



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

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO PARA  
IMPLEMENTARLO EN LA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE  
TERMOFLUENCIA DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE  
MATERIALES DE LA ESPOCH”**

**Trabajo de titulación:**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO EN MECÁNICA**

**AUTORES:**

JULEISY MADELEINE ESCUDERO VACA

HENRY STEEVEN TORO OVIEDO

**DIRECTOR:** Ing. JORGE ISAÍAS CAICEDO REYES

Riobamba – Ecuador

2020

**©2020, Juleisy Madeleine Escudero Vaca; y Henry Steeven Toro Oviedo**

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, Juleisy Madeleine Escudero Vaca y Henry Steeven Toro Oviedo, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente 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, 18 de febrero de 2020

Juleisy Madeleine Escudero Vaca  
020229949-1

Henry Steeven Toro Oviedo  
172172712-9

## **DEDICATORIA**

A mi gran amigo Bryan que, a pesar de su corta estancia en este mundo, me enseñó lo fácil que es ser feliz y a disfrutar de este bonito viaje llamado vida.

Henry

Dedico este trabajo a mi padre Oswaldo que dolorosamente ya no se encuentra entre nosotros, pero fue el pilar fundamental de mi vida y que, sin su apoyo incondicional no hubiese logrado este sueño, a mi madre Patricia ya que con sus consejos, amor y paciencia creyó siempre en mi potencial, ellos juntos lograron formar el ser humano que soy hoy en día vida y me incentivaron a poder culminar la meta fijada. A mis hermanas, Andrea y Brianna, a mi sobrino Emiliano que son lo más valioso que tengo en la vida.

Juleisy

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme llevado de su mano hasta esta meta sin que llegara a rendirme; a mis padres por su infinito amor, los cuales se han convertido en mis pilares fundamentales para todos mis propósitos; a cada uno de mis amigos y familiares que de alguna manera han aportado con su granito de arena para seguir avanzando. Finalmente, quiero agradecer de manera muy especial a Karen que cada día me ayuda a ser una mejor persona

Henry

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa tan importante en mi vida estudiantil. A toda mi familia, en especial a mis abuelitas Moraima y Piedad, que siempre estuvieron apoyándome con sus bendiciones, oraciones y consejos que no me dejaron desfallecer en toda esta etapa. A todos mis amigos que estuvieron a mi lado de una u otra manera a lo largo de esta etapa a pesar de los altibajos y los duros golpes que nos presentaba la vida me demostraron que la verdadera amistad si existe. Gracias también a mi compañero Henry, por su amistad, paciencia y predisposición al momento de desarrollar este trabajo.

Juleisy

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

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta Tecnológica, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO PARA IMPLEMENTARLO EN LA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE TERMOFLUENCIA DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA ESPOCH**, realizado por los señores: **HENRY STEEVEN TORO OVIEDO** y **JULEISY MADELEINE ESCUDERO VACA**, 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 Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	<b>2020-02-18</b>
Ing. Jorge Isafías Caicedo Reyes <b>TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	<b>2020-02-18</b>
Ing. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	_____	<b>2020-02-18</b>

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.3.1. <i>Justificación Práctica</i> .....	2
1.3.2. <i>Justificación Teórica</i> .....	2
1.3.3. <i>Justificación Metodológica</i> .....	3
1.4. Alcance.....	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	3
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Termofluencia.....	5
2.1.1. <i>Ensayo de termofluencia</i> .....	5
2.1.2. <i>Máquina para ensayos de termofluencia</i> .....	7
2.2. Fundamentos básicos para hornos eléctricos .....	8
2.2.1. <i>Hornos eléctricos de resistencias</i> .....	8
2.2.2. <i>Partes principales de un horno de resistencias eléctricas</i> .....	8
2.2.2.1. <i>Productos refractarios aislantes</i> .....	9
2.2.2.2. <i>Aislamiento térmico de la cámara</i> .....	10
2.2.2.3. <i>Carcasa</i> .....	10
2.3. Transferencia de calor.....	10
2.3.1. <i>Conducción</i> .....	12
2.3.2. <i>Convección</i> .....	12
2.3.3. <i>Radiación</i> .....	13
2.4. Ciencia e ingeniería de materiales.....	14
2.4.1. <i>Clasificación de los materiales</i> .....	15
2.4.1.1. <i>Metales</i> .....	15

2.4.1.2.	<i>Cerámicos</i> .....	15
2.4.1.3.	<i>Materiales compuestos</i> .....	16
2.4.2.	<b>Selección de materiales</b> .....	17
2.5.	<b>Sistema de control</b> .....	18
2.5.1.	<b>Tipos de sistemas de control</b> .....	19
2.5.1.1.	<i>Sistema de control de lazo abierto</i> .....	19
2.5.1.2.	<i>Sistema de control de lazo cerrado</i> .....	19
2.6.	<b>Instrumentos de medición y control de temperatura</b> .....	20
2.6.1.	<i>Sensor de temperatura</i> .....	20
2.6.2.	<i>Selección de un sensor de temperatura</i> .....	21
2.6.3.	<i>Detector de temperatura resistiva (RTD)</i> .....	22
2.6.3.1.	<i>Tipos de RTDs</i> .....	22
2.6.4.	<i>Termocuplas</i> .....	23
2.6.5.	<b>Controlador Lógico Programable (PLC)</b> .....	23
2.6.5.1.	<i>Ventajas del PLC</i> .....	24
2.6.5.2.	<i>Desventajas del PLC</i> .....	25
2.7.	<b>Elementos eléctricos</b> .....	25
2.7.1.	<i>Contactor</i> .....	25
2.7.2.	<i>Relés Térmicos</i> .....	25
2.7.3.	<i>Fuente de poder</i> .....	25
3.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	26
3.1.	<b>Estudio y selección de alternativas</b> .....	26
3.1.1.	<i>Ingeniería concurrente</i> .....	26
3.1.2.	<b>Matriz Quality Function Deployment (QFD)</b> .....	26
3.1.2.1.	<i>Voz del usuario</i> .....	26
3.1.2.2.	<i>Voz del ingeniero</i> .....	27
3.1.2.3.	<i>Resultados de la casa de la calidad</i> .....	28
3.1.2.4.	<i>Especificaciones técnicas</i> .....	29
3.1.3.	<b>Análisis funcional</b> .....	30
3.1.3.1.	<i>Apertura/Cierre</i> .....	31
3.1.3.2.	<i>Sistema de sujeción</i> .....	32
3.1.3.3.	<i>Fuente de calor</i> .....	32
3.1.3.4.	<i>Material refractario</i> .....	34
3.1.3.5.	<i>Aislante térmico</i> .....	35
3.1.3.6.	<i>Sistema de control</i> .....	36
3.1.4.	<b>Alternativas para cada función</b> .....	36
3.1.5.	<b>Alternativas de módulos</b> .....	37

3.2.	<b>Diseño y construcción</b> .....	40
3.2.1.	<i>Análisis térmico</i> .....	40
3.2.1.1.	<i>Pérdidas de calor a través de las paredes</i> .....	41
3.2.1.2.	<i>Calor acumulado total</i> .....	45
3.2.2.	<i>Cálculo de la resistencia</i> .....	46
3.2.3.	<i>Diseño de los pasadores mecánicos</i> .....	49
3.2.4.	<i>Análisis de soporte</i> .....	52
3.2.5.	<i>Modelado en 3D</i> .....	54
3.2.6.	<i>Validación del diseño en ANSYS</i> .....	58
3.3.	<b>Construcción y montaje del horno eléctrico</b> .....	67
3.4.	<b>Sistema de control del horno</b> .....	73
3.4.1.	<i>Visualización en pantalla</i> .....	73
3.4.2.	<i>Lectura de sensores</i> .....	76
3.4.3.	<i>Inicio/paro del sistema</i> .....	77
3.4.4.	<i>Control ON/OFF</i> .....	79
4.	<b>GESTIÓN DEL PROYECTO</b> .....	80
4.1.	<b>Análisis y discusión de resultados</b> .....	80
4.1.1.	<i>Pruebas de funcionamiento</i> .....	80
4.1.2.	<i>Análisis de costos</i> .....	83
4.1.2.1.	<i>Costos directos</i> .....	83
4.1.2.1.1.	<i>Costos de elementos mecánicos</i> .....	83
4.1.2.1.2.	<i>Costos de elementos eléctricos y electrónicos</i> .....	84
4.1.2.1.3.	<i>Costos de construcción y montaje</i> .....	84
4.1.2.1.4.	<i>Costo de transporte</i> .....	85
4.1.2.1.5.	<i>Costo total directo</i> .....	85
4.1.2.2.	<i>Costos indirectos</i> .....	86
4.1.2.3.	<i>Costos totales</i> .....	86
4.2.	<b>Manual de operación y mantenimiento</b> .....	87
4.2.1.	<i>Manual de Operación</i> .....	87
4.2.1.1.	<i>Componentes del horno</i> .....	87
4.2.1.1.1.	<i>Ladrillos refractarios</i> .....	87
4.2.1.1.2.	<i>Manta mineral</i> .....	87
4.2.1.1.3.	<i>Resistencias eléctricas</i> .....	88
4.2.1.1.4.	<i>Láminas de acero A36 y acero inoxidable brillante 304</i> .....	88
4.2.1.1.5.	<i>Termocuplas</i> .....	88
4.2.1.1.6.	<i>Caja de control</i> .....	88
4.2.2.	<b>Instrucciones de Operación</b> .....	88

<b>4.2.3.</b>	<b>Plan de mantenimiento.....</b>	<b>91</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>96</b>

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Variabilidad de propiedades medidas en diferentes materiales .....	8
<b>Tabla 2-2:</b> Clasificación de los aislamientos.....	17
<b>Tabla 3-2:</b> Relación de sensores tradicionales según el campo de utilización.....	21
<b>Tabla 4-2:</b> Tipos de RTDs.....	22
<b>Tabla 5-2:</b> Materiales, rangos de temperatura, tensión y letra con que se designa a diferentes termocuplas.....	23
<b>Tabla 1-3:</b> Especificaciones técnicas .....	29
<b>Tabla 2-3:</b> Alternativas de solución .....	37
<b>Tabla 3-3:</b> Evaluación del peso específico de cada criterio .....	38
<b>Tabla 4-3:</b> Evaluación del peso específico del criterio: Sistema de control.....	38
<b>Tabla 5-3:</b> Evaluación del peso específico del criterio: Sistema de apertura.....	38
<b>Tabla 6-3:</b> Evaluación del peso específico del criterio: Costo .....	39
<b>Tabla 7-3:</b> Evaluación del peso específico del criterio: Aislante térmico.....	39
<b>Tabla 8-3:</b> Evaluación del peso específico del criterio: Fuente de calor.....	39
<b>Tabla 9-3:</b> Evaluación del peso específico del criterio: Material refractario .....	39
<b>Tabla 10-3:</b> Evaluación total para cada solución .....	40
<b>Tabla 11-3:</b> Resultados de calores y temperaturas.....	44
<b>Tabla 12-3:</b> Límites de D, d y S para una resistencia de alambre .....	48
<b>Tabla 13-3:</b> Datos previos del pasador.....	50
<b>Tabla 14-3:</b> Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y paso fino.....	51
<b>Tabla 15-3:</b> Valores de temperatura para el path 1 .....	62
<b>Tabla 16-3:</b> Valores de temperatura para el path 2 .....	64
<b>Tabla 17-3:</b> Valores de temperatura para el path 3 .....	65
<b>Tabla 18-3:</b> Valores de temperatura para el path 4 .....	66
<b>Tabla 19-3:</b> Tiempo y temperatura de secado de cemento refractario .....	69
<b>Tabla 1-4:</b> Materiales mecánicos .....	84
<b>Tabla 2-4:</b> Elementos eléctricos y electrónicos.....	84
<b>Tabla 3-4:</b> Equipos y herramientas .....	85
<b>Tabla 4-4:</b> Mano de obra.....	85
<b>Tabla 5-4:</b> Costos directos .....	86
<b>Tabla 6-4:</b> Costos indirectos .....	86
<b>Tabla 7-4:</b> Costos totales.....	86
<b>Tabla 8-4:</b> Instrucciones de operación del horno .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2.</b>	Dimensiones en mm de la probeta plana para ensayos de termofluencia .....	6
<b>Figura 2-2.</b>	Etapas del procedimiento para selección de materiales .....	18
<b>Figura 3-2.</b>	Esquema de un sistema de control de lazo abierto .....	19
<b>Figura 4-2.</b>	Esquema de un sistema de control de lazo cerrado .....	19
<b>Figura 5-2.</b>	Funda típica montada en sonda RTD .....	20
<b>Figura 1-3.</b>	Horno tipo libro .....	31
<b>Figura 2-3.</b>	Horno tipo libro con rieles .....	32
<b>Figura 3-3.</b>	Resistencia en espiral .....	33
<b>Figura 4-3.</b>	Resistencia tipo collarín .....	33
<b>Figura 5-3.</b>	Resistencia plana .....	34
<b>Figura 6-3.</b>	Esquema térmico del horno .....	41
<b>Figura 7-3.</b>	Circuito térmico .....	42
<b>Figura 8-3.</b>	Esquema de los pasadores .....	50
<b>Figura 9-3.</b>	Unión soldada entre el horno y el bastidor .....	52
<b>Figura 10-3.</b>	Ladrillo refractario y mortero .....	55
<b>Figura 11-3.</b>	Soporte posterior .....	55
<b>Figura 12-3.</b>	Soporte frontal .....	56
<b>Figura 13-3.</b>	Ejes para la apertura .....	56
<b>Figura 14-3.</b>	Ensamble de carcasa .....	57
<b>Figura 15-3.</b>	Aislante térmico .....	57
<b>Figura 16-3.</b>	Ensamble del horno .....	57
<b>Figura 17-3.</b>	a) Resistencia eléctrica, b) Tapa, c) Ensamble final del horno .....	58
<b>Figura 18-3.</b>	Mallado del ensamble .....	61
<b>Figura 19-3.</b>	Ladrillos refractarios .....	68
<b>Figura 20-3.</b>	Cemento refractario .....	68
<b>Figura 21-3.</b>	Montaje de soportes y sistema de apertura .....	70
<b>Figura 22-3.</b>	Carcasa de acero inoxidable. a) Parte posterior b) Parte posterior .....	71
<b>Figura 23-3.</b>	Ranura cerámica .....	72
<b>Figura 24-3.</b>	Conjunto de ranuras cerámicas .....	72
<b>Figura 25-3.</b>	Montaje de resistencias eléctricas .....	72
<b>Figura 26-3.</b>	Flecha izquierda y derecha .....	74
<b>Figura 1-4.</b>	Montaje de probeta para ensayo de termofluencia .....	80
<b>Figura 2-4.</b>	Probeta ensayada A36 .....	81
<b>Figura 3-4.</b>	Probeta ensayada de fundición nodular perlítica .....	82

**Figura 4-4.** Horno eléctrico y caja de control .....87

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2.</b>	Curva típica de termofluencia.....	7
<b>Gráfico 1-3.</b>	Casa de la calidad .....	28
<b>Gráfico 2-3.</b>	Nivel 0 .....	30
<b>Gráfico 3-3.</b>	Nivel 1 .....	32
<b>Gráfico 4-3.</b>	Perfil de temperaturas .....	45
<b>Gráfico 5-3.</b>	Carga específica de resistencias.....	47
<b>Gráfico 6-3.</b>	Módulo Steady-State Thermal .....	59
<b>Gráfico 7-3.</b>	Engineering Data .....	59
<b>Gráfico 8-3.</b>	Controles de mallado .....	60
<b>Gráfico 9-3.</b>	Parámetros de transferencia de calor .....	61
<b>Gráfico 10-3.</b>	Perfil de temperaturas .....	62
<b>Gráfico 11-3.</b>	Path superior 1 .....	62
<b>Gráfico 12-3.</b>	Perfil de temperaturas path 1 .....	63
<b>Gráfico 13-3.</b>	Path intermedio 2 .....	63
<b>Gráfico 14-3.</b>	Perfil de temperaturas path 2 .....	64
<b>Gráfico 15-3.</b>	Path inferior 3 .....	65
<b>Gráfico 16-3.</b>	Perfil de temperaturas path 3 .....	66
<b>Gráfico 17-3.</b>	Path longitudinal 4 .....	66
<b>Gráfico 18-3.</b>	Perfil de temperaturas path 4 .....	67
<b>Gráfico 19-3.</b>	Secado de cemento refractario.....	70
<b>Gráfico 20-3.</b>	Diagrama de bloques para la visualización de pantallas.....	74
<b>Gráfico 21-3.</b>	Rampa de temperatura .....	75
<b>Gráfico 22-3.</b>	Valores de temperatura .....	75
<b>Gráfico 23-3.</b>	Valores de tiempo .....	75
<b>Gráfico 24-3.</b>	Información del control .....	76
<b>Gráfico 25-3.</b>	Lectura de sensores.....	77
<b>Gráfico 26-3.</b>	Promedio de lecturas.....	77
<b>Gráfico 27-3.</b>	Bloques para el Inicio/paro del sistema .....	78
<b>Gráfico 28-3.</b>	Bloques para condición inicial de temperatura.....	78
<b>Gráfico 29-3.</b>	Bloque para el control continuo de temperatura .....	78
<b>Gráfico 30-3.</b>	Bloques para el control ON/OFF de temperatura .....	79
<b>Gráfico 31-3.</b>	Bloque para unión de grupos de bloques .....	79
<b>Gráfico 1-4.</b>	Curva de termofluencia de un acero A36 a 540°C .....	82
<b>Gráfico 2-4.</b>	Curva de termofluencia de la probeta de fundición nodular perlítica.....	83

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** DATA SHEET LADRILLO REFRACTARIO
- ANEXO B:** DATA SHEET MORTERO REFRACTARIO
- ANEXO C:** CATÁLOGO MANTA MINERAL DE ROCA
- ANEXO D:** CATÁLOGO TERMOCUPLAS TIPO K
- ANEXO E:** CATÁLOGO PLC LOGO 8
- ANEXO F:** CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS DE ALGUNOS MORTEROS REFRACTARIOS
- ANEXO G:** PLANOS DEL HORNO ELÉCTRICO Y SUS PARTES
- ANEXO H:** CHECKLIST DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

## RESUMEN

La máquina para ensayos de termofluencia del laboratorio de resistencia de materiales de la ESPOCH presentaba ciertas dificultades al momento de operar y realizar mantenimientos al equipo encargado de mantener la temperatura constante, por tal motivo se procedió a diseñar y construir un horno para implementar en la máquina de termofluencia. Durante el desarrollo se seleccionó los materiales más adecuados para las principales partes del horno, las cuales son: la fuente de calor, cámara de calentamiento y revestimiento aislante. A partir de esta selección se realizó un análisis térmico para determinar las temperaturas a través de la pared del horno así también como la temperatura superficial. Además, se diseñó los pasadores que soportarán la carga de tracción aplicada por la máquina, y se incluyó un análisis del cordón de soldadura para garantizar la estabilidad y soporte del peso del horno. Con este diseño se realizó la construcción y montaje del equipo con su respectiva automatización gracias a un PLC LOGO que nos permite hacer un control ON/OFF, para que la temperatura sea uniforme durante el ensayo. Comprobamos el correcto funcionamiento del equipo ensayando una probeta de acero A36 y una probeta de fundición nodular perlítica hasta llegar a su fractura. Finalmente, el horno quedó funcional y con una temperatura de trabajo de hasta 750°C. Para continuar con el mejoramiento de la máquina, se recomienda instalar un sistema de control y monitoreo virtual que permita el registro de datos como carga, temperatura y deformaciones desde cualquier parte que se disponga de un computador con servicio de internet, y de esta manera evitar la presencia del operario junto a la máquina durante todo el ensayo.

**Palabras Claves:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TERMOFLUENCIA>, <FUENTE DE CALOR>, <CÁMARA DE CALENTAMIENTO>, <REVESTIMIENTO AISLANTE>, <ANÁLISIS TÉRMICO>, <TEMPERATURA SUPERFICIAL>, <AUTOMATIZACIÓN>.

## **ABSTRACT**

The thermofluence testing machine of the ESPOCH's materials resistance laboratory presented specific difficulties at the time of operating and maintaining the equipment in charge of managing the constant temperature. For this reason, we proceeded to design and build an oven to implement in the machine of thermofluence. During the development, the most suitable materials for the main parts of the stove were selected, which are: the heat source, heating chamber, and insulating coating. From this selection, a thermal analysis was carried out to determine temperatures through the oven wall as surface temperature. Besides, the pins that will support the tensile load applied by the machine were designed, and an analysis of the weld seam was included to ensure the stability and support of the oven weight. With this design, the construction and assembly of the equipment with its automation was carried out thanks to LOGO PLC, allowing us to make an ON/OFF control. Hence, the temperature is uniform during the test. We check the correct functioning of the equipment by testing an A36 steel specimen and a nodular cast iron specimen until it reaches its fracture. Finally, the oven functional and with a working temperature of up to 750 degrees Celsius. To continue the machine's improvement is recommended to install a virtual control and monitoring system, allowing the recording of data such as load, temperature, and deformations from any part having a computer with internet service, and thus avoid the presence of the operator next to the machine during the whole test.

**Keywords:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <THERMOFLUENCE>, <HEAT SOURCE>, <WARMING CHAMBER>, <INSULATION COATING>, <THERMAL ANALYSIS>, <SURFACE TEMPERATURE>, <AUTOMATION>

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

Actualmente en el país contamos con una gran variedad de máquinas para la realización de ensayos destructivos que permiten un mejor estudio de la resistencia de materiales. A pesar de la capacidad que estas máquinas tienen para determinar diferentes propiedades de los materiales, tales como resistencia a tracción, compresión, flexión entre otros fenómenos; existe una cantidad mínima para realizar investigaciones de fenómenos combinados como fatiga o termofluencia.

Para el caso de la termofluencia, que consiste en someter una probeta a tracción y temperatura constante; existen solamente dos máquinas en el país diseñadas para este tipo de ensayos. La primera se encuentra en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, y es útil únicamente para probetas cilíndricas; mientras que la segunda se encuentra en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y está diseñada para ensayos a probetas planas.

La máquina para ensayos de termofluencia de la ESPOCH fue diseñada y construida por el ingeniero Isafías Caicedo, actual docente de la misma entidad. Esta se construyó debido a la necesidad de estudiar el fenómeno de termofluencia en probetas de acero A36 y hierro fundido gris perlítico. En ese entonces no se contaba con ninguna máquina que pueda hacer estos ensayos. El lugar más cercano para realizarlos era México, lo cual elevaba considerablemente los precios. Por este motivo se optó por la construcción de la máquina.

Desde aquel entonces se ha realizado ensayos de termofluencia que han servido incluso para proyectos de titulación, obteniendo resultados muy buenos, que han permitido obtener mayor información de diferentes materiales.

En la máquina actual se han realizado hasta dos ensayos con una duración aproximada de 4 días cada uno a temperaturas inferiores a los 650 °C. Transcurrido este tiempo se debía reemplazar las resistencias eléctricas que atraviesan las paredes de asbesto que conforman la cámara de calentamiento. Además, es necesario colocar nuevas paredes para la cámara de calentamiento por la fragilidad del asbesto y su facilidad para desmoronarse al momento de sacar las resistencias.

## **1.2. Formulación del problema**

Debido al cambio continuo de los moldes de asbesto que conforman la calderería, se pretende mejorar el diseño de la cámara de calentamiento con mejores materiales y una mayor facilidad para el cambio de los elementos resistivos.

En cuanto a la apertura del horno tipo libro, restringido por la estructura de la máquina que dificulta el montaje y desmontaje de la probeta. Se pretende diseñar y construir un mejor sistema que además de facilitar el manejo del horno, permita facilitar los mantenimientos del mismo.

Por otro lado, el control de la temperatura lo realiza un sistema conectado a una tarjeta Arduino que, si bien nos permite hacer los ensayos, no es un elemento de tipo industrial que nos garantice un control seguro, ya que puede fallar en cualquier momento. Por tal motivo es necesario un mejor control que sea capaz de soportar duras condiciones de trabajo cuando sea necesario y para ensayos de duración prolongada.

## **1.3. Justificación**

### ***1.3.1. Justificación Práctica***

Esta propuesta tecnológica permite diseñar y construir un horno más eficiente para ensayos de termofluencia. Dichos ensayos se realizan con los estudiantes de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH como prácticas de laboratorio. Además, nos sirve para temas de investigación de docentes y estudiantes que deseen realizar proyectos de titulación enfocados a la termofluencia, haciéndolo con la garantía de un buen desempeño del mismo y un mantenimiento sencillo.

### ***1.3.2. Justificación Teórica***

Mediante este estudio se utiliza los conocimientos adquiridos en el área de materiales, energía y diseño mecánico, para su posterior aplicación.

Además, se dejará una sustentación teórica del procedimiento de diseño del horno, con una adecuada selección de los materiales para construir el mismo.

### ***1.3.3. Justificación Metodológica***

En el presente proyecto se hace una adecuada selección de los materiales mediante una metodología deductiva que nos permite escoger entre la gran variedad de materiales que contamos en el mercado, los más apropiados para el horno.

Para el diseño utilizamos una metodología analítica donde se calcula las temperaturas en cada una de las capas que componen las paredes del horno.

Finalmente, hacemos uso de la metodología experimental para realizar las respectivas pruebas del horno y garantizar un correcto funcionamiento de este.

## **1.4. Alcance**

Este proyecto tiene como finalidad diseñar y construir un horno para la máquina de ensayo de termofluencia, partiendo del diseño concurrente para posteriormente realizar el modelado y simulación en 3D del horno con la ayuda de software especializado.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo General***

Diseñar y construir un horno para implementarlo en la máquina para ensayo de termofluencia del laboratorio de Resistencia de Materiales de la ESPOCH.

### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- Estudiar el estado del arte para seleccionar los parámetros y necesidades que intervendrán en el estudio.
- Plantear las necesidades que debe satisfacer el horno para poder realizar los ensayos de termofluencia en aceros.
- Usar métodos de diseño para encontrar las mejores características del horno de la máquina.
- Seleccionar los materiales adecuados para una correcta transferencia de calor en el horno.

- Realizar el diseño y validación con la ayuda de programas especializados.
- Construir y montar los elementos constitutivos del horno obtenidos en el diseño.
- Realizar el protocolo de pruebas y comprobar el correcto funcionamiento del equipo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Termofluencia

Generalmente en el diseño de elementos de máquinas utilizamos coeficientes de seguridad debido a diferentes factores, como temperatura, confiabilidad, forma, entre otros que nos permiten ser conservadores y garantizar hasta cierto punto seguridad, a veces sobredimensionamos, aumentando costos. La razón del uso de estos coeficientes es que durante el análisis efectuado a estos elementos se asume que el elemento está sometido a determinados tipos de esfuerzo, ya sea solo tracción, flexión o fatiga; pero en la realidad esto no es tan cierto, puesto que también están afectados por otros fenómenos físicos como la temperatura ya mencionada, y en muchos casos no se tiene información de cómo afectan específicamente la resistencia de los diferentes materiales.

Como la combinación de fenómenos físicos es bastante amplia y poco explorados, nos enfocaremos en la termofluencia, que no es más que la tracción de un material a una temperatura determinada y aplicado una carga constante que se deforma con respecto al tiempo. A la termofluencia también se la denomina fenómeno creep.

El estudio de este fenómeno es de gran importancia para determinar temperaturas máximas de trabajo bajo ciertas cargas, o viceversa cargas máximas a determinadas temperaturas. Sobre todo, es de gran relevancia al momento de diseñar elementos de máquinas o equipos que trabajan a temperaturas y cargas relativamente altas (Hernández, 2015, p.18).

Dependiendo del material, la termofluencia puede presentarse de manera bastante evidente en ciertos materiales a temperaturas bastantes altas, generalmente se presenta a temperaturas por encima de la mitad del valor de la temperatura de fusión. Para la determinación del fenómeno creep recurrimos a los ensayos de termofluencia (Caicedo, 2014, p. 3). A continuación, se describe el ensayo de termofluencia utilizado para describir el comportamiento de los materiales bajo este fenómeno.

#### 2.1.1. Ensayo de termofluencia

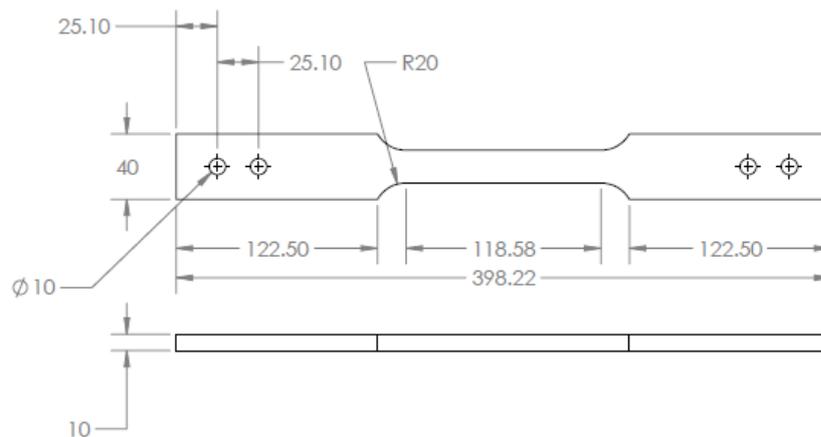
Este ensayo se realiza bajo la normativa ASTM E-139, que nos indica los métodos de prueba para determinar las deformaciones que sufre un material en determinado tiempo o el tiempo que se demora un material en llegar a la fractura si es que se aplica la carga suficiente para su ruptura.

Esto bajo determinada carga y temperatura constantes. Además, incluye los equipos que se debe utilizar para realizar el ensayo.

El sistema de tracción, por ejemplo, la carga aplicada debe ser lo más axial posible evitando que la deformación por flexión supere el 10% de la deformación axial.

Por otro lado, el sistema de calefacción necesita un horno de resistencias eléctricas o un horno de radiación; el control se recomienda que sea automático para una mejor precisión.

Para el ensayo se puede utilizar probetas cilíndricas o planas. Usamos probetas planas cuando el producto es de láminas o tiras, de caso contrario se debe utilizar probetas cilíndricas (ASTM, 2018). Para la máquina de ensayos de termofluencia del laboratorio de Resistencia de Materiales de la ESPOCH, las probetas que se utilizan son planas. La forma y dimensiones es indicada por la norma ISO 6892 tal y como se indica en la figura:



**Figura 1-2.** Dimensiones en mm de la probeta plana para ensayos de termofluencia

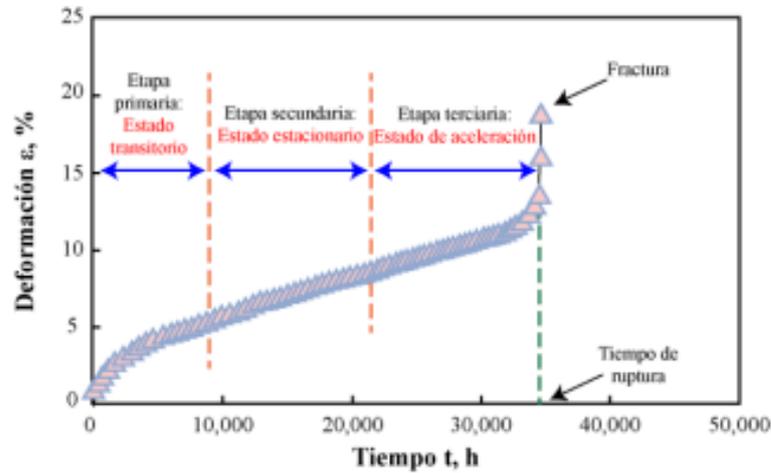
**Fuente:** (ISO 6892, 2009)

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

A la probeta especificada anteriormente se le aplica una carga de tensión constante bajo una temperatura específica. Mediante este ensayo podemos detallar el comportamiento del material a lo largo del tiempo y durante las diferentes etapas del fenómeno creep.

Las deformaciones de la probeta pueden ser medidas mediante un calibrador pie de rey acoplado en la máquina de termofluencia donde cada determinado tiempo se van registrando las deformaciones.

Que luego pueden ser plasmados estos datos en una gráfica deformación vs tiempo, a esta gráfica se la conoce como curva de termofluencia, donde se puede apreciar las diferentes etapas del fenómeno (López & Oñate, 2017, pp. 30-44).



**Gráfico 1-2.** Curva típica de termofluencia

Fuente: (Ortiz et al., 2017, p. 2)

### 2.1.2. Máquina para ensayos de termofluencia

Debido a que durante el ensayo los principales parámetros que van actuar son la carga de tensión y la temperatura, es necesario el control independiente de estos dos parámetros.

Para nuestra máquina de estudio el sistema de tensión cuenta con un eje pivote al cual se ancla la probeta y es conectado a un sistema hidráulico que controla y mantiene una carga axial constante durante el ensayo.

Para el control de temperatura, la probeta primero es calentada en un horno eléctrico con sensores de temperatura acoplados al mismo, mediante un control del paso de corriente a las resistencias se trata de mantener la temperatura constante que deseemos a lo largo del ensayo.

De esta manera, con un control de temperatura y carga constante se puede realizar el ensayo a una probeta que esté bajo la normativa respectiva (Caicedo, 2014, pp. 51-58).

