



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

#### **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

##### **Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico.

Presentado para optar por el grado académico

#### **INGENIERO/A EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

##### **AUTORES:**

**FABRICIO ALEXANDER BAYAS BONILLA**

**LILY MARIBEL LOZA CHÁVEZ**

Riobamba Ecuador

2022



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

#### **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

##### **Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO/A EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES:** FABRICIO ALEXANDER BAYAS BONILLA

LILY MARIBEL LOZA CHÁVEZ

**DIRECTOR:** Ing. EDISSON FERNANDO CALDERÓN FREIRE

Riobamba – Ecuador

2022

**© 2022, Fabricio Alexander Bayas Bonilla; & Lily Maribel Loza Chávez**

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

Nosotros, Fabricio Alexander Bayas Bonilla y Lily Maribel Loza Chávez, declaramos que el presente trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 19 de diciembre de 2022



Fabricio Alexander Bayas Bonilla

180377121-9



Lily Maribel Loza Chávez

065014976-8


**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA**, realizado por el señor **FABRICIO ALEXANDER BAYAS BONILLA** y la señorita **LILY MARIBEL LOZA CHÁVEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñán  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**FIRMA**  


FECHA

12-12-2022

Ing. Edison Fernando Calderón Freire.  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



12-12-2022

Ing. Alex Giovanni Tenicota García  
**ASESOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



12-12-2022

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Justificación e importancia .....	2
1.3. Planteamiento del problema .....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3

### CAPÍTULO II

<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>5</b>
2.1. Fundición.....	5
2.1.1. <i>Fundición del aluminio</i> .....	5
2.2. Procesos de fundición .....	6
2.2.1. <i>Fundición en arena</i> .....	6
2.2.1.1. <i>Moldeado en arena verde</i> .....	6
2.2.1.2. <i>Configuración base de molde de arena verde</i> .....	6
2.2.1.3. <i>Componentes principales de los moldes de arena verde</i> .....	7
2.2.1.4. <i>Composición de la arena verde</i> .....	8
2.2.1.5. <i>Fundición en coquilla</i> .....	8
2.2.1.6. <i>Fundición en moldes metálicos</i> .....	9
2.3. Tipos de hornos de fundición.....	9
2.3.1. <i>Horno de reverbero</i> .....	9
2.3.2. <i>Horno de crisol</i> .....	10

2.3.2.1.	<i>Horno de crisol fijo</i> .....	10
2.3.2.2.	<i>Horno de crisol basculante</i> .....	10
2.3.3.	<b><i>Horno de cubilote</i></b> .....	11
2.3.4.	<b><i>Horno eléctrico</i></b> .....	11
2.3.4.1.	<i>Horno de electrodos</i> .....	12
2.3.4.2.	<i>Hornos de inducción</i> .....	12
2.4.	<b> Materiales empleados en la construcción de hornos</b> .....	13
2.4.1.	<i>Acero</i> .....	13
2.4.2.	<i>Cerámica refractarios</i> .....	13
2.4.3.	<i>Crisol</i> .....	13
2.4.4.	<i>Mortero refractario</i> .....	13
2.4.5.	<i>Ladrillo refractario</i> .....	14
2.4.6.	<i>Cemento refractario</i> .....	14
2.4.7.	<i>Estructura metálica</i> .....	14
2.5.	<b> Suministro de calor</b> .....	14
2.5.1.	<i>Conducción</i> .....	15
2.5.2.	<i>Convección</i> .....	15
2.5.3.	<i>Radiación</i> .....	16
2.5.4.	<i>Conservación del calor</i> .....	17
2.6.	<b> Mantenimiento en hornos de función</b> .....	17
2.6.1.	<i>Factores de seguridad</i> .....	18
2.6.2.	<i>Riesgos</i> .....	18
2.6.3.	<i>Instrucciones de operación y plan de mantenimiento</i> .....	18
2.7.	<b> Taller de fundición de la Facultad de Mecánica</b> .....	18

### CAPÍTULO III

3.	<b> DISEÑO DEL HORNO</b> .....	20
3.1.	<b> Análisis de propuesta</b> .....	20
3.1.1.	<i>Criterios de valoración</i> .....	20
3.1.2.	<i>Selección de crisol</i> .....	21
3.2.	<b> Diseño del horno</b> .....	23
3.2.1.	<i>Parámetros de diseño</i> .....	23
3.2.2.	<i>Esquema de elementos principales internos de horno</i> .....	23
3.2.3.	<i>Consideraciones de diseño</i> .....	24
3.2.3.1.	<i>Aspectos a considerar para el dimensionamiento de la cámara de combustión</i> .....	24
3.2.3.2.	<i>Consideraciones para la instalación del quemador</i> .....	25

<b>3.2.4.</b>	<b><i>Materiales a utilizar para la construcción del horno</i></b> .....	<b>25</b>
3.2.4.1.	<i>Ladrillo refractario</i> .....	25
3.2.4.2.	<i>Manta térmica</i> .....	26
3.2.4.3.	<i>Mortero refractario</i> .....	26
3.2.4.4.	<i>Chapa metálica</i> .....	27
3.2.4.5.	<i>Quemador</i> .....	27
<b>3.3.</b>	<b>Dimensionamiento del horno de crisol</b> .....	<b>28</b>
3.3.1.	<i>Diámetro interno del horno</i> .....	28
3.3.2.	<i>Espesor de las paredes refractarias</i> .....	28
3.3.3.	<i>Diseño en software especializado en diseño y modelado</i> .....	29
3.3.4.	<i>Altura del horno</i> .....	30
3.3.5.	<i>Espesor de las paredes refractarias de la tapa</i> .....	31
<b>3.4.</b>	<b>Análisis térmico</b> .....	<b>31</b>
3.4.1.	<i>Energía necesaria para la fundición del aluminio</i> .....	31
3.4.2.	<i>Calor necesario para elevar la temperatura a la fusión del aluminio</i> .....	32
3.4.3.	<i>Calor necesario para promover un cambio de fase</i> .....	32
3.4.4.	<i>Calor necesario para llegar a la temperatura de vertido</i> .....	33
3.4.5.	<i>Calor absorbido por el crisol</i> .....	33
3.4.6.	<i>Calor total requerido para la fundición</i> .....	34
3.4.7.	<i>Cálculo del peso a calentar</i> .....	34
3.4.8.	<i>Coeficiente de transferencia de calor por convección de las paredes (<math>h_{Pconv}</math>)</i> ....	34
3.4.9.	<i>Coeficiente de transferencia de calor por convección de la Base (<math>h_{Bconv}</math>)</i> .....	37
3.4.10.	<i>Coeficiente de transferencia de calor por convección de la Tapa (<math>h_{Tconv}</math>)</i> .....	37
<b>3.5.</b>	<b>Análisis de Pérdidas</b> .....	<b>38</b>
3.5.1.	<i>Pérdidas en las paredes cilíndricas</i> .....	38
3.5.1.1.	<i>Por Conducción</i> .....	38
3.5.1.2.	<i>Por convección</i> .....	41
3.5.2.	<i>Pérdidas totales en las paredes cilíndricas</i> .....	41
3.5.3.	<i>Pérdidas en la base</i> .....	41
3.5.3.1.	<i>Por Conducción</i> .....	41
3.5.3.2.	<i>Por convección</i> .....	43
3.5.4.	<i>Pérdidas totales en la base</i> .....	44
3.5.5.	<i>Pérdidas en la tapa</i> .....	44
3.5.5.1.	<i>Por Conducción</i> .....	44
3.5.5.2.	<i>Por convección</i> .....	46
3.5.6.	<i>Pérdidas totales en la tapa</i> .....	47
<b>3.6.</b>	<b>Pérdidas totales en el horno</b> .....	<b>47</b>



3.7.	Calor necesario para el funcionamiento del horno.....	47
3.8.	Eficiencia del sistema.....	47
3.9.	Potencia requerida por el horno.....	48
3.10.	Consumo de combustible .....	48
3.11.	Análisis en el software especializado en temperatura estacionaria.....	49
3.12.	Diseño de la estructura de soporte. ....	50
3.12.1.	<i>Análisis de flexión de vigas para la estructura de soporte</i> .....	51
3.12.1.1.	<i>Máximo soporte de la estructura</i> .....	55
3.12.2.	<i>Verificación del análisis estructural</i> .....	56

## CAPÍTULO IV

4.	CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DEL HORNO DE FUNDICIÓN .....	59
4.1.	Proceso de construcción .....	59
4.1.1.	<i>Construcción de las paredes cilíndricas y soporte</i> .....	59
4.2.	Construcción del cuerpo del horno .....	60
4.3.	Construcción de la tapa del horno .....	63
4.4.	Construcción del soporte del horno .....	64
4.5.	Quemador.....	65
4.6.	Pruebas de funcionamiento.....	66
4.6.1.	<i>Análisis termográfico</i> .....	69
4.7.	Análisis de costos .....	71
4.7.1.	<i>Costos directos</i> .....	71
4.7.1.1.	<i>Costos de material</i> .....	71
4.7.1.2.	<i>Costos de reparación quemador</i> .....	72
4.7.1.3.	<i>Costo de mano de obra</i> .....	72
4.7.1.4.	<i>Total, de costos directos</i> .....	72
4.7.2.	<i>Costos indirectos</i> .....	72
4.7.3.	<i>Costos Totales</i> .....	73
4.8.	Instrucciones de operación.....	73
4.9.	Manual de seguridad .....	75
4.9.1.	<i>Introducción</i> .....	75
4.9.2.	<i>Objetivo</i> .....	75
4.9.3.	<i>Responsabilidades</i> .....	75
4.9.3.1.	<i>Usuarios en general (Estudiantes, técnico docente)</i> .....	75
4.9.4.	<i>Tipos de riesgos</i> .....	76
4.9.5.	<i>Factores de riesgos físicos</i> .....	76

<b>4.9.6.</b>	<i>Factores de riesgos mecánicos</i> .....	76
<b>4.9.7.</b>	<i>Factores de riesgos químicos</i> .....	76
<b>4.9.8.</b>	<i>Factores de riesgos ergonómicos</i> .....	76
<b>4.9.9.</b>	<b><i>Normas de seguridad</i></b> .....	77
4.9.9.1.	<i>Hábitos personales en el Taller de Fundición</i> .....	77
<b>4.9.10.</b>	<b><i>Manejo de material fundido</i></b> .....	77
<b>4.9.11.</b>	<b><i>Acciones de respuestas en caso de emergencias</i></b> .....	77
4.9.11.1.	<i>Respuestas en caso de quemaduras</i> .....	77
4.9.11.2.	<i>Respuesta en caso de incendios</i> .....	78
4.9.11.3.	<i>Respuesta en caso de derrame de material peligroso</i> .....	78
<b>4.10.</b>	<b>Plan de mantenimiento</b> .....	78
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>80</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>82</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Componentes de la arena verde.....	8
<b>Tabla 2-3:</b>	Criterios de valoración para el horno de fundición. ....	21
<b>Tabla 3-3:</b>	Especificaciones del aluminio .....	23
<b>Tabla 4-3:</b>	Especificaciones técnicas del crisol.....	23
<b>Tabla 5-3:</b>	Propiedades del ladrillo refractario.....	26
<b>Tabla 6-3:</b>	Propiedades de la manta térmica. ....	26
<b>Tabla 7-3:</b>	Propiedades del mortero refractario .....	27
<b>Tabla 8-3:</b>	Propiedades del acero ASTM-36.....	27
<b>Tabla 9-3:</b>	INEN 607: Dimensiones y tolerancias del ladrillo recto normal. ....	28
<b>Tabla 10-3:</b>	Propiedades del aire a una 1 atmósfera.....	35
<b>Tabla 11-3:</b>	Transferencia de calor por convección de la base. ....	37
<b>Tabla 12-3:</b>	Propiedades del aire a una 1 atmósfera.....	38
<b>Tabla 13-3:</b>	Transferencia de calor por convección de la tapa.....	38
<b>Tabla 14-3:</b>	Valores del software.....	49
<b>Tabla 15-3:</b>	Propiedades del acero ASTM A36.....	51
<b>Tabla 16-3:</b>	Masa de los componentes del horno.....	51
<b>Tabla 17-3:</b>	Factores de diseño .....	52
<b>Tabla 18-3:</b>	Valores del análisis estructural .....	56
<b>Tabla 19-4:</b>	Elementos que conforman el cuerpo del horno y soporte.....	59
<b>Tabla 20-4:</b>	Construcción de las paredes cilíndricas del horno.....	60
<b>Tabla 21-4:</b>	Construcción de la tapa del horno. ....	63
<b>Tabla 22-4:</b>	Construcción de soporte.....	64
<b>Tabla 23-4:</b>	Reparaciones de los componentes del quemador. ....	66
<b>Tabla 24-4:</b>	Costo de materiales.....	71
<b>Tabla 25-4:</b>	Costos de reparación del quemador.....	72
<b>Tabla 26-4:</b>	Costos de mano de obra.....	72
<b>Tabla 27-4:</b>	Total de costos directos. ....	72
<b>Tabla 28-4:</b>	Costos indirectos. ....	72
<b>Tabla 29-4:</b>	Costos Totales. ....	73
<b>Tabla 30-4:</b>	Instrucciones de operación. ....	73
<b>Tabla 31-4:</b>	Plan de mantenimiento del horno de fundición.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Tipos de moldes para fundición.....	6
<b>Figura 2-2:</b> Base del molde de arena. ....	7
<b>Figura 3-2:</b> Componentes principales de los moldes de arena verde. ....	7
<b>Figura 4-2:</b> Horno estacionario con crisol removible. ....	10
<b>Figura 5-2:</b> Horno de crisol basculante.....	11
<b>Figura 6-2:</b> Horno de cubilote.....	11
<b>Figura 7-2:</b> Horno eléctrico.....	12
<b>Figura 8-2:</b> Horno eléctrico.....	12
<b>Figura 9-2:</b> Suministro de calor para los hornos de fundición.....	14
<b>Figura 10-2:</b> Taller de fundición.....	19
<b>Figura 11-3:</b> Horno de crisol fijo.....	20
<b>Figura 12-3:</b> Placa de molde.....	21
<b>Figura 13-3:</b> Elementos internos del horno.....	24
<b>Figura 14-3:</b> Distribución del calor.....	24
<b>Figura 15-3:</b> Posición del quemador.....	25
<b>Figura 16-3:</b> Ladrillo refractario.....	25
<b>Figura 17-3:</b> Mortero Refractario.....	26
<b>Figura 18-3:</b> Quemador Carlin Modelo 41000.....	27
<b>Figura 19-3:</b> Ladrillo refractario.....	29
<b>Figura 20-3:</b> Corte de ladrillo.....	29
<b>Figura 21-3:</b> Diseño horno de fundición.....	30
<b>Figura 22-3:</b> Paredes del horno.....	34
<b>Figura 23-3:</b> Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor.....	39
<b>Figura 24-3:</b> Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor.....	42
<b>Figura 25-3:</b> Resistencias compuestas del horno en la base.....	42
<b>Figura 26-3:</b> Recorrido de los gases de combustión al abandonar el horno.....	44
<b>Figura 27-3:</b> Resistencias compuestas del horno en la base.....	45
<b>Figura 28-3:</b> Análisis térmico.....	50
<b>Figura 29-3:</b> Estructura de soporte.....	50
<b>Figura 30-3:</b> Tubo estructural cuadrado.....	54
<b>Figura 31-4:</b> Quemador CARLIN modelo 41000.....	65
<b>Figura 32-4:</b> Precalentado del horno.....	67
<b>Figura 33-4:</b> Colocación del aluminio.....	67
<b>Figura 34-4:</b> Preparación de la arena para moldeo.....	68

<b>Figura 35-4:</b>	Preparación del molde.....	68
<b>Figura 36-4:</b>	Retiro del crisol.....	68
<b>Figura 37-4:</b>	Vertido del aluminio. ....	69
<b>Figura 38-4:</b>	Placa fundida de aluminio.....	69
<b>Figura 39-4:</b>	Placa fundida de aluminio.....	69
<b>Figura 40-4:</b>	Encabezado de manuales.....	75

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Clasificación hornos de fundición.....	9
<b>Gráfico 2-3:</b>	Diagrama de cuerpo libre.....	52
<b>Gráfico 3-3:</b>	Diagrama de fuerza cortante.....	53
<b>Gráfico 4-3:</b>	Diagrama de momentos.....	54
<b>Gráfico 5-3:</b>	Puntos de anclaje para el análisis.....	57
<b>Gráfico 6-3:</b>	Aplicación de fuerzas.....	57
<b>Gráfico 7-3:</b>	Mallado de la estructura.....	58
<b>Gráfico 8-4:</b>	Curva de operación con respecto a la temperatura de la chapa metálica.....	70
<b>Gráfico 9-4:</b>	Curva de operación con respecto a la temperatura de la cámara de combustión. .....	70

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** PLANOS DEL TALLER DE FUNDICIÓN
- ANEXO B:** CATALOGO DE CRISOL SALAMANDER
- ANEXO C:** DATA SHEET DEL LADRILLO REFRACTARIO
- ANEXO D:** DATA SHEET DE LA MANTA TÉRMICA REFRACTARIA
- ANEXO E:** DATA SHEET MORTERO REFRACTARIO
- ANEXO F:** ACERO ASTM A36
- ANEXO G:** DATA SHEET QUEMADOR CARLIN MODELO 41000
- ANEXO H:** INEN 607 LADRILLO REFRACTARIO
- ANEXO I:** PROPIEDADES DEL AIRE EN CONDICIONES NORMALES
- ANEXO J:** PROPIEDADES DEL GRAFITO
- ANEXO K:** PLANOS DEL HORNO

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo diseñar y construir un horno para fundir aluminio, el mismo que fue implementado en el Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. Para este proceso se llevó a cabo una visita técnica verificando los tipos de hornos que se utilizan dentro del Taller, los criterios de selección de modelo y las dimensiones se realizaron en base al tamaño del crisol con la capacidad de fundir 6 Kg de aluminio. Como combustible para el funcionamiento del horno se utilizó diésel, esto se determinó a través del quemado modelo KARLIN M41000 que pertenece a un antiguo horno no operativo. luego, se desarrolló un análisis mediante el uso de un software especializado en diseño y modelado partiendo de una matriz circular de los ladrillos refractarios alrededor del crisol con una abertura determinada por el fabricante de 40 mm. Se calcularon las pérdidas entre las paredes lo que ayudó a comprobar la selección de los materiales. Para la validación del diseño y los cálculos se efectuó una simulación mediante softwares de análisis estático y análisis térmico donde se validó el comportamiento de la estructura metálica y la temperatura interna del horno. Una vez validado se construyó el horno de fundición con capacidad es de 6 kg de aluminio que opera a una temperatura mayor a los 800 grados centígrados, su uso se extiende para materiales blando-menores a esa temperatura. El funcionamiento del horno se comprobó mediante una práctica de fundición, pruebas de precalentamiento, la fundición de material, también se elaboró un molde donde se vertió el aluminio fundido formando 2 probetas, para todo este proceso se requirió de 1 hora de operación con 2 galones de diésel. Finalmente, el horno tuvo el diseño acorde a las necesidades y requerimientos por lo que se recomienda su utilización

**Palabras clave:** <FUNDICIÓN DE ALUMINIO>, <HORNO DE CRISOL>, <TRANSFERENCIA DE CALOR>, <ANÁLISIS TÉRMICO>, <TALLER DE FUNDICIÓN>

  
Ing. Cristian Castillo



0057-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

This research aimed to design and build a furnace to melt aluminum, the same one implemented in the foundry workshop of the Mechanics Faculty in ESPOCH. For this process, a technical visit was carried out, verifying the types of furnaces used within the workshop, the model selection criteria, and the dimensions were made based on the size of the crucible with the capacity to melt 6 Kg of aluminum. Diesel was used as fuel for the operation of the furnace. This was determined through the burnt KARLIN M41000 model that belongs to an old non-operative furnace. Then, an analysis was developed using specialized design and modeling software starting from a circular matrix of refractory bricks around the crucible with an opening determined by the manufacturer of 40 mm. The losses between the walls were calculated, which helped verify the selection of the materials. A simulation was carried out using static analysis and thermal analysis software to validate the design and the calculations. The behavior of the metallic structure and the furnace's internal temperature was validated. Once validated, the smelting furnace was built with a capacity of 6 kg of aluminum that operates at a temperature greater than 800 degrees Celsius. And it is used to extend to soft materials lower than that temperature. The furnace operation was verified utilizing a foundry practice, preheating tests, and the smelting of material, and a mold was also made where the molten aluminum was poured, forming 2 test tubes. For this entire process, 1 hour of operation with 2 gallons of diesel was required. Finally, the oven was designed according to the needs and requirements, so its use is recommended.

Keywords: <ALUMINUM CASTING>, <CRUCIBLE FURNACE>, <HEAT TRANSFER>, <THERMAL ANALYSIS>, <CASTING WORKSHOP>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

## INTRODUCCIÓN

La fundición del aluminio es un proceso metalúrgico antiguo el cual consiste en producir una pieza utilizando calor y las características propiamente del material. Siendo el aluminio uno de los materiales más blandos y que requieren poca temperatura hace que sea uno de los más cotizados dentro de las industrias de fundición.

Los hornos de fundición son equipos que facilitan la obtención del material líquido, el horno puede ser cuadrado o circular según lo requiera la industria, está compuesto por materiales refractarios es decir resistentes a la temperatura, dentro del mercado existen materiales con resistencia térmica de hasta 3000°C, para la construcción del equipo se necesita de ladrillo, manta cerámica, mortero y cemento refractario, adicional a esto un acero bajo en carbono. El funcionamiento de estos hornos consiste en *liberar energía térmica y transferirla de manera directa o indirecta hacia una masa sólida o fluida para provocar una modificación física o química en ella* (Soto y Pérez, 2009).

Dentro de los aprendizajes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Mecánica se imparte la cátedra de fundición de materiales, en la cual se aprenden los diferentes procesos para elaborar la fusión de los materiales ferrosos y no ferrosos. Esta práctica hace que los estudiantes comprendan el correcto uso de las temperaturas a los materiales y el poder del calor que influye en ellos.

El presente proyecto de integración curricular tiene como objetivo diseñar y construir un horno de fundición de aluminio es mismo que está destinado al uso didáctico dentro de las instalaciones del Taller de Fundición, con este equipo pueden elaborar prácticas, ensayos de fundición, y el análisis de la transferencia de calor entre los cuerpos.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes

La ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO, ubicada en el cantón Riobamba, cuenta con un Taller de Fundición perteneciente a la Facultad de Mecánica, el cual se dedica a la práctica experimental de fundición de varios metales permitiendo a los estudiantes adquirir conocimientos básicos de acería, fragua y herrería, un espacio creado con el fin de que los estudiantes tengan un acercamiento físico a los distintos equipos que forman parte del ámbito industrial, siendo una valiosa herramienta dentro de su formación profesional.

Uno de los metales más usados en los procesos de fundición y en la industria en general, es el Aluminio por sus características físicas (peso ligero, buena resistencia a la corrosión, bajo punto de fusión y fácil maquinabilidad), siendo éste el metal de menor costo en el mercado en comparación a otros metales como el latón, aceros inoxidable o cualquier otro que requiera aplicaciones no corrosivas.

Existen ya muchos tipos de hornos que se fabrican acorde a la temperatura de fusión de metales como son: el hierro, cobre, bronce, aluminio, plomo, siendo distinto su punto de fusión, es por eso, por la cantidad que necesita fundirse, eficiencia, rapidez y modo fácil de manejo que para los metales se puede elegir un modelo o tipo de horno. (Coronel Subía & Sangucho Simba, 2019, p. 7)

### 1.2. Justificación e importancia

Dentro del mantenimiento uno de los objetivos es mantener permanentemente los activos en un estado en el cual puedan desarrollar la función requerida para evitar tiempos improductivos y prolongar su vida útil. Cuando hablamos de activos interviene el ciclo de vida, siendo éste el inicio de la necesidad de crear un nuevo mecanismo pasando por la mantenibilidad durante su operación y finalizando con el cese de las actividades del equipo.

La Ingeniería de Mantenimiento dentro del ciclo de vida se involucra desde su diseño, operación y reciclaje del equipo, siendo la encargada de efectuar acciones preventivas, predictivas o correctivas necesarias tan pronto y eficazmente como sea posible. Dentro del diseño y la construcción de un equipo se debe considerar el espacio de instalación, materiales, componentes

y elementos pues de éste depende la facilidad a la hora de realizar actividades de operación y mantenimiento.

El presente proyecto se desarrolla en base a la necesidad de incorporar un nuevo horno de fundición de aluminio en el taller de la Facultad de Mecánica para facilitar y fortalecer los procesos de aprendizaje en las carreras de Ingeniería: Industrial, Mecánica y Mantenimiento Industrial. También busca optimizar el tiempo de fundición de aluminio, evitar pérdidas de calor y reducir costos de producción.

### **1.3. Planteamiento del problema**

El Taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo tiene a su disposición hornos de fundición para varios tipos de metales, los cuales no se encuentran operando, pues requieren en su mayoría de un mantenimiento correctivo altamente costoso. El limitado funcionamiento de estos hornos hace que la disponibilidad para la realización de prácticas sea baja, ocasionando que los indicadores de funcionalidad y disponibilidad del modelo genérico de instituciones de educación superior sean críticos y no alcancen los estándares recomendados.

Tomando en cuenta las cortas horas y al gran número de estudiantes que ingresan al taller a realizar sus prácticas, estas no son concluidas en su totalidad, producto de esto se generan deficiencias en el proceso de aprendizaje. Los hornos de fundición del taller son utilizados para fundir metales ferrosos, debido a su diseño robusto no poseen las cualidades de eficiencia y toman tiempos sumamente elevados dejando inconcluso el proceso de fundición para los estudiantes

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. *Objetivo general***

Diseñar y construir un horno de fundición de aluminio para la Facultad de Mecánica.

#### **1.4.2. *Objetivos específicos***

Realizar el diseño y modelado del horno de fundición de aluminio empleando software CAE para verificar y validar su eficiencia.

Construir y ensamblar el horno de fundición de acuerdo al diseño propuesto.

Realizar un análisis termográfico para verificar el óptimo funcionamiento del horno de fundición.

Realizar una práctica de fundición de aluminio en el Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica.

Elaborar un manual de seguridad y plan de mantenimiento para el horno de fundición.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Fundición

La Fundición, es el proceso metalúrgico mediante el cual se da forma una pieza generalmente de metal al pasar por altas temperaturas el cual cambia su estado sólido a líquido por acción del calor que se produce dentro de un horno, posterior a esto pasa por el colado y solidificación en un molde.

Dentro de la fundición existe una clasificación de procesos las cuales dependerá de los criterios de la industria según su requerimiento:

- **Fundición de lingotes:** esta fundición va acompañada de procesos de forja y laminación siendo su principal material de uso el acero.
- **Fundición de formas:** es la creación de piezas en su mayoría de alta complejidad mediante moldes que se asemeje a la forma final que sea requerida, su principal uso es para materiales de aluminio, bronce y latón.

##### 2.1.1. *Fundición del aluminio*

El aluminio es el segundo metal más abundante en la corteza de la tierra después del hierro, siendo uno de los más usados en la industria de la fundición después del acero. Las ventajas al utilizar este metal como material de fundición son: su maquinabilidad y fácil manipulación, su punto de fusión va desde 600°C a 800°C.

Para que la fundición de un metal se produzca es necesario que éste alcance su nivel de fusión para lo cual debe ser calentado y colado. El calentamiento y fundición del metal se produce en un horno. La correcta selección del tipo de horno varía de acuerdo a factores como: material a fundir, temperatura de fundición, capacidad de material dentro del horno, costo de construcción, puesta en marcha y mantenimiento.

Dentro de la fundición de este material ligero existe el proceso de vertido el cual consiste en verter el aluminio fundido a unos moldes con la figura que va a tomar el material, este proceso se realiza a una temperatura superior a los 800°C.

