

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN HORNO BASCULANTE A DIÉSEL CON UNA  
CAPACIDAD DE 60 KG. DE COBRE FUNDIDO PARA LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE MANABÍ MEDIANTE USO DE SOFTWARE LIBRE**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**JACQUELINE JOHANNA ANGAMARCA PUMA**

**GALO FAUSTO TENELEMA YÁNEZ**

**DIRECTOR: ING. FAUSTO HERNÁN OVIEDO FIERRO, MSC.**

**CODIRECTOR: ING. VÍCTOR HUGO HIDALGO DIAZ, MSC.**

**Quito, febrero 2022**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros JACQUELINE JOHANNA ANGAMARCA PUMA y GALO FAUSTO TENELEMA YÁNEZ, declaramos que el trabajo aquí escrito es de nuestra autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**Jacqueline Johanna Angamarca Puma**

---

**Galo Fausto Tenelema Yánez**

## **CERTIFICACIÓN**

Nosotros certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por JACQUELINE JOHANNA ANGAMARCA PUMA y GALO FAUSTO TENELEMA YÁNEZ, bajo nuestra supervisión.

---

**Ing. Fausto Hernán Oviedo Fierro, Msc.**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**Ing. Víctor Hugo Hidalgo Díaz, Msc.**

**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## DEDICATORIA

A Dios por darme la salud y las fuerzas para cumplir mis metas,

A mis Padres Marcelo y Marianela, por brindarme todo el apoyo y la confianza,

A Melita por ser la mejor compañía,

A mis amigos y familia porque de alguna manera me han apoyado para seguir y ser  
una gran profesional.

Jacqueline Angamarca

A Dios, la patria y mi familia por ayudarme a cumplir un sueño que parecía muy lejano  
cuando era niño y ahora es una realidad. Gracias a mis padres y hermanos por sus  
consejos, paciencia y amor a lo largo de esta etapa.

Galo Tenelema

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestros más sinceros agradecimientos a aquellos docentes que con sus enseñanzas forjaron en nosotros carácter, criterio y conocimiento. Es inevitable no agradecer a aquellos amigos y compañeros quienes se convirtieron en nuestra segunda familia.

Un especial agradecimiento al Ingeniero Fausto Oviedo y el Doctor Víctor Hidalgo quienes nos han guiado de una forma ardua y desinteresada a lo largo del desarrollo de este proyecto.

A ex presidente de la República del Ecuador Rafael Vicente Correa Delgado quien nos permitió estudiar en la mejor universidad del Ecuador de forma gratuita.

A nuestras familias por el apoyo día a día, por la paciencia y consejos.

Jacqueline Angamarca y Galo Tenelema

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Planteamiento del Problema .....	1
RESUMEN .....	2
ABSTRACT.....	3
PRESENTACIÓN.....	4
JUSTIFICACIÓN .....	5
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
<b>1. MARCO TEORICO .....</b>	<b>7</b>
1.1. Fundición .....	7
1.1.1. Reseña Histórica .....	7
1.1.2. Importancia de la fundición en el Ecuador .....	7
1.2. Hornos de Fundición.....	8
1.2.1. Componentes de un horno de fundición .....	8
1.2.2. Tipos de hornos para fundición.....	9
1.3. Materiales Refractarios .....	15
1.3.1. Clasificación .....	16
1.3.2. Propiedades .....	17
1.4. Tipos de Crisol.....	18
1.4.1. Tipos de crisoles .....	19
1.4.2. Limpieza de crisoles .....	19
1.5. Combustión.....	19
1.5.1. Combustibles.....	20
1.5.2. Reacciones Químicas .....	21
1.5.3. Relación aire/combustible.....	21

1.6.	Propiedades mecánicas y composición de las aleaciones de cobre .....	22
1.6.1.	Cobre.....	22
1.6.2.	Características físicas.....	22
1.6.3.	Características mecánicas .....	23
1.6.4.	Aleaciones de cobre .....	23
1.6.5.	Sistema Unificado de Numeración de metales y Aleaciones.....	24
1.6.6.	Aplicaciones del uso de cobre y sus aleaciones en la industria .....	25
<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
2.1.	Especificaciones técnicas.....	26
2.1.1.	Consideraciones de diseño.....	26
2.1.2.	Parámetros de diseño. ....	27
2.1.3.	Dimensionamiento del horno.....	29
2.2.	Análisis Térmico.....	41
2.2.1.	Requerimientos energéticos.....	41
2.2.2.	Pérdidas generadas.....	43
2.2.3.	Potencia del quemador.....	63
2.3.	Diseño .....	66
2.3.1.	Selección de componentes .....	66
2.3.2.	Selección de materiales.....	79
2.3.3.	Diseño de componentes .....	80
2.4.	Análisis de costos.....	85
2.4.1.	Estudio, diseño y generación de planos .....	85
2.4.2.	Costos de materia prima.....	85
2.4.3.	Costo de mano de obra.....	86
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>87</b>
3.1.	Diseño paramétrico .....	87
3.2.	Planos de construcción y montaje.....	88
3.3.	Costos de fabricación y montaje.....	88
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>89</b>
4.1.	Conclusiones.....	89
4.2.	Recomendaciones .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPITULO I

<b>Tabla 1. 1.</b> Tipos Refractarios.....	16
<b>Tabla 1. 2.</b> Propiedades de los materiales refractarios.....	17
<b>Tabla 1. 3.</b> Clasificación de los combustibles.....	20
<b>Tabla 1. 4.</b> Propiedades del cobre.....	22
<b>Tabla 1. 5.</b> Aleaciones de cobre.....	24

### CAPITULO II

<b>Tabla 2. 1.</b> Características del combustible.....	27
<b>Tabla 2. 2.</b> Propiedades del Cobre.....	27
<b>Tabla 2. 3.</b> Propiedades cemento refractario.....	28
<b>Tabla 2. 4.</b> Propiedades ladrillo refractario.....	29
<b>Tabla 2. 5.</b> Propiedades manta cerámica.....	29
<b>Tabla 2. 6.</b> Cuadro resumen dimensiones del crisol.....	35
<b>Tabla 2. 7.</b> Dimensiones finales de la cámara de combustión.....	37
<b>Tabla 2. 8.</b> Parámetros geométricos del horno.....	44
<b>Tabla 2. 9.</b> Medidas de la posición de los componentes de la pared del horno.....	44
<b>Tabla 2. 10.</b> Pérdidas por las paredes por conducción para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.....	45
<b>Tabla 2. 11.</b> Tabla de propiedades del aire.....	46
<b>Tabla 2. 12.</b> Coeficientes de transferencia de calor por las paredes de horno.....	49
<b>Tabla 2. 13.</b> Pérdidas por convección – radiación en las paredes.....	50
<b>Tabla 2. 14.</b> Pérdidas totales por las paredes.....	50
<b>Tabla 2. 15.</b> Parámetros geométricos del horno.....	51
<b>Tabla 2. 16.</b> Perdidas por conducción en la base del horno.....	52
<b>Tabla 2. 17.</b> Coeficientes de transferencia de calor por la base del horno.....	54
<b>Tabla 2. 18.</b> Perdidas por convección- radiación por la base del horno.....	55
<b>Tabla 2. 19.</b> Pérdidas totales por la base del horno.....	56
<b>Tabla 2. 20.</b> Dimensiones de las paredes del horno.....	56
<b>Tabla 2. 21.</b> Pérdidas por conducción por la tapa del horno.....	57
<b>Tabla 2. 22.</b> Coeficientes de transferencia de calor por convección – radiación por la tapa del horno.....	60
<b>Tabla 2. 23.</b> Perdidas por convección- radiación por la tapa del horno.....	60
<b>Tabla 2. 24.</b> Pérdidas de calor por la tapa del horno.....	61
<b>Tabla 2. 25.</b> Cuadro resumen de las pérdidas de calor en el horno.....	62
<b>Tabla 2. 26.</b> Centros de gravedad y masa de los componentes del horno.....	66
<b>Tabla 2. 27.</b> Cuadro de resumen de los materiales seleccionados para el diseño del horno basculante.....	79



<b>Tabla 2. 28.</b> Costos de materia prima.....	85
<b>Tabla 2. 29.</b> Costo de mano de obra.....	86
<b>Tabla 2. 30.</b> Costo Total.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO I

Figura 1. 1. Esquema horno de Crisol móvil .....	10
Figura 1. 2. Esquema horno de Crisol fijo .....	10
Figura 1. 3. Esquema horno basculante .....	11
Figura 1. 4. Esquema Horno rotativo.....	12
Figura 1. 5. Horno cubilote .....	13
Figura 1. 6. Esquema Horno eléctrico de arco directo.....	13
Figura 1. 7. Esquema Horno eléctrico de arco indirecto.....	14
Figura 1. 8. Esquema Horno inducción a canal .....	15
Figura 1. 9. Esquema Horno inducción con núcleo .....	15
Figura 1. 10. Ladrillos refractarios .....	18
Figura 1. 11. Tipos de crisoles .....	19

### CAPITULO II

Figura 2. 1. Dimensiones del Crisol A60 seleccionado .....	28
Figura 2. 2. Dimensiones y ubicación del crisol dentro de la cámara .....	30
Figura 2. 3. Dimensiones del crisol .....	35
Figura 2. 4. Esquema indicativo de las áreas del crisol .....	36
Figura 2. 5. Dimensiones de la Cámara de Combustión.....	37
Figura 2. 6. Cámara de Combustión .....	38
Figura 2. 7. Pared del horno.....	44
Figura 2. 8. Esquema componentes del horno .....	66
Figura 2. 9. Diagrama de fuerzas del cuerpo libre del horno.....	68
Figura 2. 10. Diagrama del cuerpo libre del eje.....	68
Figura 2. 11. Diagrama de cuerpo libre simplificado .....	69
Figura 2. 12 Diagrama de cuerpo libre esfuerzo cortante.....	70
Figura 2. 13 Diagrama de cuerpo libre esfuerzo de cizallamiento .....	72
Figura 2. 14 Diagrama de cuerpo libre esfuerzo a flexión.....	72
Figura 2. 15 Soporte SY25 TF.....	74
Figura 2. 16 Diagrama de cuerpo libre estructura.....	75
Figura 2. 17 Diagrama de cuerpo libre de la estructura de soporte tramo II .....	78
Figura 2. 18. Estructura metálica .....	81
Figura 2. 19. Cuerpo metálico del horno .....	81
Figura 2. 20. Entrada del quemador.....	81
Figura 2. 21. Piquera.....	82
Figura 2. 22. Orejas de sujeción.....	82

Figura 2. 23. Eje.....	82
Figura 2. 24. Compuerta de limpieza.....	83
Figura 2. 25. Montaje cuerpo metálico- estructura.....	83
Figura 2. 26. Armado aislante- ladrillo refractario .....	83
Figura 2. 27. Armado cemento refractario.....	84
Figura 2. 28. Montaje Crisol-Base.....	84
Figura 2. 29. Montaje Tapa-Cuerpo.....	84

## INDICE DE ANEXOS

- Anexo. 1.** Especificaciones Técnicas Ladrillo refractario U-33
- Anexo. 2.** Especificaciones Técnicas concreto refractario
- Anexo. 3.** Especificaciones Técnicas plancha metálica
- Anexo. 4.** Especificaciones Técnicas manta refractaria
- Anexo. 5.** Especificaciones Técnicas crisol
- Anexo. 6.** Especificaciones Técnicas quemador
- Anexo. 7.** Especificaciones Técnicas chumacera
- Anexo. 8.** Especificaciones Técnicas eje AISI 705
- Anexo. 9.** Especificaciones Técnicas Tubo estructural
- Anexo. 10.** Especificaciones Técnicas Tecele
- Anexo. 11.** Especificaciones Técnicas Varilla lisa
- Anexo. 12.** Especificaciones Técnicas Pernos hexagonales
- Anexo. 13.** Especificaciones Técnicas Tuercas hexagonales
- Anexo. 14. HOJA DE PROCESOS**
- Anexo. 15. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE**



# INTRODUCCIÓN

## **Planteamiento del Problema**

El crecimiento industrial en el campo de la fundición a nivel mundial permite explorar diversas técnicas de fundición de cobre y con distintos tipos de hornos; en Ecuador pocas instituciones de educación superior tienen el privilegio de contar con estos equipos lo que impide un desarrollo práctico y de investigación en esta área de la metalurgia.

La fundición de metales es uno de los procesos más importantes en la obtención de piezas y componentes para distintos sectores de la industria, a pesar de ese grado de importancia Ecuador no tiene los equipos para explorar este campo. Por ello la Universidad Técnica de Manabí en busca de fortalecer los conocimientos teóricos adquiridos a base de la práctica tiene la necesidad de contar en sus instalaciones con un horno de fundición de cobre.

La fundición de cobre generalmente requiere que se cumpla con ciertos parámetros para evitar cualquier inconveniente al momento del colado previo a la obtención de piezas, entre los parámetros más importantes esta la temperatura de fusión de la materia prima.

Es por ello que el presente trabajo de titulación busca solventar con una parte de esta necesidad a base del diseño de un horno de fundición para cobre tomando en cuenta todos los factores y parámetros que se involucran en el proceso de fundición de este metal, con la finalidad de que obtengan un equipo completamente funcional y entregar una base bien fundada para su posterior construcción.

## RESUMEN

En el diseño del horno basculante a diésel es importante conocer las solicitaciones y parámetros a considerar a fin de satisfacer adecuadamente la necesidad que tiene la Universidad Técnica de Manabí, por ello es importante estudiar todos los procesos que forman parte del diseño de un horno buscando una mejora sustancial en pérdidas de energía en forma de calor, obtener una mejora en la combustión. Además, obtener una mejora en el proceso de fundición.

En el desarrollo del presente trabajo se parte con una introducción a los conceptos fundamentales primeramente recordando la definición de fundición, tipos de hornos, materiales refractarios, tipos de crisol, combustión, combustibles, reacciones químicas, relación aire combustible, propiedades mecánicas y composición de las aleaciones de cobre y quemadores. Es indispensable conocer estos conceptos a manera de tener el conocimiento suficiente para plantear varias opciones de selección en el posterior diseño y que esta sea eficiente, sencilla y económica.

A continuación, se parte con el planteamiento de las especificaciones, parámetros y consideraciones de diseño donde se define el crisol de acuerdo a la cantidad de metal fundido para este caso de diseño es de 60 Kg. y una combustión a base de diésel. Después de la selección del crisol se dimensiona la cámara interna del horno, para posteriormente hacer un análisis de transferencia de calor para la determinación de pérdidas a través de las paredes de este y conocer los requerimientos de potencia que necesita el quemador para satisfacer las necesidades térmicas requeridas por el horno.

Una vez definido el dimensionamiento del horno y la selección de cada uno de sus componentes se evalúa el sistema de basculación, se realiza un cálculo de esfuerzos para esta estructura de soporte. Donde la prioridad es obtener un sistema sencillo y con materiales disponibles en el mercado nacional, este sistema tendrá un factor de seguridad alto a fin de evitar complicaciones cuando el horno se encuentre en funcionamiento.

Finalmente, se plasma el diseño en planos de conjunto, subconjunto y taller; además de un análisis de costos con la finalidad de tener toda la información necesaria para su futura construcción, concluyendo con los resultados y cierta discusión sobre todo el diseño del horno.

## **ABSTRACT**

In the design of the diesel tilting furnace, it is important to know the demands and parameters to consider in order to adequately meet the needs of the Technical University of Manabi, so it is important to study all the processes that are part of the design of a furnace looking for a substantial improvement in energy losses in the form of heat, obtain an improvement in combustion. In addition, to obtain an improvement in the smelting process.

In the development of this work, we start with an introduction to the fundamental concepts, first of all remembering the definition of smelting, types of furnaces, refractory materials, types of crucibles, combustion, fuels, chemical reactions, air-fuel ratio, mechanical properties and composition of copper alloys and burners. It is essential to know these concepts in order to have enough knowledge to propose several selection options in the subsequent design and to make it efficient, simple and economical.

Next, we start with the approach of the specifications, parameters and design considerations where the crucible is defined according to the amount of molten metal for this design case is 60 kg and a diesel-based combustion. After the selection of the crucible, the internal chamber of the furnace is sized, to later make a heat transfer analysis to determine the losses through the furnace walls and to know the power requirements of the burner to meet the thermal needs required by the furnace.

Once the dimensioning of the furnace and the selection of each of its components is defined, the tilting system is evaluated and a stress calculation is made for this support structure. The priority is to obtain a simple system with materials available in the national market, this system will have a high safety factor in order to avoid complications when the furnace is in operation.

Finally, the design is shown in assembly, subassembly and workshop drawings; in addition to a cost analysis in order to have all the necessary information for its future construction, concluding with the results and some discussion about the whole design of the furnace.

## **PRESENTACIÓN**

El presente proyecto contiene conceptos básicos y todos los parámetros necesarios para el desarrollo del diseño de un horno basculante a diésel con capacidad de 60 Kg. de cobre. Además, incluye resultados relacionados con cada parámetro de diseño con el fin de obtener un diseño funcional en cada aspecto estudiado.

Por ello, el lenguaje y redacción se desarrolla de manera sencilla para que el lector que desee conocer más sobre el tema pueda articular conceptos y principios que se evalúan en el diseño del horno. Este diseño tiene un mayor enfoque en la parte térmica y basculación a fin de tener pocas pérdidas generadas por el calor y una buena operabilidad.

El tema está elaborado de manera que quienes se encuentren iniciándose en este campo puedan entender cada parte del estudio y análisis realizado.

## **JUSTIFICACIÓN**

El campo de la fundición en el Ecuador a nivel académico es explorado en pocas universidades, por ello se ve la necesidad de realizar el diseño un horno basculante a diésel con una capacidad de 60 Kg. de cobre fundido para la Universidad Técnica de Manabí debido a que no cuentan con un equipo de estas características.

Mediante el desarrollo de este proyecto se pretende generar una base para la construcción e implementación futura de este, convirtiéndose en una herramienta sólida para complementar los fundamentos teóricos a base de la práctica. Además, solventar en una parte la necesidad de alumnos y docentes para su propósito que es consolidar conocimientos e incursionar en un nuevo campo como es la fundición de cobre.



## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un horno basculante a diésel con una capacidad de 60 Kg. de cobre fundido para la Universidad Técnica de Manabí mediante uso de software libre.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información para determinar los parámetros de diseño de hornos de fundición a fin de garantizar su adecuado funcionamiento.
- Establecer un modelo de diseño paramétrico para determinar el comportamiento térmico del horno.
- Generar alternativas de diseño de hornos.
- Dimensionar y seleccionar componentes del horno.
- Elaborar planos de construcción y montaje.
- Realizar un análisis de costos de la alternativa seleccionada.

# **1. MARCO TEORICO**

## **1.1. Fundición**

Es un proceso de fabricación que permite obtener piezas metálicas por solidificación con el uso de un recipiente llamado molde. (Oviedo Fierro, 2014)

### **1.1.1. Reseña Histórica**

La sociedad humana ha evolucionado los procesos de producción, ya que pasó del uso inconmensurable de la piedra al uso de materiales presentes en la naturaleza en estado puro como el oro, plata, cobre; dando un gran paso de la Edad de Piedra a la Edad del Bronce.

Este fue el primer gran paso al desarrollo de la producción metalúrgica ya que a medida que pasa el tiempo una mayor cantidad de materiales metálicos y aleaciones forman parte de la producción de piezas de maquinaria industrial.

Es importante mencionar que, en el Ecuador en múltiples hallazgos arqueológicos de diferentes culturas, se muestra que el uso de los metales y aleaciones para obtención de objetos tales como armas, monedas, hachas entre otros se lo realizaba con distintos procesos de fabricación entre ellos se encuentra inmersa la fundición. (Oviedo Fierro, 2014)

### **1.1.2. Importancia de la fundición en el Ecuador**

El uso de los metales en la actualidad ha incrementado de manera considerable al mismo tiempo exige una mejor calidad, esto se debe a que los metales son la base de la producción de maquinaria; lo que ayuda al desarrollo económico de un país.

Sin embargo, el desarrollo tecnológico en la industria de la fundición en nuestro país no se ha podido alcanzar, debido a que poseemos problemas desde la base que es la extracción, explotación y purificación de los metales.

La materia prima utilizada en esta área en el país es en su gran mayoría de importación, para los materiales ferrosos es del 40% y para los materiales no ferrosos es del 90%, el resto de materia prima es obtenida del reciclaje y la chatarra.

El desarrollo del país en esta área es bastante débil. Ya que, el 60% de producción por fundición es unitaria y el 40% se lo realiza en serie, lo que es un indicativo del atraso tecnológico que se tiene. (Oviedo Fierro, 2014)

Por ello las universidades buscan un desarrollo científico y tecnológico que vincule ambos sectores con esta práctica lo que fortalecerá las bases económicas de este sector industrial del país y por ende el crecimiento económico de este será sostenible en sus propias bases.

## **1.2. Hornos de Fundición**

Los hornos de fundición son equipos usados para la fusión de metal y sus aleaciones gracias al calor generado mediante procesos de combustión o mediante uso de energía eléctrica. En estos se puede fundir una gran variedad de metales ferrosos y no ferrosos, por lo que posee un sistema físico y un sistema térmico adecuado para la realización de trabajos específicos. Los diseños más óptimos se enfocan en lograr obtener un equipo que represente costos bajos de construcción, servicio y mantenimiento. (ASM Handbook, 1988)

### **1.2.1. Componentes de un horno de fundición**

#### **Cámara**

Es la parte interna del horno la cual está sometido a elevadas temperaturas, es un componente esencial ya que aquí se produce la fusión del metal, por lo que es muy importante que sea construida de materiales refractarios y aislantes de tal manera que se evite pérdidas de calor en este lugar.

#### **Pared externa**

Es la parte que protege a la cámara cuyas funciones son mantener el calor, evitar pérdidas y evitar la salida de gases producto de la fusión del metal. Con frecuencia es construida de chapas de acero.

## **Crisol**

Recipiente que almacena el metal fundido, ubicado en el interior de la cámara. Es fabricado de material refractario, se lo puede encontrar en diferentes configuraciones dependiendo del tipo y capacidad de la carga a fundir.

## **Chimenea**

Abertura ubicada en la parte superior del horno, cuya función es permitir la salida de los gases que se producen durante el proceso de fundición evitando así contaminar el metal.

### **1.2.2. Tipos de hornos para fundición**

Actualmente existe una gran variedad de hornos para fundición de aleaciones metálicas ferrosas y no ferrosas, encontramos hornos de crisol, hornos reverberos, hornos cubilote, hornos eléctricos, entre otros. Por lo cual, la selección de un horno para un uso específico depende de varios factores, como la capacidad de carga, el tipo de carga, la fuente de energía. (ASM Handbook, 1988)

En cuanto se refiere al diseño y construcción de un horno, lo que se busca principalmente es optimizar los procesos por que debemos mantener ciertos requerimientos de fabricación en los cuales se toma en cuenta consideraciones como costos, condiciones ambientales, eficiencia y temperaturas.

### **Horno de crisol móvil.**

En este tipo de horno el crisol está ubicado en el interior de la cámara de combustión de manera que para el colado del metal fundido éste es extraído con la ayuda de tenazas como se muestra en la Figura 1.1.