En la máquina del laboratorio de resistencia de materiales se han logrado investigaciones muy buenas que han servido como proyectos de titulación. Los ensayos realizados se han realizado a materiales como acero A36 y fundición nodular perlítica en rangos de temperatura inferiores a los 550 °C (López & Oñate, 2017, p. 3). La temperatura de ensayo puede variar según el material. En

la norma ASTM E139 se cuenta con algunos materiales ensayados, tal y como lo muestra la siguiente tabla:

**Tabla 1-2:** Variabilidad de propiedades medidas en diferentes materiales

Reference	Material	Time for Rupture, h	Temp. °C (°F)	Variability of Measured Properties <sup>A</sup>						
				Rupture Time	RA	Elongation	MCP <sup>B</sup>	Time to total strain		
								0.5 %	1.0 %	2.0 %
(11) <sup>C</sup>	2S Aluminum	0.1 to 62	482 (900)	0.146 (2.6)	0.088 (1.7)	7.0 % <sup>D</sup> (2.6)				
(12) <sup>E</sup>	304 stainless steel	100	732 (1350)	11 % (1.4)	0.041 (1.3)	11.5 % (1.4)	0.073 (1.6)			
(13) <sup>F, G</sup>	304 stainless steel	114	732 (1350)	16 % (1.6)	0.039 (1.3)	15.3 % (1.6) <sup>D</sup>				
(14) <sup>H</sup>	Nimonic 105	48 to 1250	900 (1652)	0.055 (1.4)	12.9 % (1.4)	23.4 % (1.9)		0.127 (2.3)	0.081 (1.7)	0.060 (1.5)
(15) <sup>I</sup>	AK4-1 aluminum	40 to 240	175 (347)	0.20 <sup>J</sup> (3.7)						

Fuente: (ASTM, 2018)

## 2.2. Fundamentos básicos para hornos eléctricos

### 2.2.1. Hornos eléctricos de resistencias

Los hornos eléctricos o también llamados hornos industriales son equipos en los que se calientan piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente. La finalidad de este calentamiento puede ser muy variado. Para nuestro caso es el de calentar un material a altas temperaturas sin llegar a la fusión, ni afectación química. (Astigarraga, 1994, p. 1)

### 2.2.2. Partes principales de un horno de resistencias eléctricas

Los hornos eléctricos industriales, se han venido utilizando en gran cantidad por su alta eficiencia en comparación con los que utilizan como fuente la quema de combustibles fósiles. Estos hornos pueden tener diferentes configuraciones, pero entre sus partes básicas están:

- Cámara de calentamiento: lugar donde se coloca el objeto que va a ser calentado. Debe estar fabricada de un material capaz de conservar el calor y soportar temperaturas altas.
- Elementos eléctricos: son la fuente neta de calor del horno, para nuestro caso serán resistencias eléctricas.
- Revestimiento aislante: material usado para disminuir las pérdidas de calor con el ambiente.

Los hornos de resistencias eléctricas pueden ser de dos tipos: directo, cuando el objeto que va a ser calentado está en contacto directo con las resistencias; el otro tipo es el indirecto, cuando el objeto que va a ser calentado y las resistencias se encuentran separadas por otro material. (López & Ramírez, 2011, p.63) Las resistencias pueden ser instaladas en la parte superior, inferior o lateral del horno, dependiendo de la ubicación del elemento que se va a calentar o la aplicación del horno.

En los hornos de calentamiento indirecto el calentamiento se puede dar por los diferentes mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

Para el diseño de estos hornos es de vital importancia conocer la temperatura de trabajo. Cuando la temperatura de trabajo es superior a los 700°C, en el diseño se debe tomar en cuenta la radiación y se puede despreciar la convección, pero si la temperatura de trabajo es inferior a los 700°C, en cambio se puede despreciar la radiación, pero se debe tomar muy en cuenta la convección para los cálculos de diseño. (López & Ramírez, 2011, p.64)

#### 2.2.2.1. *Productos refractarios aislantes*

La capa más interna que conforma la cámara de calentamiento está hecha de material refractario, capaz de mantener el calor en su interior y evitando en lo más que se pueda pérdidas de calor sin presentar deformaciones volumétricas que afecten otras partes. Según su composición química pueden clasificarse en cuatro grupos:

Ácidos: caracterizados por su composición principal de sílice y alúmina, cuando el porcentaje de alúmina es superior al 50% se consideran refractarios de alta alúmina y son capaces de soportar altas temperaturas superiores a los 1000°C.

Básicos: se caracterizan por su contenido de MgO. Tienen buenas propiedades de refracteriedad y son más costosos que los ácidos.

Neutros: su función principal es separar refractarios ácidos de los básicos para que evitar que afecten entre ellos, sus principales elementos son la cromita y la magnesita.

Especiales: son materiales no metálicos inorgánicos, el grafito pertenece a este grupo y es usado principalmente en atmosferas no oxidante. Entre sus principales componentes está la zircona, zircón y una gran variedad de nitruros, carburos y boruros. (Greenenergy Refractory & Insulation Material Co, 2019).

#### 2.2.2.2. *Aislamiento térmico de la cámara*

La función del aislamiento térmico en hornos industriales es extremadamente amplia y llena de complejidad. Al parecer, su única finalidad es aislar el interior de los hornos, pero ésta cumple un doble propósito que es reducir pérdidas de calor, y conseguir unas condiciones en el exterior suficientemente aceptables

Pero, realmente, las condiciones en la parte interior del horno pueden ser tales que la capa interna del aislamiento debe ser capaz de:

- Soportar el ambiente del horno (humos, aire en circulación, gases reductores, etc.),
- Conseguir sin reacción química, en términos generales, metales o no metales, fundidos, a la alta temperatura, etc. (Astigarraga, 1994, p.67).

Esta capa cubre al material refractario, estos materiales no soportan temperaturas tan altas como los refractarios, pero tienen coeficiente de conductividad térmica bastante bajo que reduce considerablemente la temperatura, para seguridad de los operarios que se encuentran manipulando el horno.

La aislación térmica tiene una gran importancia en la industria en cuanto a reducir las pérdidas de energía. La propiedad física que regula a estos materiales es la conductividad térmica, directamente relacionada con su densidad aparente del material (Arambarri & Aglietti, 2000, p. 941).

#### 2.2.2.3. *Carcasa*

Por último, la capa más externa es la carcasa, que con ayuda de soportes se encarga de sostener y proteger el interior del horno. Suelen ser de materiales rígidos como aceros y capaces de soportar la corrosión, en casos en los que son vulnerables a la corrosión del ambiente se les aplica un recubrimiento, por lo general de pintura.

### 2.3. **Transferencia de calor**

En el día a día nos encontramos con fenómenos que involucran transferencia de calor, donde un cuerpo de mayor temperatura que otro cuerpo o medio le transfiere energía térmica de forma decreciente hasta llegar a un equilibrio térmico. Estos fenómenos los podemos encontrar desde nuestros hogares, en máquinas simples como cafeteras o cocinas; hasta en grandes industrias que

disponen de calderas, intercambiadores de calor, hornos entre otros equipos de transferencia de calor.

Mediante la termodinámica se puede determinar la cantidad de calor que se intercambia durante el proceso térmico, pero no puede predecir la rapidez con la que se realiza ese intercambio de energía, que es lo que generalmente requiere un diseñador o ingeniero para fabricar una máquina térmica o cualquier otro elemento que vaya a ser sometido a un cambio de temperatura. Es por ello necesario el estudio de otra ciencia que pretenda explicar de una mejor manera estos fenómenos determinando las razones por las que ocurren, y los parámetros que rigen esta transferencia.

La ciencia encargada de explicar estos eventos cotidianos es la transferencia de calor, que, basándose en las leyes de la termodinámica nos ayuda a determinar variables como dimensiones, geometría, materiales y tiempo, que intervienen durante el proceso térmico hasta que llega al equilibrio térmico.

Los problemas más concurridos que suele tener esta ciencia al momento de aplicarla en la ingeniería son: el cálculo de la razón de cantidad de calor por unidad de tiempo que se puede dar en un sistema que ya está diseñado; o viceversa, el diseño de un sistema para que se transmita cierta cantidad de calor en un tiempo ya establecido.

Para la resolución de problemas de diseño se puede realizar un procedimiento experimental de prueba y error que a la larga resulta costoso y de una duración prolongada con resultados no tan precisos, donde pueden existir sobredimensionamientos. Pero por otro lado también existe el procedimiento analítico que resulta más barato y de una duración más corta con una mayor exactitud en los resultados, y que, además, para garantizar estos resultados se agrega el procedimiento experimental para adaptar a la realidad el diseño propuesto y verificar los resultados. (Cengel & Ghajar, 2011, pp. 2-5)

En el análisis de la transferencia de calor se estudian 3 mecanismos de transferencia. Estos son los modos por las que se produce este fenómeno de transmisión de energía térmica entre dos cuerpos o medios. Debido al proyecto, es necesario el estudio de estos mecanismos, y así, determinar las variables necesarias para el diseño del horno. A continuación, se los explica brevemente:

### 2.3.1. *Conducción*

Este mecanismo de transferencia de calor se produce cuando dos cuerpos están en contacto directo, pero no intercambian materia y la transferencia de calor se da desde un medio hacia otro a través de un material.

Todos los materiales tienen una propiedad física llamada conductividad térmica que es la capacidad que tienen los materiales de conducir calor a través de ellos mediante la vibración de las partículas o por el intercambio de electrones.

Para determinar la razón de transferencia de calor por unidad de tiempo en determinada dirección, hacemos uso de la ecuación de Fourier, nombrada así en honor al físico y matemático Joseph Fourier. (Holman, 1999, p. 18)

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

Donde,

q: razón de transferencia de calor.

k: conductividad térmica del material.

A: área perpendicular al flujo de calor.

$\partial T$ : diferencia de temperatura.

$\partial x$ : espesor del material que va atravesar el flujo de calor.

Con esta ecuación podemos calcular cuánto calor fluye a través de un material de determinado espesor con un área perpendicular al flujo que se encuentra afectado por un gradiente de temperatura.

### 2.3.2. *Convección*

Este modo de transferencia de calor se da entre una superficie sólida y un fluido en movimiento, que al moverse más rápido aumenta la transferencia de calor que la produce moviendo partículas al azar.

La convección puede ser forzada si existe algún equipo como una bomba o ventilador que provoque el movimiento del fluido sobre la superficie, pero también puede ser natural cuando el

movimiento del fluido es provocado por la diferencia de densidades del fluido debido al aumento de temperatura.

Este mecanismo pasa a ser conducción cuando la diferencia de temperatura entre el sólido y el fluido no es tan grande que no logra vencer la resistencia al movimiento del fluido.

Al igual que en la conducción, existe una ecuación para el cálculo del flujo de calor por convección, la cual es denominada “ley de Newton del enfriamiento” descrita a continuación:

$$q = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Donde:

$h$ : coeficiente de transferencia de calor por convección.

$A_s$ : área del sólido en contacto con el fluido en movimiento.

$T_s$ : temperatura de la superficie del sólido.

$T_\infty$ : temperatura del fluido suficientemente distante del sólido.

De esta manera podemos saber que mientras mayor sea el área de contacto mayor será también la transferencia de calor, pero el área no es algo muy conveniente modificar para un diseño, en tales casos es preferible seleccionar otro material (Cengel & Ghajar, 2011, pp. 373-375).

### **2.3.3. Radiación**

La radiación es un mecanismo de transferencia de calor por el cual un cuerpo con una temperatura superior al cero absoluto puede transferir energía térmica hacia el exterior. A estos cuerpos que emiten radiación se los puede denominar radiadores.

Un radiador perfecto denominado también cuerpo negro puede emitir cierta cantidad de calor calculada bajo la siguiente ecuación:

$$q = \sigma A_1 T_1^4 \quad (3)$$

Donde,

$\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann

$A_1$ : área superficial

$T_1$ : temperatura superficial del cuerpo

Si el cuerpo negro irradia calor sobre un recinto negro, el cálculo de transferencia de calor viene dada por la siguiente ecuación:

$$q = \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (4)$$

Donde  $T_2$  es la temperatura del recinto negro. Esta ecuación es aplicable para radiadores perfectos, pero no es lo que se da en la práctica. Cuando el cuerpo no es negro se lo denomina cuerpo gris y viene afectado por una emisividad que es una constante menor a 1. Entonces la ecuación de transferencia de calor por radiación será:

$$q = \sigma A_1 \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (5)$$

donde  $\varepsilon_1$  es la emisividad del cuerpo gris, pero esto es aplicable cuando el recinto sea un cuerpo, que es algo que difícilmente se da. En el caso de que ambos cuerpos tengan una relación geométrica, la ecuación vendría afectada por un factor  $\mathcal{F}_{1-2}$  así:

$$q = \sigma A_1 \mathcal{F}_{1-2} (T_1^4 - T_2^4) \quad (6)$$

la radiación casi siempre viene combinada con otro mecanismo de transferencia de calor como la convección, con lo que se dificulta un poco la resolución de estos problemas y toca utilizar otras metodologías de resolución (Kreith et al., 2012, pp. 21-22).

## 2.4. Ciencia e ingeniería de materiales

El estudio de los materiales cada vez es más arduo y relevante, por lo que se ha desarrollado como una ciencia e incluso una ingeniería en la que investigan a profundidad tanto la composición como la microestructura de los materiales. Con estos estudios tratan de desarrollar nuevos materiales, donde implementan nuevos procesos de fabricación para la obtención de materiales útiles para nuevos dispositivos o estructuras.

El campo de los materiales es muy amplio por lo que es necesario una clasificación en base a sus propiedades para un estudio más minucioso que nos permita seleccionar un tipo de material más aplicable al proyecto en desarrollo (Askeland et al., 2009, p. 4).

### **2.4.1. Clasificación de los materiales**

Los materiales según su composición y microestructura se pueden clasificar en tres grupos principales: metales, cerámicas y polímeros. Además de estos, existen otros materiales un poco más tecnológicos como los semiconductores y otros materiales que resultan de la combinación de los materiales antes mencionados y se los denomina materiales compuestos. Para nuestro caso de estudio profundizaremos en los materiales que conformaran el cuerpo del horno. A continuación, se describirán un poco sus principales propiedades y características (Callister, 1995, p. 4).

#### **2.4.1.1. Metales**

La mayoría de los metales debido a su gran capacidad de reaccionar con otros elementos se encuentran combinados en la naturaleza. Esta capacidad para combinarse en muchas ocasiones es aprovechada para mejorar ciertas propiedades del material.

Las principales propiedades que presentan los metales son la conductividad térmica y eléctrica. Estas propiedades hacen que sean muy útil su empleo en equipos y elementos eléctricos y térmicos como intercambiadores de calor, calderas o resistencias eléctricas.

Para las resistencias eléctricas existen varias aleaciones de metales. Entre estas las más utilizadas son aleaciones de Ni-Cr y Fe-Cr-Al, pero la composición que lleven estas aleaciones depende de los rangos de temperatura en que vayan a trabajar (Astigarraga, 1994, p. 15).

Otra de sus propiedades aprovechada para disponer de los metales en diferentes geometrías son la maleabilidad y ductilidad, con las cuales podemos moldear los metales en una gran variedad de formas.

Las aplicaciones de los metales tienen una gran amplitud de campos donde pueden estar sometidos a grandes cargas tales como estructuras, en las que sus propiedades de tenacidad y resistencia mecánica favorecen estos materiales para su empleo en estructuras de edificios, puentes, torres, antenas y cualquier otro tipo de estructura (Urbano, 2011, pp. 1-3). En el país, el acero A36 es muy utilizado en el ámbito estructural, por lo que puede ser un gran candidato para los soportes que deben ser anclados al bastidor de la máquina.

#### **2.4.1.2. Cerámicos**

Los materiales cerámicos han sido usados desde hace mucho tiempo atrás, incluso antes que los metales, como prueba de ello existen vasijas de arcilla y barro, e incluso vidrios.

Estos materiales presentan ciertas propiedades opuestas a las de los metales. Entre estas propiedades están su baja conductividad térmica y eléctrica. Por estas propiedades los vemos en boquillas de focos, elementos de protección eléctrica e incluso en la construcción.

Entre otra de sus propiedades destacan su alta rigidez y baja plasticidad. Estos materiales soportan bajas cargas de tracción, pero pueden soportar cargas a compresión.

Para la obtención de materiales cerámicos que sean ya útiles para su aplicación es necesario un proceso de manufactura, que comienza con la obtención de la materia prima, donde se toma en cuenta la pureza de polvo, tamaño, entre otras características. Existen diversos procesos, pero en la mayoría se utiliza calor para darle rigidez y obtener sus propiedades más beneficiosas según sea la aplicación (Rocha, 2005, pp. 7-10).

#### *2.4.1.2.1. Materiales refractarios*

Dentro de los materiales cerámicos, existe un subgrupo perteneciente a los materiales refractarios que, gracias a sus propiedades de baja conductividad térmica, capacidad de mantener calor en espacios cerrados y soportar altas temperaturas sin deformarse. Son muy utilizados los ladrillos refractarios y el cemento refractario que permite su unión para la construcción de una gran variedad de hornos.

#### *2.4.1.3. Materiales compuestos*

Este grupo resulta de la combinación de materiales con una sola fase de naturalezas diferentes. Los materiales compuestos resultan entonces con las propiedades y características de sus componentes. Este tipo de materiales resulta de un mercado altamente competitivo que cada vez tiene que satisfacer nuevas necesidades.

Por lo general una de las principales propiedades que se busca mejorar es la relación peso-resistencia, en el ámbito estructural. Algunos de los materiales con mayor acogida ha sido la fibra de carbono, la cual es muy usada en la aeronáutica, industria automotriz, hasta en máquinas simples como bicicletas (Guerrero et al., 2011, pp. 45-50).

#### *2.4.1.3.1. Materiales aislantes*

Los materiales aislantes, son un subgrupo de los materiales compuestos que principalmente son usados para aislamiento acústico y térmico.

La aislación térmica tiene una gran importancia en la industria en cuanto a reducir las pérdidas de energía. La propiedad física que regula a estos materiales en su conductividad térmica, directamente relacionada con su densidad aparente del material. Esta característica demuestra su capacidad de trasmisión de calor y por lo tanto determinan los costos energéticos de muchos procesos (Arambarri & Aglietti, 2000, p. 941).

**Tabla 2-2:** Clasificación de los aislamientos

Tipo	Peso / Pie cuadrado	Limite de utilización °F
Tierras de infusorios, (diatomita) con asbestos y caliza.	23	1800° - 1900°F
Fibras:		
Bloques de lana de escoria	15 – 20	1500 – 1700°F
Cubiertas de lana de vidrio	3	800 – 1000°F
Bloques de lana de sílice-alúmina	12 - 20	2000 – 2300°F
Lana de sílice-alúmina ligera (cardada)	3 – 10	2000 – 2300°F
VERMICULITA:		
Bloques	19	1500 – 1600°F
Fibras sueltas	10	1500 – 1600°F
Caolín – Yeso	30	1600°F
Vidrio espumado	10	1000°F

Fuente: (Mendez & Suasnavas, 2012, p. 21)

#### 2.4.2. Selección de materiales

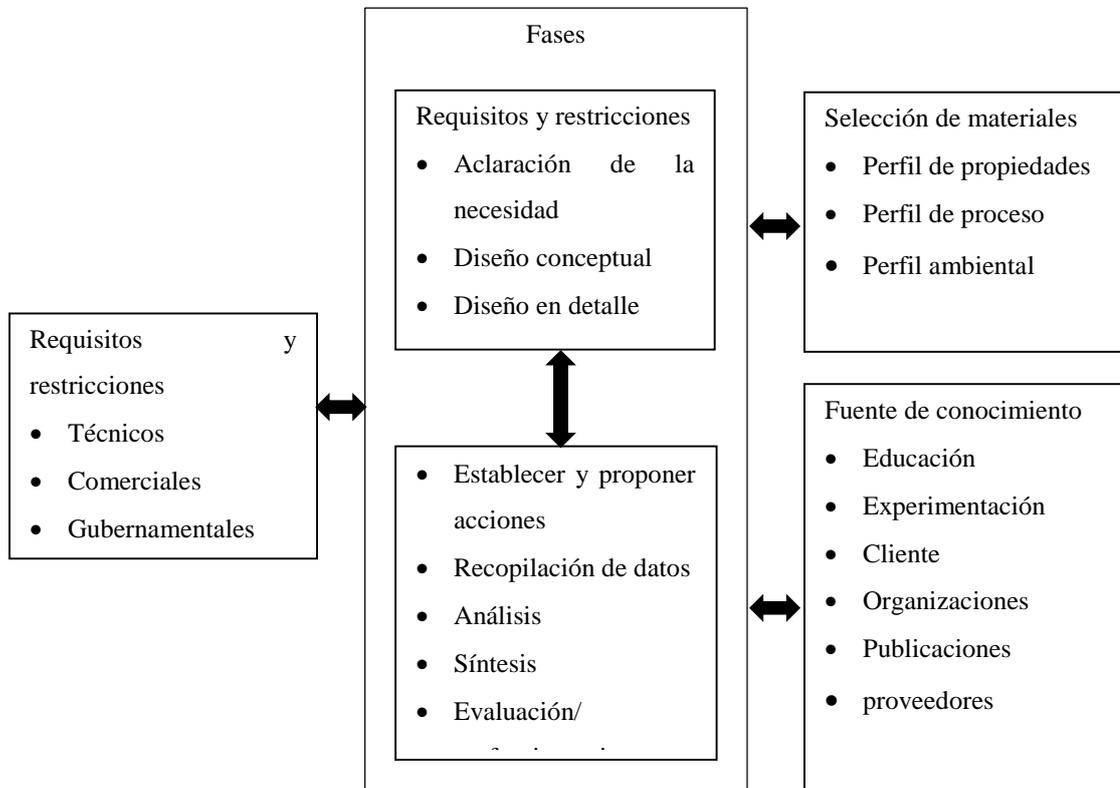
El desarrollo de la ingeniería y ciencia de materiales nos permite disponer actualmente de una amplia gama de materiales. Los cuales se han ido desarrollando continuamente sus procesos de obtención.

Una correcta selección de material por parte del diseñador o ingeniero permite un mejor desempeño del elemento, no solo en cuanto a su desempeño se refiere sino también nos permite ahorros considerables.

Generalmente para una buena selección de materiales, se parte de una gran variedad de materiales, de los cuales se va evaluando los materiales que van a cumplir con ciertas funciones de acuerdo a nuestras necesidades, tales como el peso, resistencia, conductividad eléctrica o térmica entre

otras, además también se debe tomar en cuenta factores externos al cumplimiento de funciones tales como: costos o disponibilidad en el mercado (González & Mesa, 2004, p. 175).

En fin, para facilitar y mejorar la selección de un material a continuación se describe un poco el procedimiento:



**Figura 2-2.** Etapas del procedimiento para selección de materiales

**Fuente:** (González & Mesa, 200,.: p. 176)

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry 2019

El proceso anterior nos permite seleccionar materiales disponibles en el mercado que conformarán el cuerpo del horno, desde el material de las resistencias eléctricas hasta la carcasa del mismo, garantizando un buen desempeño.

## 2.5. Sistema de control

Un sistema de control de un proceso permite observar variables de salida y entrada mediante indicadores, para poder regular mediante actuadores según sean nuestros requerimientos. Un sistema de control es aplicado en procesos donde se requiera controlar variables físicas como temperatura, presión, nivel entre otras (Cuji, 2014, p. 4).

### 2.5.1. Tipos de sistemas de control

Los sistemas de control se pueden clasificar según su estructura en dos tipos.

#### 2.5.1.1. Sistema de control de lazo abierto

Un sistema de circuito abierto, también conocido como sistema sin retroalimentación, es un tipo de sistema de control continuo en el que la salida no tiene influencia o efecto sobre la acción de control de la señal de entrada. En otras palabras, en un sistema de control de bucle abierto, la salida no se mide ni se “retroalimenta” para compararla con la entrada. Por lo tanto, se espera que un sistema de circuito abierto siga fielmente su comando de entrada o punto de ajuste independientemente del resultado final (Cuji, 2014, p. 7).

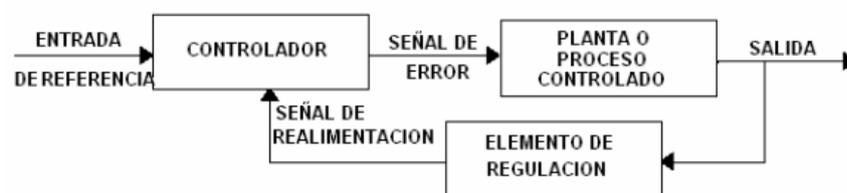


**Figura 3-2.** Esquema de un sistema de control de lazo abierto

Fuente: (Perez et al., 2008: p. 10)

#### 2.5.1.2. Sistema de control de lazo cerrado

Un sistema de control de circuito cerrado, también conocido como sistema de retroalimentación es el que utiliza el concepto de un sistema de circuito abierto como su ruta directa, pero tiene uno o más circuitos de retroalimentación (de ahí su nombre) o rutas entre su salida y su entrada. La referencia a "retroalimentación", simplemente significa que una parte de la salida se devuelve "de regreso" a la entrada para formar parte de la excitación del sistema (Perez et al., 2008: p. 11).



**Figura 4-2.** Esquema de un sistema de control de lazo cerrado

Fuente: (Perez et al., 2008, p. 11)

Este el sistema de control se puede aplicar al control de temperatura del horno. Donde la señal de entrada nos permite encender las resistencias, estas se calientan y por medio de sensores se

determina la temperatura del interior del horno (señal de salida). Las resistencias estarán encendidas hasta que se llegue a la temperatura requerida, luego de ese objetivo se apagarán las resistencias (señal de realimentación). De esta manera con el encendido y apagado de las resistencias se mantiene la temperatura interna requerida de la cámara de calentamiento.

## 2.6. Instrumentos de medición y control de temperatura

### 2.6.1. Sensor de temperatura

Los sensores son instrumentos que detectan cambios en variables físicas como: presión, volumen, nivel, caudal, temperatura entre otros.

Para el caso de los sensores de temperatura es un sistema que detecta variaciones en la temperatura del aire o del agua y la transforma en una señal eléctrica que llegue hasta un sistema electrónico que se encarga de interpretar esta señal y realizar una acción según como esté programado. Estos pueden adoptar distintas formas.

En la mayoría de las aplicaciones industriales y comerciales el elemento sensor se encuentra dentro de una funda sellada de acero inoxidable unido a una cabeza ensamblada en forma de tornillo para unir a un cable el señor del aparato a medir. La cabeza del sensor se puede conectar al sistema electrónico en cuestión (Encinas, 2011, p. 10).



**Figura 5-2.** Funda típica montada en sonda RTD

**Fuente:** (Encinas, 2011, p. 10)

Para algunas aplicaciones es muy útil el uso de sensores sin funda. Esto se aplica principalmente para sensores muy robustos como los termopares. Las ventajas que incluyen son una respuesta más rápida, menor tamaño y costo.

Cuando se está midiendo temperaturas muy altas, por encima de los 600 °C, a menudo el material de la funda empieza a ser crítico. Este se elige por su tolerancia química en el medio que se está midiendo y sus efectos contaminantes sobre el elemento sensor. La difusión atómica es fuertemente acelerada a temperaturas elevadas (Encinas, 2011: p. 10).

### 2.6.2. Selección de un sensor de temperatura

Existen varios sensores que pueden medir temperatura. La elección se basa en los siguientes factores: la precisión, el rango de temperaturas, el acceso al punto de interés, la velocidad de respuesta, el entorno (producto químico, físico, eléctrico) y la rentabilidad. Seleccionar el sensor apropiado no siempre es una tarea fácil. Uno de los métodos es seguir el ejemplo de otros en el campo (aunque no siempre es el más idóneo) (Condori & Serpa, 2017, p. 25). La siguiente tabla muestra una guía de selección:

**Tabla 3-2:** Relación de sensores tradicionales según el campo de utilización

<b>Campo</b>	<b>Sensores Tradicionales</b>
Investigación agrícola	Termistor, termopar tipo T, semiconductor
Automóvil	Termistor, Pt100, bimetálico
Procesos químicos y de los materiales	Pt100, termopar
Criogénicos	Resistencia de óxido de metal
Investigación ambiental	Termistor, termopar tipo T, Pt100, semiconductor
Industria general	Pt100
Educación, pasatiempos	Semiconductor, termistor, termopar tipo T, pintura
Calefacción, ventilación y aire acondicionado	Ni 10000, termistor, Pt100, pintura
En productos manufacturados	Semiconductor, termistor, Pt100
Metalúrgica	Termopar tipo K o N

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Fuente:** (Encinas, 2011: p. 17)

Un buen punto de partida es definir los siguientes requisitos:

- La precisión y la resolución requerida.
- La necesidad de sustituir y/o reemplazar el sensor.
- El rango de temperaturas.
- La capacidad de medida del equipo.
- El costo.
- Si la calibración individual es práctica.

- Compatibilidad media y otras cuestiones ambientales que pudieran afectar a la fiabilidad y la conservación de los sensores (Encinas, 2011: p. 17).

### 2.6.3. *Detector de temperatura resistiva (RTD)*

Los detectores de temperatura resistivos (RTDs) dependen de los fenómenos previsible y repetibles de la resistencia eléctrica de los metales que cambian con la temperatura.

El coeficiente de temperatura para todos los metales puros son los de orden de 0.003 a 0.007 ohmio/ °C. Los metales más comunes utilizados para la detección de temperatura son platino, níquel, cobre y molibdeno. Mientras que la resistencia, las características de temperatura de cierto semiconductor y de materiales de cerámica se utilizan para detectar la temperatura, tales sensores no se clasifican generalmente como RTDs (Condori & Serpa, 2017: p. 26).

#### 2.6.3.1. *Tipos de RTDs*

Por lo general casi cualquier tipo de metal se puede utilizar para la fabricación de RTDs, pero el número utilizado en la práctica es limitado (Condori & Serpa, 2017: p. 27).

**Tabla 4-2:** Tipos de RTDs

<b>Metal</b>		<b>Rango de temperatura</b>	<b>Alfa</b>	<b>Comentarios</b>
Cobre	Cu	-200 a 260 °C	0.0047	Bajo coste
Molibdeno	Mo	-200 a 200 °C	0.00300 0.00385	Bajo coste, alternativa al platino para rangos bajos de temperatura
Níquel	Ni	-80 a 260 °C	0.00672	Bajo coste, rango limitado de temperatura
Níquel-Hierro	Ni-Fe	-200 a 200 °C	0.00518	Bajo coste
Platino	Pt	-240 a 660 °C	0.00385 0.00392 0.00377	Buena precisión, rango amplio de temperatura disponible hasta 1000°C

Fuente: (Encinas, 2011, p. 27)

#### 2.6.4. Termocuplas

Este tipo de sensores está constituido por dos materiales diferentes principalmente, que son unidos en un punto por soldadura, generalmente con estaño o soldadura por arco eléctrico.

El principio de funcionamiento de este tipo de instrumentos se basa en el efecto Seebeck, donde al estar expuestos en dos puntos a diferentes temperaturas; provocando la aparición de una fuente electromotriz, por lo que genera una diferencia de tensión muy pequeña medida en mili Voltios, según el tipo de Termocupla, existe una escala de temperaturas en función del voltaje.

La combinación de los materiales que conforman estos elementos para sensar temperatura depende de la aplicación y el entorno en que vayan a funcionar, en ocasiones debido al medio de trabajo se las coloca dentro de fundas especiales. En fin, para una correcta selección en la tabla 4-2 se indica las termocuplas que pueden ser utilizadas (Lara & Gaspar, 1991, pp. 7-11).

**Tabla 5-2.** Materiales, rangos de temperatura, tensión y letra con que se designa a diferentes termocuplas

Materiales de unión	Temperatura de utilización (°C)	Rango de tensión (mV)	Tipo
Platino 6% Rodio-Platino 3% Rodio	38 a 1800	13.6	B
Tungsteno 5% Renio- Tungsteno 26% Renio	0 a 2300	37	C
Cromel- Constantan	0 a 982	75	E
Hierro- Constantan	-184 a 760	50	J
Cromel- Alumel	-184 a 1260	56	K
Platino- Platino 13% Rodio	0 a 1593	18.7	R
Platino- Platino 10% Rodio	0 a 1538	16	S
Cobre- Constantan	-184 a 400	26	T

**Fuente:** (Lara & Gaspar, 1991, p. 9)

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

#### 2.6.5. Controlador Lógico Programable (PLC)

Un controlador lógico programable más conocido como PLC por sus siglas en inglés (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para procesos electromecánicos, entre otros. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) la cual nos dice que un PLC “es un instrumento electrónico, que utiliza

memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuenciales de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos” (Condori & Serpa, 2017, p. 27).

#### 2.6.5.1. *Ventajas del PLC*

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, principalmente debido a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Las ventajas que presentan son:

- No es necesario dibujar el esquema de contactos.
- No es necesario simplificar las ecuaciones de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda simplemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente se eliminará parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra en la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.

Menor tiempo para puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado (Condori & Serpa, 2017, p. 28).

### 2.6.5.2. *Desventajas del PLC*

- Como inconveniente inicial se necesita un programador, por lo cual se necesita capacitación, pero hoy en día no es tan complicado por lo que en las universidades ya se encargan de dicha capacitación.
- El costo inicial podría ser un inconveniente.

## 2.7. **Elementos eléctricos**

### 2.7.1. *Contactador*

Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, en lugar de ser operados manualmente (Mendez & Suasnavas, 2012, p. 53).

