. Asociación de la conducción con la difusión de la energía debido a la actividad molecular .....	13
Figura 3.7. Transferencia de calor por conducción unidimensional.....	14
Figura 3.8. Transferencia de calor por conducción axial .....	15
Figura 3.9. Efecto de la resistencia térmica.....	16
Figura 3.10. Transferencia de calor por conducción radial .....	16
Figura 4.1. Diagrama de flujo metodológico.....	18
Figura 4.2. Tubo de acero galvanizado.....	25
Figura. 4.3. Barra de cobre puro .....	26
Figura 4.4. Barra de aluminio puro.....	26
Figura 4.5. Barra de acero puro .....	27
Figura 4.6. Ladrillo refractario .....	27
Figura 4.7 Manta aislante de lana de roca mineral .....	28
Figura 4.8. Resistencia por contacto.....	29
Figura 4.9. Esquema de una termocupla tipo K .....	30
Figura 4.10. Acondicionador Max 6775.....	31
Figura 4.11. Tarjeta electrónica de adquisición de datos .....	31
Figura 4.12. Controlador de temperatura CAMSCO.....	32
Figura 4.13. Pantalla LCD.....	33

Figura 4.14. Luces piloto.....	33
Figura 4.15. Contactor y esquema.....	34
Figura 4.16. Selector de posiciones.....	34
Figura 4.17. Interfaz de programación Labview.....	35
Figura 4.18. Esquema de programación en labview.....	36
Figura 5.1. Esquema del módulo lineal.....	36
Figura 5.2. Perfil de temperatura del cobre puro a 50 W.....	37
Figura 5.3. Perfil de temperatura del aluminio puro a 50 W.....	39
Figura 5.4. Perfil de temperatura del acero puro a 50 W.....	40
Figura 5.5. Perfil de temperatura de las probetas de ensayo a 50 W.....	41
Figura 5.6. Esquema del módulo radial.....	42
Figura 5.7. Perfil de temperatura del aluminio puro a 150 W.....	43



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Área del conocimiento UNESCO-SENESCYT .....	3
Tabla 2.2. Sistema de tareas por objetivos .....	5
Tabla 2.3. Operacionalización de variables.....	7
Tabla 3.1 Conductividad térmica de algunos materiales o sustancias a 300k.....	14
Tabla 4.1. Dimensiones de los módulos de transferencia de calor por conducción.....	19
Tabla 4.2. Datos técnicos de la resistencia de cartucho (Contacto) .....	22
Tabla 4.3. Datos de las probetas de ensayos para conducción axial .....	22
Tabla 4.4. Mediciones para la configuración axial y material cobre puro .....	22
Tabla 4.5. Mediciones para la configuración axial y material aluminio puro.....	23
Tabla 4.6. Mediciones para la configuración axial y material acero puro.....	23
Tabla 4.7. Datos de las probetas de ensayos para conducción radial .....	24
Tabla 4.8. Mediciones para la configuración radial y material aluminio puro.....	24
Tabla 4.9. Propiedades de la manta aislante de lana de roca mineral.....	29
Tabla 4.10. Límite de error para termopares: Unión de referencia 0°C .....	30
Tabla 4.11. Características del controlador de temperatura .....	32
Tabla 5.1. Datos de lectura del material de cobre puro .....	37
Tabla 5.2. Tabla de cálculo coeficiente de conductividad térmica cobre puro .....	37
Tabla 5.3. Datos de lectura del material de aluminio puro.....	38
Tabla 5.4. Tabla de cálculo coeficiente de conductividad térmica aluminio puro .....	39
Tabla 5.5. Datos de lectura del material de acero puro .....	40
Tabla 5.6. Tabla de cálculo coeficiente de conductividad térmica acero puro.....	41
Tabla 5.7. Datos de lectura del material de aluminio puro.....	42
Tabla 5.8. Tabla de cálculo coeficiente de conductividad térmica aluminio puro .....	43
Tabla 6.1. Detalle de costos de elementos mecánicos.....	44

Tabla 6.2. Detalle de costos de elementos eléctricos y electrónicos .....	45
Tabla 6.3. Total gastos directos .....	46
Tabla 6.4. Detalle de costos de indirectos .....	47
Tabla 6.5. Gastos totales del módulo de transferencia de calor .....	48

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN LINEAL Y RADIAL PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA DE TERMO APLICADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

**Autor/es:** Tatiana Elizabeth Cando Cueva

Fabricio Isaúl Guzmán Pulamarín

### RESUMEN

El trabajo presentado en este proyecto involucra a la transferencia de calor por conducción, el cual es el factor principal que se toma en cuenta para el diseño del equipo y que permite a través de la temperatura obtenida, determinar el coeficiente de conducción de calor en materiales metálicos. La idea de implementar este equipo se debe a las nuevas necesidades de los laboratorios de ser repotenciados y a que se cumplan con las exigencias de la malla curricular vigente. La metodología propuesta está centrada en la selección de los diferentes materiales para la construcción del módulo de transferencia de calor por conducción, así como también el desarrollo de los modelos matemáticos para determinar la conductividad, la eficiencia y el flujo de calor transferido en los materiales descritos. La práctica de laboratorio se lo realizará con los parámetros propuestos en la metodología, la interpretación de datos en tablas y graficas una vez realizada las diferentes pruebas a los materiales tomando en cuenta que la temperatura de operación, la misma que va a ser constante en cada uno de los equipos para el axial de 170°C y radial de 90°C, también se da a conocer los costos del equipo, el beneficio y los resultados que se obtuvo de las prácticas de laboratorio realizadas. la validación de los datos que se obtengan serán verídicos y con esto se cumple con el objetivo propuesto de garantizar el aprendizaje del estudiante de una manera didáctica.

**Palabras clave:** Transferencia de calor, conducción, flujo de calor, conductividad térmica.

# **TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

## **FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**

**THEME: "IMPLEMENTATION OF A DIDACTIC MODULE OF HEAT TRANSFER BY LINEAR AND RADIAL CONDUCTION FOR LABORATORY PRACTICES IN THE APPLIED THERMO COURSE OF THE ELECTROMECHANICAL ENGINEERING MAJOR AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI"**

Author / s: Tatiana Elizabeth Cando Cueva

Fabricio Isaúl Guzmán Pulamarín

### **ABSTRACT**

The work presented in this project involves the transfer of heat by conduction, which is the primary factor that is taken into account for the design of the equipment which allows, through the temperature obtained, to determine the coefficient of heat conduction in metallic materials. The idea of implementing this equipment is due to the new needs of laboratories to be re-empowered and to meet the requirements of the current curriculum. The proposed methodology is focused on the selection of different materials for the construction of the conduction heat transfer module, as well as the development of mathematical models to determine the conductivity, efficiency and transferred heat flow into the described materials. The laboratory practice will be carried out with the parameters proposed in the methodology; the interpretation of data in tables and graphs, once the different tests have been made to the materials taking into account the operating temperature, which will be constant in each one of the equipment for the axial  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  and radial  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , also it is disclosed the equipment costs, the benefit and the results obtained from the laboratory practices. The data collected will be real, and with this, the proposed objective of guaranteeing the student's learning in a didactic way is fulfilled.

**Keywords:** Heat transfer, conduction, heat flow, thermal conductivity.



## ***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 tesis 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**, **Tatiana Elizabeth Cando Cueva** y **Fabrizio Isaúl Guzmán Pulamarín**, cuyo título versa **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN LINEAL Y RADIAL PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA TERMO APLICADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, 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, 27 de Julio del 2018

Atentamente,

Lcdo. Wilmer Patricio Collaguazo Vega  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
C.C. 172241757-1

## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **Propuesto por:**

Cando Cueva Tatiana Elizabeth

Guzmán Pulamarín Fabricio Isaúl

### **Tema aprobado:**

Implementación de un módulo didáctico de transferencia de calor por conducción lineal y radial para prácticas de laboratorio en la asignatura termo aplicada de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **Carrera:**

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

### **Director de la propuesta tecnológica:**

Ing. Enrique Torres Tamayo PhD

Ing. Verónica Paulina Freire Andrade Ms.C

### **Equipo de trabajo:**

Ing. Enrique Torres Tamayo PhD

Ing. Verónica Paulina Freire Andrade Ms.C

Srta. Tatiana Elizabeth Cando Cueva

Sr. Fabricio Isaúl Guzmán Pulamarín

### **Lugar de ejecución:**

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

### **Tiempo de duración de la propuesta:**

Inicio octubre 2017 – finalización agosto 2018

### **Fecha de entrega:**

Agosto del 2018

### **Línea(s) y sub líneas de investigación**

## **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:**

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

### **Tipo de propuesta tecnológica:**

El proyecto consiste en realizar un módulo de transferencia de calor por conducción radial y axial, controlada a través de una tarjeta Arduino adecuada para la automatización y control, de manera física para prácticas de laboratorio de la materia de termo aplicada dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

## **2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **2.1. Título de la propuesta tecnológica**

Determinar el coeficiente de conductividad térmica y el flujo de calor transferido en el proceso de la conducción de calor, aplicando conocimientos teóricos previos en la asignatura de termo aplicada, mediante las prácticas de laboratorio a realizarse por los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, implementando un módulo de transferencia de calor de conducción axial y radial para metales específicos determinados por los autores del presente proyecto.

### **2.2. Tipo de propuesta alcance**

El proyecto es interdisciplinar e integrador debido a que permite involucrar varias disciplinas científicas en el proceso de formación de los futuros profesionales. De la misma manera se emplean varios conocimientos adoptados a lo largo de la formación académica como son mecánicos, eléctricos y electrónicos que van de la mano con la manipulación del módulo de transferencia de calor por conducción, y que permiten también la cooperación y formación de los estudiantes a quienes beneficiará el presente proyecto con las prácticas de laboratorio.

### **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 del conocimiento UNESCO-SENESCYT

<b>ÁREA</b>	<b>SUB ÁREA</b>
Ingeniería, industria y construcción	52 Ingeniería y profesiones afines
	Dibujo técnico, mecánica, metalistería, electricidad, electrónica, telecomunicaciones, ingeniería energética y química, mantenimiento de vehículos.

**Fuente:** [1]

Donde tomamos la referencia el área en el cual se centra el presente proyecto al ser considerado una implementación, por ende, según los conocimientos a aplicarse se toma en cuenta la sub área 52 que abarca ejes como son el dibujo técnico, la automatización, entre otras que permiten la implementación del módulo.

#### **2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica**

En el presente proyecto se presenta la implementación de un módulo didáctico de transferencia de calor por conducción el cual a través de su manipulación facilita las prácticas de laboratorio de la asignatura de termo aplicada, que basado en los principios de la termodinámica y la ley de Fourier para transferencia de calor, para lo cual se ha investigado las variables que intervienen en el proceso, y además determinar según varios autores los materiales más óptimos a emplearse en el diseño y construcción, para lo cual mediante la ayuda de equipos de medición obtener datos cercanos a las fuentes citadas.

Para el desarrollo del módulo se emplearán materiales conocidos y de fácil acceso, como son acero, aluminio y cobre como conductores de calor y ladrillos refractarios, lana de vidrio que permiten el aislamiento y fugas de calor al exterior de módulo para una completa hermeticidad. Mediante el cual nos permita determinar el flujo de calor transferido y la conductividad térmica de los elementos seleccionados para las prácticas.

#### **2.5. Objeto de estudio y campo de acción**

##### **2.5.1. Objeto de estudio**

Realizar prácticas de laboratorio de transferencia de calor por conducción en la asignatura termo aplicada



### **2.5.2. Campo de acción**

Módulo para prácticas de laboratorio en la asignatura termo aplicada mediante la transferencia de calor por conducción axial y radial

## **2.6. Situación problémica y problema**

### **2.6.1. Situación problémica**

Considerando como una alternativa realizar prácticas de transferencia de calor en la asignatura de termo aplicada en el laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica se cree que el cambio de malla curricular requiere de nuevas adecuaciones e implementaciones en los laboratorios es por ello que los módulos o equipos que permitan demostrar el fenómeno de la conducción de calor por contacto entre dos cuerpos aporten con conocimientos prácticos – teóricos, debido a que, para el calentamiento necesitamos temperaturas y tiempos determinados, y estos procesos se caracterizan por sufrir cambios de temperatura los cuales se someten de manera directa, materiales metálicos con una resistencia por contacto, mismos que poseen propiedades de conductividad térmica diferentes y además, que aspecto se considera para la utilización en la industria y que no lo convierta en un factor negativo.

Mediante el diseño y la implementación del módulo de transferencia de calor por conducción axial y radial, complementaremos los requisitos dentro de la malla en donde se señala horas de laboratorio de la asignatura de termo aplicada permitiendo así demostrar el coeficiente de conductividad térmica en materiales específicos como son el acero, cobre y aluminio, que varios autores en sus escritos nos mencionan. Actividad que tiene un rango de confiabilidad aceptable otorgado por la programación y control automático a los equipos de conducción, característica de construcción propia e innovadora.

### **2.6.2. Problema**

La educación en todos sus aspectos de formación para lograr una transformación requiere adaptarse a las necesidades actuales, por ende la Universidad Técnica de Cotopaxi haciendo caso a las exigencias del estado en busca de brindar una educación de calidad, la Carrera de Ingeniería en Electromecánica acatando estos parámetros ha tomado la iniciativa de incluir dentro de su malla curricular más horas prácticas de laboratorio por lo cual implementar y repotenciar cada uno de estas áreas donde se desenvuelven los futuros profesionales electromecánicos es una prioridad.

La asignatura de termo aplicada tomando en cuenta los nuevos cambios, incluye dentro de su pensum académico horas clase para el estudio de la transferencia de calor por conducción: lineal y radial, para lo cual es necesario investigar acerca del tema para proceder a la práctica para demostrar lo que sucede en este fenómeno que es de estudio a nivel de industria también.

## **2.7. Hipótesis**

La implementación del módulo de transferencia de calor para prácticas en la materia de termo aplicada en la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, permitirá determinar la conductividad térmica de materiales y el flujo de calor transferido mediante el conocimiento del espesor del material, su geometría y la temperatura del proceso.

## **2.8. Objetivo(s)**

### **2.8.1. Objetivo general**

Implementar un módulo para prácticas de laboratorio de la asignatura de termo aplicada, que permita el análisis del proceso de transferencia de calor por conducción en sistemas axiales y radiales.

### **2.8.2. Objetivos específicos**

- Investigar el principio de transferencia de calor por conducción lineal y radial propuesto en diferentes fuentes bibliográficas.
- Determinar la metodología a emplearse para las prácticas de transferencia de calor por conducción.
- Diseñar e implementar el modulo didáctico para el desarrollo de prácticas de transferencia de calor por conducción en el laboratorio de termo aplicada.
- Realizar prácticas de laboratorio de transferencia de calor por conducción en la asignatura de termo aplicada.
- Analizar los resultados obtenidos de la práctica de transferencia de calor por conducción realizada.

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

**Tabla 2.1.** Sistema de tareas por objetivos

<b>Objetivo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Resultado de la actividad</b>	<b>Descripción de la actividad</b>

Objetivo 1	Investigar el principio de transferencia de calor por conducción lineal y radial propuesto en diferentes fuentes bibliográficas.	Conocimiento de funcionamiento del módulo de transferencia de calor.	Investigación documental y de campo
Objetivo 2	Determinar la metodología a emplearse para las prácticas de transferencia de calor por conducción.	Determinar las diferentes ecuaciones a emplearse para el cálculo y diseño del módulo de transferencia de calor.	Investigación documental
Objetivo 3	Diseñar e implementar el módulo didáctico para el desarrollo de prácticas de transferencia de calor por conducción en el laboratorio de termo aplicada.	Diseño de los planos con las dimensiones reales, selección del material para pruebas de transmisión de calor y toma de datos para la puesta a punto del módulo de transferencia de calor.	Investigación experimental y de acción Método deductivo Metodología cuantitativa
Objetivo 4	Realizar prácticas de laboratorio de transferencia de calor por conducción en la asignatura de termo aplicada..	Visualización de las fallas en el funcionamiento del módulo didáctico y toma de datos de las practicas realizadas.	Investigación experimental y de acción Metodología deductiva
Objetivo 5	Analizar los resultados obtenidos de la práctica de transferencia de calor por conducción realizada.	Interpretación de los dato obtenidos de cada una de las probetas	Investigación experimental y de acción

		propuestas para la práctica.	
--	--	------------------------------	--

**Tabla 2.2.** Operacionalización de variables

<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN</b>
Conductividad térmica	Es una propiedad física que describe la capacidad de un material de transferir calor por conducción, esto es por contacto directo y sin intercambio de materia.	[W/m.K]	-Uso de ecuaciones -Sensores de temperatura (Termocuplas tipo k)
Geometría del material	Es una magnitud física y termodinámica, la cual nos permite obtener datos en función de su medida y forma.	[mm, cm]	- Calibrador de pie de rey - Flexómetro - Escuadra
Temperatura del proceso	Es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que posee un cuerpo.	[K, °C]	- Termocuplas tipo k, (Sensores de temperatura)
Flujo de calor transferido	Proceso de propagación de calor en distintos medios cuando se produce un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto.	[W]	- Uso de ecuaciones -Sensores de temperatura (Termocuplas tipo k)

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Antecedentes**

Según varios autores, Cengel Y. & Boles M. y Holman J. [4-7], quienes han estudiado más detalladamente los procesos termodinámicos y en especial la transferencia de calor, nos mencionan que es algo que se presenta de forma natural en el medio, es decir que varios procesos unos son sentidos por el humano y otros simplemente pasan sin ser percibidos por el mismo, debido a que este fenómeno de interacción se viene dando a lo largo de la historia desde el mismo momento de la existencia de la tierra. Para Incropera F. & De Witt D. [1] al igual que los demás autores coinciden en las mismas bases teóricas, pero la diferencia radica en que dentro de los procesos de transferencia de calor existen varios métodos por los cuales se puede dar es por ello que para la conducción propone que tenemos lo que es axial o lineal y radial.

En la Universidad Politécnica Nacional para Velásquez J. & Tituana R. [2], los resultados obtenidos al final de concluir su proyecto de titulación mencionan que el equipo construido mantuvo un correcto funcionamiento al transferir calor en materiales no metálicos, por lo consiguiente por medio de dicho trabajo en primera instancia se logró reforzar los conocimientos impartidos en horas clases y por ende lograron entender a fondo el comportamiento en los experimentos que realizaron, los resultados con respecto a los autores que ellos citaron varían significativamente, remontando a documentos que hacen mención a este proceso de transferencia de calor para Choéz W. [3], nos dice que en su trabajo previo a la obtención de ingeniero mecánico demostró las aplicaciones de las leyes que rigen los procesos de transferencia de calor, los cuales como ingenieros es importante entenderlos y se esté en la capacidad de usar los modelos adecuados para que se apliquen de manera correcta en la carrera. Así como también hace hincapié que en el tema de automatización y aún más con la ayuda de un computador se obtiene una eficacia mejor y una adquisición de datos precisa.

Con respecto a experimentos en laboratorios que se han dado se ha empleado los mismos principios, todos estos basados en la Ley de Fourier de la conducción de calor para ello en varios laboratorios como varios autores nos hacen mención. Fica S., Maggi S. & Quezada F., Figueroa R., Mecánica F. y Rodríguez O. [19-20-21-22] han realizado experimentos en pequeñas escalas, pero con resultados positivos por lo cual está demostrado que se puede en primer lugar determinar a través de esto que la transferencia de calor por conducción aun sin contar con elementos de automatización es posible realizarlos.

### 3.2. Introducción

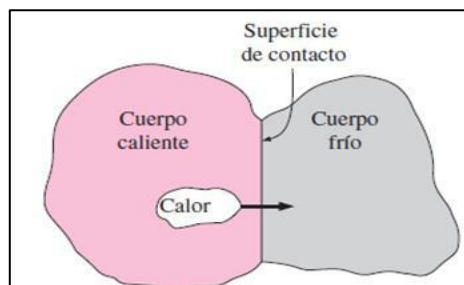
La conductividad térmica es la modalidad de transferencia de calor que tiene lugar en un material por la conducción de calor en el mismo. Se elige un sólido para la demostración de conducción pura, ya que los líquidos, así como los gases muestran una excesiva transferencia de calor conductiva. La demostración de conducción lineal puede ser estudiada con el módulo de conducción de calor monitoreada desde el computador.

El objetivo de este capítulo es el análisis de los fundamentos teóricos fundamentales para la elaboración del módulo de prácticas de laboratorios de transferencia de calor por conducción radial y axial.

### 3.3. Antecedentes de la termodinámica y energía

El calor siempre se ha percibido como algo que produce una sensación de tibieza y se podría pensar que su naturaleza es una de las primeras cosas comprendidas por la humanidad.

[4] Cengel Y. & Boles M., definen el calor como la energía asociada con el movimiento aleatorio de los átomos y moléculas. Aun cuando en el siglo XVIII y a principios del XIX se sugirió que el calor es la manifestación del movimiento en el nivel molecular (llamada la fuerza viva), la visión prevaleciente en ese sentido hasta mediados del siglo XIX se basaba en la teoría del calórico propuesta por el químico francés Antoine Lavoisier (1743-1794), en 1789. La teoría de la transferencia de calor afirma que el calor es una sustancia semejante a un fluido, llamada calórico, que no tiene masa, es incoloro, inodoro e insípido y se puede verter de un cuerpo a otro. Como se detalla en la figura 3.1 la teoría de la transferencia de calor.



**Figura 3.1.** Teoría de la transferencia de calor

**Fuente:** [5]

La energía se puede transferir hacia una masa dada, o desde ésta, por dos mecanismos: calor  $Q$  y trabajo  $W$ . El trabajo realizado por unidad de tiempo se llama potencia y se denota por  $W$ . La unidad de potencia es el W o el hp ( $1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$ ).

La transferencia de energía siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada

hacia el de la temperatura más baja y esa transferencia se detiene cuando ambos alcanzan la misma temperatura. La cantidad de transferencia de calor para cualquier sistema que pase por cualquier proceso, con la aplicación del análisis termodinámico, Cengel Y. & Boles M. [4].

La termodinámica trata de los estados de equilibrio y de los cambios desde un estado de equilibrio hacia otro. Por otra parte, la transferencia de calor se ocupa de los sistemas en los que falta el equilibrio térmico y, por tanto, existe un fenómeno de no equilibrio. Por lo tanto, el estudio de la transferencia de calor no puede basarse sólo en los principios de la termodinámica. Sin embargo, las leyes de la termodinámica ponen la estructura para la ciencia de la transferencia de calor. La termodinámica se interesa en la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro, y no indica cuánto tiempo transcurrirá.

### 3.1.1. Primera ley de la termodinámica

La primera ley de la termodinámica, también conocida como principio de conservación de la energía, expresa que, en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; sólo puede cambiar las formas. Por lo tanto, toda pequeña cantidad de energía debe tomarse en cuenta en el curso de un proceso.

El principio de conservación de la energía (o balance de energía) para cualquier sistema que pasa por cualquier proceso se puede expresar como sigue: El cambio neto (aumento o disminución) en la energía total de un sistema en el curso de un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale en el desarrollo de ese proceso.

La energía es una propiedad y el valor de una propiedad no cambia a menos que cambie el estado del sistema. Por lo tanto, el cambio en la energía de un sistema es cero ( $\Delta E_{sistema} = 0$ ), si el estado de ese sistema no cambia durante el proceso, entonces el proceso es estacionario. En este caso, el balance de energía se reduce. Como nos muestra la figura 3.2.

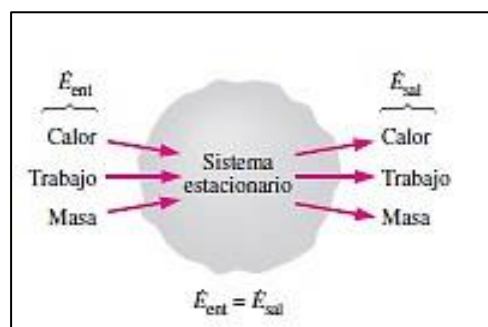


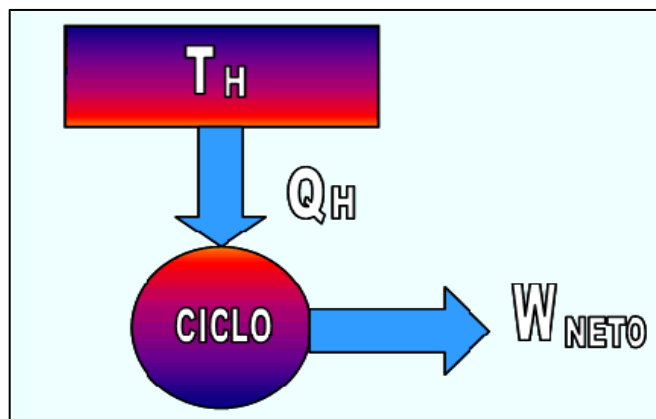
Figura 3.2. Primera ley de la termodinámica

Fuente: [5]

### 3.1.2. Segunda ley de la termodinámica

La incapacidad de la primera ley de identificar si un proceso puede llevarse a cabo es remediado al introducir otro principio general, la segunda ley de la termodinámica. La primera ley no restringe la dirección de un proceso, pero satisfacerla no asegura que el proceso ocurrirá realmente. Cuando los procesos no se pueden dar, esto se puede detectar con la ayuda de una propiedad llamada entropía. Un proceso no sucede a menos que satisfaga la primera y la segunda ley de la termodinámica. El empleo de la segunda ley de la termodinámica no se limita a identificar la dirección de los procesos. La segunda ley también afirma que la energía tiene calidad, así como cantidad.

Para Hernández [5], esta ley regula la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, la imposibilidad de que ocurran en el sentido contrario. También establece, en algunos casos, la imposibilidad de convertir completamente toda la energía de un tipo en otro sin pérdidas. En la figura 3.3. se puede apreciar lo que autor menciona.



**Figura 3.3.** Segunda ley de la termodinámica

**Fuente:** [6]

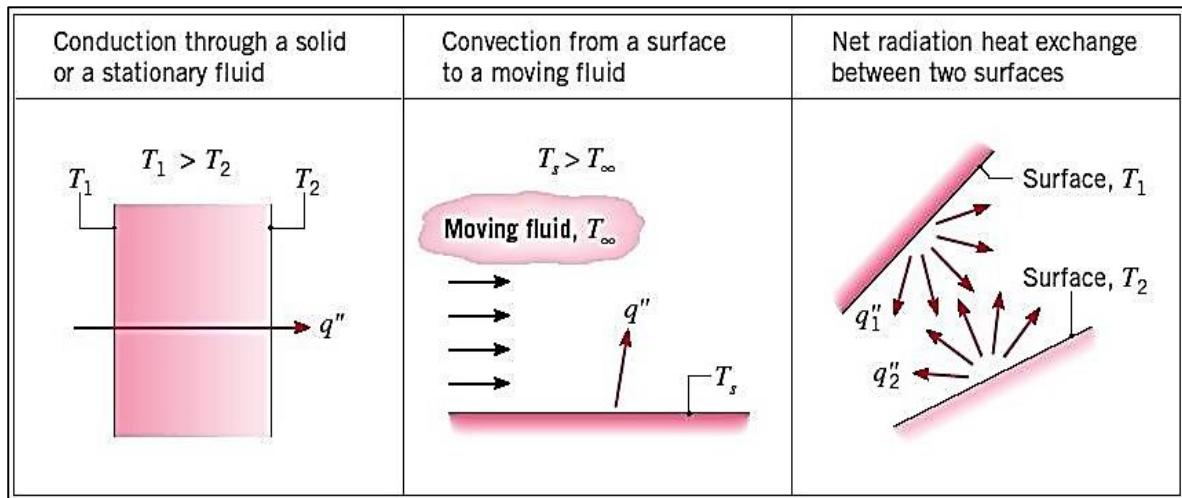
De esta forma, La segunda ley impone restricciones para las transferencias de energía que hipotéticamente pudieran llevarse a cabo teniendo en cuenta sólo el primer principio.

### 3.4. Transferencia de calor

Según Grajales R. [6], las leyes de la termodinámica tratan de la transferencia de energía, pero solo se refieren a sistemas que están en equilibrio. Por ello, permiten determinar la cantidad de energía requerida para cambiar un sistema de un estado de equilibrio a otro, pero no sirven para predecir la rapidez con que puedan producirse estos cambios. La transferencia de calor complementa la primera y la segunda ley, proporcionando los métodos de análisis que pueden



utilizarse para predecir esta velocidad de transmisión. En la figura 3.4 se puede observar los diferentes métodos de transferencia de calor entre ellos la conducción.



**Figura 3.4.** Modos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación

**Fuente:** [2]

La ciencia de la transferencia de calor no sólo trata de explicar cómo puede ser transferida la energía calorífica, sino también trata de predecir la rapidez a la que se realizará este intercambio bajo ciertas condiciones especificadas. El hecho de que un régimen de transferencia de calor sea el objetivo deseado de un análisis, señala la diferencia entre la transferencia de calor y la termodinámica, Holman J. [7].

La transferencia de calor completa al primer y segundo principio de la termodinámica, al proporcionar reglas experimentales adicionales que se pueden utilizar para establecer rapidez de transferencia de energía.

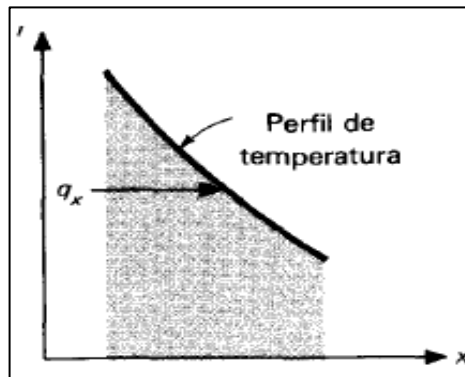
### 3.4.1. Transferencia de calor por conducción

La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas.

En el caso de líquidos y gases, tal transferencia es importante siempre que se tomen las precauciones debidas para eliminar las corrientes naturales del flujo que pueden presentarse como consecuencia de las diferencias de densidad que presentan ambos fluidos. De aquí la transferencia de calor por conducción sea de particular importancia en sólidos sujetos a una variación de temperaturas, Manrique J. [8].

Al haber un gradiente de temperatura en el medio, la segunda ley de la termodinámica establece que la transferencia de calor se lleva a cabo de la región de mayor temperatura a la de menor.

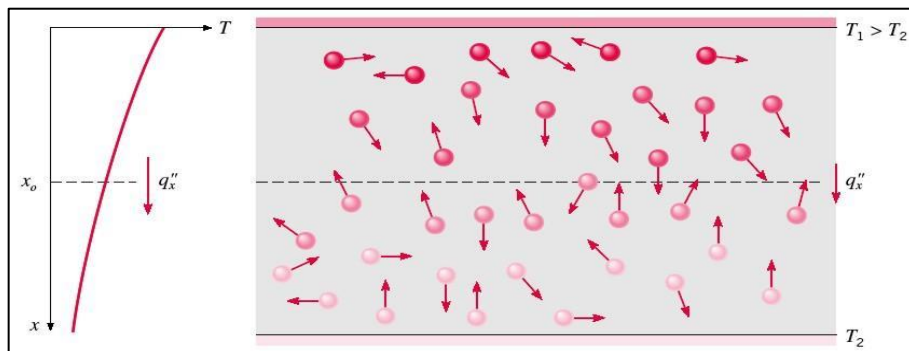
En sus estudios Holman J. [7], ha demostrado que cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, hay una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura. La energía es transferida por conducción y que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura, cuando  $k$  es positivo se le llama conductividad térmica del material y el signo menos se inserta para que se satisfaga el segundo principio de la termodinámica, es decir, el calor deberá fluir hacia abajo en la escala de temperatura. Como se detalla en la figura 3.5.



**Figura 3.5:** Esquema que muestra la dirección del flujo de calor

**Fuente:** [8]

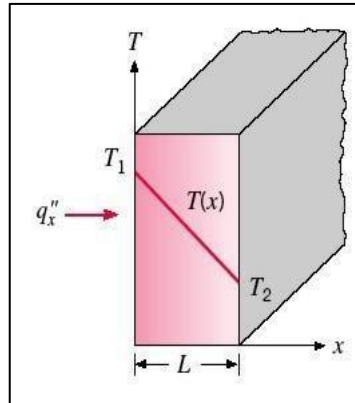
Para Incropera F. & De Witt D. [1], la conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas. Las temperaturas más altas se asocian con las energías moleculares más altas y, cuando las moléculas vecinas chocan, como lo hacen constantemente, debe ocurrir una transferencia de energía de las moléculas más energéticas a las menos energéticas. En la figura 3.6. se puede apreciar de mejor manera lo que autor nos menciona.



**Figura 3.6.** Asociación de la conducción con la difusión de la energía debido a la actividad molecular

**Fuente:** [2]

Se llama difusión de la energía a la transferencia neta de energía por movimiento molecular aleatorio. Como en la figura 3.7. se puede apreciar lo antes expuesto.



**Figura 3.7.** Transferencia de calor por conducción unidimensional

**Fuente:** [2]

### 3.4.2. Conductividad térmica de los materiales

Cuando los materiales tienen una alta conductividad térmica se denominan conductores; los que tienen baja se llaman aislantes, cabe agregar que las conductividades térmica y eléctrica de los metales puros están relacionados entre sí. Sin embargo, a temperaturas muy bajas los metales se toman superconductores de la electricidad, pero no del calor. En la tabla 3.1 se puede observar que los aislantes tienen una conductividad térmica entre los 0.03 y 0.04 W/m°C, en tanto la del cobre es del orden de 400 W/m°C.

**Tabla 3.1** Conductividad térmica de algunos materiales o sustancias a 300k

MATERIAL	K, W/m°C
Poli estireno Rígido	0.027
Fibra de vidrio	0.036
Aire	0.0263
Agua	0.613
Ladrillo común	0.72
Refractario	1.0
Acero AISI 302	15.1
Acero AISI 1010	63.9
Aluminio puro	237
Cobre puro	401

**Fuente:** [2]

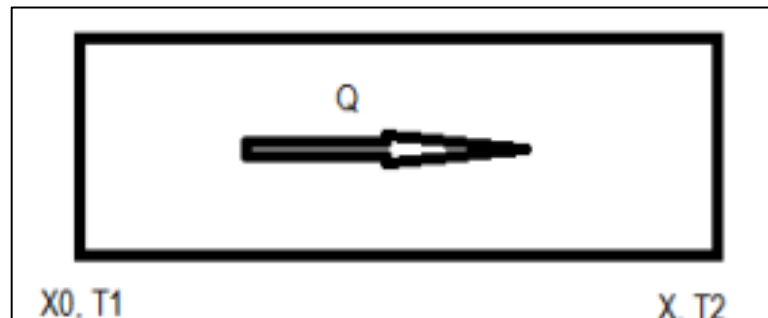
### 3.5. Ley de Fourier para transferencia de calor

La ley de Fourier es la ecuación fundamental de transferencia de calor por conducción, según Incropera F. y De Witt D. [1], implica que el flujo de calor es una cantidad direccional. De forma más general, la dirección del flujo de calor siempre será normal hacia una superficie de temperatura constante, denominada superficie isotérmica.

#### 3.5.1. Conducción axial

Jaramillo J. [9], siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor.

Cuando existe un gradiente de temperatura en un medio estacionario que puede ser sólido o un fluido, utilizamos el término conducción para referirnos a la transferencia de calor que se producirá a través del medio. En la figura 3.8. se puede observar de mejor manera la dirección que sigue el flujo de calor en dos distintos puntos, para el caso la conducción axial o lineal.



**Figura 3.8.** Transferencia de calor por conducción axial

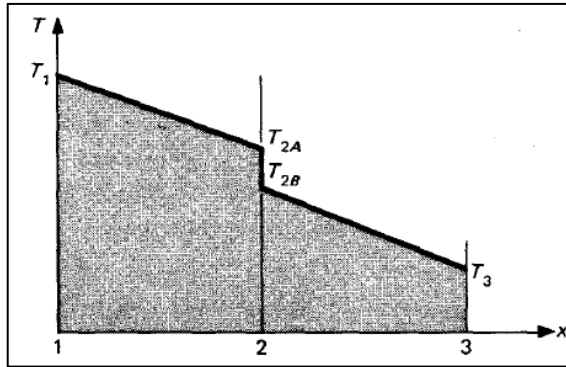
**Fuente:** [11]

#### 3.5.2. Resistencia de contacto

En sistemas compuestos, la caída de temperatura a lo largo de la interfaz entre los materiales puede ser grande. Este cambio de temperatura se atribuye a lo que se conoce como resistencia térmica de contacto,  $R_{t,c}$  y para una unidad de área de la interfaz, la resistencia se define como:

La existencia de una resistencia de contacto finita se debe principalmente a los efectos de la rugosidad en la superficie. Se entremezclan puntos de contacto con huecos que en muchos casos se llenan con aire. La transferencia de calor se debe, por tanto, a la conducción a través del área de contacto real y a la conducción y/o radiación por los huecos.

Tal y como se puede apreciar en la figura 3.9. donde tenemos 3 puntos de temperaturas a diferentes distancias, lo cual nos permite apreciar el efecto de la resistencia térmica que se produce en la transferencia de calor.



**Figura 3.9.** Efecto de la resistencia térmica

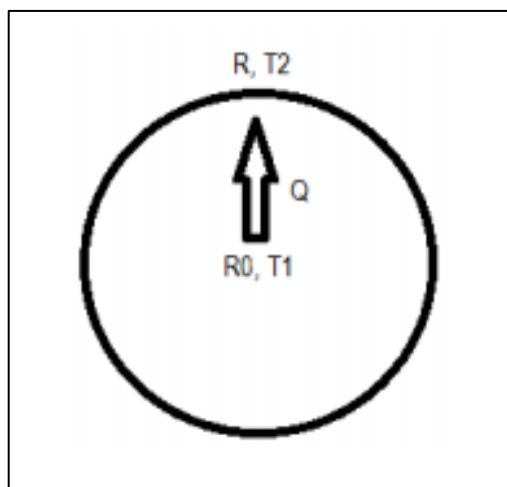
**Fuente:** [8]

La resistencia de contacto se considera como dos resistencias paralelas: la que se debe a los puntos de contacto y la de los huecos. El área de contacto es normalmente pequeña y, en especial para superficies rugosas la contribución principal a la resistencia la realizan los huecos.

### 3.5.3. Conducción radial

En la figura 3.10. se puede apreciar el esquema de la conducción radial, esta configuración se analiza con la misma ecuación (difusión de calor), pero en coordenadas cilíndricas ( $r, \Phi, z$ ), y considerando:

- Material isotrópico,  $k$  (conductividad) constante.
- Estado estable.
- No hay generación de energía al interior del disco.
- Transferencia de calor en una dirección (radial).



**Figura 3.10.** Transferencia de calor por conducción radial

**Fuente:** [11]

### **3.6. Descripción general del módulo de conducción de calor**

El proyecto consiste en realizar un módulo de transferencia de calor por conducción radial y axial, monitoreada desde un computador PC, de manera física para prácticas de laboratorio de la materia de termo aplicada dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi, aportando así con innovación tecnológica en la institución.

El módulo de conducción de calor será monitoreado todos sus datos desde el computador, el mismo que consiste en dos módulos calentados eléctricamente.

La instrumentación suministrada en el equipo permite realizar las medidas de temperatura y de la potencia eléctrica dada al elemento calefactor (resistencia). Para el control de la energía dada hay un circuito de control que permite el encendido y apagado del calefactor para el uso de la potencia máxima de la resistencia, debido a que se requiere un flujo de calor uniforme y estable.

El módulo de conducción de calor lineal se suministra con muestras intercambiables en forma de cilindros de diferentes materiales, diferentes diámetros y diferentes materiales aislantes, que permiten demostrar los efectos de área, la conductividad y las combinaciones en serie en los procesos de transferencia de calor.

Cuenta con 9 termocuplas tipo k para la toma de la temperatura a lo largo de su estructura, mismas que permiten obtener datos reales en puntos específicos del módulo.

El módulo de conducción de calor radial consiste en un disco con un sistema de refrigeración en su final. En este módulo hay 4 tomas de temperatura situadas a lo largo de su radio. El elemento calefactor está localizado exactamente en el centro, rodeado por efectivo material aislante.

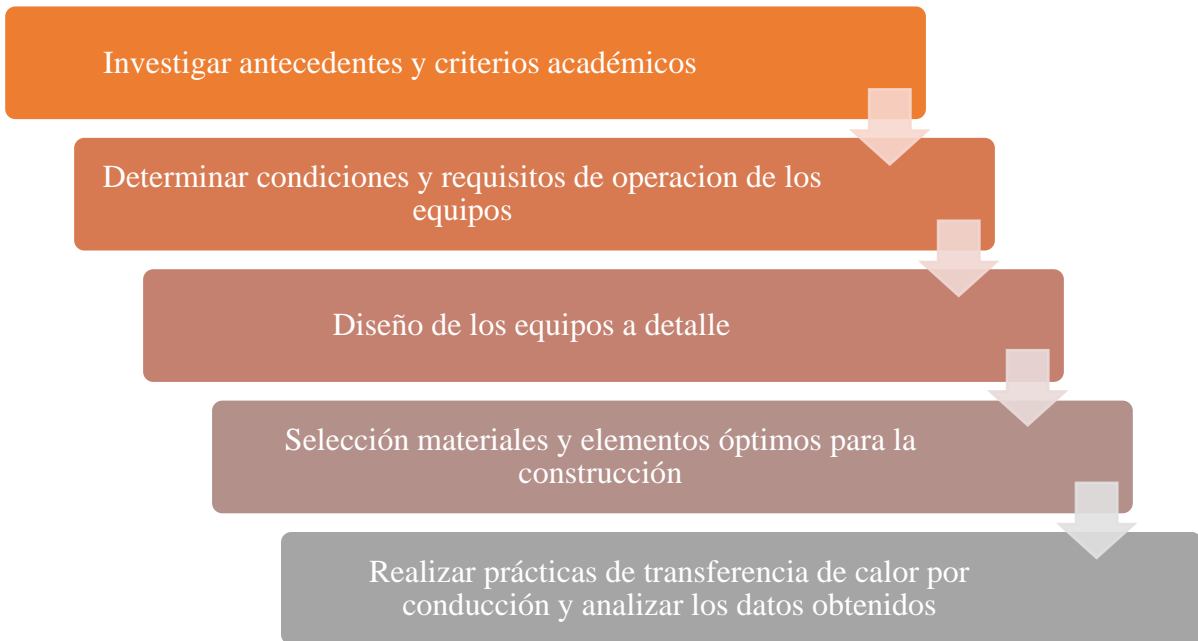
Los dos módulos incorporan; pantallas LCD y sensores de temperatura en la entrada y salida de los equipos para poder visualizar datos reales.

Este equipo será monitoreado desde el computador para lo cual se suministra con la interfaz Arduino – labview que desde un computador se podrá monitorear y así mismo visualizar los datos y parámetros que intervienen en el proceso.

## **4. METODOLOGÍA**

El presente proyecto de titulación se considera que es cuasi experimental, por lo tanto, se empleara el método científico como general, así como también se adiciona el método experimental como alternativa empírica de estudio de un objeto, la cual aclara las condiciones reales y ayuda de manera representativa a la investigación.

#### 4.1. Etapas del proyecto



**Figura 4.1.** Diagrama de flujo metodológico

El presente proyecto consta de diversas etapas entre las cuales se procede a una investigación previa de los fundamentos teóricos para culminar con la construcción según parámetros determinados por varios autores, y la posterior práctica que se realizara cumpliendo cada uno de los objetivos propuestos, nos lleva al buen desarrollo de los equipos de conducción

#### 4.2. Características de los módulos de conducción axial y radial

Los módulos de conducción axial y radial su diseño se lo realiza en base a las condiciones técnicas de Grajales R. y Manrique J. [6-8], mismos que nos dan una idea para su diseño y construcción, luego de realizar una investigación en diversas fuentes de información, con el único fin de reducir costos de fabricación y evitar la pérdida o empleo innecesario de materiales.

Una vez construido los módulos de conducción, se toma muy en cuenta las variables que se presentan en el proceso y que van a ser objeto de estudio, es decir la temperatura a la cual se va a dar el proceso de transferencia de calor, la geometría del material y su espesor, y al final de todo esto obtener resultados del flujo de calor transferido y también comparar los datos de la conductividad térmica de los materiales empleados con las referencias propuestas.

A continuación, se presenta las partes que constituyen los módulos de conducción:

- Control de temperatura. –A cargo de un controlador de temperatura, y termocuplas para la adquisición de datos.

- Control de la refrigeración del agua. –Se lo realizara con serpentines distribuidos a lo largo de los módulos.
- Calentamiento. –Es el trabajo que van a realizar las resistencias por contacto en ambos módulos.
- Aislamiento. –Se lo realiza con lana de vidrio y ladrillo refractario.
- Exterior de los módulos. – Elaborados con termoplásticos de un material refractario que será el aislante térmico.
- Interior de los módulos. –Construidos con material refractario y donde se aloja la resistencia.
- Secciones intercambiables modulo axial. –Construidas de diferentes materiales que serán quienes aporten con los datos necesarios para los ensayos.
- Sección de ensayo modulo radial. –Un disco de acero se colocará en el centro y este tendrá contacto directo con la resistencia, este permite la obtención de datos a lo largo de su sección.
- Adquisición de datos. –Una tarjeta electrónica receptara toda la información proveniente de ambos módulos.
- Visualización. – Pantallas LCD permitirán observar los datos del proceso en tiempo real.
- Interfaz HMI. – Se adecuará una tarjeta Arduino y una programación en labview para monitorear el estado del proceso de transferencia de calor.

Las dimensiones tanto para el interior y exterior de ambos módulos nos basamos en equipos que se comercializan en el mercado internacional y tomamos de referencia las características que nos sugieren, Grajales R. y Manrique J. [6-8]. Con los datos obtenidos de estas empresas se dimensiono y posteriormente se procedió a diseñar y adaptar a las condiciones que necesitamos ya que debido a los demás componentes y a su elevado precio se realizó modificaciones importantes en el diseño y construcción, para implementar en el laboratorio de termo aplicada de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Las dimensiones de los exteriores de los módulos son respectivamente, como se puede apreciar en la tabla 4.1. elaborada por los autores según si criterio.

**Tabla 4.1.** Dimensiones de los módulos de transferencia de calor por conducción

Dimensiones de los módulos	
Módulo de conducción	Módulo de conducción



axial		radial	
Altura:	0,29 m	Altura:	0,20 m
Ancho:	0,43 m	Ancho:	0,43 m
Profundidad:	0,21 m	Profundidad:	0,18 m
Longitud:	0,32 m	Longitud:	0,30 m

Las presentes medidas además de ser tomadas como referencias bibliográficas, se las dedujo debido a que a estas longitudes y diámetros se puede manipular y fabricar los equipos además de que se puede dar una buena condición de aislamiento, además del material seleccionado no solo por su dureza y resistencia como es el acero galvanizado para los exteriores sino además por las propiedades que este ofrece y por el tema de acabados.

### 4.3. Desarrollo de prácticas de laboratorio por conducción

En esta parte del proyecto se quiere llegar a determinar la capacidad para experimentar, y comprender la ley de Fourier que a través de cálculo se obtendrá el flujo de calor transferido en el proceso, permitiendo comparar valores medidos vs valores propuestos de las citas tomadas para la conductividad térmica para materiales conductores y aislantes, además de eso la caída de temperaturas en la unión de la resistencia por contacto y la pared a la cual se une.

### 4.4. Cálculo de transferencia de calor por conducción axial y radial

#### 4.4.1. Primera ley de la termodinámica

$$E_{ent} - E_{sal} = \Delta E_{sistema} [J] \quad (4-1)$$

#### 4.4.2. Transferencia de calor por conducción

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x}$$

Cuando se inserta la constante de proporcionalidad,

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4-2)$$

Donde:

$q$ : rapidez de transferencia de calor

$\partial T/\partial x$ : gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor

$k$ : conductividad térmica del material [W/m. K]

#### 4.4.3. Ley de Fourier

La ley de Fourier es la ecuación fundamental de transferencia de calor por conducción:

$$Q_{cond} = -KA \frac{dT}{dX} \quad (4.3)$$

Donde:

$Q$ : flujo de calor [W]

$A$ : área perpendicular a la dirección en la cual fluye el calor [m<sup>2</sup>, mm<sup>2</sup>, cm<sup>2</sup>]

$\partial T/\partial x$ : gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor

$k$ : conductividad térmica; propiedad característica de cada material [W/m. K]

#### 4.4.4. Conducción axial

Para el desarrollo de la práctica para conducción axial en el módulo se tiene 8 tomas de medición a lo largo de su longitud.

Integrando la ecuación de la ley de Fourier para conducción axial se tiene:

$$Q \int_{x_0}^x dX = -kA \int_{T_1}^{T_2} dT$$

Área constante:

$$Q = -KA \frac{(T_2 - T_1)}{(X - X_0)} \quad (4.4)$$

Donde:

$Q$ : flujo de calor [W]

$A$ : área perpendicular a la dirección en la cual fluye el calor [m<sup>2</sup>, mm<sup>2</sup>, cm<sup>2</sup>]

$\partial T/\partial x$ : gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor

$k$ : conductividad térmica; propiedad característica de cada material [W/m. K]

$(T_2 - T_1)$ : diferencia de temperatura que existe en dos puntos [°C]

$(X - X_0)$ : diferencia de distancia entre dos puntos [m, cm, mm]

#### 4.4.5. Resistencia térmica de contacto:

$$R_{t,c} = \frac{T_A - T_B}{q''_x} \quad (4.5)$$

Donde:

$q''_x$ : flujo de calor en kJ por unidad de tiempo por unidad de área

$(T_A - T_B)$ : diferencia de temperatura a lo largo de la resistencia [°C, K]

#### 4.4.6. Resistencia de cartucho potencias seleccionadas

**Tabla 4.2.** Datos técnicos de la resistencia de cartucho (Contacto)

Características técnicas de la resistencia por contacto	
Marca	Omega
Voltaje	110 V
Potencia módulo lineal	50 W
Potencia módulo radial	150 W

#### 4.4.7. Medidas y coeficientes térmicos de las probetas de ensayo axial

**Tabla 4.3.** Datos de las probetas de ensayos para conducción axial

Medidas de las probetas de ensayo para conducción axial y radial				
	Material	$\Phi$ [mm]	L [mm]	K [W/m.K]
				300K
Axial	Barra de cobre puro	15	80	404
	Barra de acero puro	15	80	14,9
	Barra de aluminio puro	15	80	237

Fuente: [2]

#### 4.4.8. Práctica de transferencia de calor por conducción axial

**Tabla 4.4.** Mediciones para la configuración axial y material cobre puro

Datos experimentales (Cobre puro $\phi$ 15 mm) área constante						
Sección T [°C]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta x$ [mm, cm, m]	P [W]	A [m <sup>2</sup> ]	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$	
$T_4 - T_5$	$\Delta T = T_4 - T_5$	$\Delta x = X_5 - X_4$	$P = I^2 R$	$A = \pi r^2$	$K_{4-5}$	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T}$

$T_5 - T_6$	$\Delta T = T_5 - T_6$	$\Delta x = X_6 - X_5$	$P = I^2 R$	$A = \pi r^2$	$K_{5-6}$	$K = \frac{\dot{Q} \Delta x}{A \Delta T}$
$K_{\text{Promedio}} = \Sigma(K)/2$ [W/m.K]					$K_{\text{Promedio}} = \Sigma(K)/2$	

**Tabla 4.5.** Mediciones para la configuración axial y material aluminio puro

Datos experimentales (Aluminio puro $\phi$ 15 mm) área constante						
Sección T [°C]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta x$ [mm, cm, m]	$P$ [W]	$A$ [m <sup>2</sup> ]	$K = \frac{\dot{Q} \Delta x}{A \Delta T} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$	
$T_4 - T_5$	$\Delta T = T_4 - T_5$	$\Delta x = X_5 - X_4$	$P = I^2 R$	$A = \pi r^2$	$K_{4-5}$	$K = \frac{\dot{Q} \Delta x}{A \Delta T}$
$T_5 - T_6$	$\Delta T = T_5 - T_6$	$\Delta x = X_6 - X_5$	$P = I^2 R$	$A = \pi r^2$	$K_{5-6}$	$K = \frac{\dot{Q} \Delta x}{A \Delta T}$
$K_{\text{Promedio}} = \Sigma(K)/2$ [W/m.K]					$K_{\text{Promedio}} = \Sigma(K)/2$	

**Tabla 4.6.** Mediciones para la configuración axial y material acero puro

Datos experimentales (Acero puro $\phi$ 15 mm) área constante						
Sección T [°C]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta x$ [mm, cm, m]	$P$ [W]	$A$ [m <sup>2</sup> ]	$K = \frac{\dot{Q} \Delta x}{A \Delta T} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$	
$T_4 - T_5$	$\Delta T = T_4 - T_5$	$\Delta x = X_5 - X_4$	$P = I^2 R$	$A = \pi r^2$	$K_{4-5}$	$K = \frac{\dot{Q} \Delta x}{A \Delta T}$
$T_5 - T_6$	$\Delta T = T_5 - T_6$	$\Delta x = X_6 - X_5$	$P = I^2 R$	$A = \pi r^2$	$K_{5-6}$	$K = \frac{\dot{Q} \Delta x}{A \Delta T}$
$K_{\text{Promedio}} = \Sigma(K)/2$ [W/m.K]					$K_{\text{Promedio}} = \Sigma(K)/2$	

#### 4.4.9. Conducción radial

Para el desarrollo de la práctica para conducción axial en el módulo se tiene 9 tomas de medición a lo largo de su longitud.

Integrando la ecuación de la ley de Fourier por conducción radial tenemos que:

$$Q \int_{R_0}^R \frac{dr}{r} = -k \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$A=2\pi rL$$

$$\frac{Q}{2\pi rL} \int_{R_0}^R \frac{dr}{r} = -k \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$K = Q \frac{\ln\left(\frac{R}{R_0}\right)}{2\pi rL (T_1 - T_2)} \quad (4.6)$$

Donde:

K= Conductividad térmica del material [W/m. K]

L= Espesor del disco [m, cm, mm]

Rn= Radio en la posición n [m, cm, mm]

Tn= Temperatura en la posición n [°C, K]

Q= Potencia suministrada por la resistencia [KW, W]

#### 4.4.10. Medida y coeficiente térmico probeta de ensayo radial

**Tabla 4.7.** Datos de las probetas de ensayos para conducción radial

Medidas de las probetas de ensayo para conducción radial				
Radial	Material	Φ (mm)	e (mm)	K [W/m.K]
				300K
	Disco de aluminio puro	140	10	237

#### 4.4.11. Práctica de transferencia de calor por conducción radial

**Tabla 4.8.** Mediciones para la configuración radial y material aluminio puro

Datos experimentales (Aluminio puro φ 140mm)				
Sección T [°C]	ΔT [°C]	Δx [mm, cm, m]	P[W]	$K = \frac{\dot{Q} L_n \frac{r_2}{r_1}}{2\pi * L (T_1 - T_2)} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$
T <sub>2</sub> - T <sub>3</sub>	ΔT = T <sub>2</sub> - T <sub>3</sub>	Δx = D <sub>3</sub> - D <sub>2</sub>	P = I <sup>2</sup> R	K <sub>2-3</sub> $K = \frac{\dot{Q} L_n \frac{r_3}{r_2}}{2\pi * L (T_2 - T_3)} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$
T <sub>3</sub> - T <sub>4</sub>	ΔT = T <sub>3</sub> - T <sub>4</sub>	Δx = D <sub>4</sub> - D <sub>3</sub>	P = I <sup>2</sup> R	K <sub>3-4</sub> $K = \frac{\dot{Q} L_n \frac{r_4}{r_3}}{2\pi * L (T_3 - T_4)} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$

$T_4 - T_5$	$\Delta T = T_4 - T_5$	$\Delta x = D_5 - D_4$	$P = I^2 R$ $K_{4.5}$	$K = \frac{\dot{Q} L_n r_4^2}{2\pi * L (T_4 - T_5)} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
$K_{Promedio} = \Sigma(K)/3 \text{ [W/m.K]}$				$K_{Promedio} = \Sigma(K)/3$

#### 4.5. Análisis y selección de los materiales

##### 4.5.1. Acero galvanizado

Apuntes [12], nos menciona que el acero galvanizado es un acero tratado superficialmente con zinc para protegerlo de la corrosión. Como se detalla en la figura 4.2.