## 2.2. Procesos de fundición

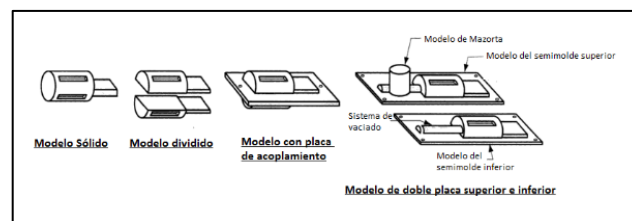
### 2.2.1. Fundición en arena

La principal arena empleada en las fundiciones son las sílica o mejor conocido como arena verde toman este nombre por tomar color verdoso al ser humedecidas para el moldeo. El moldeo consiste en llenar unos cuadros de arena y dejar que estos sequen hasta que adquieran firmeza. La fundición con esta arena consiste en:

1. Colocar un modelo con la forma que tomara el metal fundido.
2. Realizar un agujero de alimentación y otro de eliminación de gases o vapor
3. Retirar el modelo y llenar el recipiente con el metal fundido.
4. Esperar un aproximado de 30 minutos para que el metal tome forma y se enfríe
5. Desmontar los moldes verificando que el metal se haya enfriado por completo.
6. Limpiar y retirar el metal fundida con la forma deseada
7. Pulir el metal fundido.

#### 2.2.1.1. Moldeado en arena verde

La mayoría de las operaciones de fundición de herramientas de aluminio se funde el metal líquido, lo vierten en un molde del tamaño y forma deseados para solidificarlo. El molde está compuesto en su gran mayoría con arena verde mezclada con bentonita y agua, esta mezcla permite que el metal fundido se vierta con mayor facilidad y se distribuya dentro de él.



**Figura 1-2.** Tipos de moldes para fundición.

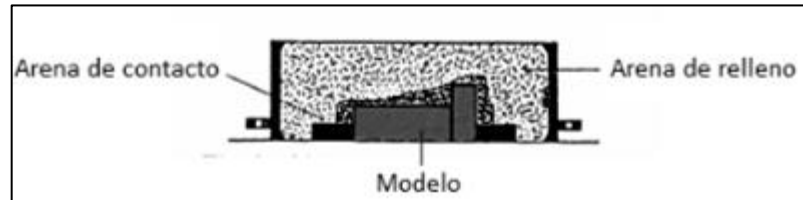
Fuente: (Groover, 2020)

#### 2.2.1.2. Configuración base de molde de arena verde

Una configuración básica que se puede emplear para la elaboración de moldes de arena verde que se utiliza en las industrias es:

- Modelo: pieza con el diseño exacto que se desea obtener.

- Arena de contacto: es la arena verde, limpia, zarandeada y mezclada que se usa en el modelo de la pieza a ser fundida, ésta suele ser una capa de entre 10 y 30mm de espesor.
- Área de relleno: es la arena verde con las mismas propiedades, pero no está preparada como la arena de contacto.

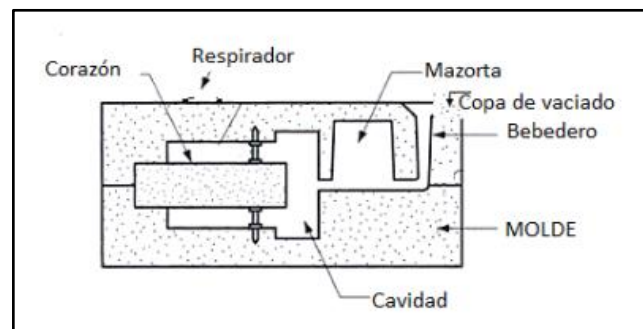


**Figura 2-2.** Base del molde de arena.

Fuente: (Groover, 2020)

### 2.2.1.3. Componentes principales de los moldes de arena verde

No existe un estudio actualizado sobre las técnicas y los componentes normalizados que se utiliza en la industria, para ellos se presentan a los componentes más usados en este medio:



**Figura 3-2.** Componentes principales de los moldes de arena verde.

Fuente: (Groover, 2020)

- Caja de molde: Cumple la función de retener la arena del molde y soportar la presión del metal líquido cuando se cola en el molde. En su gran mayoría se utilizan los moldes de dos piezas consta de moldes superior e inferior.
- Capa de vaciado: espacio donde se vierte la fundición del metal.
- Bebedero: Cavidad por donde la fundición fluye hacia la parte baja.
- Sistema de alimentadores: son canales los cuales se encargan de llevar la fundición desde las mazarotas hasta el molde.
- Mazarotas: Proporcionan la adición de la fundición conforme se vaya produciendo la solidificación.



- Corazón: se colocan en el molde para definir y dar forma a la superficie interior de la fundición.
- Respiradores: Se ubican en los moldes para extraer los gases originados cuando el metal fundido entra en contacto con la arena.

#### 2.2.1.4. Composición de la arena verde

La arena verde posee una composición que no ha sido tomada como importancia para darle mejoras, pues su composición es apropiable para todo el proceso de fundición. En la **tabla 1.2** se detalla la composición de la misma haciendo referencia a varios autores que iniciaron con el proceso de fundición en arena verde y que aún son conservadas por la industria para la realización de la fundición. De la misma manera se agrega una corta descripción sobre los componentes, los atributos y características que aportan a la mezcla de para el proceso de fundición en arena verde.

**Tabla 1-2:** Componentes de la arena verde

Componente	Descripción
Arena reciclada	Arena que puede volver a ser reutilizada a después del proceso de fundición
Arena nueva	La arena de sílice, obtenida en ríos, mares o arenas de canteras.
Carbonilla	Este material es extraído de carboníferas, su uso es para proporcionar un acabado y textura superficial a la pieza fundida
Bentonita	Este componente es el principal para la fundición pues es el encargado de unir las mezclas de arena verde, proporcionando resistencia, movilidad y plasticidad a la mezcla.
Agua	Sirve como un activante para la bentonita par que adquiera cohesión con la mezcla

**Fuente:** (Ramil, 2014)

**Realizado por:** Bayas, F., Loza L., 2022

#### 2.2.1.5. Fundición en coquilla

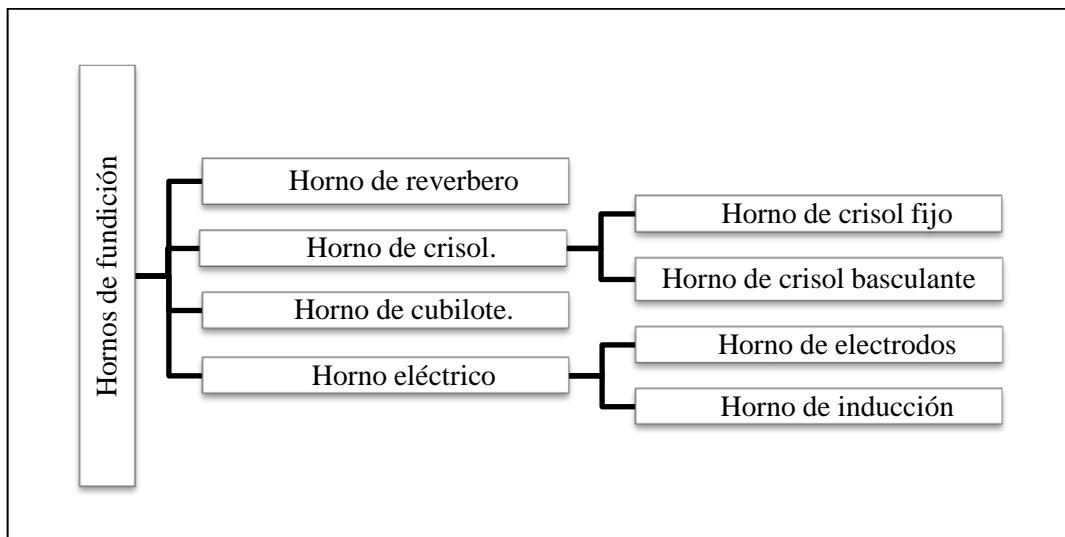
El procedimiento consiste en verter material fundido en un canal que llega hasta un molde por efecto de la gravedad, permitiendo una acelerada fundición endurecida.

### 2.2.1.6. Fundición en moldes metálicos

En este proceso el metal líquido se inyecta a presión en un molde metálico (matriz), la inyección se hace a unas grandes presiones entre (10 y 14 MPa), las piezas logradas con este procedimiento son de gran calidad. Se pueden utilizar dos tipos de sistema de inyección en la fundición en matrices. Existen diversos moldes metálicos para materiales ligeros que son utilizados para la elaboración de partes y piezas.

## 2.3. Tipos de hornos de fundición

Dentro del mercado existe una gran variedad de hornos cada uno con su respectivo uso y características que lo hacen acordes a las necesidades de la fundición. En el **gráfico 1-2**, se realiza la clasificación de los hornos más utilizados dentro de la industria metalúrgica.



**Gráfico 1-2.** Clasificación hornos de fundición.

**Fuente:** (Aliaga, 2018)

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.2022

### 2.3.1. Horno de reverbero

En estos tipos de hornos, para que el material alcance la temperatura de fusión requiere de uno o varios quemadores que funcionan con combustible líquido o gaseoso y cuya llama actúa directamente sobre el crisol cargado de material. El gas de combustión provoca un intenso movimiento convectivo en la atmósfera del horno y mejora el intercambio de calor con el metal fundido. Su uso principal es en las fundiciones de cobre. Su estructura depende de la cantidad de fusión lograda.

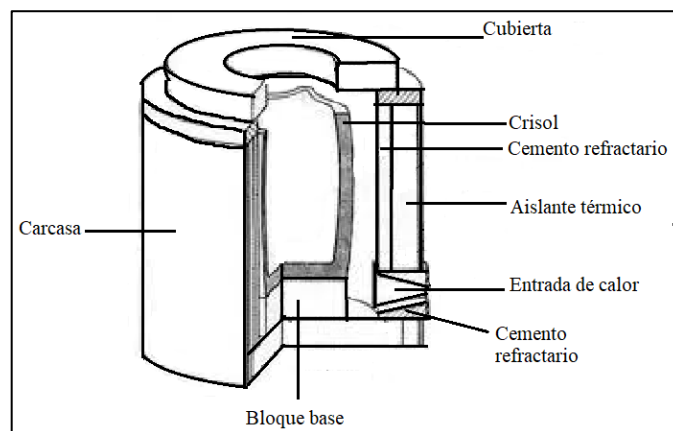
### 2.3.2. Horno de crisol

El horno de crisol tiene una sección a la cual se proporciona energía, acumula energía térmica e inicia la transferencia de calor hacia el crisol. Este recipiente soporta altas temperaturas que permiten la acción del metal y el flujo del metal en su interior. Derretir y posteriormente verter en un molde para su fabricación.

#### 2.3.2.1. Horno de crisol fijo

Este tipo de hornos son de forma cuadrada su fuente de calor se lo atribuye al carbón de piedra, son normalmente construidos uno después de otro formando bloques, únicamente separadas por una pared de ladrillos refractarios, posee una chimenea vertical que sirve como compartimiento compartido para desfogue de gases. (Mestanza, 2012, p. 21).

La desventaja de utilizar estos hornos es la extracción del material fundido pues al no contar con una parte móvil se emplea una cazuela o cucharas de colado las cuales extraen el metal en pequeñas cantidades.

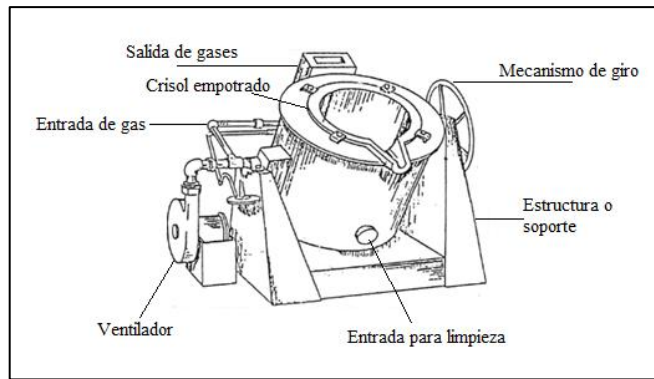


**Figura 4-2.** Horno estacionario con crisol removible.

**Fuente:** (Flores García & Orellana Núñez, 214).

#### 2.3.2.2. Horno de crisol basculante

Un horno basculante es similar a uno de crisol fijo pues también se forma un calentamiento directo hacia el crisol, mientras los gases de combustión fluyen la parte exterior del crisol transmite el calor hacia el material provocando su cambio de estado a líquido y los gases de combustión salen del horno a alta temperatura. El crisol es un recipiente abierto en forma de cono invertido (Mestanza, 2012, p. 21).

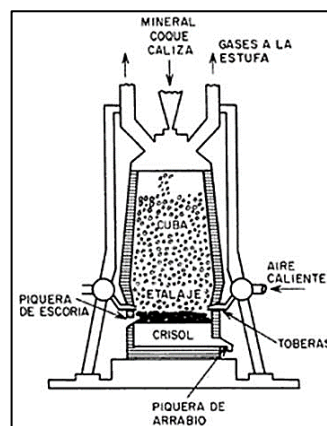


**Figura 5-2.** Horno de crisol basculante.

Fuente: (Mestanza, 2012).

### 2.3.3. Horno de cubilote

El cubilote es un horno de cuba revestido con una capa de refractario donde se carga el metal y se calienta por combustión de coque, la que se da en la parte más baja de la zona de fusión (la «solera»). El aire de combustión se genera mediante ventiladores y se introduce a la chimenea a través de una o varias filas (anillos) de toberas. Una válvula de control en el anillo permite controlar y distribuir uniformemente el flujo del aire de combustión por las toberas. Los gases de combustión fluyen hacia arriba con lo que ceden calor a la carga, antes de salir del horno (Aliaga, 2018, p. 7).

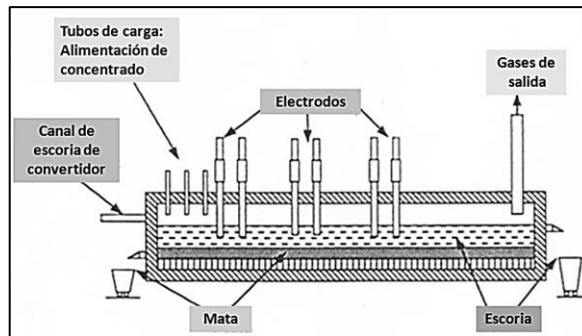


**Figura 6-2.** Horno de cubilote.

Fuente: (Aliaga, 2018)

### 2.3.4. Horno eléctrico

Son usados principalmente en las grandes industrias siderúrgicas. Producen piezas de acero y acero aleado, también son empleados para la fundición de hierro con estándares de calidad altos. Se suministra calor mediante un arco eléctrico formado de tres electrodos de carbón o grafito (Villanueva, 2021, p. 7).



**Figura 7-2.** Horno eléctrico.

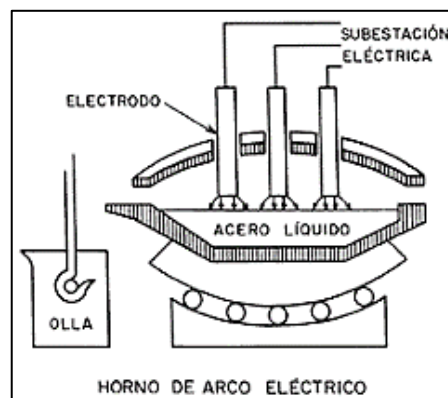
Fuente: (Villanueva, 2021)

#### 2.3.4.1. Horno de electrodos

También conocido como horno de arco eléctrico, este tipo de hornos está conformado por electrodos, generalmente son tres, compuestos de grafito que permiten el paso de altas corrientes sin que estos sean afectados. Estos electrodos se desplazan de un modo que se pueda regular la distancia a medida que se vayan consumiendo con el fin de proporcionar el voltaje y la corriente para crear el arco eléctrico.

#### 2.3.4.2. Hornos de inducción

Estos hornos por inducción funcionan a base de un campo magnético, éste produce una corriente circular alterna por las bobinas que contiene el horno produciendo calor y fundiendo el material que se encuentra en su interior, Estos hornos se basan en el principio físico donde los cuerpos son sometidos a acciones de campos magnéticos de corriente donde se calientan, mientras más intenso el campo magnético más elevado es la frecuencia. Las ventajas en el uso de estos hornos es la calidad de la producción de fundición.



**Figura 8-2.** Horno eléctrico.

Fuente: (Villanueva, 2021)

## **2.4. Materiales empleados en la construcción de hornos**

Dentro de la construcción de hornos se utilizan materiales refractarios que son materiales que soportan y resistentes a altas temperaturas. Según la Real Academia de la Lengua define específicamente a refractario como el cuerpo que resiste la acción del fuego sin cambiar de estado ni descomponerse (Real Academia Española, 2022).

### **2.4.1. Acero**

Uno de los aceros mas utilizados para estructuras y construcción, por su resistencia y durabilidad es el acero ASTM A36 siendo este uno de los más comercializados para la construcción externa de los hornos de fundición. ASTM A36 es un acero bajo en carbono, su punto mínimo de fluencia es de 248 MPa, Es principalmente utilizado para tuberías, laminas, ángulos, entre otros.

### **2.4.2. Cerámica refractarios**

Es un tipo de manta resistente a la temperatura sin presentar deformación o perder sus propiedades ni fundirse, posee una capacidad de no reaccionar ante ambientes con elevadas temperaturas es aislante térmico, su principal función dentro de un horno es impedir el paso de la temperatura hacia el exterior es decir a las paredes de acero para que el operario no reciba una alta radiación de calor (Callister & Reithwisch, 2018, p. 478).

### **2.4.3. Crisol**

Éste es el principal componente de un horno de fundición pues es el encargado de contener el material a ser fundido, su composición se basa en grafito-arcilla siendo su principal componente el carbón el cual permite la transferencia de calor del exterior al interior del mismo.

### **2.4.4. Mortero refractario**

El mortero es una mezcla de cemento, piedra refractaria y pegamento especial que une y da refuerzo a los ladrillos refractarios, dentro del mercado existen dos tipos el preparado y el seco el cual dependerá del uso y a la temperatura de exposición. En la normativa ecuatoriana INEN 608 señala que la composición del mortero refractarios es de silicio aluminoso y algunos otros minerales.

#### 2.4.5. Ladrillo refractario

Los ladrillos refractarios son utilizados como revestimiento interno del horno pues son los encargados de resistir el primer impacto de calor, los ladrillos son exportados desde Perú, Brasil y Europa resistentes a una temperatura de 1100°C, 1350°C y 1500°C respectivamente. La Norma ecuatoriana INEN 608 define al ladrillo refractario como un producto prefabricado con una medida determinada, características y propiedades resistentes a temperaturas elevadas. En el Ecuador se fabrican ladrillos resistentes de 300°C a 800°C (Callister & Reithwisch, 2018, p. 479).

#### 2.4.6. Cemento refractario

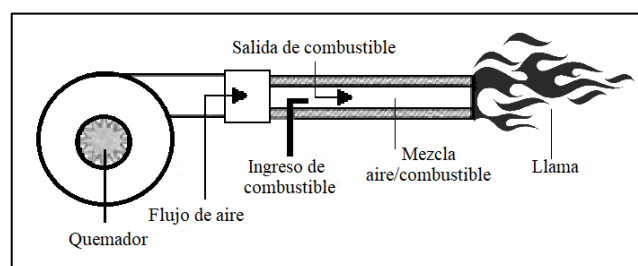
Dentro de los cementos existe uno que contiene aluminato de calcio el cual hace que este material soporte altas temperaturas en conjunto con otros elementos propiamente del ladrillo refractarios, al mezclarse con el agua, adquiere la propiedad endurecimiento por fraguado hidráulico. Su uso es en morteros refractarios y la fabricación de hormigones.

#### 2.4.7. Estructura metálica

Se llama estructura metálica aquella que sujeta y moviliza las partes de horno y absorbe todo el peso y fuerza durante el proceso y transportación del mismo. Esta estructura depende del tipo de horno que vaya a construir, en algunos casos la estructura forma parte del horno para montar accesorios como: marcos, tapas, mecheros, toberas entre otros.

### 2.5. Suministro de calor

Para el suministro de calor en hornos se utiliza un sistema encargado de proveer la energía necesaria para que los materiales a fundir alcancen su temperatura de fusión en un lapso de tiempo. Este sistema es el encargado de realizar la combustión, ésta produce una llama, que es una masa gaseosa incandescente que emite luz y calor.



**Figura 9-2.** Suministro de calor para los hornos de fundición.

Fuente: (Mestanza, 2012)

En el estudio de la transferencia calor y energía Cengel señala que existen tres tipos de transferir el calor, están son conducción, convección y radiación, si no existe un diferencial de temperatura entre los materiales no se cumple la transferencia de calor en los cuerpos.

### 2.5.1. *Conducción*

Fourier en la ley de conducción hace referencia como calcular la cantidad de calor transferido de un material según sus dimensiones por la temperatura a la que vaya a ser sometida La que se describe en la siguiente ecuación

$$\dot{Q}_{\text{cand}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Al integrar se obtiene:

$$\dot{Q}_{\text{cand}} = -kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2)$$

Donde:

$\dot{Q}_{\text{cand}}$ : Transferencia de calor por conducción [W]

k: Conductividad térmica del material  $\left[\frac{W}{mK}\right]$

A: Superficie perpendicular al flujo de calor  $[m^2]$

$T_1$ : Temperatura en el interior [K]

$T_2$ : Temperatura de la superficie [K]

L: Espesor [m]

### 2.5.2. *Convección*

La transferencia de calor por convección se transfiere la energía entre una superficie sólida y un fluido ya sea líquido o gas que está en movimiento. Existe transferencia de calor por convección al estar en movimiento el fluido, cuanto más rápido es el movimiento del fluido la transferencia de calor es más rápida. En caso de no existir movimiento del fluido con la superficie sólida esta transferencia de calor se daría por conducción (Yanus & Ghajar, 2021, p. 25).



La “ley de Newton de enfriamiento” se usa comúnmente para el cálculo de la transferencia de calor por convección, está dada por la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{canv}} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

Reordenada se obtiene:

$$\dot{Q}_{\text{canv}} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{\text{conv}}} \quad (4)$$

Donde:

$\dot{Q}_{\text{canv}}$ : Transferencia de calor por convección [W]

$T_s$ : Temperatura de la superficie del sólido [K]

$T_\infty$ : Temperatura del fluido suficientemente alejado de la super del sólido [K]

$R_{\text{conv}}$ : Resistencia a la convección de la superficie  $\left[\frac{\text{K}}{\text{W}}\right]$

### 2.5.3. Radiación

Se dice que un cuerpo produce radiación térmica si su temperatura está por encima del cero absoluto, la radiación transfiere el calor a una velocidad de la luz, sin perder energía (Cengel, 2019, p. 27).

La “ley de Stefan-Boltzmann” calcula la tasa máxima de la radiación procedente de un cuerpo y para ello se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (5)$$

$\dot{Q}_{\text{rad}}$ : transferencia de calor por radiación

$\sigma$ :  $5,67 \times 10^{-8} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}\right]$  constante de Stefan-Boltzmann

$A_s$ : Área superficie del cuerpo  $[\text{m}^2]$

$T_s$ : Temperatura superficie del cuerpo [K]

La emisividad se le conoce como la capacidad de emitir energía infrarroja, se sabe que la emisividad de un cuerpo negro es menor y para obtener este valor se calcula la radiación térmica

que produce un cuerpo en su superficie. Entonces se obtiene la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (6)$$

$\varepsilon$ : Emisividad de la superficie se encuentra en el rango de  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ .

El equilibrio de los cuerpos con el ambiente debe ser el mismo cuando éste emite y absorbe la radiación, por lo tanto, su temperatura permanece constante, pero, si la temperatura es mayor a la del ambiente existe una variación en la temperatura. La ecuación para el cálculo de transferencia de energía por radiación sería la siguiente:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{alred}}^4) \quad (7)$$

$T_{\text{alred}}$ : Temperatura del ambiente [K]

#### **2.5.4. Conservación del calor**

Uno de los mayores retos en la construcción de hornos es la economía, el uso de combustible y la resistencia térmica, evitar fugas es lo primordial en la conservación de la energía es por ello que se toma en cuenta las etapas en el funcionamiento del horno las que pueden ser: el precalentado: el horno se calienta hasta lograr establecer la temperatura de trabajo, esta etapa consta del mayor consumo energético. La etapa de operación: aquí el consumo de combustible dependerá del material a fundir, las pérdidas de calor se verán de acuerdo al material y se dan por diversos factores:

- Pérdidas en los gases de combustión.
- Pérdida por humedad en el combustible.
- Pérdidas por hidrógeno en el combustible.
- Pérdidas a través de aberturas en el horno.
- Pérdidas a través de las paredes.

#### **2.6. Mantenimiento en hornos de función**

Los hornos de fundición están sujetos a daños y fallos tanto de uso como de desgaste, al ser un equipo depreciable entra a ser parte de un activo mantenible el cual se rigen a una serie de actividades tanto operativas como de mantenimiento preventivo para mejorar sus condiciones de

rendimiento y alargar su vida útil. El mantenimiento de los hornos de fundición es indispensable para prolongar el ciclo de vida de manera particular en la fase operativa del equipo, incrementando su confiabilidad y reduciendo los riesgos laborales.

### **2.6.1. Factores de seguridad**

Para los equipos que producen calor, existen normas básicas de seguridad que deben cumplirse. Estas normas de seguridad tienen por objeto la prevención y limitaciones de los posibles riesgos al utilizar este tipo de equipos, los factores de seguridad dentro de la utilización de hornos de fundición son medidos en base a su funcionamiento, producción y mantenimiento.

### **2.6.2. Riesgos**

El riesgo es la exposición a una situación donde hay una posibilidad de sufrir un daño o de estar en peligro. Es la fragilidad o inminencia a un suceso, sus efectos sean negativos y que alguien o algo puedan verse afectados por él.

### **2.6.3. Instrucciones de operación y plan de mantenimiento**

El plan de mantenimiento es un documento el cual detalla las actividades y tareas para la conservación y manutención de los activos, garantizando su buen funcionamiento en cuanto a disponibilidad, confiabilidad y así cumplir con las exigencias de calidad establecidas por la empresa. Disponer de este tipo de documento es muy importante, por lo siguiente:

- Es el medio para facilitar una óptima planificación y por ende un eficiente mantenimiento.
- Mejorar y optimizar las máquinas o equipos que participan en el desarrollo de la producción.

## **2.7. Taller de fundición de la Facultad de Mecánica**

Actualmente el taller de fundición cuenta con un área para fundir metales pesados, en esta se encuentran un horno de cubilote, horno fijo y los materiales necesarios para el moldeo del metal fundido. Las prácticas de fundición realizadas por los estudiantes son elaboradas en el tiempo para lo cual los hornos son diseñados, cabe mencionar que las prácticas no se desarrollan en un día de clases más bien varían de acuerdo al material y al número de estudiantes.



**Figura 10-2.** Taller de fundición.

Fuente: Bayas, F., Loza L., 2021

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DEL HORNO

#### 3.1. Análisis de propuesta

En el capítulo anterior se describen los tipos de hornos empleados para la fundición de metales, dentro de estos tipos se encuentran los hornos de crisol. Actualmente en el Taller de Fundición se realizan prácticas de fundición de metales pesados que toman entre 2 a 3 horas, estos hornos que sirven para las prácticas son de crisol basculante, poseen la característica de vertido rápido y la menor pérdida de calor con transmisión de calor específica es decir el calor no tiene espacio para desviar el calentamiento fuera del horno.

En la **figura 11-3** se muestra un bosquejo de horno de crisol fijo el cual se toma como la mejor opción para el diseño del horno para fundir aluminio, de manera que éste varía de acuerdo al espacio asignado en el Taller de Fundición pues desde aquí parte su tamaño, altura y base, incluyendo el espacio para el operario del horno.