### 2.7.2. *Relés Térmicos*

Son elementos de protección contra sobre carga, cuyo principio de funcionamiento se basa en la deformación de ciertos elementos (bimetálicos) bajo el efecto de calor, unos contactos auxiliares que desactiven la energía de todo el circuito de mando y al mismo tiempo energizan un elemento de señalización (Mendez & Suasnavas, 2012: p. 55).

### 2.7.3. *Fuente de poder*

La fuente de poder o regulador de voltaje tiene como función suministrar corriente eléctrica a un aparato electrónico que funcione con determinado valor de voltaje. La corriente que se transmite es continua (Enríquez, 2005, p. 12).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Estudio y selección de alternativas

##### 3.1.1. Ingeniería concurrente

Para el desarrollo de nuestro horno es necesario recurrir a la ingeniería concurrente que no es más que una forma de aplicar el diseño apoyándonos en diferentes puntos de vista, desde el ingenieril hasta el del usuario; de esta manera podemos abarcar todos los pasos necesarios para una correcta elaboración del horno, desde la selección de materiales, hasta el montaje del mismo.

Dentro de la ingeniería concurrente existen diversas metodologías que pueden ser aplicadas, entre las cuales existe un método de diseño que es el desarrollo de la función de la calidad. Este método parte de los requerimientos del usuario, con la ayuda del cual se desarrolla un correcto diseño que englobe todo el ciclo de vida del producto (Riba, 2002: pp. 176-178).

Dentro del desarrollo de la función de la calidad tenemos la planificación del producto, esta fase se la puede representar mediante la matriz QFD y será nuestra metodología inicial para el diseño del horno.

##### 3.1.2. Matriz Quality Function Deployment (QFD)

Esta matriz también conocida como casa de la calidad nos permite convertir los requerimientos del usuario del producto en características técnicas determinantes para la construcción del horno. Para el desarrollo de esta matriz se sigue los siguientes pasos:

###### 3.1.2.1. Voz del usuario

Son las necesidades y deseos del usuario para su producto y que van a ser la guía para el diseño. Estos requerimientos se complementan con algunas especificaciones que nos da la norma como que el horno debe ser eléctrico, recomienda además un control automático entre otras especificaciones. Dentro de estas características debemos tomar en cuenta no solo las que nos pide el cliente sino también implementar ciertas funciones complementarias que al final den una completa satisfacción al usuario. En nuestro caso son los siguientes:

- Elevada temperatura para los ensayos de termofluencia

- Adecuada temperatura en el exterior del horno
- Fácil montaje y desmontaje de la probeta
- Mantenimiento fácil
- Mantener temperatura constante
- Trabajo por largos periodos de tiempo
- Seguridad para el operario
- Funcionamiento con energía eléctrica
- Buen acabado
- Bajo costo
- Larga vida útil
- Fácil de operar

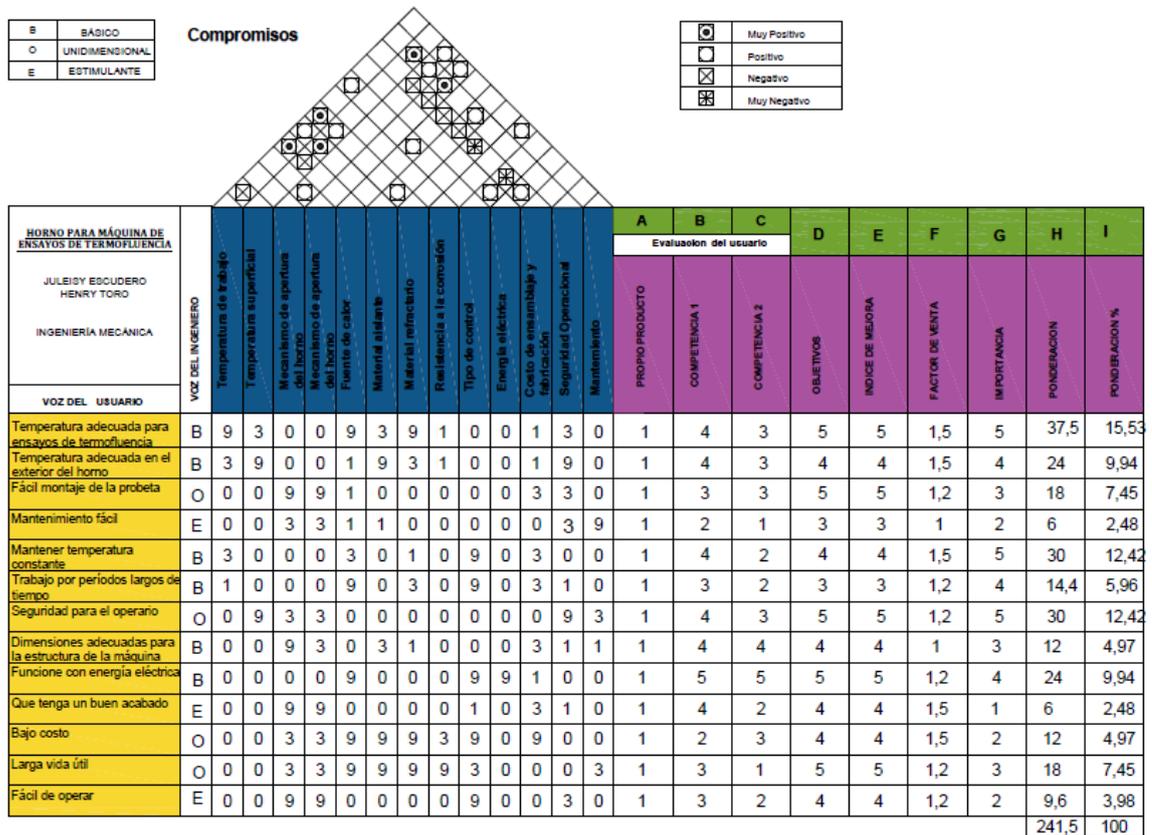
### 3.1.2.2. *Voz del ingeniero*

En este paso se procede a traducir las demandas del usuario en especificaciones técnicas necesarias para nuestro producto. Para cada requerimiento del usuario debe existir una o más especificaciones técnicas, de esta manera se engloba todo el ciclo de vida del producto. Para este caso las especificaciones serán las siguientes:

- Temperatura de trabajo
- Temperatura superficial
- Mecanismo de sujeción de la probeta
- Mecanismo de apertura del horno
- Mantenimiento
- Fuente de calor
- Material refractario
- Material aislante
- Resistencia a la corrosión
- Energía eléctrica
- Costos
- Sistema de control
- Seguridad operacional

3.1.2.3. Resultados de la casa de la calidad

Una vez conocidos los requerimientos del usuario y tras haber realizado su respectiva interpretación ingenieril para convertir estas características obtenemos los resultados de la casa de la calidad donde la evaluación realizada a nuestro producto fue de 1 para cada una de las especificaciones ya que el horno que se encuentra en desarrollo no es un horno comercial que se encuentre en el mercado, sino que es un producto nuevo que debe cumplir ciertas características específicas como la temperatura de trabajo que debe llegar a los 750°C. Esta temperatura es en base a que algunos registros de ensayos publicados en la norma ASTM E-139 se han realizado a temperaturas cercanas a los 740°C. En la Gráfico 1-3 se describe el desarrollo de la casa de la calidad.



Propia empresa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Competencia 1	4	4	3	2	4	3	4	4	5	4	2	3	3		
Competencia 2	3	3	3	1	2	2	3	4	5	2	3	1	2		
Incidencia	513,9	598,5	608,4	536,4	1091,1	640,5	764,7	259,5	870	216	434,7	731,7	210	7475,4	
Incidencia %	6,87	8,01	8,14	7,18	14,60	8,57	10,23	3,47	11,64	2,89	5,82	9,79	2,81	100	

<b>Factor de Incidencia</b>	
Fuerte = 9	⊙
Medio = 3	○
Bajo = 1	▽

<b>Evaluación Técnica</b>	VALORES DE REFERENCIA
	750 °C
	60°C
	Apertura tipo libro con rieles
	Sujeción con mordazas
	Resistencia tipo anillo
	Manta mineral
	Ladrillo refractario
	Carcasa de acero inoxidable 410
	Temperatura controlada por PLC Y LOGO 220V
	\$1500 a \$2000
	Diseño ergonómico
	Mantenimiento preventivo

### Gráfico 1-3. Casa de la calidad

Realizado por: Escudero Julesy, Toro Henry 2019

Con la respectiva evaluación, establecimos los objetivos a los cuales deseamos llegar con la construcción del horno. En el desarrollo de la matriz se determinó los componentes o especificaciones que requieren más atención por su porcentaje de ponderación e incidencia más altos.

#### 3.1.2.4. Especificaciones técnicas

Con los resultados de la casa de la calidad una vez analizados, se obtuvo los requerimientos que debe poseer la máquina para satisfacer las necesidades del cliente, que luego nos servirán de base para la adquisición de los componentes de la máquina. Algunos datos tomados en cuenta en la Tabla 1-3 se basan en datos referentes a otros ensayos que se hicieron anteriormente en la máquina. En dicha máquina se ensayaron probetas de acero A36 y otras fundiciones hasta temperaturas de 650 °C, además, la norma ASTM E139 nos indica también resultados de materiales ensayados a temperaturas superiores a los 700°C.

**Tabla 1-3:** Especificaciones técnicas

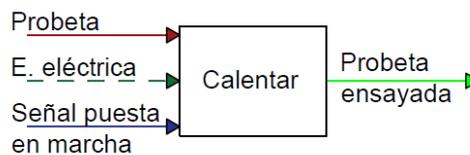
Parámetro objetivo	Valores de referencia
Temperatura de trabajo	750°C
Temperatura superficial	60°C
Mecanismo de apertura del horno	Apertura tipo libro con rieles
Mecanismo de sujeción de la probeta	Sujeción con mordazas
Fuente de calor	Resistencia eléctrica
Material aislante	Manta mineral

Material refractario	Ladrillo refractario
Resistencia a la corrosión	Carcasa de acero inoxidable
Tipo de control	Control por PLC y LOGO
Energía eléctrica	220V
Costo de ensamblaje y fabricación	\$1500 a \$2500
Seguridad operacional	Diseño ergonómico
Mantenimiento	Mantenimiento fácil y eficiente

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

### 3.1.3. Análisis funcional

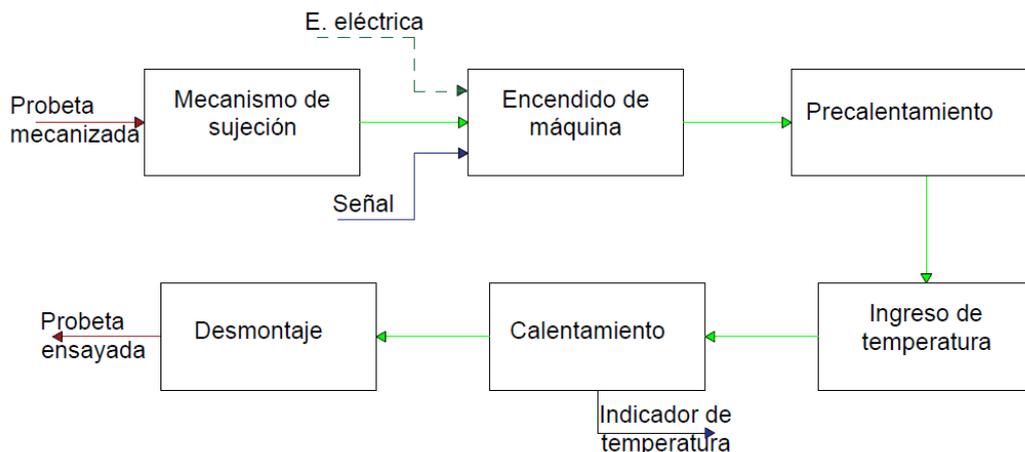
Posterior a la obtención de las especificaciones técnicas que se requiere, detallamos los procesos que se realizan dentro y fuera del horno para cumplir con la función principal. Para esto realizamos en primer lugar un análisis de la función antes mencionada donde se toma en cuenta los flujos de entrada y salida. Este va a ser el Nivel 0 que se muestra en el Gráfico 2-3.



**Gráfico 2-3.** Nivel 0

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Para que el horno cumpla con su servicio, es necesario un análisis más detallado del Nivel 0. Para esto desglosamos dentro del Nivel 1 los pasos y procesos que se debe efectuar para cumplir su función de calentar.



**Gráfico 3-3.** Nivel 1

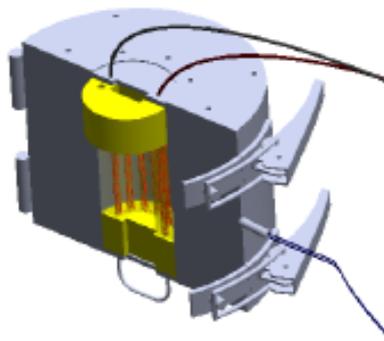
Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry 2019

Todos los procesos indicados en el Nivel 1 son ejecutados por diferentes componentes o mecanismos. Para cada paso puede existir más de una opción, de entre las cuales se describirá algunas de sus propiedades y características. Con su respectiva descripción compararemos y seleccionaremos la mejor opción, no solo en cuanto a desempeñar su función se refiere, sino también basándonos en su disponibilidad y precio en el mercado.

### 3.1.3.1. *Apertura/Cierre*

Nuestro sistema de apertura y cierre debe garantizar seguridad y facilidad para el ingreso y extracción de la probeta, además debe adecuarse al espacio reducido que dispone por las limitaciones que le da el bastidor de la máquina. Los sistemas que se va a tomar en cuenta serán: tipo libro simple y tipo libro con rieles.

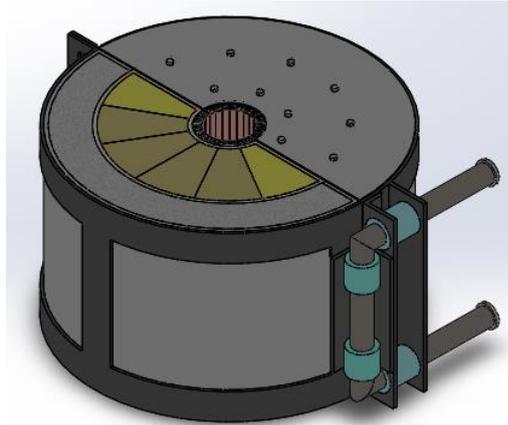
Tipo libro simple: El mecanismo es sencillo y económico. Consta de dos bisagras que le permiten una apertura de 90° restringido por el bastidor de la máquina. Es un mecanismo que impide desalineamientos en el cierre, sellando el horno bastante bien.



**Figura 1-3.** Horno tipo libro

**Fuente:** (Caicedo, 2014, p. 57)

Tipo libro con rieles: Con un sistema muy parecido al de libro simple, a este mecanismo viene incorporado dos ejes que se desplazan linealmente para salir de las limitaciones que provoca el bastidor. Este sistema tiene una apertura de 180° dándole mayor comodidad al usuario de trabajar en el horno en el momento previo a realizar el ensayo y durante los mantenimientos que necesite el horno.



**Figura 2-3.** Horno tipo libro con rieles

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

### 3.1.3.2. Sistema de sujeción

Como las probetas que van a ser ensayadas son de acero y planas, el mecanismo que va a sujetarlas debe tener una buena resistencia mecánica capaz de impedir desalineamientos durante el ensayo sin deformarse.

La opción que nos garantiza esto, son pernos con cabeza de alta resistencia mecánica, los cuales tienen un costo relativamente bajo y se pueden ajustar fácilmente, garantizando seguridad y precisión para realizar el ensayo.

### 3.1.3.3. Fuente de calor

Para esta función optaremos por escoger una resistencia eléctrica de fácil conexión. Estas resistencias son muy eficientes como fuentes de calor y tienen muchas aplicaciones, desde duchas eléctricas hasta estufas. Según la aplicación que vayan a tener estas pueden variar su material y geometría.

Los materiales más empleados para fabricar resistencias eléctricas son aleaciones de base Ni-Cr y Fe-Cr-Al. Aunque también existen resistencias para hornos de temperaturas muy altas hechas de molibdeno, tántalo y tungsteno.

Las aleaciones de Fe-Cr-Al poseen temperaturas de trabajo más altas que las de base Ni-Cr. En nuestro caso el material de la resistencia sea cual sea su geometría será una aleación 80Ni- 20Cr porque es un material que aparte de ser los de mayor disponibilidad en el mercado, trabaja muy bien hasta temperaturas de 1200°, el cual es un valor muy ideal para nuestra aplicación (Astigarraga, 1994 pp. 15-23).

Por otro lado, como la probeta atraviesa el horno desde la parte superior hasta la inferior. Las resistencias necesariamente deben ser colocadas en la pared lateral interna de la calderería. Para esta disposición existen algunas opciones entre las cuales podemos optar por las siguientes:

Resistencia eléctrica tipo espiral: Son económicas y maleables, pueden adaptarse a casi cualquier geometría. Para su uso en el horno, se tendría que mecanizar las paredes de la calderería, haciendo ranuras para su instalación. Es un proceso que requiere cierta precisión que debe procurar no dañar considerablemente la calderería.



**Figura 3-3.** Resistencia en espiral

Fuente: (Pozo, 2016, p. 16)

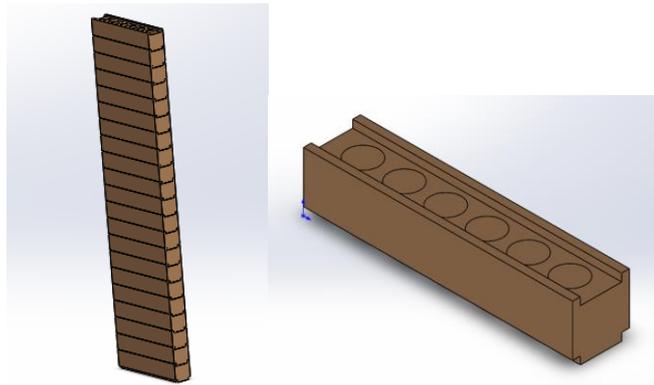
Resistencia eléctrica tipo collarín: La forma de anillo de este tipo de resistencias las hace muy útiles para caldererías con forma cilíndrica para una distribución de calor bastante uniforme. Cuando el vatiaje de la resistencia es relativamente alto el voltaje de suministro debe ser de 220V.



**Figura 4-3.** Resistencia tipo collarín

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Resistencia eléctrica plana: Esta geometría de la resistencia permite que se irradie de una mejor manera a superficies planas, garantizando una temperatura uniforme en toda la superficie irradiada. Además de su forma estas se encuentran encapsuladas en cerámicos refractarios que son en sí los que permiten distribuir uniformemente el calor y protegen a la resistencia. Estas ranuras cerámicas permiten un mantenimiento sencillo y facilitan el reemplazo de las resistencias cuando sea necesario su cambio.



**Figura 5-3.** Resistencia plana

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

#### 3.1.3.4. *Material refractario*

Este tipo de material debe tener como principal función conservar el calor, además de soportar altas temperaturas. En general un material refractario es todo aquel que tiene bajo coeficiente expansión térmica, capacidad de soportar cambios bruscos de temperatura, no debe alterar el material con el que entre en contacto (Sarkar, 2017: pp. 5-7).

Existe una gran variedad de materiales refractarios, pero para nuestro caso tomaremos en cuenta materiales que se pueda modificar su geometría inicial. Entre ellos tenemos los siguientes:

**Asbesto:** Es un material formado por un grupo de silicatos hidratados microcristalinos fibrosos y en cadena. Tiende a ser muy blando, facilitando su mecanizado. Entre sus propiedades más relevantes están las mecánicas, aislantes y químicas. Además, tiene una alta resistencia al calor e incluso a las llamas.

A pesar de sus excelentes características, estudios han demostrado que es un material muy tóxico para quienes se encuentren expuestos a él, ya que con gran facilidad se pueden desprender pequeñas partículas inhalables, las cuales pueden llegar a provocar graves daños en la salud, afectando principalmente al sistema respiratorio (Luis et al., 2009 pp. 208-210).

**Ladrillo refractario:** Los ladrillos presentan una buena resistencia para cargas a compresión, pero presentan rigidez haciendo difícil el mecanizado de estos para darles la forma que deseamos, a pesar de esto pueden ser mecanizados mediante cortes con cuchilla de diamante.

Dentro de este grupo de ladrillos están los refractarios aluminosos, los cuales se clasifican según su contenido de alúmina (ver ANEXO A). Para la temperatura a la que se requiere trabajar es

recomendable utilizar un ladrillo con alto contenido de alúmina. Son resistentes a altas temperaturas, cargas y fuerzas abrasivas. Su tiempo de vida útil es alto y son los más usados en cuanto a hornos se refiere.

Mortero: Este material se mezcla con agua formando una pasta, la cual se emplea para unir los ladrillos refractarios. La composición del mortero que se vaya a emplear debe ser similar a la del material que se va a unir, es decir si utilizáramos ladrillos aluminosos se debe utilizar mortero con un contenido de alúmina semejante. Su duración depende mucho de la mezcla con agua y su posterior secado (ver ANEXO B) (Astigarraga, 1994, pp. 67-72).

#### 3.1.3.5. *Aislante térmico*

Este es uno de los principales materiales que hay que tomar en cuenta, ya que es el principal disipador de calor, lo que nos ayudará a disminuir la temperatura externa garantizando seguridad para el operario. Los aislantes tienen un coeficiente de conductividad térmica más bajo que los materiales refractarios, pero no todos soportan temperaturas muy elevadas. Entre los principales aislantes, capaces de soportar temperaturas superiores a los 200°C tenemos los siguientes materiales:

Lana de vidrio: Es un material muy comercial con una gran variedad de aplicaciones como sistemas de vapor, donde se utiliza como recubrimiento para superficies con una temperatura no muy elevada. Realizan un buen desempeño en aplicaciones donde la temperatura es inferior a los 300°C. de ser sometidas a temperaturas superiores a esta su coeficiente de conductividad térmica aumentará haciendo ineficiente su función principal de disipar calor. En el mercado se puede encontrar en varias formas como cañerías o planchas de diferentes espesores.

Manta mineral: Con un coeficiente de conductividad térmica muy parecido al de la lana de vidrio (ver ANEXO C), este material puede soportar temperaturas más elevadas. Además de ser más amigable con el ambiente. Su precio es superior al de la lana de vidrio, pero tiene una mayor cantidad de aplicaciones en la industria.

Fibra cerámica: Siendo el más costoso de estos materiales, puede trabajar bien en temperaturas mayores que la manta mineral, aunque su coeficiente de conductividad sea muy similar a los materiales previamente descritos (Astigarraga, 1994, pp. 77-78).

### *3.1.3.6. Sistema de control*

Nuestro sistema debe ser preciso y seguro en el control de temperatura, desde el indicador de temperatura hasta el control en sí de la inercia térmica de las resistencias eléctricas haciendo que esta inercia sea lo más pequeña posible. Para cumplir con este objetivo necesitamos en primer lugar de sensores de temperatura que nos indiquen la temperatura que va a ser controlada. Para nuestro caso los sensores que se pueden utilizar, son los siguientes:

**Termocupla tipo K:** Son económicas. Soportan altas temperaturas, permitiendo medir un rango de temperatura bastante alto. Se recomienda utilizar estos instrumentos en ambientes poco corrosivos y no húmedos, porque pueden dañar el material de la termocupla afectando la precisión del mismo.

**Pt100:** Tiene una gran precisión de lectura. Tienen una larga vida útil y no dan lecturas erróneas ya que al verse afectadas dejan de emitir señal alguna, indicando que deben ser cambiadas de inmediato. Como desventaja tienen que no pueden medir a muy altas temperaturas. (ver ANEXO D)

Mediante la señal que emiten los sensores, se puede controlar la fuente de calor mediante la correcta manipulación de la corriente que circula por las resistencias, este control lo podemos realizar mediante:

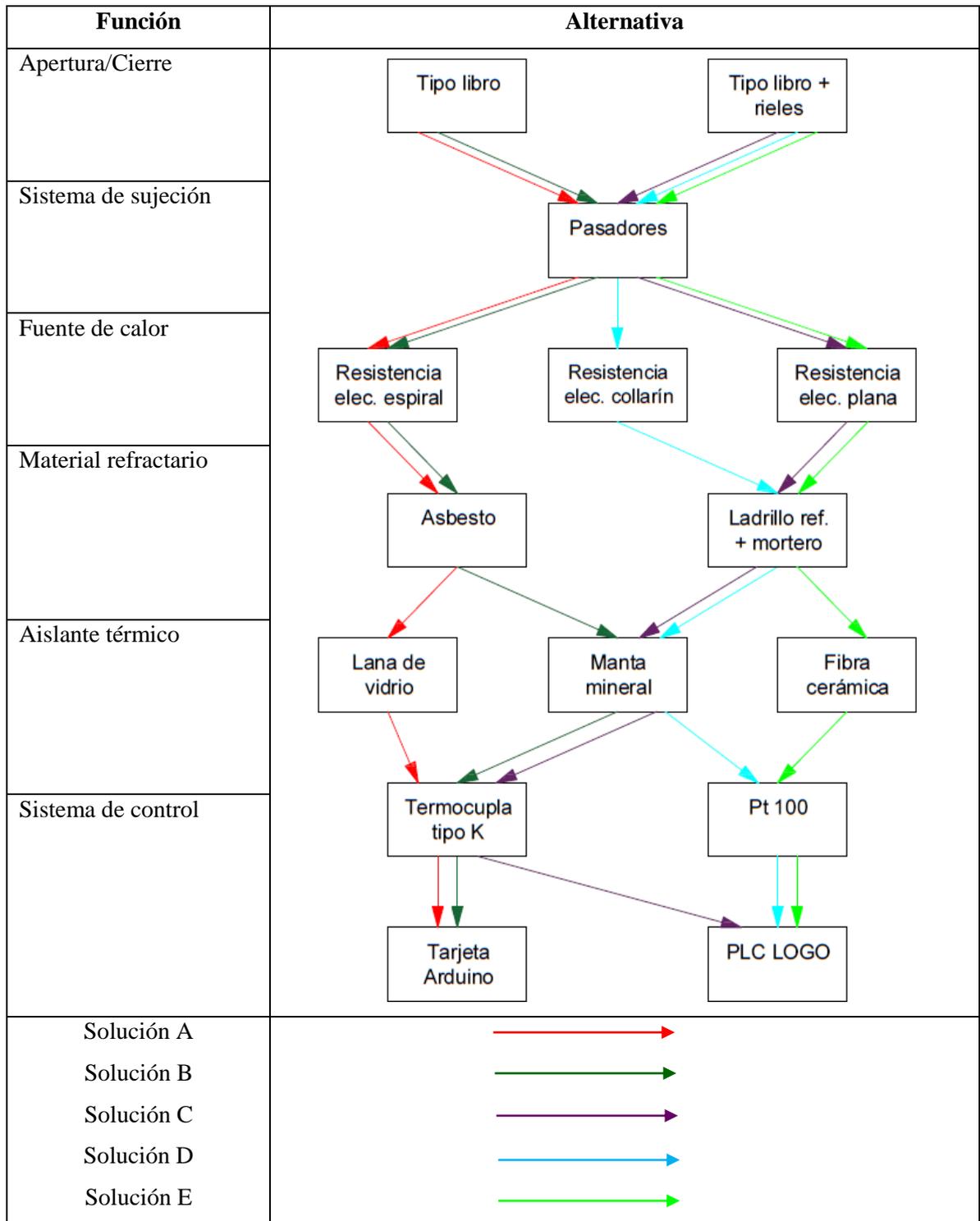
**Tarjeta Arduino:** Tiene un bajo costo, además de ser muy comercial. Tiene limitaciones para el control de procesos. Sus partes son muy vulnerables y no es utilizado a nivel industrial, es más usado en el ámbito estudiantil.

**PLC LOGO:** De la marca Siemens este tipo de controlador usado más a nivel industrial nos garantiza un control muy preciso dependiendo de la programación, con facilidad de conexión alámbrica a nuestro ordenador para registro de datos y control desde él (ver ANEXO E). Su precio es mayor que el de una tarjeta Arduino.

### *3.1.4. Alternativas para cada función*

Según vayamos combinando nuestras alternativas, podemos obtener varias soluciones que satisfacen nuestra función principal. En la Tabla 2-3 presentamos nuestras combinaciones de alternativas en base a los componentes ya descritos, de estas se realizará un análisis para seleccionar la mejor.

**Tabla 2-3:** Alternativas de solución



Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

### 3.1.5. Alternativas de módulos

Para seleccionar la mejor alternativa, debemos tomar en cuenta los criterios más importantes que se toma en cuenta en el diseño del horno. A estos criterios tenemos que evaluar su relevancia entre ellos mediante ponderaciones, y de esta manera obtener el peso específico de cada criterio.

**Tabla 3-3:** Evaluación del peso específico de cada criterio

CRITERIO	Sistema de control	Sistema de apertura	Costo	Aislante térmico	Fuente de calor	Material refractario	$\Sigma +1$	Ponderación
Sistema de control		1	0.5	1	1	1	5.5	0.26
Sistema de apertura	0		0.5	0	0	0	1.5	0.07
Costo	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	3.5	0.17
Aislante térmico	0	1	0.5		1	0.5	4	0.19
Fuente de calor	0	1	0.5	0		0	2.5	0.12
Material refractario	0	1	0.5	0.5	1		4	0.19
SUMA							21	1

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

De igual manera hacemos la evaluación de cada una de las soluciones con cada criterio. Así es como obtenemos el peso específico de todas las soluciones.

**Tabla 4-3:** Evaluación del peso específico del criterio: Sistema de control

SISTEMA DE CONTROL	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		0.5	0	0	0	1.5	0.10
Solución B	0.5		0	0	0	1.5	0.10
Solución C	1	1		1	1	5	0.33
Solución D	1	1	0		0.5	3.5	0.23
Solución E	1	1	0	0.5		3.5	0.23
SUMA						15	1.00

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Tabla 5-3:** Evaluación del peso específico del criterio: Sistema de apertura

SISTEMA DE APERTURA	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		0.5	0	0	0	1.5	0.10
Solución B	0.5		0	0	0	1.5	0.10
Solución C	1	1		0.5	0.5	4	0.27
Solución D	1	1	0.5		0.5	4	0.27
Solución E	1	1	0.5	0.5		4	0.27
SUMA						15	1.00

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Tabla 6-3:** Evaluación del peso específico del criterio: Costo

COSTO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	$\Sigma +1$	Ponderación	
Solución A	1	1	1	1	1	5	0.33	
Solución B	0	1	1	1	1	4	0.27	
Solución C	0	0	1	1	1	3	0.20	
Solución D	0	0	0	1	1	2	0.13	
Solución E	0	0	0	0	1	1	0.07	
						SUMA	15	1.00

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Tabla 7-3:** Evaluación del peso específico del criterio: Aislante térmico

AISLANTE TÉRMICO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	$\Sigma +1$	Ponderación	
Solución A	0	0	0	0	0	1	0.07	
Solución B	1	0.5	0.5	0	0	3	0.20	
Solución C	1	0.5	0.5	0	0	3	0.20	
Solución D	1	0.5	0.5	0	0	3	0.20	
Solución E	1	1	1	1	1	5	0.33	
						SUMA	15	1.00

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Tabla 8-3:** Evaluación del peso específico del criterio: Fuente de calor

FUENTE DE CALOR	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	$\Sigma +1$	Ponderación	
Solución A	0.5	0	0	0	0	1.5	0.09	
Solución B	0.5	0	0	0	0	1.5	0.09	
Solución C	1	1	0.5	1	0.5	4.5	0.28	
Solución D	1	1	0.5	0	0	3.5	0.22	
Solución E	1	1	1	1	1	5	0.31	
						SUMA	16	1.00

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Tabla 9-3:** Evaluación del peso específico del criterio: Material refractario

MATERIAL REFRACTARIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	$\Sigma +1$	Ponderación	
Solución A	0.5	0	0	0	0	1.5	0.10	
Solución B	0.5	0	0	0	0	1.5	0.10	
Solución C	1	1	0.5	0.5	0.5	4	0.27	
Solución D	1	1	0.5	0.5	0.5	4	0.27	
Solución E	1	1	0.5	0.5	0.5	4	0.27	
						SUMA	15	1.00

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Tabla 10-3:** Evaluación total para cada solución

CRITERIO	Sistema de control	Sistema de apertura	Costo	Aislante térmico	Fuente de calor	Material Refractario	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.10	0.10	0.33	0.07	0.09	0.10	0.79	5
Solución B	0.10	0.10	0.27	0.20	0.09	0.10	0.86	4
Solución C	0.33	0.27	0.20	0.20	0.28	0.27	1.55	1
Solución D	0.23	0.27	0.13	0.20	0.22	0.27	1.32	3
Solución E	0.23	0.27	0.07	0.33	0.31	0.27	1.48	2

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Con la evaluación de la Tabla 3-10, hemos determinado que la mejor alternativa de solución es la C, la cual está integrada con pernos para el sistema de sujeción, un mecanismo de apertura y cierre tipo libro con rieles para una mayor comodidad al operario; como fuente de calor utilizaremos una resistencia eléctrica de geometría plana para una mejor eficiencia al momento de realizar los ensayos sobre las probetas planas de acero; en cuanto a los materiales más importantes, utilizaremos ladrillo refractario para la cámara de calentamiento y manta mineral como aislante. Por otro lado, para un control preciso y seguro, se empleará una termocupla tipo K por su capacidad de sensor altas temperaturas que irá conectado a un PLC LOGO.