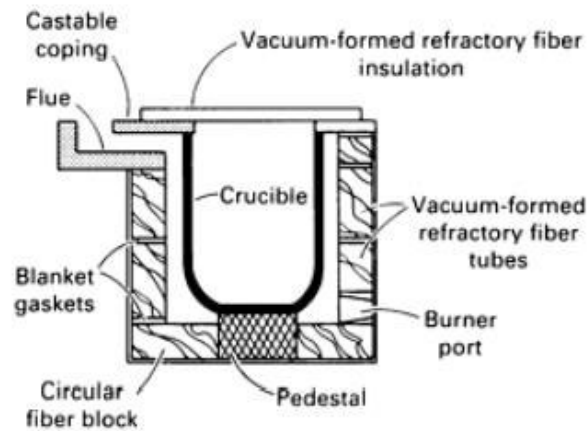


Figura 1. 1. Esquema horno de Crisol móvil  
(Calvo, 2016)

### Horno de crisol fijo o estacionario

Son hornos de tipo estáticos donde el crisol se encuentra fijo en el interior del horno, por lo que la extracción del metal fundido se lo hace por medio de cucharas, ver Figura 1.2. Esta configuración impide contaminación del metal fundido ya que se evita el contacto con los gases producto de la combustión.

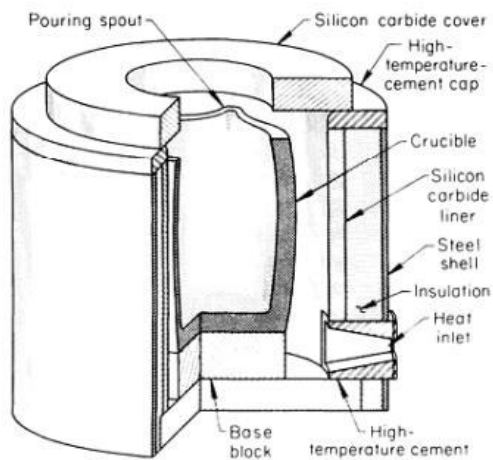


Figura 1. 2. Esquema horno de Crisol fijo  
(ASM Handbook, 1988)

## Horno de crisol basculante

Este tipo de hornos son móviles, se diferencia del horno fijo porque este posee un mecanismo giratorio para la extracción del metal fundido, haciendo posible el vertido del metal ya sea en cucharas o directamente sea colado en los moldes. Comúnmente el eje del sistema de basculación se ubica en el centro de gravedad o en el borde del horno como se muestra en la Figura 1.3.

El sistema físico de un horno basculante comprende:

- Pared
- Tapa
- Cámara de combustión
- Crisol
- Base
- Chimenea
- Sistema de basculación

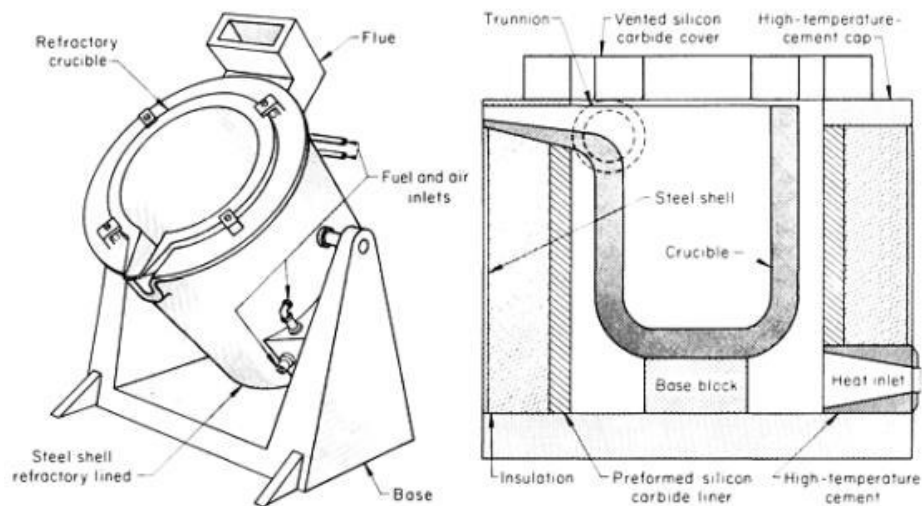


Figura 1. 3. Esquema horno basculante

(ASM Handbook, 1988)

## Hornos de llama directa

Son hornos usados para la fundición de hierro y aleaciones grises, para fundición blanca y maleable. Es un tipo de horno de hogar abierto, es decir que la llama pasa sobre la carga.

## Hornos rotativos

Son hornos utilizados para fundición gris, maleable, acero, cobre, bronce, aluminio y plomo. Adecuados para fundir metal a elevadas temperaturas y altas capacidades, posee una configuración cilíndrica horizontal, ver Figura 1.4. Son fabricados de acero con revestimientos refractario de manera que el calor se transmite a lo largo de la cámara. Utiliza combustibles como gas, diésel o carbón.

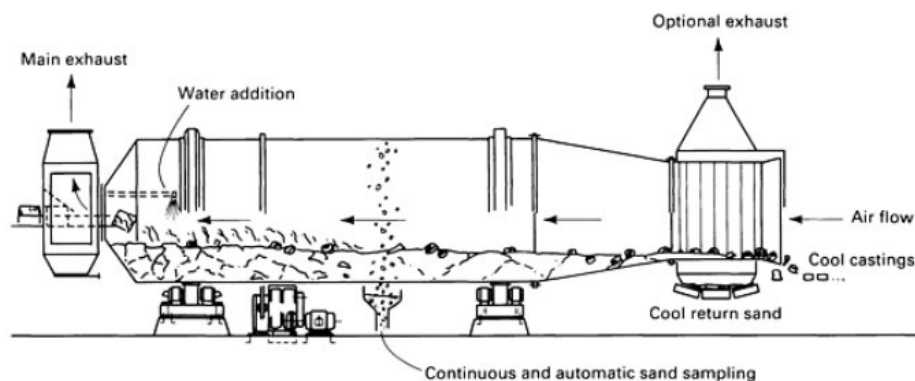


Figura 1. 4. Esquema Horno rotativo

(Calvo, 2016)

## Hornos eléctricos de resistencia central irradiante

Estos hornos tienen una configuración similar a los rotativos, pero el calentamiento del metal se da mediante una resistencia de grafito. Lo que hace que el calor se distribuya por toda la superficie cilíndrica fundiendo el metal. Ideal para fusión y sobrecalentamiento de hierros, aleaciones de cobre y bronce.

## Horno cubilote

Como se muestra en la Figura 1.5, el horno cubilote es una torre cilíndrica vertical usado para la fusión de aleaciones ferrosas, trabaja a elevadas temperaturas.

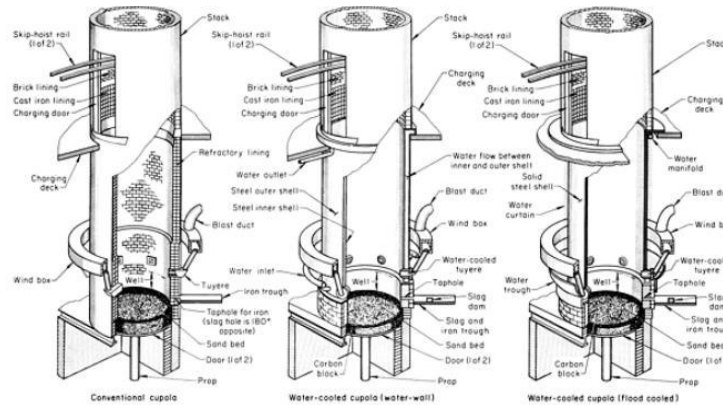


Figura 1. 5. Horno cubilote

(ASM Handbook, 1988)

## Hornos eléctricos de arco directo

En este tipo de hornos el calor se suministra mediante un arco que se forma entre los electrodos y el metal a ser fundido, los electrodos pueden ser de carbón o de grafito dependiendo los resultados que se quiera obtener como se muestra en la Figura 1.6. Es usado en grandes industrias siderúrgicas debido a que alcanza elevadas temperaturas de trabajo y presenta control automático de las variables del proceso.

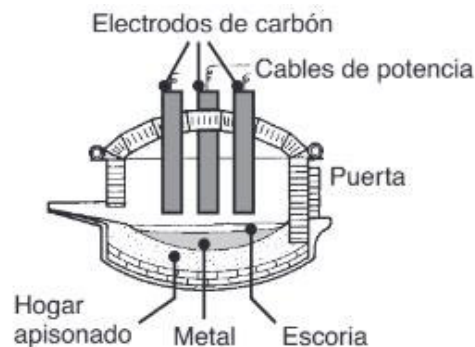


Figura 1. 6. Esquema Horno eléctrico de arco directo

(ASM Handbook, 1988)



## Hornos eléctricos de arco indirecto

El calor se produce de diferente manera que en los hornos de arco directo. Puesto que el arco se forma independiente de la carga. Ver Figura 1.7.

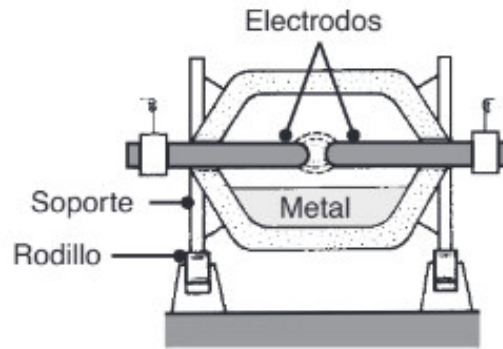


Figura 1. 7. Esquema Horno eléctrico de arco indirecto

(Calvo, 2016)

## Hornos eléctricos de inducción

En este tipo de hornos el metal se calienta y se funde gracias a un campo magnético generado por el paso de corriente por las bobinas. Son utilizados para fundición de aceros especiales, aleados y aleaciones de hierro, se obtiene gran calidad en la producción y se expone a bajos niveles de contaminación.

## Hornos de inducción a canal

Presentan un canal tipo V, lugar donde es generado el calor. Es usado para la fundición de latones, aluminio y sus aleaciones y hierro. En la Figura 1.8 se muestra un esquema del horno de inducción a canal.

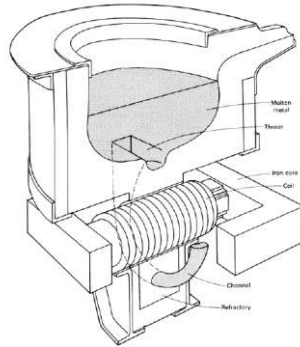


Figura 1. 8. Esquema Horno inducción a canal  
(ASM Handbook, 1988)

### Horno de inducción con núcleo

En la Figura 1.9 se muestra el esquema del horno de inducción con núcleo, este tipo de horno es más eficiente que el horno de inducción a canal. Ya que posee una bobina que genera el calor necesario para fundir el metal y mantenerlo en el canal. Es recomendado para fundición de aleaciones no ferrosas.

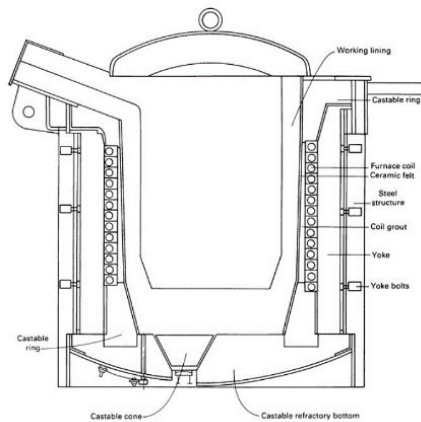


Figura 1. 9. Esquema Horno inducción con núcleo  
(ASM Handbook, 1988)

### 1.3. Materiales Refractarios

Son aquellos materiales no metálicos que poseen una refractariedad al calor mayor o igual a 1500°C, son resistentes a la corrosión o degradación, generalmente son materiales cerámicos.

Soportan cambios bruscos de temperatura, ataques químicos activos, fatiga mecánica, tensiones térmicas. Existe presencia de estos en la fabricación de estufas, horno, secadores y piezas de máquinas que están sometidas a elevadas temperaturas. Estos materiales contienen sílice, alúmina, magnesita, cromita ya sean juntas o separadas. (Trinks, Mawhinney, Shannon, & et, pág. 416)

### 1.3.1. Clasificación

Se clasifican en tres grupos:

**Refractarios Básicos:** se producen con una base de óxido de calcio y óxido de magnesio.

**Refractarios Ácidos:** se producen con una base de sílice en distintas formas.

**Refractarios Neutros:** se producen con una base de bauxita o chamote, son estables químicamente ante bases y ácidos. (Correa & Robalino , 2007)

En la Tabla 1.1 se ilustra la composición en peso de algunos materiales refractarios.

**Tabla 1. 1.** Tipos Refractarios

MATERIAL REFRACTARIO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Otros
<b>Básicos</b>				
Dolomita	---	---	38-50	38-50 CaO
Magnesita	0.5-5	---	91-98	0.6-4 CaO
<b>Ácidos</b>				
Ladrillo de sílice	95-99			
Ladrillo refractario alta resistencia	51-54	37-41	---	---
Ladrillo refractario alta temperatura	53	42	---	---
Circonio	32	---	---	66 ZrO <sub>2</sub>
<b>Neutros</b>				
Magnesita-Cromo	2-7	6-13	50-82	18-24 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Carburo de silicio	6	2	---	91 SiC
Ladrillo de alta alúmina	0-50	45-99	---	---

(Correa & Robalino , 2007)

### 1.3.2. Propiedades

Los materiales refractarios deben cumplir con ciertas sollicitaciones térmicas, mecánicas y químicas. En la Tabla 1.2 se muestra las propiedades de los materiales refractarios.

**Tabla 1.2.** Propiedades de los materiales refractarios

<b>Mecánicas</b>	<b>Químicas</b>	<b>Térmicas</b>
Abrasión, erosión, impacto	Gases, vapores	Alta temperatura
Vibración	Productos fundidos	Choque térmico
Presión	Escorias	Dilatación lineal
Compresión, flexión, tracción	Ácidos	Conductividad

(Pérez J & Soto A, 2009)

El avance industrial cada vez genera una mayor exigencia en la demanda de calidad de los materiales refractarios, por ello las técnicas de fabricación de refractarios se han enfocado en el tipo de aplicación y condiciones reales de uso, a fin de garantizar que cada industria quede satisfecha. Las principales industrias que usan materiales refractarios son la petroquímica, la fundición, la acería, la química, entre otras. (Pérez J & Soto A, 2009)

Para el diseño de parámetros de un horno de fundición es necesario un enfoque en lo materiales refractarios usados principalmente en el proceso de fundición, entre ellos se consideran el aislamiento, el ladrillo refractario y el concreto refractario.

#### **Aislamiento**

El aislamiento debe tener entre sus propiedades una baja conductividad térmica, un alto grado de aislamiento y una elevada temperatura de servicio. Su función principal dentro de esta aplicación es evitar pérdidas de calor de la cámara interna del horno.

#### **Ladrillo Refractario**

Existen varios tipos de ladrillo refractario de acuerdo a la aplicación donde destacan los ladrillos de baja alúmina, los ladrillos de media alúmina, los ladrillos de alta alúmina, los ladrillos especiales de calidad y forma, en la Figura 1.10 se ilustra varias formas y presentaciones.

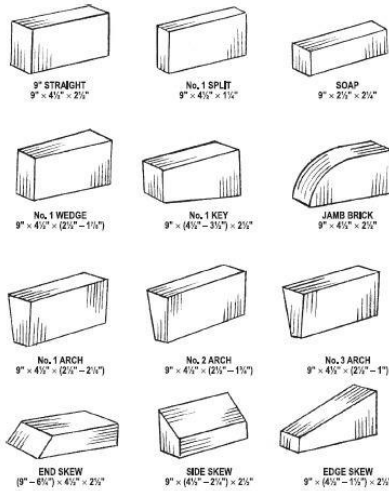


Figura 1. 10. Ladrillos refractarios

(Trinks, Mawhinney, Shannon, & et, 2004)

## Concreto refractario

Las características que debe cumplir este material refractario son importantes, ya que este se mantendrá en contacto directo con el calor generado dentro de la cámara del horno por lo cual debe tener una alta resistencia mecánica, baja contracción, alta resistencia al choque térmico y baja expansión térmica. (Bone J & Crespo D, 2015)

### 1.4. Tipos de Crisol

Crisol es un recipiente usado para almacenar metal líquido fundido dentro del horno. Se lo fabrica de materiales refractarios, de manera que posea propiedades como resistencia a altas temperaturas y buena conductividad térmica.

Nos permite realizar operaciones de fusión de diferentes tipos de metales. Existen en el mercado crisoles de diferentes dimensiones y materiales.

Entre sus principales características tenemos:

- No ser quebradizos.
- Ser resistentes a cambios bruscos de temperatura.
- No reaccionar con los metales fundidos.

Los materiales más adecuados para la fabricación de un crisol son:

- Arcilla refractaria
- Plombagina con arcilla
- Plombagina recocida (Correa & Robalino , 2007)

#### **1.4.1. Tipos de crisoles**

En el mercado se encuentra crisoles en varias formas y tamaños como se muestra en la Figura 1.11. Viene numerados dependiendo de la cantidad de metal a fundir, cada fabricante tiene su propia denominación.

#### **1.4.2. Limpieza de crisoles**

En la mayoría de las fundiciones, el metal líquido desarrolla escorias en la superficie y acumulación de residuos pesados en la parte inferior, esto hace que se acorte la vida útil del crisol, provocando puntos de zonas calientes y tensiones desiguales en las paredes. Es por ello que se recomienda limpiar el crisol después de haber realizado el proceso. Evitando así que se presente fallas durante el calentamiento, vertido y solidificación del metal. (ASM Handbook, 1988)



Figura 1. 11. Tipos de crisoles

(Materials, 2013)

### **1.5. Combustión**

Es una reacción química que se da cuando el combustible se oxida y libera energía en gran cantidad para que se de esta reacción se necesita de tres componentes que son el comburente, el combustible y la chispa.

### 1.5.1. Combustibles

Se llama combustible a un material con capacidad de liberar energía cuando este se oxida, los combustibles se clasifican de acuerdo a su naturaleza como se observa en la Tabla 1.3.

Los combustibles generalmente tienen una composición a base de carbono, hidrógeno, adicionalmente contienen azufre, humedad, cenizas. (García R. , 2001, pág. 3)

#### Combustibles solidos

Son aquellos que al quemarse producen como parte de residuos cenizas. Por ejemplo, el carbón mineral, papel, textiles, leña, entre otros.

#### Combustibles gaseosos

Se conocen como hidrocarburos naturales, entre estos se encuentra el gas natural, propano, metano, hidrógeno, entre otros.

#### Combustibles líquidos

Son aquellos que se encuentran en estado líquido a condiciones ambientales de presión y temperatura, entre estos estacan la gasolina, el diésel, aceites, alcoholes, entre otros. (Cengel & Boles, 2009)

**Tabla 1. 3.** Clasificación de los combustibles

COMBUSTIBLES		
SÓLIDOS	NATURALES	Maderas y residuos vegetales
		Carbón
		Turbas
		Hullas
		Antracita
		Lignitos
LÍQUIDOS	ARTIFICIALES	Carbón vegetal
		Coques (carbón y petróleo)
		Aglomerados y briquetas
GASEOSOS	ALCOHOLES	Artificiales
		Naturales
	RESIUALES	Lejías negras
	DERIVADOS DEL PETRÓLEO	Fuelóleos
		Gasóleos
GAS NATURAL	Diferentes familias	

GASES LICUADOS DEL PETRÓLEO (GLP)	Propanos y Butanos
RESIDUALES	Fuel-Gas
ARTIFICIALES	Gas pobre
	Gas de alto horno
	Gas de agua
	Gas ciudad
BIOGAS	Gas coque
	---

(García R. , 2001, pág. 12)

### 1.5.2. Reacciones Químicas

Las reacciones de la combustión se determinan por aspectos generales que son la cantidad de aire, cantidad de combustible y residuos. Para definir este proceso se tiene varios tipos de combustión.

#### Combustión completa

Este tipo combustión presenta una oxidación completa de todos los componentes del combustible.

#### Combustión incompleta

Este tipo combustión presenta una oxidación incompleta por eso existe presencia de componentes denominados inquemados entre los más importantes están el CO y H<sub>2</sub>.

#### Combustión estequiométrica

Este tipo de combustión es completa pero realizada con una cantidad de oxígeno necesaria predeterminada para quemar el combustible por completo.

### 1.5.3. Relación aire/combustible

Es una relación que se ocupa para el análisis de combustión y cuantificar una relación entre cantidades de combustible y aire, generalmente se expresa en kilogramos de aire por kilogramos de combustible. El punto de partida para encontrar esta relación es realizar un balance de combustión. (Cengel & Boles, 2009)



## 1.6. Propiedades mecánicas y composición de las aleaciones de cobre

### 1.6.1. Cobre

El cobre es un elemento químico, su símbolo es Cu. Es un metal noble, no ferroso. Se lo conoce como “el metal rojo” debido a su color rojo intenso y muy atractivo. Su utilización puede ser en forma pura para la fabricación de productos como cables y tuberías o en forma de aleación combinada con otros metales.

Las dos aleaciones más importantes conocidas desde la antigüedad son el bronce (una combinación de cobre y estaño) y el latón (una combinación de cobre y zinc).

Lo encontramos en la naturaleza en forma de mineral. Requiere pasar por varios procesos antes de comercializarlo, ya que se lo encuentra disperso en grandes áreas combinado con sales, rocas y otros minerales. (Donoso Muñoz, 2013)

### 1.6.2. Características físicas

Las principales características físicas del cobre son:

- Alta conductividad eléctrica.
- Alto grado de conductividad térmica.
- Gran resistencia a la corrosión.
- Reciclable. (ASM Handbook, 1988)

Las constantes de las propiedades físicas del cobre se ilustran en la Tabla 1.4., donde el punto de fusión es la más relevante.

**Tabla 1. 4.** Propiedades del cobre

COBRE	
Temperatura de fusión [°C]	1083
Calor específico [Kcal/Kg °C]	0,094
Calor latente de fusión [Kcal/Kg]	49

(ASM Handbook, 1988), (Incropera & DeWitt, 2011, pág. 899)

### **1.6.3. Características mecánicas**

Posee excelentes propiedades, de manera que lo hace útil para un extenso uso en la ingeniería.

Entre sus principales propiedades se puede destacar:

- Excelente metal para procesos de maquinado (fácil de moldear y cortar).
- Alta capacidad de aleación metálica.
- Buena capacidad de deformación en caliente y en frío.
- Propiedades bactericidas. (Donoso Muñoz, 2013)
- Soldable
- Aplicable para tratamientos térmicos (temple y recocido). (Correa & Robalino , 2007)

### **1.6.4. Aleaciones de cobre**

Fundir cobre puro es extremadamente difícil, ya que en este proceso se obtiene piezas con grietas en la superficie, porosidades y cavidades internas no deseadas es por ello que a nivel industrial se optado por adicionar pequeñas cantidades de otros metales que ayuden a mejorar las características de las piezas fundidas en base de cobre.

Se denominan cobres de aleación cuando son adicionados elementos como el berilio, silicio, níquel, estaño, zinc, cromo y plata. Lo que conlleva a la obtención de piezas con propiedades mejoradas respecto a las del cobre de alta pureza.

Las aleaciones de cobre presentan cualidades como:

- Alta resistencia a la tracción y a la compresión,
- Buena maquinabilidad
- Alta conductividad térmica y eléctrica
- Alta resistencia a la corrosión, entre otras.

