



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HORNO EN LA PRIMERA  
ETAPA DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA EL GRUPO  
DE INVESTIGACIÓN GIDETER”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES**

**ESTUARDO RAPHAEL CALDERÓN MANZANILLAS**

**LUIS EDGAR MASABANDA CHASI**

Riobamba - Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HORNO EN LA PRIMERA  
ETAPA DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA EL GRUPO  
DE INVESTIGACIÓN GIDETER”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:** ESTUARDO RAPHAEL CALDERÓN MANZANILLAS  
LUIS EDGAR MASABANDA CHASI

**DIRECTORA:** ING. LIDIA DEL ROCÍO CASTRO CEPEDA

Riobamba - Ecuador

2021

**©2021, Estuardo Raphael Calderón Manzanillas & Luis Edgar Masabanda Chasi**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, **ESTUARDO RAPHAEL CALDERÓN MANZANILLAS** y **LUIS EDGAR MASABANDA CHASI**, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 08 de septiembre del 2021.



---

**Calderón Manzanillas Estuardo Raphael**

110505542-8




---

**Masabanda Chasi Luis Edgar**

180398375-6

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto técnico, **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HORNO EN LA PRIMERA ETAPA DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIDETER”** realizado por los señores: **ESTUARDO RAPHAEL CALDERÓN MANZANILLAS** y **LUIS EDGAR MASABANDA CHASI** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, El mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Edwin Fernando Viteri Nuñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ</b>	<b>2021-09-08</b>
Ing. Lidia del Rocío Castro Cepeda <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION</b>	LIDIA DEL ROCIO CASTRO CEPEDA Firmado digitalmente por LIDIA DEL ROCIO CASTRO CEPEDA Fecha: 2021.11.11 14:41:41 -05'00'	<b>2021-09-08</b>
Ing. Mónica Alexandra Moreno Barriga <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	MONICA ALEXANDRA MORENO BARRIGA Firmado digitalmente por MONICA ALEXANDRA MORENO BARRIGA Fecha: 2021.11.11 16:10:57 -05'00'	<b>2021-09-08</b>

## **DEDICATORIA**

A mis padres Luiza y Omar, que han sido el pilar fundamental en mi vida siempre me han guiado durante este camino sembrando en mis grandes valores como la responsabilidad y la fortaleza para seguir adelante brindándome siempre su inmenso cariño y comprensión.

A mis hermanos unas grandes personas que siempre los llevo en mi corazón los recuerdo con alegría por dar esa calidez al hogar el cual amo.

A toda mi familia por siempre brindarme su gran cariño, afecto y felicidad.

**Estuardo Raphael Calderón Manzanillas**

A mis padres Luz y Luis, que son el pilar fundamental en mi vida y que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles brindándome su inmenso cariño y comprensión.

A mis hermanos Fabio y Viviana que siempre han estado junto a mí, bríndame su apoyo muchas veces poniendo en el papel de padre y madre.

A mis tíos Yolanda, Milton, Nelly, Mariana Aníbal, Hernán, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos en este trayecto.

A todos mis primos en general por brindarme todo su apoyo incondicional.

**Luis Edgar Masabanda Chasi**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y fe para seguir cuando parecía que era imposible continuar, a mis padres por su apoyo incondicional durante mi vida estudiantil y por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas.

Agradezco a cada uno de mis compañeros de clase ya que su compañerismo y su amistad ayuda a disminuir mucho la carga del inmenso y agotador estudio.

Mi agradecimiento también para mi directora y mi miembro de trabajo de titulación las ingenieras Lidia Castro y Mónica Moreno por ser grandes guías durante este trabajo.

También agradezco a mi profesor de cátedra de integración curricular ingeniero Isaías Caicedo por brindarnos sus constantes consejos y apoyo contaste en el presente estudio.

Finalmente, al gerente de industrias WedpB Jhony Betancourt por habernos permitido realizar nuestro proyecto de titulación en su prestigiosa empresa.

**Estuardo Raphael Calderón Manzanillas**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida, a mis padres que me enseñaron a no rendirme ante nada durante mi vida estudiantil.

Agradezco a cada uno de mis compañeros de clase ya que su compañerismo y su amistad ayuda a disminuir mucho la carga del enorme y difícil día de un estudiante.

Mi agradecimiento también para mi tutora y mi miembro de trabajo de titulación las ingenieras Lidia Castro y Mónica Moreno por ser grandes guías durante este trabajo.

También agradezco a mi profesor de cátedra de integración curricular ingeniero Isaías Caicedo por brindarnos sus constantes consejos y apoyo contaste en el presente estudio.

Finalmente, al gerente de industrias WedpB Jhony Betancourt por habernos permitido realizar nuestro proyecto de titulación en su prestigiosa empresa

**Luis Edgar Masabanda Chasi**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Delimitación del problema.....	2
1.3. Problema.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	3

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Termoformado.....	4
2.1.1. Tipos Termoformado.....	5
2.2. Hornos Industriales.....	7
2.2.1. <i>Tipos de Hornos Industriales</i> .....	7
2.2.2. <i>Materiales que constituye un horno a gas y diésel</i> .....	8
2.2.3. <i>Hornos eléctricos</i> .....	9
2.3. Polipropileno.....	10
2.3.1. Características del polipropileno.....	10
2.3.2. <i>Procesos de fabricación del polipropileno</i> .....	11
2.3.3. <i>Polimerización en suspensión (SLURRY)</i> .....	11
2.3.4. <i>Tipos de polipropileno</i> .....	13



3.	<i>Propiedades del polipropileno</i> .....	14
2.3.6.	<i>Aplicaciones de polipropileno dentro de la industria</i> .....	15
2.3.7.	<i>Formas y dimensiones de la lámina de polipropileno</i> .....	15
3.1.	<b>Transferencia de calor</b> .....	17
3.1.1.	<i>Conducción</i> .....	17
3.1.2.	<i>Convección</i> .....	17
3.1.3.	<i>Radiación</i> .....	18
3.2.	<b>Ley de Ohm</b> .....	18
3.3.	<b>Conductores y Aislantes</b> .....	19
3.3.1.	<b>Carga</b> .....	19
3.3.2.	<i>Conductores</i> .....	20
3.3.3.	<i>Conductores óhmicos</i> .....	20
3.3.4.	<i>Conductores no óhmicos</i> .....	20
3.3.5.	<i>Aislantes</i> .....	20
3.4.	<b>Resistencia Eléctrica</b> .....	21
3.5.	<b>Ley de Fourier de conducción Térmica</b> .....	21
3.5.1.	<i>La resistencia térmica</i> .....	23
3.6.	<b>Ley del enfriamiento de Newton</b> .....	23
3.7.	<b>Radiación</b> .....	24
3.7.1.	<i>Intercambio de energía radiactiva</i> .....	25
3.8.	<b>Materiales conductores de calor</b> .....	25
3.8.1.	<i>Materiales aislantes de calor</i> .....	26
3.9.	<b>Elementos de control de temperatura en los hornos</b> .....	26
3.9.1.	<i>Perdidas de calor de los hornos eléctricos</i> .....	27
3.10.	<b>Metodología del diseño</b> .....	29
3.10.1.	<i>Criterios de diseño</i> .....	30

### CAPÍTULO III

4.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	31
4.1.	<b>Análisis térmico</b> .....	31
4.1.1.	<i>Calor de fusión del polipropileno</i> .....	31
4.1.2.	<i>Transferencia de calor en el horno</i> .....	32
4.1.3.	<i>Potencia de generación requerida</i> .....	40
4.1.4.	<i>Validación del análisis térmico</i> .....	41
4.2.	<b>Diagrama eléctrico del horno</b> .....	46

3.2.2.	<i>Circuito de potencia</i> .....	48
3.2.3.	<i>Programación en el software Arduino 1.8.5</i> .....	50
4.3.	<b>Diseño de la estructura del horno</b> .....	52
4.3.1.	<i>Diseño de la viga</i> .....	53
4.3.2.	<i>Diseño de la columna</i> .....	54
4.4.	<b>Selección de materiales</b> .....	58
4.4.1.	<i>Selección de las resistencias eléctricas de calefacción</i> .....	58
4.4.2.	<i>Pintura</i> .....	59
4.4.3.	<i>Validación de materiales</i> .....	60
4.4.4.	<i>Listado de materiales</i> .....	65
4.5.	<b>Procedimiento de construcción y montaje</b> .....	67
4.5.1.	<i>Construcción de la estructura base</i> .....	67
4.5.2.	<i>Construcción de la estructura del horno</i> .....	69
4.5.3.	<i>Forrado de las paredes interiores del horno</i> .....	72
4.5.4.	<i>Ubicación del aislamiento del horno</i> .....	73
4.5.5.	<i>Forrado de las paredes exteriores del horno</i> .....	74
4.5.6.	<i>Montaje del riel guía</i> .....	75
4.5.7.	<i>Pintado de la estructura base</i> .....	76
4.5.8.	<i>Pintado del interior del horno</i> .....	77
4.5.9.	<i>Instalación de las resistencias de calentamiento</i> .....	78
4.5.10.	<i>Montaje del cableado eléctrico</i> .....	79
4.5.11.	<i>Montaje del circuito de control</i> .....	79
4.5.12.	<i>Montaje del tablero de control</i> .....	80
4.5.13.	<i>Instalación del circuito eléctrico</i> .....	81

## CAPÍTULO IV

5.	<b>RESULTADOS</b> .....	82
5.1.	<b>Pruebas de Funcionamiento</b> .....	82
5.1.1.	<i>Tiempo de enfriamiento</i> .....	82
5.1.2.	<i>Tiempo de calentamiento</i> .....	84
5.1.3.	<i>Gráficas de los tiempos de calentamiento y enfriamiento</i> .....	85
5.2.	<b>Manual de operación</b> .....	90
4.2.1	<i>Encendido del horno</i> .....	90
4.2.2.	<i>Carga del material polipropileno</i> .....	90
4.2.3.	<i>Apagado del horno</i> .....	91

4.2.4.	<i>Fundido y tratamiento del material</i> .....	91
4.2.5.	<i>Limpieza del horno</i> .....	91
4.2.6.	<i>Mantenimiento del horno</i> .....	92
4.2.7.	<i>Modificación de la temperatura máxima permisible</i> .....	92
4.2.8.	<i>Modificación del rango de temperatura permisible</i> .....	92
5.3.	<b>Factibilidad ambiental</b> .....	94
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	95
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	97
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Propiedades físicas del polipropileno. ....	14
<b>Tabla 2-2:</b>	Propiedades térmicas del polipropileno.....	15
<b>Tabla 3-2:</b>	Dimensiones, colores, calibres de láminas de polipropileno de Avance .....	16
<b>Tabla 4-2:</b>	Dimensiones, colores, calibres de láminas de polipropileno de DULMAU .....	16
<b>Tabla 1-3:</b>	Propiedades del estudio térmico .....	41
<b>Tabla 2-3:</b>	Información de la malla utilizada para el estudio .....	41
<b>Tabla 3-3:</b>	Resultados del estudio térmico del horno.....	42
<b>Tabla 4-3:</b>	Especificaciones generales del tubo de la viga crítica.....	54
<b>Tabla 5-3:</b>	Longitudes efectivas de columnas .....	57
<b>Tabla 6-3:</b>	Especificaciones técnicas de la pintura para altas temperaturas .....	59
<b>Tabla 7-3:</b>	Propiedades del polipropileno. ....	61
<b>Tabla 8-3:</b>	Propiedades físicas y mecánicas del acero inoxidable.....	62
<b>Tabla 9-3:</b>	Propiedades de lana de vidrio.....	63
<b>Tabla 10-3:</b>	Propiedades del acero estructural .....	64
<b>Tabla 11-3:</b>	Listado de materiales y costos. ....	65
<b>Tabla 12-3:</b>	Construcción de la estructura base .....	67
<b>Tabla 13-3:</b>	Construcción de la estructura del horno. ....	69
<b>Tabla 14-3:</b>	Forrado de las paredes interiores del horno.....	72
<b>Tabla 15-3:</b>	Ubicación del aislante del horno. ....	73
<b>Tabla 16-3:</b>	Forrado de las paredes exteriores del horno. ....	75
<b>Tabla 1-4:</b>	Datos de tiempo y temperatura de calentamiento del horno.....	86
<b>Tabla 2-4:</b>	Datos de tiempo y temperatura de enfriamiento del horno.....	86
<b>Tabla 3-4:</b>	Datos de tiempo y temperatura de la operación del horno.....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Termoformado en vacío directo.....	5
<b>Figura 2-2:</b>	Termoformado a presión.....	6
<b>Figura 3-2:</b>	Termoformado mecánico.....	7
<b>Figura 4-2:</b>	Partes principales de un horno.....	7
<b>Figura 5-2:</b>	Proceso de suspensión Slurry.....	12
<b>Figura 6-2:</b>	Proceso en fase líquida.....	12
<b>Figura 7-2:</b>	Polimerización en masa en fase gaseosa.....	13
<b>Figura 8-2:</b>	Láminas de polipropileno.....	16
<b>Figura 9-2:</b>	Transferencia de calor mediante la conducción.....	17
<b>Figura 10-2:</b>	Transferencia de calor mediante la conducción.....	18
<b>Figura 11-2:</b>	Transferencia de calor mediante radiación térmica.....	18
<b>Figura 12-2:</b>	Triángulo de la ley de Ohm.....	19
<b>Figura 13-2:</b>	Los cables eléctricos ejemplos de conductores y de aislantes.....	20
<b>Figura 14-2:</b>	Conducción Térmica, la ley de Fourier determina el flujo de calor a través de una superficie.....	22
<b>Figura 15-2:</b>	Resistencias térmicas en una pared delgada de espesor $L$ .....	23
<b>Figura 16-2:</b>	Irradiación desde una superficie hacia a otra.....	25
<b>Figura 17-2:</b>	Las diversas pérdidas de calor producidas en un horno de carro de tratamientos térmicos.....	27
<b>Figura 1-3:</b>	Distribución de las planchas de polipropileno en el horno.....	31
<b>Figura 2-3:</b>	Transferencia de calor de la fuente a las planchas de polipropileno.....	32
<b>Figura 3-3:</b>	Composición de la pared del horno y circuito térmico equivalente.....	37
<b>Figura 4-3:</b>	Distribución de las temperaturas en el horno.....	40
<b>Figura 5-3:</b>	Placa Arduino Uno.....	47
<b>Figura 6-3:</b>	Circuito de control y potencia del horno.....	49
<b>Figura 7-3:</b>	Circuito de control y potencia del horno. (Continuación).....	49
<b>Figura 8-3:</b>	Esquema del circuito de control del horno.....	50
<b>Figura 9-3:</b>	Interfaz gráfica de la programación software Arduino 1.8.5.....	51
<b>Figura 10-3:</b>	Esquema del horno y elementos críticos para el cálculo estructural.....	52
<b>Figura 11-3:</b>	Diagramas de fuerzas y esfuerzos en la viga crítica.....	54
<b>Figura 12-3:</b>	Diagramas de cuerpo libre en la columna crítica.....	55
<b>Figura 13-3:</b>	Resistencias tubulares blindadas para aire.....	58
<b>Figura 1-4:</b>	Modificación del rango máximo de la temperatura permisible.....	93

**Figura 2-4:** Transferencia del código de programación del computador a la placa Arduino.  
.....**93**

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b>	Curva de calentamiento del horno mediante resistencias .....	10487
<b>Gráfico 2-4:</b>	Curva de enfriamiento del horno mediante resistencias .....	88
<b>Gráfico 3-4:</b>	Curva de comportamiento térmico del horno .....	89

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Propiedades de diversos materiales.
- ANEXO B:** Propiedades físicas de polipropileno
- ANEXO C:** Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales
- ANEXO D:** Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica
- ANEXO E:** Propiedades de metales sólidos
- ANEXO F:** Coeficiente de emisividad
- ANEXO G:** Propiedades mecánicas del acero
- ANEXO H:** Constantes elásticas y físicas de materiales
- ANEXO I:** Resistencias para horno y estufa
- ANEXO J:** Características Técnicas de Arduino Uno
- ANEXO K:** Ficha Técnicas del Módulo Relay
- ANEXO L:** Características Técnicas de la Termocupla tipo K y el Módulo Max 6675
- ANEXO M:** Características Técnicas de la Pantalla LCD y el Módulo I2C
- ANEXO N:** La codificación de Programación en el software Arduino 1.8.5
- ANEXO O:** Planos ingenieriles y de detalle del equipo
- ANEXO P:** Planos ingenieriles y de detalle del equipo



## RESUMEN

El presente proyecto técnico se refiere al diseño y construcción de un horno eléctrico en la primera etapa del proceso de termoformado de polipropileno para el grupo de investigación GIDETER. Se realizó el diseño térmico del horno tomando en consideración las propiedades del material a ser tratado, entre ellas: calor específico, densidad, volumen y temperatura de fusión; se determinó que el calor de generación requerido es de 2125 W para una temperatura máxima en el interior del horno de 240 °C. Luego se calculó el calor que se transfiere en el interior del horno debido a los mecanismos de conducción, convección y radiación, así como las pérdidas de calor en las paredes hacia el ambiente exterior, teniendo en cuenta las temperaturas en cada una de las superficies. Con la finalidad de restringir la transferencia de calor hacia el exterior del horno se utilizó aislante lana de vidrio, en cuanto a la estructura del horno, se efectuó un diseño mecánico para la selección de los perfiles y las dimensiones requeridas del material, el cual se validó en un software de diseño 3D, el factor de seguridad es de 13. Adicionalmente se implementó un sistema de control para el funcionamiento del horno para el proceso de termoformado, el circuito de mando se realizó con utilización de una placa Arduino Uno. Los materiales para la fabricación del horno se seleccionaron en base a la disponibilidad y factibilidad económica existentes en el mercado y en función de los parámetros térmicos requeridos. La construcción del horno se ejecutó en un taller siguiendo los pasos descritos en el procedimiento de construcción y montaje, el circuito eléctrico de mando y potencia se colocó en un tablero metálico. Finalmente se efectuaron pruebas de funcionamiento para caracterizar los parámetros como tiempos de calentamiento y de enfriamiento.

**Palabras clave:** <ANÁLISIS TÉRMICO> <CIRCUITO DE CONTROL> <HORNO ELÉCTRICO> <POTENCIA> <TERMOFORMADO> <TRANSFERENCIA DE CALOR>.



Firmado electrónicamente  
por:  
**HOLGER  
GERMAN RAMOS  
UVIDIA**

1951-DBRA-UPT-2021

2021-10-22

## **SUMMARY**

This technical project refers to the design and construction of an electric oven in the first stage of the polypropylene thermoforming process for the GIDETER research group. The thermal design of the furnace was carried out taking into consideration the properties of the material to be treated, among them: specific heat, density, volume and melting temperature; The heat of generation required was determined to be 2125 W for a maximum temperature inside the furnace of 240 °C. Then the heat transferred inside the oven due to conduction, convection and radiation mechanisms was calculated, as well as the heat losses from the walls to the outside environment, considering the temperatures on each of the surfaces. To restrict the heat transfer to the outside of the furnace, glass wool insulation was used, as for the furnace structure, a mechanical design was carried out for the selection of the profiles and the required dimensions of the material, which was validated in a 3D design software, the safety factor is 13. Additionally, a control system was implemented for the operation of the oven for the thermoforming process, the control circuit was made using an Arduino Uno board. Materials For the manufacture of the furnace were selected based on the availability and economic feasibility existing in the market and based on the required thermal parameters. The construction of the furnace was carried out in a workshop following the steps described in the construction and assembly procedure, the electrical control and power circuit was placed on a metal panel. Finally, performance tests were carried out to characterize the parameters such as heating and cooling times.

**Key Words:** <THERMAL ANALYSIS> <CONTROL CIRCUIT> <ELECTRIC OVEN>  
<POWER> <THERMFORMED> <HEAT TRANSFER>.

## INTRODUCCIÓN

En actualidad se puede evidenciar el gran impacto que ha producido el consumo de los materiales derivados de los polímeros dentro de la industria, a nivel mundial se ve reflejado en la economía en la producción del plástico, encontrándose presente en las actividades diarias de la gente. La evolución de la industria de los polímeros ha alcanzado en los últimos años una gran demanda que se ha beneficiado de la relación costo/beneficio en diferentes sectores de la industria. (Calle A, Sánchez M., 2017)

Los materiales plásticos ofrecen mejores propiedades frente a otros materiales tradicionales, sin embargo, la industria del plástico sigue evolucionando en diferentes aplicaciones que permiten el contacto con materiales de tipo solventes y corrosivos, al hablar de estos materiales se debe seleccionar teniendo en cuenta los parámetros de presión, temperatura, humedad, entre otros que pueden afectar los procesos de degradación de los productos (Connor, 2020).

El análisis de este proyecto permite generar aportaciones científicas del estudio en los procesos de termoformado, permitiendo impulsar el desarrollo empresarial enfocado principalmente en estrategias que permiten alcanzar el conocimiento teórico y práctico como respuesta a los parámetros de operación de un análisis térmico. La investigación tiene como objetivo alcanzar las temperaturas necesarias para el termoformado del propileno y conseguirlo en un adecuado tiempo de estabilización porque el horno estará diseñado para prácticas de laboratorio, siendo muy seguro y de fácil manejo (Molina, V. Pito, E., 2008).

Bajo el contexto señalado surge el interés por la realización de proceso de termoformado de los materiales polímeros. En este sentido, se requiere la disponibilidad de equipos como un horno eléctrico especializado para el proceso de calentamiento del material. El grupo de investigación GIDETER de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH tiene entre sus líneas de investigación el análisis técnico de los mecanismos de transferencia de calor, pero no dispone de un horno especializado para el efecto, por esta razón se ha considerado la decisión de efectuar el diseño y construcción de un horno para el termoformado de uno de los polímeros más ampliamente utilizados, como es el polipropileno, cuya temperatura de fusión es de 160 °C. El presente trabajo establece todos los criterios técnicos pertinentes para la consecución del tema propuesto.

# CAPÍTULO I

## 1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

En estudios realizados a nivel internacional precisamente en la ciudad de Bogotá, estudiantes de ingeniería decidieron equipar los laboratorios de la Universidad José de Caldas con ideas prácticas y de innovación, para lo cual su tarea consistió en diseñar una máquina para el proceso de termoformado basada en los principios de moldeo y vacío el cual sea muy didáctico y fácil de usar de esta manera posteriormente se realizaría la construcción de este equipo el cual prestará servicios no solo a los estudiantes de ingeniería sino que sería para el uso de todos los estudiantes de la universidad, lo que significa una gran desarrollo en el campus (Forero, D.; et al., 2018).

A nivel nacional se han realizado estudios similares tales como: el diseño de una máquina de termoformado para el laboratorio de procesamiento de polímeros de la Escuela Superior Politécnica del Litoral en la ciudad de Guayaquil, además el estudio realizado por la Universidad Internacional del Ecuador acerca del diseño y la fabricación de kits para autos mediante el proceso de termoformado con ayuda del uso de software de modelación. En el primer estudio se verificó mediante ensayos realizados en laboratorio, que se necesitaba una máquina para realizar ensayos de termoformado en materiales poliméricos para volverlos a reutilizar, la segunda investigación trataba de procesos de termoformado aplicados en la matricería de un vehículo mediante la aplicación de software de modelación apropiados para este estudio se lograron moldear varias de estas piezas para este vehículo (Calderón, 2014).

### 1.2 Delimitación del problema

**Delimitación espacial.** \_ El presente proyecto de investigación se está desarrollando en el grupo de investigación GIDETER de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica Chimborazo de la ciudad Riobamba.

**Delimitación temporal.** \_ El presente proyecto de investigación será desarrollado durante cuatro meses, previo a la aprobación otorgada por la comisión de Integración Curricular de la carrera de Mecánica.

**Delimitación sectorial:** \_ El diseño y construcción de un horno de entrada en el proceso de termoformado utilizando los conocimientos y herramientas adecuadas tales como son material

bibliográfico de temas de transferencia de calor, resistencias eléctricas, materiales poliméricos, así como también el diseño elementos de máquinas para la correcta selección de los materiales, a su vez esta selección está apoyada en catálogos y software los cuales darán una certeza y guía para escoger de manera correcta los materiales, para su posterior adquisición y construcción en la que además de las herramientas antes mencionadas también se usara un software para su modelación en 3D obteniendo los planos ingenieriles necesarios para el desarrollo del presente proyecto técnico.

### **1.3 Problema**

El grupo de investigación GIDETER de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH tiene entre sus líneas de investigación el análisis técnico de los mecanismos de transferencia de calor. En este sentido, se demanda de la disponibilidad de un horno eléctrico para el calentamiento de polímeros, con la finalidad de poder obtener datos característicos, tales como: temperaturas de fusión del material polímero y tiempo de calentamiento. En la actualidad no se cuenta con un horno específico para la realización de ensayos de termoformado de polímeros, por lo tanto, no es factible el estudio práctico del fenómeno de interés. Por este motivo surge la necesidad de diseñar y construir un horno eléctrico para el proceso de termoformado de un polímero, a fin de determinar el tiempo de estabilización del material.

### **1.4 Objetivos**

#### ***General***

Desarrollar el diseño y la construcción de un horno de entrada para el proceso de termoformado.

#### ***Específicos***

- Realizar el diseño térmico del horno de entrada para el proceso de termoformado.
- Efectuar el diseño mecánico del horno de entrada para el proceso de termoformado.
- Implementar un sistema control para el funcionamiento del horno.
- Seleccionar los materiales para la construcción del horno de entrada.
- Obtener los planos ingenieriles y de detalle del equipo.
- Construir el horno de entrada para el proceso de termoformado.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Termoformado

La era del plástico comenzó a principios del siglo XX, durante esta época se registró patentes de algunas técnicas del formado de láminas, el desarrollo del termoformado se dio durante la segunda guerra mundial. Sin embargo, años más tarde permite su comercialización y evolución de sus equipos y maquinaria capaces de adaptarse a los métodos modernos de manufactura. Durante las décadas 50s, 60s y 70s fue el período que levanto las bases del desarrollo de la industria del termoformado, debido a la gran demanda de volúmenes de producción del material, sin embargo, permito la evolución de equipos de alta velocidad y productividad debido al gran número de consumidos en el mercado (Plastiglas S. A., 2019 pp. 2-8).

El proceso de termoformado consiste en calentar y reblandecer una lámina de cualquier material termoplástico y someterla a que adopte la configuración del molde para obtener un producto terminado con un diseño particular. Sin embargo, a veces es necesario la aplicación de una fuerza exterior que permita dale forma una lámina plástica en otra modelo diferente que permita adoptarse a todos los detalles del molde. La capacidad de energía o gasto debe ser controlado esto nos permite que las láminas puedan fácilmente adaptarse fácilmente la otra forma.

Entre las fuerzas de formado que comúnmente son utilizadas en los procesos de termoformado son: vacío o aire presión, fuerzas mecánicas o una combinación de las tres antes mencionadas. La selección de la fuerza de formado está limitada principalmente al tamaño del producto, el volumen a producir y la velocidad del ciclo de formado. Sin embargo. Adicionalmente también se deben considerar los factores más importantes dentro de los procesos de termoformado pueden marcar la diferencia en la selección de la fuerza de formado (Plastiglas S. A., 2019 pp. 2-8).

Cabe recalcar que estos criterios se mencionan a continuación:

1. Las limitaciones intrínsecas de cada material termoplástico.
2. Construcción y material del molde
3. Equipo de termoformado disponible

### 2.1.1 Tipos Termoformado

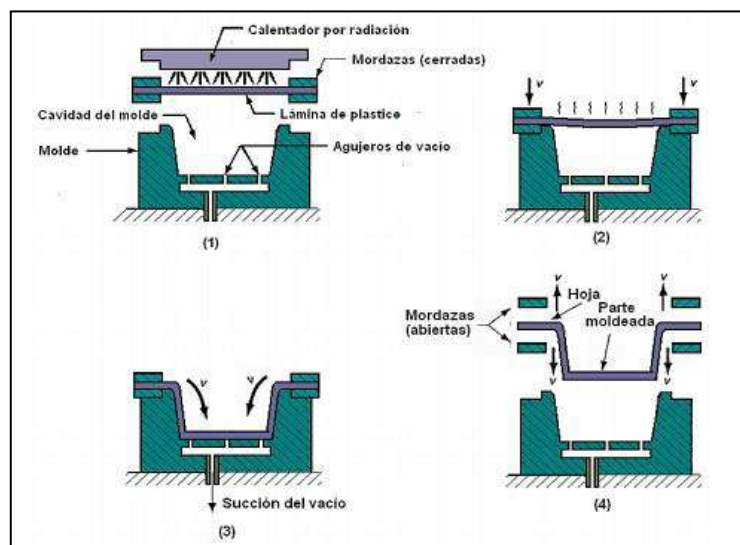
A continuación, se detalla los diferentes procesos de termoformado existentes en la actualidad y la importancia de su implementación:

- Termoformado al vacío directo
- Termoformado a presión
- Termoformado mecánico

#### 2.1.1.1 Termoformado al vacío directo

Este método llamado también simplemente formado al vacío es considerado el método más antiguo dentro del proceso de termoformado el cual consiste en usar la presión negativa para adherir a la lámina de precalentamiento dentro del molde. El proceso se explica en la figura 1-2 de forma más simple, sin embargo, los agujeros que permiten formar el vacío en el molde son de aproximadamente 0.8 mm de diámetro, por lo que los efectos que producen en la superficie de la lámina son de menos consideración (Molina & Pito, 2008 pp. 30-26).

Mediante la figura 1-2 permite explicar los procesos de este método:



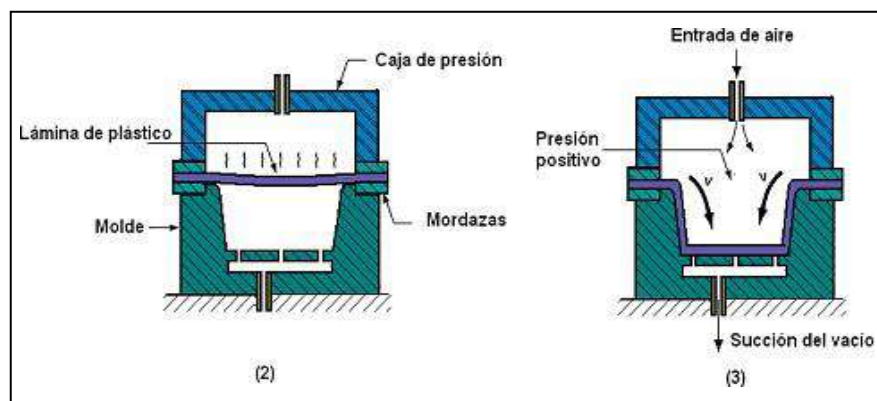
**Figura 1-2.** Termoformado en vacío directo:(1) se suaviza una lámina plana de plástico por calentamiento; (2) se coloca sobre la cavidad de un molde cóncavo; (3) el vacío atrae la lámina hacia la cavidad; (3) el plástico se endurece al contacto con la superficie fría del molde.

Fuente: (Molina & Pito, 2008 pp. 30-26)

### 2.1.1.2 Termoformado a presión

Una de las técnicas que involucra a la presión positiva permite forzar al plástico caliente dentro del molde. Este método llamado termoformado a presión o formado por soplado; tiene como ventaja este método formar un vacío que se basa en el desarrollo presiones altas en comparación que el método anterior que se lamita a 1 atmosfera. El procedimiento es similar al anterior con la diferencia que la lámina se presiona de forma vertical hacia el molde, donde el aire a trabado el proceso termoformado salen por los agujeros de ventilación (Molina & Pito, 2008 pp. 30-26).

Las partes restantes de formado se ilustra en la figura 2-2.:



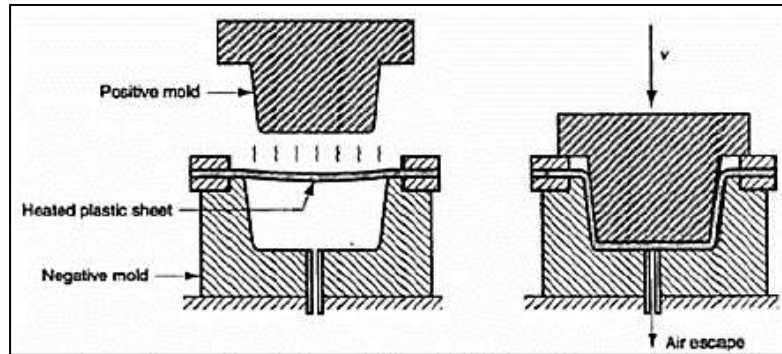
**Figura 2-2.** Termoformado a presión:(2) la diferencia de presiones está en la lámina al colocar sobre el molde, (3) la presión positiva fuerza a la lámina dentro del molde.

Fuente: (Molina & Pito, 2008 pp. 30-26)

### 2.1.1.3 Termoformado mecánico

El termoformado mecánico es un método que no interviene la presión de aire, vacío para dar la forma deseada a la lámina plástica. Para ello. Se utiliza dos moldes adaptados se coloca sobre el termoplástico para luego ser cerrado, este procedimiento permite que la lámina se vea forzada a tomar el diseño del molde, es importante mencionar que el espesor final del producto termoformado se da por la separación que existe entre los moldes (Calle & Sánchez, 2017). En la figura 3-2 se explica el procedimiento de este método de termoformado mecánico para un mejor entendimiento:



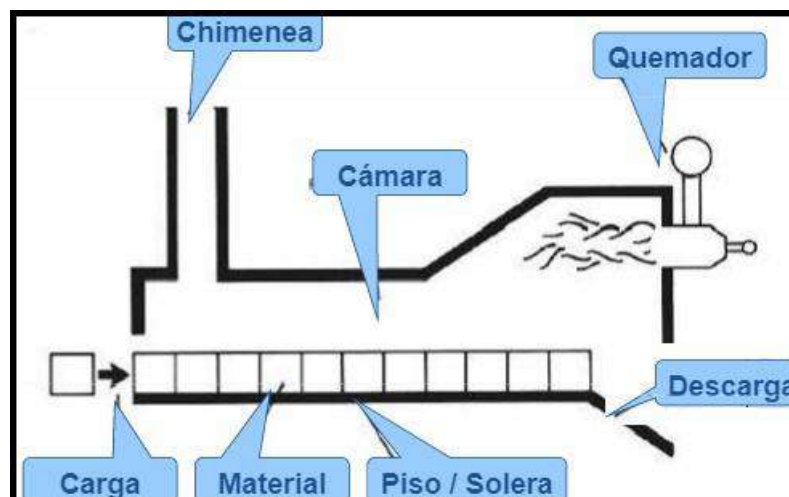


**Figura 3-2.** Termoformado mecánico.

Fuente: (Calle & Sánchez, 2017).

## 2.2 Hornos Industriales

Los hornos industriales son equipo que permite generar calor manteniendo a temperaturas altas dentro de la cámara del horno. Sin embargo, para calentar las láminas o materiales se requieren de un control de temperatura que permitan realizar diferentes procesos de fabricación de piezas tanto metálicas, aleaciones y piezas derivadas de los polímeros (Flores García Evelin Yesenia, 2014)



**Figura 4-2:** Partes principales de un horno.

Fuente: (Fiuba, s.f., p. 7)

### 2.2.1 Tipos de Hornos Industriales

Entre los diferentes tipos de horno industriales se clasifican dependiendo de su aplicación:

1. Hornos eléctricos
2. Hornos de crisol
3. Horno a gas

### *2.2.1.1 Hornos eléctricos.*

Este tipo de horno que se basa principalmente en resistencias eléctricas en su interior que está en contacto con las paredes internas del mismo, que al momento de aplicar una tensión determinada se calienta para generar calor que aumente la temperatura dentro de la caja o mufla del horno. Estas resistencias utilizan el efecto Joule (Calderón, 2014).

### *2.2.1.2 Hornos de crisoles.*

Se utilizan normalmente para fundiciones en pequeñas cantidades y poseen una tapa para mantener un cierre hermético dentro del horno, también están compuestos por arcilla mezclada con grafito. Estos modelos son de los más antiguos para crear metales (Calderón, 2014).

### *2.2.1.3 Hornos de gas.*

Estos utilizan quemadores y como fuente de energía el gas para generar combustión, por lo general está cubiertos en su interior con un revestimiento aislante y también poseen chimenea que les permite expulsar los gases generados de la combustión (Calderón, 2014).

## **2.2.2 *Materiales que constituye un horno a gas y diésel***

Dentro de los materiales constituyen en la fabricación de hornos tanto a gas como a diésel, se puede, mencionar que son materiales resistentes al calor, aislamientos térmicos, y también equipos electrónicos, para controlar la temperatura teniendo en cuenta que cada elemento cumple una función determinada. Sin embargo, se puede diferenciar los materiales de estos dos tipos de hornos con respecto al horno eléctrico.

### *2.2.2.1 Materiales que constituyen un Horno a Gas*

Para la fabricación de los hornos de acuerdo a los materiales utilizados permite que la energía química se convierta en calor donde permite que aumente la temperatura la probeta o elemento que se encuentre dentro de cámara del horno (Nicolini, 2019). Sin embargo, cabe mencionar que las partes más importantes son las que a continuación se menciona:

1. Caja de combustión (Acero inoxidable)
2. Caja de calentamiento (Acero inoxidable)
3. Aislante (ladrillo refractario)
4. Ductos de escape

### *2.2.2.2 Materiales que constituye un Horno a Diésel*

Los materiales que se son utilizados en los diferentes elementos que conforma el horno a diésel para prevenir pérdida de calor al exterior y conducir las llamas del quemador. Los siguientes materiales que a continuación se detalla tanto para chapa metálica, capa aislante y capa refractaria.

(Correa & Robalino, 2007)

1. Matariles refractarios (ceramios para estructura)
2. Aislante
3. Láminas de acero
4. Crisol
5. Mortero refractario

### *2.2.3 Hornos eléctricos*

En los hornos eléctricos se basa principalmente en la generación de calor por medio de las resistencias eléctricas distribuida uniformemente en cámara del horno. Sin embargo, es importante mencionar que el calor generado, para ello se utiliza corriente alterna con una frecuencia estándar aproximadamente (60 *fz*). Este tipo de hornos eléctricos son utilizados en aplicaciones de cuerpo sólido y otros materiales dentro del ámbito industrial (Abadia & Fernández, 1993).

#### *2.2.3.1 Características del calor producido por electricidad*

- Permite controlar la distribución y el desarrollo del calor con alta precisión
- El calor desarrollado es independiente de los gases que rodean la carga. La atmosfera puede seleccionar un volumen con relación a la naturaleza de la carga que producen acciones en los procesos térmicos del horno.
- La temperatura máxima que puede alcanzar un horno es en relación a las propiedades o la estructura de los materiales que se van a colocar en cámara del horno.

#### *2.2.3.2 Materiales constituyentes de un horno eléctrico*

Dentro de las condiciones de trabajo de los hornos eléctricos entorno a los materiales de mampostería, se debe tener presente las temperaturas altas, acción física y química de los gases producidos por metales y óxidos del horno (Abadia & Fernández, 1993). Entre los materiales que más se utilizan en la construcción de hornos eléctricos se detalla a continuación:

- Materiales metálicos (para carcasa, cubierta, estructura del horno)

- Materiales termoaislantes (para el aislamiento térmico del horno como pueden ser polvo de relleno, algodón de escoria o lana de vidrio, fibrocemento)
- Elementos electrónicos
- Sistema de control de temperatura
- Hornos a gas vs Hornos eléctricos

Entre las diferentes las relevantes que existen entre un horno a gas y un horno eléctrico se detalla a continuación para su mejor comprensión:

1. El calor generado por los hornos eléctricos permite un calentamiento más uniforme que los hornos a gas.
2. La generación de calor en los hornos eléctricos se basa en combustión de un gas en forma de llamas, mientras que en los hornos eléctricos se basa en resistencias eléctricas.
3. El costo entre el horno a gas y el horno eléctrico es más barato, sin embargo, se debe considerar a que a largo plazo estos equipos son más costosos debido a su eficiencia energética.
4. La eficiencia energética de hornos a gases es más alta ya que su calor generado es casi instantáneo a comparación con las eficiencias energéticas de los hornos eléctricos que requieren de precalentamiento mucho más lento para generar calor.
5. Los hornos a gas si producen humedad mientras que los hornos eléctricos no producen.

## **2.3 Polipropileno**

El polipropileno (PP) es un material termoplástico comercial, semicristalino, blanco, semioptico y en la actualidad es considerado uno de los polímeros con más variantes en el entorno de fabricación de productos de calidad y fácil modificación de mismos. Un material termo conformado está destinado a la fabricación de piezas que necesitan resistencia química, peso ligero y fricción suave. Es un material considerado duro y rígido y que tiene una alta resistencia al impacto, líquidos corrosivos, dieléctricos (Monzó, 2015).

### ***2.3.1 Características del polipropileno***

Dentro de las características más relevantes que se puede mencionar acerca del polipropileno son las que a continuación se mencionan:

1. El polipropileno es un material termoplástico parcialmente cristalino
2. Se obtiene del proceso de la polimerización del propileno en sí.
3. Pertenece al grupo de las poliamidas.

4. Tiene alta resistencia a los solventes químico, álcalis y ácidos
5. La temperatura de uso continuo es de  $5^{\circ}$  a  $100^{\circ}$

### ***2.3.2 Procesos de fabricación del polipropileno***

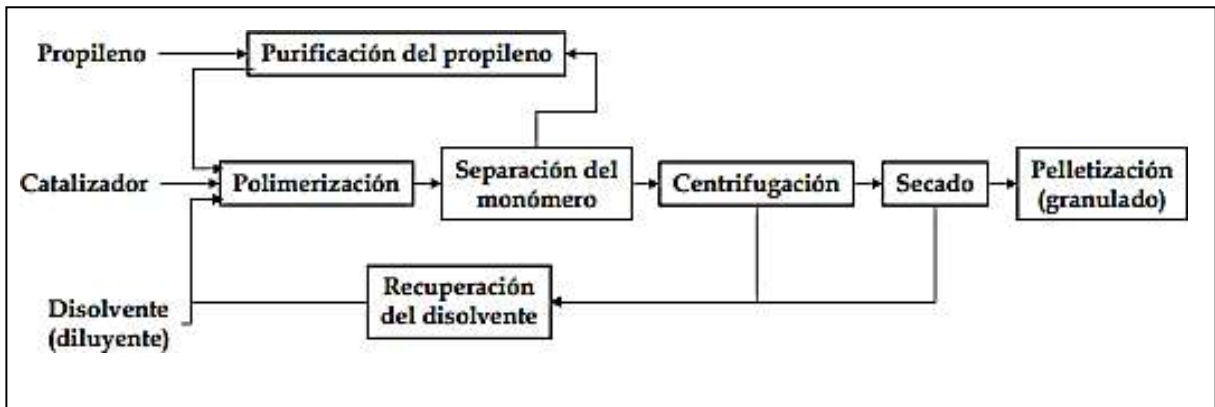
Existen varios procesos de fabricación del polipropileno, sin embargo, debido al estado de agregación de la fase portadora del monomero (Amaya, 2018). Se clasifica de forma general teniendo en cuenta esta consideración existen tres grandes grupos que son:

- Polimerización en suspensión (SLURRY)
- Polimerización e la masa en fase líquida (BLUK)
- Polimerización en masa en fase gaseosa

### ***2.3.3 Polimerización en suspensión (SLURRY)***

Este proceso se basa en configurados que permita la reacción en un hidrocarburo líquido, donde el polipropileno es considera insoluble a una temperatura inferior a la fusión del polímero, dentro del proceso existe dos alternativas que son los reactores y diluyentes que afecta directamente a las características de operación y al rango del producto (Amaya, et al., 2018). Cabe recalcar que el proceso está conformado por varias etapas que son las siguientes que a continuación se menciona:

- Preparación de catalizador
- Polimerización
- Recuperación del monómero y solvente
- Remoción de residuos
- Remoción del polímero atáctico y bajo peso molecular
- Secado del producto
- Adición de modificadores
- Extracción del polímero

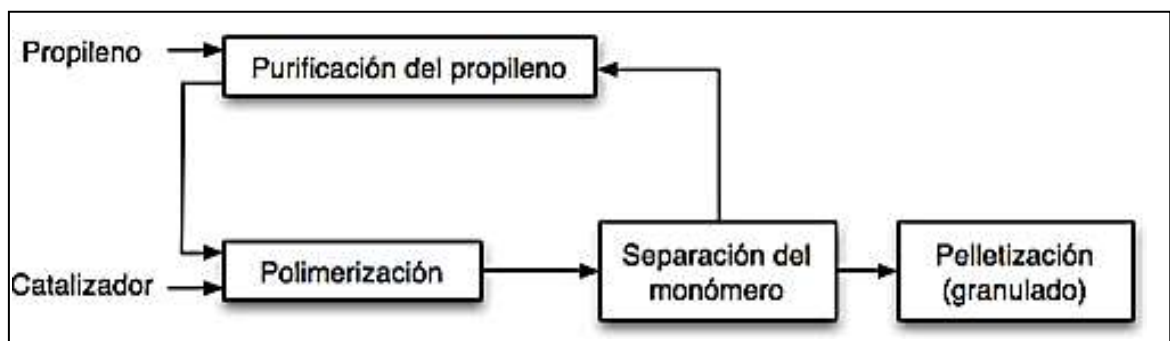


**Figura 5-2.** Proceso de suspensión Slurry.

Fuente: (Amaya, et al., 2018).