**Figura 4.2.** Tubo de acero galvanizado

**Fuente:** [12]

##### 4.5.2. Norma INEN 2415. Tubos de acero al carbono

Para el INEN [13], nos dice que esta norma establece los requisitos que deben cumplir los tubos de acero al carbono tanto negros como galvanizados, conformados en frío, soldados (con costura) de sección circular, cuadrada, rectangular o especial para aplicaciones estructurales y usos generales. Es por ello que basado en los datos que nos sugiere la norma se procede a la selección del elemento para la cubierta de los equipos.

##### 4.5.3. Materiales de las probetas de ensayo para transferencia de calor

###### 4.5.3.1. Barra de cobre puro

Según Termiser.com [14], nos menciona que “el cobre es también un buen conductor del calor. Esto significa que, si se calienta un extremo de una pieza de cobre, el otro extremo alcanzará la misma temperatura rápidamente. Por eso se utiliza en muchas aplicaciones de calefacción, ya que no se corroe y tiene un punto de fusión alto.” Como se muestra en la figura 4.3.



**Figura. 4.3.** Barra de cobre puro

**Fuente:** [14]

#### **4.5.3.2. Barra de aluminio**

Para la Universidad de Cádiz [15], “Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería mecánica, tales como su baja densidad ( $2.700 \text{ kg/m}^3$ ) y su alta resistencia a la corrosión”. Su coeficiente térmico de conductividad es de 80 a  $230 \text{ W}$ . A continuación, se puede observar la figura 4.4.



**Figura 4.4.** Barra de aluminio puro

**Fuente:** [15]

#### **4.5.3.3. Barra de acero puro**

El sitio web GoodFellow nos menciona que [16], “El acero puro de uso general con una estructura cúbica de caras centradas”. Y su coeficiente de conductividad térmica varía entre los siguientes valores de  $130$ . Como se indica en la figura 4.5.



**Figura 4.5.** Barra de acero puro

**Fuente:** [16]

#### **4.5.4. Material refractario ladrillo refractario**

La Llave [17], nos dice que es un tipo de material cerámico que posee una serie de características que permite hacer un gran uso de este dentro de instalaciones industriales o en trabajos de estufas domésticas, es un material con alta resistencia, estabilidad mecánica e inertes químicamente a temperaturas del orden de  $1400^{\circ}\text{C}$  y superiores. A continuación, se detalla en la figura 4.6.



**Figura 4.6.** Ladrillo refractario

**Fuente:** [17]

#### **4.5.5. Características generales de los ladrillos refractarios**

- Soportan altas temperaturas sin fundir o descomponerse (elevada estabilidad térmica)
- Elevada resistencia a fluencia
- Químicamente inertes bajo medios agresivos
- Baja conductividad térmica (Aislantes térmicos)



#### 4.5.6. Manta aislante de lana mineral de roca

Calorcol [18], menciona que la lana de vidrio es un material aislante térmico y acústico utilizado en la construcción y en la industria. estructura está conformada por largas y finas fibras de vidrio ligadas con una resina térmicamente fraguada para formar una frazada aislante, de peso liviano y flexible. Como se muestra en la figura 4.7.



**Figura 4.7** Manta aislante de lana de roca mineral

**Fuente:** [18]

Su presentación es en rollos con medidas de 0.61m o 0.91m x 2.44m de largo. Las Mantas tienen una densidad estándar de 140 kg/m<sup>3</sup> (8.75 lb/pie<sup>3</sup>) y 100 kg/m<sup>3</sup> (6.25 lb/pie<sup>3</sup>).

#### 4.5.7. Propiedades de las mantas aislantes

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Unidad	Manta aislante
Descripción	Manta aislante de lana de roca mineral con malla en alambra galvanizado por ambos lados
Densidad	1000 kg/m <sup>3</sup> , 128 kg/m <sup>3</sup> y 140 kg/m <sup>3</sup>
T° de servicio	Hasta 750°C en régimen continuo
Contracción lineal	< 1% a 1200 °F
Absorción de humedad	< 1%
Combustibilidad	100% Incombustible

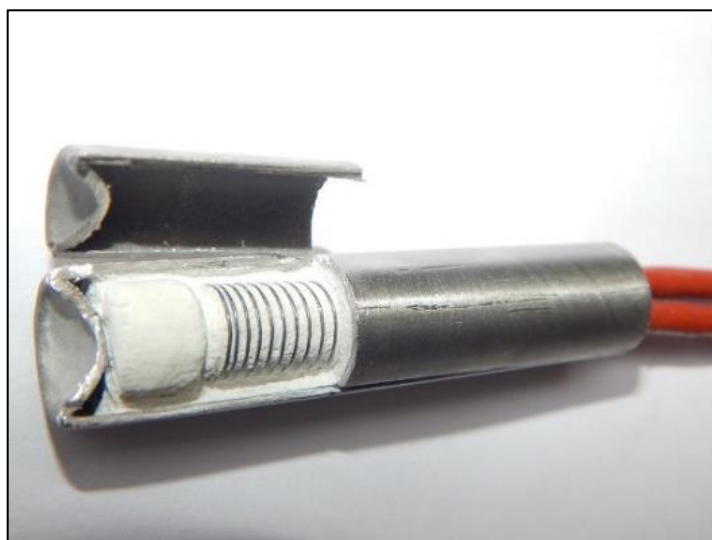
Norma	ASTM C592 – 00 Type II
Empaque	Bolsa polietileno reforzado

**Tabla 4.9.** Propiedades de la manta aislante de lana de roca mineral

**Fuente:** [18]

#### 4.5.8. Resistencia por contacto

Según Morales S. [19], Las resistencias son fabricadas mediante un proceso de compactación interno de todos sus componentes con el objeto de aumentar su vida útil. El hilo conductor este enrollado espiral mente sobre un cuerpo cerámico duro al cual se le introduce el cable conductor sin ningún empalme (ocasionalmente se puede producir un empalme en el exterior del cartucho) se introducen discos y cabezales cerámicos con el objeto de su aislamiento y protección.



**Figura 4.8.** Resistencia por contacto

**Fuente:** [18]

Son los indicados para soportar las más duras condiciones de trabajo vibraciones, humedad, caída de líquidos, dilataciones frecuentes y donde se requieran temperaturas entre 0°C y 750°C, o temperaturas en un mínimo espacio. Se detalla en la figura 4.8.

##### 4.5.8.1. Datos técnicos de las resistencias de contacto tubulares

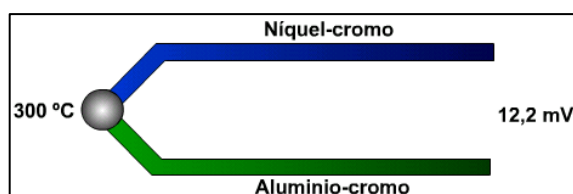
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS RESISTENCIAS DE CONTACTO</b>	
Voltaje de operación	110 V
Diámetro	10 mm

Potencia total radial	150 W
Potencia total axial	50 W

Estos datos son tomados por los autores quienes han decidido por condiciones de aislamiento estas potencias las más adecuadas para la correcta y segura manipulación de los equipos.

#### 4.5.9. Termocuplas tipo K

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo, fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos. Las termocuplas K están hechas con cromel (cromo - aluminio) y alumel (aluminio - níquel) ambos de color plateado brillante pero el alumel es levemente magnético por su contenido de níquel.



**Figura 4.9.** Esquema de una termocupla tipo K

**Fuente:** [20]

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal), Herrera J. [20]. En la figura 4.9 se puede apreciar el esquema.

**Tabla 4.8.** Límite de error para termopares: Unión de referencia 0°C

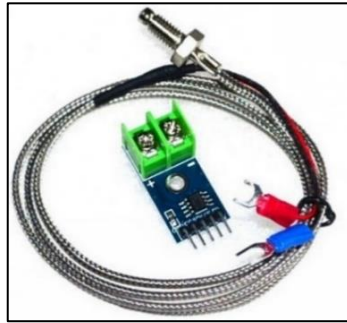
Tipo de termocupla	Rango de temperatura °C	Rango de temperatura °F	Límite de error	
			Estándar	Especial
Níquel – Cromo (Tipo K)	-180 - 1372	-292 – 2501,6	±2.2° C o ±0.75%	±1.1° C o ±0.4%

**Fuente:** [4]

#### 4.5.10. Acondicionador MAX-6675

El MAX6675 es un convertidor Analógico a digital especializado para termopares tipo K. Con este módulo es posible conectar fácilmente un termopar a cualquier microcontrolador a través de una interfaz SPI unidireccional. Dentro de este pequeño circuito se encuentra la electrónica necesaria para amplificar, compensar y convertir a digital el voltaje generado por el termopar,

lo que hace muy sencilla la tarea de conectar un termopar a un microcontrolador. GeekFactory [21]. Tal cual se puede apreciar en la figura 4.10.



**Figura 4.10.** Acondicionador Max 6775

**Fuente:** [21]

#### **4.5.11. Tarjeta electrónica de adquisición de datos**

Las tarjetas de adquisición de datos, sirven para obtener una muestra de una variable física (voltaje, temperatura, nivel de sonido), es decir, toman una señal de un sensor (sistema analógico) y después la adecuan para transformarla en un dato que pueda ser reconocido y registrado por un sistema digital, con el fin de que la pueda leer una computadora y realizar una tarea en específico mediante un software específico.

Para J. Pomares nos menciona que [22], El hardware consiste de un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, conectado bajo la configuración de "sistema mínimo" sobre una placa de circuito impreso a la que se le pueden conectar placas de expansión (shields) a través de la disposición de los puertos de entrada y salida presentes en la placa seleccionada.



**Figura 4.11.** Tarjeta electrónica de adquisición de datos

**Fuente:** [22]

La adquisición de datos es comúnmente conocida con las siglas DAQ por su significado en inglés, el cual es "data acquisition", el cual se refiere al proceso de medir con una computadora un fenómeno físico o eléctrico. Un sistema DAQ se conforma de 3 elementos principales: el sensor, las tarjetas de adquisición de datos (hardware) y una computadora (software programable)

#### 4.5.12. Controlador de temperatura CAMSCO REX-C700

El controlador de temperatura CAMSCO REX-C700 de 72x72 1200°C 110/220V permite el control en cuanto se refiere a los valores de temperatura que se van a dar en el proceso de transferencia de calor, para lo cual este dispositivo nos va a permitir determinar Set Points para las prácticas de manera que se tendrá temperaturas deseadas en los procesos. Figura 4.12.



Figura 4.12. Controlador de temperatura CAMSCO

#### 4.5.13. Datos técnicos del controlador de temperatura

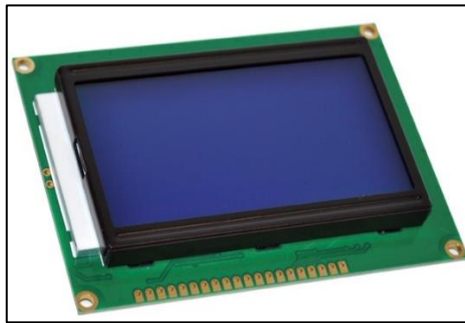
Se detalla a continuación las características técnicas del controlador de temperatura:

Tabla 4.9. Características del controlador de temperatura

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Modelo	REX-C700FK02
Medidas	72x72
Temperatura de operación (°C)	0-2000
Voltaje de operación (V)	110-220
Termocuplas	K, J, PT100, etc.

#### 4.5.14. Pantalla LCD

Se utilizó un panel LCD ya que es necesario visualizar la temperatura del proceso de transferencia de calor a la cual está funcionando el modulo. Los paneles LCD tienen diferentes tecnologías incluyendo modos de polarización positiva y negativa. Estos dispositivos ofrecen varias opciones en el formato de las fuentes de caracteres en las cuales se incluyen diferentes lenguas (Carrod Electrónica). En la figura 21, se observa un panel LCD. Como se indica en la figura 4.13.



**Figura 4.13.** Pantalla LCD

**Fuente:** [23]

#### 4.5.15. Luces piloto

Las luces de piloto son un elemento óptico que le indica al operador la presencia de electricidad en el tablero. Mostrando funciones de seguridad y necesidad del equipo. Tales como funcionamiento de la bomba, falla en el motor o entre otros servicios. Mediante los siguientes colores. El verde para funcionamiento normal, el rojo para la alarma y el ámbar para alguna alerta. Como se detalla en la figura 4.14.



**Figura 4.14.** Luces piloto

**Fuente:** [23]

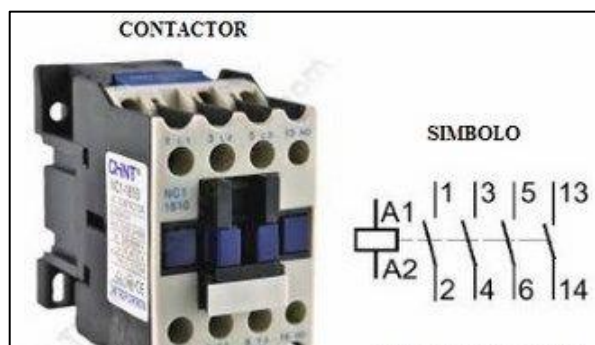
#### 4.5.16. Pulsadores de marcha y paro

Para el accionamiento de la bomba se usó un pulsador marca SIEMENS normalmente cerrado, el cual es necesario para apagar la bomba, este abre el circuito de mando mediante un pulso.

También se usó un pulsador marca SIEMENS normalmente abierto para el arranque, este cierra el circuito de mando mandando a activar el modulo.

#### 4.5.17. Contactores

Según Siemens [24], el contactor es un aparato eléctrico de mando a distancia, que puede cerrar o abrir circuitos, ya sea en vacío o en carga. Su principal aplicación es la de efectuar maniobras de apertura y cierra de circuitos eléctricos. Un contactor está formado por una bobina y unos contactos, que pueden estar abiertos o cerrados, y que hacen de interruptores de apertura y cierre de la corriente en el circuito. En la figura 4.15 se puede apreciar de mejor manera.



**Figura 4.15.** Contactor y esquema

**Fuente:** [24]

#### 4.5.18. Selector de posiciones

El selector de posiciones es un dispositivo cualquiera que reúna las posibilidades de elegir y efectuar un cierto número de accionamientos preestablecidos. Como se puede apreciar en la figura 4.16.



**Figura 4.16.** Selector de posiciones

**Fuente:** [23]

#### 4.5.19. Programación labview

Para el presente proyecto se utilizó una programación la cual está conectada entre Arduino y labview, la tarjeta Arduino nos permite recopilar todos los datos que van a censar las

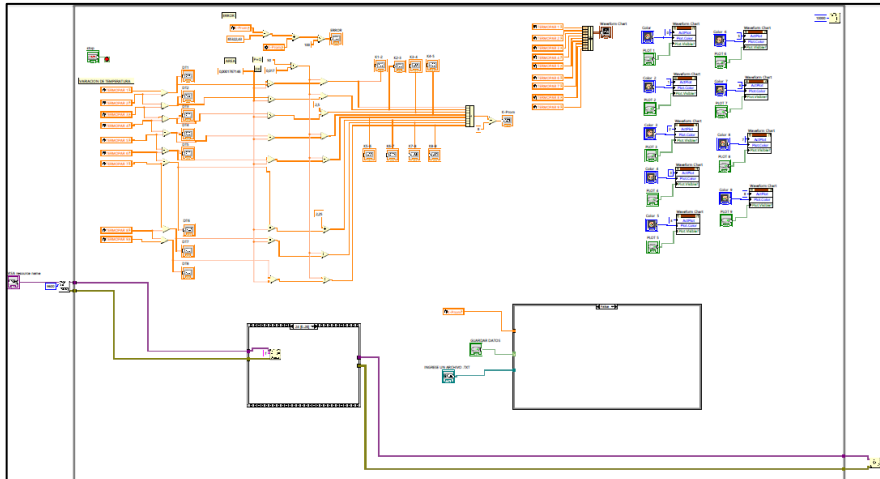
termocuplas, esta señal va a ser acondicionada por un elemento denominado acondicionador de señal Max este elemento es vital y de uso exclusivo para termocuplas tipo k, con todos estos datos obtenidos de la lectura se ingresa a la interfaz de labview en donde se procede a monitorear en tiempo real cada uno de los datos que se están obteniendo, esta programación es muy importante ya que con la correcta lectura, se puede llegar a determinar los objetivos propuestos, y a continuación se detalla en los gráficos 4.17 y 4.16, la interconexión que se presenta para la obtención de datos.



**Figura 4.17.** Interfaz de programación Labview

Se tiene los 9 termopares operando a una temperatura constante, como se puede observar en la imagen 4.17.





**Figura 4.18.** Esquema de programación en labview

Como se puede apreciar en la gráfica se tiene la programación en labview la cual nos va a permitir obtener datos en tiempo real.

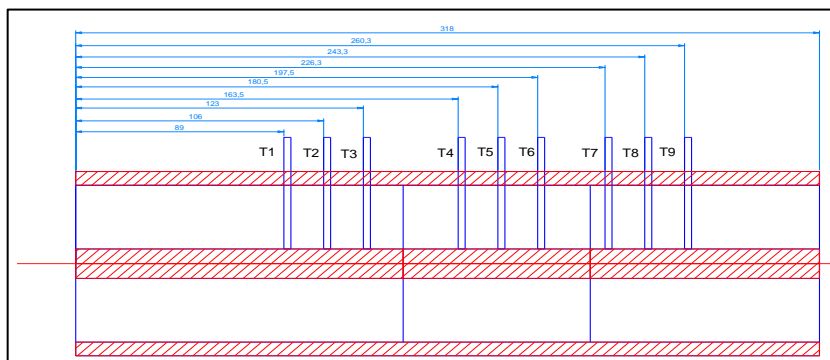
## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Desarrollo de la propuesta tecnológica

Para la realización del presente proyecto se parte de la necesidad de contar con equipos que faciliten las prácticas de laboratorio en la asignatura de Termo Aplicada en la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para lo cual se parte en primera instancia proponiendo la metodología experimental es decir la toma de datos en una primera etapa, misma que nos ayuda a determinar al resultado que se desea llegar teniendo así el flujo de calor transferido y la conductividad del material que se compara con datos de citados de varios autores.

### 5.2. Resultados

#### 5.2.1. Transferencia de calor por conducción lineal



**Figura 5.1.** Esquema del módulo lineal

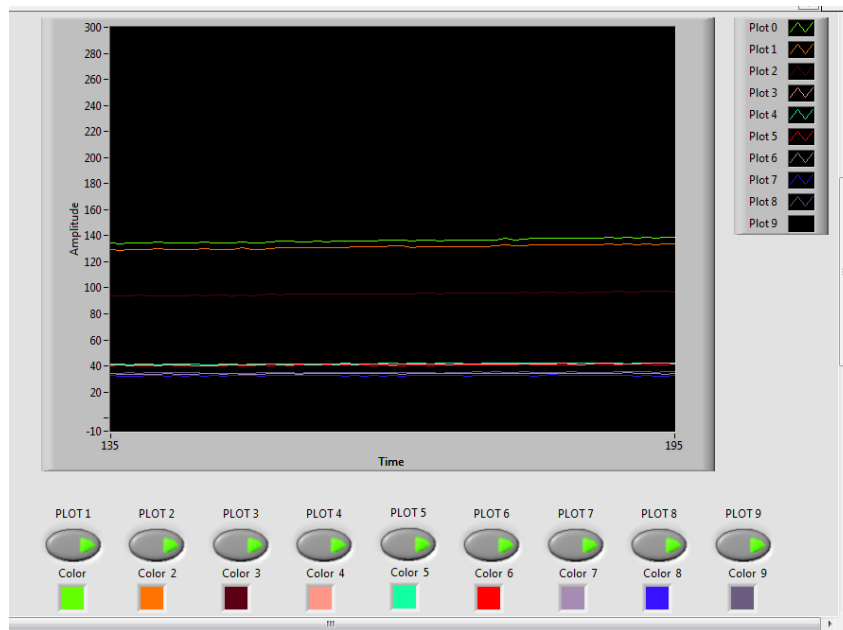
En el presente esquema se puede apreciar cómo van distribuidas las termocupas a lo largo de la sección del tubo.

### 5.2.1.1. Cobre puro diámetro de 15 mm

**Tabla 5.1.** Datos de lectura del material de cobre puro

Potencia de 50 W (Cobre puro)									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Temperatura (°C)	165	133,2	97,25	42,25	42,5	40,75	34	32,25	35,25
Distancia (m)	0,089	0,106	0,123	0,1635	0,1805	0,1975	0,2263	0,2433	0,2603
Tiempo (s)	10	10	10	10	10	10	10	10	10

En la presente tabla se da a conocer las distancias entre termocupas, y la temperatura de operación a las cuales se sometieron cada una de las secciones del equipo para el caso ocupando la probeta de cobre puro, y que a continuación se lo representa en una gráfica lineal para determinar si el proceso fue o no lineal y debido a que se produjeron estos cambios.



**Figura 5.2.** Perfil de temperatura del cobre puro a 50 W

Se puede apreciar claramente que hay una tendencia lineal y esto se debe a que conforme avanza la temperatura se va disipando al exterior o por las uniones que existen en el equipo, hay pequeños picos que se generan en la línea.

### 5.2.1.2. Análisis de los resultados obtenidos del cobre puro

**Tabla 5.2.** Tabla de cálculo coeficiente de conductividad térmica cobre puro

Datos experimentales (Cobre puro $\phi$ 15 mm) área constante
---

Sección T [°C]	$\Delta T$ [°K]	$\Delta x$ [m]	P [W]	A [m <sup>2</sup> ]	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$	
T <sub>4</sub> – T <sub>5</sub>	42,25	0,017	50	7,06x10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>	K <sub>4-5</sub>	-4810,02
T <sub>5</sub> – T <sub>6</sub>	40,75	0,017	50	7,06x10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>	K <sub>5-6</sub>	3848,01
$K_{\text{Promedio}} = \Sigma(K)/2$ [W/m.K]						343,37 $\left[ \frac{W}{m.K} \right]$

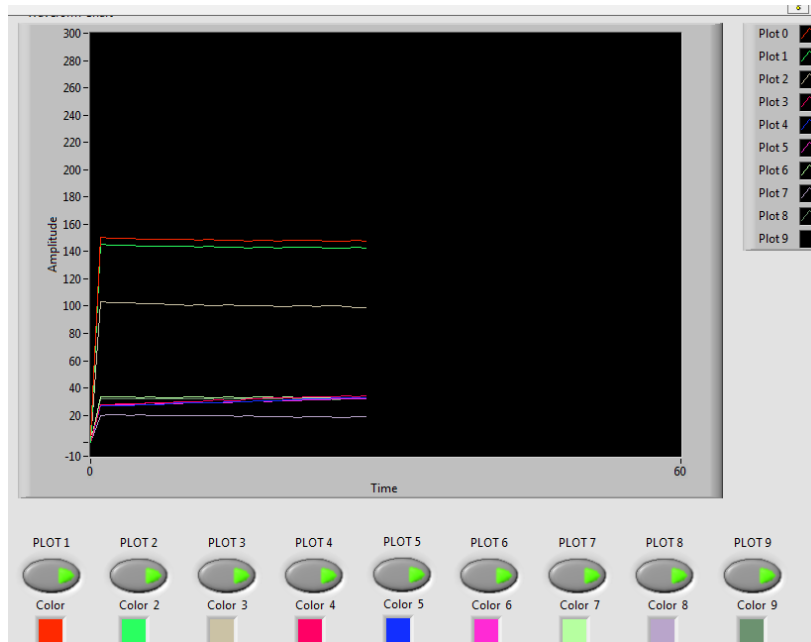
Se tiene como dato el coeficiente de conductividad térmica del cobre puro en un valor de 404 °K este valor es tomado como referencia del libro de Incropera a temperatura ambiente, para lo cual haciendo la práctica se procede a comparar estos resultados propuestos por el autor y el ensayo realizado dando como resultado que el coeficiente de conductividad térmica para el cobre puro con un área constante y un flujo de calor uniforme se tiene de 343,37 [W/(m.K)], en comparación con lo propuesto por el autor las medidas y lecturas varían en gran proporción.

### 5.2.1.3. Aluminio puro diámetro de 15 mm

**Tabla 5.3.** Datos de lectura del material de aluminio puro

Potencia de 50 W (Aluminio puro)									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Temperatura (°C)	165	142,8	99	34	33	32	33	18,75	32
Distancia (m)	0,089	0,106	0,123	0,1635	0,1805	0,1975	0,2263	0,2433	0,2603
Tiempo (s)	10	10	10	10	10	10	10	10	10

En la presente tabla se da a conocer las distancias entre termocuplas, y la temperatura de operación a las cuales se sometieron cada una de las secciones del equipo con la probeta del aluminio puro, y que a continuación se lo representa en una gráfica para determinar si el proceso fue o no lineal y debido a que se produjeron estos cambios, para el cálculo de la conductividad térmica se procede a tomar las temperaturas generadas en la sección de la probeta teniendo como dato dos variaciones de temperatura los cuales van a permitir obtener el valor deseado. Las demás termocuplas serán censadas para tener de referencia el valor al que están operando y para determinar si el flujo de calor es constante, el cual es proporcionado por la resistencia de contacto, así como también obtener el valor del gradiente de temperatura que se está generando en las secciones que no son tomadas en cuenta para el cálculo de la conductividad térmica.



**Figura 5.3.** Perfil de temperatura del aluminio puro a 50 W

Se puede apreciar claramente que no hay una tendencia lineal y esto se debe a que conforme avanza la temperatura se va disipando al exterior o por las uniones que existen en el equipo.

#### 5.2.1.4. Análisis de los resultados obtenidos del aluminio puro

**Tabla 5.4.** Tabla de cálculo coeficiente de conductividad térmica aluminio puro

Datos experimentales (Aluminio puro $\phi$ 15 mm) área constante						
Sección T [°C]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta x$ [mm, cm, m]	$P$ [W]	$A$ [m <sup>2</sup> ]	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$	
$T_4 - T_5$	1	0,017	50	$7,06 \times 10^{-4} m^2$	$K_{4-5}$	4810,02
$T_5 - T_6$	1	0,017	50	$7,06 \times 10^{-4} m^2$	$K_{5-6}$	4810,02
$K_{Promedio} = \Sigma(K)/2$ [W/m.K]						$355,49 \left[ \frac{W}{m.K} \right]$

Se tiene como dato el coeficiente de conductividad térmica del aluminio puro en un valor de 237 °K este valor es tomado como referencia del libro de Incropera a temperatura ambiente, para lo cual haciendo la práctica se procede a comparar estos resultados propuestos por el autor y el ensayo realizado dando como resultado que el coeficiente de conductividad térmica para el aluminio puro con un área constante y un flujo de calor uniforme se tiene de

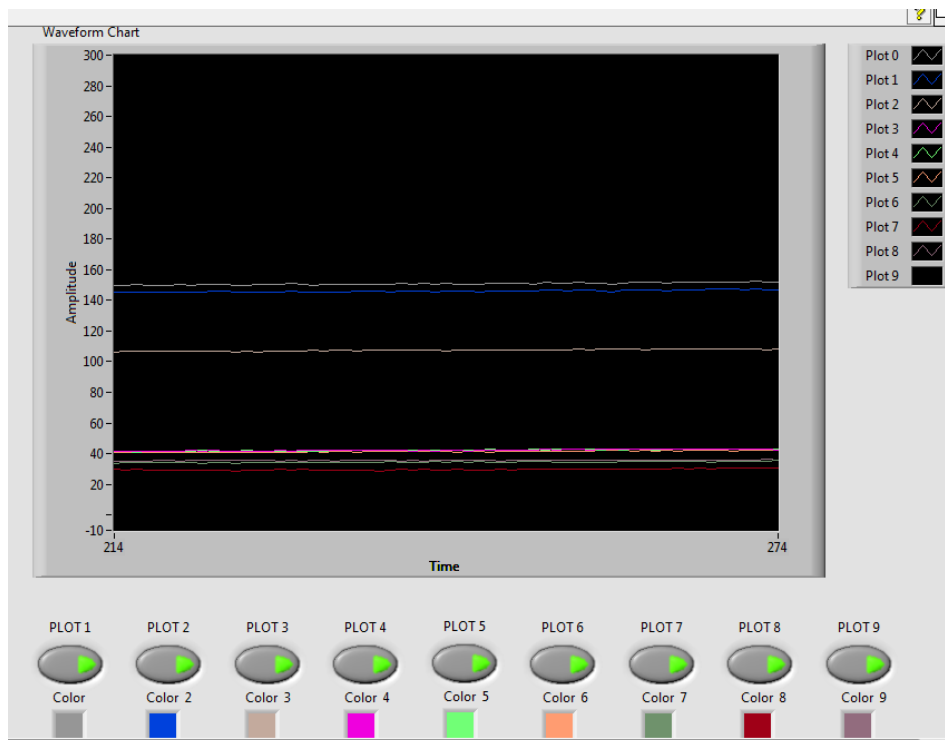
355,49 [W/(m. K)] en comparación con lo propuesto por el autor las medidas y lecturas varían en gran proporción.

### 5.2.1.5. Acero puro diámetro de 15 mm

**Tabla 5.5.** Datos de lectura del material de acero puro

Potencia de 50 W (Acero puro)									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Temperatura (°C)	165	147,5	108,2	42,50	43,25	42,25	35,50	30,50	36
Distancia (m)	0,089	0,106	0,123	0,1635	0,1805	0,1975	0,2263	0,2433	0,2603
Tiempo (s)	10	10	10	10	10	10	10	10	10

En la presente tabla se da a conocer las distancias entre termocuplas, y la temperatura de operación a las cuales se sometieron cada una de las secciones del equipo utilizando la probeta de acero puro, y que a continuación se lo representa en una gráfica para determinar si el proceso fue o no lineal y debido a que se produjeron estos cambios.



**Figura 5.4.** Perfil de temperatura del acero puro a 50 W

Se puede apreciar claramente que hay una tendencia lineal y esto se debe a que conforme avanza la temperatura se va disipando al exterior o por las uniones que existen en el equipo, y por ello se genera pequeñas oscilaciones que afecta la linealidad.

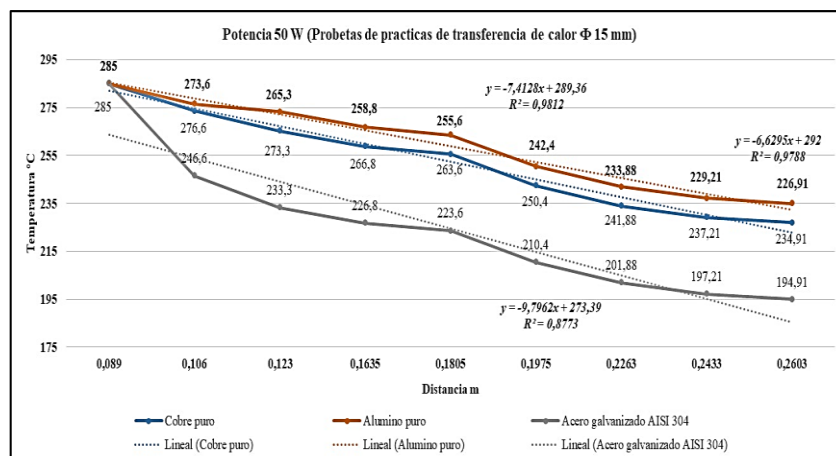
### 5.2.1.6. Análisis de los resultados obtenidos del acero puro

**Tabla 5.6.** Tabla de cálculo coeficiente de conductividad térmica acero puro

Datos experimentales (Acero puro $\phi$ 15 mm) área constante						
Sección T [°C]	$\Delta T$ [°K]	$\Delta x$ [m]	P [W]	A [m <sup>2</sup> ]	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$	
T <sub>4</sub> – T <sub>5</sub>	-0,75	0,017	50	$7,06 \times 10^{-4} m^2$	K <sub>4-5</sub>	-6413,35
T <sub>5</sub> – T <sub>6</sub>	1	0,017	50	$7,06 \times 10^{-4} m^2$	K <sub>5-6</sub>	4810,02
$K_{Promedio} = \Sigma(K)/2$ [W/m.K]						122,1143 $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$

Se tiene como dato el coeficiente de conductividad térmica del acero puro en un valor de 14,9 °K este valor es tomado como referencia del libro de Incropera a temperatura ambiente, para lo cual haciendo la práctica se procede a comparar estos resultados propuestos por el autor y el ensayo realizado dando como resultado que el coeficiente de conductividad térmica para el acero puro con un área constante y un flujo de calor uniforme se tiene de 122,1143 [W/(m.K)], en comparación con lo propuesto por el autor las medidas y lecturas varían en gran proporción.

### 5.2.2. Perfil de temperatura módulo de conducción lineal

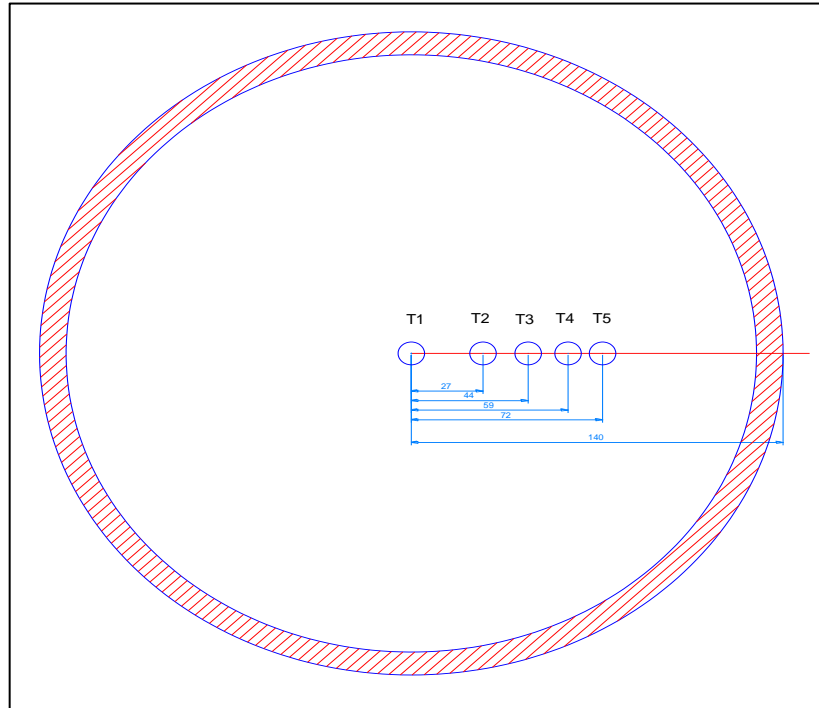


**Figura 5.5.** Perfil de temperatura de las probetas de ensayo a 50 W

Con las gráficas de cada elemento del cual se hizo la práctica se obtienen los perfiles de temperatura a una misma distancia y separaciones iguales entre termocuplas y un mismo diámetro con la única condición que los metales conductores varíen, se puede apreciar que para

este caso el material que más condujo y transfirió calor de mejor manera es el aluminio, luego el cobre puro para después culminar con el acero puro.

### 5.2.3. Transferencia de calor por conducción radial



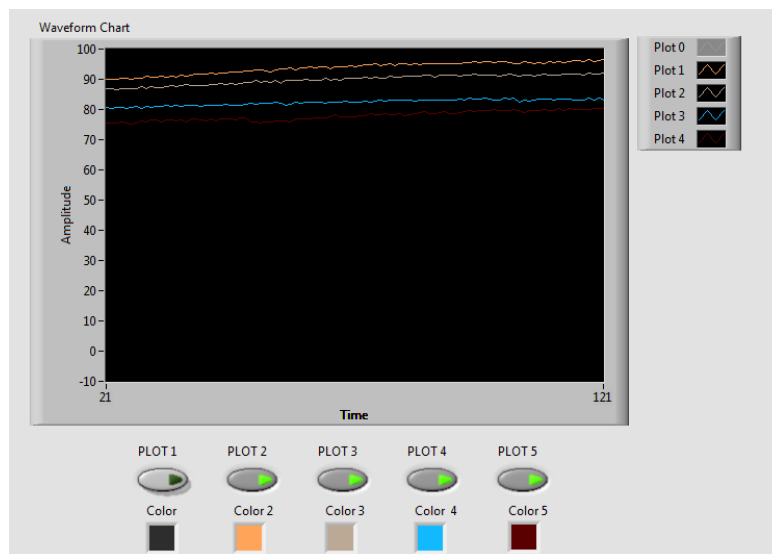
**Figura 5.6.** Esquema del módulo radial

En el esquema de la figura 5.6. se observa las separaciones existentes entre cada una de las termocuplas a lo ancho de su diámetro.

**Tabla 5.7.** Datos de lectura del material de aluminio puro

Potencia de 150 W (Aluminio puro)					
	T1	T2	T3	T4	T5
Temperatura (°C)	90	96,50	92	83	80,25
Distancia (m)	0	0,027	0,044	0,059	0,069
Tiempo (s)	10	10	10	10	10

En la presente tabla se da a conocer las distancias entre termocuplas a diferentes radios determinados por los investigadores, y la temperatura de operación a las cuales se sometieron cada una de las secciones del equipo utilizando el disco de aluminio puro, y que a continuación se lo representa en una gráfica para determinar si el proceso fue o no lineal y debido a que se produjeron estos cambios. Las temperaturas de referencia serán tomadas a partir de la segunda termocupla.



**Figura 5.7.** Perfil de temperatura del aluminio puro a 150 W

Al igual que los anteriores resultados obtenidos para el equipo de conducción axial, se puede apreciar que la no hay una tendencia lineal, debido a las perdidas por contacto, y las fugas al exterior.

### 5.2.3.1. Análisis de los resultados obtenidos del disco de aluminio puro

**Tabla 5.8.** Tabla de cálculo coeficiente de conductividad térmica aluminio puro

Datos experimentales (Aluminio puro $\phi$ 140mm)					
Sección T [°C]	$\Delta T$ [°K]	$\Delta x$ [m]	P[W]	$K = \frac{\dot{Q} L_n \frac{r_2}{r_1}}{2\pi * L (T_1 - T_2)} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$	
$T_2 - T_3$	4,5	0,017	150	$K_{2-3}$	$560,249 \left[ \frac{W}{m.K} \right]$
$T_3 - T_4$	9	0,015	150	$K_{3-4}$	$280,125 \left[ \frac{W}{m.K} \right]$
$T_4 - T_5$	2,75	0,01	150	$K_{4-5}$	$916,771 \left[ \frac{W}{m.K} \right]$
$K_{Promedio} = \Sigma(K)/3$ [W/m.K]					$299,224 \left[ \frac{W}{m.K} \right]$

Se tiene como dato el coeficiente de conductividad térmica del aluminio puro en un valor de 237 °K este valor es tomado como referencia del libro de Incropera a temperatura ambiente, para lo cual haciendo la práctica se procede a comparar estos resultados propuestos por el autor



y el ensayo realizado dando como resultado que el coeficiente de conductividad térmica para el aluminio puro con un área distinta y diferentes diámetros a los cuales se les fijo las termocupas y un flujo de calor uniforme se tiene de  $30,42 \left[ \frac{W}{m.K} \right]$ . Siendo así que se presenta un error bastante amplio para lo cual se modificara con una readecuación a los acondicionadores de señal para una correcta lectura.

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

### 6.1. Presupuesto

Los valores generados en el presente proyecto se detallan a continuación, mismos que corresponden a materia prima y mano de obra que se encontró en el mercado nacional.

#### 6.1.1. Gastos directos de los materiales empleados

**Tabla 6.1.** Detalle de costos de elementos mecánicos

<b>ELEMENTOS MECÁNICOS</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Elemento</b>	<b>Costo p/u (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
1	U	Tubo redondo de acero galvanizado de 8" de 6m estandarizado	15	15
6	M	Manta Aislante Lana de Roca Mineral	27	27
1	U	Modular para soporte de los equipos	380	380
1	M	Barra de cobre electrostático ½"	6,75	6,75
1	M	Barra de aluminio ½"	2,25	2,25
1	M	Barra de acero inoxidable ½"	1,54	1,54
5	U	Ladrillo refractario	7	35
3	M	Cañerías de cobre	1,50	4,50
4	U	Bridas de sujeción	0,25	1
8	U	Arandelas planas	0,80	6,40
8	U	Tornillo 3/16" x ½"	0,10	0,80
1	U	Funda de Mortero refractario de 2kg	2	2

1	U	Silicón ABRO	3	3
1	U	Bridas de seguridad	15	15
			<b>TOTAL</b>	\$ 500,24

**Tabla 6.2.** Detalle de costos de elementos eléctricos y electrónicos

<b>ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Elemento</b>	<b>Costo p/u (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
1	U	Jumper terminal macho	3,50	3,50
1	U	Protoboard	4,91	4,91
1	U	Jumper terminal hembra	3,50	3,50
1	U	Termostato	5,74	5,74
20	U	Acondicionador Max 6675	6	120
1	U	Resistencia tubular 110V 100W 100 x $\phi$ 10	9,45	9,45
1	U	Resistencia tubular 110V 100W 200 x $\phi$ 10	15,92	15,92
2	U	Arduino MEGA	19	38
20	U	Termocuplas tipo K	8,33	166,60
1	U	Pantalla Arduino Nextion NX8048T070 7.0" 800X480 uart touch	120	120
2	U	Controlador de temperatura CAMSCO REX-C700	55	110
15	U	Terminal Tipo U Rojo 5/32"	0,04	0,60
15	U	Terminal Tipo U Amarillo 5/32"	0,04	0,60
15	U	Terminal Tipo U Azul 5/32"	0,04	0,60
2	U	Luz piloto 22mm Rojo 110V	1,42	2,84
2	U	Luz piloto 22mm Verde 110V	1,44	2,88
2	U	Pulsador plástico 22mm Verde	1,42	2,84

2	U	Pulsador plástico 22mm Rojo	1,42	2,84
16	M	Cable flexible CONELSA #16	0,18	2,88
2	U	Bloque de distribución 125Amp 2 líneas 7 tornillos EBCQH	5,89	11,78
1	U	Riel DIM 1MTS	2	2
2	U	Breaker LS Riel DIM 1 Polo 10Amp	5,13	10,26
4	U	Bobina LS para MC9/12/18/22 110V	6,11	24,44
4	U	Contactador LS S/Bobina 9Amp	6,56	26,24
1	U	Pomada para soldar Burnley	1,65	1,65
1	U	Cautín Tipo Lápiz 110V 60W	1,05	1,05
2	M	Estaño Bera 1mm	0,41	0,82
1	U	Tarjeta de memoria de 8GB	7	7
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 698,94</b>

### 6.1.2. Mano de obra

Para el cálculo de la mano de obra se tomó como referencia el salario de un ingeniero en un área de diseño teniendo como una base de \$1000.

$$\frac{\$1000}{22 \text{ días}} = \$45,45 \text{ x día}$$

$$\frac{\$45,45 \text{ x día}}{8 \text{ horas x día}} = \$5,68 \text{ x hora}$$

$$\text{Mano de obra} = 80 \text{ horas} \times \frac{\$5,68}{\text{hora}}$$

$$\text{Mano de obra} = \$454,40$$

El costo de ingeniería es de \$454,40 valor que será sumado a todos los gastos presentados en el presente proyecto.

**Tabla 6.3.** Total gastos directos

<b>MANO DE OBRA</b>
---------------------

Componente del gasto	Costo total (\$)
Elementos mecánicos	\$ 500,24
Elementos eléctricos y electrónicos	\$ 698,94
Mano de obra	\$ 454,40
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1653,58</b>

El total de la mano de obra una vez terminada la etapa de construcción del módulo de transferencia de calor es de \$ 1363,18, estos valores reflejan una inversión mínima con respecto a los equipos que se pueden encontrar en el mercado internacional. Por lo cual se considera un proyecto viable.

### 6.1.2. Costos

**Tabla 6.5.** Detalle de costos

COSTOS				
Cantidad	Unidad	Elemento	Costo p/u (\$)	Costo total (\$)
1	Litro	Pintura fondo color azul sintético	6	6
1	Litro	Pintura acrílica color aluminio sintético	6	6
2	Litro	Thinner	0,50	1
4	U	Lija para hierro 80	0,50	2
150	U	Copias proyecto b/n	0,02	3
100	U	Impresiones b/n	0,05	5
412	U	Impresiones color	0,07	28,84
6	U	Anillados	0,70	4,20
30	H	Internet	0,60	18
1	U	Broca ¼” para concreto	1,20	1,20
1	U	Disco de corte abrasivo	2,50	2,50
1	U	Broca de ½” para concreto	2,95	2,95

-	-	Otros	30	30
			<b>TOTAL</b>	\$ 110,69

Los costos indirectos totales son de \$ 110,69, hasta el momento, este monto representa valores extras que se generaron a lo largo del periodo de construcción en donde se requirió de varios elementos que aportaron al buen desarrollo de construcción del módulo de transferencia de calor.

### 6.1.3. Costo total

**Tabla 6.6.** Gastos totales del módulo de transferencia de calor

<b>COSTO TOTAL</b>	
<b>Componentes del costo</b>	<b>Costo total (\$)</b>
Gastos directos	\$ 1653,58
Gastos indirectos	\$ 110,69
10% Imprevistos	\$ 136,32
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1929,63</b>

## 6.2. Análisis de impactos

En el presente proyecto se detallan cada uno de los impactos que genera con su investigación e implementación, que aportaran de manera directa a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi tanto en la parte social, así como en la innovación tecnológica.

### 6.2.1. Impacto social

Se considera al presente proyecto de carácter social debido a que, con la implementación del mismo, se van pretende optimizar los recursos en un gran porcentaje con respecto al costo de comercialización, así como también el apoyo que va a generar para los estudiantes de la asignatura de Termo Aplicada, debido a que el alto costo de las maquinas, el desconocimiento de equipos para prácticas de transferencia de calor en específico por conducción, así como la reciente incorporación del laboratorio de la asignatura antes mencionad y que está en proceso de adecuaciones, hacen que esta implementación ayude en el ámbito social.

### **6.2.2. Impacto económico**

El impacto económico que genera la implementación del módulo de transferencia de calor es notable debido a que los costos de fabricación redujeron de manera considerable, esto se obtuvo en referencia a que se cotizó en diferentes empresas internacionales teniendo precios muy elevados que rondaba cerca de los \$21000, es por ello que se detalla un valor cerca de \$1800 en el total de su construcción dando los mismo resultados que se espera al momento de operar la maquina es por ello que es necesario resaltar que es viable y factible el presente proyecto, es así que a futuro se pretende comercializar..

### **6.2.3. Costo beneficio**

El costo total del módulo de transferencia de calor por conducción no supera los \$2000 dólares, y que con el pasar del tiempo va a producir un ahorro para los estudiantes de la carrera de ingeniería en electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi que contarán con equipos para prácticas de laboratorio en su propia sede evitando así viajes a otros laboratorios existentes en el país, así como también para la institución, que cotizando en empresas como Edibon, entre otras ofertan al mercado internacional a precios que superan los \$ 21000, en relación al valor de construcción que se presenta en esta investigación e implementación, Por tal motivo se considera un proyecto viable y factible.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las conclusiones y recomendaciones de la propuesta tecnológica van de la mano con los objetivos establecidos por los autores.

### **7.1. Conclusiones**

Se determinó el modelo matemático adecuado para cada una de las prácticas de transferencia de calor a realizarse en la metodología se detalla cada uno de los parámetros a tener en cuenta al momento de realizar el ensayo en el módulo de conducción, mediante el cual, a través de los datos obtenidos de temperatura, variación de distancia y el área se llega a obtener el resultado de conductividad y flujo de calor.

Las características de funcionamiento, así como los parámetros para el diseño del equipo garantizan el aprendizaje del estudiante en la asignatura de termo aplicada, debido a que cumple con el fenómeno de conducción tanto axial como radial, el cambio de materiales a lo que se refiere probetas, con esto se entregan pautas al estudiante para determinar el cambio de conductividad térmica del material de ensayo con respecto a su temperatura de operación.

La realización de la práctica dio como resultado que se presenta una diferencia de temperatura para el caso se tiene al inicio 170°C para el equipo de conducción axial y de 90°C para el radial, y al final está ya tiende a reducir, para lo cual se cuenta con un tiempo de 45 minutos para estabilizar la temperatura.

La validación del comportamiento del módulo de conducción presento resultados satisfactorios, entregando información importante y verídica para complementar los diseños del equipo, todos los componentes del equipo cumplen con los objetivos primordiales para lo que fueron seleccionados.

## **7.2. Recomendaciones**

Se recomienda implementar más probetas de experimentación para el módulo de conducción axial debido a su fácil manipulación, con el fin de obtener otros resultados de otros elementos conductores de calor.

El módulo de transferencia de calor por conducción está sujeto a mejoramientos, ya sea en su sistema de refrigeración, la parte de control o adquisición de datos.

Se recomienda investigar más sistemas de aislamientos térmicos en el caso de implementar más probetas, lo cual ayudara a determinar que materiales pueden ser más eficaces al momento de aislar el calor.

## **8. REFERENCIAS**

- [1] UNESCO, «NORMATIVA AREA DEL CONOCIMIENTO UNESCO-SENESCYT,» SENESCYT, QUITO, 1994.
- [2] F. P. Incropera y D. P. De Witt, Fundamentos de Transferencia de Calor, vol. 4 Edición, México: Prentice Hall, 2013.
- [3] J. E. Barba Velásquez y R. F. Tituana Sánchez, «Diseño y Construcción de un equipo para la transferencia de calor por la conducción para los materiales no metálicos para el laboratorio de la transferencia de calor,» Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador, 2014.
- [4] W. G. Chóez Pincay, «Actualización de los equipos de Transferencia de Calor por Conducción y Convección del Laboratorio de Termofluidos de la FIMCP mediante un

Sistema de Adquisición de Datos,» Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaqui - Ecuador, 2002.

- [5] Y. A. Cengel y M. A. Boles, Termódinamica, vol. 7ma Edición, México D.F.: McGraw Hill, 2012.
- [6] I. Hernández, «Segunda ley dela Termodinamica,» 2012.
- [7] R. B. Grajales, «Transferencia molecular de calor, masa y/o cantidad de movimiento,» Colombia, 2013.
- [8] J. P. Holman, Transferencia de Calor, vol. 10ma Edición, México D.F.: McGraw Hill Book Company, Inc., 1999.
- [9] J. Á. Manrique Valadez, Transferencia de Calor, vol. 2 Edición, México: Alfaomega, 2005.
- [10] J. S. Jaramillo Álvarez, «Conducciòn unidimensional "conducciòn axial y radial",» Universidad de Antioquia - Facultad de Ingeniería Mecànica, Antioquia - Colombia, 2011.
- [11] L. Franco, Y. Ramírez y L. García, «Laboratorio de Operaciones Unitarias II,» Departamento de Ingeniería Química, Antioquia - Colombia, 2010 - 2011.
- [12] Apuntes.eu, «Apuntes.eu,» Creative Commons, [En línea]. Available: <http://www.apuntes.eu/otras-materias/metales-tipos-estructura-y-caracteristicas-propiedades-tratamientos/>. [Último acceso: 12 05 2018].
- [13] INEN, «TUBOS DE ACERO AL CARBONO SOLDADOS PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES Y USOS GENERALES. REQUISITOS,» Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito - Ecuador, 2016.
- [14] Termiser, «Termiser Plataformas y Andamios,» Termiser, 18 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.termiser.com/propiedades-fisicas-quimicas-del-cobre-construccion/>. [Último acceso: 21 05 2018].



- [15] U. d. Cádiz, «Tabla Periodica UCA,» Universidad de Cádiz, 2015. [En línea]. Available: <http://tablaperiodica.uca.es/Tabla/elementos/Aluminio/Grupo1/Prop.%20Al>. [Último acceso: 12 6 2018].
- [16] GoodFellow, «GOODFELLOW,» goodfellow.com, 2018. [En línea]. Available: <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html>. [Último acceso: 12 06 2018].
- [17] L. L. EC., «Cementos y ladrillos refractarios,» 2017. [En línea]. Available: <http://la-llave.com/ec/index.html>. [Último acceso: 6 mayo 2018].
- [18] CALORCOL, «Lana de vidrio Calorcol,» CALORCOL, 2016. [En línea]. Available: [http://calorcol.com/calorcol/calorcbsite/?page\\_id=5690](http://calorcol.com/calorcol/calorcbsite/?page_id=5690). [Último acceso: 7 mayo 2018].
- [19] J. d. Herrera, «DuraWatt,» [En línea]. Available: <http://www.resistencias.com/esp/durawatt.php>.
- [20] ARIAN, «ARIAN CONTROL & INSTRUMENTACIÓN,» ARIAN, 03 10 2011. [En línea]. Available: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>. [Último acceso: 13 06 2017].
- [21] G. FACTORY, «GEEKFACTORY,» GEEK FACTORY & WORDPRESS, 10 2016. [En línea]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/max6675-modulo-interfaz-termopar/>. [Último acceso: 11 06 2018].
- [22] J. Pomares, «Manual de arduino,» Mexico, 2009.
- [23] S. Electric, «Schneider Electric,» Schneider, 2017. [En línea]. Available: <https://www.schneider-electric.es/es/product-category/1500-contactores-y-rel%C3%A9s-de-protecci%C3%B3n/>. [Último acceso: 22 7 2018].
- [24] SIEMENS, «SIEMENS,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/contactor.html>. [Último acceso: 14 07 2018].

- [25] R. Figueroa, 01 mayo 2013. [En línea]. Available: <https://www.fisica.ucr.ac.cr/sites/default/files/8%20CONDUCTIVIDAD%20TERMICA-I-13.pdf>. [Último acceso: 16 mayo 2017].
- [26] F. d. I. Mecánica, «Conducción en régimen estacionario Laboratorio #1 - Guías de transferencia de calor,» Universidad Tecnológica de Panamá - Departamento de Energía y Ambiente, Panamá, 2015.
- [27] S. Fica, S. Maggi y F. Quezada, «Informe de laboratorio N° 1 - Transmisión de Calor por Conducción,» Universidad de Chile - Departamento de Ingeniería Mecánica, Chile, 2011.
- [28] O. M. Rodríguez, «Transferencia de Calor Guía de Ejemplos Prácticos,» Universidad Veracruzana - Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Xalapa - México, 2014.
- [29] ARMFIELD, «LINEAR HEAT CONDUCTION - HT11 / COMPUTER CONTROLLED LINEAR H EAT CONDUCTION - HT11C,» *HT SERIES: HEAT TRANSFER AND THERMODYNAMICS*, pp. 4 - 5, 2014.
- [30] ARMFIELD, «RADIAL HEAT CONDUCTION - HT12 / COMPUTER CONTROLLED RADIAL H EAT CONDUCTION - HT12C,» *HT SERIES: HEAT TRANSFER AND THERMODYNAMICS*, pp. 6 - 7, 2014.
- [31] J. ELECTRIC, «JOMAR ELECTRIC,» 2017. [En línea]. Available: [http://aplicacionesjomar.com/index.php?id\\_product=4&controller=product](http://aplicacionesjomar.com/index.php?id_product=4&controller=product). [Último acceso: 10 01 2018].
- [32] R. Castellanos, «Diseño Industrial,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/Dani177/polmeros-fichas-tecnicas>.
- [33] Honeywell, «Valvula reguladora de caudal,» [En línea]. Available: <https://ees-techlit.honeywell.com/emeadocuments/sp01/vr300-et-sp01r0508.pdf>.
- [34] L. d. Valle, 2015. [En línea]. Available: <https://electronicavm.wordpress.com/2015/03/05/tft-lcd-touch-2-4-shield-para-arduino-uno/>.

[35] F. C. C. NONSOQUE, «DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA EL LABORATORIO DE CIENCIAS TÉRMICAS DE LA UNIVERSIDAD LIBRE – SEDE BOGOTÁ,» Universidad Libre Sede Bogotá, Colombia - Bogotá, 2017.

# **ANEXOS**



Inicio / Catálogo de Productos / Tubería Estructural / Tubo

## TUBO



### NORMAS TÉCNICAS:

NTE INEN 2415

### LONGITUDES:

6 metros

Otras longitudes bajo pedido.