### 3.2. Diseño y construcción

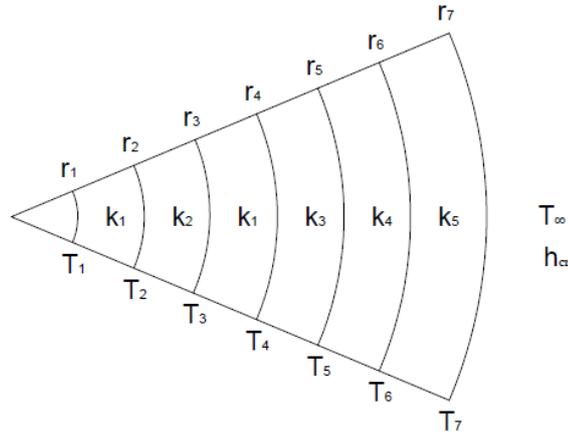
Para poner en marcha nuestra alternativa de solución debemos validar cada uno de los elementos que van a ser usados. En primer lugar, hacemos un análisis térmico de los principales materiales que intervendrán en el proceso. Posterior a estos cálculos, dimensionamos la resistencia que va a ser implementada en el horno.

#### 3.2.1. Análisis térmico

Este análisis lo realizamos tomando en cuenta que la temperatura en el interior y exterior se van a mantener constante. Para los cálculos consideramos una transferencia de calor en estado estacionario y un flujo de calor unidireccional en la dirección radial. Todo esto estará en función de los materiales, geometría y ambiente, considerando una temperatura interna de 750°C, que es la temperatura de trabajo a la que se quiere llegar.

### 3.2.1.1. Pérdidas de calor a través de las paredes

En primer lugar, especificamos las principales propiedades térmicas, constantes y dimensiones de los materiales, y el ambiente que afectarán al horno, tales como la emisividad, conductividad térmica y coeficiente de transferencia de calor por convección.



**Figura 6-3.** Esquema térmico del horno

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Donde:

- $r_1$ :  $0.04m$  (distancia desde el centro del horno hasta superficie interna de la cámara).
- $r_2$ :  $0.045m$  (distancia desde el centro del horno hasta el inicio del ladrillo refractario).
- $r_3$ :  $0.1425m$  (distancia desde el centro del horno hasta el fin del ladrillo refractario).
- $r_4$ :  $0.1475m$  (distancia desde el centro del horno hasta el inicio del acero A36).
- $r_5$ :  $0.1515m$  (distancia desde el centro del horno hasta el inicio de la manta mineral).
- $r_6$ :  $0.19m$  (distancia desde el centro del horno hasta el fin de la manta mineral).
- $r_7$ :  $0.192m$  (distancia desde el centro del horno hasta la superficie más externa del horno).
- $k_1$ :  $0.4 \left[ \frac{W}{m^{\circ}C} \right]$  (conductividad térmica del mortero) (ANEXO F).
- $k_2$ :  $2.077 \left[ \frac{W}{m^{\circ}C} \right]$  (conductividad térmica del ladrillo refractario) (Espinoza, 2016, p. 21).
- $k_3$ :  $35 \left[ \frac{W}{m^{\circ}C} \right]$  (conductividad térmica del acero A36 a  $600^{\circ}C$  aproximadamente) (Holman, 1999, p. 668).
- $k_4$ :  $0.086 \left[ \frac{W}{m^{\circ}C} \right]$  (conductividad térmica de una manta mineral de roca con densidad  $128 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  a  $344^{\circ}C$  aproximadamente) (ANEXO C).
- $k_5$ :  $9.4 \left[ \frac{W}{m^{\circ}C} \right]$  (conductividad térmica del acero inoxidable a  $100^{\circ}C$  aproximadamente) (NKS, 2019).
- $h_{cr}$ : (coeficiente de transferencia de calor por convección-radiación).

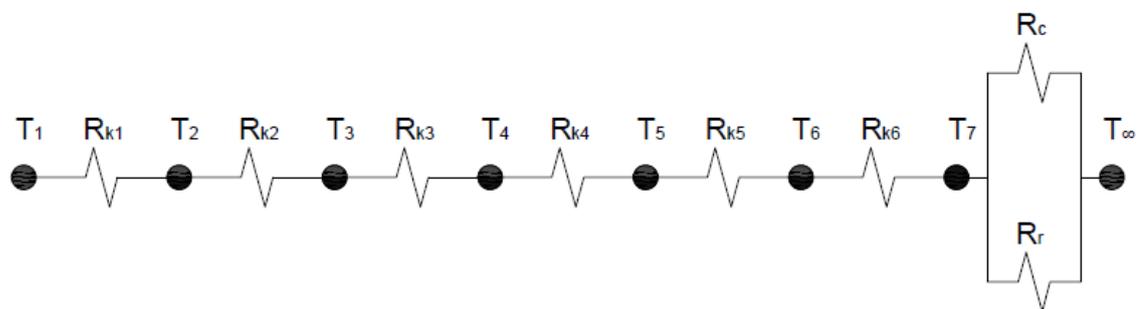
- $T_1$ : 750°C (temperatura en la superficie interna de la cámara del horno).
- $T_2$ : temperatura en la cara interna del ladrillo refractario.
- $T_3$ : temperatura en la cara externa del ladrillo refractario.
- $T_4$ : temperatura en la cara interna del acero A36.
- $T_5$ : temperatura en la cara interna de la manta mineral.
- $T_6$ : temperatura en la cara interna del acero inoxidable.
- $T_7$ : temperatura en la superficie externa del horno.
- $T_\infty$ : 14°C (temperatura del ambiente externo al horno).

Algunas medidas como los espesores de ciertos materiales tales como las planchas de acero o el aislante son en base a medidas que se encuentran en el mercado.

Por otro lado, la temperatura ambiente es referente a la temperatura promedio de la ciudad de Riobamba, que es el lugar en donde se van hacer los ensayos.

Además, hay que considerar los mecanismos de transferencia de calor que intervendrán. Como la fuente de calor estará en el centro de la cámara de calentamiento a una distancia muy cercana de la probeta. Consideraremos la disipación del calor por conducción a través de las paredes desde la superficie interna de la cámara del horno hacia la superficie externa del horno. También hay que tomar en cuenta la pérdida de calor por convección y radiación de la superficie exterior con el ambiente.

Para la disipación de calor desde la superficie interna hacia el exterior, el circuito térmico estará integrado tal y como se indica en la Figura 7-3.



**Figura 7-3.** Circuito térmico

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Como el calor por conducción que fluye a través de las paredes está en serie con el calor por convección-radiación, estos flujos de calor van a ser iguales, por lo tanto:

$$q_k = q_{cr} \quad (7)$$

Donde:

$q_k$ : calor por conducción.

$q_{cr}$ : calor por convección-radiación.

El calor por conducción lo calculamos asumiendo la temperatura exterior del horno. Además, consideramos que tiene forma cilíndrica exacta para facilitar los cálculos.

$$q_k = \frac{(T_1 - T_{7a})}{\sum R} \quad (8)$$

$$\sum R = R_{k1} + R_{k2} + R_{k3} + R_{k4} + R_{k5} + R_{k6} \quad (9)$$

$$R_{k1} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_1} \quad (10)$$

$$R_{k2} = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L k_2} \quad (11)$$

$$R_{k3} = \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi L k_1} \quad (12)$$

$$R_{k4} = \frac{\ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)}{2\pi L k_3} \quad (13)$$

$$R_{k5} = \frac{\ln\left(\frac{r_6}{r_5}\right)}{2\pi L k_4} \quad (14)$$

$$R_{k6} = \frac{\ln\left(\frac{r_7}{r_6}\right)}{2\pi L k_5} \quad (15)$$

Donde:

$R_{ki}$ : resistencia térmica debido a cada capa  $i$  de material.

$L$ : altura del horno.

$T_{7a}$ : temperatura superficial exterior asumida.

De igual manera calculamos las pérdidas de calor por convección-radiación asumiendo la misma temperatura que utilizamos para el cálculo del calor por conducción. La temperatura superficial externa la recalculamos en función del calor por conducción y la resistencia térmica equivalente por convección-radiación. Este proceso lo realizamos hasta que la temperatura superficial asumida sea igual a la calculada.

$$q_{cr} = \frac{T_{7a} - T_{\infty}}{R_{cr}} \quad (16)$$

$$R_{cr} = \frac{1}{h_{cr}A} \quad (17)$$

El coeficiente global por convección-radiación lo calculamos de la siguiente manera:

$$h_{cr} = h_c + h_r \quad (18)$$

$$h_r = \varepsilon \times \sigma \times (T_{7a} + T_{\infty}) \times (T_{7a}^2 + T_{\infty}^2) \quad (\text{Jutglar \& Galán, 2014, p. 53}) \quad (19)$$

$$A = 2\pi r_7 L \quad (20)$$

$$T_{7c} = \frac{q_k}{h_{cr}} + T_{\infty} \quad (21)$$

Donde:

$R_{cr}$ : resistencia térmica equivalente debido a la convección y radiación.

$h_c$ :  $10 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$  (coeficiente de transferencia de calor por convección del aire).

$h_r$ : coeficiente de transferencia de calor por convección equivalente a la radiación.

$\varepsilon$ : 0.88 (emisividad de la superficie externa del acero inoxidable). (NKS, 2019)

$\sigma$ :  $5.669 \times 10^{-8} \left[ \frac{W}{m^2 K^4} \right]$  (constante de Stefan-Boltzmann). (Muñoz et al., 2013, p. 35)

A: área externa del horno.

$T_{7c}$ : temperatura superficial externa calculada.

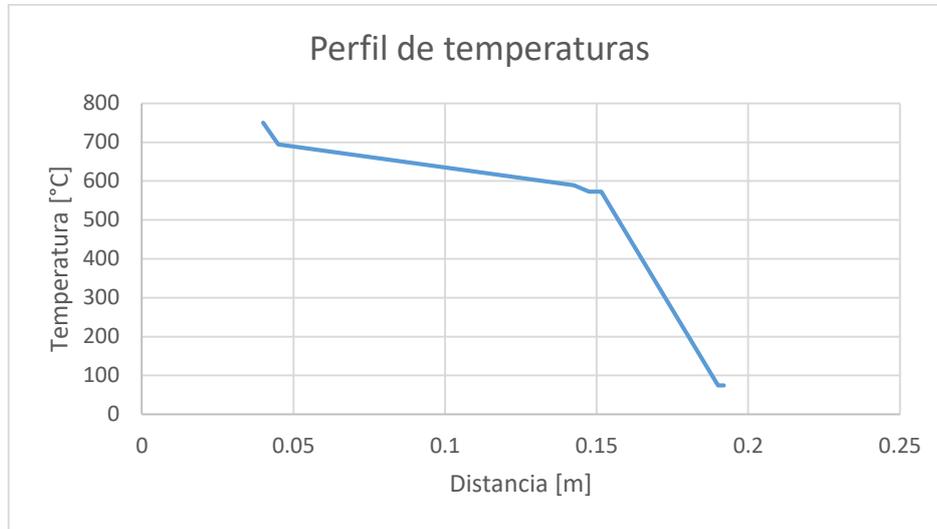
Al aplicar estas ecuaciones, se determinó el calor necesario para tener en la superficie interna una temperatura de 750°C y además se pudo determinar las temperaturas en cada una de las capas que forma la pared vertical del horno que se encuentra resumido en la Tabla 11-3.

**Tabla 11-3:** Resultados de calores y temperaturas

Parámetro	Valor	Unidad
$q_{cr}$	297.367	W
$q_k$	297.367	W
$T_1$	750	°C
$T_2$	694.256	°C
$T_3$	589.194	°C
$T_4$	572.873	°C
$T_5$	572.728	°C
$T_6$	74.275	°C

$T_7$	74.064	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\infty}$	14	$^{\circ}\text{C}$

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Gráfico 4-3.** Perfil de temperaturas

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

### 3.2.1.2. Calor acumulado total

El calor acumulado total es la suma del calor acumulado en cada material que conforma la pared del horno y el calor transmitido a la cámara y la carga correspondiente a una probeta de acero A36.

El calor acumulado en cada material lo determinamos con la siguiente expresión:

$$q_{mp} = \sum_i v_i C_i \rho_i \left( \frac{t_{cc} + t_{cf}}{2} - t_{\infty} \right) \quad (22)$$

Donde:

$q_{mp}$ : calor acumulado en cada material [KJ].

$v_i$ : volumen de cada material i [ $\text{m}^3$ ].

$C_i$ : calor específico de cada material i [ $\frac{\text{KJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}}$ ].

$\rho_i$ : densidad de cada material i [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ].

$t_{cc}$ : temperatura en la cara caliente [ $^{\circ}\text{C}$ ].

$t_{cf}$ : temperatura en la cara fría [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Por otro lado, el calor transmitido a la cámara de calentamiento y a la probeta sería:

$$q_{cc} = \sum_i v_i C_i \rho_i (t_1 - t_\infty) \quad (23)$$

De esta manera los calores acumulados serían:

$$q_{mp} = 25011.17 \text{ [KJ]} \quad (24)$$

$$q_{cc} = 339.56 \text{ [KJ]} \quad (25)$$

$$q_{act} = q_{mp} + q_{cc} = 25350.73 \text{ [KJ]} \quad (26)$$

### 3.2.2. Cálculo de la resistencia

La resistencia eléctrica estará conformada por alambre enrollado Ni-Cr (80-20) que es de las aleaciones más comerciales para este tipo de aplicaciones, este alambre en forma de espiral atravesará ranuras cerámicas entrelazadas por el alambre y que se las puede disponer de forma plana, que es la geometría que necesitamos para montarla en el horno.

Para una correcta selección de nuestra resistencia debemos hacer los respectivos cálculos para dimensionar el diámetro de alambre y la espira; así también como el número de espiras necesario y su longitud.

En primer lugar, determinamos la potencia necesaria para nuestro sistema

$$P = q_k + \dot{q}_{act} \quad (27)$$

Donde:

P: potencia [KW].

$\dot{q}_{act}$ : calor acumulado total por unidad de tiempo [KW].

El tiempo que estimamos que se transmitirá el calor acumulado total es de 4 horas, por lo tanto:

$$\dot{q}_{act} = \frac{q_{act}}{t} = 1.76 \text{ [KW]} \quad (28)$$

$$P = 0.297 + 1.76 = 2.058 \text{ [KW]}$$

Para el cálculo del diámetro del alambre utilizamos la siguiente expresión:

$$d = 0.74 \sqrt[3]{\left(\frac{P}{V}\right)^2 \times \frac{\rho C_t}{P}} \quad (29)$$

Donde:

d: diámetro del alambre [cm].

V: tensión [V].

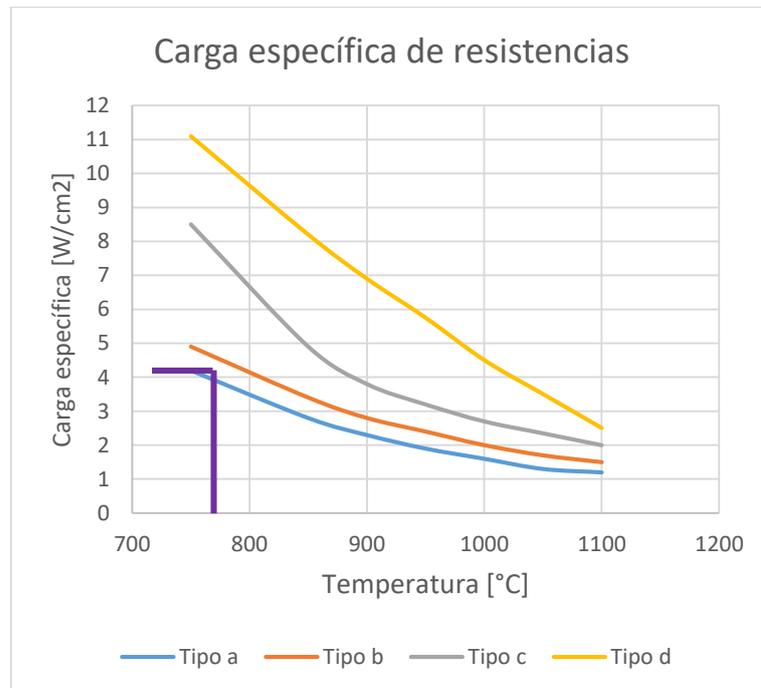
$\rho$ : resistividad eléctrica del material [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ].

$C_t$ : coeficiente de resistividad.

p: carga específica [ $\frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$ ].

La tensión que abastecerá al horno será 220V, mientras que la resistividad eléctrica y el coeficiente de resistividad serán  $114\mu\Omega \cdot \text{cm}$  y 1.018 respectivamente (Astigarraga, 1994: p. 18).

Escogeremos en primera instancia para la carga específica el valor de  $4.2 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$  como referencia ya que es el valor más cercano en el Gráfico 5-3. El “tipo a” corresponde a resistencias eléctricas que atraviesan ranuras cerámicas



**Gráfico 5-3.** Carga específica de resistencias

Fuente: (Astigarraga, 1994, p. 36)

Con estos parámetros ya definidos, podemos determinar el diámetro de nuestra resistencia, el cual tendremos que aproximar a un valor superior que se encuentre en el mercado fácilmente.

$$d = 0.099\text{cm} \approx 1\text{mm}$$

Con nuestro diámetro de alambre comercial, procedemos a recalculamos la carga específica, para un posterior cálculo de la longitud de alambre con las siguientes expresiones:

$$p = \left(\frac{P}{V}\right)^2 \times \left(\frac{0.74}{d}\right)^3 \times \rho \times C_t \quad (30)$$

$$p = 4.115 \frac{W}{\text{cm}^2}$$

$$l = \frac{P}{\pi d p} \quad (31)$$

$$l = 1591.979 \text{ cm}$$

Para el cálculo del diámetro de espira (D), nos guiamos en los límites presentados en la siguiente tabla.

**Tabla 12-3:** Límites de D, d y S para una resistencia de alambre

	Aleación Ni-Cr		Aleación Fe-Cr-Al	
	En ranuras	En tubos	En ranuras	En tubos
D/d para elemento $\leq 1000^\circ\text{C}$	6-9	12-14	6-8	12-14
D/d para elemento $> 1000^\circ\text{C}$	5-8	12-14	5-6	12-14
Paso S/d	2-3	3-6	2-3	3-6

Fuente: (Astigarraga, 1994, p. 41)

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Con estas referencias ya podemos determinar el tamaño y número de espiras

$$D = 6 \times d = 6.6 \text{ mm} \quad (32)$$

$$N = \frac{l}{\pi(D-d)} \quad (33)$$

$$N = 1013.485 \text{ espiras}$$

La longitud arrollada con espiras cerradas la obtenemos con la siguiente expresión:

$$L_a = N \times d \quad (34)$$

$$L_a = 1013.485 \text{ mm}$$

Para el cálculo de la longitud con paso S podemos tener estas longitudes:

$$L_{s1} \text{ de paso } S = 2d: 1013.485 \times 2 = 2026.97 \text{ mm}$$

$$L_{s2} \text{ de paso } S = 3d: 1013.485 \times 3 = 3040.46 \text{ mm}$$

Como en la cámara de calentamientos se instalará 2 resistencias forradas con cerámicos de 6 ranuras en su sección transversal, tendremos 12 ranuras en total por las que atravesará el alambre arrollado.

$$L_{\text{ran1}} = \frac{L_{s1}}{12} \qquad L_{\text{ran2}} = \frac{L_{s2}}{12}$$

$$L_{\text{ran1}} = 16.89 \text{ cm} \qquad L_{\text{ran}} = 25.34 \text{ cm}$$

Por lo tanto, las longitudes de las resistencias montadas en las ranuras cerámicas tendrán una longitud en el rango de 16.89-25.34 cm para garantizar una buena durabilidad de estas.

### 3.2.3. *Temperatura de trabajo de las resistencias*

Como la temperatura máxima a la que debe llegar la probeta es 750°C, la cual es calentada por radiación de la superficie plana de la resistencia. Entonces lo que vamos a calcular va a ser la temperatura a la cual debe llegar la resistencia y comprobar que esta sea menor a la máxima temperatura de servicio de 1200°C, para garantizar un buen manejo de la resistencia.

Para los cálculos se va a despreciar el mecanismo de transferencia de calor debido a que la bibliografía nos recomienda solo tomar en cuenta la radiación a temperaturas superiores a los 700°C.

El flujo de calor desde la resistencia hacia la probeta está determinado por la siguiente ecuación:

$$Q_{1-2} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\varepsilon_1}{A_1\varepsilon_1} + \frac{1}{A_1F_{1-2}} + \frac{1-\varepsilon_2}{A_2\varepsilon_2}} \quad (35)$$

Donde:

$Q_{1-2}$ : flujo de calor desde la resistencia hacia la probeta [881.32 W].

$T_1$ : temperatura de la resistencia eléctrica [°C].

$T_2$ : temperatura de la probeta [750°C].

$\varepsilon_1$ : emisividad de la superficie plana de la resistencia [0.9].

$\varepsilon_2$ : emisividad de la probeta [0.8].

$A_1$ : área de la superficie plana de la resistencia [0.016 m<sup>2</sup>].

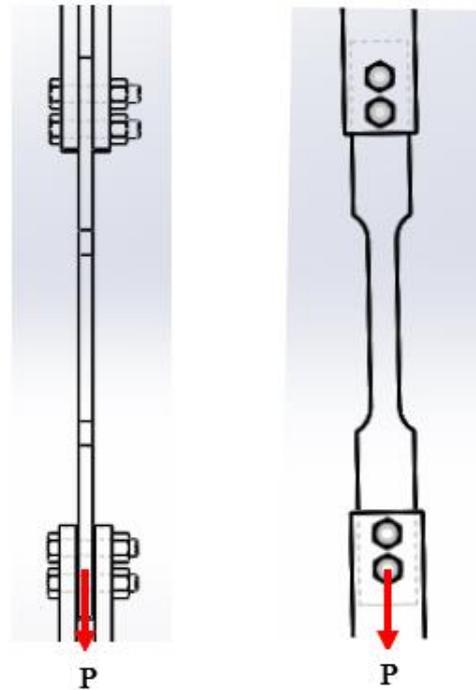
$A_2$ : área de la superficie de la probeta [0.0098 m<sup>2</sup>].

$F_{1-2}$ : factor de forma de la resistencia eléctrica hacia la superficie paralela de la probeta [0.596]

De esta ecuación despejamos el valor de la temperatura  $T_1$  obtuvimos un valor de 1065.83 °C. Con esto garantizamos una temperatura segura de trabajo.

### 3.2.4. Diseño de los pernos

El diseño de los pernos debe ser tomado en cuenta a partir de la posición y la carga que van actuar sobre ellos tal y como se muestra en la figura.



**Figura 8-3.** Esquema de los pasadores

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Para el diseño del perno hemos preseleccionado las siguientes características en base a datos de la máxima carga que puede aplicar el sistema de tensión, factor de seguridad recomendado para pernos en aplicaciones como esta y disponibilidad en el mercado:

**Tabla 13-3.** Datos previos del pasador

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Factor de seguridad	$\eta$	2	-
Clase métrica	-	12.9	-
Resistencia mínima a la fluencia	$S_y$	1100	MPa
Número de pernos	N	4	-
Carga	P	112023	N

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Según el esquema podemos observar que la carga que actúa sobre los pernos, es una fuerza cortante que pasa por el centroide, entonces el análisis que vamos aplicar será para una cizalla primaria con doble área de corte por las placas que atraviesa el perno.

En primer lugar, calculamos el esfuerzo cortante máximo y esfuerzo mínimo que deben soportar los pernos

$$S_{sy} = 0.5S_y = 550 \text{ MPa} \quad (36)$$

$$\tau = \frac{S_{sy}}{\eta} = 275 \text{ MPa} \quad (37)$$

Para nuestro caso de análisis el esfuerzo al que están sometidos los pernos será:

$$\tau = \frac{V'}{2A_c} \quad (38)$$

Donde

$$V' = \frac{P}{\#\text{pernos}} = 28005.6 \text{ N} \quad (39)$$

Entonces el área mínima de corte necesaria será:

$$A_c = \frac{V'}{2\tau} = 50.92 \text{ mm}^2 \quad (40)$$

Según Shigley podemos seleccionar un perno Clase métrica 12.9 M10x1.5 para implementar en nuestro mecanismo de sujeción.

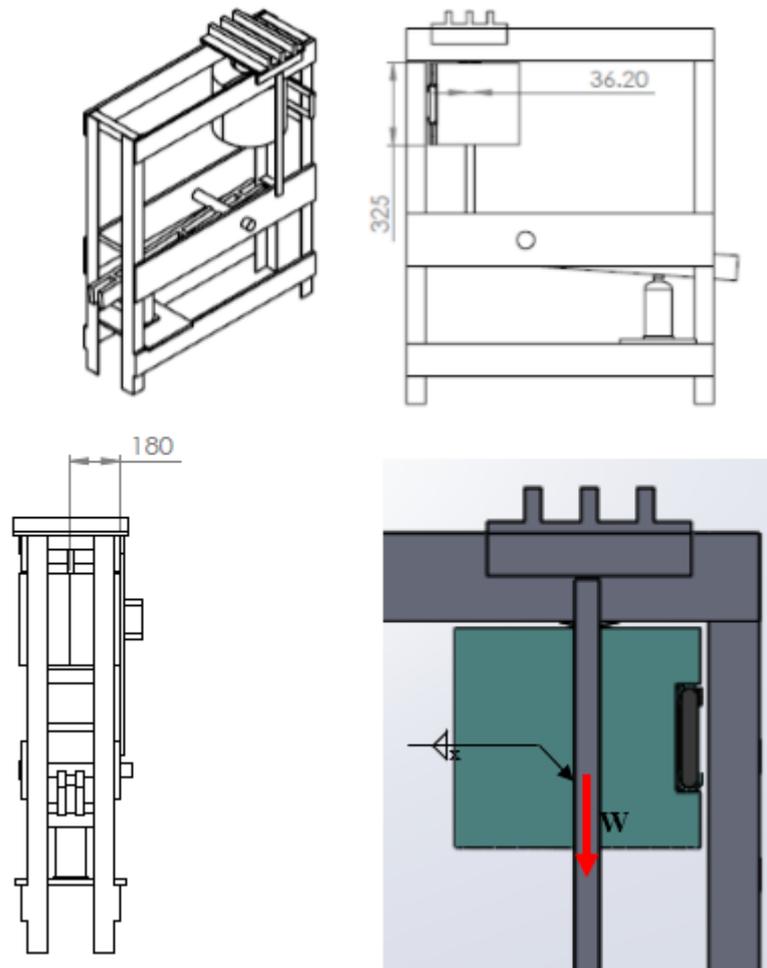
**Tabla 14-3:** Diámetros y áreas de roscas métricas

Diámetro mayor nominal $d$ , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso $p$ , mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>	Paso $p$ , mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0

Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008, p. 398)

### 3.2.5. Análisis de soporte

El horno será anclado al bastidor de la máquina mediante soldadura en la parte posterior, para garantizar una buena estabilidad del mismo, realizaremos el respectivo análisis de soldadura para determinar la altura mínima (h) requerida del cordón. La única carga que actuará sobre la unión soldada será el peso del horno.



**Figura 9-3.** Unión soldada entre el horno y el bastidor

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

La fuerza  $W$  correspondiente al peso 515N aplicada en el centroide del horno generará un momento, el cual va a ser calculado de esta manera:

$$\vec{M} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ 180 & -125 & 18.1 \\ 0 & -515 & 0 \end{bmatrix} = [9321.5\vec{i} - 92700\vec{k}] \text{N} \cdot \text{mm}$$

La componente en x del momento calculado generará un esfuerzo debido a torsión, la componente en z en cambio provocará un esfuerzo debido a flexión y la fuerza W un esfuerzo debido a corte. El esfuerzo debido a corte se determina de la siguiente manera:

$$\tau' = \frac{W}{A} = \frac{W}{1.41hd} = \frac{7.305}{h} \quad (41)$$

Donde:

A: sección transversal del cordón de soldadura [ $\text{mm}^2$ ].

h: altura del cateto del cordón de soldadura [mm].

d: longitud del cordón de soldadura [50 mm].

El esfuerzo debido a torsión se determina así:

$$\tau'' = \frac{Tr}{(0.707hJ_u)} \quad (42)$$

$$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6} \quad (43)$$

Donde:

T: torque [9321.5 N.mm]

r: distancia desde el centroide al punto crítico de soldadura [30.864 mm].

J<sub>u</sub>: segundo momento polar unitario del área [ $\text{mm}^3$ ].

b: distancia entre los dos cordones de soldadura [36.2 mm].

$$J_u = 53594.333$$

$$\tau'' = \frac{7.593}{h}$$

Como estos dos esfuerzos se encuentran en el mismo plano formando un ángulo  $\theta$ , determinamos una resultante entre los dos, así:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{b}{d} = 35.9^\circ \quad (44)$$

$$\tau_{\text{res}} = \sqrt{\left(\left(\frac{\tau'' \text{Sen}\theta}{h}\right)^2 + \left(\frac{\tau'' \text{Cos}\theta}{h} + \frac{\tau'}{h}\right)^2\right)} = \frac{14.173}{h} \quad (45)$$

Este esfuerzo resultante se encuentra a  $90^\circ$  con el esfuerzo por flexión, el cual determinamos de esta manera:

$$\tau''_f = \frac{Mc}{0.707hu} \quad (46)$$

$$c = \frac{b}{2} = 18.1\text{mm} \quad (47)$$

$$I_u = \frac{d^3}{6} \quad (48)$$

Donde:

M: momento flector [92799 N. mm].

c: distancia desde el eje neutro hasta la fibra que se va a analizar [mm].

Iu: segundo momento unitario del área [mm<sup>3</sup>].

$$I_u = 20833.333$$

$$\tau''_f = \frac{113.915}{h}$$

$$\tau = \sqrt{\tau''_f{}^2 + \tau_{res}{}^2} = \frac{114.793}{h} \quad (49)$$

El electrodo que se va a utilizar será 7018 con un Sy=393MPa, entonces el esfuerzo mínimo que debe soportar el cordón de soldadura para un factor de seguridad de dos es:

$$S_{sy} = 0.5S_y = 196.5 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{S_{sy}}{\eta} = 98.25 \text{ MPa}$$

Y la altura será:

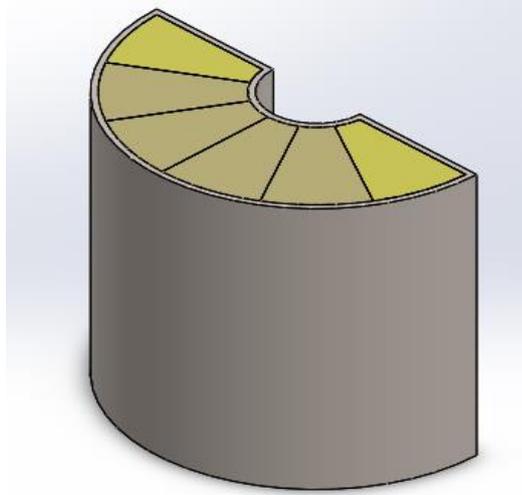
$$h = 1.168 \text{ mm}$$

se empleará un cordón de soldadura con una altura de 3 mm, la cual es la mínima distancia que se puede utilizar dando una mayor seguridad para el soporte.

### 3.2.6. Modelado en 3D

Con nuestras dimensiones ya calculadas y seleccionadas. Previamente a la construcción y montaje del horno. Realizamos el modelado de cada elemento mecánico en el software de Solidworks. Esto lo hacemos con la finalidad de que los elementos que vamos a usar sean fáciles de mecanizar y montar. A continuación, se detalla el proceso del modelado:

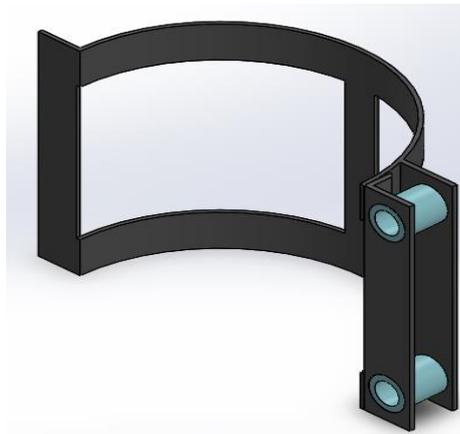
En primer lugar, iniciamos con el modelado y montaje de los ladrillos refractarios y su respectiva capa de mortero, los cuales deben adecuarse a la forma cilíndrica del horno, estos ladrillos deben ser lo más simétricos posibles.



**Figura 10-3.** Ladrillo refractario y mortero

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

A continuación, colocamos un soporte frontal y posterior de acero A36 que en sí será la estructura que se va anclar a la carcasa del horno y al bastidor.