**Figura 11-3.** Horno de crisol fijo

Fuente: (Nabertherm, 2021)

#### 3.1.1. Criterios de valoración

Dentro de los principales criterios para el diseño y construcción de equipos industriales se consideran los costos de fabricación, modelo de operación, la facilidad con la que se va a construir el equipo, el mantenimiento del mismo entre otros parámetros. En la **tabla 2-3** se describen los criterios considerados para este horno tipo crisol fijo.

**Tabla 2-3:** Criterios de valoración para el horno de fundición.

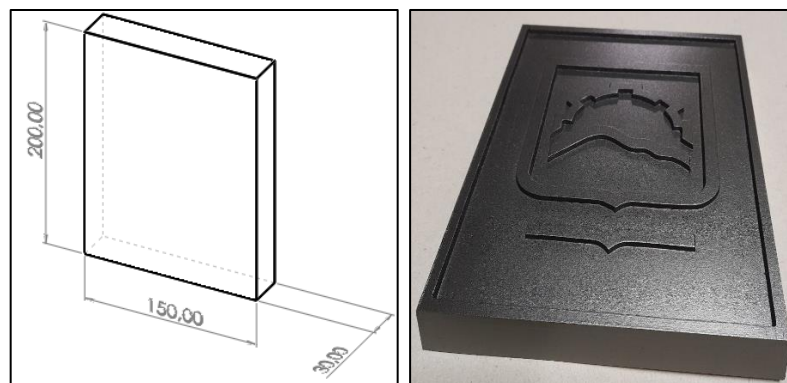
<b>Criterios</b>	<b>Descripción</b>
Costo de construcción	Es la relación existente en la adquisición de materiales y componentes que requiere el horno incluido la mano de obra.
Desperdicios de fundición	Es la relación existente en la eficiencia de la fundición con respecto al material, es decir la escoria que se pueda dar durante el colado del material a fundir (aluminio).
Facilidad de diseño y construcción	Facilidad para determinar las dimensiones y la selección de cada uno de los componentes del horno, con el fin de alcanzar un óptimo desempeño y eficiencia del mismo.
Facilidad de operación	Facilitar el manejo del horno al operador, evitando pérdidas de materia y vertido más eficaz. Reduciendo riesgos de operación y accidentes.
Mantenimiento	Facilidad de realizar actividades de mantenimiento correctivas, preventivas y predictivas.

Fuente: (Coronel Subía & Sangucho Simba, 2019)

Realizado por: Bayas, F., Loza L., 2022

### 3.1.2. Selección de crisol

La selección de crisol se hace mediante el requerimiento de modelar una placa con el sello de la Facultad de Mecánica, la que se encuentra dimensionada tanto en espesor como en altura, esto ayuda al cálculo del peso en kilogramos necesarios de aluminio que deben ser fundidos. Con la **figura 12-3** se determina la masa a ser fundida, tomando en cuenta sus dimensiones.



**Figura 12-3.** Placa de molde.

Fuente: (ESPOCH, 2021)

Se calcula el volumen de la placa:

$$V = L * A * h \quad (8)$$

Donde:

V= Volumen [cm<sup>3</sup>]

L=Largo[mm]

A=Ancho[mm]

h=Altura[mm]

Reemplazando los valores correspondientes:

$$V=200 \text{ mm} * 150 \text{ mm} * 30 \text{ mm}$$

$$V=9000 \text{ mm}^3$$

$$V=900\text{cm}^3$$

Se tiene como información adicional la densidad del aluminio  $\delta = 2,7 \text{ g/cm}^3$ , se utiliza este dato para calcular la masa que contiene una placa

$$\delta = \frac{m}{V} \quad (9)$$

$$m = \delta * V$$

$$m=2,7 \text{ g/cm}^3 * 900\text{cm}^3$$

$$m=2.5\text{kg}$$

Otro parámetro a considerar para la obtención del tamaño de crisol es establecer un mínimo de dos fundiciones en un solo colado es decir fundir 5 kg de aluminio, adicional a esto incluir pérdidas de material y posibles derrames de fundición. De acuerdo a la lista de crisoles ofertados por la Importadora Cruz y Asociados S.A “IMPORTCRUZ”, se selecciona el crisol AGF 20 de grafito, marca SALAMANDER de la compañía Morgan con capacidad para 6 kg de aluminio necesario para los parámetros establecidos. **ANEXO B**

$$M_{\text{Total}} = M_f + M_{\text{escoria}} \quad (10)$$

$$M_{\text{Total}} = 5\text{kg} + 0,5\text{kg}$$

$$M_{\text{Total}} = 5,5\text{kg}$$

### 3.2. Diseño del horno

#### 3.2.1. Parámetros de diseño

Para el diseño del horno se consideran los parámetros y propiedades del crisol, a su vez éste va de acuerdo al tipo de material a fundir, en este caso aluminio y el tipo de crisol previamente seleccionado, en las **tablas 3-3** y **4-3** se detallan las especificaciones técnicas del aluminio y las características del crisol respectivamente.

**Tabla 3-3:** Especificaciones del aluminio

Metal a fundir	Aluminio
Calor específico $C_p$	0,25 kcal/kg °C
Calor latente de fusión $h_{if}$	92,67 kcal/kg
Temperatura de fusión $T_f$	660 °C
Temperatura de vertido $T_v$	800 °C
Temperatura ambiente $T_\infty$	19 °C
Tiempo de fundición $t$	El tiempo de fundición a considerar es de 1 hora suficiente para obtener el metal fundido a una temperatura de 720 °C

Fuente: (Coronel Subía & Sangucho Simba, 2019).

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

**Tabla 4-3:** Especificaciones técnicas y propiedades del crisol

Material del crisol	Grafito
Capacidad	6 kg de aluminio
Masa del crisol	7,80 kg
Calor específico del grafito $C_{p\text{crisol}}$	0,31 kcal/kg °C
Dimensiones	$D_{\text{máx}}=200\text{mm}$ ; $d_{\text{min}}=140\text{ mm}$ ; $h=250\text{ mm}$
Conductividad térmica	200 W/m°K

Fuente: (Yanus & Ghajar, 2021).

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

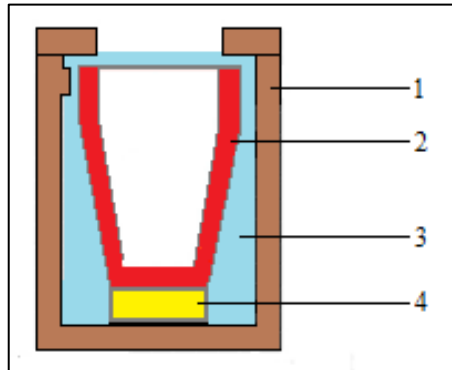
#### 3.2.2. Esquema de elementos principales internos de horno

1. Pared refractaria (ladrillo, cemento refractario y aislante).
2. Crisol.
3. Cámara de combustión.



#### 4. Base de crisol.

Los componentes de horno de crisol fijo se enumeran en la **figura 13-3**.



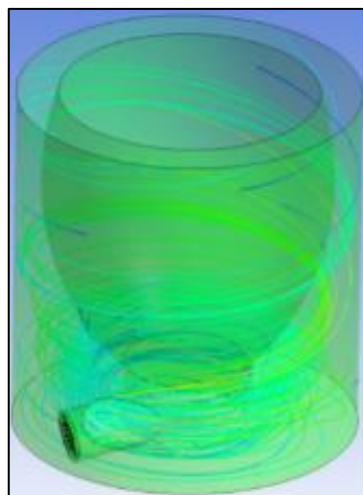
**Figura 13-3.** Elementos internos del horno

Fuente: (Chauca Doroteo, 2018)

### 3.2.3. Consideraciones de diseño

#### 3.2.3.1. Aspectos a considerar para el dimensionamiento de la cámara de combustión

- Par el diámetro del horno se lo hace a partir del tamaño de crisol.
- La distancia dentro de la tapadera y el crisol no debe ser menos a 40mm; esto lo recomiendan los fabricantes de crisoles para alargar la vida útil y lograr el máximo rendimientos.
- Un horno cuadrado no es la única opción, pues no proporciona la distribución de calor, por ello se recomienda la construcción en un diseño cilíndrico



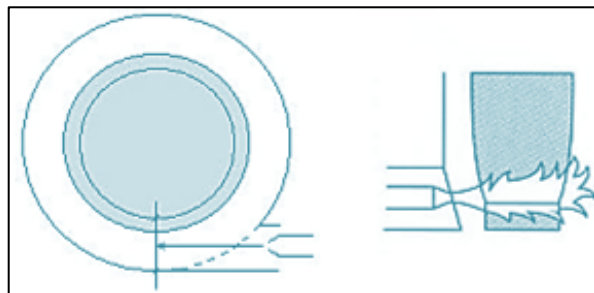
**Figura 14-3.** Distribución del calor.

Fuente: (Murieta Luna, 2019).

- Para la base del crisol las industrias de fabricación de crisoles y hornos recomiendan que ésta sea mayor o igual al diámetro menor del crisol.
- Minimiza las pérdidas de calor del horno mejorando el diseño

### 3.2.3.2. Consideraciones para la instalación del quemador

- El crisol debe estar centrado en la base, de manera que se garantice una combustión uniforme dentro del horno.
- Verificar que la llama no entre en contacto directo con el quemador, la dirección de la llama es de forma tangencial.
- La salida del quemador debe ajustarse en el centro de la cámara de combustión, asegurando que la llama se encuentre entre la pared refractaria y el crisol, en caso de que el fuego sea directo al crisol éste tiende a una ruptura.



**Figura 15-3.** Posición del quemador.

Fuente: (Metalinsumos, 2014)

### 3.2.4. Materiales a utilizar para la construcción del horno

#### 3.2.4.1. Ladrillo refractario



**Figura 16-3.** Ladrillo refractario.

Fuente: (Bayas, F. Loza, L.).

En la **Tabla 5.3** se describen las propiedades del ladrillo recopilado por la información del proveedor REEI S. A. **ANEXO C**

**Tabla 5-3:** Propiedades del ladrillo refractario.

Propiedades típicas	Unidad	Valor
Cp	kJ/kg°K	0,92
Densidad aparente	kg/cm <sup>3</sup>	0,213 – 0,223
Límite elástico	MPa	≥ 45
Conductividad térmica	W/m°K	1,20

Fuente: (REEI S.A)

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

### 3.2.4.2. Manta térmica

En la **tabla 6.3** se muestran las propiedades del material de la manta de fibra cerámica recopiladas por la información brindada por el proveedor REEI S. A. de la ciudad de Duran **ANEXO D**

**Tabla 6-3:** Propiedades de la manta térmica.

Propiedades típicas	Unidad	Valor
Cp	kJ/kg°K	1,225
Densidad aparente	kg/cm <sup>3</sup>	0,128
Límite elástico	MPa	0,08 – 0,12
Conductividad Térmica	W/m°K	0,038

Fuente: (REEI S.A)

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

### 3.2.4.3. Mortero refractario

La empresa proveedora del mortero refractario para la construcción del horno es ELECTROLAND de la ciudad de Ambato, sus características y propiedad del material refractario se detalla en la **tabla 7-3. ANEXO E**



**Figura 17-3.** Mortero Refractario.

Fuente: (Ingeniería y Suministros S.A.)

**Tabla 7-3:** Propiedades del mortero refractario

Propiedades típicas	Unidad	Valor
Cp	kJ/kg°K	0,96
Densidad aparente	kg/cm <sup>3</sup>	0,174 – 0,186
Límite elástico	MPa	0,08 – 0,12
Conductividad Térmica	W/m°K	0,94

Fuente: (ELECTROLAND)

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

#### 3.2.4.4. Chapa metálica

Dentro de la industria metalúrgica el acero más utilizado para la resistencia térmica y recomendado para la construcción de horno es el ASTM- 36, la empresa NOVACERO como proveedora de estas materias facilita las especificaciones y características en la **tabla 8-3**.

### ANEXO F

**Tabla 8-3:** Propiedades del acero ASTM-36

Propiedades típicas	Unidad	Valor
Cp	kJ/kg°K	0,465
Densidad aparente	kg/cm <sup>3</sup>	0.00785
Resistencia a tracción	MPa	400
Límite elástico	MPa	250/36
Conductividad Térmica	W/m°K	58,7

Fuente: (NOVACERO)

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

#### 3.2.4.5. Quemador

Se conoce que el horno llegará a una temperatura de 800°C, para lo cual se utiliza un quemador a diésel con una capacidad de 3 a 6 gal/h, posee una bomba que provee combustible óptimo para el suministro de calor, además cuenta con electrodos y bujías que producen la chispa formando el encendido del sistema. En el **ANEXO G** se muestran las especificaciones del quemador.



**Figura 18-3.** Quemador Carlin Modelo 41000

Fuente: Bayas, F. Loza, L.

### 3.3. Dimensionamiento del horno de crisol

#### 3.3.1. Diámetro interno del horno

Un cuerpo al ser sometido a temperaturas elevadas tiene a expandirse es por ello que se debe dejar un espacio entre el crisol y la pared refractaria, varias industrias fabricantes de hornos recomiendan dejar un espacio de mínimo 40 mm entre el crisol, la parte superior y la pared refractaria. En caso de no cumplir con este parámetro es posible que el crisol sufra un agrietamiento.

$$D_i = D_{\text{máx}} + 2e \quad (11)$$

Donde:

$D_i$ : diámetro interno del horno [mm].

$D_{\text{máx}}$ : 200mm diámetro máximo del crisol.

$e$ : 40mm espacio sugerido por el fabricante del crisol.

$$D_i = 200 + 2*(40)$$

$$D_i = 280 \text{ mm}$$

#### 3.3.2. Espesor de las paredes refractarias

El espesor de la pared refractaria va de acuerdo a las condiciones de diseño y el uso, pues de esto va a depender el material, cabe mencionar que siempre para la construcción de un equipo se trata de minimizar el consumo de material reduciendo costos de fabricación.

En la **Tabla 9-3** y **Figura 19-3** se muestra lo que detalla la norma INEN 607 “Formas y dimensiones recomendadas de ladrillos y piezas de cara plana”. Describe sobre los ladrillos frecuentemente ocupados para la fabricación de hornos industriales.

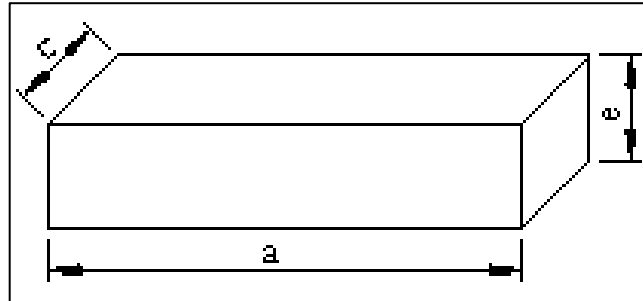
**Tabla 9-3** INEN 607: Dimensiones y tolerancias del ladrillo recto normal.

Formato normal (mm)	Dimensiones y tolerancias (mm)		
	a (largo)	c (ancho)	e (espesor)
229 x 114 x 63	229 ± 5	114 ± 3	63 ± 2

Fuente: (NTE INEN 607).

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.

Las paredes refractarias del horno están compuestas de ladrillo refractario colocado de manera longitudinal con un ancho de 114mm, una manta de fibra cerámica de 25mm de espesor y una chapa metálica de 2mm de espesor, todos estos componentes minimizan las pérdidas de calor dentro del horno. **ANEXO H**

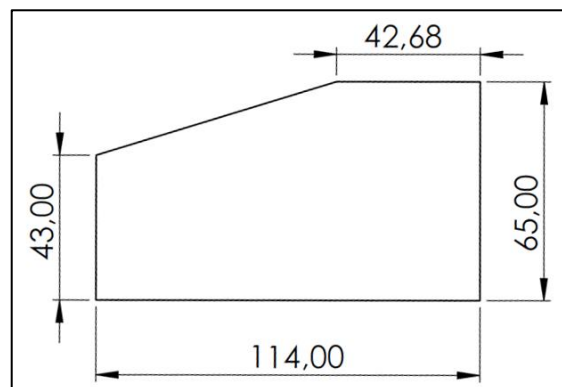


**Figura 19-3.** Ladrillo refractario.

Fuente: (NTE INEN 607)

### 3.3.3. *Diseño en software especializado en diseño y modelado*

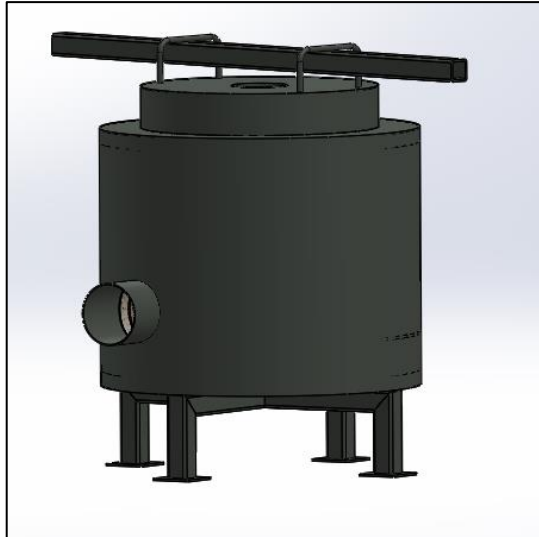
El diseño se lo establece a partir del corte que tendrá el ladrillo refractario, éste varía de acuerdo al tamaño establecido por el crisol y la medida establecida de 40mm para la transferencia de calor dentro del horno, En total se calcula el uso de 21 ladrillos que forma un círculo cuasi perfecto para que el impacto del calor sea netamente sobre el ladrillo. La **Figura 20-3** muestra las dimensiones exactas al corte que se debe realizar al ladrillo para su construcción



**Figura 20-3.** Corte de ladrillo

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

Determinando así el diseño final del horno de fundición de aluminio que se va a construir de acuerdo a los parámetros, dimensiones y requerimientos que se mencionan en este documento. La **figura 21-3** muestra el diseño aprobado para la construcción con sus respectivos materiales y soporte.



**Figura 21-3.** Diseño horno de fundición.

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.

### 3.3.4. *Altura del horno*

Para el dimensionamiento de la altura que tendrá el horno se toma el espesor de cada material, así como el alto que posee el crisol, cabe recalcar que el dimensionamiento únicamente depende del crisol, a continuación, en la ecuación 12 se determina la altura a la cual se encuentra el horno.

$$H_C = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 \quad (12)$$

Donde:

$H_C$ : altura total del horno [mm].

$h_1$ : 2mm espesor del acero ASTM en la base.

$h_2$ : 25mm espesor de la manta térmica en la base.

$h_3$ : 65mm espesor del ladrillo refractario en la base.

$h_4$ : 50mm altura de la base del crisol.

$h_5$ : 250 mm altura del crisol.

$h_6$ : 40mm espacio libre sugerido para la expansión en la parte superior del crisol [40 mm].

$h_7$ : 25mm espesor de la manta térmica en la tapadera [25 mm].

$h_8$ : 2mm espesor del acero en la tapa.

$$H_C = 2 + 25 + 65 + 50 + 250 + 40 + 25 + 2$$

$$H_C = 462 \text{ mm}$$

### 3.3.5. *Espesor de las paredes refractarias de la tapa*

Para obtener las dimensiones de la tapa del horno se considera los espesores de los materiales, se calcula con la siguiente ecuación:

$$H_t = h_9 + h_{10} + h_{11} \quad (13)$$

Donde:

$H_t$ : altura de la tapa [mm].

$h_9$ : 25 mm espesor del mortero refractario

$h_{10}$ : 75 mm espesor de la manta térmica.

$h_{11}$ : 2 mm espesor del acero ASTM A36

$$H_t = 25 + 75 + 2$$

$$H_t = 102 \text{ mm}$$

## 3.4. **Análisis térmico**

### 3.4.1. *Energía necesaria para la fundición del aluminio*

Para obtener un calor de fusión latente que cumpla eficientemente con el proceso de fundición de aluminio, haciéndolo pasar de estado sólido a líquido con una cantidad de energía va a depender de la suma de tres cantidades de calor:

- $Q_1$ : Energía necesaria para elevar la temperatura del aluminio.
- $Q_2$ : Energía necesaria para fundir el aluminio (pasar de un estado sólido a líquido), también llamada calor latente de fusión.
- $Q_3$ : Energía requerida para sobrecalentar el aluminio hasta obtener su temperatura de vertido (Cengel, 2019, p. 88).

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (14)$$

De donde se puede referenciar a Cengel en “Transferencia de calor y masa” a la ecuación:



$$Q = \frac{m \cdot C_p (T_f - T_o)}{t} \quad (15)$$

Donde:

Q = Calor [kcal/h]

m = Peso de la carga [Kg]

C<sub>p</sub> = Calor específico [kcal/kg °C]

T<sub>f</sub> = Temperatura de fusión del aluminio [°C]

T<sub>o</sub> = Temperatura de ambiente [°C]

t = tiempo [h] (Cengel, 2019, p. 18).

### 3.4.2. *Calor necesario para elevar la temperatura a la fusión del aluminio*

Q<sub>1</sub> = Calor necesario para elevar la temperatura de 19°C a 660°C

m = 5kg

C<sub>p</sub> = 0,25 kcal/kg °C

T<sub>f</sub> = 660 °C

T<sub>o</sub> = 19 °C

t = 1h

$$Q_1 = \frac{5\text{kg} \cdot (0,25\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}) \cdot (660^\circ\text{C} - 19^\circ\text{C})}{1\text{h}}$$

$$Q_1 = 801,25 \text{ kcal/h}$$

### 3.4.3. *Calor necesario para promover un cambio de fase*

$$Q_2 = \frac{m \cdot \gamma}{t} \quad (16)$$

Donde:

Q = Calor necesario para producir el cambio de fase

m = 5kg

γ = 92,67 kcal/kg

t = 1h

$$Q_2 = \frac{5\text{kg} \cdot 92,67 \text{ kcal/kg}}{1\text{h}}$$

$$Q_2=463,35\text{kcal/h}$$

#### 3.4.4. *Calor necesario para llegar a la temperatura de vertido*

Q= Calor necesario para el vertido

$$m= 5\text{kg}$$

$$C_p= 0,21 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_f=800 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_o= 660 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t=1\text{h}$$

$$Q_3 = \frac{5\text{Kg} * (0,21\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}) * (800^\circ\text{C} - 660^\circ\text{C})}{1\text{h}}$$

$$Q_3=175 \text{ kcal/h}$$

Realizado los cálculos se obtiene la cantidad total de calor que se requiere en el sistema:

$$Q_T=801,25+463,35+175$$

$$Q_T=1439,6\text{kcal/h}$$

#### 3.4.5. *Calor absorbido por el crisol*

Es necesario calcular la energía que el crisol necesita para elevar la temperatura ambiente hasta la temperatura de fusión del aluminio, para ello el calor absorbido por el crisol se determina por:

$Q_{\text{Crisol}}$  = Calor absorbido por el crisol

$$m= 7,8\text{kg masa de crisol}$$

$$C_p= 0,238 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C de crisol}$$

$$T_f= 800 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_o= 19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t=1\text{h}$$

$$Q_{\text{Crisol}} = \frac{7,8\text{kg} * (0,2388\text{kcal/kg}^\circ\text{C}) * (800^\circ\text{C} - 19^\circ\text{C})}{1\text{h}}$$

$$Q_{\text{Crisol}}=1454,72 \text{ kcal/h}$$

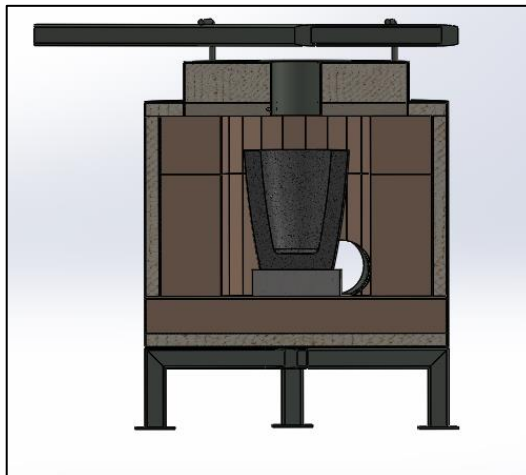
### 3.4.6. Calor total requerido para la fundición

Para determinar el total de calor para la fusión del aluminio se considera la sumatoria de calores que intervienen en el proceso:

$$Q_{T \text{ fundición}} = Q_T + Q_{\text{Crisol}} \quad (17)$$
$$Q_{T \text{ fundición}} = 1439,6 + 1454,72$$
$$Q_{T \text{ fundición}} = 2894,32 \text{kcal/h}$$

### 3.4.7. Cálculo del peso a calentar

$$P_T = P_{\text{Crisol}} + P_{\text{Metal}} \quad (18)$$
$$P_T = 7,8 \text{kg} + 5 \text{kg}$$
$$P_T = 12,8 \text{kg}$$



**Figura 22-3.** Paredes del horno.

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

### 3.4.8. Coeficiente de transferencia de calor por convección de las paredes ( $h_{Pconv}$ )

El coeficiente de transferencia de calor por convección se determina mediante datos experimentales teniendo en cuenta algunos parámetros conocidos y a condiciones normales. Teniendo estos datos se procede a calcular la temperatura de la película entre la superficie del recubrimiento metálico y el aire que circula a temperatura ambiente.

$$T_P = \frac{1}{2}(T_S + T_\infty) \quad (19)$$

Donde:

$T_P$ : Temperatura de la película

$T_S$ : 323,15[K] (temperatura propuesta para el análisis en la superficie de la chapa metálica).

$T_\infty$ : 292,15[K] (temperatura ambiente de la ciudad de Riobamba).

$$T_f = \frac{1}{2}(323,15 + 292,15) \text{ K}$$

$$T_f = 307,65 \text{ K}$$

Con las propiedades del aire del libro de Cengel se obtiene mediante interpolación las propiedades a 1 atmósfera. **ANEXO I**

**Tabla 10-3:** Propiedades del aire a una 1 atmósfera

Temperatura		Conductividad Térmica (K) $\frac{W}{mK}$	Difusividad Térmica ( $\alpha$ ) $\frac{m^2}{s^2}$	Viscosidad Cinemática ( $\nu$ ) $\frac{m^2}{s}$	Número de Prandtl (Pr)
°C	K				
34,5	307,65	0,02625	$2,277 \times 10^{-5}$	$1,655 \times 10^{-5}$	0,7268

Fuente: (Cengel y Ghajar, 2020, p.964)

Realizado por: Bayas, F.; Loza, L.

Para la aplicación de las ecuaciones sugeridas por Cengel se determina el número de Grashof el cual si suponemos que el horno es un cilindro vertical con una altura de 430mm se lo puede tratar como una placa vertical entonces tenemos la ecuación:

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_S - T_\infty) L_C^3}{\nu^2} \quad (20)$$

Donde:

$Ra_L$ : número de Rayleigh [Adimensional].

$g$ :  $9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$  (aceleración gravitacional).

$\beta$ :  $\frac{1}{307,65} \left[ \frac{1}{K} \right]$  (coeficiente de expansión volumétrica).

$L_C$ : 0,43 [m] (longitud característica de la configuración geométrica).

$\nu$ :  $1,655 \times 10^{-5} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$  (viscosidad cinemática del fluido/aire).

$T_S$ : 323,15[K] (temperatura propuesta para el análisis en la superficie de la chapa metálica).

$T_\infty$ : 292,15[K] (temperatura ambiente de la ciudad de Riobamba).

$$Gr_L = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \left( \frac{1}{307,65} \right) (323,15 - 292,15) (0,43)^3}{\left( 1,655 \times 10^{-5} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \right)^2}$$

$$Gr_L = 0,286934753 \times 10^9$$

Como  $Gr_L < 1 \times 10^9$  se obtiene como resultado un flujo laminar sobre la placa vertical.

Para comprobar si el cilindro puede analizarse como una placa plana vertical debe cumplir con los parámetros establecidos donde el diámetro máximo del horno debe ser mayor que el número obtenido en la siguiente ecuación:

$$D_T \text{ del horno} \geq \frac{35 L}{Gr_L^{1/4}} \quad (21)$$

$$D \geq \frac{35 (0,43)}{(0,286934753 \times 10^9)^{1/4}}$$

$$D \geq 0,115 \text{ m}$$

Cálculo del número promedio de Nusselt para placas planas verticales.