### TOLERANCIA:

Diámetro exterior:

$< 50.80 \text{ mm} \pm 0.50 \text{ mm}$

$\square \geq 50.80 \text{ mm} \pm 0.75 \text{ mm}$

Longitud:  $-6 \text{ mm}$ ;  $+13 \text{ mm}$  (para tubería de 6 m)

### RECUBRIMIENTO:

Negro (sin recubrimiento)

Galvanizado

---

## TUBOS REDONDOS





Denominación	Diámetro exterior	Espesor e	Peso	
			kg/m	kg/6m
Pulgadas	mm	mm		
1/2	12.70	0.75	0.74	1.43
		0.50	0.29	1.22
3/8	15.88	0.75	0.29	1.71
		0.90	0.34	2.06
		1.10	0.41	2.43
1/4	19.05	0.75	0.33	2.08
		0.50	0.41	2.46
		1.10	0.50	2.98
5/8	22.22	0.75	0.42	2.31
		0.50	0.50	3.01
		1.10	0.59	3.55
1	25.40	0.75	0.46	2.76
		0.50	0.55	3.30
		1.10	0.67	4.01
1 1/8	31.75	0.50	0.69	4.15
		1.10	0.84	5.05
1 1/2	38.10	0.50	0.83	5.00
		1.10	1.02	6.09
1 3/4	44.45	0.50	0.96	5.74
		1.10	1.17	7.02
1 7/8	47.63	0.50	1.05	6.32
		1.10	1.27	7.61
2	50.80	0.50	1.12	6.70
		1.10	1.36	8.14

**Uso del Producto:**

Tubos para postes de luz, escapes automóbiles, guardachoques, manijas para carretillas, estructuras para letreros.

**CALORCOL**  
Expertos en Ingeniería de Aislamientos

# Ficha Técnica

## MANTA AISLANTE



Material elaborado a partir de Lana Mineral de Roca para aislamientos térmicos con servicios de temperatura hasta 750 °C

### Especificaciones Técnicas

Unidad	Manta Aislante
Descripción	Manta Aislante de Lana de Roca con malla en alambre galvanizado por ambos lados
Densidad	100 kg/m <sup>3</sup> , 128 kg/m <sup>3</sup> , y 140 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica	0.24 BTU.in/ft <sup>2</sup> .h.°F a Tm 100 °F
T° de servicio	hasta 750°C en régimen continuo
Contracción lineal	< 1% a 1200 °F
Absorción de humedad	<1%
Combustibilidad	100% incombustible
Norma	ASTM C592 - 10 Type II
Empaque	Bolsa polietileno reforzado

### Conductividad térmica

T° media (°F)	(BTU.in/ft <sup>2</sup> .h.°F)
100	0.25
200	0.30
300	0.38
400	0.47
500	0.58

### Soluciones de aislamiento



## Descripción

Las Mantas Aislantes hechas de Lana Mineral de Roca, son reforzadas a ambos lados con malla de alambre galvanizado que le sirven como medio de retención, son totalmente incombustibles y por su flexibilidad se ajustan perfectamente a cualquier tipo de geometría por irregular que sea.

Pueden ser cortadas y pinadas para ablar superficies curvas, cuerpos irregulares y resaltes como juntas, costuras, traslapes, bridas, flanges y cabezas de remaches. La malla metálica de las Mantas Aislantes les proporciona una excelente resistencia mecánica y sirven como base para la aplicación uniforme del cemento aislante Rocalón.

Su presentación es en rollos con medidas de 0.61m ó 0.91m x 2.44m de largo. Las Mantas tienen una densidad estándar de 140 kg/m<sup>3</sup> (8.75 lb/ft<sup>3</sup>) y 100 kg/m<sup>3</sup> (6.25 lb/ft<sup>3</sup>) sin embargo ya solicitud del cliente se fabrican mantas en diferentes densidades.

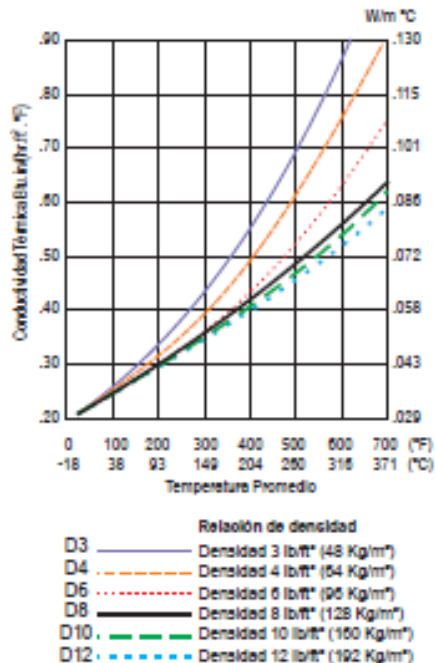
El medio de retención estándar es la malla hexagonal con ojo de 1" por el lado frío y malla hexagonal con ojo de 2 1/2" por el lado caliente.

La malla hexagonal es fabricada en alambre calibre 23 galvanizada, según la solicitud del cliente pueden ser fabricadas con otros medios de retención.

## Aplicaciones

- Las Mantas aíslan eficientemente maquinarias y equipos que funcionan a temperaturas hasta de 1,382 °F (750 °C). Son ampliamente utilizadas para el aislamiento de calderas, chimeneas, hornos industriales, tanques, ductos, precipitadores, secadores, tomes, equipos pesados e industriales y todas aquellas superficies planas, curvas o irregulares donde se requiere un aislamiento eficiente y económico.
- Las Mantas en Lana Mineral de Roca son ideales para el control de ruido, especialmente para la atenuación de sonidos de baja frecuencia, aislamiento acústico de maquinaria, equipos mecánicos y música.

**La Lana Mineral de Roca es el aislante más utilizado en el mundo en el campo Industrial y comercial por su excelente desempeño térmico, absorbión acústica, resistencia al fuego; además de ser amigable con el medio ambiente.**



## Ventajas

- Por su densidad poseen un bajo factor k reduciendo drásticamente las pérdidas de calor. 0.25 BTU./ft<sup>2</sup>. h °F a Tm 100 F
- Mayor durabilidad, dada por la composición química de la fibra y la calidad de los diferentes tipos de reforzamiento, que forman una unidad resistente mecánicamente.
- Las Mantas se pueden usar a temperaturas continuas de hasta 1382 °F (750 °C) sin afectarse por el calor, la humedad y humos corrosivos.
- Cubren superficies curvas o Irregulares que tengan juntas, costuras, traslapios y cabezas de remaches. Pueden ser cortadas, remachadas, pinnadas, sin perder sus propiedades aislantes.
- Los refuerzos de las Mantas sirven para la fijación de las mallas entre sí y con el equipo aislado, haciendo Innecesarios reforzamientos adicionales, al mismo tiempo brindan una base excelente para la aplicación del cemento para terminado Rocalán.
- Las Mantas Aislantes son Incombustibles y no desarrollan humo, químicamente Inertes y no corrosivas.



## Compromiso Ambiental

La Lana Mineral de Roca es un producto amigable con el medio ambiente con su aplicación en todos nuestros sistemas de aislamiento contribuimos eficientemente con el desarrollo ambiental sostenible, disminuyendo drásticamente los consumos de energía y combustibles, por lo tanto, se reduce la emisión de gases y humos, la polución del aire, el efecto Invernadero y la lluvia ácida; en su manufactura no se utilizan agentes gasificantes de tipo CFC o HCFC.



Acoustical Society of America  
The premier international authority on acoustics, dedicated to promoting and advancing the knowledge of acoustics and its practical applications.



Calorex SAS presenta esta ficha técnica de producto como una guía y no se responsabiliza del uso que se le de. Se reserva el derecho de modificar información sin previo aviso. Para mayor información favor consultar departamento técnico.

### Oficina principal

Calle 46 N° 71-121  
PBX: (574) 274 41 49  
Email: [info@calorex.com](mailto:info@calorex.com)  
Copacabana - Antioquia - Colombia

### Centros de distribución

**Bogotá:** Cra 97 N° 24C - 75 Bq 40 Fontibón PBX (571) 432 19 40

**Barranquilla:** Cel. 316 5278492  
**Call:** Cel. 316 5278486

**Perelra:** Cel. 312 8765703

**Bucaramanga:** Cel. 316 2550568

**Barrancabermeja:** Cel. 316 7404321

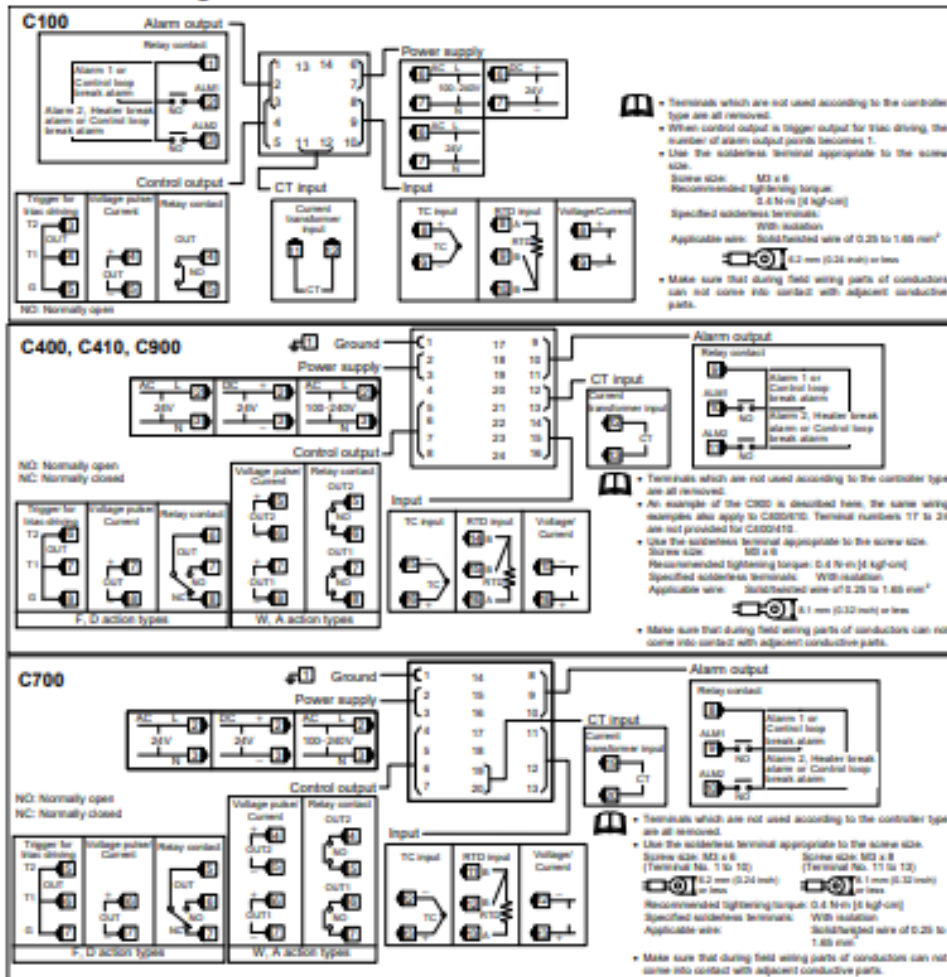
**Exportaciones:** [exportaciones@calorex.com](mailto:exportaciones@calorex.com)

Línea nacional: 316 5272521

[www.calorex.com](http://www.calorex.com)



3.2 Terminal Configuration



■ Specifications

**Input:**  
**Input type:**  
 Thermocouple: K, J, R, S, B, E, T, N, PLII, W5Rn/W26Re, U, L  
 Input impedance: Approx. 1 MΩ

**RTD:**  
 Ptl00, JPt100  
 Voltage: 0 to 5 V DC, 1 to 5 V DC  
 Input impedance: 250 kΩ or more  
 Current: 0 to 20 mA DC, 4 to 20 mA DC  
 Input impedance: Approx. 250 Ω

**Sampling cycle:** 0.5 seconds  
**Input range:** Refer to input range table  
**Control method:** PID control  
 ON/OFF, P, PI, or PD actions is available

**Control output:**  
 Relay contact output: 250 V AC, 3A (Resistive load)  
 Electrical life: 300,000 times or more (Rated load)  
 Voltage pulse output: 0/12 V DC  
 (Load resistance 600 Ω or more)  
 Current output: 4 to 20 mA DC  
 (Load resistance 600 Ω or less)  
 Trigger output for triac driving:  
 Zero cross method for medium capacity triac driving (100 A or less)  
 Load voltage used:  
 100 V AC line, 200 V AC line  
 Load used: Resistive load

**Alarm output:**  
 Relay contact output:  
 250 V AC, 1A (Resistive load)  
 Electrical life: 50,000 times or more  
 (Rated load)

**Heater break alarm function:**  
 Measured current:  
 0 to 30 A (CTL-6-P-N)  
 0 to 100 A (CTL-12-556-10L-N)  
 Input rating:  
 Maximum current rating: 120 mA  
 Input impedance: Approx. 2.5 Ω

**Performance:**  
**Display accuracy**  
 (at the ambient temperature 23 °C ± 2 °C):  
 Thermocouple (TC):  
 ± (0.5 % of display value + 1 digit) or ± 3 °C [5 °F]  
 Whichever is greater  
 R and S input: 0 to 399 °C [0 to 799 °F]:  
 ± 6 °C [12 °F]  
 B input: 0 to 399 °C [0 to 799 °F]:  
 Accuracy is not guaranteed.  
 RTD:  
 ± (0.5 % of display value + 1 digit)  
 or ± 0.8 °C [1.6 °F]  
 whichever is greater  
 Voltage/Current: ± (0.5 % of input span + 1 digit)

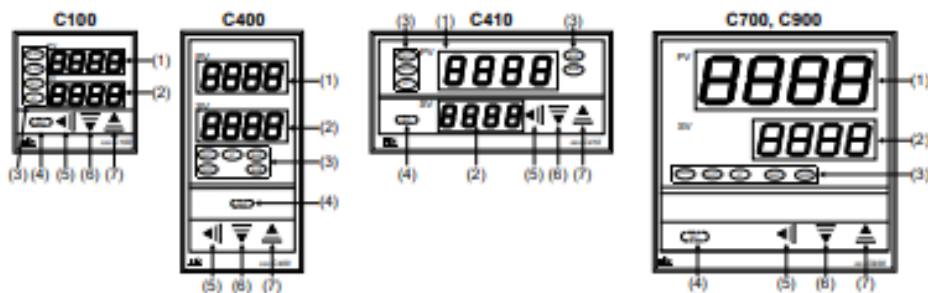
**Memory backup:**  
 Backed up by Nonvolatile Memory  
 Number of write times:  
 Approx. 100,000 times  
 Data storage period:  
 Approx. 10 years

**Power:**  
**Power supply voltage:**  
 85 to 264 V AC (Power supply voltage range), 50/60 Hz  
 Rating: 100 to 240 V AC  
 21.6 to 26.4 V AC (Power supply voltage range), 50/60 Hz  
 Rating: 24 V AC  
 21.6 to 26.4 V DC (Power supply voltage range)  
 Rating: 24 V DC

**Power consumption:**  
 6 VA max. (at 100 V AC)  
 9 VA max. (at 240 V AC)  
 6 VA max. (at 24 V AC)  
 145 mA max. (at 24 V DC)

**Weight:**  
 C100: Approx. 170 g  
 C700: Approx. 250 g  
 C400/410: Approx. 260 g  
 C900: Approx. 340 g

4. PARTS DESCRIPTION

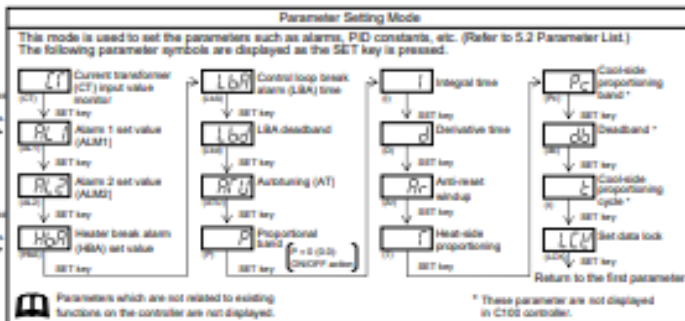
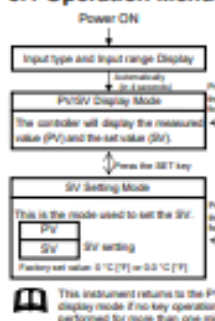


- (1) Measured value (PV) display [Green]  
Displays PV or various parameter symbols.
- (2) Set value (SV) display [Orange]  
Displays SV or various parameter set values (or CT input value).
- (3) Indication lamps  
Alarm output lamps (ALM1, ALM2) [Red]  
ALM1: Lights when alarm 1 output is turned on.  
ALM2: Lights when alarm 2 output is turned on.
- Autotuning (AT) lamp [Green]  
Flashes when autotuning is activated.  
(After autotuning is completed: AT lamp will go out)
- Control output lamps (OUT1 [Yellow], OUT2 [Green])  
OUT1: Lights when control output is turned on.  
OUT2: Lights when cool-side control output is turned on.
- (4) (SET) (Set key)  
Used for parameter calling up and set value registration.
- (5) (DOWN key)  
Decrease numerals.
- (6) (UP key)  
Increase numerals.
- (7) (Shift key)  
Shift digits when settings are changed.

To avoid damage to the instrument, never use a sharp object to press keys.

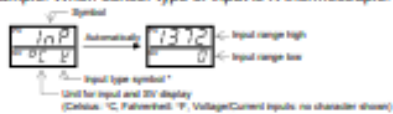
5. SETTING

5.1 Operation Menu



Input type and input range display

This instrument immediately confirms the input type symbol and input range following power ON.  
Example: When sensor type of input is K thermocouple.



\* Input Type Symbol Table

Symbol	K	J	R	S	B	C	T	N	PL	B	U	V	I	P	U	I	P	U	I
Input type	K	J	R	S	B	C	T	N	PL	B	U	V	I	P	U	I	P	U	I

5.2 Parameter List

The following parameter symbols are displayed as the SET key is pressed.

Parameter symbols which are not related to existing functions on the controller are not displayed.

Symbol	Name	Setting range	Description	Factory set value
CT	Current transformer (CT) input value monitor	0.0 to 100.0 A [Display only]	Display input value from the current transformer. [Displayed only when the instrument has the heater break alarm (HBA)]	
AL1	Alarm 1 set value (ALM1)	TC/RTD inputs: Deviation alarm, Process alarm: -199.9 to +999.9 °C [°F] or -199.9 to +999.9 °C [°F] Voltage/Current inputs: Deviation alarm: -199.9 to +200.0 % Process alarm: -199.9 to +300.0 %	Set the alarm 1 set value and alarm 2 set value. For the alarm action type, refer to page 7.	TC/RTD inputs: 50 (50.0) Voltage/Current inputs: 5.0
AL2	Alarm 2 set value (ALM2)			

Symbol	Name	Setting range	Description	Factory set value
HbA	Heater break alarm (HBA) set value <sup>1</sup>	0.0 to 100.0 A	Alarm value is set by referring to input value from the current transformer (CT). Used only for single-phase.	0.0
LbA	Control loop break alarm (LBA) time <sup>2</sup>	0.1 to 200.0 minutes	Set control loop break alarm (LBA) set value.	8.0
Lbd	LBA deadband <sup>3</sup>	TC/RTD inputs: 0 to 9999 °C [°F] Voltage/Current inputs: 0 to 100 % of input span	Set the area of not outputting LBA. No LBA deadband functions with 0 set. Differential gap : TC/RTD inputs: 0.8 °C [°F] Voltage/Current inputs: 0.8 % of input span	0
ATU	Autotuning (AT)	0: AT end or cancel 1: AT start or execution	Turns the autotuning ON/OFF.	0
P	Proportional band	TC/RTD inputs: 1 (0.1) to span 0.1 °C [°F] resolution: Within 999.9 °C [°F] Voltage/Current inputs: 0.1 to 100.0 % of input span 0 (0.0): ON/OFF action	Set when PI, PD or PID control is performed. Heat/Cool PID action: Proportional band setting on the heat-side.  ON/OFF action differential gap: TC/RTD inputs: 2 (0.2) °C [°F] Voltage/Current inputs: 0.2 % of input span	TC/RTD inputs: 30 (30.0)  Voltage/Current inputs: 3.0
I	Integral time	1 to 3600 seconds (0 second: PD action)	Set the time of integral action to eliminate the offset occurring in proportional control.	240
D	Derivative time	1 to 3600 seconds (0 second: PI action)	Set the time of derivative action to improve control stability by preparing for output changes.	60
Ar	Anti-reset windup (ARW)	1 to 100 % of heat-side proportional band (0 %: Integral action OFF)	Overshooting and undershooting are restricted by the integral effect.	100
r	Heat-side proportioning cycle	1 to 100 seconds (Not displayed if the control output is current output.)	Set control output cycle. Heat/Cool PID action: Heat-side proportioning cycle	Relay contact output: 30 Voltage pulse output Trigger output for triac driving: 3
Pc	Cool-side proportional band	1 to 1000 % of heat-side proportional band	Set cool-side proportional band when Heat/Cool PID action.	100
db	Deadband	TC/RTD inputs: -10 to +10 °C [°F] or -10.0 to +10.0 °C [°F] Voltage/Current inputs: -10.0 to +10.0 % of input span	Set control action deadband between heat-side and cool-side proportional bands. Minus (-) setting results in overlap.	0 or 0.0
t	Cool-side proportioning cycle	1 to 100 seconds (Not displayed if the control output is current output.)	Set control cool-side output cycle for Heat/Cool PID action.	Relay contact output: 30 Voltage pulse output: 3
LCV	Set data lock (LCK)	0100: No set data locked (All parameters changeable) 0101: Set data locked (All parameters locked) 0110: Only the set value (SV) is changeable with the set data locked	Performs set data change enable/disable.	0100

<sup>1</sup> Heater Break Alarm (HBA) function

The HBA function monitors the current flowing through the load by a dedicated current transformer (CT), compares the measured value with the HBA set value, and detects a fault in the heating circuit.

Low or No current flow (Heater break, malfunction of the control device, etc.):

When the control output is ON and the current transformer input value is equal to or less than the heater break determination point for the preset number of consecutive sampling cycle, an alarm is activated.

Over current or short-circuit:

When the control output is OFF and the current transformer input value is equal to or greater than the heater break determination point for the preset number of consecutive sampling cycle, an alarm is activated.

⚠ Precaution for HBA setting:

- Displayed only for when HBA is selected as Alarm 2.
- HBA is not available on a current output.
- Set the set value to approximately 85 % of the maximum reading of the CT input.
- Set the set value to a slightly smaller value to prevent a false alarm if the power supply may become unstable.
- When more than one heater is connected in parallel, it may be necessary to increase the HBA set value to detect a single heater failure.
- When the current transformer is not connected or the HBA set value is set to "0.0," the HBA is turned on.

<sup>2</sup> Control Loop Break Alarm (LBA) function

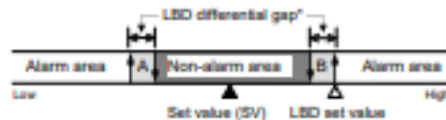
The LBA function is used to detect a load (heater) break or a failure in the external actuator (power controller, magnet relay, etc.), or a failure in the control loop caused by an input (sensor) break. The LBA function is activated when control output reaches 0 % or 100 % LBA monitors variation of the measured value (PV) for the length of LBA time. When the LBA time has elapsed and the PV is still within the alarm determination range, the LBA will be ON.

⚠ Precaution for LBA setting:

- Displayed only for when LBA is selected as Alarm 1 or Alarm 2.
- No LBA function can be used at Heat/Cool PID control action.
- The LBA function can not be activated when AT function is turned on.
- The LBA function is activated when control output reaches 0 % or 100 %. The time required for the LBA output to turn on includes both the time from the initial occurrence of loop failure and the LBA setting time. Recommended setting for LBA is for the set value of the LBA to be twice the value of the integral time (I).
- If LBA setting time does not match the controlled object requirements, the LBA setting time should be lengthened. If setting time is not correct, the LBA will malfunction by turning on or off at inappropriate times or not turning on at all.

<sup>3</sup> LBA Deadband function

The LBA may malfunction due to external disturbances. To prevent malfunctioning due to external disturbance, LBA deadband (LBD) sets a neutral zone in which LBA is not activated. When the measured value (PV) is within the LBD area, LBA will not be activated. If the LBD setting is not correct, the LBA will not work correctly.



A: During temperature rise: Alarm area B: During temperature rise: Non alarm area  
During temperature fall: Non alarm area During temperature fall: Alarm area

<sup>1</sup> TC and RTD inputs: 0.8 °C [°F] (fixed)  
Voltage/Current inputs: 0.8 % of input span (fixed)

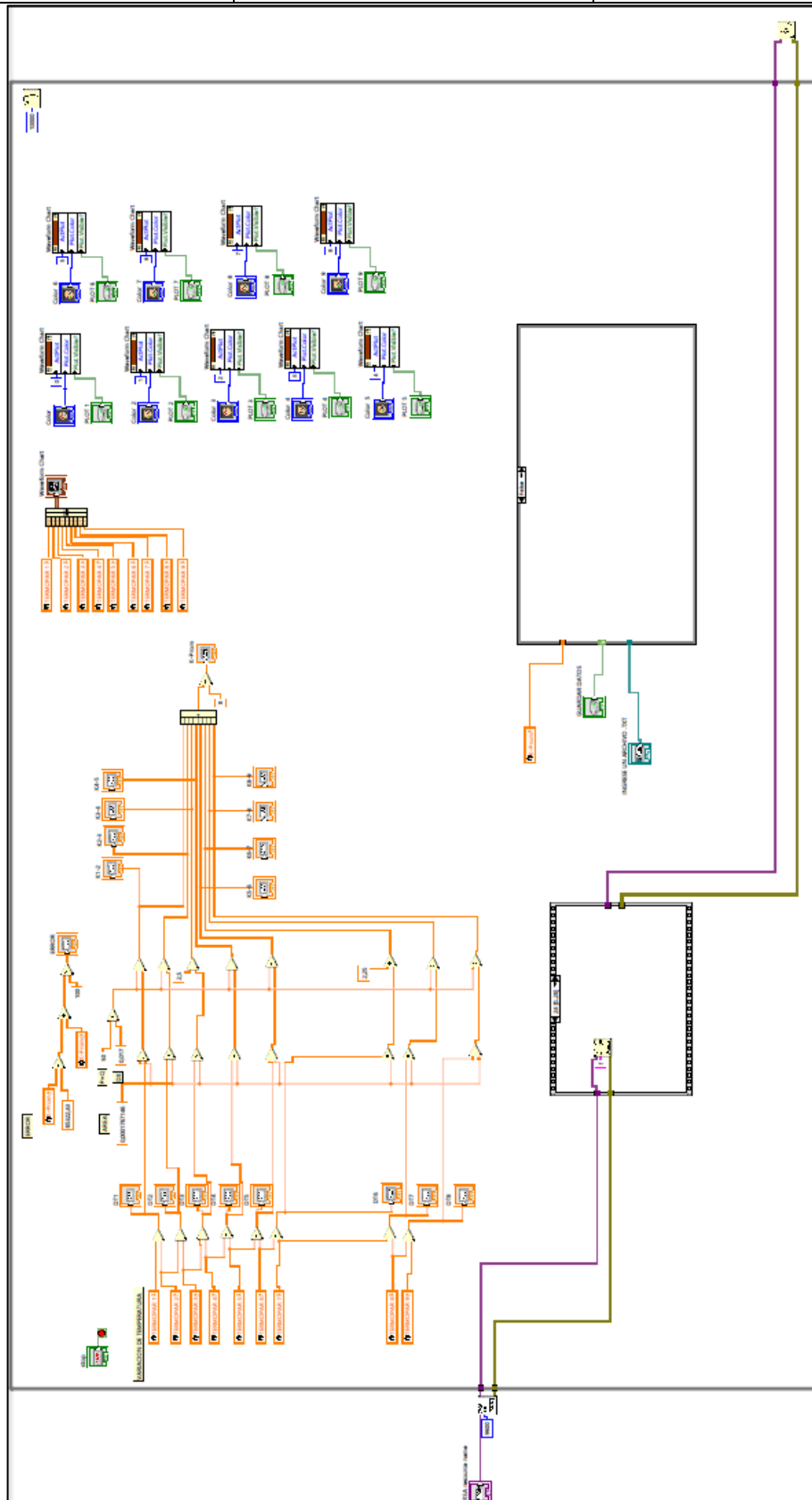


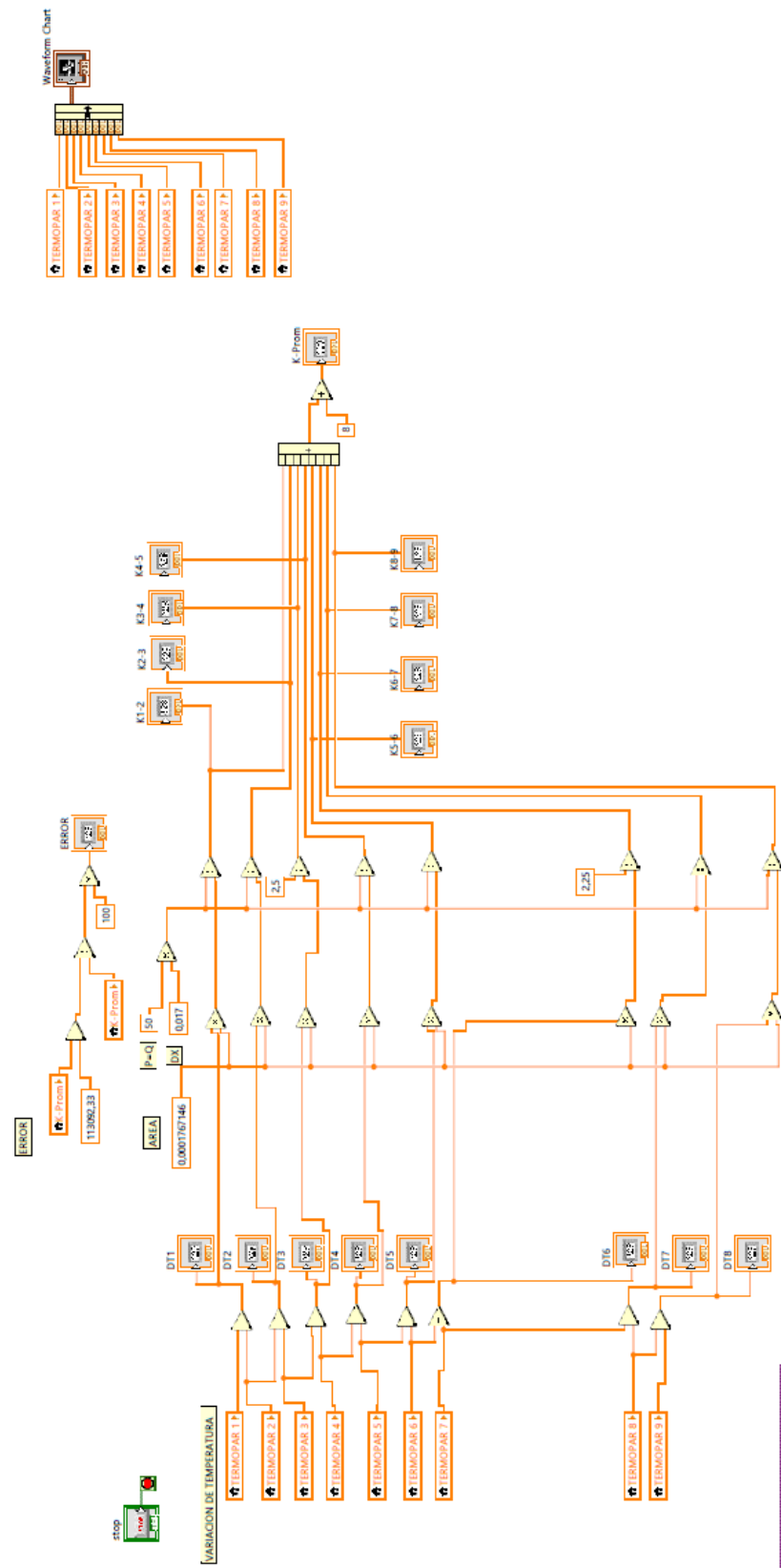
El MAX6675 se conecta con un microcontrolador mediante una interfaz de 3 líneas compatible con el estándar SPI. El formato en el que el MAX6675 envía datos al microcontrolador es el siguiente.

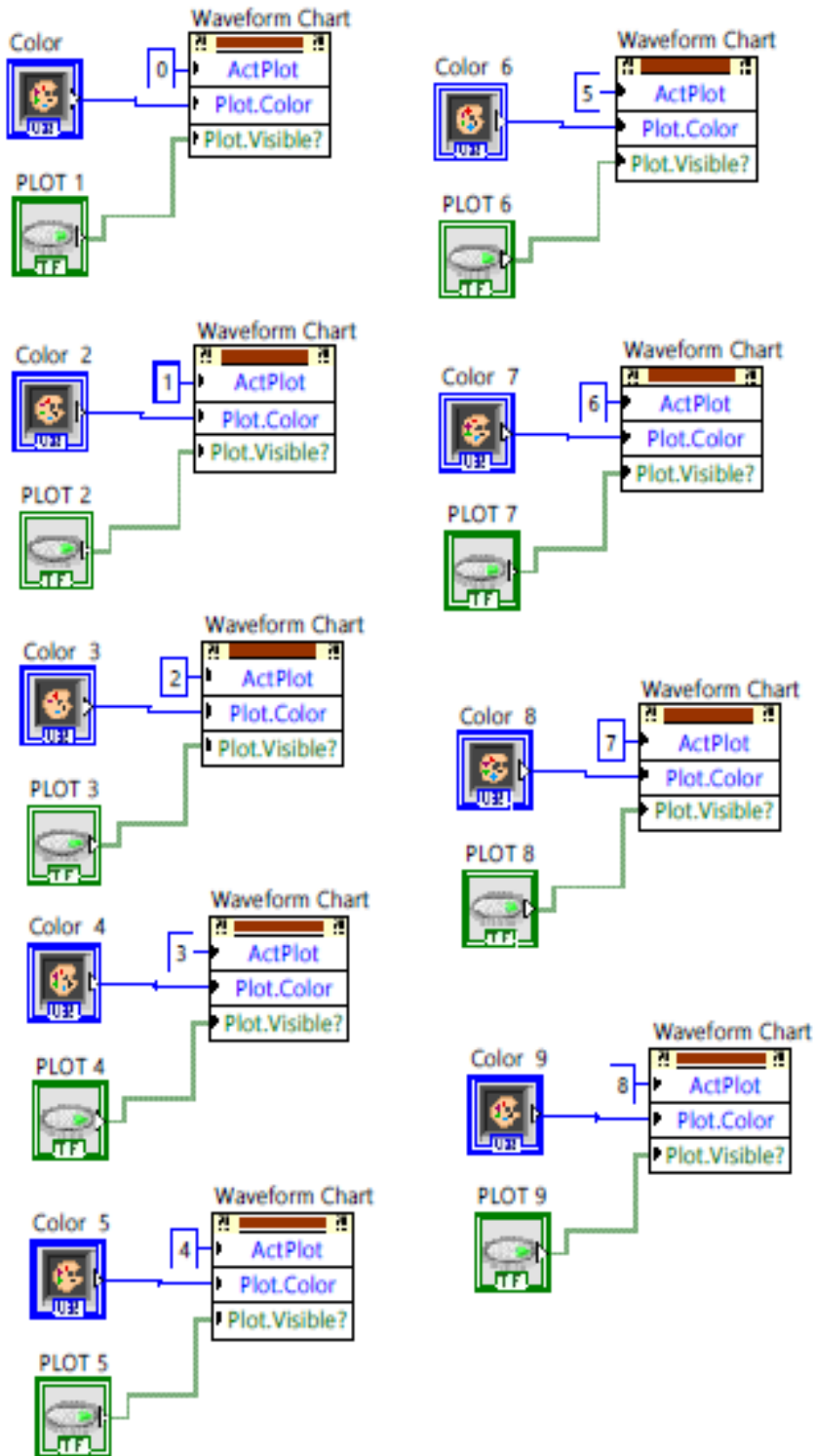
BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING												THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three- state

## Características del MAX6675 Módulo interfaz para termopar.

- Interfaz compatible con SPI solo de lectura.
- Resolución de 12 bits, 0.25 grados centígrados.
- Medición hasta 1024 grados centígrados.
- Alimentación de 3.3 a 5 volts.
- Frecuencia de reloj SPI máxima F<sub>spi</sub> 4.3 Mhz.
- Tiempo de conversión 0.17 s máximo 0.22 segundos.
- Consumo máximo de 1.5 mA.
- Incluye termopar tipo K.

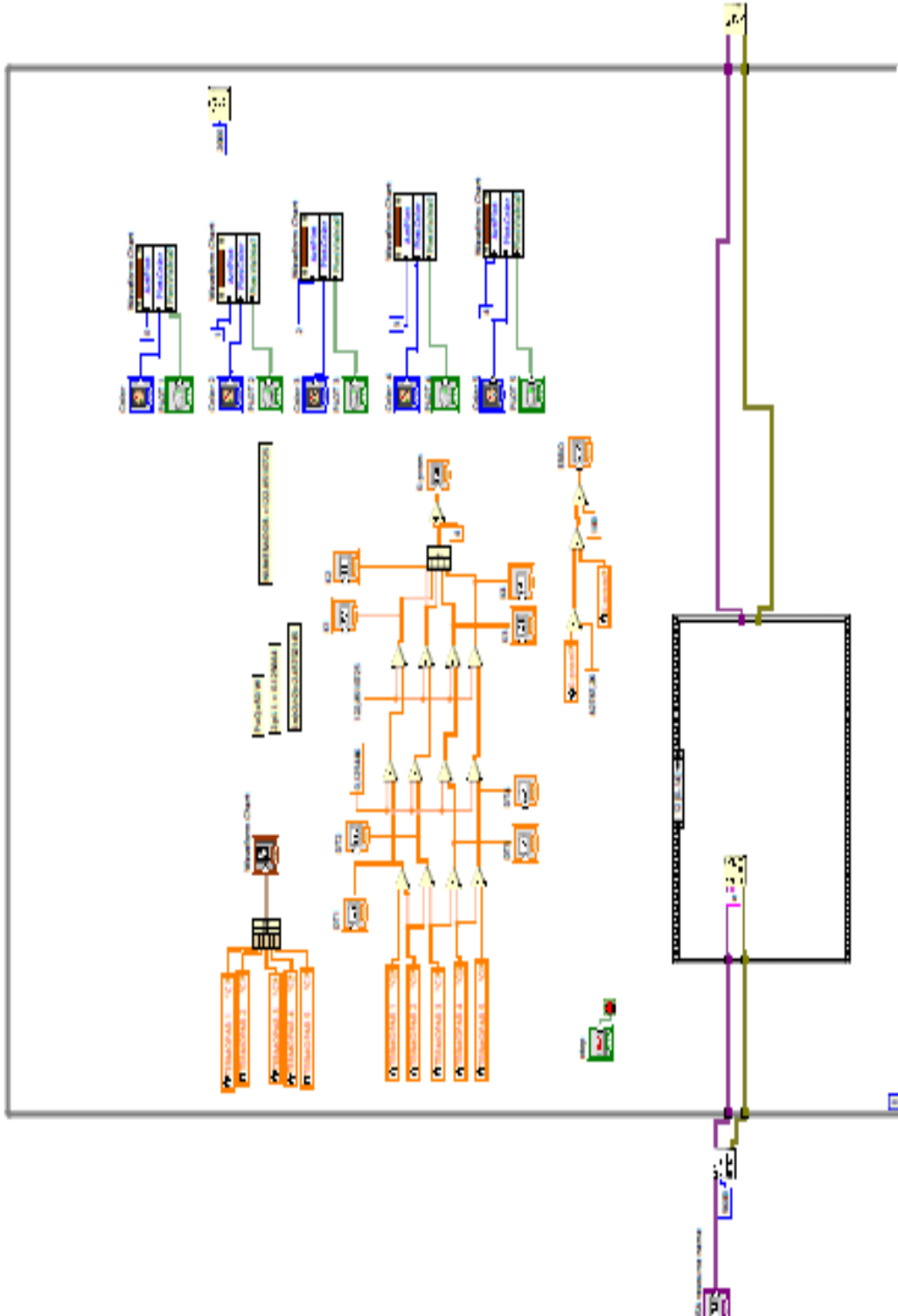


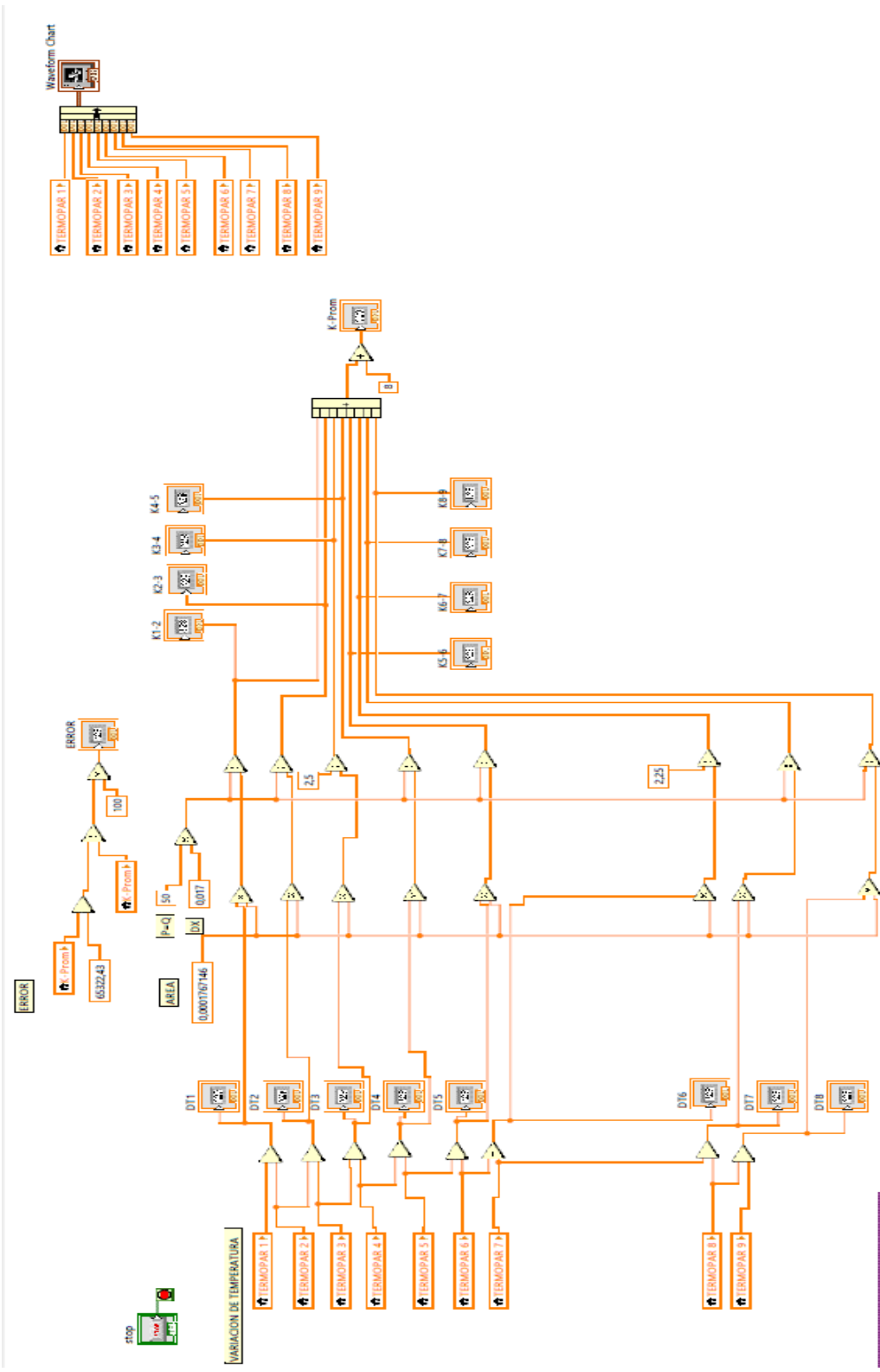


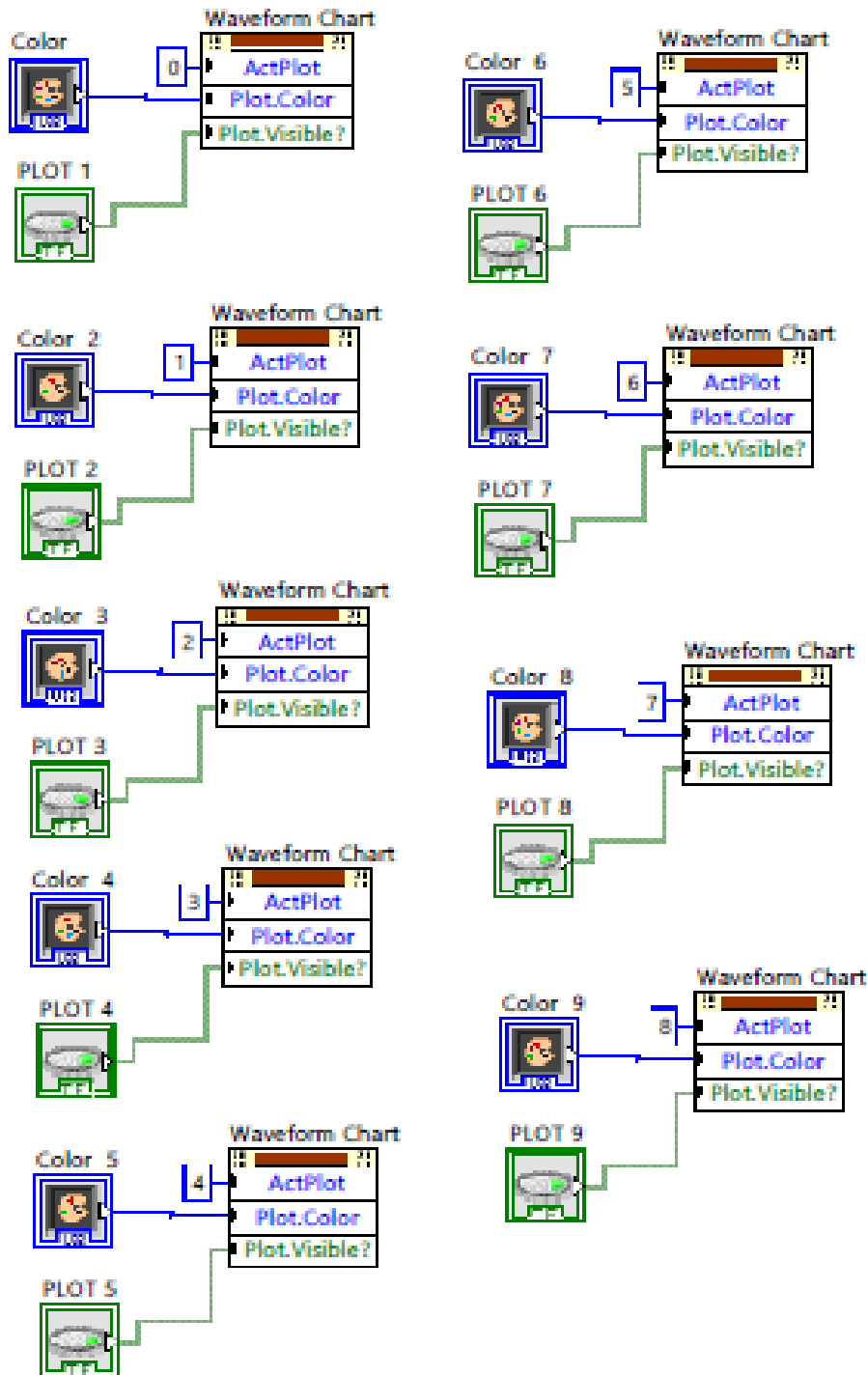


ANEXO XII.5	Interfaz en labview para la obtención de datos en la pantalla.	4-7
<p>The diagram illustrates a LabVIEW interface for data acquisition. On the left, a USB device is connected to a 'USB resource name' block, which outputs a '9600_7E4' signal. This signal is processed by a '9600_7E4' block and then a '1024' block. The resulting data is written to a 'WRITE TO FILE' block, labeled 'INGRESO UN ARCHIVO.TXT'. The data is then read from the file by an 'INGRESO DATOS' block. The read data is displayed in a table with 10 columns and 10 rows. A 'Display' block is connected to the table, showing the data on the screen. The table is also connected to a 'Display' block on the right. The diagram includes various control elements like buttons and indicators, and is connected to a '9600_7E4' block on the left.</p>		









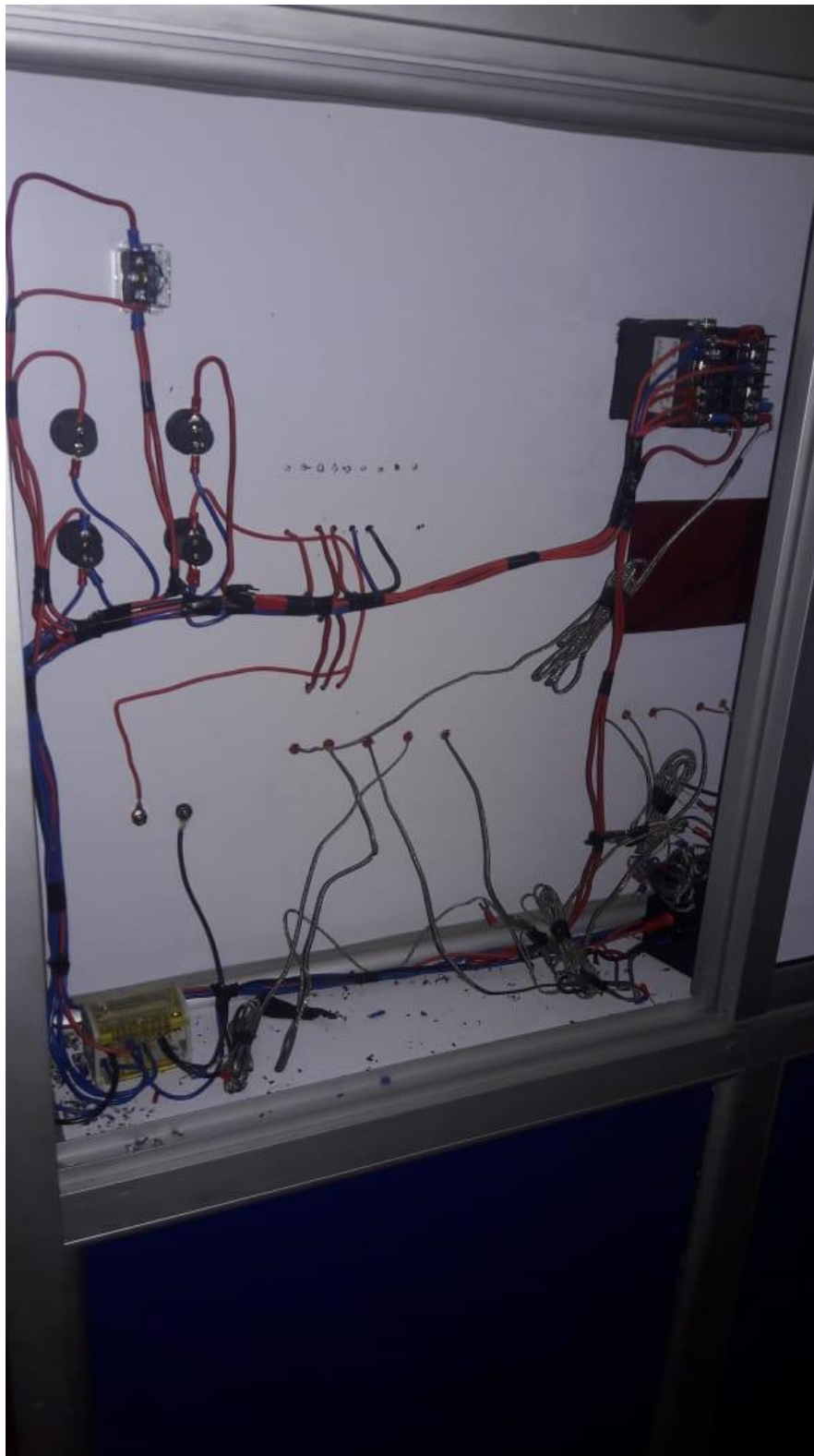
**ANEXOS FABRICACIÓN DEL MÓDULO DE  
TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN  
AXIAL Y RADIAL**

ANEXO XVI.6	Maquinado de las piezas para equipo de conducción radial y axial	1-6
-------------	--	-----



ANEXO XVII.6	Maquinado del ladrillo refractario para equipo de conducción radial	2-6
--------------	---	-----





ANEXO XIX.6	Distribución de las instalaciones eléctricas módulo de transferencia de calor por conducción.	4-6
-------------	---	-----





ANEXO XX.6	Instalación del equipo de refrigeración para módulo de conducción.	5-6
------------	--	-----



ANEXO XXI.6

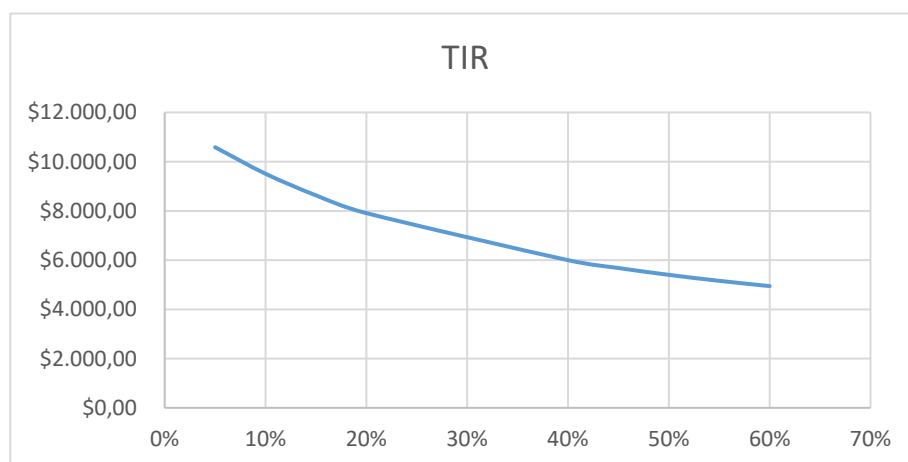
Pruebas del módulo de transferencia de calor por conducción.