### 2.3.3.1 Polimerización e la masa en fase líquida (BLUK)

En este proceso la gran diferencia con el proceso anterior es la sustitución del solvente con propileno líquido, todo este mecánico se basa en el desarrollo de nuevos catalizadores ya no es necesario la extracción del catalizador del polímero. Este es el proceso más utilizado comercialmente el cual permite preparar diferentes tipos de productos con propiedades óptimas usando dos reactores en serie.

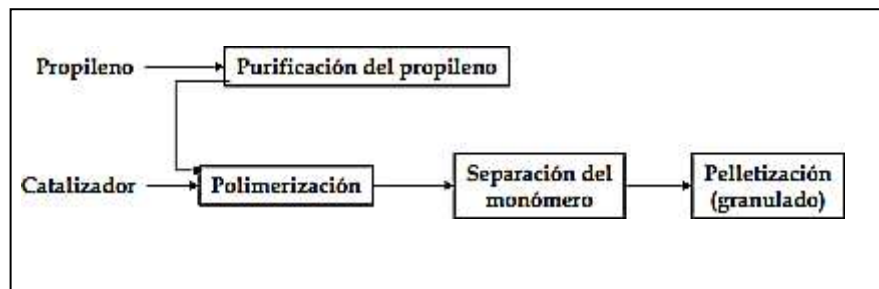


**Figura 6-2.** Proceso en fase líquida.

Fuente: (Amaya, et al., 2018).

### 2.3.3.2 Polimerización en masa en fase gaseosa

El proceso de fase de gaseosa porque evita principalmente la utilización de un solvente o un medio líquido para extender tanto los reactivos y productos del reactor. Sin embargo, este proceso permitía la separación y recuperación de grandes cantidades de solvente o de propileno líquido que son necesarios para los procesos anteriores. Los productos de polipropileno extraídos mediante este proceso son completamente secos lo que solo requiere la desactivación de una pequeña parte de residuos del catalizador antes de incorporación de los aditivos (Amaya, et al., 2018).



**Figura 7-2.** Polimerización en masa en fase gaseosa.

Fuente: (Amaya, et al., 2018).

### 2.3.4 Tipos de polipropileno

Dentro del estudio del polipropileno cabe recalcar la importancia de mencionar los diferentes tipos de polipropilenos en la industria, esto permite mejorar el desempeño a la hora de fabricación de los productos a nivel industrial.

Entre los importantes tenemos los siguientes:

- Homopolímeros
- Polipropileno isotáctico
- Polipropileno sindiotáctico
- Polipropileno atáctico
- Copolímero de impacto

#### 2.3.4.1 Homopolímeros

Los homopolímeros están constituidos solo por monómeros de propileno a lo largo de su cadena de polimerización, sin embargo, cabe recalcar que la estructura presente un alto grado de cristalinidad, este polipropileno se caracteriza por su alta rigidez a temperaturas muy elevadas y se considera un material de transparencia moderada (Amaya, et al., 2018).

Estos homopolímeros son utilizados básicamente en la extracción de láminas. Envases, tubería, BOPP, fibra e inyección de alta rigidez. Es muy recomendado para trabajar a altas temperaturas de relleno en caliente. Como resultado, muchas propiedades mecánicas y de procesabilidad del PP son altamente determinadas por el nivel de isotacticidad y su cristalinidad.

Por lo tanto, los homopolímeros se pueden clasificar de acuerdo a su estructura química en los siguientes grupos que se detalla a continuación:

1. **Polipropileno isotático:** Se basa principalmente en el análisis de los grupos de metilo que se encuentra distribuidos al mismo lado de la cadena polimérica. Esta forma permite que las moléculas cristalicen con una relativa dureza y rigidez, donde en su forma más pura se funde a una temperatura aproximada 176°C
2. **Polipropileno sindiotactico:** este tipo de polipropileno los grupos metilo están distribuidos de forman alternada a cada lado de cadena polimérica.
3. **Polipropileno atático:** los grupos metílicos se encuentran en forma aleatoria a lo largo de la cadena polimérica.

### 2.3.5 Propiedades del polipropileno

Es muy importante tener el conocimiento general acerca de polipropileno, sin embargo, es de suma importancia el comportamiento del material a situaciones en las que se encuentra sometido, teniendo en cuenta las propiedades tanto mecánicas, térmicas, eléctricas etc. En la tabla 1-2 se muestra las propiedades físicas del polipropileno.

**Tabla 1-2.** Propiedades físicas del polipropileno.

<b>PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO</b>	
Propiedades Físicas	Valores Típicos
Ganancia de humedad	< 0,1 %
Índice de refracción n	1,49
Conductividad térmica (20°C)	0,14-0,22 W. m/°K
Coefficiente lineal de expansión térmica (20-60°C)	100 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>
Color de fusion	21 cal/gr
Calor específico	0,46 cal/gr. °C
Densidad del fundido a 180°C	0,769 gr/cc
Calor de combustión	10.725 Kcal/Kg
Índice de oxígeno	17,4
Rango temperatura de descomposición	328 – 410 °C
Constante dieléctrica (20-80°C)	2,25 kHz
Factor de disipación (102 – 106 Hz)	< 0,0002 %
Resistividad volumétrica específica	>1016 Ω.cm

Fuente: (Monzón, 2015).

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021

#### 2.3.5.1 Propiedades térmicas

Entre las propiedades más relevantes y de estudio e nuestra investigación es el punto de fusión que varía en el grado de cristalinidad. En la tabla 2-2 se muestra las propiedades térmicas del polipropileno.



**Tabla 2-2.** Propiedades térmicas del polipropileno

<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>	
Polipropileno	punto de fusion
polipropileno isotáctico	171°C
polipropileno isotáctico comerciales	160°C - 166°C
polipropileno sindiotactico	130°C

**Fuente:** (Amaya, et al., 2018).

**Elaborado por:** Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### **2.3.6 Aplicaciones de polipropileno dentro de la industria**

A partir de los procesos industriales antes mencionados se puede elaborar un sin número de productos de polipropileno, que se basa principalmente en la variación de propiedades que depende mucho de la longitud de la cadena de polímero. Por lo tanto, la gran diversidad de productos producidos que permite tener un sin número de aplicaciones a nivel industrial.

Entre los campos de aplicación de polipropileno son los siguientes:

- Autopartes
- Baldes. Recipientes, botellas.
- Muebles
- Juguetes
- Películas para envases de alimentos
- Fibra y filamentos
- componentes para bombas

### **2.3.7 Formas y dimensiones de la lámina de polipropileno**

Dentro del estudio de los termoplásticos para los procesos de termoformado a nivel industrial se utilizará en la investigación propuesta láminas polipropileno que podemos encontrar a nivel local nacional y local. Entre los proveedores que ofrecen mayor variedad de láminas de polipropileno dentro del país tenemos las siguientes:

#### **2.3.7.1 Avance tecnológico en el plástico**

En la tabla 3-2 del catalogo se pudo extraer dimensiones , colores , calibres que no ofrecen este proveedor de una manera mas detallada:

**Tabla 3-2.** Dimensiones, colores, calibres de láminas de polipropileno de AVANCE.

Características.	Lamina de Polipropileno.	Lamina Polietileno HDPE (sobre pedido)
Clave.	0360-0010-0150 AL 0360-0020-0200	0370-0020-0480 Y 0370-0020-0485
Medidas.	1.22 X 2.44 mts.	1.22 X 2.44 mts.
Calibre.	Color natural: 1/16, 1/8, 3/16, ¼, 3/8, ½ y 1 pulgadas. Color negro (sobre pedido): ½ a 1 pulgada	3/16.
Colores.	Natural y negro.	Blanco y negro.
Punto de ignición.	127 °C.	152°C.
Precio.	0	0

Fuente: AVANCE

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 2.3.7.2 DALMAU Industrial Ecuatoriana.



**Figura 8-2.** Láminas de polipropileno.

Fuente: (DALMOU, 2018).

En la tabla 4-2 del catalogo en donde se pudo extraer dimensiones , colores , calibres que no ofrecen este proveedor de una manera mas detallada

**Tabla 4-2.** Dimensiones, colores, calibres de láminas de polipropileno de DULMAU

MEDIDAS		
Ancho m	1.5	2.4
Largo m	1	1.2
medida mm	0.25	1.5
COLORES		
Color	Natural, negro	
Color	bajo pedido	
CALIBRE (plug)		
	color natural	color negro
Rollos	500 mm	Ancho
Textura	Lisa brillante	
Uso	Carpetas, Reglas, exhibidores, Ristras,	
Impresión	cama plana, Serigrafia	

Fuente: (DALMOU, 2018).

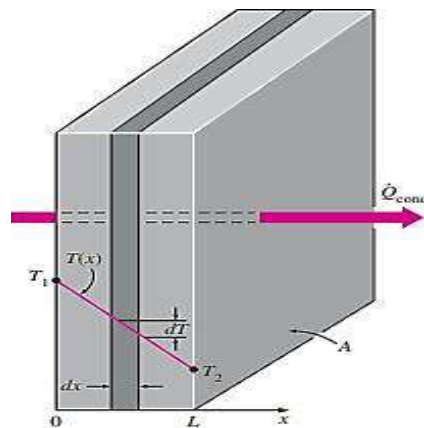
Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

## 2.4 Transferencia de calor

La transferencia de calor se refiere a la transferencia de energía de un lugar a otro mediante un rango de temperaturas de un sistema, sin embargo, la importancia del estudio de transferencia de calor permite alcanzar una mayor eficiencia por medio de los métodos de conducción, convección, radiación que a su vez permite generar una potencia más eficiente (Amaya, et al., 2018).

### 2.4.1 Conducción

Mediante estudios realizados acerca de la transferencia de calor, uno de modos es la conducción que se basa en la ley de Fourier, la cual establece que en una región de alta temperatura conduce el calor hacia otra región de baja temperatura, produciendo así la transferencia de calor entre dos regiones que forman parte de un sistema (Abadía & Fernández., 1993). En la figura 9-2. Se observa el modo de transferencia de calor pro conducción.

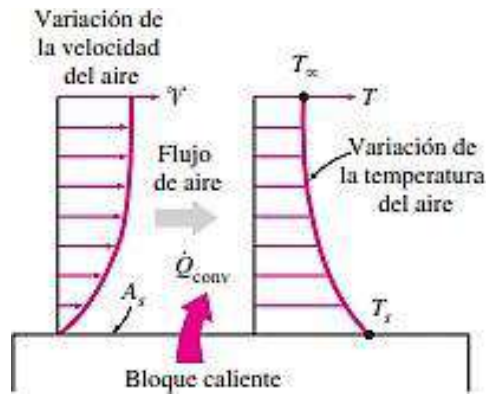


**Figura 9-2.** Transferencia de calor mediante la conducción.

Fuente: (Yunus.A,Cengel, 2017).

### 2.4.2 Convección.

La convección es modo de transferencia de calor o energía entre una superficie solida y una superficie liquida o gas se da por medio de movimiento de efecto combinados de conducción y el movimiento de fluidez. La convección se da cuando existe la diferencia de temperaturas en las superficies solida o liquida que debido a la diferencia de densidad se obtiene una fuerza de flotación resulte que permite que transferencia de calor sea más rápida. (Yunus & Cengel, 2017). En la figura 11-2. Se observa el modo de transferencia de calor pro convección.

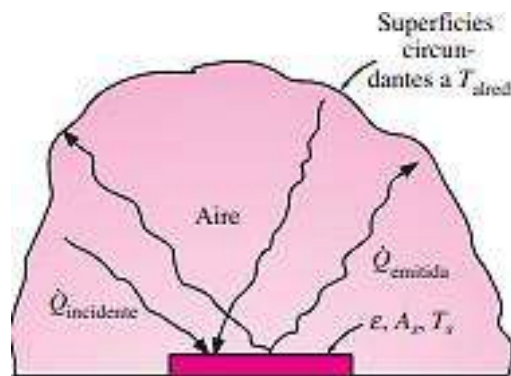


**Figura 10-2.** Transferencia de calor mediante la convección.

Fuente: (Yunus.& Cengel, 2017)

### 2.4.3 Radiación

La radiación emitida entre cuerpos mediante ondas electromagnéticas debido a cambios que sufren las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. La radiación se produce por la temperatura emitida por los cuerpos que originan el fenómeno superficial para los sólidos que son ocupados en la radiación térmica que está basada en la ley de Stefan Boltzmann. (Yunus & Cengel, 2017). En la figura 11-2. se observa el modo de transferencia de calor por radiación térmica.



**Figura 11-2.** Transferencia de calor mediante radiación térmica.

Fuente: (Yunus. & Cengel, 2017).

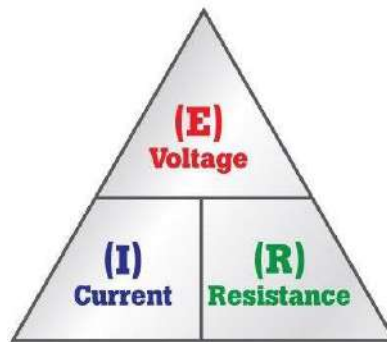
### 2.5 Ley de Ohm

La ley de Ohm se basa en el estudio del voltaje, resistencia e intensidad, el enunciado de esta ley es el siguiente: la intensidad de corriente que pasa a través de un circuito es directamente proporcional al voltaje o a la tensión suministrada e inversamente proporcional a la resistencia establecida. Su fórmula se describe a continuación (Torres Búa, 2014).

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Donde I representa la intensidad medida en amperios (A), V es el voltaje medido en voltios (V) y R la resistencia medida en ohmios ( $\Omega$ ).

La ley de Ohm debe su nombre al físico alemán Georg Ohm y contiene las cantidades que son clave en el desempeño de los circuitos, se si conocen dos de estos valores se puede calcular el tercero por ejemplo si se conoce el voltaje y la corriente y se desea conocer la resistencia suprime la R en la llamada pirámide de ohm y es fácil su obtención, como no es posible medir la resistencia en un circuito cerrado o en funcionamiento para su cálculo la ley de Ohm es de vital importancia y así un técnico no procese a desconectar el circuito para medirla sino mediante la aplicación de la ley Ohm (Mazur, 2021).



**Figura 12-2:** Triángulo de la ley de Ohm.

Fuente: (Mazur, 2021)

El triángulo de la ley de Ohm mostrado en la figura relaciona las tres variables de un circuito eléctrico que son la tensión (E), corriente (I) y la resistencia (R) la ecuación  $E = IR$  es la más primordial para los estudiantes de electrónica, así como la ecuación  $E = mc^2$  es la más primordial para los físicos (Mazur, G. 2021).

## 2.6 Conductores y Aislantes

### 2.6.1 Carga.

El origen de todas cargas eléctricas se centra en la estructura atómica, en una carga el electrón es la unidad base. La unidad de medida de una carga es el coulomb (C) nombrada así en honor a Charles Coulomb un reconocido físico francés el determino que la carga para un electrón es  $1,60 \times 10^{-19}$  C. De esta manera se entiende que una carga de 1C es igual a una carga de  $6,25 \times 10^{18}$  electrones (Gouveia, R., 2020).

### 2.6.2 Conductores.

Son los compuestos por donde las cargas se mueven con mayor facilidad, como ejemplos de conductores están los metales esto debido al movimiento y arreglo de todos los electrones es su estructura atómica, en estos metales se puede mencionar al cobre uno de los más usados en la elaboración de cables y otros compuestos eléctricos (Gouveia, R., 2020).

### 2.6.3 Conductores óhmicos.

Los conductores óhmicos son los sé que se rigen por la ley de ohm, esto significa que la resistencia permanece constante a una temperatura constante y es independiente de la diferencia de potencial, como ejemplo están los conductores metálicos (Gouveia, R., 2020).

### 2.6.4 Conductores no óhmicos.

Los conductores óhmicos son los que no se rigen por la ley de ohm, esto significa que la resistencia varía en función de la diferencia de potencial aplicado por ejemplo algunas partes de aparatos electrónicos como computadoras, celulares, etc. (Gouveia, R., 2020).

### 2.6.5 Aislantes.

Son compuestos que se oponen al movimiento de las cargas eléctricas por ejemplo esta la madera en donde los electrones están constantemente restringidos y de esta manera no pueden moverse libremente por esta sustancia. En la figura 2 se muestra un cable eléctrico un ejemplo tanto para conductor como para aislante puesto que mientras el cable interno funciona como conductor de electricidad el cable externo funciona como aislante (Gouveia, R., 2020).



**Figura 13-2.** Los cables eléctricos ejemplos de conductores y de aislantes.

**Fuente:** (Gouveia, R., 2020).

## 2.7 Resistencia Eléctrica.

La resistencia eléctrica es oposición que se presenta cuando las cargas eléctricas se muevan con libertad a través de un conductor. Haciendo una analogía con el agua se puede decir que la resistencia eléctrica es similar a la fricción o rozamiento que produce el agua en una tubería, mientras más liso es el tubo con mayor facilidad fluye en el agua, caso contrario ocurre que mientras más rugoso es una tubería esta presentara mayor oposición para desplazarse en el agua. La resistencia eléctrica está vinculada al desplazamiento de electrones desde que estos se mueven átomo por átomo mediante el conductor como se sabe la resistencia se mide en ohmios y es representada mediante la letra griega omega  $\Omega$  (Gouveia, R., 2020). La potencia de generación necesaria (potencia de resistencias de calentamiento) se describe de la siguiente forma:

$$P_r = P_f + 2 * q_h + 4 * q_v \quad (2)$$

Donde:

- $P_r$ = potencia de resistencias de calentamiento
- $P_f$ =potencia de fusión para un tiempo de calentamiento
- $q_h$ =calor horizontal
- $q_v$ =calor vertical

## 2.8 Ley de Fourier de conducción Térmica

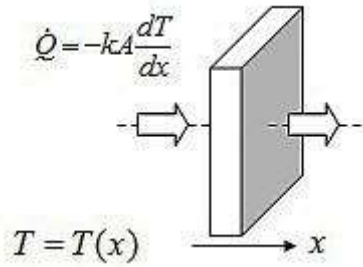
La ley de conducción térmica de Fourier manifiesta que la tasa de tiempo de la transferencia de calor a través de un material es directamente proporcional al gradiente negativo existente en la temperatura y al área. Los procesos donde ocurre transferencia de calor se pueden cuantificar en ecuaciones de velocidad apropiadas, para este modo la ecuación de velocidad que más se adecua está basada en la ley de conducción térmica de Fourier (Connor, 2020), su forma diferencial se puede expresar así:

$$q^{\rightarrow} = -k\nabla T \quad (3)$$

Donde:

- $q^{\rightarrow}$  : Es el vector de densidad de flujo de calor local [ $W. m^{-2}$ ]
- $k$  : Es la conductividad de los materiales [ $W. m^{-1}. k^{-1}$ ]
- $\nabla T$  : Es el gradiente de temperatura [ $k. m^{-1}$ ]

“De manera muy parecida, así como la ley de Fourier determina la cantidad de calor que circula a través de una losa, también se la puede usar en el caso de conocer  $q$  y nuestras variables a encontrar sea las temperaturas” (Connor, 2020), logrando así satisfacer la ecuación anterior.



**Figura 14-2:** Conducción Térmica, la ley de Fourier determina el flujo de calor a través de una superficie.

**Fuente:** (Connor, 2020).

Para un caso de flujo de calor estacionario es decir en una dirección el calor transmitido es proporcional a la superficie perpendicular a la transferencia de calor, también a la conductividad del material y a la variación de temperaturas, pero inversamente proporcional a su espesor. La ley de Fourier se puede expresar también en términos de flujo de calor, este flujo de calor se define como la velocidad en que se transmite el calor por unidad de sección perpendicular a la dirección de este flujo, esta velocidad de transmisión de calor también se conoce como potencia (Espinoza, 2015).

De la ecuación mostrada anteriormente se puede mencionar que, en sitios homogéneos e isotrópicos, la velocidad máxima de transferencia en conducción ocurre en la dirección del gradiente de temperatura, ya que la densidad de flujo de calor y el gradiente de temperatura son vectores colineales. En cambio, en medios homogéneos y anisotrópicos la máxima velocidad de transmisión por conducción no es producida por en la dirección del gradiente de temperatura, la razón es porque la dirección de densidad de flujo de calor y el gradiente de temperatura no son para nada colineales (Espinoza, 2015).

La cantidad de calor que se transfiere por conducción en una determinada dirección es proporcional a la superficie que va al flujo de calor y como la temperatura disminuye en esta dirección. Esto significa que la cantidad de calor perdida dependerá del área del material en contacto con el flujo y de la variación de la temperatura en dicho lugar. La conducción térmica está establecida por la ley de Fourier donde se menciona que la tasa de transferencia de calor por conducción en una determinada dirección, es proporcional a la superficie perpendicular a la dirección de flujo de calor y al gradiente de temperaturas establecido en esa dirección (Espinoza, 2015).

$$\frac{dQx}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

Donde:

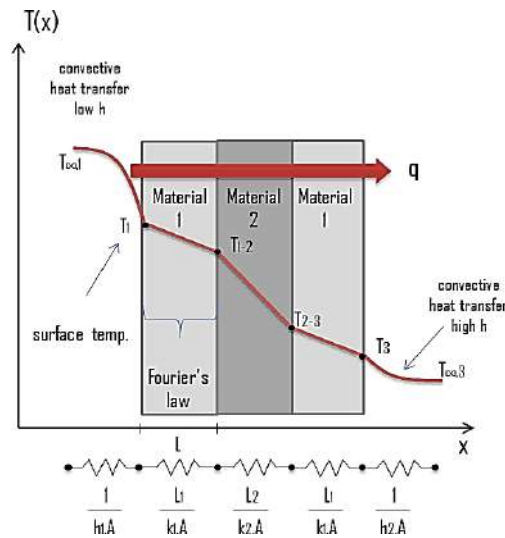
- $\frac{dQ}{dt}$  : es la tasa de flujo de calor que atraviesa el área  $A$  en dirección de  $x$
- $k$ : viene a ser la constante de proporcionalidad conocida como constante térmica



- $T$  :es la temperatura
- $t$  :es el tiempo

### 2.8.1 La resistencia térmica.

Está asociada a la conductancia térmica de la misma manera que la resistencia eléctrica es el complemento de la conducción eléctrica, una resistencia térmica también está relacionada con la conducción de calor. Como se observa en la figura 4 si se considera una pared delgada con espesor  $L$  y conductividad térmica media  $k$ . las áreas de las paredes se encuentran a temperaturas constantes  $T_1$  y  $T_2$  establecidas por la ley de Fourier (Connor, 2020).



**Figura 15-2.** Resistencias térmicas en una pared delgada de espesor  $L$ .

Fuente: (Connor, 2020).

### 2.9 Ley del enfriamiento de Newton.

La transferencia de calor se encuentra asociada con cuerpos calientes y cuerpos fríos, conocidos como fuente y receptor ocurriendo en muchos procesos como condensación, vaporización y demás reacciones químicas, esta transferencia de calor es muy importante en estos procesos ya que la energía se encuentra en estado transitorio esto ocurre por la variación de temperaturas. La ley de enfriamiento de Newton se enfoca en la diferencia de temperaturas que ocurre entre cualquier cuerpo y el medio ambiente, esta diferencia de temperaturas no debe de ser muy grande, el calor se transfiere hacia el por conducción, convección y radiación en una unidad de tiempo (Ramírez Camarillo, s.f.). Se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{dQ}{dt} = a S(T - T_A) \quad (5)$$

Donde:

- $a$  es el coeficiente de intercambio de calor y  $S$  el área superficial del cuerpo en contacto con el medio ambiente “Cuando la temperatura del cuerpo es mayor que el medio ambiente, esto significa una pérdida de calor” (Rosas Morales, s.f.), esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q_f = m * c_p * (T_f - T_a) \quad (6)$$

Donde:

- $m$ : es la masa del cuerpo
- $C_p$ : calor específico de este cuerpo
- $T_f$ : temperatura de calentamiento final
- $T_a$ : temperatura inicial, combinado las ecuaciones anteriores se tiene:

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_A) \quad (7)$$

Siendo  $K$  la constante de proporcionalidad llamada parámetro de enfriamiento y  $T_A$  es la temperatura ambiente la cual es constante. Al resolver la ecuación anterior para un cuerpo que se está enfriando partiendo de una temperatura  $T_0$  y llega una temperatura  $T$  se obtiene la temperatura del cuerpo en función del tiempo (Rosas Morales, s.f.).

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_A) \quad \int_{T_0}^T \frac{dT}{T - T_A} = \int_0^k dt$$

$$T = T_A(T_0 - T_A) e^{-kt} \quad (8)$$

Es decir, cuando las diferencias de temperaturas entre un cuerpo y el medio no son muy grandes el calor transferido es proporcional a las diferencias de temperaturas. En cambio, si la temperatura del cuerpo es mucho mayor a la temperatura del medio ambiente, el cuerpo pierde calor en una determinada cantidad de tiempo esto hace que disminuya su temperatura (Panayotova, 1987 pp. 528-530).

## 2.10 Radiación

Es la transferencia de energía calórica que puede ocurrir con presencia de materia o con ausencia de esta siendo el vacío. La presencia de materia no es necesaria siendo este proceso de tipo de onda electromagnética térmica; la propagación se lleva a cabo en todas las direcciones y al actuar en un cuerpo este puede actuar reflejándola o absorbiéndola. Se conoce como radiación térmica a la que resulta del intercambio de temperaturas (Departamentos de Física, s.f.).

Características de la radiación térmica: Al igual que las ondas electromagnéticas, la radiación térmica posee una dispersión continua de energías de fotón, espectro de frecuencias y longitud de onda. La temperatura de un área determinada de un objeto, la reflectividad y emisividad del cuerpo emisor dependen de la longitud de onda de radiación (Siegel & Howell, 1992).

### 2.10.1 Intercambio de energía radiactiva

“Todos los cuerpos in excepción irradian energía en forma de fotones los cuales se mueven en una dirección aleatoria al igual que su fase y sus frecuencias, en el intercambio de energía radioactiva” (Siegel & Howell, 1992), se estudian los siguientes coeficientes:

- Absorbancia ( $\alpha$ ): Fracción de radiación que es absorbida de una longitud de onda
- Reflectancia ( $\rho$ ): Fracción de radiación que es reflejada a una longitud de onda
- Transmitancia(T): Fracción de radiación la cual es transmitida a una longitud de onda

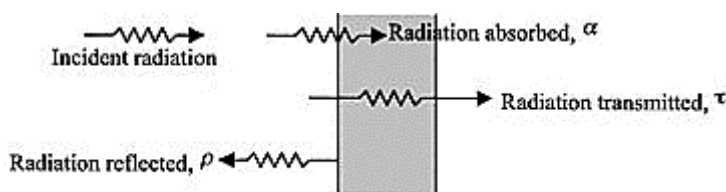
Los tres coeficientes con las consideraciones de energía y al sumar la unidad se obtiene:

$$a + \rho + T = 1 \quad (9)$$

“Esta ecuación da a entender cómo se comporta un cuerpo cuando está expuesto a radiación térmica, donde las principales características es la absorción, reflexión y transmisión, de esta manera quedan definidos los siguientes cuerpos emisores” (Siegel & Howell, 1992):

- Cuerpo opaco: El cual no transmite la radiación que le alcanza, pero refleja cierta radiación
- Cuerpo transparente: transmite toda la radiación que le alcanza
- Cuerpo negro: Absorbe toda la radiación electromagnética e incide en todas las longitudes de onda
- Cuerpo blanco: refleja todos los rayos incidentes en todas las direcciones

Haciendo uso de la ley de la radiación térmica de Kirchhoff, la cual manifiesta que la emisividad de un cuerpo emisor debe ser igual a la espectral, esto se cumple para cualquier longitud de onda siendo  $a = \epsilon$ , donde  $\epsilon$  es la emisividad, como se aprecia en la figura 5 los fotones irradiados desde una superficie pueden alcanzar a otro siendo absorbidos (Siegel & Howell, 1992).



**Figura 16-2.** Irradiación desde una superficie hacia a otra.

Fuente: (Siegel & Howell, 1992).

## 2.11 Materiales conductores de calor

Los materiales conductores de calor son aquellos que presentan una estructura en la que el calor pueda circular con mucha facilidad, se recuerda que todos los cuerpos están compuestos de

átomos y estos a su vez de moléculas encontradas siempre en movimiento, es en estas partículas donde el calor se desplaza con mayor facilidad. Existen materiales que conducen calor mucho mejor que otros, porque presenta una mejor configuración en su estructura atómica. Por ejemplo, la madera al tardar demasiado en calentarse pierde la oportunidad de ser un buen conductor, en cambio el hierro, el cobre y otros metales son excelentes conductores, por ejemplo: sartenes y ollas ya que se calientan muy rápido alcanzando excelentes temperaturas para la cocción de los alimentos, pero hay que tener en cuenta para la fabricación de los demás elementos como mangos se utilizan materiales aislantes de calor (Zapata, 2020).

### **2.11.1 Materiales aislantes de calor**

“Se define a un aislante térmico como al material capaz de minimizar la transferencia de calor en una adaptación o lugar donde sea colocada, estos aislantes térmicos pueden clasificarse de la siguiente manera de acuerdo al tipo de aislante térmico” (S&P, 2018):

Aislantes sintéticos. - se componen de materiales sintéticos como el plástico, los polímeros derivados del petróleo y demás materiales sintéticos. Los más usados son:

- Poliestireno expandido (EPS). Presenta una excelente densidad y baja conductividad térmica lo que lo hace uno de los más usados.
- Poliestireno extruido (XPS). Con características similares al anterior, pero este posee la ventaja de poderse mojar sin presentar ningún problema por ser muy absorbente.
- Poliuretano. Posee un mayor rendimiento térmico que los mencionados anteriormente
- Rollos reflexivos. Se forman de varias capas, poseen un grosor variable con burbujas de polietileno y varias láminas de aluminio.
- Lana de Vidrio (GW). Fabricado debido a la fundición de arena a elevadas temperaturas, presenta una estructura hecha con finas fibras de vidrio las cuales son unidas por un pegamento espacial, presenta una buena resistencia a la humedad, debido a su buena relación densidad con conductividad térmica la cual es muy baja (S&P, 2018).

## **2.12 Elementos de control de temperatura en los hornos**

Los controles de temperatura tienen como prioridad asegurar que los hornos operen con valores preestablecidos, estos elementos se encuentran compuestos de dos partes principales: la parte electrónica o cerebro, generalmente se usa un control PID y la parte mecánica (Pérez, 2020).

- Controlador de temperatura ON / OFF. -Un controlador ON/OFF es una de las formas más básicas para controlar las temperaturas, en la salida del regulador puede estar

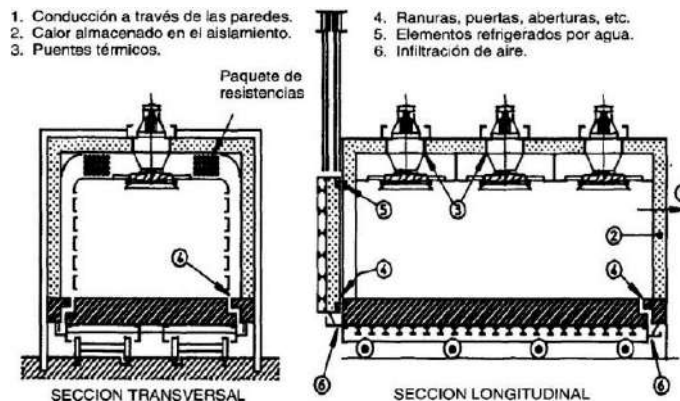
encendida o apagada no hay un estado medio. En estos controladores varían la salida una vez que la temperatura alcanza el punto de ajuste.

- Controlador de temperatura proporcional. – Este controlador elimina uno de los ciclos asociados al controlador ON/OFF, así de esta forma disminuye la potencia suministrada al calentador.
- Controlador de temperatura PID. – Esta clase de controlador brinda al usuario una combinación de lo que es un control proporcional con un integral y derivativo, así estos ajustes se expresan en unidades de tiempo, llamadas también RATE y RESET respectivamente (Omega, 2003).

### 2.12.1 Pérdidas de calor de los hornos eléctricos

Las pérdidas de calor en esta clase de hornos se clasifican de la siguiente manera:

Perdidas de calor en las paredes, perdidas de calor almacenado en el revestimiento del horno, perdidas de calor a través de puentes térmicos es decir cuando el aislante es de un material de gran conductividad térmica, pero este posee una sección muy pequeña, también están las pérdidas a través de aberturas o ranuras las cuales se encuentran presentes en puertas, zonas de separación, ejes, perdidas de calor de elementos refrigerados y pedidas producidas por la infiltración de aire (Documents Ecuador, 2015). En la figura 5-2 se aprecia un horno de carro de tratamientos térmicos, se indica de manera esquemática las diversas formas de calor existentes en este caso.



**Figura 17-2.** Las diversas pérdidas de calor producidas en un horno de carro de tratamientos térmicos.

Fuente: (Documents, 2015).

Perdidas de calor en las paredes. – En una pared plana el fenómeno de transferencia de calor se puede producir mediante: conducción, convección o radiación (Documents Ecuador, 2015).

$$q_h = \frac{T_{si} - T_{\infty}}{\sum R_t}, \quad q_v = \frac{T_{si} - T_{\infty}}{\sum R_t} \quad (10)$$

Donde:

- $q_h$ =perdidas de calor en las paredes horizontales
- $q_v$ = pérdidas de calor en las paredes verticales
- $\sum Rt$ : Resistencia térmica resultante

La ley de Stefan Boltzmann se expresa de la siguiente manera:

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma * A_p * (T_c^4 - T_f^4) \quad (11)$$

Donde:

- $\sigma$  Constante de Boltzmann =  $5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$
- $\varepsilon_s$ = Emisividad de la superficie
- $T_c$ =Temperatura en la superficie caliente
- $T_f$  = Temperatura en la superficie fría.
- $A_p$ : área de transferencia de calor hacia las planchas

Para el total se tiene la resistencia por convección y radiación:

$$R_{t\text{conduccion}} = \frac{1}{k_i * A_i}, R_{t\text{conveccion}} = \frac{1}{h_i * A_i}, R_{T\text{radiacion}} = \frac{1}{h_{ri} * A_i} \quad (12)$$

Y finalmente el coeficiente global de transferencia de calor se expresa:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{ci}} + \frac{L_A}{K_A} + \frac{L_B}{K_B} + \frac{1}{h_{co} + h_{ro}} \quad (\text{Ecuacion 13})$$

Donde

- $h_e$  = Coeficiente de convección en el interior  $\frac{W}{m^2 \cdot C}$
- $h_{co}$  = Coeficiente de convección en el exterior  $\frac{W}{m^2 \cdot C}$
- $K_A, K_B$ = Coeficientes de conductividades térmicas
- $L_A, L_B$ = espesores de los materiales
- $h_{ro}$ = Coeficiente de radiación

### 2.12.1.1 Numero de Rayleigh (Ra)

El número de Rayleigh se define como la relación de las fuerzas de flotabilidad, los productos de difusividades térmicas y de cantidad de movimiento (Yunus & Afshing, 2011).

$$Ra_L = \frac{g * \beta * (T_{se} - T_{\infty}) * L^3}{\alpha * \nu} \quad (14)$$

Donde:

- $g$ : Aceleración de la gravedad
- $\beta$ : Coeficiente de expansión
- $\alpha$ : Difusividad térmica del aire
- $\nu$ : Viscosidad cinemática del aire

### 2.12.1.2 Numero de Nusselt (Nu)

El número de *Nusselt* describe el mejoramiento en la transferencia de calor mediante una capa de fluido como resultado de la convección en relación a la conducción a través de la misma capa (Yunus & Afshing, 2011).

$$h = \frac{Nu_L * k}{L} \quad (15)$$

- $Nu_L = 0,54 * Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \quad (Ecuacion\ 15\ a)$
- $Nu_L = 0,15 * Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (Ecuacion\ 15\ b)$
- $Nu_L = 0,27 * Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (Ecuacion\ 15\ c)$
- $Nu_L = 0,68 + \frac{0,670 * Ra_L^{1/4}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{9/16}]^{4/9}} \quad (Ra_L \leq 10^9) \quad (Ecuacion\ 15\ d)$

$$Nu_v = 0,825 + \frac{0,387 * Ra^{1/6}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{9/16}]^{4/9}} \quad (Ecuacion\ 15\ e)$$

Donde:

- $Ra_L$  : número de Rayleigh.
- $Pr$ : número de Prandtl

Para aplicar la fórmula del número de *Nusselt* se debe tener en cuenta la geometría del cuerpo, ya que para cuerpos planos verticales se usará la ecuación 11.a y para cuerpos horizontales planos se usará la ecuación 11.b (Iguago & García, 2016).

### 2.13 Metodología del diseño

El diseño de la máquina para el proceso de termoformado está centrado en dos sistemas fundamentales que son el sistema para calentamiento el cual es el proceso de entrada de termoformado y el sistema de formado, también se han tomado ciertos aspectos importantes para el diseño tales como (Calle & Sánchez, 2016):

- Debe ser muy segura porque será manipulada por estudiantes
- Debe ser didáctica para así entender con facilidad el proceso de entrada de termoformado
- Debe ser fabricada de materiales que se encuentren en el país para la fácil adquisición de repuestos y de esta manera asegurar su excelente mantenimiento
- Su diseño debe ser económico y duradero (Calle & Sánchez, 2016)

### ***2.13.1 Criterios de diseño***

Se han establecido los siguientes criterios de diseños basados en los requerimientos de diseño.

- Seguridad: El equipo debe ser seguro para prevenir posibles accidentes.
- Didáctico: Para que los estudiantes lo utilicen con suma facilidad
- Costo: Los precios para la adquisición de los materiales para la construcción.
- Operabilidad: El equipo debe brindar muchas opciones que ayuden a su manejo.
- Mantenimiento: Poder realizar mantenimiento del equipo muy fácilmente (Calle & Sánchez, 2016).



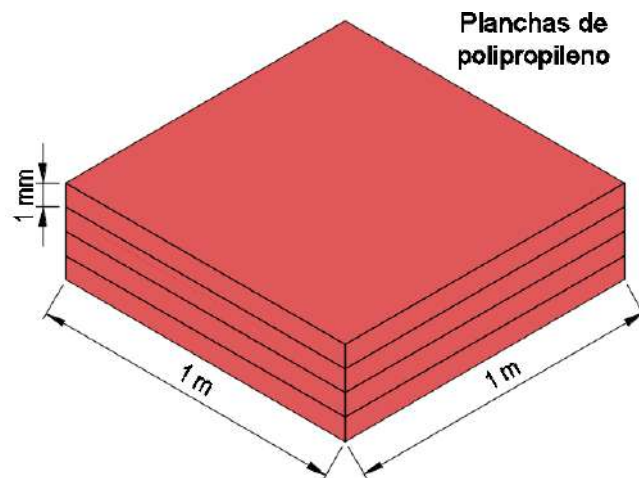
## CAPÍTULO III

### 3 MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Análisis térmico

##### 3.1.1 Calor de fusión del polipropileno

Para encontrar el calor necesario de fusión del polipropileno, se va a partir con las dimensiones deseadas del producto final, las cuales son: largo ( $l_p$ ) = 1m, ancho ( $a_p$ ) = 1m y espesor ( $e_p$ ) = 4mm, para lo cual se ocupará 4 planchas de 1m x 1m x 1mm de espesor apiladas una sobre otra, como se muestra en la Figura 1-3.



**Figura 1-3.** Distribución de las planchas de polipropileno en el horno.

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

El calor de fusión del polipropileno ( $Q_f$ ) se obtiene con la ecuación (1)

$$Q_f = m * c_p * (T_f - T_a) \quad (16)$$

Donde:

$m$ : masa total de las planchas de polipropileno

$c_p$  : calor específico del polipropileno = 1925 J/kg\*K (Yanus & Afshin, 2011: p. 887)

$T_f$  : temperatura de calentamiento final del polipropileno = 200°C = 473K (Elaplas p.1)

$T_a$ : temperatura inicial del ambiente = 18°C = 291K (INAMI, 2014)

La masa se obtiene a partir del volumen total de las planchas ( $V_p$ ) y de la densidad del polipropileno ( $\delta_p$ ):

$$\delta_p = 910 \text{ kg/m}^3 \text{ (Yanus \& Afshin, 2011: p. 887)}$$

$$m = V * \delta_p = l_p * a_p * e_p * \delta_p = 1\text{m} * 1\text{m} * 0,004\text{m} * 910 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 3,64\text{kg}$$

$$Q_f = 3,64\text{kg} * 1925 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} * (473 - 291)\text{K} = 1,275 \times 10^6\text{J}$$

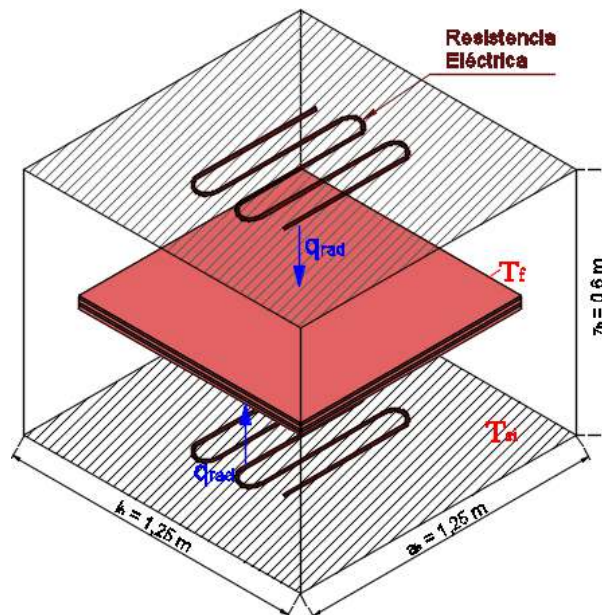
Para determinar la potencia de fusión ( $P_f$ ) se necesita del tiempo de calentamiento ( $t_c$ ), el cual vamos a considerar de 10 minutos (600 s).

$$P_f = \frac{Q_f}{t_c} \tag{17}$$

$$P_f = \frac{1,275 \times 10^6\text{J}}{600\text{s}} = 2125 \text{ W} = 2,84\text{hp}$$

### 3.1.2 Transferencia de calor en el horno

#### 3.1.2.1 Temperatura de pared interna



**Figura 2-3.** Transferencia de calor de la fuente a las planchas de polipropileno.

**Elaborado por:** Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

Para poder calcular la temperatura de la superficie interior del horno ( $T_{si}$ ), se va a considerar que la transferencia de calor de la fuente de generación (resistencias) se produce únicamente por radiación unidireccional dentro del mismo (figura 2-2), debido a que no existirá flujo de aire, lo cual generaría una transferencia de calor por convección despreciable. Dicha rapidez de transferencia de calor sería equivalente a la potencia de fusión ( $P_f$ ). Para el cálculo de su valor se utiliza la ecuación (18) de definición de la transferencia de calor por radiación ( $q_{rad}$ ):

$$q_{rad} = P_f = \varepsilon * \sigma * A_p * (T_{si}^4 - T_f^4) \quad (18)$$

Donde:

$\varepsilon$ : emisividad de la pared con pintura negra = 0,98 (Cengel, 2011: p. 890)

$\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann =  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  (Cengel, 2011: p. 28)

$A_p$ : área de transferencia de calor hacia las planchas =  $2 * l_p * a_p = 2 * 1 \text{ m} * 1 \text{ m} = 2 \text{ m}^2$

Al despejar  $T_{si}$  de la ecuación (18) se obtiene:

$$T_{si} = \sqrt[4]{T_f^4 + \frac{P_f}{\varepsilon * \sigma * A_p}} = \sqrt[4]{(473\text{K})^4 + \frac{2125 \text{ W}}{0,98 * 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 * \text{K}^4 * 2 \text{ m}^2}} = 512,8\text{K} = 239,8^\circ\text{C}$$

### 3.1.2.2 Coeficiente de convección exterior

Para calcular las pérdidas de calor del horno, hay que encontrar el valor medio del coeficiente de transferencia de calor por convección exterior ( $\bar{h}$ ), haciendo las siguientes consideraciones:

- Se producirá una convección libre, es decir que el flujo de aire no será forzado.
- La temperatura de la superficie exterior ( $T_{se}$ ) del horno podrá ser máximo de  $50^\circ\text{C}$  (323K) para evitar quemaduras en la piel de los usuarios.
- La temperatura del aire externo ( $T_\infty$ ) será la mínima posible, es decir de  $5^\circ\text{C}$  (278K) para obtener coeficientes máximos posibles y a su vez pérdidas máximas.
- Se calcularán 3 coeficientes de convección: uno para la superficie superior horizontal ( $h_{sh}$ ), uno para la superficie inferior horizontal ( $h_{ih}$ ) y uno para las superficies laterales ( $h_{lv}$ ), con los cuales se calculará un coeficiente medio para poder trabajar un solo valor en los cálculos posteriores.
- Se establece que las dimensiones interiores del horno serán de largo ( $lh$ ) = 1,25 m, ancho ( $a_h$ ) = 1,25 m, y altura ( $zh$ ) = 0,60 m.