Las aleaciones de cobre se dividen en tres grupos:

### Aleaciones tipo 1

Este grupo comprende todas aquellas aleaciones que se encuentran en un rango de solidificación menor a los 50 °C. Cobre cromado, latón amarillo, bronce al manganeso, bronce al aluminio, bronce al níquel y el latón blanco.

### Aleaciones tipo 2

Son las aleaciones que se encuentran en un rango de solidificación desde 50 °C hasta 110 °C. Cobre de berilio, latón de silicio, bronce al silicio y el níquel de cobre.

### Aleaciones tipo 3

Aleaciones que se encuentran en un rango de solidificación mayor a los 110 °C. Latón rojo con plomo, latón semirecocido con plomo, bronce al estaño, bronce al estaño con plomo.

#### 1.6.5. Sistema Unificado de Numeración de metales y Aleaciones

El código UNS para el cobre y sus aleaciones se compone de la letra C seguido de cinco dígitos (CXXXXX), la Asociación de Desarrollo de Cobre (CDA) asigna los tres primeros dígitos y los dígitos restantes corresponden a las modificaciones de la aleación, en la Tabla 1.5 se ilustra algunas aleaciones de cobre.

**Tabla 1. 5.** Aleaciones de cobre

NOMBRE	NÚMERO UNS	COMPOSICIÓN
Cobres	C80100-C81100	> 99% Cu
Aleaciones ricas en cobre	C81300-C82800	> 94% Cu
Latones cobrizos y cobrizos emplomados	C83300-C85800	Cu-Zn-Sn-Pb (75-89% Cu)
Latones ordinarios y ordinarios emplomados	C85200-C85800	Cu-Zn-Sn-Pb (57-74% Cu)
Bronces al manganeso y bronce al manganeso emplomados	C86100-C86800	Cu-Zn-Mn-Fe-Pb
Bronces al silicio, latones al silicio	C87300-C87900	Cu-Zn-Si
Bronces al estaño y bronce al estaño emplomados	C90200-C94500	Cu-Sn-Zn-Pb
Bronces al níquel-estaño	C94700-C94900	Cu-Ni-Sn-Zn-Pb
Bronces al aluminio	C95200-C95810	Cu-Al-Fe-Ni

Cuproníqueles	C96200-C96800	Cu-Ni-Fe
Platas níquel	C97300-C97800	Cu-Ni-Zn-Pb-Sn
Cobres emplomados	C98200-C98800	Cu-Pb
Aleaciones diversas	C99300-C99750	---

(Correa & Robalino , 2007)

### **1.6.6. Aplicaciones del uso de cobre y sus aleaciones en la industria**

Los principales componentes fabricados con fundición en la industria en base a cobre y sus aleaciones son:

- Válvulas y racores
- Artículos de latón para fontanería
- Equipo eléctrico
- Bombas y compresores
- Equipo de transmisión de energía
- Maquinaria general
- Equipo de transporte
- Piezas para procesamiento químico, servicios públicos, desalinización, refinación de petróleo. (ASM Handbook, 1988)

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Especificaciones técnicas

#### 2.1.1. Consideraciones de diseño.

Previo al desarrollo del diseño del horno se toma en cuenta ciertas consideraciones necesarias, a fin de asegurar calidad en el proceso.

#### Temperatura

En el proceso de fundición del metal intervienen diferentes temperaturas, entre las cuales tenemos:

- **Temperatura ambiente ( $T_{amb}$ )**

Se considera la temperatura ambiente promedio de la ciudad de Portoviejo 25°C.

- **Temperatura de fusión ( $T_F$ )**

Temperatura de fusión del metal a fundir, en el caso de nuestro diseño se considera la temperatura de fusión del cobre (1083 °C).

- **Temperatura de sobrecalentamiento ( $T_s$ )**

Es la temperatura a la cual se lleva el metal fundido a fin de garantizar que toda la colada se encuentre en estado estable. Se considera una temperatura superior a la de fusión (1500°C).

#### Tiempo

El proceso de fundición del metal requiere un cierto tiempo para el proceso.

- **Tiempo de calentamiento ( $t$ )**

Se estima un tiempo aproximado de 90 minutos (1,5 h) para efectuar el proceso de fundición del cobre.

#### Carga metálica

La carga metálica requerida a fundir es de 60 Kg de cobre.

#### Tipo de horno

Se requiere un horno basculante con un mecanismo de vertido del metal fundido.

## Combustible de trabajo

El tipo de combustible definido es el diésel de acuerdo a las solicitudes de diseño, cuyas propiedades se visualizan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2. 1.** Características del combustible

<b>DIESEL</b>	
Formula Química	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>
Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	0.78 - 0.84
Masa molar [Kg/Kmol]	170
Calor específico [KJ/Kg K]	2.2
Poder Calórico superior [KJ/Kg]	46100
Poder Calórico inferior [KJ/Kg]	43200

(Cengel & Boles, 2009, pág. 945)

## Materia prima

Se considera al cobre como materia prima para el proceso de fundición, cuyas propiedades se visualizan en la Tabla 2.2.

**Tabla 2. 2.** Propiedades del Cobre

<b>COBRE</b>	
Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	8900
Punto de fusión [°C]	1083
Calor específico [J/Kg K]	385
Calor latente de fusión [KJ/Kg]	42
Conductividad térmica [W/m K]	401

(Cengel & Pérez, 2004)

### 2.1.2. Parámetros de diseño.

#### Selección del crisol

Para la selección del crisol se considera factores como: tipo de combustible empleado, tipo de horno, tipo de material a fundir, tipo de aleantes, entre otros.

Para el presente diseño se selecciona un crisol tipo A60 para una capacidad de 60 kg, cuyas dimensiones se detallan a continuación (Figura 2.1):

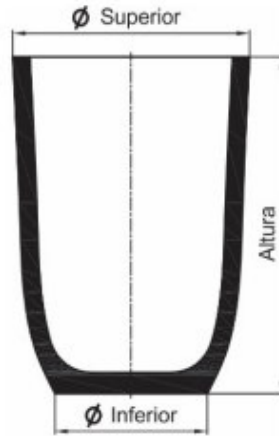


Figura 2. 1. Dimensiones del Crisol A60 seleccionado

(Materials, 2013)

- Diámetro superior (D): 285 mm
- Diámetro inferior (d): 200 mm
- Altura (H): 345 mm

Además, se usará una base refractaria para crisol, de manera que la llama suministrada no afecte directamente a las paredes del crisol acortando así su vida útil.

Las dimensiones de la base de crisol seleccionado son:

- Diámetro: 260 mm
- Altura: 160 mm

### Selección del cemento refractario

Se selecciona concreto refractario denso de alto contenido de alúmina para una temperatura de servicio de máxima de 1700 °C, sus características se muestran en la Tabla 2.3.

**Tabla 2. 3.** Propiedades cemento refractario

<b>CEMENTO REFRACTARIO</b>	
Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	1920
Temperatura máxima de servicio [°C]	1650
Conductividad térmica [W/m K]	1.4

(Cengel & Pérez, 2004)

## Selección del ladrillo refractario

Al seleccionar el mejor material refractario debe considerarse el tipo de metal a fundir, las temperaturas a alcanzar, el tiempo de fundición, cuánto tiempo se mantendrá el metal en el horno, que aditivos o agentes aleantes se utilizarán y la forma en que recubrirán las superficies, para el presente diseño se selecciona un ladrillo refractario UA-33, el cual presenta una buena resistencia a elevadas temperaturas de operación, cuyas dimensiones son:

- Largo: 9’’
- Ancho: 4 ½’’
- Alto: 2 ½’’

En la Tabla 2.4 se muestran las propiedades de mayor relevancia del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 4.** Propiedades ladrillo refractario

<b>LADRILLO REFRACTARIO</b>	
Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	2400
Temperatura máxima [°C]	1600
Conductividad térmica [W/m K]	1.34

(Cengel & Pérez, 2004, pág. 872)

## Selección de manta cerámica

Se selecciona una manta térmica con baja densidad y conductividad térmica, además que tenga una temperatura media de servicio de 800 °C como se muestra en la Tabla 2.5.

**Tabla 2. 5.** Propiedades manta cerámica

<b>LANA DE VIDRIO</b>	
Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	56-72
Temperatura máxima [°C]	800
Conductividad térmica [W/m K]	0.038 – 0.039

(Cengel & Pérez, 2004, pág. 874)

### 2.1.3. Dimensionamiento del horno.

#### 2.1.3.1. Dimensionamiento de la cámara.

Las dimensiones de la cámara se determinan a partir de las medidas del crisol seleccionado. Además, se considerará un espaciado de 60 mm entre el crisol y la cámara. Para este diseño se



seleccionó un crisol A60 con una capacidad de carga de 60 Kg, con las dimensiones de este se determinará las siguientes medidas (Figura 2.2).

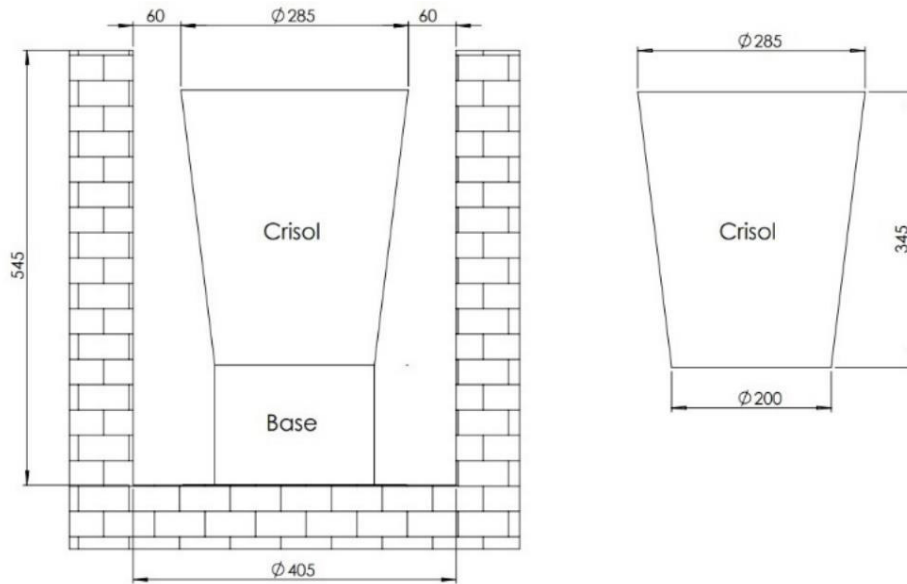


Figura 2. 2. Dimensiones y ubicación del crisol dentro de la cámara

(Propio)

### 2.1.3.2. Calor requerido

Para el desarrollo del proceso de fundición del metal es importante conocer la cantidad de energía necesaria para efectuar la transformación del metal. Que será igual a la suma de todas las energías que intervienen en el proceso de fusión.

Este calor  $Q$  se determina como el producto entre el peso de la carga  $m$ , el calor específico  $C_p$  y la variación de la temperatura  $\Delta T$  durante un determinado tiempo de fusión  $t$ . Como se muestra en la ecuación (1).

$$Q = \frac{m C_p \Delta T}{t} \quad (1)$$

Se tiene:

$Q_1$ : Es la energía necesaria para elevar la temperatura del metal desde la temperatura ambiente a la temperatura de fusión.

$Q_2$ : Es la energía necesaria para pasar el metal de estado sólido a líquido.

$Q_3$ : Es la energía necesaria para sobrecalentar el metal hasta la temperatura del vertido.

Entonces el calor requerido para la fusión del metal se determina con la siguiente ecuación:

$$Q_{requerido} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2)$$

**Calor necesario para elevar a la temperatura de fusión del material.**

$$Q_1 = \frac{m C_p (T_F - T_{amb})}{t} \quad (3)$$

Donde:

$m = \text{masa la carga metálica} = 60 \text{ Kg}$

$T_F = \text{temperatura de fusión el cobre} = 1083 \text{ }^\circ\text{C} = 1356.15 \text{ K}$

$T_{amb} = \text{temperatura ambiente} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298.15 \text{ K}$

$t = 1.5 \text{ h}$

Determinación del  $C_p$

$$C_{p@T_F} = 483.053 \frac{J}{Kg K}$$

$$C_{p@T_0} = 376.12 \frac{J}{Kg K}$$

$$\bar{C}_p = 429.587 \frac{J}{Kg K}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$Q_1 = \frac{60 \text{ kg} * 429.587 \frac{J}{Kg K} * (1356.15 - 298.15)K}{1.5 \text{ h}} = 18180.1218 \frac{KJ}{h}$$

$$Q_1 = 4345.1534 \frac{Kcal}{h}$$

**Calor necesario para el cambio de fase del material.**

$$Q_2 = \frac{m * C_L}{t} \quad (4)$$

Donde:

$$C_L = \text{calor latente de fusión del cobre} = 134 \frac{KJ}{Kg} = 32 \frac{Kcal}{Kg}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$Q_2 = \frac{60kg * 134 \frac{KJ}{Kg}}{1.5 h} = 5360 \frac{KJ}{h}$$
$$Q_2 = 1281.071 \frac{Kcal}{h}$$

**Calor necesario para elevar al sobrecalentamiento del material.**

$$Q_3 = \frac{m C_p (T_s - T_F)}{t} \quad (5)$$

Donde:

$$T_s = \text{temperatura de sobrecalentamiento} = 1500 \text{ } ^\circ\text{C} = 1773.15 \text{ K}$$

$$T_F = \text{temperatura de fusión} = 1083 \text{ } ^\circ\text{C} = 1356.15 \text{ K}$$

Determinación del  $C_p$

$$C_{p@T_s} = 496 \frac{J}{Kg K}$$

$$C_{p@T_F} = 483.053 \frac{J}{Kg}$$

$$\bar{C}_p = 489.527 \frac{J}{kg K}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$Q_3 = \frac{60 \text{ kg} * 489.527 \frac{\text{J}}{\text{Kg K}} * (1773.15 - 1356.15)^\circ\text{C}}{1.5 \text{ h}}$$

$$Q_3 = 8165.3104 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} = 1951.556 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Finalmente, el calor requerido por el metal será:

$$Q_{requerido} = 4345.1534 + 1281.071 + 1951.556$$

$$Q_{requerido} = 7577.7804 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

### Calor absorbido por el Crisol $Q_{Cr}$

Es importante evaluar la cantidad de calor absorbida por el crisol desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de sobrecalentamiento del metal, el calor absorbido se define por la ecuación (6).

$$Q_{Cr} = \frac{m_{Cr} * C_{pCr} * (T_s - T_{amb})}{t} \quad (6)$$

Donde:

$$T_s = \text{temperatura de sobrecalentamiento} = 1500^\circ\text{C} = 1773.15 \text{ K}$$

$$T_{amb} = \text{temperatura ambiente} = 25^\circ\text{C} = 298.15 \text{ K}$$

$$m_{Cr} = \text{masa del crisol} = 15 \text{ Kg}$$

Determinación el  $C_p$

$$C_{pCr@T_s} = 2345.8 \frac{\text{J}}{\text{Kg K}}$$

$$C_{p@T_{amb}} = 696.1257 \frac{\text{J}}{\text{Kg K}}$$

$$\bar{C}_p = 1520.96 \frac{J}{Kg K}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$Q_{Cr} = \frac{15Kg * 1520.96 \frac{J}{Kg K} * (1773.15 - 298.15)K}{1.5 h}$$

$$Q_{Cr} = 22434.16 \frac{KJ}{h} = 5361.8929 \frac{Kcal}{h}$$

### Calor útil en el proceso de fundición $Q_u$

El calor útil para la fusión del metal se define como la sumatoria del gasto energético requerido para fundir el metal y el absorbido por el crisol.

$$Q_u = Q_{requerido} + Q_{Cr} \quad (7)$$

$$Q_u = 7577.7804 \frac{Kcal}{h} + 5361.8929 \frac{Kcal}{h}$$

$$Q_u = 12939.6733 \frac{Kcal}{h}$$

### 2.1.3.3. Determinación del peso a calentarse $P_T$

El peso a calentarse corresponde a la suma del peso la carga metálica más el peso el crisol.

$$P_T = P_m + P_{Cr} \quad (8)$$

$P_m$  = peso de la carga metálica

$P_{Cr}$  = peso del crisol

$$P_T = 60Kg + 15Kg$$

$$P_T = 75 Kg$$

#### 2.1.3.4. Determinación el área a calentar

El área a calentar durante el proceso de fundición comprende las paredes internas el horno, la cámara de combustión y las paredes del crisol.

#### Crisol

En la Figura 2.3 y en la Tabla 2.6 se muestra los parámetros dimensionales del crisol.

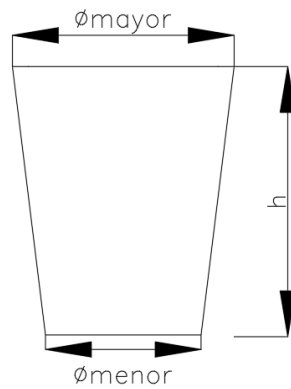


Figura 2. 3. Dimensiones del crisol

(Propio)

**Tabla 2. 6.** Cuadro resumen dimensiones del crisol

Diámetro		Altura
$\phi_{mayor}$	$\phi_{menor}$	$h$
<b>0.285 m</b>	0.2 m	0.345 m

(Propio)

#### - Área del crisol

El área del crisol comprende la superficie superior, inferior y lateral, como se muestra en la Figura 2.4.

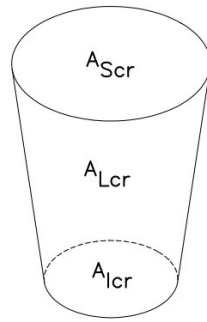


Figura 2. 4. Esquema indicativo de las áreas del crisol

(Propio)

El área superior a calentar del crisol se calcula utilizando la ecuación (9).

$$A_{Scr} = \pi * (R_{cr})^2 \quad (9)$$

Donde:

$A_{Scr}$ : área superior del crisol

$R_{cr}$ : radio superior del crisol

$$A_{Scr} = \pi * (0.1425)^2 = 0.06334 \text{ m}^2$$

El área inferior a calentar del crisol se calcula utilizando la ecuación (10).

$$A_{Icr} = \pi * (r_{cr})^2 \quad (10)$$

Donde:

$A_{Icr}$ : área inferior del crisol

$r_{cr}$ : radio inferior del crisol

$$A_{Icr} = \pi * (0.1)^2 = 0.0314 \text{ m}^2$$

El área lateral a calentar del crisol se calcula utilizando la ecuación (11).

$$A_{Lcr} = \pi * (R_{cr} + r_{cr}) * g \quad (11)$$

Donde:

$A_{Lcr}$ : área lateral del crisol

$g$ : longitud de la pared del crisol

$$A_{Lcr} = \pi * (0.1425 + 0.1) * 0.34761$$

$$A_{Lcr} = 0.2648 \text{ m}^2$$

### Cámara de combustión

En la Figura 2.5 y en la Tabla 2.7 se muestra los parámetros dimensionales de la cámara de combustión interna.

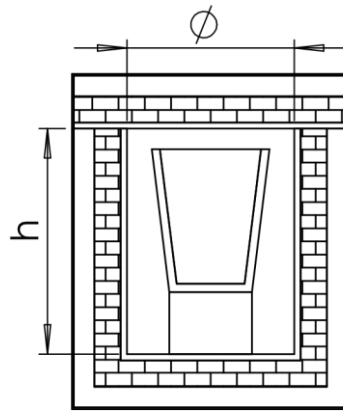


Figura 2. 5. Dimensiones de la Cámara de Combustión

(Propio)

**Tabla 2. 7.** Dimensiones finales de la cámara de combustión

Diámetro	Altura
Ø	h
<b>0.405 m</b>	0.545 m

(Propio)

#### - Área de la cámara de combustión

El área a calentar de la cámara de combustión comprende la superficie superior  $A_1$ , inferior  $A_2$  y lateral  $A_3$ , como se muestra en la Figura 2.6.



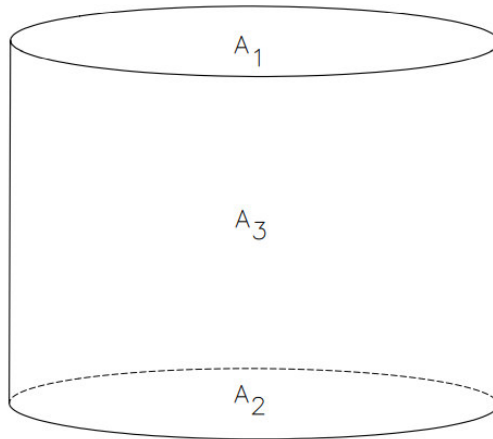


Figura 2. 6. Cámara de Combustión  
(Propio)

El área a calentar de la cámara de combustión se calcula utilizando la ecuación (12) para ello es necesario calcular previamente las áreas de la cara superior, inferior y lateral de esta. La misma tiene una forma geométrica cilíndrica.

- Cálculo del área de la cara superior e inferior.

$$A_1 = A_2$$

$$A_1 = \pi * r^2$$

$$A_1 = A_2 = \pi * (0.2025)^2 = 0.1288 \text{ m}^2$$

- Cálculo del área de la cara lateral.

$$A_3 = 2\pi * r * h$$

$$A_3 = 2\pi * 0.2025 * 0.545 = 0.6934 \text{ m}^2$$

- **Área a calentar  $A_c$**

$$A_c = (A_1 - A_{Scr}) + (A_2 - A_{Lcr}) + A_3 + A_{Lcr} \quad (12)$$

$$A_1 - A_{Scr} = 0.1288 \text{ m}^2 - 0.06334 \text{ m}^2 = 0.0655 \text{ m}^2$$

$$A_2 - A_{Icr} = 0.1288 \text{ m}^2 - 0.0314 \text{ m}^2 = 0.0974 \text{ m}^2$$

$$A_c = 0.0655 + 0.0974 + 0.6934 + 0.2648$$

$$A_c = 1.1211 \text{ m}^2$$

### 2.1.3.5. Capacidad de calentamiento $R_f$

Se define como la capacidad que tiene el horno a calentarse en un tiempo de una hora y media, se calcula con la ecuación (13).

$$R_f = \frac{P_T}{t * A_c} \quad (13)$$

$$R_f = \frac{75 \text{ Kg}}{1.5 \text{ h} * 1.1211 \text{ m}^2} = 44.59 \frac{\text{Kg}}{\text{h} * \text{m}^2}$$

$$R_f = 0.012 \frac{\text{Kg}}{\text{s} * \text{m}^2}$$

### 2.1.3.6. Energía a suministrar por unidad de peso $E_{up}$

Se define como la cantidad de energía que debe entregar por cada kilogramo en el proceso, se calcula con la ecuación (14).

$$E_{up} = \frac{Q_u}{P_T} \quad (14)$$

$$E_{up} = \frac{12939.6733}{75} = 172.5289 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

### 2.1.3.7. Flujo de calor por área

Se obtiene al multiplicar la capacidad de calentamiento con la energía a suministrar por unidad de peso, se calcula con la ecuación (15).

$$F_1 = R_f * E_{up} \quad (15)$$

$$F_1 = 44.59 \frac{\text{Kg}}{\text{h} * \text{m}^2} * 172.5289 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$F_1 = 7693.0637 \frac{Kcal}{h * m^2} = 2.1369 \frac{Kcal}{s * m^2}$$

### 2.1.3.8. Condición de Trinks

Trinks sugiere usar un coeficiente z para indicar la relación entre volumen y área del horno. Por tanto, se calcula como la relación del flujo de calor por área dividido para el coeficiente de Trinks.

$$z = 88.97 \frac{Kcal}{s * m^3}$$

$$\frac{F_1}{z} = \frac{2.1369 \frac{Kcal}{s * m^2}}{88.97 \frac{Kcal}{s * m^3}}$$

$$\frac{F_1}{z} = 0.024 \frac{m^3}{m^2}$$

$$x = \frac{0.024 m^3}{1.1211 m^2}$$

$$x = 0.027 m^3$$

Por esta condición se tiene que se requiere 0.024 m<sup>3</sup> por cada unidad de área (m<sup>2</sup>), para este diseño en especial se requiere 0.027 m<sup>3</sup> en un área a calentar de 1.1211 m<sup>2</sup>.