6-6



ANEXO XXII.7	Cálculo del VAN y TIR	1-1
--------------	-----------------------	-----

AÑO	FLUJO BENEFICIO	EGRESOS	FLUJO BENEFICIO	
0	0	\$ 1929,63	(\$ 1929,63)	
1	2000	200	\$ 1818,18	
2	2000	210	\$ 1652,89	
3	2000	220	\$ 1502,63	
4	2000	230	\$ 1366,03	
5	2000	240	\$ 1241,84	
	<b>TASA</b>	0,10	<b>VAN</b>	\$ 9511,20
			<b>TIR</b>	60%



# **ANEXOS APÉNDICE INCROPERA DE MATERIALES**

Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia 827

TABLA A.1 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados\*

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)									
		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kg · K)	$k$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	32.1		
Aceros al carbón															
Carbón ordinario (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7	216	384	490	574	680	975	609	654		
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			56.7	48.0	39.2	30.0				
Carbón-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			487	559	685	1169				
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			58.7	48.8	39.2	31.3				
Aceros con cromo (bajo)								487	559	685	1090				
1Cr-1Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			42.2	39.7	35.0	27.6				
1Cr-1Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			38.2	36.7	33.3	26.9				
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			492	575	688	969				
Aceros inoxidables								42.0	39.1	34.5	27.4				
AISI 302		8055	480	13.1	3.91			492	575	688	969				
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95			46.8	42.1	36.3	28.2				
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			17.3	20.0	22.8	25.4				
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			51.2	55.9	58.5	64.6				

DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECA  
Universidad Simón Bolívar - Sede de Litoral

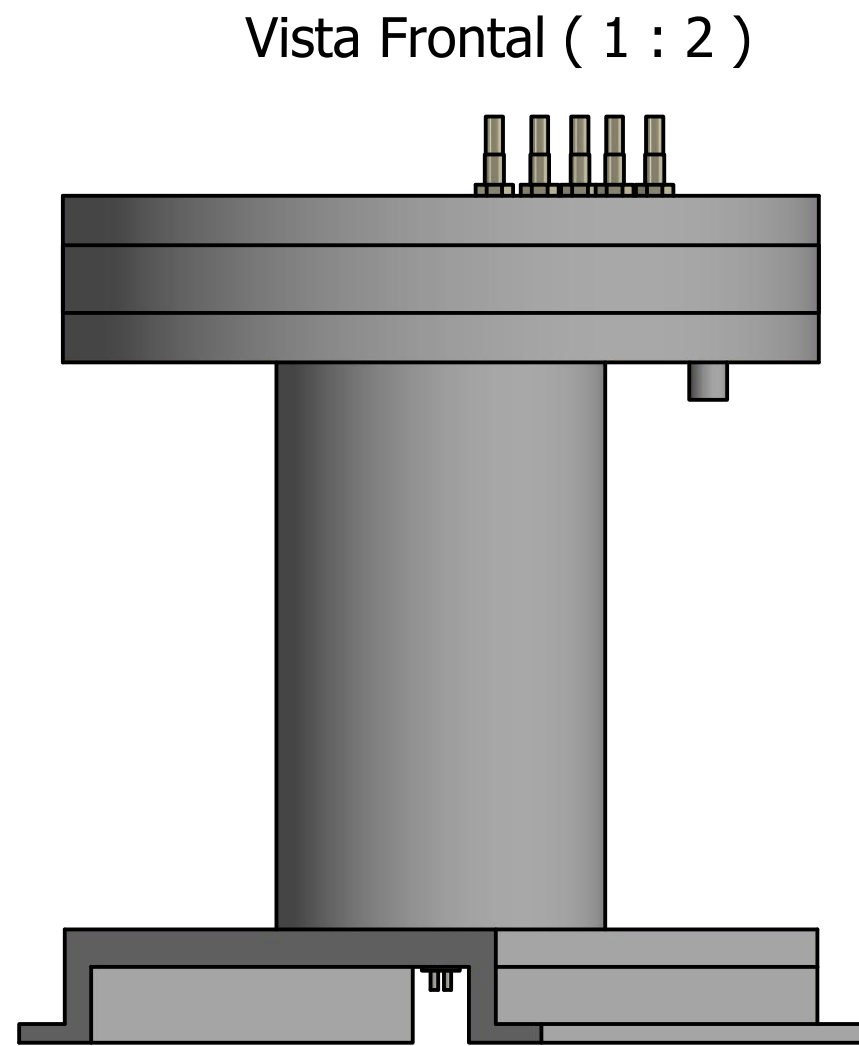
828

## Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia

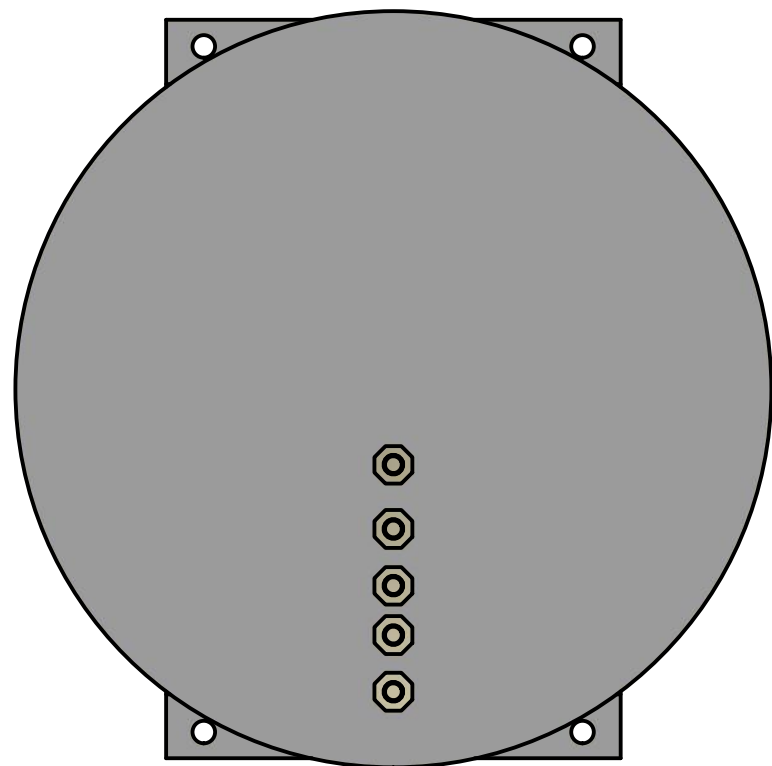
**TABLA A.1** Continuación

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K					Propiedades a varias temperaturas (K)									
		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kg · K)	$k$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/m · K)	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	
		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kg · K)	$k$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/m · K)	$k$ (W/m · K)	$k$ (W/m · K)	$k$ (W/m · K)	$k$ (W/m · K)	$k$ (W/m · K)	$k$ (W/m · K)	$k$ (W/m · K)	$k$ (W/m · K)	$k$ (W/m · K)	$k$ (W/m · K)
Aluminio puro	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218						
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	482	798	949	1033	1146						
Aleación 195, vaciado (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2	473	787	925	1042							
Armeo (99.75% puro)		7870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	31.4			
Berilio	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7				
Bismuto	545	9780	122	7.86	6.59	203	1114	2191	2604	2823	3018	3227	3519			
Boro	2573	2500	1107	27.0	9.76	112	120	127								
Cadmio	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7								
Cinc	693	7140	389	116	41.8	117	118	111	103							
Circonio	2125	6570	278	22.7	12.4	33.2	25.2	21.6	20.7	21.6	23.7	26.0	28.8	33.0		
Cromo	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4		
Cobalto	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5			
Cobre puro	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339				
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	1.4	252	356	397	417	433	451	480				
							785	460	545							

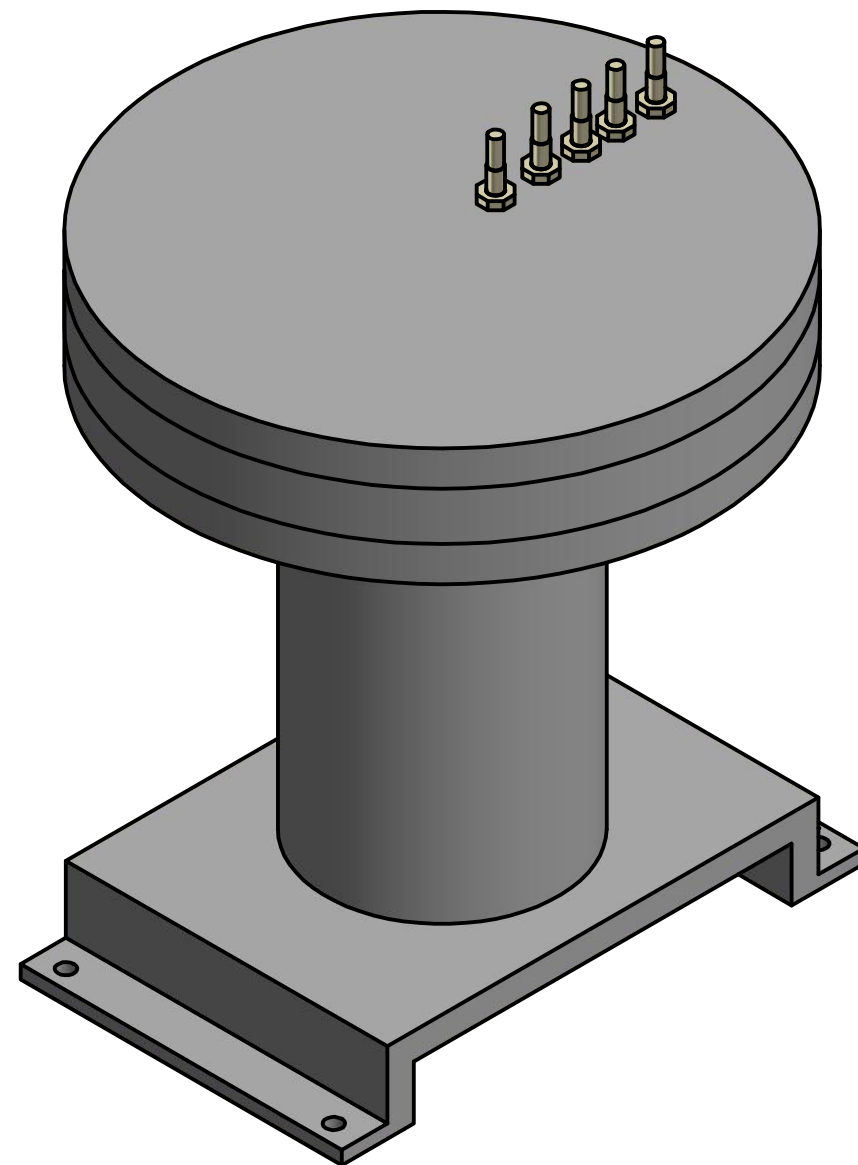
**ANEXOS PLANOS DEL MÓDULO DE  
TRANSFERENCIA DE CONDUCCIÓN DE CALOR  
AXIAL Y RADIAL**



Vista Superior ( 1 : 2 )



EQUIPO RADIAL ( 1 : 2 )



4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones



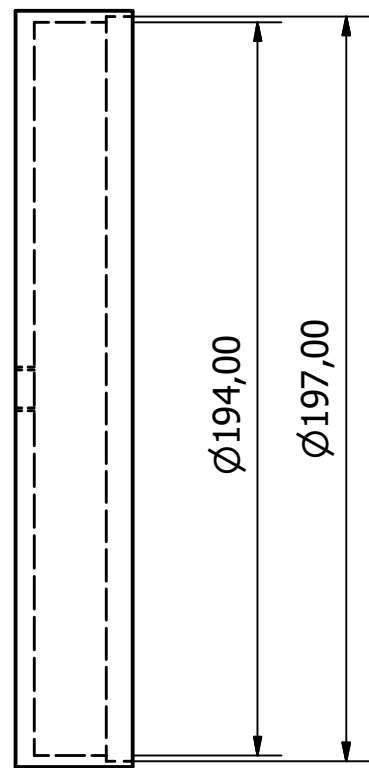
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



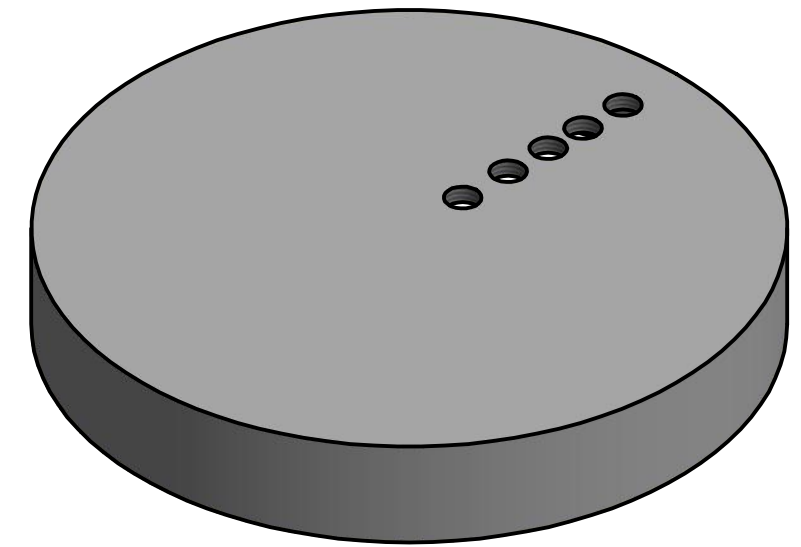
Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
Dib. 25/7/18	Fabricio Guzmán	1:2			
Rev.	Ing. Enrique Torres				
Apro	Ing. Enrique Torres				
Materiales Acero galvanizado		Tolerancias TOLERANCIA	Nº Lamina 1	Asignatura ASIGNATURA	Denominación Equipo de conducción radial



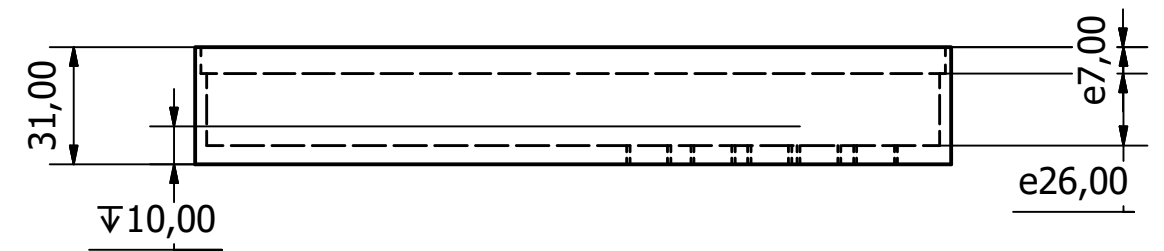
Vista lateral ( 1 : 2 )



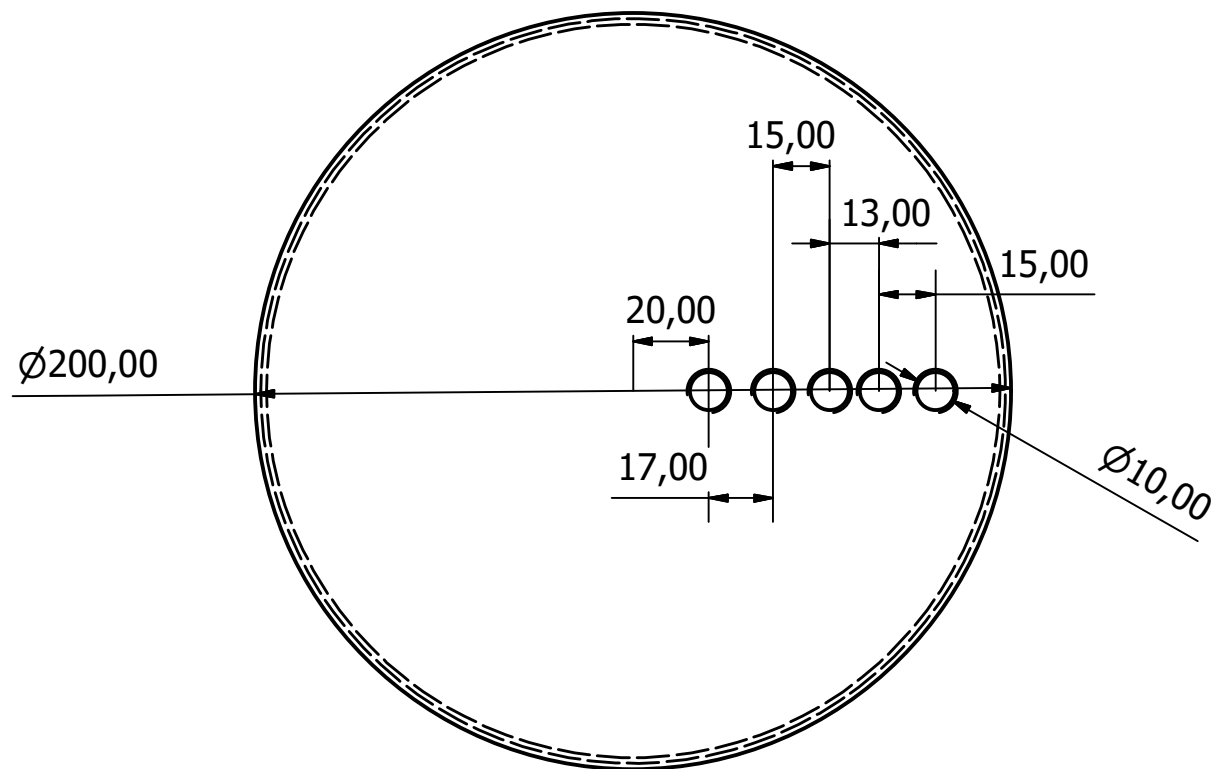
Isometría ( 1 : 2 )



Vista Inferior ( 1 : 2 )



Vista superior ( 1 : 2 )



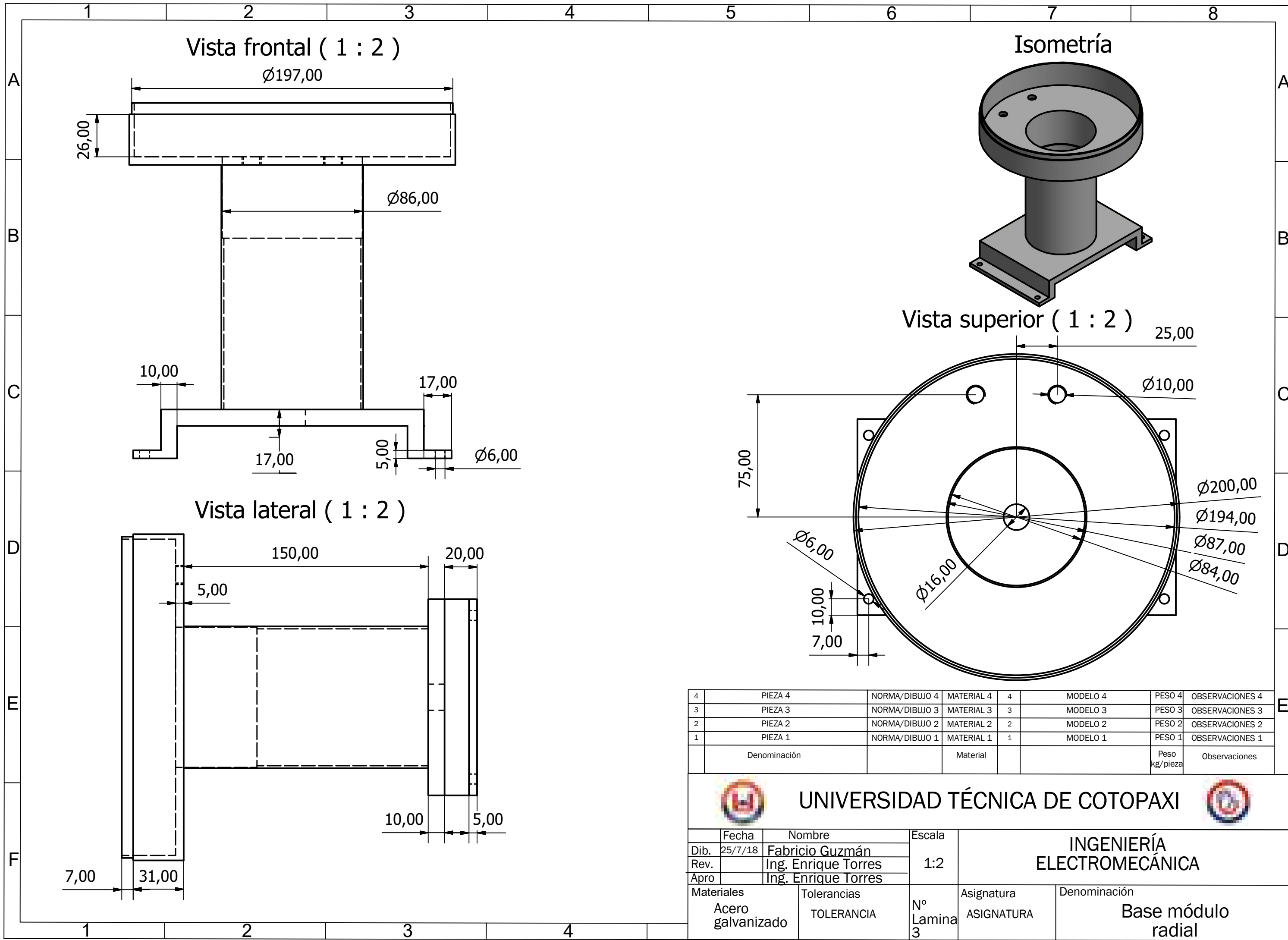
4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI




Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>		
Dib. 25/7/18	Fabricio Guzmán	1:2			
Rev.	Ing. Enrique Torres				
Apro	Ing. Enrique Torres				
Materiales		Tolerancias	Nº Lamina	Asignatura	Denominación
Acero galvanizado		TOLERANCIA	2	ASIGNATURA	Tapa módulo radial



4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones

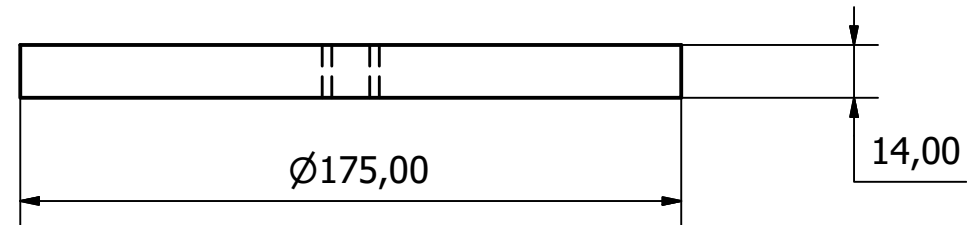


## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

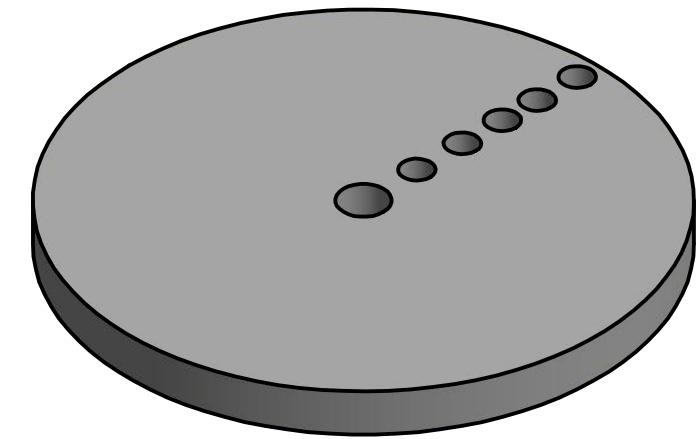


Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>		
Dib. 25/7/18	Fabrizio Guzmán	1:2			
Rev.	Ing. Enrique Torres				
Apro.	Ing. Enrique Torres				
Materiales		Tolerancias	Nº Lamina	Asignatura	Denominación
Acero galvanizado		TOLERANCIA	3	ASIGNATURA	Base módulo radial

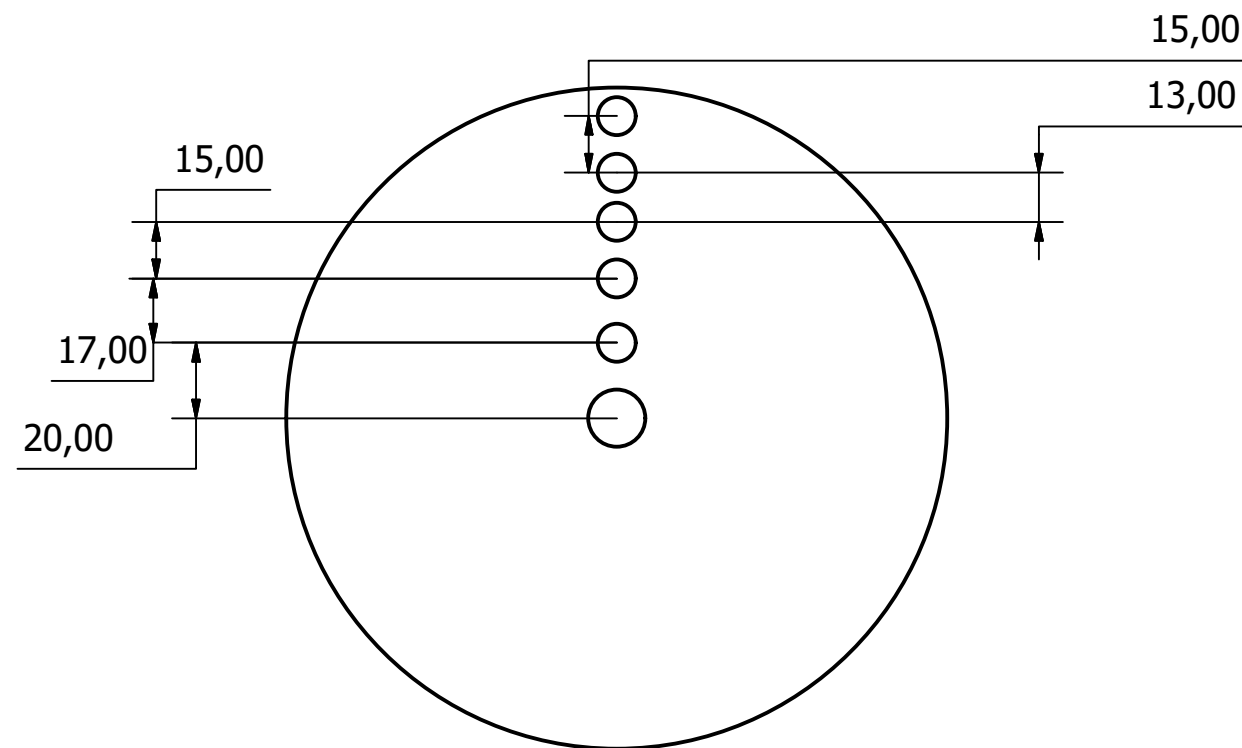
Vista lateral ( 1 : 2 )



Isometría ( 1 : 2 )



Vista superior ( 1 : 2 )



4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones

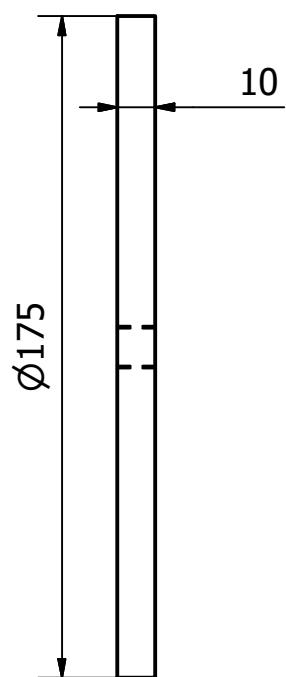


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

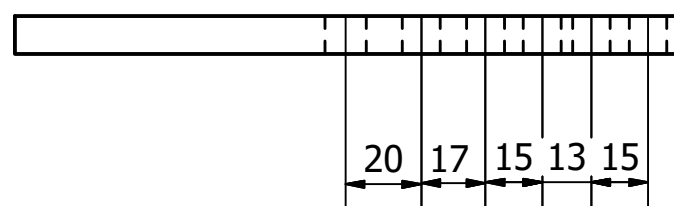


	Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	25/7/18	Fabrizio Guzmán	1:2		
Rev.		Ing. Enrique Torres			
Apro		Ing. Enrique Torres			
Materiales		Tolerancias	Nº	Asignatura	Denominación
Aluminio puro		TOLERANCIA	Lamina 4	ASIGNATURA	Disco módulo radial

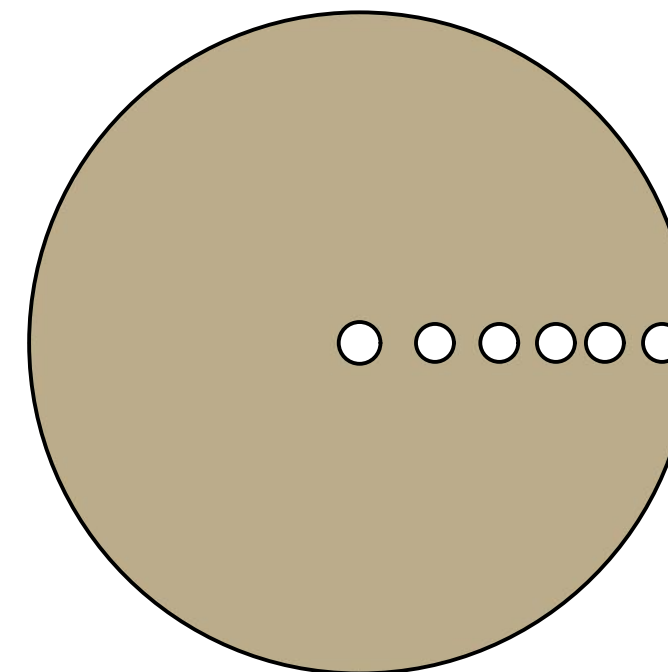
Vista lateral disco ( 1 : 2 )



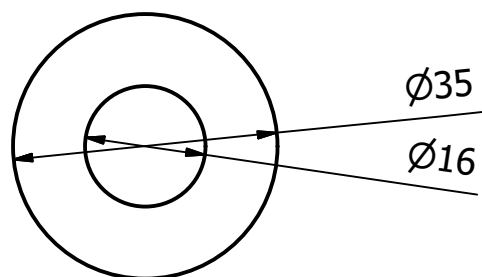
Vista frontal disco ( 1 : 2 )



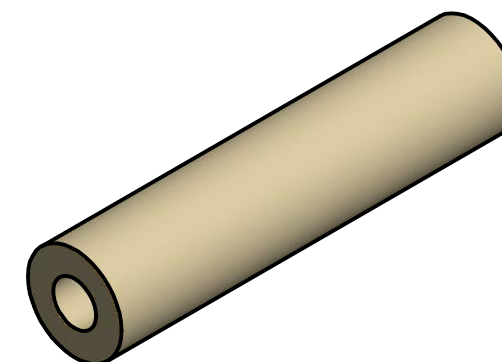
Isometría disco ( 1 : 2 )



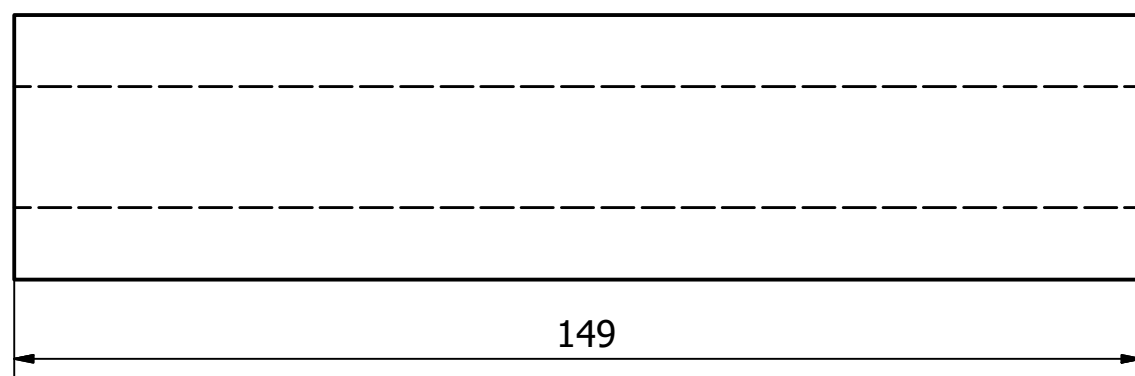
Vista frontal cilindro ( 1:1 )



Isometría cilindro ( 1:2 )



Vista lateral cilindro ( 1:1 )



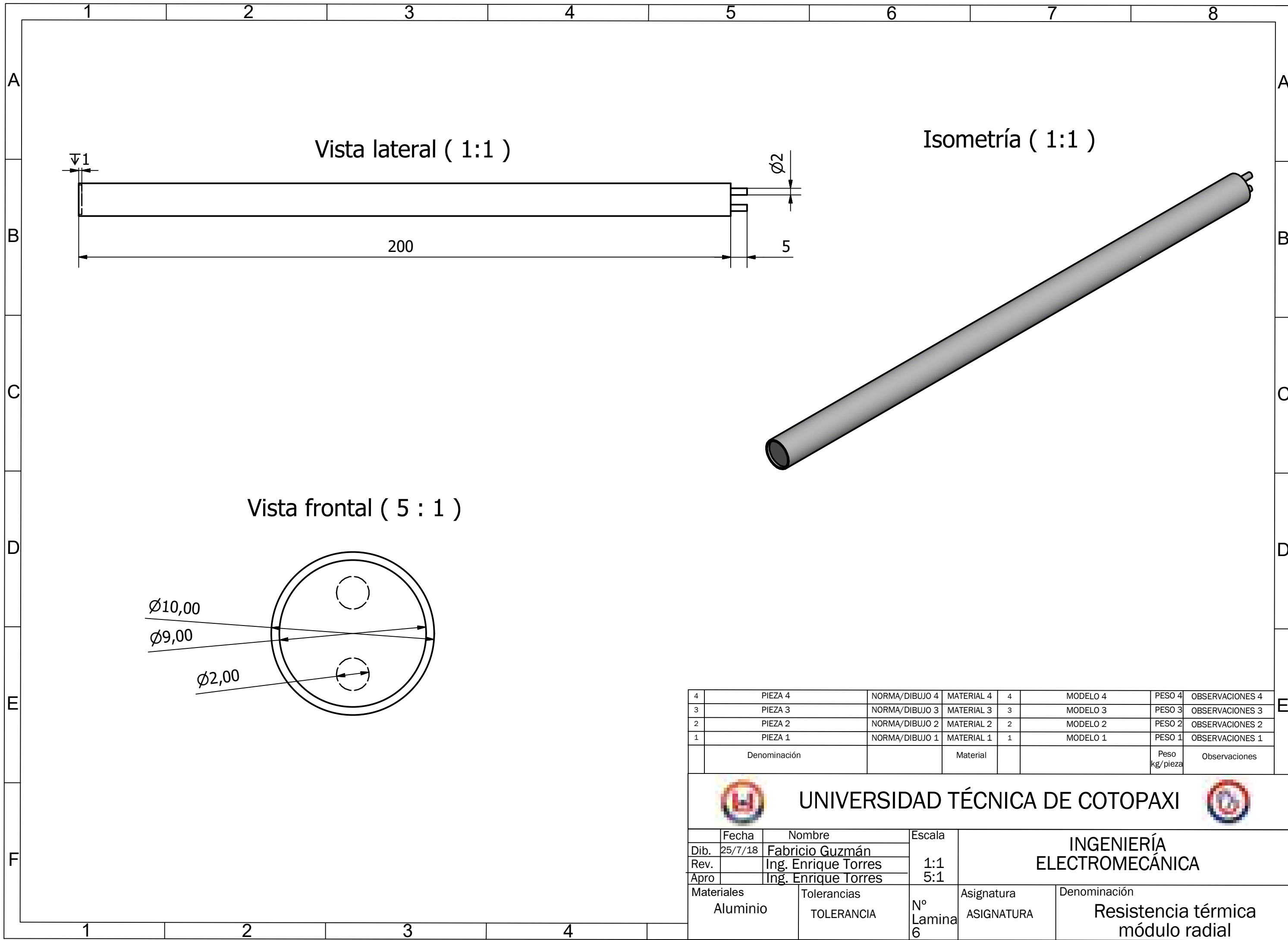
4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
25/7/18	Fabricio Guzmán	1:2		
	Ing. Enrique Torres	1:1		
Apro	Ing. Enrique Torres		Asignatura	Denominación
Materiales	Tolerancias	Nº Lamina	ASIGNATURA	Aislamiento módulo radial
Ladrillo Refractario	TOLERANCIA	5		



Vista lateral ( 1:1 )

Isometría ( 1:1 )

Vista frontal ( 5 : 1 )

4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones

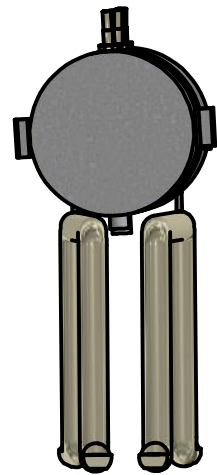


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

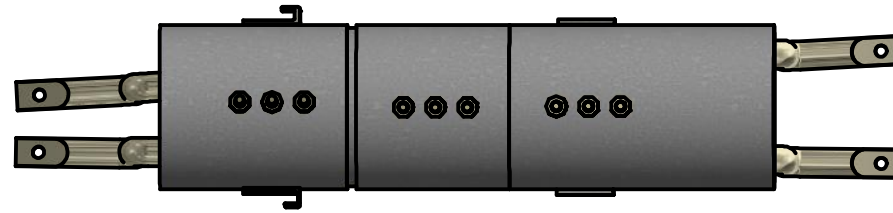


Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
Dib. 25/7/18	Fabricio Guzmán	1:1 5:1			
Rev.	Ing. Enrique Torres				
Apro.	Ing. Enrique Torres		Asignatura	Denominación	
Materiales Aluminio		Tolerancias TOLERANCIA	Nº Lamina 6	ASIGNATURA	Resistencia térmica módulo radial

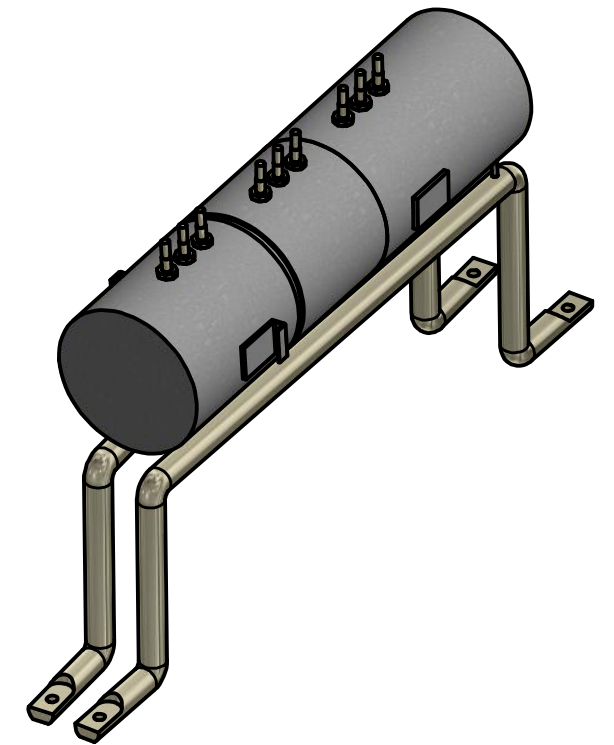
Vista frontal ( 1 : 4 )



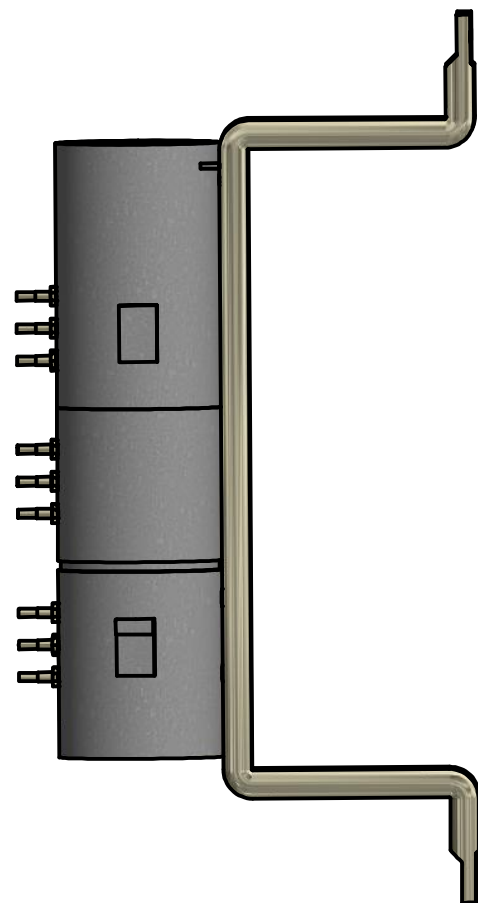
Vista superior ( 1 : 4 )



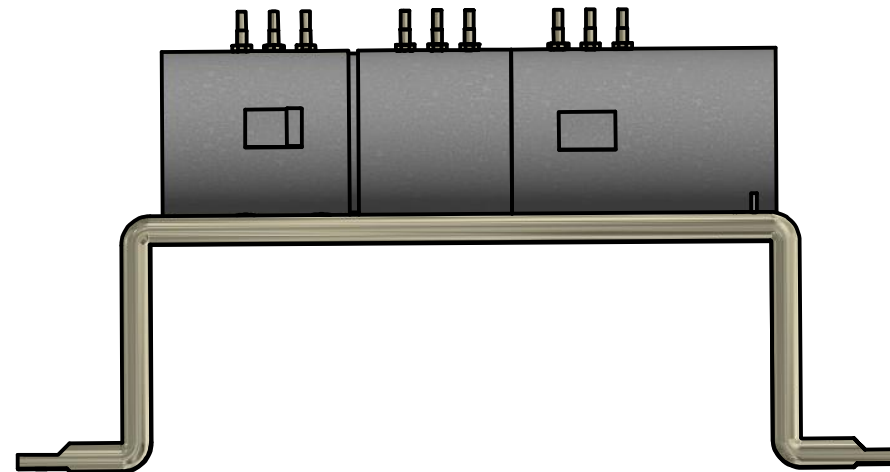
Equipo axial ( 1 : 4 )



Vista lateral ( 1 : 4 )



Vista posterior ( 1 : 4 )



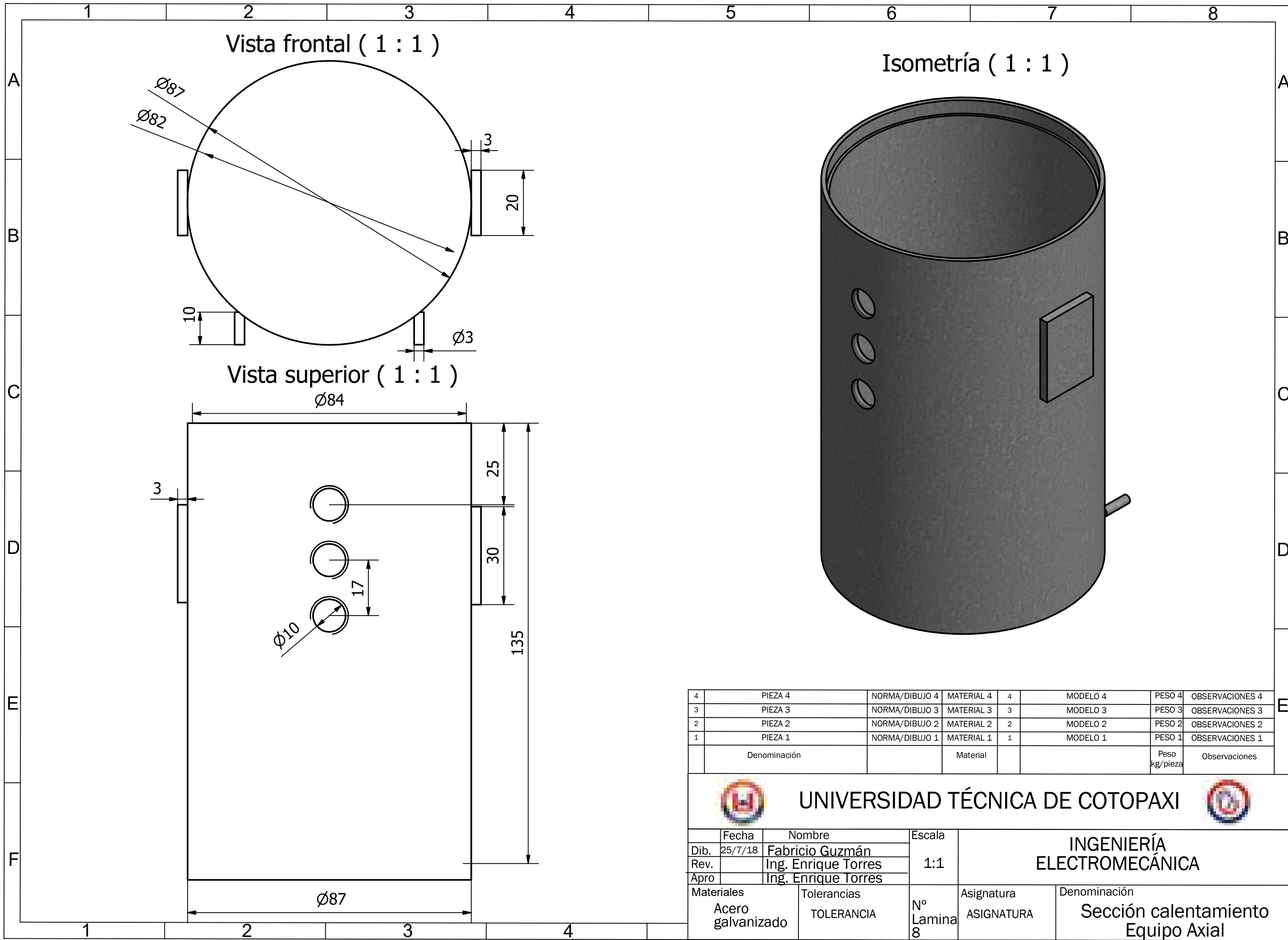
4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 25/7/18	Fabricio Guzmán	1:4	ASIGNATURA	
Rev.	Ing. Enrique Torres			
Apro	Ing. Enrique Torres			
Materiales		Tolerancias	Nº Lamina	Denominación
Acero galvanizado		TOLERANCIA	7	Equipo Axial



4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones

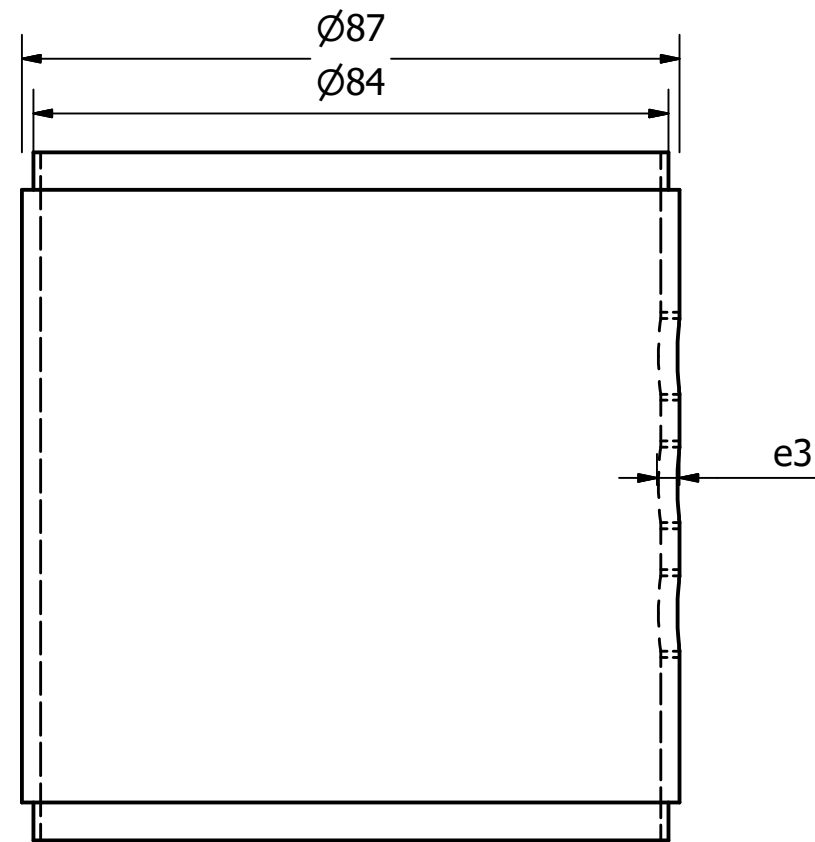


## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

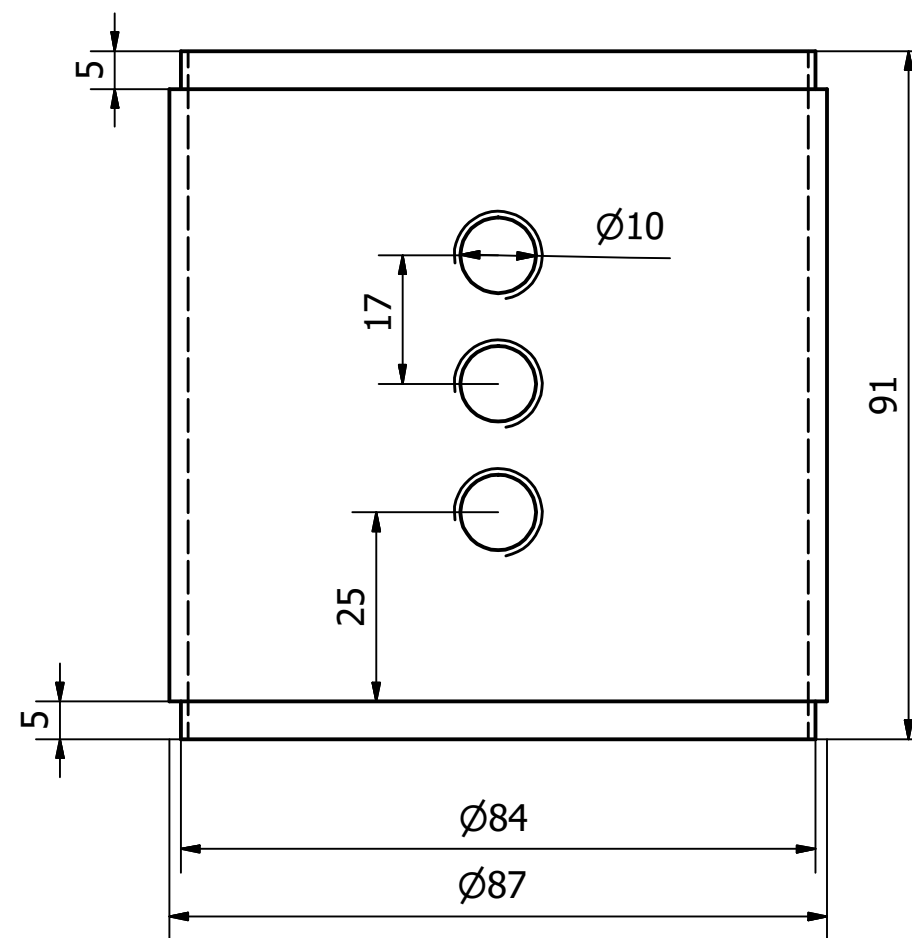


	Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>
Dib.	25/7/18	Fabricio Guzmán	1:1	
Rev.		Ing. Enrique Torres		
Apro		Ing. Enrique Torres		
Materiales		Tolerancias		Asignatura
Acero galvanizado		TOLERANCIA		ASIGNATURA
		Nº Lamina	Denominación	
		8	<b>Sección calentamiento Equipo Axial</b>	

Vista lateral ( 1 : 1 )



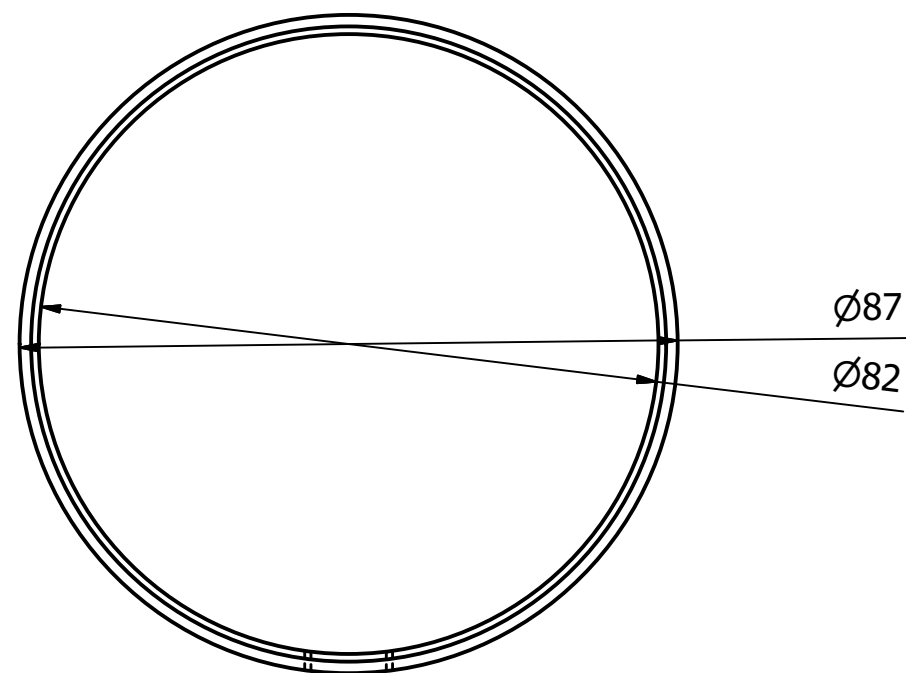
Vista superior ( 1 : 1 )



Isometría ( 1 : 1 )



Vista frontal ( 1 : 1 )



4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones



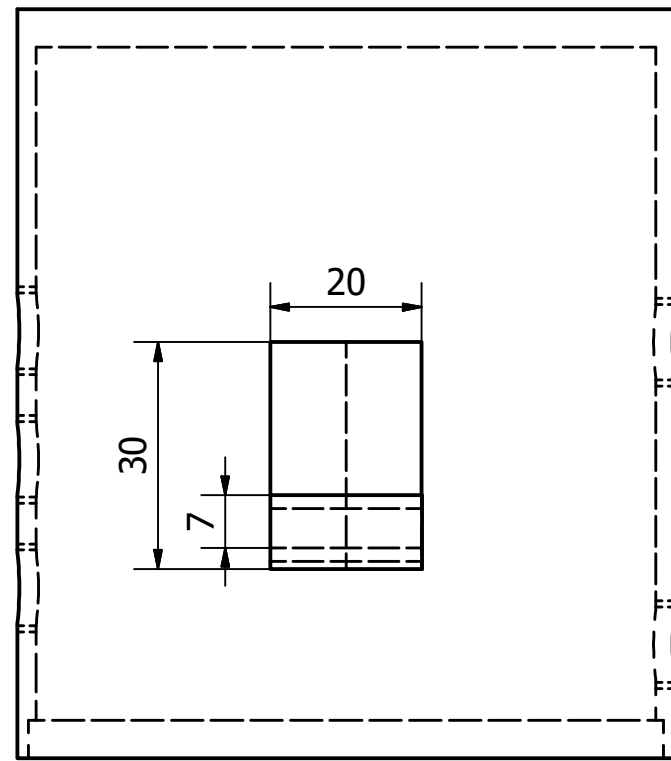
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



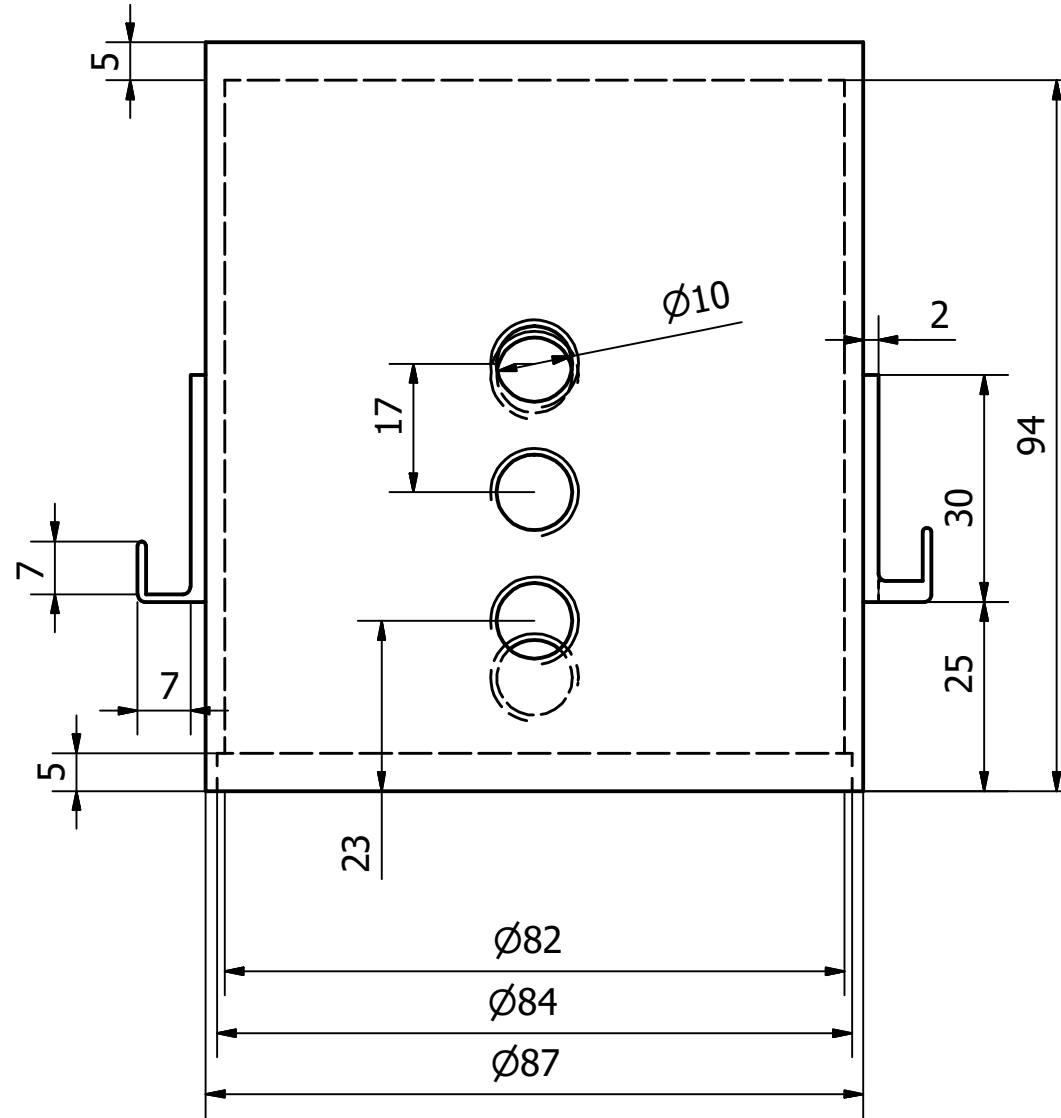
Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
Dib. 25/7/18	Fabrizio Guzmán	1:1			
Rev.	Ing. Enrique Torres				
Apro	Ing. Enrique Torres				
Materiales		Tolerancias	Nº Lamina	Asignatura	Denominación
Acero galvanizado		TOLERANCIA	9	ASIGNATURA	Sección probetas Equipo Axial