**Figura 11-3.** Soporte posterior

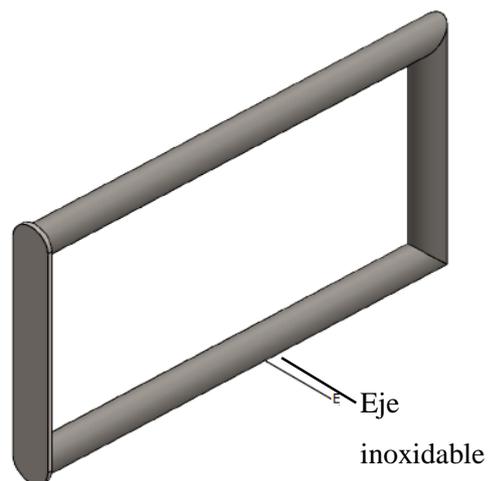
**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Figura 12-3.** Soporte frontal

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

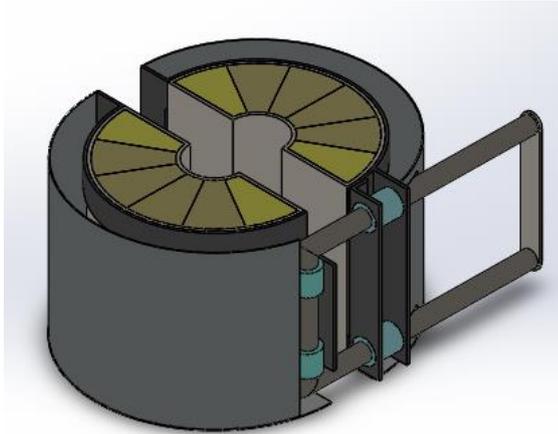
Sobre estos soportes montamos los ejes para la apertura del horno que serán de acero inoxidable



**Figura 13-3.** Ejes para la apertura

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

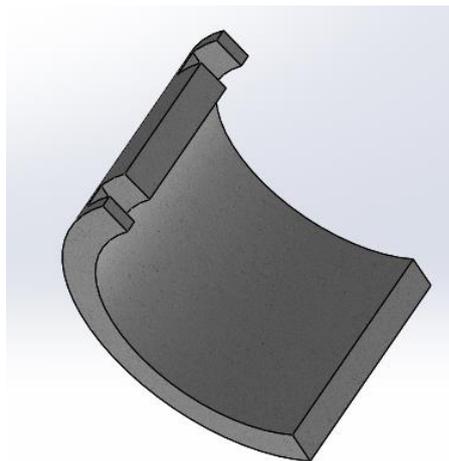
Una vez ensamblado los ejes, realizamos el ensamble de la carcasa de acero inoxidable a los elementos ya montados



**Figura 14-3.** Ensamble de carcasa

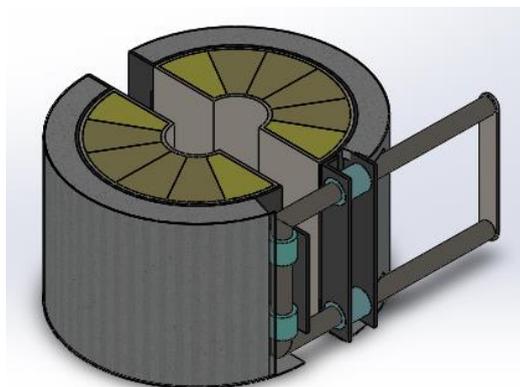
**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Como ya tenemos una estructura estable insertamos el aislante entre la carcasa y los soportes



**Figura 15-3.** Aislante térmico

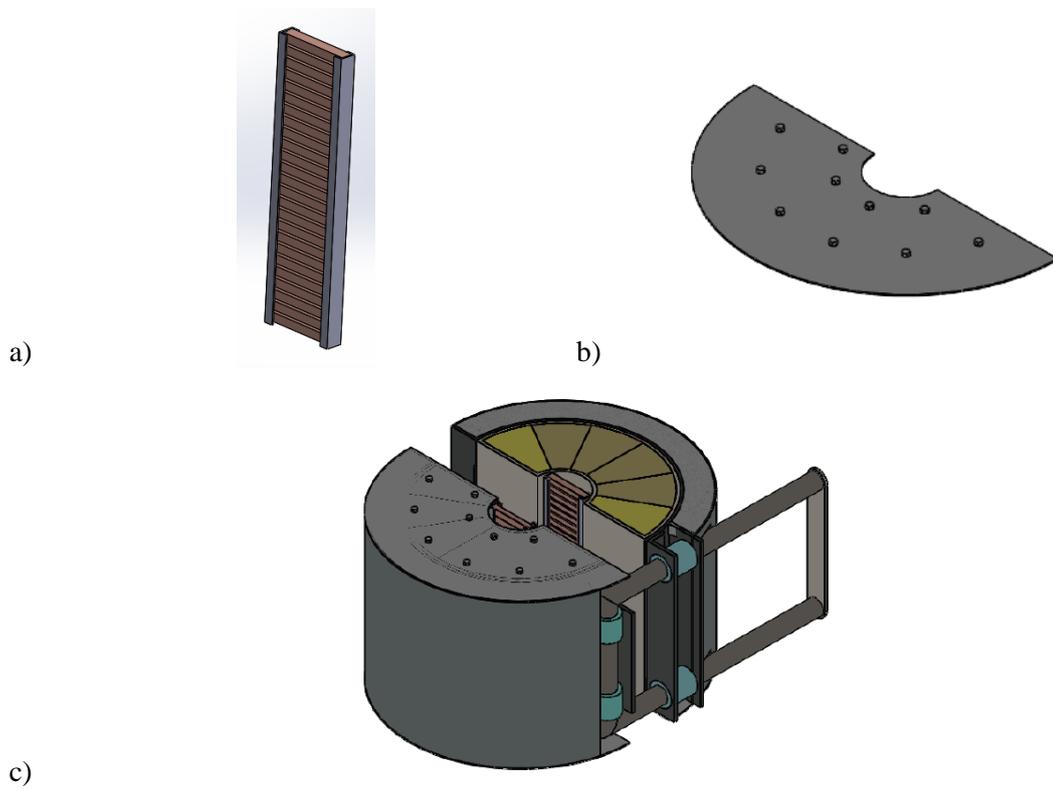
**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Figura 16-3.** Ensamble del horno

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Y para finalizar realizamos el montaje de las resistencias eléctricas en el interior de la cámara sobre unas ranuras y colocamos las respectivas tapas para la cara superior e inferior.



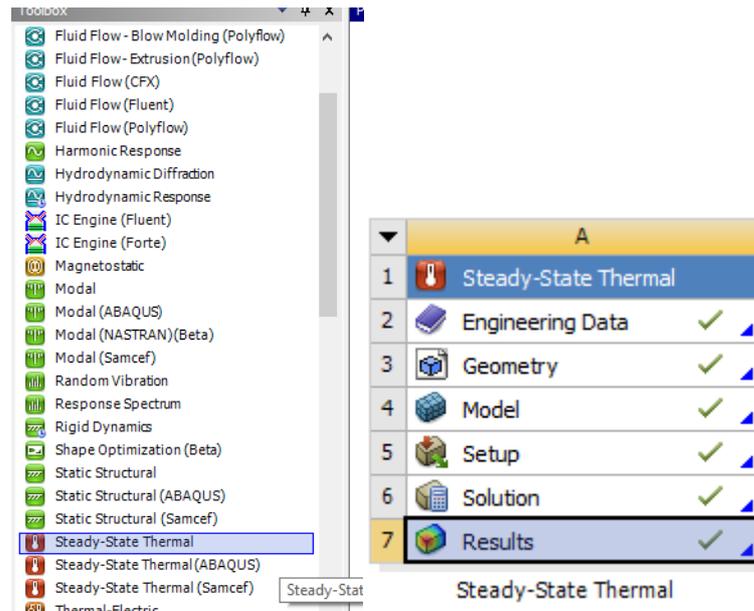
**Figura 17-3.** a) Resistencia eléctrica, b) Tapa, c) Ensamble final del horno

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

### 3.2.7. Validación del diseño en ANSYS

Para comprobar que nuestros cálculos y diseño están correctamente hechos, se realiza un análisis térmico del horno mediante una simulación en el software Ansys. Este programa por medio del método de elementos finitos nos permite acercarnos a la solución de ecuaciones diferenciales parciales que aparecen con mucha frecuencia en problemas ingenieriles. En nuestro caso buscamos conocer el valor aproximado de temperatura en la superficie exterior.

En primer lugar, para la simulación del análisis térmico, asumimos una geometría totalmente cilíndrica tal y como se asumió para los cálculos iniciales de pérdidas de calor a través de las paredes. Para esto escogemos el módulo Steady-State Thermal en el Toolbox, que lo utilizamos para análisis térmicos en régimen permanente.



**Gráfico 6-3.** Módulo Steady-State Thermal

**Realizado por:** Escudero Julesy, Toro Henry, 2019

Para que nuestros resultados sean lo más cercano a los calculados, ingresamos el valor de las conductividades correspondientes a cada material en Engineering Data de Ansys. En nuestro caso añadimos la mayoría de los materiales porque en la librería a pesar de su gran variedad no dispone de ciertos materiales específicos.

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			Source
2	Material			
3	Acero inoxidable			D:\Henry\Tesis\D. Y CONST. DE UN HORNO P
4	Ladrillo refractario			D:\Henry\Tesis\D. Y CONST. DE UN HORNO P
5	Manta mineral			D:\Henry\Tesis\D. Y CONST. DE UN HORNO P
6	Mortero			D:\Henry\Tesis\D. Y CONST. DE UN HORNO P

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Isotropic Thermal Conductivity	Tabular			

	A	B
1	Temperature (C)	Thermal Conductivity (W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup> )
2	0	55
3	100	52
4	200	48
5	300	45
6	400	42
7	600	35

**Gráfico 7-3.** Engineering Data

**Realizado por:** Escudero Julesy, Toro Henry, 2019

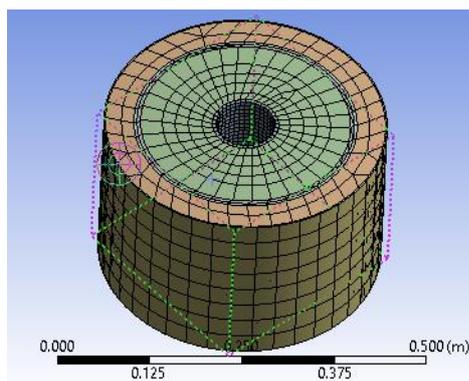
De esta manera abrimos Mechanical para editar el modelo y hacer el mallado correspondiente al cuerpo del horno.

Para una buena calidad del mallado utilizamos el método local Sweep, que es el más adecuado para la geometría cilíndrica del horno. Además de esto podemos usar un control global de mallado, el de la curvatura, al cual le corregimos el ángulo normal de curvatura a 10°. Con estos arreglos mejoramos la calidad de los elementos. Nos damos cuenta de que el mallado tiene una buena calidad cuando en promedio el Element Quality es cercano a 1, en cambio si este valor es más cercano a 0 la calidad va a ser mala, dándonos resultados no tan correctos al momento de resolver.

Details of "Mesh"	
Target Quality (Beta)	Program Controlled
Element Midside Nodes	Program Controlled
<input type="checkbox"/> <b>Sizing</b>	
Size Function	Curvature
Enable Size Field (Beta)	No
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	10.0 °
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (2.9799e-004 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (2.9799e-002 m)
<input type="checkbox"/> Max Tet Size	Default (5.9597e-002 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.850 )
<input type="checkbox"/> <b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	38780
<input type="checkbox"/> Elements	6867
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0.11945
<input type="checkbox"/> Max	0.99538
<input type="checkbox"/> Average	0.73937
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.22829

**Gráfico 8-3.** Controles de mallado

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Figura 18-3.** Mallado del ensamble

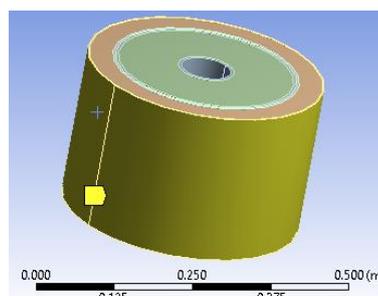
**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Una vez obtenido un buen mallado, continuamos de los parámetros necesarios. Para la temperatura seleccionamos la cara interna para ingresar la temperatura de 750°C. Para ingresar los datos de emisividad del acero inoxidable y coeficiente de transferencia de calor por convección del aire seleccionamos la cara más externa. Además de estos valores, debemos asignar el material correspondiente a cada capa del horno.

Details of "Temperature"	
[-] <b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Faces
[-] <b>Definition</b>	
ID (Beta)	62
Type	Temperature
<input checked="" type="checkbox"/> Magnitude	750. °C (ramped)
Suppressed	No

Details of "Radiation"	
Geometry	2 Faces
[-] <b>Definition</b>	
ID (Beta)	84
Type	Radiation
Correlation	To Ambient
<input checked="" type="checkbox"/> Emissivity	0.88 (step applied)
<input type="checkbox"/> Ambient Temperature	14. °C (ramped)

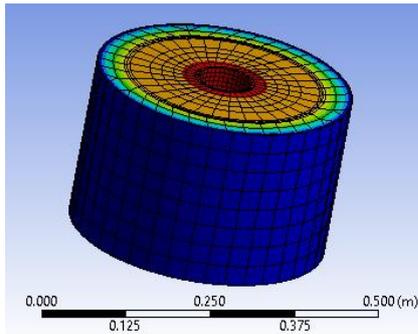
Details of "Convection"	
Geometry	2 Faces
[-] <b>Definition</b>	
ID (Beta)	86
Type	Convection
<input type="checkbox"/> Film Coefficient	10. W/m <sup>2</sup> .°C (ramped)
<input checked="" type="checkbox"/> Ambient Temperature	14. °C (ramped)
Convection Matrix	Program Controlled



**Gráfico 9-3.** Parámetros de transferencia de calor

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

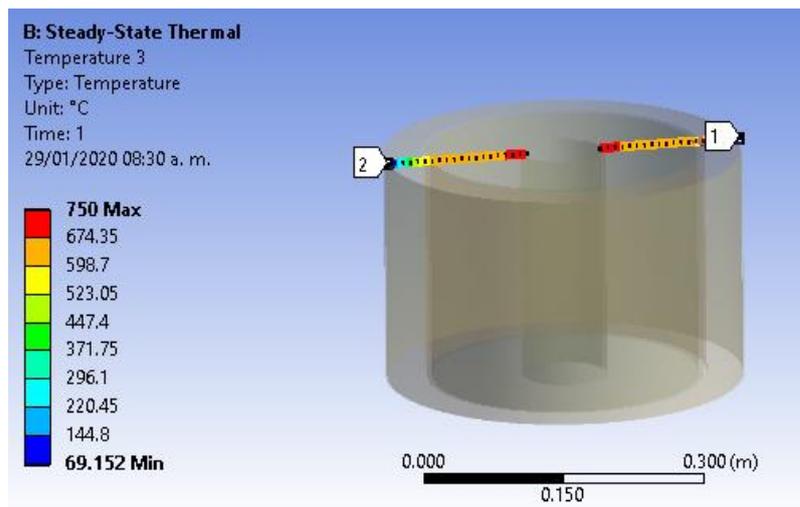
Para finalizar con la simulación insertamos los parámetros de solución que requerimos. Para nuestro análisis, deseamos obtener el perfil de temperaturas desde la calderería hasta la superficie más externa.



**Gráfico 10-3.** Perfil de temperaturas

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Para una mejor apreciación del perfil de temperaturas en las diferentes capas de la pared del horno, con la ayuda de la herramienta Path que nos permite trazar una línea a través del horno conseguimos obtener los valores de temperatura a una distancia  $x$  desde el centro del horno. En total hemos trazado tres paths a diferentes alturas y un último path en el borde más externo. En las siguientes figuras se indican los perfiles con su respectiva tabla de valores de temperatura:



**Gráfico 11-3.** Path superior 1

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Tabla 15-3:** Valores de temperatura para el path 1

Distancia en x [m]	Temperatura [°C]	Distancia en -x [m]	Temperatura [°C]
0.192	69.668	0.040	750
0.184	144.9	0.048	695.73
0.176	274.27	0.056	683
0.168	395.13	0.064	672.1
0.160	488.65	0.072	662.38
0.152	586.57	0.080	653.74
0.144	601.79	0.088	645.94
0.136	610.19	0.096	638.82

0.128	615.33	0.104	632.18
0.120	620.54	0.112	625.95
0.112	625.83	0.120	620.62
0.104	632.06	0.128	615.47
0.096	638.72	0.136	610.37
0.088	645.87	0.144	601.96
0.080	653.71	0.152	586.72
0.072	662.34	0.160	489.77
0.064	672.05	0.168	398.95
0.056	682.98	0.176	277.06
0.048	695.69	0.184	150.82
0.040	750	0.192	69.152

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

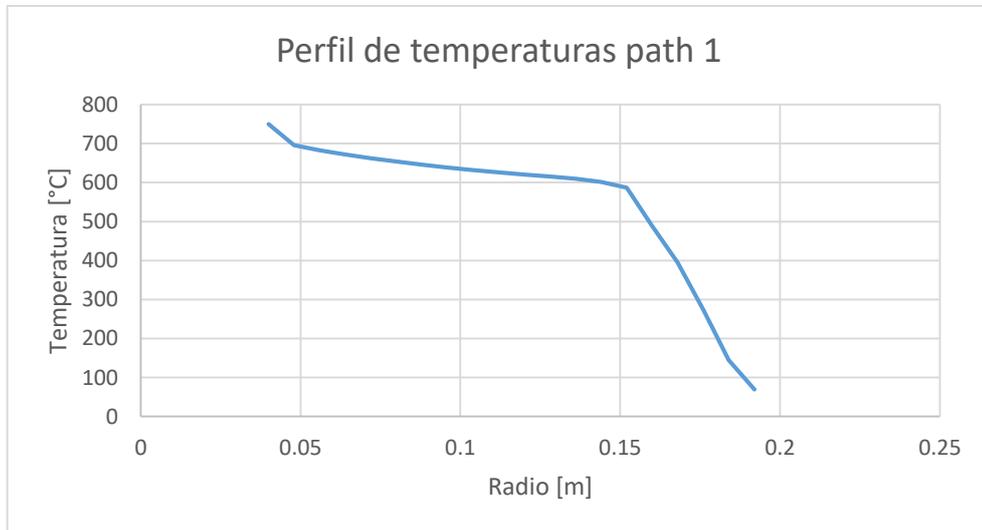


Gráfico 12-3. Perfil de temperaturas path 1

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

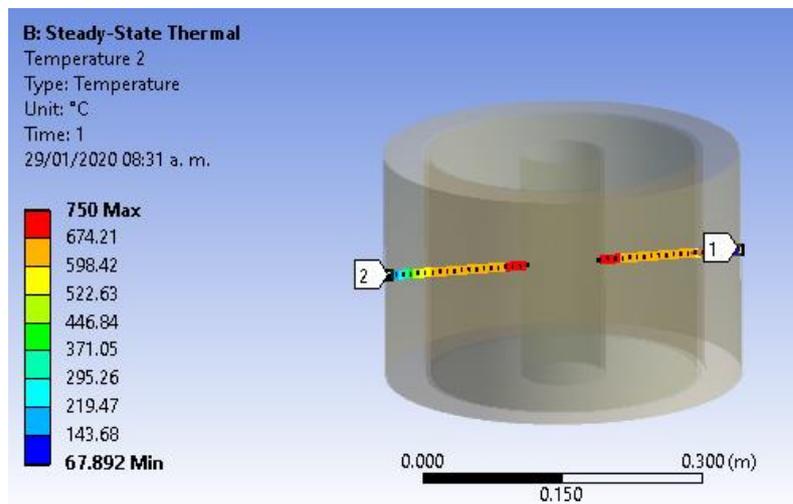


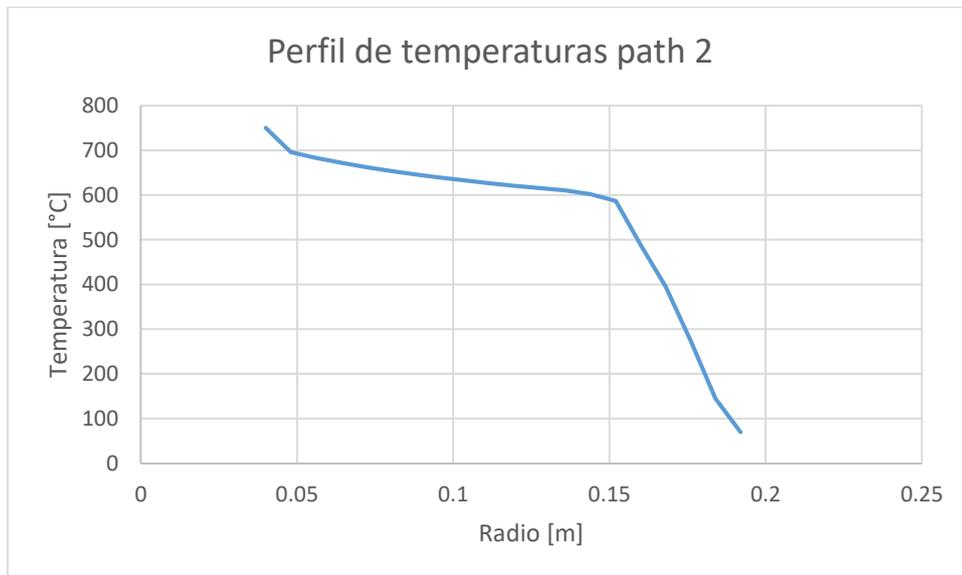
Gráfico 13-3. Path intermedio 2

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Tabla 16-3:** Valores de temperatura para el path 2

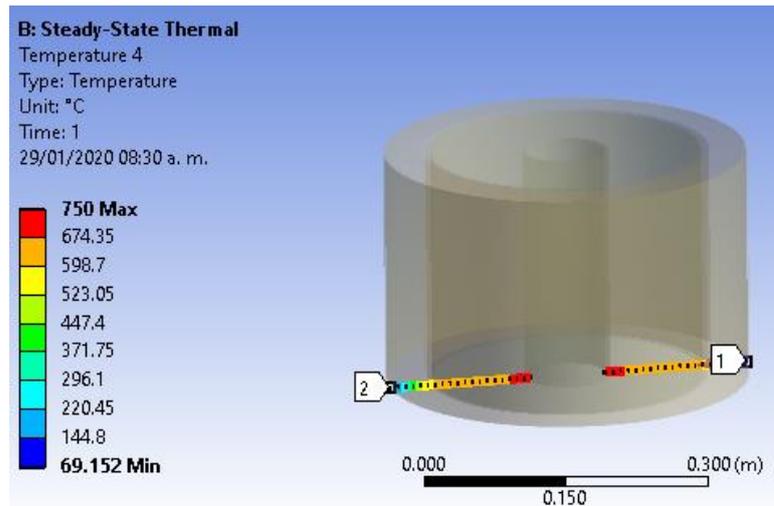
Distancia en x [m]	Temperatura [°C]	Distancia en -x [m]	Temperatura [°C]
0.192	68.563	0.040	750
0.184	144.22	0.048	695.82
0.176	276.83	0.056	683.07
0.168	400.87	0.064	672.11
0.160	491.73	0.072	662.41
0.152	586.84	0.080	653.8
0.144	601.1	0.088	645.98
0.136	610.22	0.096	638.85
0.128	615.24	0.104	632.31
0.120	620.55	0.112	626.26
0.112	626.15	0.120	620.67
0.104	632.21	0.128	615.39
0.096	638.77	0.136	610.39
0.088	645.91	0.144	601.28
0.080	653.75	0.152	587.04
0.072	662.38	0.160	493.38
0.064	672.07	0.168	405.71
0.056	683.03	0.176	280.01
0.048	695.8	0.184	150.51
0.040	750	0.192	67.892

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Gráfico 14-3.** Perfil de temperaturas path 2

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



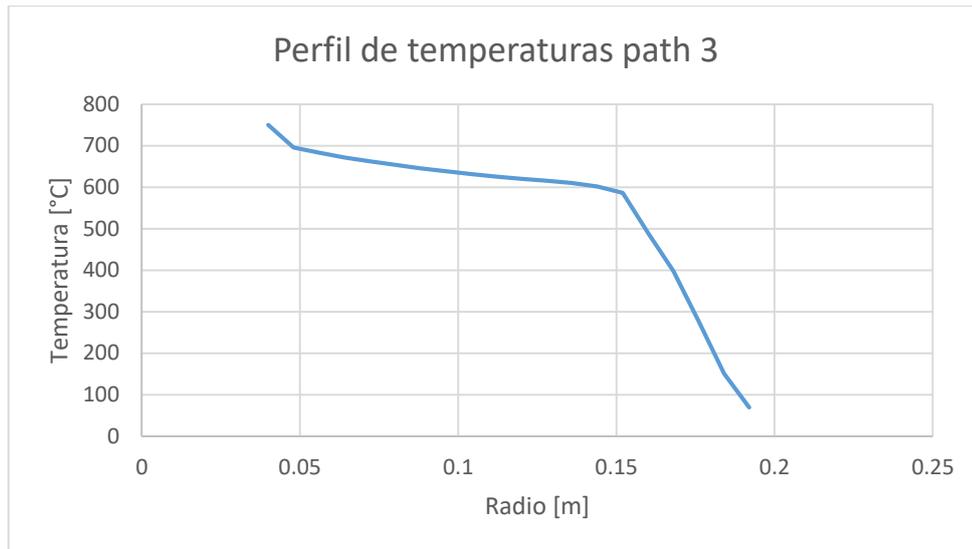
**Gráfico 15-3.** Path inferior 3

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Tabla 17-3:** Valores de temperatura para el path 3

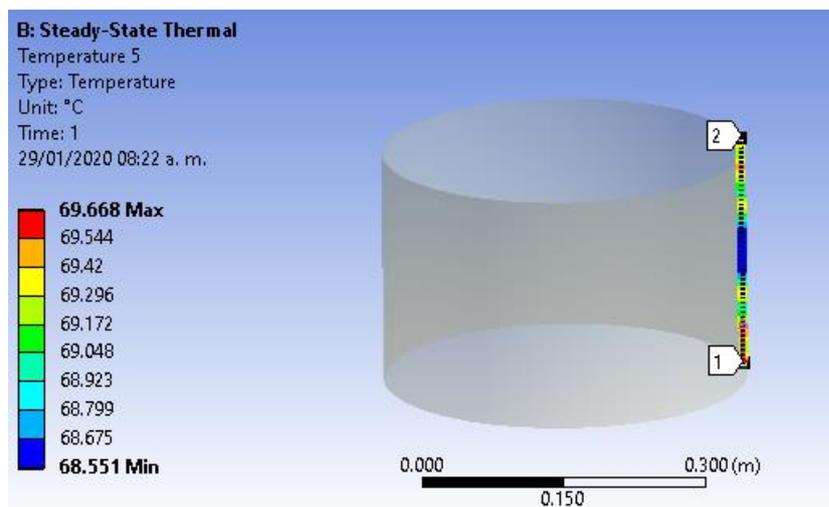
Distancia en x [m]	Temperatura [°C]	Distancia en -x [m]	Temperatura [°C]
0.192	69.668	0.04	750
0.184	144.9	0.048	695.73
0.176	274.27	0.056	683
0.168	395.13	0.064	672.1
0.16	488.65	0.072	662.38
0.152	586.57	0.08	653.74
0.144	601.79	0.088	645.94
0.136	610.19	0.096	638.82
0.128	615.33	0.104	632.18
0.12	620.54	0.112	625.95
0.112	625.83	0.12	620.62
0.104	632.06	0.128	615.47
0.096	638.72	0.136	610.37
0.088	645.87	0.144	601.95
0.08	653.71	0.152	586.72
0.072	662.34	0.16	489.77
0.064	672.05	0.168	398.95
0.056	682.98	0.176	277.06
0.048	695.69	0.184	150.82
0.04	750	0.192	69.152

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Gráfico 16-3.** Perfil de temperaturas path 3

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Gráfico 17-3.** Path longitudinal 4

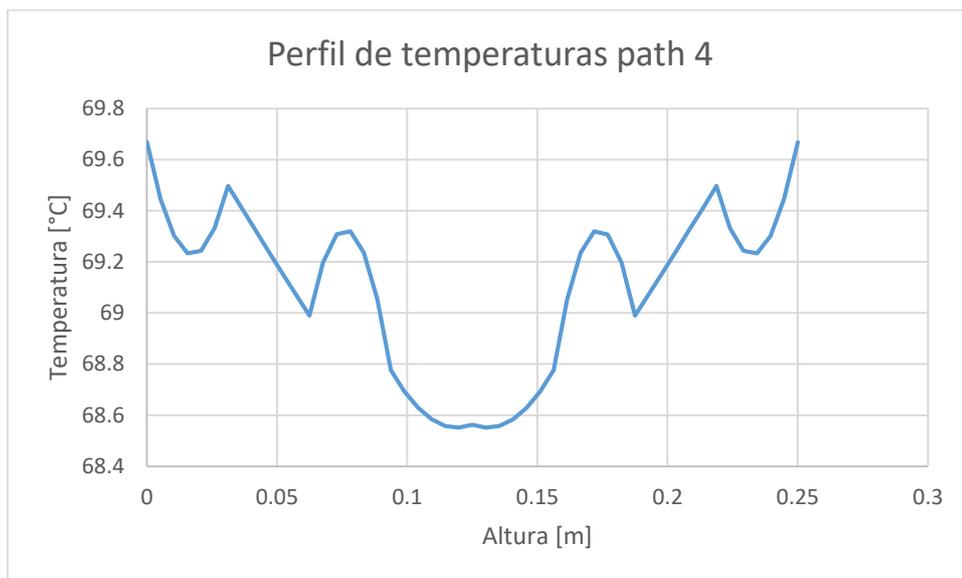
Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

**Tabla 18-3:** Valores de temperatura para el path 4

Distancia en y [m]	Temperatura [°C]	Distancia en y [m]	Temperatura [°C]
0.000	69.668	0.130	68.551
0.005	69.446	0.135	68.558
0.010	69.302	0.141	68.584
0.016	69.234	0.146	68.629
0.021	69.244	0.151	68.693
0.026	69.332	0.156	68.776
0.031	69.497	0.161	69.054
0.036	69.41	0.167	69.236
0.042	69.324	0.172	69.32

0.047	69.239	0.177	69.307
0.052	69.155	0.182	69.197
0.057	69.072	0.188	68.99
0.063	68.99	0.193	69.072
0.068	69.197	0.198	69.155
0.073	69.308	0.203	69.239
0.078	69.32	0.208	69.324
0.083	69.236	0.214	69.41
0.089	69.054	0.219	69.497
0.094	68.776	0.224	69.332
0.099	68.693	0.229	69.244
0.104	68.629	0.234	69.234
0.109	68.584	0.240	69.301
0.115	68.558	0.245	69.446
0.120	68.551	0.250	69.668
0.125	68.563		

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Gráfico 18-3.** Perfil de temperaturas path 4

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

De esta manera, según la simulación la temperatura superficial no varía mucho y en promedio tiene una temperatura superficial de 69.106 °C.

### 3.3. Construcción y montaje del horno eléctrico

Una vez comprobados que nuestros cálculos se acercan a los obtenidos con la validación en Ansys se procede a la adquisición de materiales, para su posterior mecanizado y/o proceso de

manufactura según corresponda. El montaje lo realizamos en el mismo orden que hemos modelado el horno en el software.

En primer lugar, realizamos el corte de los ladrillos. Debido a que es un material muy quebradizo, se dificulta su corte por su gran tendencia a desmoronarse. Para un corte de mejor precisión utilizamos un corte con disco de diamante, que contiene partículas de diamante sintético; dándole la forma triangular que necesitamos. (Suárez et al., 1998: pp. 53-54)



**Figura 19-3.** Ladrillos refractarios

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Para la unión de estos ladrillos utilizamos mortero SUPER #3000® Mix 26 MORTAR (ANEXO B), este debe ser aplicado en un ambiente con una temperatura entre los 10°C y 32°C y dejar secar durante 24 horas (API, 2008, p. 28).



**Figura 20-3.** Cemento refractario

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Para un buen desempeño del mortero, es necesario realizar un proceso de secado en función de su densidad y temperatura de operación. Para este proceso hay que seguir los siguientes pasos:

- Primera retención: a partir de la temperatura inicial, aumentamos la temperatura 28°C por cada hora que transcurra hasta llegar a una temperatura entre los 122°C y 150°C, donde mantenemos la temperatura una hora por cada pulgada que tenga de espesor el refractario.
- Segunda retención: desde la temperatura de la primera retención aumentamos de igual manera 28°C por cada hora que pase hasta llegar a una temperatura entre los 318°C y 374°C y repetimos la retención en esa temperatura el mismo tiempo de la primera retención.
- Tercera retención: repetimos el paso anterior hasta que llegue a una temperatura que esté en el rango de 542 a 565°C. De la misma manera en que realizamos las retenciones anteriores, hacemos con esta.
- Cuarta retención: para esta última retención durante cada hora elevamos 42°C hasta llegar a la temperatura de operación, donde realizamos la última retención.

En la Tabla 19-3 y en el Gráfico 4-5 se indica el tiempo y temperaturas del secado realizado al horno:

**Tabla 19-3:** Tiempo y temperatura de secado de cemento refractario

Tiempo [min]	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Temperatura [°C]
0	20	552	272	1104	524
60	48	612	300	1164	552
120	76	672	328	1176	552
180	104	684	328	1236	594
240	132	744	356	1296	636
252	132	804	384	1356	678
312	160	864	412	1416	720
372	188	924	440	1476	762
432	216	984	468		
492	244	1044	496		

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Gráfico 19-3.** Secado de cemento refractario

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Finalizado el secado del horno, continuamos con el montaje de los soportes frontal y posterior, hechos de acero A36.