Con la ecuación (3) se obtienen los coeficientes de convección (h):

$$h = \frac{Nu_L * k}{L} \quad (19)$$

Donde:

$Nu_L$  : número de Nusselt.

$k_a$  : conductividad térmica del aire a temperatura media de convección.

$$k_a (T_m = \frac{T_{se} + T_{\infty}}{2} = \frac{323 + 278}{2} = 300,5K) = 0,0263 \text{ W/m}^*K \text{ (Incropera, 1999: p. 839)}$$

$$L = \frac{A_s}{P} = \frac{l_h * a_h}{2 * (l_h + a_h)} \quad (20)$$

Donde

L: espesor de pared

As: Área superficial perpendicular a la transferencia de calor

P: perímetro del área superficial

Con una de las ecuaciones (21a), (21b), (21c), (21d) o (21e) se obtiene el número de *Nusselt*:

$$Nu_L = 0,54 * Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \quad (21a)$$

$$Nu_L = 0,15 * Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (21b)$$

$$Nu_L = 0,27 * Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (21c)$$

$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,670 * Ra_L^{1/4}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{9/16}]^{4/9}} \quad (Ra_L \leq 10^9) \quad (21d)$$

$$Nu_L = [0,825 + \frac{0,387 * Ra_L^{1/6}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{9/16}]^{4/27}}]^{1/2} \quad (21e)$$

Donde:

$Ra_L$  : número de Rayleigh.

$Pr$  : número de Prandtl del aire a  $T_m = 0,706$  (Incropera, 1999: p. 839).

Las ecuaciones (21a) y (21b) se utilizan para superficies horizontales superiores, la ecuación (21c) se emplea para superficies horizontales inferiores y las ecuaciones (21d) y (21e) se aplican cuando existen superficies verticales. El número de Rayleigh se calcula con la ecuación (21):

$$Ra_L = \frac{g * \beta * (T_{se} - T_{\infty}) * L^3}{\alpha_a * \nu_a} \quad (22)$$

Donde:

$g$  : aceleración de la gravedad = 9,8 m/s<sup>2</sup>.

$\beta$  : coeficiente de expansión =  $\frac{1}{T_m} = \frac{2}{300,5 \text{ K}} = 3,328 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

$a$  : difusividad térmica del aire a  $T_m = 2,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (Cengel, 2011: p. 839).

$\nu$  : viscosidad cinemática del aire a  $T_m = 1,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (Cengel, 2011: p. 839).

En los siguientes cálculos de las diferentes variables se emplearán los subíndices “sh” (superficie superior horizontal), “ih” (superficie inferior horizontal) y “v” (superficies verticales). Mediante la ecuación (20) se encuentra los siguientes valores:

$$L_{sh} = \frac{A_{s,sh}}{P_{sh}} = \frac{l_h * a_h}{2 * (l_h + a_h)} = \frac{1,25\text{m} * 1,25\text{m}}{2 * (1,25 + 1,25)\text{m}} = 0,3125 \text{ m}$$

$$L_{ih} = \frac{A_{s,ih}}{P_{ih}} = \frac{l_h * a_h}{2 * (l_h + a_h)} = \frac{1,25\text{m} * 1,25\text{m}}{2 * (1,25 + 1,25)\text{m}} = 0,3125 \text{ m}$$

$$L_v = \frac{A_{s,v}}{P_v} = \frac{l_h * z_h}{2 * (l_h + z_h)} = \frac{1,25\text{m} * 0,6\text{m}}{2 * (1,25 + 0,6)\text{m}} = 0,2027 \text{ m}$$

Y con la ecuación (22) se determina:

$$Ra_{L,sh} = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 * 3,328 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} * (323 - 278)\text{K} * (0,3125\text{m})^3}{2,25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2 * 1,59 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2} = 1,253 \times 10^8$$

$$Ra_{L,ih} = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 * 3,328 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} * (323 - 278)\text{K} * (0,3125\text{m})^3}{2,25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2 * 1,59 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2} = 1,253 \times 10^8$$

$$Ra_{L,v} = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 * 3,328 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} * (323 - 278)\text{K} * (0,2027\text{m})^3}{2,25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2 * 1,59 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2} = 3,42 \times 10^7$$

El número de *Nusselt* de la superficie superior horizontal se determina con la ecuación (21b), el de la superficie horizontal inferior se halla con la ecuación (21c), mientras que el de las superficies laterales se calcula con la ecuación (21d):

$$u_{L,sh} = 0,15 * (1,253 \times 10^8)^{1/3} = 75,060$$

$$Nu_{L,ih} = 0,27 * (1,253 \times 10^8)^{1/4} = 28,567$$

$$Nu_{L,v} = 0,68 + \frac{0,670 * (3,42 \times 10^7)^{1/4}}{[1 + (\frac{0,492}{0,706})^{9/16}]^{4/9}} = 39,98$$

Entonces los coeficientes de convección se calculan mediante la ecuación (19):

$$h_{sh} = \frac{75,060 * 0,0263 \text{ W/m} * \text{K}}{0,3125 \text{ m}} = 6,317 \text{ W/m}^2 * \text{K}$$

$$h_{ih} = \frac{28,567 * 0,0263 \text{ W/m} * \text{K}}{0,3125 \text{ m}} = 2,404 \text{ W/m}^2 * \text{K}$$

$$h_v = \frac{39,98 * 0,0263 \text{ W/m} * \text{K}}{0,2027 \text{ m}} = 5,187 \text{ W/m}^2 * \text{K}$$

Para simplificar los cálculos posteriores se va a unificar los coeficientes transferencia de calor por convección en las paredes horizontales ( $h_h$ ).

$$h_h = \frac{h_{sh} + h_{ih}}{2} = \frac{(6,317 + 2,404) \text{ W/m}^2 * \text{K}}{2} = 4,361 \text{ W/m}^2 * \text{K}$$

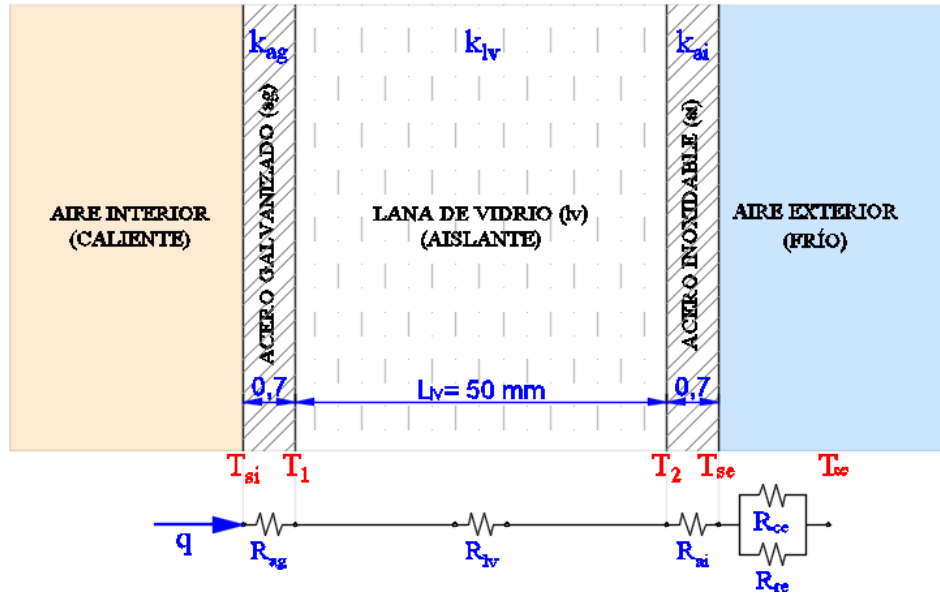
### 3.1.2.3 Pérdidas de calor del horno

Las pérdidas de calor se van a calcular de acuerdo a las direcciones horizontales y verticales, donde se utilizarán los subíndices “h” y “v” respectivamente para denotar las diferentes variables. Aplicando el balance de energía entre la superficie interior del horno y el aire ambiente exterior, se determina que la transferencia de calor o pérdidas de calor ( $qh$  y  $qv$ ) es constante entre cualquier dos de sus puntos, y haciendo analogía con un circuito eléctrico se tiene la figura (2-3), el cual se aplica para las paredes horizontales y verticales.

$$q_h = \frac{T_{si} - T_{\infty}}{\sum R_t}, \quad q_v = \frac{T_{si} - T_{\infty}}{\sum R_t} \quad (23)$$

Donde:

$\sum R_t$ : Resistencia térmica resultante, la cual hay que determinar de la misma forma que en los circuitos eléctricos, es decir: en los circuitos en serie se suman las resistencias, mientras que, en circuitos en paralelo, se suman los inversos de las resistencias:



**Figura 3-3.** Composición de la pared del horno y circuito térmico equivalente.

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$  circuitos en serie (transferencia por conducción)

$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$  circuitos en paralelo (transferencia de calor por convección y radiación)

Las resistencias para cada forma de transferencia de calor se definen de la siguiente manera:

$$R_{\text{conducción}} = \frac{L_i}{k_i * A_i}; \quad (24a)$$

$$R_{\text{convección}} = \frac{1}{h_i * A_i}; \quad (24b)$$

$$R_{\text{radiación}} = \frac{1}{h_{ri} * A_i} \quad (24c)$$

$L_i$ : espesor de la pared de conducción,  $L_{ag} = L_{ai} = 0,0007 \text{ m}$ ;

$L_{lv} = 0,05 \text{ m}$  (espesores de pared comunes).

$k_i$ : conductividad térmica de la pared,

$k_{ag} = 51,83 \text{ W/m} * \text{K}$  (acero simple a  $T_{si}$ ),

$k_{lv} = 0,038 \text{ W/m} * \text{K}$ ,

$k_{ai} = 14,9 \text{ W/m} * \text{K}$  (Yunus, & Afshin, 2011: pp. 199, 868, 869).

$A_i$  : área de la pared perpendicular a la dirección de la transferencia de calor,

$A_h = l_h * a_h = 1,25 \text{ m} * 1,25 \text{ m} = 1,563 \text{ m}^2$ ,

$A_v = l_h * z_h = 1,25 \text{ m} * 0,6 \text{ m} = 0,75 \text{ m}^2$ .

$h_i$ : coeficiente de transferencia de calor por convección, se utilizará los  $h_v$  y  $h_h$  calculados.

$h_{ri}$ : coeficiente de transferencia de calor por radiación.

$$h_r = \varepsilon_i * \sigma * (T_{se} + T_{\infty})(T_{se}^2 + T_{\infty}^2) \quad (25)$$

Donde:

$\varepsilon_i$ : emisividad de la pared externa = 0,22 (Incropera, et al.1999: p. 851)

$\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann.

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor por radiación se va a considerar inicialmente una temperatura máxima de pared exterior ( $T_{se}$ ) de 50°C, con este valor se podrá encontrar las pérdidas de calor. Mediante la ecuación (25) se determinó lo siguiente:

$$h_r = 0,22 * 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * ((323 + 278)K * (323^2 + 278^2)K^2) = 1,362 \frac{W}{m^2 * K}$$

Al aplicar las ecuaciones (23), (24a), (24b) y (24c) entre la superficie interior del horno y el aire ambiente exterior se tiene lo siguiente:

$$q_h = \frac{T_{si} - T_{\infty}}{R_{ac} + R_{lv} + R_{ai} + \left(\frac{1}{R_{conv}} + \frac{1}{R_{rad}}\right)^{-1}} = \frac{A_h * (T_{si} - T_{\infty})}{\frac{L_{ag}}{k_{ag}} + \frac{L_{lv}}{k_{lv}} + \frac{L_{ai}}{k_{ai}} + \frac{1}{h_h + h_r}}$$

$$q_v = \frac{T_{si} - T_{\infty}}{R_{ac} + R_{lv} + R_{ai} + \left(\frac{1}{R_{conv}} + \frac{1}{R_{rad}}\right)^{-1}} = \frac{A_v * (T_{si} - T_{\infty})}{\frac{L_{ag}}{k_{ag}} + \frac{L_{lv}}{k_{lv}} + \frac{L_{ai}}{k_{ai}} + \frac{1}{h_v + h_r}}$$

$$q_h = \frac{1,563m^2(512,8 - 278)K}{\frac{7 \times 10^{-4}m}{51,83 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0,05m}{0,038 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{7 \times 10^{-4}m}{14,9 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{4,362 \frac{W}{m^2 \cdot K} + 1,361 \frac{W}{m^2 \cdot K}}} = 246,2 W$$

$$q_v = \frac{0,75m^2(512,8 - 278)K}{\frac{7 \times 10^{-4}m}{51,83 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0,05m}{0,038 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{7 \times 10^{-4}m}{14,9 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{5,187 \frac{W}{m^2 \cdot K} + 1,362 \frac{W}{m^2 \cdot K}}} = 119,9 W$$

#### 3.1.2.4 Temperaturas de las superficies

Con el valor de las pérdidas de calor  $q_h$  y  $q_v$ , se procede a calcular las temperaturas  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_{se}$  verticales y horizontales (ver Figura 3-2), aplicando el principio del valor constante de transferencia de calor:



$$q_h = \frac{T_{si} - T_{1h}}{R_{ag}} = \frac{T_{1h} - T_{2h}}{R_{lv}} = \frac{T_{2h} - T_{se h}}{R_{ai}} = \frac{T_{se h} - T_{\infty h}}{\left(\frac{1}{R_{conv h}} + \frac{1}{R_{rad h}}\right)^{-1}} \quad (26a)$$

$$q_v = \frac{T_{si} - T_{1v}}{R_{ag}} = \frac{T_{1v} - T_{2v}}{R_{lv}} = \frac{T_{2v} - T_{se v}}{R_{ai}} = \frac{T_{se v} - T_{\infty v}}{\left(\frac{1}{R_{conv v}} + \frac{1}{R_{rad v}}\right)^{-1}} \quad (26b)$$

Al despejar las temperaturas de las ecuaciones (26a) y (26b):

$$T_{1h} = T_{si} - q_h * R_{ag} = T_{si} - \frac{q_h * L_{ag}}{k_{ag} * A_h} = 512,8K - \frac{246,2 W * 7 \times 10^{-4} m}{51,83 \frac{W}{m \cdot K} * 1,563 m^2} = \mathbf{512,8 K}$$

$$T_{1v} = T_{si} - q_v * R_{ag} = T_{si} - \frac{q_v * L_{ag}}{k_{ag} * A_v} = 512,8K - \frac{119,9 W * 7 \times 10^{-4} m}{51,83 \frac{W}{m \cdot K} * 0,75 m^2} = \mathbf{512,8 K}$$

$$T_{2h} = T_{1h} - q_h * R_{lv} = T_{1h} - \frac{q_h * L_{lv}}{k_{lv} * A_h} = 512,8K - \frac{246,2 W * 0,05 m}{0,038 \frac{W}{m \cdot K} * 1,563 m^2} = \mathbf{305,5 K}$$

$$T_{2v} = T_{1v} - q_v * R_{lv} = T_{1v} - \frac{q_v * L_{lv}}{k_{lv} * A_v} = 512,8K - \frac{119,9 W * 0,05 m}{0,038 \frac{W}{m \cdot K} * 0,75 m^2} = \mathbf{302,5 K}$$

$$T_{se h} = T_{2h} - q_h * R_{ai} = T_{2h} - \frac{q_h * L_{ai}}{k_{lv} * A_h} = 306,20K - \frac{245,4 W * 7 \times 10^{-4} m}{14,9 \frac{W}{m \cdot K} * 1,563 m^2} = \mathbf{305,5 K}$$

$$= \mathbf{32,5^\circ C}$$

$$T_{se v} = T_{2v} - q_v * R_{ai} = T_{2v} - \frac{q_v * L_{ai}}{k_{lv} * A_v} = 303,14K - \frac{119,5 W * 7 \times 10^{-4} m}{14,9 \frac{W}{m \cdot K} * 0,75 m^2} = \mathbf{302,5 K}$$

$$= \mathbf{29,5^\circ C}$$

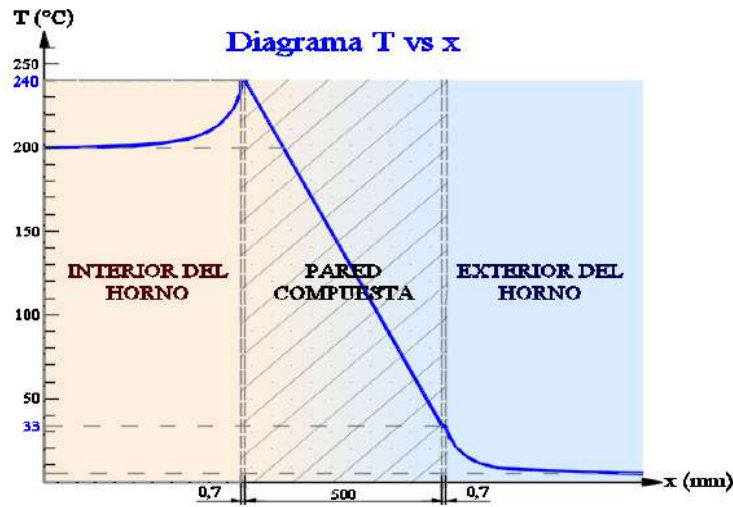
Se puede ver que las temperaturas  $T_{se h}$  y  $T_{se v}$  son menores que la Temperatura impuesta  $T_{se}$ , por lo tanto, los espesores de los materiales están dentro del rango recomendado para un buen funcionamiento del horno. Ahora al reemplazar los valores reales de  $T_{se h}$  y  $T_{se v}$ , se obtiene un coeficiente de radiación medio y las pérdidas de calor  $q_h$  y  $q_v$  con el mismo procedimiento aplicado anteriormente:

$$\bar{h}_r = 0,22 * 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} * ((304,5 + 278)K * (323^2 + 278^2)K^2) = \mathbf{1,235 W / m^2 \cdot K}$$

$$q_h = \mathbf{245,5 W}$$

$$q_v = 119,7 \text{ W}$$

Debido a que prácticamente no varía las pérdidas de calor al actualizar la temperatura de la pared exterior del horno ( $T_{se}$ ), las temperaturas determinadas se mantendrán. Además, se aprecia que en las paredes verticales y horizontales las temperaturas se asemejan. La Figura 4-3 muestra la forma en que varía la temperatura dentro y fuera del horno con la transferencia de calor.



**Figura 4-3.** Distribución de las temperaturas en el horno.

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.1.3 Potencia de generación requerida

La potencia de generación necesaria (potencia de resistencias de calentamiento) para el funcionamiento correcto del horno se obtiene con la ecuación (27):

$$P_{\Omega} = P_f + 2 * q_h + 4 * q_v \quad (27)$$

$$P_{\Omega} = 2125 \text{ W} + 2 * 246,2 \text{ W} + 4 * 119,9 \text{ W} = 3097 \text{ W} = 4,15 \text{ hp}$$

Si se utiliza 220 V de tensión eléctrica (V), mediante la ley de ohm se puede encontrar valores de corriente (I) y resistencia eléctrica (R) necesarios:

$$I = \frac{P_r}{V} = \frac{3097 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 14,08 \text{ A}$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220 \text{ V}}{14,08 \text{ A}} = 15,63 \Omega$$

### 3.1.3.1 Eficiencia térmica del horno

La eficiencia térmica del horno ( $\eta$ ) se calcula al relacionar el calor de generación útil ( $P_f$ ) y el calor total de generación ( $P_\Omega$ ):

$$\eta = \frac{P_f}{P_\Omega} = \frac{2125W}{3097W} = 68,6\%$$

### 3.1.4 Validación del análisis térmico

La validación de los datos térmicos encontrados mediante los cálculos previos se efectúa con el uso del software SolidWorks.

El estudio en dicho programa se lleva a cabo con la siguiente tabla:

**Tabla 1-3:** Propiedades del estudio térmico

<b>Nombre de estudio</b>	Térmico 3
<b>Tipo de análisis</b>	Térmico (Estado estable)
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Tipo de solución</b>	Estado estable
<b>¿Se definió la resistencia de contacto?</b>	No
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (D:\Disco Duro\Proyectos\Horno\Análisis)

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

SolidWorks utiliza el método de mallado por elementos finitos para realizar los análisis. La información y configuración de la malla se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2-3:** Información de la malla utilizada para el estudio

<b>INFORMACIÓN DE LA MALLA</b>	
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	<b>Malla basada en curvatura</b>
<b>Puntos jacobianos</b>	Desactivar
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	0 mm
<b>Tamaño mínimo del elemento</b>	0 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

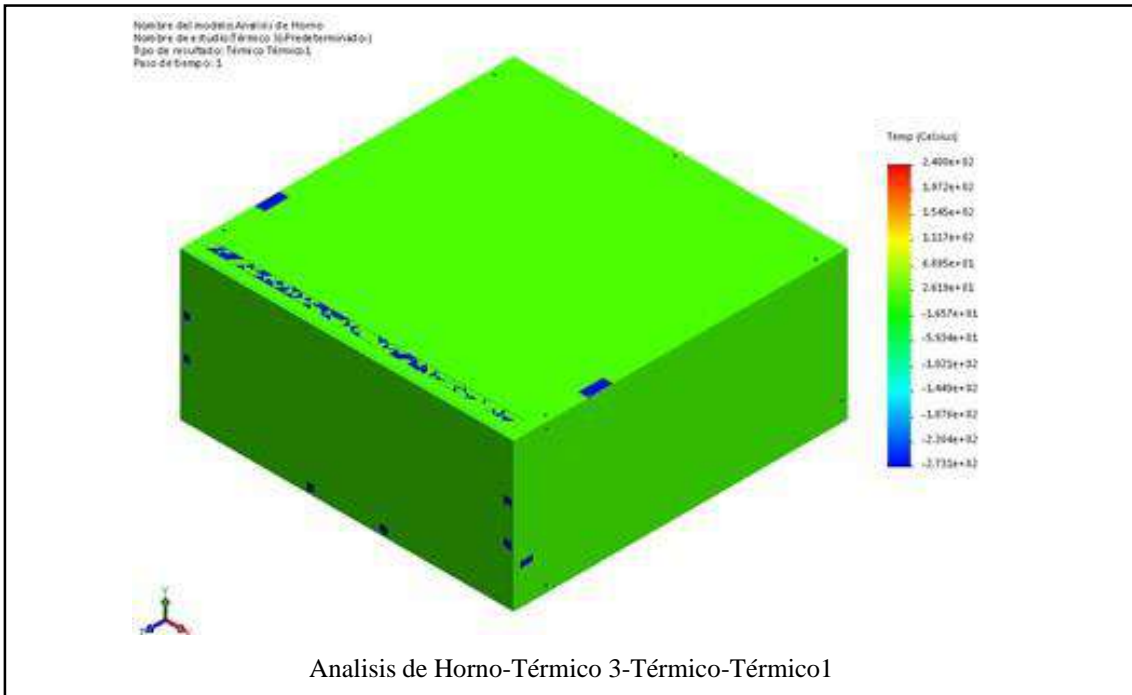
INFORMACIÓN DE LA MALLA	
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar
Número total de nodos	579262
Número total de elementos	288676
Cociente máximo de aspecto	1315.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	13.1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	72.9
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	100
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:14
Nombre de computadora:	USUARIO-PC
<p>Nombre del modelo: Apolis s de Horno  Nombre de estudio: Térmico 31 (Predefinido...)  Tipo de malla: Malla sólida</p> 	

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

Los resultados del estudio que realizó el programa se muestran en la tabla:

**Tabla 3-3:** Resultados del estudio térmico del horno. Superficie inferior.

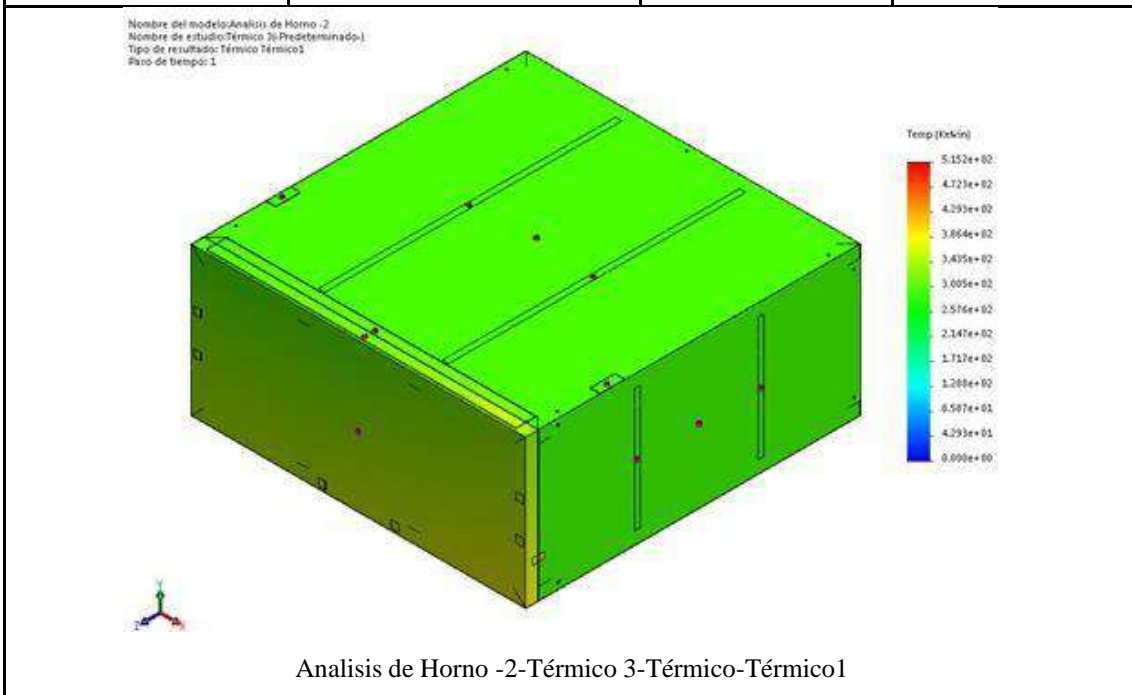
Nombre	Tipo	Frec.	Mín.	Máx.
Térmico1	TEMP: Temperatura	31 Celsius Nodo: 248988	- 2.731e+02Celsius Nodo: 1	2.400e+02 Celsius Nodo: 497976



Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

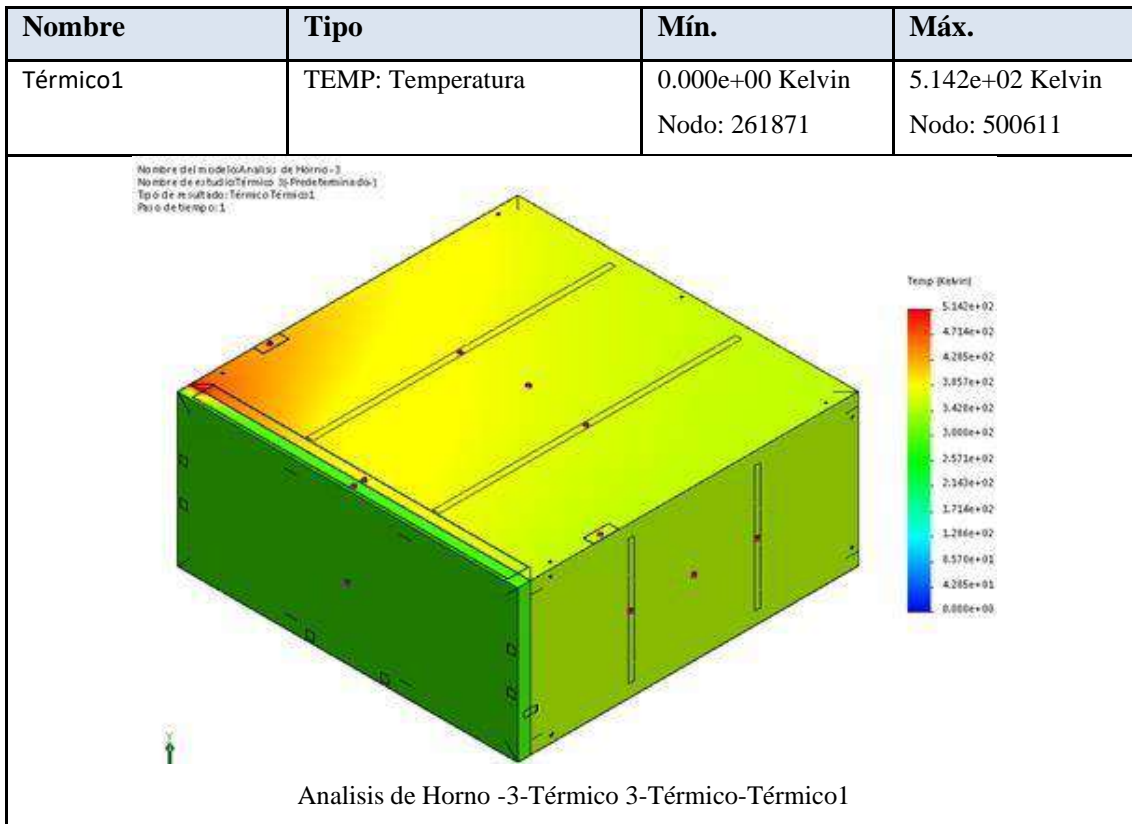
**Tabla 4-3:** Resultados del estudio térmico del horno. Superficie superior.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Térmico1	TEMP: Temperatura	0.000e+00 Kelvin Nodo: 486955	5.152e+02 Kelvin Nodo: 600122



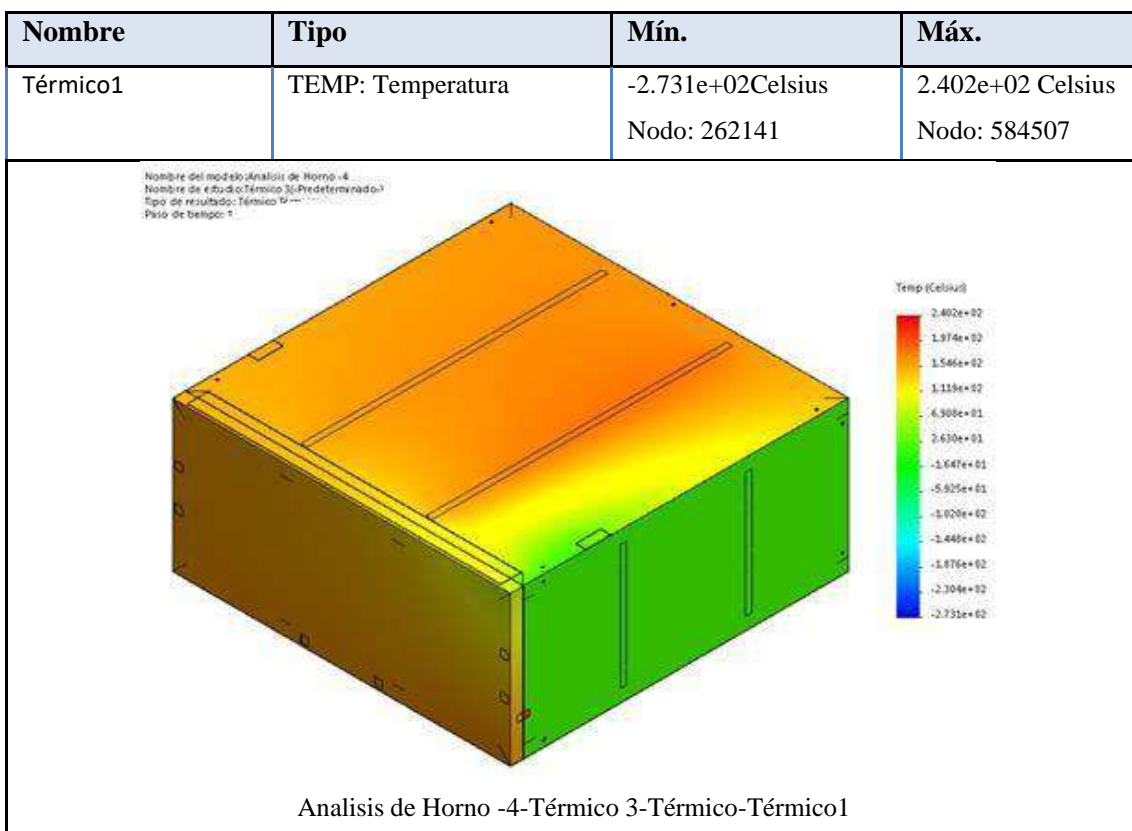
Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

**Tabla 6-3:** Resultados del estudio térmico del horno. Superficie izquierda.



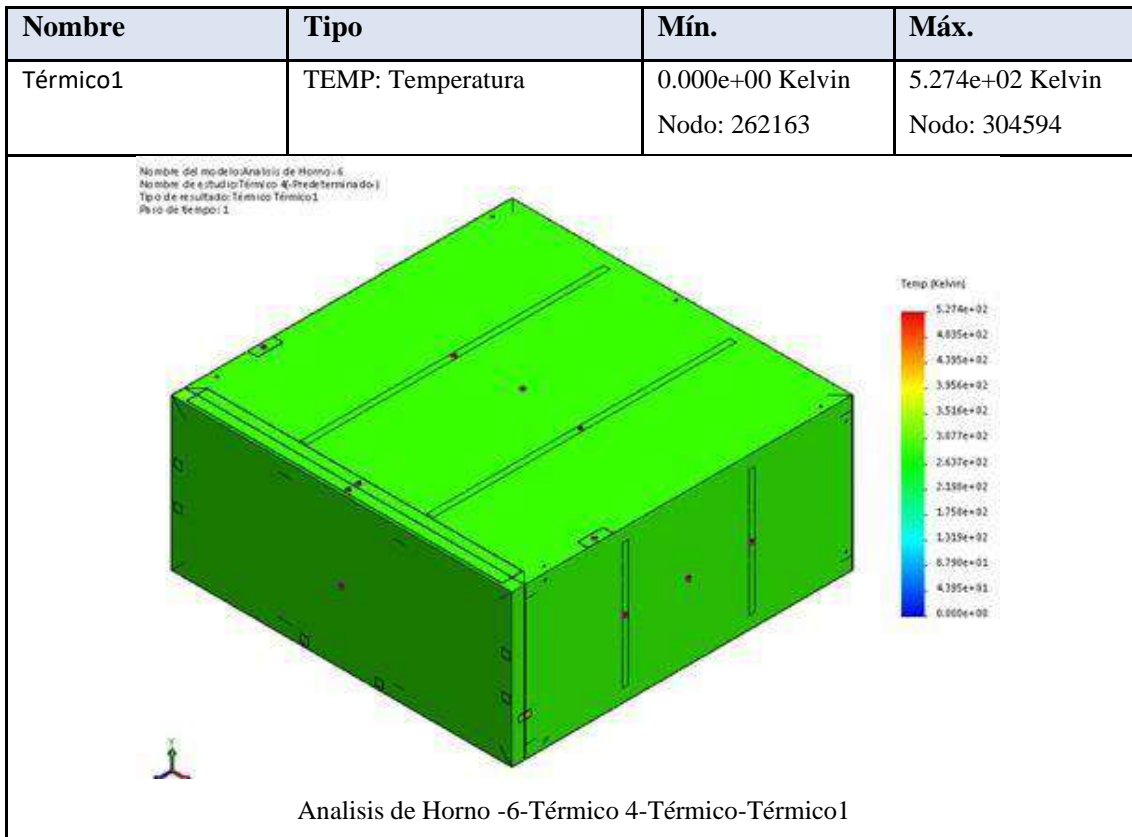
Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

**Tabla 7-3:** Resultados del estudio térmico del horno. Superficie derecha.



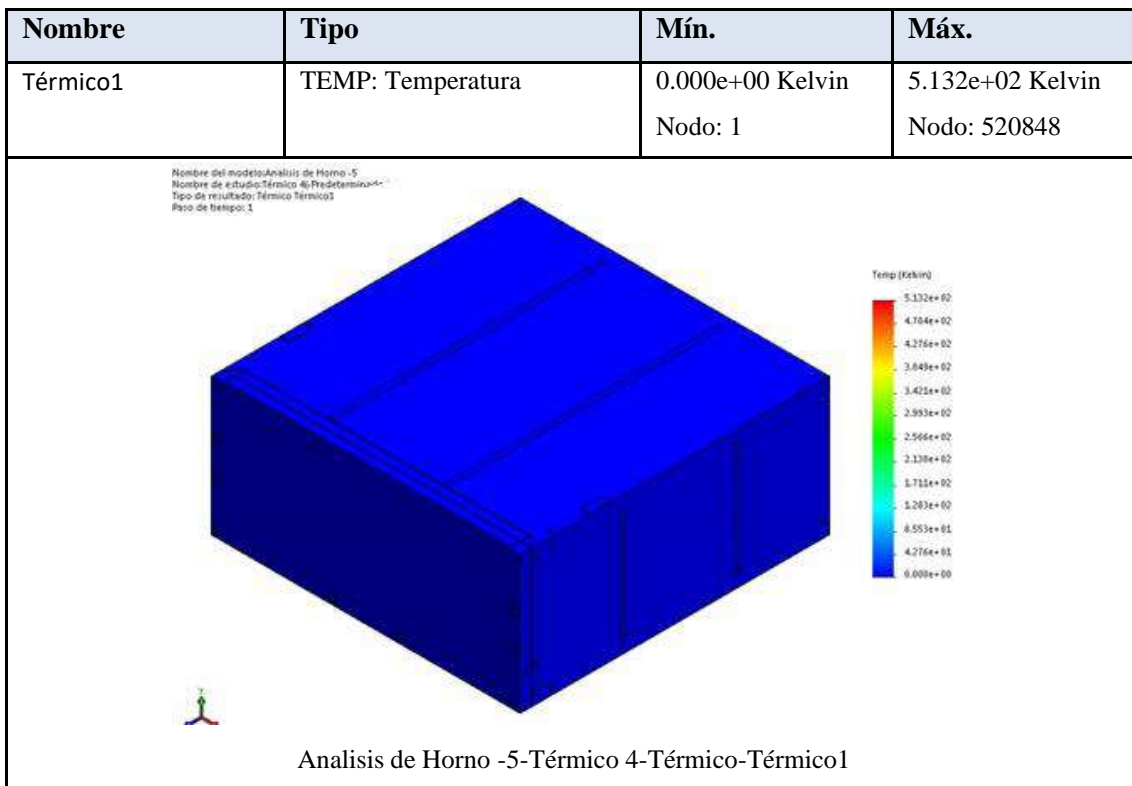
Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

**Tabla 8-3:** Resultados del estudio térmico del horno. Superficie frontal.



Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

**Tabla 9-3:** Resultados del estudio térmico del horno. Superficie posterior.



Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

De los gráficos mostrados se aprecia que las temperaturas de las superficies exteriores del horno se encuentran en el rango de 25 y 35 °C, lo cual coincide con los valores calculados previamente, por lo tanto, el diseño es válido.

## **3.2 Diagrama eléctrico del horno**

### **3.2.1 Circuito de control del horno**

El circuito de control o mando se utiliza para realizar las condiciones o restricciones de funcionamiento del circuito de fuerza. La ventaja de este circuito es que se utilizan bajos valores de tensión eléctrica, lo cual resulta seguro en el momento de la conexión y manipulación de sus elementos. Para el presente proyecto se emplean voltajes de hasta 12 voltios (V) de corriente continua (DC) en este circuito, voltaje que es suministrado por medio de una fuente DC y distribuido a través de la placa Arduino 1 hacia los demás elementos que componen el circuito de control.

El circuito de mando está constituido por los siguientes elementos:

- Pulsador de encendido, normalmente abierto (S1)
- Pulsador de apagado, normalmente cerrado (S2)
- Termocupla o termopar tipo K (Termo) con el módulo MAX 6675
- Placa de circuitos impresos Arduino 1
- Módulo de *relay* de 5V-110V (*Relay*)
- Bobina del contactor (K1)
- Luz piloto (Luz)
- Potenciómetro o perilla
- Módulo o pantalla LCD
- Placa protoboard
- Cables conductores AWG #20,

Donde:

El pulsador normalmente abierto al ser presionado permite el paso de corriente y a su vez el encendido del circuito. Mientras permanezca sin pulsar, el circuito se encontrará abierto.

El pulsador normalmente cerrado al ser presionado permite el corte de corriente y a su vez el apagado del circuito. Mientras permanezca sin pulsar, el circuito se encontrará cerrado.

La termocupla o termopar tipo K se encarga de la medición permanente de la temperatura del aire (ambiente) en el punto donde se la ubica. El módulo MAX 6675 se encarga de transmitir la señal de las mediciones de temperatura a la placa Arduino para su posterior análisis.



Se escoge la placa Arduino en lugar del controlador lógico programable (PLC) por las razones de costo, el cual bordea los \$30 en relación a \$120 del PLC. La placa de circuitos impresos Arduino 1 es la más utilizada de la variedad de placas Arduino existentes dentro del mercado. Se emplea para tomar decisiones (salidas) mediante ciertas condiciones (entradas) que se programan en el software Arduino 1.8.5 (que se describirá más adelante), para ejecutar una o varias acciones que controlen el funcionamiento del circuito. Dicha placa posee pines de entradas y salida. En los pines de entrada se conectan: los pulsadores y el termopar, mientras que en los pines de salida se conectan: el *relay*, la luz piloto y el módulo LCD.



**Figura 5-3.** Placa Arduino Uno.

**Elaborado por:** Moreno, A. y Córcoles, S.

El *relay* es una especie de interruptor que se activará únicamente cuando sea presionado el pulsador de encendido, el pulsador de apagado no sea accionado y la temperatura del interior del horno no exceda la máxima establecida ( $240^{\circ}\text{C}$ ). El *relay* es un medio de transporte de la señal en 5V DC a 110V AC (corriente alterna), valor de voltaje con el que se puede accionar la bobina del contactor, el cual se utiliza en el circuito de potencia. El módulo *relay* está compuesto por un *relay*, un transistor que es el encargado de convertir los 5 V de corriente directa en 110 V de corriente continua, un diodo y una resistencia.

La luz piloto se emplea para indicar el estado de encendido del horno, es decir permanecerá encendida cuando el horno esté funcionando y se encontrará apagada cuando el horno no esté funcionando.

El potenciómetro sirve para variar los valores de resistencia eléctrica en los circuitos electrónicos, posee de una perilla rotatoria. En este caso se emplea para regular la temperatura máxima de funcionamiento del horno.

El módulo o pantalla LCD se encargará de mostrar los datos de temperatura interna del horno en grados centígrados, la temperatura máxima permisible también en grados centígrados, además permitirá la visualización del estado del horno, ya sea de apagado o encendido mientras el breaker

esté en posición de “on”. La pantalla LCD se conectará a la placa Arduino con el complemento del adaptador I2C, el cual facilita la conexión.