Vista lateral ( 1 : 1 )



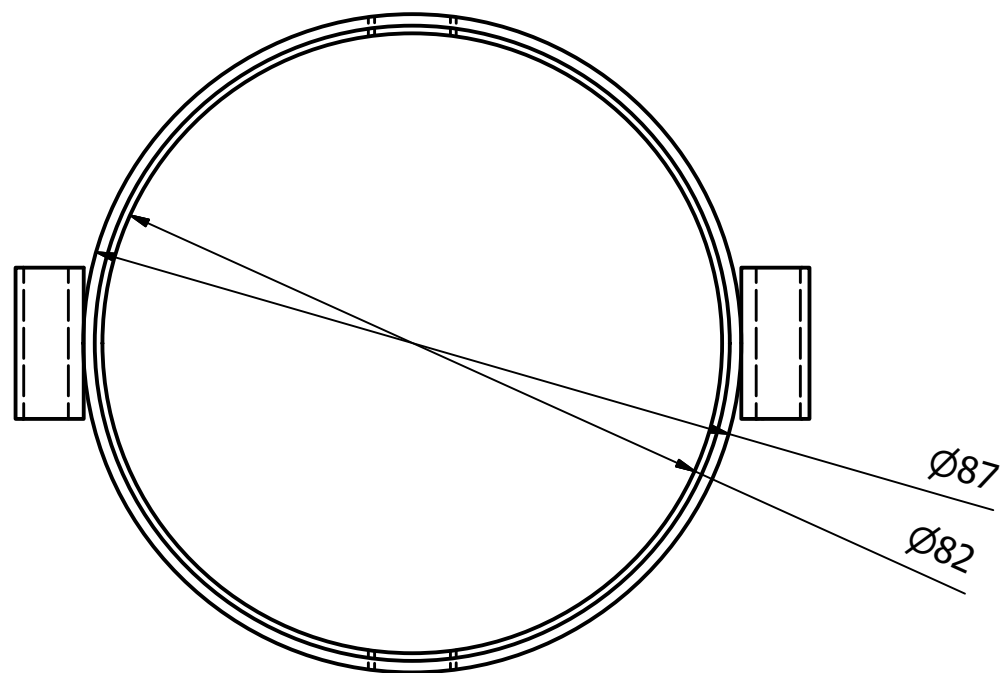
Vista superior ( 1 : 1 )



Isometría ( 1 : 1 )



Vista frontal ( 1 : 1 )



4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones

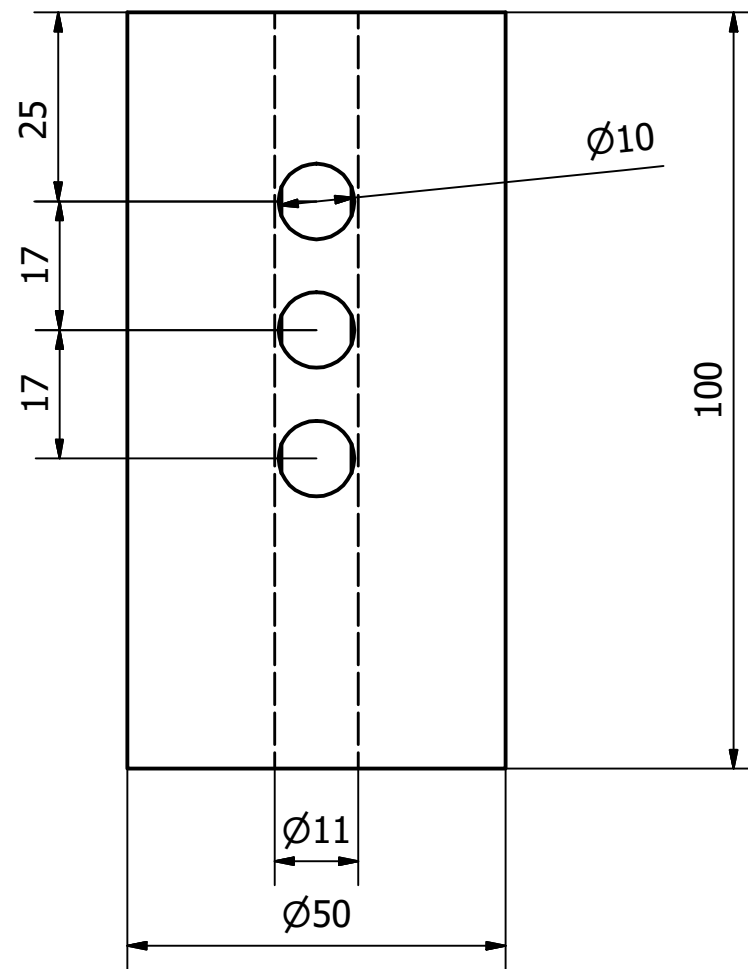


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

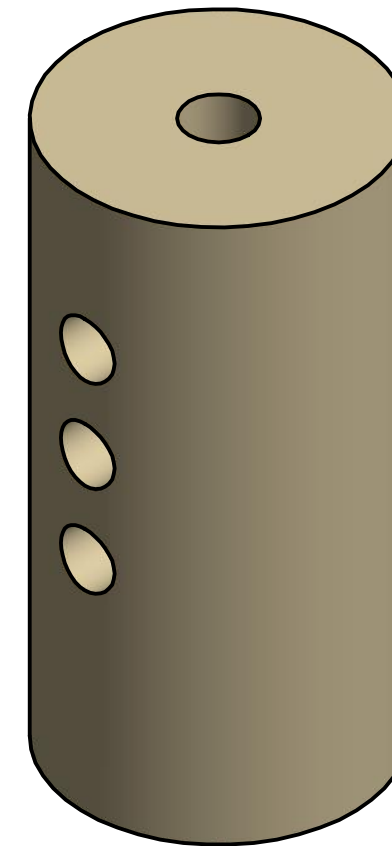


Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 25/7/18	Fabricio Guzmán	1:1		
Rev.	Ing. Enrique Torres			
Apro	Ing. Enrique Torres		Asignatura	Denominación
Materiales	Tolerancias	Nº Lamina	ASIGNATURA	Sección refrigeración
Acero galvanizado	TOLERANCIA	10		Equipo Axial

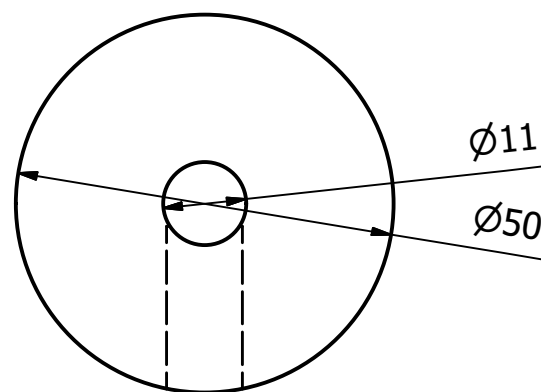
Vista superior ( 1 : 1 )



Isometría ( 1 : 1 )



Vista frontal ( 1 : 1 )



4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones

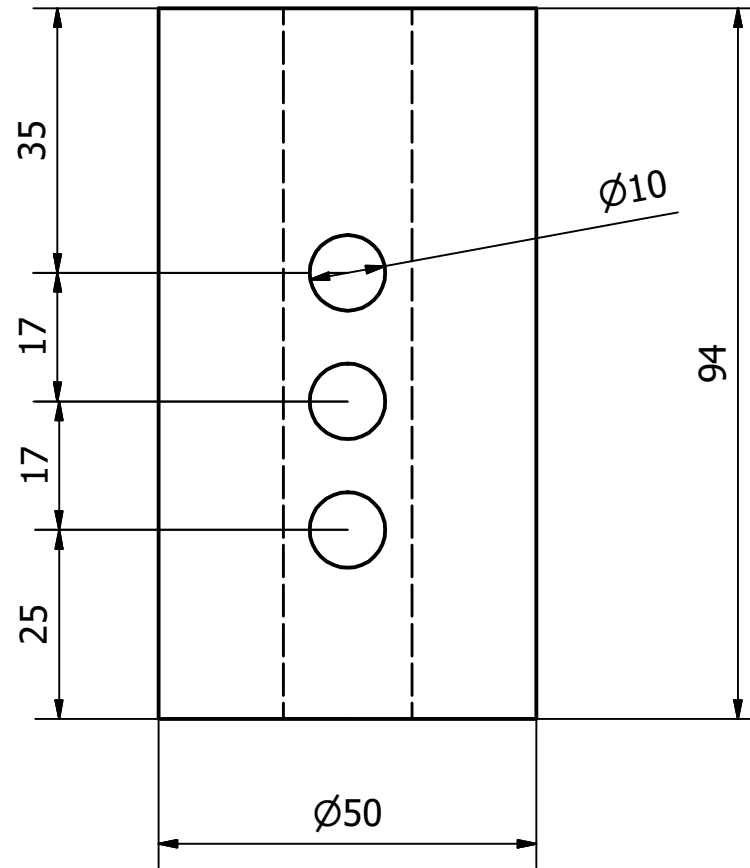


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

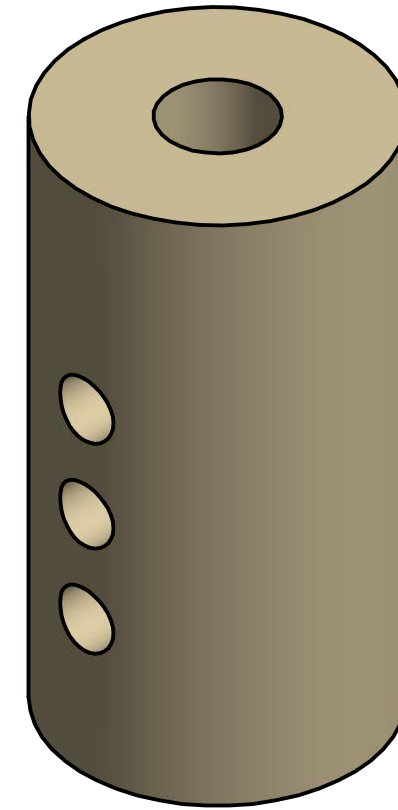


Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 25/7/18	Fabricio Guzmán	1:1		
Rev.	Ing. Enrique Torres			
Apro	Ing. Enrique Torres			
Materiales		Tolerancias	Asignatura	Denominación
Ladrillo refractario		TOLERANCIA	ASIGNATURA	Aislamiento Equipo Axial
		Nº Lamina 11		

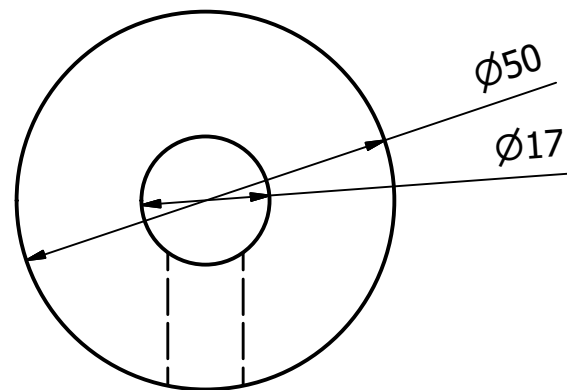
Vista superior ( 1 : 1 )



Isometría ( 1 : 1 )



Vista frontal ( 1 : 1 )



4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones

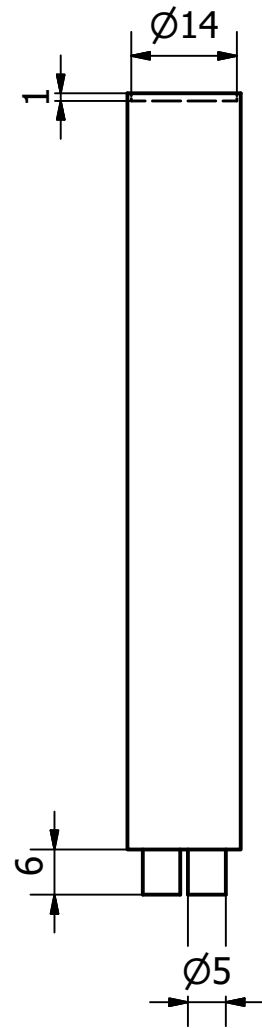


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

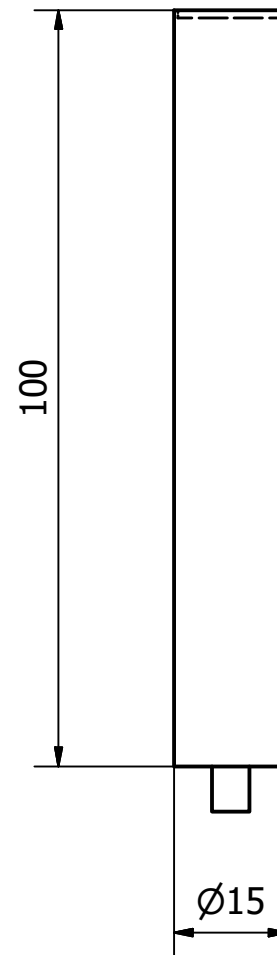


Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
Dib. 25/7/18	Fabricio Guzmán	1:1			
Rev.	Ing. Enrique Torres				
Apro	Ing. Enrique Torres				
Materiales		Tolerancias	Nº Lamina	Asignatura	Denominación
Ladrillo refractario		TOLERANCIA	12	ASIGNATURA	Aislamiento probetas Equipo Axial

Vista lateral 1 ( 1 : 1 )



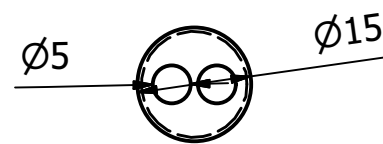
Vista lateral 2 ( 1 : 1 )



Isometría ( 1 : 1 )



Vista frontal ( 1 : 1 )



4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

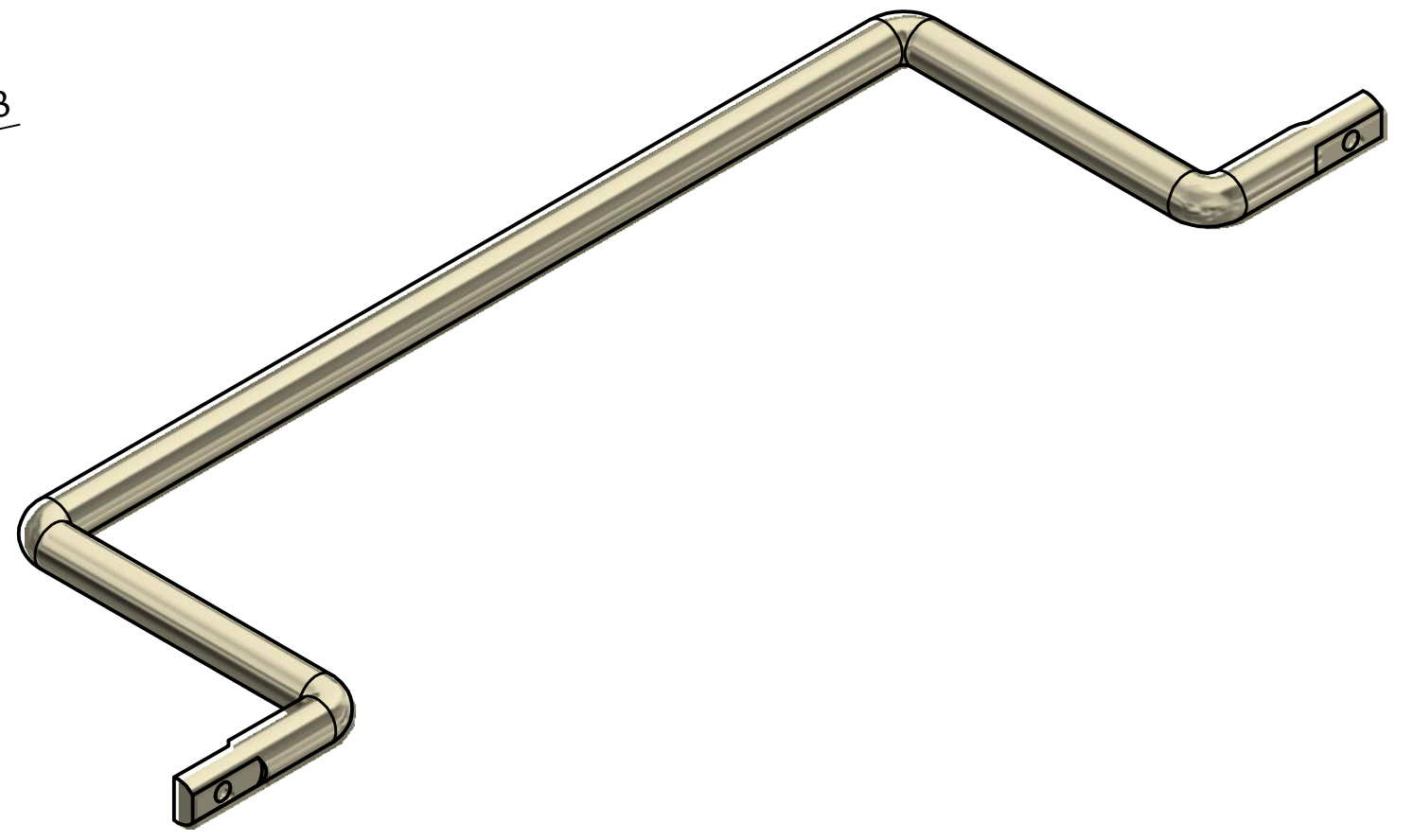
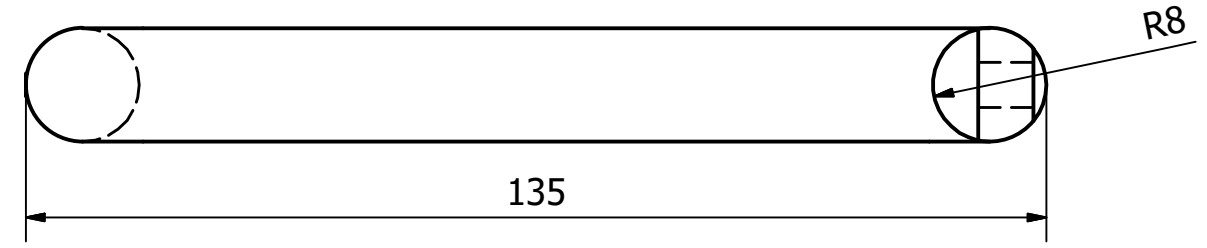


Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
Dib. 25/7/18	Fabrizio Guzmán	1:1			
Rev.	Ing. Enrique Torres				
Apro	Ing. Enrique Torres				
Materiales Aluminio		Tolerancias TOLERANCIA	Nº Lamina 13	Asignatura ASIGNATURA	Denominación Resistencia térmica Equipo Axial

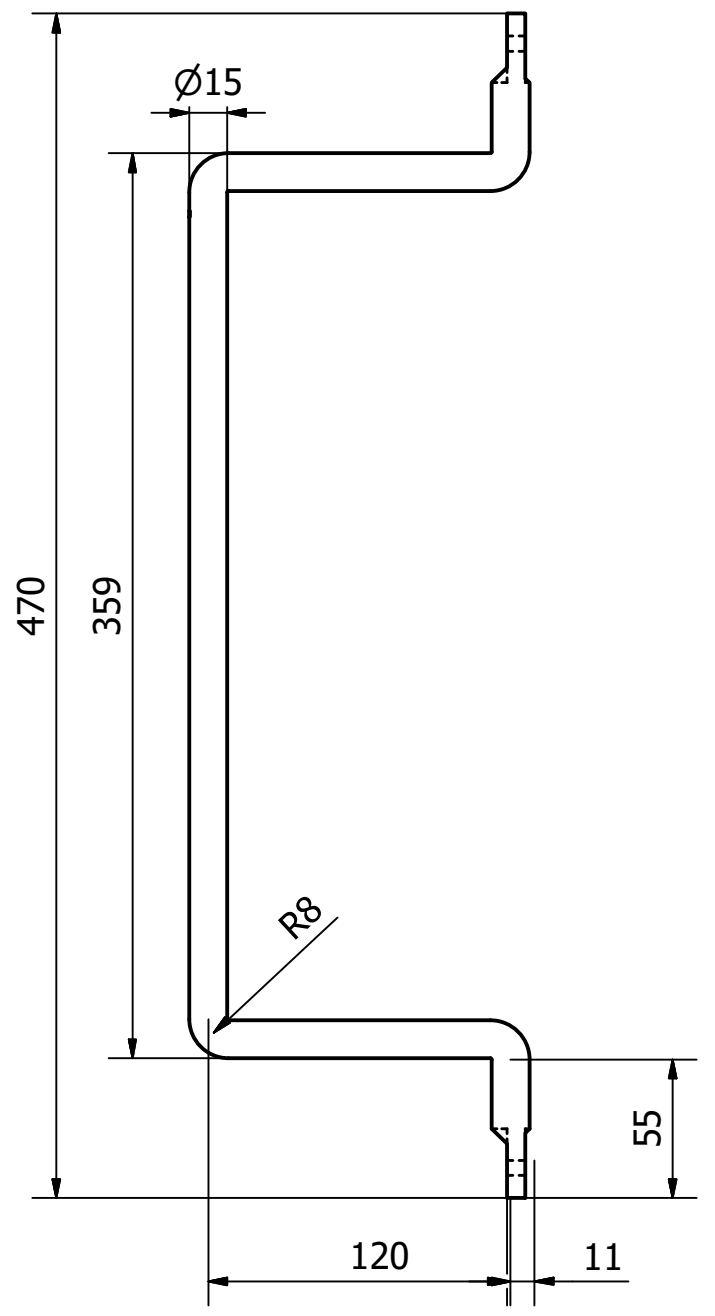
1 2 3 4 5 6 7 8

Isometría ( 1 : 2 )

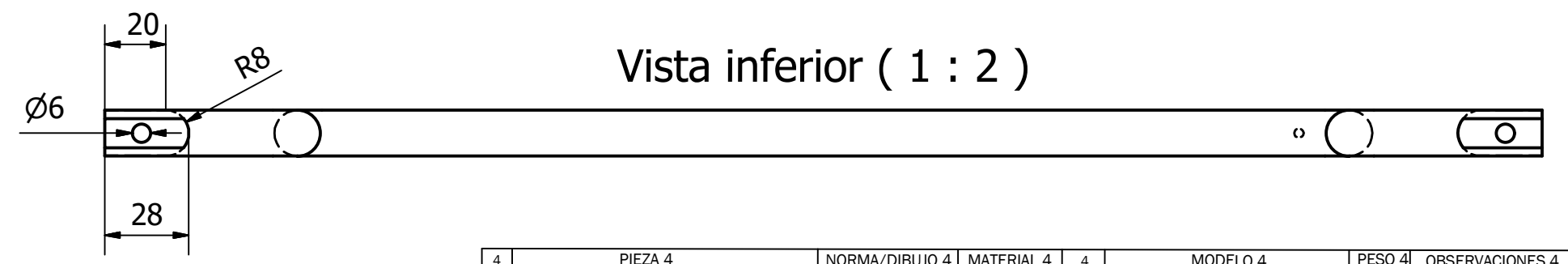
Vista posterior ( 1 : 1 )



Vista lateral ( 1 : 3 )



Vista inferior ( 1 : 2 )



4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

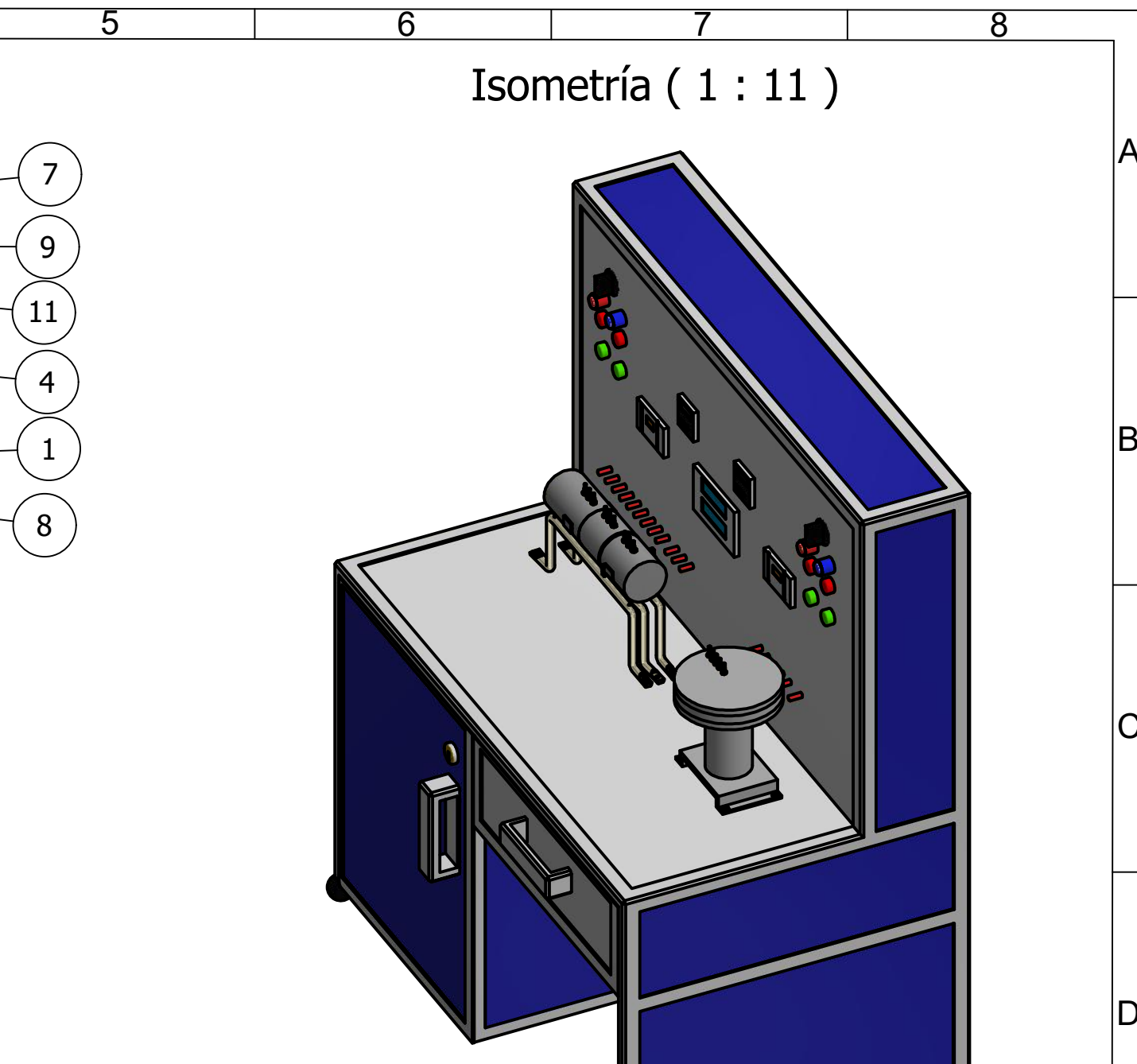
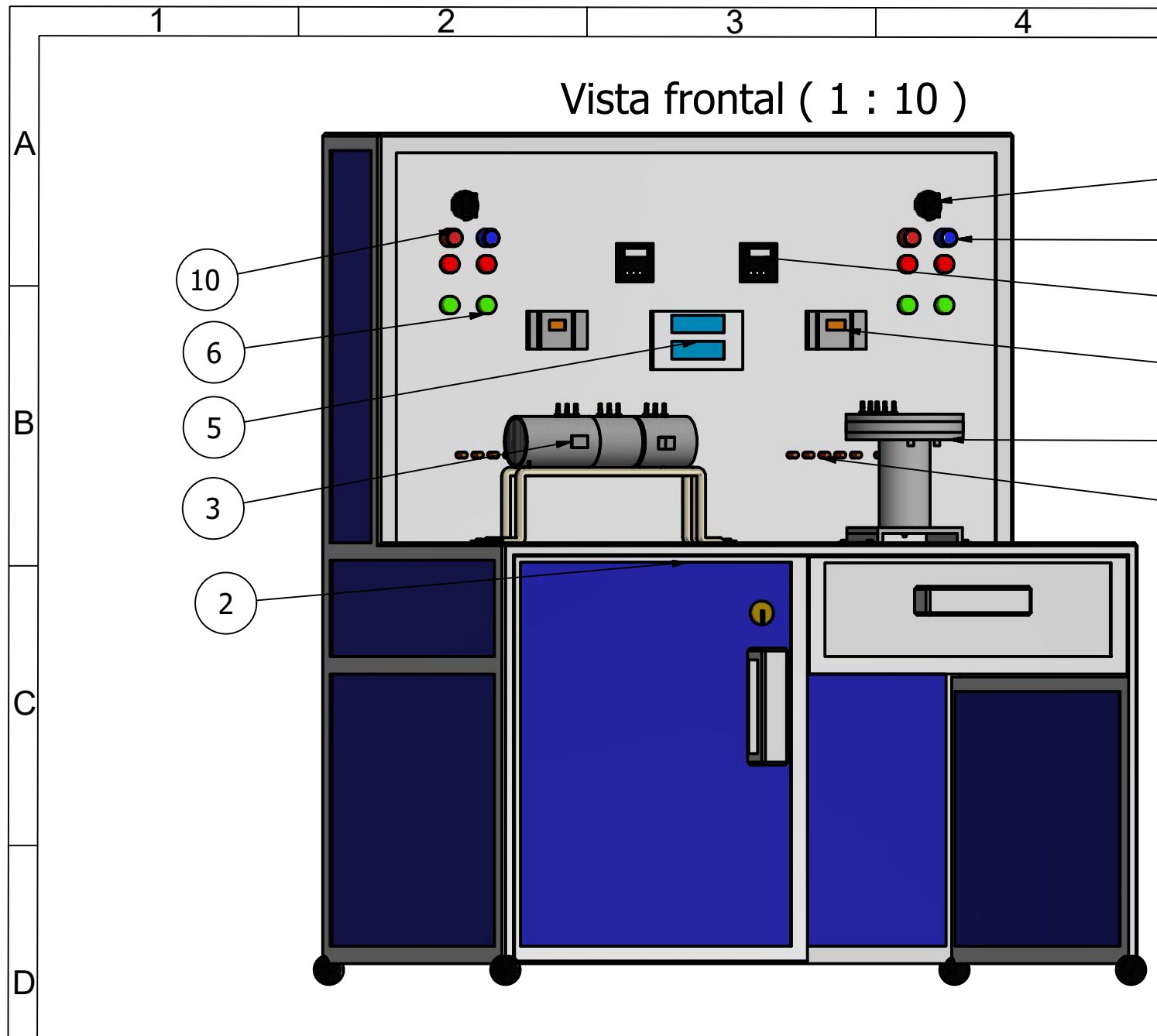


Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
25/7/18	Fabricio Guzmán	1:1		
Rev.	Ing. Enrique Torres	1:2		
Apro	Ing. Enrique Torres	1:3		
Materiales		Tolerancias	Asignatura	Denominación
Acero inoxidable		TOLERANCIA	ASIGNATURA	Soporte Equipo Axial
		Nº Lamina		
		14		

1 2 3 4

A  
B  
C  
D  
E  
F

A  
B  
C  
D  
E  
F



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Equipo radial	
2	1	Modular	
3	1	Equipo axial	
4	2	Contactora	
5	2	LCD	
6	8	Luces piloto	
7	2	Selector de posición	
8	20	Termocupla tipo K	
9	2	Pulsador de puesta en marcha	
10	2	Pulsador de paro	
11	2	Controlador de temperatura	

4	PIEZA 4	NORMA/DIBUJO 4	MATERIAL 4	4	MODELO 4	PESO 4	OBSERVACIONES 4
3	PIEZA 3	NORMA/DIBUJO 3	MATERIAL 3	3	MODELO 3	PESO 3	OBSERVACIONES 3
2	PIEZA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEZA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
	Denominación		Material			Peso kg/pieza	Observaciones

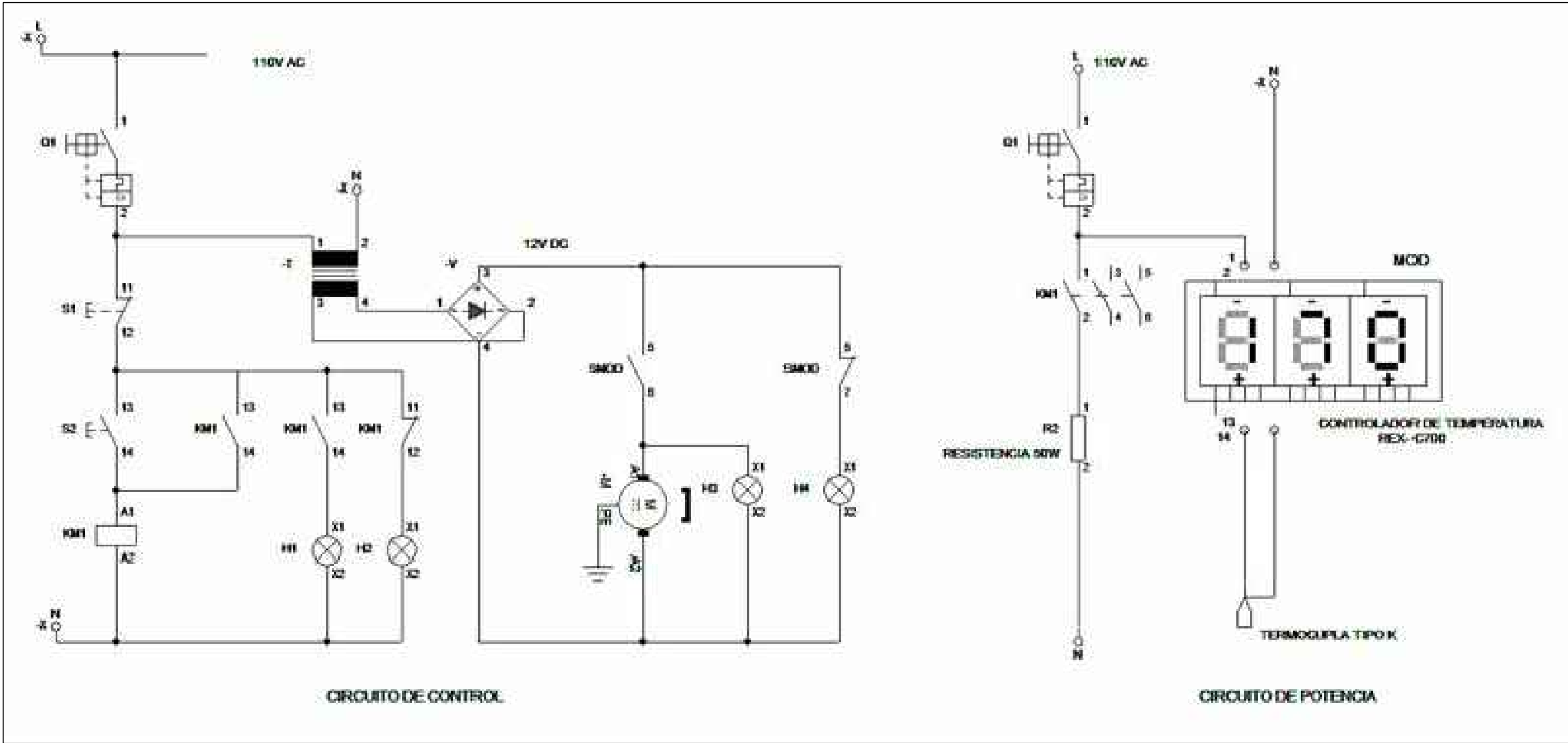


## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



	Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>
Dib.	25/7/18	Fabrizio Guzmán	1:11	
Rev.		Ing. Enrique Torres		
Apro.		Ing. Enrique Torres		
Materiales		Tolerancias	Nº Lamina	Asignatura
MATERIALES		TOLERANCIA	15	ASIGNATURA
				Denominación <b>Módulo de conducción Axial y radial</b>

**ANEXOS PLANOS ELÉCTRICOS DEL MÓDULO DE  
TRANSFERENCIA DE CONDUCCIÓN DE CALOR  
AXIAL Y RADIAL**



ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ESPECIFICACIONES
1	Relé		
2	Interruptor		
3	Motor		
4	Lámpara		
5	Resistencia		
6	Controlador de Temperatura		
7	Termopar		

Tolerancia	Peso	MÓDULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR - AXIAL/LINEAL
FECHA	NOMBRE	
Di. 27/07/18	JADINA CAMO	
Rev. 27/07/18	ENRIQUE TORRES	GESTIÓN DE ENERGÍAS
Ap. 27/07/18	ENRIQUE TORRES	CIRCUITO ELÉCTRICO
UTC		
Ed.	Revisión	Fecha
		Nombre



Diagrama de bloques - Procesamiento de datos

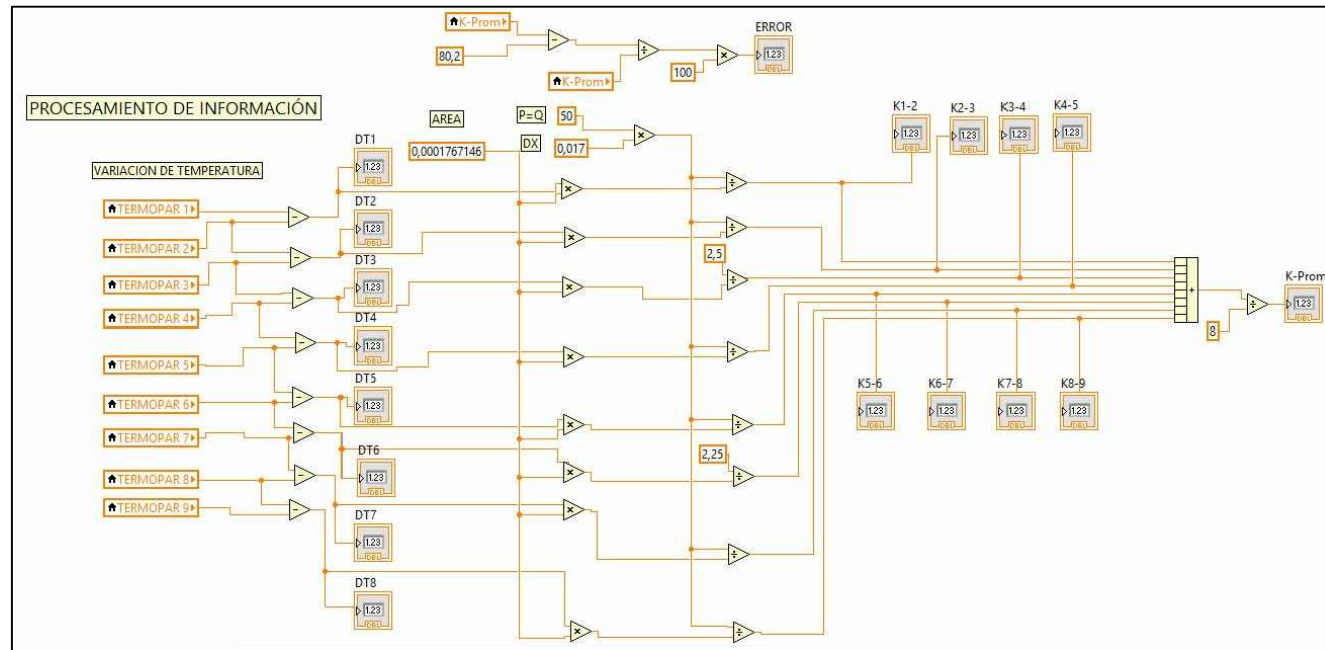


Diagrama de bloques - Graficas de datos

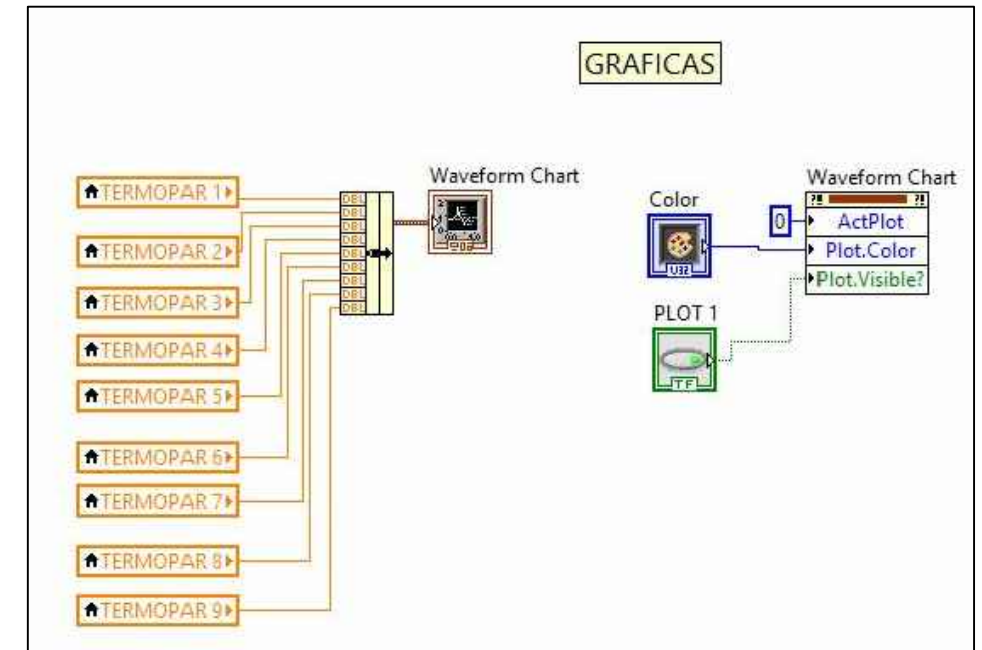


Diagrama de bloques - Empaquetado de datos

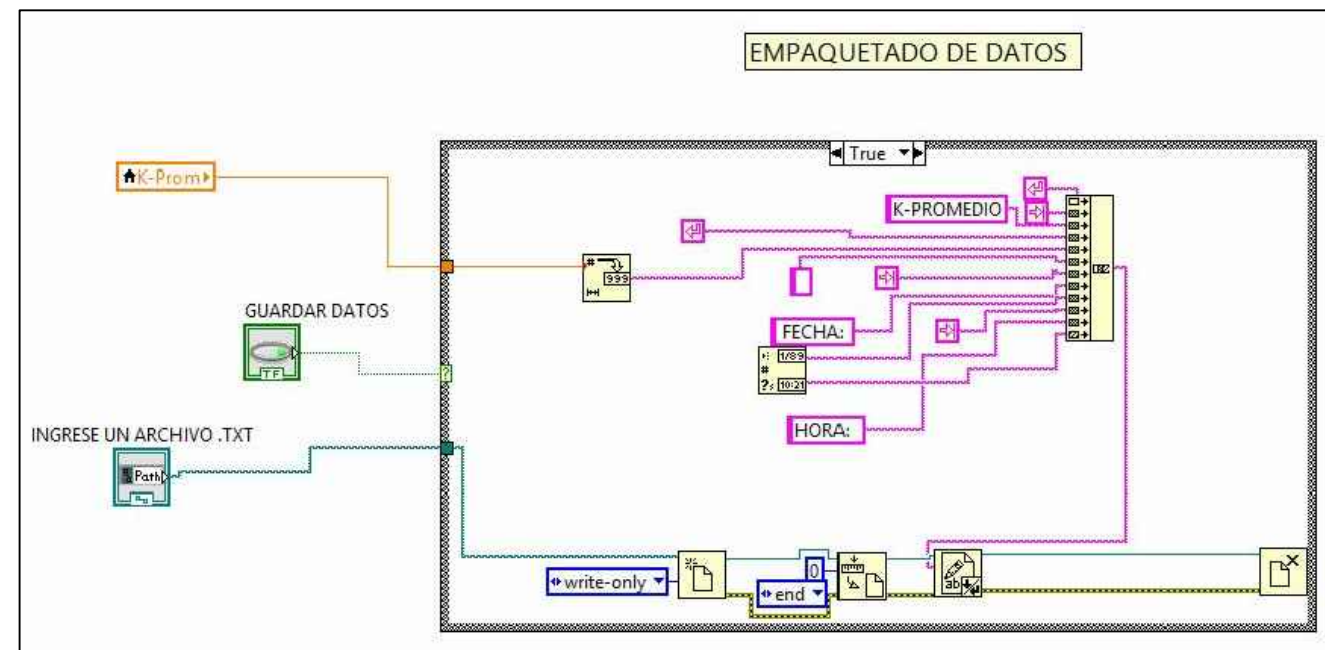
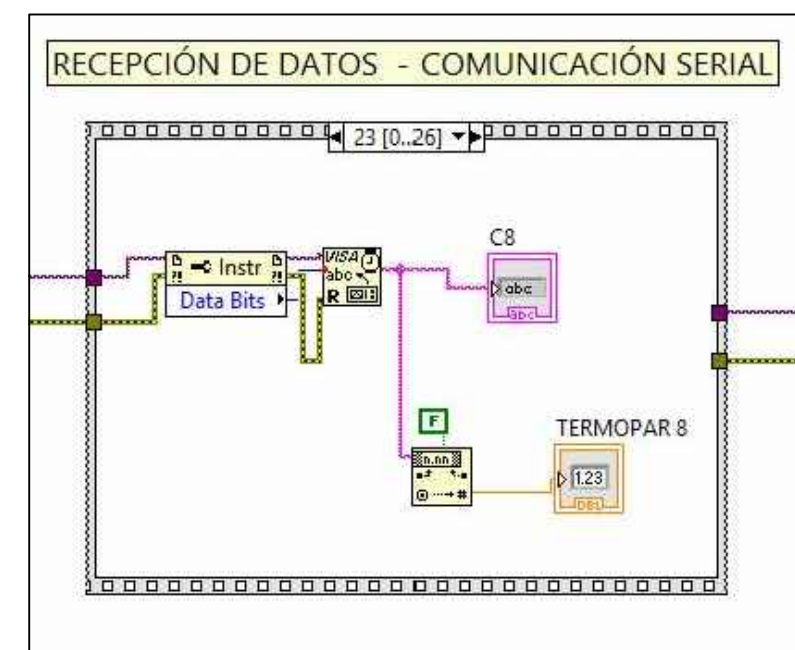
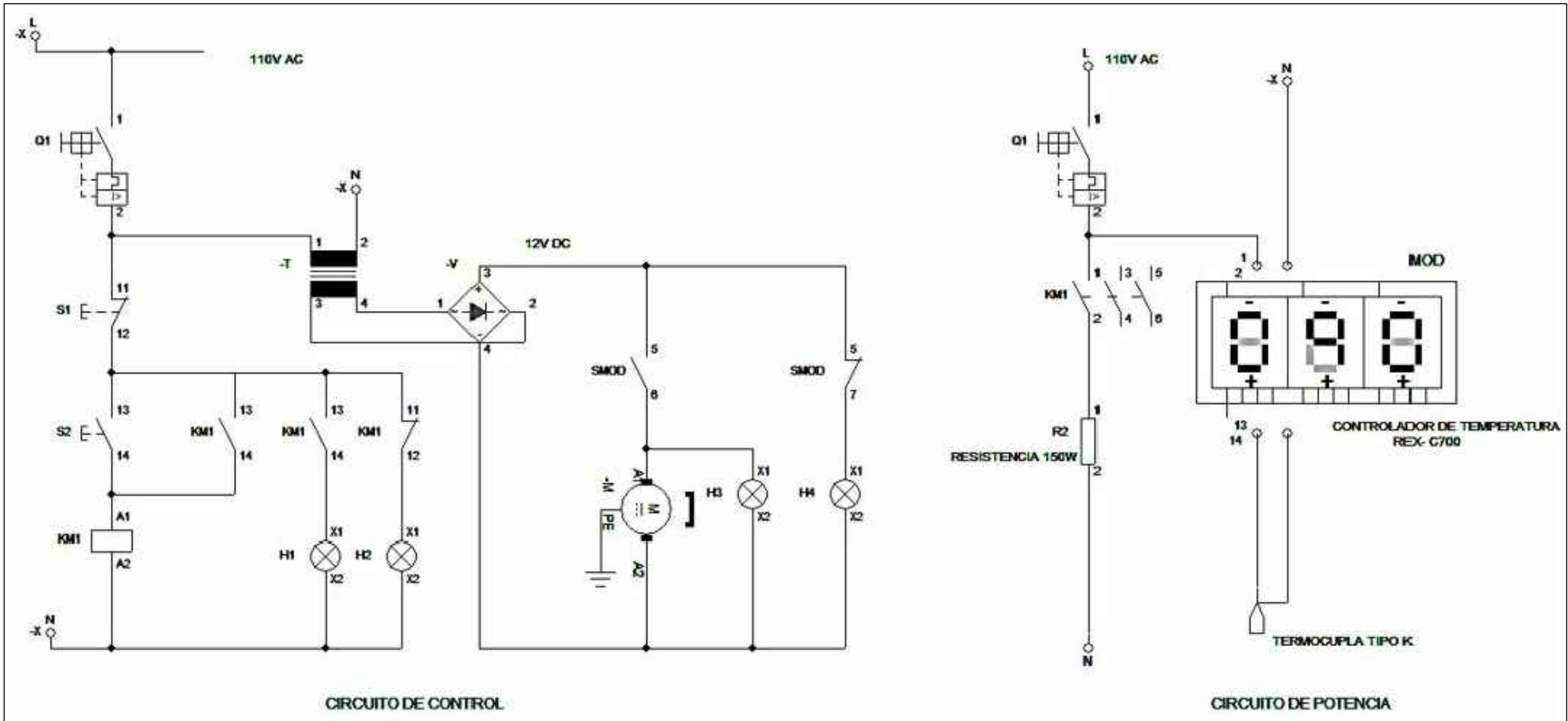


Diagrama de bloques - Recepción de datos



MIEMBROS		TPO	ESPECIA	Tolerancia	Peso	MÓDULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR - AXIAL	
FECHA	27/07/18	NOMBRE	TADIANA CANO			Escrit S/N	
Dir.	27/07/18	ENRIQUE TORRES			GESTIÓN DE ENERGÍAS		800 E
Ap.	27/07/18	ENRIQUE TORRES			Programación LabVIEW		
			UTC				
Ed.	Modificación	Fecha	Nombre				



ITEM	TIPO	ESPECIFICACIONES	Tolerancia	Peso	MÓDULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR - RADIAL	
			FECHA	NOMBRE	GESTIÓN DE ENERGÍAS	
			Di. 27/07/18	EDUARDO CAMERO		
			Rev. 27/07/18	ENRIQUE TORRES		
			Ap. 27/07/18	ENRIQUE TORRES	CIRCUITO ELÉCTRICO	
					UTC	
					Escal: S/M	
					E0 E	