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (22)$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 (2,87 \times 10^8)^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{0,7268} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 84,11$$

El número promedio de Nusselt también se lo puede expresar como:

$$Nu = \frac{h_{pconv} L_C}{K} \quad (23)$$

Despejando el coeficiente de transferencia de calor por convección se obtiene:

$$h_{pconv} = \frac{K Nu}{L_C} \quad (24)$$

Donde:

$h_{conv}$ : coeficiente de transferencia de calor por convección  $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$ .

$K$ : 0,02625  $\left[\frac{W}{m K}\right]$  (conductividad térmica del aire).

$$h_{conv} = \frac{0,02625 \frac{W}{m K} (84,11)}{0,43 m}$$

$$h_{conv} = 5,13 \frac{W}{m^2 K}$$

### 3.4.9. Coeficiente de transferencia de calor por convección de la Base ( $h_{Bconv}$ )

Para el cálculo se aplica las mismas ecuaciones, la variación se lo realiza en las dimensiones y espesores que conforman la base del horno. Para este análisis se consideran las mismas propiedades térmicas de las paredes cilíndricas. Evaluando las ecuaciones se tienen los siguientes valores:

**Tabla 11-3:** Transferencia de calor por convección de la base.

Nº	Ecuación	Valor
(22)	$Ra_L = \frac{g \beta (T_S - T_\infty) L_C^3}{\nu^2}$	$1,02 \times 10^7$
(23)	$Nu = 0,15 \times Ra_L^{1/3}$	323,15
(24)	$h_{Bconv} = \frac{K Nu}{L_C}$	$6,04 \frac{W}{m^2 K}$

Fuente: Cengel, Yanus. 2019

Realizado por: Bayas, F.; Loza, L. 2022

### 3.4.10. Coeficiente de transferencia de calor por convección de la Tapa ( $h_{Tconv}$ )

Para el cálculo se aplica las mismas ecuaciones la variación se lo realiza en las dimensiones y espesores que conforman la tapa del horno. Para este análisis se considera una temperatura en la chapa metálica de 100°C a condiciones térmicas normales.

Donde:

$T_p$ : Temperatura de la película

$T_s$ : 373,15[K] (temperatura propuesta para el análisis en la superficie de la chapa metálica).

$T_\infty$ : 292,15[K] (temperatura ambiente de la ciudad de Riobamba).

$$T_f = \frac{1}{2} (373,15 + 292,15) \text{ K}$$

$$T_f = 332,65 \text{ K}$$

Con las propiedades del aire del libro de Cengel se obtiene mediante interpolación las propiedades a 1 atmósfera.

**Tabla 12-3:** Propiedades del aire a una 1 atmósfera

Temperatura		Conductividad Térmica (K) $\frac{W}{mK}$	Difusividad Térmica ( $\alpha$ ) $\frac{m^2}{s^2}$	Viscosidad Cinemática ( $\nu$ ) $\frac{m^2}{s}$	Número de Prandtl (Pr)
°C	K				
60,5	332,65	0,02625	$2,277 \times 10^{-5}$	$1,655 \times 10^{-5}$	0,7268

Fuente: (Cengel y Ghajar, 2020, p.964)

Realizado por: Bayas, F.; Loza, L.2022

Evaluando las ecuaciones se tienen los siguientes valores:

**Tabla 13-3:** Transferencia de calor por convección de la tapa.

N°	Ecuación	Valor
(22)	$Gr_L = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_C^3}{\nu^2}$	$4,12 \times 10^6$
(23)	$Nu = 0,15 \times Ra_L^{1/3}$	24,05
(24)	$h_{Bconv} = \frac{K Nu}{L_C}$	$6,57 \frac{W}{m^2K}$

Fuente: Cengel, Yanus. 2019

Realizado por: Bayas, F.; Loza, L.2022

### 3.5. Análisis de Pérdidas

#### 3.5.1. Pérdidas en las paredes cilíndricas

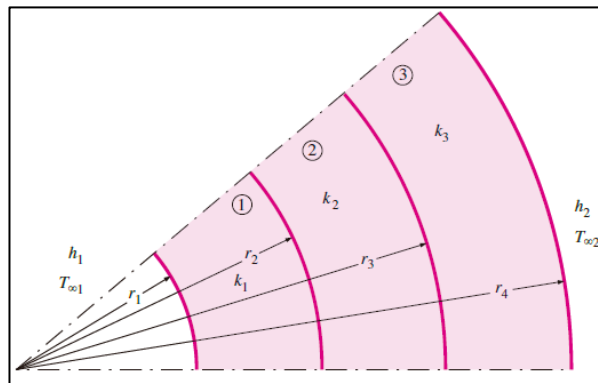
##### 3.5.1.1. Por Conducción

Se sabe que los materiales tienen la propiedad de oposición o la resistencia a la temperatura para ello, se calcula la resistencia por conducción en las paredes cilíndricas del horno con las siguientes ecuaciones:

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_1} \quad (25)$$

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_2} \quad (26)$$

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{k_3} \quad (271)$$



**Figura 23-3.** Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor.

Fuente: (Cengel y Ghajar, 2020)

Donde:

$R_1$ : resistencia térmica de la pared de ladrillo refractario  $\left[\frac{K}{W}\right]$ .

$R_2$ : resistencia térmica de la pared de manta cerámica  $\left[\frac{K}{W}\right]$ .

$R_3$ : resistencia térmica de la chapa metálica  $\left[\frac{K}{W}\right]$ .

$r_1$ : 142,643 [mm] (radio medido desde el centro de la cámara hasta la pared interior de ladrillos).

$r_2$ : 260,30 [mm] (radio medido desde el centro de la cámara hasta la pared interior de manta cerámica).

$r_3$ : 285,5[mm] (radio medido desde el centro de la cámara hasta la pared interior de chapa metálica).

$r_4$ : 287,5 [mm] (radio medido desde el centro de la cámara hasta la pared superficial de la chapa metálica).

$k_1$ : 1,20  $\left[\frac{W}{mK}\right]$  (conductividad térmica del ladrillo refractario)

$k_2$ : 0,038  $\left[\frac{W}{mK}\right]$  (conductividad térmica de la manta cerámica)



$k_3: 58,7 \left[ \frac{W}{m K} \right]$  (conductividad térmica del acero negro) (Cueva y Chiluisa, 2019, p.74).

$L: 0,34 [m]$  altura del horno. (Se toma solo la altura en contacto con el calor

Aplicando las ecuaciones se determina los siguientes valores:

$$R_1=0,50 \frac{W}{K}$$

$$R_2=2,43 \frac{W}{K}$$

$$R_3=1,19 \times 10^{-4} \frac{W}{K}$$

Resistencia térmica total de conducción.

$$R_{\text{cond total}}=R_1 + R_2 + R_3 \quad (28)$$

$$R_{\text{cond total}}=0,50 + 2,43 + 1,19 \times 10^{-4}$$

$$R_{\text{cond total}}=2,93 \frac{W}{K}$$

Calculado el total de la resistencia térmica se obtienen las pérdidas de calor por conducción de las paredes a la superficie por la siguiente ecuación.

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \frac{T_{\infty 1} - T_S}{\frac{1}{2\pi L} * R_{\text{cond total}}} \quad (29)$$

Donde:

$T_{\infty 1}: 1073,15[K]$  (temperatura dentro de la cámara de combustión).

$T_S: 323,15[K]$  (temperatura propuesta para el análisis en la superficie de la chapa metálica).

$T_{\infty}: 292,15[K]$  (temperatura ambiente de la ciudad de Riobamba).

Reemplazando los valores tenemos

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = 478,77 W$$

### 3.5.1.2. Por convección

Con la obtención del  $h_{p_{conv}}$  se puede determinar las Pérdidas de calor por convección aplicando la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{convec} = \frac{T_S - T_{\infty}}{\frac{1}{2\pi r L h_{p_{conv}}}} \quad (30)$$

Donde:

$T_{\infty 1}$ : 1073,15[K] (temperatura dentro de la cámara de combustión).

$T_S$ : 323,15[K] (temperatura propuesta para el análisis en la superficie de la chapa metálica).

$T_{\infty}$ : 292,15[K] (temperatura ambiente de la ciudad de Riobamba).

L: 0,43m Altura del horno

$h_{conv} = 5,13 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$  Coeficiente de convección

$$\dot{Q}_{convec} = 97,77 \text{ W}$$

### 3.5.2. Pérdidas totales en las paredes cilíndricas

$$\dot{Q}_{total \text{ cilindro}} = \dot{Q}_{conduc} + \dot{Q}_{convec} \quad (31)$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$\dot{Q}_{total \text{ cilindro}} = 576,54 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{total \text{ cilindro}} = 495,82 \text{ Kcal/h}$$

### 3.5.3. Pérdidas en la base

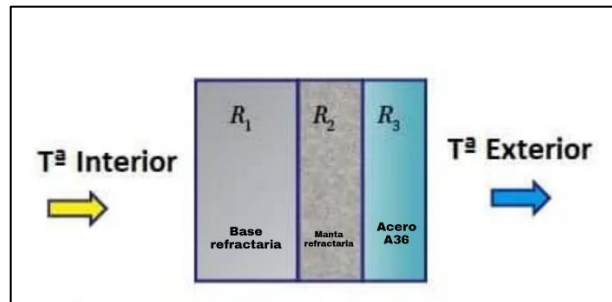
#### 3.5.3.1. Por Conducción

$$R_1 = \frac{L_1}{k_1 A} \quad (32)$$

$$R_2 = \frac{L_2}{k_2 A} \quad (33)$$

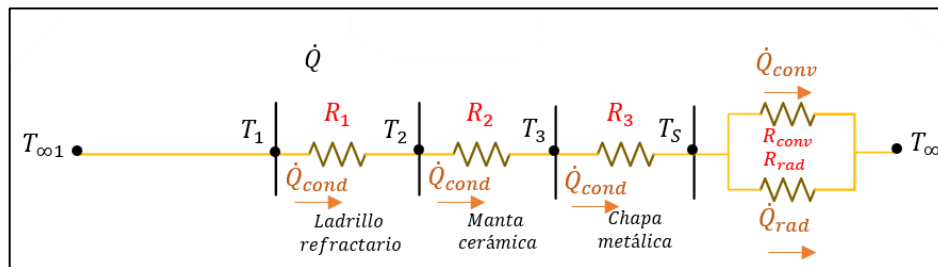
(34)

$$R_3 = \frac{L_3}{k_3 A}$$



**Figura 24-3.** Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor.

Fuente: (Cengel y Ghajar, 2020)



**Figura 25-3.** Resistencias compuestas del horno en la base.

Fuente: (Amaguaya, J.; Sefla, H., 2021.)

Donde:

$T_{\infty 1}$ : 1073,15[K] temperatura interna del horno.

$T_1$ : 1073,15[K] temperatura interna de la pared de ladrillo.

$T_2$ : temperatura entre la pared externa de ladrillo refractario y la pared interna de manta cerámica.

$T_3$ : temperatura entre la pared externa de manta cerámica y la pared interna de chapa metálica.

$T_5$ : 413,24[K] temperatura en la superficie del acero ASTM 36.

$T_{\infty}$ : 292,15[K] temperatura en la ciudad de Riobamba.

$R_1$ : resistencia térmica de la pared de ladrillo refractario  $\left[\frac{K}{W}\right]$ .

$R_2$ : resistencia térmica de la pared de manta cerámica  $\left[\frac{K}{W}\right]$ .

$R_3$ : resistencia térmica de la chapa metálica  $\left[\frac{K}{W}\right]$ .

$k_1$ : 1,20  $\left[\frac{W}{m K}\right]$  conductividad térmica del ladrillo.

$k_2$ : 0,038  $\left[\frac{W}{m K}\right]$  conductividad térmica de la manta térmica.

$k_3$ : 58,7  $\left[\frac{W}{mK}\right]$  conductividad térmica del acero negro (Cueva y Chiluisa, 2019, p.74).

$L_1$ : 0,070 [m] espesor de la pared de ladrillo.

$L_2$ : 0,025 [m] espesor de la manta térmica.

$L_3$ : 0,002 [m] espesor del acero ASTM A36.

$A$ : 0,35 [m<sup>2</sup>]

$L$ : 0,067 [m] altura del horno. (Se toma solo la altura en contacto con el calor)

Aplicando las ecuaciones se determina los siguientes valores:

$$R_1=0,17 \frac{W}{K}$$

$$R_2=1,87 \frac{W}{K}$$

$$R_3= 9,69 \times 10^{-5} \frac{W}{K} \quad 2$$

Resistencia térmica total de conducción.

$$R_{\text{cond total}}=2,04 \frac{W}{K}$$

Reemplazando los valores se obtiene el valor de las Pérdidas por conducción

$$\dot{Q}_{\text{cond}}= 368,16 \text{ W}$$

### 3.5.3.2. Por convección

Con la obtención del  $h_{Bconv}$  se puede determinar las pérdidas de calor por convección aplicando la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{convec}} = \frac{T_S - T_\infty}{Ah_{Bconv}} \quad (35)$$

Donde:

$T_{\infty 1}$ : 1073,15[K] (temperatura dentro de la cámara de combustión).

$T_S$ : 323,15[K] (temperatura propuesta para el análisis en la superficie de la chapa metálica).

$T_{\infty}$ : 292,15[K] (temperatura ambiente de la ciudad de Riobamba).

A:0,8345m

$h_{\text{conv}}=6,04 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$  Coeficiente de convección

$$\dot{Q}_{\text{convec}} = 14,6\text{W}$$

### 3.5.4. Pérdidas totales en la base

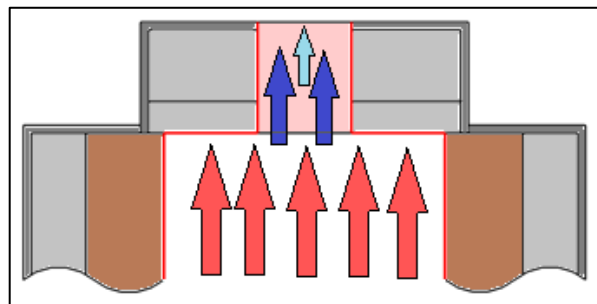
$$\dot{Q}_{\text{total base}} = 382,76\text{W}$$

$$\dot{Q}_{\text{total base}} = 329,17 \text{ Kcal/h}$$

### 3.5.5. Pérdidas en la tapa

#### 3.5.5.1. Por Conducción

En la **Figura 26-3**, la tapa del horno se encuentra compuesta de tres capas de revestimiento (cemento refractario, manta térmica y chapa metálica) posee un agujero por donde se liberan los gases combustionados. A continuación, se determina esta área.



**Figura 26-3.** Esquema de fuga de gases del horno.

Realizado por: Bayas, F.; Loza, L.

$$A_{\text{corona}} = \pi (R^2 - r^2) \quad (36)$$

Donde:

$A_{\text{corona}}$ : área efectiva de transferencia de calor [ $\text{m}^2$ ].

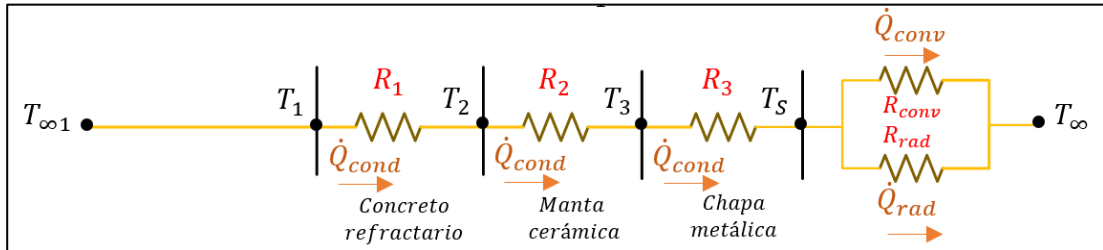
R:0142 [m] (Radio mayor).

r:0,05 [m] (Radio menor).

$$A_{\text{corona}} = \pi (0,142^2 - 0,05^2) \text{m}$$

$$A_{\text{corona}} = 0,055 \text{ m}^2$$

Se realiza el análisis para determinar las ecuaciones de las resistencias térmicas como se muestra en la **Figura 27-3**.



**Figura 27-3.** Resistencias compuestas del horno en la base.

**Fuente:** (Amaguaya, J.; Sefla, H., 2021.)

Donde:

$T_{\infty 1}$ : 1073,15[K] temperatura interna del horno.

$T_1$ : 1073,15[K] temperatura interna de la pared de ladrillo.

$T_2$ : temperatura entre la pared externa de ladrillo refractario y la pared interna de manta cerámica.

$T_3$ : temperatura entre la pared externa de manta cerámica y la pared interna de chapa metálica.

$T_S$ : 413,24[K] temperatura en la superficie del acero ASTM 36.

$T_{\infty}$ : 292,15[K] temperatura en la ciudad de Riobamba.

$R_1$ : resistencia térmica de la pared de ladrillo refractario  $\left[\frac{\text{K}}{\text{W}}\right]$ .

$R_2$ : resistencia térmica de la pared de manta cerámica  $\left[\frac{\text{K}}{\text{W}}\right]$ .

$R_3$ : resistencia térmica de la chapa metálica  $\left[\frac{\text{K}}{\text{W}}\right]$ .

$L_1$ : 0,025 [m] espesor de mortero refractario.

$L_2$ : 0,075 [m] espesor de la manta térmica.

$L_3$ : 0,002 [m] espesor del acero ASTM A36.

$k_1$ : 0,94  $\left[\frac{\text{W}}{\text{m K}}\right]$  conductividad térmica del concreto refractario.

$k_2$ : 0,038  $\left[\frac{\text{W}}{\text{m K}}\right]$  conductividad térmica de la manta cerámica.

$k_3$ : 58,7  $\left[\frac{\text{W}}{\text{m K}}\right]$  conductividad térmica del acero negro (Cueva y Chiluisa, 2019, p.74).

Aplicando las ecuaciones se determina los siguientes valores:

$$R_1 = 0,48 \frac{W}{K}$$

$$R_2 = 35,57 \frac{W}{K}$$

$$R_3 = 6,14 \times 10^{-5} \frac{W}{K}$$

3

Resistencia térmica total de conducción.

$$R_{\text{cond total}} = 36,05 \frac{W}{K}$$

Reemplazando los valores se obtiene el valor de las pérdidas por conducción

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = 20,81 W$$

### 3.5.5.2. Por convección

Con la obtención del  $h_{\text{Bconv}}$  se puede determinar las pérdidas de calor por convección aplicando la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{convec}} = \frac{T_S - T_\infty}{Ah_{T_{\text{conv}}}} \quad (37)$$

Donde:

$T_{\infty 1}$ : 1073,15[K] (temperatura dentro de la cámara de combustión).

$T_S$ : 323,15[K] (temperatura propuesta para el análisis en la superficie de la chapa metálica).

$T_\infty$ : 292,15[K] (temperatura ambiente de la ciudad de Riobamba).

$A$ : 0,8345 [m<sup>2</sup>]

$h_{\text{conv}} = 6,58 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$  Coeficiente de convección

$$\dot{Q}_{\text{convec}} = 84,96 W$$

### 3.5.6. Pérdidas totales en la tapa

$$\dot{Q}_{\text{total tapa}} = 105,77 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{total tapa}} = 90,96 \text{ kcal/h}$$

### 3.6. Pérdidas totales en el horno

$$\dot{Q}_{\text{total horno}} = \dot{Q}_{\text{total paredes}} + \dot{Q}_{\text{total base}} + \dot{Q}_{\text{total tapa}} \quad (38)$$

$$\dot{Q}_{\text{total horno}} = 915,95 \text{ kcal/h}$$

### 3.7. Calor necesario para el funcionamiento del horno

$$\dot{Q}_{\text{horno}} = \dot{Q}_t + \dot{Q}_{\text{Perdidas}} \quad (39)$$

$$\dot{Q}_{\text{horno}} = 2894,32 \text{ kcal/h} + 915,95 \text{ Kcal/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{horno}} = 3810,27 \text{ kcal/h}$$

### 3.8. Eficiencia del sistema

La eficiencia que requiere el horno está en función del calor necesario para la fundición y el calor necesario de funcionamiento, se establece por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_{\text{horno}}} * 100 \quad (40)$$

Donde:

$\eta$ : rendimiento del horno [%].

$$Q_t: 2894,32 \left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$Q_{\text{horno}}: 3810,27 \left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$\eta = 76 \%$$



### 3.9. Potencia requerida por el horno

Es necesario saber cuánto calor tiene que suministrar el quemador para ello se debe conocer el flujo de combustible que va a ser alimentado el horno, éste debe ser tan eficiente para cubrir el calor en las paredes y las pérdidas a través de las mismas. Esta potencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q_{\text{horno}}}{\eta} \quad (415)$$

Donde:

P: potencia del quemador  $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}}\right]$ .

$\eta$ : 76 [%] (rendimiento de horno).

$$P = 5016,10 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

El quemador a utilizar es uno que pertenece al Taller de Fundición cuyo promedio de combustible es de 9 GPH marca CARLIN modelo 41000 que posee una potencia de 369,27kW.

### 3.10. Consumo de combustible

El consumo de combustible se calcula en base al calor necesario del horno y el poder calorífico que posee el combustible, cabe mencionar que el combustible a utilizar es diésel, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$m_c = \frac{Q}{H_d} \quad (426)$$

Donde:

$m_c$  = Gasto de combustible  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right]$ .

$Q$  = 3810,27 consumo calorífico del horno  $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}}\right]$ .

$H_d$  = 1088,42 poder calorífico inferior del diésel  $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right]$ . (MAE, 2012)

$$m_c = \frac{3810,27 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{1088,42 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}}$$

$$m_c = 3,77 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Flujo de diésel debe ser de:

$$V_c = m_c \times V \quad (437)$$

Donde:

$$V_c = \text{Flujo de combustible} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

$$V = \text{Volumen específico del combustible} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

$$V_c = 3,77 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 1,22 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_c = 4,9 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V_c = 4,59 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

### 3.11. Análisis en el software especializado en temperatura estacionaria.

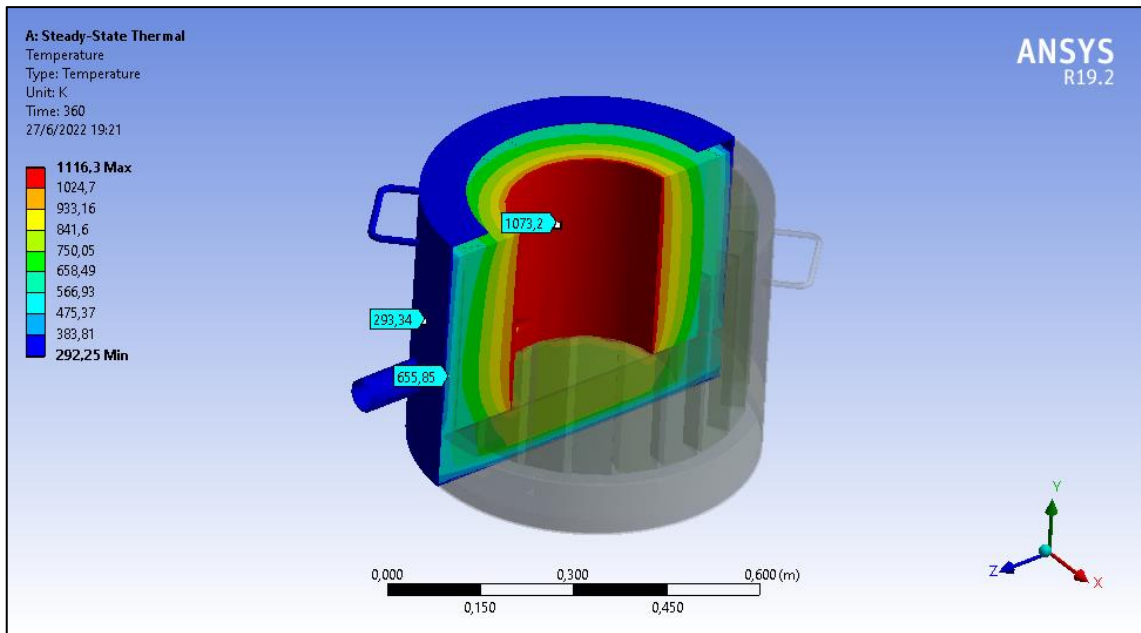
Una vez obtenida los valores de simulación se continúa con el cálculo de las pérdidas que existía en las diferentes paredes tanto del cuerpo del horno como la tapa y la base. En la **Tabla 11-3**, se muestran los valores obtenidos de la simulación estos se asemejan a los más reales que se puede obtener cuando se haga la respectiva construcción.

**Tabla 14-3:** Valores del software.

Pared	Valor	Unidad
Chapa metálica	413,24	K
Ladrillos refractarios	1073,2	K
Manta térmica	655,85	K

Fuente: CAD

Realizado por: Bayas, F.; Loza, L.2022



**Figura 28-3:** Análisis térmico

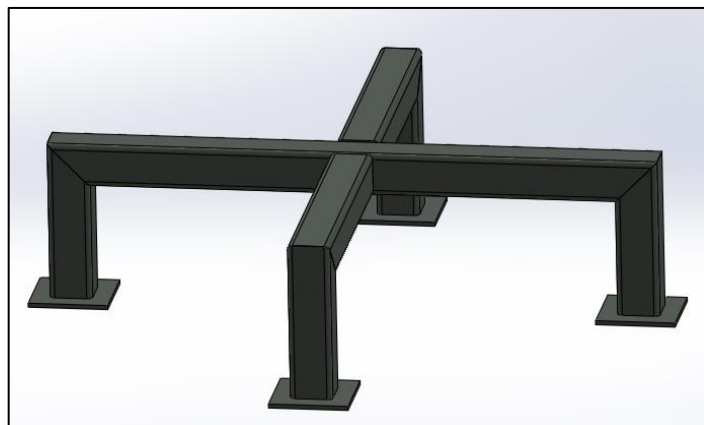
Fuente: CAD

Realizado por: Bayas, F.; Loza, L.2022

### 3.12. Diseño de la estructura de soporte.

Las grandes industrias recomiendan el acero al carbono como el ASTM A36, con un módulo de elasticidad de 250 MPa ideal para estructuras, puentes y sector de la construcción en general.

Gracias a esta referencia es ideal para soportar la carga ejercida del horno.



**Figura 29-3.** Estructura de soporte.

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

La **Tabla 15-3** contiene las propiedades del acero que se utiliza para la construcción del soporte del horno, estos datos se utilizan para realizar en análisis de tensión y carga máxima que soporta este tipo de acero, el acero ASTM A36 dentro de la industria es apto para las construcciones y soporte de estructuras sólidas.

**Tabla 15-3:** Propiedades del acero ASTM A36

Propiedades y características ASTM A36	Cantidad
Módulo de elasticidad GPa	200
Módulo de corte GPa	79,3
Coefficiente de Poisson	0,26
Densidad g/cm <sup>3</sup>	7,850
Resistencia a la tracción MPa	400 - 500

Fuente: Cengel, Yanus. 2019

Realizado por: Bayas, F.; Loza, L.2022

**3.12.1. Análisis de flexión de vigas para la estructura de soporte**

El horno está sometido a una fuerza ejercida (gravedad), para el análisis estático de este mecanismo es importante conocer la masa de cada componente y elemento, en la **Tabla 13-3** se detallan estos datos. Para la estructura de soporte, la masa del equipo se multiplica por 1,25 en caso de que una persona se apoye en él, este valor permite que la estructura metálica no sufra ningún tipo de daño o provoque un paro del equipo durante la operación.