El *protoboard* es una placa donde se realizan las conexiones de todos los elementos del circuito de control. Dichas conexiones se llevan a cabo mediante el uso de los cables conductores AWG # 20, los mismos que soportan bajas corrientes.

### 3.2.2 *Circuito de potencia*

El circuito de fuerza o potencia es el que realiza el trabajo en sí de un circuito eléctrico, en ocasiones no dispone de un circuito de control por separado, ya sea en instalaciones residenciales de 110 V o en instalaciones industriales simples o de baja potencia de 220 V. Para el horno del presente estudio, se utiliza para tomar la señal que permita su encendido.

El circuito de fuerza está constituido por los siguientes elementos:

- *Breaker* de 20 A (Break)
- Relé término entre 15 y 20 A (RT)
- Resistencias de calentamiento de 1500 W a 220 V (R1 y R2)
- Contactor de 110V-220V (K1)
- Cables conductores AWG #14

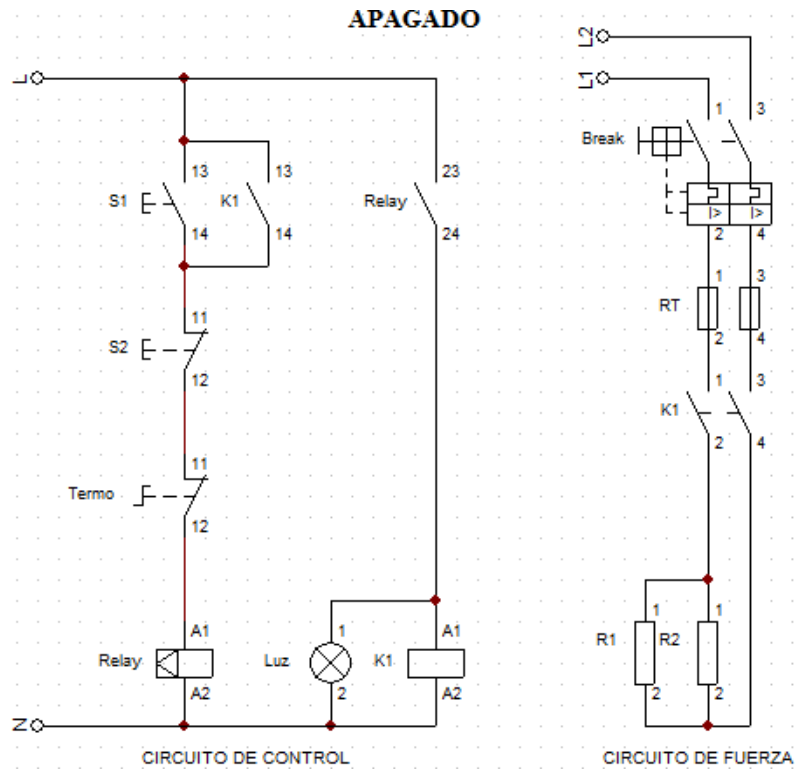
El breaker se utiliza para evitar sobre cargas en el circuito de potencia por posibles caídas de tensión o corto circuitos. La corriente de funcionamiento de las resistencias de calefacción es de 14,07 Amperios (A), sin embargo, se adquiere un breaker con corriente disponible en el mercado igual o superior de la necesaria, la cual es de 20 A.

El relé térmico brinda una protección extra para el circuito de potencia, actúa de forma similar al breaker, es decir cuando la corriente sobrepasa el límite regulado, se abre el circuito, impidiendo el paso de corriente. En este caso se calibrará su funcionamiento en el rango de 15 a 20 A.

Las resistencias de calentamiento, como ya se analizó anteriormente, son las encargadas de la generación del calor dentro del horno. Mientras haya paso de corriente en el circuito de potencia, las resistencias se encontrarán suministrando calor en su interior.

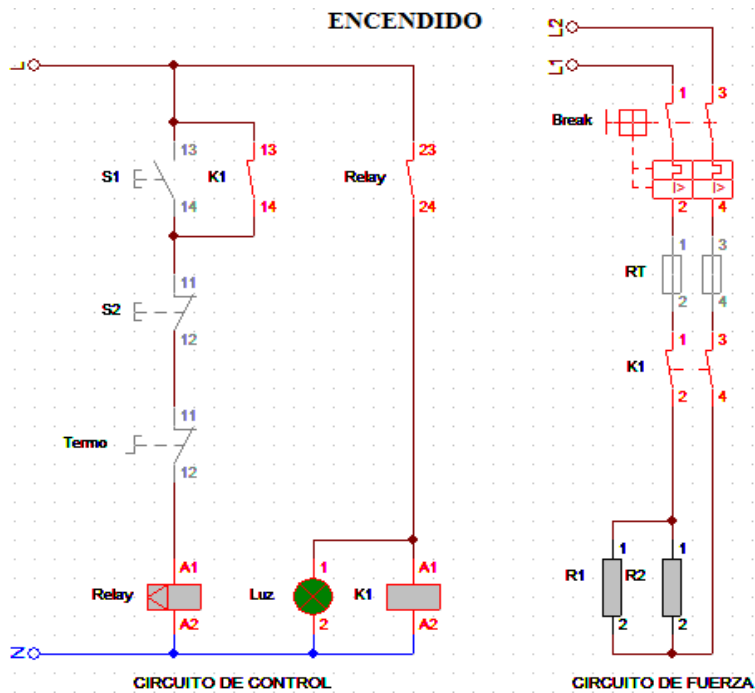
El contactor dentro del circuito de potencia cumple la misma función que el *relay* en el circuito de control, es decir se asemeja a un interruptor, el cual es accionado eléctricamente mediante una señal, que en este caso la suministra el *relay*. Dicha señal permite cerrar el circuito de fuerza y poner en marcha el encendido del horno.

Las conexiones mencionadas anteriormente se realizan a través de unos cables conductores que por seguridad soporten una corriente mayor al de la corriente máxima del breaker (20A), dicho esto se escoge el cable AWG # 14, cuya corriente máxima de operación es de 30 A.



**Figura 6-3.** Circuito de control y potencia del horno.

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.



**Figura 7-3.** Circuito de control y potencia del horno. (Continuación)

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

La puesta en marcha (encendido y apagado) de los circuitos de control y potencia para el horno se muestran en la figura 6-3. La explicación del funcionamiento y control del circuito eléctrico del horno es el siguiente:

El breaker se debe poner en posición “on”, a continuación, se debe accionar el pulsador de encendido, el cual energiza el *relay* y éste a su vez activa el contactor, que finalmente permite la conexión de las resistencias y el encendido del horno.

El apagado del horno se puede dar por las siguientes causas:

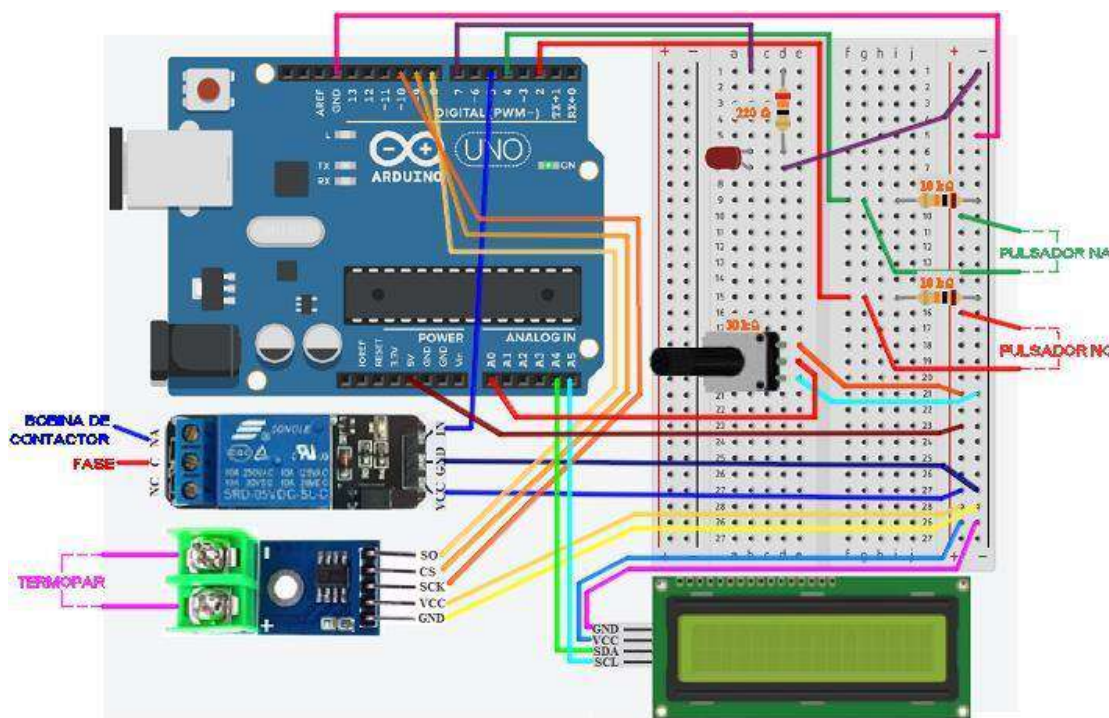
Accionamiento voluntario del pulsador de apagado.

Temperatura del interior del horno mayor que la temperatura máxima de funcionamiento regulada por el potenciómetro (por defecto será de 240 °C)

Corrientes elevadas (>20A) en el circuito de potencia a causa de caídas de tensión.

En resumen, para que el horno se encuentre prendido, en un inicio se debió pulsar el botón de encendido y el resto del tiempo la temperatura de su interior deberá ser máximo de 240 °C o del valor seleccionado con la perilla. La pantalla LCD permite visualizar permanentemente los valores de las temperaturas actual del horno ( $T_h$ ) y máxima permisible ( $T_m$ ), además muestra el estado del horno (Es).

En la figura 7.3 se puede observar la conexión del circuito de mando, donde intervienen todos los elementos descritos anteriormente.

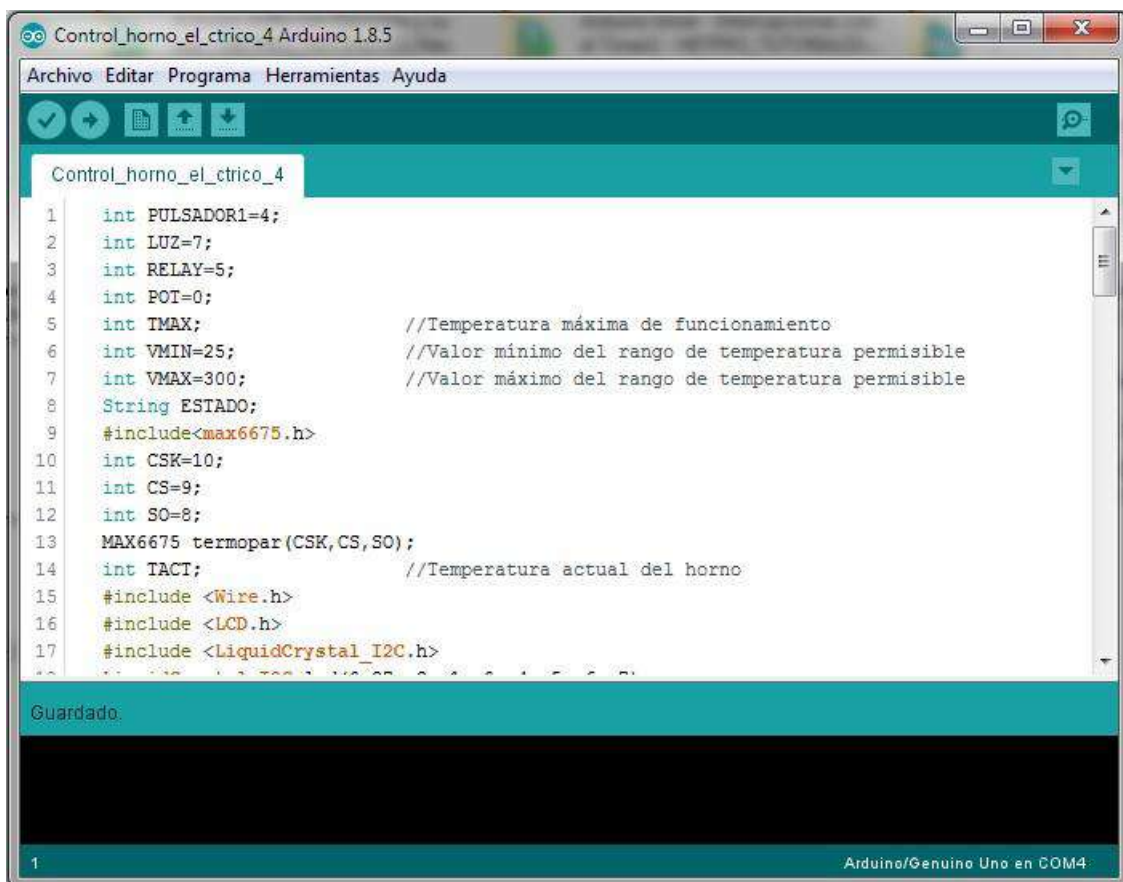


**Figura 8-3.** Esquema del circuito de control del horno.

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.2.3 Programación en el software Arduino 1.8.5

La programación que se realiza en el software Arduino, se escribe el código fuente en una hoja denominada Sketch. Las partes principales de la programación son: el espacio para definición de variables, el espacio para definir los valores de entrada de las variables (*void setup*) y el espacio para el condicionamiento repetitivo o ejecución del programa en sí (*void loop*), adicionalmente se pueden añadir variables independientes del *void setup* y *void loop*, por ejemplo, la variable llamada PULSADOR2 (Moreno, A. y Córcoles, S.).



**Figura 9-3.** Interfaz gráfica de la programación software Arduino 1.8.5.

**Elaborado por:** Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

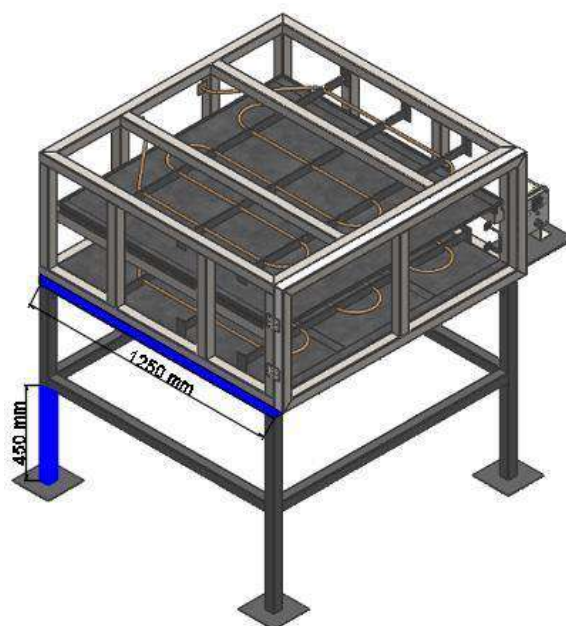
Una visualización del interfaz del software de programación se muestra en la figura 9-3. Con el empleo de dicho software se transfiere la codificación a través de un cable USB a la placa Arduino, permitiendo así su ejecución independiente mediante la conexión de la fuente externa de corriente continua, es decir no es necesario que el circuito se encuentre conectado al ordenador para su funcionamiento.

### 3.3 Diseño de la estructura del horno

A continuación, se procederá a verificar si las dimensiones de los perfiles estructurales son suficientes para la construcción del horno.

En base a los cálculos de transferencia de calor se determinó las dimensiones para los perfiles de la estructura de la cámara del horno, los cuales serán de 50x50mm, faltando por determinar el espesor mínimo necesario. Por fines prácticos de construcción se intentará utilizar un solo tipo de perfil para la estructura tanto del horno como de la mesa base. En la figura 5-3 se muestra un esquema usual para la estructura, donde se aprecia que los elementos pintados de azul, son los que soportarán la mayor cantidad de carga, por lo tanto, el diseño se realizará para la viga y columna críticos y en base a los resultados se definirá el perfil para los demás componentes de la estructura.

Antes de empezar con el diseño de la viga (subíndice v) y columna (subíndice c) críticos se calculará las cargas máximas a soportar por dichos elementos, para lo cual se considerará que el espesor del tubo cuadrado es de 3mm como máximo.



**Figura 10-3.** Esquema del horno y elementos críticos para el cálculo estructural.

**Elaborado por:** Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

El peso total ( $Wt$ ) se determina, mediante la suma de los pesos: de la estructura ( $We$ ) ( $\delta=7870$  kg/m<sup>3</sup>), de las planchas de acero ( $Wpa$ ) ( $\delta=7870$  kg/m<sup>3</sup>), de la bandeja ( $W_b$ ), de las planchas de polipropileno ( $Wpp$ ) ( $m=3,64$ kg), de una persona ( $Wper$ ) que podría subirse por error (75 kg) y los demás materiales que se ubicarán sobre la mesa base ( $W_{varios}\approx 30$  kg). Algunos pesos se calculan con la fórmula de definición de densidad ( $m=\delta*V$ ). Cada miembro soportará la cuarta parte del peso total, ya que existen 4 vigas y 4 columnas principales.

$$W_{ev} = 7870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * [(0,05\text{m})^2 - (0,044\text{m})^2] * (8 * 1,35\text{m} + 4 * 0,7\text{m}) * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 647,5\text{N}$$

$$W_{ec} = 7870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * [(0,05\text{m})^2 - (0,044\text{m})^2] * (12 * 1,35\text{m} + 4 * 0,7\text{m} + 4 * 0,45\text{m}) * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$= 961\text{N}$$

$$W_{pa} = 7870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * [2 * (1,35\text{m})^2 + 4 * 1,35\text{m} * 0,7\text{m} + 2 * (1,25\text{m})^2 + 4 * 1,25\text{m} * 0,6\text{m}] * 7 \times 10^{-4}\text{m} = 74,65\text{N}$$

Las cargas totales para la viga y columna críticos son:

$$W_{tv} = \frac{W_{ev} + W_{pa} + W_{pp} + W_{per} + W_{varios}}{4} \quad (28a)$$

$$W_{tv} = \frac{647,5\text{N} + 74,65\text{N} + 3,64\text{kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 75\text{kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 30 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{4} = 447\text{N}$$

$$W_{tc} = \frac{W_{ec} + W_{pa} + W_{pp} + W_{per} + W_{varios}}{4} \quad (28b)$$

$$W_{tc} = \frac{961\text{N} + 74,65\text{N} + 3,64\text{kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 75\text{kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 30 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{4} = 525,3\text{N}$$

### 3.3.1 Diseño de la viga

Se realizará el diseño por resistencia estática únicamente debido a que no existen cargas de fatiga.

La carga total  $W_{tv}$  actúa de una manera distribuida ( $w_{tv}$ ) a lo largo de su longitud (1,35m):

$$w_{tv} = \frac{W_{tv}}{1,35\text{m}} = \frac{447\text{N}}{1,35\text{m}} = 331,1 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Mediante los diagramas de la figura 6-2 se determina que el momento de flexión máximo para a viga ( $M_{\text{máx}}$ ) es de 75,43 N\*m.

A continuación, se va a encontrar el esfuerzo normal ( $\sigma_x$ ) al que está sometida la viga, para lo cual se escogerá un espesor de 1,5 mm del perfil.

$$\sigma_x = \frac{M_{\text{máx}}}{c} \quad (29)$$

Donde:

c: módulo de sección del material = 4,42 cm<sup>3</sup> = 4,42x10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup> (tabla 4-3)

$M_{\text{máx}}$  = el momento de flexión máximo para a viga

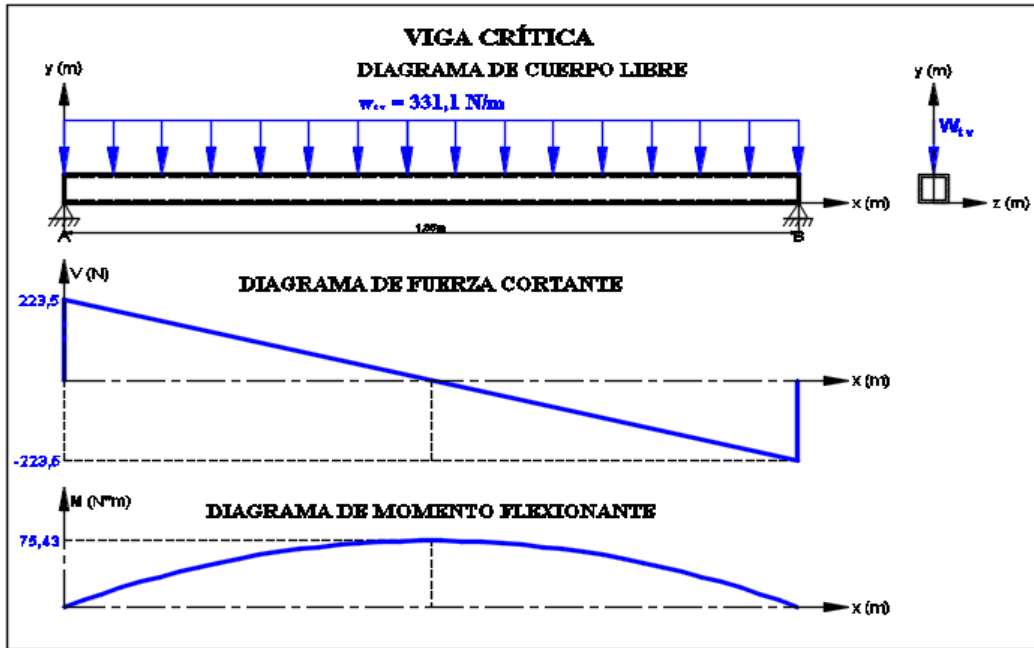


Figura 11-3. Diagramas de fuerzas y esfuerzos en la viga crítica.

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

Tabla 4-3. Especificaciones generales del tubo de la viga crítica.

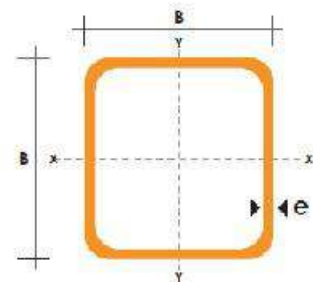
## TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

### Especificaciones Generales

Norma	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6 mts.
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20mm a 100mm
Espesor	Desde 2.0mm a 3.0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91



Fuente: (DIPAC, 2020 p.31)

Se determina mediante la ecuación (29) el esfuerzo normal:

$$\sigma_v = \frac{75,43 \text{ N} \cdot \text{m}}{4,42 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 17,06 \text{ MPa}$$

El límite de fluencia ( $S_y$ ) del Acero ASTM A500 es de 228 MPa (Tubac S.A).



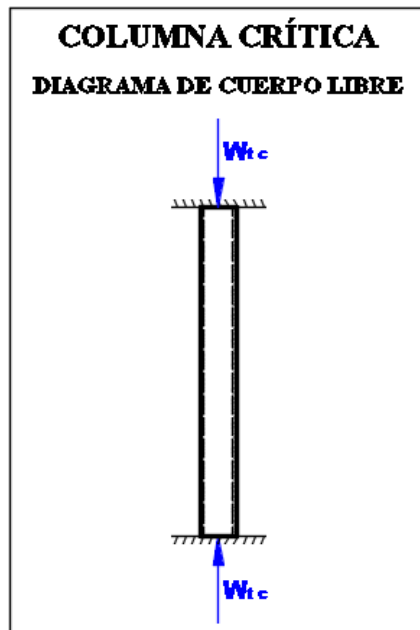
Con el límite de fluencia y el esfuerzo máximo, se puede calcular el factor de seguridad para la viga  $n_v$ , según la teoría de falla de la energía de distorsión o de Von Mises para materiales dúctiles:

$$n_v = \frac{S_y}{\sigma_v} = \frac{228 \text{ MPa}}{17,06 \text{ MPa}} = 13,36$$

El factor de seguridad tiene un valor alto, sin embargo, no existe un ancho de pared menor para el perfil seleccionado en el cálculo térmico, por lo que es recomendable utilizar el perfil 50x50x1,5 mm.

### 3.3.2 Diseño de la columna

Se realizará el diseño por resistencia estática y posteriormente el diseño como columna de la columna crítica.



**Figura 12-3.** Diagramas de cuerpo libre en la columna crítica.

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

Para encontrar el esfuerzo normal ( $\sigma_c$ ) se emplea la ecuación (30):

$$\sigma_c = \frac{W_{tc}}{A_{te}} \quad (30)$$

Donde:

$A_{te}$ : Área transversal de la estructura.

$$\sigma_c = \frac{525,3N}{(0,05m)^2 - (0,047m)^2} = 1,805 \text{ MPa}$$

El esfuerzo permisible  $S_p$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$S_p = 0,85 * S_y = 0,85 * 228 \text{ MPa} = 193,8 \text{ MPa}$$

Por último, se encuentra el factor de seguridad:

$$n_c = \frac{S_p}{\sigma_c} = \frac{193,8 \text{ MPa}}{1,805 \text{ MPa}} = 107,4$$

El factor de seguridad de este diseño es demasiado alto por lo que se podría considerar la reducción de la sección luego del resto de análisis.

A continuación, se realizará el diseño como columna para ver si existe pandeo en este elemento. Este método consiste en hallar la carga crítica ( $P_{cr}$ ) que puede soportar la columna sin que exista desplazamiento horizontal y compararlo con la carga real ( $W_{tc}$ ), para aquello es necesario aplicar las siguientes ecuaciones:

$$r_G = \sqrt{\frac{I}{A_t}} \quad (31)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}} \quad (32)$$

$$\text{Si } \frac{k_{le} * l_c}{r_G} \geq C_c \Rightarrow \frac{P_{cr}}{A_t} = \frac{\pi^2 * E}{1,92 * \left(\frac{k * l_y}{r_G}\right)^2} \quad \text{Ecuación de Euler} \quad (33)$$

$$\text{Si } \frac{k_{le} * l_c}{r_G} < C_c \Rightarrow \frac{P_{cr}}{A_t} = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{k_{le} * l_c}{r_G}\right)^2}{C_c^2}\right] * S_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 * \left(\frac{k_{le} * l_c}{r_G}\right)}{8 * C_c} + \frac{\left(\frac{k_{le} * l_c}{r_G}\right)}{8 * C_c^3}} \quad \text{Ecuación Parabólica} \quad (34)$$

Donde:

$r_G$ : Radio de giro o radio de inercia.

$I$ : Momento de inercia de área =  $11,06 \times 10^{-8} \text{ m}^4$  (tabla 3-1).

$A_t$ : Área de la sección transversal del perfil estructural =  $2,85 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  (tabla 3-1).

$E$ : Módulo de elasticidad del material =  $207 \text{ GPa}$  (Shigley, 2008: p.987).





$S_y$ : Límite de fluencia del material =  $228 \text{ MPa}$  (Tubac S.A).

$l_c$ : Longitud de la columna =  $0,45 \text{ m}$ .

$C_c$ : Relación de esbeltez crítica que separa el pandeo elástico del inelástico.

$k_{le}$ : Factor de longitud efectiva =  $0,65$ . (tabla 3-2).

**Tabla 5-3.** Longitudes efectivas de columnas.

LONGITUDES EFECTIVAS DE COLUMNAS						
Las líneas interrumpidas muestran la forma pandeada de la columna	a)	b)	c)	d)	e)	f)
Valor $K$ teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son parecidas a las ideales	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo	 Rotación y traslación impedidos  Rotación libre y traslación impedida  Rotación impedida y traslación libre  Rotación y traslación libres					

Fuente: (McCormac, 2002 p.141)

Mediante las ecuaciones (31) y (32) se determina radio de giro y relación de esbeltez crítica.

$$r_G = \sqrt{\frac{11,06 \times 10^{-8} \text{m}^4}{2,85 \times 10^{-4} \text{m}^2}} = 0,0197 \text{m}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 207 \times 10^9 \text{Pa}}{228 \times 10^6 \text{Pa}}} = 133,86$$

$$\frac{k_{je} * l_c}{r_G} = \frac{0,65 * 0,45 \text{m}}{0,0197 \text{m}} = 14,85 \quad \text{Relación de esbeltez}$$

Como la relación de esbeltez es menor que la relación de esbeltez crítica, se aplica la ecuación (34) para obtener la carga crítica.

$$\frac{P_{cr}}{A_t} = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{k_{je} * l_c}{r_G}\right)^2}{C_c^2}\right] * S_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 * \left(\frac{k_{je} * l_c}{r_G}\right)}{8 * C_c} + \frac{\left(\frac{k_{je} * l_c}{r_G}\right)^3}{8 * C_c^3}}$$

$$P_{cr} = 2,85 \times 10^{-4} \text{m}^2 * \frac{\left[1 - \frac{14,85^2}{133,86^2}\right] * 228 \times 10^6 \text{Pa}}{\frac{5}{3} + \frac{3 * 14,85}{8 * 133,86} + \frac{14,85^3}{8 * 133,86^3}} = 37\,570 \text{ N} \gg 525,3 \text{ N}$$

Como  $P_{cr} \gg W_{tc}$ , tampoco existirá pandeo, esto se explica por las grandes proporciones del largo y ancho de la sección del perfil en relación a su longitud.

El material seleccionado 50x50x1,5mm funcionará a la perfección para la estructura del horno.

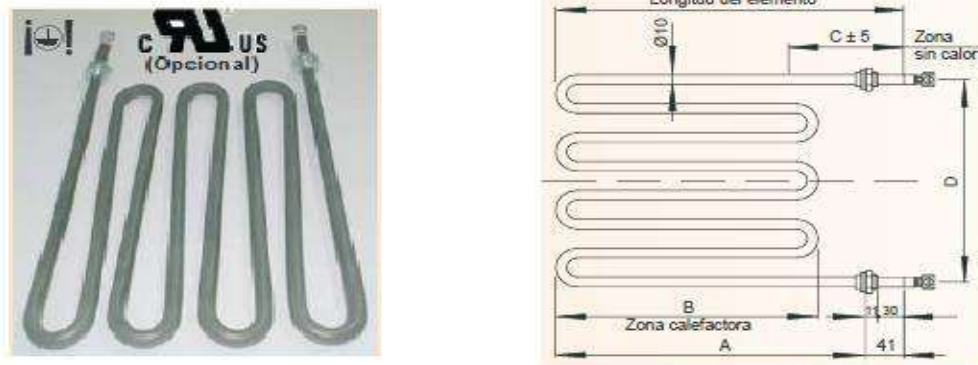
### 3.4 Selección de materiales

#### 3.4.1 Selección de las resistencias eléctricas de calefacción

De los cálculos térmicos se determinó que para las resistencias de calefacción se necesita una potencia total de 3094,8 W, los cuales deben distribuirse 1547,4 W en las dos superficies horizontales. Para una mejor distribución del calor se seleccionará 4 resistencias de 1000 W cada una y se ubicarán dos en cada superficie.

Para el horno de análisis se seleccionarán resistencias tubulares de tipo blindadas, las cuales son adecuadas para hornos eléctricos que requieran temperaturas máximas de 600°C. El material de cobertura es el acero inoxidable AISI 304 o AISI 321, los cuales poseen excelentes propiedades mecánicas y resisten a la corrosión a temperaturas elevadas. La resistencia se encuentra aislada con óxido de magnesio electrofundido y comprimido por laminación. Las características de las resistencias seleccionadas son:

- Diámetro de 1 cm.
- Longitud de 29,1 cm
- Ancho de 17 cm
- Tensión de funcionamiento es de 220 V.
- Potencia de 1600 W.
- Resistencia de 29.7Ω.
- Material de zirconio granulado (polvo) inoxidable.



**Figura 13-3.** Resistencias tubulares blindadas para aire.

**Fuente:** (Brototermic p.62)

El montaje de las resistencias se realizará mediante la conexión del racor engrampado con la tubería que cubre al cable eléctrico siliconado. Las resistencias se apoyarán sobre una pequeña base, la cual estará empernada a la estructura metálica. Se realizará el control de temperatura en

el interior del horno mediante un termostato, el cual enviará una señal que abre el circuito y corta el flujo de corriente eléctrico.

### 3.4.2 Pintura

#### 3.4.2.1 Características de la pintura

En superficies expuestas a altas temperaturas se debe utilizar una pintura especial debido a que las temperaturas elevadas pueden afectar en el desempeño del recubrimiento aplicado y reducir su vida útil, lo cual ocasiona gastos innecesarios en el repintado las zonas afectadas. Las altas temperaturas en superficies se producen a causa de dispositivos o máquinas que generan calor excesivo, como por ejemplo en hornos, calderas, chimeneas y tuberías. La pintura especial para estos propósitos se encuentra disponible en una gran variedad de colores y presentaciones. La pintura para altas temperaturas tiene más resistencia que las tradicionales porque está preparada con un silicón modificado o con cerámica, ingredientes que ayudan a que la pintura se mantenga sólida al estar sometida a temperaturas elevadas.

Para pintar las paredes interiores del horno y la bandeja interna se utilizará la pintura de altas temperaturas 901–13300 de la marca Pintuco, la cual es ideal para proteger y decorar exteriormente superficies metálicas que estén a temperaturas en seco de máximo 260°C. Esta pintura es a base de resina alquídica y pigmentos especiales para lograr un producto de excelente adherencia, flexibilidad y resistencia. (Pintuco, 2020).

**Tabla 6-3.** Especificaciones técnicas de la pintura para altas temperaturas.

Especificaciones técnicas			
Propiedad	Rango		Unidades
Acabado	Brillante		
Viscosidad ASTM D562/NTC559	65	75	KU
Pesos netos por galón	5.04		kg/gal
Sólidos por volumen ASTM D2 697/NTC1786	28	30	%
Espesor seco recomendado	50	75	Micrones
Rendimiento teórico a 25 micrones película seca	20.8		m2/gal
Método de aplicación	Pistola, brocha		
Ajustador o thinner Pintuco recomendado para la dilución	Ref. 21132		
Punto de chispa copa abierta	40		°C
V.O.C ISO 11890-1	554		g/l

Fuente: (Pintuco, 2020)

### 3.4.2.2 Aplicación de la pintura

Una cuidadosa preparación de la superficie antes y durante la aplicación de un sistema protector (pintura), permitirá obtener una mejor protección del sustrato.

Una superficie de acero galvanizado usualmente no requiere preparación exhaustiva y por lo general es suficiente una limpieza con paño impregnada de algún solvente con el fin de remover aceite o grasa en el sustrato. Si en la superficie de los metales galvanizados se forma un polvo blanco llamado óxido de zinc, se puede limpiar utilizando agua y detergente (*The Society for Protective Coatings*, 2015).

Previo a la aplicación de la pintura seleccionada, la superficie debe estar libre de humedad, polvo, cera, pintura deteriorada, óxido y escama de laminación. En caso de repintes sobre este mismo tipo de pinturas en buen estado, se debe lijar suavemente en seco hasta matizar y limpiar bien para obtener una buena adherencia de la nueva capa de pintura. (Pintuco, 2020 p.2)

Para realizar el proceso de pintado, se procederá a mezclar bien la pintura con una espátula hasta obtener su completa uniformidad. Para aplicación con pistola se tiene que agregar a la pintura un 10% por volumen de *thinner* Pintuco Ref. 21132 y se debe mezclar muy bien con una espátula hasta obtener una mezcla uniforme. Para la aplicación con brocha no se requiere diluir con *thinner*. Se debe aplicar una o dos manos para obtener el espesor recomendado. Si se requiere acelerar el secado, se puede encender la fuente de calor después de una o dos horas.

Los tiempos de secado varían de acuerdo con la temperatura ambiental y el espesor de película aplicada. A una temperatura de 25°C del ambiente, se secará al tacto entre 4 y 6 horas. (Pintuco, 2020 p.3)

### 3.4.3 Validación de materiales

Los principales materiales constituyentes del horno se seleccionan y validan mediante el programa informático CES EDUPACK 2019, el cual posee una lista variada de materiales, donde se indica todas las propiedades que estos poseen.

Para las planchas de plástico de polipropileno que serán sometidas al tratamiento térmico se escoge el material *Polypropylene* (PP). Sus propiedades se muestran en la tabla 7-3. A continuación se realizará la relación entre los datos proporcionados por el programa y los datos obtenidos de tablas de otras fuentes:

Dentro de las propiedades físicas se observa que la densidad utilizada para los cálculos iniciales (910 kg/m<sup>3</sup>), tiene el valor máximo del rango establecido en el programa.

En las propiedades térmicas se encuentra la temperatura máxima de servicio, que tiene un valor máximo de 115°C. Otro parámetro que aparece es el calor específico, su valor utilizado en cálculos del calor de fusión (1925 J/kg\*K) está dentro del rango que maneja el programa, por lo cual se determina que el material escogido es correcto ya que posee valores similares de sus propiedades.

**Tabla 7-3.** Propiedades del polipropileno.

Polypropylene (PP)				
<b>General properties</b>				
Density	(i)	890	- 910	kg/m <sup>3</sup>
Price	(i)	* 1,7	- 1,77	USD/kg
Date first used	(i)	1957		
<b>Thermal properties</b>				
Melting point	(i)	149,9	- 174,9	°C
Glass temperature	(i)	-25,15	- -15,15	°C
Maximum service temperature	(i)	100	- 115	°C
Minimum service temperature	(i)	-123,2	- -73,15	°C
Thermal conductor or insulator?	(i)	Good insulator		
Thermal conductivity	(i)	0,113	- 0,167	W/m.°C
Specific heat capacity	(i)	1870	- 1956	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	(i)	122,4	- 180	μstrain/°C

**Fuente:** Programa CES.

Para las planchas de las paredes exteriores del horno se selecciona el material *Stainless Steel*, es decir una clase general de acero inoxidable, cuyas propiedades se detallan en la tabla 8-3.

En los cálculos previos se utilizó la densidad, cuya magnitud es de 7870 kg/m<sup>3</sup>, en este caso también coincide con el valor máximo que es presentado en la tabla de propiedades físicas.

Otra propiedad que se necesitó para los cálculos previos fue la conductividad térmica, el valor es de 14,9 W/m\*K. Al compararlo con los datos proporcionados por el programa, se determina que está dentro del rango mostrado.

Otra propiedad a considerar es la temperatura máxima de servicio a la que puede estar sometida el acero inoxidable. Según el programa la temperatura máxima de servicio en el peor de los casos es de 640 °C, que es mucho mayor a los 240 °C que alcanzará como máximo el interior del horno.

De esta manera, el material seleccionado cumple a cabalidad con los requerimientos mínimos para un buen desempeño, además posee la ventaja de ser un excelente material anticorrosivo.

**Tabla 8-3.** Propiedades físicas y mecánicas del acero inoxidable.

Stainless steel				
<b>General properties</b>				
Density	(i)	7610	- 7870	kg/m <sup>3</sup>
Price	(i)	* 3,03	- 3,25	USD/kg
Date first used	(i)	1915		
<b>Mechanical properties</b>				
Young's modulus	(i)	190	- 210	GPa
Shear modulus	(i)	74	- 82	GPa
Bulk modulus	(i)	140	- 160	GPa
Poisson's ratio	(i)	0,27	- 0,28	
Yield strength (elastic limit)	(i)	257	- 1140	MPa
Tensile strength	(i)	515	- 1300	MPa
Compressive strength	(i)	* 252	- 1200	MPa
Elongation	(i)	10	- 49	% strain
Hardness - Vickers	(i)	170	- 438	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	(i)	* 256	- 542	MPa
Fracture toughness	(i)	* 57	- 137	MPa.m <sup>0.5</sup>
Mechanical loss coefficient (tan delta)	(i)	* 3,1e-4	- 0,0012	
<b>Thermal properties</b>				
Melting point	(i)	1397	- 1487	°C
Maximum service temperature	(i)	639,9	- 746,9	°C
Minimum service temperature	(i)	* -150,2	- -73,15	°C
Thermal conductor or insulator?	(i)	Poor conductor		
Thermal conductivity	(i)	14	- 24,9	W/m.°C

**Fuente:** Programa CES.

El material aislante para el interior de las paredes del horno que más se asemeja a las necesidades del diseño es el *Polyetherimide honeycomb* (0.12) debido a que no se encuentra presente dentro de la biblioteca del programa la lana de vidrio. Las características principales se indican en la tabla 9-3.

La propiedad utilizada anteriormente es la conductividad térmica, cuyo valor es de 0,038 W/m\*K y está fuera del rango mostrado en el programa (0,032-0,036) W/m\*K, sin embargo, se lo acepta por la cercanía que presenta. La máxima temperatura de servicio de este material tiene un valor intermedio de 170 °C, el cual es inferior al máximo alcanzado del aislamiento (239 °C), por lo tanto, este material no sería recomendado para el aislamiento. Se requiere de un material con mayor resistencia térmica y mejor capacidad de aislamiento.



**Tabla 9-3.** Propiedades de lana de vidrio.

Polyetherimide honeycomb (0.12)				
<b>Physical properties</b>				
Density	ⓘ	117,4	- 122,2	kg/m <sup>3</sup>
Relative density	ⓘ	0,08965	- 0,09909	
Cell type	ⓘ	Open-cell		
Cell size	ⓘ	4,2		mm
Anisotropy ratio	ⓘ	1		
<b>Thermal properties</b>				
Glass temperature	ⓘ	205,2	- 226,8	°C
Maximum service temperature	ⓘ	161,5	- 178,5	°C
Minimum service temperature	ⓘ	* -42	- -38	°C
Thermal conductivity	ⓘ	* 0,0329	- 0,0363	W/m.°C
Specific heat capacity	ⓘ	1425	- 1575	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	ⓘ	84,6	- 101	μstrain/°C
Thermal shock resistance	ⓘ	* 489	- 620	°C
Thermal distortion resistance	ⓘ	* 3,38e-4	- 4,13e-4	MW/m

Fuente: Programa CES.

Para la estructura del horno se utiliza un acero estructural, el único material general disponible es el *Structural Steel, S275N, normalized*. Sus propiedades se detallan en la tabla 10-3.

En cuanto a propiedades físicas del acero estructural, se manejó la densidad con un valor de 7870 kg/m<sup>3</sup>, el mismo que se encuentra dentro del rango proporcionado por el programa CES.

De las propiedades mecánicas se utilizó el límite de fluencia de 228 MPa, al compararlo con el rango de la tabla que es de 200 a 220,5 MPa, se determina que está levemente fuera del intervalo. Tomando en consideración los altos factores de seguridad obtenidos en los cálculos, se puede decir que este material es apto para la construcción de la estructura.

Al tomar en consideración las propiedades térmicas del material, se determina que la temperatura máxima de servicio en el peor de los casos es de 471,3 °C, cantidad mucho mayor a la máxima temperatura a la que estará sometido el horno (240°C), por lo tanto, el material funcionará a la perfección en cuanto a la resistencia térmica.

Hay que considerar que el acero estructural posee buenas características de conductividad térmica, por lo tanto, se debe colocar en su interior un aislante que evite las pérdidas de calor del interior del horno, de la misma forma en la que actúa la lana de vidrio al estar situada en la mitad de las

planchas de las paredes interior y exterior. Por esta razón se cubrirá el interior del tubo de acero estructural del aislante poliuretano que viene en espray.

**Tabla 10-3.** Propiedades del acero estructural.

<b>Structural steel, S275N, normalized</b>				
<b>Physical properties</b>				
Density	(i)	7800	- 7900	kg/m <sup>3</sup>
<b>Mechanical properties</b>				
Young's modulus	(i)	200	- 220,5	GPa
Specific stiffness	(i)	25,5	- 28,1	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	(i)	205	- 275	MPa
Tensile strength	(i)	350	- 510	MPa
Specific strength	(i)	26,1	- 35	kN.m/kg
Elongation	(i)	23	- 24	% strain
Compressive strength	(i)	* 205	- 275	MPa
Flexural modulus	(i)	* 200	- 220,5	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	(i)	* 360	- 440	MPa
Shear modulus	(i)	* 77,52	- 83,52	GPa
Bulk modulus	(i)	* 158,7	- 204,2	GPa
Poisson's ratio	(i)	0,29	- 0,32	
Shape factor	(i)	64		
Hardness - Vickers	(i)	* 79	- 141	HV
Elastic stored energy (springs)	(i)	102	- 177	kJ/m <sup>3</sup>
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	(i)	* 194	- 233	MPa
Fatigue strength model (stress range)	(i)	* 149,2	- 303	MPa
<b>Thermal properties</b>				
Melting point	(i)	* 1414	- 1503	°C
Maximum service temperature	(i)	* 471,3	- 501	°C
Minimum service temperature	(i)	* -52	- -24	°C
Thermal conductivity	(i)	* 48	- 53	W/m.°C
Specific heat capacity	(i)	* 457	- 503	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	(i)	* 11	- 13	µstrain/°C
Thermal shock resistance	(i)	* 79,6	- 112	°C
Thermal distortion resistance	(i)	* 3,83	- 4,64	MW/m

**Fuente:** Programa CES.

Las propiedades mostradas en las tablas anteriores son obtenidas del programa de selección de materiales CES EDUPACK 2019, en donde se presentan propiedades como la densidad, conductividad eléctrica y son muy similares a las utilizadas para los cálculos previos que fueron obtenidos de tablas y catálogos y nos ofrece los materiales acero inoxidable HG 0,70 , acero

estructural ASTM A36, acero estructural, y la lana de vidrio como los mejores materiales aptos para construcción del horno por las buenas propiedades mecánicas y térmicas que nos brinda por lo tanto, la selección se encuentra realizada de manera aceptable.