Diagrama de bloques - Procesamiento de datos

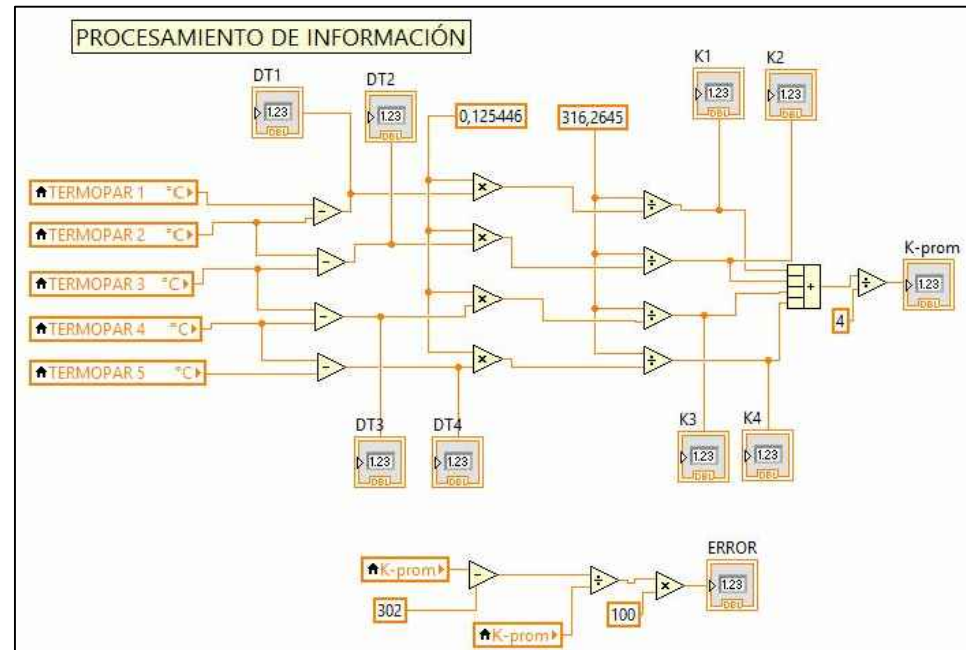


Diagrama de bloques - Graficas de datos

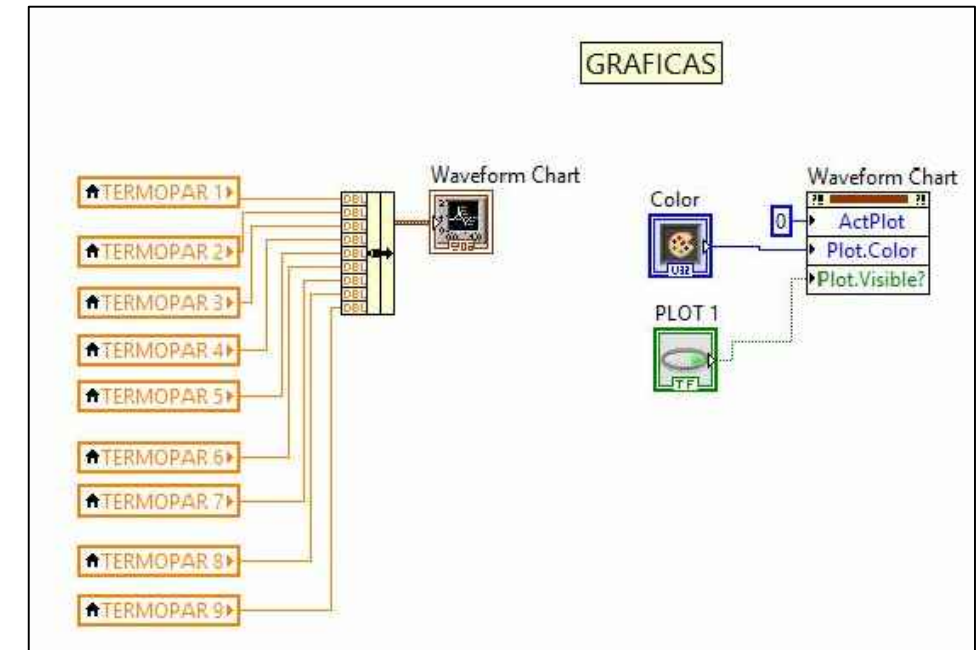


Diagrama de bloques - Empaquetado de datos

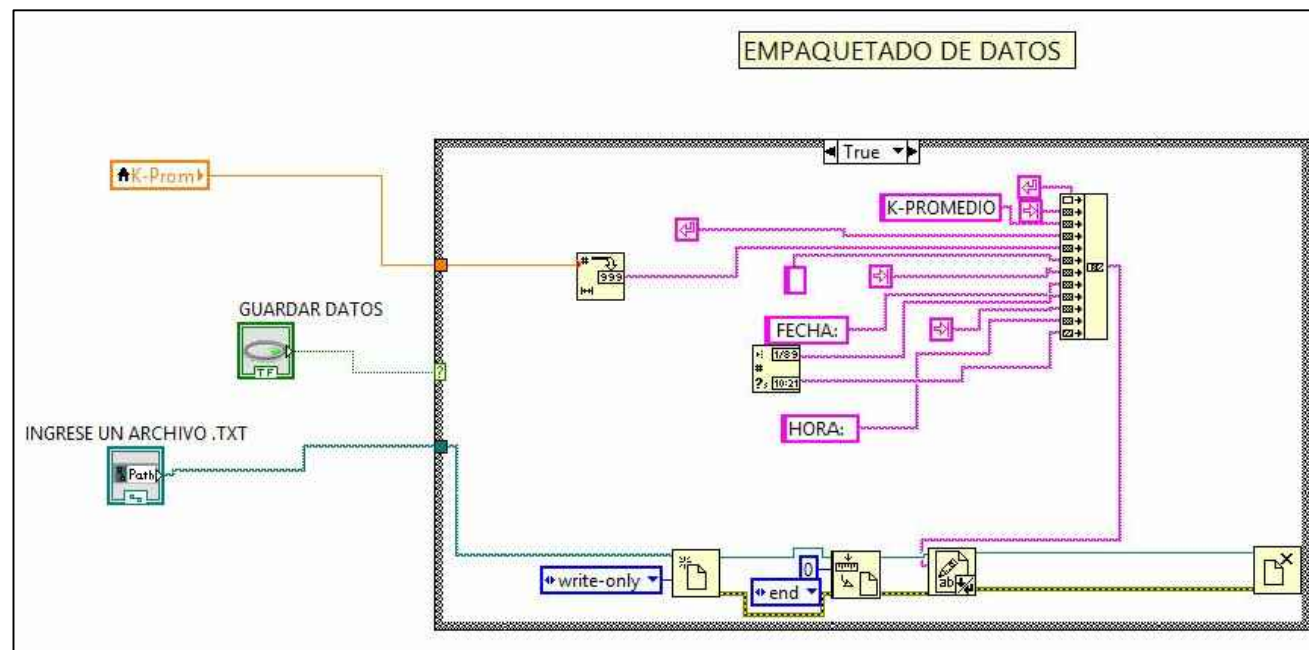
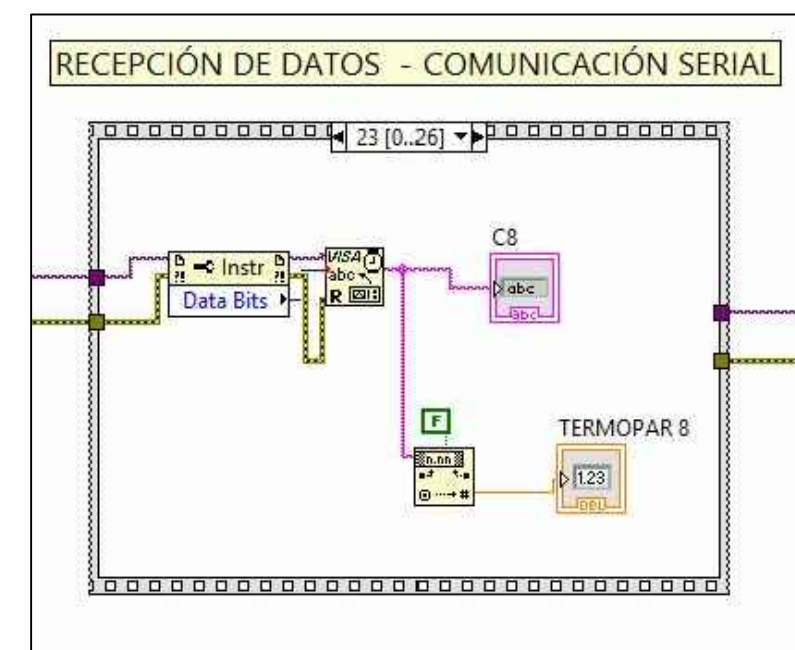


Diagrama de bloques - Recepción de datos

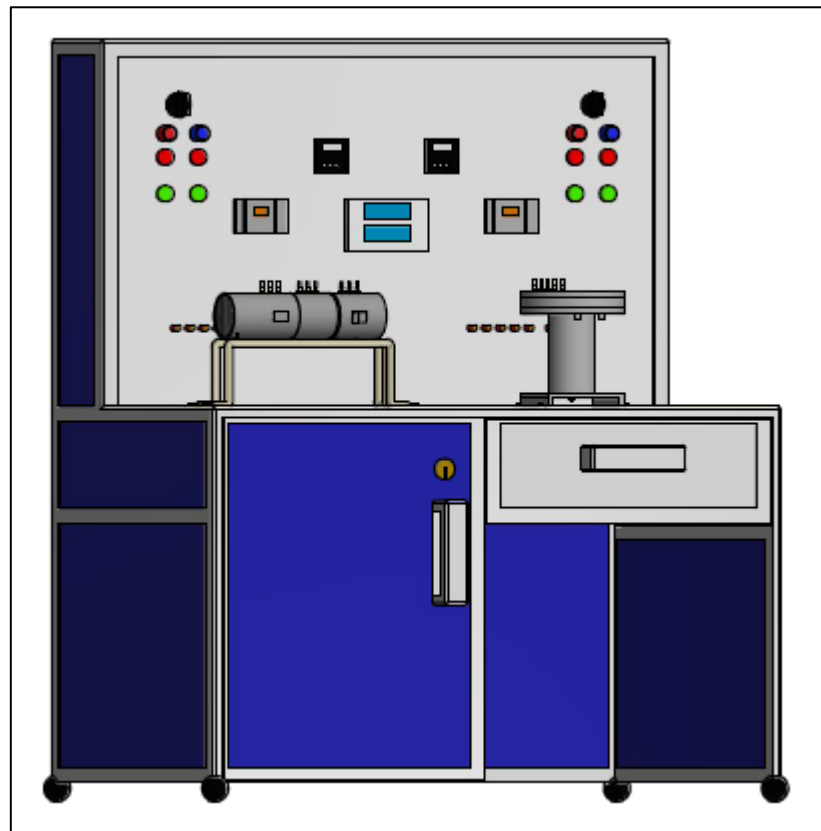


ITEM	INVENTARIO	TIPO	ESPEJOR	Tolerancia	Peso	MÓDULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR - RADIAL	
				FECHA	NOMBRE		
				Dib. 27/07/18	TATIANA CARDO		GESTIÓN DE ENERGÍAS
				Rev. 27/07/18	ENRIQUE TORRES		
				Ap. 27/07/18	ENRIQUE TORRES		
							Programación LabVIEW
Edi.	Modificación	Fecha	Nombre	UTC			

**MANUAL DE OPERACIÓN DEL MÓDULO DE  
TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN  
AXIAL Y RADIAL**

# MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO MÓDULO DE CONDUCCIÓN AXIAL Y RADIAL

1



---

<sup>1</sup> ADVERTENCIA: Antes de utilizar el módulo de conducción axial y radial lea detenidamente las instrucciones indicadas en el siguiente manual

# ÍNDICE

1.	CONSIDERACIONES PREVIAS.....	4
2.	INFORMACIONES GENERALES .....	6
2.1.	Características del módulo de conducción de calor .....	7
2.2.	Advertencias generales de seguridad.....	7
3.	INSTALACIÓN.....	8
4.	USO DEL MODULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN .....	9
4.1.	Procedimiento de uso.....	9
5.	MANTENIMIENTO.....	10
7.1.	Recomendaciones de uso.....	12
6.	PLANOS Y ESQUEMAS .....	13
6.1.	Partes del módulo de transferencia de calor por conducción axial y radial .....	13

### **INFORMACIONES IMPORTANTES:**

Lea detenidamente todas las instrucciones de funcionamiento, los consejos concernientes a la seguridad y las advertencias del manual de instrucciones. La mayoría de los accidentes se deben a que no se respetan las reglas elementales de seguridad. Los accidentes de trabajo se pueden evitar identificando con tiempo las situaciones potenciales de peligro y respetando las reglas de seguridad apropiadas. Las reglas fundamentales para la seguridad están indicadas en el apartado “SEGURIDAD” de este manual, así como en el apartado relativo a la utilización y al mantenimiento de la mano robótica. Las situaciones peligrosas que hay que evitar para prevenir todos los riesgos de lesiones graves o daños a la máquina están indicadas en el apartado “ADVERTENCIAS” en el manual de instrucciones. No utilice nunca la mano de manera inapropiada sino sólo como aconseja el fabricante.

## **1. CONSIDERACIONES PREVIAS**

### **Importancia del manual**

El presente MANUAL DE INSTRUCCIONES constituye la guía para la INSTALACIÓN, USO, y MANTENIMIENTO módulo de transferencia de calor por conducción axial y radial. Le aconsejamos que siga escrupulosamente todos los consejos que contiene el manual pues tanto el buen funcionamiento como la duración del equipo dependen del uso correcto y de la aplicación metódica de las instrucciones de mantenimiento contenidas en el manual.

El fabricante declina todo tipo de responsabilidad en caso de un uso incorrecto o de un mantenimiento inadecuado del módulo de conducción.

El MANUAL DE INSTRUCCIONES forma parte integrante del módulo de conducción. Guarde el presente manual durante toda la duración del módulo de conducción.

### **Conservación del manual**





Utilice el manual de manera tal que no dañe su contenido. No elimine, arranque o escriba por ningún motivo partes del manual.

Conserve el manual en un ambiente protegido de la humedad y del calor

### **Simbología utilizada**

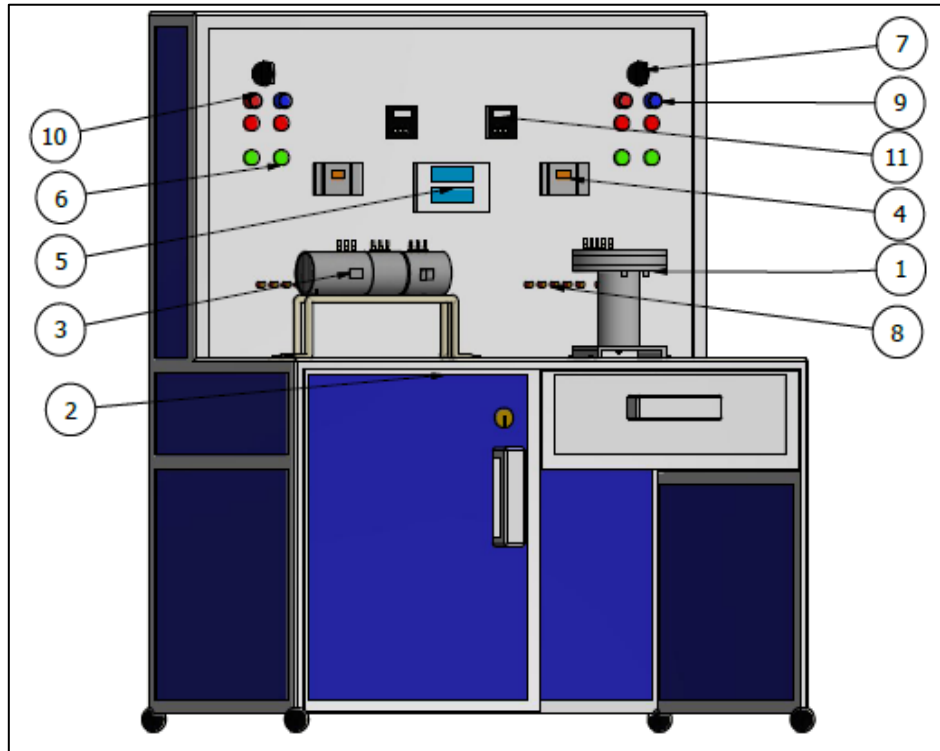
Los SÍMBOLOS que se explican a continuación se utilizan en toda la presente publicación para llamar la atención del operador sobre cómo comportarse ante cualquier situación de trabajo.



Símbolo	Indicación	Detalle
	<p>Lea el manual de instrucciones.</p>	<p>Antes de colocar, poner en marcha o trabajar sobre el módulo de conducción, lea detenidamente el manual de uso y mantenimiento.</p>
	<p><b>Advertencias!</b></p>	<p>Indica una situación potencialmente peligrosa que, si se ignora, puede provocar daños a las personas y el módulo de conducción.</p>
<p><b>Nota!</b></p>		<p>Destaca una información esencial.</p>
	<p>Peligro de sacudida eléctrica</p>	<p>Atención, antes de efectuar una operación en el módulo de conducción es obligatorio desactivar la alimentación eléctrica de la máquina.</p>
	<p>Frágil</p>	<p>Destaca una información de precaución, ya que se pueden presentar ruptura de piezas o equipos en el módulo de conducción.</p>

## 2. INFORMACIONES GENERALES

El módulo de transferencia de calor por conducción axial y radial está diseñado y está compuesto de las siguientes partes que se detallan a continuación y que se será de vital importancia reconocerlos para evitar tener algún incidente al momento de la operación.



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Equipo radial	
2	1	Modular	
3	1	Equipo axial	
4	2	Contactora	
5	2	LCD	
6	8	Luces piloto	
7	2	Selector de posición	
8	20	Termocupla tipo K	
9	2	Pulsador de puesta en marcha	
10	2	Pulsador de paro	
11	2	Controlador de temperatura	

Estos elementos se los puede apreciar a simple vista algunos son frágiles, otros son fuentes de energía, es por ello que es importante que el operario siga las instrucciones en todo momento.

## 2.1. Características del módulo de conducción de calor

N°	Ítem	Indicador	Observaciones
1	Nivel de voltaje de alimentación	110V [AC]	
2	Nivel de voltaje ARDUINO <sup>2</sup>	5-25V [DC]	
3	Nivel de voltaje resistencias térmicas <sup>3</sup>	110V [AC]	
4	Corriente	2.3 [A]	
5	Material de fabricación	Metales	Acero, aluminio

## 2.2. Advertencias generales de seguridad

### ¡Nota!

Las operaciones que encontrarán en este manual han sido escritas para ayudar al operador durante la utilización y las operaciones de mantenimiento del módulo de conducción de calor.



### INSTRUCCIONES IMPORTANTES PARA UTILIZAR EL MÓDULO DE CONDUCCIÓN.

#### 1. PROTEGERSE CONTRA LOS CHOQUES ELÉCTRICOS

Prevenir los contactos accidentales del cuerpo con partes eléctricas del módulo de conducción.

---

<sup>2</sup> NOTA: Las características del Arduino Mega se puede encontrar directamente en la información de fabricante.

<sup>3</sup> NOTA: Tener en cuenta el nivel de voltaje de operación de las resistencias, así como la temperatura de trabajo para evitar accidentes.

## **2. RIESGOS DE GOLPES POR CAÍDAS**

Evitar tener contacto directo con el módulo de conducción en el momento de su operación, coloque siempre el material didáctico en una superficie plana para evitar caídas y pueda ocasionar incidentes.

## **3. MANTENER FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS**

Evitar que los niños entren en contacto con el cable de alimentación del módulo de conducción.

## **4. UTILIZAR EL MODULO DE CONDUCCIÓN CORRECTAMENTE**

Poner en funcionamiento el módulo de conducción conforme a las instrucciones de este manual. No dejar que utilicen personas externas que no tienen familiaridad con su funcionamiento es importante que lo realice con la supervisión de una persona capacitada para el caso.

## **3. INSTALACIÓN**

Para la instalación del módulo de conducción mantenga las indicaciones de seguridad de este manual, debido a que puede sufrir algún tipo de descarga eléctrica. Para la instalación del equipo una vez su contenido ubicado en el sitio de la práctica, conecte el cable de poder a un tomacorriente con un voltaje de 110 [V]. El procedimiento de instalación continúa en el literal 4 del presente manual.



#### **4. USO DEL MODULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN**

El módulo de transferencia de calor axial y radial está diseñado y construido para realizar prácticas de laboratorio, donde el estudiante u operador van a determinar propiedades térmicas de los materiales seleccionados para el caso metales. El módulo de conducción consta de dos equipos el uno es el axial el que permite determinar la conductividad térmica para un área constante en toda su longitud, el equipo radial cumple la misma función que el equipo anterior a diferencia que su área varia y se tiene distintos radios a los cuales están ubicados las termocuplas, estas están conectadas a una tarjeta Arduino y acondicionadores de señal que permiten la buena y correcta lectura de las temperaturas en ese instante. La parte mecánica se encuentra diseñada con acero galvanizado para el interior de lo equipos para controlar las fugas de calor se procedió a utilizar ladrillo refractario y lana de roca mineral.

##### **4.1. Procedimiento de uso equipo de conducción axial**

- a) Ubique el módulo de conducción en un lugar firme y plano para evitar caídas de las secciones de las probetas que se encuentran libres, así también evitar desplazamientos no deseados debido a que cuenta con ruedas para su fácil transporte.
- b) Conecte el módulo de conducción a una fuente de alimentación de 110 [V]
- c) Encienda el interruptor termo magnético (breaker) para la alimentación de todos los circuitos del módulo.
- d) Espere de 10 a 15 segundos hasta que los equipos se hayan encendido por completo, una vez la luz piloto de color roja se encuentre prendida proceda a encender la resistencia de cartucho, presione el pulsador verde.
- e) Espere de 40 a 50, minutos hasta que el módulo alcance su temperatura de operación ideal, por lo que se recomienda antes de realizar la práctica realizar este paso.
- f) Instale la interfaz de usuario Labview 2013 en su computadora personal el tiempo de instalación será aproximadamente de 30 minutos, este software nos permite visualizar las lecturas de las termocuplas y demás elementos en el módulo que están vinculados a través de una programación.

- g) Conecte el cable de datos en la parte frontal, pantalla azul al lado izquierdo será en el programa Arduino el puerto COM3 equipo axial.
- h) Seleccione el puerto COM en la interfaz de Labview, en VISA Resource Name.
- i) Clic en la parte superior donde tendrá una flecha la cual permite iniciar el programa.
- j) En la parte frontal seleccione el material de ensayo que desee, para lo cual cambie la posición del switch del microcontrolador que desee hacer la práctica. Cobre, acero y aluminio.
- k) En la parte posterior del equipo de conducción se podrá identificar el número de termocuplas con su respectiva descripción S1, S2,...S9, los cuales en la interfaz de labview podrá apreciar como Termopar1=S1, y así sucesivamente.
- l) En la interfaz de labview usted podrá identificar los valores de variación de temperatura es decir DT4 y DT5, son las respectivas restas de las lecturas de las termocuplas de 4 a 6.
- m) Proceda con la práctica de laboratorio una vez identificado todos estos pasos.
- n) Una vez en la práctica usted deberá esperar que la temperatura llegue a 165°C para el caso del equipo de conducción axial, a esta temperatura se podrá obtener el coeficiente de conductividad térmica una vez obtenido este dato, proceda a detener el programa. Y utilice el valor obtenido para el cálculo y comparación del K.
- o) El módulo de conducción procederá a generar señales que usted podrá visualizar en la pantalla de su pc y que estos datos ayudaran para el llenado de la ficha.
- p) La bomba se activará una vez llegada a la temperatura deseada es decir 165°C.

#### **4.2. Procedimiento de uso equipo de conducción radial**

- a) Ubique el módulo de conducción en un lugar firme y plano para evitar caídas de las secciones de las probetas que se encuentran libres, así también evitar desplazamientos no deseados debido a que cuenta con ruedas para su fácil transporte.
- b) Conecte el módulo de conducción a una fuente de alimentación de 110 [V]
- c) Encienda el interruptor termo magnético (breaker) para la alimentación de todos los circuitos del módulo.

- d) Espere de 10 a 15 segundos hasta que los equipos se hayan encendido por completo, una vez la luz piloto de color roja se encuentre prendida proceda a encender la resistencia de cartucho, presione el pulsador verde.
- e) Espere de 40 a 50, minutos hasta que el módulo alcance su temperatura de operación ideal, por lo que se recomienda antes de realizar la práctica realizar este paso.
- f) Instale la interfaz de usuario Labview 2013 en su computadora personal el tiempo de instalación será aproximadamente de 30 minutos, este software nos permite visualizar las lecturas de las termocuplas y demás elementos en el módulo que están vinculados a través de una programación.
- g) Conecte el cable de datos en la parte frontal, pantalla verde al lado derecho será en el programa Arduino el puerto COM4 equipo radial.
- h) Seleccione el puerto COM en la interfaz de Labview, en VISA Resource Name.
- i) Click en la parte superior donde tendrá una flecha la cual permite iniciar el programa.
- j) En la parte frontal seleccione el material de ensayo que desee, para lo cual cambie la posición del switch del microcontrolador que desee hacer la práctica. Cobre, acero y aluminio.
- k) En la parte posterior del equipo de conducción se podrá identificar el número de termocuplas con su respectiva descripción S1, S2, S3, S4 y S5, los cuales en la interfaz de labview podrá apreciar como Termopar1=S1.
- l) En la interfaz de labview usted podrá identificar los valores de variación de temperatura es decir DT4, son las respectivas restas de las lecturas de las termocuplas de 2 a 5.
- m) Proceda con la práctica de laboratorio una vez identificado todos estos pasos.
- n) Una vez en la práctica usted deberá esperar que la temperatura llegue a 99°C para el caso del equipo de conducción radial, a esta temperatura se podrá obtener el coeficiente de conductividad térmica una vez obtenido este dato, proceda a detener el programa. Y utilice el valor obtenido para el cálculo y comparación del K.
- o) El módulo de conducción procederá a generar señales que usted podrá visualizar en la pantalla de su pc y que estos datos ayudaran para el llenado de la ficha.
- p) La bomba se activará una vez llegada a la temperatura deseada es decir 100°C.

## **5. MANTENIMIENTO**

Los procedimientos de mantenimiento estarán realizados directamente por el fabricante, les concierne en la parte de la programación y daños en la parte eléctrica y mecánica del módulo de conducción.

**Mantenimiento:**

- a) Reprogramación y calibración de los acondicionadores para las termocuplas tipo K.
- b) Cambio de termocupla en el caso de fallas en el envío de una señal.
- c) Revisión del mecanismo de refrigeración del módulo de conducción.
- d) Verificación del estado de la tarjeta electrónica de control y de los actuadores.
- e) Purga del tanque de contenido de líquido para el enfriamiento de los equipos.
- f) Comprobación de los circuitos eléctricos existentes en el módulo de conducción.
- g) Revisión de rupturas en los cables de las termocuplas o demás elementos.

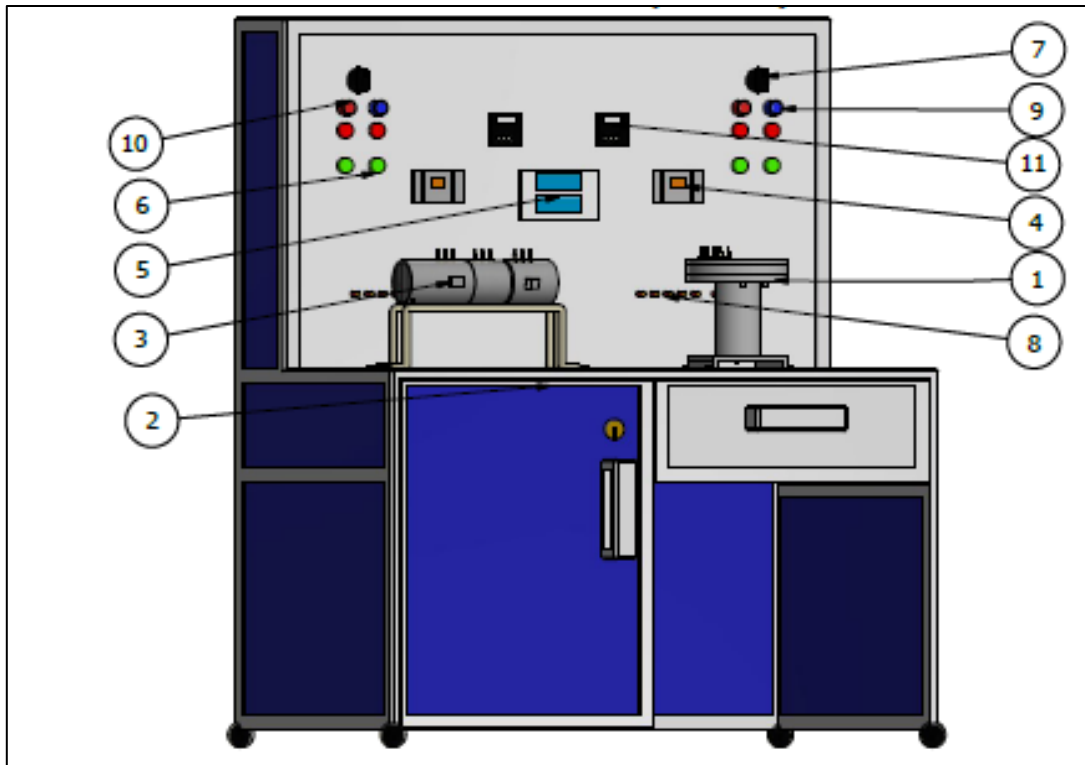
**7.1. Recomendaciones de uso**

- a) Evite que el modulo tenga golpes o caídas y se presente rupturas de piezas mecánicas.
- b) Evite que el módulo de conducción este expuesto a derrames de algún tipo de líquido dentro o fuera del mismo, contiene elementos de construcción frágiles.
- c) Evite la ruptura de los cables de las termocuplas o cables eléctricos que están al exterior del módulo de conducción.
- d) Coloque el módulo de conducción en una superficie plana.
- e) Mantenga siempre las puertas cerradas y con su respectivo seguro, para proteger el circuito eléctrico y electrónico del módulo de conducción.
- f) No manipule el sistema de refrigeración para el caso la bomba ubicada en la parte inferior del módulo es un elemento frágil, evítese el contacto de los niños sin supervisión de una persona adulta.
- g) Evítese la manipulación del módulo ARDUINO en la parte de la programación, únicamente si es necesario el personal encargado realizara la reprogramación.



## 6. PLANOS Y ESQUEMAS

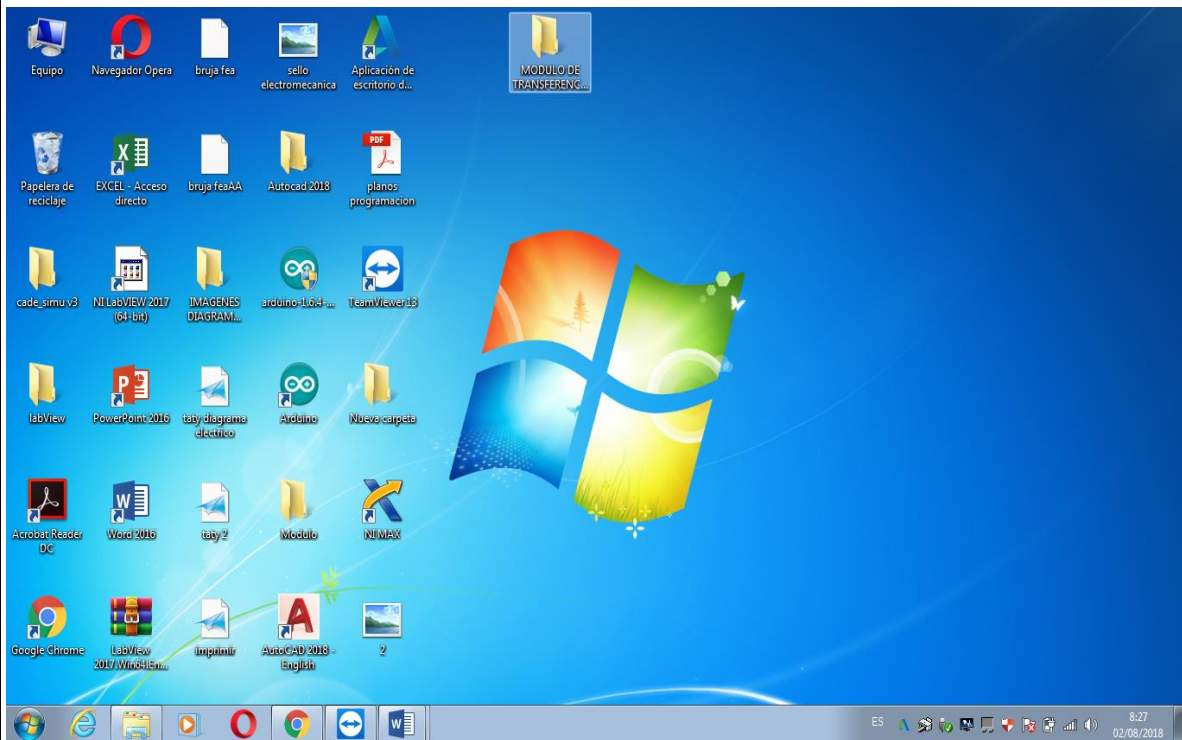
### 6.1. Partes del módulo de transferencia de calor por conducción axial y radial



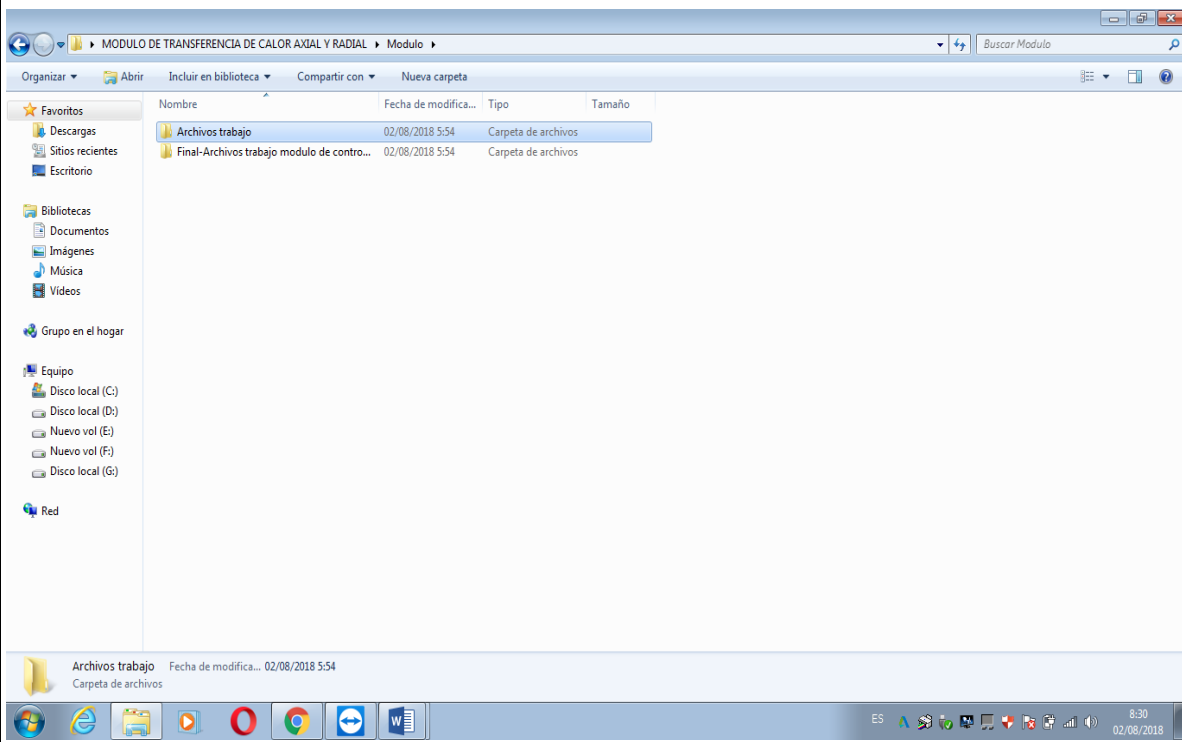
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Equipo radial	
2	1	Modular	
3	1	Equipo axial	
4	2	Contactora	
5	2	LCD	
6	8	Luces piloto	
7	2	Selector de posición	
8	20	Termocupla tipo K	
9	2	Pulsador de puesta en marcha	
10	2	Pulsador de paro	
11	2	Controlador de temperatura	

**MANUAL DE INSTALACIÓN DEL SOFTWARE  
LABVIEW DEL MÓDULO DE TRANSFERENCIA DE  
CALOR POR CONDUCCIÓN AXIAL Y RADIAL**

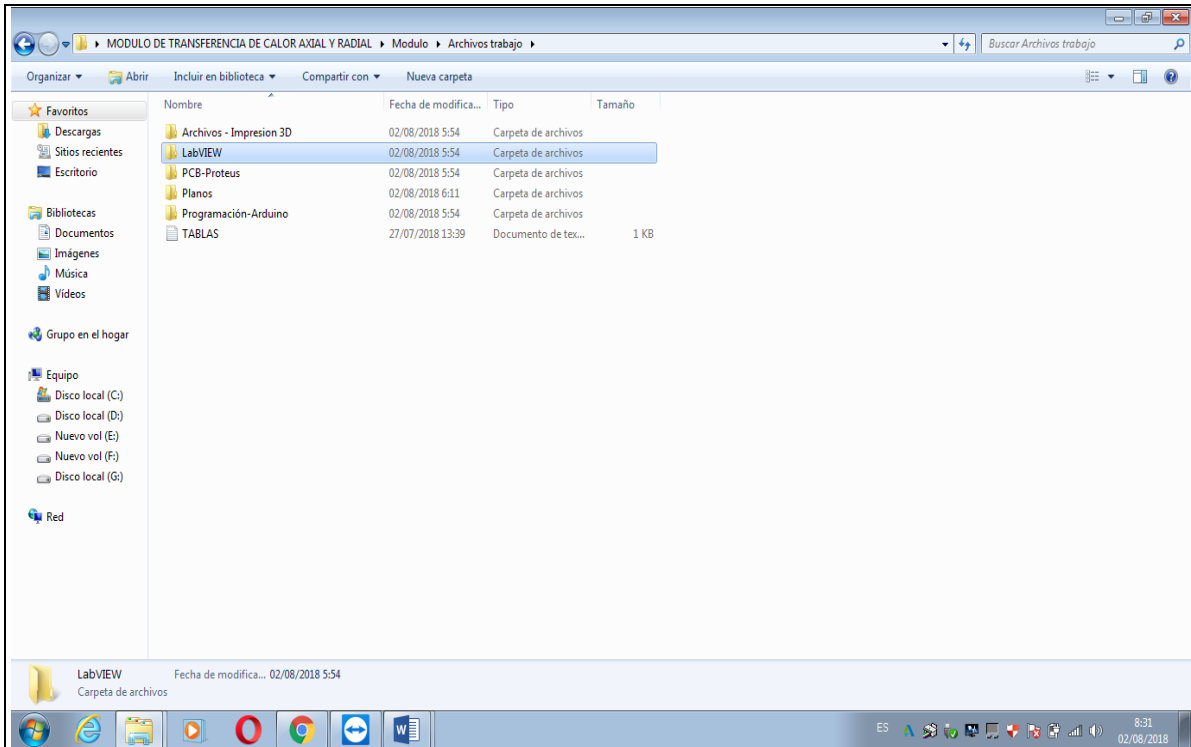
## PASOS PARA REALIZAR LA COMUNICACIÓN SERIAL DE LABVIEW EN EL MODULO AXIAL



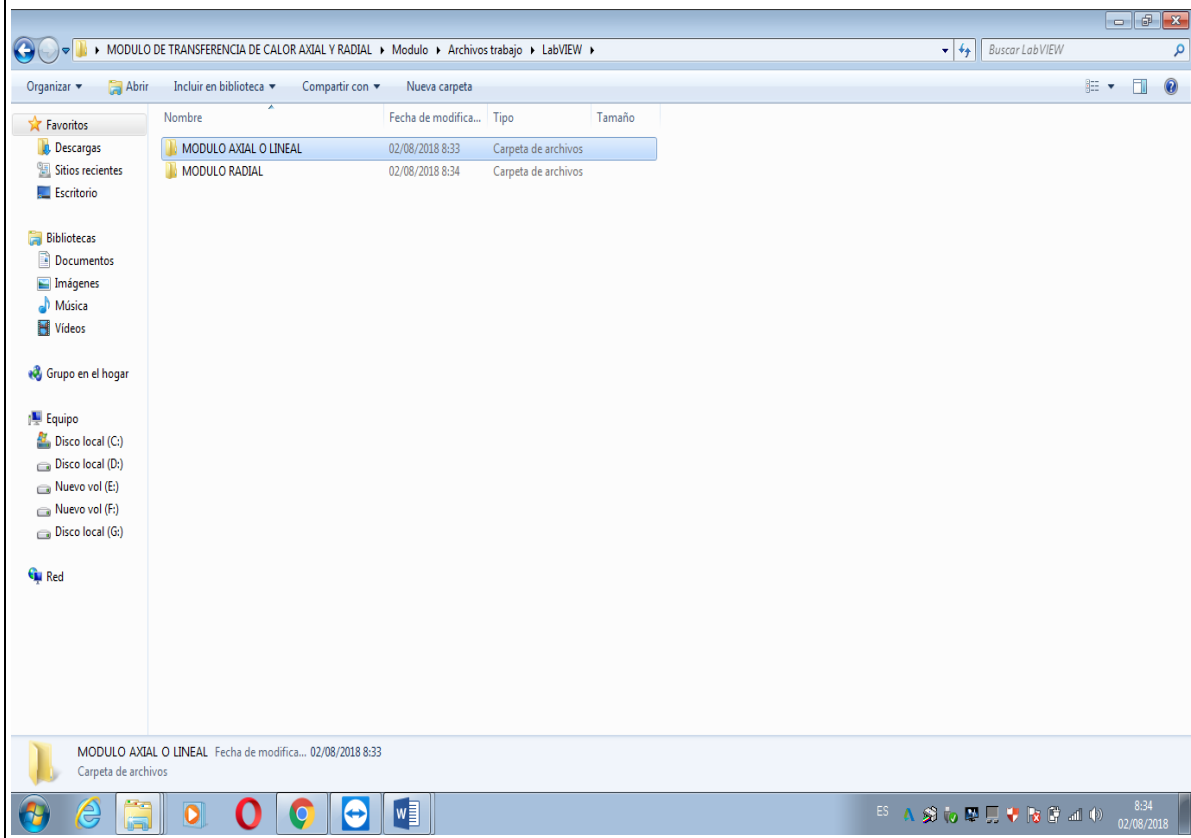
1.- Seleccionar la carpeta Modulo de transferencia de calor axial y radial.



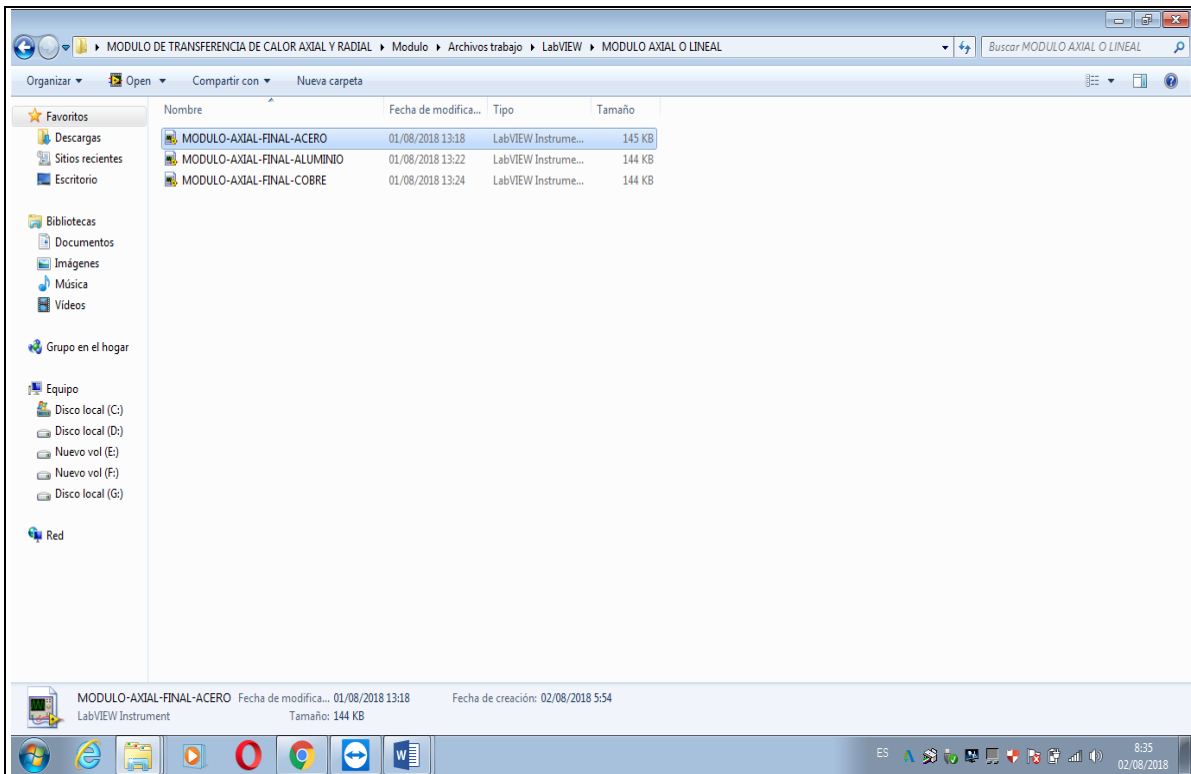
2.- Seleccionar la carpeta Archivos trabajo



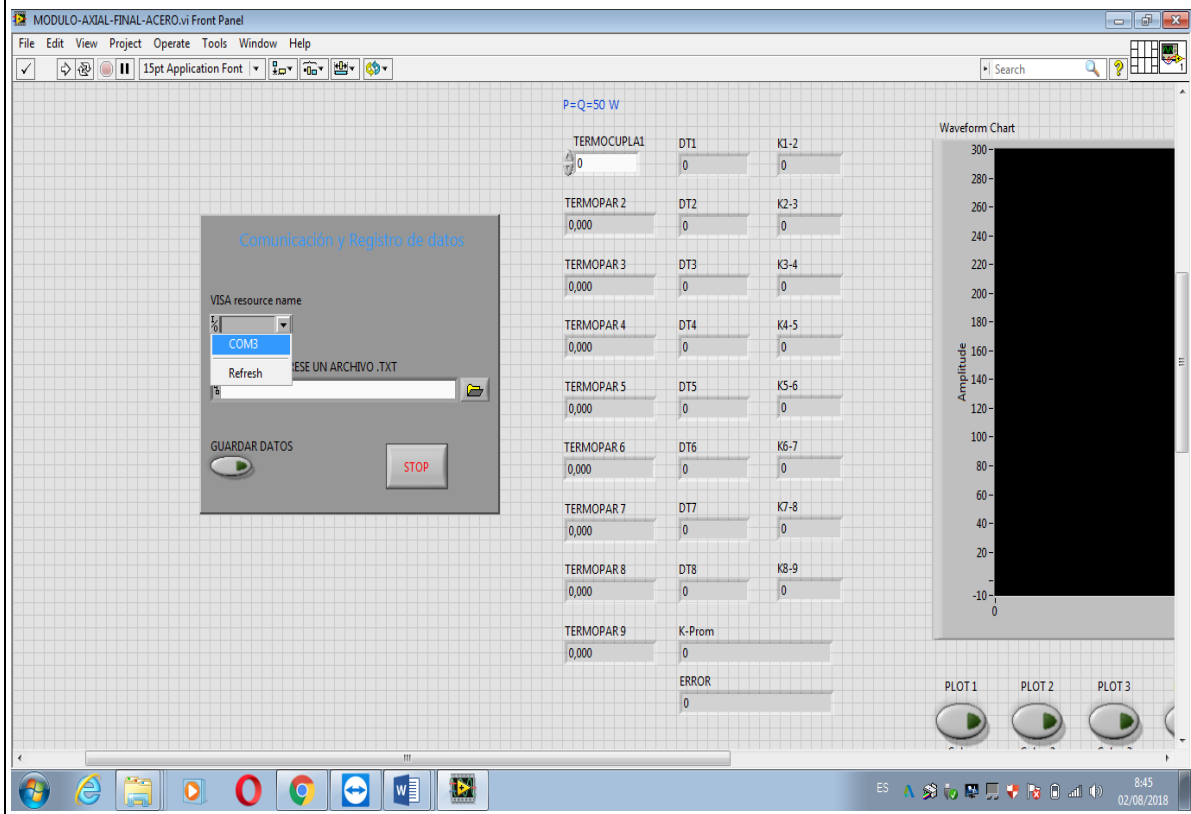
### 3.- Damos clic en LabVIEW



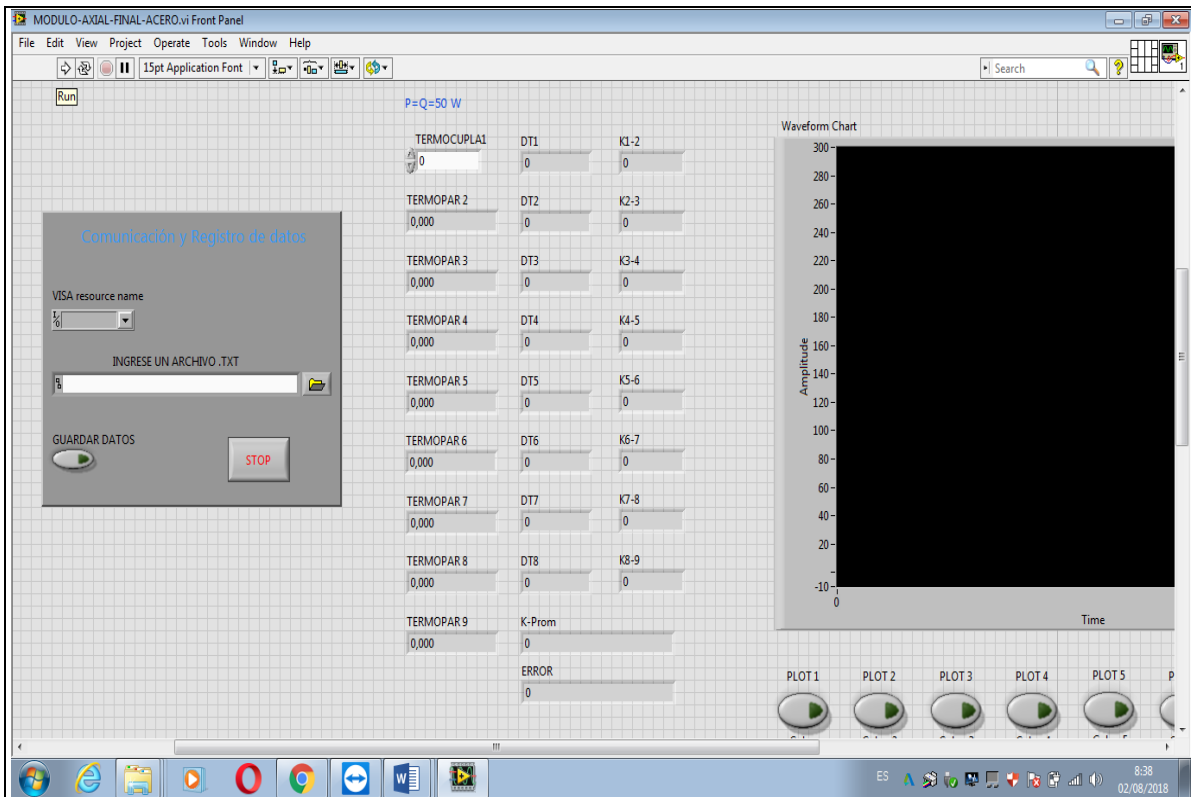
### 4.- Abrir la carpeta Modulo axial o lineal



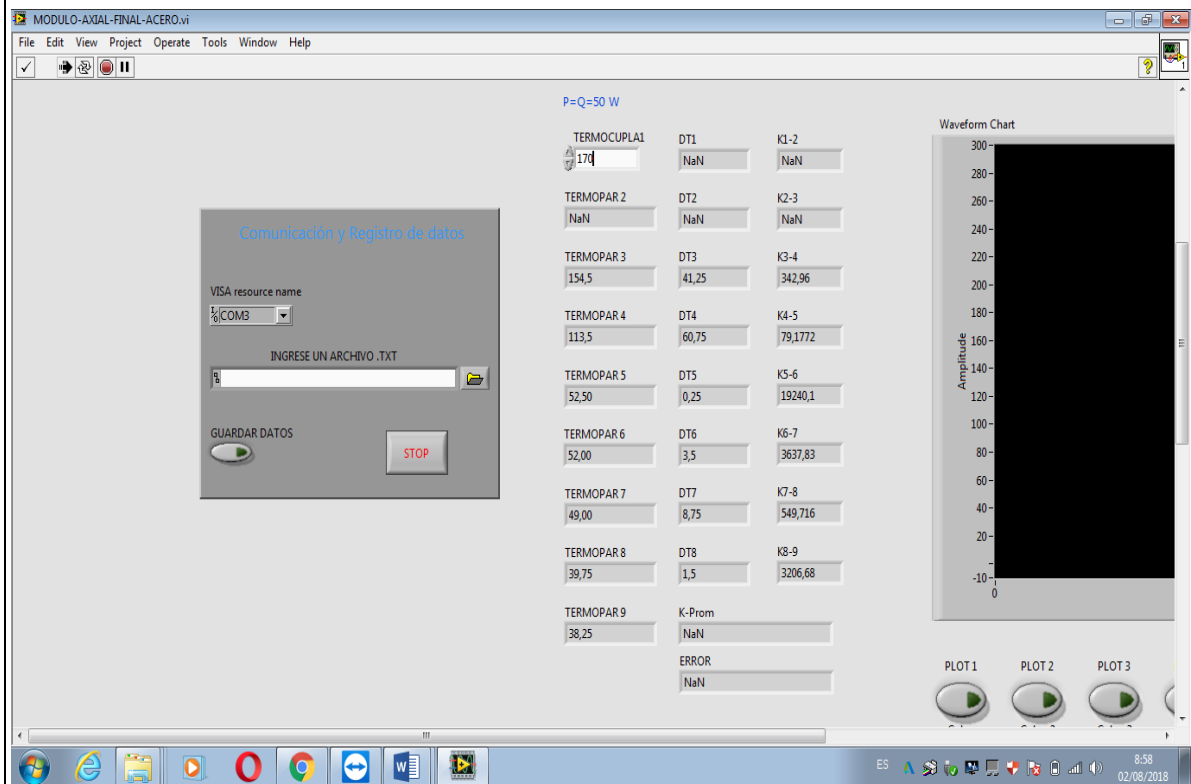
5.- Seleccionar el material con el que se va a trabajar, dar clic y abrir el archivo



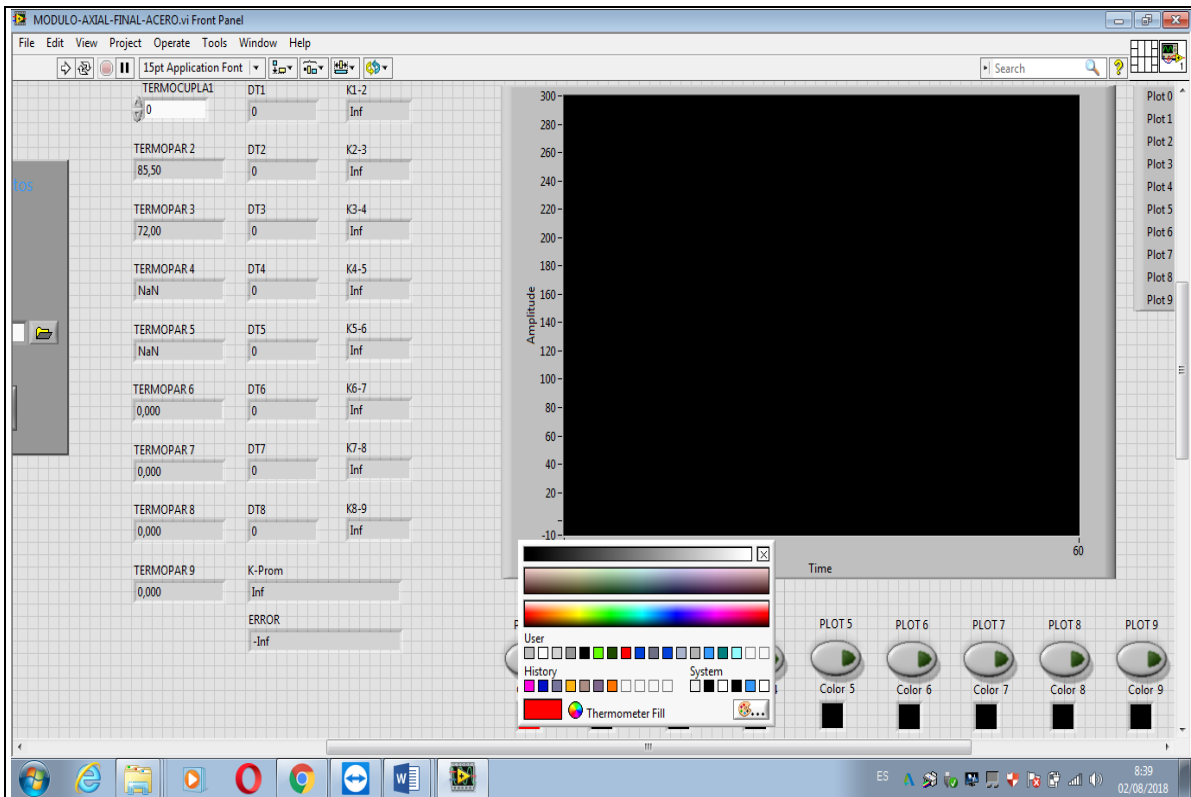
6.- Seleccionamos COM3



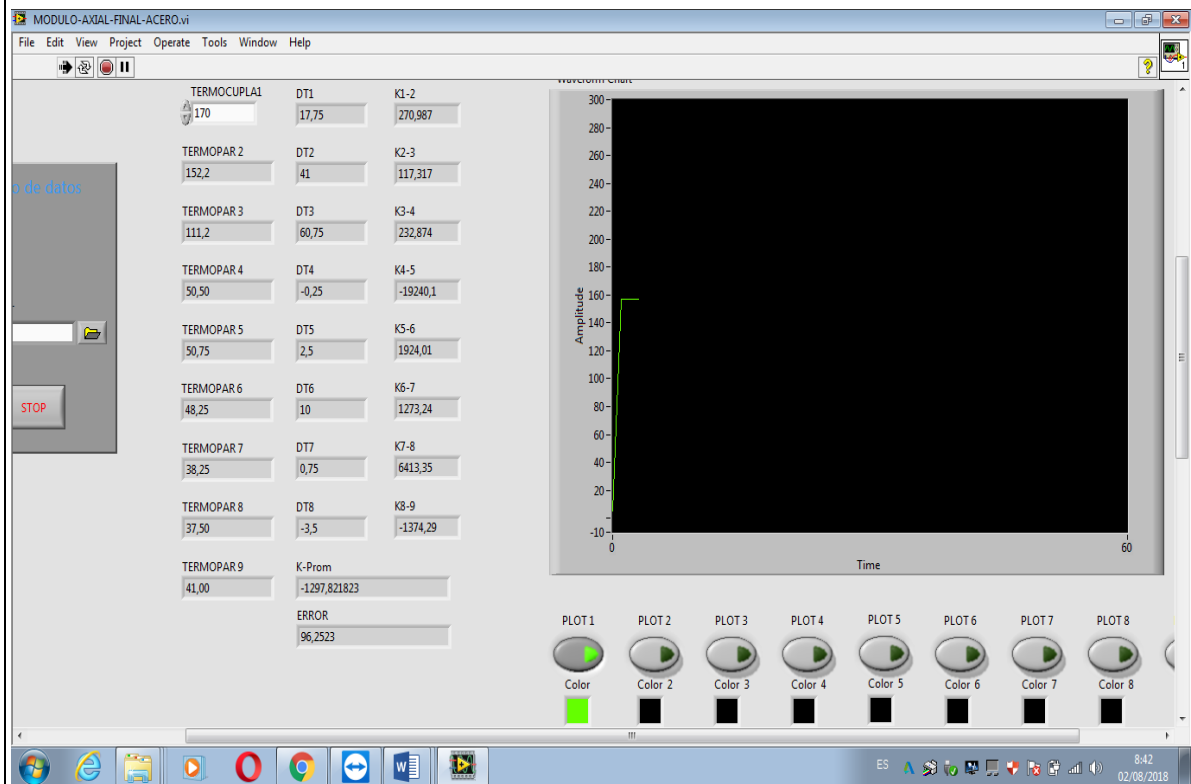
## 7.- Dar clic en correr programa



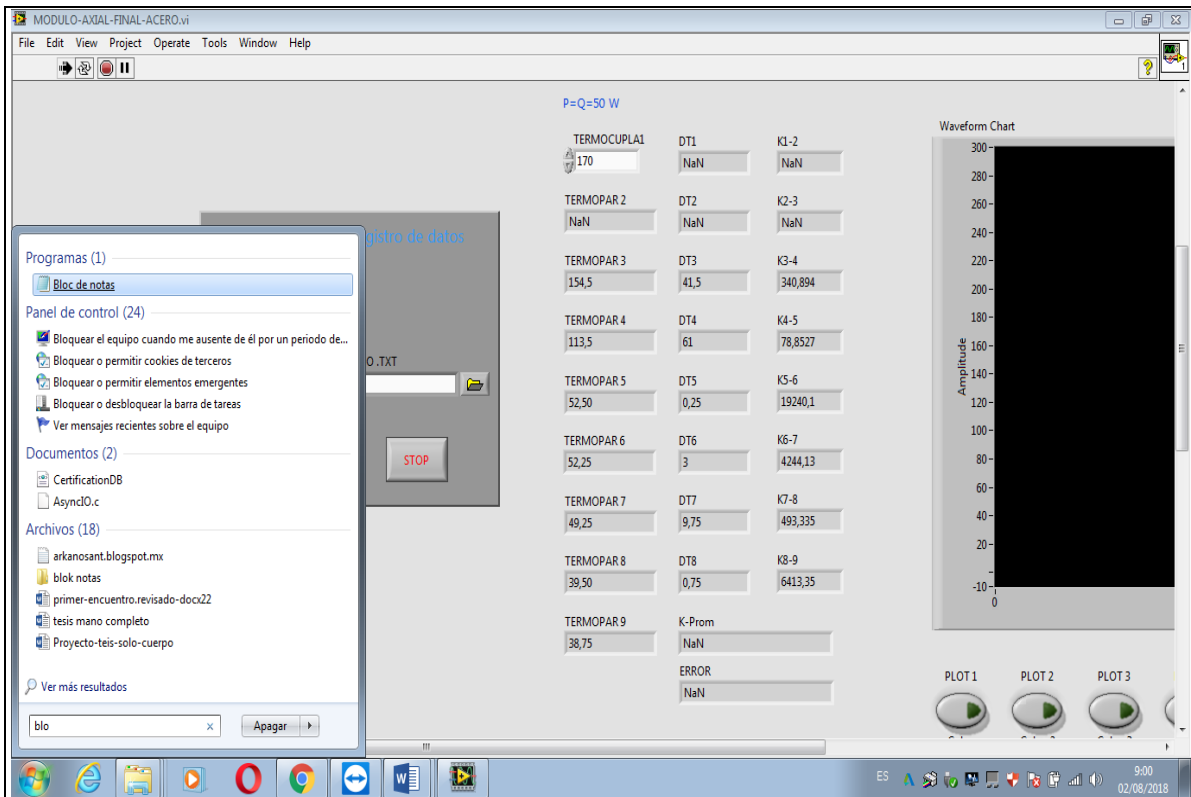
## 8.- Set point termocupla 1 en 170°C



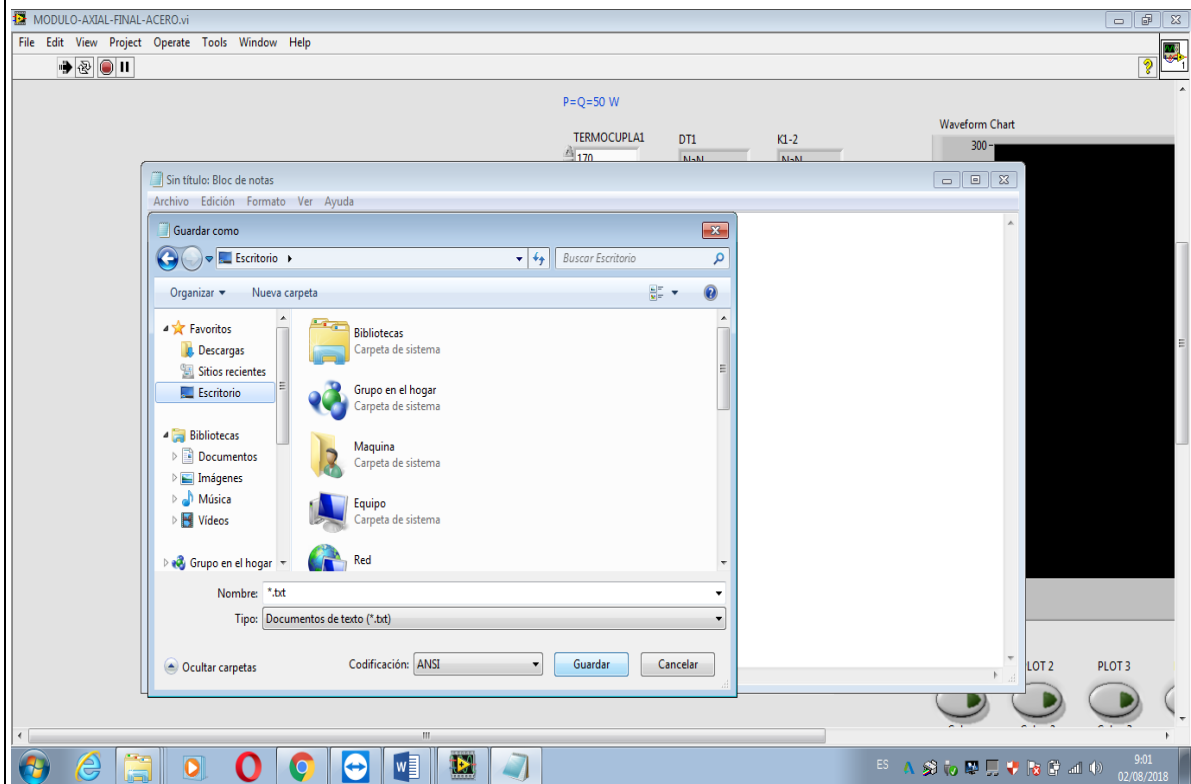
9.- Para accionar graficas seleccionar color



10.- Activar Plot 1, realizar el mismo procedimiento para todas las gráficas.