Para la manufactura de estos componentes se tuvo que cizallar una plancha de acero de 4 mm de espesor con sus respectivas dimensiones para luego ser dobladas y así obtener la geometría requerida. A la par con los soportes, mediante soldadura por arco eléctrico se soldó el soporte posterior al bastidor de la máquina con electrodo 7018 tal como se indica en la figura a. Los ejes de acero inoxidable de 1 pulgada que servirán como rieles para el sistema de apertura se montaron; la figura b nos muestra el montaje. En la figura c se observa el montaje total de la estructura del horno.





c)

**Figura 21-3.** Montaje de soportes y sistema de apertura

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Para la carcasa de acero inoxidable empleamos el mismo proceso de manufactura realizado para los soportes, es decir el cizallado y doblado de la plancha, que para la carcasa es de un espesor de 2 mm. Esta carcasa es anclada a los soportes mediante pernos para una mejor sujeción.



a)

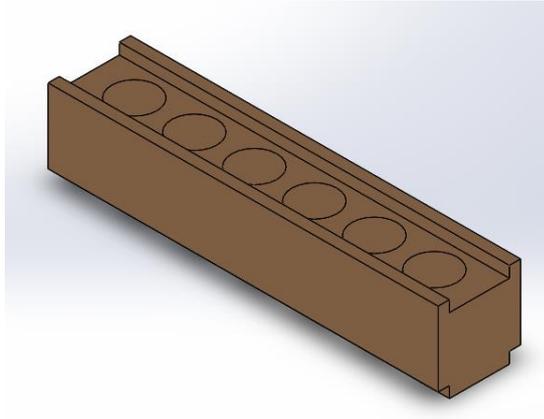


b)

**Figura 22-3.** Carcasa de acero inoxidable. a) Parte posterior b) Parte posterior

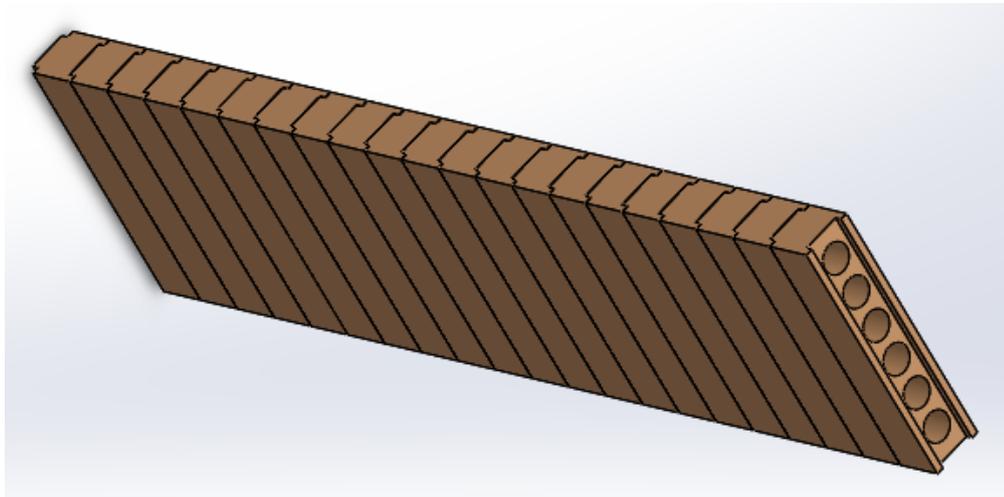
**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Para finalizar, realizamos el montaje de la manta mineral entre la carcasa y los soportes. Las resistencias son instaladas en el interior de la cámara con unas ranuras laterales que soportarán a las mismas. La resistencia eléctrica está forrada por un conjunto de cerámicos que cada uno tiene la forma de la siguiente figura



**Figura 23-3.** Ranura cerámica

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Figura 24-3.** Conjunto de ranuras cerámicas

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Figura 25-3.** Montaje de resistencias eléctricas

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

### **3.4. Sistema de control del horno**

Para la regulación de temperatura, hay que tomar en cuenta ciertos datos que garanticen un buen ensayo, desde el inicio del ensayo hasta su finalización.

Para iniciar el ensayo el incremento de temperatura hasta llegar a la temperatura de ensayo debe durar al menos una hora. Una vez que se llega a esa temperatura se debe asegurar que esta sea constante garantizando una precisión que esté en el rango de  $\pm 2$  °C.

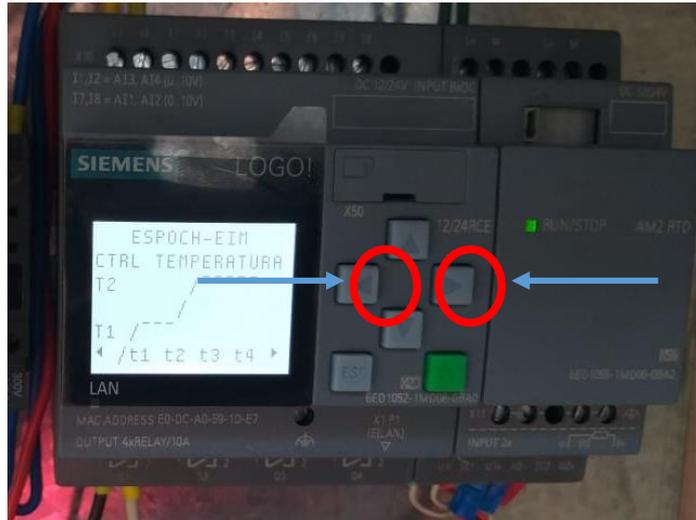
Como ya hemos seleccionado previamente los elementos principales para el control de temperatura: PLC LOGO, resistencias eléctricas y termocuplas tipo K. Se completó el sistema de control con otros elementos y la respectiva programación del LOGO.

En primer lugar, mediante una fuente de poder de 24 Voltios se conecta al PLC para abastecer de energía. A este se le incorporó un módulo de expansión que le permita conectar las termocuplas tipo K. Además, viene integrado al panel unos contactores que controlen el paso de corriente a las resistencias.

La programación de LOGO se realizó en el software LOGO!Soft Comfort V8.02. Se utilizó diagrama de funciones (FUP) para el desarrollo del programa en bloques. El mismo que consta de varias partes descritas a continuación:

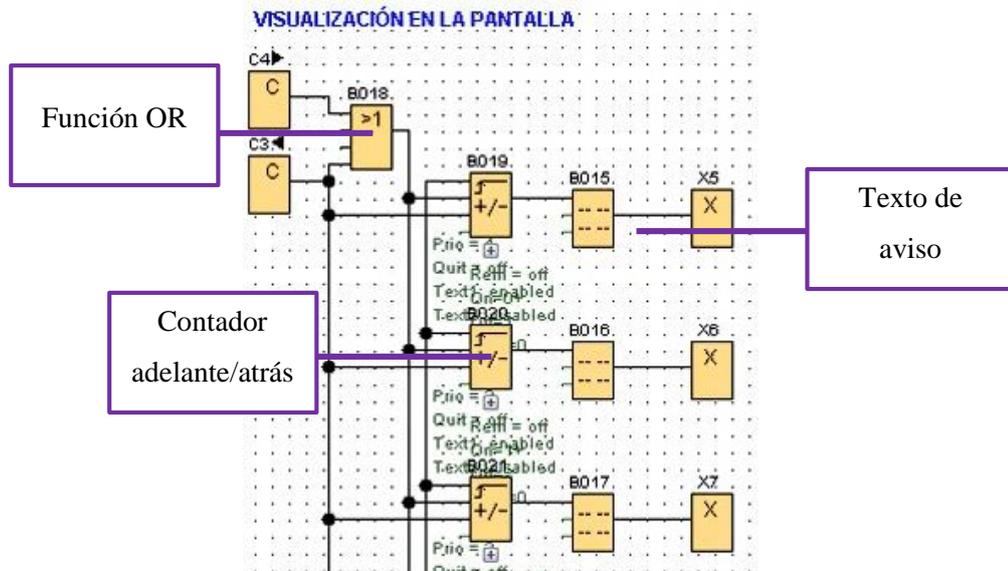
#### ***3.4.1. Visualización en pantalla***

El PLC que disponemos nos permite visualizar diferentes pantallas controladas por las flechas de izquierda y derecha del mismo, mediante una función OR conectada a varios contadores adelante/atrás. Estos contadores aumentan en una unidad cuando se presiona alguna de las teclas antes mencionadas, y con este aumento se produce en sí el cambio de pantalla.



**Figura 26-3.** Flecha izquierda y derecha

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Gráfico 20-3.** Diagrama de bloques para la visualización de pantallas

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Para la visualización de la pantalla necesitamos textos de aviso que despliegan cada una de las pantallas. Estas son las diferentes pantallas que vamos a visualizar:



**Gráfico 21-3.** Rampa de temperatura

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Gráfico 22-3.** Valores de temperatura

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Gráfico 23-3.** Valores de tiempo

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019



**Gráfico 24-3.** Información del control

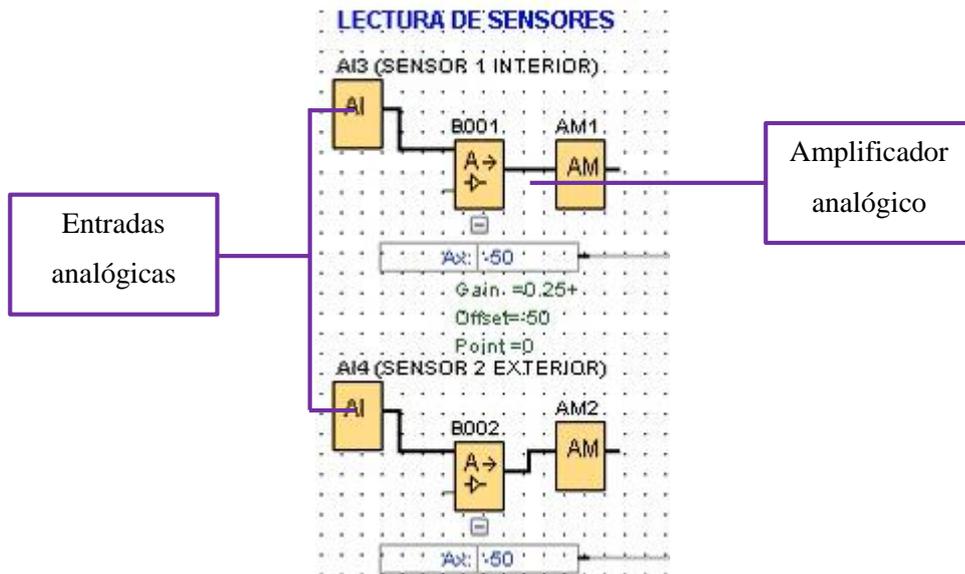
Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

### 3.4.2. Lectura de sensores

Como el control del horno va a ser ON/OFF nos apoyamos en la lectura de sensores, que en nuestro caso son termocuplas tipo K que por sus características técnicas y de fabricación tienen una capacidad de lectura superior a la que va a trabajar el horno, dándonos un buen sentido.

Para la lectura, conectamos cada uno de los sensores a una entrada analógica del PLC. Dicha entrada, el LOGO lo recibe como una señal de voltaje o de corriente que puede ir en el rango de 0 a 10 Voltios o 4 a 20 miliamperios respectivamente. A esta señal se la debe convertir en una medida de temperatura.

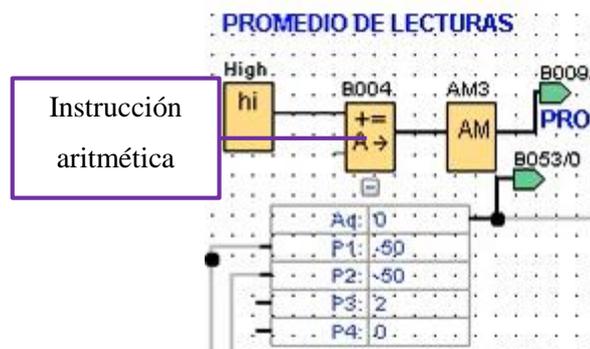
Para que el usuario pueda trabajar con esta señal, realizamos un escalonado en el cual el valor del voltaje o corriente corresponda a una medida de temperatura. Esta función la realiza el bloque amplificador analógico.



**Gráfico 25-3.** Lectura de sensores

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Como tenemos dos sensores en el interior del horno, promediamos los valores de temperatura que se sensa. Para cumplir con esto utilizamos el bloque Instrucción aritmética, en el cual podemos conectar las dos señales. Posteriormente, ingresamos los valores necesarios y operaciones aritméticas de suma y división para obtener el promedio. Con esto obtendremos una señal de salida con un único valor de temperatura.

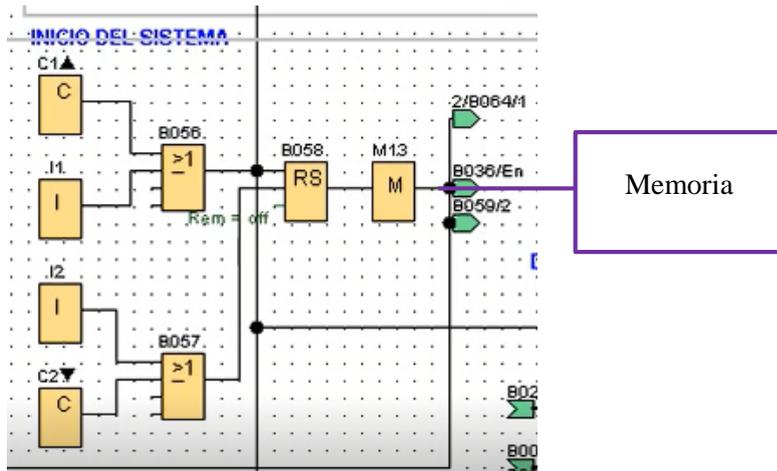


**Gráfico 26-3.** Promedio de lecturas

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

### 3.4.3. Inicio/paro del sistema

Para arrancar nuestro sistema vamos a usar la tecla de movimiento hacia arriba, mientras que para detener el sistema utilizamos la tecla de movimiento hacia abajo. Estas funciones son interpretadas por el bloque Memoria que da la orden de inicio.



**Gráfico 27-3.** Bloques para el Inicio/paro del sistema

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

En el momento en que comienza el funcionamiento del sistema, con la ayuda de otro bloque de Instrucción aritmética se resta la temperatura promedio con la ambiental para obtener el valor inicial de temperatura. Esta se convierte en la primera condición, dando inicio al calentamiento.



**Gráfico 28-3.** Bloques para condición inicial de temperatura

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

El valor de set point de temperatura y tiempo son ingresados utilizando contadores. Estos valores van de acuerdo a la velocidad de calentamiento que se requiera. Como el tiempo de calentamiento va a ser extenso, utilizamos la función Generador de impulsos asíncrono que envía pulsos cada segundo para controlar el incremento de temperatura en pequeños lapsos de tiempo.

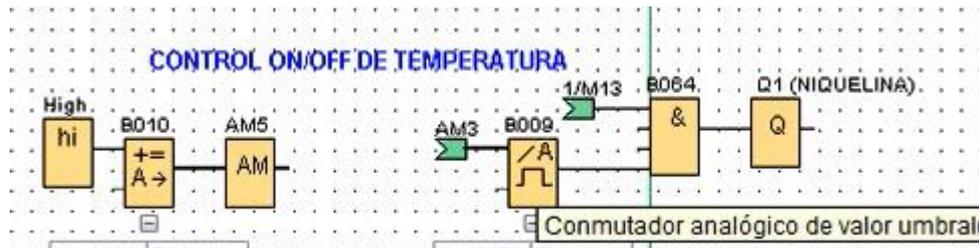


**Gráfico 29-3.** Bloque para el control continuo de temperatura

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

### 3.4.4. Control ON/OFF

Para regular la variación de temperatura con un control ON/OFF utilizamos un conmutador analógico de valor umbral. La función que cumple este bloque es comparar el valor de temperatura del set point con la medida. En el caso de que la temperatura adquirida sea menor que la seteada, el conmutador envía la orden de encender las resistencias, caso contrario, de que sea mayor, da la orden de apagado. El modo en que se desconectan las resistencias es gracias a los contactores los cuales para desenergizar las resistencias impiden el paso de corriente a estas.

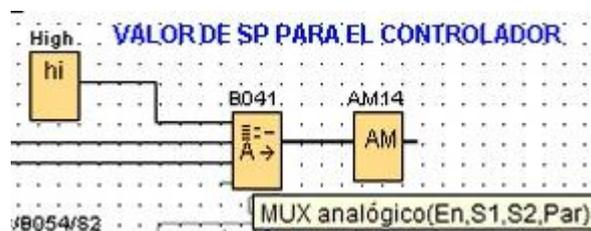


**Gráfico 30-3.** Bloques para el control ON/OFF de temperatura

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Este proceso lo realizamos para un crecimiento lineal de temperatura, es decir, se llegará a la temperatura ingresada en un tiempo establecido. Para esto realizamos un pequeño ajuste donde existirá un set point que cambiará cada dos minutos en 5°C, esto garantizará que el aumento sea casi lineal. Cuando queremos mantener la temperatura constante simplemente se igualan las variables de temperatura correspondientes a diferentes tiempos.

El grupo de bloques correspondiente al aumento lineal de temperatura se puede anclar con el grupo de bloques que se usa para mantener la temperatura constante; con la ayuda del bloque Multiplexor analógico podemos unir estos dos grupos.



**Gráfico 31-3.** Bloque para unión de grupos de bloques

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

## 4. GESTIÓN DEL PROYECTO

### 4.1. Análisis y discusión de resultados

#### 4.1.1. Pruebas de funcionamiento

Una vez construido y montado el horno en la máquina para ensayos de termofluencia procedemos a la realización de las pruebas respectivas, para garantizar un correcto funcionamiento.

Durante las pruebas se utilizó probetas planas de acero A36 y fundición nodular perlítica, con dimensiones basadas en la norma ISO 6892.

Antes de comenzar el ensayo, montamos la probeta en las mordazas superior e inferior, tal y como se muestra en la figura



**Figura 1-4.** Montaje de probeta para ensayo de termofluencia

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry; 2019

Se encendió e ingresó los valores respectivos de tiempo y temperaturas para que la cámara de calentamiento se caliente a una velocidad de  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  aproximadamente. Hasta llegar a la temperatura de ensayo transcurrieron 110 min para los dos ensayos.

Cuando se encendió el horno, el aumento de temperatura no fue lineal hasta los 200°C por la inercia térmica, relativamente alta que oscilaba entre  $\pm 6^\circ\text{C}$ . A partir de esa temperatura comenzó a disminuir la inercia hasta que superó los 400°C, donde la temperatura de set point variaba con respecto a la medida en un grado. Este valor es bastante aceptable ya que la norma permite una variación de  $\pm 2^\circ\text{C}$  de la temperatura de ensayo. Al momento de que la temperatura de ensayo se mantuvo estable, se aplicó una carga de 700 psi para ambos ensayos.

La probeta de acero A36 se ensayó a una temperatura de 540°C; mientras que para la probeta de fundición nodular perlítica la temperatura de ensayo fue 550 °C. Los ensayos se realizaron hasta su respectiva ruptura.

El ensayo de la probeta de acero A36 tuvo una duración 5144 minutos, mientras que el de la fundición nodular perlítica apenas tuvo una duración de 42 min.



**Figura 2-4.** Probeta ensayada A36

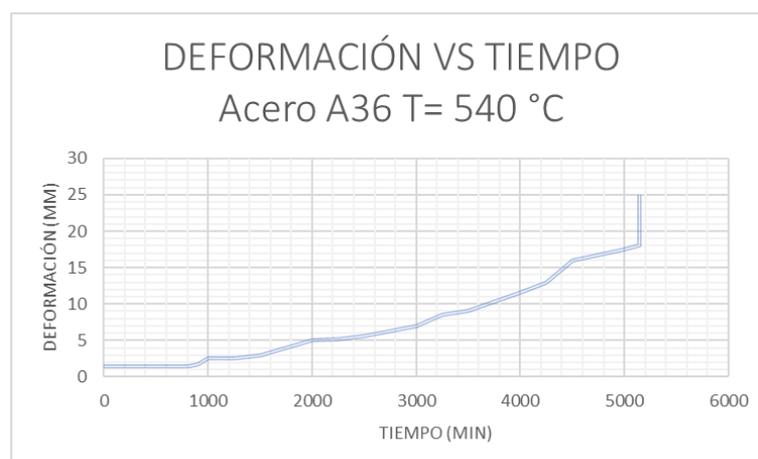
**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry; 2019



**Figura 3-4.** Probeta ensayada de fundición nodular perlítica

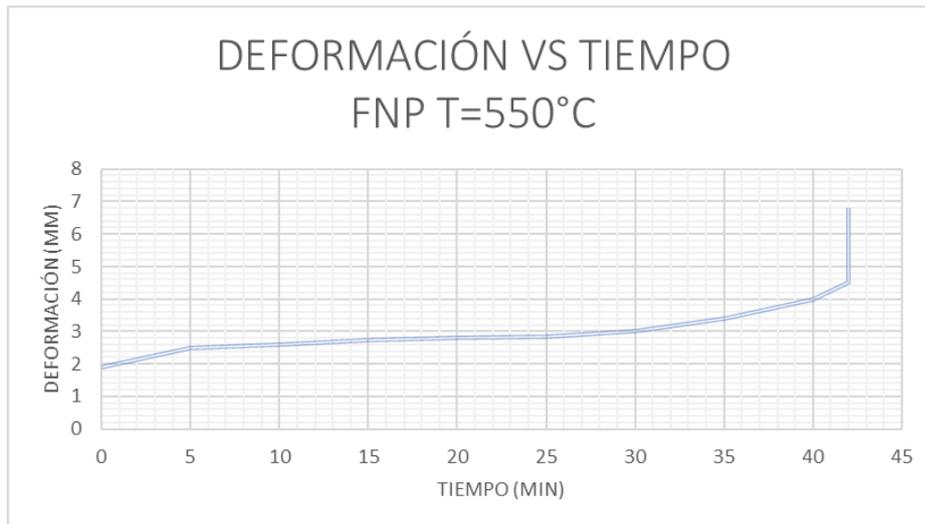
**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry; 2019

La curva de termofluencia de la probeta de acero A36 tuvo una deformación inicial de 1.48 mm, mientras que para la fundición nodular perlítica esta deformación fue de 1.87 mm. Las curvas de termofluencia de ambas probetas se detallan en las siguientes gráficas



**Gráfico 1-4.** Curva de termofluencia de un acero A36 a 540°C

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry; 2019



**Gráfico 2-4.** Curva de termofluencia de la probeta de fundición nodular perlítica

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry; 2019

Se comprobó un correcto funcionamiento del horno sin interrupciones ni inconvenientes, donde el manejo y control del mismo fue sencillo y satisfactorio.

#### 4.1.2. *Análisis de costos*

En todo proyecto debemos revisar y evaluar los recursos en los que se ha destinado el dinero, y determinar su rentabilidad frente a otras posibles competencias (Zarate, 2010: pp. 93-94). Dentro de la estimación de costos, estos pueden ser directos o indirectos. A continuación, se detalla el análisis del presente proyecto:

##### 4.1.2.1. *Costos directos*

Estos costos son los que se involucran directamente en la composición, montaje y construcción del horno.

En primer lugar, se realizará el desglose de los componentes del horno. Como el horno está compuesto por un sistema mecánico y otro electrónico, se hará una subdivisión de los materiales que los componen.

##### 4.1.2.1.1. *Costos de elementos mecánicos*

En la Tabla 1-4 se detallan los componentes y materiales mecánicos, su precio según el material está en función de su peso, longitud o área:

**Tabla 1-4:** Materiales mecánicos

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario USD</b>	<b>Precio total USD</b>
20	Cemento refractario	kg	3.2	64
48	Ladrillo refractario	-	6	288
1	Plancha metálica ASTM A36 600x250x4	mm <sup>2</sup>	20	20
7	Manta mineral	kg	3.25	22.75
1	Plancha acero inoxidable 410 700x250x2	mm <sup>2</sup>	45	45
1	Plancha metálica ASTM A36 400x400x2	mm <sup>2</sup>	17	17
34	Pernos (diferentes tamaños)	-	0.25	8.5
1.3	Eje macizo acero inoxidable AISI 304, diámetro: 1", Longitud: 6m	m	96.6	20.93
<b>Subtotal 1</b>				<b>489.4</b>

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

#### 4.1.2.1.2. Costos de elementos eléctricos y electrónicos

Para el sistema de control de temperatura se emplearon tanto elementos eléctricos como electrónicos. A continuación, se detallan los valores correspondientes a estos componentes:

**Tabla 2-4:** Elementos eléctricos y electrónicos

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario USD</b>	<b>Precio total USD</b>
1	LOGO 8 12/24RC 12/24VDC 4DI/4DO(RLY)/4AI (0-10V)	-	187	187
1	MOD EXPANSION LOGO! AM2 RTD 12/24VDC 2AI(PT100-100)	-	133	133
2	Sensor de temperatura Pt100 D6mm L200mm	-	28	56
2	Resistencia tipo anillo-plana D80mm H50mm	-	81	162
1	Caja de control metálica	-	40	40
1	Indicador de temperatura	-	45	45
1	Relé térmico	-	30	30
1	Contactador 220V 12 <sup>a</sup>	-	45	45
2	Breaker riel 2p 16a	-	25	50
<b>Subtotal 2</b>				<b>748</b>

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

#### 4.1.2.1.3. Costos de construcción y montaje

Como parte de los costos directos, también se debe incluir los gastos debido a los procesos de mecanizado, unión de elementos, térmicos; empleados para la construcción y montaje del horno eléctrico. En la siguiente tabla se detallan estos costos:

**Tabla 3-4:** Equipos y herramientas

<b>Horas</b>	<b>Descripción</b>	<b>USD/Hora</b>	<b>Precio total USD</b>
4	Soldadura MIG	9	36
16	Amoladora	1	16
4	Roladora	0.75	3
7	Taladro	0.75	5.25
30	Horno	1.25	37.5
2	Cizalla	3.5	7
18	Herramientas menores	1.25	22.5
Subtotal 3			<b>127.25</b>

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

Otro gasto debido a la construcción y montaje se debe al personal empleado tanto para la parte mecánica como para la parte eléctrica y electrónica. En la siguiente tabla se detallan los costos debido a la mano de obra.

**Tabla 4-4:** Mano de obra

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Horas-Hombre</b>	<b>USD/Hora</b>	<b>Precio total USD</b>
1	Maestro mecánico	64	3.75	240
1	Maestro eléctrico	40	4.25	170
1	Soldador	8	3.75	30
1	Ayudantes	64	3	192
Subtotal 4				<b>632</b>

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

#### 4.1.2.1.4. Costo de transporte

A lo largo de este trabajo se han estimado gastos de transporte, para el traslado de materiales y para llevar la máquina de termofluencia hacia el taller por medio de una plataforma. Estos costos tuvieron un valor aproximado de 150 USD. Este costo participa de manera evidente en el proyecto por lo que forma parte de los costos directos.

#### 4.1.2.1.5. Costo total directo

El valor del costo total directo, lo obtenemos de la suma de los subtotales previamente calculados, además, incluimos el costo debido al transporte.

**Tabla 5-4:** Costos directos

<b>Descripción</b>	<b>USD</b>
Subtotal 1	489.4
Subtotal 2	748
Subtotal 3	127.25
Subtotal 4	632
Transporte	150
<b>TOTAL</b>	<b>2143.43</b>

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

#### 4.1.2.2. Costos indirectos

Dentro de estos costos tenemos los costos de ingeniería que tienen un valor entre el 10% y 15% del costo total, además estimamos un costo debido a imprevistos y otros con un valor del 5% y 3% respectivamente (Barcenes & Guallán, 2019 p. 111).

**Tabla 6-4:** Costos indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Precio total USD</b>
Ingenieriles	12%	257.2116
Imprevistos	5%	107.1715
Utilidad	0%	0
Otros	3%	64.3029
<b>TOTAL</b>		<b>428.686</b>

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

#### 4.1.2.3. Costos totales

Una vez calculados los costos directos e indirectos, procedemos a determinar el total de los costos, donde cabe recalcar que en estos valores ya se encuentra incluido el 12% del IVA.

**Tabla 7-4:** Costos totales

<b>Costos</b>	<b>USD</b>
Directos	2143.43
Indirectos	428.686
<b>TOTAL USD</b>	<b>2572.116</b>

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

El costo total invertido en la construcción e implementación del horno para la máquina de termofluencia es de 2572.12 USD.

## 4.2. Manual de operación y mantenimiento

### 4.2.1. Manual de Operación

En el siguiente manual de operación se describe las debidas precauciones, especificaciones, puesta en marcha y ajustes, que es indispensable para el usuario u operador.

#### 4.2.1.1. Componentes del horno



**Figura 4-4.** Horno eléctrico y caja de control

**Realizado por:** Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

##### 4.2.1.1.1. Ladrillos refractarios

Cumplen la función de refractar, son excelentes contenedores de calor, están adheridos con mortero para lograr mejorar la firmeza; obteniendo como resultado una mezcla que tendrá apariencia barrosa; dicha mezcla permite que el pegado sea suficientemente resistente para los procesos (Cuichán & Llano, 2013, p.7).

##### 4.2.1.1.2. Manta mineral

Es un excelente aislante térmico y acústico, es recomendada para aislar temperaturas de hasta 750°C, existen varios beneficios como fácil instalación, manipulación y tacto agrádale.

#### 4.2.1.1.3. Resistencias eléctricas

Las resistencias eléctricas utilizadas son encofradas en cerámica, son aptas para todas las aplicaciones de calentamiento en contacto con altas temperaturas, protegidas con una estructura metálica o armadura que las protege contra los choques externos. Fácil limpieza y mantenimiento.

#### 4.2.1.1.4. Láminas de acero A36 y acero inoxidable brillante 304

La primera lámina se utilizó para la estructura del horno, y la segunda lámina se utilizó para el recubrimiento del horno considerando una buena estética.

#### 4.2.1.1.5. Termocuplas

Se utilizaron dos termocuplas tipo K para medir la temperatura en cada lado del horno, tienen una capacidad de lectura de temperaturas altas.

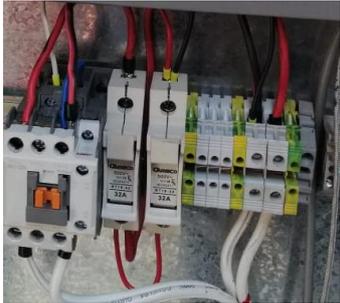
#### 4.2.1.1.6. Caja de control

En ella se encuentra los elementos que participan en el control de temperatura del horno (PLC, contactores, breakers, fuente de poder)

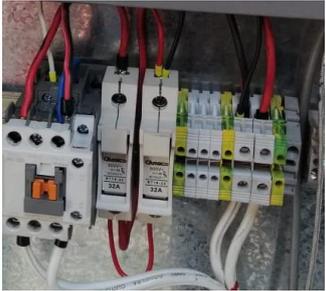
### 4.2.2. Instrucciones de Operación

**Tabla 8-4:** Instrucciones de operación del horno

Paso	Descripción	Gráfico
<b>01</b>	Fijar la probeta y observar que se encuentre lista para realizar el ensayo.	

<p><b>02</b></p>	<p>Cerrar correctamente el horno para evitar fugas de calor.</p>	
<p><b>03</b></p>	<p>Energizar los dispositivos eléctricos accionando los breakers.</p>	
<p><b>04</b></p>	<p>Encender pantalla *Con la tecla <b>ESC</b> y la <b>flecha de la derecha</b> se enciende la pantalla y nos muestra el interfaz de usuario.</p>	
<p><b>05</b></p>	<p>Fijar parámetros de temperatura en el PLC *Con la tecla <b>ESC</b> y la <b>flecha superior</b> pasamos a la pantalla de parámetros de temperatura</p>	
<p><b>06</b></p>	<p>Parámetros de temperatura: - T1: Es la temperatura a la cual se puede hacer una retención de temperatura. - T2: Es la temperatura a la cual se realizará el ensayo.</p>	

<p><b>07</b></p>	<p>Fijar los valores de tiempo en el PLC *Con la flecha derecha cambiamos a la pantalla de tiempos</p>																			
<p><b>08</b></p>	<p>Tiempos: - t1: Es el tiempo que se va a demorar el horno en llegar a T1. - t2: Es el tiempo que se mantiene la T1. - t3: Es el tiempo que se demora en llegar a T2. - t4: Es el tiempo que se mantiene T2.</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">INGRESE VALORES</th> </tr> <tr> <th colspan="3">TIEMPOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>t 1 =</td> <td>↕ +/- 5</td> <td>B011 - Valor... min</td> </tr> <tr> <td>t 2 =</td> <td>↕ +/- 5</td> <td>B025 - Valor... min</td> </tr> <tr> <td>t 3 =</td> <td>↕ +/- 5</td> <td>B026 - Valor... min</td> </tr> <tr> <td>t 4 =</td> <td>↕ +/- 5</td> <td>B027 - Valor... min</td> </tr> </tbody> </table>	INGRESE VALORES			TIEMPOS			t 1 =	↕ +/- 5	B011 - Valor... min	t 2 =	↕ +/- 5	B025 - Valor... min	t 3 =	↕ +/- 5	B026 - Valor... min	t 4 =	↕ +/- 5	B027 - Valor... min
INGRESE VALORES																				
TIEMPOS																				
t 1 =	↕ +/- 5	B011 - Valor... min																		
t 2 =	↕ +/- 5	B025 - Valor... min																		
t 3 =	↕ +/- 5	B026 - Valor... min																		
t 4 =	↕ +/- 5	B027 - Valor... min																		
<p><b>09</b></p>	<p>Encender el sistema hidráulico (revisar manual de operación del sistema hidráulico)</p>																			
<p><b>10</b></p>	<p>Revisar temperatura constante durante el ensayo</p>	 <table border="1"> <tbody> <tr> <td>T1</td> <td>76°C</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>T. AMB/</td> <td>35min</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S. P=</td> <td>56°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TEM=</td> <td>54°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TIEMPO=</td> <td>26min</td> <td></td> </tr> <tr> <td>HORNO=</td> <td>ON</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	T1	76°C	1	T. AMB/	35min		S. P=	56°C		TEM=	54°C		TIEMPO=	26min		HORNO=	ON	
T1	76°C	1																		
T. AMB/	35min																			
S. P=	56°C																			
TEM=	54°C																			
TIEMPO=	26min																			
HORNO=	ON																			

<p><b>11</b></p>	<p>Apagar el horno cuando la probeta llegue a la fractura. *Con la tecla ESC y la flecha para abajo</p>	
<p><b>12</b></p>	<p>Encender pantalla y revisar que la temperatura interna sea menor a 75°C para retirar la probeta</p>	
<p><b>13</b></p>	<p>Desenergizar toda la máquina desaccionando los breakers</p>	

Realizado por: Escudero Juleisy, Toro Henry, 2019

#### 4.2.3. Plan de mantenimiento

El presente plan se basa en un mantenimiento preventivo y correctivo.