### 3.4.4 Listado de materiales

Los materiales utilizados para la construcción del horno con sus respectivas características, cantidades y costos se describen en la tabla 11-3:

**Tabla 11-3.** Listado de materiales y costos.

Ítem	Material	Características	Unid.	Cant.	C. Unit. (\$)	C. Total (\$)
1	Ángulo de acero negro (INEN 1623)	38x5mm x 6m	6m	0,5	8,75	4,38
2	Plancha de acero galvanizado A653	1,22m x 2,44m x 0,7mm	u	3	21,92	65,76
3	Plancha de acero inoxidable AISI 304	1,22m x 2,44m x 0,7mm	u	3	69,98	209,94
4	Platina de acero negro (ASTM A36)	25mm x 3mm	6m	3,0	6,00	18,00
5	Tubo cuadrado de acero negro (ASTM A500)	50x50x1,5mm x 6m	6m	6	19,80	118,80
6	Pintura mate negra		L	2	4,50	9,00
7	Lana de vidrio en rollo	12m x 1,20m x 5cm	u	1	75,00	75,00
8	Pintura electrostática negra Pintuco 901-13300	para altas Tempe.	lb	10,00	2,50	25,00
9	Poliuretano aislante		u	5,00	8,00	40,00
10	Thinner		L	6,00	2,00	12,00
11	Breaker bifásico	20 A	u	1	12,00	12,00
12	Cable eléctrico de asbesto AWG #14	para altas Tempe.	m	10	1,60	16,00
13	Contactador trifásico	110 V - 220 V, 20 A	u	1	24,50	24,50
14	Gabinete metálico	30x30x20 cm	u	1	31,00	31,00
15	Luz piloto verde	110 V	u	1	1,25	1,25
16	Manguera de cable eléctrico triple AWG #14		m	10	1,50	15,00
17	Pulsador normalmente abierto verde		u	1	1,80	1,80

Ítem	Material	Características	Unid.	Cant.	C. Unit. (\$)	C. Total (\$)
18	Pulsador normalmente cerrado rojo		u	1	1,80	1,80
19	Relé térmico	220 V, 17A - 25 A	u	1	18,00	18,00
20	Resistencia seca de calentamiento	1500 W, 220 V	u	2	40,00	80,00
21	Riel DINN		m	0,20	1,25	0,25
22	Trozo de aglomerado	14 cm x 18 cm	u	1	1,00	1,00
23	Fuente o adaptador	110 V AC - 12 V DC	u	1	6,00	6,00
24	Led azul		u	1	0,10	0,10
25	Módulo relay	5 V - 110 V	u	1	2,80	2,80
26	Monitor LCD con adaptador		u	1	6,00	6,00
27	Paq. de cables macho-hembra AWG #20		u	1	2,60	2,60
28	Paq. de cables macho-macho AWG #20		u	1	3,00	3,00
29	Placa Arduino Uno		u	1	12,00	12,00
30	Protoboard		u	1	2,80	2,80
31	Resistencia 10 k $\Omega$		u	2	0,10	0,20
32	Resistencia 220 $\Omega$		u	1	0,05	0,05
33	Termocupla tipo K con módulo máx. 675	para altas Tempe.	u	1	11,80	11,80
34	Electrodos 7018		lb	14,00	2,50	35,00
35	Electrodos para acero inoxidable		u	5,00	1,75	8,75
36	Remaches	3/32"	1	1,00	8,75	8,75
37	Silicona Sikaflex	para altas temperaturas	u	1,00	8,00	8,00
38	Pernos con tuerca	M10	u	4,00	1,80	7,20
39	Tornillos con tuerca	1/8" x 1"	u	8,00	0,12	0,96
40	Abrazaderas	1/2"	u	14,00	0,20	2,80

**Costo Total** 895,53

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.


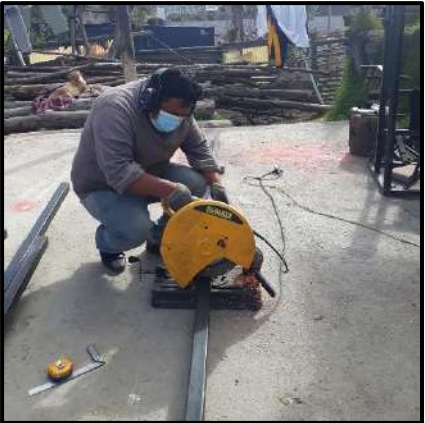
### 3.5 Procedimiento de construcción y montaje




Es importante mencionar que todo el procedimiento de construcción debe realizarse utilizando el equipo de protección personal necesario. A continuación, se detalla el procedimiento para la construcción y ensamblaje de todos los elementos que constituyen el horno.


#### 3.5.1 Construcción de la estructura base

Para la construcción de la estructura base se debe seguir los siguientes procedimientos:

**Tabla 12-3.** Construcción de la estructura base.

Estructura base		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Medición del material: Se realiza la medición del material 50x50x1,5mm para las 4 columnas de 94,5 cm m, de las 4 vigas superiores de 1,35 m con filos achaflanados a 45° y de las 4 vigas intermedias y 2 superiores de 1,25 m. Las herramientas necesarias para realizar este proceso son: flexómetro, escuadra y lápiz.</p>	
2	<p>Corte del material: Se realiza el corte del material de las vigas y columnas que se midió previamente. La herramienta necesaria para realizar este proceso es la tronzadora con un disco de corte.</p>	

Estructura base		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
3	<p>Pulido de las superficies cortadas:  A continuación, se realiza el pulido de las limallas y rebabas que se forman producto del corte.  Este paso se lleva a cabo con la utilización de la amoladora con un disco de pulir.</p>	
4	<p>Alineación y nivelación:  Previo al soldado se realiza la alineación y nivelación de las vigas superiores con las columnas que han sido preparadas.  Las herramientas necesarias para este paso son las escuadras magnéticas, el nivel y un martillo.</p>	
5	<p>Soldado de las uniones:  Se ejecuta el proceso de soldadura de las juntas de los perfiles alineados y nivelados previamente.  Para ello se utiliza la máquina soldadora SMAW con electrodo 7018, el cual proporciona dureza y rigidez en la soldadura.</p>	

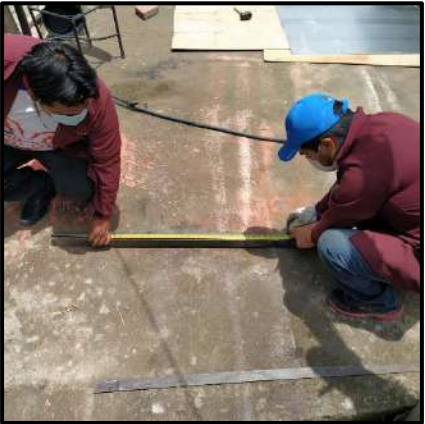
Estructura base		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
6	<p>Pulido de la soldadura: Se procede a pulir todas las juntas que han sido soldadas. La herramienta necesaria para este proceso es la amoladora con un disco de pulir.</p>	

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.



### 3.5.2 Construcción de la estructura del horno



Para la construcción de la estructura del horno, se sigue un procedimiento similar al de la estructura base, el cual se detalla enseguida:

**Tabla 13-3.** Construcción de la estructura del horno.

Estructura del horno		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Medición del material: Se realiza la medición de 0,5 m del material 50x50x1,5 mm para las 4 columnas del horno y para las 2 columnas de la puerta, y mediciones de 1,35 m de las 8 vigas del horno y 2 vigas de la puerta con filos achaflanados a 45°. Para este proceso se utiliza: el flexómetro, escuadra y lápiz.</p>	



Estructura del horno		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
2	<p>Corte del material: Se realiza el corte del material que ha sido medido y trazado previamente. La herramienta que se utiliza en este proceso es la tronadora con un disco de corte.</p>	
3	<p>Pulido de las superficies cortadas: Luego del corte se realiza el pulido de las imperfecciones que se forman en las superficies cortadas. Se emplea la amoladora con un disco de pulir para realizar el proceso de pulido.</p>	
4	<p>Alineación y nivelación: Se lleva a cabo entre las vigas y con las columnas preparadas. Las herramientas útiles para este paso son las escuadras magnéticas, el nivel y el martillo.</p>	




Estructura del horno		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
5	<p>Soldado de las uniones:            Se realiza el soldado de cada una de las juntas que han sido alineadas y niveladas.            Se suelda con la soldadora SMAW, utilizando el electrodo 7018, que brinda dureza a la soldadura.</p>	
6	<p>Pulido de la soldadura:            Luego de soldar se debe pulir todas las uniones. La herramienta usada en esta etapa es la amoladora con un disco de pulir.</p>	

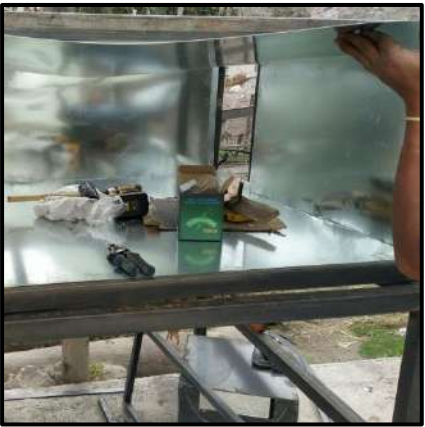

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.5.3 *Forrado de las paredes interiores del horno*

Una vez que ya se tiene la estructura del horno construida, se puede seguir con el procedimiento de forrado de las paredes interiores del horno, el cual se describe a continuación:

**Tabla 14-3.** Forrado de las paredes interiores del horno

Forrado del interior del horno		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Medición y trazado:                      Se toma las 2 planchas de acero galvanizado de 1,22 m x 2,44 m y se realiza la medición y trazado de 3 superficies de 1,25 m x 0,5 m para las paredes laterales y 2 trazos de 1,25 m x 1,25 m para las paredes horizontales.                      Las herramientas utilizadas son: flexómetro, escuadra y marcador.</p>	
2	<p>Corte de las planchas:                      Se efectúa el corte de los bordes de las planchas.                      Se emplea las tijeras manuales para esta actividad.</p>	
3	<p>Pliegue de las planchas:                      A continuación, se realiza el doblado de las 2 planchas que han sido trazadas y recortadas.                      La herramienta que se utiliza en este proceso es la dobladora manual.</p>	


Forrado del interior del horno		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
4	<p>Ensamblaje de las planchas: El ensamblaje de las planchas se realiza mediante la utilización de remaches, los cuales van anclados a la estructura del horno. Las herramientas utilizadas para este proceso son el taladro, la remachadora y alicates de presión.</p>	
5	<p>Sellado de aristas: Finalmente se realiza el sellado de las uniones de las planchas de las paredes del horno interior. Para este proceso se utiliza la selladora manual y el Sika Flex.</p>	



Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.5.4 Ubicación del aislamiento del horno

El aislamiento del horno mediante la lana de vidrio se ejecuta siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

**Tabla 15-3.** Ubicación del aislante del horno.

Ubicación del aislamiento		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Medición y trazado: Para medir y trazar se debe desenrollar y extender la lana de vidrio. Las medidas a tomar son 9 pedazos de 50 cm x 39 cm y 6 pedazos de 1,25 m x 39 cm. Las herramientas necesarias son: flexómetro, escuadra y marcador.</p>	




Ubicación del aislamiento		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
2	<p>Recorte de las planchas de lana de vidrio: Se procede a recortar la lana de vidrio por las marcas realizadas. Se utiliza un estilete y un tubo guía para cortar el aislamiento.</p>	
3	<p>Colocación del aislamiento: Se procede a colocar la lana de vidrio en la parte exterior del forro de acero galvanizado. La lana de vidrio se coloca a mano en cada espacio.</p>	

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.5.5 *Forrado de las paredes exteriores del horno*

Una vez colocada la lana de vidrio, se procede a montar los forros exteriores, mediante los siguientes pasos:

**Tabla 16-3.** Forrado de las paredes exteriores del horno.



Forrado del exterior del horno		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Medición y trazado: Se toma las 2 planchas de acero inoxidable de 1,22 m x 2,44 m para medir y trazar 3 pedazos de 1,35 m x 0,6 m para las paredes laterales y 2 pedazos de 1,35 m x 1,35 m para las paredes horizontales. Las herramientas utilizadas son: flexómetro, escuadra y marcador.</p>	
2	<p>Plegado de las planchas: A continuación, se realiza el doblado de las 2 planchas que han sido trazadas. La herramienta que se utiliza en este proceso es la dobladora manual.</p>	
3	<p>Ensamblaje de las planchas: Se ensambla el forro exterior a través de remaches de 5/8". Las herramientas utilizadas para este proceso son el taladro, llaves de boca y alicate de presión.</p>	

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.5.6 Montaje del riel guía

Para realizar el montaje del riel guía de la bandeja, se efectúan los siguientes pasos:

**Tabla 17-3.** Montaje del riel guía.

		Riel guía
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Preparación del material:                      Primero se realiza el corte de dos pedazos de 1,10 m de ángulo de 38x5 mm, haciendo un redondeo de 38 mm en uno de los extremos de cada ángulo. A continuación, se ejecuta el centrado de las guías en las paredes verticales perpendiculares a la puerta y perforado de agujeros para el anclaje posterior.                      Las herramientas que se utilizarán para este proceso son: flexómetro, tronzadora con disco de corte, amoladora con disco de pulir y taladro manual.</p>	
2	<p>Remachado:                      Los rieles guías se fijan a las paredes interiores del horno mediante remaches de 5/8". Se utiliza el remachador manual para este paso.</p>	

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.5.7 Pintado de la estructura base

Para realizar el pintado de la estructura base se debe realizar los siguientes pasos:

**Tabla 18-3.** Pintado de la estructura base.

Pintado de la estructura base		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Lijado de la superficie: Se procede a lijar todas las superficies de la estructura base. Las herramientas utilizadas son: la lijadora roto orbital con la lija seca #150.</p>	
2	<p>Desengrasado y pintado: Se realiza el desengrasado de la superficie con <i>thinner</i> y a continuación se aplica la pintura automotriz Auto plas. Las herramientas a utilizar son: compresor con manguera y soplete.</p>	
3	<p>Secado de la pintura: Posteriormente se realiza el secado de la pintura a la temperatura ambiente para su posterior manipulación.</p>	

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.5.8 Pintado del interior del horno

El interior del horno se pinta siguiendo los pasos descritos en seguida. El exterior del horno no se pintará debido a que el material del mismo es acero inoxidable y no necesita de recubrimientos protectores.



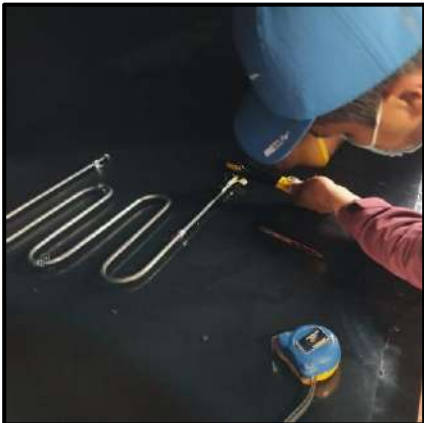

**Tabla 19-3.** Pintado del interior del horno.

Pintado del interior del horno		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Lijado de la superficie: Se lija las superficies interiores del horno, es decir las de acero galvanizado. Las herramientas utilizadas son: la lijadora roto orbital con la lija seca #150.</p>	
2	<p>Desengrasado y fondeado: Se realiza el desengrasado de la superficie con thinner o desengrasante y a continuación se aplica el fondo. Las herramientas a utilizar son: compresor con manguera y soplete de fondeo.</p>	
3	<p>Pintado y secado: Se procede a pintar el interior del horno con pintura electrostática. Este método de pintura se utiliza para dar una excelente adherencia de la pintura al material, además soporta temperaturas que bordean los 300 °C. Se utiliza un horno o cámara de pintura y secado electrostático con un soplete eléctrico para este paso.</p>	

### 3.5.9 Instalación de las resistencias de calentamiento

Las resistencias de calentamiento se instalan de la siguiente manera:

**Tabla 20-3.** Instalación de las resistencias.

Instalación de resistencias		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Distribución de las resistencias:                      Antes de la instalación se realiza la medición para que las resistencias vayan ubicadas exactamente en el centro de las superficies horizontales superior e inferior.                      Las herramientas utilizadas para este paso son: flexómetro y lápiz.</p>	
2	<p>Anclaje de las resistencias:                      Se realiza la perforación de los agujeros donde irán ancladas las resistencias a las paredes superior e inferior del horno con abrazaderas y cauchos aislantes de electricidad. Además, se conectan a las resistencias los cables conductores de asbesto AWG # 14                      Para este trabajo se utilizan las siguientes herramientas: taladro manual, destornillador, alicate y cinta aislante.</p>	

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.5.10 Montaje del cableado eléctrico

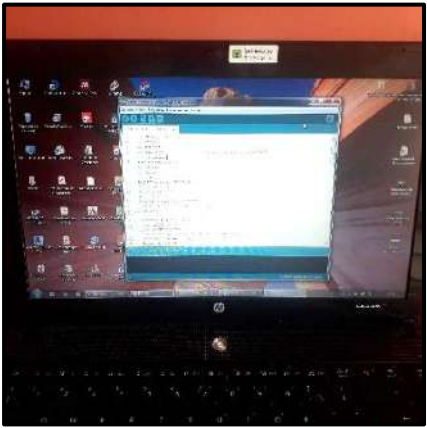
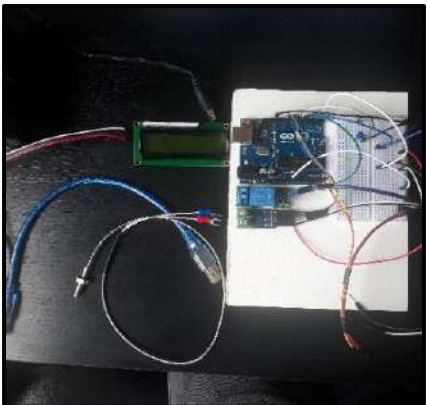
El cableado eléctrico se realiza con el procedimiento detallado:

1. En la manguera de cable triple (dos fases y un neutro) AWG #14 de 10 metros se fija un enchufe de tres tomas para poder conectarlo posteriormente a un toma corriente bifásico.
2. Se extiende la manguera hasta llegar al horno, donde se une al mismo mediante unas correas plásticas hasta alcanzar el tablero de control, que es ahí donde se deberá realizar las conexiones a los circuitos de control y potencia.

### 3.5.11 Montaje del circuito de control

El circuito de control del horno se realiza mediante los siguientes pasos:

**Tabla 21-3.** Montaje del circuito de control.


Circuito de control		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Programación en el software: Se realiza la instalación del software y la codificación en el programa Arduino 1.8.5. La herramienta utilizada es el computador.</p>	
2	<p>Conexión de los elementos: A continuación, se ejecuta la conexión de todos los componentes electrónicos que conforman el circuito de control. La conexión se efectúa utilizando la placa <i>protoboard</i> y cables conductores AWG # 20.</p>	

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.5.12 Montaje del tablero de control

El tablero de control se instala de la forma explicada a continuación:

**Tabla 22-3.** Montaje del tablero de control.


Tablero de control		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Ensamblaje de los elementos constitutivos: Se procede a distribuir los elementos que estarán ubicados dentro y fuera del gabinete metálico. En el interior irán ubicados: 1 Breaker, 1 contactor, 1 relé térmico, 1 toma corriente de 110 V y el circuito de control descrito anteriormente, los cuales irán conectados con cables conductores AWG # 14, En el exterior se encontrarán: El monitor LCD, el pulsador normalmente abierto, el pulsador normalmente cerrado y la luz piloto. Las herramientas que se utilizarán para este proceso son: la amoladora con disco de corte, el taladro manual y el destornillador.</p>	

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

### 3.5.13 Instalación del circuito eléctrico

El circuito eléctrico se construye de la forma siguiente:

**Tabla 23-3.** Instalación del circuito eléctrico.

Instalación del circuito eléctrico		
Ítem	Descripción	Ilustración gráfica
1	<p>Conexión del circuito eléctrico:                      Se conecta en serie las dos fases del cableado eléctrico al breaker, al relé térmico, a los contactos principales del contactor y finalmente a las dos resistencias de calentamiento, las cuales estarán conectadas en paralelo entre sí. De una de las fases que sale del breaker y del neutro se conecta el toma corriente de 110 V. De la salida de una de las fases del contactor y del neutro se conecta a la luz piloto para su encendido. Los pulsadores de encendido (NA) y apagado (NC) se conectan a la placa Arduino mediante el <i>protoboard</i>. Se alimenta de 12 V en DC a la placa Arduino, a través de la fuente, que se empotra en el toma corriente de 110 V. Una de las fases pertinentes del breaker se conecta al <i>relay</i>, el cual también se enlaza con la entrada de la bobina (A1) del contactor. Finalmente, el contactor se puede energizar por completo mediante la conexión de la salida de la bobina (A2) con otra fase del breaker.</p> <p>Las herramientas utilizadas para las conexiones son: Destornilladores plano y estrella, alicate, cable conductor AWG # 14 y cinta aislante.</p>	

**Elaborado por:** Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS

#### 4.1 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento del horno eléctrico consisten en la medición de la temperatura y tiempo con el objetivo de determinar su relación en base al calentamiento y enfriamiento.

Antes de tomar los datos de las pruebas de funcionamiento se realizará el cálculo teórico del tiempo de calentamiento y enfriamiento necesarios.

##### 4.1.1 *Tiempo de enfriamiento*

Primero se analizará el tiempo de enfriamiento, debido a que este proceso ocurre de manera libre, es decir que la transferencia de calor se da únicamente por la diferencia de temperaturas existentes entre el interior del horno y el medio ambiente o exterior del horno.

Se parte con la ley de la conservación de la energía entre el horno y sus alrededores para un volumen de control:

$$\dot{E}_{entra} - \dot{E}_{sale} + \dot{E}_{gen} = \Delta\dot{E}_{alm} \quad (35)$$

Donde la energía que entra y la energía generada son nulas por lo tanto la ecuación (35) se reduce a:

$$-\dot{E}_{sale} = \Delta\dot{E}_{alm} \quad (36)$$

La energía que sale se produce por la transferencia de calor por convección, mientras que la variación de energía almacenada se determina por la ecuación de la generación de calor, ambas expresadas de forma diferencial con respecto al tiempo se expresan así:

$$\frac{dQ}{dt} = -h * A * (T - T_A) \quad (37)$$

$$\frac{dQ}{dt} = m * c_p * \frac{dT}{dt} \quad (38)$$

Donde:

h: coeficiente de convección medio = 4,78 W/m<sup>2</sup>\*K.

A: área de transferencia de calor de las planchas de polipropileno = 2 m<sup>2</sup>.

m: masa del objeto que transferirá calor.

c<sub>p</sub>: calor específico del material que transfiere calor.

$T_A$ : es la temperatura del medio ambiente = 15°C.

Las temperaturas se utilizarán en grados Centígrados (°C), debido a que es más fácil su interpretación y porque en diferencia de temperaturas equivale a los grados Kelvin (K).

Al igualar las ecuaciones (37) y (38), se determina la ecuación (39) que define el comportamiento de la temperatura en función el tiempo, ecuación conocida como Ley de enfriamiento de Newton:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{h * A}{m * c_p} * (T - T_A)$$
$$\text{si: } k = \frac{h * A}{m * c_p}$$
$$\frac{dT}{dt} = -k * (T - T_A) \quad (39)$$

Donde:

k: conductividad térmica del proceso de enfriamiento del aire = 0,0263 W/m\*°C

Para hallar la ecuación que describe el cambio de la temperatura en relación al tiempo, se procede a integrar la ecuación (39) de la siguiente forma:

$$\frac{dT}{T - T_A} = -k * dt$$
$$\ln(T - T_A) = -k * t + C_1$$
$$e^{\ln(T - T_A)} = e^{-k*t + C_1}$$
$$T - T_A = e^{-k*t} * e^{C_1}$$
$$T = T_A + C_1 * e^{-k*t} \quad (40)$$

Donde  $C_1$ : es la constante de integración y se obtiene al reemplazar las condiciones de frontera iniciales:

$$T(0) = 240 \text{ } ^\circ\text{C}$$
$$240 = 15 + C_1 * e^{-k*0}$$
$$C_1 = (240 - 15)^\circ\text{C} = 225^\circ\text{C}$$

Al sustituir valores en la ecuación (40), se define la ecuación de enfriamiento del horno:

$$T = 15 + 225 * e^{-0,0263*t} \quad (41)$$

Para poder calcular el tiempo de enfriamiento en función de la temperatura, se despeja  $t$  de la ecuación (41):

$$\begin{aligned}\frac{T - 15}{225} &= e^{-0,0263*t} \\ \ln\left(\frac{T - 15}{225}\right) &= \ln(e^{-0,0263*t}) \\ t &= -\frac{1}{0,0263} * \ln\left(\frac{T - 15}{225}\right)\end{aligned}\quad (42)$$

Con la ecuación (42) se puede calcular el tiempo para cualquier temperatura en el proceso de enfriamiento.

#### 4.1.2 Tiempo de calentamiento

Para obtener la ecuación del tiempo de enfriamiento del horno en función de la temperatura, también se parte del balance de energía para el horno considerado como un volumen de control, es decir de la ecuación (35), donde no existe energía que ingresa, por lo tanto, la expresión se reduce a la ecuación (43):

$$-\dot{E}_{\text{sale}} + \dot{E}_{\text{gen}} = \Delta\dot{E}_{\text{alm}} \quad (43)$$

Donde la rapidez de energía generada equivale la potencia de generación requerida ( $P_{\Omega} = 3\,097\text{W}$ ), al remplazar dicha potencia y las ecuaciones (37) y (38) en la (43), se tiene:

$$-h * A * (T - T_A) + P_{\Omega} = m * c_p * \frac{dT}{dt} \quad (44)$$

Para encontrar la ecuación de calentamiento, se ejecuta integrar la ecuación (44) con respecto a la temperatura y al tiempo de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\text{si: } k &= \frac{h * A}{m * c_p} \\ -h * A * (T - T_A) + P_{\Omega} &= \frac{h * A}{k} * \frac{dT}{dt} \\ \int \frac{h * A}{P_{\Omega} - h * A * (T - T_A)} * dT &= \int k * dt \\ -\ln[P_{\Omega} - h * A * (T - T_A)] &= k * t + C_2 \\ e^{\ln[P_{\Omega} - h * A * (T - T_A)]} &= e^{-k*t + C_2} \\ P_{\Omega} - h * A * (T - T_A) &= e^{-k*t} * e^{C_2}\end{aligned}$$

$$-h * A * (T - T_A) = C_2 * e^{-k*t} + P_\Omega$$

$$T = T_A + \frac{P_\Omega}{h * A} + \frac{C_2 * e^{-k*t}}{h * A} \quad (45)$$

Donde  $C_2$ : es la constante de integración y se obtiene al reemplazar las condiciones de frontera iniciales:

$$T(0) = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$15 = 15 + \frac{P_\Omega}{h * A} + \frac{C_2 * e^{-k*0}}{h * A}$$

$$C_2 = -P_\Omega$$

Para definir la ecuación de enfriamiento del horno se debe sustituir valores en la ecuación (45):

$$T = T_A + \frac{P_\Omega}{h * A} * (1 - e^{-k*t})$$

$$T = 15 + \frac{3097}{4,78 * 2} * (1 - e^{-0,0263*t})$$

$$T = 15 + 323,74 * (1 - e^{-0,0263*t}) \quad (46)$$

Si se desea encontrar una expresión del tiempo en función de la temperatura, se procede a despejar  $t$  de la ecuación (46):

$$1 - \frac{(T - 15)}{323,95} = e^{-0,0263*t}$$

$$\ln \left[ 1 - \frac{(T - 15)}{323,95} \right] = \ln [e^{-0,0263*t}]$$

$$t = -38,023 * \ln \left[ 1 - \frac{(T - 15)}{323,95} \right] \quad (47)$$

Con la ecuación (47) se puede calcular el tiempo para cualquier temperatura en el proceso de calentamiento.

#### 4.1.3 Gráficas de los tiempos de calentamiento y enfriamiento

Para realizar las gráficas de la variación de la temperatura con respecto al tiempo se debe elaborar unas tablas con el empleo de las ecuaciones encontradas anteriormente. Es decir, para realizar la tabla que corresponde al calentamiento se utilizará la ecuación (46), mientras que para la tabla del enfriamiento se utilizará la ecuación (41):



**Tabla 1-4.** Datos de tiempo y temperatura de calentamiento del horno.

<b>Calentamiento del horno</b>	
t [min]	T (°C)
0	15
5	55
10	90
15	121
20	148
25	171
30	192
35	210
40	226
<b>45</b>	<b>240</b>
55	263
65	281
75	294
90	309
105	319
120	325
140	331
160	334
180	336
200	338

**Elaborado por:** Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

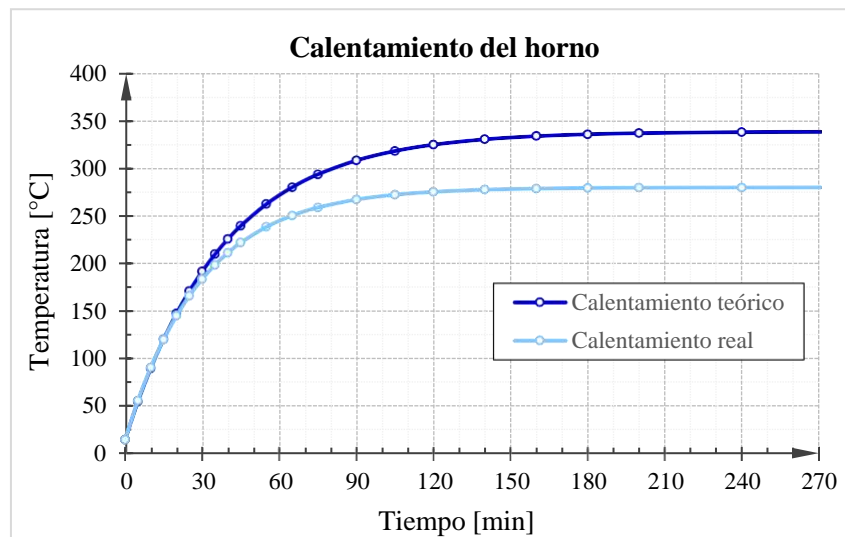
**Tabla 2-4.** Datos de tiempo y temperatura de enfriamiento del horno.

<b>Enfriamiento del horno</b>	
t [min]	T (°C)
0	240
10	188
20	148
30	117
40	94
50	75
60	61
70	51
80	42
90	36
100	31
110	27
120	25
130	22
140	21
150	19

Enfriamiento del horno	
t [min]	T (°C)
165	18
180	17
195	16
210	15,9
230	15,5
250	15,3

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

Con las tablas 1-4 y 2-4 se realizan los siguientes gráficos:



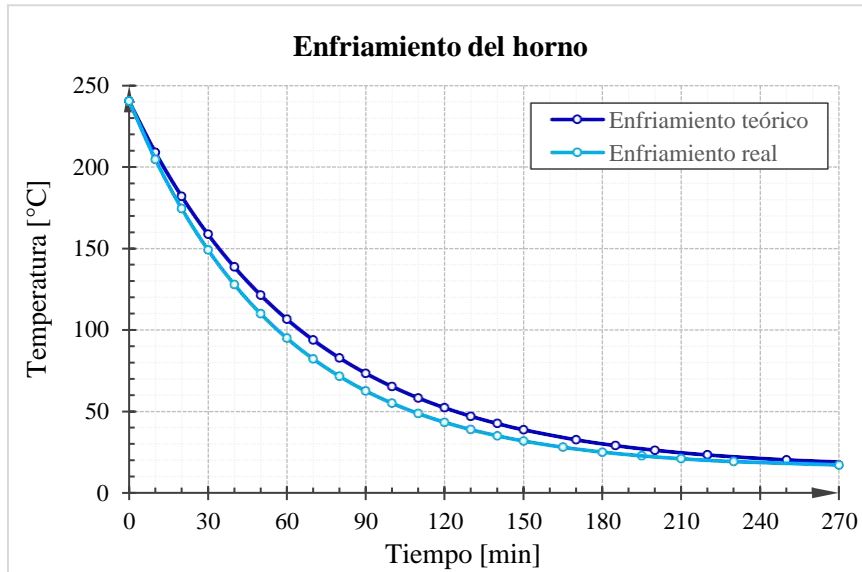
**Gráfico 1-4.** Curva de calentamiento del horno mediante las resistencias.

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

Al analizar el gráfico de calentamiento, se deduce que se necesitan 40 minutos de funcionamiento del horno para que éste se apague al alcanzar la temperatura máxima de trabajo de 240 °C, además se determina que la capacidad calorífica del horno en función de la potencia de las resistencias permitiría alcanzar una temperatura máxima de calentamiento del horno de 339 °C, lo cual se conseguiría en el tiempo de 260 minutos (4,33 h). También se puede observar que a medida que aumenta la temperatura, el horno se demora más tiempo en variar la misma, esto ocurre porque la curva tiene un comportamiento exponencial invertido que es producido por las pérdidas de calor que también van en aumento a razón que sube la temperatura, hasta el punto que llega a su límite y la curva se aplanan.

Al revisar la curva de enfriamiento se aprecia que en un tiempo aproximado de 250 minutos (4,17 h) se producirá el enfriamiento por completo del horno, es decir que éste llegará a la temperatura ambiente de 15 °C. La curva de enfriamiento tiene un comportamiento exponencial regresivo,

esto se produce porque es un enfriamiento libre, el cual depende de la diferencia de temperaturas que existe con el ambiente, es decir mientras mayor sea su diferencia, más rápido será su enfriamiento y mientras dicha diferencia se acerque a cero, se demorará más tiempo en bajar su temperatura. Esta última apreciación se puede comprobar al observar que para bajar de 19 a 15 °C se necesita de 100 minutos (1,67 h).



**Gráfico 2-4.** Curva de enfriamiento del horno mediante las resistencias.

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

A continuación, se realizará una tabla de valores de tiempo y temperatura de operación del horno desde su encendido hasta su enfriamiento total.

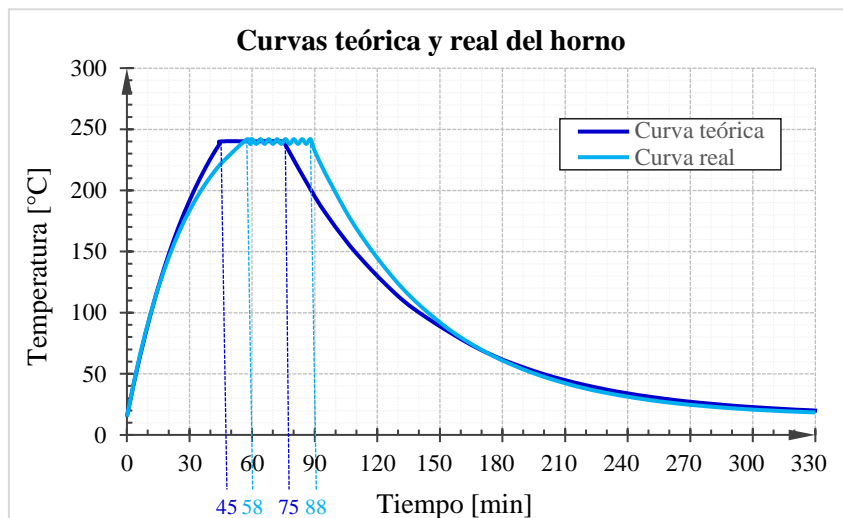
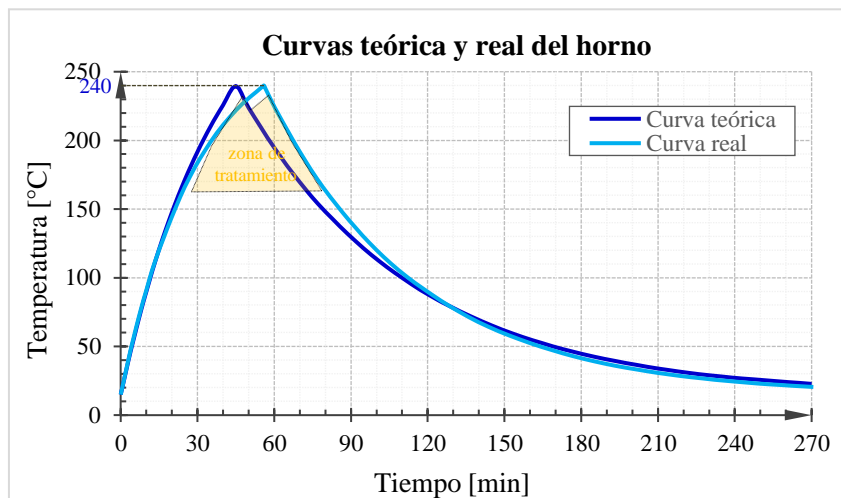
**Tabla 3-4.** Datos de tiempo y temperatura de la operación del horno.

Calentamiento y Enfriamiento del horno	
t [min]	T (°C)
0	15
5	55
10	90
15	121
20	148
25	171
30	192
35	210
40	226
45	240
50	212
60	167

Calentamiento y Enfriamiento del horno	
t [min]	T (°C)
70	132
80	105
95	75
110	56
125	42
145	31
165	25
185	21
210	18
235	17
260	15,8

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

El gráfico siguiente representa el comportamiento de la temperatura y tiempo durante la operación del horno:



**Gráfico 3-4.** Curva del comportamiento térmico del horno.

Elaborado por: Calderón, E.; Masabanda, L. 2021.

Se puede apreciar que en un tiempo total aproximado de 260 minutos (4,33 h), se produce un ciclo completo de operación del horno, donde durante los primeros 45 minutos se efectúa el calentamiento y a los 215 minutos (3,58 h) se realizará el enfriamiento. Si consideramos que el polipropileno empieza a fundirse a los 170 °C, es decir que alcanza un estado plástico, se determina que desde los 25 minutos el material entraría a tratamiento térmico durante el período de calentamiento, hasta los 59 minutos, tiempo en el que la temperatura vuelva a tener dicho valor en la etapa de enfriamiento. Es decir, el tratamiento térmico puede realizarse durante los 34 minutos en el que la temperatura es igual o superior a los 170 °C, tiempo suficiente para poder realizar un moldeo del polipropileno.

## **4.2 MANUAL DE OPERACIÓN**

Para el funcionamiento óptimo del horno se deberá establecer un manual descriptivo, el cual se deberá ejecutar al pie de la letra. Dicho procedimiento de uso se indica enseguida con sus respectivos pasos:

### **4.2.1 Encendido del horno**

1. Ubicar el horno bajo cubierta, en un espacio despejado, libre de obstáculos que impidan su manipulación ergonómica y ordenada.
2. Comprobar que el interior del horno se encuentre vacío, libre de objetos de cualquier naturaleza y cerrar el horno con el seguro respectivo.
3. Verificar que el breaker bifásico del tablero de control del horno se encuentre en estado apagado (off).
4. Enchufar la manguera de tres cables de alimentación del horno al tomacorriente bifásico.
5. Situar el breaker bifásico en estado de encendido (on), conectar la fuente en el tomacorriente del tablero y revisar que se encienda la luz de la placa Arduino, a continuación, cerrar el tablero con el seguro.
6. Presionar el pulsador de encendido (verde) durante uno o dos segundos hasta que se escuche el enclavamiento del contactor y de esta forma el encendido de las resistencias de calentamiento.

### **4.2.2 Carga del material polipropileno**

1. Encender el horno y esperar hasta que la pantalla LCD muestre que el horno ha alcanzado la temperatura de 170 °C.

2. Colocar las planchas de polipropileno apiladas sobre la bandeja.
3. Abrir la puerta del horno e introducir la bandeja con las planchas de polipropileno, deslizándola a través del riel interior y cerrar la puerta del horno con seguro. Para realizar este proceso, el usuario deberá llevar guantes de seguridad para evitar quemaduras en las manos.

#### **4.2.3 *Apagado del horno***

1. Cuando se desee apagar el horno manualmente se debe presionar el pulsador de apagado (verde) durante un segundo, de esta forma se escuchará que se desenclava el contactor y por lo tanto se cortará el paso de corriente hacia las resistencias. El horno se apagará automáticamente cuando la temperatura alcance a la máxima establecida en la programación de 240 °C.
2. Situar la palanca del breaker en estado de apagado (off) y cerrar con seguro la puerta del tablero de control.
3. Desenchufar la manguera del cableado eléctrico de alimentación.

#### **4.2.4 *Fundido y tratamiento del material***

1. El material de polipropileno permanecerá en el interior del horno hasta que el usuario lo decida o hasta que se produzca el apagado automático y enfriamiento. Si el usuario desea retirar el material cuando el horno se encuentre aún caliente, deberá utilizar guantes de seguridad para evitar quemaduras en las manos.

#### **4.2.5 *Limpieza del horno***

1. Asegurarse que se encuentre desconectado el enchufe de alimentación del horno para evitar riesgos eléctricos.
2. Realizar la limpieza interior del horno utilizando una escobilla para el polvo o pequeños residuos existentes.
3. Pasar un paño húmedo sobre las paredes del horno y sobre las resistencias de calentamiento.
4. Si existe presencia de óxido en el interior del horno, removerlo utilizando una crema lava vajillas con un estropajo, enjuagarlo con agua y secarlo con un paño seco.

5. Finalmente se debe cerrar la puerta del horno con seguro para evitar el ingreso de polvo y humedad.

#### **4.2.6 *Mantenimiento del horno***

La frecuencia del mantenimiento dependerá del uso que tenga el horno, sin embargo, se recomienda hacerlo cada dos o tres meses.

1. Examinar el estado de los cables y componentes eléctricos y electrónicos. Hay que mencionar que el gabinete debe permanecer cerrado para evitar el ingreso de polvo y humedad.
2. Revisar el estado superficial de las resistencias y limpiarlas en caso de que exista suciedad.
3. Chequear el estado del aislamiento o lana de vidrio. Si se detecta desgaste o reducción de su volumen considerable se deberá reemplazarla.

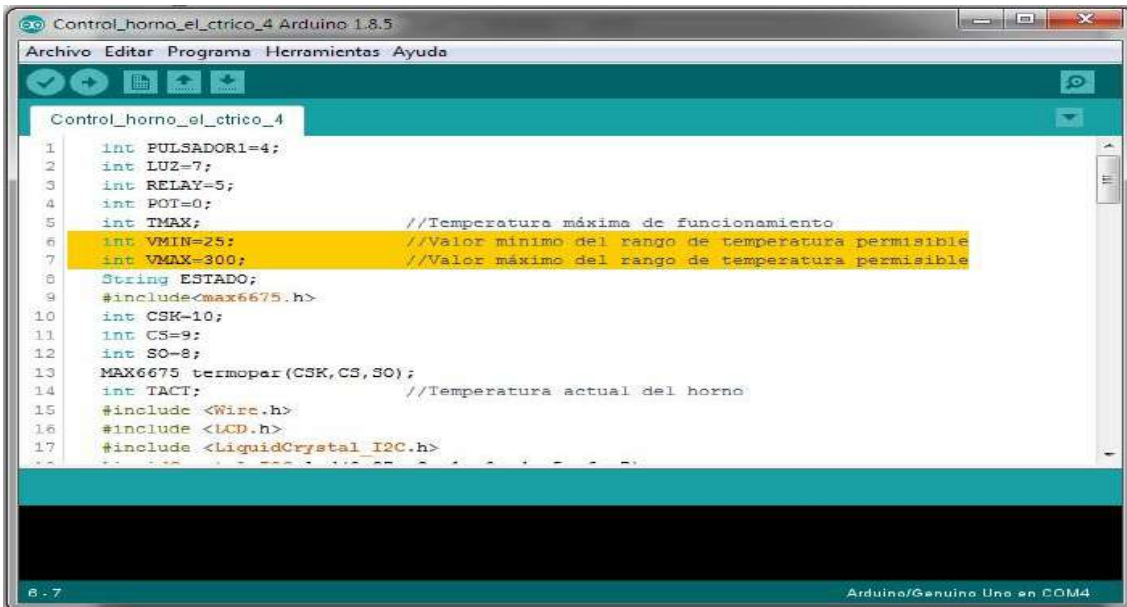
#### **4.2.7 *Modificación de la temperatura máxima permisible***

1. Se regula mediante la rotación de la perilla que se encuentra en la parte externa frontal del tablero de control. La rotación en sentido antihorario incrementa el valor, mientras que la rotación horaria reduce su valor.