**Tabla 16-3:** Masa de los componentes del horno.

Elemento	Masa (kg)	Fuerza (N)
Carcasa del cuerpo	20,00	196,20
Aislante de la base	1,50	14,72
Base de ladrillos refractarios	22,50	220,73
Aislante del cuerpo del horno	3,00	29,43
Pared de ladrillos refractarios	189,00	1854,09
Aislante de la tapadera	0,35	3,43
Base de soporte del crisol	12,00	117,72
Crisol	14,00	137,34
Mezcla refractaria de la tapa	19,00	186,39
Aislante de la tapa	1,80	17,66
Carcasa de la tapa	4,50	44,15
Material para fundir	5,00	49,05
<b>TOTAL</b>	<b>292,65</b>	<b>2870,90</b>

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

El horno tiene una forma particular de funcionamiento se debe prevenir fallas, golpes o tirones, en la tabla 17-3 se detalla el factor de diseño en estructuras metálicas.

**Tabla 17-3: Factores de diseño**

Tipo de factor	Valor
Factor de importancia	1,5
Factor de sobrerresistencia	3,0
Factor de amplificación	5,5
Factor de redundancia	1,25

Fuente: Secretaría de gestión de riesgos. 2016

Realizado por: Bayas, F.; Loza, L.

$$M_T = M * 1,25 \quad (448)$$

$$M_T = 292,65 \text{ kg} * 1,25$$

$$M_T = 365,81 \text{ kg}$$

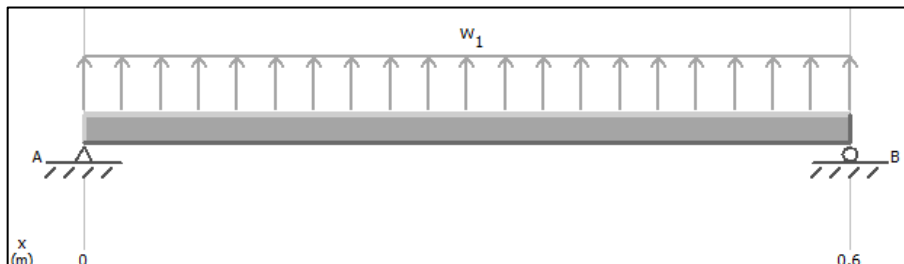
Se considera que durante la operación del horno se verán involucradas dos personas, se considera que el peso promedio de una persona es de 75kg.

$$F = M_T * g \quad (459)$$

$$F = 365,81 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 3588,596 \text{ N}$$

Para el análisis de momentos y esfuerzo cortante se utiliza el software MDSolid tomando los siguientes datos



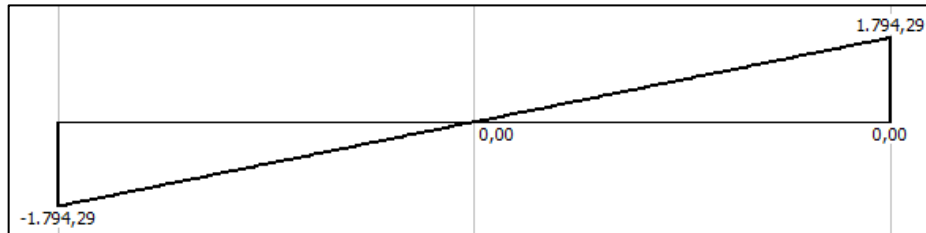
**Gráfico 2-3.** Diagrama de cuerpo libre.

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.

$$\sum F_y = 0 \quad (46)$$

$$R_A + R_B - 3588,596 = 0 \quad 10$$

$$R_A + R_B = 3588,596 \text{ N}$$



**Gráfico 3-3:** Diagrama de fuerza cortante.

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.

$$\sum M_A = 0 \quad (4711)$$

$$-3588,596 \text{ N} \cdot 0,2875 \text{ m} + R_B \cdot 0,572 \text{ m} = 0$$

$$R_B = \frac{3588,596 \text{ N} \cdot 0,2875 \text{ m}}{0,575 \text{ m}}$$

$$R_B = 1794,2980 \text{ N}$$

$$R_A + R_B = 3588,596$$

$$R_A = 3588,596 - R_B$$

$$R_A = (3588,596 - 1794,2980) \text{ N}$$

$$R_A = 1794,297 \text{ N}$$

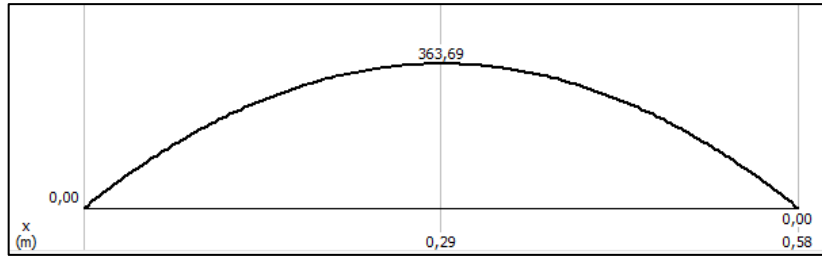
$$M_A = 1794,297 \text{ N} \cdot 0,275 \text{ m} \quad (48)$$

$$M_A = 727,38 \text{ N m}$$

$$M_t = M_A / 2$$

$$M_t = 727,38 / 2$$

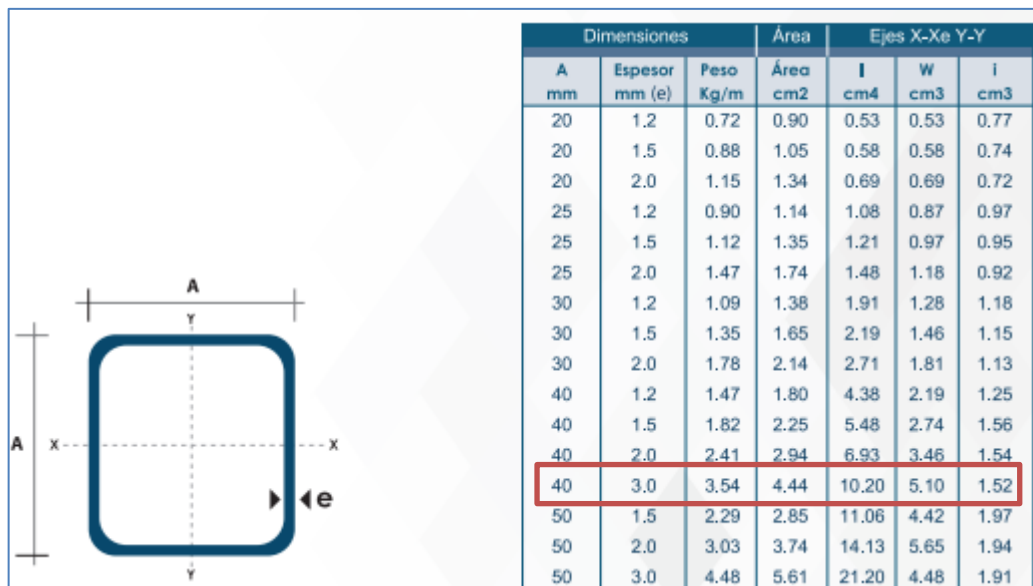
$$M_t = 363,69 \text{ N m}$$



**Gráfico 4-3.** Diagrama de momentos.

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.

Para el cálculo de flexión del acero estructural tomamos la ecuación del módulo plástico de la norma venezolana COVENIN-1618:1998 “Estructura de aceros para edificaciones”. Método de los estados límites”, esta norma establece los criterios y requisitos mínimos para la construcción y mantenimientos de estructuras de acero. En la figura 30-3 se detalla el tubo seleccionado para la base de la estructura del horno.



**Figura 30-3.** Tubo estructural cuadrado.

Fuente: ADELCA.

$$Z_x \geq \frac{\phi_b M_u}{F_y} \quad (4912)$$

Donde:

$Z_x$  = módulo plástico-Viscosidad [cm<sup>3</sup>].

$M_u$  = 363,69 [Nm] (momento máximo o último)

$\phi_b$  = Cedencia en la sección del área total (COVENIN, pág.75)

$F_y = 250$  MPa tensión de cedencia

$$Z_x \geq \frac{2 * 363,69}{250 * 10^6} \quad (5013)$$

$$Z_x \geq 2,90 * 10^{-6} \text{m}^3$$

$$Z_x \geq 2,90 \text{cm}^3$$

### 3.12.1.1. Máximo soporte de la estructura

Momento de inercia en la sección rectangular

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 - \frac{1}{12} (b - e)(h - e)^3 \quad (5114)$$

Donde:

$b = h = 28$  mm lado de la viga

$e = 3$  mm espesor

$$I_y = \left[ \frac{1}{12} (40 * 40^3) \right] - \left[ \frac{1}{12} (40 - 6)(40 - 6)^3 \right]$$

$$I_y = 213237 \text{mm}^3$$

$$I_y = 1.01972 * 10^{-7} \text{mm}^3$$

Esfuerzo máximo soportado por la viga se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = \frac{|M_{\max}|}{Z} \quad (5215)$$

Donde:

$\sigma_c$  = Esfuerzo máximo de la estructura

$M_{\max} = 363,69$  N m Momento máximo

$Z = 0,00029 \text{cm}^3$  Módulo de sección



$$\sigma_c = \frac{|363,69|}{0,000029}$$

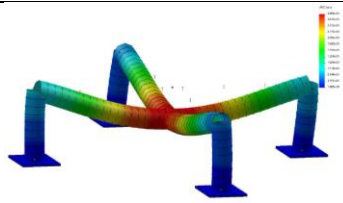

$$\sigma_c = 12541034,48 \text{ Pa}$$

$$\sigma_c = 125,41 \text{ MPa}$$

### 3.12.2. Verificación del análisis estructural

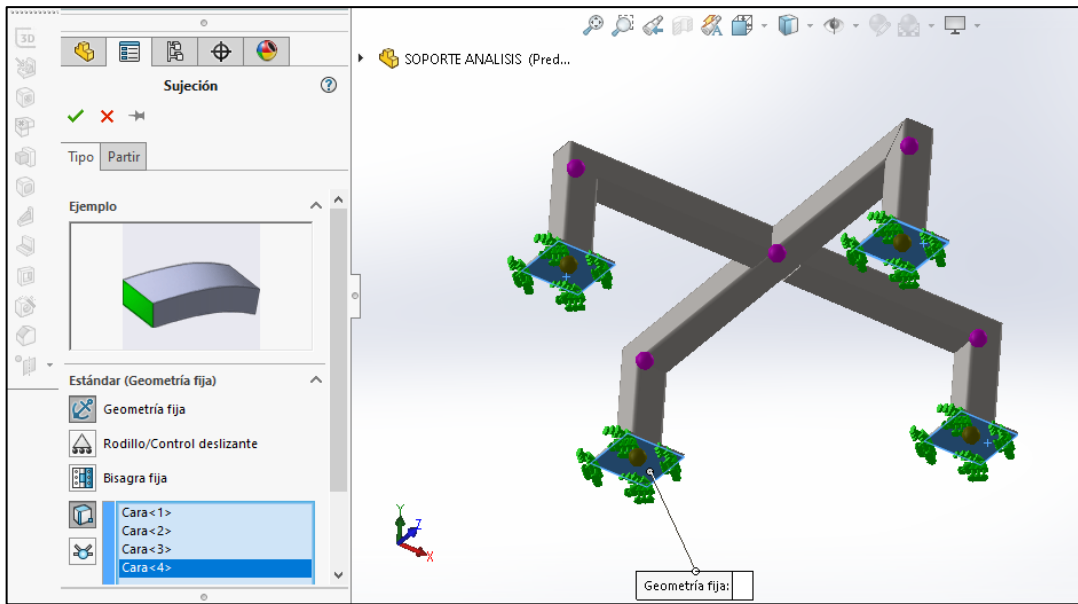
El análisis estructural se lo realiza mediante el uso de un software de simulación estática, una vez obtenida la carga aplicada a la estructura se simula y se obtienen los valores correspondientes al desplazamiento, Von Moises entre otros lanzados por la simulación.

**Tabla 18-3:** Valores del análisis estructural.

Detalle	Tipo	Valores		Gráfico
		Mínimo	Máximo	
Análisis de desplazamiento	URES: Desplazamientos Resultantes	0,000 mm	0,0306 mm	
Tensión	VON Tensión de Von Mises	0,000 MPa	125,540 Mpa	

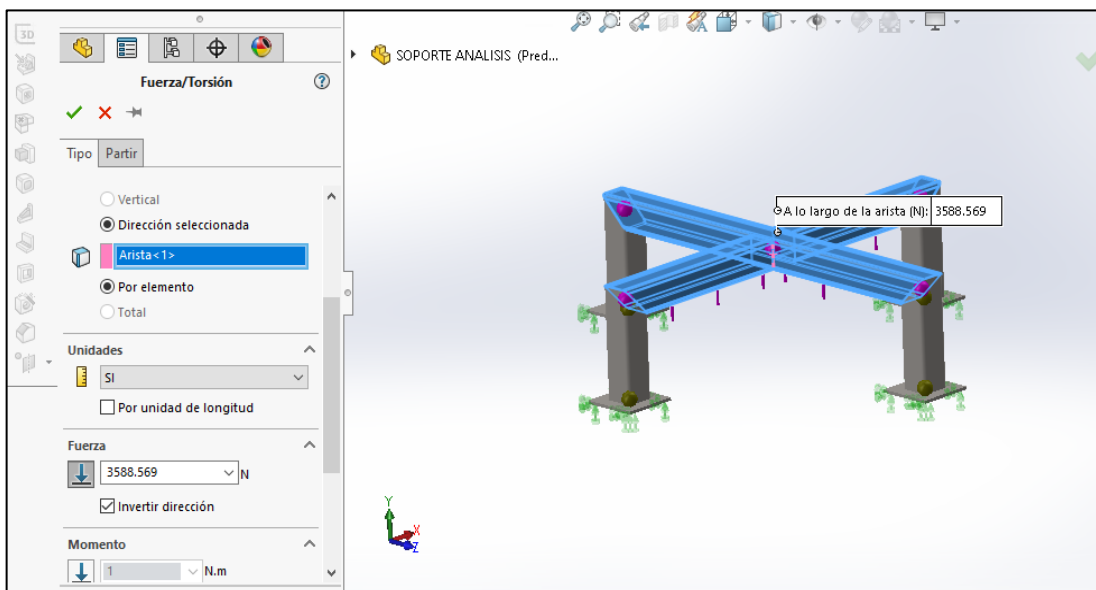
Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

En los gráficos 5-3, 6-3, y 7-3 se muestra el procedimiento desarrollado para la validación de la estructura, este análisis demuestra que el soporte cuenta con un factor de seguridad 10 veces mayor al peso del horno. El primer paso es crear las sujeciones a las que se encuentra el soporte, estas sujeciones para el horno van empotradas en el piso, ajustamos la simulación al peso calculado del horno y creamos un mallado.



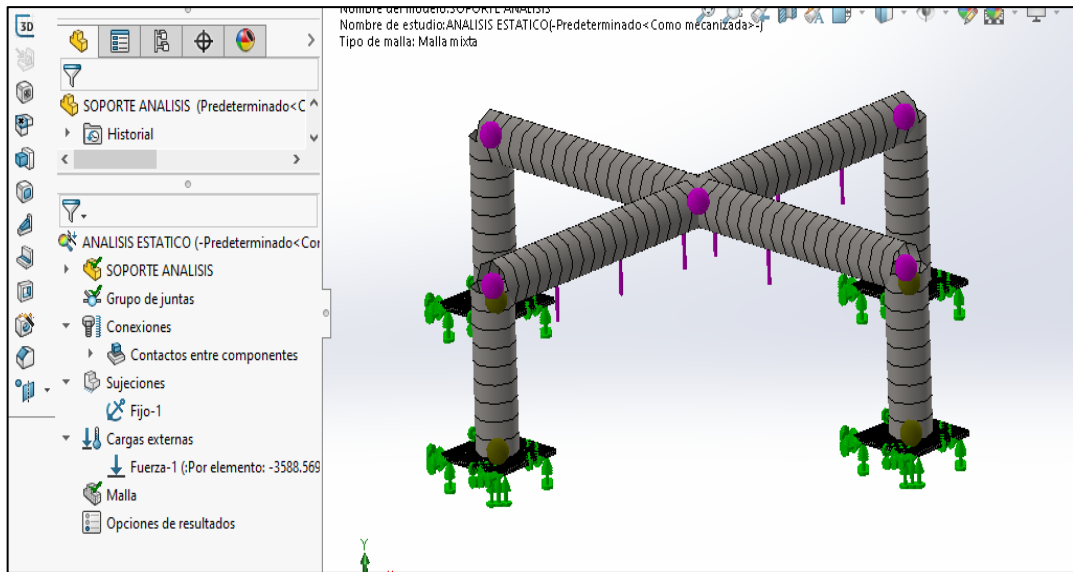
**Gráfico 5-3.** Puntos de anclaje para el análisis.

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.



**Gráfico 6-3.** Aplicación de fuerzas.

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022



**Gráfico 7-3.** Mallado de la estructura

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.2022

## CAPÍTULO IV

### 4. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DEL HORNO DE FUNDICIÓN

Como se ha mencionado anteriormente el horno consta de cuatro partes fundamentales que son:



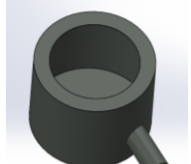
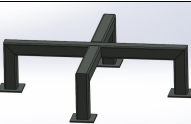
- Cuerpo del horno
- Estructura
- Tapa del horno
- Quemador

#### 4.1. Proceso de construcción

##### 4.1.1. Construcción de las paredes cilíndricas y soporte

La **Tabla 17-4**, muestra los elementos que conforman el cuerpo del horno y la estructura de soporte para el mismo, cada uno con su material respectivo.

**Tabla 19-4:** Elementos que conforman el cuerpo del horno y soporte.





Componente	Material	Imagen
Pared interna	Ladrillo y mortero refractario	
Revestimiento (protección térmica)	Manta refractaria densidad 128	
Chapa metálica	Acero ASTM A36	
Soporte estructura	Acero ASTM A36	





Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

#### 4.2. Construcción del cuerpo del horno





En la **tabla 20-4** se muestra el procedimiento respectivo para la construcción de las paredes cilíndricas del horno.

**Tabla 20-4:** Construcción de las paredes cilíndricas del horno.

Proceso	Detalle	Evidencia
Biselado de ladrillo	Se corta un borde de ladrillo para obtener una circunferencia en este caso el biselado posee un ángulo de 16°.	
Corte de la manta refractaria	Se corta la manta refractaria de acuerdo a las medidas seleccionadas para las paredes cilíndricas (46,2x190) cm.	
Modelo matriz	Partiendo de la circunferencia interna se comprueba las medidas de diseño para la chapa metálica.	
Barolado	Se realiza el doble de la chapa metálica que debe ser de acuerdo a las medidas establecidas, este procedimiento se realiza con la ayuda de un maestro mecánico.	

<p>Comprobación de dimensiones</p>	<p>Con la ayuda de moldes de tabla tríplex se verifica el correcto barolado con las medidas establecidas de diseño.</p> <p>Se comprueba con el diámetro externo y el diámetro interno del horno</p>	
<p>Soldadura de la chapa metálica</p>	<p>Se procede a realizar los puntos de suelda en la chapa metálica con un electrodo E6011, de la misma forma se sueldan varillas que sirven de soporte para la loseta de la base.</p>	
<p>Mezcla</p>	<p>Se mezcla cemento y mortero refractario en proporciones iguales, para la base del horno.</p>	
<p>Losa para la base</p>	<p>La chapa contiene un enlucido a la altura de 8,5cm el cual impide que la manta refractaria se aplaste y pierda sus propiedades.</p>	







Colocación manta refractaria de la base y pared	Una vez secada la loseta, se coloca la manta refractaria de la base.	
	Se coloca la manta refractaria al contorno de la pared, con esto se asegura un correcto espacio entre la chapa metálica y el ladrillo refractario.	
Construcción de la pared de ladrillos	Se coloca uno por uno los ladrillos hasta obtener una pared cilíndrica uniforme, en las uniones se coloca mezcla para que estos se adhieran entre sí.	
Acabados de la chapa metálica	Se realiza un alisado en la parte superior de los ladrillos para tener un mejor acabado y eliminar imperfecciones del ladrillo.	



Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

### 4.3. Construcción de la tapa del horno

**Tabla 21-4:** Construcción de la tapa del horno.

Proceso	Detalle	Evidencia
Barolado y soldadura	Se realiza el mismo procedimiento de la chapa metálica para que la mezcla no aplaste la manta cerámica de la tapa	
Comprobación de dimensiones	Con la ayuda de moldes de tabla tripe se verifica el correcto barolado de la tapa con el fin de establecer la medida exacta que encaja al horno.	
Losa para la tapa	Se construye un soporte en forma de pared en la tapa del horno con un espesor de 2,5cm para evitar pérdidas de calor.	
Colocación manta refractaria de la tapa	Se colocan tres capas de manta refractaria con un espesor total de 7,5cm de acuerdo al diámetro de la tapa.	







Soldadura de las agarraderas de la tapa	Se sueldan a la tapa a una distancia de 5cm desde el borde con un electrodo E6011, estas tienen una altura 7,5 donde entra un tubo cuadrado que facilite el retiro de la tapa.	
Esmerilado	Se rectifican los puntos de soldadura con una amoladora descartando imperfecciones y dando un acabado óptimo a la tapa.	

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

#### 4.4. Construcción del soporte del horno

Tabla 22-4 Construcción de soporte.

Proceso	Detalle	Evidencia
Corte y doblado	Se realizan los respectivos cortes a la estructura rectangular para tomar la forma establecida de la estructura de la estructura.	
Soldadura del soporte	Se realizan puntos de suelda en toda la estructura para una mejor sujeción.	

Soldadura de placas	Se sueldan cuatro placas que sirven para el empujado del horno al piso, cada placa contiene 4 agujeros donde entran pernos de dilatación térmica	
Esmerilado	Con el fin de obtener un mejor acabado superficial en los puntos de suelda se corrige con una amoladora.	

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

#### 4.5. Quemador





El quemador a ser utilizado es uno de marca CARLIN modelo 41000, éste no se encontraba operativo pues presentaba varias fallas entre ellas cortocircuito en el controlador de llama, corrosión en la bomba, motor desfasado y desgaste de electrodos, todos estos fallos han sido reparados en la **Tabla 18-4** se muestra la reparación de las partes y piezas del quemador.



**Figura 31-4:** Quemador CARLIN modelo 41000

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.

**Tabla 23-4:** Reparaciones de los componentes del quemador.

Componente	Falla	Evidencia
Controlador de llama	Cortocircuito Componentes quemados	
Sistema de suministro de diésel	Corrosión Obstrucción por suciedad	
Motor	Conexiones internas en mal estado.	
Sistema eléctrico	Bujías desgastadas No genera chispas	

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

#### 4.6. Pruebas de funcionamiento

Construido el horno se procede al encendido y puesta en marcha, elaborar una práctica de fundición que termine con la obtención de dos placas que contienen el sello de la Escuela de Mecánica. Así mismo determinar las temperaturas reales que posee el equipo. El procedimiento para realizar la fundición se lo describe a continuación, las proporciones de material y los parámetros son para 2 placas de aluminio con un espesor de 30cm cada una.

Se procede al encendido y precalentado del horno, esto se lo realiza para no fracturar el crisol una vez puesto el material a fundir. En la **figura 32-4** se muestra el precalentado del horno, Se debe seguir las instrucciones de operación.



**Figura 32-4:** Precaentado del horno.

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.

Una vez precalentado el horno se procede a colocar poco a poco el material a ser fundido evitando que este salga del crisol, utilizar guantes de protección es primordial pues el horno se encuentra a una temperatura superior a los 100°C.



**Figura 33-4:** Colocación del aluminio.

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.2022

El tiempo determinado para la fundición del aluminio va en un intervalo de 45 minutos a 1 hora, mientras el metal se funde se prepara la mezcla de arena para el moldeo, esta preparación está compuesta por 10 libras de arena verde y 2 libras de bentonita, cabe mencionar que expertos en fundición recomiendan que la bentonita vaya de un 12 a 17% de la proporción de arena verde, se mezcla poco a poco con agua hasta obtener una masa arenosa semi seca que se desmolde con facilidad.





**Figura 34-4:** Preparación de la arena para moldeo.

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.2022

Para el modelado en la arena se debe cubrir el modelo con una fina capa de grafito para un mejor desmolde y acabado superficial de la placa. Se coloca el molde y se compacta la arena capa por capa hasta obtener un molde sólido, libre de imperfecciones capaz de resistir la brusca manipulación del molde.



**Figura 35-4:** Preparación del molde.

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.2022

Pasado 50min se a fundido el aluminio por completo, se calientan las pinzas, esto impide el contacto directo y el cambio brusco de temperatura evitando que el crisol presente fracturas también se retirar el crisol del horno, se extrae la escoria del aluminio para tener una fundición limpia, facilitando el vertido del aluminio al molde.



**Figura 36-4:** Retiro del crisol.

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.2022



**Figura 37-4:** Vertido de aluminio.

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.2022

Vertido la materia se coloca el crisol en el horno, se espera el enfriamiento del horno y las placas para proceder al desmoldeo de las mismas.



**Figura 38-4:** Placa fundida de aluminio

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.2022

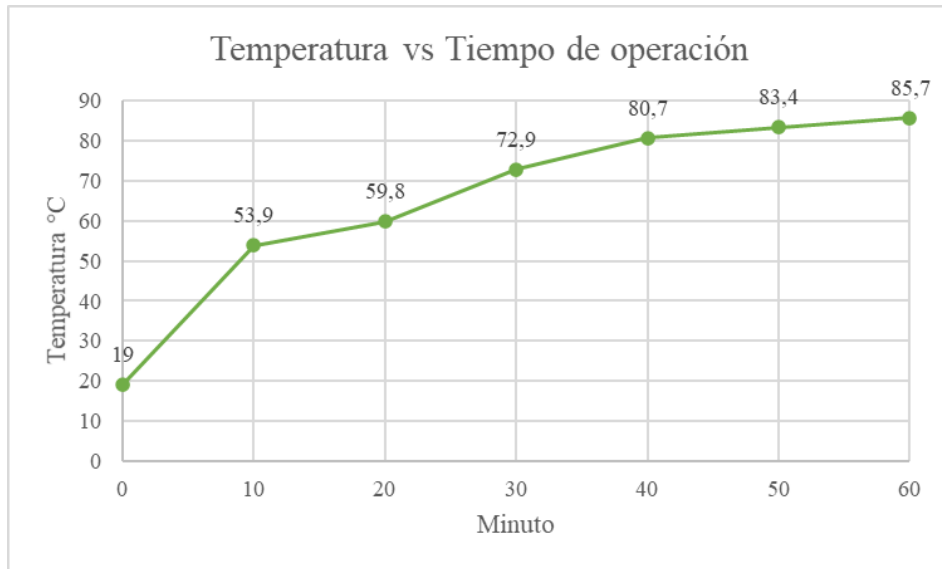
#### 4.6.1. *Análisis termográfico*



**Figura 39-4:** Placa fundida de aluminio

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.2022

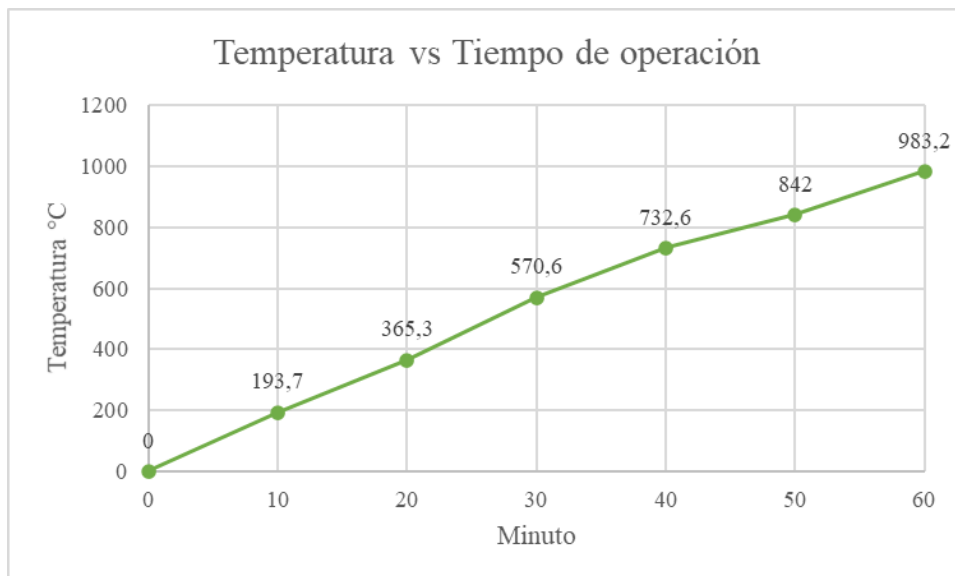
Para el análisis termográfico se usa una cámara termográfica que mide las temperaturas en la chapa metálica cada 10min, verificando la máxima temperatura obtenida en el análisis mediante software.