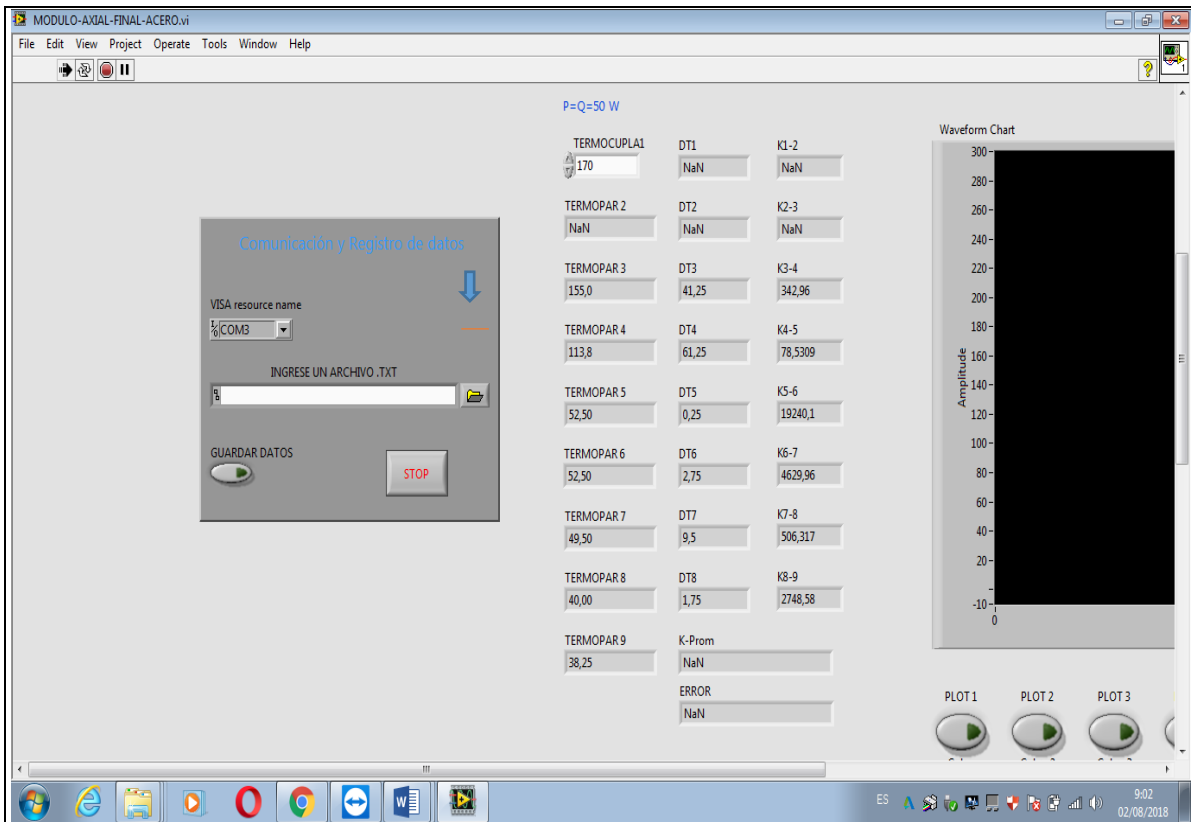


## 11.- Abrir bloc de notas

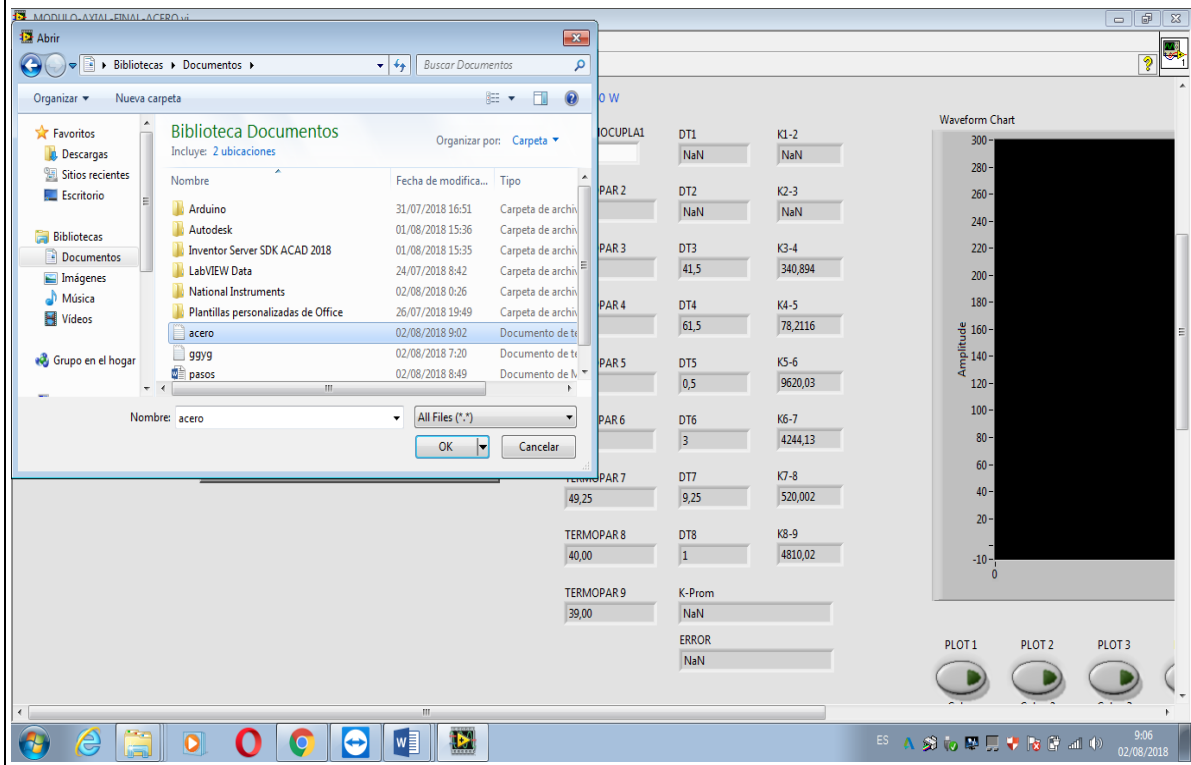


## 12.- Guardar bloc de notas

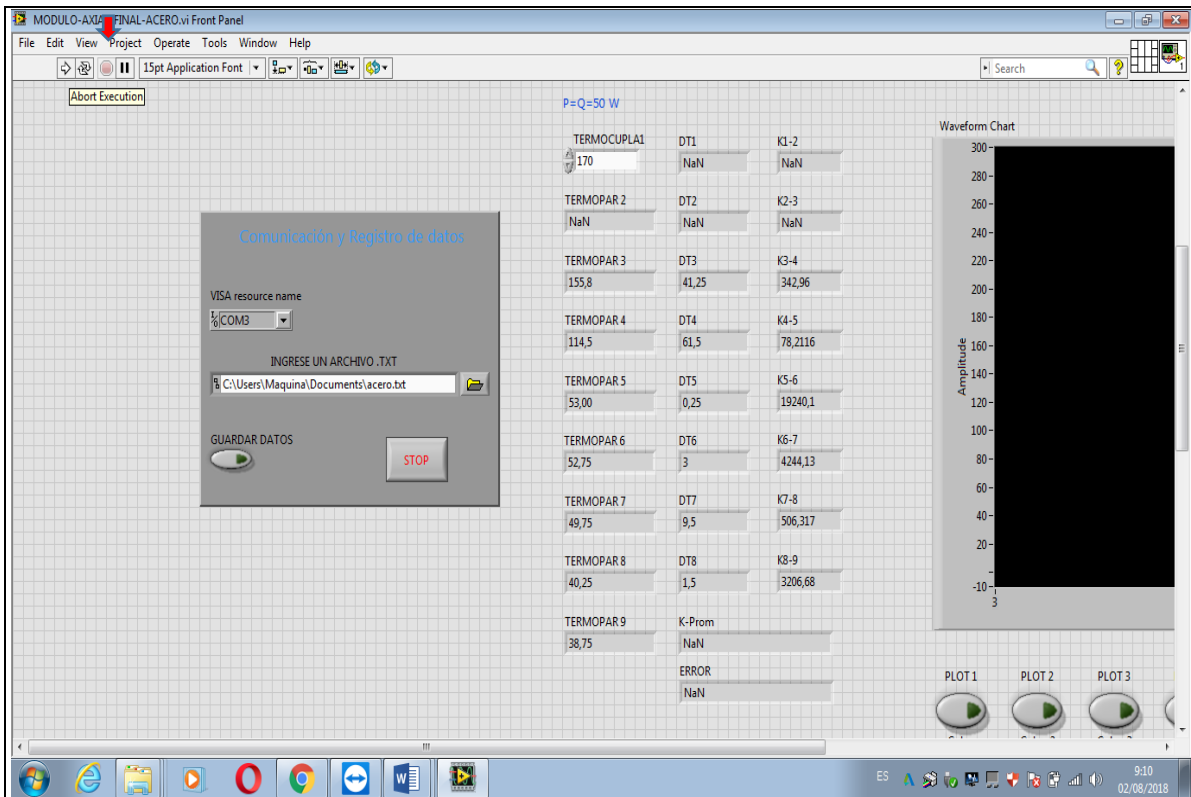




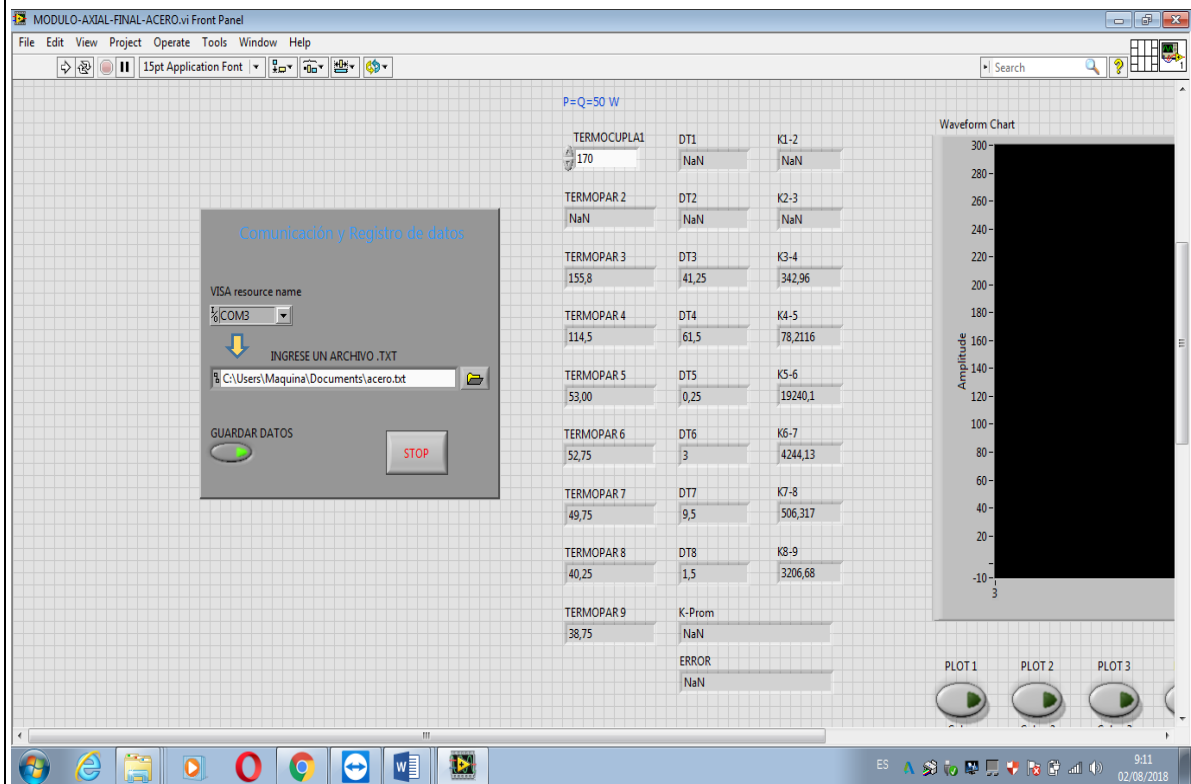
### 13.- Seleccionar carpeta TXT



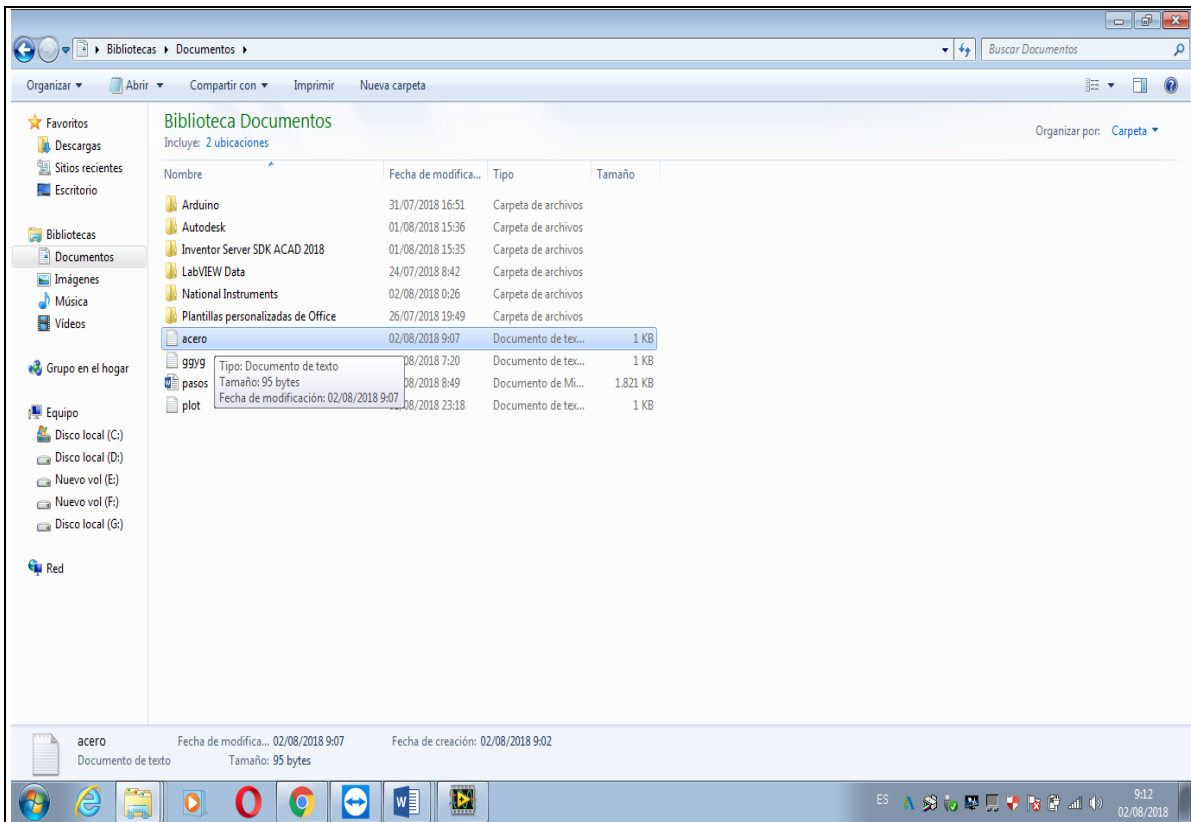
### 13.- Abrir la carpeta del bloc de notas que se guardó anteriormente



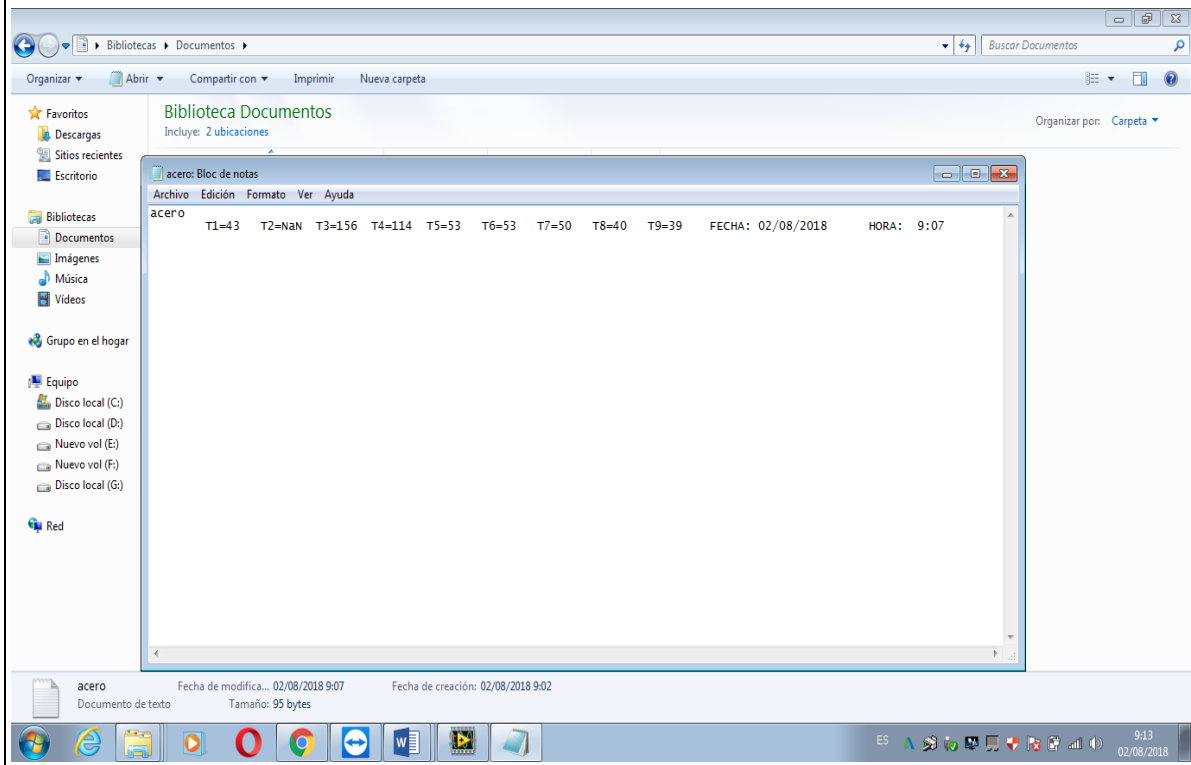
#### 14.- Detener programa



#### 15.- Accionar plot guardar datos

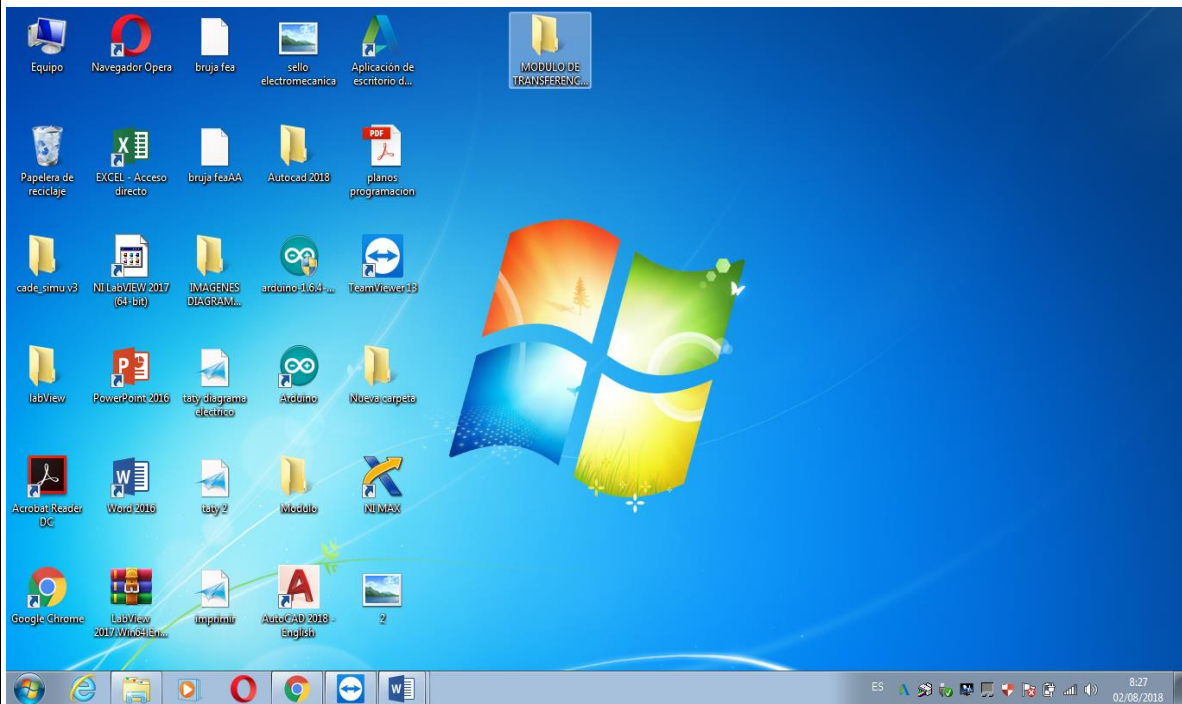


16.- regresar a la carpeta donde se guardó el bloc de notas, abrir carpeta

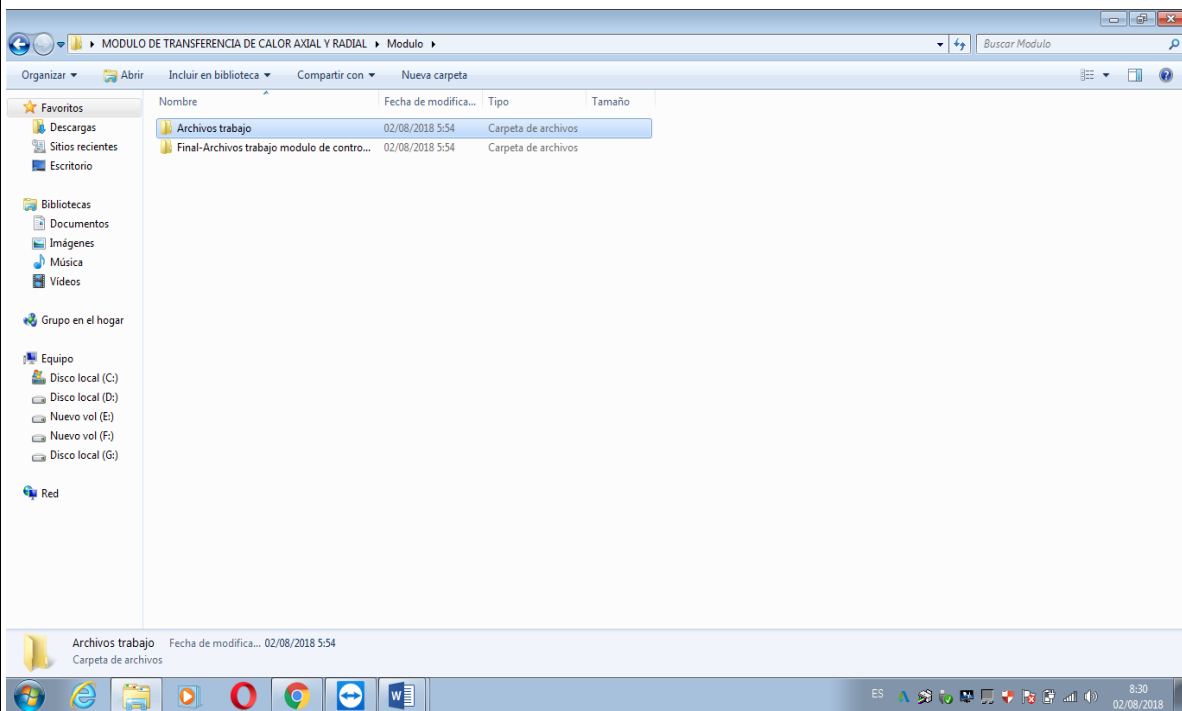


17.- Comprobar los datos de las temperaturas que se guardó con fecha y hora.

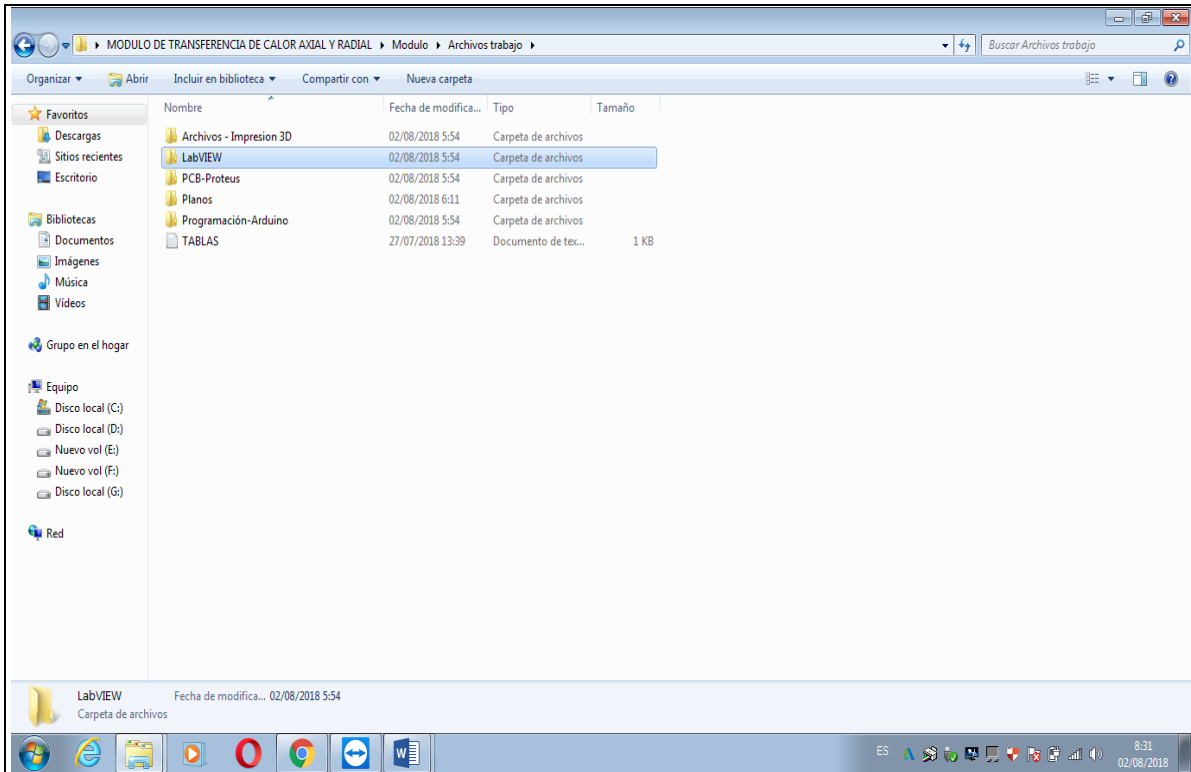
## PASOS PARA REALIZAR LA COMUNICACIÓN SERIAL DE LABVIEW EN EL MODULO AXIAL



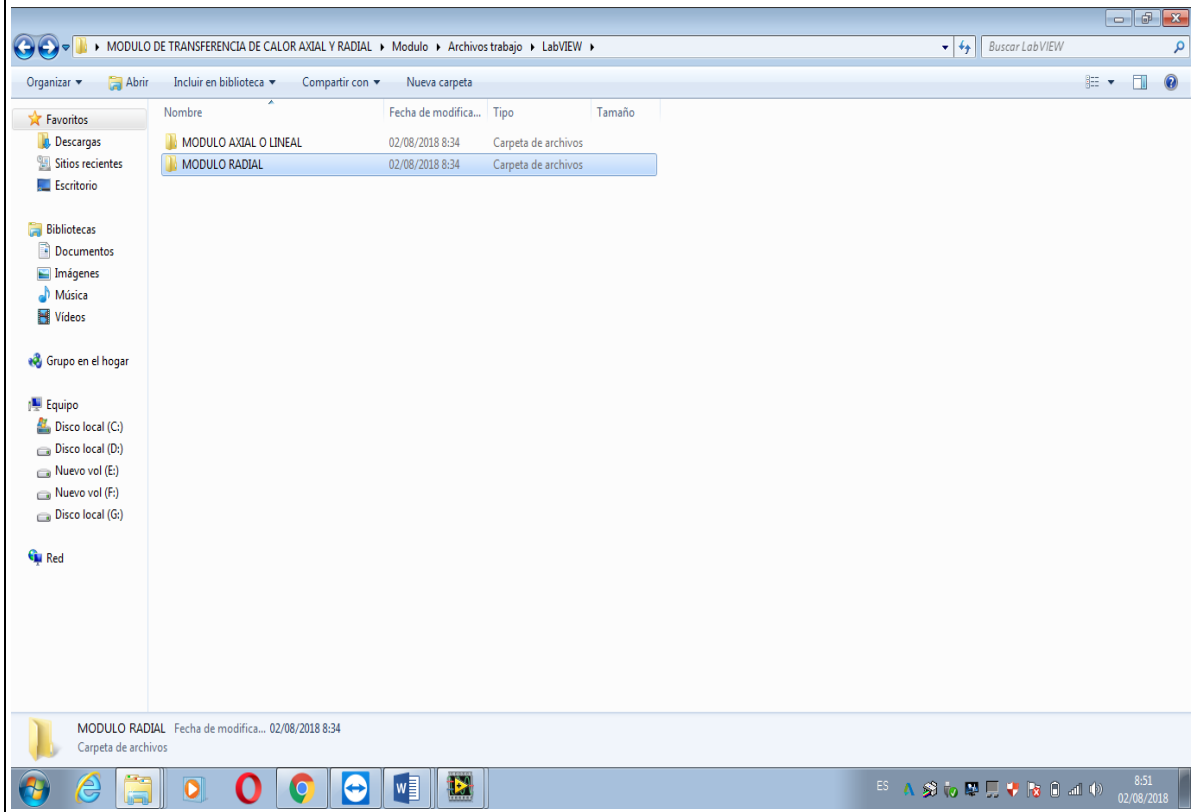
1.- seleccionar la carpeta Modulo de transferencia de calor axial y radial.



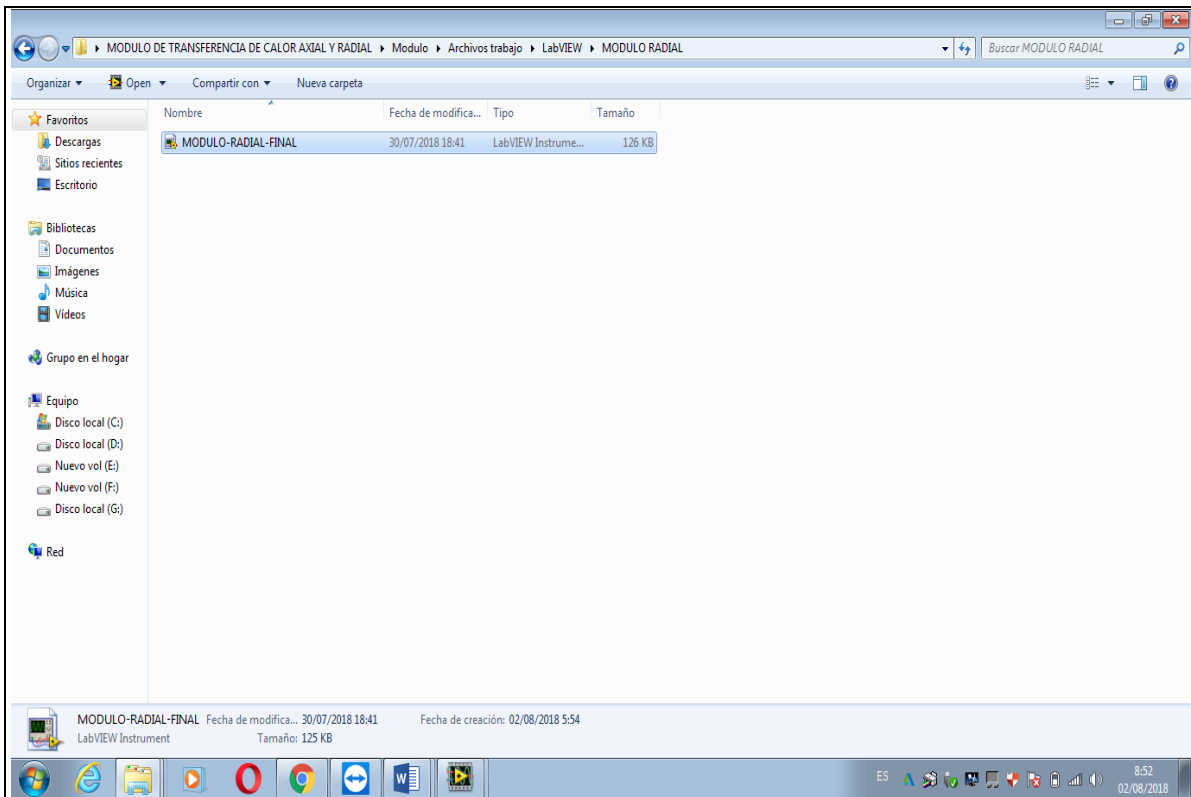
2.- seleccionar la carpeta Archivos trabajo



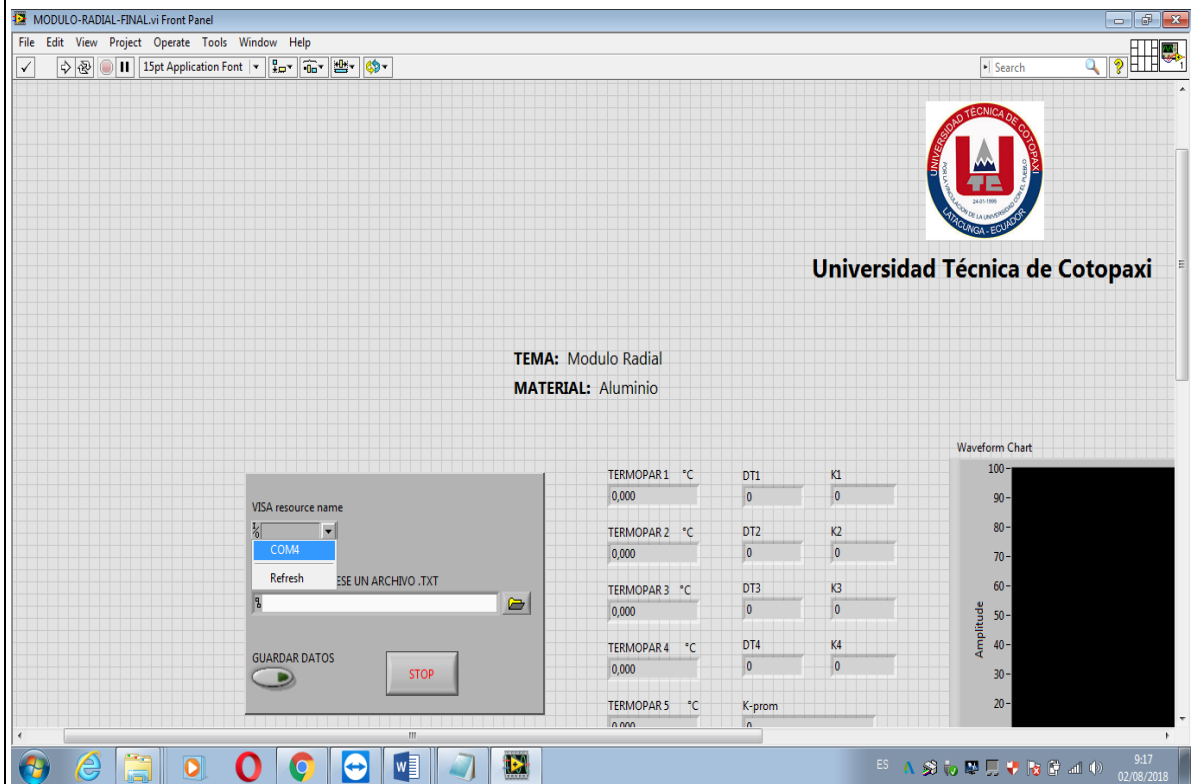
### 3.- Damos clic en LabVIEW



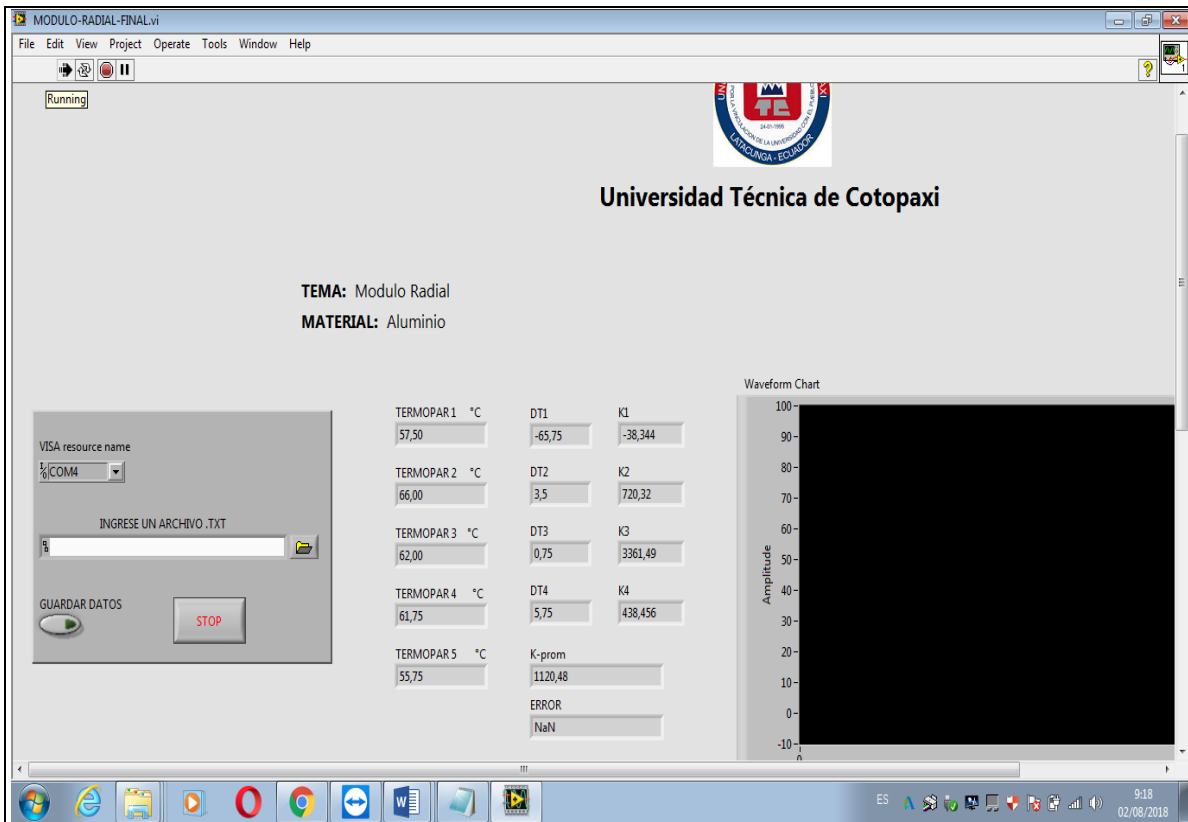
### 4.- Dar clic en modulo radial



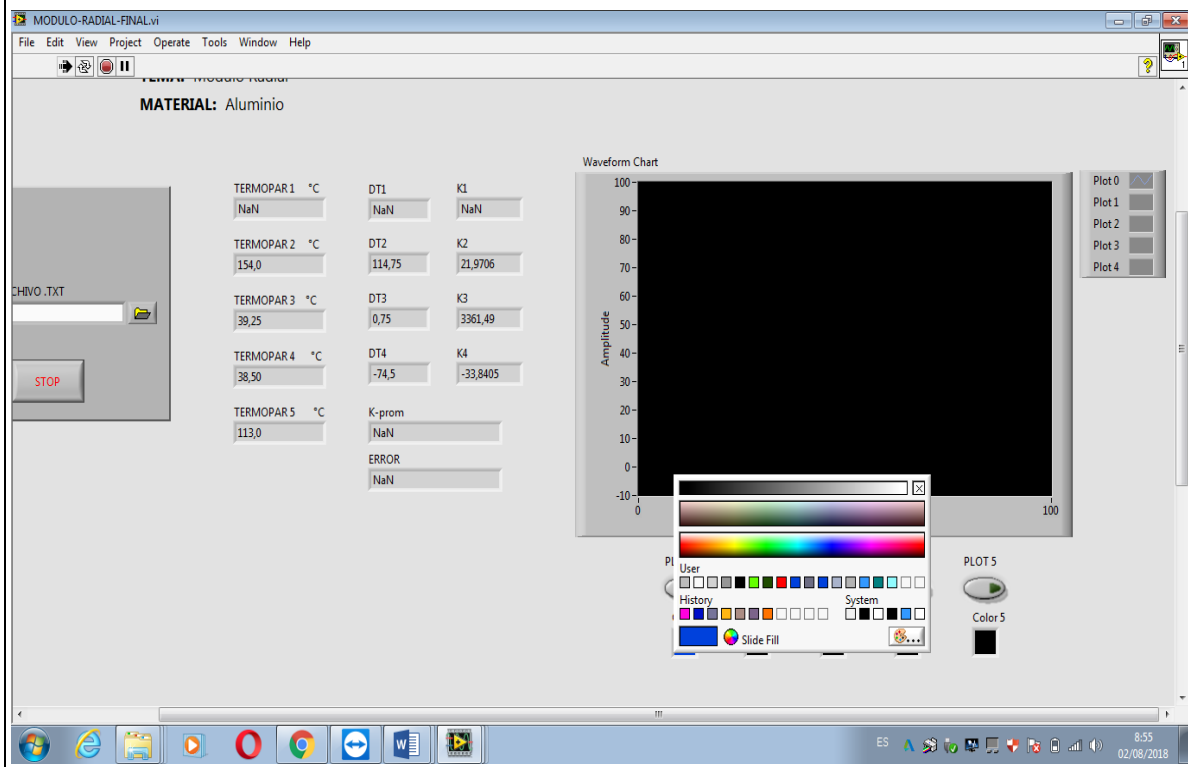
## 5.- Seleccionar la carpeta y abrir



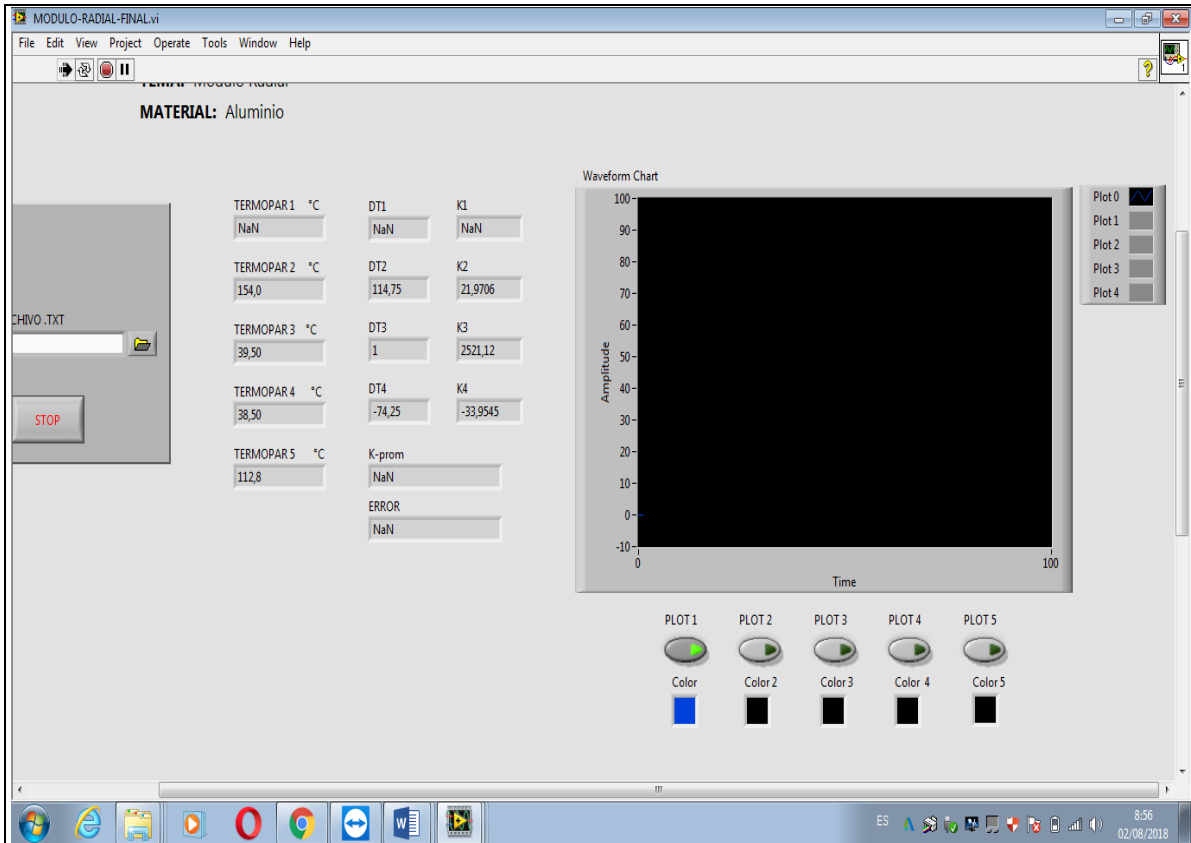
## 6.- Activamos el COM3



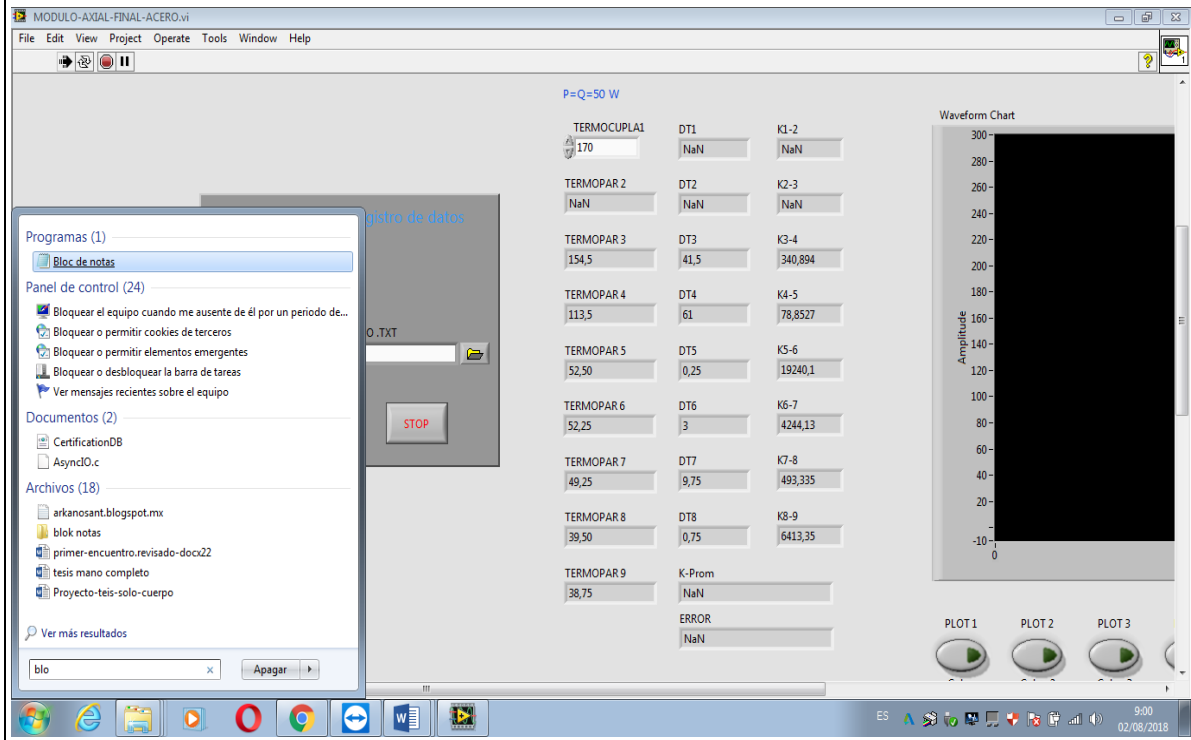
## 7.- Dar clic en correr programa



## 8.- Para seleccionar graficas activamos color

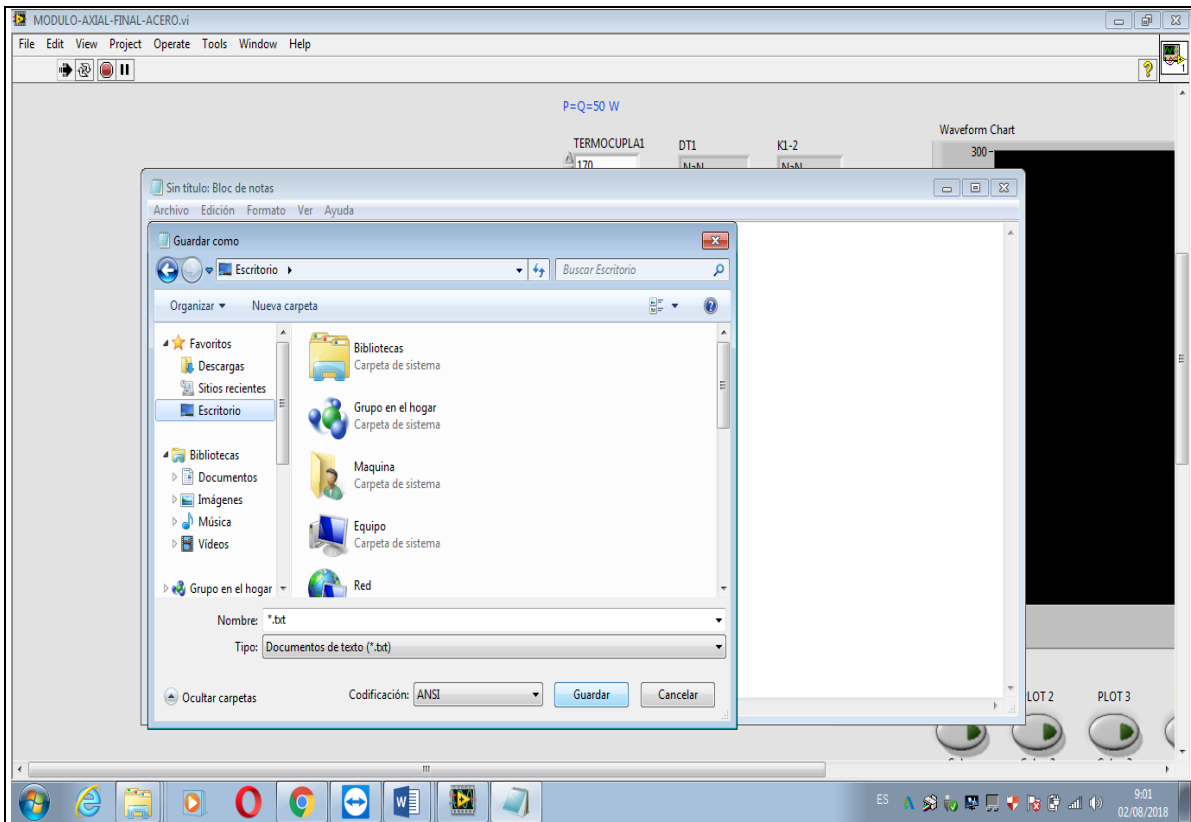


9.- Activar Plot 1, realizar el mismo procedimiento para todas las gráficas.