### 2.1.3.9. Volumen total de la cámara

El volumen de la cámara es el comprendido entre la cámara interna y el crisol, para determinar es necesario calcular el volumen de la cámara del horno utilizando la ecuación (16) y del crisol utilizando la ecuación (17).

- **Horno**

$$V_H = \pi * r^2 * h \tag{16}$$

$$V_H = \pi * (0.2025)^2 * 0.545$$

$$V_H = 0.0702 \text{ m}^3$$

- **Crisol**

$$V_{cr} = \frac{\pi * h_{Cr} * (R_{Cr}^2 + r_{cr}^2 + R_{Cr} * r_{Cr})}{3} \quad (17)$$

$$V_{cr} = \frac{\pi * 0.345 * (0.1425^2 + 0.1^2 + 0.1425 * 0.1)}{3}$$

$$V_{cr} = 0.016 \text{ m}^3$$

### **Volumen de la cámara**

El volumen de la cámara es la diferencia entre el volumen del horno y el volumen del crisol, se determina con la ecuación (18).

$$V_{cámara} = V_H - V_{cr} \quad (18)$$

$$V_{cámara} = 0.0702 - 0.016$$

$$V_{cámara} = 0.0542 \text{ m}^3$$

## **2.2. Análisis Térmico**

### **2.2.1. Requerimientos energéticos.**

Para el diseño del horno se analizan los calores generados interna y externamente debido al calentamiento del metal. Se tienen calores por conducción, convección y radiación.

#### **2.2.1.1. Transferencia de calor**

Durante el proceso de fundición interviene tres modos de transferencia del calor conducción, convección y radiación.

## Conducción

Es un mecanismo de transferencia de energía en forma de calor, se da de las partículas más energéticas a las menos energéticas. En las sustancias solidas se manifiesta como vibraciones debido a la traslación de los electrones.

La ley de Fourier establece que para una pared unidimensional existe una distribución de temperaturas.

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$$

Donde:

$$q_x'' = \text{flujo de calor por unidad de área.} \left( \frac{W}{m^2} \right)$$

$$k = \text{conductividad térmica.} \left( \frac{W}{mK} \right)$$

$$\frac{dT}{dx} = \text{gradiente de temperatura en direccion } x. \left( \frac{K}{m} \right)$$

## Convección

Es un mecanismo de transferencia de energía se presenta como movimiento molecular o como un movimiento global a nivel macroscópico del fluido.

Este tipo de transferencia de calor se clasifica de acuerdo a la naturaleza el flujo, donde tiene convección libre inducida por fuerzas de empuje originando una diferencia de densidades y forzada causada por un medio externo.

El modelo matemático para determinar el calor por convención se determina con la siguiente ecuación, correspondiente a la ley enfriamiento de Newton:

$$Q'' = h * (\Delta T)$$

Donde:

$$Q'' = \text{flujo de calor por unidad de área.} \left( \frac{W}{m^2} \right)$$

$h = \text{coeficiente de transferencia de calor por convección} . \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$

$\Delta T = \text{diferencia de temperaturas} . (K)$

## **Radiación**

Es la energía que emite un cuerpo a una temperatura infinita, se debe a configuraciones electromagnéticas de átomos o moléculas. Este tipo de energía se transporta por medio de ondas electromagnéticas, es decir no requiere de un medio de transporte.

Dicho intercambio de calor se determina con la siguiente ecuación:

$$q_{rad} = h_r * A * (T_s - T_{aire})$$

$q_{rad} = \text{transferencia de calor por radiación} . \left( \frac{W}{m^2} \right)$

$h_r = \text{coeficiente de transferencia de calor por radiación} . \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$

$A = \text{área de transferencia} . (m^2)$

$T_s = \text{temperatura de la superficie} . (K)$

$T_{aire} = \text{temperatura ambiente} . (K)$

### **2.2.2. Pérdidas generadas**

Debido a la elevada diferencia de temperaturas entre la parte interna y externa del horno, es importante conocer todas aquellas pérdidas.

#### **2.2.2.1. Calor absorbido por la pared**

Se analiza el calor a través de cada uno de los componentes de la pared y en la parte externa del horno. Como se muestra en la Figura 2.7.

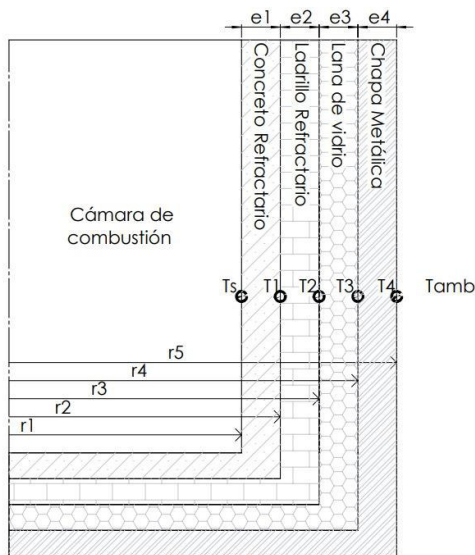


Figura 2. 7. Pared del horno  
(Propio)

### Calor por conducción

Para determinar el calor por conducción es necesario conocer los parámetros geométricos del horno (Tabla 2.8) y la ubicación de cada uno de los componentes de la pared (Tabla 2.9).

**Tabla 2. 8.** Parámetros geométricos del horno

Concreto Refractario	Ladrillo Refractario	Lana de vidrio	Chapa metálica	Dimensiones del horno		
				e1	e2	e3
0,015	0,0635	0,05	0,004	0,1325	0,67	0,545
0,015	0,1143	0,05	0,004	0,1833	0,7716	0,545
0,015	0,2286	0,05	0,004	0,2976	1,0002	0,545

(Propio)

**Tabla 2. 9.** Medidas de la posición de los componentes de la pared del horno

r1	r2	r3	r4	r5
0,2025	0,2175	0,281	0,331	0,335
0,2025	0,2175	0,3318	0,3818	0,3858
0,2025	0,2175	0,4461	0,4961	0,5001

(Propio)

El flujo de calor por conducción a través de la pared del horno se determina con la ecuación (19) obtenida de (Incropera & DeWitt, 2011). Esta ecuación se ocupa para el cálculo de los diferentes espesores de pared.

$$Q_{cond} = \frac{T_s - T_4}{\frac{1}{2 * \pi * L} \left( \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{k_1} + \frac{\ln \left( \frac{r_3}{r_2} \right)}{k_2} + \frac{\ln \left( \frac{r_4}{r_3} \right)}{k_3} + \frac{\ln \left( \frac{r_5}{r_4} \right)}{k_4} \right)} \quad (19)$$

$$Q_{cond} = \frac{(1773.15 - 333.15)K}{\frac{1}{2 * \pi * 0.545 \text{ m}} \left( \frac{\ln \frac{0.2175}{0.2025}}{1.4 \frac{W}{m * K}} + \frac{\ln \frac{0.281}{0.2175}}{1.34 \frac{W}{m * K}} + \frac{\ln \frac{0.331}{0.281}}{0.038 \frac{W}{m * K}} + \frac{\ln \frac{0.335}{0.331}}{63.9 \frac{W}{m * K}} \right)}$$

$$Q_{cond} = 1083.2787 \text{ W}$$

En la Tabla 2.10 se detalla las pérdidas por las paredes por conducción para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 10.** Pérdidas por las paredes por conducción para las 3 disposiciones del ladrillo refractario

Dimensiones de la pared horno			Pérdida por conducción pared
Espesor pared	Diámetro	Altura (L)	Q cond
<b>0,1325</b>	0,6700	0,545	1083,2787
<b>0,1833</b>	0,7716	0,545	1214,4881
<b>0,2976</b>	1,0002	0,545	1457,6436

(Propio)

### Calor por convección-radiación

El flujo de calor por convección-radiación a través de la pared del horno se determina con la ecuación (28) obtenida de (Incropera & DeWitt, 2011).



- **Coefficiente de convección de la pared del horno**

Para el cálculo del coeficiente de convección de la pared del horno se determina con ayuda de las ecuaciones (20) temperatura media, (21) número de Rayleigh, (22) número de Grashof, (24) número de Nusselt, (25) coeficiente de convección; obtenidas de (Incropera & DeWitt, 2011).

$$T_p = \frac{T_4 + T_{amb}}{2} \quad (20)$$

$$T_4 = 60^\circ C + 273.15 = 333.15^\circ K$$

$$T_{amb} = 25^\circ C + 273.15 = 298.15^\circ K$$

$$T_p = \frac{(333.15 + 298.15)K}{2}$$

$$T_p = 315.65 K$$

En la Tabla 2.11 se detalla las propiedades del aire @  $T_p=315.65^\circ K$  ( $42.5^\circ C$ ), obtenidas de (Cengel & Pérez, 2004)

**Tabla 2. 11.** Tabla de propiedades del aire

$\rho$	1.118	Kg/m <sup>3</sup>
$C_p$	1.007	J/Kg*K
$k$	0.0268	W/m*K
$\alpha$	2.381e-5	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
$\mu$	1.929e-5	Kg/m*s
$\nu$	1.726e-5	m <sup>2</sup> /s
$Pr$	0.7248	---

(Propio)

$$Ra = \frac{g * \beta * (T_4 - T_f) * L^3}{\nu^2} * Pr \quad (21)$$

$$\beta = \frac{1}{T_p}$$

$$\beta = \frac{1}{315.65 K}$$

$$\beta = 0.0032 \frac{1}{K}$$

$$Ra = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.0032 \frac{1}{K} * (333.15 - 298.15)K * (0.545 m)^3}{(1.726e - 5 \frac{m^2}{s})^2} * 0.7248$$

$$Ra = 428407797.43$$

Para cilindros verticales

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_4 - T_f) * L^3}{\nu^2} \quad (22)$$

$$Gr = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.0032 \frac{1}{K} * (333.15 - 298.15)K * (0.6775 m)^3}{(1.726e - 5 \frac{m^2}{s})^2}$$

$$Gr = 591070360.7$$

$$D \geq \frac{35 * L}{Gr^{1/4}} \quad (23)$$

$$0.67m \geq \frac{35 * 0.545m}{591070360.7^{1/4}}$$

$$0.67 m \geq 0.1223 m$$

∴ Considerar como pared plana

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * (Ra)^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (24)$$

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * (428407797.43)^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{0.7248} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 94.9865$$

$$h_c = \frac{Nu * k}{L} \quad (25)$$

$$h_c = \frac{116.3863 * 0.0268 \frac{W}{m * K}}{0.545m}$$

$$h_c = 4.6709 \frac{W}{m^2 * K}$$

- **Coefficiente de radiación**

Para el cálculo del coeficiente de radiación de la pared del horno se determina con ayuda de la ecuación (26); obtenida de (Incropera & DeWitt, 2011).

$$\varepsilon = \text{emisividad} = 0.8$$

$$\sigma = \text{constante Stefan Boltzmann} = 5.67e - 8 \frac{W}{m^2 * K^4}$$

$$h_r = \varepsilon * \sigma * (T_4 + T_{amb}) * (T_4^2 + T_{amb}^2) \quad (26)$$

$$h_r = 0.8 * 5.67e - 8 \frac{W}{m^2 * K^4} * (333.15 + 298.15)K * (333.15^2 + 298.15^2)K^2$$

$$h_r = 5.7238 \frac{W}{m^2 * K}$$

- **Coefficiente de convección-radiación**

Para el cálculo del coeficiente de convección-radiación de la pared del horno se determina con ayuda de la ecuación (27); obtenida de (Incropera & DeWitt, 2011).

$$h_{cr} = h_c + h_r \quad (27)$$

$$h_{cr} = (4.6709 + 5.7238) \frac{W}{m^2 * K}$$

$$h_{cr} = 10.3947 \frac{W}{m^2 * K}$$

En la Tabla 2.12 se visualiza los coeficientes de convección-radiación por las paredes del horno para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 12.** Coeficientes de transferencia de calor por las paredes de horno

Dimensiones de la pared horno			Coeficiente		
Espesor pared	Diámetro	Altura	Convección	Radiación	Conv-Rad
<b>0,1325</b>	0,6700	0,545	4,6709	5,7238	10,3947
<b>0,1833</b>	0,7716	0, 545	4,6709	5,7238	10,3947
<b>0,2976</b>	1,0002	0, 545	4,6709	5,7238	10,3947

(Propio)

$$Q_{cov - rad} = \frac{T_4 - T_{amb}}{\frac{1}{A_s * h_{cr}}} \quad (28)$$

$$A_s = \pi * D * L$$

$$A_s = \pi * 0.67 m * 0.545 m$$

$$A_s = 1.1472 m^2$$

$$Q_{cov - rad} = \frac{(333.15 - 298.15)K}{\frac{1}{1.1472 m^2 * 10.3947 \frac{W}{m^2 * K}}}$$

$$Q_{cov - rad} = 417.3499 W$$

En la Tabla 2.13 se visualiza las pérdidas de calor por convección-radiación en las paredes del horno para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 13.** Pérdidas por convección – radiación en las paredes

Dimensiones de la pared horno			Pérdida por convección-radiación pared
Espesor pared	Diámetro	Altura	Qconv-rad
0,1325	0,6700	0,545	417,3499
0,1833	0,7716	0,545	480,6376
0,2976	1,0002	0,545	623,0349

(Propio)

**Calor total por la pared**

El calor total por la pared es igual al sumatorio entre el calor por conducción y el calor por convección-radiación, se obtiene con la ecuación (29).

$$Q_{abs1} = Q_{cond} + Q_{cov - rad} \quad (29)$$

$$Q_{abs1} = (1083.2787 + 417.3499) W$$

$$Q_{abs1} = 1500.6286 W$$

En la Tabla 2.14 se visualiza las pérdidas de calor totales en las paredes del horno para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 14.** Pérdidas totales por las paredes

Dimensiones de la pared horno			Pérdida total por pared
Espesor pared	Diámetro	Altura	Q <sub>abs1</sub>
0,1325	0,6700	0,545	1500,6286
0,1833	0,7716	0,545	1695,1257
0,2976	1,0002	0,545	2080,6786

(Propio)

**2.2.2.2. Calor absorbido por la base del horno**

Se analiza el flujo de calor a través de cada uno de los componentes de la base y en la parte externa del horno.

## Calor por conducción

Para determinar el calor por conducción a través de la base del horno es necesario conocer sus parámetros geométricos (Tabla 2.15).

**Tabla 2. 15.** Parámetros geométricos del horno

Dimensiones de la base del horno				Concreto Refractario	Ladrillo Refractario	Lana de vidrio	Chapa metálica
Espesor base	Diámetro	Altura	Área	e1	e2	e3	e4
0,1325	0,67	0,1675	0,3526	0,015	0,0635	0,05	0,004
0,1833	0,7716	0,1929	0,4676	0,015	0,1143	0,05	0,004
0,2976	1,0002	0,25005	0,7857	0,015	0,2286	0,05	0,004

(Propio)

El flujo de calor por conducción a través de la base del horno se determina con la ecuación (30) obtenida de (Incropera & DeWitt, 2011). Esta ecuación se ocupa para el cálculo de los diferentes espesores de pared.

$$Q_{cond} = \frac{T_s - T_4}{\frac{1}{A} \left( \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{e_4}{k_4} \right)} \quad (30)$$

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0.335 \text{ m})^2$$

$$A = 0.3526 \text{ m}^2$$

$$Q_{cond} = \frac{(1773.15 - 333.15)K}{\frac{1}{0.3526 \text{ m}^2} \left( \frac{0.015 \text{ m}}{1.4 \frac{W}{m * K}} + \frac{0.0635 \text{ m}}{1.34 \frac{W}{m * K}} + \frac{0.05 \text{ m}}{0.038 \frac{W}{m * K}} + \frac{0.004 \text{ m}}{63.9 \frac{W}{m * K}} \right)}$$

$$Q_{cond} = 369.5129 \text{ W}$$

En la Tabla 2.16 se detalla las pérdidas por conducción en la base para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 16.** Perdidas por conducción en la base del horno

Dimensiones de la base del horno				Pérdida por conducción base
Espesor base	Diámetro	Altura	Área	Qcond
0,1325	0,67	0,1675	0,3526	369,5129
0,1833	0,7716	0,1929	0,4676	476,9180
0,2976	1,0002	0,25005	0,7857	755,7130

(Propio)

### Calor por convección-radiación

El flujo de calor por convección-radiación a través de la base del horno se determina con la ecuación (37) obtenida de (Incropera & DeWitt, 2011).

#### - Coeficiente de convección

Las condiciones de la base del horno se encuentran a las mismas condiciones de temperatura que la pared cilíndrica, por ello las propiedades no varían.

Para el cálculo del coeficiente de convección de la base del horno se determina con ayuda de las ecuaciones, (31) número de Rayleigh, (32) número de Nusselt, (33) coeficiente de convección; obtenidas de (Incropera & DeWitt, 2011).

$$Ra = \frac{g * \beta * (T_4 - T_f) * L^3}{\nu^2} * Pr \quad (31)$$

$$L = \frac{A_{base}}{P_{base}}$$

$$A_{base} = \pi * r^2$$

$$A_{base} = \pi * 0.335^2$$

$$A_{base} = 0.3526 \text{ m}^2$$

$$P_{base} = 2\pi * r$$

$$P_{base} = 2\pi * 0.335$$

$$P_{base} = 2.1049 \text{ m}$$

$$L = \frac{0.3526 \text{ m}^2}{2.1049 \text{ m}}$$

$$L = 0.1675 \text{ m}$$

$$Ra = \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.0032 \frac{1}{\text{K}} * (333.15 - 298.15)\text{K} * (0.1675 \text{ m})^3}{(1.726e - 5 \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2} * 0.7248$$

$$Ra = 12436904.35$$

Para una placa horizontal con superficie superior caliente y la superficie inferior fría se determina el número de Nusselt.

$$Nu = 0.15 * Ra^{1/3} \quad 10^7 < Ra < 10^{11} \quad (32)$$

$$Nu = 0.15 * 12436904.35^{1/3}$$

$$Nu = 34.7532$$

$$h_c = \frac{Nu * k}{L} \quad (33)$$

$$h_c = \frac{34.7532 * 0.0268 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}}{0.1675 \text{ m}}$$

$$h_c = 5.5605 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$



- **Coefficiente de radiación**

El coeficiente de radiación es el mismo de la pared circular, ya que las condiciones de temperatura no varían; se calcula con la ecuación (26).

$$h_r = 5.7238 \frac{W}{m^2 * K} \quad (34)$$

- **Coefficiente de convección-radiación**

Para el cálculo del coeficiente de convección-radiación de la base del horno se determina con ayuda de la ecuación (35); obtenida de (Incropera & DeWitt, 2011).

$$h_{cr} = h_c + h_r \quad (35)$$

$$h_{cr} = (5.5605 + 5.0083) \frac{W}{m^2 * K}$$

$$h_{cr} = 11.2843 \frac{W}{m^2 * K}$$

En la Tabla 2.17 se visualiza los coeficientes de convección-radiación por la base del horno para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 17.** Coeficientes de transferencia de calor por la base del horno

Dimensiones de la base del horno			Coeficiente		
Espesor base	Diámetro	Altura	Convección	Radiación	Conv-Rad.
0,1325	0,6700	0,16750	5,5605	5,7238	11,2843
0,1833	0,7716	0,19290	5, 5605	5, 7238	11, 2843
0,2976	1,0002	0,25005	5, 5605	5, 7238	11, 2843

(Propio)

$$Q_{cov - rad} = \frac{T_4 - T_{amb}}{\frac{1}{A_s * h_{cr}}} \quad (36)$$

$$A_{base} = \pi * r^2$$

$$A_{base} = \pi * 0.335^2$$

$$A_{base} = 0.3526 \text{ m}^2$$

$$Q_{cov - rad} = \frac{(333.15 - 298.15)K}{\frac{1}{0.3526 \text{ m}^2 * 11.2843 \frac{W}{\text{m}^2 * K}}}$$

$$Q_{cov - rad} = 139.2459 \text{ W}$$

En la Tabla 2.18 se visualiza las pérdidas de calor por convección-radiación en la base del horno para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 18.** Perdidas por convección- radiación por la base del horno.

Dimensiones de la base del horno			Pérdida por convección-radiación base
Espesor base	Diámetro	Altura	Qconv-rad
0,1325	0,6700	0,1675	139,2459
0,1833	0,7716	0,1929	184,6788
0,2976	1,0002	0,25005	310,3176

(Propio)

### Calor total por la base

El calor total por la base es igual al sumatorio entre el calor por conducción y el calor por convección-radiación, se obtiene con la ecuación (37).

$$Q_{abs2} = Q_{cond} + Q_{cov - rad} \quad (37)$$

$$Q_{abs2} = (369.5129 + 139.2459) \text{ W}$$

$$Q_{abs2} = 508.7588 \text{ W}$$

En la Tabla 2.19 se visualiza las pérdidas de calor totales en la base del horno para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 19.** Pérdidas totales por la base del horno

Dimensiones de la base del horno				Pérdida total por base
Espesor base	Diámetro	Altura	Área	$Q_{abs2}$
0,1325	0,67	0,1675	0,3526	508,7588
0,1833	0,7716	0,1929	0,4676	661,5968
0,2976	1,0002	0,25005	0,7857	1066,0306

(Propio)

**2.2.2.3. Calor absorbido por la tapa del horno**

Se analiza el calor a través de cada uno de los componentes de la tapa y en la parte externa del horno.

**Calor por conducción**

Para determinar el calor por conducción a través de la tapa del horno es necesario conocer sus parámetros geométricos (Tabla 2.20).