**Gráfico 8-4.** Curva de operación con respecto a la temperatura de la chapa metálica

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

De la misma forma se procede a la toma de valores de temperatura al interior del horno teniendo como máxima temperatura 985°C



**Gráfico 9-4:** Curva de operación con respecto a la temperatura de la cámara de combustión.

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

El consumo de combustible se aprecia un mínimo pues el consumo para la práctica es de 2 galones por hora un equivalente próximo a los datos obtenidos.

#### 4.7. Análisis de costos

##### 4.7.1. Costos directos

Este análisis tiene como principal objetivo determinar los recursos monetarios que intervienen en la construcción del horno, para esto se toman los costos tanto directos, indirectos y mano de obra. Los costos totales directos que intervienen son de:

- Materiales
- Costos de mecanizado
- Montaje
- Costo reparación quemador

##### 4.7.1.1. Costos de material

En la **Tabla 19-4** se detallan el costo de cada material incluido la descripción a cada uno de ellos con sus dimensiones y peso que conforman el horno.

**Tabla 24-4:** Costo de materiales.

Cantidad (UND).	Descripción	Valor Unitario (USD)	IVA (12%)	Valor total (USD)
1	Plancha laminada ASTM A36, acabado (Acero negro). 2010x2440x3 [mm].	79,20	10,80	90
2	Plancha laminada ASTM A36, acabado (Acero negro) 1200x50x2 [mm].	26,40	3,60	30
1	Plancha laminada ASTM A36, acabado (Acero negro), al peso 1100x530x3 [mm].	19,36	2,64	22
1	Tubo negro redondo (retazo) N°4, 3[mm].	17,60	2,40	20
1	Mortero húmedo SUPERAERODRAX ERECO, temperatura máxima 1200°C, 25[kg].	36,96	5,04	42
1	Cemento refractario ELECTROLAND, temperatura máxima 1500 °C, 25 [kg].	47,08	6,42	53,5
3	Manta refractaria cerámica 3310x610x25[mm].	132,00	18,00	150
2	Ladrillo refractario denso en arco SK-34, temperatura máxima 1200°C 230x114x65[mm].	33,51	4,57	38,04
40	Ladrillo refractario denso SK-34, temperatura máxima 1200°C 230x114x65[mm].	176,00	24,00	200
1	Tubo estructural cuadrado, acabado (Acero negro) 6000x40x3[mm].	19,24	2,62	21,86
1	Varilla redonda ASTM A36 Ø15	6,90	0,94	7,84
1	Crisol de 6 kg de capacidad	176,00	24,00	200
4	Electrodos E6011	7,04	0,96	8
1	Plancha de triplex 1200x2140x5 [mm].	14,96	2,04	17
10	Diesel [G].	1,75	2,10	17,5
4	Disco de corte metal N°4	1,75	0,84	7
2	Disco de concreto 254	17,60	2,40	20
<b>Total, costos materiales</b>				<b>944,78</b>

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022



4.7.1.2. Costos de reparación quemador

**Tabla 25-4:** Costos de reparación del quemador.

Cantidad	Descripción	Valor Unitario (USD)	IVA	Valor total (USD)
1	Controlador de llama	246,80	33,65	280,45
1	Conectores de motor	30,80	4,20	35
2	Cables de bujías	23,55	3,21	26,76
2	Bujías	8,80	1,20	10
1	Filtro de combustible	1,76	0,24	2
1	Manguera	5,28	0,72	6
1	Reparación de motor	132,00	18,00	150
<b>Total, reparación de quemador</b>				<b>510,21</b>

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

4.7.1.3. Costo de mano de obra

**Tabla 26-4:** Costos de mano de obra.

Cantidad	Descripción	día/hombre	costo/día	Valor Total (USD)
1	Técnico soldador	2-	50	100
1	Técnico eléctrico	1	30	30
1	Albañil	1	25	25
1	Barolado	1	30	30
<b>Total, mano de obra</b>				<b>245</b>

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

4.7.1.4. Total, de costos directos

**Tabla 27-4:** Total de costos directos.

Costo	Valor total (USD)
Costos de material	925,74
Reparación de quemador	510,21
Mano de obra	245,00
<b>TOTAL</b>	<b>1699,99</b>

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.

4.7.2. Costos indirectos

**Tabla 28-4:** Costos indirectos.

Cantidad	Descripción	Valor total (USD)
1	Transporte de material e insumos	100
<b>Total, costos indirectos</b>		<b>100</b>

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

### 4.7.3. Costos Totales






**Tabla 29-4:** Costos Totales.






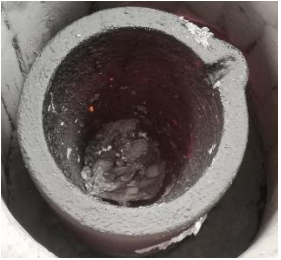
Costo	Valor total (USD)
Directo	1680,95
Indirecto	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>1799,99</b>

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

### 4.8. Instrucciones de operación

**Tabla 30-4:** Instrucciones de operación.

Paso	Descripción de la acción	Descripción gráfica
01	Verificar y conectar el quemador a una línea de 110V y al suministro de diésel.	
02	Colocar una cantidad pequeña de grafito o ceniza sobre el soporte del crisol.	
03	Centrar correctamente el crisol en la cámara de combustión, sin el material a fundir.	
04	Encender el controlador de llama.	
05	Comprobar que el quemador funcione sin inconvenientes.	


06	Precalentar el horno, crisol durante un aproximado de 7 a 12 minutos.	
07	Controlar el paso de la llama para no ocasionar accidentes al colocar el material a fundir.	
08	Colocar el aluminio poco a poco (introducir primero cantidades gruesas o anchas y en la parte superior las más delgadas).	
09	Desconectar el quemador una vez que se haya fundido el material.	
10	Una vez enfriado el horno se procede a la limpieza interna de escoria (material fundido)	
11	Limpiar el material residuo que se encuentra en el crisol, para evitar desgastes y perdida de capacidad	

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022

#### 4.9. Manual de seguridad

El manual de seguridad consta de lo siguientes datos en el encabezado

1. Logotipo de la universidad y de la escuela
2. Título del manual
3. Nombre de equipo
4. Fecha de elaboración

	<h1>Manual de Seguridad</h1>
Fecha de elaboración: 20/07/2022	Horno de fundición de aluminio

**Figura 40-4:** Encabezado de manuales.

**Realizado por:** Bayas, F. Loza, L.

Para el desarrollo del manual de seguridad, se toma en cuenta aspectos de estructura como son; objetivos, responsabilidades, riesgos normas de seguridad, procedimiento en caso de accidentes.

##### 4.9.1. *Introducción*

El manual de seguridad es un documento en el cual se dan instrucciones para minimizar un posible accidente durante el desarrollo de las prácticas de fundición en el Taller. Este manual incluye: recomendaciones de seguridad, uso de equipo de protección, acciones a no realizar durante la fundición, manipulación de materiales y sustancias peligrosas, manejo de desechos y acciones en caso de accidente o emergencias.

##### 4.9.2. *Objetivo*

Proveer de un documento que recopile normas, acciones y manejos de prevención en caso de ocasionar accidentes dentro de las prácticas de fundición en el Taller.

##### 4.9.3. *Responsabilidades*

###### 4.9.3.1. *Usuarios en general (Estudiantes, técnico docente)*

- Conocer el contenido del documento y cumplir con las recomendaciones de seguridad establecidas

- Informar al docente encargado sobre cualquier avería o condición irregular que produzca algún accidente.
- Seguir todas las normas dictadas por el docente técnico antes, durante y después de la ejecución de la práctica de fundición.

#### **4.9.4. Tipos de riesgos**

Existen varios tipos de riesgos, en el Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH se identifican los siguientes:

#### **4.9.5. Factores de riesgos físicos**

Contacto térmico, ocasionado por el contacto de la superficie interna del horno y el quemador durante su funcionamiento.

Incendio, provocado por el uso de diésel utilizado para la generación de llama del quemador.

#### **4.9.6. Factores de riesgos mecánicos**

- Atrapamientos, provocados por la tapa del horno y las paredes cilíndricas que provocan que la ropa se atasque.
- Caída al mismo nivel, provocado por derrame de material fundido o diésel.
- Caída de objetos en manipulación, provocado por el mal uso de las pinzas o herramientas de la fundición.

#### **4.9.7. Factores de riesgos químicos**

Expositivo de vapor y gases, provocados por la emisión por consecuencias de la quema del combustible diésel en el quemador del horno.

#### **4.9.8. Factores de riesgos ergonómicos**

- Posturas forzadas, provocadas por mala postura al momento del vertido del material fundido.
- Falta de espacio, provocadas por la falta de área en el taller de fundición y la mala distribución que posee para la práctica de fundición
- Exposición al calor, provocadas por alta radiación de temperatura que causa el horno.

#### **4.9.9. Normas de seguridad**

##### *4.9.9.1. Hábitos personales en el Taller de Fundición*

- Mantener el área de trabajo despejada de objetos en el suelo o en el aire.
- No trabajar solo, manejar el horno al menos entre 4 personas.
- Mantener los objetos lejos del perímetro de fundición.
- Seguir las instrucciones de operación y el manual de los equipos.
- Utilizar siempre los equipos de protección, se prohíbe trabajar con vestimenta alargada, pulseras o colgantes.
- De ninguna manera poner el equipo en marcha sin que el docente encargado anticipe el orden y aceptación del procedimiento.

#### **4.9.10. Manejo de material fundido**

El material identificado como sustancia peligrosa es el material fundido este se encuentra a una temperatura superior de 800 °C, este material es altamente peligroso por el estado de temperatura causando quemaduras de 1er hasta 3er grado. Para ello se recomienda hacer el uso adecuado de las herramientas de fundición; pinza de crisol y moldes.

#### **4.9.11. Acciones de respuestas en caso de emergencias**

##### *4.9.11.1. Respuestas en caso de quemaduras*

- Piel:
  - Lavar la zona afectada con abundante agua,
  - No intentar lavar la zona afectada con alguna otra sustancia.
  - Acudir al subcentro de salud más cercano o llamar a la línea de emergencia ECU911
- Ropa:
  - Retirar la ropa combustionada con cuidado de no desprender la piel en caso de que haya sobrepasado.
  - En caso de que esta se encuentre pegada al cuerpo solo enfrié la zona afectada con abundante agua
  - Acudir al subcentro de salud más cercano en caso de existir contacto con la piel.

#### *4.9.11.2. Respuesta en caso de incendios*

- Dar la voz de alerta para que todo el personal del taller pueda iniciar la retirada del área afectada
- Notificar por la línea de emergencia al ECU911.
- Escoger el tipo adecuado de extintor en función al tipo de fuego.
- Salir del área afectada y cerrar el acceso.

#### *4.9.11.3. Respuesta en caso de derrame de material peligroso*

- Dar la voz de alerta para que todo el personal del taller pueda iniciar la retirada del área afectada
- Abrir las ventanas para minimizar la concentración de gases producidos por el vertido del material fundido.
- Atender a las personas afectadas.
- Eliminar toda fuente que produzca una llamarada
- Salir del área afectada y cerrar el acceso.

Nota: Todo el personal antes de realizar la práctica de fundición debe tener conocimientos previos sobre los riesgos en la utilización de los equipos y las herramientas.

### **4.10. Plan de mantenimiento**

El horno de fundición necesita un mantenimiento básico, estas actividades y tareas las pueden desarrollar los usuarios sin ninguna complejidad. Las actividades a continuación mencionadas son tomadas desde los fabricantes de crisoles como las grandes industrias estadounidenses que fabrican horno de crisol estacionario.

Cabe mencionar que este plan de mantenimiento esta elaborado con una frecuencia de uso diario es decir en el taller de fundición se realizara una práctica por día, este plan está sujeto a cambio y modificaciones según el operario lo requiera. Este plan de mantenimiento tiene objetivo alargar la vida útil mayor a 3 años del crisol y los componentes eléctricos del quemador.

Para el mantenimiento del crisol se debe tener conociendo sobre el uso de grafito y la curación a temperaturas excesivamente elevadas para llenar las porosidades o pequeñas aberturas en este componente.

**Tabla 31-4:** Plan de mantenimiento del horno de fundición.

Mecanismo	Actividades	Diario	Semana	Mensua	Trimest	Semestr	Anual
Crisol	Inspección visual (Rupturas o desgastes). En caso de desgaste curar con grafito.			X			
Sistema de combustión	Verificar que no existan fugas de combustible.	X					
	Revisar la manguera de alimentación.					X	
	Cambio de filtro de combustible					X	
	Inspección de uniones y acoples	X					
	Limpieza de las tuberías del sistema.					X	
Cámara de combustión	Revisar que las paredes de ladrillo refractario no se encuentren agrietadas.			X			
	Revisar presencia de humedad dentro del horno	X					
	Verificar fugas de temperatura dentro del horno	X					
Conexión eléctrica	Inspección visual del cableado eléctrico	X					
	Verificar desgaste o ruptura de líneas de alimentación de energía	X					
Quemador	Inspeccionar el funcionamiento de electrodos.				X		
	Ejecutar una inspección del estado de las bujías				X		
	Limpieza de la carcasa del motor			X			
	Limpieza de la boca del quemador						X

Realizado por: Bayas, F. Loza, L.2022



## CONCLUSIONES

Se realizó el diseño y modelado del horno de crisol fijo mediante un software de diseño estructural, este software verificó el análisis de resistencia estática en la estructura metálica, demostrando la rigidez del soporte del horno asegurando que este soportara las cargas necesarias que componen al horno. Mediante el software de temperatura estacionaria se validó el comportamiento térmico del horno, donde se determina una temperatura superficial en la chapa metálica de  $140,09^{\circ}\text{C}$  cuando el horno alcance su temperatura máxima, demostrando que este análisis va acorde a los cálculos obtenidos de diseño.

La selección de las dimensiones del horno se determinó con relación a la masa, el tipo, la temperatura de fundición y el tiempo de operación, tamaño del crisol y la energía necesaria para el proceso de la fundición. Con todos estos parámetros se desarrollaron los cálculos de transferencia de calor que ayuda a la selección adecuada de los materiales para encontrar el mejor equilibrio y conductividad térmica.

Verificado y validado el modelado en CAD se construyó y ensambló el horno de crisol fijo para la fundición de aluminio que posee las características requeridas para fundir y modelar 2 placas con  $900\text{ cm}^3$  de material. Para ello se construyó un horno con una capacidad de 6 kg de aluminio que pueda operar a una temperatura de  $800^{\circ}\text{C}$ , el diámetro interno de la cámara de combustión es de 0,30m y su diámetro externo de 0,60 m, una altura incluyendo el soporte y la tapa de 0,79 m. Las pérdidas totales a través de las paredes son de 4098,19 kcal/h, el calor requerido por el horno es de 3182,24 kcal/h dando una potencia del quemador de 4,76 kW

Se obtuvo los datos de los diferentes termogramas que se realizaron cada 10 minutos dando como resultado un incremento en la temperatura en la chapa metálica de  $85,7^{\circ}\text{C}$ , mientras que al interior del horno a los 35 minutos ya alcanzó una temperatura de  $600^{\circ}\text{C}$  y el aluminio empezó su etapa de fusión.

Realizada las prácticas de fundición se determina que el aluminio se funde en un aproximado de 45 a 60min con un consumo de combustible de 2 galones por hora, los 6 kg de aluminio se vierten con facilidad para elaborar 2 placas del molde en arena verde y se obtiene un desperdicio de material (escoria) del 1%.

Se elaboró un manual de operación, seguridad y plan de mantenimiento que contiene información primordial sobre la operación y seguridad específica durante la práctica de fundición, de la misma

manera se detalló las tareas y actividades de mantenimiento sabiendo que este equipo no requiere de técnicos especializados para su correcta conservación. La correcta utilización y aplicación de los manuales precautela la integridad del horno como la de los usuarios.

## **RECOMENDACIONES**

Para la correcta construcción del horno se recomienda realizar una loseta que resista la fuerza y peso de las paredes, con el fin de no aplastar la manta refractaria de la base pues esta perdería las propiedades para las que fue fabricada.

Antes de iniciar con el proceso de la fundición se debe tomar en cuenta el proceso de calentado que requiere el horno es decir precalentar la cámara de combustión al menos unos 15 min antes de ingresar el material con esto se asegura eliminar humedad y evitar rupturas en las paredes del horno.

Mientras el horno se encuentra en operación es necesario mantener una distancia de al menos 0,5 metros para evitar la radiación de temperatura y quemaduras de primer grado con el contacto de la chapa metálica.

Revisar el nivel de combustible diésel en el filtro de combustible, si este se encuentra vacío se realizará un pequeño encendido del sistema, purgar y verificar el paso del mismo y proceder al encendido inmediato. Si el filtro se encuentra con combustible no es necesario realizar este procedimiento.

Para que las paredes de la cámara de combustión tengan mayor durabilidad se recomienda recubrir de concreto refractario utilizado para la construcción cada cierto tiempo o cuando el usuario vea desgaste de la pared. Evitar utilizar el horno por largos periodos de tiempo pues esto acorta la vida útil del ladrillo.

Verificar la tensión en la caja de distribución y la fuente de alimentación con el fin de comprobar que posean un voltaje de 110 V para no averiar los equipos eléctricos (controlador) del quemador y evitar el fallo del equipo.

La temperatura interna del horno no deberá superar los 1100°C, si esta es excedida se puede poner en riesgo los elementos principales del horno (concreto, ladrillos y mortero), el exceso de temperatura afecta a las propiedades, características y estructura de los materiales.

Para un mejor funcionamiento del horno se necesita automatizar con el fin de controlar el paso de combustible, corriente, aire, controlar los niveles de temperatura dentro y fuera del horno con esto no se expone el horno a una temperatura que pueda afectar sus componentes.

Una vez realizado el diagnóstico técnico en cualquier equipo, al detectar una falla se debe realizar un Análisis Causa Raíz (ACR) para identificar la solución definitiva.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALIAGA SUÑAGUA, Luis Adolfo & CISNEROS ESPINOZA, Víctor Hugo.** Diseño de un horno de fundición para la Empresa Ser-Tec. [En línea] (Proyecto de grado). Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Tecnología, Carrera de electromecánica, La Paz, Bolivia. 2018. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18779/PG-2125.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**ÁLVAREZ CORNEJO, Juan. José. & QUIMÍ BORBOR, Danny. Geovanny.** Diseño de un horno para fundición para el laboratorio de Procesos de Manufactura. [En línea] (Proyecto integrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería y Ciencia de la Producción, Ingeniería Mecánica, Guayaquil, Ecuador. 2020. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/50343/1/D-109670%20-%20J.%20Álvarez%20y%20D.%20Quimí.pdf>

**BONE MALDONADO, Jorge Andres & CRESPO ALVEAR, David Ramiro.** Diseño y construcción de un horno basculante manual para la fundición de materiales no ferrosos de capacidad hasta 150kg para el laboratorio de ciencias de materiales de la Escuela Politécnica del Ejército. [En línea] (Tesis grado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador. 2015. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10418/1/T-ESPE-048865.pdf>

**CORONEL SUBÍA, Mario Andrés & SANGUCHO SIMBA, Alex Santiago.** Diseño e implementación de un horno basculante para fundir aluminio [En línea] (Proyecto de titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), Latacunga, Ecuador. 2019. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5502/1/PI-001416.pdf>

**ESCOBAR RUIZ, Miguel Alejandro.** Modelación y simulación del proceso de fundición para el zinc y aluminio. [En línea] (Proyecto de Investigación) (Maestría). Universidad Técnica de Cotopaxi: UTC. Dirección de Posgrado, Maestría en electromecánica, Latacunga, Ecuador. 2021. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8196/1/MUTC-001096.pdf>

**MESTANZA BARRAGÁN, Diego Fernando & LARA VILLEGAS, Viviana Patricia.** Diseño y Construcción de un Horno de Combustión Industrial para Fundir Aluminio [En línea] (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Ingeniería Química, Riobamba, Ecuador. 2012. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1974/1/96T00153.pdf>

**RAMÍREZ-GONZÁLEZ, Hillary Fabiola.** Diseño de horno de fundición y del proceso semiautomático de la fabricación de calibradores de aluminio, en la empresa Equipos El Prado SA. [En línea] (Proyecto de grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Cartago, Costa Rica. 2020. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11491>

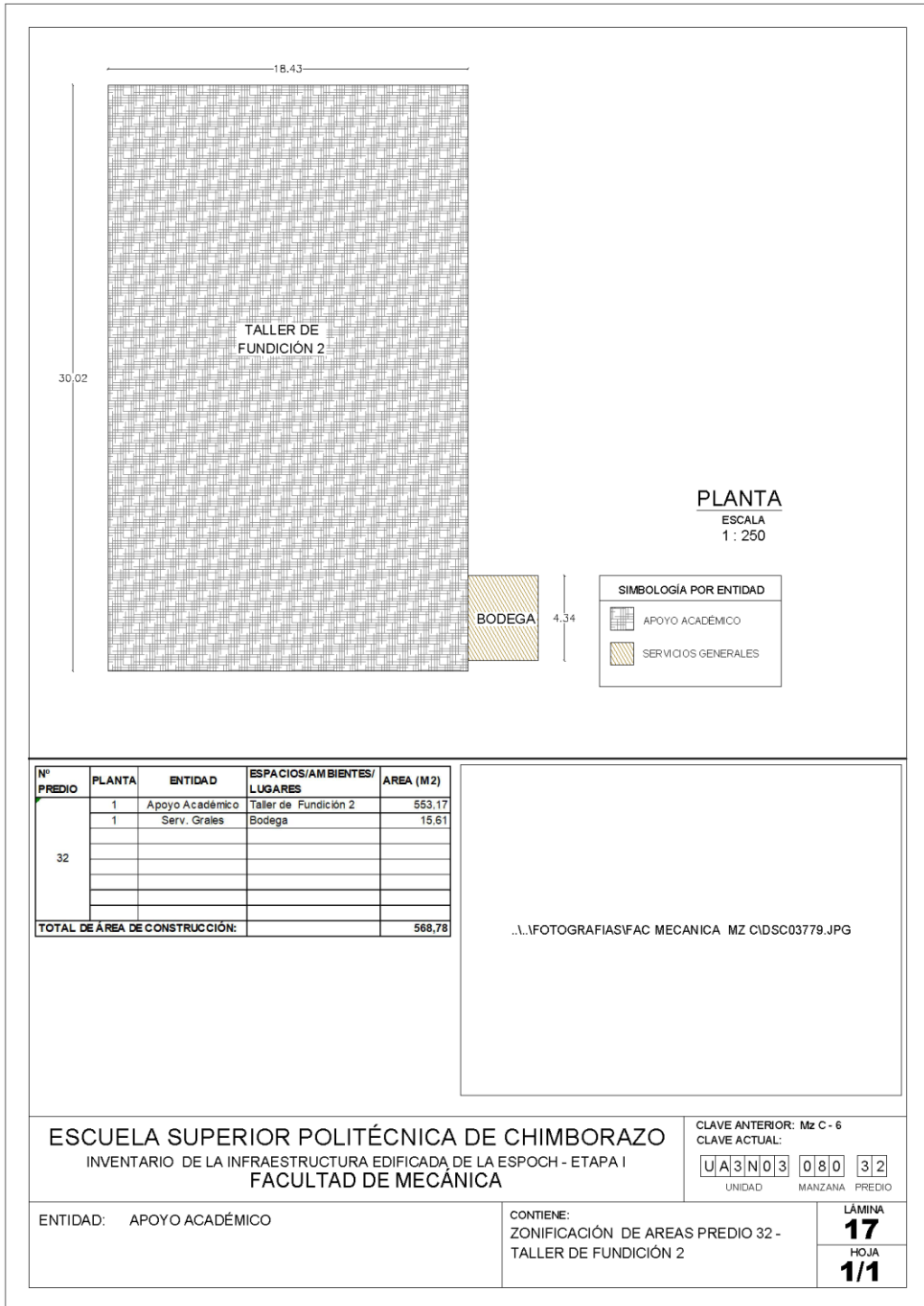
**SUÁREZ INFANTE, Estefany Jhoanna.** Diseño de un horno de inducción para fundición de aluminio. [En línea] (Proyecto Integral de Grado). Fundación Universidad de América, Facultad de ingeniería, Programa de Ingeniería Mecánica, Bogotá, Colombia. 2019. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7549/1/4101262-2019-2-IM.pdf>

**VEGA CARDENAL, Edison Javier.** Diseño y construcción de horno basculante a gas, para fundición de metales blandos. [En línea] (Trabajo de grado académico). Universidad Santo Tomas, Facultad de Arquitectura e Ingenierías, Ingeniería Mecánica, Tunja, Colombia. 2021. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/37775/2021edisonvega.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

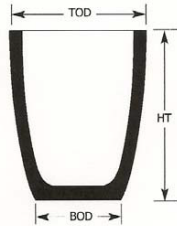
**VILLANUEVA HERNÁNDEZ, Néstor David.** Prototipo de un horno crisol para fundir Aluminio, Latón y Cobre utilizando GLP. [En línea] (Trabajo de graduación). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, escuela de ingeniería Mecánica, Ciudad de Guatemala, Guatemala. 2021. [Consulta: 2022-04-07]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/16668/>

# ANEXOS

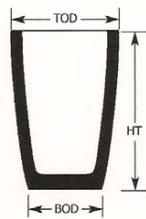
## ANEXO A: PLANOS DEL TALLER DE FUNDICIÓN



## ANEXO B: CATÁLOGO DE CRISOL SALAMANDER



\* AGF 1 até AGF150 são fornecidos com pequeno bico  
\* Capacidade aproximada em litros



Descrição	FORMATO A	HT	TOD	BOD	Bronze	Alumínio	Volume
		(mm)	(mm)	(mm)	Kg	Kg	
A&0080H0095&-SGF	AGF 1	95	80	55	0,8	0,2	0,1
A&0105H0110&-SGF	AGF 2	110	105	80	1,5	0,5	0,2
A&0105H0140&-SGF	AGF 3	140	105	80	3,0	1,0	0,4
A&0125H0145&-SGF	AGF 4	145	125	85	3,8	1,2	0,5
A&0125H0155&-SGF	AGF 5	155	125	85	5,3	1,7	0,7
A&0140H0170&-SGF	AGF 6	170	140	100	6,0	1,9	0,8
A&0140H0185&-SGF	AGF 8	185	140	100	6,8	2,2	0,9
A&0170H0200&-SGF	AGF 10	200	170	120	9,8	3,1	1,3
A&0170H0230&-SGF	AGF 13	230	170	120	12,0	3,8	1,6
A&0200H0235&-SGF	AGF 16	235	200	140	16,5	5,3	2,2
A&0200H0250&-SGF	AGF 20	250	200	140	18,8	6,0	2,5
A&0225H0250&-SGF	AGF 25	250	225	155	26,3	8,4	3,5
A&0230H0300&-SGF	AGF 30	300	230	155	34,5	11	4,6
A&0260H0320&-SGF	AGF 40	320	260	175	52,5	17	7,0
A&0260H0350&-SGF	AGF 50	350	260	175	60,0	19	8,0
A&0290H0360&-SGF	AGF 60	360	290	200	75,0	24	10
A&0290H0385&-SGF	AGF 70	385	290	200	82,5	26	11
A&0325H0390&-SGF	AGF 80	390	325	230	105,0	34	14
A&0330H0425&-SGF	AGF 100	425	330	235	120,0	38	16
A&0355H0430&-SGF	AGF 120	430	355	250	165,0	53	22
A&0360H0490&-SGF	AGF 150	490	360	250	187,5	60	25
A&0420H0520&-SGF	AGF 200	520	420	290	255,0	82	34
A&0420H0590&-SGF	AGF 250	590	420	290	300,0	96	40
A&0455H0580&-SGF	AGF 300	580	455	325	352,5	113	47
A&0510H0665&-SGF	AGF 400	665	510	295	457,5	146	61
A&0540H0670&-SGF	AGF 500	670	540	340	525,0	168	70
A&0540H0730&-SGF	AGF 600	730	540	330	600,0	192	80
A&0545H0835&-SGF	AGF 800	835	545	330	705,0	226	94
A&0615H0840&-SGF	AGF 1000	840	615	425	997,5	319	133
Descrição	FORMATO C	HT	TOD	BOD	Bronze	Alumínio	Volume
		(mm)	(mm)	(mm)	Kg	Kg	
C&0380H0620&-SGF	CGF 200	620	380	260	262,5	84	35
C&0435H0680&-SGF	CGF 300	680	435	290	352,5	112,8	47
C&0440H0800&-SGF	CGF 400	800	440	290	510,0	163,2	68
C&0440H0940&-SGF	CGF 500	940	440	290	562,5	180	75
C&0560H0980&-SGF	CGF 800	980	560	360	937,5	300	125

Todas as dimensões estão sujeitas as tolerâncias normais de fabricação. Morgan MMS reserva-se o direito de alterar quaisquer detalhes e especificações sem aviso prévio. Não nos responsabilizamos por erros de impressão



## ANEXO C: DATASHEET DEL LADRILLO REFRACTARIO

	<b>HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	Código:	LRSSC-15
		Versión:	01
	LADRILLO REFRACTARIO TIPO ARCO	Fecha:	05/05/2022
		Página:	1 - 1

### LADRILLO REFRACTARIO TIPO ARCO

Clase : Silico - Aluminoso

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un producto refractario preformado, de forma cónica, a base de arcillas naturales y chamotas de alto punto de fusión, brindándole alto nivel de refractariedad y expansión térmica, que lo hace compatible para soportar acciones mecánicas presentes en la operación.