#### **4.2.8 *Modificación del rango de temperatura permisible***

1. Instalar el programa Arduino 1.8.5 en un computador con las librerías Newliquidcrystal\_1.3.5 y MAX 6675.
2. Abrir el archivo “Control horno eléctrico”, el cual está subido a la placa Arduino.
3. De la codificación mostrada anteriormente en el apartado “Programación en el software Arduino 1.8.5”, ubicada dentro del tema “Diagrama eléctrico del circuito”, en la línea “6|” se dispone del siguiente código “`int VMIN=25;`” y en la línea “7|” se tiene el código “`int VMAX=300;`”. El primer código (VMIN) indica el mínimo valor del rango de temperatura máxima que podrá tener el interior del horno, mientras que el código de la línea 7 (VMAX) muestra el máximo valor de dicho rango. El rango de temperatura determinado delimita los valores de operación de la perilla o potenciómetro. Si por ejemplo se desea que el horno tenga un rango de entre 25°C y 300°C el código quedará siguiente manera:

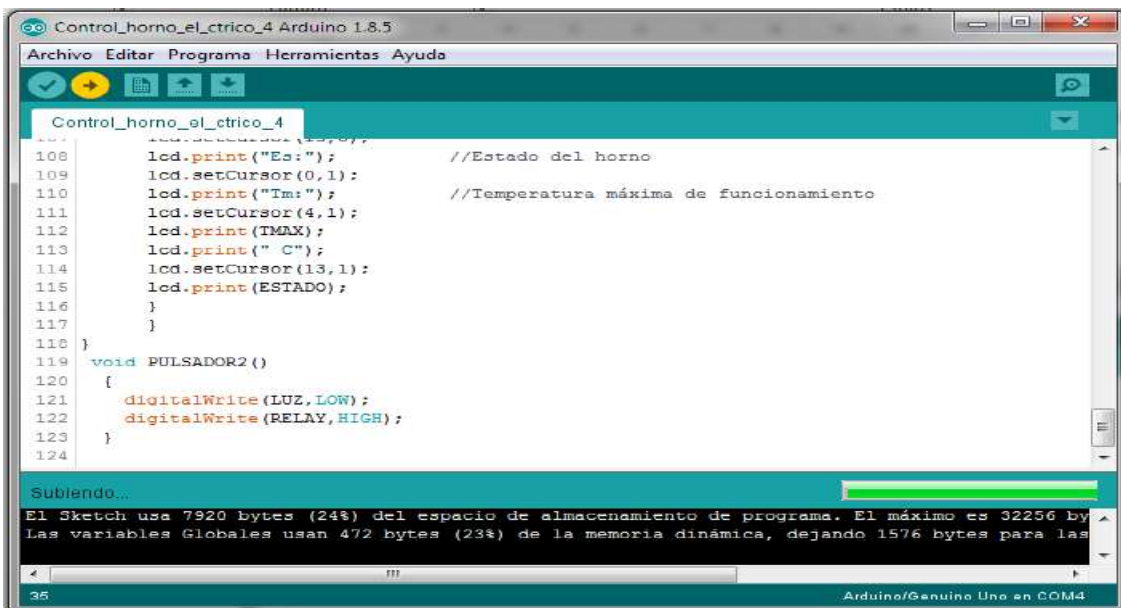
- 6| int VMIN=25;
- 7| int VMAX=300;



**Figura 1-4.** Modificación del rango máximo de la temperatura permisible.

Fuente: Software Arduino 1.8.5.

- 4. Conectar mediante el cable USB la placa Arduino al ordenador.
- 5. Transferir el código de programación del computador a la placa Arduino con el software Arduino 1.8.5. Para esto se debe seleccionar el botón “→”, marcado de color naranja en la figura 2-4, que significa subir.



**Figura 2-4.** Transferencia del código de programación del computador a la placa Arduino.

Fuente: Software Arduino 1.8.5.



### 4.3 Factibilidad ambiental

Para determinar la factibilidad que tiene el horno de calentamiento por resistencia eléctrica, se van a analizar las ventajas y desventajas que existen en comparación con otros tipos de hornos.

Los hornos de quemador ya sea de gas o diésel generan gases de combustión (CO<sub>2</sub>) al ser operados, gases que se dirigen hacia la atmósfera, por lo cual siempre deben poseer chimeneas y ductos de evacuación. Los hornos eléctricos o de resistencias no necesitan de chimeneas de evacuación de gases, debido a que su funcionamiento genera una cantidad mínima de gases, los cuales al ser expulsados al ambiente cuando se abre la puerta del horno provocan un impacto ambiental despreciable que no es una amenaza para el usuario. Es por eso que últimamente han tomado posicionamiento en el mercado, siendo utilizados en las cocinas domésticas con frecuencia. Y su gran acogida en la industria por con su mayor producción, que se debe a las ventajas como la distribución de calor que es más uniforme que la brindada por los hornos a gas, trabajan a varios niveles lo que hace más fácil la circulación del calor y un mejor control en la temperatura, son muchísimo más fácil de limpiar. (Europan, 2018)

En cuanto al consumo energético del horno, se determina el siguiente presupuesto que se necesita para su funcionamiento por cada operación:

$$\text{Costo energético} = \text{Potencia} * \text{Tiempo de uso} * \text{Costo unitario} \quad (48)$$

En la sección de las pruebas de funcionamiento se determinó que, con encender el horno durante una hora, es suficiente para que éste alcance la temperatura máxima y se apague. El costo unitario del kilovatio-hora (kW\*h) es de 10 centavos de dólar. Además, se utiliza la potencia de generación requerida, calculada en el capítulo 3. Al aplicar la ecuación 48 se determina el valor del consumo energético:

$$\text{Costo energético} = 3,097 \text{ kW} * 1\text{h} * 0,10 \text{ \$/kW * h} = \$ 0,3097 \approx \$ 0,31$$

El valor de 31 ctvs. de dólar se requiere por cada operación del horno, valor que es bastante económico.

El riesgo eléctrico que puede existir dentro del horno por manipular tensiones de 220 V, se reduce al colocar aislantes eléctricos en las uniones de las abrazaderas con las resistencias. El resto de partes constituyentes del horno, tienen sus protecciones contra riesgo eléctrico (breaker, relé térmico y caucho de recubrimiento de cables), que puede ocurrir por caídas de tensión.

El horno eléctrico que es el centro de análisis de este estudio tendrá una vida útil de 15 años como mínimo, debido a que posee una estructura sólida y que está protegida externamente de acero inoxidable e internamente de la pintura electrostática. Las partes que pueden desgastarse con su

uso continuo únicamente serán las resistencias de calentamiento y la lana de vidrio, las cuales deberán ser reemplazadas en caso de ser necesario. Es decir, el horno no genera desechos ni por su funcionamiento, ni por una vida útil corta, como sucede con otras máquinas industriales y equipos domésticos comúnmente utilizados.

El proyecto de la construcción del horno por resistencias eléctricas se considera ambientalmente factible porque la contaminación atmosférica por gases de residuo expulsados es despreciable, no produce contaminación del agua ni del suelo, no genera residuos, no provoca contaminación acústica y el consumo de energía eléctrica es relativamente bajo y por lo tanto los costos de operación también son bajos. Finalmente se tiene una eficiencia eléctrica alta de funcionamiento porque gran parte la energía generada se aprovecha en el proceso de calentamiento del horno.

## CONCLUSIONES

- Para el diseño térmico del horno se consideraron las propiedades del material a ser tratado térmicamente, la generación de calor necesaria para la operación es de 2125 W. La temperatura máxima del interior del horno para la fusión del polipropileno es de 240°C. Se consideró la utilización de dos resistencias eléctricas que son las encargadas de generar el calor requerido, con una potencia mínima de 3095 W. Se estableció que la eficiencia del horno es de 68,6%, con un 31,4% de pérdidas de potencia. El material a ser moldeado mediante el uso del horno es el polipropileno.
- La estructura del horno consiste en un poliedro de 6 caras con dimensiones de 1.3 m de largo, 1.3 m de ancho y 0.55 m de altura, construido mediante un perfil de tubo cuadrado de acero negro de 50x50x1.5 mm, forrado en el interior por una plancha de acero galvanizado y en el exterior por una plancha de acero inoxidable, mientras que en el interior se ubicó un aislante de lana de vidrio. Al efectuar la comprobación de diseño de la viga y columna críticas, se obtuvo factores de seguridad mínimo de 13, lo cual asegura la resistencia mecánica de la estructura base.
- El circuito de mando del horno se realizó mediante la utilización de una placa Arduino Uno, como controlador para la toma de decisiones y ejecución de las acciones correspondientes. La programación del código se efectuó en el software Arduino 1.8.5. El funcionamiento del horno se establece mediante el accionamiento de un pulsador, la temperatura de operación en el interior del horno debe ser estable

y se la puede regular en el rango de 25°C a 250°C, mientras que el apagado tiene lugar a través del uso de un pulsador de apagado.

- Los materiales para la fabricación del horno se seleccionaron en base a la disponibilidad existente en el mercado local, la factibilidad económica y el requerimiento de transferencia de calor. Se escogió como aislante la lana de vidrio por tener un bajo coeficiente de conductividad térmica. Para el forro de las paredes interiores se usó acero galvanizado por su revestimiento protector y compatibilidad con la pintura, las paredes exteriores son el acero inoxidable por su alta resistencia a la corrosión, buena apariencia y porque no requieren de recubrimientos protectores, la estructura se construyó de acero negro. Para la verificación de los materiales seleccionados se utilizó el software CES EDUPACK 2019.
- Los planos de los elementos del horno se realizaron en el software CAD-CAE SolidWorks, herramienta práctica y de fácil uso, con el complemento de la norma INEN del código de dibujo mecánico. Para su elaboración se tomaron en cuenta las características de los diseños térmicos y mecánicos. La comprobación de la resistencia térmica del horno y las temperaturas de todas las superficies también se hicieron en el software.
- La construcción del horno se efectuó siguiendo los pasos descritos en el procedimiento de construcción. Se realizó el montaje del circuito eléctrico de mando y potencia dentro de un tablero metálico. Las pruebas de funcionamiento dieron como resultado que el tiempo de calentamiento necesario para alcanzar los 240 °C es de 1 hora y el de enfriamiento para llegar a la temperatura ambiente es de aproximadamente 4 horas. Existió cierto margen de diferencia entre los cálculos realizados y los valores de temperatura obtenidos en las pruebas de funcionamiento.

## RECOMENDACIONES

- Analizar el efecto que tiene el tiempo de apertura de la puerta para la colocación y extracción de las láminas de polipropileno en el proceso de fusión y moldeado.
- Diseñar un circuito de mando alternativo mediante el uso de un PLC, con la finalidad de comparar la eficiencia del mismo con la del circuito de la placa Arduino, teniendo como variables de interés el tiempo de transmisión y recepción de las señales de mando y de respuesta.
- Estudiar el efecto que tendría el uso de otros materiales aislantes alternativos a la lana de vidrio, tanto desde el punto de vista de la transferencia de calor, como de la vida útil y de costos.
- Realizar estudios enfocados en hallar nuevas alternativas para optimizar la eficiencia del horno, con la finalidad de reducir el tiempo de calentamiento y ralentizar el tiempo de enfriamiento.
- Integrar el control de mando del horno con un software que permita la adquisición de datos, tal como LabVIEW o Matlab, por ser compatibles con la placa Arduino y su software. De esta manera se podrá realizar el control a través de una interfaz gráfica en un computador o un dispositivo móvil, al mismo tiempo que será factible obtener gráficas en tiempo real de la operación del horno.

## GLOSARIO

- **Circuito de control.** -Los controles de temperatura tienen como prioridad asegurar que los hornos operen con valores preestablecidos, estos elementos se encuentran compuestos de dos partes principales: la parte electrónica o cerebro, generalmente se usa un control PID y la parte mecánica (Pérez, 2020)
- **polipropileno.** - (PP) es uno material termoplástico comercial, semicristiano, blanco, semiopaco y en la actualidad es considerado uno de los polímeros con más variantes en el entorno de fabricación de productos de calidad y fácil modificación de mismos. (Monzó, 2015).
- **Horno eléctrico.** – Este tipo de horno que se basa principalmente en resistencias eléctricas en su interior que está en contacto con las paredes internas del mismo, que al momento de aplicar una tensión determinada se calienta para generar calor que aumente la temperatura dentro de la caja o mufla del horno. Estas resistencias utilizan el efecto Joule (Calderón, 2014).
- **Termoformado.** - El proceso de termoformado consiste en calentar y reblandecer una lámina de cualquier material termoplástico y someterla a que adopte la configuración del molde para obtener un producto terminado con un diseño particular. (Plastiglas S. A., 2019 pp. 2-8).
- **Termoformado a presión.** Este método llamado termoformado a presión o formado por soplado; tiene como ventaja este método formar un vacío que se basa en el desarrollo presiones altas en comparación que el método anterior que se limita a 1 atmósfera. (Molina & Pito, 2008 pp. 30-26).
- **Transferencia de calor.** - La transferencia de calor se refiere a la transferencia de energía de un lugar a otro mediante un rango de temperaturas de un sistema, (Amaya, et al., 2018).
- **Radiación.** -La radiación emitida entre cuerpos mediante ondas electromagnéticas debido a cambios que sufren las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. La radiación se produce por la temperatura emitida por los cuerpos que originan el fenómeno superficial para los sólidos que son ocupados en la radiación térmica que está basada en la ley de Stefan Boltzmann. (Yunus & Cengel, 2017).

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ABADIA, A., & FERNÁNDEZ, E.** Diseño de un horno eléctrico de convección mecánica tipo laboratorio de temperatura controlada. (Trabajo de titulación). (Posgrado) Corporación Universitaria Autónoma de Occidente División de Ingenierías, Cali, Colombia. 1993.[Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <http://red.uao.edu.co/bitstream/10614/3227/1/T0001257.pdf>

**AMAYA, E., MOLINA, F., & SÁNCHEZ, M.,** Producción de polipropileno. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Cuyo, San Rafael-Mendoza, Argentina. 2018. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/11477/proyectofinal-v.3.1.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/11477/proyectofinal-v.3.1.pdf)

**BACULIMA SINCHI, Pedro Fernando.** Implementación de un algoritmo Híbrido basado en control predictivo y PID para el control de sistemas de Retardo dominante. (Trabajo de titulación). (Posgrado) Escuela Superior Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2015.[Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8606>

**BROTOTERMIC,** Resistencias Eléctricas Calefactoras [blog]. p. 136 [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <http://www.brototermic.com/>

**DALMOU** Láminas Plásticas para todo tipo de uso [blog].2018 [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://www.industriasdalmou.com/>

**CALLE, Alexis., & SÁNCHEZ Marcos.** Diseño de una máquina de termoformado para laboratorio. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayas, Ecuador. 2017. pp. 30-26 [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/38967>

**CALDERÓN GARRIDO, Cesar Fernando** Diseño desarrollo fabricación e implementación de un kit de over fenders termoformados y su matricería para el vehículo Peugeot 206 mediante el uso de los softwares Autodesk Inventor, AutoCAD y Adobe Illustrator. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. 2014. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://1library.co/document/zpn82k7y-desarrollo-fabricacion-implementacion-termoformados-matriceria-autodesk-inventor-illustrator.html>

**CONNOR, Nick.** *¿Qué es la Ley de conducción térmica de Fourier? Definición* [blog] Thermal Engineering 2020. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-ley-de-conduccion-termica-de-fourier-definicion/>

**CORREA, P., & ROBALINO, S.** Construcción de un horno basculante a diésel para la fusión de 150kg de cobre para la empresa " 4G METALURGIA". (Trabajo de titulación). (Tecnología) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2007. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1518>

**DIPAC.** *Catálogo de productos de acero* [blog] 2020 p. 53. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <http://www.dipacmanta.com/Catalogos-descargas/catalogo-2020.pdf>

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA.** *Radiación térmica* [blog] [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <http://www.aq.upm.es/Departamentos/Fisica/UD-fisica/RADIACION.htm>

**DOCUMENTS ECUADOR** *Perdidas de calor de un horno eléctrico por arco* [blog] [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://fdocuments.ec/document/perdidas-de-calor-de-un-horno-electrico-por-arco.html>

**ELAPLAS,** Elastómeros y Plásticos. Propiedades físicas del polipropileno. [blog] 2020. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <http://www.elaplas.es/materiales/plasticos-tecnicos/polipropileno-pp/>

**ESPINOZA, Carlos.** *Transferencia de Calor* [blog] 2015. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://transferenciadecaloradriespinoza.blogspot.com/2015/11/segunda-clase-ley-de-fourier-de.html?showComment=1612321746924#c1244392218163213699>

**FORERO, D., SANTANA, D., & PIRACUN, H.** *Diseño de máquina termoformadora didáctica para el laboratorio de materiales de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.* [blog]. 2018 [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13586/PROYECTO%20TERMOFORMADORA%20DIDACTICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**GOUVEIA, Rosimar.** *Ley de Ohm* [blog] Toda Materia 2020. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://www.todamateria.com/ley-de-ohm/>



**IGUAGO, F., & GARCÍA, J.** Diseño e implementación de un horno eléctrico para reducir el tiempo de cuece y curado de resina y cerámica para la microempresa Cerámicas Nova. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador. 2016. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/12402/T-ESPEL-EMI-0314.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**INCROPERA, Frank & DEWITT, David.** Fundamentos de transferencia de calor. Pearson; México D.F. Cuarta edición. ISBN: 970-17-0170-4. 1999. p. 912. Disponible en: [https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi\\_blog/r/INCROPERA\\_-\\_Transferencia\\_de\\_calor.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/INCROPERA_-_Transferencia_de_calor.pdf)

**MAZUR, Glen.** *¿Qué es la ley de Ohm?* [blog] Fluke, American Technical Publishers. 2021. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-es/informacion/blog/electrica/que-es-la-ley-de-ohm>.

**MCCORMAC, Jack.** *Diseño de Estructuras de Acero* [en línea]. Quinta edición. México D.F. Alfaomega, 2002. ISBN: 970-15-0637-5. p. 704 [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/28111116/Dise%C3%B1o\\_de\\_Estructuras\\_De\\_Acero\\_McCormac\\_5ta\\_Ed\\_pdf](https://www.academia.edu/28111116/Dise%C3%B1o_de_Estructuras_De_Acero_McCormac_5ta_Ed_pdf)

**MOLINA, V., & PITO, E.** Diseño de una termoformadora de envases plásticos (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2008. pp. 30-26 [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1076/1/CD-1911.pdf>

**MONZÓ, Matías** Investigación de la influencia del tipo de gas utilizado en el plasma atmosférico, en la modificación superficial del polipropileno. (Trabajo de titulación). (Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 2015.[Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en:

**NACE** *Programa de inspectores de Recubrimiento Nivel 1*. Houston, TX, USA Manual del estudiante. 2010

**NICOLINI Jorge** Ingeniería térmica Hornos industriales a gas. [blog] Valencia, España, 2019. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en:

<https://es.slideshare.net/alexpaullopezsalazar/siderurgia-en-metales16-clase-siderurgia-coque-reduccion>

**OMEGA** *Controladores de temperatura* [blog] 2003 [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html>

**PANAYOTOVA, Sasha.** An undergraduate experiment on thermal properties *European Journal of Physics* 8(4), 1987 pp. 528-533. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/8/4/117/pdf>

**PLASTIGLAS S.A.** *Manual técnico termoformado* [blog] 2019 [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://tecnologia3bunlp.files.wordpress.com/2015/03/manual-determoformado.pdf>

**PÉREZ, Ernesto.** *Clases de controles de temperatura en hornos industriales.* [blog] Nutec Bickley 2020. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://www.nutecbickley.com/es/blog/clases-de-controles-de-temperatura-en-hornos-industriales>

**PINTUCO COLOMBIA S.A.,** Ficha técnica de pintura de altas temperaturas 901-13300. [blog] 2020. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <http://www.elaplas.es/materiales/plasticos-tecnicos/polipropileno-pp/>

**POLIPROPILENO DEL CARIBE S.A.** *Proceso de termoformado del polipropileno* [blog] marzo 1992, pp. 10-13. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/328168367.pdf>

**RAMÍREZ CARRILLO, Alberto.** *Ley de enfriamiento de Newton*

**ROSAS MORALES, María Alejandra.** *Ley de enfriamiento de Newton* [blog] [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/ecuacionesdiferentes/home/ley-de-enfriamiento-de-newton>.

**SHIGLEY, Joseph, & MISCHKE Charles.** *Diseño en Ingeniería Mecánica.* [en línea] Octava edición. México D.F. Mc Graw Hill; ISBN: 13: 978-0-07-312193-2. 2008. p. 1059. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en:

<https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2015/03/disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edicic3b3n-budynas.pdf>

**SIEGEL, R., & HOWELL, J.** *Thermal Radiation Heat Transfer* [en línea] cuarta edición Washington- USA. Hemisphere Publishing Corporation. 1992. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=O389yQ0-fecC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Thermal+Radiation+Heat+Transfer&ots=7CG64j6qhP&sig=rN7Dy1m1ZAwyCbQ3l6fE60w2\\_WE#v=onepage&q=Thermal%20Radiation%20Heat%20Transfer&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=O389yQ0-fecC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Thermal+Radiation+Heat+Transfer&ots=7CG64j6qhP&sig=rN7Dy1m1ZAwyCbQ3l6fE60w2_WE#v=onepage&q=Thermal%20Radiation%20Heat%20Transfer&f=false).

**S&P Materiales aislantes de calor** [blog] 2018. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/author/binaria/>

**The Society for Protective Coatings (SSPC)**, “Solvent Cleaning” “Limpieza de superficie SSPC-SP1” [blog]. 2015 [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <http://www.sspc.org/Marketplace/Standard?page=3>.

**TORRES BÚA, Manuel.** *Electricidad* [blog] Tecnología (s) por proyectos. 2014. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contido/index.html>

**Tubac S.A,** Industrias Unicon C.A. [blog] 2020. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <http://www.tubac.com.gt/>

**YUNUS, A., & AFSHIN J.** *Transferencia de calor y masa.* [blog] Cuarta edición México D. F.- Mexico. Mcgraw-Hill/Interamericana. 2011. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/Transferencia-de-calor-y-masa.-Fundamentos-y-aplicaciones-Cuarta-Edici%C3%B3n.pdf>

**ZAPATA, Fanny.** *9 conductores de calor y sus características.* [blog] Lifeder, 2020. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/conductores-de-calor/>

**TECNOPURA.** <https://www.tecnopura.com/>

## ANEXO A: Propiedades de diversos materiales.

**TABLA A-8**

Propiedades de diversos materiales  
(A menos que se indique lo contrario, los valores se dan a 300 K)

Material	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $k$ W/m · K	Calor espe- c�fico, $c_p$ J/kg · K	Material	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $k$ W/m · K	Calor espe- c�fico, $c_p$ J/kg · K
Asfalto	2 115	0.062	920	Hielo			
Baquelita	1 300	1.4	1 465	273 K	920	1.88	2 040
Ladrillo refractario				253 K	922	2.03	1 945
Ladrillo de cromita				173 K	928	3.49	1 460
473 K	3 010	2.3	835	Cuero para suela	998	0.159	—
823 K	—	2.5	—	Lin�leo	535	0.081	—
1173 K	—	2.0	—		1 180	0.186	—
Arcilla refractaria				Mica	2 900	0.523	—
cocida				Papel	930	0.180	1 340
1600 K				Pl�sticos			
773 K	2 050	1.0	960	Plexigl�s	1 190	0.19	1 465
1073 K	—	1.1	—	Tefl�n			
1373 K	—	1.1	—	300 K	2 200	0.35	1 050
Arcilla refractaria				400 K	—	0.45	—
cocida				Lexan	1 200	0.19	1 260
1725 K				Nylon	1 145	0.29	—
773 K	2 325	1.3	960	Polipropileno	910	0.12	1 925
1073 K	—	1.4	—	Poli�ster	1 395	0.15	1 170
1373 K	—	1.4	—	PVC, vinilo	1 470	0.1	840
Ladrillo de arcilla				Porcelana	2 300	1.5	—
refractaria				Caucho natural	1 150	0.28	—
478 K	2 645	1.0	960	Caucho vulcanizado			
922 K	—	1.5	—	Blando	1 100	0.13	2 010
1478 K	—	1.8	—	Duro	1 190	0.16	—
Magnesita				Arena	1 515	0.2-1.0	800
478 K	—	3.8	1 130	Nieve reciente	100	0.60	—
922 K	—	2.8	—	Nieve, 273 K	500	2.2	—
1478 K	—	1.9	—	Suelo seco	1 500	1.0	1 900
Carne de pollo blanca				Suelo mojado	1 900	2.0	2 200
(74.4% de contenido				Az�car	1 600	0.58	—
de agua)				Tejido humano			
198 K	—	1.60	—	Piel	—	0.37	—
233 K	—	1.49	—	Capa de grasa	—	0.2	—
253 K	—	1.35	—	Músculo	—	0.41	—
273 K	—	0.48	—	Vaselina	—	0.17	—
293 K	—	0.49	—	Madera, perpendicular			
Arcilla seca	1 550	0.930	—	a la fibra			
Arcilla mojada	1 495	1.675	—	De balsa	140	0.055	—
Carbón mineral,				Abeto	415	0.11	2 720
antracita	1 350	0.26	1 260	Roble	545	0.17	2 385
Concreto (mezcla				Pino blanco	435	0.11	—
con piedra)	2 300	1.4	880	Pino amarillo	640	0.15	2 805
Corcho	86	0.048	2 030	Madera, radial			
Algodón	80	0.06	1 300	Roble	545	0.19	2 385
Grasa	—	0.17	—	Abeto	420	0.14	2 720
Vidrio				Madera para barcos	145	0.05	—
De ventana	2 800	0.7	750				
Pyrex	2 225	1-1.4	835				
Crown	2 500	1.05	—				
Al plomo	3 400	0.85	—				

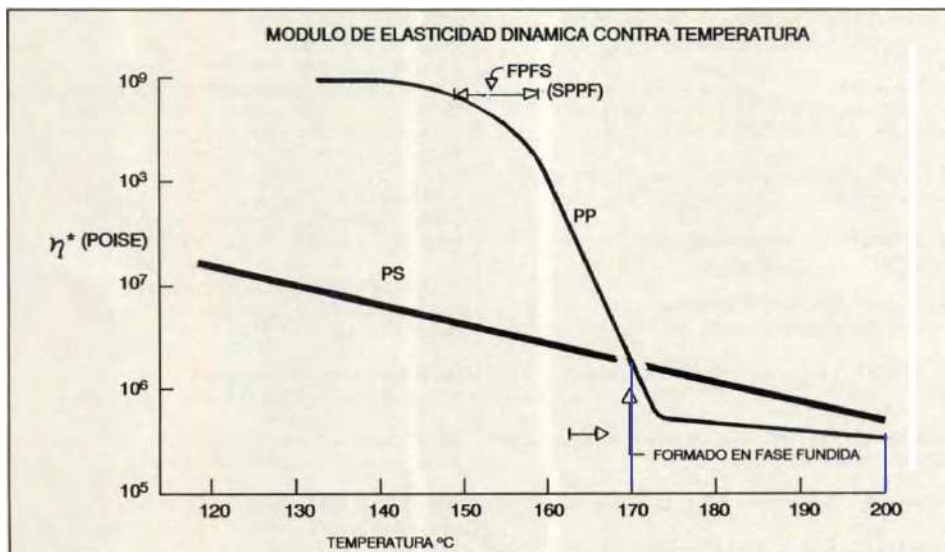
ANEXO B: Propiedades físicas de polipropileno.



**PROPIEDADES FISICAS POLIPROPILENO (PP)**

PROPIEDADES	Metodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color	-	-	Marron claro
Densidad	DIN 53 479	g/cm <sup>3</sup>	0,91
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>			
Temperatura de Fusión	DIN 53 736	°C	170
Conductividad termica a (23°C)	-	W/(K-m)	0,22
Temperatura de transicion vitria	-	10 <sup>5</sup> .(1K)	-18
Capacidad calorica especifica (23° C)	-	J/g.K	1,7
Temperatura maxima de servicio:	-	-	-
-en periodos cortos	-	°C	130
-en periodos largos	-	°C	100
Coefficiente de dilatación lineal (23°C)	-	10 <sup>5</sup> ,1k	11
<b>PROPIEDADES MECANICAS A 23°C</b>			
Ensayo de tracción	-	-	-
-esfuerzo en el punto de fluencia	DIN 53 455	MPa	35
-elongación a la rotura	DIN 53 455	%	650
-modulo de elasticidad a la tensión	DIN 53 457	-	1
-Resistencia al impacto	DIN 53 457	Kj/m <sup>2</sup>	no rompe
-Coeficiente dinamico de fricción	-	N/mm <sup>2</sup>	0,3
-Dureza a la bola (30s)	DIN53457	Mpa	80
<b>PROPIEDADES ELECTRICAS A 23°C</b>			
Resistencia dielectrica	60243	Ohm	>10 <sup>13</sup>
Factor de disipación	DIN 53 483	-	0,0002
Resistencia especifica de paso	DIN 53 483	-	>10 <sup>17</sup>
Resistencia superficial	DIN 53 482	Ohm.cm	100
Coefficiente dielectrico	60250	-	2,25

Passatge dels Rosers s/n Nave C y D ( Cornella de Ll. ) Tel. 93/473-35-87 Fax. 93/473-35-87 Email: info@elaplas.es



## ANEXO C: Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales.

**TABLA A-19**

Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales

Descripción/composición	Absortividad solar, $\alpha_s$	Emisividad, $\varepsilon$ , a 300 K	Relación, $\alpha_s/\varepsilon$	Transmisividad solar, $\tau_s$
Aluminio				
Pulido	0.09	0.03	3.0	
Anodizado	0.14	0.84	0.17	
Con capa adicional de cuarzo	0.11	0.37	0.30	
Hoja	0.15	0.05	3.0	
Ladrillo rojo (Purdue)	0.63	0.93	0.68	
Concreto	0.60	0.88	0.68	
Lámina metálica galvanizada				
Limpia, nueva	0.65	0.13	5.0	
Oxidada, con acción de la intemperie	0.80	0.28	2.9	
Vidrio, espesor de 3.2 mm				
Flotado o templado				0.79
Tipo al bajo óxido de hierro				0.88
Mármol, ligeramente blancuzco (no reflector)	0.40	0.88	0.45	
Metal, con chapa				
Sulfuro negro	0.92	0.10	9.2	
Óxido negro de cobalto	0.93	0.30	3.1	
Óxido negro de níquel	0.92	0.08	11	
Cromo negro	0.87	0.09	9.7	
Mylar, espesor de 0.13 mm				0.87
Pinturas				
Negra (Parsons)	0.98	0.98	1.0	
Blanca, acrílica	0.26	0.90	0.29	
Blanca, óxido de zinc	0.16	0.93	0.17	
Papel blanco	0.27	0.83	0.32	
Plexiglás, espesor de 3.2 mm				0.90
Porcelana, losetas de porcelana, blancas (superficie vidriada reflectora)	0.26	0.85	0.30	
Tejas para techo, rojo brillante				
Superficie seca	0.65	0.85	0.76	
Superficie mojada	0.88	0.91	0.96	
Arena seca				
Blancuzca	0.52	0.82	0.63	
Roja mate	0.73	0.86	0.82	
Nieve				
Partículas finas, recién caídas	0.13	0.82	0.16	
Gránulos de hielo	0.33	0.89	0.37	
Acero				
Acabado de espejo	0.41	0.05	8.2	
Intensamente herrumbroso	0.89	0.92	0.96	
Piedra (rosa claro)	0.65	0.87	0.74	
Tedlar, espesor de 0.10 mm				0.92
Teflón, espesor de 0.13 mm				0.92
Madera	0.59	0.90	0.66	

**ANEXO D: Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica.**

**TABLA A.4** Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica<sup>a</sup>

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688

## ANEXO E: Propiedades de metales sólidos.

**TABLA A-3**

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K}), c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ J/kg · K	$k$ W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m <sup>2</sup> /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio:											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042	185	
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
						203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
Bismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	112	120	127			
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
						128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7			
						198	222	242			
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
						192	384	484	542	581	616
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1
						236	379	450	503	550	628
Cobre:											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
						252	356	397	417	433	451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19	395	425		
						237	362				
Germanio	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
						190	290	337	348	357	375
Oro	1 336	19 300	129	317	127	327	323	311	298	284	270
						109	124	131	135	140	145
Iridio	2 720	22 500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126
						90	122	133	138	144	153
Hierro:											
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
						216	384	490	574	680	975
Armco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3
						215	384	490	574	680	975
Aceros al carbono:											
Simple al carbono (Mn $\leq$ 1%, Si $\leq$ 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0
								487	559	685	1 169
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3
								487	559	685	1 168
Al carbono-silicio (Mn $\leq$ 1%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3
								501	582	699	971



**TABLA A-3**

Propiedades de metales sólidos (continuación)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c <sub>p</sub> (J/kg · K)					
		$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ J/kg · K	$k$ W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m <sup>2</sup> /s	100	200	400	600	800	1 000
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn < 1.65% 0.1% < Si < 0.6%)		8 131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1 090
Aceros al cromo (bajo): $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7 822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9
1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7 858	442	42.3	12.2			492 42.0	575 39.1	688 34.5	969 27.4
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7 836	443	48.9	14.1			492 46.8	575 42.1	688 36.3	969 28.2
Aceros inoxidables:											
AISI 302		8 055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611
AISI 316		8 238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602
AISI 347		7 978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606
Plomo	601	11 340	129	35.3	24.1	39.7 118	36.7 125	34.0 132	31.4 142		
Magnesio	923	1 740	1 024	156	87.6	169 649	159 934	153 1 074	149 1 170	146 1 267	
Molibdeno	2 894	10 240	251	138	53.7	179 141	143 224	134 261	126 275	118 285	112 295
Niquel:											
Puro	1 728	8 900	444	90.7	23.0	164 232	107 383	80.2 485	65.6 592	67.6 530	71.8 562
Nicromo (80% Ni, 20% Cr)	1 672	8 400	420	12	3.4			14 480	16 525	21 545	
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	1 665	8 510	439	11.7	3.1	8.7 —	10.3 372	13.5 473	17.0 510	20.5 546	24.0 626
Niobio	2 741	8 570	265	53.7	23.6	55.2 188	52.6 249	55.2 274	58.2 283	61.3 292	64.4 301
Paladio	1 827	12 020	244	71.8	24.5	76.5 168	71.6 227	73.6 251	79.7 261	86.9 271	94.2 281
Platino:											
Puro	2 045	21 450	133	71.6	25.1	77.5 100	72.6 125	71.8 136	73.2 141	75.6 146	78.7 152
Aleación 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh)	1 800	16 630	162	47	17.4			52 —	59 —	65 —	69 —
Renio	3 453	21 100	136	47.9	16.7	58.9 97	51.0 127	46.1 139	44.2 145	44.1 151	44.6 156
Rodio	2 236	12 450	243	150	49.6	186 147	154 220	146 253	136 274	127 293	121 311

## ANEXO F: Coeficiente de emisividad.

Tabla A.11 Emisividad total, normal ( $\epsilon_n$ ) o hemisférica ( $\epsilon_h$ ) de superficies seleccionadas

Descripción/composición		Emisividad, $\epsilon_n$ o $\epsilon_h$ , a varias temperaturas (K)								
		100	200	300	400	600	800	1000	1200	
<b>Sólidos metálicos y sus óxidos<sup>a</sup></b>										
Aluminio										
	Altamente pulido, película	( $\epsilon_h$ )	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06			
	Hoja, brillante	( $\epsilon_h$ )	0.06	0.06	0.07					
	Anodizado	( $\epsilon_h$ )			0.82	0.76				
Cromo										
	Pulido o plateado	( $\epsilon_h$ )	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14			
Cobre										
	Altamente pulido	( $\epsilon_h$ )			0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	
	Establemente oxidado	( $\epsilon_h$ )					0.50	0.58	0.80	
Oro										
	Altamente pulido o película	( $\epsilon_h$ )	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	
	Hoja, brillante	( $\epsilon_h$ )	0.06	0.07	0.07					
Molibdeno										
	Pulido	( $\epsilon_h$ )					0.06	0.08	0.10	0.12
	Limpiado con chorro de perdigones, áspero	( $\epsilon_h$ )					0.25	0.28	0.31	0.35
	Establemente oxidado	( $\epsilon_h$ )					0.80	0.82		
Níquel										
	Pulido	( $\epsilon_h$ )					0.09	0.11	0.14	0.17
	Establemente oxidado	( $\epsilon_h$ )					0.40	0.49	0.57	
Platino										
	Pulido	( $\epsilon_h$ )						0.10	0.13	0.15
Plata										
	Pulida	( $\epsilon_h$ )			0.02	0.02	0.03	0.05	0.08	
Aceros inoxidables										
	Típico, pulido	( $\epsilon_h$ )			0.17	0.17	0.19	0.23	0.30	
	Típico, limpio	( $\epsilon_h$ )			0.22	0.22	0.24	0.28	0.35	
	Típico, ligeramente oxidado	( $\epsilon_h$ )						0.33	0.40	
	Típico, altamente oxidado	( $\epsilon_h$ )						0.67	0.70	0.76
	ANSI 347, establemente oxidado	( $\epsilon_h$ )					0.87	0.88	0.89	0.90
Tantalio										
	Pulido	( $\epsilon_h$ )								0.11
Tungsteno										
	Pulido	( $\epsilon_h$ )						0.10	0.13	

**ANEXO G: Propiedades mecánicas del acero.**

<b>Propiedades mecánicas</b>						
Norma Americana						
Norma ASTM A 500 Grado del Acero	Propiedades Mecánicas (mínimas)					
	<i>Límite de Fluencia</i> <i>Mpa (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Límite de Fluencia</i> <i>psi</i>	<i>Resistencia a la Tracción</i> <i>Mpa (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Resistencia a la Tracción</i> <i>psi</i>	<i>% Elong</i>	
Circular	A	228 (2.320)	33,000	310 (3.170)	45,000	25
	B	290 (2.955)	42,000	400 (4.080)	58,000	23
	C	317 (3.230)	46,000	427 (4.360)	62,000	21(*)
Cuadrado y rectangular	A	269 (2.740)	39,000	310 (3.170)	45,000	25
	B	317 (3.230)	46,000	400 (4.080)	58,000	23
	C	345 (3.515)	50,000	427 (4.360)	62,000	21(*)

(\*) Para espesores menores a 3,00 mm, el valor mínimo de elongación garantizado es de 15%

## ANEXO H: Constantes elásticas y físicas de materiales


Constantes elásticas y físicas de materiales								
Material	Modulus of Elasticity E		Modulus of Rigidity G		Relación de poisson $\nu$	Unit Weight w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lbf/in <sup>3</sup>	lbf/ft <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Aluminio y sus aleaciones	10.4	71.7	3.9	26.9	0.333	0.098	169	26.6
Cobre al Berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Acero al Carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Hierro colado (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Madera (abeto Douglas)	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Níquel Plata	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Acero al Níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Bronce Fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Acero Inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0
Aleaciones de Titanio	16.5	114.0	6.2	42.4	0.340	0.160	276	43.4

# ANEXO I: Resistencias para horno y estufa.

## M8GRK

## GRUPO 2 - Resistencias para aire

2.12 - Resistencias para horno y estufa



**C AU US**  
(Opcional)

**Características generales**

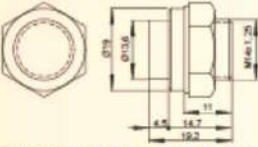
- Elementos tubulares blindados en acero inoxidable AISI 304 o AISI 321 de Ø10 mm, resistencia aislada con óxido de magnesio electrofundido y comprimido por laminación.
- Borne BM4-P de M4.
- Racores engrampados de acero zincado, rosca M14 paso 1'25 mm
- Tensión normalizada ~230 V

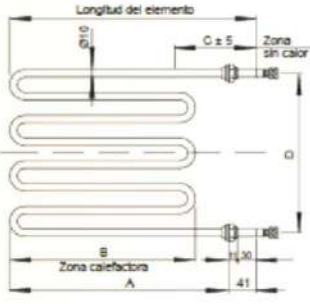
**Aplicaciones usuales**

- Aire acondicionado
- Estufas aire recirculado
- Estufas aire estático
- Calor negro
- Secado industrial textil
- Recalentamiento triocetileno vapores
- Hornos de retráctado del plástico
- Hornos en general
- Mesas o armarios calientes
- Aerotermos
- Conectores de aire caliente
- Reactores químicos

Código	Dimensiones en mm				Longitud del elemento	Wattos	W/cm <sup>2</sup>	Clase térmica constructiva Electricfor	Peso En Kg
	A	B	C	D					
M8GRK1	250	236	100	170	291	1000	1,8	T-700-T	0,75
M8GRK1,5	251	237	100	175	292	1500	2,6	T-700-T	0,75

**Dimensiones del racor engrampado M14x1'25**






Relación entre la temperatura máxima de ambiente del horno o estufa en la zona de resistencias (donde debe ir colocado un sensor de seguridad). Consulte nuestros reguladores de temperatura en las páginas nº 117, 118 y 119) y la carga en W/cm<sup>2</sup> de las resistencias.

W/cm <sup>2</sup>	Aire en reposo	Aire recirculado a 1 m/seg. en zona de resistencias	Aire recirculado a 2 m/seg. en zona de resistencias	Aire recirculado a 3 m/seg. en zona de resistencias	Aire recirculado a 4 m/seg. en zona de resistencias
1,8	450 °C.	500 °C	530 °C	560 °C	580 °C
2,5 a 3,1	350 °C.	380 °C	430 °C	470 °C	500 °C
4,1 a 4,7	Temp. amb. máx. 80 °C.	175 °C	275 °C	340 °C	400 °C

Máxima temperatura ambiente en zona de resistencias.

**NOTA IMPORTANTE:** La temperatura ambiental dentro de la cámara del horno o estufa será siempre inferior en 25-350 °C de la zona de resistencias en función de la buena circulación de aire, de las cargas de material y frecuencia de las mismas.

Debido a que estas resistencias normalmente trabajan en ambientes hasta 350 °C, el racor es de acero zincado. Si se tuviera que trabajar a temperaturas superiores, es conveniente utilizar un racor de acero inoxidable. Consulte con nuestro Dpto. Técnico Comercial.



## ANEXO J: Características Técnicas de Arduino Uno.

### Características técnicas del ARDUINO UNO

Arduino es una placa con un microcontrolador de la marca Atmel y con toda la circuitería de soporte, que incluye, reguladores de tensión, un puerto USB (En los últimos modelos, aunque el original utilizaba un puerto serie) conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier PC de manera cómoda y también hacer pruebas de comunicación con el propio chip.

Un arduino dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales digitales de 0 y 5 V.

También dispone de entradas y salidas analógicas. Mediante las entradas analógicas podemos obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje. Las salidas analógicas suelen utilizarse para enviar señales de control en forma de señales PWM.

Arduino UNO tiene dos variantes, la Arduino UNO convencional y la Arduino UNO SMD. La única diferencia entre ambas es el tipo de microcontrolador que montan.

- La primera es un microcontrolador Atmega en formato DIP.
- Y la segunda dispone de un microcontrolador en formato SMD.

Nosotros nos decantaremos por la primera porque nos permite programar el chip sobre la propia placa y después integrarlo en otros montajes.