**Tabla 2. 20.** Dimensiones de las paredes del horno

Dimensiones de la tapa del horno				Concreto Refractario	Ladrillo Refractario	Lana de vidrio	Chapa metálica
Espesor tapa	Diámetro	Altura	Área	e1	e2	e3	e4
0,1325	0,67	0,1175	0,3211	0,015	0,0635	0,05	0,004
0,1833	0,7716	0,1429	0,4362	0,015	0,1143	0,05	0,004
0,2976	1,0002	0,20005	0,7543	0,015	0,2286	0,05	0,004

(Propio)

$$r_{ch} = 0.1 \text{ m (radio de chimenea)}$$

El flujo de calor por conducción a través de la tapa del horno se determina con la ecuación (38) obtenida de (Incropera & DeWitt, 2011). Esta ecuación se ocupa para el cálculo de los diferentes espesores de pared.

$$Q_{cond} = \frac{T_s - T_4}{\frac{1}{A} \left( \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{e_4}{k_4} \right)} \quad (38)$$

$$A = \pi * r^2 - \pi * r_{ch}^2$$

$$A = \pi * (0.335 \text{ m})^2 - \pi * (0.1 \text{ m})^2$$

$$A = 0.3211 \text{ m}^2$$

$$Q_{cond} = \frac{(1773.15 - 333.15)K}{\frac{1}{0.3212 \text{ m}^2} \left( \frac{0.015 \text{ m}}{1.4 \frac{W}{m * K}} + \frac{0.0635 \text{ m}}{1.34 \frac{W}{m * K}} + \frac{0.05 \text{ m}}{0.038 \frac{W}{m * K}} + \frac{0.004 \text{ m}}{18.8 \frac{W}{m * K}} \right)}$$

$$Q_{cond} = 336.5869 \text{ W}$$

En la Tabla 2.21 se detalla las pérdidas por conducción en la tapa para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 21.** Pérdidas por conducción por la tapa del horno

Dimensiones de la tapa del horno			Pérdida por conducción tapa	
Espesor tapa	Diámetro	Altura	Área	Qcond
0,1325	0,67	0,1175	0,3211	336,5869
0,1833	0,7716	0,1429	0,4362	444,8760
0,2976	1,0002	0,20005	0,7543	725,4965

(Propio)

### Calor por convección-radiación

El flujo de calor por convección-radiación a través de la tapa del horno se determina con la ecuación (43) obtenida de (Incropera & DeWitt, 2011).

#### - Coeficiente de convección

Las condiciones de la tapa del horno se encuentran a las mismas condiciones de temperatura que la pared cilíndrica, por ello las propiedades no varían.

Para el cálculo del coeficiente de convección de la tapa del horno se determina con ayuda de las ecuaciones, (39) número de Rayleigh, (40) número de Nusselt, (41) coeficiente de convección; obtenidas de (Incropera & DeWitt, 2011).

$$Ra = \frac{g * \beta * (T_4 - T_f) * L^3}{\nu^2} * Pr \quad (39)$$

$$L = \frac{A_{tapa}}{P_{tapa}}$$

$$A_{tapa} = \pi * r^2 - \pi * r_{ch}^2$$

$$A_{tapa} = \pi * (0.335 \text{ m})^2 - \pi * (0.1 \text{ m})^2$$

$$A_{tapa} = 0.3211 \text{ m}^2$$

$$P_{tapa} = 2\pi * (r + r_{ch})$$

$$P_{tapa} = 2\pi * (0.335 + 0.1)$$

$$P_{tapa} = 2.7332 \text{ m}$$

$$L = \frac{0.3211 \text{ m}^2}{2.7332 \text{ m}}$$

$$L = 0.1175 \text{ m}$$

$$Ra = \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.0032 \frac{1}{\text{K}} * (333.15 - 298.15) \text{K} * (0.1175 \text{ m})^3}{(1.726e - 5 \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2} * 0.7248$$

$$Ra = 4293203.35$$

Para una placa horizontal con superficie superior fría y la superficie inferior caliente se determina el número de Nusselt

$$Nu = 0.27 * Ra^{1/4} \quad 10^5 < Ra < 10^{11} \quad (40)$$

$$Nu = 0.27 * 4293203.35^{1/4}$$

$$Nu = 12.2902$$

$$h_c = \frac{Nu * k}{L} \quad (41)$$

$$h_c = \frac{12.2902 * 0.0268 \frac{W}{m * K}}{0.1175m}$$

$$h_c = 2.8032 \frac{W}{m^2 * K}$$

- **Coefficiente de radiación**

El coeficiente de radiación es el mismo de la pared circular, ya que las condiciones de temperatura no varían; se calcula con la ecuación (26).

$$h_r = 5.7238 \frac{W}{m^2 * K}$$

- **Coefficiente de convección-radiación**

Para el cálculo del coeficiente de convección-radiación de la tapa del horno se determina con ayuda de la ecuación (42); obtenida de (Incropera & DeWitt, 2011).

$$h_{cr} = h_c + h_r \quad (42)$$

$$h_{cr} = (2.8032 + 5.7238) \frac{W}{m^2 * K}$$

$$h_{cr} = 8.5270 \frac{W}{m^2 * K}$$

En la Tabla 2.22 se visualiza los coeficientes de convección-radiación por la tapa del horno para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 22.** Coeficientes de transferencia de calor por convección – radiación por la tapa del horno

Dimensiones de la tapa del horno			Coeficiente		
Espesor tapa	Diámetro	Altura	Convección	Radiación	Conv-Rad
0,1325	0,6700	0,1175	2,8032	5,7238	8,5270
0,1833	0,7716	0,1429	2,6694	5,7238	8,3931
0,2976	1,0002	0,20005	2,454	5,7238	8,1778

(Propio)

$$Q_{cov-rad} = \frac{T_4 - T_{amb}}{\frac{1}{A_s * h_{cr}}} \quad (43)$$

$$A_{tapa} = \pi * r^2 - \pi * r_{ch}^2$$

$$A_{tapa} = \pi * (0.335 \text{ m})^2 - \pi * (0.1 \text{ m})^2$$

$$A_{tapa} = 0.3211 \text{ m}^2$$

$$Q_{cov-rad} = \frac{(333.15 - 298.15)K}{\frac{1}{0.3211 \text{ m}^2 * 8.5270 \frac{W}{\text{m}^2 * K}}}$$

$$Q_{cov-rad} = 95.8454 \text{ W}$$

En la Tabla 2.23 se visualiza las pérdidas de calor por convección-radiación en la tapa del horno para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 23.** Perdidas por convección- radiación por la tapa del horno

Dimensiones de la tapa del horno			Pérdida por convección-radiación tapa
Espesor tapa	Diámetro	Altura	Qconv-rad
0,1325	0,6700	0,1175	95,8454
0,1833	0,7716	0,1429	128,1334
0,2976	1,0002	0,20005	215,8975

(Propio)

### Calor total por la tapa

El calor total por la tapa es igual al sumatorio entre el calor por conducción y el calor por convección-radiación, se obtiene con la ecuación (44).

$$Q_{abs3} = Q_{cond} + Q_{cov - rad} \quad (44)$$

$$Q_{abs3} = (336.5869 + 95.8454) W$$

$$Q_{abs3} = 432.4322 W$$

En la Tabla 2.24 se visualiza las pérdidas de calor totales en la tapa del horno para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.

**Tabla 2. 24.** Pérdidas de calor por la tapa del horno

Dimensiones de la tapa del horno				Pérdida total por tapa
Espesor tapa	Diámetro	Altura	Área	$Q_{abs3}$
0,1325	0,67	0,1175	0,3211	432,4322
0,1833	0,7716	0,1429	0,4362	573,0094
0,2976	1,0002	0,20005	0,7543	941,3941

(Propio)

#### 2.2.2.4. Calor total absorbido por el horno

El calor total absorbido por el horno es igual al sumatorio del calor absorbido por la pared  $Q_{abs1}$ , calor absorbido por la base  $Q_{abs2}$  y el calor absorbido por la tapa  $Q_{abs3}$ ; se calcula con la ecuación (45).

$$Q_{T_{abs}} = Q_{abs1} + Q_{abs2} + Q_{abs3} \quad (45)$$

$$Q_{T_{abs}} = (1500.6286 + 508.7588 + 432.4322) W$$

$$Q_{T_{abs}} = 2441,8196 W$$

En la Tabla 2.25 se visualiza las pérdidas de calor totales en el horno para las 3 disposiciones del ladrillo refractario.



**Tabla 2. 25.** Cuadro resumen de las pérdidas de calor en el horno

Pérdida total por pared	Pérdida total por base	Pérdida total por tapa	Pérdida total por el horno
$Q_{abs1}$	$Q_{abs2}$	$Q_{abs3}$	$Q_{Tabs}$
1500,6286	508,7588	432,4322	2441,8196
1695,1257	661,5968	573,0094	2929,7319
2080,6786	1066,0306	941,3941	4088,1033

(Propio)

Durante el proceso de fundición se presentan otras pérdidas como factores de humedad en el combustible, por los gases, por aberturas en el horno, entre otras. Por lo tanto, las pérdidas totales de calor será el producto entre la suma de todas las pérdidas y un factor de seguridad de 1,5 (Cengel & Pérez, 2004); ver ecuación (46).

$$Q_{T\text{pérdidas}} = Q_{T\text{abs}} * fs \quad (46)$$

$$Q_{T\text{pérdidas}} = 2441.8196 * 1.5$$

$$Q_{T\text{pérdidas}} = 3662.7294 \text{ W} = 3149.38 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

### 2.2.2.5. Energía total en el proceso de fundición

La cantidad de energía total requerida en el proceso de fundición del cobre es igual a la suma de la energía útil y las pérdidas totales generadas para un tiempo de 1.5 horas (ASM Handbook, 1988); ver ecuación (47).

$$Q_T = Q_u + Q_{T\text{pérdidas}} \quad (47)$$

$$Q_T = 12939.6733 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} + 3149.38 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

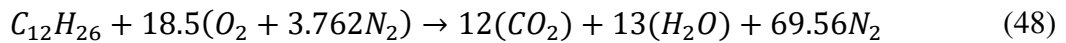
$$Q_T = 16089.0533 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

### 2.2.3. Potencia del quemador

#### 2.2.3.1. Relación aire combustible

Mediante la ecuación estequiométrica se determina la cantidad de aire necesario por kilogramo de combustible para una combustión completa, el valor se aproxima debido a que existen múltiples factores que involucran esta relación.

#### Ecuación estequiométrica



$$\frac{A}{C} = \frac{18.5[(1 * 32) + (3.762 * 28)] Kg_{aire}}{(12 * 12) + (13 * 2) Kg_{combustible}}$$

$$\frac{A}{C} = 14.95 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{combustible}}$$

Es necesario considerar un exceso de aire de manera de garantizar la oxidación completa del combustible, para este caso de estudio se considera un 20% de exceso de aire.

$$\frac{A}{C} = 17.94 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{combustible}}$$

#### 2.2.3.2. Calor generado en los gases de escape

Conociendo el calor generado en los gases de escape se puede evaluar el rendimiento del combustible a partir de la relación aire-combustible, para ello se considera una temperatura de los gases de 800 °C (Trinks, Mawhinney, Shannon, & et, 2004).

$$Q_{escape} = \frac{\frac{A}{C} * C_p * \Delta T * 100\%}{PCI} \quad (49)$$

Donde:

$$A/C = 17.94 \text{ Kg}_{aire} / \text{Kg}_{combustible}$$

$C_p@ 800\text{ }^\circ\text{C} = 1.153\text{ kJ/Kg K}$

$$\Delta T = T_{\text{escape}} - T_{\text{amb}} = (1073.15 - 298.15)\text{ K} = 775\text{ K}$$

$\text{PCI} = 43200\text{ kJ/Kg}$

$$Q_{\text{escape}} = \frac{17.94 \frac{\text{Kg}_{\text{aire}}}{\text{Kg}_{\text{combustible}}} * 1.153 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}_{\text{aire}} * \text{K}} * 775\text{ K} * 100\%}{43200 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}_{\text{combustible}}}}$$

$$Q_{\text{escape}} = 37.11\%$$

El rendimiento del combustible se calcula a partir de la sustracción entre un rendimiento ideal (100%) y el que se pierde por los gases de escape.

$$\eta_{\text{combustible}} = (100 - 37.11)\%$$

$$\eta_{\text{combustible}} = 62.89\%$$

### 2.2.3.3. Cálculo de la potencia requerida del quemador

Para determinar la potencia requerida por el quemador es necesario relacionar la cantidad de energía total necesaria para la operabilidad del horno y el rendimiento que ofrece el combustible.

$$P_Q = \frac{Q_T}{\eta_{\text{combustible}}} \quad (50)$$

$$P_Q = \frac{16089.0533 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{0.6289}$$

$$P_Q = 25582.8483 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 29.7529\text{ kW}$$

### 2.2.3.4. Consumo del combustible

El consumo de combustible se determina como una relación entre la energía de calor total y el poder calorífico inferior del combustible.

$$\dot{m}_c = \frac{Q_T}{H_C} \quad (51)$$

Donde:

$$Q_T = \text{Energía total} = 16089.0533 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$H_C = \text{Poder calórico inferior} = 43200 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}} = 10325.048 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\dot{m}_c = \frac{16089.0533 \text{ Kcal/h}}{10325.048 \text{ Kcal/Kg}}$$

$$\dot{m}_c = 1.5583 \text{ Kg/h}$$

### Volumen del combustible

Para conocer el volumen de combustible requerido es necesario conocer la densidad del diésel.

$$V_c = \frac{\dot{m}_c}{\delta_c} \quad (52)$$

$$\delta_c = \text{densidad del diésel} = 840 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_c = \frac{1.5583 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * 1.5\text{h}}{840 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_c = 0.0028 \text{ m}^3$$

### 2.2.3.5. Cantidad de aire requerida

La cantidad de aire requerida para la operación del horno se evalúa mediante la ecuación (53).

$$V_a = (10.25 * V_c) + 20\% * (10.25 * V_c) \quad (53)$$

$$V_a = (10.25 * 0.0028) + 20\% * (10.25 * 0.0028)$$

$$Va = 0.0344 \text{ m}^3$$

## 2.3. Diseño

### 2.3.1. Selección de componentes

En esta sección se enfoca en el cálculo de los elementos mecánicos necesarios para el diseño final del horno de fundición.

#### 2.3.1.1. Cálculo del centro de gravedad.

El centro de gravedad es un parámetro importante, que permite determinar la posición del eje para el sistema de volteo del horno para el vertido del metal fundido.

La Figura 2.8 y la Tabla 2.26 detalla el centro de masa y peso de cada uno de los componentes del horno.

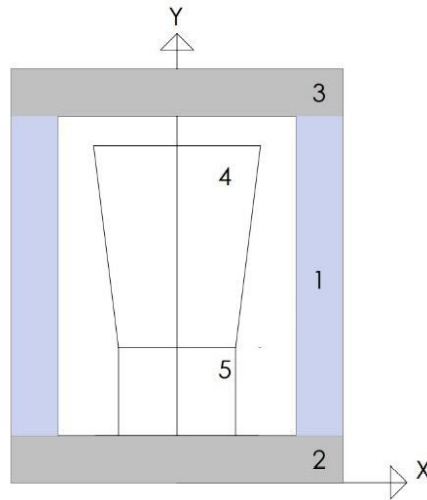


Figura 2. 8. Esquema componentes del horno

(Propio)

**Tabla 2. 26.** Centros de gravedad y masa de los componentes del horno

N°	Descripción	$\bar{Y}$ [mm]	M [Kg]
1	Pared	405	190.2819
2	Base	66.25	76.1992
3	Tapa	743.75	69.4099
4	Crisol	512.5	75

<b>5</b>	Base de crisol	207.5	10
<b>Total</b>			420.891

(Propio)

Para el diseño del sistema de basculación es importante determinar el centro de gravedad, para ello se utiliza la ecuación (54):

$$CG = \frac{\bar{Y}_1 * M_1 + \bar{Y}_2 * M_2 + \bar{Y}_3 * M_3 + \bar{Y}_4 * M_4 + \bar{Y}_5 * M_5}{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5} \quad (54)$$

Donde:

$\bar{Y}$  = centro de gravedad del los componentes del horno de fundicion

$M$  = masa del los componentes del horno de fundicion

$$CG = 414 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el eje de basculación del horno se encuentra ubicado a 414 mm del origen de coordenadas establecido.

### 2.3.1.2. Dimensionamiento del eje

El dimensionamiento del eje para el sistema de basculación del horno se analiza como un comportamiento de una viga simplemente apoyada, la cual soporta una carga puntual con una sobrecarga del 15% de su valor inicial.

$$M_T = \text{masa total} = 420,89 \text{ Kg}$$

$$M_S = \text{Masa total con sobrecarga del 15\%} = 484,0235 \text{ Kg}$$

$$W = \text{Peso total}$$

$$g = \text{gravedad} = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W = M_S * g \quad (55)$$

$$W = 4748,27 \text{ N}$$

## Análisis de cargas en el eje

### Diagrama de cuerpo libre

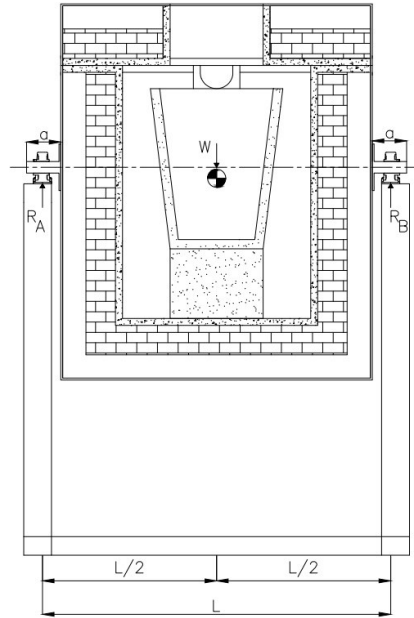


Figura 2. 9. Diagrama de fuerzas del cuerpo libre del horno  
(Propio)

Se considera al eje como una viga simplemente apoyada para el cálculo de reacciones mediante la condición de equilibrio para determinar el valor de cada una de las reacciones, como se muestra en la Figura 2.10.

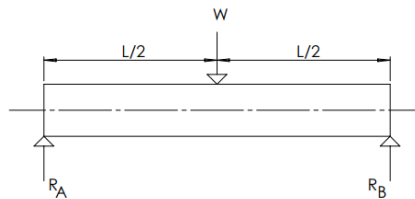


Figura 2. 10. Diagrama del cuerpo libre del eje  
(Propio)

- Condición de equilibrio

Sumatoria de fuerzas en el eje Y.

$$\sum Fy = 0 \quad (56)$$

$$R_A + R_B - W = 0$$

$$R_A + R_B = 4748,49 \text{ N}$$

Sumatoria de momentos en el apoyo A.

$$\sum M_A = 0 \quad (57)$$

$$R_A(0) + R_B * L - W * \frac{L}{2} = 0$$

$$0,810 * R_B = 4748,49 * 0,405$$

$$R_B = 2374,245 \text{ N}$$

$$R_A = 2374,245 \text{ N}$$

### Analisis de esfuerzos del eje

Para el análisis de esfuerzos del eje se considera a este como una viga en voladizo, como se muestra en la Figura 2.11. Donde, se analizará el valor de la reacción, el momento y el torque.

Para las condiciones geométricas del horno basculante se tiene un torque tiende a cero ya que el soporte se ubica por encima del centro de gravedad a 30 mm aproximadamente, lo que implica que el análisis posterior se limite a un análisis estático.

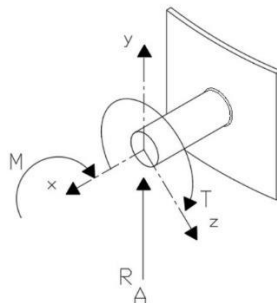


Figura 2. 11. Diagrama de cuerpo libre simplificado

(Propio)



Sumatoria de fuerzas en el eje Y.

$$\sum F_y = 0 \quad (58)$$

$$R_1 = R_A$$

$$R_1 = 2374,245 \text{ N} \therefore \text{Cortante igual a } R_A$$

- Determinación del esfuerzo cortante sobre el eje

Para el cálculo del esfuerzo cortante de una viga redonda sólida se utiliza la ecuación (59) como indica la Figura 2.12, (Norton, 2011). Donde, el factor de seguridad basado en la resistencia a la fluencia de materiales dúctiles se encuentra en un rango de 1.5 a 2. (Faires , 1995)

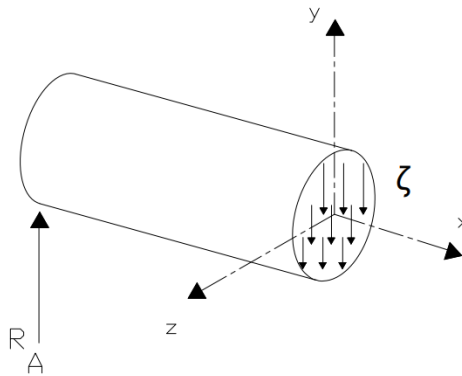


Figura 2. 12 Diagrama de cuerpo libre esfuerzo cortante  
(Propio)

$$\tau_{adm} = \frac{S_{sy}}{n} = \frac{4 * R_A}{3 * A} \quad (59)$$

Donde:

$S_{sy}$  = resistencia al cortante

$n$  = Factor de seguridad = 1.75

Para un material dúctil, la resistencia a la fluencia de corte se calcula con la ecuación (60), (Norton, 2011).

$$S_{sy} = 0.57 * S_y \quad (60)$$

$S_y = \text{resistencia a la fluencia} = 235 \text{ MPa (AISI 1018)}$

$$S_{sy} = 0,57 * 235 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} = 133,95 \text{ MPa}$$

$$\tau_{adm} = \frac{133,95 \text{ MPa}}{1.75}$$

$$\tau_{adm} = 76,5429 \text{ MPa}$$

$R_A = \text{carga sobre el eje. (N)}$

$$A = \text{área} = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$\tau_{adm} = \frac{16 * R_A}{3 * \pi * d^2} \quad (61)$$

$$d = \sqrt{\frac{16 * R_A}{3 * \pi * \tau_{adm}}}$$

$$d = \sqrt{\frac{16 * 2374,245 \text{ N}}{3 * \pi * 76,5429 \text{ MPa}}}$$

$$d = 7,2566 \text{ mm}$$

Se obtiene un diámetro del eje de 7,25 mm, cuando sobre él actúan esfuerzos de corte.

- Esfuerzos de cizallamiento

Para el cálculo del esfuerzo por cizallamiento de una viga redonda sólida como indica la Figura 2.13 se utiliza la ecuación (62), (Budynas & Nisbett, 2011). Donde, la fuerza cortante ( $R_A$ ), es uniforme en toda la sección transversal.

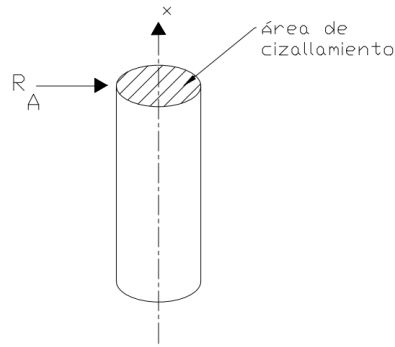


Figura 2. 13 Diagrama de cuerpo libre esfuerzo de cizallamiento  
(Propio)

$$\tau = \frac{R_A}{A} \quad (62)$$

$$\tau = \frac{4 * R_A}{\pi * d^2}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 2374,245 \text{ N}}{\pi * 76,5429 \text{ MPa}}}$$

$$d = 6,2844 \text{ mm}$$

- Esfuerzos por flexión

Para el cálculo del esfuerzo por flexión de una viga redonda sólida como indica la Figura 2.14 se utiliza la ecuación (63), este esfuerzo se da en el punto crítico que se encuentra entre el eje neutro y la fibra más alejada. (Budynas & Nisbett, 2011)

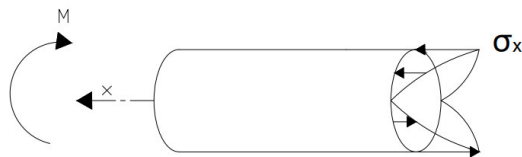


Figura 2. 14 Diagrama de cuerpo libre esfuerzo a flexión  
(Propio)

(63)

$$\sigma_{adm} = \frac{M * c}{I}$$

Donde:

$M =$  momento máximo ( $N * mm$ )

$I =$  inercia seccion circular  $= \frac{\pi * d^4}{64}$

$c =$  distancia desde el eje neutro hasta extremo  $= \frac{d}{2}$

Determinación el momento utilizando la ecuación (64).

$$M = P * a \quad (64)$$

$$M = 2374,135 N * 70mm$$

$$M = 166189,45 N * mm$$

Determinación del esfuerzo admisible para un material dúctil utilizando la ecuación (65), (Budynas & Nisbett, 2011).

$$\sigma_{adm} = \frac{Sy}{n} \quad (65)$$

$$\sigma_{adm} = \frac{235 MPa}{1,75}$$

$$\sigma_{adm} = 134,2857 MPa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{32 * M}{\pi * d^3} \quad (66)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M}{\pi * \sigma_{adm}}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 166189}{\pi * \sigma_{adm}}}$$

$$d = 23,2733 \text{ mm}$$

En el dimensionamiento del eje se considera al esfuerzo por flexión como parámetro principal, porque requiere de un mayor diámetro para soportar dichos esfuerzos. Por lo tanto, se selecciona un eje de 25 mm.