#### USOS Y APLICACIONES

Usados mundialmente en la construcción y mantenimiento de hornos de la industria metalúrgica, principalmente no ferrosos, aunque son utilizados en también en ferrosos de acuerdo a las zonas a exponer, de alimentación, en industrias no metálicas como cerámica, cemento, vidrio, ladrilleras, etc., para la industria petroquímica, textil, papel, jabón, colorantes y otras aplicaciones como chimeneas, todo tipo de calderas, incineradores, etc.

#### PROPIEDADES GENERALES

##### • QUÍMICAS

- Oxido de Aluminio.	%	:	37 - 42
- Dióxido Silicio	%	:	55 - 60
- Oxido Férrico	%	:	1.5 - 1.8
- Alcalis, máx.	%	:	2.0

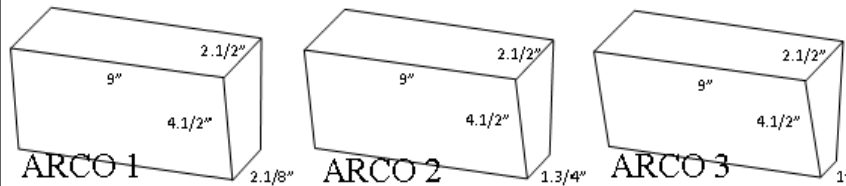
##### • FÍSICA

- Cono pirométrico equivalente	:	28 - 30
- Densidad absoluta	:	2.0 - 2.2 gr/cm <sup>3</sup>
- Porosidad aparente	:	18 - 21 %
- Módulo rotura a la flexión, min.	:	80 Kg/cm <sup>2</sup>
- Tolerancia dimensional.	:	± 2.0 %
- Temperatura de trabajo	:	1350 C°
- Temperatura max. de operación	:	1500 C°
- Calor específico. Cal/gr.	:	
a 100°C	:	0.198
a 1,500.°C	:	0.298

FIGURA 06

FIGURA 07

FIGURA 08



## ANEXO D: DATASHEET DE LA MANTA TÉRMICA REFRACTARIA



**Indusdeal S.A.**

Asesores e Importadores de Materiales Industriales

### Información Técnica:

**Rango de temperatura:** 1260°C  
**Temp de Operación(°C):** 1050°C  
**Densidad (kg/m3):** 96 / 128 kg/m3

#### Cambio permanente por calentamiento (%), EN1094-1 After 24 hours

@950°C	-
@1000°C	1.5
@1100°C	2.5
@1200°C	3
@1300°C	-
@1400°C	-

#### Fuerza de tensión (Kg/m3), EN1094-1 KPa

96kg/m3	50
128kg/m3	70

#### Conductividad térmica Co-eficiente W/(m·k)(128kg/m3)

##### Temperatura

@200°C	0.07
@400°C	0.12
@600°C	0.2
@800°C	0.3
@1000°C	0.45

#### Composición Química de la Manta de Cermica (%)

Al2O3	45-46
Al2O3+SiO2	≥98
ZrO2	-
Al2O3+SiO2+ZrO2	-
Fe2O3	≤0.8
Na2O+K2O	≤0.3
CaO+MgO	≤0.1

Espesor	Densidad kg/m3		Longitud	Ancho
mm	96	128	mm	mm
25	√	√	7200	600



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



04 292 - 2828



[ventas@indusdealsa.com](mailto:ventas@indusdealsa.com)



Urdenor 1 Mz 125 SI 8

## ANEXO E: DATASHEET MORTERO REFRACTARIO

**GAMMA**

**ERECOS®**

**CORONA**  
**Negocio de Energía**  
 Carrera 49 No. 67 Sur 680  
 Sabaneta, Colombia - 055450  
 Teléfono: [574] 305 8000  
 ventas@erecos.com  
 Nit: 890.900.121-4

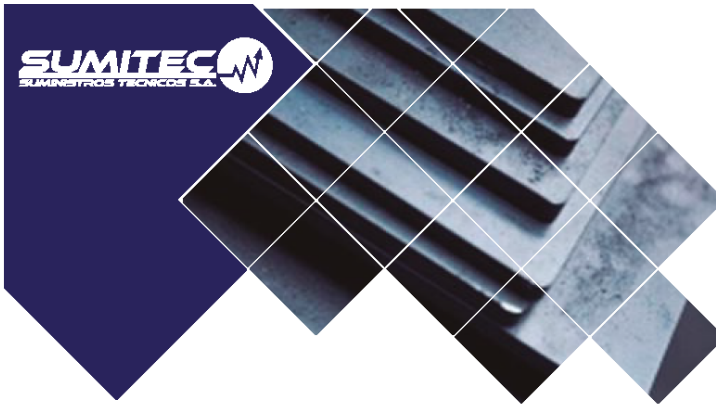
### Morteros refractarios

Los morteros refractarios se utilizan para pegar ladrillos refractarios y/o aislantes entre sí, a la estructura de los equipos, o a revestimientos refractarios y/o aislantes previamente instalados.

AEROFRAX	Propiedades	Aplicaciones
Clasificación NTC - 765, NTC - 851	High Duty	Mortero refractario silico-aluminoso húmedo de fraguado al aire para usar en mamposterías refractarias. Se recomienda para pegar ladrillos refractarios densos ERCLAY LT, U-30, U-32, U-33 y ER-40, y para pegar ladrillos aislantes ER-IFB 2000 y ER-IFB 2300. Se requiere adicionar agua limpia al producto en la proporción descrita sólo para aplicación por inmersión del ladrillo, y permitir fraguado al ambiente para desarrollar las propiedades del mortero siguiendo las instrucciones de aplicación.
Tipo	Húmedo de fraguado al aire	
<b>ANÁLISIS QUÍMICO (%)</b>		
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43.9	
SiO <sub>2</sub>	50.3	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.1	
TiO <sub>2</sub>	1.8	
CaO	0.3	
MgO	0.5	
Alcalis	2.1	
CPE	29.0	
Temperatura equivalente (°C) NTC-706, ASTM C-24	1659	
Refractariedad (el mortero no fluye a la junta)°C NTC-861, ASTM C-199	1500	
Tamaño máximo del grano (mm)	0.6	
<b>AGUA DE PREPARACIÓN ml por kg DE MORTERO</b>		
Para aplicar con palustre	Como se entrega	
Para aplicar por inmersión	60	
<b>kg DE MORTERO REQUERIDO PARA PEGAR 1000 LADRILLOS DE 9x4 1/2 x 2 1/2</b>		
Con palustre	180	
Por inmersión	160	
Presentación	Tambor 35Kg	

Las propiedades descritas en este documento se basan en los resultados promedio de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial utilizando los procedimientos descritos en las normas ICONTEC y ASTM donde ellas sean aplicables, y no deben emplearse para efecto de especificaciones garantizadas. Pueden presentarse variaciones de los resultados dependiendo del tamaño, forma o proceso de fabricación.

## ANEXO F: ACERO ASTM A36



### ACERO ESTRUCTURAL ACERO ASTM A36



**1. Descripción:** Acero al carbono estructural conocido como hierro negro, de calidad estructural para el uso en puentes y edificaciones remachadas, atomilladas o soldadas.

**2. Normas involucradas:** ASTM A 36/A 36M- 04

**3. Propiedades mecánicas:** Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 MPa (36300 PSI)  
Esfuerzo a la tensión: 400 – 550 MPa (58000 – 79800 PSI)  
Elongación mínima en 50 mm (2"): 23%  
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

**4. Propiedades físicas:** Densidad 7.85 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

**5. Propiedades químicas:** 0.25 – 0.29 % C  
0.60 – 1.20 % Mn  
0.15 – 0.40 % Si  
0.04 % P máx  
0.05 % S máx

**6. Usos:** Para componentes estructurales en general.

**7. Tratamientos térmicos:** Usualmente a este material no se le da tratamiento térmico debido a que son parte estructural. Puede ser cementado para aumentar la dureza superficial mientras mantiene su núcleo tenaz.

**NOTA:**

*Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumpla el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.*

(506) 2591-7514 

(506) 2551- 4169 


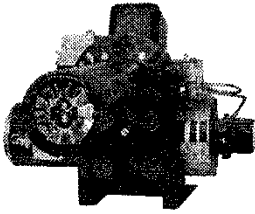



info.clientes@sumiteccr.com 



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

**SUMITEC**   
SUMINISTROS TÉCNICOS S.A.

ANEXO G: DATASHEET QUEMADOR CARLIN MODELO 41000

 <p><b>WAYNE</b> Combustion Systems A Suntec Company</p> <p>801 GLASGOW AVE. FORT WAYNE, IN 46803</p>	<h2 style="margin: 0;">MODEL FH OIL BURNERS</h2> <p>Manual 21827-001 Publication Date 12/28/2010    Revision 8</p>	
<div style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black; padding-bottom: 5px;">  <span style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">WARNING</span> </div> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.1em;">ELECTRIC SHOCK HAZARD</p> <p>HIGH VOLTAGES ARE PRESENT IN THIS EQUIPMENT. FOLLOW THESE RULES TO AVOID ELECTRIC SHOCK.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Use only a properly grounded circuit. A ground fault interrupter is recommended.</li> <li>▲ Do not spray water directly on burner.</li> <li>▲ Turn off power before servicing.</li> <li>▲ Read the owner's manual before using.</li> </ul>	<div style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black; padding-bottom: 5px;">  <span style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">WARNING</span> </div> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.1em;">OVERHEATING HAZARD</p> <p>SHOULD OVERHEATING OCCUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Shut off the manual oil valve to the appliance.</li> <li>▲ Do not shut off the control switch to the pump or blower.</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black; padding-bottom: 5px;">  <span style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">WARNING</span> </div> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.1em;">NEVER ATTEMPT TO USE GASOLINE AS A FUEL FOR THIS BURNER, AS IT IS MORE COMBUSTIBLE AND COULD RESULT IN A SERIOUS EXPLOSION.</p> </div>	
<h1 style="margin: 0;">SPECIFICATIONS</h1>		<p style="font-weight: bold; font-size: 1.1em; margin: 0;">FOR YOUR SAFETY</p> <p style="font-size: 0.8em; margin: 0;">DO NOT STORE OR USE GASOLINE OR OTHER FLAMMABLE VAPORS AND LIQUIDS IN THE VICINITY OF THIS OR ANY OTHER APPLIANCE.</p>

**FUELS**

- Use No. 1 or No. 2 heating oil (ASTM D-396) only.
- \* NEVER burn garbage or refuse in the heating unit.
  - \* NEVER try to ignite oil by tossing burning paper or other material into the heating unit
  - \* NEVER burn waste or crankcase oil in the heating unit.

**FIRING CAPACITIES - MODEL FH**

4.00 to 13.00 GALLONS PER HOUR  
560,000 TO 1,820,000 BTU/HR INPUT

**DIMENSIONS (STANDARD)**

HEIGHT.....16"  
WIDTH.....22 1/2"  
DEPTH.....12"  
CENTER LINE  
OF TUBE TO FLOOR.....9 1/2"

**FUEL UNIT**

Suntec

**MOUNTING**

Adjustable Flange or Base Mount

**ELECTRICAL**

Power Supply .....115V / 60HZ / 1 PH  
Motor .....3450 RPM, N.E.M.A. Flange, Manual Reset Overload Protection  
Ignition.....10,000V / 23MA secondary, Continuous Duty-Shielded Interrupted

**INSTALLATION OF BURNER**

INSTALLATION OF THE BURNER MUST BE DONE BY A QUALIFIED INSTALLER IN ACCORDANCE WITH REGULATIONS OF THE NATIONAL FIRE PROTECTION STANDARD FOR OIL-BURNING EQUIPMENT, NFPA NO. 31, AND IN COMPLETE ACCORDANCE WITH ALL LOCAL CODES AND AUTHORITIES HAVING JURISDICTION. A QUALIFIED INSTALLER IS THE PERSON WHO IS RESPONSIBLE FOR THE INSTALLATION AND ADJUSTMENT OF THE EQUIPMENT AND WHO IS LICENSED TO INSTALL OIL-BURNING EQUIPMENT IN ACCORDANCE WITH ALL CODES AND ORDINANCES.

THESE INSTRUCTIONS SHOULD BE AFFIXED TO THE BURNER  
OR ADJACENT TO THE HEATING APPLIANCE.

**ANEXO H: INEN 607 LADRILLO REFRACTARIO**

CDU: 666.76



CO 02.07-402

Norma Técnica Ecuatoriana	<b>MATERIALES REFRACTARIOS. FORMAS Y DIMENSIONES RECOMENDADAS DE LADRILLOS Y PIEZAS DE CARAS PLANAS</b>	<b>INEN 607 1981-05</b>											
<b>1. OBJETO</b>													
<p>1.1 Esta norma establece las formas y dimensiones de los ladrillos y piezas refractarias de caras planas, frecuentemente utilizados en la construcción de las diferentes partes estructurales de hornos industriales, hogares de calderas, incineradores, conductos, etc.</p>													
<b>2. DEFINICIONES</b>													
<p>2.1 <b>Ladrillo normal o fundamental.</b> Para los efectos de esta norma, es el ladrillo prismático-rectangular, tomado como de dimensiones unitarias y normalizadas, cuya fabricación exige el mínimo de modificaciones en los métodos actuales de producción y utilización.</p>													
<p>2.2 <b>Ladrillos prismáticos-rectangulares.</b> Para los efectos de esta norma, son ladrillos prismáticos-rectangulares de dimensiones diferentes al de formato normal o fundamental.</p>													
<p>2.3 <b>Ladrillos o piezas prismáticas especiales.</b> Para los efectos de esta norma, son los ladrillos o piezas prismáticas de caras planas, en las cuales una o más caras forman, con sus adyacentes, ángulos no rectos, de formas y dimensiones normalizadas, y que se emplean generalmente en la construcción de arcos, bóvedas y cúpulas de los diferentes tipos de hornos industriales.</p>													
<b>3. REQUISITOS</b>													
<p>3.1 <b>Designación INEN.</b></p>													
<p>3.1.1 <i>Ladrillo normal o fundamental.</i> Se sujetará a las dimensiones y tolerancias que se indican en la Tabla 1.</p>													
<b>TABLA 1. Ladrillo. Refractario</b>													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="text-align: center;">Formato normal o fundamental (mm)</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">Dimensiones y tolerancias (mm)</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">a (largo)</th> <th style="text-align: center;">c (ancho)</th> <th style="text-align: center;">e (espesor)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">229 x 114 x 63</td> <td style="text-align: center;">229 ± 5</td> <td style="text-align: center;">114 ± 3</td> <td style="text-align: center;">63 ± 2</td> </tr> </tbody> </table>			Formato normal o fundamental (mm)	Dimensiones y tolerancias (mm)			a (largo)	c (ancho)	e (espesor)	229 x 114 x 63	229 ± 5	114 ± 3	63 ± 2
Formato normal o fundamental (mm)	Dimensiones y tolerancias (mm)												
	a (largo)	c (ancho)	e (espesor)										
229 x 114 x 63	229 ± 5	114 ± 3	63 ± 2										
<p>3.1.2 <i>Ladrillos prismáticos-rectangulares.</i> Con una o más de sus dimensiones diferentes a las del ladrillo normal, recibirán la denominación de ladrillo recto, tejuela y jabón.</p>													
<p>3.1.3 <i>Ladrillo recto.</i> Tendrá una o más de sus dimensiones diferentes a las del ladrillo normal y se sujetará a las dimensiones y tolerancias de los tipos que se indican en la Tabla 2.</p>													
<p>(Continúa)</p>													

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno ES-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

ANEXO I: PROPIEDADES DEL AIRE EN CONDICIONES NORMALES

TABLA A-151

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{F}$	Densidad, $\rho, \text{lbm/ft}^3$	Calor específico, $c_p, \text{Btu/lbm} \cdot \text{R}$	Conductividad térmica, $k, \text{Btu/h} \cdot \text{ft} \cdot \text{R}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{ft}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{lbm/ft} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{ft}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-300	0.24844	0.5072	0.00508	$1.119 \times 10^{-5}$	$4.039 \times 10^{-6}$	$1.625 \times 10^{-5}$	1.4501
-200	0.15276	0.2247	0.00778	$6.294 \times 10^{-5}$	$6.772 \times 10^{-6}$	$4.433 \times 10^{-5}$	0.7042
-100	0.11029	0.2360	0.01037	$1.106 \times 10^{-4}$	$9.042 \times 10^{-6}$	$8.197 \times 10^{-5}$	0.7404
-50	0.09683	0.2389	0.01164	$1.397 \times 10^{-4}$	$1.006 \times 10^{-5}$	$1.039 \times 10^{-4}$	0.7439
0	0.08630	0.2401	0.01288	$1.726 \times 10^{-4}$	$1.102 \times 10^{-5}$	$1.278 \times 10^{-4}$	0.7403
10	0.08446	0.2402	0.01312	$1.797 \times 10^{-4}$	$1.121 \times 10^{-5}$	$1.328 \times 10^{-4}$	0.7391
20	0.08270	0.2403	0.01336	$1.868 \times 10^{-4}$	$1.140 \times 10^{-5}$	$1.379 \times 10^{-4}$	0.7378
30	0.08101	0.2403	0.01361	$1.942 \times 10^{-4}$	$1.158 \times 10^{-5}$	$1.430 \times 10^{-4}$	0.7365
40	0.07939	0.2404	0.01385	$2.016 \times 10^{-4}$	$1.176 \times 10^{-5}$	$1.482 \times 10^{-4}$	0.7350
50	0.07783	0.2404	0.01409	$2.092 \times 10^{-4}$	$1.194 \times 10^{-5}$	$1.535 \times 10^{-4}$	0.7336
60	0.07633	0.2404	0.01433	$2.169 \times 10^{-4}$	$1.212 \times 10^{-5}$	$1.588 \times 10^{-4}$	0.7321
70	0.07489	0.2404	0.01457	$2.248 \times 10^{-4}$	$1.230 \times 10^{-5}$	$1.643 \times 10^{-4}$	0.7306
80	0.07350	0.2404	0.01481	$2.328 \times 10^{-4}$	$1.247 \times 10^{-5}$	$1.697 \times 10^{-4}$	0.7290
90	0.07217	0.2404	0.01505	$2.409 \times 10^{-4}$	$1.265 \times 10^{-5}$	$1.753 \times 10^{-4}$	0.7275
100	0.07088	0.2405	0.01529	$2.491 \times 10^{-4}$	$1.281 \times 10^{-5}$	$1.809 \times 10^{-4}$	0.7260
110	0.06963	0.2405	0.01552	$2.575 \times 10^{-4}$	$1.299 \times 10^{-5}$	$1.866 \times 10^{-4}$	0.7245
120	0.06843	0.2405	0.01576	$2.660 \times 10^{-4}$	$1.316 \times 10^{-5}$	$1.923 \times 10^{-4}$	0.7230
130	0.06727	0.2405	0.01599	$2.746 \times 10^{-4}$	$1.332 \times 10^{-5}$	$1.981 \times 10^{-4}$	0.7216
140	0.06615	0.2406	0.01623	$2.833 \times 10^{-4}$	$1.349 \times 10^{-5}$	$2.040 \times 10^{-4}$	0.7202
150	0.06507	0.2406	0.01646	$2.921 \times 10^{-4}$	$1.365 \times 10^{-5}$	$2.099 \times 10^{-4}$	0.7188
160	0.06402	0.2406	0.01669	$3.010 \times 10^{-4}$	$1.382 \times 10^{-5}$	$2.159 \times 10^{-4}$	0.7174
170	0.06300	0.2407	0.01692	$3.100 \times 10^{-4}$	$1.398 \times 10^{-5}$	$2.220 \times 10^{-4}$	0.7161
180	0.06201	0.2408	0.01715	$3.191 \times 10^{-4}$	$1.414 \times 10^{-5}$	$2.281 \times 10^{-4}$	0.7148
190	0.06106	0.2408	0.01738	$3.284 \times 10^{-4}$	$1.430 \times 10^{-5}$	$2.343 \times 10^{-4}$	0.7136
200	0.06013	0.2409	0.01761	$3.377 \times 10^{-4}$	$1.446 \times 10^{-5}$	$2.406 \times 10^{-4}$	0.7124
250	0.05590	0.2415	0.01874	$3.857 \times 10^{-4}$	$1.524 \times 10^{-5}$	$2.727 \times 10^{-4}$	0.7071
300	0.05222	0.2423	0.01985	$4.358 \times 10^{-4}$	$1.599 \times 10^{-5}$	$3.063 \times 10^{-4}$	0.7028
350	0.04899	0.2433	0.02094	$4.879 \times 10^{-4}$	$1.672 \times 10^{-5}$	$3.413 \times 10^{-4}$	0.6995
400	0.04614	0.2445	0.02200	$5.419 \times 10^{-4}$	$1.743 \times 10^{-5}$	$3.777 \times 10^{-4}$	0.6971
450	0.04361	0.2458	0.02305	$5.974 \times 10^{-4}$	$1.812 \times 10^{-5}$	$4.154 \times 10^{-4}$	0.6953
500	0.04134	0.2472	0.02408	$6.546 \times 10^{-4}$	$1.878 \times 10^{-5}$	$4.544 \times 10^{-4}$	0.6942
600	0.03743	0.2503	0.02608	$7.732 \times 10^{-4}$	$2.007 \times 10^{-5}$	$5.361 \times 10^{-4}$	0.6934
700	0.03421	0.2535	0.02800	$8.970 \times 10^{-4}$	$2.129 \times 10^{-5}$	$6.225 \times 10^{-4}$	0.6940
800	0.03149	0.2568	0.02986	$1.025 \times 10^{-3}$	$2.247 \times 10^{-5}$	$7.134 \times 10^{-4}$	0.6956
900	0.02917	0.2599	0.03164	$1.158 \times 10^{-3}$	$2.359 \times 10^{-5}$	$8.087 \times 10^{-4}$	0.6978
1 000	0.02718	0.2630	0.03336	$1.296 \times 10^{-3}$	$2.467 \times 10^{-5}$	$9.080 \times 10^{-4}$	0.7004
1 500	0.02024	0.2761	0.04106	$2.041 \times 10^{-3}$	$2.957 \times 10^{-5}$	$1.460 \times 10^{-3}$	0.7158
2 000	0.01613	0.2855	0.04752	$2.867 \times 10^{-3}$	$3.379 \times 10^{-5}$	$2.095 \times 10^{-3}$	0.7308
2 500	0.01340	0.2922	0.05309	$3.765 \times 10^{-3}$	$3.750 \times 10^{-5}$	$2.798 \times 10^{-3}$	0.7432
3 000	0.01147	0.2972	0.05811	$4.737 \times 10^{-3}$	$4.082 \times 10^{-5}$	$3.560 \times 10^{-3}$	0.7516
3 500	0.01002	0.3010	0.06293	$5.797 \times 10^{-3}$	$4.381 \times 10^{-5}$	$4.373 \times 10^{-3}$	0.7543
4 000	0.00889	0.3040	0.06789	$6.975 \times 10^{-3}$	$4.651 \times 10^{-5}$	$5.229 \times 10^{-3}$	0.7497

Nota: Para los gases ideales, las propiedades  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de  $\rho$ , a la temperatura dada por  $P$  y al dividir  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$ .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y *Thermophysical Properties of Matter*, Vol. 3: *Thermal Conductivity*, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: *Viscosity*, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermann, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

## ANEXO J: PROPIEDADES DEL GRAFITO

**TABLA A-3**

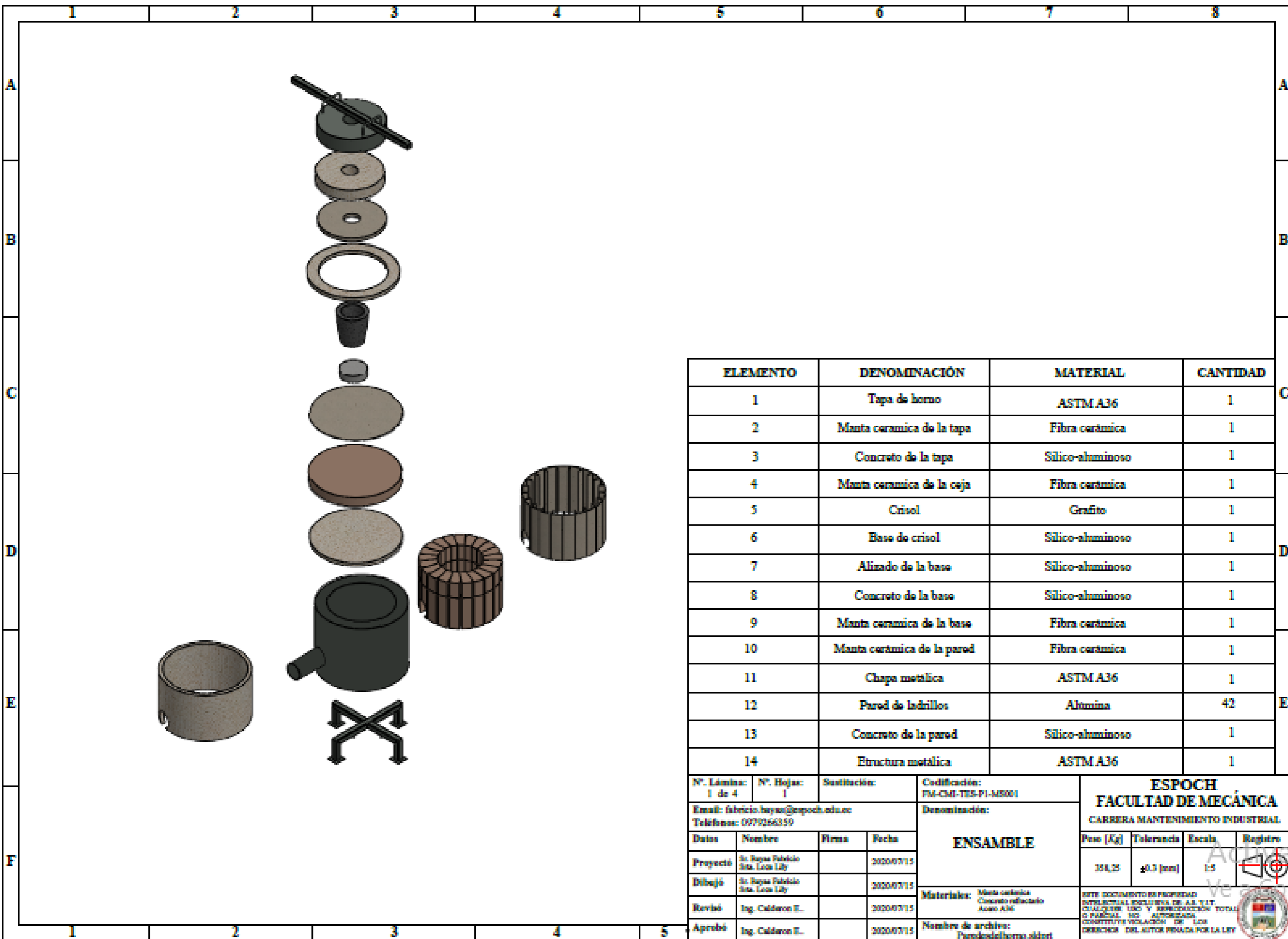
Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes (*conclusión*)

b) Sólidos (los valores son para temperatura ambiente, excepto que se indique otra cosa)