- Siempre que se vaya a realizar mantenimientos en el horno, se debe cerciorar que esté desconectado de la fuente de energía y que hayan pasado 2 horas desde su último funcionamiento para seguridad del operario.
- Se procede a revisar los elementos de calefacción (resistencias y recubrimientos), por cada finalización de ensayo. Las resistencias deben ser reemplazadas cada 200 horas de trabajo, revisar las terminales de conexión de estas.

- Se debe realizar un mantenimiento al tablero de control donde se encuentra los elementos eléctricos y electrónicos (plc, contactores, breakers, módulo de expansión para termocuplas), con ayuda de un multímetro cada 100 horas de trabajo, después de cada ensayo desenergizar los mismos.
- Revisión del refractario al finalizar cada ensayo, se debe observar las condiciones en las que se encuentra (grietas, fracturas), en caso de encontrarse fallas corregir rellenando con mortero mezclado con agua, dejar secar durante 24 horas y realizar el curado respectivo.
- Revisar cables de conexiones que se encuentre en buen estado, caso contrario reemplazarlos.
- La termocupla debe ser revisada después de realizar cada ensayo, verificando que no posea ninguna deformación, cables sueltos y que su unión se encuentre libre de óxido.
- Verificar siempre que el espacio de la cámara de calentamiento donde va montada la probeta se encuentre libre para que permita la circulación de calor uniforme.

Pasos a realizar cuando el horno no funcione:

- Verifique las conexiones a la fuente de energía, y de todos los componentes electrónicos.
- Revisar con multímetro que el voltaje de entrada sea correcto.
- Observar el estado de las resistencias eléctricas.
- Analizar que el estado de la termocupla este óptimo.
- Comprobar que el circuito de temperatura funcione adecuadamente.
- Verificar que el horno este completamente cerrado.

Llenado del check list de ANEXO H

El llenado de esta hoja de check list nos ayudará a conocer el estado de los componentes antes de iniciar con cada ensayo, lo que ayudará a evitar fallas en medio de las prácticas y mejorar la

optimización del horno, también ayudará a conocer el tiempo de trabajo que se emplea para cada ensayo desde su encendido, para que se pueda contabilizar las horas de trabajo y realizar los mantenimientos y reemplazos de partes correspondientes que se enunciaron anteriormente.

## 5. CONCLUSIONES

Luego de haber estudiado el estado del arte se identificó los parámetros que debe cumplir el horno son temperatura externa 70°C e interna de 750°C, dimensiones adecuadas dentro del bastidor 25cm de altura y un diámetro de 19,2 cm. A demás se determinó las necesidades mediante el despliegue de la casa de la calidad como un diseño ergonómico, facilidad de montaje y desmontaje de la probeta con un buen aislamiento térmico, las cuales se fueron transformando en especificaciones técnicas útiles para el diseño.

En el diseño se hizo un análisis térmico que determinó una temperatura superficial de 74.06 °C. Por otro lado, en la simulación se obtuvo una temperatura superficial en el rango de 67 a 70°C aproximadamente. Esta diferencia de temperaturas es debido a que en el momento de realizar los cálculos se utilizó un valor de conductividad térmica correspondiente a una temperatura específica mientras que, en la simulación, se ingresó distintos valores de conductividad térmica para las diferentes temperaturas. Siendo este último el análisis más cercano a la realidad.

Con el calor calculado y dimensionado las diferentes capas del horno, se diseñó la resistencia eléctrica capaz de calentar la calderería a una temperatura de 750 °C, se obtuvo un diámetro de alambre de 1mm, un diámetro de espira de 6mm, de material 80Ni-20Cr y se necesitó dos resistencias.

En cada uno de los procesos que engloba la función principal del horno se seleccionó diferentes materiales. Los principales materiales son: manta mineral de roca como aislamiento térmico, mortero y ladrillo refractario de alta alúmina capaz de soportar temperaturas de hasta 1650°C para la calderería; acero A36 e inoxidable para los soportes y carcasa respectivamente y resistencias eléctricas Ni80- Cr20 útiles para hornos que requieren altas temperaturas.

A partir del modelado en 3D y su respectiva validación en el software, se construyó el horno. Al mortero se le aplicó un curado en función de la temperatura de servicio de 750°C. Posterior a esto se mecanizó y ensambló la estructura metálica compuesta por la carcasa y los soportes para finalmente insertar la manta mineral.

Utilizamos un PLC LOGO 8, termocuplas tipo K, contactores como principales elementos para el control de temperatura. Se programó el PLC un sistema de control ON/OFF en el software LOGO! Soft Comfort v8.02.

Para garantizar un buen desempeño del equipo, como protocolo de pruebas se ensayó una probeta plana de acero A36 a 540°C y una probeta de hierro nodular perlítico a 550°C. Los ensayos se realizaron a temperatura constante hasta llegar a la fractura de las probetas.

Se elaboró un manual de operación y mantenimiento que garantice la seguridad del operario y una correcta manipulación del horno, que nos brinde una vida útil de los elementos y componentes acorde con la emitida por el fabricante.

Se diseñó y construyó un horno eléctrico para implementar en la máquina de termofluencia del laboratorio de Resistencia de materiales de la ESPOCH con control automático y una temperatura de trabajo de hasta 750°C.

## 6. RECOMENDACIONES

Se debería implementar un control y monitoreo virtual, para que durante el ensayo no sea necesaria la presencia del operario, sino que desde cualquier parte en que se encuentre, mediante un computador controle la máquina de termofluencia pudiendo registrar los datos de deformaciones, temperatura y carga e incluso apagar la máquina al momento de concluir el ensayo.

En función de la temperatura de servicio del horno si se quiere distinguir notoriamente los efectos de la termofluencia se recomienda utilizar materiales con un punto de fusión inferior a los 1500 °C, ya que este fenómeno se visualiza mejor cuando se somete la probeta a una temperatura correspondiente a la mitad de su temperatura de fusión.

Si se quiere evitar el cambio continuo de resistencias, es preferible implementar resistencias eléctricas blindadas con una mayor vida útil, pero que como desventaja tienen su elevado costo.

Se recomienda compartir las investigaciones de termofluencia con el sector industrial que se encuentre involucrado en el diseño de equipos o máquinas donde afecte considerablemente el fenómeno creep.

Se recomienda un correcto seguimiento del plan de mantenimiento para que los elementos y equipos cumplan con la vida útil estimada por los fabricantes

## BIBLIOGRAFÍA

**API 936.** *Control de Calidad en la Instalación de Refractario- Inspección y Prueba de Revestimientos y Materiales Refractarios Monolíticos.*

**ARAMBARRI, G., & AGLIETTI, E.** “Materiales aislantes de perlita y silicato de calcio. Conductividad térmica y propiedades”. *Memorias de las jornadas SAM 2000 – IV Coloquio Latinoamericano de fractura y fatiga* [en línea], 2000 (Argentina), pp. 941. [Consulta: 23 enero 2019]. Disponible en: <https://cetarq.com/wp-content/uploads/2016/06/1212.pdf>.

**ASKELAND, Donald; et al.** *Ciencia e Ingeniería de los Materiales.* 6ª ed. México, D. F. – México: Cengage Learning, 2012, pp. 4.

**ASTIGARRAGA URQUIZA, Julio.** *Hornos industriales de resistencias.* Colombia : McGraw-Hill, 1995. ISBN: 84-481-1937-1, pp. 1-78.

**ASTME139.** *Standard test methods for conducting creep, creep-rupture, and stress-rupture tests of metallic materials.*

**BARCENES OLIVARES, Rosa Maricela, & GUALLAN ZARATE, Ligia América.** Repotenciación de la máquina para ensayos de resistencia a la fatiga del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 111. [Consulta: 2019-11-20]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/25/browse?type=author&order=ASC&rpp=60&value=Barcenes+Olivares%2C+Rosa+Maricela>.

**BUDYNAS, Richard, & NISBETT, Keith.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* 8ª ed. México: Mc Graw Hill, 2008. pp.398.

**CAICEDO REYES, Jorge Isaías.** Estudio del Efecto de Termofluencia sobre el hierro fundido gris perlítico como material alternativo y su incidencia en la degradación microestructural en espejos de la cámara de combustión de los hornos industriales para pan (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato, Ecuador.2014. pp. 3-58.

**CALLISTER, William.** *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. 6ª ed. México: CENGAGE Learning, 2012. pp. 4.

**CENGEL, Yunus y GHAJAR, Afshin.** *Transferencia de calor y masa*. 4ª ed. México : Mc Graw Hill, 2011. ISBN: 978-607-15-0540-8. pp. 2-375.

**CONDORI CHAHUARA, Saul, & SERPA QUISPE, Javier.** Diseño del control de temperatura para un horno industrial, mediante la modulación de ancho de pulso usando un PLC de alta gama (Trabajo de titulación) [En línea]. Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Puno, Perú. pp. 25-28. [Consulta: 22 de agosto de 2019]. Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6103/Condori\\_Chahuara\\_Saul.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6103/Condori_Chahuara_Saul.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**CUICHÁN ALULEMA, Alejandro Paolo, & LLANO GUANOCHANGA, Mayra Janet.** Diseño y elaboración de ladrillo refractario (22x11x6cm) empleando materias primas nacionales, utilizados en la construcción, mantenimiento y reparaciones de hornos de crisol y cubilote. [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica del Ejercito, Sangolquí, Ecuador. 2013. pp. 13. [Consulta: 2019-09-25]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7512/1/T-ESPE-047510.pdf>.

**CUJI SÁNCHEZ, Freddy Fabián.** Diseño e implementación de un módulo didáctico para el monitoreo y control automático de un sistema de temperatura de un horno para el laboratorio de redes industriales y control de procesos de la ESPE (Trabajo de titulación) [En línea]. ESPEL, Departamento de Eléctrica y Electrónica. Latacunga, Ecuador, 2014. pp. 4-7. [Consulta: 21 de junio de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7333>.

**ENCINAS PAJARES, José Antonio.** Simulador de un RTD Pt100 mediante MicroConvertidor ADuC812 e Interfaz de Usuario LabVIEW (Trabajo de titulación) Universitat Rovira i Virgili. Tarragona, España. 2011. pp. 10-27. [Consulta: 22 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1770pub.pdf>.

**ENRIQUEZ, Gilberto.** *ABC de las instalaciones eléctricas industriales* [En línea]. México: Editorial Limusa, 2002. [Consulta: 31 de agosto de 2019]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/ABC\\_de\\_Las\\_Intalaciones\\_Electricas\\_Indus.html?id=8YvPNzKOOIAC&printsec=frontcover&source=kp\\_read\\_button&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books/about/ABC_de_Las_Intalaciones_Electricas_Indus.html?id=8YvPNzKOOIAC&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).

**ESPINOZA, Jean.** Evaluación de propiedades térmicas de chaquetas, del horno manga N°3, para identificar placas térmicas óptimas en la empresa Doe Run Perú (Trabajo de titulación) [En línea] Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica. Huancayo. Perú. 2016. pp. 21. [Consulta: 31 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3643>.

**GÓNZALEZ, Héctor, & MESA, Dairo.** “La importancia del método en la selección de materiales”. *Scientia et Technica Año X*. n°24 (2004), (Colombia) pp.175-176.

**GREENERGY REFRACTORY & INSULATION MATERIAL CO. LTD.** *Tipos y propiedades de los refractarios* [blog]. 2019. [Consulta: 21 de junio de 2019]. Disponible en: <http://m.greenergyrefractarios.com/info/types-and-properties-of-refractories-32208054.html>.

**GUERRERO, Victor H.; et al.** *Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*. [En línea]. Quito, Ecuador: Imprefepp, 2011. [Consulta: 21 de junio de 2019]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>.

**HERNÁNDEZ, Rebeca.** Estudio de termofluencia en plomo-bismuto líquido de acero ferrítico-martensíticos mediante el uso de probetas miniatura (Trabajo de titulación) (Doctoral). [En línea]. Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química. Madrid, España, 2015. pp. 18. [Consulta: 31 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/22635#preview>.

**HOLMAN, J. P.** *Transferencia de calor*. 10ª ed. México: Mc Graw Hill, 1999. ISBN: 968-26-0649-7. pp. 18-668.

**ISO 6892:1:2016.** *Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente*.

**JUTGLAR, Lluís, & GALÁN, Maribel.** *Termotecnia*. México : Alfaomega Grupo Editor, 2014. ISBN: 978-607-707-405-2. pp. 53.

**KREITH, Frank; et al.** *Principios de transferencia de calor*. 7ª ed. México: CENGAGE Learning, 2012. ISBN: 978-607-481-822-2. pp. 21-22.

**LARA, M., & GASPAR, R.** “Termocuplas: Una alternativa para la medición de temperaturas”. *Revista de enseñanza de la física* [En línea], 1991, (Argentina) 4 (1), pp. 7-11, . [Consulta: 22 de

agosto de 2019]. Disponible en: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/16071/15903>.

**LÓPEZ PÉREZ, Verónica Paulina, & RAMÍREZ MONTESDEOCA, Wilson Andrés.** Diseño de un horno para tratamiento térmico del rodete de la turbina Francis (CELEC UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGROYÁN). (Trabajo de titulación). ESPOCH, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Riobamba, Ecuador, 2011. pp. 63-64.

**LÓPEZ SAÑAY, Dennis Patricio, & OÑATE GUERRERO, Jimmy Darío.** Estudio en el rango de 500°C-550°C de la degradación microestructural del acero A36 y fundición nodular perlítica por efecto de termofluencia. 2017. (Trabajo de titulación). ESPOCH, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Riobamba, Ecuador, 2017. pp. 3-44.

**MÉNDEZ ALTAMIRANO, José Pedro, & SUASNAVAS FLORES, William Patricio.** Diseño y construcción de un horno eléctrico para el secado de los bobinados de motores de hasta 10 hp. (Trabajo de titulación) Escuela Politécnica Nacional, Escuela de formación de tecnólogos. Quito, Ecuador. 2012. pp. 21-55.

**MUÑOZ, E.; et al.** “Comprobación experimental de la ley de Stefan-Boltzmann en la cátedra de física iii de ingeniería de la”. *Anales AFA*, 24, 1 (2013), (Argentina). pp. 35.

**NKS.** *NKS Web site*. [blog] 2019. [Consulta: 4 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-410/?fbclid=IwAR0Jk-1Cw2MI69AOgb98UmzjSrKtpAZKNyieI4-Q668ROECyC0FEwPCfYkw>.

**PÉREZ, Mario; et al.** *Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo*. San Juan, Argentina. 200. pp. 10-11.

**POZO BENAVIDES, Lenin Gonzalo.** *Implementación de un sistema de control de perfil de calentamiento y agitación para un tostador por resistencias eléctricas con capacidad de 25 libras de café de quinua*. Universidad técnica del norte. Ibarra, Ecuador. 2016. pp.16. [Consulta: 2019-11-21] Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7514>.

**ROCHA RANGEL, Enrique.** *Introducción a los materiales cerámicos*. México, 2005. ISBN: 970-31-0439-8. pp. 7-10.

**RIBA ROMEVA, Carles.** *Diseño Concurrente*. Barcelona:Ediciones UPC, 2002. ISBN: 84-8301-598-6. pp. 176-178.

**SARKAR, Ritwit.** Refractory technology: fundamentals and applications. [En línea], CRC Press 2016. [Consulta: 2019-07-06] Disponible en: <https://www.crcpress.com/Refractory-Technology-Fundamentals-and-Applications/Sarkar/p/book/9781498754255>.

**SUAREZ DEL RÍO, L.; et al.** El corte de rocas ornamentales con disco diamantados; influencia de los factores propios del sistema de corte. *Materiales de construcción*, vol. 48, n° 250(1998), (España). pp. 53-54.

**ZÁRATE, Víctor.** “Evaluaciones económicas en salud: Conceptos básicos y clasificación”. *Revista Médica de Chile*. [En línea], 2010, (Chile) 138(2), pp. 93-97. [Consulta: 2019-11-21] Disponible en: [https://sci-hub.tw/https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-98872010001000007](https://sci-hub.tw/https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872010001000007).



**ANEXO B: DATA SHEET MORTERO REFRACTARIO**

**SUPER #3000® Mix 26 MORTAR**

**Monolithic Refractory**

**Product Information Sheet**

SUPER #3000® is a premium quality, super duty mortar. Exceptional strength is achieved at low, intermediate, and high temperatures, used for all types of molten metal applications including steel, iron, aluminum and other non-ferrous metals.

Service Temperature: - Material Required: -  
 Typical Water Required: - Maximum Grain Size: 300-350 lbs  
 Service Temperature: 1650 °C Mortar required per 1000 Standard:

**Chemical Analysis**

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	
44.6-49.6	1.05-1.55	44.6-49.6	0.75-1.25	0-0.3	0-0.3	3.15-3.65	

**Typical Physical Properties**

*Tested in accordance with International and ASTM Standards*

Prefired to	Bulk Density	Cold Crushing Strength	Cold Modulus of Rupture	Permanent Linear Change
(°F)	(lb/ft <sup>3</sup> )	(psi)	(psi)	(%)

**Other Physical Properties**

*Tested in accordance with International and ASTM Standards*

Prefired to	Apparent Porosity	Thermal Conductivity	Hot Modulus of Rupture	Permanent Volume Change
(°F)	(%)	(Btu.in/h.ft <sup>2</sup> .F)	(psi)	(%)

Formerly: SUPER #3000®

Product Number: LEY10235 MX1N MOR  
 Effective Date: 16/08/2004

MSDS Reference: LEY10235  
 Revision: B:00

The physical and/or chemical properties and specifications of the product set forth above represent typical average results obtained in accordance with generally accepted standard test methods conducted under controlled conditions, and are subject to normal manufacturing variations. Vesuvius reserves the right to modify the properties and specifications at any time without prior notice.

NO WARRANTY IS EXPRESSED OR IMPLIED REGARDING THE ACCURACY OF THIS INFORMATION, THE SUITABILITY OF THE PRODUCT FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR THE RESULTS TO BE OBTAINED BY THE USE OF THE PRODUCT. USERS EXPRESSLY ASSUME ALL RISKS AND LIABILITIES ARISING FROM THE USE OF OR RELIANCE UPON THIS INFORMATION.





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

**Especificaciones Técnicas**

Unidad	Manta Aislante
Descripción	Manta Aislante de Lana de Roca con malla en alambre galvanizado por ambos lados
Densidad	100 kg/m <sup>3</sup> , 128 kg/m <sup>3</sup> , y 140 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica	0.24 BTU.in/ft <sup>2</sup> .h.°F a Tm 100 °F
T° de servicio	hasta 750°C en régimen continuo
Contracción lineal	< 1% a 1200 °F
Absorción de humedad	<1%
Combustibilidad	100% incombustible
Norma	ASTM C562 - 10 Type II
Empaque	Bolsa polietileno reforzado

**Conductividad térmica**

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



**Descripción**

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

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

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

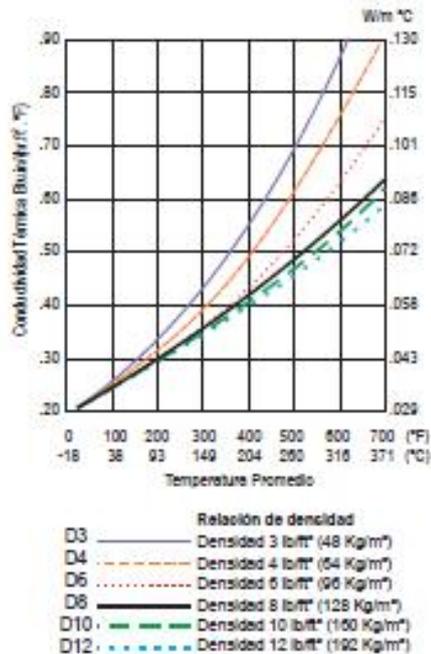
El medio de retención estándar es la malla hexagonal con ojo de 1" por el lado frío y malla hexagonal con ojo de 2 1/2" por el lado caliente.

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

**Aplicaciones**

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

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



## Ventajas

- Por su densidad poseen un bajo factor k reduciendo drásticamente las pérdidas de calor: 0.25 BTU.in/ft².h °F a Tm 100 F
- Mayor durabilidad, dada por la composición química de la fibra y la calidad de los diferentes tipos de reforzamiento, que forman una unidad resistente mecánicamente.
- Las Mantas se pueden usar a temperaturas continuas de hasta 1382 °F (750 °C) sin afectarse por el calor, la humedad y humos corrosivos.
- Cubren superficies curvas o irregulares que tengan juntas, costuras, traslapes y cabezas de remaches. Pueden ser cortadas, remachadas, pinnadas, sin perder sus propiedades aislantes.
- Los refuerzos de las Mantas sirven para la fijación de las mallas entre si y con el equipo aislado, haciendo innecesarios reforzamientos adicionales, al mismo tiempo brindan una base excelente para la aplicación del cemento para terminado Rocalán.
- Las Mantas Aislantes son incombustibles y no desarrollan humo, químicamente inertes y no corrosivas.



## Compromiso Ambiental

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



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

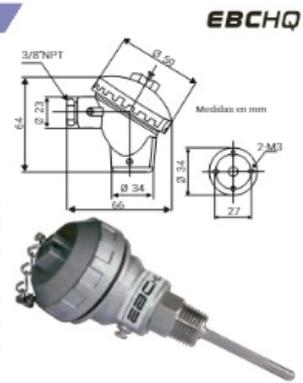
## ANEXO D: CATÁLOGO TERMOCUPLAS TIPO K

### SENSORES TEMPERATURA

#### SENSORES DE TEMPERATURA CON CABEZOTE

**Tipo de bulbo** Recto para conexión a proceso de 1/2"NPT  
**Material bulbo** Acero inoxidable 316  
**Diámetro bulbo** 6.4mm  
**Tamaño del cabezote** Pequeño 66 x 64mm  
**Características** Material: Aleación de aluminio  
 Aterrizadas

REF	TIPO	CLASE	RANGO DE TRABAJO	LONGITUD BULBO
56145	Termocupla tipo J	A	0 a 500°C	5cm
56147				10cm
56149				15cm
56342	Termocupla tipo K		0 a 850°C	5cm
56344				10cm
56346				15cm
56348		20cm		



56145 a 56348

#### SENSORES DE TEMPERATURA BULBO RECTO

**Material bulbo** Acero inoxidable 316

REF	TIPO	RANGO TRABAJO	Ø BULBO	LONGITUD BULBO	EXTENSIÓN
2000.00.621	RTD Pt-100 (Clase B)	0 a 250°C	5mm	5cm	Teflón 2m
2000.00.622				10cm	
2000.00.623				5cm	
2000.00.624		0 a 400°C	6mm	10cm	Fibra de vidrio enmallada 2m
2000.00.625*				5cm	
2000.00.626*				10cm	

\*Conexión a proceso 1/2"NPT



# SIEMENS

## Hoja de datos

**6ED1052-1MD00-0BA8**


LOGO!12/24RCE, MOD. LOG.,DISPL. AL/E/S: 12/24V DC/RELE,  
8ED(4EA)/4SD, MEM. 400 BLOQUES, AMPLIABLE  
MODULARMENTE,ETHERNET WEB-SERVER INTEGR.,  
DATALOG, TARJETA MICRO SD ESTANDAR PARA LOGO! SOFT  
COMFORT >= V8 PROYECTOS ANTIGUOS EJECUTABLES

Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 4 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
• 12 V DC	Sí
• 24 V DC	Sí
Rango admisible, límite inferior (DC)	10,8 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Hora	
Programadores horario.	
• Cantidad	8
• Reserva de marcha	480 h
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	8; de ellas, 4 aptas como E analógicas (0 a 10 V)
Salidas digitales	
Número de salidas	4; Relé
Protección contra cortocircuito	No; requiere protección externa
Intensidad de salida	
• para señal "1" rango admisible para 0 a 55 °C, máx.	10 A
Salidas de relé	
Poder de corte de los contactos	
— con carga inductiva, máx.	3 A

— Con carga resistiva, máx.	10 A
<b>CEM</b>	
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
• Clase de límite B, para aplicación en el ámbito residencial	Sí
<b>Grado de protección y clase de protección</b>	
Grado de protección según EN 60529	
• IP20	Sí
<b>Normas, homologaciones, certificados</b>	
Homologación CSA	Sí
Homologación UL	Sí
Homologación FM	Sí
desarrollado conforme a IEC 61131	Sí
según VDE 0631	Sí
<b>Homologaciones navales</b>	
• Homologaciones navales	Sí
<b>Condiciones ambientales</b>	
Temperatura ambiente en servicio	
• mín.	0 °C
• máx.	55 °C
<b>Dimensiones</b>	
Ancho	71,5 mm
Alto	90 mm
Profundidad	60 mm
Última modificación:	24.02.2015

**ANEXO F: CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS DE ALGUNOS MORTEROS  
REFRACTARIOS**

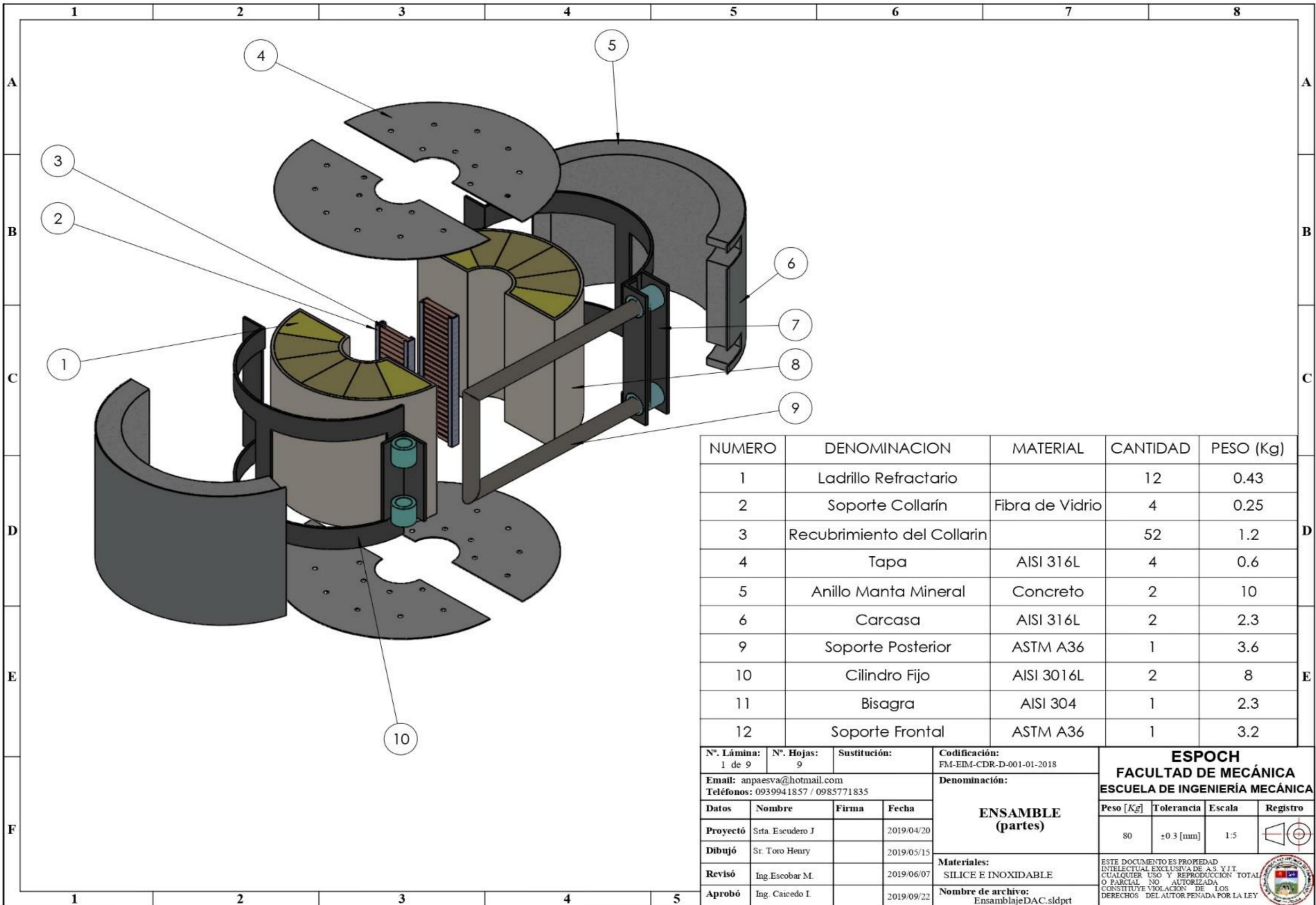
**3.5 Morteros**

<b>Morteros</b>				
<b>Material</b>	<b>HE</b>			
	$\rho$ kg / m <sup>3</sup>	$\lambda$ W / m·K	$c_p$ J / kg·K	$\mu$
<b>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco o enlucido</b> <sup>(1) (2)</sup>	$\rho > 2000$	1,80	1000	10
	$1800 < \rho \leq 2000$	1,30	1000	10
	$1600 < \rho \leq 1800$	1,00	1000	10
	$1450 < \rho \leq 1600$	0,80	1000	10
	$1250 < \rho \leq 1450$	0,70	1000	10
	$1000 < \rho \leq 1250$	0,55	1000	10
	$750 < \rho \leq 1000$	0,40	1000	10
	$500 < \rho \leq 750$	0,30	1000	10
<b>Mortero de áridos ligeros (vermiculita, perlita)</b> <sup>(2)</sup>	$\rho \leq 1000$	0,41	1000	10
<b>Mortero de yeso</b>	$\rho \leq 1600$	0,80	1000	6

<sup>(1)</sup> Para el mortero colocado "in situ" se considera una densidad de 1900 kg/m<sup>3</sup>

<sup>(2)</sup> Los valores de diseño anotados corresponden a un percentil del 90% y provienen de los valores declarados obtenidos según la norma UNE EN 1745:2002 y corregidos según los criterios de la norma UNE EN 12524:2000, con factor de corrección de humedad, F<sub>m</sub>, igual a 1,17.