### 2.3.1.3. Dimensionamiento de la chumacera

El diámetro del eje es el parámetro principal para el dimensionamiento y selección de la chumacera, con un diámetro de 25 mm calculado previamente en la sección anterior y con el catálogo de SKF se tiene que el soporte o chumacera que se adapta a este requerimiento es el SY 25 TF. Ver Figura 2.15.

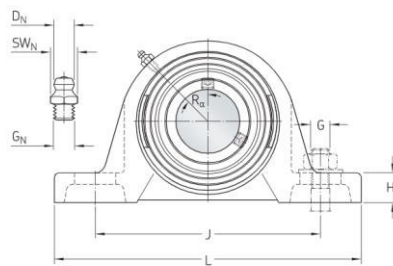


Figura 2. 15 Soporte SY25 TF  
(SKF, 2021)

### 2.3.1.4. Dimensionamiento del perfil para estructura de soporte

El dimensionamiento del perfil de la estructura de soporte considera un análisis estático de esfuerzos con un determinado material y dimensión. Para ello se divide a la estructura en tres tramos, como se muestra en la Figura 2.16.

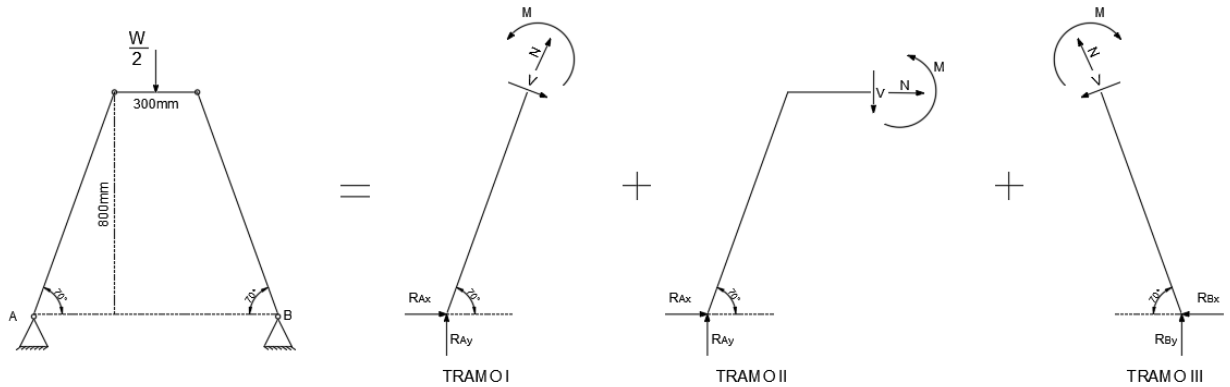


Figura 2. 16 Diagrama de cuerpo libre estructura  
(Propio)

### Esfuerzo admisible

Determinación del esfuerzo admisible para un material dúctil utilizando la ecuación (67), (Budynas & Nisbett, 2011).

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad (67)$$

El factor de seguridad  $n$  para elementos estructurales se lo considera un valor de 5 a 7 que son los valores mínimos recomendados por (Faires , 1995), para el diseño de la estructura del horno se considera un factor de seguridad igual a 6.

$$\sigma_{adm} = \frac{250 \text{ MPa}}{6} = 41,67 \text{ MPa}$$

Para acero ASTM A36 el esfuerzo admisible para tubería rectangular sometida a flexión se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_{adm} = 0,72 F_y$$

$$F_y = \frac{41,67 \text{ MPa}}{0,72} = 57.875 \text{ MPa}$$

$$F_y \geq \frac{M}{S}$$

$$57.875 \text{ MPa} \geq \frac{M}{s}$$

- Cálculo del momento flector máximo

$$\sum Fx = 0 \quad (68)$$

$$R_{Ax} + R_{Bx} = 0$$

$$\sum Fy = 0 \quad (69)$$

$$R_{Ay} + R_{By} + 2374.135 = 0$$

$$\sum M_A = 0 \quad (70)$$

$$R_{By}(0.88) + 2374.135(0.44) = 0$$

$$R_{By} = 1187.07 \text{ N} = R_{Ay}$$

$$R_{Ax} = \frac{(R_{Ay})}{\tan 70^\circ} \quad (71)$$

$$R_{Ax} = \frac{1187.0675}{\tan 70^\circ}$$

$$R_{Ax} = 471 \text{ N}$$

**Tramo I**

$$\sum Fx = 0 \quad (72)$$

$$N + 432.06 \cos(70^\circ) + 1187.07 \sin(70^\circ) = 0$$

$$N = 1263.25 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0 \quad (73)$$

$$-V - 432.06 \sin(70^\circ) + 1187.07 \cos(70^\circ) = 0$$

$$V = -0.0025 \text{ N}$$

$$\sum M = 0 \quad (74)$$

$$M + (432.06\text{sen}(70^\circ) - 1187.07\text{cos}(70^\circ)) * x = 0$$

$$M = 0.0022 \text{ N mm}$$

## Tramo II

$$\sum Fx = 0 \quad (75)$$

$$N - 432.06 = 0$$

$$N = 432.06 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0 \quad (76)$$

$$-V - 8333x + 1187.07 = 0$$

$$V = -1312.83 \text{ N}$$

$$\sum Fx = 0 \quad (77)$$

$$M + 8333x \left(\frac{x}{2}\right) - 1187.07(0.29 - x) + 432.06(0.8) = 0$$

$$M = 387,5 \text{ N m}$$

$$M = 387500 \text{ N mm}$$

Para el tramo III el momento máximo es igual al tramo I debido a que el pórtico es simétrico; por lo tanto, la sección crítica del pórtico corresponde al tramo II.

## Análisis de la sección crítica

Para el análisis de la sección crítica se considera al tramo II como una viga simplemente apoyada, ver Figura 2.17.



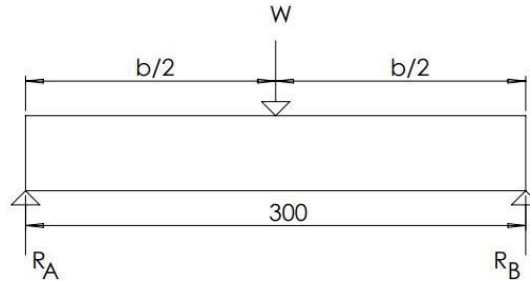


Figura 2. 17 Diagrama de cuerpo libre de la estructura de soporte tramo II

(Propio)

$$R_A = \frac{W}{2} = \frac{4748,27 \text{ N}}{2} = 2374,135 \text{ N}$$

$$M = W * \frac{b}{2} \tag{68}$$

$$M = 2374,135 \text{ N} * \frac{300}{2} \text{ mm}$$

$$M = 356120,25 \text{ N} * \text{ mm}$$

- **Cálculo del módulo de resistencia**

$$s \geq \frac{M}{F_y} \tag{69}$$

$$s \geq \frac{356120,25 \text{ N} * \text{ mm}}{57.875 \text{ MPa}}$$

$$s \geq 6,1533 \text{ cm}^3$$

A partir del módulo de resistencia calculado se seleccionará un perfil adecuado que cumpla correctamente la función asignada, para este caso se selecciona un perfil rectangular de 40 x 60 x 2.5mm.

### 2.3.1.5. Dimensionamiento del polipasto

Para el dimensionamiento del polipasto se toma como base la masa total a elevar con una sobrecarga del 15% a fin de garantizar que cumpla su funcionalidad de manera correcta, se tiene

una masa total del horno de 490 kg aproximadamente. Por lo tanto, el polipasto o tecle se seleccionará de acuerdo con este parámetro definido de un catálogo del nicho de mercado nacional.

La basculación a través de este método es muy sencilla, ya que permite girar al horno con gran facilidad al fin de obtener toda la carga de material fundido dentro de este. Este proceso requiere un giro entre (100-110) °. Para este tipo de basculación es necesario la colocación de un gancho en la parte baja del horno de Ø1/2” el tecle sujetará este gancho para la basculación.

### 2.3.2. Selección de materiales

En la Tabla 2.27 se detalla los materiales a usar para el diseño del horno basculante.

**Tabla 2. 27.** Cuadro de resumen de los materiales seleccionados para el diseño del horno basculante

N°	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	CATÁLOGO	ANEXO
1	Ladrillos refractarios	<b>Tipo:</b> recto <b>Modelo:</b> U-33 (ASTM C-27) <b>Medidas:</b> 9’’x 4 ½’’x 2 ½’’	95 u.	ERECOS	Anexo.1
2	Cemento refractario	<b>Tipo:</b> Cóncrax F <b>Denominación:</b> 1700 Peso: 25Kg	50 kg	ERECOS	Anexo.2
3	Plancha de acero	<b>Material:</b> plancha ASTM A-36 (e=4mm) <b>Medidas a necesitar:</b> Cuerpo 0,81 x 2,1 x 0,004 (m) Tapa Ø 0,67 x 0,004 (m) Base Ø 0,67 x 0,004 (m)	1 u.	DIPAC	Anexo.3
4	Manta Refractaria	<b>Material:</b> Fibra de Vidrio <b>Medidas a necesitar:</b> Cuerpo 0.81 x 2,1 x 0,50 (m) Tapa Ø 0,67 x 0,50 (m) Base Ø 0,67 x 0,50 (m)	1 u.	UNIFRAX	Anexo.4
5	Crisol	<b>Modelo:</b> Salamander A60 <b>Capacidad:</b> 60 Kg <b>Metal a fundir:</b> Cobre <b>Medidas:</b> 285x200x345 (mm)	1 u.	MORGAN	Anexo.5
6	Quemador	<b>Combustible:</b> Diesel <b>Capacidad:</b> 0,5- 2,5 GPH <b>Peso:</b> 25 lbs	1 u.	VENAMENT	Anexo.6
7	Chumacera	<b>Marca:</b> SKF <b>Modelo:</b> SY 25 TF <b>Ø interno:</b> 25 mm	2 u.	SKF	Anexo.7

		<b>Material del soporte:</b> Fundición			
<b>8</b>	Eje de transmisión	<b>Material:</b> Acero AISI 4340 (705) <b>Largo:</b> 70 (mm) <b>Ø=</b> 25 mm	2 u.	DIPAC	Anexo.8
<b>9</b>	Estructura metálica	<b>Perfil:</b> tubo rectangular <b>Material:</b> ASTM A-36 <b>Medidas:</b> 40 x 60 x 2.5 (mm)	1 ½ u	IPAC	Anexo.9
<b>10</b>	Tecele	<b>Modelo:</b> Manual de cadena <b>Capacidad:</b> 1 Tonelada	1 u.	SOYADA	Anex.10
<b>11</b>	Varilla lisa	<b>Perfil:</b> Varilla circular <b>Ø:</b> ½’’ <b>Longitud:</b> 400 (mm)	1 u.	DIPAC	Anex.11
<b>12</b>	Perno hexagonal para ensamble	<b>Denominación:</b> M20x80	3 u.	CONSUN	Anex.12
<b>13</b>	Tuerca hexagonal para ensamble	<b>Denominación:</b> M20	3 u.	CONSUN	Anex.13
<b>14</b>	Perno hexagonal para compuerta de limpieza	<b>Denominación:</b> M6x30	1 u.	CONSUN	Anex.12
<b>15</b>	Tuerca hexagonal para compuerta de limpieza	<b>Denominación:</b> M6	1 u.	CONSUN	Anex.13

(Propio)

### 2.3.3. Diseño de componentes

Todos los componentes fueron diseñados con ayuda del software libre de diseño asistido por computador (FreeCAD versión 0.19) posterior al diseño paramétrico realizado; a continuación, se presenta el modelado 3D de los componentes del horno basculante y su hoja de procesos (Anexo 15) para la fabricación de cada elemento.

Para la generación de planos de conjunto, subconjunto y taller se realizaron en los softwares libres FreeCAD e Inkscape, estos se incluirán como anexos.

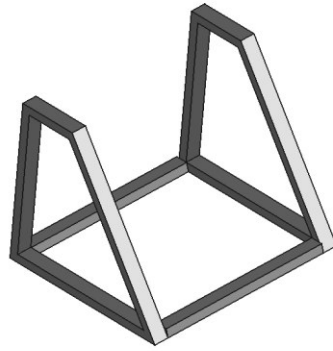


Figura 2. 18. Estructura metálica  
(Propio)

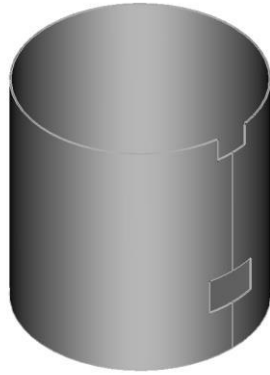


Figura 2. 19. Cuerpo metálico del horno  
(Propio)

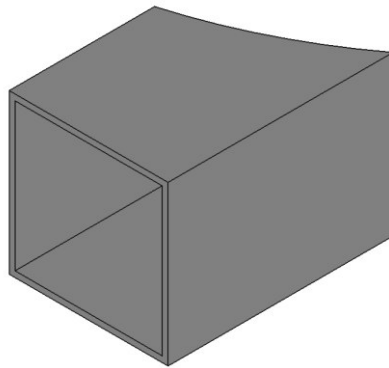


Figura 2. 20. Entrada del quemador  
(Propio)

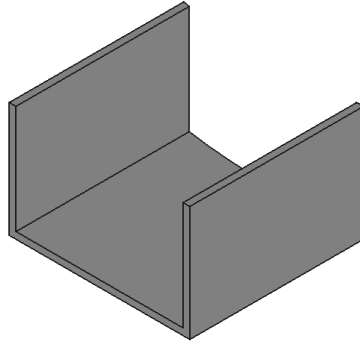


Figura 2. 21. Piquera  
(Propio)

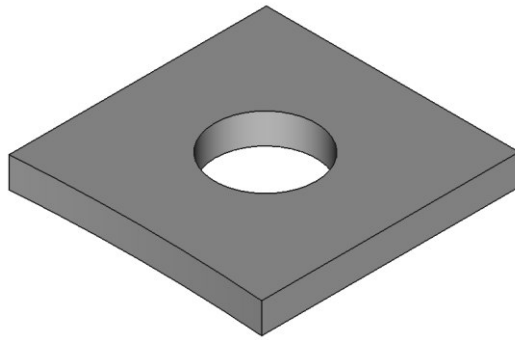


Figura 2. 22. Orejas de sujeción  
(Propio)

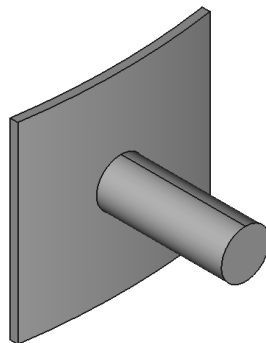


Figura 2. 23. Eje  
(Propio)

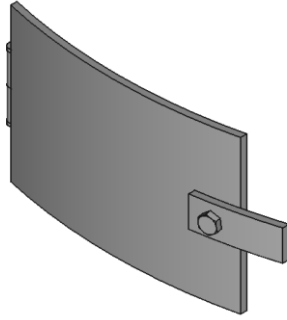


Figura 2. 24. Compuerta de limpieza  
(Propio)

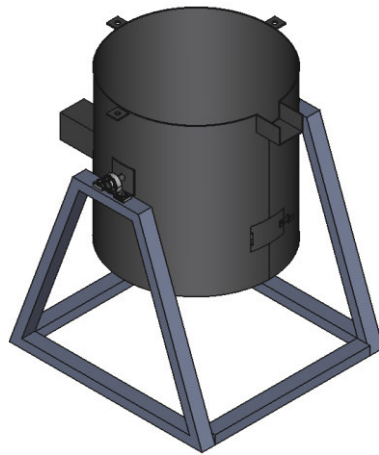


Figura 2. 25. Montaje cuerpo metálico- estructura  
(Propio)

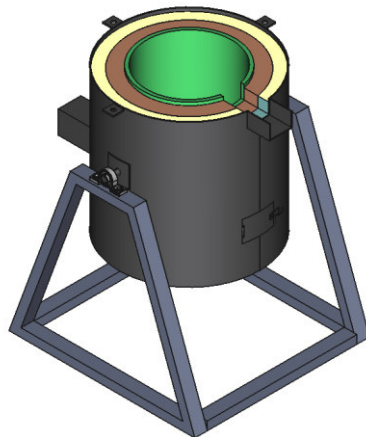


Figura 2. 26. Armado aislante- ladrillo refractario  
(Propio)

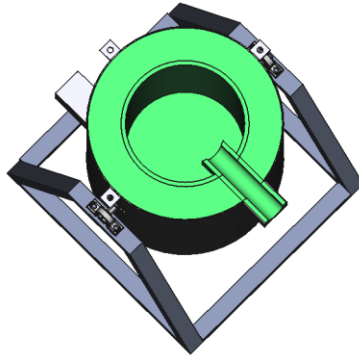


Figura 2. 27. Armado cemento refractario  
(Propio)

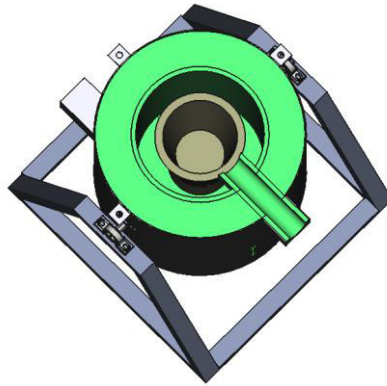


Figura 2. 28. Montaje Crisol-Base  
(Propio)

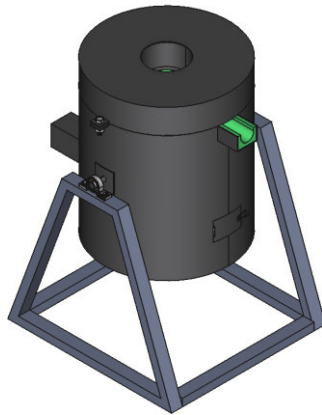


Figura 2. 29. Montaje Tapa-Cuerpo  
(Propio)

## 2.4. Análisis de costos

En esta sección se analizará todos los componentes de relevancia para la construcción del horno, donde se tiene como parámetros de alto grado de importancia al estudio, diseño y generación de planos. Además, de analizar los costos de cada elemento para la construcción, es importante recalcar que cada valor monetario otorgado es de acuerdo al mercado nacional. En el análisis de costos se incluye costos de materia prima (Tabla 2.28) y mano de obra (Tabla 2.29).

### 2.4.1. Estudio, diseño y generación de planos

Se realiza un estudio previo en base a las necesidades que tiene el futuro usuario del horno, para un posterior diseño y generación de planos estos se presentan enumerados de acuerdo a cada elemento, los mismos se encuentran en la sección de anexos.

### 2.4.2. Costos de materia prima

**Tabla 2. 28.** Costos de materia prima

MATERIAL	CANTIDAD	PROVEEDOR	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Plancha acero negro 1200x2400x4	1	DIPAC	\$ 151.95	\$ 151.95
Perfil estructural 60x40x2.5	1 ½	DIPAC	\$ 47.84	\$ 71.77
Ladrillo refractario recto	95	TUVAL S. A	\$ 4.95	\$ 470.25
Manta refractaria 2"	1	TUVAL S. A	\$ 129.16	\$ 129.16
Concreto CONCRAX 1700	1	TUVAL S. A	\$ 85.03	\$ 85.03
Crisol de grafito 60 kg	1	GUTIERREZ NAVAS	\$ 387.20	\$ 387.20
Base para crisol	1	GUTIERREZ NAVAS	\$ 91.06	\$ 91.06
Quemador	1	VENAMET	\$ 896.00	\$ 896.00
Chumacera Ø25 mm	2	ACEROS MG	\$ 16.70	\$ 33.40
Eje Ø25mm x 150	1	ACEROS MG	\$ 36.50	\$ 36.50
Perno M6	1	EL UNIVERSO	\$ 1.40	\$ 1.4
Perno M20	3	EL UNIVERSO	\$ 2.08	\$ 6.24
Tuerca M6	1	EL UNIVERSO	\$ 0.82	\$ 0.82
Tuerca M20	3	EL UNIVERSO	\$ 0.96	\$ 2.88
Electrodo 7018 1/8"	1 ½ kg	DIPAC	\$ 4.10	\$ 6.15
Broca 1/4"	1	EL UNIVERSO	\$ 2.20	\$ 2.20
Broca 3/4"	1	EL UNIVERSO	\$ 3.40	\$ 3.40
Disco de corte	2	EL UNIVERSO	\$ 2.05	\$ 4.10
Disco de desbaste	2	EL UNIVERSO	\$ 2.85	\$ 5.70
Disco de diamante	1	EL UNIVERSO	\$38.00	\$38.00
<b>*Todos los precios incluyen IVA.</b>			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2423.21</b>

(Propio)



### 2.4.3. Costo de mano de obra

**Tabla 2. 29.** Costo de mano de obra

ÍTEM	EQUIPO O MÁQUINA	TIEM PO (h)	COSTOS	PERSONAL	COSTO TOTAL
Cortar de plancha de 4 mm	Plasma, amoladora	4	\$ 3.00	2	\$ 24.00
Cortar eje de Ø25 mm	Sierra de bancada	1	\$ 4.00	1	\$ 4.00
Rolar cuerpo y tapa del horno	Roladora	1	\$ 45.00	2	\$ 90.00
Cortar perfil rectangular	Amoladora	2	\$ 3.00	1	\$ 6.00
Soldar estructura	Soldadora	2	\$ 2.50	1	\$ 5.00
Soldar piezas roladas	Soldadora	6	\$ 2.50	2	\$ 30.00
Doblar plancha de 4 mm	Dobladora	1	\$ 6.00	1	\$ 6.00
Perforar placas	Taladro de bancada	1	\$ 8.00	1	\$ 16.00
Soldar accesorios	Soldadora	6	\$ 2.50	1	\$ 15.00
Colocar manta refractaria	Operario	3	\$ 2.85	2	\$ 17.10
Cortar ladrillo refractario	Amoladora	4	\$ 2.85	2	\$ 22.80
Colocar ladrillo refractario	Operario	5	\$ 3.10	2	\$ 31.00
Colocar cóncrax	Operario	6	\$ 2.85	2	\$ 34.20
Colocar base crisol y crisol	Operario	1	\$ 3.10	2	\$ 6.20
Montar sobre estructura	Operario, teclé eléctrico	4	\$ 3.10	3	\$ 37.20
Empernar tapa a cuerpo del horno	Atornilladora	1	\$ 4.00	1	\$ 4.00
Revisión final	Operario	2	\$ 3.85	1	\$ 7.70
<b>*El precio final incluye IVA</b>				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 356.20</b>

(Propio)

Datos de mano de obra otorgados por Servicios Mecánicos y Metalurgia (SMO), ubicados en la ciudad de Otavalo, dedicados a la metalmecánica y fundición de metales.