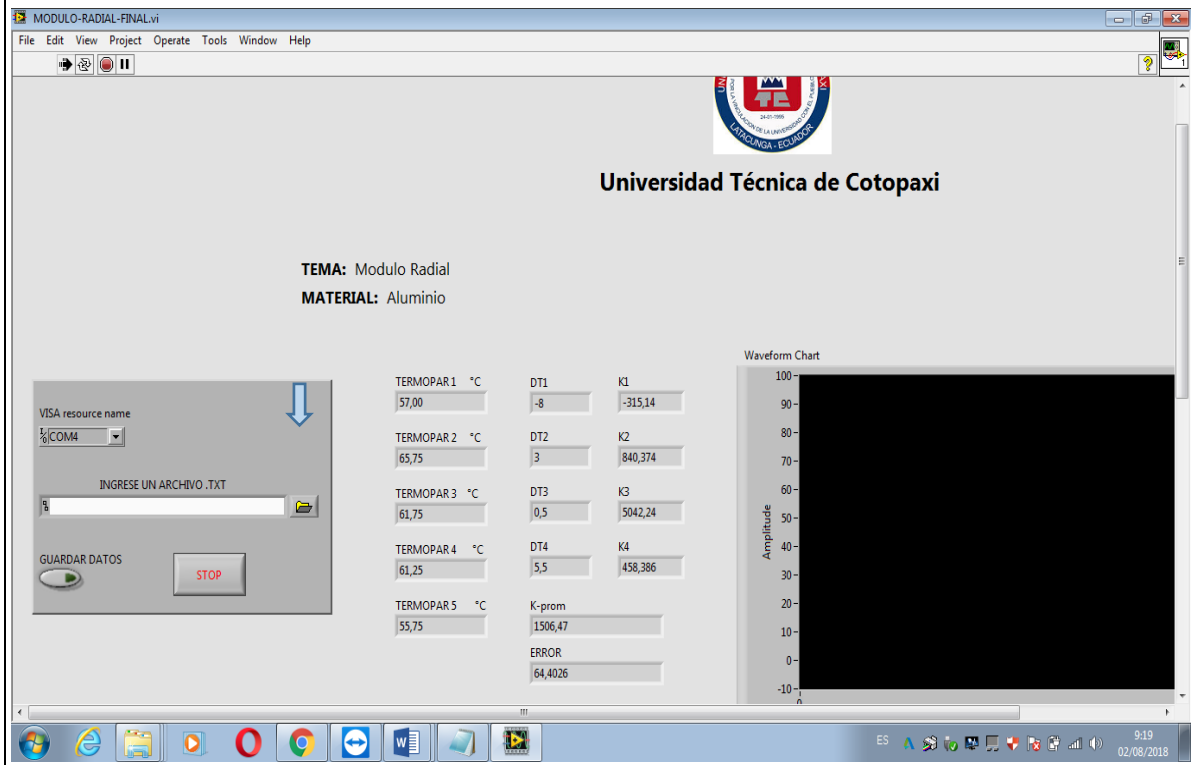


10.- Abrir bloc de notas

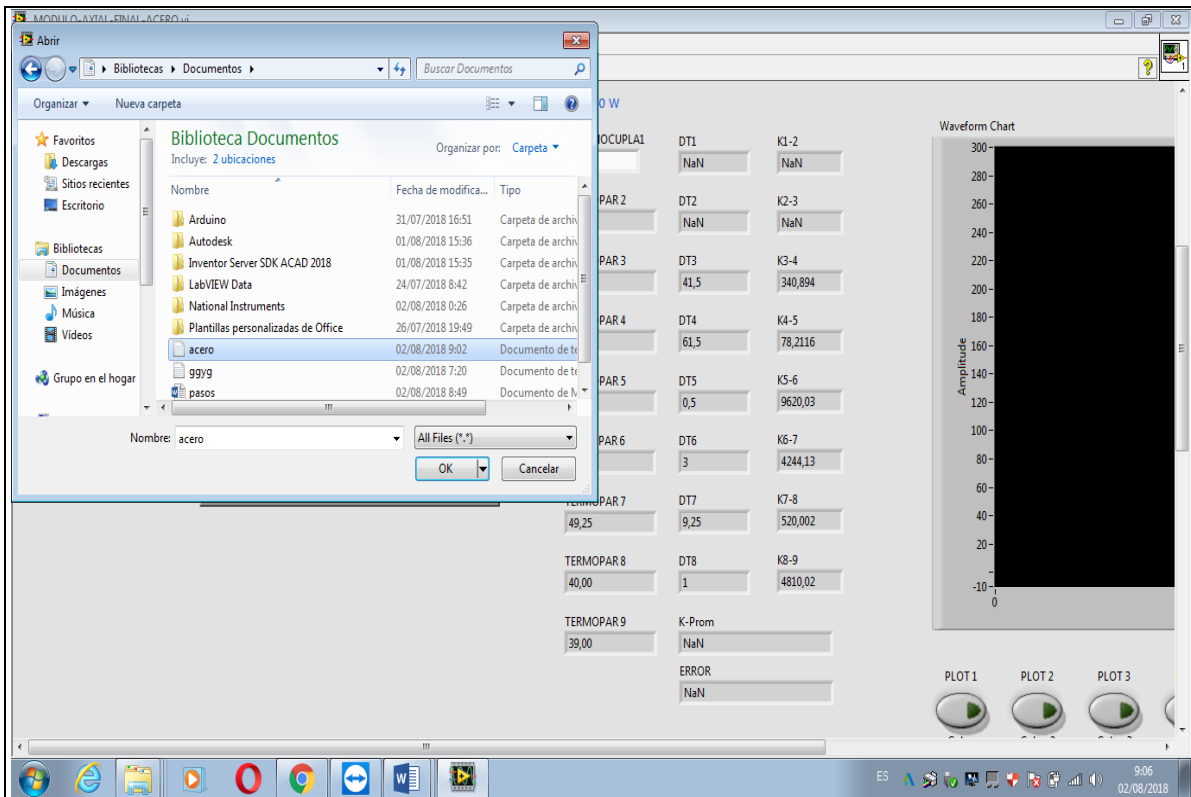




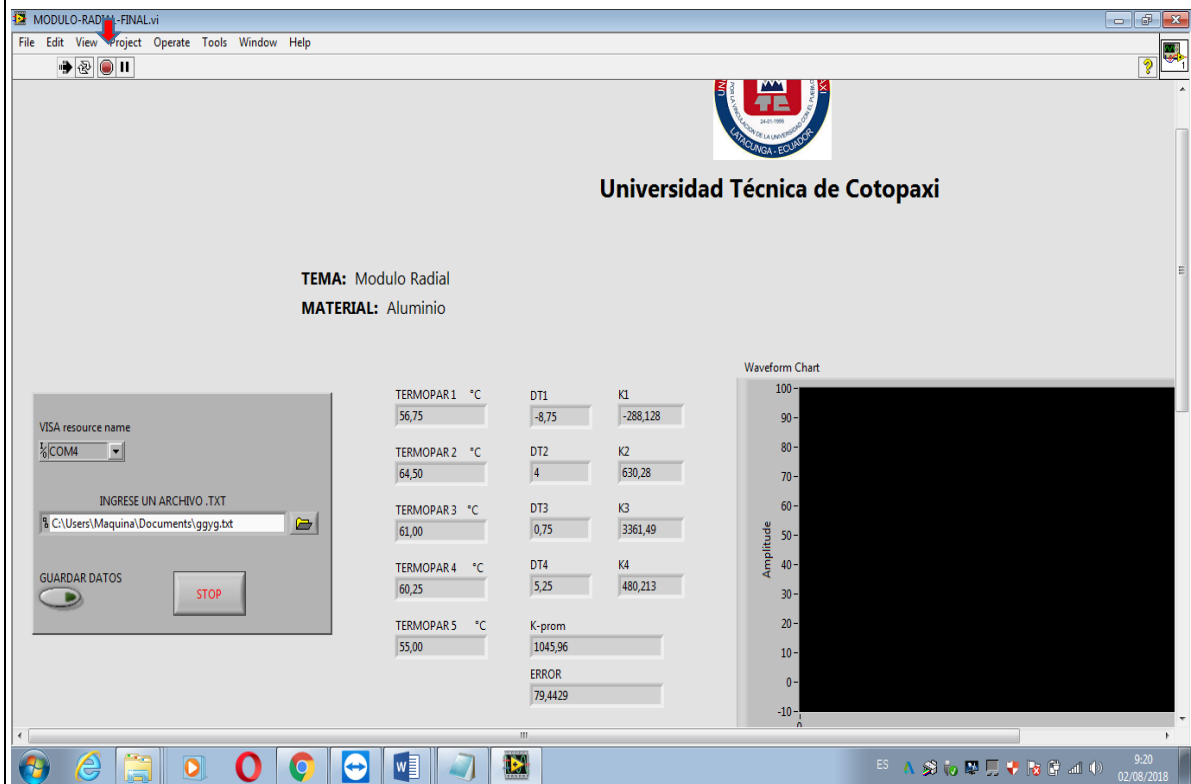
## 11.- Guardar bloc de notas



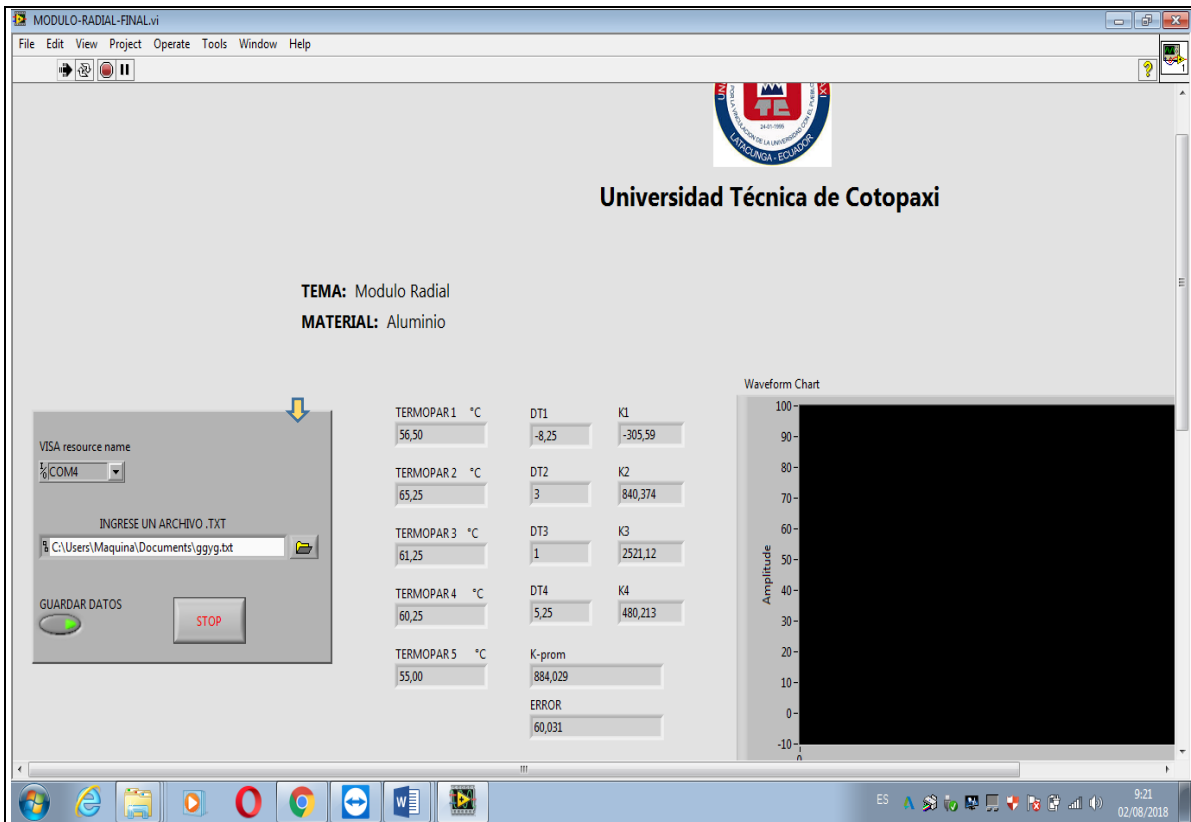
## 12.- Seleccionar carpeta TXT



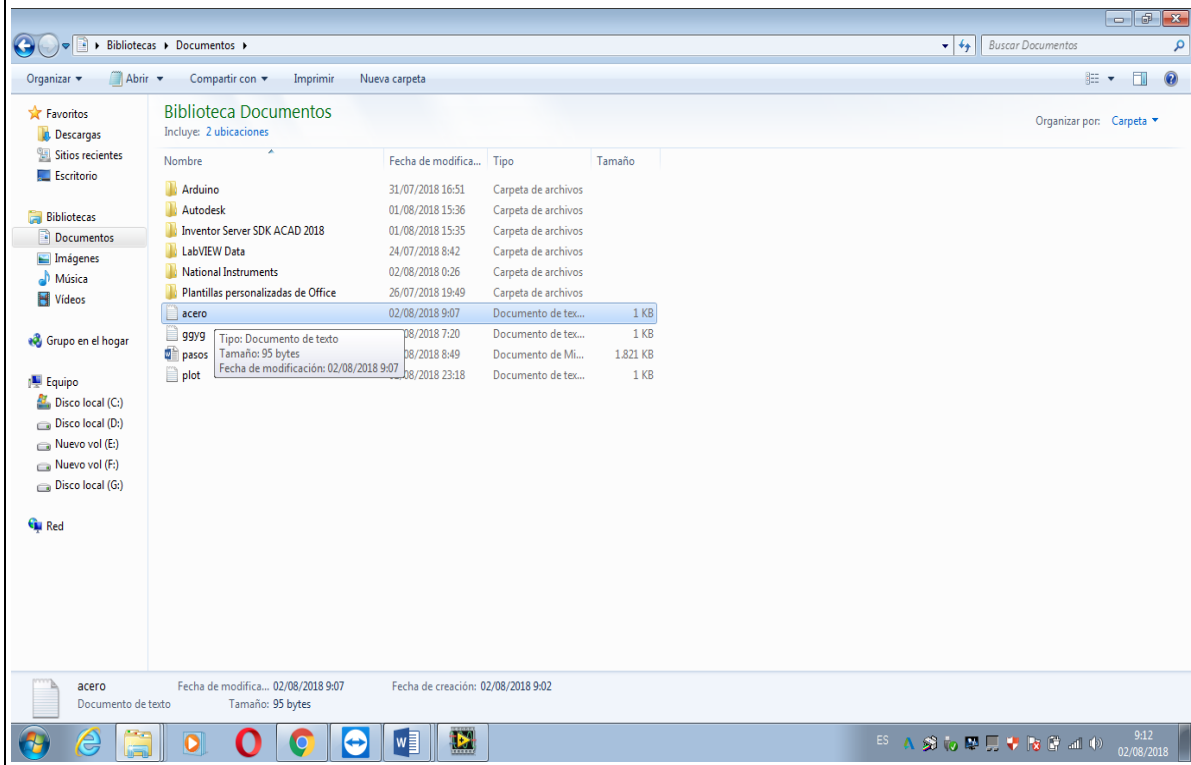
13.- Abrir la carpeta del bloc de notas que se guardó anteriormente



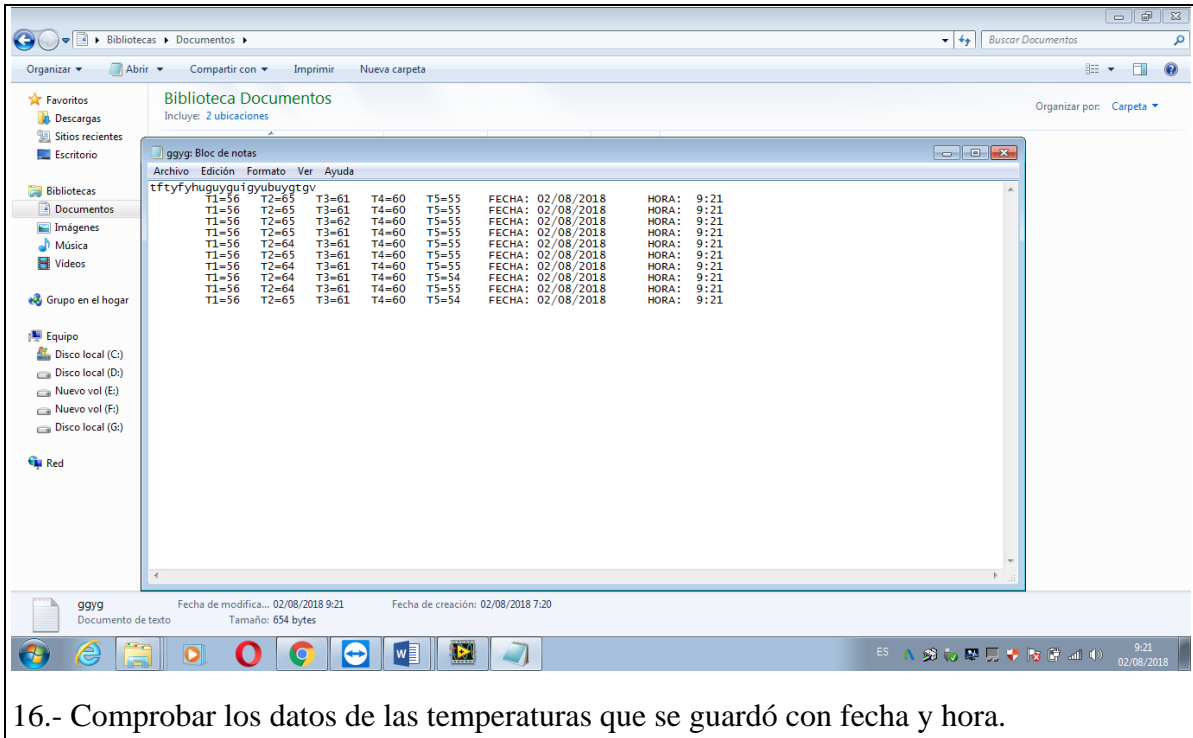
14.- Detener programa



### 15.- Accionar plot guardar datos



### 16.- Regresar a la carpeta donde se guardó el bloc de notas, abrir carpeta



16.- Comprobar los datos de las temperaturas que se guardó con fecha y hora.

**HOJA DE PRÁCTICA PARA LABORATORIO  
MÓDULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR  
CONDUCCIÓN AXIAL Y RADIAL**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## PRÁCTICA DE LABORATORIO

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	IELM606	Termo aplicada

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Energías Alternativas	DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Transferencia de calor por conducción axial	2

1	OBJETIVO
	Determinar el coeficiente de conductividad térmica de los materiales propuestos para la práctica de laboratorio de termoaplicada.

## 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La conductividad térmica es la modalidad de transferencia de calor que tiene lugar en un material por la conducción de calor en el mismo. Se elige un sólido para la demostración de conducción pura, ya que los líquidos, así como los gases muestran una excesiva transferencia de calor conductiva. La demostración de conducción lineal puede ser estudiada con el módulo de conducción de calor monitoreada desde el computador.

### 2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Datos técnicos de la resistencia de cartucho (Contacto)

Características técnicas de la resistencia por contacto	
Marca	Omega
Voltaje	110 V
Potencia módulo lineal	50 W

Medidas y coeficientes térmicos de las probetas de ensayo axial

Medidas de las probetas de ensayo para conducción axial y radial				
Axial	Material	$\Phi$ [mm]	L [mm]	K [W/m.K]
				300K
	Barra de cobre puro	15	80	481,97

Barra de acero puro	15	80	133,96
Barra de aluminio puro	15	80	301,97

Tabla A.1 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados\*

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K					Propiedades a varias temperaturas (K)												
		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kg·K)	$k$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^4$ (m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/m·K)/ $c_p$ (J/kg·K)													
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500				
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	32.1						
Aceros al carbono																			
Carbono ordinario (Mn $\leq$ 1%, Si $\leq$ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0								
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3								
Carbono-silicio (Mn $\leq$ 1%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			48.7	55.9	68.5	116.8								
Carbono-manganeso-silicio (1% < Mn $\leq$ 1.65%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			42.2	39.7	35.0	27.6								
Aceros con cromo (bajo) (Cr-Mn-Si) (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mn, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9								
1 Cr-1 Mn		7858	442	42.3	12.2			42.0	39.1	34.5	27.4								
(0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mn, 0.39% Si)		7836	443	48.9	14.1			46.8	42.1	36.3	28.2								
1 Cr-1 V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)								49.2	57.5	68.8	96.9								
Aceros inoxidables																			
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3	20.0	22.8	25.4								
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	51.2	59.5	58.5	60.6								
AISI 316		8238	468	13.4	3.48	27.2	40.0	18.6	19.8	22.6	25.4	28.0	31.7						
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.2	18.3	21.3	24.2								
								50.4	59.0	57.6	60.2								
								15.8	18.9	21.9	24.7								
								51.3	59.5	58.5	60.6								

Tabla A.1 Continuarán en

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K					Propiedades a varias temperaturas (K)												
		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kg·K)	$k$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^4$ (m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/m·K)/ $c_p$ (J/kg·K)													
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500				
Aluminio puro	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218									
Alaación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	163	186	186										
Alaación 195, vaciado (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2			174	185										
Armon (99.75% puro)		7870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	31.4						
Berilio	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7							
Bismuto	545	9780	122	7.86	6.50	16.5	9.69	7.04											
Boro	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85								
Cadmio	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7											
Cálcio	693	7140	389	116	41.8	117	118	111	103										
Circonio	2125	6570	278	22.7	12.4	33.2	25.2	21.6	20.7	21.6	23.7	26.0	28.8	33.0					
Cromo	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4					
Cobalto	1760	8862	431	99.2	26.6	167	122	83.1	67.4	58.2	49.1	40.3	43.4						
Cobalto puro								236	379	450	503	550	628	733	674				
Cromo-níquel (70% Cr, 30% Ni)	1291	8980	420	57	14	252	356	397	417	433	451	480							
								42	52	50	50								
								785	460	543									

Incropera, 2013

### 2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

- ✓ Usar guantes de cuero en el caso de manipular los elementos que transfieren calor.
- ✓ Conectar en tomacorrientes de 110V.
- ✓ Apagar el modulo después de terminar la práctica y aislar el equipo.

## 2.4. TRABAJO PREPARATORIO

### MARCO TEÓRICO

#### Conducción axial

Jaramillo J. [9], siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor.

Cuando existe un gradiente de temperatura en un medio estacionario que puede ser sólido o un fluido, utilizamos el término conducción para referirnos a la transferencia de calor que se producirá a través del medio. En la figura 1. se puede observar de mejor manera la dirección que sigue el flujo de calor en dos distintos puntos, para el caso la conducción axial o lineal.

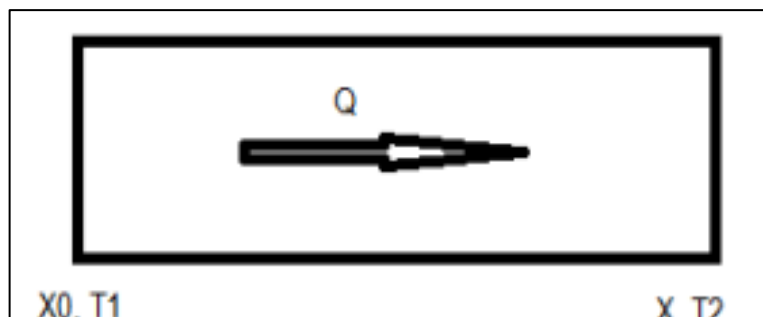


Figura 1. Transferencia de calor por conducción axial

## 2.5. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Prácticas de transferencia de calor por conducción radial, para la obtención de la conductividad térmica presentada en el material selecto.

## 2.6. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Práctica de transferencia de calor por conducción axial

Configuración axial y material cobre puro

Datos experimentales (Cobre puro $\phi$ 15 mm) área constante						
Sección T [°C]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta x$ [mm, cm, m]	P [W]	A [m <sup>2</sup> ]	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$	
T <sub>4</sub> – T <sub>5</sub>	$\Delta T = T_4 - T_5$	$\Delta x = X_5 - X_4$	150	$A = \pi DL$	K <sub>4-5</sub>	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T}$
T <sub>5</sub> – T <sub>6</sub>	$\Delta T = T_5 - T_6$	$\Delta x = X_6 - X_5$	150	$A = \pi DL$	K <sub>5-6</sub>	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T}$
$K_{Promedio} = \Sigma(K)/2$ [W/m.K]					$K_{Promedio} = \Sigma(K)/2$	

Configuración axial y material aluminio puro



Datos experimentales (Aluminio puro $\phi$ 15 mm) área constante						
Sección T [°C]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta x$ [mm, cm, m]	$P$ [W]	$A$ [m <sup>2</sup> ]	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$	
$T_4 - T_5$	$\Delta T = T_4 - T_5$	$\Delta x = X_5 - X_4$	150	$A = \pi DL$	$K_{4-5}$	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T}$
$T_5 - T_6$	$\Delta T = T_5 - T_6$	$\Delta x = X_6 - X_5$	150	$A = \pi DL$	$K_{5-6}$	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T}$
$K_{Promedio} = \Sigma(K)/2$ [W/m.K]					$K_{Promedio} = \Sigma(K)/2$	

Configuración axial y material acero puro

Datos experimentales (Acero puro $\phi$ 15 mm) área constante						
Sección T [°C]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta x$ [mm, cm, m]	$P$ [W]	$A$ [m <sup>2</sup> ]	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$	
$T_4 - T_5$	$\Delta T = T_4 - T_5$	$\Delta x = X_5 - X_4$	150	$A = \pi DL$	$K_{4-5}$	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T}$
$T_5 - T_6$	$\Delta T = T_5 - T_6$	$\Delta x = X_6 - X_5$	150	$A = \pi DL$	$K_{5-6}$	$K = \frac{\dot{Q}\Delta x}{A\Delta T}$
$K_{Promedio} = \Sigma(K)/2$ [W/m.K]					$K_{Promedio} = \Sigma(K)/2$	

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Compara con el valor obtenido y teórico y obtener el margen de error.

¿Porque pudo haber variado los resultados con respecto al K teórico?

#### 3.2. CUESTIONARIO

¿Qué es la transferencia de calor?

¿Qué tipos de transferencia de calor se conoce?

¿Qué es la conductividad térmica?

¿Qué es la conducción axial?

### 4 CONCLUSIONES

**Llenar por el estudiante**

### 5 RECOMENDACIONES

**Llenar por el estudiante**

### 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ F. P. Incropera y D. P. De Witt, Fundamentos de Transferencia de Calor, vol. 4 Edición, México: Prentice Hall, 2013
- ✓ Y. A. Cengel y M. A. Boles, Termodinámica, vol. 7ma Edición, México D.F.: McGraw Hill, 2012.
- ✓ J. P. Holman, Transferencia de Calor, vol. 10ma Edición, México D.F.: McGraw Hill Book Company, Inc., 1999.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## PRÁCTICA DE LABORATORIO

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	IELM606	Termo aplicada

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Energías Alternativas	DURACIÓN (HORAS)
2	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Transferencia de calor por conducción radial	2

1	OBJETIVO
	Determinar el coeficiente de conductividad térmica del aluminio puro para la práctica de laboratorio de termoaplicada.

## 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La conductividad térmica es la modalidad de transferencia de calor que tiene lugar en un material por la conducción de calor en el mismo. Se elige un sólido para la demostración de conducción pura, ya que los líquidos, así como los gases muestran una excesiva transferencia de calor conductiva. La demostración de conducción lineal puede ser estudiada con el módulo de conducción de calor monitoreada desde el computador.

### 2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Datos técnicos de la resistencia de cartucho (Contacto)

Características técnicas de la resistencia por contacto	
Marca	Omega
Voltaje	110 V
Potencia módulo radial	150 W

Datos de las probetas de ensayos para conducción radial

Medidas de las probetas de ensayo para conducción radial				
Radial	Material	$\Phi$ (mm)	e (mm)	K [W/m.K]
				100K
	Disco de aluminio puro	140	10	302

Tabla A.1 Continuada

Propiedades a varias temperaturas (K)

Punto de fusión (K)

Propiedades a 300 K

$\rho$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$c_p$  ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$k$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$\alpha \cdot 10^4$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$k$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) /  $c_p$  ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

Composición

Aluminio puro

Alaación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.5% Mn)

Alaación 195, vaciado (4.5% Cu)

Arnico (99.75% puro)

Berilino

Baomano

Boro

Cadmio

Cálcio

Cárconio

Cromo

Cobalto

Cobre puro

Revolvo elemental (99.8% Cu, 0.2% Zn)

Apéndice A \* Propiedades termofísicas de los materiales

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)									
		$\rho$ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$c_p$ ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )	$k$ ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )	$\alpha \cdot 10^4$ ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Aluminio puro	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218					
Alaación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.5% Mn)	775	2770	875	177	73.0	482	798	949	1033	1146					
Alaación 195, vaciado (4.5% Cu)	2790	883	168	68.2		473	787	925	1042						
Arnico (99.75% puro)	7870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	31.4			
Berilino	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7			
Baomano	545	9780	122	7.86	6.50	16.5	9.69	7.04							
Boro	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85				
Cadmio	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7							
Cálcio	693	7140	389	116	41.8	117	118	111	103						
Cárconio	2125	6570	278	22.7	12.4	33.2	25.2	21.6	20.7	21.6	23.7	26.0	28.8	33.0	
Cromo	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4	
Cobalto	1760	8862	431	90.2	26.6	167	122	83.1	67.4	58.7	52.1	46.3	42.4		
Cobre puro	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339			
Revolvo elemental (99.8% Cu, 0.2% Zn)	1295	8980	420	57	14	252	356	397	417	433	451	480			

Incropera, 2013

### 2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

- ✓ Usar guantes de cuero en el caso de manipular los elementos que transfieren calor.
- ✓ Conectar en tomacorrientes de 110V.
- ✓ Apagar el modulo después de terminar la práctica y aislar el equipo.

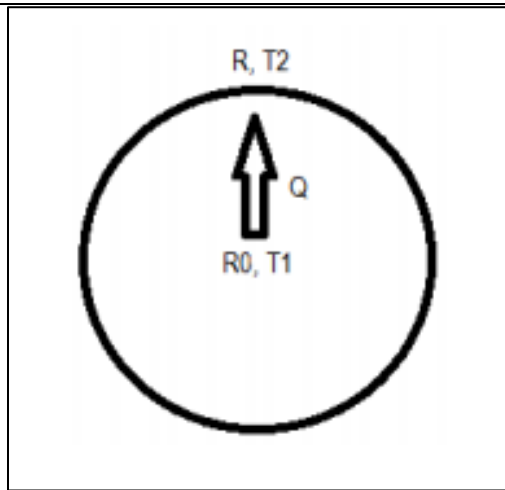
### 2.4. TRABAJO PREPARATORIO

#### MARCO TEÓRICO

##### Conducción radial

En la figura 1. se puede apreciar el esquema de la conducción radial, esta configuración se analiza con la misma ecuación (difusión de calor), pero en coordenadas cilíndricas ( $r, \Phi, z$ ), y considerando:

- Material isotrópico,  $k$  (conductividad) constante.
- Estado estable.
- No hay generación de energía al interior del disco.
- Transferencia de calor en una dirección (radial).



**Figura 1.** Transferencia de calor por conducción radial

### 2.5. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Prácticas de transferencia de calor por conducción radial, para la obtención de la conductividad térmica presentada en el material selecto.

### 2.6. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Práctica de transferencia de calor por conducción radial

Configuración radial y material aluminio puro

Datos experimentales (Aluminio puro $\phi$ 140mm)					
Sección T [°C]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta x$ [mm, cm, m]	P[W]		$K = \frac{\dot{Q} L_n \frac{r_2}{r_1}}{2\pi * L (T_1 - T_2)} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$
$T_2 - T_3$	$\Delta T = T_2 - T_3$	$\Delta x = D_3 - D_2$	50	$K_{2-3}$	$K = \frac{\dot{Q} L_n \frac{r_2}{r_1}}{2\pi * L (T_2 - T_3)} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$
$T_3 - T_4$	$\Delta T = T_3 - T_4$	$\Delta x = D_4 - D_3$	50	$K_{3-4}$	$K = \frac{\dot{Q} L_n \frac{r_2}{r_1}}{2\pi * L (T_3 - T_4)} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$
$T_4 - T_5$	$\Delta T = T_4 - T_5$	$\Delta x = D_5 - D_4$	50	$K_{4-5}$	$K = \frac{\dot{Q} L_n \frac{r_2}{r_1}}{2\pi * L (T_4 - T_5)} \left[ \frac{W}{m.K} \right]$
				$K_{Promedio} = \Sigma(K)/3$ [W/m.K]	$K_{Promedio} = \Sigma(K)/3$

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Compara con el valor obtenido y teórico y obtener el margen de error.

¿Porque pudo haber variado los resultados con respecto al K teórico?

### 2.8. CUESTIONARIO

¿Qué es la transferencia de calor?

¿Qué tipos de transferencia de calor se conoce?

¿Qué es la conductividad térmica?

¿Qué es la conducción radial?

**4 CONCLUSIONES**

**Llenar por el estudiante**

**5 RECOMENDACIONES**

**Llenar por el estudiante**

**6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ✓ F. P. Incropera y D. P. De Witt, Fundamentos de Transferencia de Calor, vol. 4 Edición, México: Prentice Hall, 2013
- ✓ Y. A. Cengel y M. A. Boles, Termódinámica, vol. 7ma Edición, México D.F.: McGraw Hill, 2012.
- ✓ J. P. Holman, Transferencia de Calor, vol. 10ma Edición, México D.F.: McGraw Hill Book Company, Inc., 1999.

# **PROGRAMACIÓN EN ARDUINO MÓDULO AXIAL**

## PROGRAMACION ARDUINO MODULO AXIAL O LINEAL

```
// MODULO AXIAL -- Arduino 2 //
```

```
#include "max6675.h"
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12); // control lcd
```

```
int option;
```

```
float temp1=0;
```

```
float temp2=0;
```

```
float temp3=0;
```

```
float temp4=0;
```

```
float temp5=0;
```

```
float temp6=0;
```

```
float temp7=0;
```

```
float temp8=0;
```

```
float temp9=0;
```

```
float temp10=0;
```

```
float temp11=0;
```

```
float temp12=0;
```

```
float temp13=0;
```

```
float temp14=0;
```

```
float temp15=0;
```

```
float dt1=0;
```

```
float dt2=0;
```

```
float dt3=0;
```

```
float dt4=0;
```

```
float dt5=0;
```

```
float dt6=0;
```



```
float dt7=0;
float dt8=0;

float k1=0;
float k2=0;
float k3=0;
float k4=0;
float k5=0;
float k6=0;
float k7=0;
float k8=0;

float error=0;
float kprom=0;

float ktacero=80.2;
float ktal=273;
float ktcu=401;

int pot=50;
int er=0;
int t2=0;
int kp=0;
int termocupla=170; // Ingrese temperatura T1
int igual=165; ///Ingrese aqui el valor de temperatura en que se estabiliza el sistema
```

```

//Variables para la adquisicion de datos

//*****
int ktcSO = 22;
int ktcCLK = 23;
int ktcCS1 = 38; // chip select primer MAX6675
int ktcCS2 = 39; // chip select segundo MAX6675

//*****
int ktcSO1 = 24;
int ktcCLK1 = 25;
int ktcCS3 = 40; // chip select tercer MAX6675
int ktcCS4 = 41; // chip select cuarto MAX6675

//*****
int ktcSO2 = 26;
int ktcCLK2 = 27;
int ktcCS5 = 42; // chip select quinto MAX6675
int ktcCS6 = 43; // chip select sexto MAX6675

//*****
int ktcSO3 = 28;
int ktcCLK3 = 29;
int ktcCS7 = 44; // chip select septimo MAX6675
int ktcCS8 = 45; // chip select octavo MAX6675

//*****
int ktcSO4 = 30;
int ktcCLK4 = 31;

```

```

int ktcCS9 = 46; // chip select noveno MAX6675
int ktcCS10 = 47; // chip select decimo MAX6675

//*****
int ktcSO5 = 32;
int ktcCLK5 = 33;
int ktcCS11 = 48; // chip select 11 MAX6675
int ktcCS12 = 49; // chip select 12 MAX6675

//*****
int ktcSO6 = 34;
int ktcCLK6 = 35;
int ktcCS13 = 50; // chip select 13 MAX6675
int ktcCS14 = 51; // chip select 14 MAX6675

//*****
int ktcSO7 = 36;
int ktcCLK7 = 37;
int ktcCS15 = 52; // chip select 15 MAX6675

MAX6675 ktc1(ktcCLK, ktcCS1, ktcSO);
MAX6675 ktc2(ktcCLK, ktcCS2, ktcSO);
MAX6675 ktc3(ktcCLK1, ktcCS3, ktcSO1);
MAX6675 ktc4(ktcCLK1, ktcCS4, ktcSO1);
MAX6675 ktc5(ktcCLK2, ktcCS5, ktcSO2);
MAX6675 ktc6(ktcCLK2, ktcCS6, ktcSO2);
MAX6675 ktc7(ktcCLK3, ktcCS7, ktcSO3);
MAX6675 ktc8(ktcCLK3, ktcCS8, ktcSO3);

```

```
MAX6675 ktc9(ktcCLK4, ktcCS9, ktcSO4);
MAX6675 ktc10(ktcCLK4, ktcCS10, ktcSO4);
MAX6675 ktc11(ktcCLK5, ktcCS11, ktcSO5);
MAX6675 ktc12(ktcCLK5, ktcCS12, ktcSO5);
MAX6675 ktc13(ktcCLK6, ktcCS13, ktcSO6);
MAX6675 ktc14(ktcCLK6, ktcCS14, ktcSO6);
MAX6675 ktc15(ktcCLK7, ktcCS15, ktcSO7);

void setup() {
  pinMode(3, INPUT);    // set pin to input
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(5, INPUT);

  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);

  delay(500);
}

void loop() {

  //Serial.print("Deg C1 = ");
  //Serial.println(ktc1.readCelsius());
  //Serial.print("Deg C2 = ");
  //Serial.println(ktc2.readCelsius());
  //Serial.print("Deg C3 = ");
  //Serial.println(ktc3.readCelsius());
  //Serial.print("Deg C4 = ");
```

```
//Serial.println(ktc4.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C5 = ");  
//Serial.println(ktc5.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C6 = ");  
//Serial.println(ktc6.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C7 = ");  
//Serial.println(ktc7.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C8 = ");  
//Serial.println(ktc8.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C9 = ");  
//Serial.println(ktc9.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C10 = ");  
//Serial.println(ktc10.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C11 = ");  
//Serial.println(ktc11.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C12 = ");  
//Serial.println(ktc12.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C13 = ");  
//Serial.println(ktc13.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C14 = ");  
//Serial.println(ktc14.readCelsius());  
//Serial.print("Deg C15 = ");  
//Serial.println(ktc15.readCelsius());  
//delay(2000);  
  
if (Serial.available(>0){  
    //leemos la opcion enviada
```

```
option=Serial.read();
}

if(option=='a') {

//Serial.print("Deg C = ");
Serial.println(ktc1.readCelsius());
delay(300);
option=0;

}

if(option=='b') {

//Serial.print("Deg C1 = ");
Serial.println(ktc2.readCelsius());
delay(300);
option=0;

}

if(option=='c') {

//Serial.print("Deg C3 = ");
Serial.println(ktc3.readCelsius());
delay(300);
option=0;
```

```
}

    if(option=='d') {

//Serial.print("Deg C4 = ");
Serial.println(ktc4.readCelsius());
delay(300);
option=0;

    }

    if(option=='e') {

//Serial.print("Deg C5 = ");
Serial.println(ktc5.readCelsius());
delay(300);
option=0;

    }

    if(option=='f') {

//Serial.print("Deg C6 = ");
Serial.println(ktc6.readCelsius());
```

```
delay(300);  
option=0;  
  
}  
  
    if(option=='g') {  
  
//Serial.print("Deg 7 = ");  
Serial.println(ktc7.readCelsius());  
delay(300);  
option=0;  
  
}  
  
    if(option=='h') {  
  
//Serial.print("Deg C8 = ");  
Serial.println(ktc8.readCelsius());  
delay(300);  
option=0;  
  
}
```



```
    if(option=='i') {

//Serial.print("Deg C9 = ");
Serial.println(ktc9.readCelsius());
delay(300);
option=0;

}

    if(option=='j') {

//Serial.print("Deg C9 = ");
Serial.println(ktc10.readCelsius());
delay(300);
option=0;

}

    if(option=='k') {

//Serial.print("Deg C9 = ");
Serial.println(ktc11.readCelsius());
delay(300);
option=0;

}
```

```
    if(option=='l') {  
  
//Serial.print("Deg C9 = ");  
Serial.println(ktc12.readCelsius());  
delay(300);  
option=0;  
  
}  
  
    if(option=='m') {  
  
//Serial.print("Deg C9 = ");  
Serial.println(ktc13.readCelsius());  
delay(300);  
option=0;  
  
}  
  
    if(option=='n') {  
  
//Serial.print("Deg C9 = ");  
Serial.println(ktc14.readCelsius());  
delay(300);  
option=0;  
  
}
```

```
    if(option=='o') {  
  
    //Serial.print("Deg C9 = ");  
    Serial.println(ktc15.readCelsius());  
    delay(300);  
    option=0;  
  
    }  
  

```

```
temp1=termocupla;  
temp2=ktc2.readCelsius();  
temp3=ktc3.readCelsius();  
temp4=ktc4.readCelsius();  
temp5=ktc5.readCelsius();  
temp6=ktc6.readCelsius();  
temp7=ktc7.readCelsius();  
temp8=ktc8.readCelsius();  
temp9=ktc9.readCelsius();  
temp10=ktc10.readCelsius();  
temp11=ktc11.readCelsius();  
temp12=ktc12.readCelsius();  
temp13=ktc13.readCelsius();  
temp14=ktc14.readCelsius();  
temp15=ktc15.readCelsius();
```

```

// %%%%%%%%%%%
// Prueba acero
if (digitalRead(3) == 1){

    dt1=temp1-temp2;
    dt2=temp2-temp5;
    dt3=temp5-temp7;
    dt4=temp7-temp8;
    dt5=temp8-temp11;
    dt6=temp11-temp3;
    dt7=temp3-temp4;
    dt8=temp4-temp6;

    k1=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt1));
    k2=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt2));
    k3=((pot*0.05)/(0.0001767146*dt3));
    k4=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt4));
    k5=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt5));
    k6=((pot*0.045)/(0.0001767146*dt6));
    k7=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt7));
    k8=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt8));

    kprom=(k1+k2+k3+k4+k5+k6+k7+k8)/8;
    error=(((kprom-ktacero)/kprom)*100);

    t2=temp2;
    kp=kprom;
    er=error;
}

```

```
if (temp2 > igual){

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Acero");
    lcd.setCursor(7, 0);
    lcd.print(" Q=");
    lcd.print(pot);
    lcd.print("W");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("kp=") ;
    lcd.print(kp);
    lcd.setCursor(8, 1);
    lcd.print("er=") ;
    lcd.print(er);
    delay(200);

}

if (temp2 < igual){

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Acero");
    lcd.setCursor(7, 0);
    lcd.print("T2=");
    lcd.print(t2);
```

```

        lcd.print("C");

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Estabilizando T2 ");
        delay(200);

    }

}

// %%%%%%%%%%%%%%%
// Prueba Aluminio
if (digitalRead(4) == 1){

    dt1=temp1-temp2;
    dt2=temp2-temp5;
    dt3=temp5-temp9;
    dt4=temp9-temp10;
    dt5=temp10-temp12;
    dt6=temp12-temp3;
    dt7=temp3-temp4;
    dt8=temp4-temp6;

    k1=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt1));
    k2=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt2));
    k3=((pot*0.05)/(0.0001767146*dt3));
    k4=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt4));
}

```

```

k5=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt5));
k6=((pot*0.045)/(0.0001767146*dt6));
k7=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt7));
k8=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt8));

kprom=(k1+k2+k3+k4+k5+k6+k7+k8)/8;
error=(((kprom-ktal)/kprom)*100);

t2=temp2;
kp=kprom;
er=error;

    if (temp2 > igual){

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Aluminio");
        lcd.setCursor(9, 0);
        lcd.print(" Q=");
        lcd.print(pot);
        lcd.print("W");

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("kp=") ;
        lcd.print(kp);
        lcd.setCursor(8, 1);
        lcd.print("er=") ;
        lcd.print(er);
        delay(200);
    }

```

```
    }

    if (temp2 < igual){

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Aluminio");
        lcd.setCursor(9, 0);
        lcd.print("T2=");
        lcd.print(t2);
        lcd.print("C");

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Estabilizando T2 ");
        delay(200);

    }

}
```

```
// %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
// Prueba Cobre
```

```
if (digitalRead(5) == 1){
```

```
    dt1=temp1-temp2;
```

```
    dt2=temp2-temp5;
```



```

dt3=temp5-temp13;
dt4=temp13-temp14;
dt5=temp14-temp15;
dt6=temp15-temp3;
dt7=temp3-temp4;
dt8=temp4-temp6;

k1=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt1));
k2=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt2));
k3=((pot*0.05)/(0.0001767146*dt3));
k4=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt4));
k5=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt5));
k6=((pot*0.045)/(0.0001767146*dt6));
k7=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt7));
k8=((pot*0.17)/(0.0001767146*dt8));

kprom=(k1+k2+k3+k4+k5+k6+k7+k8)/8;
error=(((kprom-ktcu)/kprom)*100);

t2=temp2;
kp=kprom;
er=error;

if (temp2 > igual){

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Cobre");
    lcd.setCursor(9, 0);

```

```
    lcd.print(" Q=");  
    lcd.print(pot);  
    lcd.print("W");  
  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("kp=") ;  
    lcd.print(kp);  
    lcd.setCursor(8, 1);  
    lcd.print("er=") ;  
    lcd.print(er);  
    delay(200);  
  
}  
  
if (temp2 < igual){  
  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Cobre");  
    lcd.setCursor(9, 0);  
    lcd.print("T2=");  
    lcd.print(t2);  
    lcd.print("C");  
  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("Estabilizando T2 ");  
    delay(200);  
  
}
```

```

}

//*****///
//*****///
//*****///

//errores de seleccion

if (digitalRead(3) == 0 && digitalRead(4) == 0 && digitalRead(5) == 0 ){
  lcd.clear();
  lcd.print("Selecione Prueba");
  delay(200);
}

if (digitalRead(3) == 1 && digitalRead(4) == 1 && digitalRead(5) == 0 ){
  lcd.clear();
  lcd.print("Error-Selec 1");
  delay(200);
}

if (digitalRead(3) == 1 && digitalRead(4) == 0 && digitalRead(5) == 1 ){
  lcd.clear();
  lcd.print("Error-Selec 2");
  delay(200);
}

```

```
    if (digitalRead(3) == 0 && digitalRead(4) == 1 && digitalRead(5) == 1 ){  
      lcd.clear();  
      lcd.print("Error-Selec 3");  
      delay(200);  
    }  
  
    if (digitalRead(3) == 1 && digitalRead(4) == 1 && digitalRead(5) == 1 ){  
      lcd.clear();  
      lcd.print("Error-Selec 4");  
      delay(200);  
    }  
  }  
}
```

# **PROGRAMACIÓN EN ARDUINO MÓDULO RADIAL**

## PROGRAMACION ARDUINO MODULO RADIAL

```
// MODULO radial -- Arduino 1 //
```

```
#include "max6675.h"
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12); // control lcd
```

```
int option;
```

```
float temp1;
```

```
float temp2;
```

```
float temp3;
```

```
float temp4;
```

```
float temp5;
```

```
float dt1;
```

```
float dt2;
```

```
float dt3;
```

```
float dt4;
```

```
float k1;
```

```
float k2;
```

```
float k3;
```

```
float k4;
```

```
float kprom=0;
```

```
float error=0;
```

```
float kt=302; // kteorico
```

```

int pot=150;

int er=0;

int t1=0;

int kp=0;

int igual=80; // Ingese aqui la temperatura en la que se encuentra estable el sistema

//Variables para la adquisicion de datos

//*****

int ktcSO  = 22;

int ktcCLK = 23;

int ktcCS1 = 38; // chip select primer MAX6675

int ktcCS2 = 39; // chip select segundo MAX6675

//*****

int ktcSO1  = 24;

int ktcCLK1 = 25;

int ktcCS3 = 40; // chip select tercer MAX6675

int ktcCS4 = 41; // chip select cuarto MAX6675

//*****

int ktcSO2  = 26;

int ktcCLK2 = 27;

int ktcCS5 = 42; // chip select quinto MAX6675

int ktcCS6 = 43; // chip select quinto MAX6675

//*****

int ktcSO3  = 28;

int ktcCLK3 = 29;

```

```

int ktcCS7 = 44; // chip select septimo MAX6675
int ktcCS8 = 45; // chip select octavo MAX6675

//*****
int ktcSO4 = 30;
int ktcCLK4 = 31;
int ktcCS9 = 46; // chip select noveno MAX6675
int ktcCS10 = 47; // chip select decimo MAX6675

////*****
//int ktcSO5 = 32;
//int ktcCLK5 = 33;
//int ktcCS11 = 48; // chip select 11 MAX6675
//int ktcCS12 = 49; // chip select 12 MAX6675
//
////*****
//int ktcSO6 = 34;
//int ktcCLK6 = 35;
//int ktcCS13 = 50; // chip select 13 MAX6675
//int ktcCS14 = 51; // chip select 14 MAX6675
//
////*****
//int ktcSO7 = 36;
//int ktcCLK7 = 37;
//int ktcCS15 = 52; // chip select 15 MAX6675

MAX6675 ktc1(ktcCLK, ktcCS1, ktcSO);
MAX6675 ktc2(ktcCLK, ktcCS2, ktcSO);

```



```

MAX6675 ktc3(ktcCLK1, ktcCS3, ktcSO1);
MAX6675 ktc4(ktcCLK1, ktcCS4, ktcSO1);
MAX6675 ktc5(ktcCLK2, ktcCS5, ktcSO2);
MAX6675 ktc6(ktcCLK2, ktcCS6, ktcSO2);
MAX6675 ktc7(ktcCLK3, ktcCS7, ktcSO3);
MAX6675 ktc8(ktcCLK3, ktcCS8, ktcSO3);
MAX6675 ktc9(ktcCLK4, ktcCS9, ktcSO4);
//MAX6675 ktc10(ktcCLK4, ktcCS10, ktcSO4);
//MAX6675 ktc11(ktcCLK5, ktcCS11, ktcSO5);
//MAX6675 ktc12(ktcCLK5, ktcCS12, ktcSO5);
//MAX6675 ktc13(ktcCLK6, ktcCS13, ktcSO6);
//MAX6675 ktc14(ktcCLK6, ktcCS14, ktcSO6);
//MAX6675 ktc15(ktcCLK7, ktcCS15, ktcSO7);

void setup() {

  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);

  delay(500);
}

void loop() {

  if (Serial.available(>0){
    //leemos la opcion enviada
    option=Serial.read();
  }
}

```

```
}

if(option=='a') {

//Serial.print("Deg C = ");
Serial.println(ktc1.readCelsius());
delay(300);
option=0;

}

if(option=='b') {

//Serial.print("Deg C1 = ");
Serial.println(ktc2.readCelsius());
delay(300);
option=0;

}

if(option=='c') {

//Serial.print("Deg C3 = ");
Serial.println(ktc3.readCelsius());
delay(300);
option=0;
```

```
}

    if(option=='d') {

//Serial.print("Deg C4 = ");
Serial.println(ktc4.readCelsius());
delay(300);
option=0;

    }

    if(option=='e') {

//Serial.print("Deg C5 = ");
Serial.println(ktc5.readCelsius());
delay(300);
option=0;

    }

    if(option=='f') {

//Serial.print("Deg C6 = ");
Serial.println(ktc6.readCelsius());
delay(300);
```

```
option=0;

}

    if(option=='g') {

//Serial.print("Deg 7 = ");
Serial.println(ktc7.readCelsius());
delay(300);
option=0;

}

    if(option=='h') {

//Serial.print("Deg C8 = ");
Serial.println(ktc8.readCelsius());
delay(300);
option=0;

}

    if(option=='i') {
```

```

//Serial.print("Deg C9 = ");
Serial.println(ktc9.readCelsius());
delay(300);
option=0;
}

temp1=ktc1.readCelsius();
temp2=ktc2.readCelsius();
temp3=ktc3.readCelsius();
temp4=ktc4.readCelsius();
temp5=ktc5.readCelsius();

dt1=temp1-temp2;
dt2=temp2-temp3;
dt3=temp3-temp4;
dt4=temp4-temp5;
k1=(306.2645/(0.125664*dt1));
k2=(306.2645/(0.125664*dt2));
k3=(306.2645/(0.125664*dt3));
k4=(306.2645/(0.125664*dt4));
kprom=(k1+k2+k3+k4)/4;
error=(((kprom-kt)/kprom)*100);

t1=temp1;

```

```
kp=kprom;
er=error;

    if (temp1 > igual){

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Aluminio");
        lcd.setCursor(9, 0);
        lcd.print(" Q=");
        lcd.print(pot);
        lcd.print("W");

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("kp=") ;
        lcd.print(kp);
        lcd.setCursor(8, 1);
        lcd.print("er=") ;
        lcd.print(er);
        delay(200);

    }

    if (temp1 < igual){

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Aluminio");
        lcd.setCursor(9, 0);
```

```
    lcd.print("T1=");  
    lcd.print(t1);  
    lcd.print("C");  
  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("Estabilizando T1 ");  
    delay(200);  
  
}
```

```
}
```