Sustancia	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ kJ/kg · K	Sustancia	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ kJ/kg · K
<b>Metales</b>			<b>No metales</b>		
Acero dulce	7 830	0.500	Arena	1 520	0.800
Aluminio			Arcilla	1 000	0.920
200 K		0.797	Asfalto	2 110	0.920
250 K		0.859	Caucho (blando)	1 100	1.840
300 K	2 700	0.902	Caucho (duro)	1 150	2.009
350 K		0.929	Concreto	2 300	0.653
400 K		0.949	Diamante	2 420	0.616
450 K		0.973	Grafito	2 500	0.711
500 K		0.997	Granito	2 700	1.017
Bronce (76% Cu, 2% Zn, 2% Al)	8 280	0.400	Hielo		
Cobre			200 K		1.56
-173 °C		0.254	220 K		1.71
-100 °C		0.342	240 K		1.86
-50 °C		0.367	260 K		2.01
0 °C		0.381	273 K	921	2.11
27 °C	8 ,900	0.386	Ladrillo común	1 922	0.79
100 °C		0.393	Ladrillo refractario (500 °C)	2 300	0.960
200 °C		0.403	Madera contrachapada (abeto Douglas)	545	1.21
Hierro	7 840	0.45	Maderas duras (maple, encino, etc.)	721	1.26
Latón amarillo (65% Cu, 35% Zn)	8 310	0.400	Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	513	1.38
Magnesio	1 730	1.000	Mármol	2 600	0.880
Níquel	8 890	0.440	Piedra	1 500	0.800
Plata	10 470	0.235	Piedra caliza	1 650	0.909
Plomo	11 310	0.128	Vidrio para ventanas	2 700	0.800
Tungsteno	19 400	0.130	Vidrio pirex	2 230	0.840
			Yeso o tabla de yeso	800	1.0



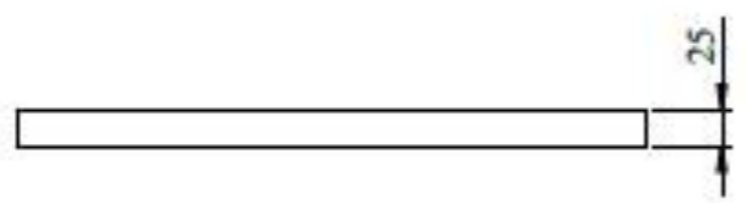
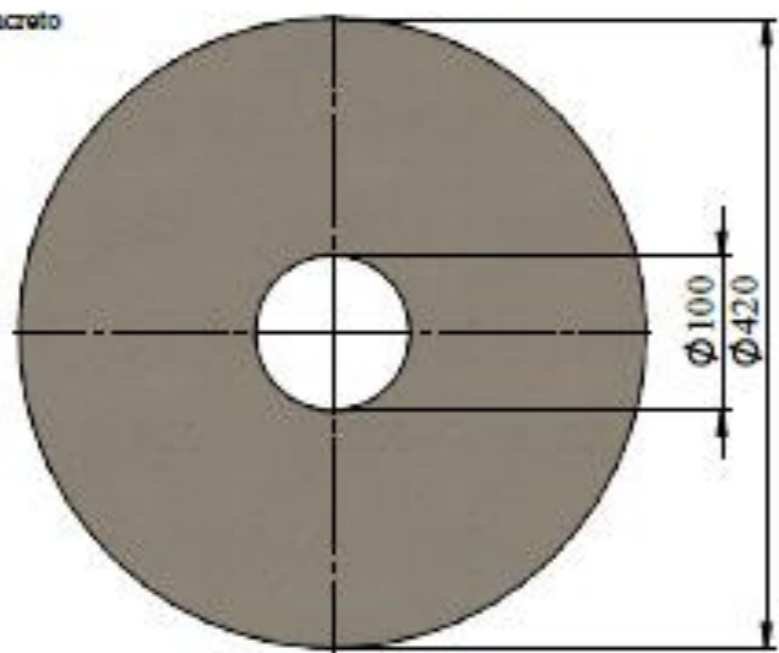
**ANEXO K: PLANOS DEL HORNO**



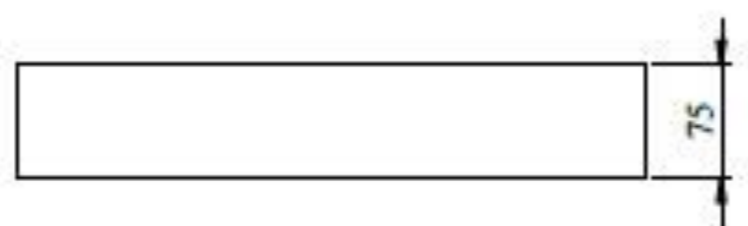
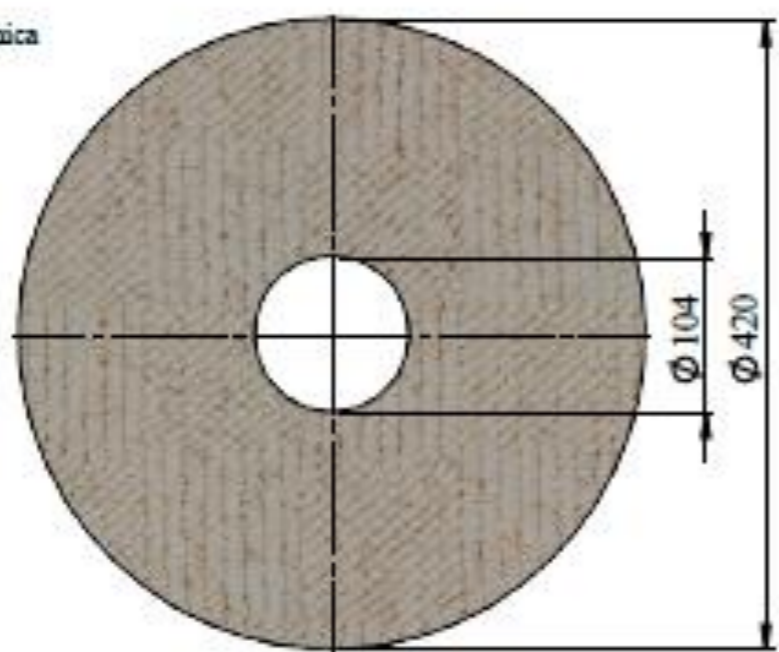
ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Tapa de horno	ASTM A36	1
2	Manta cerámica de la tapa	Fibra cerámica	1
3	Concreto de la tapa	Sílico-aluminoso	1
4	Manta cerámica de la caja	Fibra cerámica	1
5	Crisol	Grafito	1
6	Base de crisol	Sílico-aluminoso	1
7	Alizado de la base	Sílico-aluminoso	1
8	Concreto de la base	Sílico-aluminoso	1
9	Manta cerámica de la base	Fibra cerámica	1
10	Manta cerámica de la pared	Fibra cerámica	1
11	Chapa metálica	ASTM A36	1
12	Pared de ladrillos	Alumina	42
13	Concreto de la pared	Sílico-aluminoso	1
14	Estructura metálica	ASTM A36	1

N°. Láminas: 1 de 4		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CMI-TES-P1-M5001		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: fabricio.bayas@esPOCH.edu.ec Teléfono: 09792166350						Denominación:  <b>ENSAMBLE</b>					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					300,25	±0,3 [mm]	1:5	
Proyectó	Dr. Bayas Fabricio Dra. Loza Lily		2020/07/15					Materiales: Manta cerámica Concreto refractario Acero A36		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y LT. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY	
Dibujó	Dr. Bayas Fabricio Dra. Loza Lily		2020/07/15					Nombre de archivo: Parededelhorno.sldprt			
Revisó	Ing. Calderon E.		2020/07/15								
Aprobó	Ing. Calderon E.		2020/07/15								

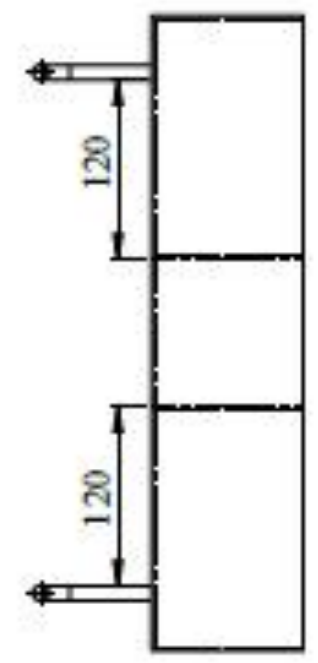
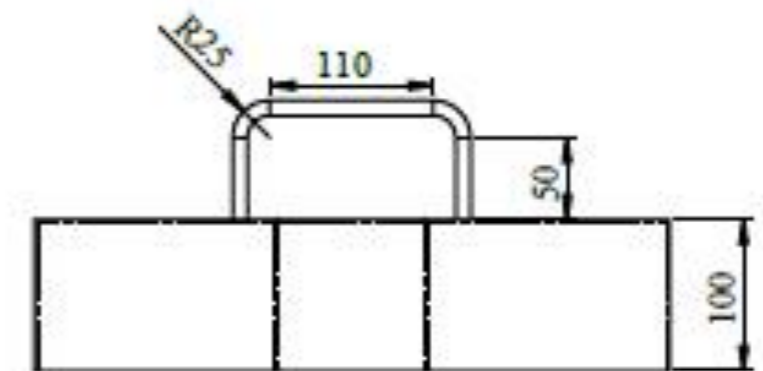
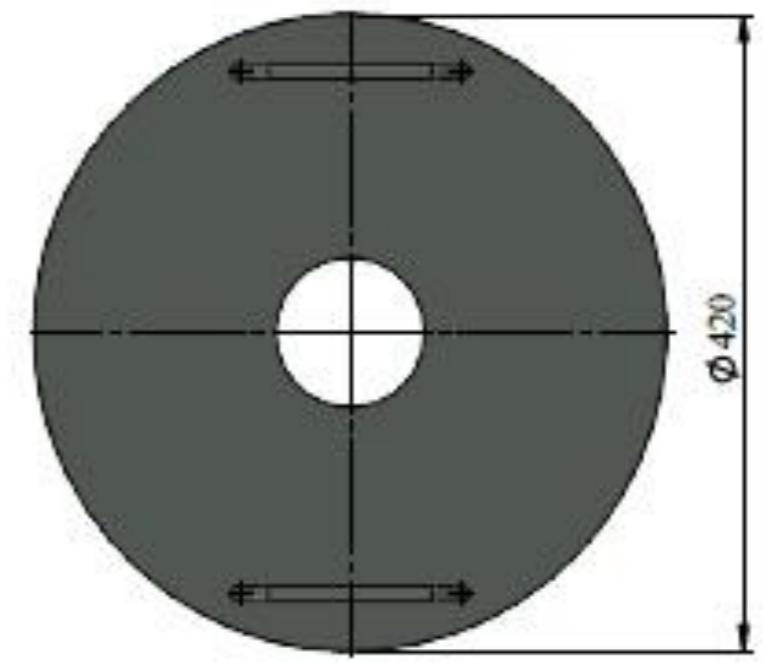
Alizado de concreto



Manta cerámica



Tapa metálica



Nº. Lámina: 2 de 4	Nº. Hojas: 2	Sustitución:	Codificación: FM-CMI-TES-P1-MS001
Email: fabricio.bayas@esPOCH.edu.ec Teléfono: 0979263389			Denominación: <b>CONJUNTO DE LA TAPA</b>
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Dr. Bayas Fabricio Sra. Lora Lily		2020/07/15
Dibujó	Dr. Bayas Fabricio Sra. Lora Lily		2020/07/15
Revisó	Ing. Calderón E.		2020/07/15
Aprobó	Ing. Calderón E.		2020/07/15
Materiales: Alizado de concreto Manta cerámica Tapa metálica			Nombre de archivo: ConjuntodeLatapa.sldprt

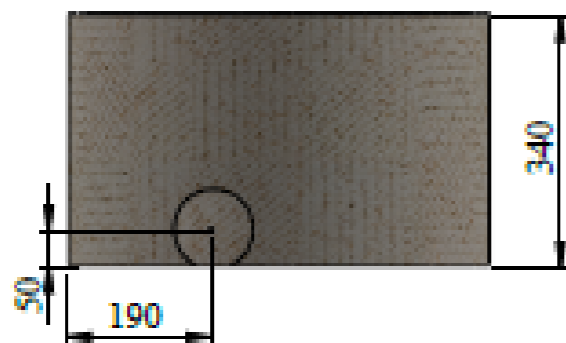
**ESPOCH**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
80	±0.3 [mm]	1:5	

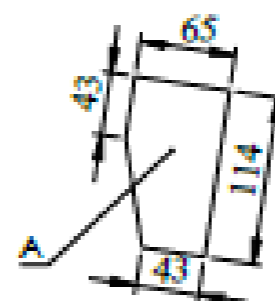
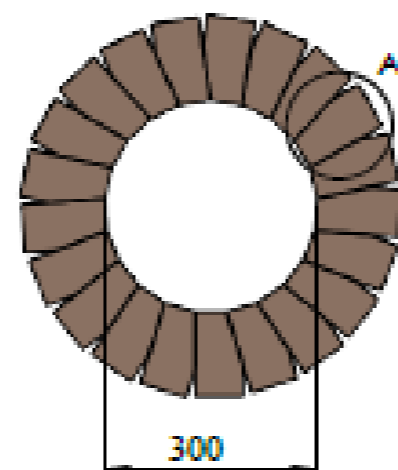
ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y LT. QUALCER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PROTEGIDA POR LA LEY



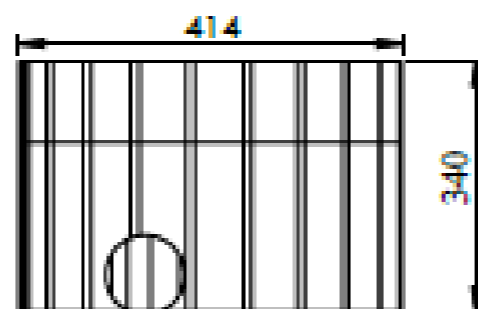
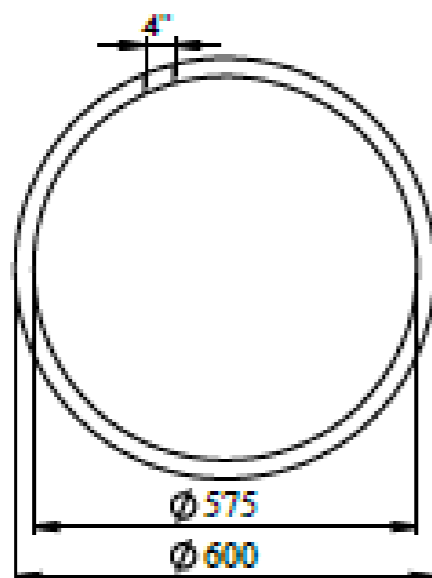
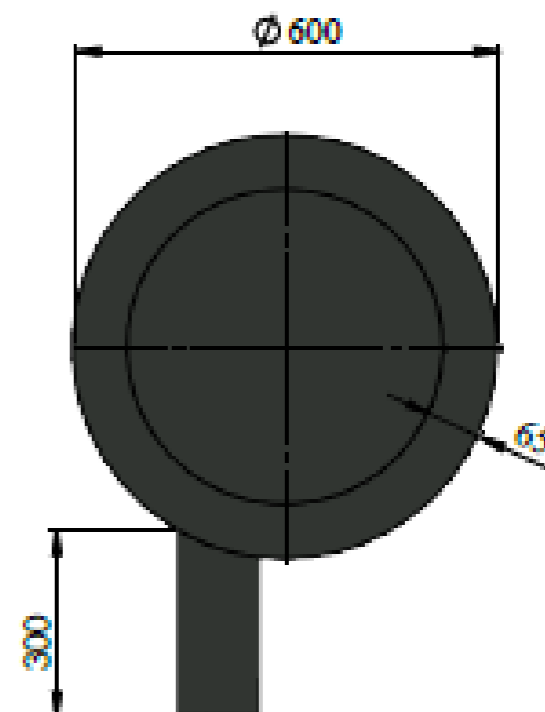
Manta cerámica



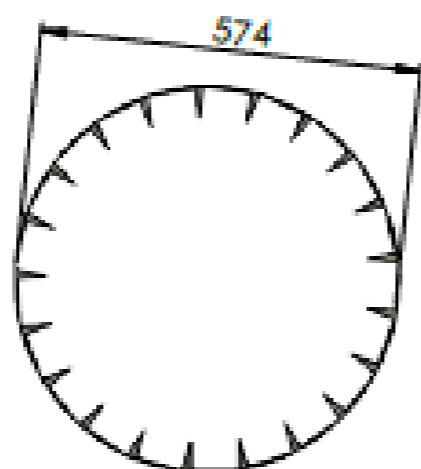
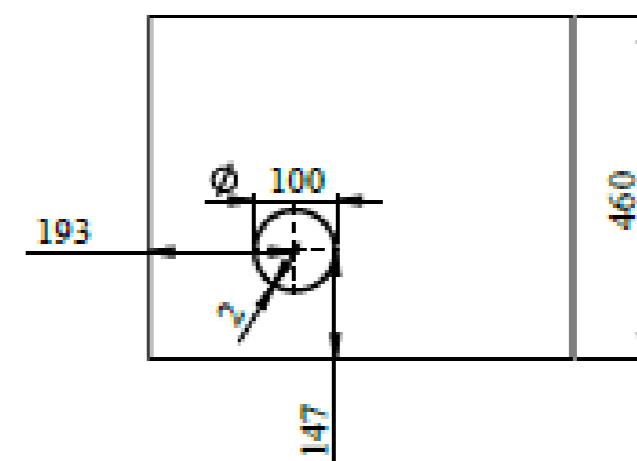
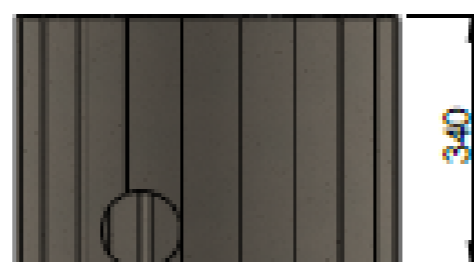
Pared de ladrillo refractario



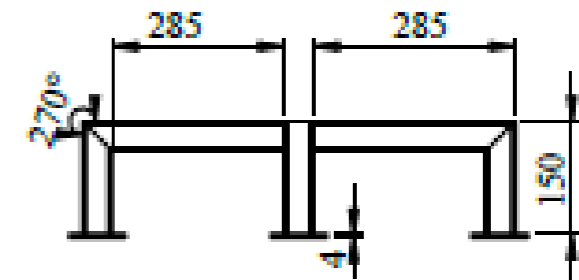
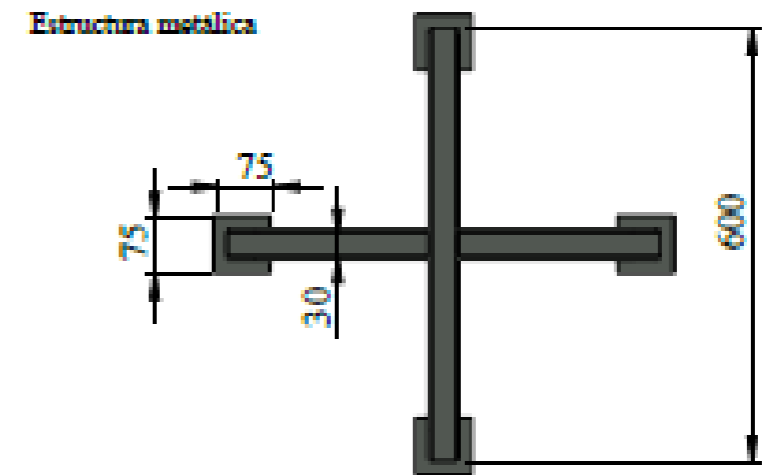
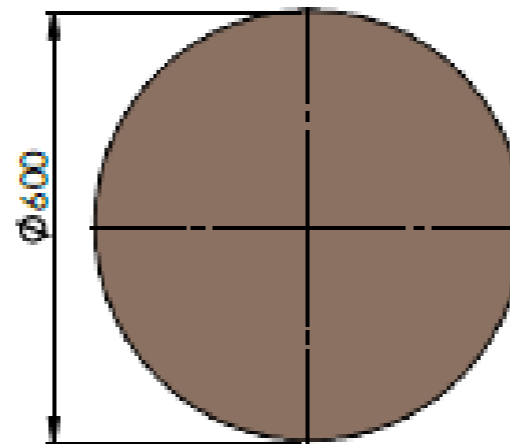
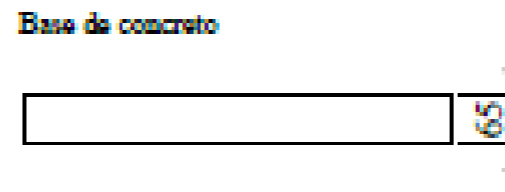
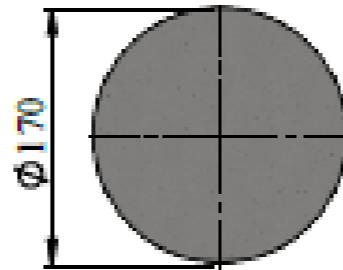
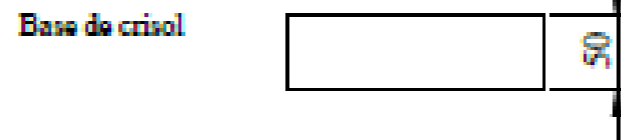
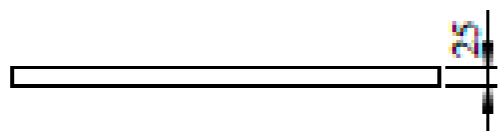
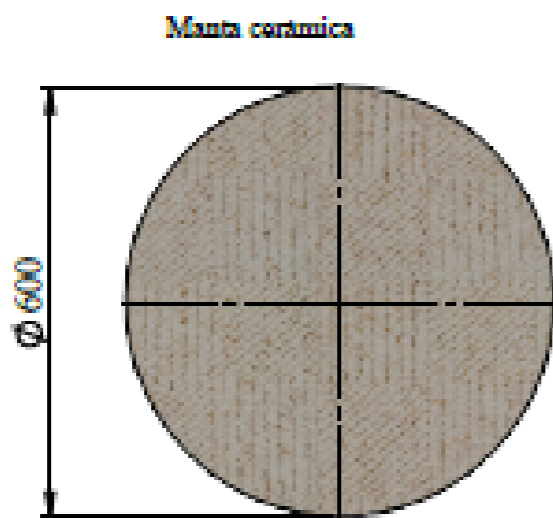
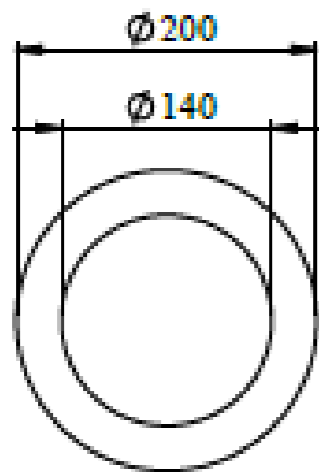
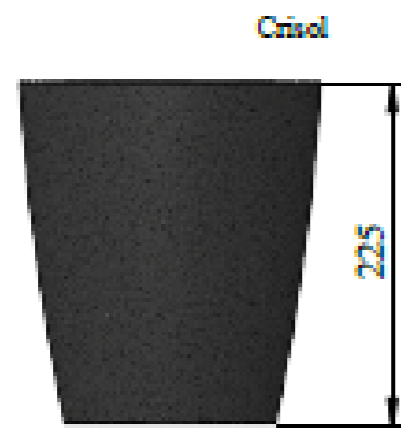
Chapa metálica



Cemento y concreto refractario



Nº. Lámina: 3 de 4		Nº. Hojas: 3		Sustitución:		Codificación: FM-CMI-TES-FI-M5003		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: fabricio.bayas@esPOCH.edu.ec Teléfono: 0979266359						Denominación:					
Datos		Nombre		Firma		Fecha		<b>Conjunto de la pared</b>  Materiales: Ladrillo refractario Manta cerámica Cemento refractario Chapa metálica.			
Proyectó		Sr. Bayas Fabricio Sra. Leon Lily				2020/7/15					
Dibujó		Sr. Bayas Fabricio Sra. Leon Lily				2020/7/15					
Revisó		Ing. Calderon E.				2020/7/15					
Aprobó		Ing. Calderon E.				2020/7/15		Nombre de archivo: Paredesdelterno.sldprt		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. T.U.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, SIN AUTORIZACIÓN TOTAL CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY	



N°. Láminas: 4 de 4		N°. Hojas: 4		Sustitución:		Codificación: FM-CMI-TES-P1-M5003		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL											
Email: fabricio.bayao@esPOCH.edu.ec Teléfono: 0979266359						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		<b>Conjunto de la base,          crisol y estructura          metálica</b>				80		±0.3 [mm]		1:5			
Proyectó		Sr. Bayao Fabricio Sra. Leon Lily				2020/7/15													
Dibujó		Sr. Bayao Fabricio Sra. Leon Lily				2020/7/15													
Revisó		Ing. Calderon E.				2020/7/15													
Aprobó		Ing. Calderon E.				2020/7/15		Materiales: Manta cerámica Concreto radiado Acero A36				Este documento es propiedad intelectual exclusiva de la U.T. cualquier uso y reproducción total o parcial no autorizada constituye violación de los derechos del autor penada por la ley							
Nombre de archivo: Paredesdelhorno.sldprt																			



**epoch**

**Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje**

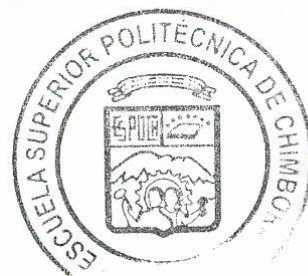
**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 06 / 01 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>NOMBRES – APELLIDOS:</b>  FABRICIO ALEXANDER BAYAS BONILLA LILY MARIBEL LOZA CHÁVEZ
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> MECÁNICA
<b>Carrera:</b> MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
<b>Título a optar:</b> INGENIERO/A EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
<b>f. responsable:</b> Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz

Ing. Cristhian Castillo



**0057-DBRA-UTP-2022**