### 2.4.4. Costo Total del proyecto

En la Tabla 2.30 se detalla el costo total del proyecto.

**Tabla 2. 30.** Costo Total

Rubro	Valor
Materia Prima	\$ 2423.21
Mano de obra	\$ 356.20
Subtotal	\$ 2779.41
Costo de montaje (10%)	\$ 277.94
Costo de diseño (10%)	\$ 277.94
Utilidad (10%)	\$ 277.94
<b>Total</b>	<b>\$ 3613.23</b>

(Propio)

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Este capítulo presenta el análisis de los parámetros principales del comportamiento térmico, alternativas de diseño, dimensionamiento, elaboración de planos de construcción y montaje y aspectos relacionados con los costos de fabricación y montaje.

#### **3.1. Diseño paramétrico**

Para el diseño del horno se tuvo como punto de partida el dimensionamiento de la cámara interna como se muestra en la Tabla 2.7., donde se consideró características geométricas de un crisol de 60 kg de la marca Salamander de manera que dentro de este exista un calentamiento uniforme que garantice la fusión completa del cobre.

La cantidad de calor requerida para la fusión del metal es de 7577.78 Kcal/h considerando la ecuación (2), para ello se optó por construir paredes con materiales aislantes-refractarios alrededor de la cámara para evitar pérdidas de calor por conducción, convección y radiación elevadas. Se generó tres alternativas de ancho de pared donde la disposición del ladrillo refractario es la variable que define el incremento de esta. La pared está compuesta por una chapa metálica de 4mm, una capa de manta refractaria de 50mm, una capa de ladrillo refractario U-33 (2 ½" x 4 ½" x 9") y una capa de concreto refractario de 15mm. Dichas configuraciones geométricas se ilustran en la Tabla 2.8., esta contiene los parámetros geométricos del horno.

El espesor seleccionado corresponde a la disposición uno (espesor de pared 132.5mm) donde se obtuvo pérdidas totales a través de las paredes del horno igual a 2441.82 W, en comparación a la disposición dos (espesor de pared 183.3mm) y tres (espesor de pared 297.6mm) que generan mayores pérdidas debido al incremento de su área superficial, como se ilustra en la Tabla 2.25.; además, el rendimiento se ve afectado provocando un mayor consumo de combustible y tiempo de operación del horno.

### **3.2. Planos de construcción y montaje**

Como resultado de la modelación 3D de los componentes se obtuvo la representación esquemática de estos, bajo la normativa del Código de Dibujo Técnico-Mecánico INEN 003. Los planos de construcción y montaje detallan dimensiones generales, dimensiones específicas, procesos de manufactura, detalles de construcción y montaje; de tal manera que, sean de fácil interpretación.

### **3.3. Costos de fabricación y montaje**

Posterior a la obtención de un diseño funcional del horno basculante se tiene que, el presupuesto necesario será \$3613.23 este rubro corresponde a materia prima, mano de obra, montaje y costos indirectos, como se ilustra en la Tabla 2.30.

Este valor incrementará de manera gradual de acuerdo con la disposición de colocación del ladrillo refractario, es decir si este se encuentra parado o echado en concordancia con sus medidas largo, ancho o espesor. La disposición de este afecta proporcionalmente a la cantidad de material al aumentar el espesor de la pared del horno y por ende el área superficial de este.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

En resumen, en el estudio se planteó diseñar un horno capaz de alcanzar una temperatura dentro de la cámara interna de 1500°C para la fusión del cobre, se definió una geometría de tal manera pueda generar una llama helicoidal que se distribuya el calor de manera uniforme. Lo referente a la selección de materiales, se optó por materiales refractarios por su alta resistencia a la temperatura, partiendo desde la parte interior hacia a la exterior de la cámara con una capa de cemento refractario para brindar rigidez en la parte interna, ladrillo refractario para brindar resistencia a la temperatura, manta térmica para brindar una protección y mantener a una temperatura baja que permita manipular el horno desde el exterior y una chapa metálica para brindar rigidez en la parte externa.

Dentro del análisis se tuvo que el espesor de pared del horno es el parámetro con mayor relevancia, por ello al considerar todas las posiciones posibles que puede tener el ladrillo se optó por la disposición uno misma que genera pocas pérdidas de calor, menor costo de construcción y montaje; además de un alto rendimiento del horno.

En base a la investigación y cálculos de diseño se opta el diseño de una abertura en la tapa del horno la cual cumple doble funcionalidad, una que permite el fácil ingreso del metal sólido dentro de la cámara y la otra que permite la salida de los gases generados por la combustión del diésel; reduciendo la contaminación del metal fundido.

De acuerdo con los resultados obtenidos del diseño paramétrico, el dimensionamiento y selección de los componentes del horno se determinó mediante el análisis de factores como condiciones de trabajo, esfuerzos en los mecanismos, comportamientos estáticos, eficiencias energéticas de tal manera de obtener los mejores resultados capaz de cumplir con los requerimientos de diseño.

FreeCAD es una herramienta libre de diseño muy útil, ya que permitió generar el modelado de cada uno de los componentes del horno, tiene una interfaz gráfica amigable con el usuario. Además, posee un código abierto para una mejora continua del software. Para la generación de planos se tuvo el apoyo de un editor gráfico vectorial libre llamado Inkscape.

En el análisis económico se involucraron varios factores para la estimación del costo de fabricación y montaje del horno basculante, los precios unitarios de la materia prima y fabricación se obtuvieron de cotizaciones solicitadas en el mercado nacional.

## **4.2. Recomendaciones**

Previo a la construcción se debe realizar un plan de mantenimiento preventivo del horno verificando el estado actual de los materiales refractarios.

Es indispensable colocar filtros en la boquilla del quemador para evitar el ingreso de impurezas.

Regular la cantidad de aire necesario para obtener una combustión completa reduciendo la emisión de gases contaminantes.

Se debe verificar el análisis de costos, ya que estos se encuentran sujetos a variaciones periódicas.

Para el modelado 3D en FreeCAD es necesario tener conocimientos previos de programación en lenguaje C++ y Python.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguirre, V., & Ramírez, E. (1995). *Diseño y Construcción de un horno basculante*. Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.
- Aliaga L, A. (2018). *Diseño de un horno de fundición para la empresa SER-TEC*. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.
- ASM Handbook, C. (1988). *Metals Handbook* (9na ed., Vol. 15).
- Beeley, P. (2001). *Foundry Technology* (2da ed.). India.
- Beer, F. P., Johnston, R. E., & Dewolf, J. T. (2009). *Mecánica de materiales* (Quinta ed.). McGrawHill.
- Bone J, A., & Crespo D, R. (2015). *Diseño y Construcción de un horno basculante manual para la fundición de metales no ferrosos de capacidad de hasta 150 kg para el laboratorio de Ciencias Materiales de la Escuela Politécnica del Ejército*. Escuela Politécnica del Ejército ESPE.
- Budynas, R. G., & Nisbett, K. J. (2011). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley* (Novena ed.). McGrawHill.
- Callister, W., & Rethwisch, D. (2014). *Materials Science and Engineering an Introduction* (9na ed.). USA.
- Calvo, C. (2016). Hornos utilizados en la fabricación de aleaciones ferrosas y no ferrosas. *Scientia ISSN 1993-422X, XVII(17)*, 143-160.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. (2009). *Termodinámica* (6ta ed.). Mc Graw Hill.
- Cengel, Y. A., & Pérez, H. (2004). *Transferencia de Calor y Masa Fundamentos y aplicaciones* (4ta ed.). México, D.F.
- Correa, P., & Robalino, S. (2007). *Construcción de un horno basculante a Diesel para la fusión de 150 Kg de cobre para la empresa 4-G Metalurgia*. Escuela Politécnica Nacional.
- Donoso Muñoz, M. J. (2013). El mercado del cobre a nivel mundial: evolución, riesgos, características y potencialidades futuras. *Revista Chilena de Ingeniería, 21(2)*.
- Faires, V. M. (1995). *Diseño de elementos de Máquinas* (Cuarta ed.). México: Limusa.
- García, E., & Orellana, R. (2014). *Diseño y construcción de un horno de crisol para aleaciones no ferrosas*. Universidad de El Salvador.
- García, R. (2001). *Teoría de la Combustión: Combustibles*.
- Guajardo, R., Zambrano, M., & Videla, A. (2017). *Diseño de horno de fundición de cobre*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). *Introduction of heat Transfer* (6ta ed.).
- Intelángelo, R., & Bonato, A. (s.f.). *Fundición y Moldeo*. Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
- Kreith, F. (2011). *Principles of heat transfer* (7ma ed.). USA: International Textbook Company.
- Materials, M. A. (2013). *Cadinhos*. Obtenido de [www.morganadvancedmaterials.com](http://www.morganadvancedmaterials.com)
- McCann, M. (s.f.). *Metalurgia y Metalistería*. Madrid.
- Mestanza, D., & Lara, V. (2012). *Diseño y construcción de un horno de combustión industrial para fundir aluminio*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Mosquera, H. (2001). *Fundición de precisión*. Universidad de la Rioja. España: Fundación Dialnet.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de Máquinas* (Cuarta ed.). México: Pearson.
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas* (Cuarta ed.). Pearson.
- Oviedo Fierro, F. H. (2014). *APUNTES DE FUNDICIÓN*. Quito, Ecuador.
- Pérez J, F., & Soto A, E. (2009). *Diseño, cálculo y construcción de un horno de fundición de aluminio tipo basculante y sus moldes*. Universidad de Pamplona.
- Roldán S, A. (2005). *Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición utilizando gas natural*. Universidad San Francisco de Quito.
- Rosero B, G. (2006). *Diseño de un horno de crisol basculante para el laboratorio de fundición del departamento de materiales de la Escuela Politécnica Nacional*. Escuela Politécnica Nacional.
- SKF. (2021). *Soportes* .
- Suntaxi, E., & Torres, C. (2014). *Diseño y construcción de un horno crisol para fundición de aluminio con una capacidad de 15kg/h a una temperatura de 800 °C utilizando GLP*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Trinks, W., Mawhinney, M., Shannon, R., & et. (2004). *Industrial Furnaces* (6ta ed., Vol. II). Wiley.
- Vásquez, M. (1992). *Antología métodos y procesos de fundición de metales*. Universidad Autónoma Metropolitana -Azcapotzalco, México, D.F.

## ANEXOS

### Anexo. 1. Especificaciones Técnicas Ladrillo refractario U-33

# Ladrillos refractarios



Los ladrillos refractarios sílico - aluminosos se fabrican a partir de arcillas seleccionadas, constituidas esencialmente por sílico - aluminatos hidratados con pequeñas cantidades de óxidos.

U-33	Propiedades	Aplicaciones
Clasificación NTC - 773 , ASTM C-27(BA y AA)	Super Duty	Ladrillo super refractario. Indicado para servicio pesado en bóvedas, muros y pisos de hornos y calderas, cámaras de combustión, zona fría de hornos rotatorios y en general donde además de una alta temperatura de servicio, sea importante una buena resistencia al choque térmico y al ataque moderado de escorias y agentes químicos.
<b>ANÁLISIS QUÍMICO (%)</b>		
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46.3	
SiO <sub>2</sub>	49.3	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.3	
TiO <sub>2</sub>	2.0	
CaO	0.2	
MgO	0.2	
Alcalis	0.7	
CPE	34	
Temperatura equivalente (°C) NTC-706, ASTM C-24	1763	
Máxima temperatura de servicio	1400	
Porosidad aparente (%) NTC -674, ASTM C-20	20.0-24.0	
Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> ) NTC -674, ASTM C-20	2.13-2.23	
Resistencia a la compresión en frío (MPa) NTC -682, ASTM C-133	25.0-37.0	
Módulo de ruptura en frío (MPa) NTC -682, ASTM C-133	7.5-13.5	
<b>CAMBIO LINEAL PERMANENTE</b>		
Temperatura (°C)	1600	
%	0.5C-2.0C	
<b>DEFORMACIÓN BAJO CARGA EN CALIENTE</b>		
Temperatura (°C)	1450	
%	2.0-3.5	

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. 2. Especificaciones Técnicas concreto refractario

**GAMMA**

**ERECOS®**

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

### 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.

SUPERAEROFRAX	Propiedades	Aplicaciones
Clasificación NTC - 765 , NTC - 851	Super Duty	Mortero refractario silico-aluminoso húmedo de fraguado al aire para usar en mamposterías refractarias. Se recomienda para pegar ladrillos refractarios densos U-32, U-33, ER-40, AQ-45 y ALUM 50, y para pegar ladrillos aislantes ER-IFB 2300, ER-IFB 2600 y ER-IFB 2800. 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>		
AL2O3	44.7	
SiO2	49.1	
Fe2O3	1.2	
TiO2	2.0	
CaO	0.3	
MgO	0.4	
Alcalis	2.2	
CPE	32 1/2	
Temperatura equivalente (°C) NTC-706, ASTM C-24	1724	
Refractariedad (el mortero no fluye a la junta)°C NTC-861, ASTM C-199	1600	
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 x2 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. 3. Especificaciones Técnicas plancha metálica

## PLANCHAS



#### MÉTODO PRÁCTICO PARA CALCULAR PESO DE LAS PLANCHAS DE ACERO

##### NOMENCLATURA

L = Largo (mm)

A = Ancho (mm)

E = Espesor (mm)

Peso = Kgs.

$$\text{Peso} = \frac{L \times A \times E \times 7,85}{1,000,00}$$

Ejemplo:  $\frac{(L = 1220\text{mm} \times A = 2440 \text{ mm} \times E = 1,0\text{mm}) \times 7,85}{1,000,00} = 23,368 \text{ Kg}$

#### Reducción de Fracciones de Pulgadas a milímetros

Pulgadas = Milímetros	Pulgadas = Milímetros	Pulgadas = Milímetros
1/128 = 0.20	25/64 = 9.92	27/32 = 21.43
1/64 = 0.40	13/32 = 10.32	55/64 = 21.83
3/128 = 0.60	27/64 = 10.72	7/8 = 22.23
1/40 = 0.64	7/16 = 11.11	57/64 = 22.62
1/32 = 0.79	29/64 = 11.51	29/32 = 23.02
1/25 = 1.02	15/32 = 11.91	59/64 = 23.42
3/64 = 1.19	31/64 = 12.30	15/16 = 23.81
1/20 = 1.27	1/2 = 12.70	61/64 = 24.21
1/16 = 1.59	33/64 = 13.10	61/32 = 24.61
5/64 = 1.98	17/32 = 13.49	63/64 = 25.00
3/32 = 2.38	35/64 = 13.89	1 = 25.40
7/64 = 2.78	9/16 = 14.29	11/10 = 27.00
1/8 = 3.18	37/64 = 14.68	11/8 = 28.60
9/64 = 3.57	19/32 = 15.08	18/16 = 30.20
5/32 = 3.97	39/64 = 15.48	11/4 = 31.70
11/64 = 4.37	5/8 = 15.88	15/16 = 33.30
3/16 = 4.76	41/64 = 16.27	13/8 = 34.90
13/64 = 5.16	21/32 = 16.67	17/16 = 36.50
7/32 = 5.56	46/64 = 17.07	11/2 = 38.10
15/64 = 5.95	11/16 = 17.46	19/10 = 39.70
1/4 = 6.35	45/64 = 17.86	15/8 = 41.30
17/64 = 6.75	23/32 = 18.26	111/16 = 42.90
9/32 = 7.14	47/64 = 18.65	13/4 = 44.40
19/64 = 7.54	3/4 = 19.05	113/16 = 46.00
5/16 = 7.94	49/64 = 19.45	17/8 = 47.60
21/64 = 8.33	25/32 = 19.84	115/16 = 49.20
11/32 = 8.73	51/64 = 20.24	2 = 50.80
23/64 = 9.13	13/16 = 20.64	
3/8 = 9.53	53/64 = 21.03	

Dimensiones en (mm)			Pesos
Ancho	Largo	Espesor	Kg
1220	2440	2	46.74
1220	2440	3	70.10
1220	2440	4	93.47
1500	2440	4	114.92
1220	2440	5	116.84
1500	2440	5	143.66
1220	2440	6	140.21
1500	2440	6	172.39
1220	2440	8	186.94
1500	2440	8	229.85
1220	2440	10	233.68
1500	2440	10	287.31
1220	6000	12	689.54

## Anexo. 4. Especificações Técnicas manta refractaria



**Fiberfrax**  
Especificações do Produto

### Manta Durablanket®

**Durablanket** é uma manta de fibra cerâmica resistente, leve e flexível, fabricada a partir de fibras longas **Fiberfrax**. Estas fibras são multidirecionadas e entrelaçadas num processo contínuo de agulhamento, o que confere ao produto excelente resistência ao manuseio e à erosão. Devido a este processo, as mantas **Durablanket** dispensam a adição de ligantes.

A **Manta Durablanket®** é um isolante de alta refratariedade, que possui as seguintes características principais:

- Alto grau de pureza química.
- Excelente resistência ao manuseio.
- Baixa condutividade térmica.
- Baixo armazenamento de calor.
- Baixa densidade.
- Resistência ao choque térmico.
- Alta reflexão de calor.
- Boa absorção de som.
- Excelente resistência à corrosão.

#### Propriedades Químicas

A manta **Durablanket®** não é afetada pela maioria dos ácidos e agentes corrosivos. Exceções são os ácidos hidrofúridricos, fosfóricos e álcalis concentrados. Possui bom comportamento tanto sob atmosferas oxidantes quanto em redutoras. Se molhadas com água ou vapor, suas propriedades térmicas e físicas são restabelecidas após secagem.



#### Análise Química Típica

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47 a 53%
SiO <sub>2</sub>	48 a 53%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04%
TiO <sub>2</sub>	0,002%
MgO	0,01%
CaO	0,02%
Na <sub>2</sub> O	0,01%
Traços inorgânicos	0,25%
Cloretos Lixiviáveis	< 10 ppm

#### Propriedades Físicas Típicas

Cor	Branca
Classe de Temperatura *	1260°C
Ponto de Fusão	1760°C
Diâmetro de fibra (médio)	2,5 a 3,5 microns
Comprimento de fibra (médio)	100 mm
Densidade específica	2,73 g/cm <sup>3</sup>
Calor específico a 1100°C	1130 J/kg K

#### Disponibilidade

As mantas **Durablanket** são disponíveis nas dimensões de:

Espessura	6, 13, 25, 38 e 51mm
Largura	610 e 1220 mm
Comprimento	3660, 7620, 14640 e 21960 mm
Densidade	64, 96, 128, 160 e 192 kg/m <sup>3</sup>

Dimensões especiais sob consulta

\*A Classe de Temperatura dos produtos FIBERFRAX® é determinada pelo critério de mudança linear irreversível e não pelo ponto de fusão.

## Anexo. 5. Especificaciones Técnicas crisol

### CADINHOS SALAMANDER GRAFINOX

SALAMANDER GRAFINOX CRUCIBLES

FORMATO "A" SHAPE "A"						
MODELO MODEL	ALT	Ø S	Ø I	ALUMINIO ALUMINUM	COBRE COPPER	VOLUME
	(mm)	(mm)	(mm)	(kg)	(kg)	(L)
A 1/2	80	75	50	0,5	1,5	0,2
A 1	90	90	55	0,5	1,5	0,2
A 2	110	100	65	1,0	3,0	0,4
A 3	130	110	70	1,0	3,0	0,4
A 4	140	115	75	1,4	4,5	0,6
A 5	150	125	85	1,4	4,5	0,6
A 6	165	130	90	2,4	7,5	1
A 8	180	155	110	2,9	9,0	1,2
A 10	200	160	115	3,8	12,0	1,6
A 12	210	170	120	4,8	15,0	2
A 14	220	175	120	5,3	16,5	2,2
A 16	230	185	125	6,2	19,5	2,6
A 20	255	200	140	8,2	25,5	3,4
A 25	260	220	150	9,6	30,0	4
A 30	290	230	160	12	37,5	5
A 40	310	260	190	17	52,5	7
A 50	330	270	195	19	60,0	8
A 60	345	285	200	24	75,0	10
A 70	360	295	205	26	82,5	11
A 80	375	305	215	31	97,5	13
A 100	400	325	240	38	120,0	16
A 120	420	345	245	48	150,0	20
A 150	470	370	260	60	187,5	25
A 200	500	400	285	74	232,5	31
A 250	550	420	295	89	277,5	37
A 300	570	440	315	101	315,0	42
A 400	640	500	340	156	487,5	65
A 500	660	510	350	166	517,5	69
A 600	720	530	380	199	622,5	83
A 800	800	560	380	226	705,0	94
A 1000	820	635	420	322	1005,0	134



\* Todas as dimensões estão sujeitas às tolerâncias normais de fabricação. (\* All dimensions are subject to normal manufacturing tolerances)

Anexo. 6. Especificaciones Técnico quemador

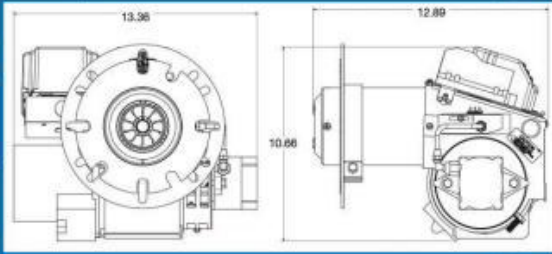
# SPECIFICATIONS

**OIL BURNERS**  
**MSR & MSR-DC**

## MSR


<b>Capacity</b>	0.50 - 2.75 gal/hr*, No. 1 or No. 2 Fuel Oil.
<b>Fuel Pump</b>	Standard 3450 rpm Fuel Pump. Single or Two Stage.
<b>Controls</b>	Optional Safety Primary Control and CAD Cell.
<b>Ignitor</b>	14,000 V Constant Duty Solid State Ignitor.
<b>Motor</b>	1/7 hp, PSC, 3450 rpm 115 V 60 Hz or 230 V 50/60 Hz
<b>Fan Housing</b>	One Piece, Die Cast Aluminum Which Aligns All Moving Parts.
<b>Mounting</b>	Adjustable or Fixed Mounting Flange.
<b>Nozzle Adapter</b>	No Drip Brass Adapter Ensures Sharp Oil Cutoff When Fuel Pump Shuts Off.
<b>Air Adjustment</b>	Dual Air Adjusting Bands Interlock For Positive Air Adjustment.
<b>Air Tube</b>	Heavy Duty 13 Gauge Seamless Steel Tube Material.
<b>Flame Retention Head</b>	High Temperature Stainless Steel For Longer Life.
<b>Shipping Weight</b>	Approximately 35 lbs.

\*50 Hz Burners Available  
Maximum Firing Rate Reduced to 2.25 GPH at 50 Hz Operation.