*Arduino UNO con microcontrolador en formato DIP*



*Arduino UNO con microcontrolador en formato SMD*

#### **Entradas y salidas:**

---

Cada uno de los 14 pines digitales se puede usar como entrada o como salida. Funcionan a 5V, cada pin puede suministrar hasta 40 mA. La intensidad máxima de entrada también es de 40 mA.

Cada uno de los pines digitales dispone de una resistencia de pull-up interna de entre 20K $\Omega$  y 50 K $\Omega$  que está desconectada, salvo que nosotros indiquemos lo contrario.

Arduino también dispone de 6 pines de entrada analógicos que trasladan las señales a un conversor analógico/digital de 10 bits.

### Pines especiales de entrada y salida:

- RX y TX: Se usan para transmisiones serie de señales TTL.
- Interrupciones externas: Los pines 2 y 3 están configurados para generar una interrupción en el atmega. Las interrupciones pueden dispararse cuando se encuentra un valor bajo en estas entradas y con flancos de subida o bajada de la entrada.
- PWM: Arduino dispone de 6 salidas destinadas a la generación de señales PWM de hasta 8 bits.
- SPI: Los pines 10, 11, 12 y 13 pueden utilizarse para llevar a cabo comunicaciones SPI, que permiten trasladar información full dúplex en un entorno Maestro/Eslavo.
- I<sup>2</sup>C: Permite establecer comunicaciones a través de un bus I<sup>2</sup>C. El bus I<sup>2</sup>C es un producto de Phillips para interconexión de sistemas embebidos. Actualmente se puede encontrar una gran diversidad de dispositivos que utilizan esta interfaz, desde pantallas LCD, memorias EEPROM, sensores...

### Alimentación de un Arduino

---

Puede alimentarse directamente a través del propio cable USB o mediante una fuente de alimentación externa, como puede ser un pequeño transformador o, por ejemplo una pila de 9V. Los límites están entre los 6 y los 12 V. Como única restricción hay que saber que si la placa se alimenta con menos de 7V, la salida del regulador de tensión a 5V puede dar menos que este voltaje y si sobrepasamos los 12V, probablemente dañaremos la placa.

La alimentación puede conectarse mediante un conector de 2,1mm con el positivo en el centro o directamente a los pines Vin y GND marcados sobre la placa.

Hay que tener en cuenta que podemos medir el voltaje presente en el jack directamente desde Vin. En el caso de que el Arduino esté siendo alimentado mediante el cable USB, ese voltaje no podrá monitorizarse desde aquí.

### Resumen de características Técnicas

---

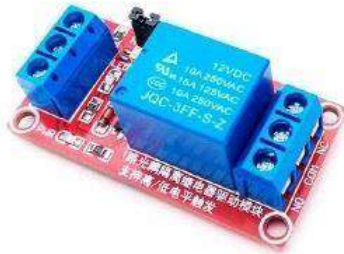
Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Límite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

## ANEXO K: Ficha Técnicas del Módulo Relay.

### Ficha técnica

Módulo Relé DC12V - 220V

LEDBOX®



### Módulo Relé DC12V - 220V

El relé DC12V CONTACT es fácil de usar y se cablea rápidamente. La tensión de control del relé de acoplamiento es de 12 V DC. El contacto conmutado libre de potencial del relé le hace un elemento de conmutación ideal para tu sistema.

#### ESPECIFICACIONES

Amperios (mA)	6000mA
Interior-exterior	Interior
Etiqueta energética	A++



Referencia  
LD2013066

Dimensiones del producto  
12x12x5mm

Dimensiones del packaging  
2x4x2cm

Certificados  
CE  
ROHS

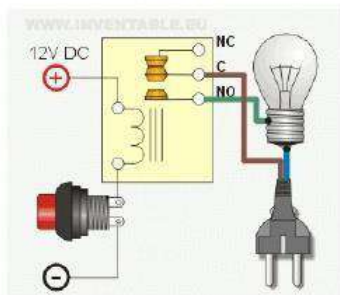
#### DETALLES

El relé DC12V CONTACT es fácil de usar y se cablea rápidamente. La tensión de control del relé de acoplamiento es de 12 V DC. El contacto conmutado libre de potencial del relé le hace un elemento de conmutación ideal para tu sistema.

- o Número de contactos: 1 contacto conmutado
- o Corriente nominal (A): 10A
- o Tensión nominal/Tensión max (V): 10A 250VAC

- o Carga nominal en AC1 (VA): 2500 VA
- o Material de los contactos: AgNi
- o Tensión de alimentación: 12V
- o Versión de la bobina: DC
- o Vida eléctrica a plena carga en AC1 (ciclos): 200.000
- o Temperatura ambiente (°C): -40+85 °C
- o Dimensiones (mm): 35x15x25 mm

#### Instalación





## **ANEXO L: Características Técnicas de la Termocupla tipo K y el Módulo Max 6675.**

### **Características de la Termocupla:**

- Termocupla Tipo K de tornillo
- permite medir directamente todo tipo de proceso de producción desde 0 ~ 800°C
- Usado en líquido, vapor, gas o la superficie de un sólido.
- Rosca M6
- Longitud de cable: 1 metro
- Rango de Temperatura: 0 – 800°C
- Longitud del sensor: 25mm

### **Características de MAX6675:**

- Interfaz compatible con SPI sólo de lectura
- Resolución: 12 bits
- Medición hasta 1024 °C (con la termocupla adecuada)
- Alimentación: 3.3 a 5 volts
- Frecuencia de reloj SPI máxima F<sub>scl</sub> 4.3 Mhz
- Tiempo de conversión: 0.17 s (máximo 0.22 segundos)
- Consumo máximo: 1.5 mA

## **Pantalla LCD 1602 con módulo I2C soldado – Display 16×2 dígitos**

### **Especificaciones técnicas**

- Referencia: LCD 1602 I2C
- Interface: IIC/I2C
- Tipo de pantalla: STN, Reflective, azul negativo
- Voltaje de funcionamiento: 5V DC
- Luz de fondo: azul
- Contraste ajustable: si (con potenciómetro interno)
- Resolución: 16×2 (caracteres x líneas)



**ANEXO N:** Ficha técnica del horno eléctrico.

<b>HORNO ELÉCTRICO</b>	
<b>ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS</b>	
Tensión de alimentación	220 V
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Potencia nominal	3,2 kW
Intensidad de corriente de funcionamiento	14,5 A
<b>ESPECIFICACIONES FÍSICAS</b>	
Peso	2000 kg
<b>Dimensiones externas</b>	
Largo	1,50 m
Ancho	1,50 m
Altura	1,60 m
<b>Dimensiones internas</b>	
Largo	1,25 m
Ancho	1,25 m
Altura	0,50 m
<b>ESPECIFICACIONES TÉRMICAS</b>	
Temperatura máxima de operación	339 °C
Temperatura de operación	(15-339) °C
Eficiencia térmica	68%
<b>CAPACIDAD OPERATIVA</b>	
Material a tratar	Polipropileno
Temperatura de fusión máxima	200 °C
Temperatura de fusión mínima	170 °C

## ANEXO O: La codificación de Programación en el software Arduino 1.8.5

```
1|     int PULSADOR1=4;
2|     int LUZ=7;
3|     int RELAY=5;
4|     int POT=0;
5|     int TMAX;           //Temperatura máxima de funcionamiento
6|     int VMIN=25;       //Valor máximo del rango de temperatura permisible
7|     int VMAX=300;      //Valor máximo del rango de temperatura permisible
8|     String ESTADO;
9|     #include<max6675.h>
10|    int CSK=10;
11|    int CS=9;
12|    int SO=8;
13|    MAX6675 termopar(CSK,CS,SO);
14|    int TACT;           //Temperatura actual del horno
15|    #include <Wire.h>
16|    #include <LCD.h>
17|    #include <LiquidCrystal_I2C.h>
18|    LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);
19| void setup()
20|
21|     pinMode(PULSADOR1,INPUT);
22|     pinMode(LUZ,OUTPUT);
23|     pinMode(RELAY,OUTPUT);
24|     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), PULSADOR2,LOW);
25|     digitalWrite(RELAY,HIGH);
26|     Serial.begin(9600);
27|     lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
28|     lcd.setBacklight(HIGH);
29|     lcd.begin(16, 2);
30|     lcd.clear();
31|
32| void loop()
33|
34|     TMAX=map(analogRead(POT),0,1023,VMIN,VMAX);
35|     delay(100);
36|     TACT=termopar.readCelsius();
37|     Serial.print(TACT);
38|     Serial.println(" °C");
```

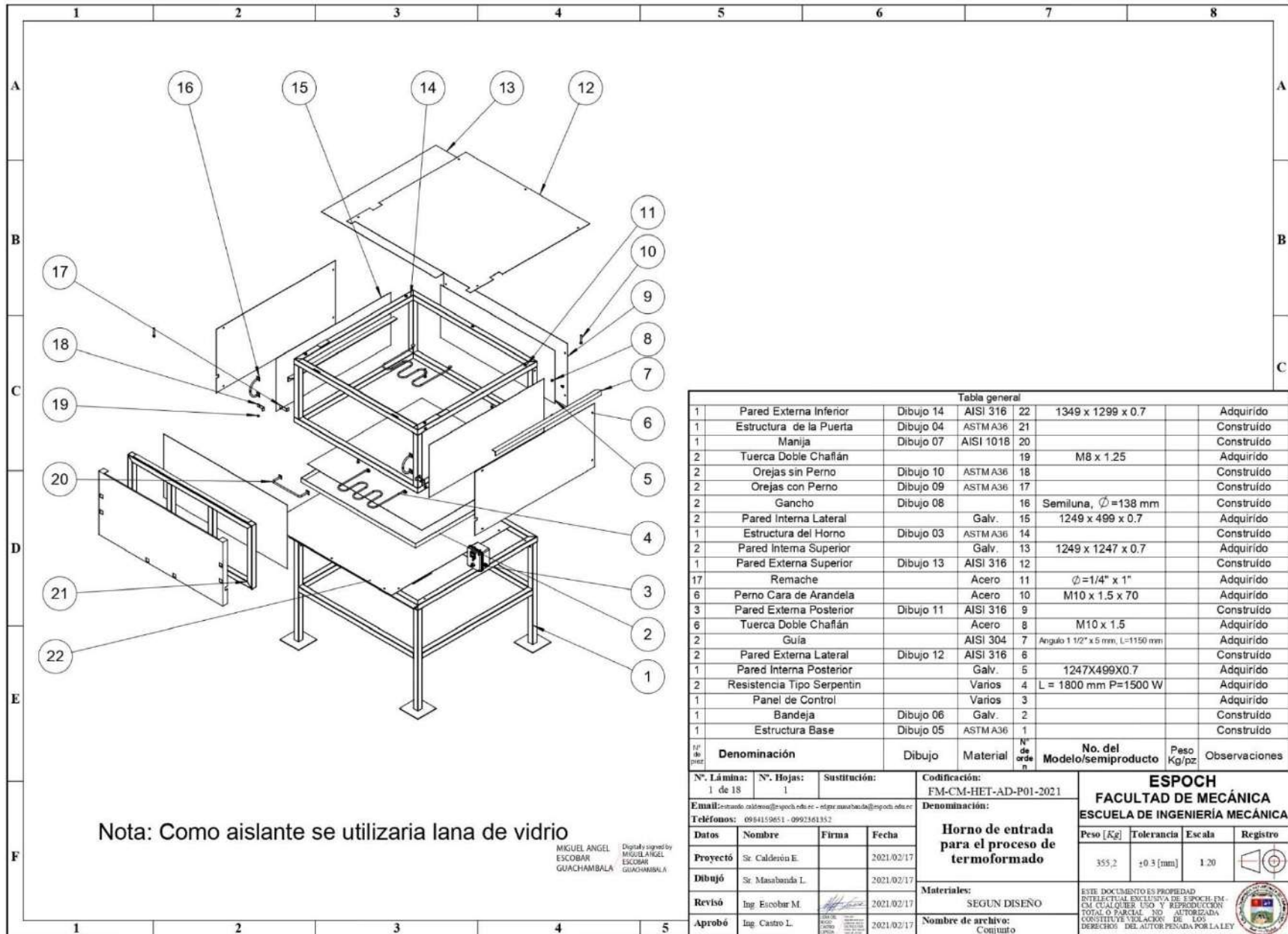
```

39|     delay(500);
40|     if(TACT<=TMAX && digitalRead(PULSADOR1)==HIGH)
42|         digitalWrite(LUZ,HIGH);
43|         digitalWrite(RELAY,LOW);
45|     else
47|         if(TACT>TMAX)
49|             digitalWrite(LUZ,LOW);
50|             digitalWrite(RELAY,HIGH);
53|     if(digitalRead(LUZ)==LOW)
55|         ESTADO="off";
57|     else
59|         ESTADO="on
61|     if(TACT<100&&TMAX<100)
63|         lcd.setCursor(0,0);
64|         lcd.print("Th:");    //Temperatura actual del horno
65|         lcd.setCursor(4,0);
66|         lcd.print(" ");
67|         lcd.print(TACT);
68|         lcd.print(" C");
69|         lcd.setCursor(13,0);
70|         lcd.print("Es:");    //Estado del horno
71|         lcd.setCursor(0,1);
72|         lcd.print("Tm:");    //Temperatura máxima de funcionamiento
73|         lcd.setCursor(4,1);
74|         lcd.print(" ");
75|         lcd.print(TMAX);
76|         lcd.print(" C");
77|         lcd.setCursor(13,1);
78|         lcd.print(ESTADO);
80|     else
82|         if(TACT<100&&TMAX>=100)
84|             lcd.setCursor(0,0);
85|             lcd.print("Th:");    //Temperatura actual del horno
86|             lcd.setCursor(4,0);
87|             lcd.print(" ");
88|             lcd.print(TACT);
89|             lcd.print(" C");

```

```
90|     lcd.setCursor(13,0);
91|     lcd.print("Es:");    //Estado del horno
92|     lcd.setCursor(0,1);
93|     lcd.print("Tm:");    //Temperatura máxima de funcionamiento
94|     lcd.setCursor(4,1);
95|     lcd.print(TMAX);
96|     lcd.print(" C");
97|     lcd.setCursor(13,1);
98|     lcd.print(ESTADO);
100|    else
102|     lcd.setCursor(0,0);
103|     lcd.print("Th:");    //Temperatura actual del horno
104|     lcd.setCursor(4,0);
105|     lcd.print(TACT);
106|     lcd.print(" C");
107|     lcd.setCursor(13,0);
108|     lcd.print("Es:");    //Estado del horno
109|     lcd.setCursor(0,1);
```

## **ANEXO P:** Planos ingenieriles y de detalle del Equipo



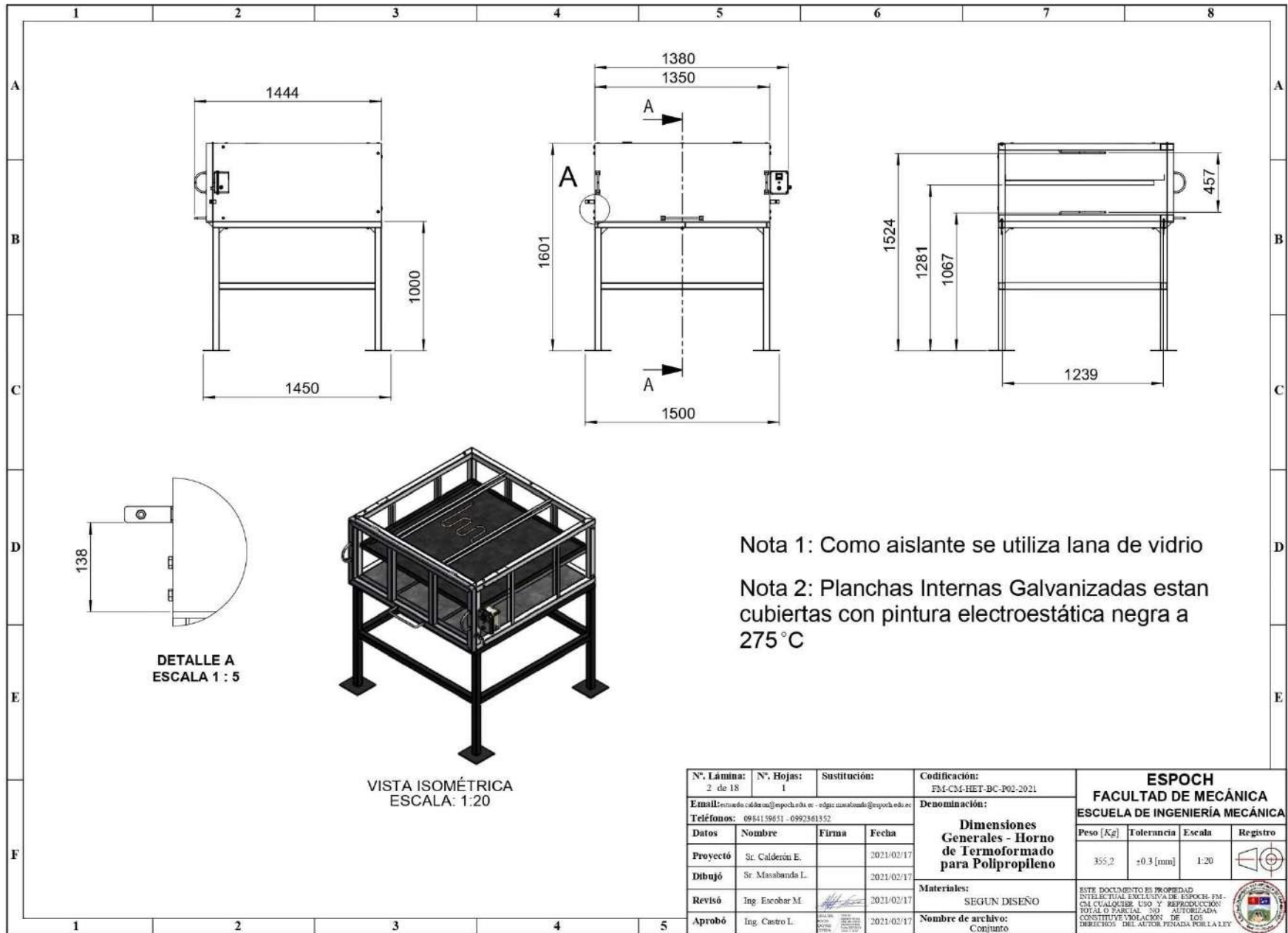
Nota: Como aislante se utilizaria lana de vidrio

Digitally signed by MIGUEL ANGEL ESCOBAR GUACHAMBALA

Tabla general					
Nº de pieza	Denominación	Dibujo	Material	Nº de orden	Observaciones
1	Pared Externa Inferior	Dibujo 14	AISI 316	22	1349 x 1299 x 0,7
1	Estructura de la Puerta	Dibujo 04	ASTM A36	21	
1	Manija	Dibujo 07	AISI 1018	20	
2	Tuerca Doble Chafán			19	M8 x 1.25
2	Orejas sin Perno	Dibujo 10	ASTM A36	18	
2	Orejas con Perno	Dibujo 09	ASTM A36	17	
2	Gancho	Dibujo 08		16	Semiluna, $\phi=138$ mm
2	Pared Interna Lateral		Galv.	15	1249 x 499 x 0,7
1	Estructura del Horno	Dibujo 03	ASTM A36	14	
2	Pared Interna Superior		Galv.	13	1249 x 1247 x 0,7
1	Pared Externa Superior	Dibujo 13	AISI 316	12	
17	Remache		Acero	11	$\phi=1/4"$ x 1"
6	Perno Cara de Arandela		Acero	10	M10 x 1.5 x 70
3	Pared Externa Posterior	Dibujo 11	AISI 316	9	
6	Tuerca Doble Chafán		Acero	8	M10 x 1.5
2	Guía		AISI 304	7	Angulo 1 1/2" x 5 mm, L=1150 mm
2	Pared Externa Lateral	Dibujo 12	AISI 316	6	
1	Pared Interna Posterior		Galv.	5	1247X499X0,7
2	Resistencia Tipo Serpentin		Varios	4	L = 1800 mm P=1500 W
1	Panel de Control		Varios	3	
1	Bandeja	Dibujo 06	Galv.	2	
1	Estructura Base	Dibujo 05	ASTM A36	1	
No. del Modelo/semiproducto		Peso Kg/pz		Observaciones	

Nº. Lámina: 1 de 18	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CM-HET-AD-P01-2021	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
Email: escando.caldero@esPOCH.edu.ec - edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec			Denominación: <b>Horno de entrada para el proceso de termoformado</b>			
Teléfonos: 0984159651 - 0992161352			Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre	Firma	Fecha	Escala	Registro
Proyectó		Sr. Calderón E.		2021.02/17	355,2	±0.3 [mm]
Dibujó		Sr. Masabanda L.		2021.02/17	1:20	
Revisó		Ing. Escobar M.		2021.02/17	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH EN CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY	
Aprobó		Ing. Castro L.		2021.02/17	Nombre de archivo: Conjunto	



Nota 1: Como aislante se utiliza lana de vidrio

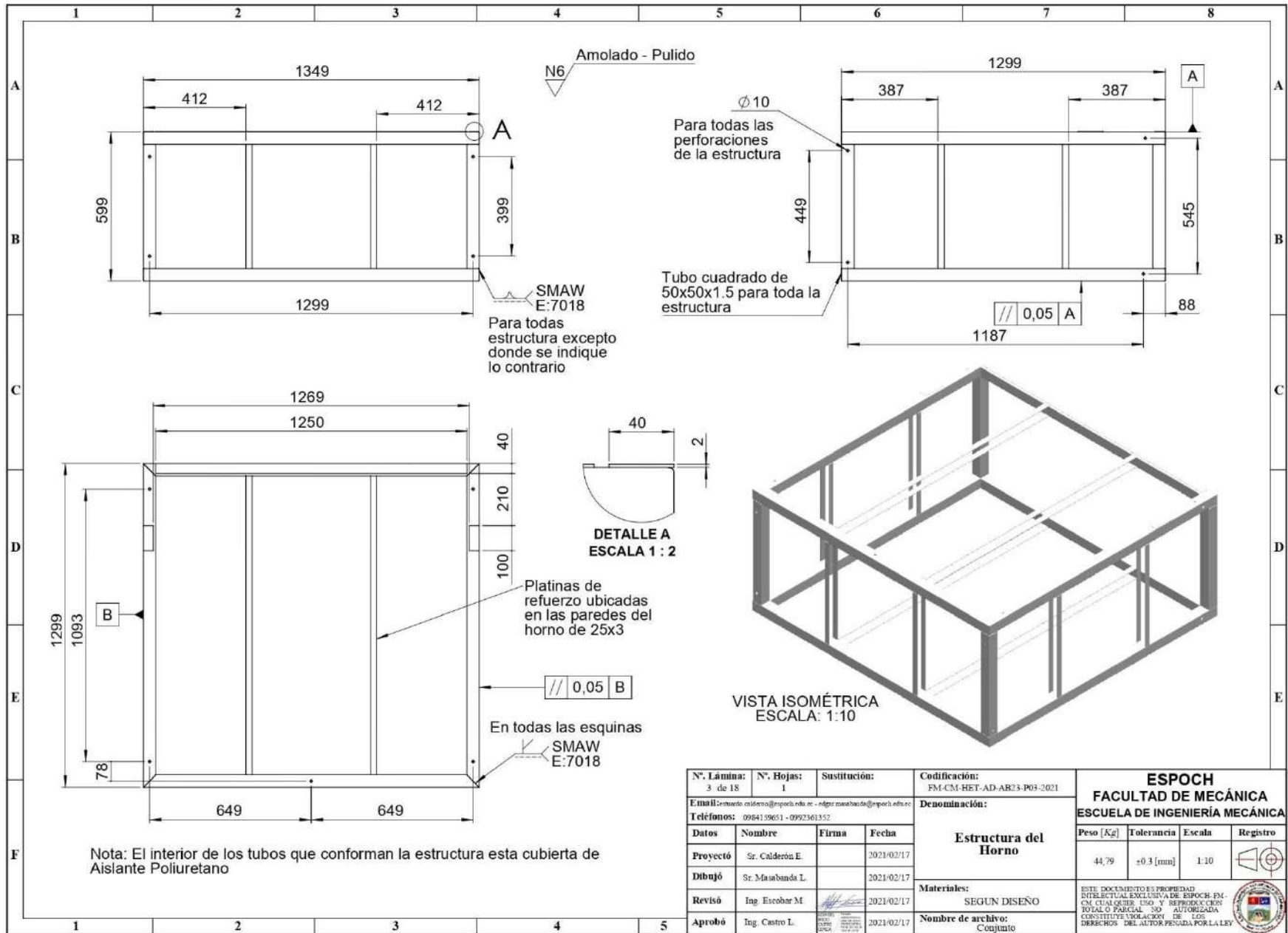
Nota 2: Planchas Internas Galvanizadas estan cubiertas con pintura electroestática negra a 275 °C

DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

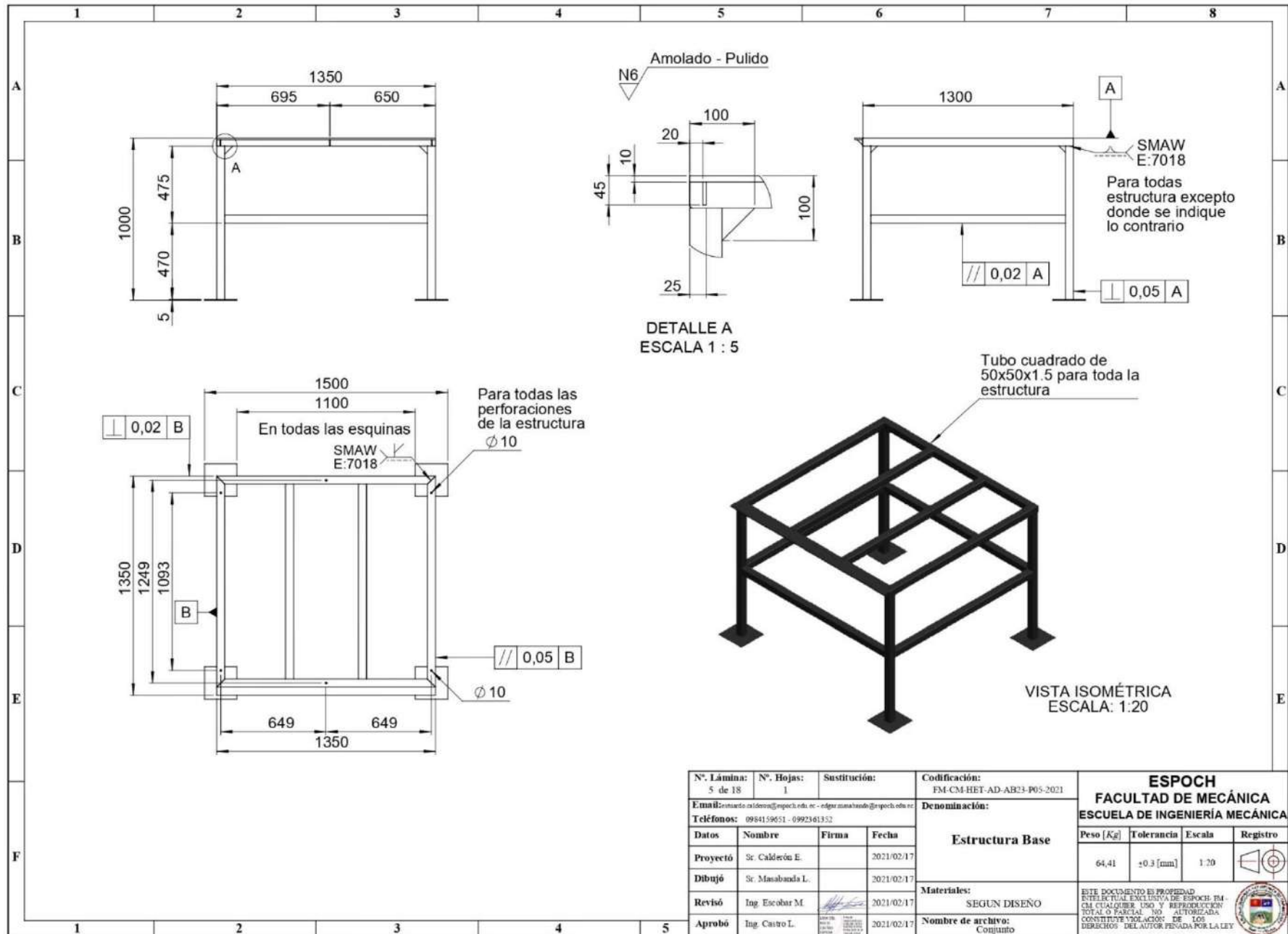
VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA: 1:20

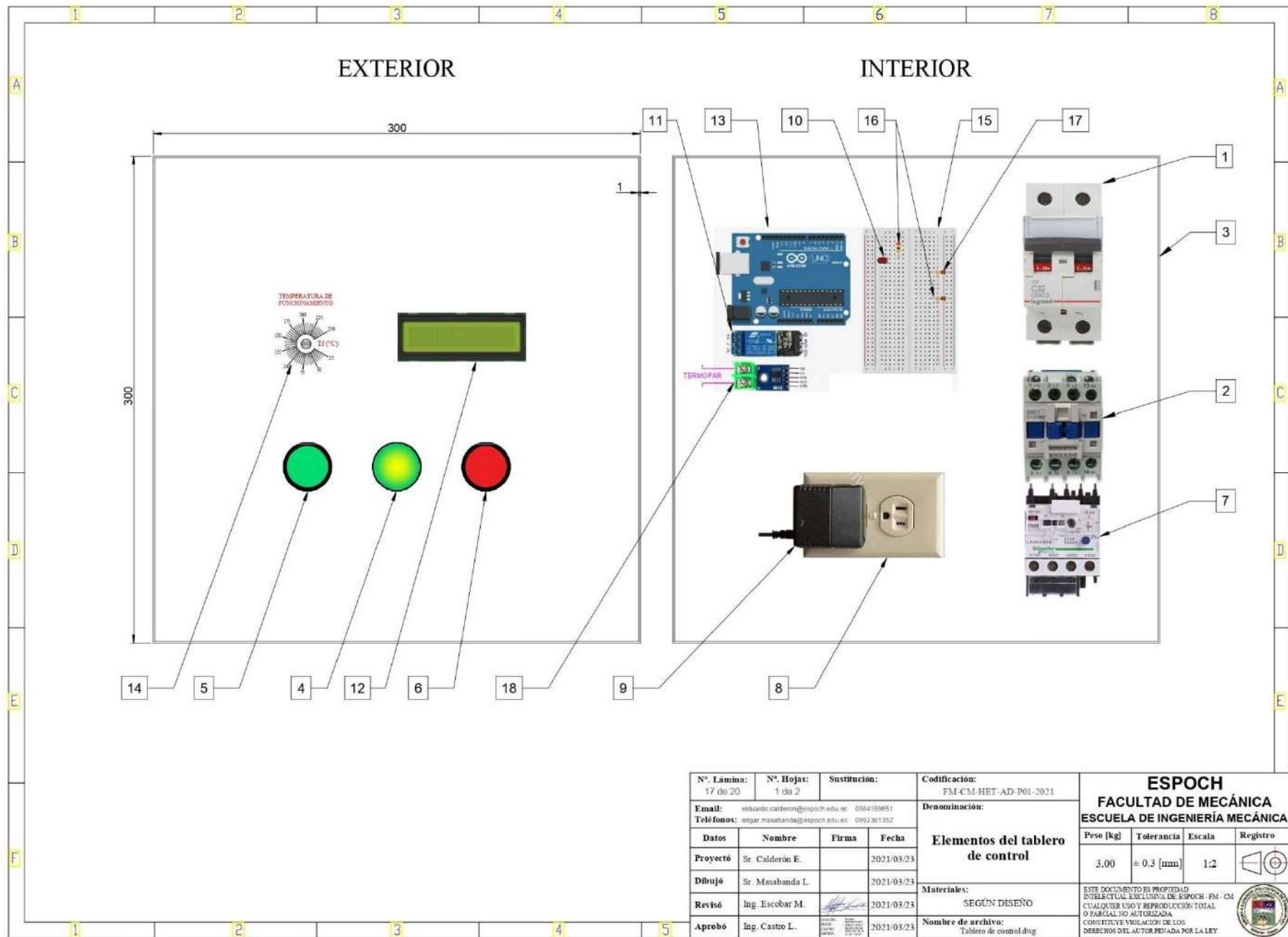
N°. Lámina: 2 de 18	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CM-HET-BC-P02-2021	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
Email: <a href="mailto:estudiocalderon@esPOCH.edu.ec">estudiocalderon@esPOCH.edu.ec</a> - <a href="mailto:edgar.masabunda@esPOCH.edu.ec">edgar.masabunda@esPOCH.edu.ec</a>			Denominación: <b>Dimensiones Generales - Horno de Termoformado para Polipropileno</b>			
Teléfonos: 0984139631 - 0992361352			Peso [Kg]		Tolerancia	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	355,2	±0.3 [mm]	1:20
Proyectó	Sr. Calderón E.		2021/02/17			
Dibujó	Sr. Masabunda L.		2021/02/17			
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/02/17			
Aprobó	Ing. Castro L.		2021/02/17			
Materiales: SEGUN DISEÑO			Nombre de archivo: Conjunto		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH. FM-CM CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 	



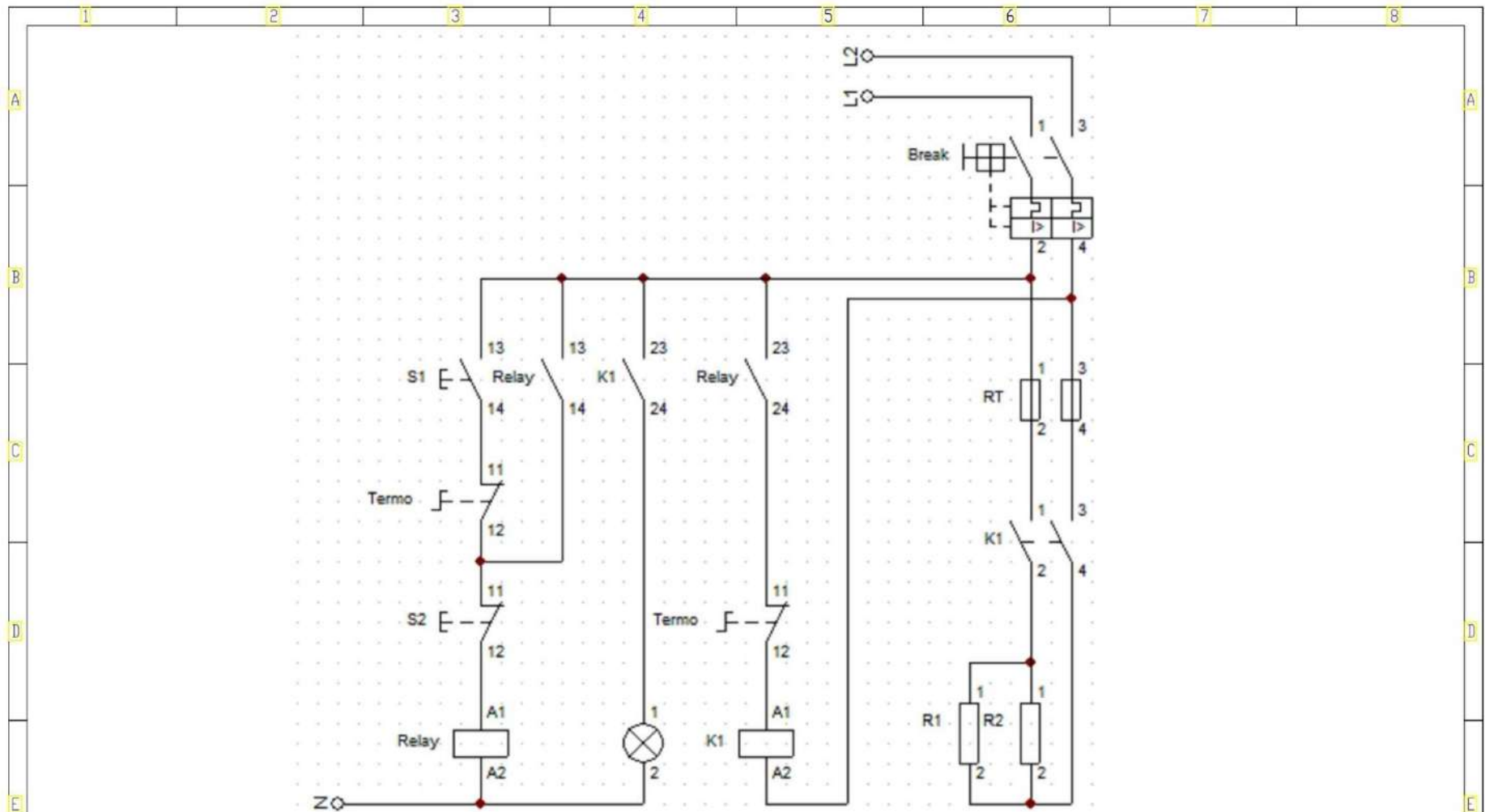


N°. Lámina: 3 de 18	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CM-HET-AD-AR23-P03-2021	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
Email: <a href="mailto:centrocalderas@esPOCH.edu.ec">centrocalderas@esPOCH.edu.ec</a> - <a href="mailto:edger.masabanda@esPOCH.edu.ec">edger.masabanda@esPOCH.edu.ec</a>			Denominación:					
Teléfonos: 0984139651 - 0992361352			<b>Estructura del Horno</b>					
Datos	Nombre	Firma				Fecha	Peso [Kg]	Tolerancia
Proyectó	Sr. Calderón E.					2021/02/17	44,79	±0.3 [mm]
Dibujó	Sr. Masabanda L.					2021/02/17	1:10	
Revisó	Ing. Escobar M.					2021/02/17		
Aprobó	Ing. Castro L.		2021/02/17	Registro				
			Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-EN-CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
			Nombre de archivo: Conjunto					





N°. Lámina: 17 de 20		N°. Hojas: 1 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-CM-HET-AD-P01-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
Email: estuardo.calderon@esPOCH.edu.ec 0984156651		Teléfonos: edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec 0992301352		Denominación: <b>Elementos del tablero de control</b>		Peso [kg] 3,00						Tolerancia ± 0.3 [mm]	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		<b>Materiales:</b> SEGÚN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-CM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA. CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.			
Proyectó		Sr. Calderón E.				2021/03/23							
Dibujó		Sr. Masabanda L.				2021/03/23							
Revisó		Ing. Escobar M.				2021/03/23							
Aprobó		Ing. Castro L.				2021/03/23							
								<b>Nombre de archivo:</b> Tablero de control.dwg					



**CIRCUITO DE CONTROL**

**CIRCUITO DE POTENCIA**

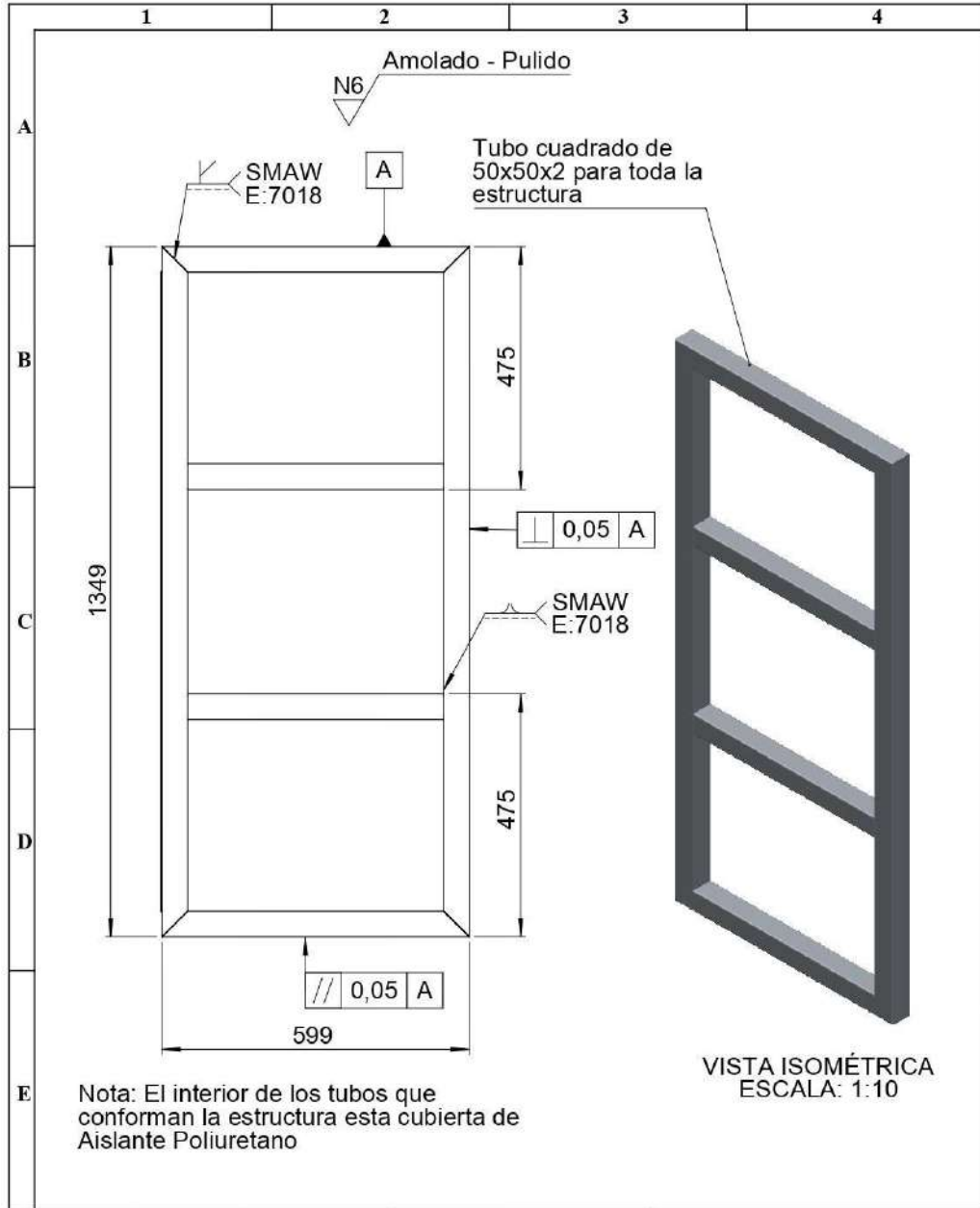
N°. Lámina: 20 de 20		N°. Hojas: 2 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-CM-HET-AD-P01-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
Email: eduardo.calderon@esPOCH.edu.ec		0984199051		Denominación: <b>Diagramas Eléctricos del Horno</b>		Peso [kg]: 3.00						Tolerancia: ± 0.3 [mm]	
Teléfonos: edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec		0992361352		Dato		Nombre		Firma		Fecha		Materiales: SEGÚN DISEÑO	
Proyectó		Sr. Calderón E.		Firma		Fecha		Revisó		Ing. Escobar M.		Este documento es propiedad intelectual exclusiva de ESPOCH-FM-CM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.	
Dibujó		Sr. Masabanda L.		Firma		Fecha		Aprobó		Ing. Castro L.			
Revisó		Ing. Escobar M.		Firma		Fecha		Aprobó		Ing. Castro L.			
Aprobó		Ing. Castro L.		Firma		Fecha		Número de archivo: Tablero de control.dwg					


No. de orden	No. de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
A	1	Breaker bifásico	Según fabricante	20 A
	2	Contactador trifásico	Según fabricante	220 V, 20 A
	3	Gabinete metálico	Según fabricante	30x30x15 cm
	4	Luz piloto verde	Según fabricante	110 V
	5	Pulsador normalmente abierto	Según fabricante	verde
	6	Pulsador normalmente cerrado	Según fabricante	rojo
B	7	Relé térmico	Según fabricante	220 V, 17A - 25 A
	8	Tomacorriente doble	Según fabricante	110 V
	9	Fuente o adaptador	Según fabricante	110 V AC - 12 V DC
	10	Led	Según fabricante	3 V
	11	Módulo relay	Según fabricante	5 V - 220 V 10 A
C	12	Monitor LCD con adaptador	Según fabricante	2x16
	13	Placa arduino uno	Según fabricante	
	14	Potenciómetro	Según fabricante	10 kΩ
	15	Potoboard	Según fabricante	
	16	Resistencia	Según fabricante	10 kΩ
	17	Resistencia	Según fabricante	220 Ω
D	18	Termocupla tipo K con módulo max 675	Según fabricante	
E				