## **ANEXO G: PLANOS DEL HORNO ELÉCTRICO Y SUS PARTES**



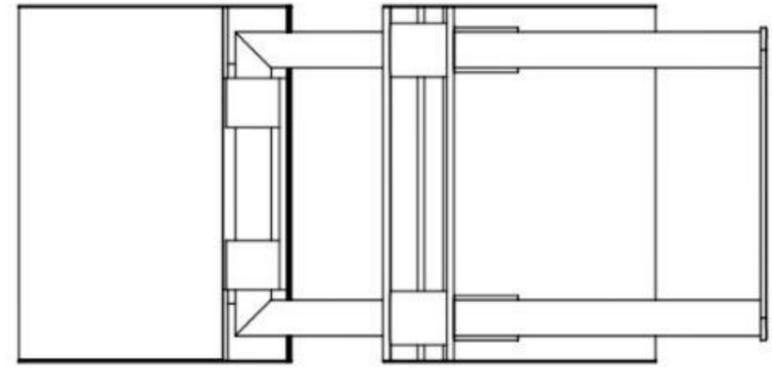
NUMERO	DENOMINACION	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (Kg)
1	Ladrillo Refractario		12	0.43
2	Soporte Collarín	Fibra de Vidrio	4	0.25
3	Recubrimiento del Collarín		52	1.2
4	Tapa	AISI 316L	4	0.6
5	Anillo Manta Mineral	Concreto	2	10
6	Carcasa	AISI 316L	2	2.3
9	Soporte Posterior	ASTM A36	1	3.6
10	Cilindro Fijo	AISI 3016L	2	8
11	Bisagra	AISI 304	1	2.3
12	Soporte Frontal	ASTM A36	1	3.2

N°. Lámina: 1 de 9		N°. Hojas: 9		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-CDR-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: anpaesva@hotmail.com Teléfonos: 0939941857 / 0985771835						Denominación:  <b>ENSAMBLE (partes)</b>					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	<b>Materiales:</b> SILICE E INOXIDABLE  <b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt				80	±0.3 [mm]	1:5	
Proyectó	Srita. Escudero J		2019/04/20								
Dibujó	Sr. Toro Henry		2019/05/15								
Revisó	Ing. Escobar M.		2019/06/07								
Aprobó	Ing. Caicedo I.		2019/09/22					ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y.J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			

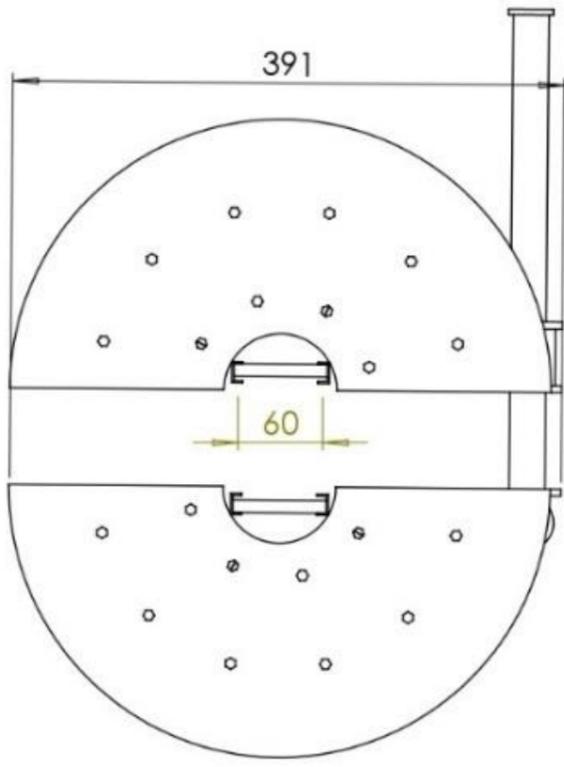




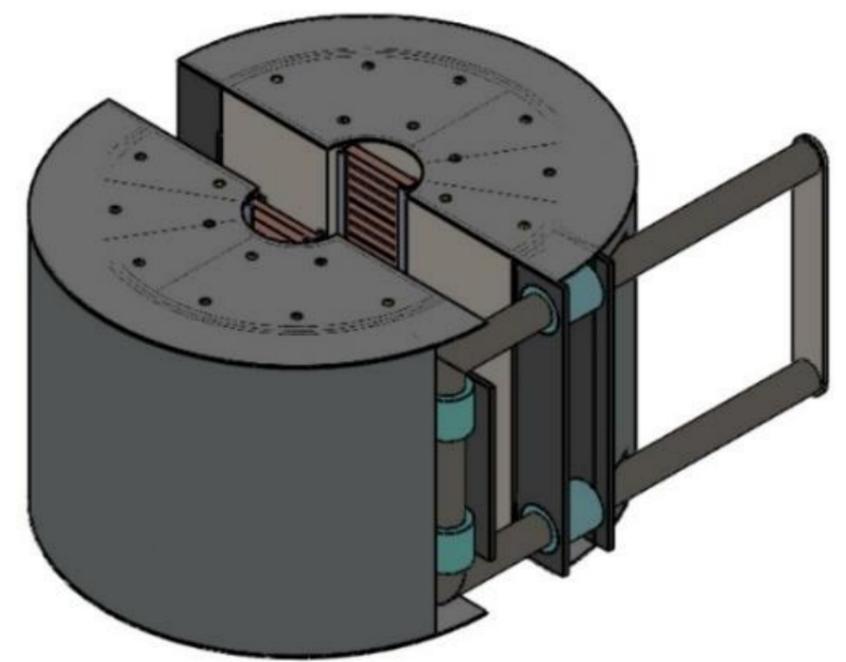
VISTA FRONTAL  
Escala 1:5



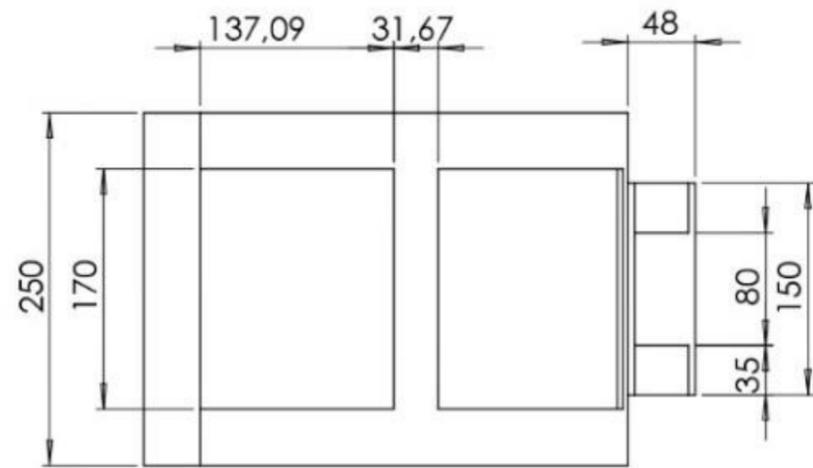
VISTA LATERAL  
Escala 1:5



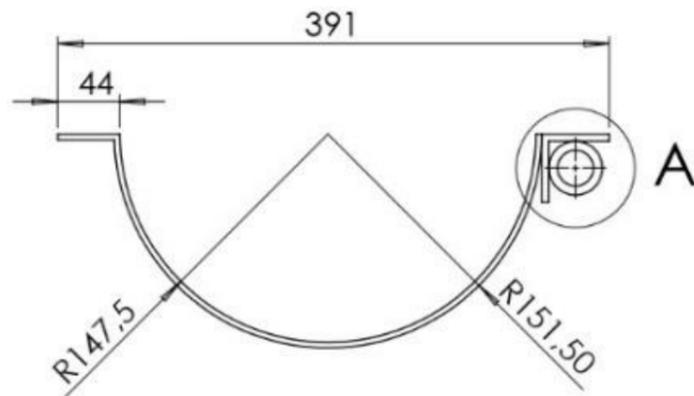
VISTA SUPERIOR  
Escala 1:5



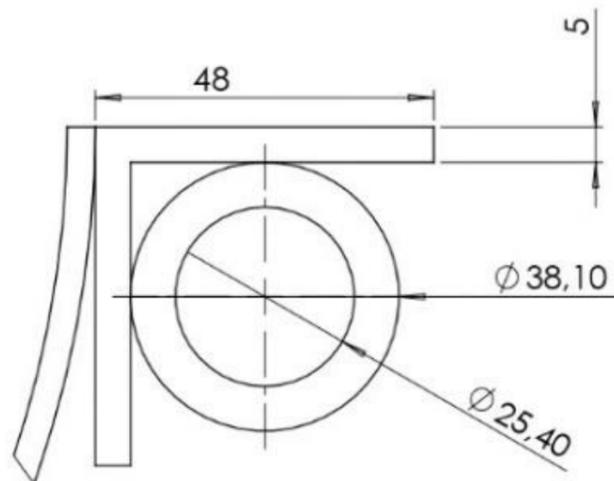
N°. Lámina: 2 de 9		N°. Hojas: 9		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-CDR-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: anpaesva@gmail.com Teléfonos: 0939941857 / 0985771835				Denominación:  <b>ENSAMBLE (medidas)</b>								Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		80		±0.3 [mm]		1:5			
Proyectó		Srta. Escudero J.				2019/04/20		Materiales:		SILICE E INOXIDABLE		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y.I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA. CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>			
Dibujó		Sr. Toro Henry				2019/05/15		Nombre de archivo:		EnsamblajeDAC.sldprt					
Revisó		Ing. Escobar M.				2019/06/07									
Aprobó		Ing. Caicedo I.				2019/09/22									



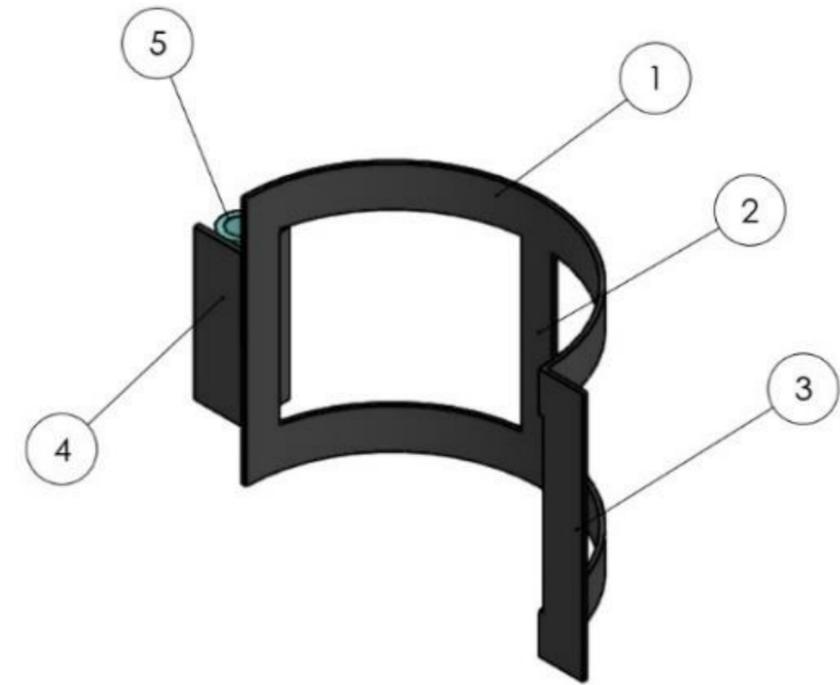
VISTA FRONTAL  
Escala 1:5



VISTA SUPERIOR  
Escala 1:5

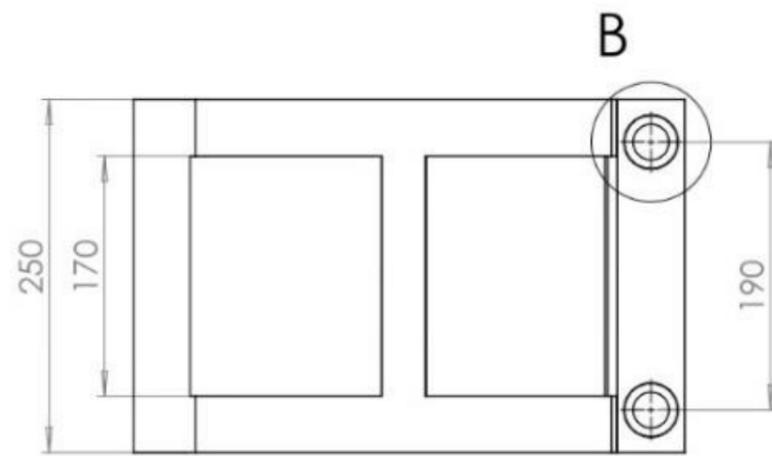


DETALLE A  
ESCALA 1:1

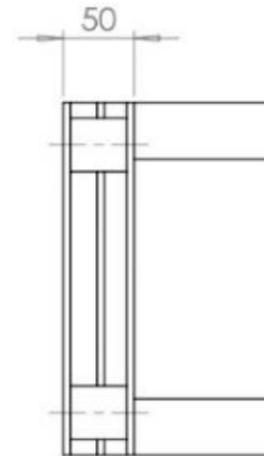


NUMERO	DENOMINACION	LONGITUD (mm)	MATERIAL	CANTIDAD
1	Platina 40x4	642	ASTM A36	2
2	Platina 40x4	170	ASTM A36	2
3	Platina 40x4	250	ASTM A36	1
4	L 48x48x5	150	ASTM A36	1
5	Buje 1.5"	35	ASTM 1045	2

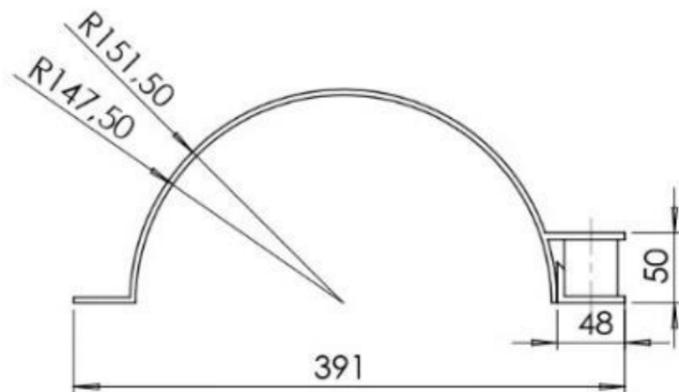
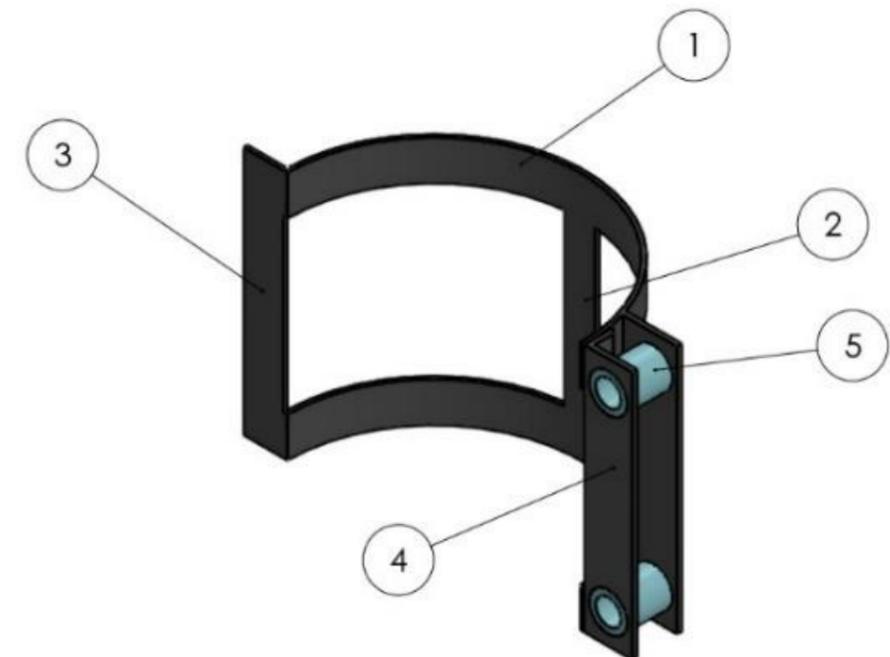
N°. Lámina: 3 de 9		N°. Hojas: 9		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-CDR-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: anpaesva@hotmail.com Teléfonos: 0939941857 / 0985771835						Denominación:  <b>SOPORTE FRONTAL</b>					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	<b>Materiales:</b> ASTM A36				80	±0.3 [mm]	1:5	
Proyectó	Srta. Escudero J.		2019/04/20								
Dibujó	Sr. Toro Henry		2019/05/15								
Revisó	Ing. Escobar M.		2019/06/07								
Aprobó	Ing. Caicedo I.		2019/09/22	Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR. PENADA POR LA LEY</small>					



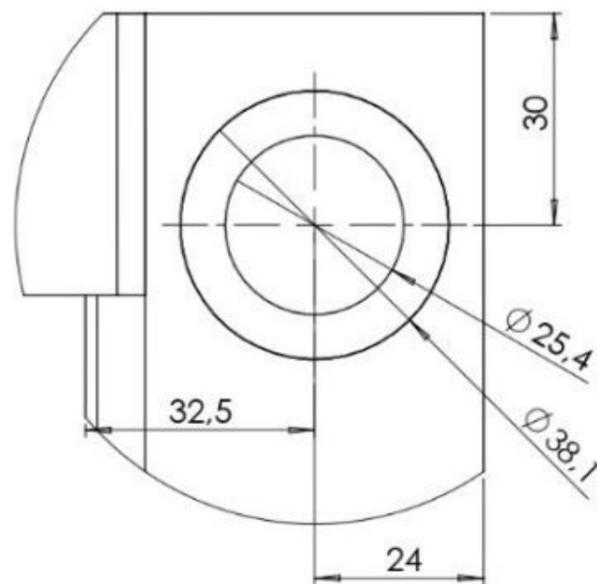
VISTA FRONTAL  
Escala 1:5



VISTA LATERAL  
Escala 1:5



VISTA SUPERIOR  
Escala 1:5

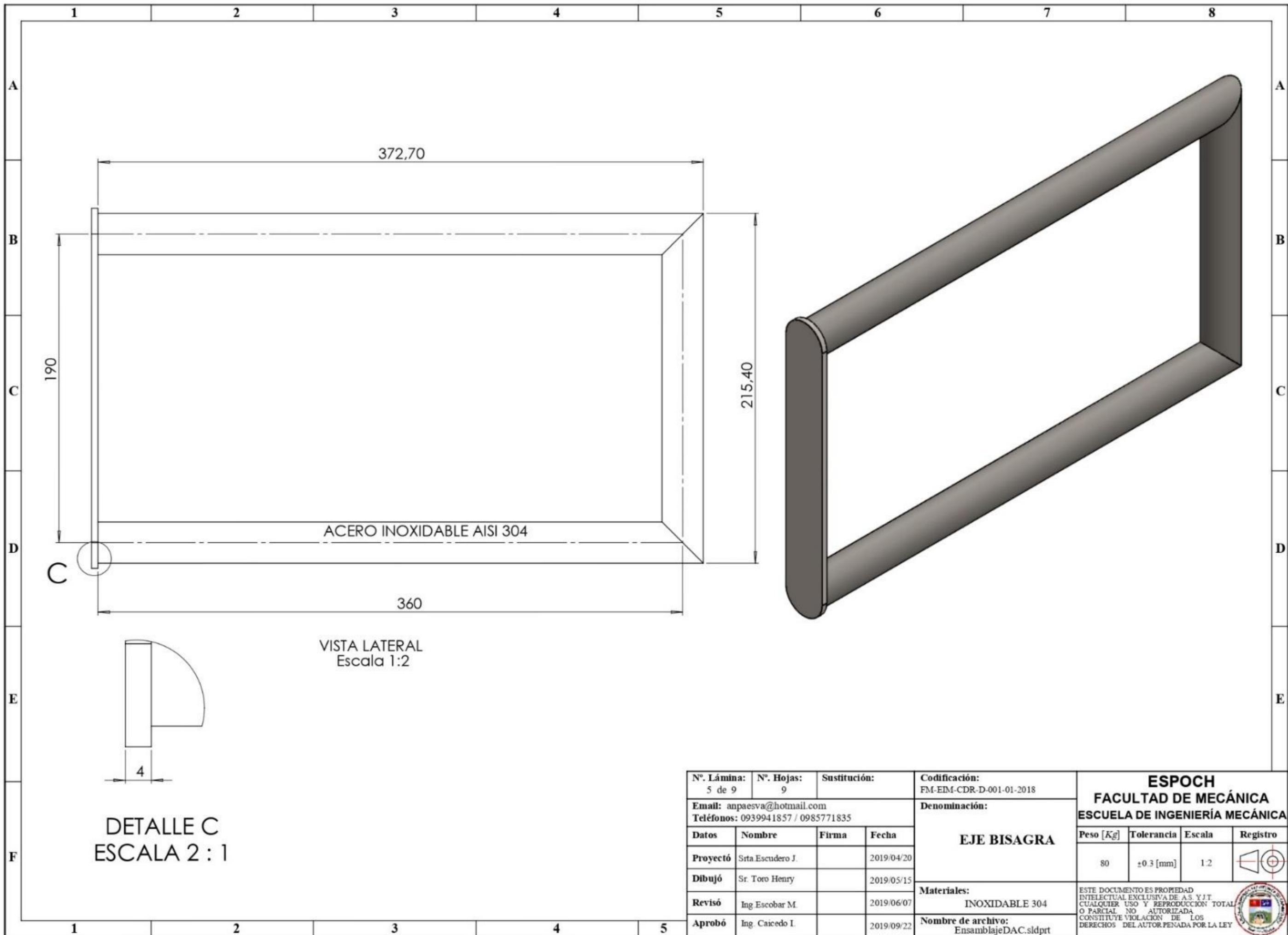


DETALLE B  
ESCALA 1:1

NUMERO	DENOMINACION	LONGITUD (mm)	MATERIAL	CANTIDAD
1	Platina 40x4	642	ASTM A36	2
2	Platina 40x4	170	ASTM A36	1
3	Platina 40x4	250	ASTM A36	1
4	L 48x4	250	ASTM A36	1
5	Buje 1.5"	50	ASTM 1045	2

Nº. Lámina: 4 de 9	Nº. Hojas: 9	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-CDR-D-001-01-2018	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: anpaesva@hotmail.com Teléfonos: 0939941857 / 0985771835			Denominación:  <b>SOPORTE POSTERIOR</b>				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	<b>Materiales:</b> ASTM A36 <b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt			
Proyectó	Srta. Escudero J.		2019/04/20				
Dibujó	Sr. Toro Henry		2019/05/15				
Revisó	Ing. Escobar M.		2019/06/07				
Aprobó	Ing. Caicedo I.		2019/09/22	<b>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</b>			





VISTA LATERAL  
Escala 1:2

DETALLE C  
ESCALA 2:1

N°. Lámina: 5 de 9		N°. Hojas: 9		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-CDR-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: anpaesva@hotmail.com Teléfonos: 0939941857 / 0985771835				Denominación:  <b>EJE BISAGRA</b>							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	<b>Materiales:</b> INOXIDABLE 304				80	±0.3 [mm]	1:2	
Proyectó	Srta Escudero J.		2019/04/20								
Dibujó	Sr. Toro Henry		2019/05/15								
Revisó	Ing Escobar M.		2019/06/07								
Aprobó	Ing. Caicedo I.		2019/09/22	<b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR.PENADA POR LA LEY			



1

2

3

4

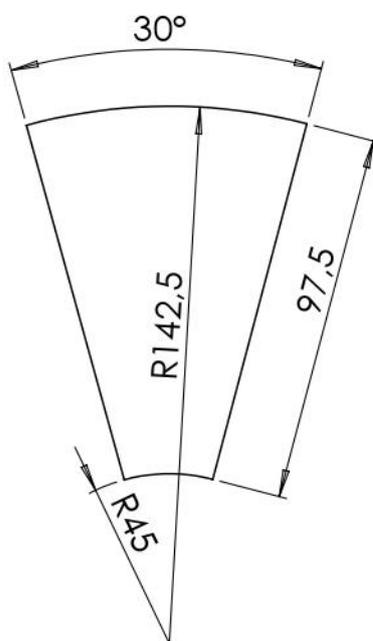
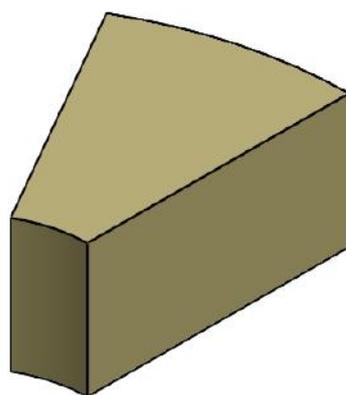
A

B

C

D

E



VISTA SUPERIOR  
Escala 1:2  
Altura: 50 mm

N°. Lámina: 6 de 9		N°. Hojas: 9		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-CDR-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: anpaesva@hotmail.com Teléfonos: 0939941857 / 0985771835						<b>LADRILLO</b> <b>REFRACTARIO</b>		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		80		±0.3 [mm]		1:2	
Proyectó		Srta. Escudero J.				2019/04/20		Materiales: SILICE		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Toro Henry				2019/05/15									
Revisó		Ing. Escobar M.				2019/06/07		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt							
Aprobó		Ing. Caicedo I.				2019/09/22									

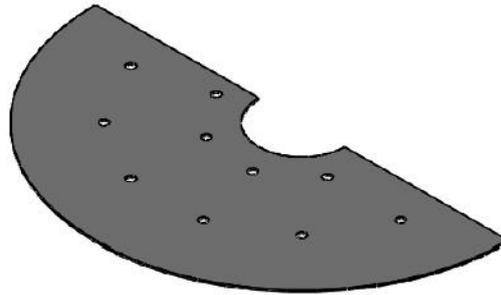
1

2

3

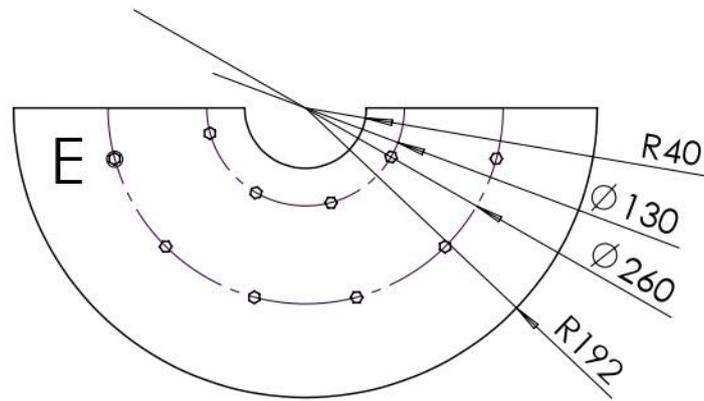
4

A



B

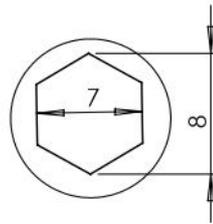
C



D

VISTA SUPERIOR  
Escala 1:5  
Espesor: 1.5 mm

E



DETALLE E  
ESCALA 2 : 1

N°. Lámina: 7 de 9		N°. Hojas: 9		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-CDR-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: anpaesva@hotmail.com Teléfonos: 0939941857 / 0985771835						Denominación:  <b>TAPA</b>					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					80	±0.3 [mm]	1:5	
Proyectó	Srta. Escudero J.		2019/04/20								
Dibujó	Sr. Toro Henry		2019/05/15								
Revisó	Ing. Escobar M.		2019/06/07	Materiales: INOXIDABLE 410		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Aprobó	Ing. Caicedo I.		2019/09/22	Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt							

1

2

3

4

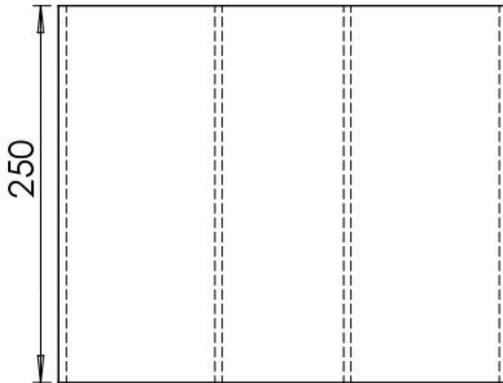
A

B

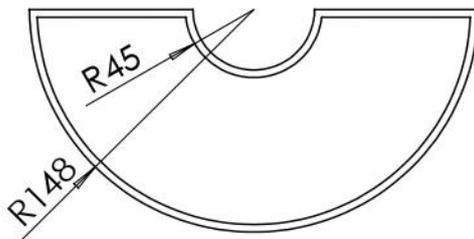
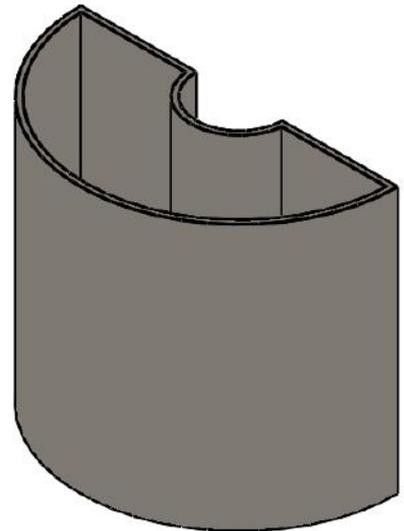
C

D

E

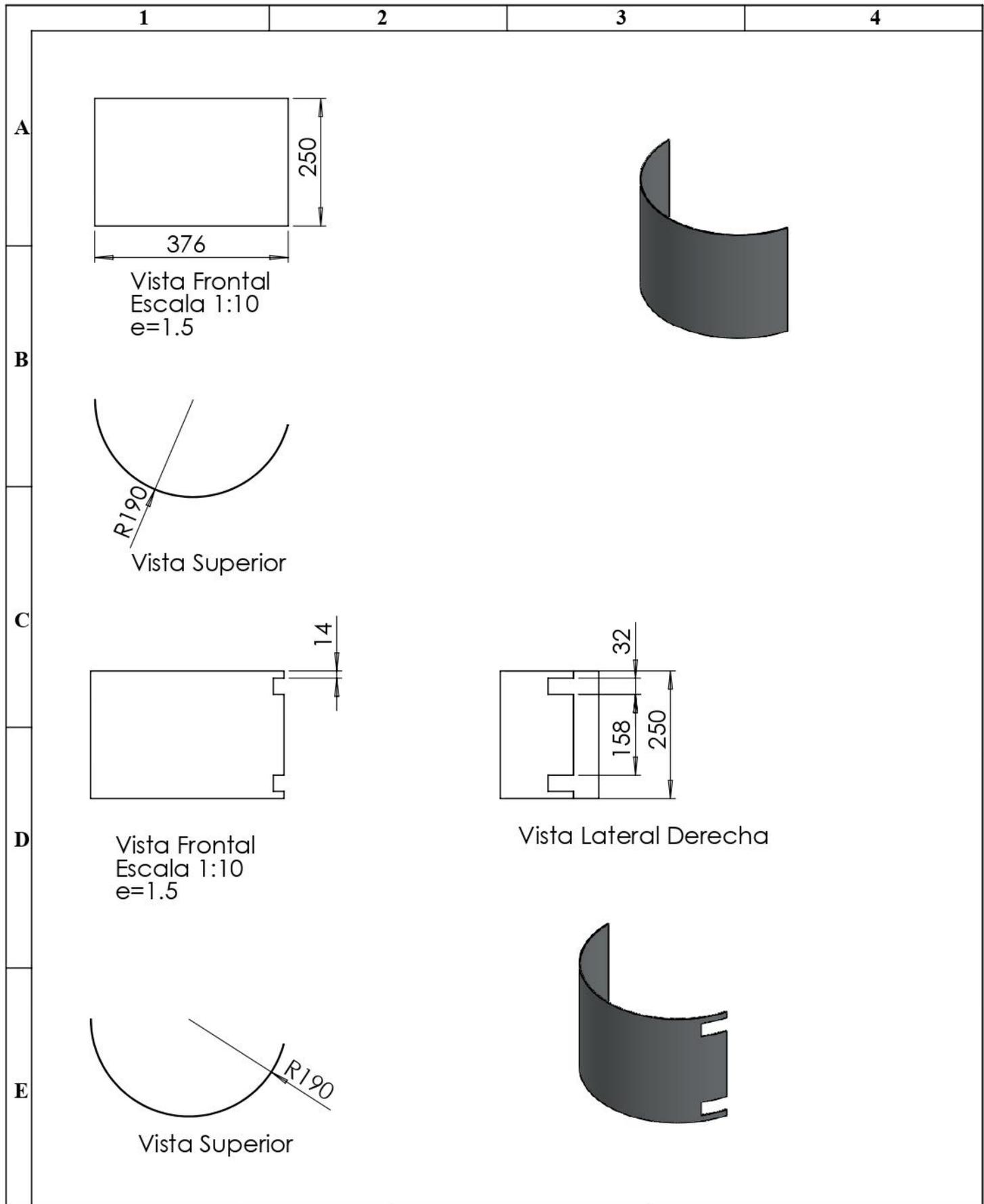


Vista Frontal  
Escala 1:5  
e=5 mm



Vista Superior  
Escala 1:5

N°. Lámina: 8 de 9		N°. Hojas: 8		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-CDR-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: rocipauli29@gmail.com Teléfonos: 0983164541/ 0987375502						<b>planos</b>		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		± 0.3 [mm]		1:5			
Proyectó		Srta. Moreta Paulina				2018/01/20		<b>Materiales:</b> SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Pilco Jorge				2018/04/29									
Revisó		Ing. Escobar M.				2018/06/05		<b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt							
Aprobó		Ing. Pérez M.				2018/06/10									



<b>Nº. Lámina:</b> 9 de 9		<b>Nº. Hojas:</b> 9		<b>Sustitución:</b>		<b>Codificación:</b> FM-EIM-CDR-D-001-01-2018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: rocipauli29@gmail.com Teléfonos: 0983164541/ 0987375502						<b>Denominación:</b>  <b>planos</b>					
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Materiales:</b> SEGUN DISEÑO  <b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt					±0.3 [mm]	1:10	
<b>Proyectó</b>	Srta. Moreta Paulina		2018/01/20								
<b>Dibujó</b>	Sr. Pilco Jorge		2018/04/29								
<b>Revisó</b>	Ing. Escobar M.		2018/06/05								
<b>Aprobó</b>	Ing. Pérez M.		2018/06/10								
<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>											

## ANEXO H: CHECKLIST DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

### ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**CHECK LIST DE MANTENIMIENTO**  
**PREVENTIVO**  
**HORNO DE ENSAYOS DE**  
**TERMOFLUENCIA**



Nº de ensayo: \_\_\_\_

**ES DE CARÁCTER OBLIGATORIO EL LLENADO DE TODOS LOS MARCADORES**

Nombre del Operador:

Cédula:

Entidad a la que representa:

Marcar el estado de los componentes que se enlistan a continuación antes del Ensayo:

Componentes	Bueno	Malo
Cables y conexiones eléctricas		
Resistencias		
Termocupla		
Refractario		
Sistema de apertura del horno		
Pernos		
Carcasa		

Si se marcó bueno en todas las opciones anteriores continuar con el encendido del horno, de no ser así comunicarse con el encargado del Laboratorio de resistencia de Materiales y reportar a continuación:

Reporte:

Horas de trabajo del horno durante la práctica: