



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LAS INGENIERÍAS Y APLICADAS

CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO BASCULANTE PARA FUNDIR ALUMINIO**

**Autores:**

Coronel Subía Mario Andrés  
Sangucho Simba Alex Santiago

**Tutores:**

M. Sc. Arévalo Zabala Andrés German  
Mg. C. Moreano Martínez Edwin Homero

Latacunga - Ecuador

Julio – 2019



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros **Mario Andres Coronel Subia** y **Alex Santiago Sangucho Simba** declaramos ser autores de la siguiente propuesta tecnológica “**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN HORNO BASCULANTE PARA FUNDIR ALUMINIO**” siendo **M. Sc. Arévalo Zabala Andrés German** tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

**Mario Andres Coronel Subia**  
C.C. 050271327-4

**Alex Santiago Sangucho Simba**  
C.C. 050345533-9



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO BASCULANTE PARA FUNDIR ALUMINIO”**, de **Mario Andrés Coronel Subía** y **Alex Santiago Sangucho Simba**, de la carrera **Ingeniería Electromecánica**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de **Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio del 2019

---

**Ing. Andrés German Arévalo Zabala**

**CC: 171032684-2**



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de **Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**; por cuanto los postulantes: **Alex Santiago Sangucho Simba** y **Mario Andrés Coronel Subía** con el título de Proyecto de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO BASCULANTE PARA FUNDIR ALUMINIO”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, julio del 2019

Para constancia firman:

**Lector 1**

**Ing. Enrique Torres Tamayo**

**CC: 1757121940**

**Lector 2**

**Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso**

**CC: 1758367252**

**Lector 3**

**Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas**

**CC: 0502347768**

## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTA TECNOLÓGICA

“FUNDICIONES SANGUCHO”



Latacunga, julio del 2019

Quien suscribe, María Dolores Sangucho Simba, en calidad de gerente general de la empresa “FUNDICIONES SANGUCHO”, certifico que los señores: **MARIO ANDRÉS CORONEL SUBÍA**, con cédula: **050271327-4** y **ALEX SANTIAGO SANGUCHO SIMBA** con cédula **050345533-9**, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, carrera de **Ingeniería Electromecánica**, han desarrollado la propuesta tecnológica: “**DISEÑO E IMPLMENTACION DE UN HORNO BASCULANTE PARA FUNDIR ALUMINIO**”, y realizan la entrega del equipo terminado y en funcionamiento a la empresa, cumpliendo los objetivos propuestos al comienzo del desarrollo de su proyecto.

Sin otro particular autorizo que utilice el presente documento para cualquier fin pertinente de la Universidad Técnica de Cotopaxi.



**María Dolores Sangucho Simba**

**C.C. 050237495-2**

## **DEDICATORIA**

A mi madre por darme la vida, el apoyo incondicional brindado en toda mi formación profesional, por el amor, la confianza, los consejos, la fe que tuvo, la fuerza que me dio para seguir adelante y no rendirme en los momentos difíciles.

A mi padre por la enseñanza, el esfuerzo que hizo para darme el estudio, por apoyarme en las ganas de cumplir mis anheladas metas y porque aun desde el cielo él está dándome su bendición.

**Alex**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme permitido terminar mis estudios de tercer nivel,

A mis padres por haber puesto en mí su confianza, por inculcarme valores primordiales para la vida de un ser humano y por el trabajo diario que realizaban conmigo en mi formación de hogar.

A mis hermanos por todas las enseñanzas, apoyo brindado, muestras de cariño, por impulsarme a que cumpla mis metas propuestas y por la ayuda para seguir siendo la misma persona.

A los docentes que compartieron sus conocimientos, me dieron la ayuda necesaria, han sido parte importante para formarme como profesional en esta prestigiosa universidad.

**Alex**

## INDICE

INDICE.....	viii
RESUMEN.....	xiii
1. INFORMACIÓN BÁSICA .....	1
PROPUESTO POR:.....	1
TEMA APROBADO: .....	1
CARRERA: .....	1
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACION:.....	1
EQUIPO DE TRABAJO: .....	1
LUGAR DE EJECUCIÓN: .....	1
TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA: .....	1
FECHA DE ENTREGA: .....	1
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN UNIVERSIDAD.....	1
SUBLINEAS DE INVESTIGACIÓN .....	1
TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:.....	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	2
2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	2
2.2. TIPO DE ALCANCE .....	2
2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO:.....	2
2.3.1. Sub áreas de Conocimiento:.....	2
2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	2
2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN .....	2
2.5.1. Objeto de estudio.....	2
2.5.2. Campo de acción .....	2
2.6. SITUACIÓN PROBLEMICA Y PROBLÉMA .....	2
2.6.1. Situación problémica:.....	2
2.6.2. Problema.....	3
2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA .....	3
2.8. OBJETIVOS .....	3
2.8.1. Objetivo general .....	3
2.8.2. Objetivos específicos.....	3
2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS.....	4
3. MARCO TEÓRICO .....	4
3.1 ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA FUNDIDORA.....	5
3.2 ANÁLISIS DEL PROCESO DE FUNDICIÓN .....	5

3.2.1	Estado de la industria fundidora en el país.....	6
3.2.2	Importancia de la fundición.....	7
3.3	ESPECIFICACIONES DEL ALUMINIO.....	9
3.3.1	Características físicas .....	9
3.3.2	Características químicas .....	9
3.3.3	Fusión del aluminio.....	10
3.4	TIPOS DE HORNOS PARA FUNDICIÓN DE METALES .....	10
3.4.1	Propiedades de los hornos .....	11
3.4.2	Clasificación de los Hornos.....	12
3.4.3	Hornos Eléctricos, ventajas y desventajas.....	12
3.4.4	Hornos De Inducción, ventajas y desventajas .....	14
3.4.5	Horno de Crisol, ventajas y desventajas.....	16
3.4.5.1	Horno de Crisol Móvil.....	16
3.4.5.2	Horno de Crisol Estacionario .....	17
3.4.5.5	Formas de calentamiento de un horno de crisol.....	17
3.4.6	Comparación de acuerdo al tipo de hornos seleccionados .....	18
3.4.7	Selección del horno .....	19
3.5	HORNO DE CRISOL BASCULANTE .....	19
3.6	COMPONENTES DE UN HORNO.....	20
3.6.1	Cimientos.....	20
3.6.2	Paredes.....	20
3.6.3	Cámara de combustión .....	20
3.6.4	Quemador .....	21
3.6.5	Chimenea.....	21
3.6.6	Juntas térmicas.....	21
3.6.7	Esqueleto metálico.....	21
3.6.8	Difusores.....	21
4.	DISEÑO TÉRMICO .....	24
4.1	REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN .....	24
4.2	PAREDES DEL HORNO.....	24
4.2.1	Propiedades del material refractario .....	25
4.3	QUEMADOR .....	25
4.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES.....	26
4.4.1	Selección del combustible .....	26
5.	METODOLOGÍA .....	29

5.1	TÉCNICAS .....	29
5.2.	MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO .....	29
5.2.1	Ecuaciones de cálculo para el dimensionamiento del horno .....	31
5.2.2	Ecuaciones de cálculo de energías .....	32
5.2.4	Ecuación para el cálculo de la pérdida de calor en la chimenea .....	39
5.2.5	Ecuación para el cálculo de la cantidad de diésel consumido .....	40
5.2.6	Ecuación para el cálculo de la masa de la chapa metálica .....	41
5.2.7	Ecuación para el cálculo de la masa del refractario .....	42
5.2.8	Ecuación para el cálculo de la masa total del horno .....	43
5.2.9	Ecuación para el dimensionamiento de la bomba .....	44
5.2.10	Dimensionamiento del eje .....	45
6.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	46
6.2.	ANÁLISIS DE TEMPERATURAS EN EL HORNO.....	49
6.3.	ANÁLISIS SOBRE LA SELECCIÓN DE LA BOMBA.....	49
6.4	ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DEL VENTILADOR .....	50
6.5	ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.....	51
7.	PRESUPUESTO Y ANALISIS DE IMPACTOS.....	54
7.1	MATERIALES .....	55
7.2	PRESUPUESTO .....	54
7.3	ANÁLISIS DE IMPACTO .....	56
7.3.1	Impacto practico .....	56
7.3.2	Impacto tecnológico .....	56
7.3.3	Impacto ambiental .....	56
7.3.4	Impacto epistemológico.....	56
8.	CONCLUSIONES .....	57
10.	REFERENCIAS .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3.1. ESPADA TÍPICA DE LA EDAD DE BRONCE, ELABORADA EN COBRE ARSENICAL Y EN MOLDE DE DOS PARTES .....	6
FIGURA 3.2. METALES OBTENIDOS DE LA FUNDICIÓN .....	7
FIGURA 3.3. ESQUEMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE PIEZAS .....	8
FIGURA 3.4. INTERVALOS DE FUSIÓN DE METALES Y SUS ALEACIONES .....	11
FIGURA 3.5. ESQUEMA DEL HORNO ELÉCTRICO .....	12
FIGURA 3.6. HORNO DE INDUCCIÓN .....	14
FIGURA 3.7. VERSIÓN TÍPICA DE UN HORNO ESTACIONARIO CON CRISOL REMOVIBLE .....	16
FIGURA 3.8. ESQUEMA DE UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE.....	19
FIGURA 3.9. COMPORTAMIENTO MOLECULAR EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN .....	21
FIGURA 3.10. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN UNIDIMENSIONAL .....	22
FIGURA 3.11. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN .....	23
FIGURA 4.1. CONFORMACIÓN DE TABIQUE REFRACTARIO .....	26
FIGURA 5.1. ESQUEMA PARA EL PROCESO DE FUSIÓN DEL ALUMINIO .....	31
FIGURA 5.2. CIRCUITO DE RESISTENCIA.....	33
FIGURA 5.3. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE .....	44
FIGURA 6.1. ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA EL HORNO .....	50
FIGURA 6.2. ESTRUCTURA CON CARGAS .....	50
FIGURA 6.3. ESTRUCTURA EN SIMULACIÓN .....	51
FIGURA 6.4. ANÁLISIS DE ESFUERZOS.....	51
FIGURA 6.5. FUERZAS EN LA ESTRUCTURA .....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. DIAGRAMA CAUSA-EFECTO .....	3
TABLA 2.2 TAREA POR OBJETIVOS .....	4
TABLA 3.1. PRINCIPALES TIPOS DE COMBUSTIBLE QUE PUEDEN SER USADOS EN LA OPERACIÓN DE LOS HORNO DE CRISOL .....	17
TABLA 3.2. TABLA DE COMPARACIÓN PARA LA SELECCIÓN DEL HORNO .....	18
TABLA 4.1. CONSIDERACIONES PARA LA ELECCIÓN DEL COMBUSTIBLE .....	26
TABLA 4.2. REQUISITOS DEL DIÉSEL N° 2 .....	26
TABLA 4.3. PROPIEDADES DE LA CHAPA METÁLICA .....	27
TABLA 5.1. TÉCNICAS A UTILIZAR .....	28
TABLA 5.2. DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO BASCULANTE .....	28
TABLA 6.1. RESULTADOS OBTENIDOS A TRAVÉS DE LOS CÁLCULOS .....	45
TABLA 6.2. PROMEDIO DE TEMPERATURAS MEDIDAS VS. HIPÓTESIS (°C) .....	47
TABLA 6.3. CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA SELECCIONADA.....	48
TABLA 7.1. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HORNO .....	53
TABLA 7.2 ANÁLISIS DE TIR Y VAN .....	54

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

### “DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN HORNO BASCULANTE PARA FUNDIR ALUMINIO EN LA EMPRESA FUNDICIÓN SANGUCHO”

#### **Autores:**

Mario Andrés Coronel Subía

Alex Santiago Sangucho Simba

#### **RESUMEN**

El mal uso de los materiales térmicos en la empresa “FUNDICIONES SANGUCHO” ocasionó que el tiempo que demoraba el horno en llegar a una temperatura ideal sea más de lo necesario, para esto, a través del análisis de sus variables, se diseñó y construyó un horno basculante para reducir el tiempo en el proceso de fundición, el cual es utilizado como equipo de trabajo para la fusión de chatarra de aluminio en la empresa “FUNDICIONES SANGUCHO”.

En el diseño del horno basculante para fundir aluminio se determinaron los flujos térmicos de las pérdidas de calor hacia el medio, la cantidad de energía necesaria para el proceso de fundición, la capacidad interna del horno, los cálculos para que la estructura soporte su peso y el costo de consumo de diésel en la fundición de una carga de 250 kg de aluminio, que es la cantidad que requiere la empresa para completar su trabajo en una jornada normal de trabajo.

Con la implementación del horno basculante se mejoró el tiempo de calentamiento de este, se eliminó el caldeo por cucharones y se adicionó el sistema manual de vertido directo, el cual agiliza mucho más el proceso de desmontaje de las piezas terminadas, obteniendo el doble de producción en el mismo tiempo de trabajo, ya que este trabajo se lo realizaba con un horno construido de manera artesanal, también se eliminó el uso de aceite quemado como la parte combustible del horno, ya que es un producto altamente toxico, peligroso y de difícil almacenamiento debido a las normas con las que está regulado, mediante la comparación realizada entre el diésel y el aceite quemado se determinó que la capacidad calorífica del diésel es mucho mejor y esto también permite el ahorro del tiempo al momento de la fundición del aluminio sin afectar de gran manera los costos por compra del combustible.

**Palabras clave:** Materiales térmicos, horno basculante, aluminio, proceso de fundición.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED

## "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TILTING OVEN TO FUSE ALUMINUM AT FUNDICION SANGUCHO COMPANY"

**Authors:**

**Mario Andrés Coronel Subía**

**Alex Santiago Sangucho Simba**

### ABSTRACT

The incorrect use of thermal materials at “FUNDICIONES SANGUCHO” company caused a waste of time for the oven to reach an ideal temperature to be more than necessary, for this, through the analysis of its variables, a design and construction was designed and built. Tilting furnace to reduce the time in the smelting process, which is used as a tool for the fusion of aluminum scrap at "FUNDICIONES SANGUCHO" company. In the designing of the tilting furnace to melt aluminum, the thermal fluxes of the heat losses to the medium, the amount of energy needed for the smelting process. The internal capacity of the oven, the calculations for the structure to support its weight and The cost of diesel consumption in the smelting of a 250kg load of aluminum, which is the amount that the company requires to complete its work in a normal working day. With the implementation of the tilting furnace, the heating time of this was improved. The bucket heating was eliminated and the manual direct pouring system was added, which speeds up the dismantling process of the finished parts, obtaining twice the production at the same time of work, since this work was carried out with an oven built in an artisanal way. The use of burned oil as the fuel part of the oven was also eliminated, since it is a highly toxic, dangerous and difficult to store product. Due to the standars with which it is regulated, through the comparison made between diesel and burned oil it was determined that the heat capacity of diesel is much better and this also allows saving time at the time of smelting of aluminum without affecting the costs of fuel.

**Keywords:** thermal materials, tilting furnace, aluminum smelting process.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores **CORONEL SUBÍA MARIO ANDRÉS** y **SANGUCHO SIMBA ALEX SANTIAGO**, egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTADO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, cuyo título versa **"DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN HORNO BASCULANTE PARA FUNDIR ALUMINIO"**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Julio del 2019

Atentamente,

Mg. Edison Marcelo Pacheco Pruna  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS  
C.C. 050261735-0



CENTRO  
DE IDIOMAS

## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **PROPUESTO POR:**

Mario Andrés Coronel Subía

Alex Santiago Sangucho Simba

### **TEMA APROBADO:**

Diseño e implementación de un horno basculante para fundir aluminio.

### **CARRERA:**

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

### **DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACION:**

M. Sc. Arévalo Zabala Andrés German

### **EQUIPO DE TRABAJO:**

Ing. Andrés German Arévalo Zabala

Ing. Edwin Homero Moreano Martínez

Sr. Mario Andrés Coronel Subía

Sr. Alex Santiago Sangucho Simba

### **LUGAR DE EJECUCIÓN:**

Región sierra, Provincia de Cotopaxi, Cantón Salcedo, Parroquia San Miguel de Salcedo, Barrio Rumipamba de las Rosas.

### **TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA:**

Seis meses

### **FECHA DE ENTREGA:**

Julio del 2019

### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN UNIVERSIDAD**

Ingeniería, industria y construcción

### **SUBLINEAS DE INVESTIGACIÓN**

Ingeniería y profesiones afines

### **TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:**

El presente proyecto es un producto que mejorará el proceso de trabajo y la economía de una empresa.

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

### **2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Diseño e implementación de un horno basculante para fundir aluminio.

### **2.2. TIPO DE ALCANCE**

- **Multipropósito:** Acelerar el tiempo de fusión del aluminio y gastos económicos.
- **Productivo:** Generar mayor cantidad de producto final en menor tiempo.

### **2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO:**

Carrera de Electromecánica: Ingeniería, industria y construcción

#### **2.3.1. Sub áreas de Conocimiento:**

Carrera de Electromecánica: Ingeniería y profesiones afines

### **2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Se pretende diseñar e implementar un horno basculante automatizado para la Fundidora “Sangucho” con el objetivo de apresurar la fusión de aluminio mediante la selección de un material refractario que tenga buenas propiedades termodinámicas permitiendo alcanzar la temperatura que se necesita para colar el aluminio, a la vez conservar su temperatura por un tiempo prolongado cuando el horno este apagado. Con este proyecto se propone evitar retrasos en el proceso de fundición y elaboración de los productos finales, obteniendo de esta manera una mejor producción de trabajo para satisfacer la necesidad de las personas y obtener mayores ganancias para la empresa.

### **2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN**

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

Horno basculante para la fundición de aluminio

#### **2.5.2. Campo de acción**

Construcción del sistema térmico del horno para mejorar la fusión del aluminio.

### **2.6. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PROBLÉMA**

#### **2.6.1. Situación problemática:**

El uso inapropiado de materiales térmicos en la Empresa “FUNDICION SANGUCHO” ubicado en el Barrio Rumipamba de las Rosas, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, ha ocasionado que el horno en el que se trabaja demore: 2,5 horas en obtener una temperatura ideal para el proceso de fusión del aluminio, 2,5 horas para colar completamente el metal, esto ha causado grandes gastos económicos por el alto consumo de combustible y por el tiempo

empleado por sus operarios para el manejo del metal fundido, por esta razón no se puede iniciar la fundición rápidamente, ni mantenerlo a una temperatura constante cuando está apagado.

### 2.6.2. Problema

Uso inapropiado de materiales térmicos para el proceso de fundición de aluminio en la Empresa “FUNDICION SANGUCHO” del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi.

**Tabla 2.1.** Diagrama causa-efecto.

<b>DIAGRAMA CAUSA-EFECTO</b>				
<b>CAUSA</b>	Malas propiedades térmicas	Exagerado consumo de combustible	Caldeo por cucharones	Mover el metal
<b>EFECTO</b>	Perdidas de calor en las paredes del horno	Gasto económico elevado	Disminuye la producción	Riesgo de quemaduras

### 2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA

Con la implementación del horno basculante se mejorará el proceso de fundición de aluminio.

#### VARIABLES

##### Variable dependiente

Horno Basculante.

##### Variable independiente

Temperatura

Tiempo de fusión

### 2.8. OBJETIVOS

#### 2.8.1. Objetivo general

- Diseñar e implementar un horno basculante, para mejorar el proceso de fundición del aluminio.

#### 2.8.2. Objetivos específicos

- Analizar e investigar bibliografía para el trabajo precedente.
- Diseñar el horno para la fundición de aluminio.
- Construir e implementar el horno basculante.

## 2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS

**Tabla 2.2** Tarea por objetivos

Objetivos específicos	Tareas
Analizar e investigar bibliografía para el trabajo precedente.	Compilación bibliográfica para el estudio de materiales que tengan propiedades termodinámicas adecuadas
	Investigación de todo tipo de hornos construidos y procesos de fundición de aluminio
	Extracción de fórmulas para cálculo del sistema térmico.
Diseño del horno para la fundición de aluminio.	Diseño conceptual de acuerdo con la compilación bibliográfica.
	Cálculo del sistema térmico para el proceso de fundición.
	Diseño mediante un programa asistido por computadora.
Construir e implementar el horno basculante.	Análisis de resultados
	Adquisición de materiales
	Pruebas de funcionamiento.

### 3. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se presentan las consideraciones generales que se deben tomar en cuenta para el proceso constructivo de un horno para fundición de aluminio; para lo cual, se requiere del conocimiento previo de qué fundir y cómo fundir, es necesario poseer un panorama del metal a ser fundido, sus propiedades, aleaciones y usos. Así también, conocer los elementos constructivos, el procedimiento adecuado para emplearlo y mantenerlo, y los distintos tipos disponibles en el mercado. En la siguiente sección se introduce sobre las generalidades de los hornos, tipos de crisoles, mantenimiento de estos y todas aquellas consideraciones necesarias que la metalurgia, en este tipo de hornos, ha conllevado.

### **3.1 ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA FUNDIDORA**

La industria fundidora de metales en el país ha logrado satisfacer las necesidades, la demanda que ha tenido en el mercado, ya que desde tiempos pasados se ha visto el modo de construcción y uso ya sea esta por medio de moldes en diferentes tipos, como también, de acuerdo al tipo de metal que se va a fundir. Existen ya muchos tipos de hornos que se fabrican acorde a la temperatura de fusión de materiales como son: el hierro, cobre, bronce, aluminio, plomo, siendo distinto su punto de fusión, es por eso, por la cantidad que necesita fundirse, eficiencia, rapidez y modo fácil de manejo que para los metales se puede elegir un modelo o tipo de horno.

Diseñó un equipo didáctico en donde se identifican dos zonas, una de calentamiento rápido que en 5 minutos alcanza los 600°C y una zona de calentamiento que tarda 20 minutos hasta alcanzar los 900°C, el proceso de fundición tarda 45 minutos, obteniéndose una eficiencia del 79%; en el caso del Aluminio en 16 kg de perfiles reciclados que ingresan, se obtiene 14,06 kg de Aluminio y 1,94 kg de escoria [1].

Construyo un horno, es un equipo para la fusión de aleaciones no ferrosas, en donde el metal que se funde se encuentra en el interior de un crisol fabricado de grafito, posicionado en el interior de la cámara de combustión cilíndrica, que a su vez está formada internamente por un revestimiento refractario y externamente por una carcasa de lámina de acero. El diseño del horno condujo a un horno compacto de ~500 mm de altura y 500 mm de diámetro. La potencia mínima requerida por el horno para fundir una carga de una aleación de aluminio es de 12,50 kW (42,550 BTU/h), el estimado de consumo de gas propano de 1,49 lb/h; es decir, un cilindro de 100 lb de gas puede durar 67 horas de operación [2].

Según [3] este horno está diseñado para cargar 15 kg de aluminio en 1 hora. Se utilizó un crisol de grafito calentado mediante un sistema de combustión con GLP impulsados por un flujo de aire, para la fabricación del horno se seleccionaron los materiales existentes en nuestro medio, es de fácil operatividad, alto rendimiento, eficiente y de bajo costo.

### **3.2 ANÁLISIS DEL PROCESO DE FUNDICIÓN**

La fundición de metales es una tecnología prehistórica, pero que aparece recientemente en los registros de la arqueología. Nació cuando los antiguos usaron las tecnologías del fuego llamadas piro tecnologías, las cuales proveyeron las bases del desarrollo de la fundición. Se

usó el calor para lograr hierro esponjoso y el barro quemado para producir cerámica. Los objetos metálicos antiguos que conocemos tienen más de años y no se produjeron por fusión, sino que fueron forjados; eran pequeños pendientes y collares, los cuales fueron martillados de pepitas de cobre nativo y no requirieron soldadura. El periodo arqueológico en el cual el trabajo del metal tomó lugar, fue el Neolítico. Los metales nativos fueron tal vez considerados simplemente como otro tipo de piedra y usaron los mismos métodos de trabajo empleados con la piedra. Así el cobre se empezó a trabajar como una piedra, la aparición del hierro esponja y de cerámicos en el Neolítico, evidencia que el fuego se usó para otros materiales al igual que para la piedra [4].

Los primeros moldes eran de piedra de jabón o jaboncillo de sastre (estética). Esta era una piedra blanda y de fácil corte que soportaban las altas temperaturas del metal fundido. Por la dificultad de tallar la piedra se empezó a utilizar la arcilla arenosa, en que se podía envolver el objeto, para luego quemarlo [5].

En un primer momento de la fundición los moldes empleados eran de piedra como se muestra en la figura 1, donde se tallaba la figura del elemento a elaborar. Para aquel entonces, el nivel alcanzado en el tallado en piedra permitía trabajos muy finos [6].



**Figura 3.1.** Espada típica de la edad de bronce, elaborada en cobre arsenical y en molde de dos partes.

**Fuente:** [6].

### **3.2.1 Estado de la industria fundidora en el país**

La Industria fundidora en el país ha tenido poco desarrollo, son pocas las empresas que han optado por procesos eficientes e innovadores con tecnología de punta ampliando sus servicios

y mejorando la calidad de sus productos, la mayor parte de las empresas que la constituyen realizan productos de baja o mediana complejidad sin mayor desarrollo tecnológico ni optimización de los procesos, pocas empresas lideran la industria de la fundición en el Ecuador, las cuales cuenta con maquinaria moderna, una amplia experiencia en la rama, pero ninguna cuenta con laboratorio de análisis de estructura de materiales y aunque cumplen normas nacionales no es un régimen, ya que dichas empresas no cuentan con un control de calidad en sus productos o un proceso de mejoramiento continuo, lo que no garantiza que todas las piezas ahí fabricadas cumplan o estén bajo la norma indicada [3].

### 3.2.2 Importancia de la fundición

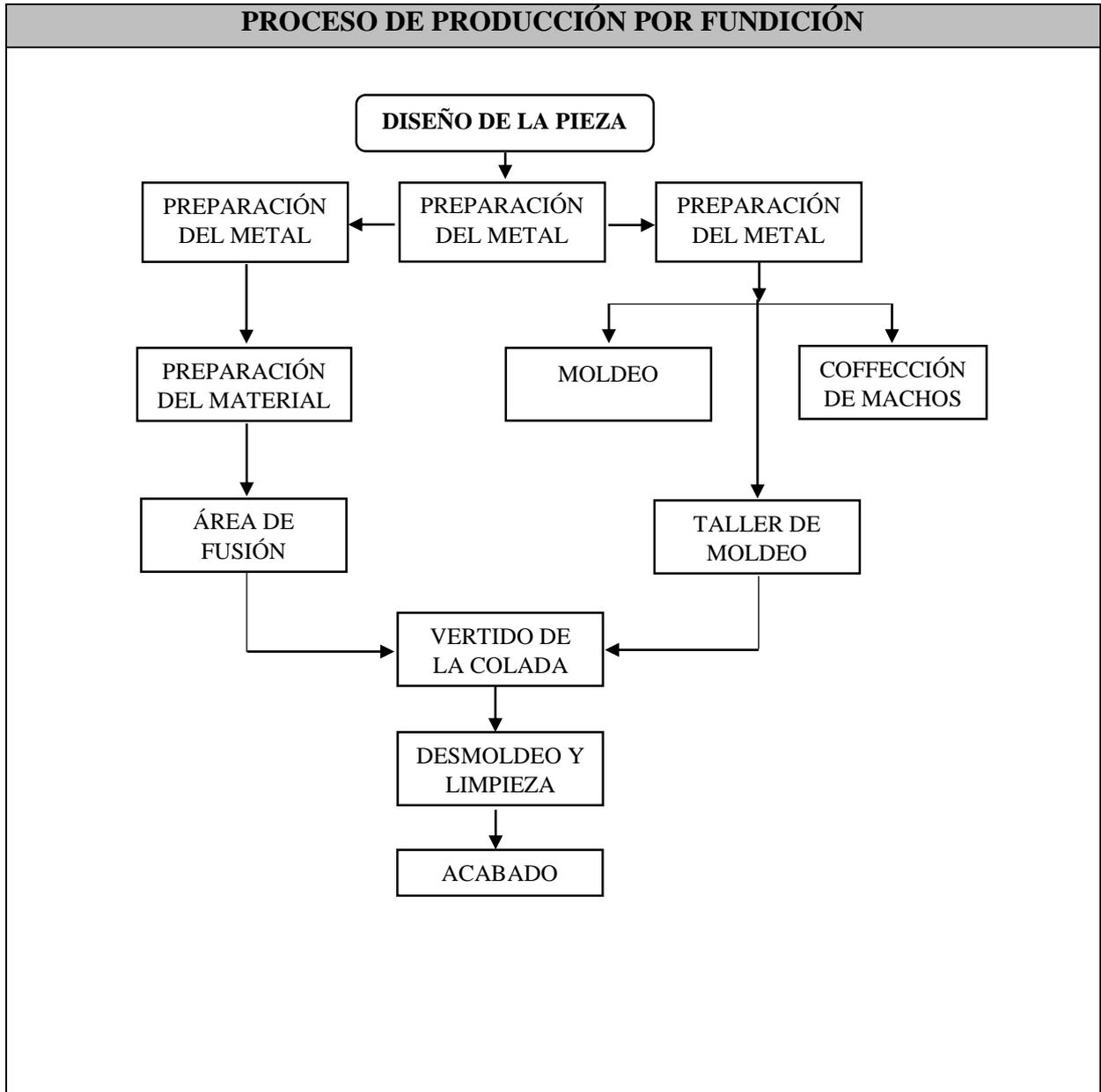


**Figura 3.2.** Metales obtenidos de la fundición

**Fuente:** [7].

El proceso para obtener piezas por fundición es hoy en día de suma importancia en la construcción de maquinaria. La aplicación fundamental de este proceso es en aquellas piezas de complejidad tal que dificultan grandemente su obtención por otros métodos de mayor simplicidad como la forja o al maquinado entre otros. "La fundición es la base de casi todas las industrias: la mayoría de los objetos y máquinas exigen para su fabricación piezas moldeadas y fundidas en hierro, acero, bronce, aluminio, etc. Esto explica el desarrollo considerable de la fundición y demuestra asimismo su gran influencia en todas las demás actividades." Las industrias exigen piezas fundidas cuyos pesos pueden alcanzar y aun

sobrepasar las cincuenta o sesenta toneladas. Dichas fabricaciones necesitan largas semanas de trabajo y alcanzan precios considerables [3].



**Figura 3.3.** Esquema de flujo del proceso de fundición de piezas.

**Fuente:** [3].

### **3.3 ESPECIFICACIONES DEL ALUMINIO**

En la antigüedad se utilizaba el aluminio en forma de sal doble como tintorería y para uso medicinal (hoy en día se sigue utilizando) pero sin la consciencia de manejar un metal. A principios del siglo XIX, la única forma de conseguir aislarlo era por procedimientos químicos y a un gran coste, en ínfimas cantidades y de una pésima calidad [8].

Las aleaciones de aluminio ocupan el segundo lugar (con respecto a los aceros) en los materiales que se utilizan con fines estructurales y algunas aleaciones (próxima o similar a la de algunos aceros estructurales), permite la construcción de estructuras ligeras y resistentes, particularmente ventajosas en vehículos espaciales, aviones, y en todo tipo de vehículos terrestres y náuticos [1].

La facilidad con la que se puede fabricar en cualquier forma es uno de sus atractivos más importantes. A menudo puede competir con éxito con materiales más baratos que tienen un menor grado de trabajabilidad. Puede ser colado por cualquier método de fundición y se puede laminar a cualquier espesor [9].

#### **3.3.1 Características físicas**

Entre las características físicas del aluminio, destacan las siguientes [1]:

- Es un metal ligero, cuya densidad es de  $2,700 \text{ kg/m}^3$
- Tiene un punto de fusión bajo:  $660 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $933 \text{ K}$ ).
- El peso atómico del aluminio es de  $26,9815 \text{ g/mol}$ .
- Tiene una elevada conductividad eléctrica comprendida entre  $34$  y  $38 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$  y una elevada conductividad térmica  $80$  a  $230 \text{ W/m K}$ .
- Resistente a la corrosión, a los productos químicos, a la intemperie y al agua de mar, gracias a la capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  formada.

#### **3.3.2 Características químicas**

- Debido a su elevado estado de oxidación se forma rápidamente al aire una fina capa superficial de óxido de aluminio impermeable y adherente que detiene el proceso de oxidación, lo que le proporciona resistencia a la corrosión y durabilidad.
- El aluminio tiene características anfóteras (actúa como ácido).
- El principal y casi único estado de oxidación del aluminio es +III como es de esperarse por sus tres electrones en la capa de valencia [1].

### **3.3.3 Fusión del aluminio**

La fusión es un proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia del estado sólido al estado líquido por la acción del calor. Cuando se calienta un sólido, se transfiere calor a los átomos que vibran con más rapidez a medida que gana energía [1].

La fusión del aluminio es un proceso que se realiza mediante la adición de energía usando hornos de diferentes características, los cuales pueden ser muchos en cuanto a tipo y diseño, pero de acuerdo al tipo de suministro de energía, los hornos de fusión se clasifican en hornos de combustión, eléctricos y mixtos. En nuestro medio la fusión se la efectúa casi exclusivamente en hornos de combustión, empleando por razones económicas diésel. En este caso vamos a utilizar aluminio reciclado, particularmente de perfiles obteniendo aluminio de segunda fusión que se genera por la fusión de chatarras. Esta materia prima es conseguida por reciclaje [10].

Si bien es cierto que el aluminio tiene un punto de fusión de 660 °C, relativamente bajo en comparación con el bronce 900 °C o hierro 1508°C, sin embargo, se precisa un 80 % más de calor latente para fundir aluminio que para fundir bronce. Para obtener éxito en el proceso de fusión es necesario poder medir y/o regular la temperatura del caldo puesto que una vez que toda la carga se ha fundido, la temperatura comenzara a elevarse con suma rapidez si es que seguimos con el mismo suministro de calor ya que el requerimiento calórico será menor y mientras mayor sea el recalentamiento a que somete el caldo mayores serán los problemas y menor la calidad de la aleación [1].

## **3.4 TIPOS DE HORNOS PARA FUNDICIÓN DE METALES**

Un horno es un dispositivo en el que se libera calor y se transmite directa o indirectamente a una masa sólida o fluida con el fin de producir en ella una transformación física o química.

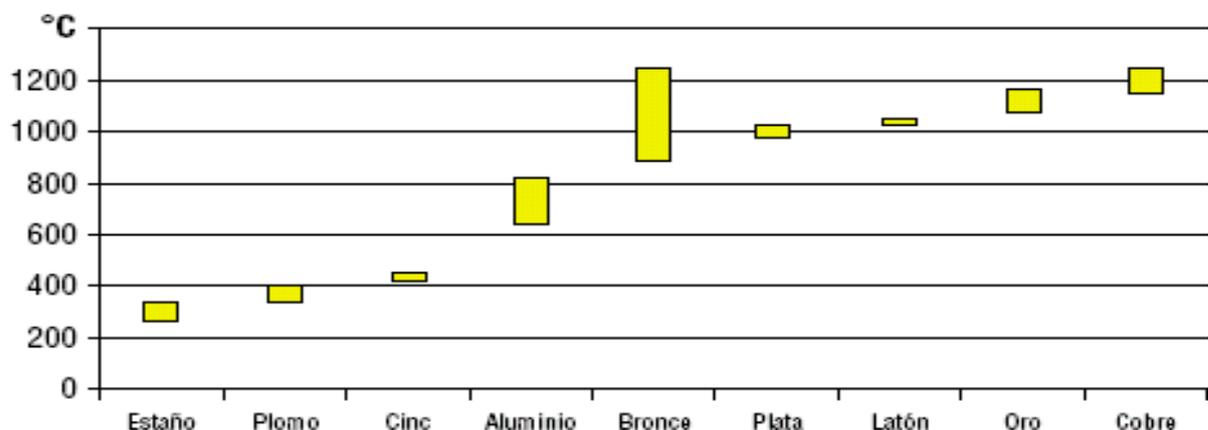
Las partes constitutivas de un horno son:

- Elemento generador
- Sistema de alimentación de material
- Cámara principal
- Aislantes térmicos
- Sistemas de medición y control
- Redes de suministro de combustible o cableado de potencia (según el tipo de combustible)
- Ventiladores y sistemas de evacuación de gases (hornos con combustión)
- Redes eléctricas
- Recubrimiento externo

La energía calorífica requerida para el calentamiento de los hornos puede proceder de: Gases calientes producidos en la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que calientan las piezas por contacto directo entre ambos o indirectamente a través de tubos radiantes o intercambiadores en general [11].

### 3.4.1 Propiedades de los hornos

Los metales se funden a diferentes temperaturas, la figura 3.4 se muestra los puntos de fusión de los metales más comunes.



**Figura 3.4.** Intervalos de fusión de metales y sus aleaciones

**Fuente:** [12].

### **3.4.2 Clasificación de los Hornos**

Los hornos se clasifican de acuerdo a su tipo de función [2]:

Usados para la fusión:

Los hornos que se usan para fundir metales y sus aleaciones varían mucho en capacidad y diseño. Varían desde los pequeños hornos de crisol que contienen unos cuantos kilogramos de metal a hornos de hogar abierto hasta 200 toneladas de capacidad.

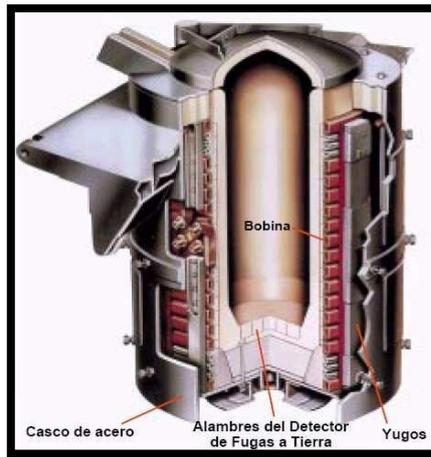
El tipo de horno usado para un proceso de fundición queda determinado por los siguientes factores:

- Necesidades de fundir la aleación tan rápidamente como sea posible y elevarla a la temperatura de vaciado requerida.
- La necesidad de mantener tanto la pureza de la carga, como precisión de su composición.
- La producción requerida del horno.
- El costo de operación del horno.

Los Tipos de Hornos Que se Usan en un Proceso de Fundición son:

- Horno de Crisol (móvil, estacionario y basculante).
- Horno Eléctrico.
- Horno por inducción.
- Horno de Arco Eléctrico.
- Horno basculante.
- Horno Cubilote.

### **3.4.3 Hornos Eléctricos, ventajas y desventajas**



**Figura 3.5.** Esquema del horno eléctrico

**Fuente:** [13].

Los hornos eléctricos como se indica en la figura 3.5 tienen grandes ventajas para la fusión de los metales, siendo las más destacadas las siguientes características:

- Pueden obtenerse temperaturas muy elevadas hasta de 3500°C en algunos tipos de hornos eléctricos.
- Puede controlarse la velocidad de elevación de temperatura, y mantener Ésta entre límites muy precisos, con regulaciones completamente automáticas.
- La carga queda por completo libre de contaminación del gas combustible.
- Puede controlarse perfectamente la atmosfera en contacto con la masa fundida, haciéndola oxidante o reductora a voluntad, e incluso en algún tipo de horno puede operarse en vacío.
- Tienen mayor duración los revestimientos que en los demás tipos de hornos.
- Se instalan en espacio reducido.
- Su operación se realiza con mayor higiene que la de los hornos otros tipos.

#### **3.4.3.1 Ventajas de la utilización de hornos eléctricos**

- Utiliza energía eléctrica.- En nuestro país existe el suministro adecuado para la utilización de aparatos y máquinas que trabajen con este tipo de energía.
- Son totalmente Automatizados.- con la utilización correcta de un manual, se puede acceder a la programación del horno.

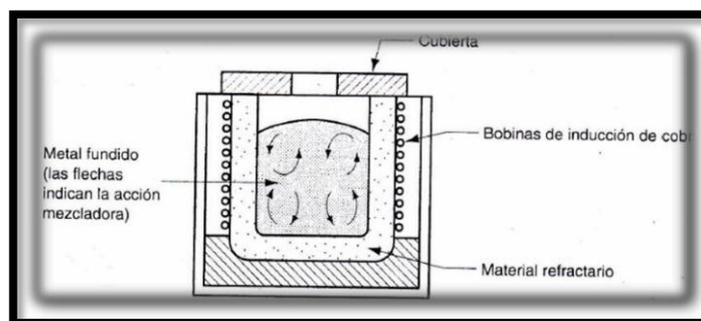
- Fundición de aceros especiales.- Al hallarse el metal a fundir confinado, se halla libre de todo cuerpo extraño. (aire, gas, carbón, etc.), así se puede lograr obtener cualquier tipo de aleación especial.
- Altas temperaturas.- Permite tener escorias muy calcáreas que aseguran la eliminación casi completa del fósforo y del azufre.
- Rebaja la quema del metal.- Rebaja considerablemente la quema del metal debido que no existe llama oxidante [14].

### 3.4.3.2 Desventajas de la utilización de hornos eléctricos

- El Consumo de energía eléctrica es alta.- Estos hornos necesitan una gran cantidad de electricidad para llegar a altas temperaturas.
- Costos de Adquisición.- Se debe considerar que al trabajar con tecnología alta, su costo también es alto.
- Poca utilización para la fundición.- Ocupamos estos hornos para realizar tratamientos térmicos, muy pocos se utilizan para la fundición de metales [14].

### 3.4.4 Hornos De Inducción, ventajas y desventajas

Un horno de inducción usa corriente alterna través de una bobina que genera un campo magnético en el metal, el resultado de la corriente inducida causa un rápido calentamiento y la fusión del metal. Al observar la Figura 3.6, se ilustran las características de un horno de inducción para operaciones de fundición. El campo de fuerza electromagnética provoca una acción de mezclado en el metal líquido. Además, como el metal no está en contacto directo con ningún elemento de calefacción, se puede controlar cuidadosamente el ambiente donde se practica la fusión. El resultado es una fundición de alta calidad y pureza. Los hornos de inducción se usan para casi cualquier aleación cuyos requerimientos de calidad sean importantes.



**Figura 3.6.** Horno de Inducción

**Fuente:** [14].

Una de las principales características es su capacidad, pues estos hornos trabajan con cantidades menores de un kilogramo hasta valores de una tonelada.

La contaminación ambiental por ruido se hace presente en este tipo de hornos pues produce un ruido agudo que perturba al ambiente de trabajo.

Dentro de los hornos de inducción encontramos:

#### **3.4.4.1 Horno de inducción de alta frecuencia**

“En el horno de inducción de alta frecuencia se transforma una mezcla de materiales bastantes puros y minuciosamente elegidos. Debidamente a la alta velocidad del proceso, el metal no puede oxidarse mucho, al final de la fusión se introduce una pequeña cantidad de adiciones y desoxidantes.

Se usan en la producción de aceros perfilados y para la fusión de aceros de alta aleación (aceros resistentes a altas temperaturas, inoxidable, etc.) [14].

#### **3.4.4.2 Ventajas de la utilización de hornos de inducción**

- Funciona con corriente alterna.
- Al no tener ningún contacto con los elementos de calefacción la fundición resultante es limpia.
- La corriente inducida causa un rápido calentamiento y la fusión del metal.
- Tiene la capacidad de fundir desde 1kg hasta 100 ton, comúnmente funde Fe, Acero, Cu, Al, entre otros [14].

#### **3.4.4.3 Desventajas de la utilización de hornos de inducción**

- Valor de compra y consumo de energía muy elevados.
- En la fundición de aleaciones no se puede hacer un proceso de refinamiento.
- El sonido característico de este horno provoca malestar en los operadores del equipo, por lo cual se debe utilizar siempre protección auricular.
- Dependiendo el metal a fundir se eleva o disminuye su frecuencia pues:

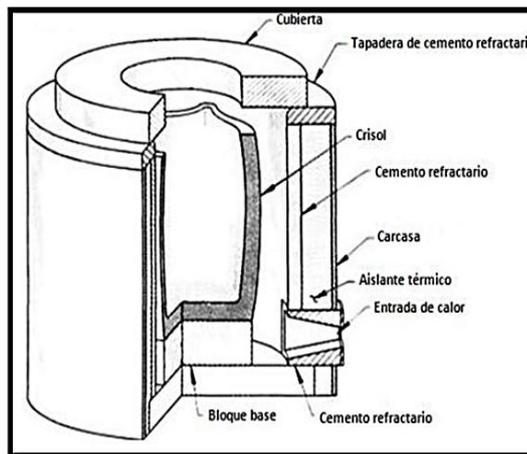
Al elevar su frecuencia, disminuye la turbulencia y provoca una oxidación más baja.

Al bajar la frecuencia, aumenta la turbulencia y posibilita que exista una mayor oxidación [14].

### 3.4.5 Horno de Crisol, ventajas y desventajas

De manera sencilla, un horno de crisol no es más que una recámara a la cual se le suministra energía, almacena calor y promueve la transferencia de este a un metal contenido en un recipiente conductor del calor, resistente a la acción del metal y a las altas temperaturas denominado crisol, el cual permite fundir el metal en su interior para luego ser vertido a un molde previamente preparado.

El crisol es un recipiente que se coloca dentro de los hornos para que reciba el metal fundido. Normalmente está hecho de grafito con cierto contenido de arcilla y puede soportar materiales a altas temperaturas, como el bronce fundido o cualquier otro metal normalmente a más de 500 °C [2].



**Figura 3.7.** Versión típica de un horno estacionario con crisol removible

**Fuente:** [2].

Dentro de los hornos de crisol tenemos los siguientes:

#### 3.4.5.1 Horno de Crisol Móvil

El crisol se coloca en el horno que usa aceite gas o carbón pulverizado para fundir la carga metálica, cuando el metal se funde, el crisol se levanta del horno y se usa como cuchara de colada.

### **3.4.5.2 Horno de Crisol Estacionario**

Su fuente de calor constituye el carbón de piedra, por lo general estos equipos son de forma cuadrada, estos hornos pueden ser construidos en serie con disposiciones continuas una a lado de otro, formando un solo bloque pero separados únicamente por una capa de ladrillo refractario, a la vez unidos por una misma chimenea, manteniendo cuidado de disponer un registro vertical en el canal de comunicación de cada horno con la chimenea [13].

### **3.4.5.3 Ventajas del uso de hornos de crisol**

- Es utilizado en la fabricación de piezas hechas de metales no ferrosos como el cobre, bronce, el latón, zinc, aluminio, y demás aleaciones de cobre.
- Su Adquisición, mantenimiento es económico.
- Puede fundir cantidades pequeñas, según sea la necesidad.
- Su combustible es de fácil adquisición en el mercado nacional.
- Según sea la necesidad se clasifican en Hornos de tipo fijo y basculante.
- En el caso de los hornos de crisol basculante, no se utiliza ningún tipo de herramientas para sacar la carga, pues el horno es basculante y el operador no corre ningún riesgo de quemadura por contacto con la carga [14].

### **3.4.5.4 Desventajas del uso de hornos de crisol**

- En el caso de los hornos de crisol fijos, se deben utilizar herramientas adecuadas para sacar la carga y colocarla en los moldes.
- Ocupa mayor espacio en comparación a otros hornos.
- Si no se tiene una ventilación adecuada puede causar problemas en la atmosfera de trabajo (contaminación por emanación de gases de combustión) en el momento del encendido del quemador [14].

### **3.4.5.5 Formas de calentamiento de un horno de crisol**

Con relación a la forma de energía utilizada, los hornos de crisol pueden ser operados básicamente a través de energía eléctrica o de combustibles. En relación a la energía eléctrica, los hornos más comunes son de resistencia y de inducción. En cuanto a los combustibles, se puede utilizar una serie de formas diferentes como se muestra en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.1.** Principales tipos de combustible que pueden ser usados en la operación de los hornos de crisol

<b>Combustible</b>	<b>Tipo</b>	<b>Poder Calorífico (kcal/kg)</b>
<b>Sólido</b>	Leña	3800
	Carbón mineral	4000 a 6000
	Coque de fundición	6200 a 7500
	Coque de petróleo	8000
	Carbón vegetal	6500 a 7000
<b>Líquido</b>	Gasolina	10200
	Petróleo	11000 kcal/litro
	Diésel	7300
	Alcohol etílico Querosene	11600
	Petróleo - Fuel - Oil - OC4	9820-10000
<b>Gaseoso</b>	Gas licuado	10900
	Gas de coque	4500
	Gas natural	10000
	Gas metano	8500

**Fuente:** [12].

Cada forma de energía sea eléctrica o en forma de combustible, posee sus ventajas y desventajas que deben ser aprovechadas o evitadas de acuerdo con las condiciones de producción exigidas, o en función de la política de abastecimiento adoptada [12].

### **3.4.6 Comparación de acuerdo al tipo de hornos seleccionados**

La comparación se hará de acuerdo a siete parámetros que se han considerado principales de acuerdo a características de cada uno de los hornos.

**Tabla 3.2.** Tabla de comparación para la selección del horno.

	<b>Horno eléctrico</b>	<b>Horno de inducción</b>	<b>Horno basculante</b>
<b>Método de calentamiento</b>	Uso de Resistencias	Uso de Resistencias	Método de combustión (diésel)
<b>Consumo de energía eléctrica</b>	Alto	Alto	Bajo
<b>Vertido del metal</b>	Uso de moldes para descarga del metal	Uso de moldes para descarga del metal	Vertido directo

<b>Costo de fabricación</b>	Alto	Alto	Medio
<b>Tipo de maniobra</b>	Automatizado	Automatizado	Manual
<b>Rotación</b>	Estático	Estático	Rotación de 360°
<b>Costo de Mantenimiento</b>	Alto	Alto	Medio

Para el análisis que está en la tabla 3.2 se ha tomado tres tipos de hornos y a cada uno se los ha valorado con un puntaje alto, medio y bajo, de acuerdo a las características necesarias para expuestas en la tabla.

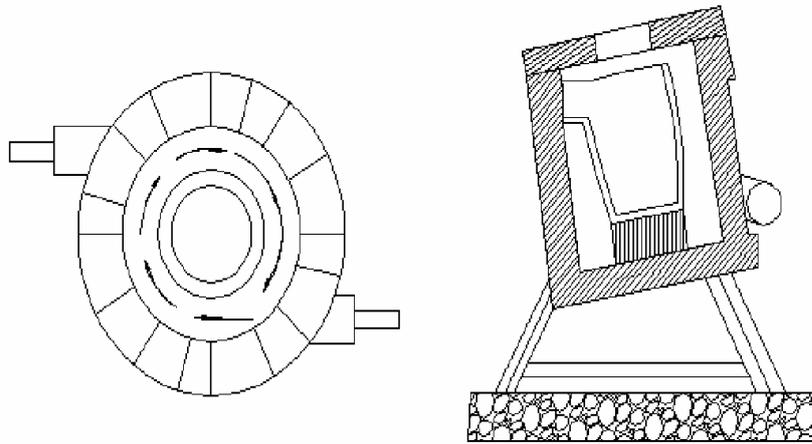
### **3.4.7 Selección del horno**

De acuerdo a la tabla 3.3 presentada anteriormente y de acuerdo a las especificaciones de la empresa se pudo elegir qué tipo de horno se va a diseñar. Para la construcción y diseño seleccionamos el horno basculante puesto que su maniobrabilidad es necesaria al momento de verter el metal, el costo de fabricación en comparación con los hornos analizados es reducido, el consumo de energía eléctrica, así como el costo de mantenimiento son relativamente mínimos y tiene la ventaja que otros hornos no tienen al girar 360° para manipular el metal líquido.

### **3.5 HORNO DE CRISOL BASCULANTE**

Son hornos móviles apoyados sobre un sistema de sustentación. Usualmente se les utiliza cuando es necesaria una producción relativamente grande de una aleación determinada. El metal es transferido a los moldes en una cuchara o un crisol precalentado, con la excepción de casos especiales en que es vaciado directamente. El tipo original de horno basculante, con capacidades de 70 a 750 kg de latón, bascula en torno a un eje central. Su desventaja es que el punto de descarga acompaña el movimiento basculante.

El dispositivo entero se puede inclinar para vaciar la carga se usa para metales no ferrosos como el bronce, el latón y las aleaciones de zinc y aluminio [13].



**Figura 3.8.** Esquema de un Horno de Crisol Basculante.

**Fuente:** [13].

## **3.6 COMPONENTES DE UN HORNO**

### **3.6.1 Cimientos**

Se apoyan directamente en el suelo que previamente se ha aprobado como adecuado para la instalación de un horno de tipo industrial y son la parte que sostiene todas las piezas que compondrán al horno. Los cimientos deben presentar solidez absoluta para soportar las cargas dinámicas derivadas del trabajo con el horno sin que sufran ningún tipo de deterioro, además deben ser de las dimensiones adecuadas para que la presión que ejerce el horno contra el suelo no rebase los valores admisibles según lo establecido en las normas de seguridad [15].

### **3.6.2 Paredes**

Rodean la zona de trabajo del horno y mantienen la cámara. Las paredes deben tener la capacidad de proteger el horno de pérdidas de calor, impedir la salida de gases del hogar y la succión del aire atmosférico al interior del horno. Las paredes del horno normalmente están construidas como un sándwich, donde los elementos exteriores son láminas metálicas de acero u aluminio, y el interior es de colchas aislantes de fibras cerámicas. Los paneles de los hornos deben de estar reforzados en su estructura ya que estarán sometidos constantemente a al calor en una cara y el frío en la cara contraria [15].

### **3.6.3 Cámara de combustión**

Es una de las partes más importantes de un horno industrial y tiene que soportar temperaturas muy elevadas además de ser impermeable a los gases calientes de alta presión que se

encuentran en la parte superior de la zona de trabajo. Por ello, los materiales empleados para la fabricación de una cámara de combustión deben resistir los ataques de humo de óxido ferroso, la radiación térmica y el choque térmico. Existen de diferentes tipos: planas, de arco, semicirculares y suspendidas. La cámara de combustión se fabrica con aceros de altos calibres y están aisladas con materiales cerámicos [15].

#### **3.6.4 Quemador**

Es el elemento que genera el calor. El quemador está compuesto por una etapa de inyección de aire y una etapa de combustión. La etapa de inyección generalmente tiene un ventilador proporcionará aire fresco rico en oxígeno para lograr una buena combustión. La etapa de combustión está formada por la boquilla de gas, las bujías de ignición y los detectores de flama. Ahí se genera la combustión del gas (o algún otro combustible). El quemador deberá tener elementos de seguridad que permitan detectar la presencia de flama y apagar cerrar las válvulas en caso de detección de falta de flama [15].

#### **3.6.5 Chimenea**

Tiene la función de sacar los gases de combustión de la cámara, para permitir la renovación del aire y poder obtener una buena combustión [15].

#### **3.6.6 Juntas térmicas**

Las juntas de los hornos industriales tienen que poder compensar la dilatación del horno por el calor, de manera que se garantice la integridad del mismo. Su disposición y ancho dependen del nivel de calentamiento que se presenta en cada parte del horno y de los coeficientes de dilatación de la mampostería por el calor [15].

#### **3.6.7 Esqueleto metálico**

Sujeta todos los componentes del horno y es la estructura que absorbe los esfuerzos transmitiéndolos a los cimientos. A esta estructura metálica se le montan los accesorios adicionales con que se decida equipar al horno, como puertas, tapas, ventanas, marcos, quemadores y toberas [15].

#### **3.6.8 Difusores**

Después de la cámara de combustión los difusores son tal vez el elemento más importante de un horno. Están formados por ventiladores que hacen circular el aire caliente a través de conductos. Los ventiladores que alimentan a los difusores son de tipo reforzado, especialmente calculados para soportar aire caliente a altas temperaturas. Los ductos tendrán

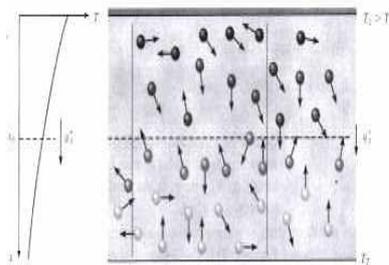
salidas ajustables a lo largo de horno lo que nos permite regular el aire que se inyecta en cada uno de los diferentes puntos del horno industrial. Sin los difusores las temperaturas en diferentes secciones del horno serían muy dispares, generando así una mala calidad de curado en los productos [15].

### 3.7 PRINCIPALES FORMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Con frecuencia en el área de ingeniería se encuentra las llamadas ciencias térmicas que incluyen la termodinámica y la transferencia de calor, siendo esta última la complementaria de la termodinámica. La termodinámica considera fundamentalmente el sistema en equilibrio, basadas en leyes adicionales que permiten la predicción en relación al tiempo de la transferencia de energía, estas leyes complementarias están relacionadas con tres modos fundamentales de transferencia de calor como son: conducción, convección y radiación [16].

#### 3.7.1 Conducción

Con la palabra conducción se vinculan de inmediato los conceptos de actividad atómica y molecular, que en estado sólido sostienen este modo de transferencia de calor.



**Figura 3.9.** Comportamiento molecular en la transferencia de calor por conducción.

**Fuente:** [16].

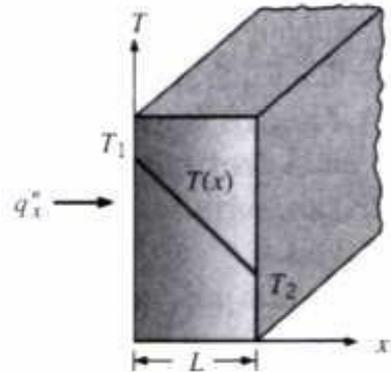
La conducción es considerada como la transferencia de energía, de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia, debido a las interacciones entre las mismas [16].

La situación es muy similar en los líquidos, aunque la distancia molecular se encuentra afectada por el efecto de las interacciones moleculares.

En un material no conductor la transferencia de calor se da exclusivamente por la vía de las ondas reticulares. En un sólido, la conducción se atribuye a la actividad atómica en forma de

vibraciones reticulares, la transferencia de calor se da debido al movimiento de translación de los electrones.

En la transferencia de calor por conducción, la ecuación o modelo que posibilita cuantificar este proceso de transferencia de calor se le conoce como LEY DE FOURIER [16].



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

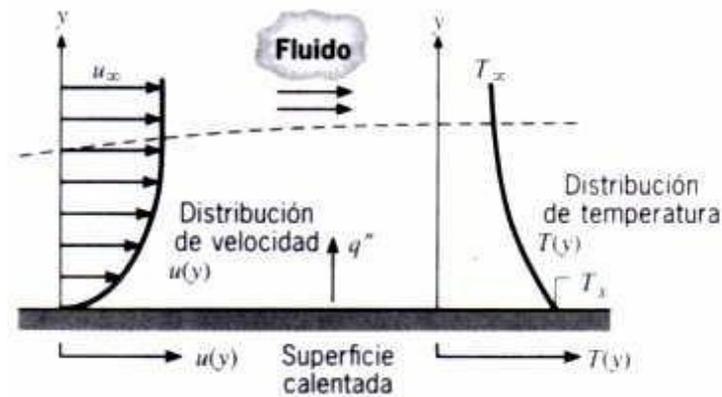
**Fuente:** [16].

### 3.7.2 Convección

Este tipo de transferencia de calor está compuesto de dos formas, además de la transferencia de energía debida al movimiento molecular aleatorio, la energía se transfiere de acuerdo a un movimiento global o macroscópico del fluido.

El hecho radica en que el movimiento del fluido en cualquier instante, en grandes números de moléculas se mueve en forma colectiva, tal movimiento con la presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor.

Las moléculas en el fluido mantienen su movimiento aleatorio, la transferencia de calor se da entonces por la superposición de transporte de energía debido al movimiento global del fluido y al movimiento aleatorio de las moléculas [16].



**Figura 3.11.** Transferencia de calor por convección

**Fuente:** [16].

#### **4. DISEÑO TÉRMICO**

Este capítulo se establecen consideraciones técnicas como son: metal a fundir, temperaturas del metal, temperatura de la cámara del horno y tiempos de fusión.

De igual manera se realizará la selección del combustible a usar, medidas del refractario, y materiales lo conforman, también se realizará el dimensionamiento de la cámara de combustión.

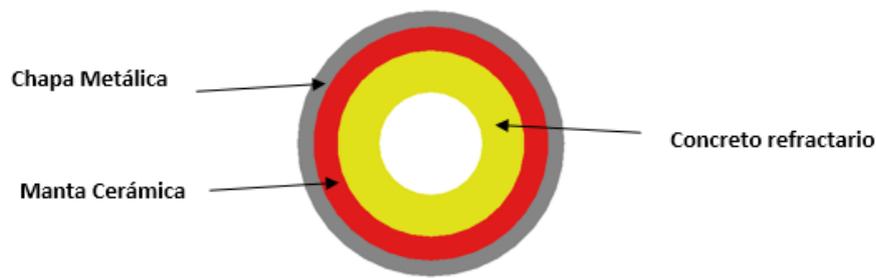
##### **4.1 REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN**

La fundición de aluminio requiere de consideraciones presentadas por el beneficiario, a continuación, se presentará los siguientes parámetros para el diseño.

- a) El horno a diseñar servirá para fundir aleaciones de aluminio y de acuerdo al metal se impone una temperatura de metal líquido de 660 °C.
- b) La temperatura interna del horno se asume 750 °C.
- c) La capacidad para el diseño del horno corresponde a 250 kg. de aluminio.
- d) El tiempo para obtener el metal totalmente colado será de 2,5 horas.
- e) La conformación de la pared del horno está conformada por los siguientes materiales: material refractario y chapa metálica.

##### **4.2 PAREDES DEL HORNO**

Se define la estructura interna del equipo, la cual está conformada por concreto refractario como capa refractaria, manta cerámica que constituirá la capa aislante y la chapa metálica de acuerdo al gráfico siguiente:



**Figura 4.1.** Conformación de tabique refractario.

**Fuente:** Creación propia

#### **4.2.1 Propiedades del material refractario**

Determinada la estructura interna del presente diseño, se indica las propiedades más importantes de los materiales en consideración partiendo de datos obtenidos por los fabricantes o investigaciones anteriores.

#### **4.2.2 Concreto Refractario**

En el presente diseño se plantea el uso de concretos refractarios que se utilizan para estar expuestos a temperaturas muy altas en los hornos industriales y se clasifican por su contenido de alúmina, si tienen o no magnesita básicos, su densidad, sus propiedades aislantes o refractaria, resistencia a la compresión ruptura, choques térmicos resistencia, tipo de liga así como su granulometría [17], este material permanecerá en contacto directo con el calor producto de la combustión, las características principales que le definen son:

- Excelente resistencia mecánica a elevadas temperaturas mínima contracción por secamiento.
- Elevada resistencia a la desintegración por choques térmicos a altas temperaturas.
- Bajo coeficiente de expansión térmico.
- Bajo grado higroscópico.
- Su granulación debe ser perfectamente controlada [18].

### **4.3 QUEMADOR**

Los quemadores industriales cuentan con la calidad seguridad y garantía para que generen calor y flama de forma eficiente y limpia [19].

Un quemador ideal debe cumplir ciertas especificaciones básicas:

1. Permitir alcanzar una temperatura controlada uniforme en el horno.
2. Permitir obtener una atmósfera controlada y uniforme en el horno.
3. No debe deteriorarse debido al calor generado.

Dichos principios son sencillos pero difíciles de obtenerlos ya que, si la temperatura del horno es bastante uniforme, la atmósfera del horno no se mantiene constante. Para nuestro caso vamos a construir un quemador a diésel [20].

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

Se denomina combustible a toda sustancia que puede proporcionar energía calorífica apta para producir trabajo mecánico [13].

Según su estado se puede clasificar en tres grupos:

- **Combustibles Sólidos.-** Comprenden los de origen mineral o vegetal se tienen entonces el carbón coque y el carbón vegetal respectivamente.
- **Combustibles Líquidos.-** Son aquellos formados por el petróleo y sus derivados, como el Diésel y el Búnker.
- **Combustibles Gaseosos.-** Constituyen el grupo más importante, se pueden obtener del gas natural o derivado del petróleo el caso más común el GLP (Gas licuado de Petróleo).

##### 4.4.1 Selección del combustible

El funcionamiento del horno será en forma intermitente, el aspecto económico, en el que se considera la vinculación de los costos de instalación necesarios para su almacenamiento, transporte y dosificación [13].

Se plantea tres alternativas que son disponibles en el mercado ecuatoriano:

- a) Alternativa 1: Diésel.
- b) Alternativa 2: Gas licuado de petróleo GLP.
- c) Alternativa 3: Carbón de Piedra.

**Tabla 4.1.** Consideraciones para la elección del combustible.

	<b>Diésel</b>	<b>Gas licuado de petróleo GLP</b>	<b>Carbón de Piedra.</b>
<b>Instalaciones</b>	8	5	7

<b>Poder Calórico</b>	8	9	7
<b>Almacenamiento</b>	10	7	6
<b>Transporte</b>	9	7	6
<b>Dosificación</b>	8	7	4
<b>Costo</b>	8	8	6
<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>35</b>	<b>30</b>

**Fuente:** [13].

Para dar el valor indicado en las consideraciones anteriores cada una se valora en 10 puntos, los valores altos corresponden a propiedades de relativa facilidad, valores bajos corresponde a situaciones de dificultad, el valor total informará la mejor alternativa.

De los resultados de la tabla 4.3 se pueden concluir que la alternativa 1 resulta más adecuada en consecuencia se empleará el combustible diésel.

**Diésel No. 2.** Es el combustible utilizado para uso industrial y para motores de combustión interna de autoignición, excepto para uso automotriz.

**Tabla 4.2.** Requisitos del Diésel N° 2

<b>REQUISITOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Método de ensayo</b>
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
φ Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
W contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8°C	cSt	2,5	6,0	NTE INEN 810

W contenido de azufre	%	-	0,7	ASTM D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No. 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiesel, Biodiesel	%	--- Nota	5	EN 14078

**Fuente:** [21]

#### 4.5 CHAPA METÁLICA

El objetivo principal de las placas de acero constituye en formar una estructura de soporte para sostener y proteger la parte interna.

El espesor de la plancha planteado a utilizar es de 3 mm, el espesor se lo obtiene de la consulta de trabajos anteriores, en relación con el mismo tema.

El material es un acero AISI 1020 cuyas propiedades son:

**Tabla 4.3.** Propiedades de la chapa metálica

<b>Lámina de Acero</b>		
<b>Propiedades Físicas, Químicas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad</b>	kg/m <sup>3</sup>	7832
<b>Cp. (Capacidad específica)</b>	J/kg	434
<b>Conductividad térmica de un acero medio carbono</b>		
Temperatura media 300 ° K	W / m.K	63,9

**Fuente:** [13].

## 5. METODOLOGÍA

La metodología de la investigación es la disciplina que se encarga del estudio crítico de los procedimientos, y medios aplicados por los seres humanos, que permiten alcanzar y crear el conocimiento en el campo de la investigación científica.

A continuación, explicamos los tipos de investigaciones que se usaron para el desarrollo de la propuesta tecnológica, entre ellos están: investigación bibliográfica, investigación de campo e investigación experimental.

### 5.1 TÉCNICAS

Para la ejecución de esta propuesta tecnológica se vio conveniente utilizar las siguientes técnicas que se muestran a continuación.

**Tabla 5.1.** Técnicas a utilizar.

No.	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
1	Observación	Lugar donde se encuentra la empresa y los datos necesarios que se requieren
2	Medición	Pirómetro. Anemómetro. Cámara termográfica.
3	Simulación	Software de simulación SAP2000 v20.
4	Diseño	Software de diseño Solidwork

### 5.2. MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO

En esta parte se redacta de las ecuaciones que se usaran para el dimensionamiento del horno basculante.

**Tabla 5.2.** Datos para el dimensionamiento del horno basculante

VALORES A USAR EN LAS SIGUIENTES ECUACIONES			
<b>Ecuación (5.1)</b>	$r = 21(cm)$ $x_2 = 27(cm)$	<b>Ecuación (5.13)</b>	$C_{pg} = 1,007 \left( \frac{kJ}{kg} \right)$
<b>Ecuación (5.2)</b>	$L = 124(cm)$	<b>Ecuación (5.15)</b>	$PCI_{di} = 43000 \left( \frac{kJ}{kg} \right)$

<b>Ecuación (5.3)</b>	$\rho = \left(2,7 \frac{g}{cm^3}\right)$	<b>Ecuación (5.16)</b>	$\rho_{ai} = 0,837 \left(\frac{kg}{l}\right)$
<b>Ecuación (5.4)</b>	$m = 250 \text{ (kg)}$ $C_{p1} = 903 \left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$ $T_1 = 10(^{\circ}C)$ $T_{fusión} = 660(^{\circ}C)$	<b>Ecuación (5.17)</b>	$D_{ext} = 1,08 \text{ (m)}$ $D_{int} = 1,074 \text{ (m)}$ $\rho = 7832 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
<b>Ecuación (5.5)</b>	$h_{fusión} = 3,97 \cdot 10^5 \left(\frac{J}{kg}\right)$	<b>Ecuación (5.18)</b>	$R = 0,27 \text{ (m)}$ $r = 0,267 \text{ (m)}$
<b>Ecuación (5.6)</b>	$C_{p2} = 1146 \left(\frac{J}{kg}\right)$ $T_{fin} = 750(^{\circ}C)$	<b>Ecuación (5.21)</b>	$D_{ext} = 1,074 \text{ (m)}$ $D_{int} = 0,924 \text{ (m)}$ $\rho = 1850 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
<b>Ecuación (5.8.2)</b>	$k_g = 54,72 \cdot 10^{-3} \left(\frac{W}{m}\right)$	<b>Ecuación (5.22)</b>	$R = 0,267 \text{ (m)}$ $r = 0,117 \text{ (m)}$
<b>Ecuación (5.8.3)</b>	$Pr_g = 0,7239$	<b>Ecuación (5.23)</b>	$\rho = 1850 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
<b>Ecuación (5.8.4)</b>	$U_g = 49,3 \cdot 10^{-6} \left(\frac{m^2}{s}\right)$	<b>Ecuación (5.26)</b>	$\bar{Q} = 422022 \left(\frac{kJ}{h}\right)$ $\Delta h = 43000 \left(\frac{J}{kg}\right)$
<b>Ecuación (5.8.5)</b>	$D = 0,42 \text{ (m)}$ $Q_{aire} = 0,118 \left(\frac{m^3}{s}\right)$	<b>Ecuación (5.27)</b>	$\dot{m} = 9.82 \left(\frac{kJ}{h}\right)$ $\rho = 0.837 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$

<b>Ecuación (5.9)</b>	$K_r = 0,98 \left(\frac{W}{m}\right)$ $r_2 = 0,36 \text{ (m)}$	<b>Ecuación (5.28)</b>	$\forall = 4 \text{ GPH}$
<b>Ecuación (5.10)</b>	$K_a = 63,9 \left(\frac{W}{m}\right)$ $r_3 = 0,39 \text{ (m)}$	<b>Ecuación (5.30)</b>	$g = 9,8 \left(\frac{m}{s^2}\right)$
<b>Ecuación (5.11.1)</b>	$K_a = 63,9 \left(\frac{W}{m}\right)$	<b>Ecuación (5.31)</b>	$D = 35\text{mm}$
<b>Ecuación (5.11.2)</b>	$Pr_{aire} = 0,707$	<b>Ecuación (5.32)</b>	$A = 0,000962 \text{ (m}^2\text{)}$
<b>Ecuación (5.11.3)</b>			
$g = 9.8 \left(\frac{m}{s^2}\right)$	$U_a = 15,89 \cdot 10^{-6} \left(\frac{m^2}{s}\right)$	$\alpha = 22,5 \cdot 10^{-6} \left(\frac{m^2}{s}\right)$	

### 5.2.1 Ecuaciones de cálculo para el dimensionamiento del horno

Para poder dimensionar un horno basculante se requieren de fórmulas que nos permitan obtener resultados de volúmenes tanto en tapas como en el cilindro, apegándonos a las necesidades que tiene la Fundidora Sangucho que son 250 kg de aluminio. También se debe calcular la cantidad de energía que se necesita para la fusión, colado del metal a fundir.

Para poder obtener el volumen de las tapas del horno que van unidas al cilindro dimensionado posteriormente, se hará uso de la ecuación que se muestra a continuación:

$$V_1 = \pi \int_a^b [f(x)]^2 dx \quad (5.1)$$

Donde:

$V_1$ : volumen de las tapas ( $m^3$ )

Ahora continuamos con el cálculo de volumen que se necesita para el diseño del cilindro, usando la siguiente ecuación:

$$V_2 = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot L}{2} \quad (5.2)$$

Donde:

$V_2$ : volumen interior del cilindro ( $cm^3$ )

$r^2$ : radio interior ( $cm$ )

$L$ : longitud del cilindro ( $cm$ )

Con las ecuaciones dadas anteriormente podremos ya calcular los volúmenes para la chapa metálica y las tapas que son parte de la estructura metálica del horno y sumarlas para obtener un volumen total.

La masa máxima de que se podrá fundir en el horno se lo hará usando la ecuación:

$$m = \rho \cdot V \quad (5.3)$$

*Donde:*

$m$ : masa máxima dentro del horno ( $kg$ )

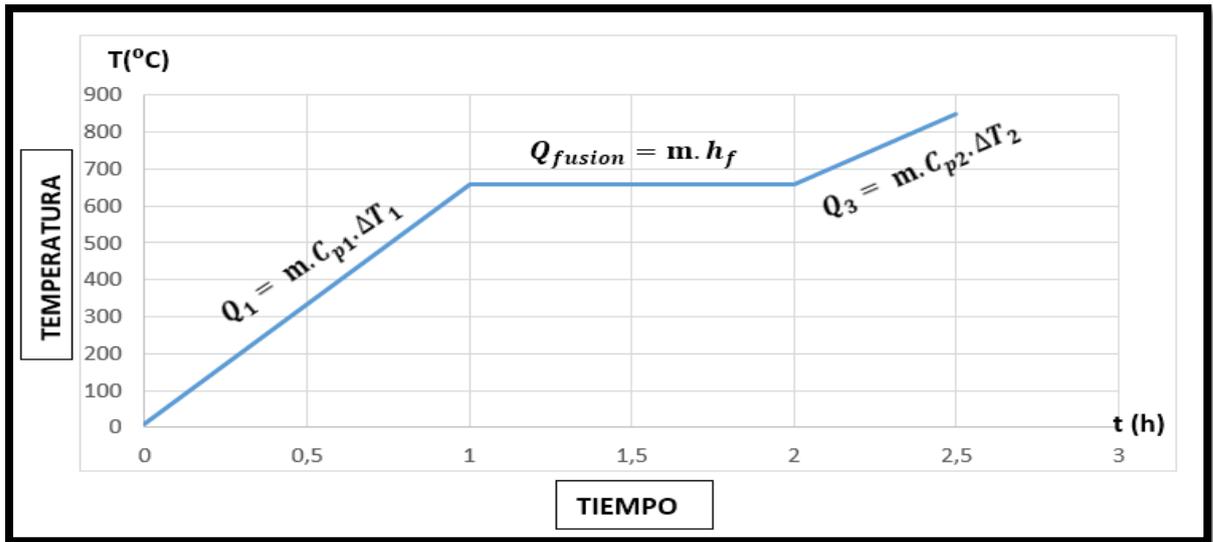
$\rho$ : densidad del aluminio ( $\frac{g}{cm^3}$ )

$V$ : volúmen total ( $cm^3$ )

### **5.2.2 Ecuaciones de cálculo de energías**

Se quiere conocer la energía que se necesita para colar el aluminio dentro del horno, como ayuda y ejemplo se ha diseñado la figura 5.2 que muestra los cambios de fase y las secciones en las que se usara cada una de las ecuaciones a diferentes temperaturas. La temperatura inicial será de 10, la temperatura a la que se fusiona el aluminio es de 660 y la temperatura máxima para el vertido del metal es de 750 °C. Las propiedades del material para los cálculos posteriores se encuentran en el Anexo II de documento redactado.

El cálculo de energía necesaria para llevar 250 kg de aluminio de 10 a 660 °C que es el punto de fusión requerido por este metal se obtiene con la siguiente formula:



**Figura 5.1** Esquema para el proceso de fusión del aluminio

$$Q_1 = m \cdot C_{p1} \cdot \Delta T_1 \quad (5.4)$$

Donde:

$Q_1$ : energía para el punto de fusión (kJ)

$m$ : masa del aluminio (kg)

$C_{p1}$ : calor específico  $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

$\Delta T_1$ : variación de temperatura (°C)

El cálculo de la energía dos se la realizará a temperatura constante ya que en ese tramo no existe variación y permanece estable, entonces con esta especificación a continuación se detalla la ecuación que nos permitirá conocer la energía que se necesita para llegar al punto de fusión necesaria para el aluminio.

$$Q_{fusion} = m \cdot h_f \quad (5.5)$$

Donde:

$Q_{fusion}$ : energía en el punto de fusión (kJ)

$m$ : masa del aluminio (kg)

$h_f$ : entalpia de fusión  $\left(\frac{J}{kg}\right)$

Para que el material a fundir llegue a un punto en el que se pueda verter en los moldes, se necesita de una cantidad energía adicional a las que se calcularon anteriormente, es decir luego de que el aluminio llega a su punto de fusión, deberá transcurrir un tiempo en que el metal llegue a su temperatura ideal, debemos tener en cuenta que en esta sección existe una variación de temperatura a partir de los  $660^{\circ}\text{C}$ , entonces este método se lo realiza con el siguiente ecuación:

$$Q_3 = m \cdot C_{p2} \cdot \Delta T_2 \quad (5.6)$$

*Donde:*

$Q_3$ : energía para el punto de fusión (kJ)

$m$ : masa del aluminio (kg)

$C_{p2}$ : calor específico  $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

$\Delta T_2$ : variación de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

Se requiere conocer la cantidad de energía que necesitamos para colar el aluminio, entonces sumaremos los tres cálculos anteriores, obteniendo así un total de energía para pasar de estado sólido a líquido. La ecuación dada para el cálculo total de energías está dada por la siguiente ecuación:

$$Q_{TAI} = Q_1 + Q_{fusion} + Q_3 \quad (5.7)$$

*Donde:*

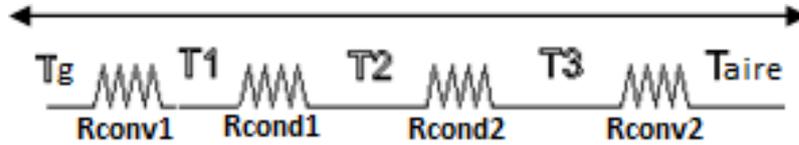
$Q_{TAI}$ : energía total para la fusión del aluminio (kJ)

La formulación de ecuaciones usadas en esta sección se ha tomado del libro de Transferencia de Calor y Masa de Frank p. Incropera. [16]

### 5.2.3 Ecuaciones para el cálculo de pérdidas de calor

En esta sección se realizará el procedimiento de cálculo para conocer las pérdidas que se tiene en el sistema, se calcula las resistencias de conducción, convección y por último la resistencia

total. En la figura 5.3 se puede ver el esquema de resistencia que van a ser calculadas con los procedimientos siguientes.



**Figura 5.2.** Circuito de resistencia.

$$R_T = \frac{1}{h_1 \cdot 2\pi \cdot r_1 \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \cdot K_r \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi \cdot K_a \cdot L} + \frac{1}{h_2 \cdot 2\pi \cdot r_3 \cdot L} \quad (5.8)$$

La ecuación 5.8 muestra la resistencia total que es la suma de todas las resistencias tanto de conducción como de convección que en las siguientes secciones se conocerán.

La resistencia de convección uno se calcula con ecuación dada a continuación.

$$R_{conv1} = \frac{1}{h_1 \cdot 2\pi \cdot r_1 \cdot L} \quad (5.8.1)$$

Donde:

$R_{conv1}$ : resistencia de convección  $\left(\frac{K}{W}\right)$

$h_1$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección en el interior de un conducto  $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

$r_1$ : radio interno del horno (m)

L: longitud del horno (m)

Uno de los parámetros que solicita el cálculo de la resistencia de convección uno es el coeficiente de transferencia de calor por convección en el interior de un conducto, dicha ecuación se la calcula de la siguiente manera:

$$h_1 = \frac{N_{UD} \cdot K_g}{D} \quad (5.8.2)$$

Donde:

$N_{UD}$ : número de Nusselt

$\kappa_g$ : conductividad térmica del gas  $\left(\frac{W}{m.K}\right)$

$D$ : diámetro del horno ( $m$ )

Las ecuaciones que a continuación se mostraran son requerimientos para el coeficiente de transferencia de calor por convección.

La ecuación 5.11 muestra el método para calcular el número de Nusselt.

$$N_{UD} = 0,023 \cdot R_{ei}^{\frac{4}{5}} \cdot Pr^{0,3} \quad (5.8.3)$$

*Donde:*

$N_{UD}$ : número de Nusselt (*adimensional*)

$R_e$ : número de Reynolds (*adimensional*)

$Pr$ : número de Prandtl (*adimensional*)

Otro de los datos que se necesita para calcular el número de Nusselt es el Reynolds que está dado por la ecuación siguiente:

$$R_{ei} = \frac{v_g \cdot D}{U_g} \quad (5.8.4)$$

*Donde:*

$R_e$ : número de Reynolds (*adimensional*)

$v_g$ : velocidad del fluido  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$D$ : diámetro del horno ( $m$ )

$U_g$ : viscosidad cinemática  $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

La velocidad del fluido es el último parámetro que se requiere, una vez calculado solo se reemplazara en la ecuación que se necesita para continuar con el proceso de formulación de ecuaciones.

La velocidad del fluido se lo determina a continuación con la siguiente ecuación:

$$v_g = \frac{4 \cdot Q_{aire}}{\pi \cdot D^2} \quad (5.8.5)$$

Donde:

$v_g$ : velocidad del fluido  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$Q_{aire}$ : caudal de aire  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

$D$ : diámetro del ventilador ( $m$ )

Una vez que se tengan todos los parámetros para el cálculo procedemos a reemplazar en la ecuación 5.11 y posteriormente en 5.10 para obtener los datos necesarios.

La siguiente ecuación nos ayudara a obtener la resistencia de conducción uno.

$$R_{cond1} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \cdot \kappa_r \cdot L} \quad (5.9)$$

Donde:

$r_1$ : radio interno del horno ( $m$ )

$r_2$ : radio del refractario ( $m$ )

$\kappa_r$ : conductividad térmica del refractario  $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

$L$ : longitud del horno ( $m$ )

Los parámetros que se necesitan para el cálculo de la resistencia de conducción dos se muestran en la siguiente ecuación.

$$R_{cond2} = \frac{L \ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi \cdot \kappa_a \cdot L} \quad (5.10)$$

Donde:

$r_2$ : radio del refractario ( $m$ )

$r_3$ : radio de la chapa de acero ( $m$ )

$\kappa_a$ : conductividad térmica de la chapa de acero  $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

$L$ : longitud del horno ( $m$ )

Para terminar con el cálculo de las resistencias de convección reemplazamos y buscamos los parámetros que se necesita para la ecuación, misma que se muestra a continuación:

$$R_{conv2} = \frac{1}{h_2 \cdot 2\pi \cdot r_3 \cdot L} \quad (5.11)$$

Donde:

$R_{conv2}$ : resistencia de convección dos  $\left(\frac{K}{W}\right)$

$h_2$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección en el exterior de un conducto  $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

$r_3$ : radio de la chapa de acero (m)

$L$ : longitud del horno (m)

Ahora se empezaremos con el cálculo de del coeficiente de transferencia de calor por convección en el exterior de un conducto, se usará la siguiente ecuación.

$$h_2 = \frac{N_{UD} \cdot K_a}{D_{ext}} \quad (5.11.1)$$

Donde:

$N_{UD}$ : número de Nusselt (*adimensional*)

$K_a$ : conductividad térmica de la chapa metálica  $\left(\frac{W}{m.K}\right)$

$D_{ext}$ : diámetro exterior (m)

Con la ecuación 5.11.2 se calculará el Nusselt.

$$N_{UD} = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra_D^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0.559}{Pr_{aire}}\right)^{\frac{1}{4}}\right)^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 \quad (5.11.2)$$

Donde:

$N_{UD}$ : número de Nusselt (*adimensional*)

$Ra_D$ : número de Rayleigh (*adimensional*)

$Pr$ : número de Prandtl (*adimensional*)

El número de Rayleigh necesario para poder calcular el Nusselt se lo determinara mediante la siguiente ecuación:

$$R_{aD} = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) \cdot D^3}{U_a \cdot \alpha} \quad (5.11.3)$$

Donde:

$g$ : gravedad  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

$\beta$ : coeficiente de expansión térmica volumétrica ( $K^{-1}$ )

$(T_s - T_\infty)$ : diferencia de temperatura ( $^{\circ}C$ )

$D$ : diámetro interno del horno ( $m$ )

$U_a$ : viscosidad cinemática  $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

$\alpha$ : difusividad térmica  $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Al obtener ya todos los datos calculados reemplazamos en la ecuación 5.11, el siguiente paso es sumar todas las resistencias de conducción y convección para obtener la resistencia total.

El resultado que nos proporciona la resistencia total nos ayudara para continuar con el cálculo de perdidas, reemplazando en la ecuación dada a continuación:

$$Q_P = \frac{T_g - T_{aire}}{R_T} \quad (5.12)$$

Donde:

$Q_P$ : energía de perdidas ( $W$ )

$T_g$ : temperatura del gas ( $^{\circ}C$ )

$R_T$ : resistencia total  $\left(\frac{K}{W}\right)$

#### 5.2.4 Ecuación para el cálculo de la pérdida de calor en la chimenea

Así como el cálculo de las pérdidas que se producen por las paredes del horno, debemos calcular las pedidas que tiene el horno por su chimenea, es decir los gases que salen de él.

$$Q_g = m_g \cdot C_{pg} \cdot (T_g - T_{amb}) \quad (5.13)$$

Donde:

$Q_g$ : energía de pérdida del gas (W)

$m_g$ : masa del gas (kg)

$C_{pg}$ : calor específico del gas  $\left(\frac{kJ}{kg.K}\right)$

$T_g - T_{amb}$ : diferencia de temperatura ( $^{\circ}C$ )

Ahora para el cálculo de la pérdida total en todo el horno utilizaremos la siguiente ecuación.

$$Q_{Thorno} = Q_{TAI} + Q_P + Q_g \quad (5.14)$$

Donde:

$Q_{Thorno}$ : energía total de pérdidas en el horno (kJ)

### 5.2.5 Ecuación para el cálculo de la cantidad de diésel consumido

Se quiere saber la cantidad de diésel que se necesita para quemar 250 kg de aluminio en 2.5 horas. A continuación, se muestra la ecuación para el cálculo del combustible.

$$m_{di} = \frac{Q_{Th}}{PCI_{di}} \quad (5.15)$$

Donde:

$m_{di}$ : masa de diésel (kg)

$Q_{Th}$ : energía total del horno (kJ)

$PCI_{di}$ : poder calórico del diésel  $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

Para determinar el volumen de diésel usamos la ecuación que se presenta a continuación:

$$V_{di} = \frac{m_{di}}{\rho_{di}} \quad (5.16)$$

Donde:

$V_{di}$ : volumen del diésel (l)

$m_{di}$ : masa del diésel (kg)

$\rho_{di}$ : densidad del diésel  $\left(\frac{kg}{l}\right)$

### 5.2.6 Ecuación para el cálculo de la masa de la chapa metálica

Para saber la masa total de todo el horno necesitamos calcular la masa tanto de chapa metálica, como la masa del refractario

$$m_{ch1} = \frac{\pi(D_{ext}^2 - D_{int}^2)}{4} \cdot L \cdot \rho \quad (5.17)$$

Donde:

$m_{ch1}$ : masa del cilindro de la chapa metálica ( $kg$ )

$D_{ext}$ : diámetro exterior ( $m$ )

$D_{int}$ : diámetro interior ( $m$ )

$L$ : longitud de la chapa metálica ( $m$ )

$\rho$ : densidad del acero AISI 1020  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

Para calcular la masa dos de la chapa necesitamos el volumen, entonces usaremos la siguiente ecuación:

$$V_{ch} = \frac{4\pi}{3} \cdot (R^3 - r^3) \quad (5.18)$$

Donde:

$R$ : radio exterior ( $m$ )

$r$ : radio interior ( $m$ )

La masa dos ya es posible calcular por que se tienen todos los datos requeridos, usaremos la siguiente ecuación.

$$m_{ch2} = \rho \cdot V_{ch} \quad (5.19)$$

Donde:

$m_{ch2}$ : masa de las tapas de la chapa metálica

$\rho$ : densidad del acero AISI 1020  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$V_{ch}$ : volúmen de la chapa metálica ( $m^3$ )

Para saber la masa total de las dos chapas sumamos las dos que obtuvimos y nos da un valor total con la siguiente formula:

$$m_{Tch} = m_{ch1} + m_{ch2} \quad (5.20)$$

Donde:

$m_{Tch}$ : masa total de la chapa metálica ( $kg$ )

$m_{ch1}$ : masa del cilindro de la chapa metálica ( $kg$ )

$m_{ch2}$ : masa de las tapas de la chapa metálica ( $kg$ )

### 5.2.7 Ecuación para el cálculo de la masa del refractario

Se debe calcular la masa del refractario al igual que lo hicimos con la chapa metálica y sus tapas, este procedimiento se lo puede realizar mediando la siguiente ecuación:

$$m_{ref1} = \frac{\pi(D_{ext}^2 - D_{int}^2)}{4} \cdot L \cdot \rho \quad (5.21)$$

Donde:

$m_{ref1}$ : masa del cilindro refractario ( $kg$ )

$D_{ext}$ : diámetro exterior ( $m$ )

$D_{int}$ : diámetro interior ( $m$ )

$L$ : longitud del refractario ( $m$ )

$\rho$ : densidad del refractario  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

En la siguiente sección vamos a calcular el volumen del refractario con la ecuación que se presentara a continuación:

$$V_{ref2} = \frac{4\pi(R^3 - r^3)}{3} \quad (5.22)$$

Donde:

$V_{ref2}$ : volumen del refractario ( $m^3$ )

$R$ : radio exterior ( $m$ )

$r$ : radio interior ( $m$ )

El cálculo de la masa de las tapas del refractario se realizará de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$m_{ref2} = \rho \cdot V_{ref2} \quad (5.23)$$

*Donde:*

$m_{ref2}$ : masa de las tapas del refractario ( $kg$ )

$\rho$ : densidad del refractario ( $\frac{kg}{m^3}$ )

$V_{ref2}$ : volumen del refractario ( $m^3$ )

Para determinar la masa total del refractario a usarse se utilizará la siguiente ecuación:

$$m_{Tref} = m_{ref1} + m_{ref2} \quad (5.24)$$

*Donde:*

$m_{Tref}$ : masa total del refractario ( $kg$ )

$m_{ref1}$ : masa del cilindro del refractario ( $kg$ )

$m_{ref2}$ : masa de las tapas del refractario ( $kg$ )

### **5.2.8 Ecuación para el cálculo de la masa total del horno**

$$m_{Thorno} = m_{Tch} + m_{Tref} \quad (5.25)$$

*Donde:*

$m_{Thorno}$ : masa total del horno ( $kg$ )

$m_{Tch}$ : masa total de la chapa metálica ( $kg$ )

$m_{Tref}$  =masa total del refractario (kg)

### 5.2.9 Ecuación para el dimensionamiento de la bomba

$$\bar{Q} = \dot{m} \cdot \Delta h \quad (5.26)$$

Donde:

$\bar{Q}$ : potencia calorífica  $\left(\frac{kJ}{h}\right)$

$\dot{m}$ : flujo másico del combustible  $\left(\frac{kg}{h}\right)$

$\Delta h$ : poder calórico del combustible  $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

Así entonces determinaremos el flujo másico del combustible ( $\dot{m}$ ) realizando un despeje de fórmulas. Con el flujo másico obtenido procedemos a calcular el caudal de combustible, que será hallado con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (5.27)$$

Donde:

$V$ : caudal de combustible  $\left(\frac{m^3}{h}\right)$

$\dot{m}$ : flujo másico del combustible  $\left(\frac{kg}{h}\right)$

$\rho$ : densidad del combustible  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

Para el cálculo de selección del motor que irá acoplado a la bomba, se realizará previo el cálculo anteriormente indicado, y con las especificaciones de la bomba determinados. A continuación, se muestra la ecuación para elegir el motor:

$$\dot{W} = \frac{V \cdot \Delta P}{V_{giro\ b} \cdot \eta_{bomba}} \quad (5.28)$$

Donde:

$V$ : caudal de combustible  $\left(\frac{m^3}{h}\right)$

$\Delta P$ : diferencia de presión (*Psi*)

$V_{giro\ b}$ : velocidad de giro de la bomba (*RPM*)

$\eta_{bomba}$ : eficiencia de la bomba

### 5.2.10 Dimensionamiento del eje

Para el dimensionamiento del eje se hará un análisis de esfuerzos por cizallamiento que es el esfuerzo al que más está expuesta esta pieza, el primer análisis se lo realizará de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

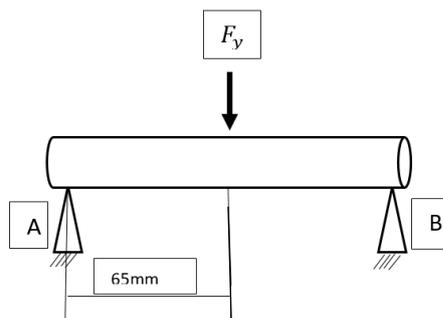
$$mT_{max} = mT_{horno} + mT_{aluminio} \quad (5.29)$$

Donde:

$mT_{max}$ : masa total (*kg*)

$mT_{horno}$ : masa del horno (*kg*)

$mT_{aluminio}$ : masa del aluminio (*kg*)



**Figura 5.3.** Diagrama de cuerpo libre eje

$$F = \frac{mT_{max} \cdot g}{8} \quad (5.30)$$

Donde:

$F$ : fuerza aplicada (*N*)

$g$ : gravedad  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

$$A = \frac{\pi(D^2)}{4} \quad (5.31)$$

Donde:

$A$ : área ( $m^2$ )

$D$ : diámetro del eje (mm)

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (5.32)$$

Donde:

$\tau$ : esfuerzo cortante en el elemento  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

$F$ : fuerza aplicada ( $N$ )

$A$ : área ( $m^2$ )

Para este cálculo como factor de seguridad de diseño en el sistema se utilizará  $SF= 4$  y se realizará también el cálculo sin factor de seguridad para comparar

## 6. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se mostrará los resultados obtenidos de cada uno de los cálculos.

**Tabla 6.1.** Resultados obtenidos a través de los cálculos

FORMULA	ECUACIÓN	RESULTADO
$V_1 = \pi \int_a^b [f(x)]^2 dx$	<b>Ecuación 5.1</b>	12469,70 ( $cm^3$ )
$V_2 = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot L}{2}$	<b>Ecuación 5.2</b>	85897,43 ( $m^3$ )
$m = D \cdot V$	<b>Ecuación 5.3</b>	265,60 ( $kg$ )
$Q_1 = m \cdot C_{p1} \cdot \Delta T_1$	<b>Ecuación 5.4</b>	146737,50 ( $kJ$ )
$Q_{fusion} = m \cdot h_f$	<b>Ecuación 5.5</b>	99250 ( $kJ$ )

$Q_3 = m \cdot C_{p2} \cdot \Delta T_2$	<b>Ecuación 5.6</b>	25785 (kJ)
$Q_{TAI} = Q_1 + Q_{fusion} + Q_3$	<b>Ecuación 5.7</b>	271772,50 (kJ)
$R_T = \frac{1}{h_1 \cdot 2\pi \cdot r_1 \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \cdot K_r \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi \cdot K_a \cdot L} + \frac{1}{h_2 \cdot 2\pi \cdot r_3 \cdot L}$	<b>Ecuación 5.8</b>	26376,55 $\left(\frac{K}{W}\right)$
$R_{conv1} = \frac{1}{h_1 \cdot 2\pi \cdot r_1 \cdot L}$	<b>Ecuación 5.8.1</b>	10948,90 $\left(\frac{K}{W}\right)$
$h_1 = \frac{N_{UD} \cdot K_g}{D}$	<b>Ecuación 5.8.2</b>	3,77 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot k}\right)$
$N_{UD} = 0,023 \cdot R_{ei}^{\frac{4}{5}} \cdot Pr^{0,3}$	<b>Ecuación 5.8.3</b>	29,01
$R_{ei} = \frac{v_g \cdot D}{U_g}$	<b>Ecuación 5.8.4</b>	11252,45
$v_g = \frac{4 \cdot Q_{aire}}{\pi \cdot D^2}$	<b>Ecuación 5.8.5</b>	2,60 $\left(\frac{m}{s}\right)$
$R_{cond1} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \cdot k_r \cdot L}$	<b>Ecuación 5.9</b>	10624,36 $\left(\frac{k}{W}\right)$
$R_{cond2} = \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi \cdot k_a \cdot L}$	<b>Ecuación 5.10</b>	4667,08 $\left(\frac{k}{W}\right)$
$R_{conv2} = \frac{1}{h_2 \cdot 2\pi \cdot r_3 \cdot L}$	<b>Ecuación 5.11</b>	136,21 $\left(\frac{k}{W}\right)$
$h_2 = \frac{N_{UD} \cdot K_a}{D_{ext}}$	<b>Ecuación 5.11.1</b>	0,05978 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot k}\right)$
$N_{UD} = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 R_{ad}^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{Pr_{aire}}\right)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{8}{27}}}\right\}^2$	<b>Ecuación 5.11.2</b>	0,8864
$R_{ad} = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_{\infty}) \cdot D^3}{U_a \cdot \alpha}$	<b>Ecuación 5.11.3</b>	1,44 $\left(\frac{m \cdot s}{W}\right)$
$Q_P = \frac{T_g - T_{aire}}{R_T}$	<b>Ecuación 5.12</b>	0,004208 (W)

$Q_g = m_g \cdot C_{pg} \cdot (T_g - T_{amb})$	<b>Ecuación 5.13</b>	8474 (W)
$Q_{Thorno} = Q_{TAI} + Q_P + Q_g$	<b>Ecuación 5.14</b>	280246,50 $\left(\frac{J}{s}\right)$
$m_{di} = \frac{Q_{T.h}}{PCI_{di}}$	<b>Ecuación 5.15</b>	0,00652 (kg)
$V_{di} = \frac{m_{di}}{\rho_{di}}$	<b>Ecuación 5.16</b>	7,8 (l)
$m_{ch1} = \frac{\pi(D_{ext}^2 - D_{int}^2)}{4} \cdot L \cdot \rho$	<b>Ecuación 5.17</b>	98,57 (kg)
$V_{ch} = \frac{4\pi}{3} \cdot (R^3 - r^3)$	<b>Ecuación 5.18</b>	0,002718 (m <sup>3</sup> )
$m_{ch2} = \rho \cdot V_{ch}$	<b>Ecuación 5.19</b>	21,29 (kg)
$m_{Tch} = m_{ch1} + m_{ch2}$	<b>Ecuación 5.20</b>	11,87 (kg)
$m_{ref1} = \frac{\pi(D_{ext}^2 - D_{int}^2)}{4} \cdot L \cdot \rho$	<b>Ecuación 5.21</b>	539,97 (kg)
$V_{ref2} = \frac{4\pi(R^3 - r^3)}{3}$	<b>Ecuación 5.22</b>	0,002718 (m <sup>3</sup> )
$m_{ref2} = \rho \cdot V_{ref2}$	<b>Ecuación 5.23</b>	21,29 (kg)
$m_{Tref} = m_{ch1} + m_{ch2}$	<b>Ecuación 5.24</b>	572,25 (kg)
$m_{Thorno} = m_{Tch} + m_{Tref}$	<b>Ecuación 5.25</b>	692,12 (kg)
$\dot{m} = \frac{\bar{Q}}{\Delta h}$	<b>Ecuación 5.26</b>	9.82 $\left(\frac{kg}{h}\right)$
$\forall = \frac{\dot{m}}{\rho}$	<b>Ecuación 5.27</b>	15 $\left(\frac{l}{h}\right)$
$\dot{W} = \frac{\forall \cdot \Delta P}{V_{giro} \cdot b \cdot \eta_{bomba}}$	<b>Ecuación 5.28</b>	3 HP
$mT_{max} = mT_{horno} + mT_{aluminio}$	<b>Ecuación 5.29</b>	1000 (kg)
$F = mT_{max} \cdot g$	<b>Ecuación 5.30</b>	9800 (N)
$A = \frac{\pi(D^2)}{4}$	<b>Ecuación 5.31</b>	0,000962 (m <sup>2</sup> )
$\tau = \frac{F}{A}$	<b>Ecuación 5.32</b>	1273239,5 $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

## 6.2. ANÁLISIS DE TEMPERATURAS EN EL HORNO

Antes de empezar a dimensionar el horno basculante el propósito era que este equipo funcionara correctamente, y que las temperaturas no serían tan altas de acuerdo al metal que se iba a fundir, entonces decidimos plantear ciertas temperaturas a las que podría llegar en ciertos puntos de la estructura construida mientras avanzábamos, después de ya diseñar y construir nos permitimos realizar mediciones con el pirómetro para saber cuáles eran realmente los valores. La tabla 6.2 muestra los valores medidos y los valores planteados antes de su diseño y construcción.

**Tabla 6.2.** Promedio de temperaturas medidas vs. Hipótesis (°C)

<b>TEMPERATURA A 1.5 HORAS DE ENCENDIDO EN CADA ZONA</b>		
	<b>VALORES MEDIDOS (°C)</b>	<b>HIPÓTESIS (°C)</b>
<b>INTERIOR DEL HORNO</b>	721	850
<b>EXTERIOR DEL HORNO</b>	27	35
<b>CHIMENEA</b>	153	300

Como podemos ver la hipótesis hecha en la tabla 6.2 indica que existe diferencia alguna con respecto a los valores medidos, pero con respecto a la fusión del metal para el que fue diseñado este equipo, es una temperatura buena para que se pueda trabajar, esto también ayudara a que el metal no sobrepase su temperatura ya que al quemarse demasiado el aluminio estaría perdiendo sus propiedades y no se podría trabajar en el torno porque se cristaliza, ocasionando pérdidas económicas muy altas a la empresa.

## 6.3. ANÁLISIS SOBRE LA SELECCIÓN DE LA BOMBA

Hemos seleccionado un equipo que se acople a las necesidades y requerimientos como son caudal presión GPH (galones por hora) para colar 250kg de aluminio en 2,5 horas.

El horno por 2,5 horas que demora en llevar al metal al punto ideal para su vertido consumirá 70 litros de diésel ahorrando a la empresa hasta un 20% de la cantidad de combustible que

antes de usaba. Adicional al ahorro que tiene la empresa por disminuir el consumo de combustible también evitaran contaminaciones debido al cambio de combustible. Las especificaciones de la selección de la bomba son:

**Tabla 6.3.** Características de la bomba seleccionada

<b>Características de la bomba</b>	
<b>Marca</b>	ITALPUMP (bombas para quemadores)
<b>Modelo</b>	GBE
<b>Velocidad de giro</b>	2800 RPM
<b>Presión</b>	290 PSI
<b>GPH</b>	5GPH
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Voltaje</b>	110/220 V

## **6.4 ANÁLISIS PARA SELECCIÓN DEL VENTILADOR**

### **Combustión del Carbono**

La combustión del carbono está dada por:

Esta ecuación significa que un mol de carbono al reaccionar con 1 mol de oxígeno forma 1 mol de dióxido de carbono liberando energía.

Ella también significa que 12 kilogramos de carbono reaccionan con 32 kg de oxígeno para así generar 44 kilogramos de dióxido de carbono liberando 109 kW.h de energía térmica (9,09 kW.h/kg) [22]

Según la literatura anterior, por cada 1kg de carbono “C” vamos a necesitar 2,67kg de oxígeno “O<sub>2</sub>” para tener una combustión completa, entonces a partir de los siguientes datos;

#### **Datos:**

COMPOSICION DEL DIESEL

C= 81,208%

H= 13,118%

N= 0,062%

S= 0,184%

#### COMPOCICION DEL AIRE

N= 78.07%

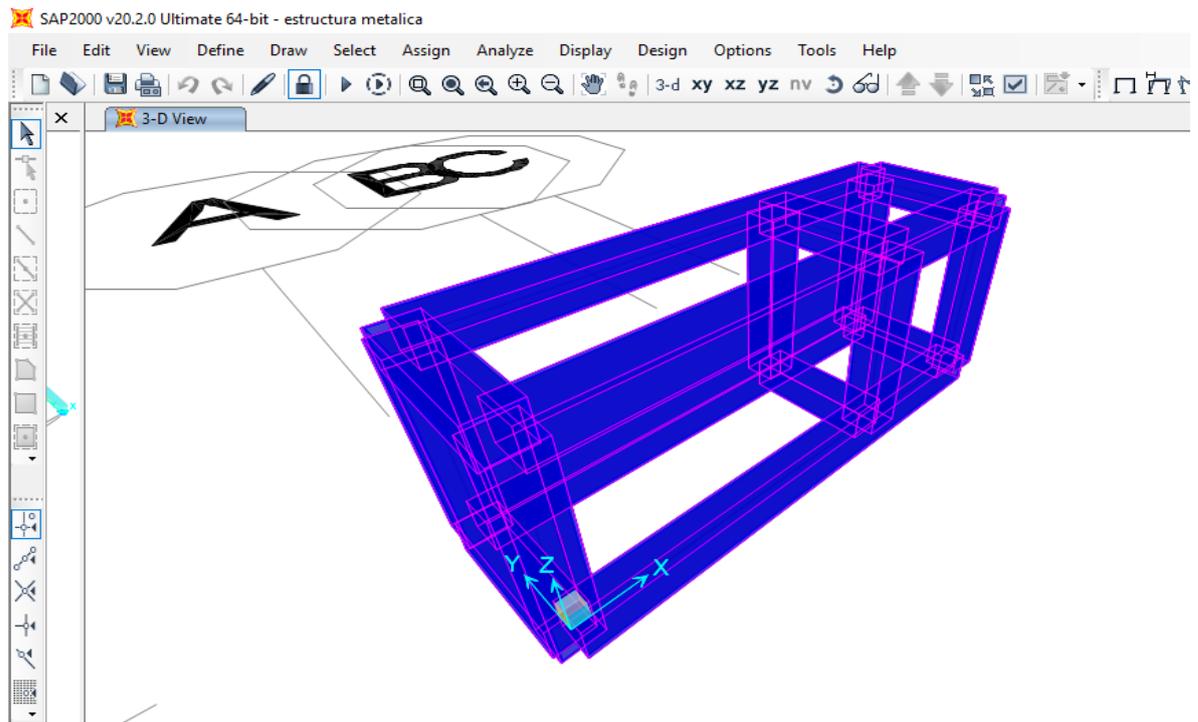
O= 20.95%

OTROS GASES= 1%

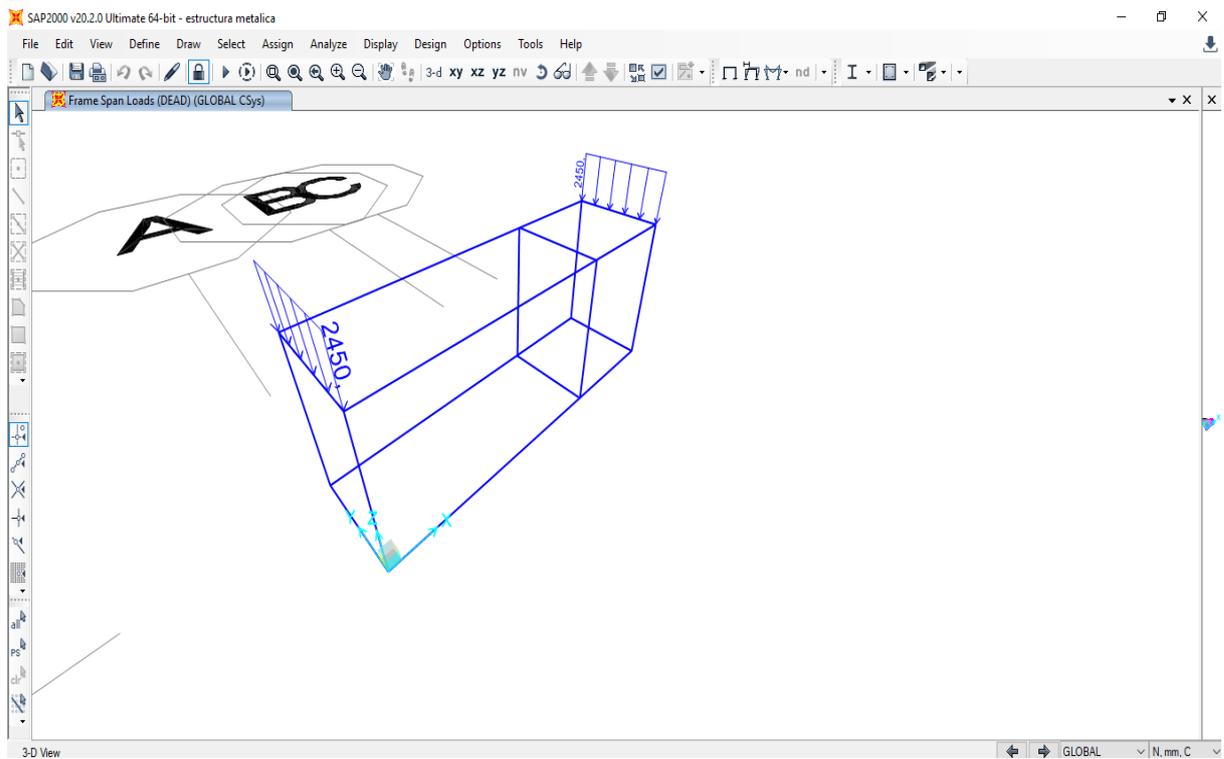
$$\rho = 1,225 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

Tenemos que en 70 litros de diésel q vamos a ocupar se obtiene 47,59kg de carbono siendo este el de mayor relevancia; entonces, aplicando regla de tres simple obtenemos un resultado de 127.07kg de oxígeno necesarios para cumplir con la combustión completa del carbono, ahora, recordando q el aire solo tiene el 20,95% de oxígeno deducimos, por regla de tres simple, que necesitaremos 607,03kg de aire para completar la combustión del carbono, con la densidad del aire, como dato, calculamos la cantidad de aire, que nos da  $495,54m^3$  que seria nuestras respuesta para la selección del ventilador.

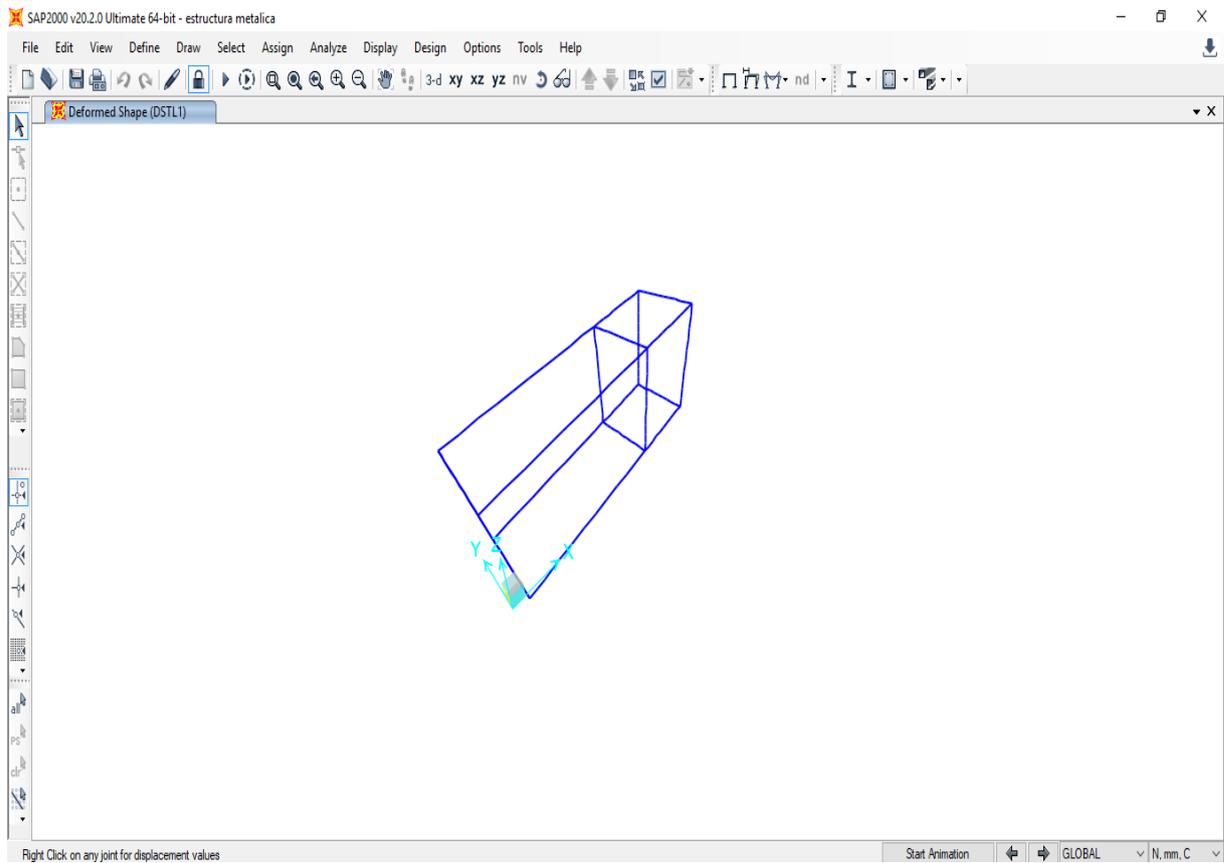
#### **6.5 ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA**



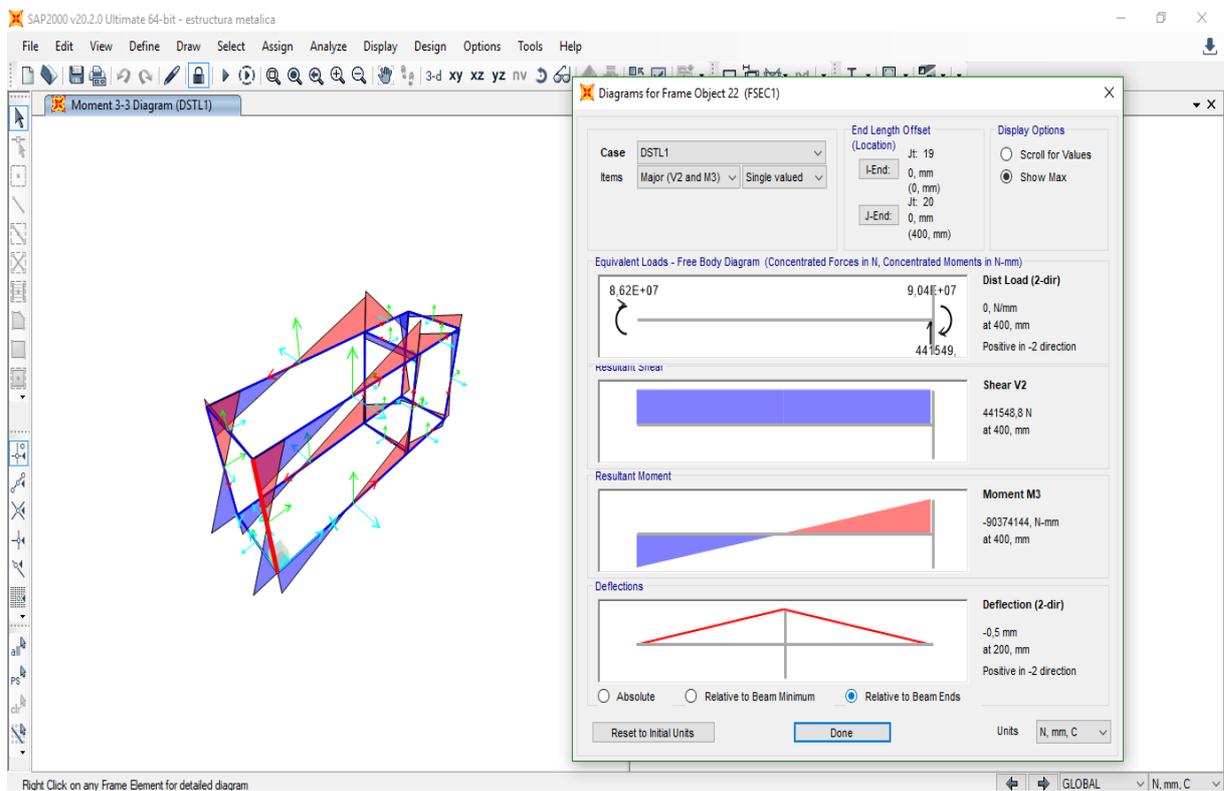
**Figura 6.1.** Estructura de soporte para el horno



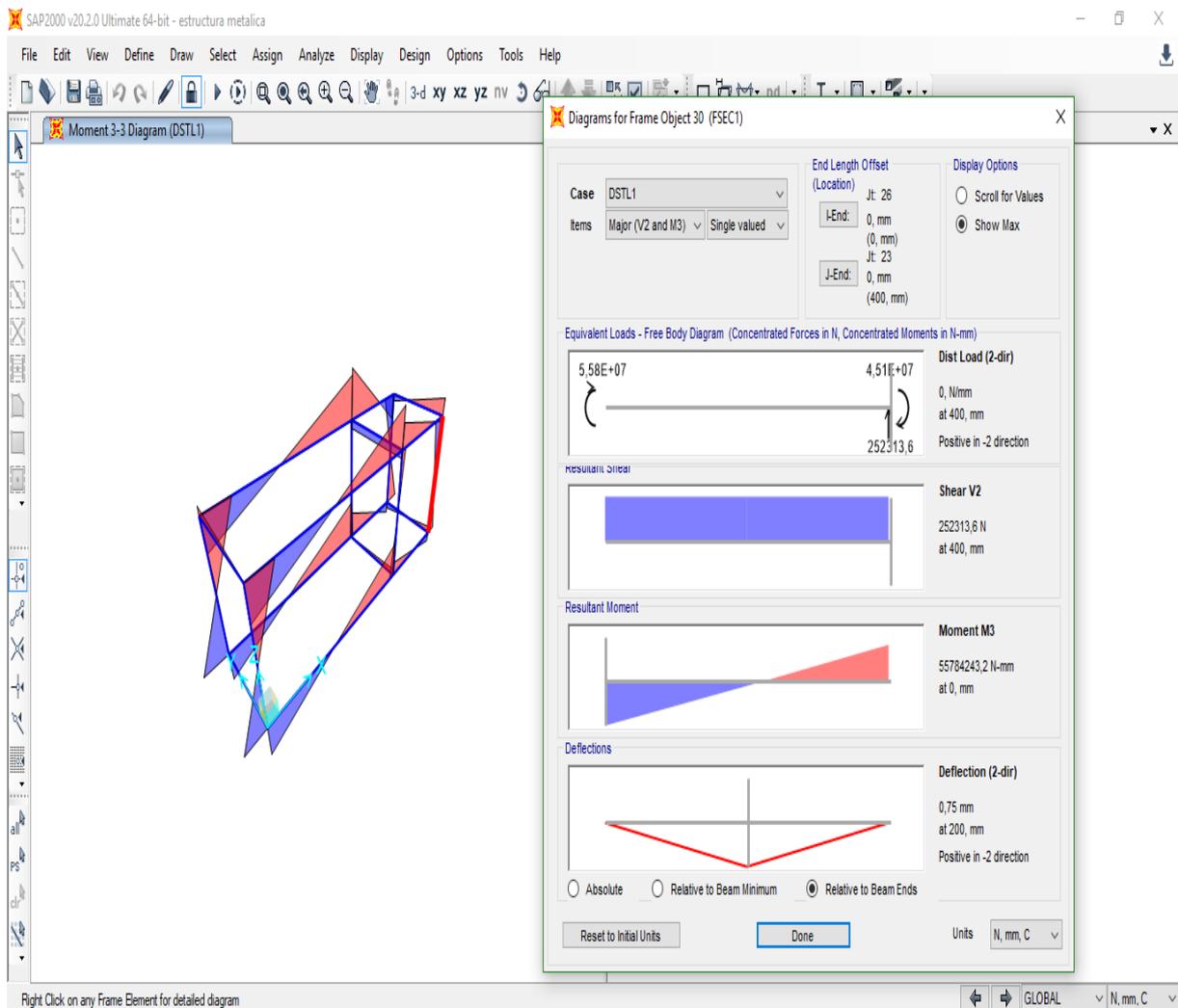
**Figura 6.2** Estructura con cargas



**Figura 6.3.** Estructura en simulación.



**Figura 6.4.** Análisis de esfuerzos



**Figura 6.5.** Fuerzas en la estructura

## 7. PRESUPUESTO Y ANALISIS DE IMPACTOS

Para determinar el costo de construcción del horno basculante se analizaron gastos directos e indirectos, la mano de obra fue calculada de acuerdo a un promedio de lo que gana un obrero por hora trabajo de acuerdo a cada actividad realizada para poner en marcha la implementación del horno.

Según el análisis del Tir y Van que se muestra en la tabla 7.2 realizado obtenemos que el tiempo de recuperación de la inversión hecha para la propuesta tecnológica será de cuatro a cinco años según la demanda de trabajo que soliciten a la empresa, teniendo en cuenta que actualmente se pone en marcha una vez por semana.

## 7.1 MATERIALES

**Tabla 7.1.** Materiales para la construcción del horno

<b>Materiales para la fabricación del horno basculante</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
2	Tapas de Acero	50	100
1	Chapa metálica	140	140
1	Quemador	1150	1150
20	Pernos	0,8	16
2	Tubo cuadrado de Acero	14,8	29,6
3	Varilla cuadrada	6,2	18,6
30	Material refractario	40	1200
1	Bomba	95	95
4	Fragua	80	80
4	Ejes	23	92
1	Electrodos (12 kg)	2.40	96
1	Amoladora	25	50
2	Taladro, taladrado, trabajos mecánicos	20	100
3	Brocas	1,8	5,4
2	Suelda, soldadura	15	750
2	Caretas	3,6	7,2
2	Mandil	15	30
2	Bailejo	4,3	8,6
4	Guantes de cuero	2,4	9,6
3	Sierra	2,1	6,3
1	Rodelado de la chapa metálica	10	80
	Maquinado en torno	20	80
	Otros		340
		<b>Total aprox.</b>	<b>4484,3</b>

## 7.2 PRESUPUESTO

Tabla 7.2 Análisis de TIR y VAN

### HOJA DE COSTOS DEL DISEÑO DE HORNO PARA ALUMINIO

**BENEFICIARIO:** Fundidora  
"SANGUCHO"

**CANTIDAD:** 1

MATERIALES DIRECTOS				MATERIALES INDIRECTOS				MANO DE OBRA				
Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	Detalle	Número de horas trabajo	Número de Personas	Valor hora de trabajo	Total
Tapas de Acero	2	50	100	Amoladora	2	25	50	Rodelado de la chapa	2	4	10	80
Chapa metálica	1	140	140	Taladro	2	10	20	Maquinado en torno	2	2	20	80
Quemador	1	1150	1150	Brocas	3	1,8	5,4	Soldadura	12	4	15	720
Pernos	20	0,8	16	Suelda	2	15	30	Taladrado, trabajos mecánicos	5	2	8	80
Tubo cuadrado de Acero	2	14,8	29,6	Caretas	2	3,6	7,2	Otros				40
Varilla cuadrada	3	6,2	18,6	Mandil	2	15	30	<b>TOTAL</b>				<b>1000</b>
Material refractario	30	40	1200	Bailejo	2	4,3	8,6					
Bomba	1	95	95	Guantes de cuero	4	2,4	9,6					

Fragua	1	80	80	Sierra	3	2,1	6,3
Ejes	4	23	92	Otros			300
Electrodo	12	2.40	96	<b>TOTAL</b>			467,1
<b>TOTAL</b>			3017,2				

<b>COSTO TOTAL</b>	4484,3
--------------------	--------

PERIODO	0	1	2	3	4	5
Inversión	4484,3					
Ingreso		1800	1836	1872,72	1910,17	1948,37
Egreso		-650	-663	-676,26	-689,78	-703,57
Flujo neto	-3063,3	1150	1173	1196,46	1220,39	1244,8

<b>Valor Actual Neto (VAN)</b>	\$ 1.456,96
<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b>	27%

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FCN_t}{(1+i)^t}$$

$$VAN = -3063,3 + \frac{1150}{(1+0,1)^1} + \frac{1173}{(1+0,1)^2} + \frac{1196,46}{(1+0,1)^3} + \frac{1220,39}{(1+0,1)^4}$$

## **7.3 ANÁLISIS DE IMPACTO**

### **7.3.1 Impacto práctico**

- El impacto ocasionado por esta propuesta tecnológica ha mejorado el proceso de fundición de aluminio y reduce el tiempo de fundición a la mitad de lo que demoraba antes para una mayor eficiencia, antes el tiempo mínimo en obtener el metal listo para verter era 5 horas, ahora el tiempo que se demora es de 2.5 horas, facilitando así los trabajos de fundición y los riesgos de sufrir algún altercado y aumentando la productividad en un 100%.

### **7.3.2 Impacto tecnológico**

- Gracias a las técnicas y aprendizaje obtenidos en nuestro proceso de estudios pudimos identificar las fallas térmicas y el déficit en la utilización de materiales termoaislantes en la empresa para así cambiar un horno de crisol artesanal por un horno basculante de rápido manejo. La empresa ha mejorado su producción en un porcentaje de 50% adicional a lo que antes se podía producir, se ha aligerado el tiempo de colado del metal a 2.5 horas, de las 5 horas que antes demoraba por los mismos 250 kg de aluminio para colar.

### **7.3.3 Impacto ambiental**

- Al cambiar el uso de combustible a diésel, se reduce la emanación de gases tóxicos al medio ambiente, esto debido a que 5 litros de aceite contamina con plomo y otras sustancias nocivas  $1000000\text{ m}^3$  de aire, que es la cantidad que una persona respira en tres años [23] y generalmente la empresa usaba un estimado de 90 a 100 litros de este combustible, también quitamos en su totalidad el manejo de este desecho peligroso puesto que requería de varias normas de almacenamiento, utilización y la empresa no estaba acorde a ellas.

### **7.3.4 Impacto epistemológico**

- Para la implementación de la propuesta tecnológica abordamos temas de estudio que fueron impartidos por nuestros guías universitarios en cada uno de los ciclos académicos, con los que determinamos los problemas existentes en la empresa, también

abre campo a más estudios como son los impactos ambientales, automatización, análisis de elementos químicos, estudio de la metalurgia y sus derivados.

## **8. CONCLUSIONES**

- Se implementó el horno basculante al equipo de diseño y construcción porque es el tipo de horno más apropiado, de fácil uso y manipulación con respecto a los otros hornos estudiados que aparte de tener un alto costo de adquisición, para su manejo, se requiere de una capacitación previa.
- Con los resultados obtenidos en el proceso de cálculos realizados, para el dimensionamiento del horno, tenemos que, la cámara de combustión será de un diámetro interno de 0,42 metros, la cantidad de combustible requerida para una carga de 250 kilogramos es de 7,8 litros de diésel, ya teniendo en cuenta las perdidas por el flujo de calor al exterior que es de 8474 watts, la selección de cada componente ayudó a que nuestro equipo alcance los objetivos que se plantearon al inicio de este proyecto.
- En el análisis del resultado del TIR y VAN, se obtuvo que, el costo de diseño e implementación del horno basculante para fundir aluminio es de \$4484,30 dándonos un margen de retorno de la inversión entre 4 y 5 años según la cantidad de trabajo que soliciten a la empresa, porque el horno no trabaja jornadas completas ni consecutivas, puesto que solo se lo utiliza, por lo general, una vez por semana.

## **9. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar la curación previa a la utilización del horno para secar el material refractario y evitar que se pueda dañar el material.
- Con la finalidad de proteger problemas de salud se debe trabajar con los equipos de seguridad necesarios e impuestos por las normas de seguridad en el interior de la empresa.
- Se debe revisar los cálculos obtenidos con la finalidad de evitar un gasto innecesario en material de construcción.
- Tener a la mano un equipo adecuado contra incendios.

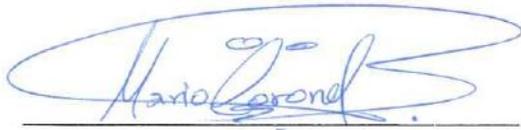
- Con el fin de mejorar progresivamente, se recomienda a la empresa seguir con planes de mejoras para hornos industriales y abrir las puertas a programas de titulación de universidades.
- Ayudar al medio ambiente con mayor investigación en el área de la combustión de los gases que son tóxicos y son desechados al aire libre.
- Bloquear el paso directo o usar señalética apropiada por alado de la chimenea y sus alrededores para evitar quemaduras graves.

## 10. REFERENCIAS

- [1] D. F. Mestanza Barragan y V. P. Lara Villegas, 2012. [En línea]. Available: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1974/1/96T00153.pdf>. [Último acceso: 05 11 2017].
- [2] E. Y. Flores Garcia y R. E. Orellana Nuñez, 09 2014. [En línea]. [Último acceso: 04 11 2017].
- [3] E. E. Suntasig Loachamin y C. D. Torres Riascos, «Dspace.ups,» 10 2014. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7226/1/UPS-KT00851.pdf>. [Último acceso: 05 11 2017].
- [4] J. F. Olivera de la Fuente, «Docplayer,» 20 05 2017. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/21409880-Historia-de-la-fundicion.html>.
- [5] S. Bass, «Bitacorangelo,» 23 07 2005. [En línea]. Available: <https://bitacorangelo.wordpress.com/about/>. [Último acceso: 04 11 2017].
- [6] I. ASM , ASM Handbook, Estados unidos, 1998.
- [7] «es.ripleybelieves.com,» [En línea]. Available: <https://es.ripleybelieves.com/smelting-industry-global-importance-and-risks-3826>. [Último acceso: 08 07 2019].
- [8] j. Junquera, «Cofundi,» 02 10 2015. [En línea]. Available: <http://www.cofundi.com/es/breve-historia-del-aluminio>. [Último acceso: 04 11 2017].