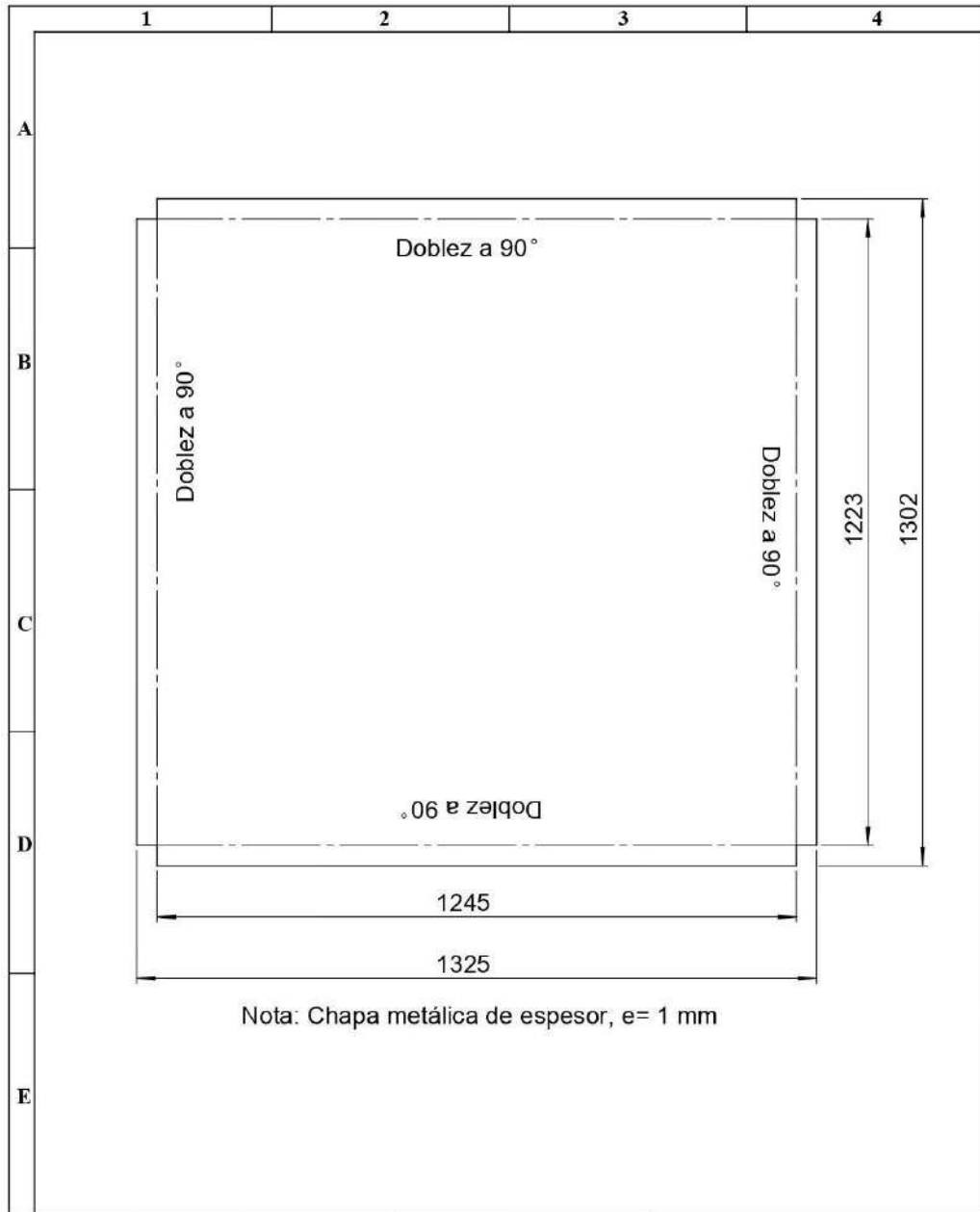
Nº. Lámina: 18 de 20	Nº. Hojas: 2 de 2	Sustitución:	Codificación: FM-CM-HET-AD-P01-2021	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
Email: estuardo.calderon@esPOCH.edu.ec 0984159651 Teléfonos: edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec 0992361352			Denominación:  <b>Lista de materiales del tablero de control</b>		Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	3.00		± 0.3 [mm]	1:1	
Proyecto	Sr. Calderón E.		2021/03/23	Materiales:		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH - FM - CM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY		
Dibujó	Sr. Masabanda L.		2021/03/23	SEGÚN DISEÑO				
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/03/23	Nombre de archivo:				
Aprobó	Ing. Castro L.		2021/03/23	Tablero de control.dwg				

SÍMBOLOS GRÁFICOS BASADOS EN LA NORMA EC 60617			
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
L1, L2	Líneas o fases 1 y 2		Contacto del contactor (K1) o relay (Relay) normalmente abierto
N	Neutro		Bobina del relay (Relay)
	Cable conductor		Bobina del contactor (K1)
	Punto de unión entre cables		Luz piloto verde C5
	Derivación		Breaker bifásico (Break)
	Pulsador normalmente abierto (S1)		Relé térmico (RT)
	Pulsador normalmente cerrado (S2)		Contactor (K1)
	Contacto de temperatura normalmente cerrado (Termo)		Resistencia de calentamiento (R1 y R2)

Nº. Lámina: 19 de 20	Nº. Hojas: 1 de 2	Sustitución:	Codificación: FM-CM-HET-AD-P01-2021	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: estuardo.calderon@espoch.edu.ec 0984159551 Teléfonos: edgar.masabanda@espoch.edu.ec 0992361352			Denominación:  <b>Símbolos gráficos para los Diagramas Eléctricos</b>	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	3.00	± 0.3 [nm]	1:1	
Proyectó	Sr. Calderón E.		2021/03/23	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH - FM - CM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Dibujó	Sr. Masabanda L.		2021/03/23				
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/03/23				
Aprobó	Ing. Castro L.		2021/03/23	Nombre de archivo: Tablero de control.dwg			



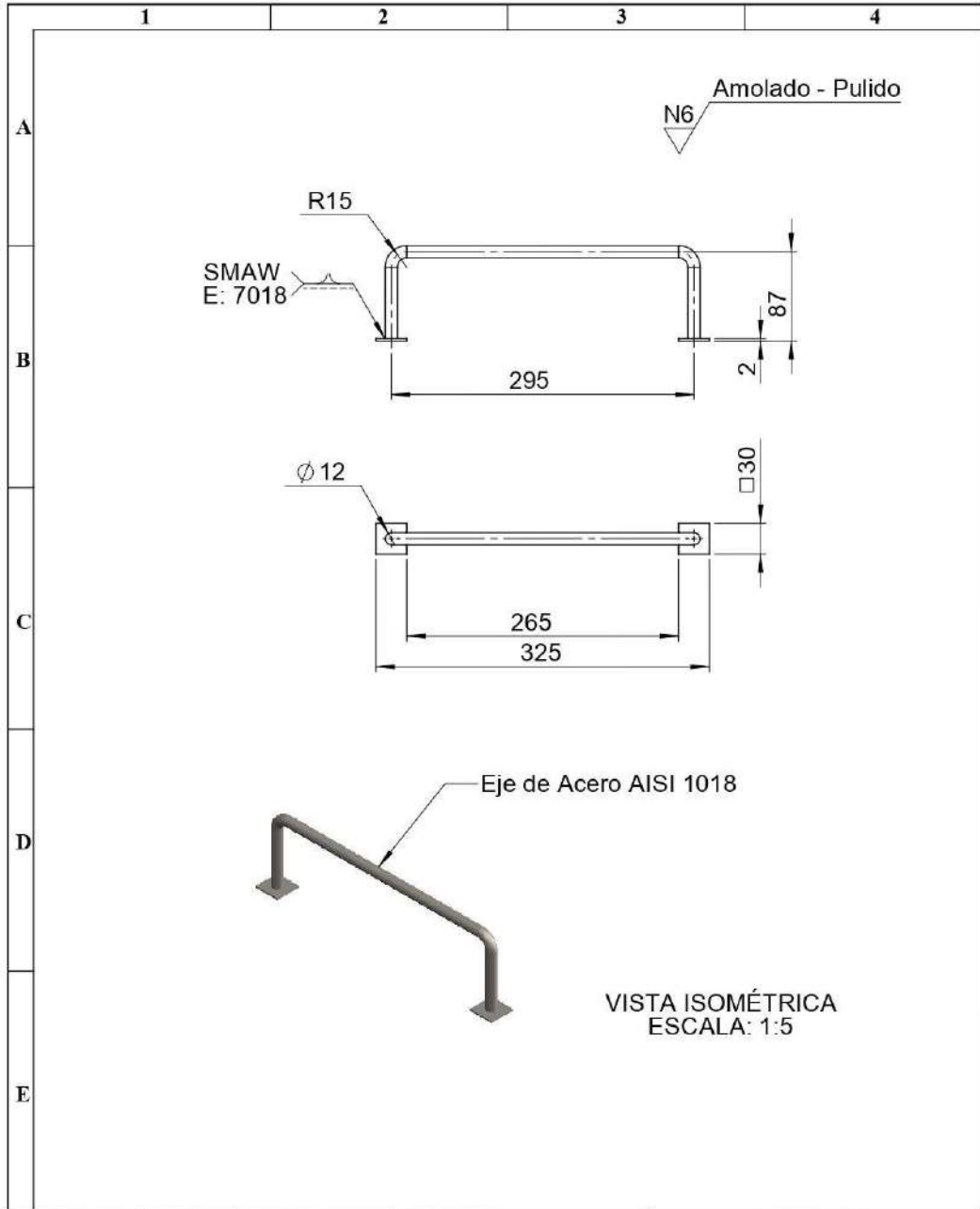
Nº. Lámina: 4 de 18	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CM-HET-AD-BD12-P04-2021	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: esuardo.calderon@esPOCH.edu.ec - edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec			Denominación: <b>Estructura de la Puerta</b>				
Teléfonos: 0984159651 - 0992361352			Peso [Kg]   Tolerancia   Escala   Registro				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	57,1	±0.3 [mm]	1:10	
Proyectó	Sr. Calderón E.		2021/02/17	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-CM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY. 			
Dibujó	Sr. Masabanda L.		2021/02/17				
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/02/17				
Aprobó	Ing. Castro L.		2021/02/17				
			Materiales: SEGUN DISEÑO				
			Nombre de archivo: Conjunto				



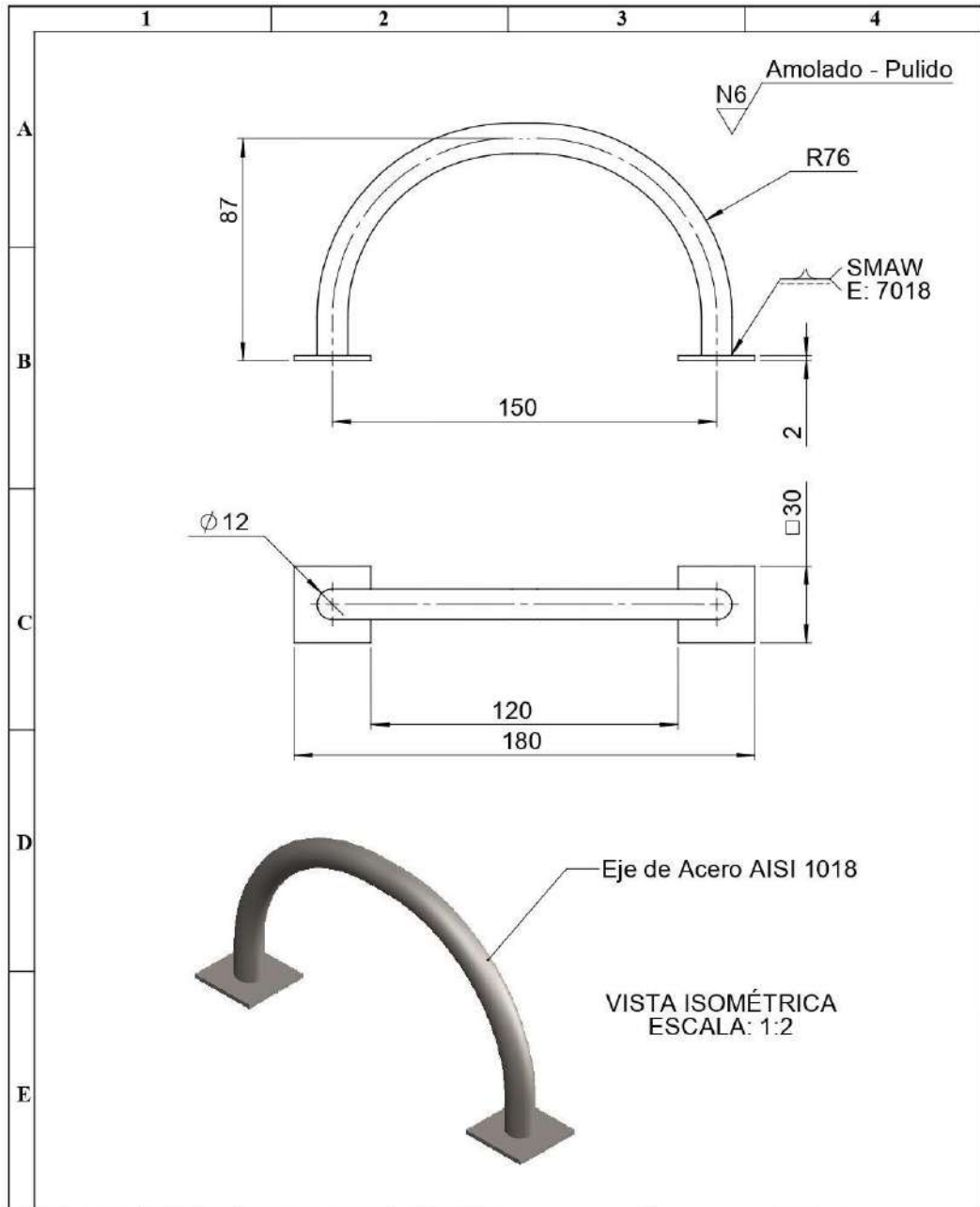
Nota: Chapa metálica de espesor, e= 1 mm

N°. Lámina: 6 de 18		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CM-HET-AD-AD14-P06-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: estuardo.calderon@esPOCH.edu.ec - edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec						Denominación:  <b>Bandeja</b>						Peso [Kg]		Tolerancia	
Teléfonos: 0984159651 - 0992361352								±0.3 [mm]		1:10					
Datos		Nombre		Firma		Fecha		<b>Materiales:</b> SEGUN DISEÑO  <b>Nombre de archivo:</b> Conjunto				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-EM-EN CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Proyectó		Sr. Calderón E.				2021/02/17									
Dibujó		Sr. Masabanda L.				2021/02/17									
Revisó		Ing. Escobar M.				2021/02/17									
Aprobó		Ing. Castro L.				2021/02/17									

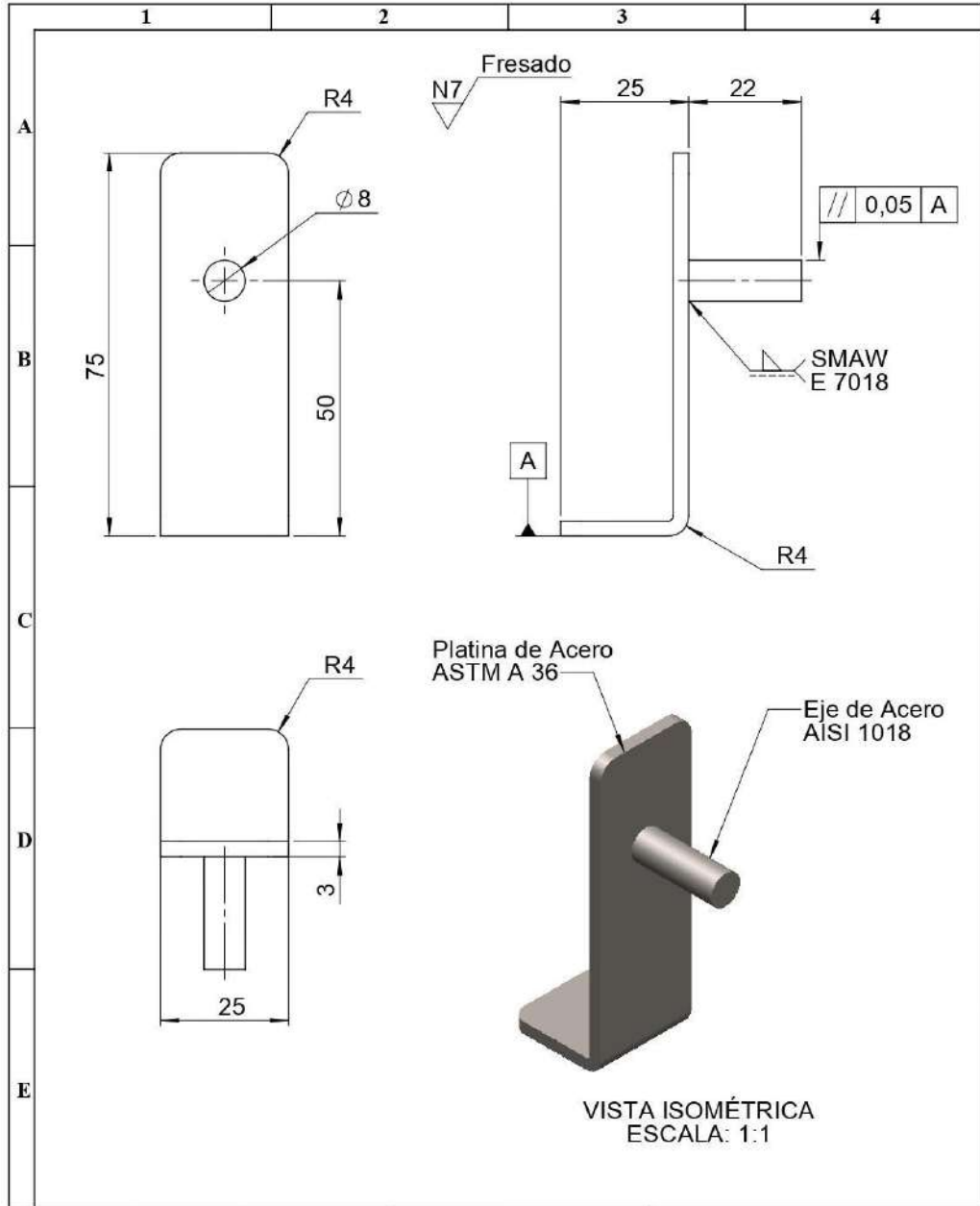




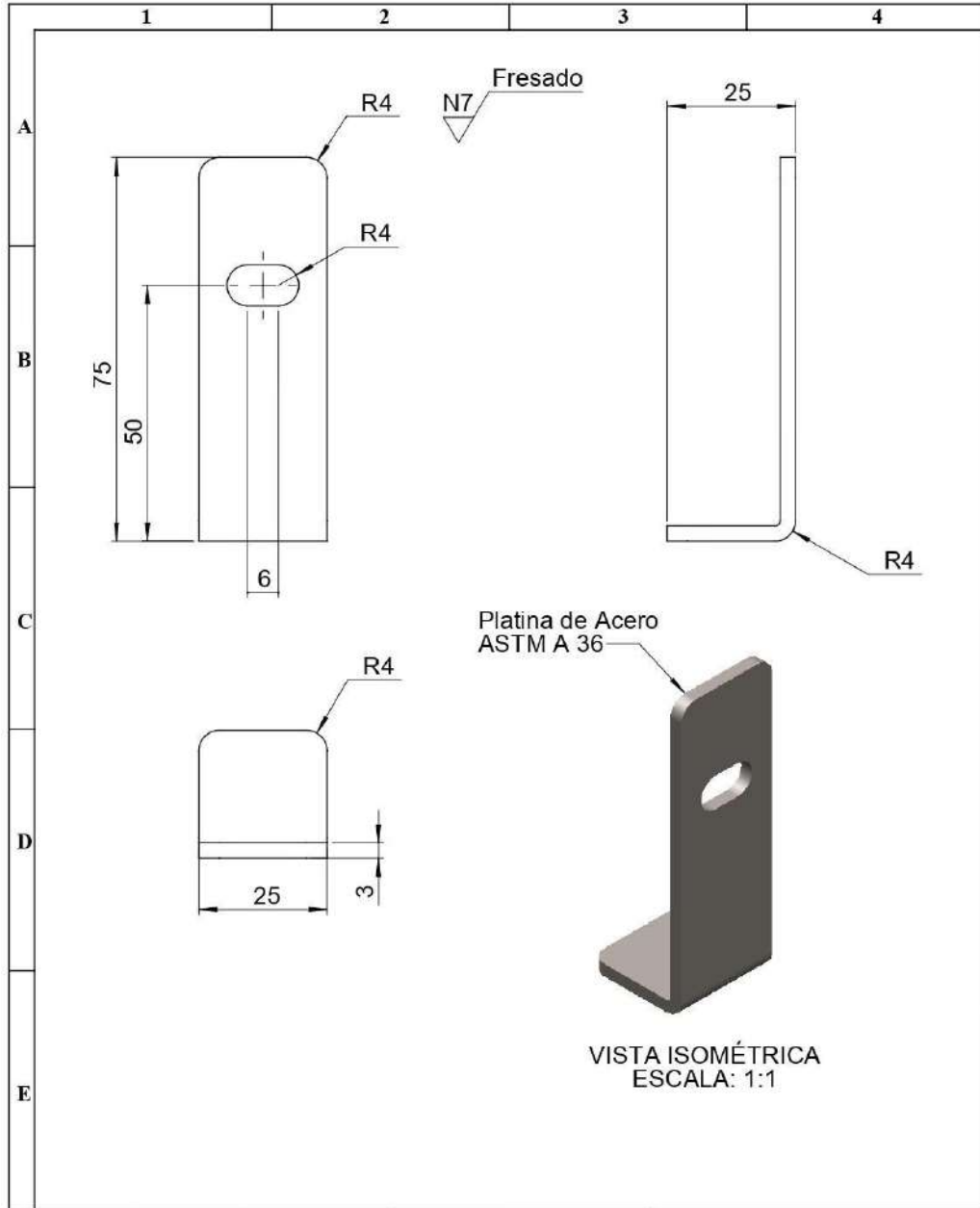
N°. Lámina: 7 de 18		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CM-HET-AD-AB23-P07-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: <a href="mailto:esuardo.calderon@esPOCH.edu.ec">esuardo.calderon@esPOCH.edu.ec</a> - <a href="mailto:edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec">edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec</a>						<b>Manija</b>					
Teléfonos: 0984159651 - 0992361352											
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Materiales:</b> SEGUN DISEÑO		<b>Peso [Kg]</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Escala</b>	<b>Registro</b>		
<b>Proyectó</b>	Sr. Calderón E.		2021/02/17	<b>Nombre de archivo:</b> Conjunto		0,43	±0,3 [mm]	1:5			
<b>Dibujó</b>	Sr. Masabanda L.		2021/02/17								
<b>Revisó</b>	Ing. Escobar M.		2021/02/17			<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH. FM-CM CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>					
<b>Aprobó</b>	Ing. Castro L.		2021/02/17								



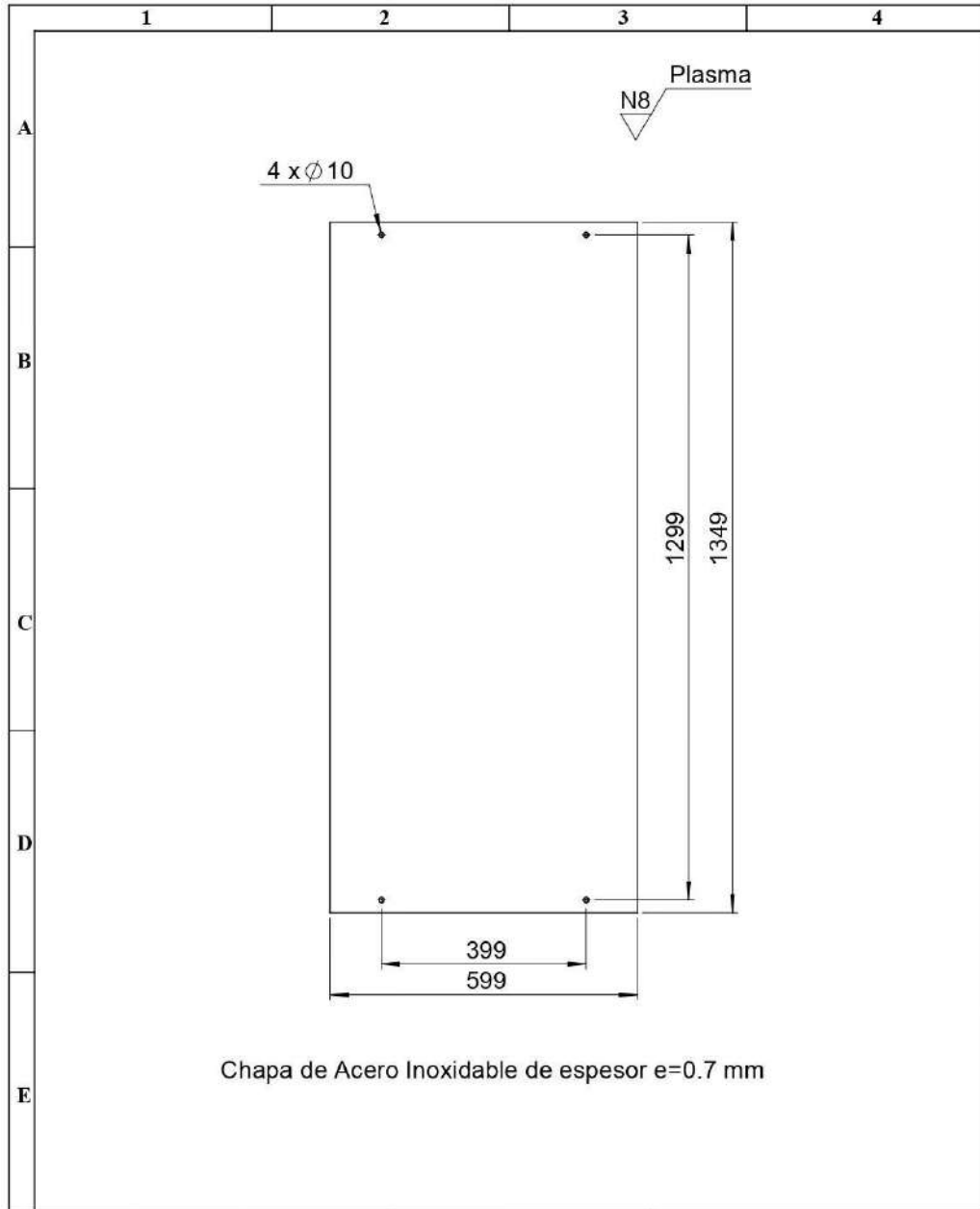
N°. Lámina: 8 de 18		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CM-HET-AD-AB23-P08-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: esuardo.esneideron@esPOCH.edu.ec - edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec						Denominación:  <b>Gancho</b>									
Teléfonos: 0984159651 - 0992361352						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro			
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0,26		±0.3 [mm]		1:2			
Proyectó		Sr. Calderón E.				2021/02/17		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-CM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR. PENADA POR LA LEY.							
Dibujó		Sr. Masabanda L.				2021/02/17									
Revisó		Ing. Escobar M.				2021/02/17									
Aprobó		Ing. Castro L.				2021/02/17									
						Materiales: SEGUN DISEÑO		Nombre de archivo: Conjunto							



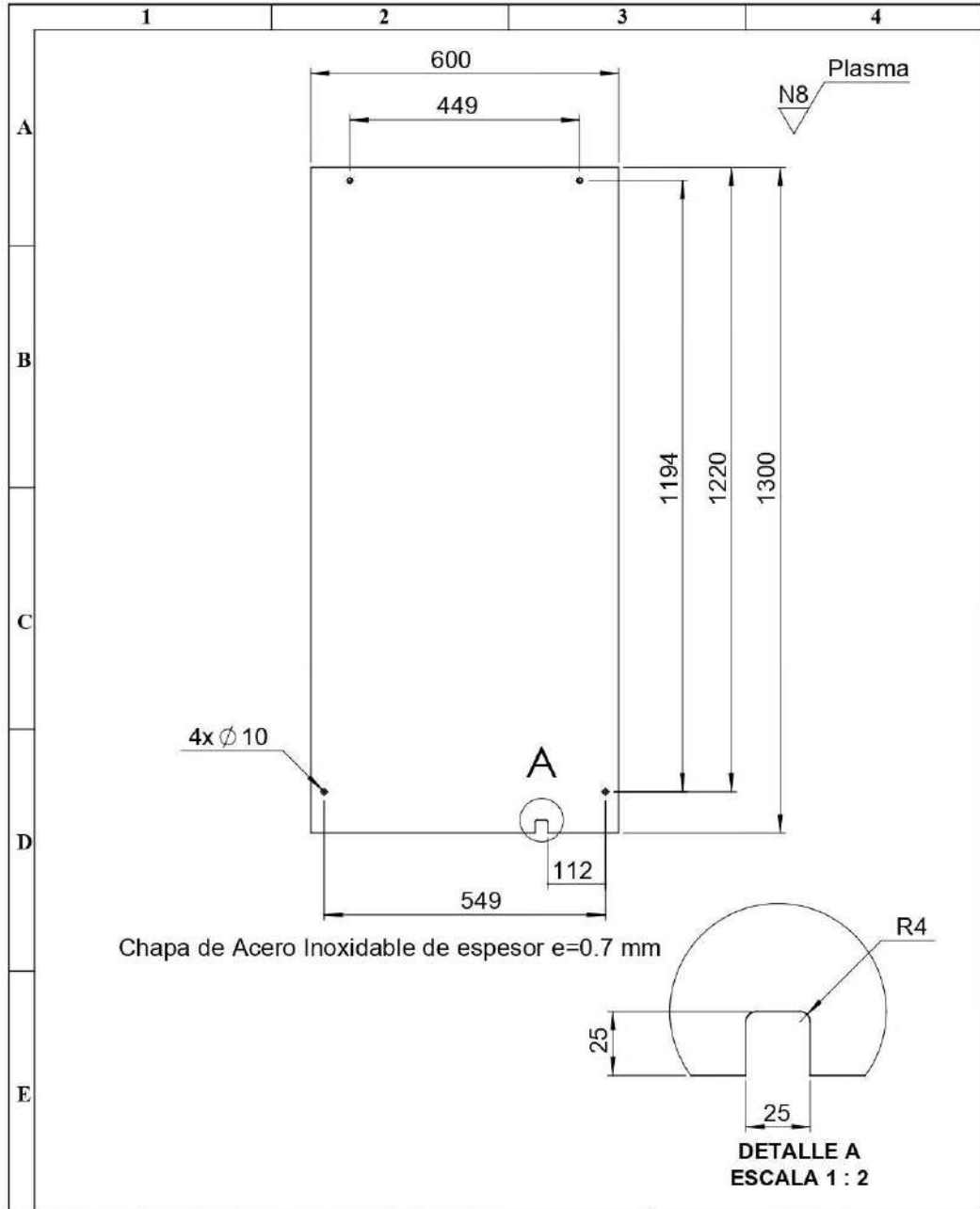
Nº. Lámina: 9 de 18	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CM-HET-AD-AC12-P09-2021	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
Email: esposito.calderon@esPOCH.edu.ec - edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984159651 - 0992361352			Denominación:  <b>Orejas con perno</b>					Peso [Kg]
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGUN DISEÑO  Nombre de archivo: Conjunto	0,065	±0.3 [mm]	1:1	
Proyectó	Sr. Calderón E.		2021/02/17		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-CM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY. 			
Dibujó	Sr. Masabanda L.		2021/02/17					
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/02/17					
Aprobó	Ing. Castro L.		2021/02/17					



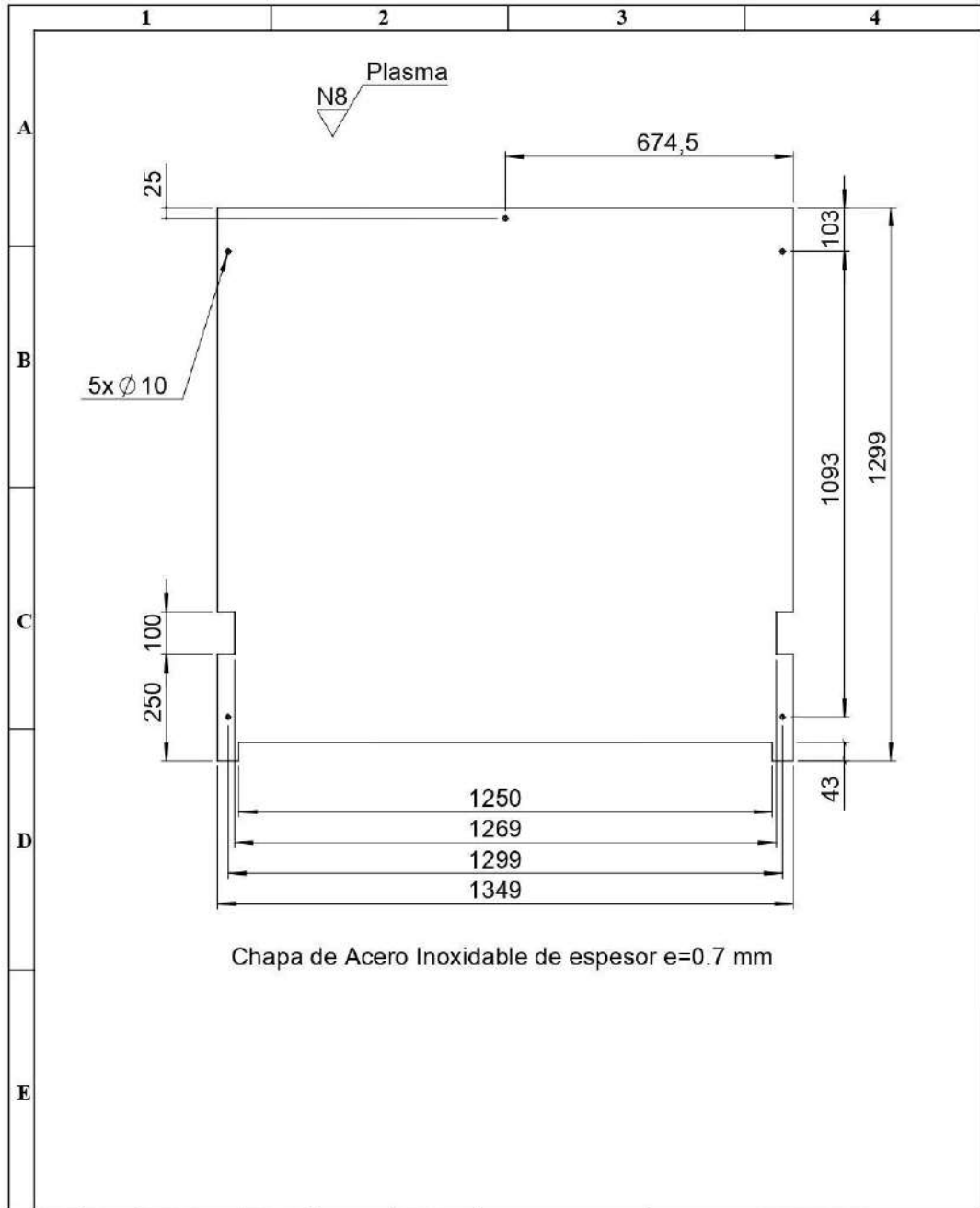
N°. Lámina: 10 de 18	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CM-HET-AD-AC12-P10-2021	<b>ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																						
Email: <a href="mailto:arturocalderon@esPOCH.edu.ec">arturocalderon@esPOCH.edu.ec</a> - <a href="mailto:edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec">edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0984159651 - 0992361352			<b>Orejas sin perno</b>		Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proyectó</td> <td>Sr. Calderón E.</td> <td></td> <td>2021/02/17</td> </tr> <tr> <td>Dibujó</td> <td>Sr. Masabanda L.</td> <td></td> <td>2021/02/17</td> </tr> <tr> <td>Revisó</td> <td>Ing. Escobar M.</td> <td></td> <td>2021/02/17</td> </tr> <tr> <td>Aprobó</td> <td>Ing. Castro L.</td> <td></td> <td>2021/02/17</td> </tr> </tbody> </table>					Datos	Nombre	Firma	Fecha	Proyectó	Sr. Calderón E.		2021/02/17	Dibujó	Sr. Masabanda L.		2021/02/17	Revisó	Ing. Escobar M.		2021/02/17	Aprobó	Ing. Castro L.		2021/02/17	0,054	±0.3 [mm]
Datos	Nombre	Firma	Fecha																							
Proyectó	Sr. Calderón E.		2021/02/17																							
Dibujó	Sr. Masabanda L.		2021/02/17																							
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/02/17																							
Aprobó	Ing. Castro L.		2021/02/17																							
			Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH FM-CM CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY																					
			Nombre de archivo: Conjunto																							



N°. Lámina: 11 de 18	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CM-HET-AD-AD12-P11-2021	<b>ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
Email: <a href="mailto:arnaldo.calderon@esPOCH.edu.ec">arnaldo.calderon@esPOCH.edu.ec</a> - <a href="mailto:edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec">edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec</a>			<b>Pared Externa Posterior</b>				Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Teléfonos: 0984159651 - 0992361352							Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Material:</b> SEGUN DISEÑO				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH FM-CM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR. PENADA POR LA LEY		
<b>Proyectó</b>	Sr. Calderón E.		2021/02/17							
<b>Dibujó</b>	Sr. Masabanda L.		2021/02/17							
<b>Revisó</b>	Ing. Escobar M.		2021/02/17							
<b>Aprobó</b>	Ing. Castro L.		2021/02/17	<b>Nombre de archivo:</b> Conjunto						
ESPPOCH ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA FACULTAD DE MECÁNICA UNIVERSIDAD DE COTACACHI										

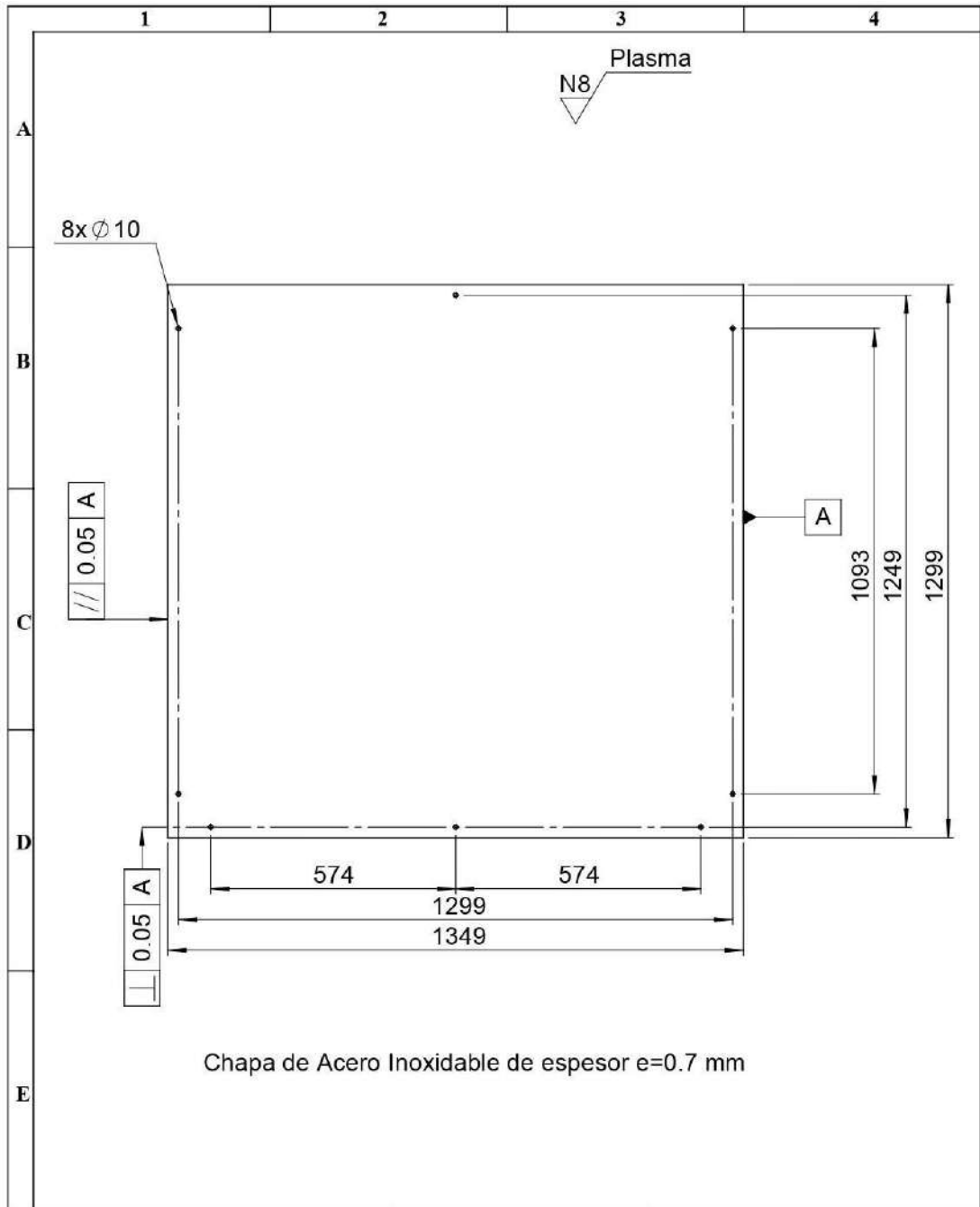


Nº. Lámina: 12 de 18	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CM-HET-AD-AD12-P12-2021	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
Email: estuardo.calderon@esPOCH.edu.ec - edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec			Denominación: <b>Pared Externa Lateral</b>					
Teléfonos: 0984159651 - 0992361352			Peso [Kg]		Tolerancia	Escala	Registro	
Datos	Nombre	Firma	Fecha	4,36		±0.3 [mm]	1:10	
Proyectó	Sr. Calderón E.		2021/02/17					
Dibujó	Sr. Masabanda L.		2021/02/17					
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/02/17					
Aprobó	Ing. Castro L.		2021/02/17	Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-CM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY		
			Nombre de archivo: Conjunto					



Chapa de Acero Inoxidable de espesor e=0.7 mm

N°. Lámina: 13 de 18		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CM-HET-AD-AC14-P13-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: <a href="mailto:esmasabanda@esPOCH.edu.ec">esmasabanda@esPOCH.edu.ec</a> - <a href="mailto:edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec">edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec</a>						Denominación:									
Teléfonos: 0984159651 - 0992361352						<b>Pared Externa Superior</b>									
Datos		Nombre		Firma								Fecha		Peso [Kg]	
Proyectó		Sr. Calderón E.				2021/02/17		9,46		±0.3 [mm]		1:10			
Dibujó		Sr. Masabanda L.				2021/02/17		Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-CM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Revisó		Ing. Escobar M.				2021/02/17									
Aprobó		Ing. Castro L.				2021/02/17		Nombre de archivo: Conjunto							



Chapa de Acero Inoxidable de espesor e=0.7 mm

N°. Lámina: 14 de 18		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CM-HET-AD-AC13-P14-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>							
Email: esuado.calderon@esPOCH.edu.ec - edgar.masabanda@esPOCH.edu.ec						<b>Denominación:</b>  <b>Pared Externa Inferior</b>						<b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Teléfonos: 0984159651 - 0992361352												Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		9.62		±0.3 [mm]		1:10			
Proyectó		Sr. Calderón E.				2021/02/17		<b>Materiales:</b> SEGUN DISEÑO							
Dibujó		Sr. Masabanda L.				2021/02/17									
Revisó		Ing. Escobar M.				2021/02/17									
Aprobó		Ing. Castro L.				2021/02/17		<b>Nombre de archivo:</b> Conjunto				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-CM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			







ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 / 11 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> ESTUARDO RAPHAEL CALDERÓN MANZANILLAS LUIS EDGAR MASABANDA CHASI
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> MECÁNICA
<b>Carrera:</b> MECÁNICA
<b>Título a optar:</b> INGENIERO MECÁNICO
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

1951-DBRA-UPT-2021