## MSR-DC

<b>Capacity</b>	0.50 - 2.5 gal/hr, No. 1 or No. 2 Fuel Oil.
<b>Fuel Pump</b>	Standard 3450 rpm, Single Stage, 3 gal/hr Capacity.
<b>Controls</b>	Ignitor Drop-out Circuit Timer or Primary Safety Control.
<b>Ignitor</b>	12 Vdc, Constant Duty, Solid State, Mid Point Ground. Input: 12 dc, 4.8 A. Output: 20 kV peak, 30 mA.
<b>Motor</b>	13.5 Vdc, Permanent Magnet, Ball Bearing. 3950 rpm. 12.5 A.
<b>Fan Housing</b>	One Piece, Die Cast Aluminum Which Aligns All Moving Parts.
<b>Mounting</b>	Adjustable or Fixed Mounting Flange.
<b>Oil Valve</b>	Non Delay, 24 Vac/12 Vdc, .6 A, Fuel Pump Mounted.
<b>Air Adjustment</b>	Multiple Air Adjusting Bands Interlock For Positive Air Adjustment.
<b>Air Tube</b>	Heavy Duty 13 Gauge Seamless Steel Tube Material, Available in 3 3/4" - 15" Lengths.
<b>Flame Retention Head</b>	High Temperature Stainless Steel For Longer Life.
<b>Shipping Weight</b>	Approximately 25 lbs.



a Scott Fetzer company

**PLEASE CONTACT US FOR FURTHER INFORMATION :**

Phone: 800.443.4625 | Email: [sales@waynecombustion.com](mailto:sales@waynecombustion.com)  
[www.waynecombustion.com](http://www.waynecombustion.com)

## Anexo. 7. Especificaciones Técnicas chumacera

**SKF**

Generado desde {sitio} el {fecha}

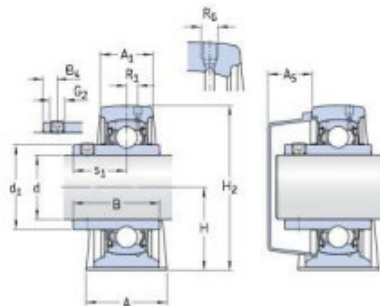
### SY 25 TF

Soportes de pie con rodamientos de bolas



### Especificación técnica

Cumplimiento con el estándar	ISO
Purpose specific	For material handling applications
Material del soporte	Fundición
Sealing solution	Standard seals with additional flingers



### DIMENSIONES

d	25 mm	Diámetro del agujero
d1	≈33.74 mm	Diámetro del resalte del aro interior
A	36 mm	Ancho de la base
A <sub>1</sub>	22 mm	Top width
A <sub>5</sub>	20.5 mm	Width including end cover
B	34.1 mm	Ancho del aro interior
B <sub>4</sub>	5 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca
H	36.5 mm	Altura del centro del asiento esférico
H <sub>1</sub>	16 mm	Foot height
H <sub>2</sub>	70 mm	Altura total
J	102 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
	max.110	Distance between

## Anexo. 8. Especificaciones Técnicas eje AISI 705

### EJES

### ACERO 705

#### Especificaciones Generales:

Norma: AISI 4340 (705)

Descripción: Es un acero bonificado al cromo, níquel, molibdeno, altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a la fragilidad del revenido.

Aplicaciones: Partes de maquinarias sometidas a altos esfuerzos, brazo de dirección, cigüeñales, árboles de leva, barras de torsión, embragues, piñones, barras de cardán, ejes de bomba, ejes para aviones, muñones, pernos de alto grado de tensión, rodillos de transportadora, etc.

Largo: 6 metros

#### DIMENSIONES

DIAMETRO
12 mm
19 mm
25 mm
32 mm
38 mm
45 mm
50 mm
60 mm
70 mm
90 mm



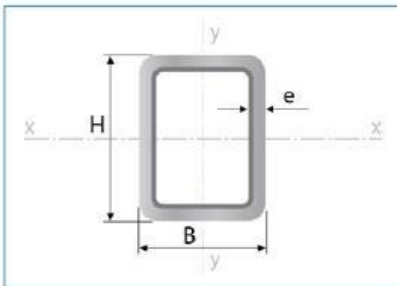
#### COMPOSICIÓN QUÍMICA

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0,34	0,1- 0,35	0,60 - 0,80	0,04 - 0,30	0,002 - 0,03

#### PROPIEDADES MECÁNICAS

DIÁMETRO (mm)	RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
16 o MENOS	1200 - 1400	1000	9	240 - 380
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 - 380
41 - 100	1000 - 1200	800	11	240 - 380

## Anexo. 9. Especificaciones Técnicas Tubo estructural



Largo Normal:  
6 metros  
Recubrimiento:  
Negro o Galvanizado  
Calidad de Acero:

Designaciones			Área	Peso	Propiedades Estáticas					
					Eje x-x			Eje y-y		
B	H	e	A	P	Momento de Inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de Inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	30	1,50	1,35	1,06	1,59	1,06	1,08	0,84	0,84	0,79
		2,00	1,74	1,36	1,94	1,30	1,06	1,02	1,02	0,77
20	40	1,40	1,55	1,22	3,09	1,55	1,41	1,04	1,04	0,82
		1,50	1,65	1,30	3,27	1,63	1,41	1,10	1,10	0,82
		1,80	1,95	1,53	3,76	1,88	1,39	1,26	1,26	0,80
		2,00	2,14	1,68	4,06	2,03	1,38	1,35	1,35	0,79
25	50	1,40	1,97	1,55	6,28	2,51	1,79	2,13	1,71	1,04
		1,50	2,10	1,65	6,66	2,66	1,78	2,26	1,80	1,04
		1,80	2,49	1,95	7,72	3,09	1,76	2,60	2,08	1,02
		2,00	2,74	2,15	8,39	3,36	1,75	2,82	2,25	1,01
		2,50	3,34	2,62	9,90	3,96	1,72	3,29	2,64	0,99
		3,00	3,91	3,07	11,20	4,48	1,69	3,70	2,96	0,97
30	50	1,40	2,11	1,66	7,11	2,84	1,83	3,23	2,15	1,24
		1,50	2,25	1,77	7,54	3,02	1,83	3,42	2,28	1,23
		1,80	2,67	2,09	8,77	3,51	1,81	3,96	2,64	1,22
		2,00	2,94	2,31	9,54	3,82	1,80	4,30	2,87	1,21
		2,50	3,59	2,82	11,31	4,53	1,78	5,07	3,38	1,19
		3,00	4,21	3,30	12,86	5,15	1,75	5,73	3,82	1,17
40	60	1,40	2,67	2,10	13,54	4,51	2,25	7,27	3,63	1,65
		1,50	2,85	2,24	14,39	4,80	2,25	7,72	3,86	1,64
		1,80	3,39	2,66	16,85	5,62	2,23	9,01	4,51	1,63
		2,00	3,74	2,93	18,42	6,14	2,22	9,84	4,92	1,62
		2,50	4,59	3,60	22,09	7,36	2,19	11,75	5,88	1,60
		3,00	5,41	4,25	25,41	8,47	2,17	13,47	6,74	1,58
30	70	1,40	2,67	2,10	16,36	4,67	2,47	4,37	2,92	1,28
		1,50	2,85	2,24	17,38	4,97	2,47	4,64	3,09	1,28
		1,80	3,39	2,66	20,35	5,81	2,45	5,39	3,60	1,26
		2,00	3,74	2,93	22,23	6,35	2,44	5,87	3,91	1,25
		2,50	4,59	3,60	26,63	7,81	2,41	6,96	4,64	1,23
		3,00	5,41	4,25	30,61	8,74	2,38	7,93	5,29	1,21
40	80	1,50	3,45	2,71	28,99	7,25	2,90	9,94	4,97	1,70
		1,80	4,11	3,22	34,09	8,52	2,88	11,64	5,82	1,68
		2,00	4,54	3,56	37,36	9,34	2,87	12,73	6,36	1,67
		2,50	5,59	4,39	45,12	11,28	2,84	15,27	7,64	1,65
		3,00	6,61	5,19	52,28	13,07	2,81	17,59	8,79	1,63
		4,00	8,55	6,71	64,90	16,22	2,76	21,59	10,79	1,59

## Anexo. 10. Especificaciones Técnicas Teclé

26

### TECLES



TECLE DE CADENA

CÓDIGO	CAPAC. CARGA	LARGO CADENA	MÁSTER
HS01025	1 TONELADA	2,5m	1 UNI
HS01030	1 TONELADA	3m	1 UNI
HS01530	1,5 TONELADAS	3m	1 UNI
HS02025	2 TONELADAS	2,5m	1 UNI
HS02030	2 TONELADAS	3m	1 UNI
HS03025	3 TONELADAS	2,5m	1 UNI
HS03030	3 TONELADAS	3m	1 UNI
HS03050	3 TONELADAS	5m	1 UNI
HS05025	5 TONELADAS	2,5m	1 UNI
HS05030	5 TONELADAS	3m	1 UNI
HS05050	5 TONELADAS	5m	1 UNI



## Anexo. 11. Especificaciones Técnicas Varilla lisa

### PERFILES LAMINADOS

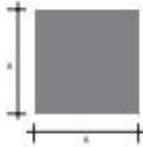


#### Especificaciones Generales:

Calidad:	ASTM A36
Largo Normal:	6.00m
Acabado:	Acero negro

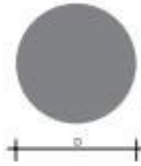
\*Otras calidades, otros largos y otros acabados previa consulta

### VARILLA CUADRADA LISA



Denominación	Lado		Peso		Área
	A	kg/m	kg/6m	cm <sup>2</sup>	
VCU 5/16	8,0	0,57	3,41	0,72	
VCU 3/8	9,0	0,64	3,83	0,81	
VCU 1/2	11,0	0,95	5,70	1,21	
VCU 5/8	15,0	1,77	10,60	2,25	
VCU 3/4	18,0	2,54	15,26	3,24	
VCU 24.5	24,5	4,72	28,30	6,00	

### VARILLA REDONDA LISA



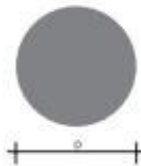
Denominación	Diámetro		Peso		Área
	D	kg/m	kg/6m	cm <sup>2</sup>	
VRL 5,5	5,5	0,34	2,04	0,43	
VRL 8	8,0	0,50	2,95	0,63	
VRL 10	10,0	0,62	3,70	0,79	
VRL 12	12,0	0,89	5,33	1,13	
VRL 15	15,0	1,39	8,32	1,77	
VRL 18	18,0	2,00	11,98	2,55	
VRL 22	22,0	2,98	17,90	3,80	
VRL 24,5	24,0	3,70	22,20	4,71	

### TEES



Denominación	Dimensiones			Peso		Área
	mm			kg/m	kg/6m	cm <sup>2</sup>
	A	B	e			
TEE 20X3	20	20	3	0,90	5,40	1,15
TEE 25X3	25	25	3	1,19	7,14	1,52
TEE 30X3	30	30	3	1,41	8,46	1,80

### VARILLA CORRUGADA



Diámetro nominal (mm)	Peso nominal (kg/m)	Dimensiones de la espira			
		Transversales (mm)			
		B	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
8	0,395	5,60	0,32	3,10	
10	0,617	7,50	0,40	3,80	
12	0,866	8,40	0,48	4,70	
14	1,208	9,80	0,67	5,50	
16	1,578	11,20	0,72	6,20	
18	1,986	12,60	0,88	7,00	
20	2,466	14,00	1,01	7,80	
22	2,964	15,40	1,11	8,60	
25	3,853	17,50	1,20	9,80	
28	4,854	19,60	1,30	11,00	
32	6,313	22,40	1,54	12,00	

## Anexo. 12. Especificaciones Técnicas Pernos hexagonales

### PERNOS Y TUERCAS INOXIDABLES

**CONSUN**



#### PERNO CABEZA DE HEXAGONAL ACERO INOXIDABLE

**PERNO CABEZA HEXAGONAL DE ACERO INOXIDABLE**

**TIPO DE CABEZA:**

**FAMILIA:** THE  
**MEDIDAS:** PULGADAS  
**TIPO DE ROSCA:** ESTÁNDAR  
**MATERIAL:** ACERO INOXIDABLE

**CÓDIGO:** FAMILIA THE      **VENTA:** UNIDAD

**NOMENCLATURA DE CÓDIGO**

**THE06M010WG**

Longitud  
Diámetro

D= Diámetro del Perno  
L= Longitud del Perno

CÓDIGO:	DIÁMETRO:	LONGITUD:	MÁSTER (UNI)
THE16M050WG	M16 - 2.0	50	250 UNI
THE16M060WG	M16 - 2.0	60	200 UNI
THE16M070WG	M16 - 2.0	70	200 UNI
THE16M110WG	M16 - 2.0	110	125 UNI
THE16M140WG	M16 - 2.0	140	100 UNI
THE16M150WG	M16 - 2.0	150	100 UNI
THE16M160WG	M16 - 2.0	160	80 UNI
THE16M180WG	M16 - 2.0	180	95 UNI
THE20M040WG	M20 - 2.25	40	150 UNI
THE20M045WG	M20 - 2.25	45	150 UNI
THE20M050WG	M20 - 2.25	50	150 UNI
THE20M060WG	M20 - 2.25	60	120 UNI
THE20M070WG	M20 - 2.25	70	100 UNI
THE20M080WG	M20 - 2.25	80	100 UNI
THE20M090WG	M20 - 2.25	90	100 UNI
THE20M100WG	M20 - 2.25	100	90 UNI
THE20M110WG	M20 - 2.25	110	75 UNI
THE20M120WG	M20 - 2.25	120	70 UNI

CÓDIGO:	DIÁMETRO:	LONGITUD:	MÁSTER (UNI)
THE06M010WG	M6 - 1.0	10	5600 UNI
THE06M016WG	M6 - 1.0	16	4800 UNI
THE06M020WG	M6 - 1.0	20	4000 UNI
THE06M030WG	M6 - 1.0	30	3000 UNI
THE06M040WG	M6 - 1.0	40	2500 UNI
THE06M050WG	M6 - 1.0	50	2000 UNI
THE06M060WG	M6 - 1.0	60	1500 UNI
THE06M070WG	M6 - 1.0	70	1200 UNI
THE06M080WG	M6 - 1.0	80	1000 UNI
THE06M090WG	M6 - 1.0	90	1000 UNI
THE06M100WG	M6 - 1.0	100	800 UNI
THE08M012WG	M8 - 1.25	12	2500 UNI
THE08M016WG	M8 - 1.25	16	2200 UNI
THE08M020WG	M8 - 1.25	20	2000 UNI
THE08M025WG	M8 - 1.25	25	1700 UNI
THE08M030WG	M8 - 1.25	30	1600 UNI
THE08M035WG	M8 - 1.25	35	1400 UNI
THE08M040WG	M8 - 1.25	40	1300 UNI
THE08M045WG	M8 - 1.25	45	1200 UNI
THE08M050WG	M8 - 1.25	50	1100 UNI
THE08M060WG	M8 - 1.25	60	800 UNI
THE08M080WG	M8 - 1.25	80	600 UNI
THE08M090WG	M8 - 1.25	90	500 UNI
THE08M100WG	M8 - 1.25	100	450 UNI
THE10M016WG	M10 - 1.5	16	1200 UNI
THE10M020WG	M10 - 1.5	20	1000 UNI
THE10M025WG	M10 - 1.5	25	1000 UNI
THE10M030WG	M10 - 1.5	30	800 UNI
THE10M035WG	M10 - 1.5	35	800 UNI
THE10M040WG	M10 - 1.5	40	750 UNI
THE10M045WG	M10 - 1.5	45	700 UNI
THE10M050WG	M10 - 1.5	45	700 UNI
THE10M060WG	M10 - 1.5	60	550 UNI
THE10M070WG	M10 - 1.5	70	500 UNI
THE10M090WG	M10 - 1.5	90	350 UNI
THE10M100WG	M10 - 1.5	100	325 UNI
THE10M110WG	M10 - 1.5	110	300 UNI
THE10M120WG	M10 - 1.5	120	250 UNI
THE10M130WG	M10 - 1.5	130	200 UNI
THE10M140WG	M10 - 1.5	140	250 UNI
THE12M025WG	M12 - 1.75	25	700 UNI
THE12M030WG	M12 - 1.75	30	600 UNI
THE12M035WG	M12 - 1.75	35	550 UNI
THE12M040WG	M12 - 1.75	40	500 UNI
THE12M045WG	M12 - 1.75	45	500 UNI
THE12M050WG	M12 - 1.75	50	450 UNI
THE12M060WG	M12 - 1.75	60	400 UNI
THE12M070WG	M12 - 1.75	70	300 UNI
THE12M080WG	M12 - 1.75	80	250 UNI
THE12M090WG	M12 - 1.75	90	250 UNI
THE12M100WG	M12 - 1.75	100	200 UNI
THE12M110WG	M12 - 1.75	110	200 UNI
THE12M120WG	M12 - 1.75	120	170 UNI
THE12M130WG	M12 - 1.75	130	160 UNI
THE12M140WG	M12 - 1.75	140	150 UNI
THE12M150WG	M12 - 1.75	150	150 UNI
THE12M160WG	M12 - 1.75	160	150 UNI
THE12M180WG	M12 - 1.75	180	150 UNI
THE12M200WG	M12 - 1.75	200	150 UNI
THE16M030WG	M16 - 2.0	30	300 UNI
THE16M035WG	M16 - 2.0	35	300 UNI
THE16M040WG	M16 - 2.0	40	250 UNI
THE16M045WG	M16 - 2.0	45	250 UNI

## Anexo. 13. Especificaciones Técnicas Tuercas hexagonales

20

### PERNOS Y TUERCAS INOXIDABLES

**CONSUN**



#### TUERCAS DE ACERO INOXIDABLE

**TUERCA HEX. DE ACERO INOXIDABLE MILIMÉTRICA**



FAMILIA: THE  
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE  
HILO: ESTÁNDAR

MEDIDAS EN MILIMETROS

CÓDIGO:	DIÁMETRO:	MÁSTER (UNI):
THE06MWG	M6 - 1.0	10000 UNI.
THE08MWG	M8 - 1.25	5000 UNI.
THE10MWG	M10 - 1.5	2400 UNI.
THE12MWG	M12 - 1.75	1500 UNI.
THE16MWG	M16 - 2.0	800 UNI.
THE20MWG	M20 - 2.25	400 UNI.

**TUERCA HEXAGONAL DE ACERO INOXIDABLE**



FAMILIA: THET  
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE  
HILO: ESTÁNDAR

MEDIDAS EN PULGADAS

CÓDIGO:	DIÁMETRO:	MÁSTER (UNI):
THET025	1/4"-20	9000 UNI.
THET038	3/8"-16	4000 UNI.
THET043	7/16"-14	2200 UNI.
THET050	1/2"-13	1600 UNI.
THET062	5/8"-11	800 UNI.
THET075	3/4"-11	450 UNI.
THET088	7/8"-11	300 UNI.
THET100	1"-8	150 UNI.



#### TUERCAS VARIAS

**TUERCA DUPLEX GALVANIZADA**



FAMILIA: TDG  
PARA: UNIÓN DE VARILLAS  
MATERIAL: ACERO GALVANIZADO  
HILO: ESTÁNDAR

MEDIDAS EN PULGADAS

CÓDIGO:	DIÁMETRO:	MÁSTER (UNI):
TDG025	1/4"	100 UNI.
TDG031	5/16"	100 UNI.
TDG038	3/8"	600 UNI.
TDG050	1/2"	50 UNI.

**TUERCA HEXAGONAL FLANGE GALVANIZADA**



FAMILIA: HFN  
MATERIAL: ACERO  
HILO: ESTÁNDAR

MEDIDAS EN PULGADAS

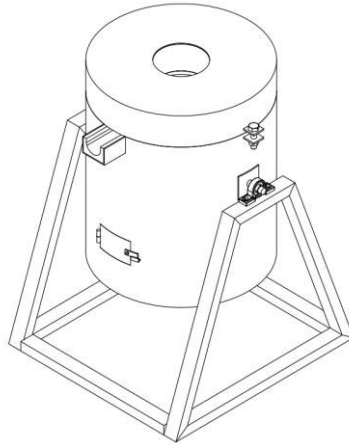
CÓDIGO:	DIÁMETRO:	MÁSTER (KG):
HFN025	1/4"	6000 UNI.
HFN031	5/16"	4000 UNI.
HFN037	3/8"	2600 UNI.

***Anexo. 14. HOJA DE PROCESOS***

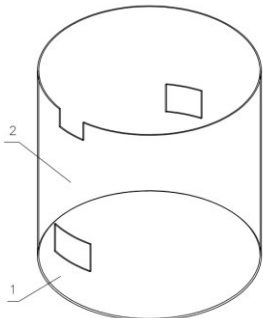
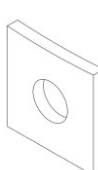
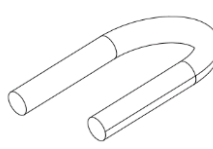
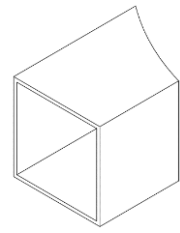
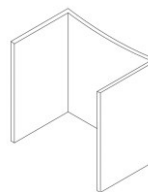
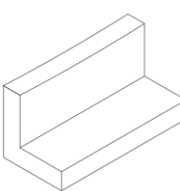
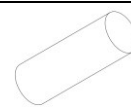
**HOJA DE PROCESOS**

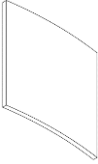
**Nombre de la Unidad:** Horno Basculante **Tiempo de duración:** N/A

Pos.	Cant.	Denominación	Material	Dim. En bruto	Obs.
1	1	Horno Basculante	ASTM-A36	-----	N/A



Fase	Sub Fase	N°	Operaciones	Croquis	Útiles		Tiempo estimado
					Trab.	Cont.	
ESTRUCTURA (1)	10	11	Cortar perfil		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		13	Unir perfiles (Soldadura)		SE	F	----
		14	Pulir soldaduras		AM	F	----
PLACA COMPUERTA (2)	10	11	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		13	Rolar chapa metálica		RL	F	----
PALANQUILLA (3)	10	11	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		13	Rolar chapa metálica		RL	F	----
TAPA METÁLICA (4)	10 BASE	11	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
	20 CARA	21	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		22	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		23	Rolar chapa metálica		RL	F	----

CHAPA METÁLICA CUERPO (5)	10 BASE	11	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
	20 CARA	21	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		22	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		23	Rolar chapa metálica		RL	F	----
OREJA DE SUJECCIÓN (6)	10	11	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		13	Perforar chapa metálica		TL	F	----
GANCHO BASC. (7)	10	11	Cortar varilla lisa		AM	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		13	Doblar varilla lisa		EN	F	----
ENTRADA QUEMADOR (8)	10	11	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		13	Doblar chapa metálica		DB	F	----
		14	Unir chapa (Soldadura)		SE	F	----
PIQUERA (9)	10	11	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		13	Doblar chapa metálica		DB	F	----
SUJETADOR PALN. (10)	10	11	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		13	Doblar chapa metálica		DB	F	----
EJE (11)	10	11	Cortar eje		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----

PLACA DEL EJE (12)	10	11	Cortar chapa metálica		PL	F	----
		12	Eliminar aristas vivas		AM	F	----
		13	Rolar chapa metálica		RL	F	----
CÓDIGO DE ÚTILES: PL=Plasma; SE=Soldadora Eléctrica; AM=Amoladora; F=Flexómetro; RL=Roladora; EN=Entenalla; DB=Dobladora			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA				
			ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL				

***Anexo. 15. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y  
MONTAJE***