- [9] E. G. Maffia, 2013. [En línea]. Available: [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0ahUKEwim3aHkk6nXAhXDKGMKHf2EBr0QFghNMAY&url=https%3A%2F%2Fwww.ing.unlp.edu.ar%2Fcatedras%2FM0624%2Fdescargar.php%3Fsecc%3D0%26id%3DM0624%26id\\_inc%3D2717&usg=AOvVaw1dyoE\\_wh5dCHQ-455PPU](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0ahUKEwim3aHkk6nXAhXDKGMKHf2EBr0QFghNMAY&url=https%3A%2F%2Fwww.ing.unlp.edu.ar%2Fcatedras%2FM0624%2Fdescargar.php%3Fsecc%3D0%26id%3DM0624%26id_inc%3D2717&usg=AOvVaw1dyoE_wh5dCHQ-455PPU). [Último acceso: 05 11 2017].
- [10] G. SALVI, de *La combustión : teoría y aplicaciones*, 1975.
- [11] G. M. Gutierrez Mena, «repositorio.utmachala,» 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1609/8/CD00059-TESIS.pdf>. [Último acceso: 18 11 2017].
- [12] J. F. Saltos Olalla y J. J. Vargas Carrillo, «Repositorio.espe.edu.ec,» 21 02 2009. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4086/1/T-ESPEL-0594.pdf>.
- [13] B. G. Rosero Villarreal, «bibdigital.epn,» 03 2006. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/59>. [Último acceso: 02 12 2017].
- [14] B. O. Chango Pilamunga, «Repositorio.uta.edu.ec,» 04 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8213/1/Tesis%20I.%20M.%20213%20-%20Chango%20Pilamunga%20Byron%20Orlando.pdf>.
- [15] «Powdertronic,» 30 05 2016. [En línea]. Available: <http://powdertronic.com/componentes-de-un-horno-industrial/>.
- [16] F. Incropera P. y D. DeWitt P., *Fundamentos de Transferencia de Calor y de Masa*, Cuarta Edición ed., Prentice Hall. Hispanoamerica S.A., 2004.
- [17] A. y. Refractarios, «www.aislamientosyrefractarios.com,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.aislamientosyrefractarios.com/concreto-refractario/>. [Último acceso: 08 07 2019].
- [18] ERECOs, «www.gamma.com,» 06 04 18. [En línea]. Available: <https://www.gamma.com.co/wp-content/uploads/2018/05/CONCRAX-1700.pdf>.

- [19] CICSA, «cicsa-maxon.com,» [En línea]. Available: <http://cicsa-maxon.com.mx/quemadores-industriales-2/>. [Último acceso: 08 07 2019].
- [20] M. Suarez, «Academia.edu,» [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/34917131/CAPITULO\\_1\\_1.\\_COMBUSTIBLES\\_USADOS\\_EMISIONES\\_GASEOSAS\\_Y\\_REGULACIONES\\_MINICIPALES](https://www.academia.edu/34917131/CAPITULO_1_1._COMBUSTIBLES_USADOS_EMISIONES_GASEOSAS_Y_REGULACIONES_MINICIPALES).
- [21] INEN, 04 2012. [En línea]. Available: <http://181.112.149.204/buzon/normas/1489-6.pdf>.
- [22] M. González, «quimica.laguia2000.com,» 02 03 2012. [En línea]. Available: <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/combustion-del-carbono>.
- [23] L. A. Barrera Gallegos y F. A. Velecela Romero , 02 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7691/1/UPS-CT004551.pdf>. [Último acceso: 22 05 2019].
- [24] G. Maps, 28 12 2018. [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps/place/Salcedo/@-1.0321214,-78.5956653,998m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x91d47cb7ba4c6933:0xb15e57fcb89abed!8m2!3d-1.0421893!4d-78.5907367?hl=es>.
- [25] D. A. Espin Landivar y R. O. Mendez Lara , «Bibdigital.epn.edu.ec,» 08 2013. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6648/1/CD-5029.pdf>.



Coronel Subía Mario Andrés

**Proponente 1**

**Email:** cuikomacs@hotmail.com

**Telf:** 09847634707



Sangucho Simba Alex Santiago

**Proponente 2**

**Email:** alex.sangucho9@utc.edu.ec

**Telf:** 0984943872



Ing. Andrés German Arévalo Zabala

**PROFESOR TUTOR**

**Email:** andres.arevalo6842@utc.edu.ec

**Telf:** 0997646403

ANEXO I	Curriculum Vitae	1
<p style="text-align: center;"><b>HOJA DE VIDA</b></p> <p><b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> Sangucho Simba Alex Santiago</p> <p><b>ESTADO CIVIL:</b> Soltero</p> <p><b>CEDULA DE IDENTIDAD:</b> 050345533-9</p> <p><b>DOMICILIO:</b> Urbanización Rumipamba de las Rosas (Salcedo)</p> <p><b>TELEFONO:</b> 032729628</p> <p><b>CELULAR:</b> 0984943872</p> <p><b>EMAIL:</b> alex.sangucho9@utc.edu.ec</p> <p style="text-align: center;"><b>ESTUDIOS REALIZADOS</b></p> <p><b>SUPERIOR:</b> Universidad Técnica de Cotopaxi Carrera de Ingeniería Electromecánica</p> <p><b>SECUNDARIA:</b> Unidad Educativa Dr. Trajano Naranjo Iturralde</p> <p><b>PRIMARIA:</b> Unidad Educativa Cristóbal Colon</p>		
<p style="text-align: center;"><b>HOJA DE VIDA</b></p> <p><b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> Coronel Subía Mario Andrés</p> <p><b>ESTADO CIVIL:</b> Soltero</p> <p><b>CEDULA DE IDENTIDAD:</b> 050271327- 4</p> <p><b>DOMICILIO:</b> Barrio El Loreto calle Sánchez de Orellana - Latacunga</p> <p><b>TELÉFONO:</b>032813456</p> <p><b>CELULAR:</b> 0987634707</p> <p><b>EMAIL:</b> cuikomacs@hotmail.com</p> <p style="text-align: center;"><b>ESTUDIOS REALIZADOS</b></p> <p><b>SUPERIOR:</b> Universidad Técnica de Cotopaxi carrera de Ingeniería Electromecánica</p> <p><b>SECUNDARIA:</b> Instituto Tecnológico Superior “RAMON BARBA NARANJO”</p> <p><b>PRIMARIA:</b> Escuela de educación básica “Isidro Ayora”</p>		





844  
APÉNDICE 1

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c <sub>p</sub> (J/kg · K)					
		$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ J/kg · K	$k$ W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m <sup>2</sup> /s	100	200	400	600	800	1 000
<b>Aluminio:</b>											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
						482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	65	163	186	186		
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042		
								174	185		
<b>Berilio</b>											
	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
						203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
<b>Bismuto</b>											
	545	9 780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04			
						112	120	127			
<b>Boro</b>											
	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
						128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
<b>Cadmio</b>											
	594	8 650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7			
						198	222	242			
<b>Cromo</b>											
	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
						192	384	484	542	581	616
<b>Cobalto</b>											
	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1
						236	379	450	503	550	628
<b>Cobre:</b>											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
						252	356	397	417	433	451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59		
							785	160	545		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74		
							—	—	—		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
							360	395	425		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19				
						237	362				
<b>Germanio</b>											
	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
						190	290	337	348	357	375
<b>Oro</b>											
	1 336	19 300	129	317	127	327	323	311	298	284	270
						109	124	131	135	140	145
<b>Iridio</b>											
	2 720	22 500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126
						90	122	133	138	144	153
<b>Hierro:</b>											
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
						216	384	490	574	680	975
Armco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3
						215	384	490	574	680	975
<b>Aceros al carbono:</b>											
Simple al carbono (Mn $\leq$ 1%, Si $\leq$ 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0
								487	559	685	1 169
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3
								487	559	685	1 168
Al carbono-silicio (Mn $\leq$ 1%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3
								501	582	699	971

996

Appendix A ■ Thermophysical Properties of Matter

TABLE A.4 Continued

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
<b>Ammonia (NH<sub>3</sub>) (continued)</b>							
400	0.5136	2.287	138	26.9	37.0	31.5	0.853
420	0.4888	2.322	145	29.7	40.4	35.6	0.833
440	0.4664	2.357	152.5	32.7	43.5	39.6	0.826
460	0.4460	2.393	159	35.7	46.3	43.4	0.822
480	0.4273	2.430	166.5	39.0	49.2	47.4	0.822
500	0.4101	2.467	173	42.2	52.5	51.9	0.813
520	0.3942	2.504	180	45.7	54.5	55.2	0.827
540	0.3795	2.540	186.5	49.1	57.5	59.7	0.824
560	0.3708	2.577	193	52.0	60.6	63.4	0.827
580	0.3533	2.613	199.5	56.5	63.8	69.1	0.817
<b>Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>), <math>M = 44.01</math> kg/kmol</b>							
280	1.9022	0.830	140	7.36	15.20	9.63	0.765
300	1.7730	0.851	149	8.40	16.55	11.0	0.766
320	1.6609	0.872	156	9.39	18.05	12.5	0.754
340	1.5618	0.891	165	10.6	19.70	14.2	0.746
360	1.4743	0.908	173	11.7	21.2	15.8	0.741
380	1.3961	0.926	181	13.0	22.75	17.6	0.737
400	1.3257	0.942	190	14.3	24.3	19.5	0.737
450	1.1782	0.981	210	17.8	28.3	24.5	0.728
500	1.0594	1.02	231	21.8	32.5	30.1	0.725
550	0.9625	1.05	251	26.1	36.6	36.2	0.721
600	0.8826	1.08	270	30.6	40.7	42.7	0.717
650	0.8143	1.10	288	35.4	44.5	49.7	0.712
700	0.7564	1.13	305	40.3	48.1	56.3	0.717
750	0.7057	1.15	321	45.5	51.7	63.7	0.714
800	0.6614	1.17	337	51.0	55.1	71.2	0.716
<b>Carbon Monoxide (CO), <math>M = 28.01</math> kg/kmol</b>							
200	1.6888	1.045	127	7.52	17.0	9.63	0.781
220	1.5341	1.044	137	8.93	19.0	11.9	0.753
240	1.4055	1.043	147	10.5	20.6	14.1	0.744
260	1.2967	1.043	157	12.1	22.1	16.3	0.741
280	1.2038	1.042	166	13.8	23.6	18.8	0.733
300	1.1233	1.043	175	15.6	25.0	21.3	0.730
320	1.0529	1.043	184	17.5	26.3	23.9	0.730
340	0.9909	1.044	193	19.5	27.8	26.9	0.725
360	0.9357	1.045	202	21.6	29.1	29.8	0.725
380	0.8864	1.047	210	23.7	30.5	32.9	0.729
400	0.8421	1.049	218	25.9	31.8	36.0	0.719
450	0.7483	1.055	237	31.7	35.0	44.3	0.714
500	0.67352	1.065	254	37.7	38.1	53.1	0.710
550	0.61226	1.076	271	44.3	41.1	62.4	0.710
600	0.56126	1.088	286	51.0	44.0	72.1	0.707

714

Apéndice

## A-14 Propiedades típicas de aceros al carbón y de aleación

Material AISI núm.	Condición <sup>1</sup>	Resistencia máxima, $s_u$		Resistencia a la cadencia, $s_y$		Porcentaje de alargamiento
		ksi	MPa	ksi	MPa	
1020	Recocido	57	393	43	296	36
1020	Laminado en caliente	65	448	48	331	36
1020	Estirado en frío	75	517	64	441	20
1040	Recocido	75	517	51	352	30
1040	Laminado en caliente	90	621	60	414	25
1040	Estirado en frío	97	669	82	565	16
1040	WQT 700	127	876	93	641	19
1040	WQT 900	118	814	90	621	22
1040	WQT 1100	107	738	80	552	24
1040	WQT 1300	87	600	63	434	32
1080	Recocido	89	614	54	372	25
1080	OQT 700	189	1303	141	972	12
1080	OQT 900	179	1234	129	889	13
1080	OQT 1100	145	1000	103	710	17
1080	OQT 1300	117	807	70	483	23
1141	Recocido	87	600	51	352	26
1141	Estirado en frío	112	772	95	655	14
1141	OQT 700	193	1331	172	1186	9
1141	OQT 900	146	1007	129	889	15
1141	OQT 1100	116	800	97	669	20
1141	OQT 1300	94	648	68	469	28
4140	Recocido	95	655	60	414	26
4140	OQT 700	231	1593	212	1462	12
4140	OQT 900	187	1289	173	1193	15
4140	OQT 1100	147	1014	131	903	18
4140	OQT 1300	118	814	101	696	23
5160	Recocido	105	724	40	276	17
5160	OQT 700	263	1813	238	1641	9
5160	OQT 900	196	1351	179	1234	12
5160	OQT 1100	149	1027	132	910	17
5160	OQT 1300	115	793	103	710	23

\*Otras propiedades aproximadamente iguales para todos los aceros aleados y al carbón.

Módulo de elasticidad a tensión = 30 000 000 lb/in<sup>2</sup> (207 GPa)

Módulo de elasticidad a cortante = 11 500 000 lb/in<sup>2</sup> (80 GPa)

Densidad = 0.283 lb<sub>m</sub>/in<sup>3</sup> (7680 kg/m<sup>3</sup>)

<sup>1</sup>OQT significa templado y enfriado en aceite, WQT significa templado y enfriado en agua.

## Apéndice

717

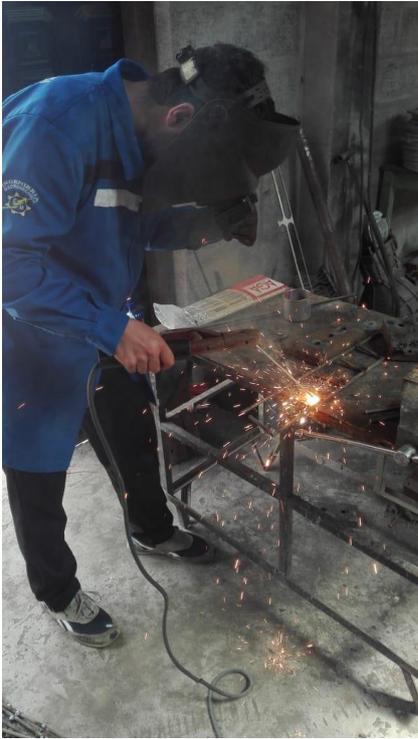
## A-16 Propiedades de aceros estructurales.

Material ASTM núm. y productos	Resistencia máxima, $s_u$ *		Resistencia a la cedencia, $s_y$ *		Porcentaje de alargamiento, en 2 in
	ksi	MPa	ksi	MPa	
A36-Perfiles, placas y barras de acero al carbón	58	400	36	248	21
A 53-Tubo grado B	60	414	35	240	—
A242—Perfiles, placas y barras HSLA resistentes a la corrosión					
≤ ½ in de espesor	70	483	50	345	21
½ a 1½ in de espesor	67	462	46	317	21
1½ a 4 in de espesor	63	434	42	290	21
A500—Tubería estructural formada en frío					
Redonda, grado B	58	400	42	290	23
Redonda, grado C	62	427	46	317	21
Perfilada, grado B	58	400	46	317	23
Perfilada, grado C	62	427	50	345	21
A501—Tubería estructural formada en caliente, redonda o perfilada	58	400	36	248	23
A514—Acero aleado templado y enfriado en aceite; placa					
≤ 2½ in de espesor	110	758	100	690	18
2½ a 6 in de espesor	100	690	90	620	16
A572—Acero al vanadio-columbio HSLA: perfiles, placas y barras					
Grado 42	60	414	42	290	24
Grado 50	65	448	50	345	21
Grado 60	75	517	60	414	18
Grado 65	80	552	65	448	17
A913—HSLA, grado 65: perfiles	80	552	65	448	17
A992—HSLA: sólo perfiles W	65	448	50	345	21

\*Valores mínimos; pueden ser más elevados

HSLA-Baja aleación y alta resistencia

El American Institute of Steel Construction especifica  $E = 29 \times 10^6$  lb/in<sup>2</sup> (200 GPa) para acero estructural

<b>ANEXO VII</b>	Estructura de la chapa metálica	7
		
<b>ANEXO VIII</b>	Estructura metálica	8
		

**ANEXO IX**

Refrentado de ruedas.

9



**ANEXO X**

Rueda para la estructura del horno.

10



<b>ANEXO XI</b>	Montaje de la chapa sobre las ruedas.	11
-----------------	---------------------------------------	----



<b>ANEXO XII</b>	Moldeo de las tapas del horno.	12
------------------	--------------------------------	----

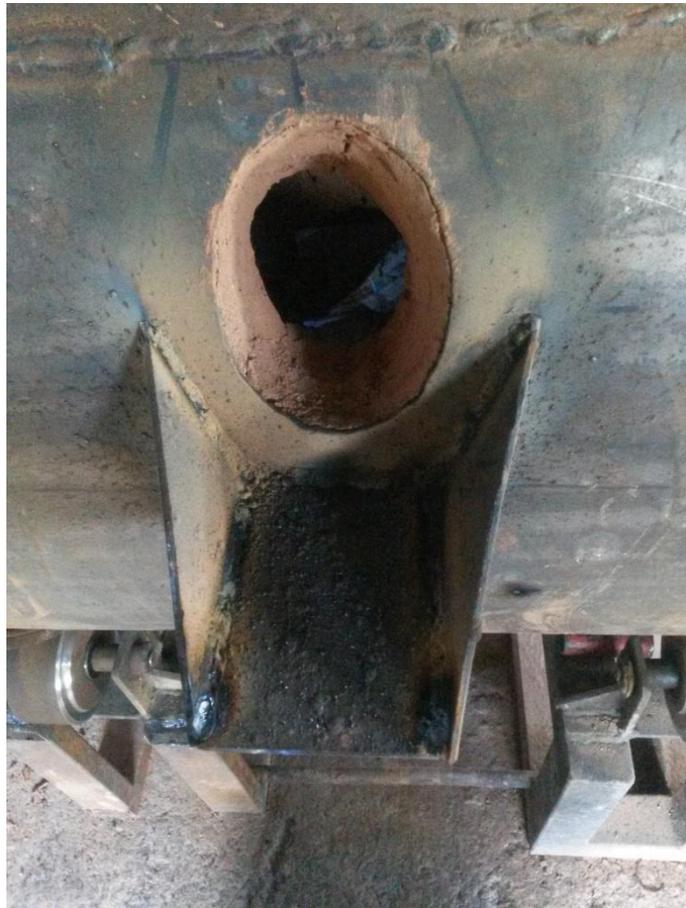


<b>ANEXO XIII</b>	Moldeo de la chapa metálica.	13
		
<b>ANEXO XIV</b>	Moldeo listo para unión de las tapas.	14
		

ANEXO XV	Diseño del quemador.	15
----------	----------------------	----



ANEXO XVI	Perforación para el vertido del material.	16
-----------	---	----



<b>ANEXO XVII</b>	Conexión de la bomba al quemador.	17
-------------------	-----------------------------------	----



<b>ANEXO XVIII</b>	Propiedades de los gases.	18
--------------------	---------------------------	----



<b>ANEXO XIX</b>	Prueba de funcionamiento	19
------------------	--------------------------	----



<b>ANEXO XX</b>	Encendido del quemador.	20
-----------------	-------------------------	----



